

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報



Vol.54 No.11

計装制御特集



未来を開発する
三菱電機

11
1980

計装制御特集

目次

特集論文

計装制御の意義とその進展……………	1
—計装制御特集によせて— 澤井善三郎	
小ループ形プロセスコントローラ……………	3
松谷勝巳・土屋輝彦・森 俊吾・片岡猪三郎・故島利美	
計測におけるマイクロコンピュータの応用……………	7
稲荷隆彦	
活性汚泥処理プロセスにおける新しいMLSS制御法……………	12
前田満雄・前田和男・長田俊二・桑田貴平・中堀一郎	
食品プロセスにおける計装技術の応用……………	17
柳下紀久次・小原博修・木戸正克	
化学プラントにおけるガスクロマトグラフ ガイダンスシステム……………	22
清宮忠昭・岡 富士郎・御厨長十	
下水処理場における分散形DDCシステム……………	25
若月秀樹・飛山哲幸	
火力発電プラントにおけるデジタル制御システム……………	30
吉田日出夫・前原史彦・稲葉孝一・古久保雄二・篠原光一	

普通論文

CGPA変圧器……………	37
—変圧器の新しい輸送方式— 松村 晋・菅 寿郎	
温水暖房システムにおける簡易床暖房……………	41
山崎起助・清水 誠・斉藤辰夫・野沢栄治・鈴木欽三	
技術試験衛星III型搭載 能動式熱制御装置の開発……………	46
東 久雄・板垣春昭・中村英雄・木村 弘・桜井也寸史	
暖房機用耐熱材料の熱サイクル寿命評価……………	51
—アルミナイズド鋼の熱サイクル中の高温酸化— 土方明躬・吉岡純夫・宮崎政行・田中 博・林 幸男	
薄形、額調エアコン《アートクール》の開発……………	56
関口 浩・上妻親司・友沢 久	
電磁式ガス流量制御弁……………	61
—家庭用ガス器具— 藤原道雄・野沢栄治・高橋基裕	
デジタル保護リレー……………	66
畑田 稔・吉田敬史・大垣健二・細井真知夫・本間昭好	
特許と新案……………	35
電気機器の冷却装置 ダイオード故障標定装置	
当社の登録特許一覧……………	75, 76

スポットライト

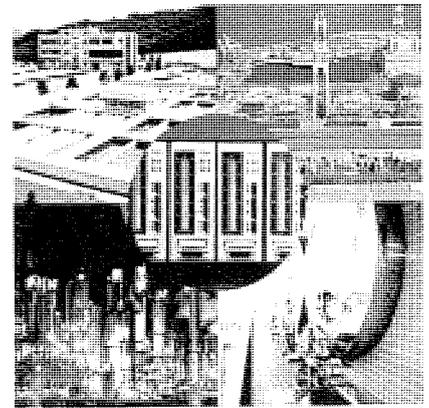
家庭用新形サーキュレータ……………	71
電池内蔵併用形非常用けい光灯器具……………	72
冷凍室用けい光灯器具……………	73
はん用シーケンサ《MELSEC-Kシリーズ》……………	74
LSIをとう載した冷凍冷蔵庫……………	(表3)

表紙

総合計装《MACTUS》と応用分野

三菱総合計装制御システム《MACTUS》は、昭和54年の第18回計装展に出展し、多大の反響を呼んだ。《MACTUS》の特長は高度な演算制御を得意とするハイレベルコントローラ-810から1ループの-200まで、あるいはオペレータステーションの-870、-670とすべてマイクロプロセッサベースの豊富なシリーズをそろえており、プロセス計装のあらゆる分野に最適なシステムを提供できることである。

写真は水処理、発電プラント、食品プロセス、化学プラントなど三菱計装制御システムの活躍する分野を示している。中央の《MACTUS 200》は、我が国初の1ループDDCとしてその地位を確立したヒット製品で、従来のアナログ調節計の寸法に30種の機能を内蔵し自由に選択して、望む制御ループを生成できる。



アブストラクト

小ループ形プロセスコントローラ

松谷勝巳・土屋輝彦・森 俊吾・片岡猪三郎・故島利美

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P3～6

計装業界においては省資源・省エネルギー・省力化に対し多大な努力が払われてきているが、これを実現するために複雑・高度な制御が必要とされ、最近各分野において小ループ形デジタル計装が幅広く適用されてきている。

当社は業界のトップをきって小ループ形デジタル計装の極限を追求した1ループコントローラを発表しているが、本稿ではこの1ループコントローラを中心に、シーケンス制御も可能な小ループ形マルチコントローラについて紹介する。

化学プラントにおけるガスクロマトグラフ ガイダンスシステム

清宮忠昭・岡 富士郎・御厨長十

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P22～24

化学プラントにおいては、近年プロセス及び計装技術の進歩が著しく高度な計装制御が可能となっている。又一方センサ、分析器の進歩も目を見張るものがあり、オペレータサイドより見た場合、それらに対応したガイダンスシステム又はモニタリングシステムが要求されてくる。

ここではプロセスガスクロマトグラフ ガイダンスシステムを中心に紹介するとともに、オペレータガイダンスについて述べる。

計測におけるマイクロコンピュータの応用

稲荷隆彦

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P7～11

マイクロコンピュータを用いた計測系の大きな特長は、(1)高度な計算機能、(2)パターン処理機能、(3)機器、計測情報間の有機的結合による多様かつ総合的な機能などをもつことである。この論文では当社で開発された計測系の一部の応用事例として、物体の位置、形状の認識、レーザによる表面検査等の光学的パターン計測系への応用と、超音波探傷、振動波形による異常検出などの時系列信号による計測系について紹介し、応用の現状を概括する。

下水処理場における分散形DDCシステム

若月秀樹・飛山哲幸

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P25～29

近年、下水処理場へ分散形DDCシステムを導入するケースが多くなってきている。下水処理場へ分散形DDCシステムを導入する場合、その処理場の規模や運用方法により様々なシステムが設計される。

本稿では下水処理場の分散形DDCシステムについて、当社が最近納入した横浜市金沢下水処理場向け分散形DDCシステムを実例として、その概要を紹介する。

活性汚泥処理プロセスにおける新しいMLSS制御法

前田満雄・前田和男・長田俊二・桑田貴平・中堀一郎

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P12～16

新しい活性汚泥量制御法の実用性とその利点について、理論的並びに実験的検討結果について述べる。従来より種々の方法が提案されているが、プロセスの特性を十分ふまえておらず、実用に耐え得るものはないといわれていた。ここで提案する制御法は、実プラントに適用して無制御系と比較し、曝気槽内の汚泥濃度の安定性が顕著であることが示された。処理水質についての差異は顕著ではなかったが、MLSSの設定値による影響は、かなり大きいことが示唆された。

火力発電プラントにおけるデジタル制御システム

吉田日出夫・前原史彦・稲葉孝一・古久保雄二・篠原光一

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P30～34

計算機を利用した発電プラント制御システムは、順調な発展を遂げてきており、その応用分野も広がりつつある。しかし一方では、充実したマンマシンインタフェースによる情報管理、操作の容易化の徹底、ユーザーオリエンテッドなソフトウェアの採用など、より高い経済性・操作性をめざす動きもある。

ここでは、最近当社が開発した火力発電プラント向けデジタル制御システムを中心に、これらの新しい動きを紹介する。

食品プロセスにおける計装技術の応用

柳下紀久次・小原博修・木戸正克

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P17～21

市乳製造ラインへ分散形計装制御システムを納入したので、その内容について紹介する。システムは5種類のプロセスごとに《MACTUS 610》及び《MACTUS 100》を装備し、これらを総括制御するために上位に計算機 A2100 を配置している。更にこれらの機器間はデータウェイ MDWS-500によりデータの授受を行っている。

CGPA変圧器—変圧器の新しい輸送方式—

松村 晋・菅 寿郎

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P37～40

大形変圧器の輸送上の制約に対処するために、変圧器のコイルグループなどの中身部分をパッケージ方式として密封し、外気としゃ断した状態で輸送並びに現地組立を行う変圧器 (CGPA—Coil Group Packed Assembly—変圧器) を関西電力(株)と三菱電機(株)との共同研究により開発した。本稿では密封材料選択のための試験を始めとする一連の開発研究内容と製作技術の集大成としての実証用変圧器について述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 22~24 (1980)

A Gas-Chromatograph Guidance System for Chemical Plants

by Tadaaki Kiyomiya, Fujiro Oka & Nagato Mikuriya

Marked development of processing and instrumentation technology for chemical plants in recent years has enabled the development of sophisticated instrumentation and control systems. In parallel with remarkable developments in sensors and analyzers, operators tasks demand more sophisticated guidance and monitoring systems to effectively handle this advanced technology. The article chiefly introduces a process gas-chromatograph guidance system and describes the means of operator guidance.

Mitsubishi Denki Giho. Vol. 54, No. 11, pp. 3~6 (1980)

A Digital Controller for Small-Scale Instrumentation and Control Systems

by Kastumi Matsuya, Teruhiko Tsuchiya, Shungo Mori, Isaburo Kataoka & Toshimi Kojima

The instrumentation industry has concentrated its efforts on saving resources, energy, and manpower. A digital controller for small-scale instrumentation and control systems is an outstanding example of systems establishing complex and sophisticated control to meet these needs. Mitsubishi Electric took the initiative in improving digital controllers for small-scale instrumentation and control systems, and marketed a one-loop controller. This article introduces a multicontroller for small-scale instrumentation and control systems that enables sequence control centered on a one-loop controller.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 25~29 (1980)

A Distributed DDC System for Use in Sewage-Treatment Plants

by Hideki Wakatsuki & Tetsuyuki Tobiyama

With the proliferation of distributed direct digital-control (DDC) systems for use in sewage-treatment plants, various systems have been designed to fit the scale and operational system of plants. The article provides a general description of the distributed DDC system for use in sewage-treatment plants recently delivered to Kanazawa Ward, Yokohama City, by Mitsubishi Electric.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 7~11 (1980)

The Application of Microcomputers to Measurement Systems

by Takahiko Inari

Important technological features of measurement systems incorporating microcomputers include: 1) a sophisticated computation function; 2) a pattern-processing function; 3) diverse and integrated functions that incorporate individual items of equipment into complete measurement systems. This article discusses the applications for optical-pattern recognition, including recognition of position and unit shapes, and surface inspection utilizing lasers. It also introduces measurement systems to detect abnormalities by means of a time-series signal using ultrasonic nondestructive testing and an oscillating waveform. An outline is given of present application examples.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 30~34 (1980)

A Digital Control System for Thermal-Power Plants

by Hideo Yoshida, Fumihiko Maehara, Koichi Inaba, Yuji Kokubo & Koichi Shinohara

Power-plant control systems utilizing computers have undergone steady development, allowing extended applications. At the same time, such systems are required to show operating economies and upgraded operational performance, including improved data processing by means of man-machine interfacing, simplified operation, and the adoption of user-oriented software. The article introduces these new technological trends and describes a digital control system for thermal-power plants recently developed by Mitsubishi Electric.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 12~16 (1980)

A New MLSS Control System for Activated-Sludge Wastewater-Treatment Processing

by Mitsuo Maeda, Kazuo Maeda, Shunji Osada, Takahira Kuwata & Ichiro Nakahori

This article describes theoretical and experimental results concerning the utility and merits of a new mixed-liquid suspended-solid (MLSS) control system. Though various means of control have been suggested, there was no control system in practical use that successfully exploited the processing characteristics. The means of control suggested in the article offer noticeably high uniformity of sludge density in an aeration tank compared with uncontrolled systems and is immediately applicable to a practical plant. No marked difference was observed in treated-water quality, but this factor does appear to be fairly sensitive to the setting of the MLSS level.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 37~40 (1980)

CGPA Transformers—A New Technique for Transporting Large Power Transformers

by Susumu Matsumura & Hisao Kan

To cope with the restrictions on transporting of large power transformers, a transformer capable of being transported as hermetically sealed subassemblies—such as coils—and assembled on site has been jointly developed by Kansai Electric Power and Mitsubishi Electric. The article describes the development and research, including tests for selecting sealing materials, and gives details of a prototype coil-group packed assembly (CGPA) transformer that embodies Mitsubishi Electric's accumulated manufacturing technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 17~21 (1980)

The Application of Instrumentation Technology to Food Processing

by Kikuji Yagishita, Hironobu Kohara & Masakatsu Kido

The article introduces a distributed instrumentation and control system for milk-product lines. This system employs the MACTUS 610 and the MACTUS 100 integrated digital instrumentation and control systems for all five aspects of processing. For integrated control, a MELCOM 350-50 Model A2100 host computer is utilized. Additionally, data is transferred by means of the MDWS-500 data-way.

アブストラクト

温水暖房システムにおける簡易床暖房

山崎起助・清水 誠・齊藤辰夫・野沢栄治・鈴木欽三

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P41～45

冷暖房機で屋外設置の壁掛形《クリーンヒーターエアコン》の第2弾として、温水暖房によるマルチシステムを暖房の理想といわれる床暖房システムと合わせて開発を行った。そしてこれらの構成を《マルチクリーンヒーター》システムと呼び、これからの新しい暖房環境に対応し、最適な暖房形態を自由に組合せするシステム構成となっている。本稿ではシステムの概要及び床暖房パネルの熱解析と経済性について説明する。

薄形、額調エアコン《アートクール》の開発

関口 浩・上妻親司・友沢 久

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P56～60

最近のルームエアコンにおける省スペースに対するニーズの増大への対応としてユーザーのライフスペースの観点から分析した結果、奥行8.9cmの薄形で、額調のデザインの室内ユニットをもつ新形態のルームエアコン《アートクール》MA-1801R形を開発した。本文はこの室内ユニット実現のための薄形化の手法等について概要を述べる。

技術試験衛星III型搭載 能動式熱制御装置の開発

東 久雄・板垣春昭・中村安雄・木村 弘・桜井也寸史

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P46～50

ミッションの多様化、大容量化に伴う衛星熱制御系への高度な要求に答え、能動式熱制御素子として有望な可変コンダクタンス型ヒートパイプ及び対向回転型サーマルルーバを開発した。これらを高度1,000kmの軌道を飛ばす三軸姿勢制御衛星である技術試験衛星III型にとう(搭)載して飛ばす実験を行い、宇宙環境下での有効性を検証、評価する予定である。ここでは開発試験及び認定試験の結果を踏まえ開発の成果について報告する。

電磁式ガス流量制御弁 一家庭用ガス器具一

藤原道雄・野沢栄治・高橋基裕

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P61～65

電磁石と永久磁石の組合せによりガス量を連続的に制御する電磁式ガス流量制御弁(比例制御弁)の構造、動作原理、諸特性を紹介するとともに、この比例制御弁を温水ボイラの温水温度制御に使用した場合のシステムを応用例として示し、比例制御動作、及びこの比例制御弁を使用することによる利点を述べる。

暖房機用耐熱材料の熱サイクル寿命評価

一アルミナイズド鋼の熱サイクル中の高温酸化一

土方明躬・吉岡純夫・宮崎政行・田中 博・林 幸男

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P51～55

家庭用暖房機の燃焼器や熱交換器の設計に際しては、高温ふん(雰)囲気中での使用材料の特性をは(把)握して耐久性を定量的に評価し、機器の信頼性を十分に確保しなければならない。ここでは、暖房機器に多く使用されているアルミナイズド鋼について、耐酸化合金皮膜の熱サイクルによるクラック発生条件及び母材の高温酸化速度を実験的に求め、アルミナイズド鋼の耐久性の定量的評価法について検討した結果を述べる。

デジタル保護リレー

畑田 稔・吉田敬史・大垣健二・細井真知夫・本間昭好

三菱電機技報 Vol.54・No.11・P66～70

デジタルリレーは開発開始以来ほぼ10年が経過し、この間エレクトロニクス技術の飛躍的進歩に支えられ、幾多の試作・改良と実系統における実証試験を積み重ねることによっていよいよ実用化段階に到達した。この論文ではこれまでの開発の経緯をふり返りながら、現在のデジタルリレー技術の概要を紹介し、またこれまでの多くの実証試験結果について総括的に報告し、今後の技術動向などについて述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 56~60 (1980)

The Development of the "Art Cool" Ultrathin Plaque-Style Room Air Conditioners

by Hiroshi Sekiguchi, Chikashi Kozuma & Hisashi Tomozawa

In response to strong demand in recent years for room air conditioners that offer space saving, the "Art Cool" MA-1801R units developed by Mitsubishi Electric feature a considerable reduction in depth to 8.9cm and reflect living space savings. The article provides a general description of the methods utilized to realize the reduction in size of this plaque-style indoor unit.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 41~45 (1980)

Simple Floor Heating Through a Hot-Water System

by Kisuke Yamazaki, Makoto Shimizu, Tatsuo Saito, Eiji Nozawa & Kinzo Suzuki

Based on our recent split-type wall-suspended Clean Heater/air conditioners, a system of room heating with hot water has been combined with a hot-water floor-heating system. This "Multi Clean Heater" system provides comfortable-temperature control to meet every modern demand for room heating and cooling. The article gives a general description of the system and discusses heat analysis and the economics of a floor-heating panel.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 61~65 (1980)

A Magnetic Gas-Control Valve for Domestic Use

by Michio Fujiwara, Eiji Nozawa & Motohiro Takahashi

The article introduces the structure, operation principle, and characteristics of a magnetic gas-control valve (a proportional-control valve) that enables the continuous control of gas by means of a combination of electromagnets with permanent magnets. It further discusses the proportional-control system with application examples of the valve for water-temperature control of a hot-water boiler, and also details the advantages to be obtained by utilization of the proportional-control valve.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 46~50 (1980)

The Development of Spacecraft Active-Thermal-Control Equipment for ETS-III

by Hisao Azuma, Haruaki Itagaki, Yasuo Nakamura, Hiroshi Kimura & Yasushi Sakurai

In response to the increasing demand for a sophisticated satellite thermal-control system capable of a diversified and broad mission range, a variable-conductance heat pipe and a counter-rotating thermal louver for utilization as active-thermal-control equipment have been developed by Mitsubishi Electric. This equipment will be mounted on the three-axis, stabilized Engineering Test Satellite III (ETS-III) to be put into orbit at an altitude of 1,000km where flight tests will be carried out to inspect and evaluate the efficiency in a space environment. The article reports on the results achieved in development and qualification tests of the equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 66~70 (1980)

A Digital Protective Relay

by Minoru Hatata, Takashi Yoshida, Kenji Ogaki, Machio Hosoi & Akiyoshi Homma

Approximately ten years have passed since the commencement of digital-relay development. Many prototypes and modifications, with repeated field tests, have resulted in practical digital relays, thanks to the rapid development of the associated electronic technology. The article gives a general description of current digital-relay technology, looking back to the past in development and research, reports on results achieved in many field tests, and surveys future technological trends.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 54, No. 11, pp. 51~55 (1980)

Evaluation of the Durability of the Material Used for the Burner and Heat Exchanger of a Warm-Air Heater During Cyclic Heating

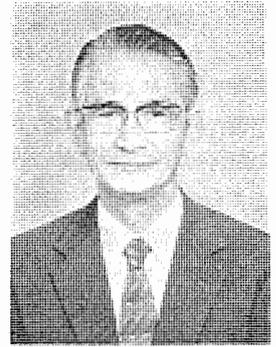
by Akemi Hijikata, Sumio Yoshioka, Masayuki Miyazaki, Hiroshi Tanaka & Yukio Hayashi

The high-temperature characteristics of the materials used, including quantitative evaluation of their durability and the reliability of the equipment, are essential considerations in designing a burner and heat exchanger for a domestic-use warm-air heater. The article describes the results achieved in a quantitative evaluation of the durability of aluminized steel for use in a warm-air heater by experimental measurements of crack-initiation life during cyclic heating of corrosion-resistant alloy film and the oxidation rate at high temperatures of the basic materials.

—計装制御特集によせて—

計装制御の意義とその進展

東京大学名誉教授 工学博士 澤井 善 三 郎
日本大学生産工学部教授



1. 計装制御の意義

近年我が国の生産性の伸びは世界最高で、少なくとも工業技術においては、既に世界の一流国になったといえるであろう。その中において計装制御技術の果たしてきた貢献度は、すこぶる大きいものがある。

計装制御の現在並びに将来の進展を考える場合、計装制御の本質を理解することが必要であると考えるので、ここで用語の説明を中心に一応解説しておきたいと思う。測定という言葉は古くから存在し特に説明を要しないが、これと近い関係にある用語として、計測、計量、計装などがあり、ややまぎらわしい。

まず計測であるが、これは訳語ではなく日本でできた用語である。工業技術院計量研究所の高田誠二氏の調査によると、明治41年(1908年)に新聞に連載された夏目漱石の小説「三四郎」の中に計測という言葉が出てくるということで、筆者も自分で確かめたところ、三四郎が運動会の見物に行くところがあり、競走の計時や砲丸投げの距離の測定や記録を行う人に対して、計測掛と書いてあった。その後昭和初年の頃から、主として学者の間で計測という言葉が使われはじめ、昭和20年には東京大学に計測工学科ができ、次いで学会も発足するようになったのである。計測という言葉は現在では非常に広い意味に使われている。単位や標準の問題から、測定器、測定方法はもとより、人によっては制御からプログラミングにいたるまで、およそ「はかる」ということに関係したすべてを含めており、これに対応する外国語を探すことは困難である。

これに対し計量という言葉は古くからあり、目方やます目など、取引に関係する測定を意味することが多い。

次に本題の計装であるが、これは昭和25年(1950年)頃、筆者の提案でできた用語であり、誕生後約30年ということになる。当時アメリカの代表的な工業計器のメーカーであったBrown Instrument Co.から随時発表されていたプロセス制御に関する実際的な資料があり、これを日本語に翻訳して出版する計画ができた。そのときInstrumentationということばが数多く出てくるのに対して、適当な訳語がないかと考え、偶然筆者が思い浮かべたのが計装で、数名の訳者の賛同をえて採用したものである。便利なことばであったため、その後次第に普及し、現在では計測とともに広辞苑にも掲載され、工業用語として定着するようになったのである。

計装はJISの「計測用語」や「自動制御用語」では、「測定装置、制御装置などを装備すること」となっているが、その意味するところはかなり深いのである。

アメリカでInstrumentationという用語が工業プロセス等に対して用いられるようになったのは、1940年頃からといわれているが、実はこの言葉は古くから音楽関係で使われていたのである。計器と同じく楽器もInstrumentである。Instrumentationを辞書で見ると、器楽編成(法)という訳もある。エンサイクロペディアで調べてみると、各種の楽器の音域、音色、音量その他の特徴をよく認識した上で、合奏曲の作曲、編曲に際して、これらの楽器をいかに割当てて、あてはめるか、また演奏に際して楽器をいかに配置するかなど、合奏に対するさまざまな基本的問題を処理し、システム化することを意味していることがわかった。

これは同じくInstrumentationである計装の内容を理解するのに非常に役立つことで、機械、プロセス、プラント等に対して、複数の測定装置や制御装置をたくみに編成して、理想的な総合効果をあげようとするのが、すなわち計装であることがわかる。しかし計装はあくまで装備であって、プロセス、プラント等の運転操業そのものではない。

これに対して制御は、プロセスやプラントを運転操業するため実際に対象となっているものに操作を行うことを意味しているのである。音楽でいえば、指揮者がバトンを振ること、またこれに同調して各演奏者が楽器を操作することに相当している。

工業プロセスの計装制御は、最初は比較的小規模の合理化、効率化を目的としていたのであるが、次第に大規模になるとともに、更に自動化の発展を大きく促進することとなり、結果として製品の均一化、高級化にも役立ち、そして現在では、省力、省エネルギー、省資源のためかくべからざる手段ともなっているのである。

2. 計装制御技術者

昔の殿様の言葉に「よきにはからえ」というのがある。プラント等でこの役目を引受け、技術的な面でよきにはからっているのが計装制御技術者である。したがってこれらの技術者は、プラントの目的や各プロセスの原理を理解することはもとより、始動停止を含む装置の運転操業上のノウハウに精通していることが必要であり、またエレクトロニクス、計測器、制御装置についても広い知識を有し、常に新しい進

歩に関心をもつことが要求される。その上推理力、実行力があり、人との折り合いがよければ、これにこしたことはないのである。

我が国の各種プラントにこのような技術者が存在していることは、近代の総合的な技術の発展にすこぶる大きな意味をもっていたといふべきである。筆者は、石油、鉄鋼その他各種のプラントを見学する場合、計装制御技術者に案内を依頼するようにしているが、これら技術者のプラント全体に対する広い知識と理解の深さに感服するとともに、非常に有意義な見学ができたという数多くの経験をもっている。

現在ではプラントの運転操業がこの種の計装制御技術者によって行われることが多く、また現にこれが実行されているプラントで特に合理化、効率化がより高く達成されている例が多いのである。

3. 計装制御技術の進展

圧延機や工作機械などのように、制御が独得の発達をしているものもあるが、一般工業プロセスの計装制御は、まず各種の量の検出機器や、及びその他の操作機器の発達があり、それに記録計、調節計等のいわゆる工業計器の出現により、次第に地についた進展を示すようになった。

計装制御に対するエレクトロニクスの導入は、最初真空管からであったため、寿命と信頼性に問題があった。その後の30年、半導体を主とするエレクトロニクスの進歩がまことに目覚ましいものであったことは、ことさら述べるまでもない。もちろん大きなエネルギーを取扱うプロセスのことで、今日でも信頼性が問題であることは当然であるが、エレクトロニクスの部分が他の装置と比較してむしろ信頼性が高い状態になったことは、驚くべき進歩である。

特に最近の大規模、高速のデジタル技術の導入により、データ処理の能力が飛躍的に増加し、価格の低減と信頼性向上など相まって、計装制御装置は次第に広範囲に総合システムとして取扱われるようになってきている。

工業プロセスというものには非常にまちまちで、家電製品などちがって、本来各個それぞれ独自の内容と条件で操業されるものであるから、これに適した計装制御装置もそれに合わせて毎回設計されるという、いわゆる一品料理的な性格のものと考えられていた。しかしこれに対して計装制御装置のメーカーとしては、設計の簡易化、量産によるコストの低減、信頼性向上、技術者の負担軽減等の面から、できれば装置の標準化を図りたいという願望をもっていた。事実工業計器の記録調節計などもその例で、いろいろな種類の量の調節制

御に利用されているが、その主要部分は共通した構造のもので、これによって計装制御の発展に大いに貢献してきたものである。

このように一品料理か標準品かというやや矛盾した要求に対し、メーカー側としては、簡単な機械や比較的小さいプロセスのシーケンス制御には、シーケンスプログラムとかシーケンサというようなもので標準化が図られ、また制御上の情報処理を主とする部分には、制御用計算機が開発された。

次いでIC、LSIの発達により、小形でも能力のあるマイクロコンから、更にマイクロプロセッサの時代となり、かつて高価であるが故に集中処理を基本としていたコンピュータが、次第に各所に分けられ、いわゆる分散処理の流行を迎えている。分散と集中にはそれぞれ意味があり、これらの特徴をよく吟味して調和をはかることは、現代の計装制御の重要点である。最近ではこのような点に考慮を払い、しかもかなり多様なプラントの要求に応じうるようにまとめられ、かつ標準化された総合システムも出現している。三菱総合計装制御システム《MACTUS》などはその例である。

我々年輩者は、まずプロセスなりプラントなりがあって、これに計装制御装置を取付けるという考え方にいまだにとらわれがちであるが、今後は、ドアエンジンのついたものが電車であるというのと同様、マイコンのついたものが電子レンジであり、制御用計算機のついたものが圧延機であり、また総合計装制御システムを備えたものが、プロセスなりプラントであるという考え方もつべきであろう。それは、エレクトロニクスの進歩による装置の機能向上と価格の低減、更にソフトウェアの進歩によるニーズへの対応が、それを可能とするところまで発達してきたからにはほかならない。

さて計装制御の対象は、既に化学、機械、鉄鋼等、製造工業のプロセスやプラントはもとより、ガス、上下水道、電力、環境、流通、医学等、あらゆる施設に及んでいるが、今後は更に、新しいエネルギー源や生物科学など、新開発分野もその対象に加わってくることであろう。また計装制御の情報伝達の手段として、光ファイバの利用や、パターン認識の応用なども、当然脚光を浴びてくるにちがいない。

一方音楽の方でもシンセサイザが出現し、楽器なしに作曲、編曲、演奏まで行なえるようになってくるなど、エレクトロニクスの予想を越えた発達により、Instrumentation全般にわたり、さまざまな変化にさらされてきている。

計装制御の関係者も、各種の技術の発展に注目しつつ、創意を生かして、更に活躍されるよう願う次第である。

小ループ形プロセスコントローラ

松谷 勝巳*・土屋 輝彦*・森 俊吾*・片岡 猪三郎**・故 島 利美**

1. ま え が き

当社における総合計装制御システム《MACTUS》は、制御の分散、情報の集中化を基本概念とし、これを実現すべくシステムの規模、機能に応じた豊富な機種を準備している(表1.)。この中で、特に危険分散を追求する小ループ形プロセスコントローラとして1ループコントローラ《MACTUS 200》とマルチコントローラ《MACTUS 610》がある。前者はループ制御のみの連続プロセス用として、後者は主にループ制御とシーケンス制御の一体化制御が必要なバッチプロセス用として開発したものである。

計装業界においては、省資源、省エネルギー、省力化に対し多大な努力が払われてきているが、これを実現するために複雑、高度な制御が必要とされデジタル計装の有する特長を最大限に発揮したこれら小ループ形コントローラが幅広く適用されてきている。ここでは、我が国最初の1ループコントローラとして計装業界に大きな話題を提供し、今後の計装の主流を占めるものと期待されている《MACTUS 200》を中心に当社の小ループ形プロセスコントローラを紹介する。

表1. 《MACTUS》シリーズの概要

		用途と特長	ハードウェア仕様	
オペレータステーション	セントラルオペレータステーション MACTUS 870	分散設置されている各プロセスコントローラの制御状態の集中監視操作を行う総合監視装置		
	モニタステーション MACTUS 670	プロセスの各工程単位、並びに小規模システムのCRTによるインテリジェンスプロセスモニタ		
プロセスコントローラ	ハイレベルコントローラ MACTUS 810	複雑なアルゴリズム、多変数制御等のハイレベルの計装制御に最適なコントローラ	計装制御 : MAX. 32ループ シーケンス制御 : MAX. 8000ステップ DIO 各1024点	
	マルチコントローラ	MACTUS 700	DDCとシーケンス制御の混合した制御に最適なマルチコントローラ	計装制御 : MAX. 32ループ相当 シーケンス制御 : MAX. 8000ステップ DIO 各1024点
		MACTUS 610	MACTUS 700は特にシーケンスの高速化を図っている	計装制御 : MAX. 8ループ シーケンス制御 : MAX. 4000ステップ DIO 各512点
	シーケンスコントローラ MACTUS 400	小規模のシーケンス制御専用のプログラマブルコントローラ	シーケンス制御 : MAX. 896ステップ DIO 合計128点	
	1ループコントローラ MACTUS 200	分散制御の極限、DDC1ループを1台のアナログ調節計に縮小したデジタルコントローラ、操作パネル付	計装制御 : 1ループ	
ループインタフェースユニット MACTUS 120	MACTUS 810, 700, 610用のDDCループインタフェース(1ループ/1台)異常時の出力保持、手動操作可			

2. 開発背景

プロセスの計装は、各種生産プロセスにおいて製品の質を決める中枢神経に当たるもっとも重要な部分を形成している。1960年代になって電子式計器が主流を占めるようになり、アナログ方式の自動化技術はリニアICなどの出現により、小形化、高信頼化を達成し技術的に

は完成の域に達したものと考えられる。しかしながら近年の省エネルギー、高級演算制御などを実現するに際しては、精度あるいは経済性の点で計装技術者の理論的な追求を実現するには不満足であったと言えよう。昨今のマイクロプロセッサの出現は、この障害を取除きデジタル計装をより小形で安価に供給することを可能とした。更にマイクロプロセッサの周辺回路のLSI化が急速に進み、部品数の減少に伴う信頼性の飛躍的な向上と低価格化が可能となり1ループコントローラを実現可能とする背景となった。

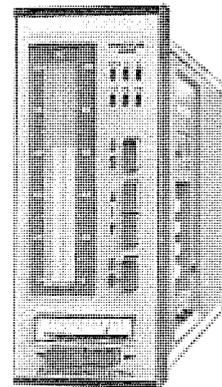


図1. 1ループコントローラ《MACTUS 200》

計装業界においては、プロセス制御の危険分散の最適化に対する見直しながされる中で、当社では分散区分の整理しやすい独立した系において、アナログ計装並みの危険分散を可解とした1ループコントローラ《MACTUS 200》(図1.)と、多ループが機能的に相互に関連した複雑な系において数ループ(8ループ以下)単位で、システムの危険分散を図る場合に最適なマルチコントローラ《MACTUS 610》を開発した。

3. 1ループコントローラ的设计思想

1ループコントローラ的设计思想は次のとおりである。

- (1) 究極の危険分散による信頼性の向上
8, 16, 32ループなどのマルチループコントローラに比べて究極の危険分散を追求すべく、デジタルコントローラとしての信頼性の極限を極める。
- (2) フレキシブルな制御体系
演算パッケージを具備し、制御系の構成に対する融通性が高く、制御方法の組替えに際しては、コントローラ本体からのファンクションパッケージの内部接続の変更が容易に対処できる。
- (3) 計装スペースの縮減と結線作業の簡略化
1台でアナログ調節計のもつコントロール機能に加え、各種演算処理などの機能も有する。つまりコントローラ1台分は、従来のアナログ計器数台分に相当し、計器パネルスペースの大幅縮減を可能とすると同時に、機能の内部接続はソフトウェア的な手段であるために、アナログ方式で必要であった各種計器間のケーブル接続工事が不要となる。
- (4) 自己診断技術による保全性の向上
デジタルコントローラの特長を最大限に発揮し、自己診断機能を完備してハードウェア故障やループ機能異常をいち早く認識し、修復時間を大幅に短縮できる。
- (5) システムの標準化による維持費の節減
適用方法に無関係にハードウェアを標準化し、共有化による予備品の種類と量を少なくして維持費の節約を図ることができる。
- (6) 階層システムへの展開が容易
データウェイなどの高速伝送装置への接続が、1ループコントローラのレベル

表 2. 《MACTUS 200》システム仕様

項目	仕様	備考	項目	仕様	備考
制御アルゴリズム	基本機能	30種	出力信号	P/O 2点	カスケードSV出力 (100Hz duty 50%) 2点 警報出力 6a接点 MACTUS 200異常 1a接点 蛍光表示管による 100セグメント
	拡張機能	1種		D/O 7点	
	搭載可能機能	31種		SV	
	使用可能ブロック	25ブロック		PV	
プログラミング	側面キーボードによる		MV	アナログ指示計 精度 ±2.5%	
パラメータチューニング			SV	96秒/8秒/フルスケール	
制御周期	0.25, 0.5, 1秒の切換		MV	同上	
データウェイとの接続I/F	標準装備		手動設定		
入力信号	A/I 5点	PV入力 (1~5V又は4~20mA) 1点	出力信号	プログラム	不揮発性メモリにより 1年間保護される
		補助入力 (同上) 3点		パラメータ	
		リモートSV入力 (同上) 1点		故障表示	
	P/I 2点	リモートSV入力 (100Hz duty 50%) 2点		環境条件	
D/I 2点	コンピュータ故障モード切換信号 1点	湿度	10~90% RH		
A/O 2点	MV出力 (4~20mA) 1点 SVフィードバック出力 (1~5V) 1点	電源	AC100/110V ±10% 50/60Hz 又はDC24V ±10% 40VA		

から可能とし、他のデジタルコントローラや上位コンピュータとの連携による大規模な階層システムへの拡張が容易である。

(7) アナログ計器との混在や置換が可能
アナログ計器との外形寸法の統一や、入出力信号レベル及び電源電圧レベルを同一とし、既設のアナログ計器の一部置換や増設によるアナログデジタル混合計装が容易である。

以上の1ループコントローラ《MACTUS 200》の設計思想に加え構造面においては、操作性及び監視機能を配慮した計器前面パネルにけい(螢)光表示管によるバーグラフディスプレイを採用したことにより距離的に離れた位置からの指示データの監視が容易であること、また周囲が暗い場合でも監視できること、更にバーグラフに緑色を採用したことにより目の疲労の軽減を図るなど設置場所、人間工学的な配慮を盛り込み今後の技術動向の先取りを図っている。更にデジタル計装の特長を生かし各種の異常状態が前面パネル上で監視できるなどプロセス及び計器の保全、保守を容易にしている。

4. 1ループコントローラの仕様

《MACTUS 200》は、大別して入出力処理、制御演算、算術演算、警報処理などデジタル計装に必要なファンクションを30種類標準装備している。簡単には、各ファンクションがそれぞれ別個のアナログ機器に対応するものと考えてよく例えばRは比率演算器に、またPIDは同じくアナログ調節計に相当する。内部結線による各ファンクション

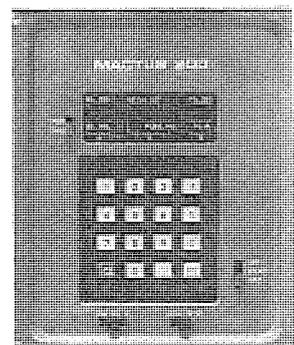
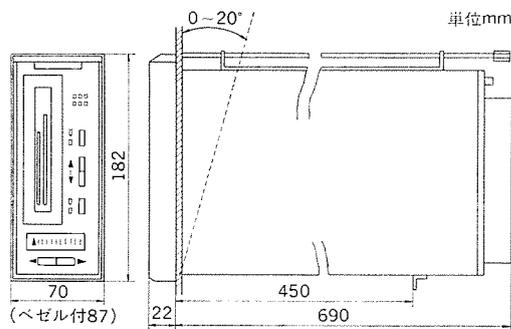
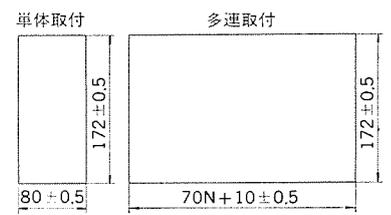


図 2. 《MACTUS 200》側面パネル



(a) 外形



(b) パネルカット

図 3. 《MACTUS 200》外形、パネルカット

表 3. DDC ファンクション一覧表

分類	シンボル	ファンクション名称	分類	シンボル	ファンクション名称	
入出力処理	$X_n(n=1\sim 4)$	PV, AI 入力処理	制御演算	EEP	電電ポジション	
	R	比率		CMT	特殊ファンクション (オプション)	
制御演算	PID	PID	警報処理	PH	上限警報設定	
	GPID	ギャップ形PID		PL	下限警報設定	
	BPID	バッチ形PID		算術演算	+	加算
	EPID	偏差自乗形PID			-	減算
	SAML	サンプル・ホールド			×	乗算
	SH	ハイセレクト			÷	除算
SL	ローセレクト	√	開平演算			
LAG	1次遅れ	出力処理	Y ₁		MV 出力処理	
DEAD	無駄時間		Y ₂	SV フィードバック出力処理		
演算	ASW	アナログスイッチ	その他	SA	特殊処理	
	LMT	上下限リミット		SB	特殊処理	
	ONF 2	2位置オンオフ		NOP	特殊処理	

間の接続を行う場合には、側面(図2.)のスイッチとキーボードを用いてファンクション番号やパラメータ番号を計装ブロック図に従って設定することによりループ制御機能が完成するが、1台のコントローラが持つ能力は、ファンクションの組合せ可能な最大個数により制約が生じる。《MACTUS 200》では、標準装備の30種類のファンクションの中から

ら最大 25 個まで選択することができ、プロセスの特性に応じて自由にプログラムを構成及び変更することができる(表 2., 表 3.)。

外形においては、従来のアナログ計器と同一のパネルカットとなっているのでアナログ計器との置き換えが可能である(図 3.)。

5. 1 ループコントローラの適用

1 ループコントローラは、前述の機能を有しているが下記のようなシステムへの適用が図られた場合に他の如何なるコントローラよりもその機能を最大限に発揮する(図 4.)。

- (1) 故障時のプラントへの波及を最小としなければならない。
- (2) 分散区分が小ループである。
- (3) 機能的には、アナログ計器数台分の置換あるいは高精度制御である。
- (4) 上位システムとの容易な接続を必要とする。

ここでは、上記(1)~(3)の適用例としてインターナルリフラックス制御を示す。

$F_i = F_e(1 + K \cdot \Delta T)$ の式において F_i を演算し、それにより F_e を制御する。

F_i : 内部還流流量 F_e : 外部還流流量
 K : 還流液の比熱 / 液体の気化熱 ΔT : $T_0 - T_e$
 T_0 : 蒸気温度 T_e : 外部還流温度

この例では、開平演算、乗算器、減算器、調節計が 1 台のコントローラで高精度で実現することができ、更に外部環流量、温度差など

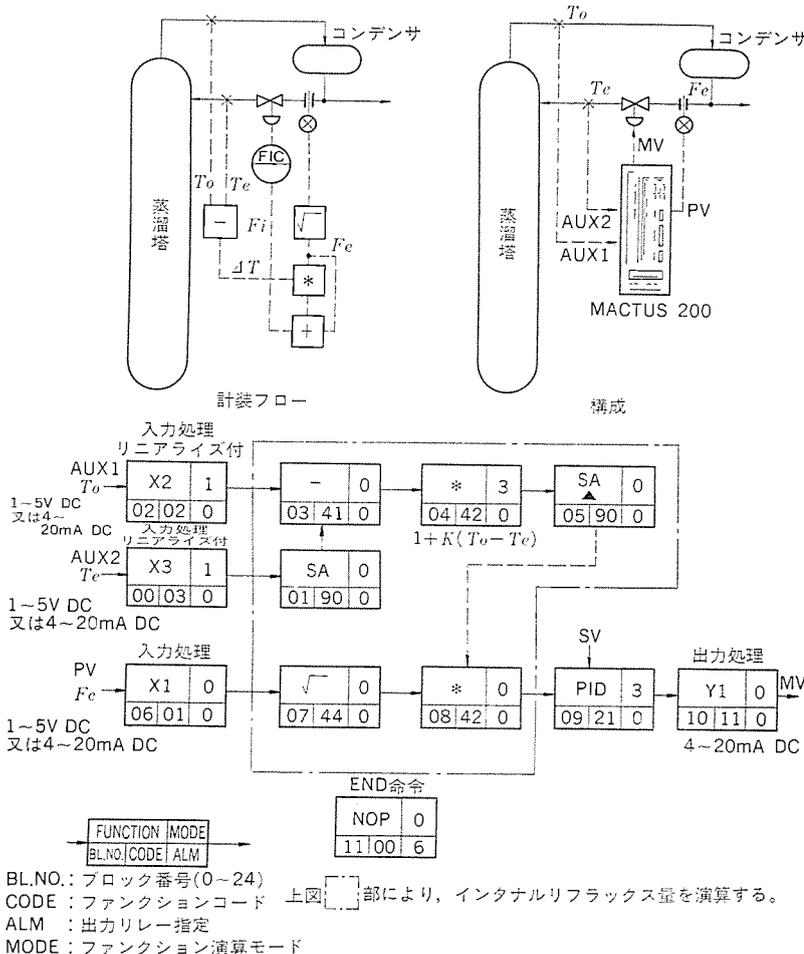


図 4. 適用例 (インターナルリフラックス制御)

が側面キーボードにより容易に読取ることができることになる。

6. 小ループ形マルチコントローラ

制御系には、分散区分の整理しやすい独立した系と、相互に関連をもつ複雑な系がある。前者の場合には 1 ループコントローラは、最もアナログ計器に近い感覚で小さい適用範囲から効果的に使用できる。一方、後者は、予測制御や時間遅れの大きな系でフィードフォワードなどの複雑、高級な制御あるいは DDC とシーケンス制御の複雑に絡み合った制御を要求され、機能面、経済面からニーズに合った小ループ形マルチコントローラ《MACTUS 610》を準備している(図 5., 図 6., 表 4., 表 5.)。

その概要は下記のとおりである。

(1) 8 ループ DDC として、ループ制御及びシーケンス制御を融合シーケンス制御に要求される高速性を配慮し、DDC 演算周期とは非同期に繰返し演算を行うことができる。勿論、DDC 演算周期と同一の周期でシーケンス制御も可能であり、プロセスの制御特性に合わせて処理することができる。アルゴリズムパッケージの構造がシーケンス命令を配慮したものとなっているため DDC とシーケンスの融合した制御が容易になっている。

(2) 1 ループコントローラの総括

階層化された《MACTUS 200》複数台を一括管理する小規模な上位機種としても使用できる。

(3) 《MACTUS》シリーズ共通の計装用言語の採用

DDC 基本アルゴリズムとして 16 種標準装備し、更に複雑なアルゴリズムに対処して 12 種の DDC はん(汎)用ファンクションキーによりユーザーが自由にアルゴリズムを作成することができる。

(4) 経済的で小形化されたコントローラ

可能な限り小形化し専用のキュービクルを常用することなく計装盤内部あるいはデスクへの内蔵が可能であり、更

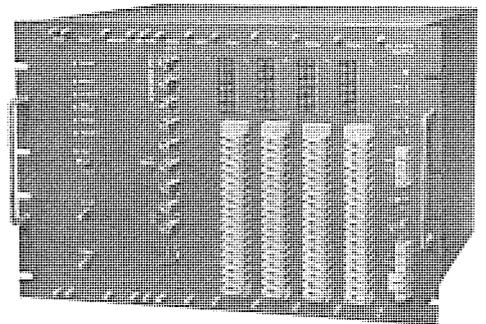


図 5. マルチコントローラ《MACTUS 610》

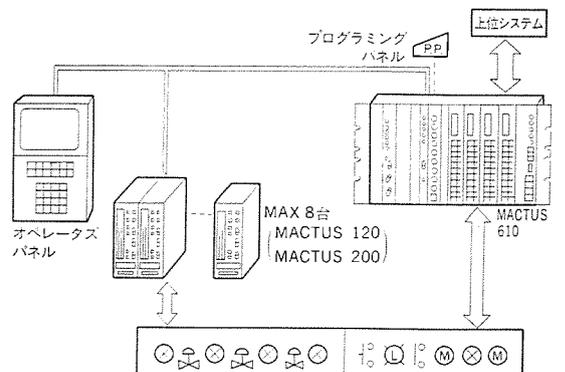


図 6. システム構成例

表 4. 《MACTUS 610》システム仕様

用途	中・小規模の計装制御とシーケンス制御の同時実行	
計装制御 (DDC)	ループ数	最大 8 ループ
	アルゴリズム	9 種 (標準) 12 種 (オプション)
	演算周期	1 s (標準)
	プログラム言語	POL
シーケンス制御 (SCS)	メモリ容量	バッテリ付 IC メモリ/ワイヤメモリ 4 KW (2500 ステップ)
	シーケンス命令 特殊命令	28 種類
	1 次記憶メモリ	最大 512 点
	演算時間	最大 80 ms
		DDC 共用の場合は 100 ms
	プログラム言語	POL
データウェイとの接続	MDWS-30 形データウェイ 1 セット/1 ステーション	
マンマシン インタフェース	オペレータズパネル	1 台/1 セット (但し DDC のある場合)
	ループインタフェース ユニット	1 台/1 ループ (MACTUS 120)
メンテナンス機器 (オプション)	プログラミングパネル	オフライン使用
	カセット MT プリンタ	オフライン使用
システムチェック機能	バリティ, ノーリプライ, CPU 異常, 自己診断	
電源	AC 100/110V ±10%, 50/60Hz	
周囲条件	温度 0~40°C, 湿度 10~90% RH	

表 5. 《MACTUS 610》入出力仕様

割込 入力	点数	レベル 2 点	
	実装	デジタル入力カードの 1 部	
	種類と仕様	フォト絶縁	プロセス側 DC 24 V, 20 mA
デジタル 入力	点数	最大 512 点 (但し 64 語としても使用可)	
	実装	32 点/カード	
	種類と仕様	フォト絶縁	プロセス側 DC 24 V, 20 mA
デジタル 出力	点数	最大 512 点 (但し 64 語としても使用可)	
	実装	32 点/カード	
	種類と仕様	オープンコレクタ	プロセス側 DC 48 V, 100 mA max
アナログ 入力	点数	最大 64 点	
	実装	高抵抗絶縁	16 点/カード
		スキャン速度	5,000 点/s
	仕様	変換値	0~5 V → 12 ビット
変換精度		0.1%	
アナログ 出力	点数	最大 16 点	
	実装	1~5 V DC	4 点/カード
		4~20 mA DC	1 点/カード
	仕様	変換値	12 ビット → 0~5 V DC 又は 0~20 mA DC
変換精度		0.5%	

に小ループ形コントローラとしての経済性を追求している。

(5) 配線工事の簡素化

上位とは、データウェイ MDWS シリーズと組合せることによりループ状の同軸ケーブルあるいは光ファイバケーブルを介して情報の交信が可能となり、また周辺の装置も同軸ケーブル接続となるため配線工事の簡素化を実現している。

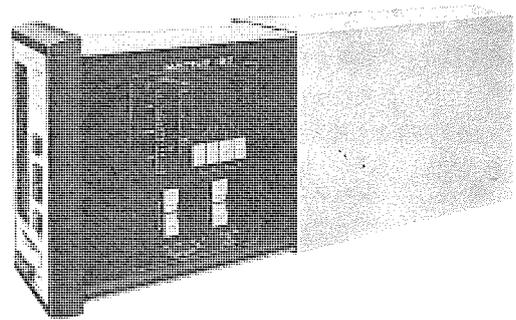


図 7. ループインタフェースユニット 《MACTUS 120》

(6) マンマシンインタフェースの充実

マンマシンインタフェースとして計装エンジニアレベル向けのメンテナンスツールとしてプログラミングパネル、オペレータレベル向けのオペレータズパネル及びループインタフェースユニット《MACTUS 120》がある。プログラミングパネルは、CRT 画面と対話しながら命令キーと対応した専用キーボードにより容易にプログラムデバッグが可能である。オペレータズパネルとして経済的な簡易形オペレータズパネル及び高度なオペレーティング対話機能を実現する CRT オペレータズパネルがあり、更に DDC ループ制御に必要な基本パラメータをパネル計器ユニットの側面からアナログタッチでの設定を可能とした《MACTUS 120》(図 7.)により安全、かつ合理的なプロセス運転監視とシーケンス保全を行うことができる。

《MACTUS 120》の前面は、1 ループコントローラ《MACTUS 200》と同じ顔をしているが制御機能は有しておらず、下記の機能を有している。

- (1) ループ対応の電気的インタフェースの機能
プロセスの PV (Process Value), MV (Manipulated Value) はループ対応で本器を経由して入出力される。
- (2) ループ対応のマンマシンインタフェースの機能
 - (a) PV, SV (Set Value), MV の監視機能。
 - (b) P, I, D 等 16 種類のパラメータのアナログタッチによる設定、モニタ機能。
- (3) MV 出力のエマージェンシバックアップ及び MV の手動操作機能。

7. むすび

プロセス制御におけるデジタル計装は、省資源、省エネルギー、省力化に対応し、時代の要求、市場のニーズにマッチしたものとして幅広く浸透してきている。

特にプラントの省エネルギー、省資源化に合わせて小規模ながら複雑、高度な制御が要求されるプロセスが増してきており、ここで紹介した 1 ループコントローラを中心とした小ループ形プロセスコントローラは、これらの要求に応えるものとしてその活躍が更に期待されている。

参考文献

- (1) 嶋田ほか：総合計装制御システム《MACTUS》, 三菱電機技報, 53, No. 6 (昭 54)
- (2) 岡本ほか：わが社のワンループコントローラ《MACTUS 200》, オートメーション, 25, No. 1 (1980)
- (3) 松谷：デジタル計装システム MACTUS の適用, 計装, 23, No. 8 (1980)

1. ま え が き

生産プロセスにおける省資源、省エネルギー化や、生産ラインでの自動化、高効率化に伴い、そこに用いられる計測システムにはますます高度で複雑なものが要求される動向にある。このような動向に対処するためには、物理、化学現象の新しい応用や、新しい計測方式の開発が必要であり、それには今やコンピュータの応用が不可欠となっている。計測系が計測対象系からの情報を、ある目的に応じた形態で抽出してくるという役割をもつ以上、対象からの物理量を検知するセンサと、それに続く信号処理と情報制御機能をもつ処理系の存在は不可欠である。ここにコンピュータのもつ役割が、計測目的の高度化、複雑化に伴い著しく増大してきたことはむしろ当然ともいえる。特にマイクロコンピュータの発達により、コンピュータが安価で、かつ計測系を組む技術者が自由に組込んで用いることが可能となり、コンピュータと一体化した計測系の実用化が著しく推進されることになったといえる。

2. 計測におけるマイクロコンピュータ応用の特長

計測系において、コンピュータは非常に多くの機能をもつことができるが、計測系として得られる最も大きな特長は下記のとおりである。

- (1) 高度な計算機能を利用した計測系が可能となる。各種の演算、補正関数の導入、複雑な統計関数の利用などが可能となる。
- (2) 簡単なパターン処理能力をもつ計測系が可能となる。形状、図形、音といったパターンとして与えられる計測情報への対処が可能となる。
- (3) 多くの計測情報や機器間の有機的結合と、対象の多様性への対応が可能となる。多くの計測情報や機器をインタフェースを通じてコンピュータに結合し、相互の情報流通、データ間の相互関連からの総合的で多様な計測を可能にする。

計測系とコンピュータとの結合関係は、従来より図1.に示すような分類が行われている。図の(a)は計測系として高度な処理機能を含んで初めて意味のあるデータを出し得る場合に多く考えられる構成である。パターン処理機能を必要とする系などはこの形と考えてよい。(b)は複数のセンサ又は計測系がコンピュータを共有し、場合によって

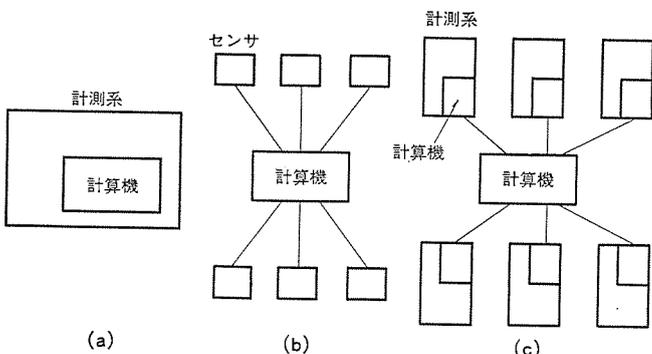


図1. 計測系とコンピュータとの関連

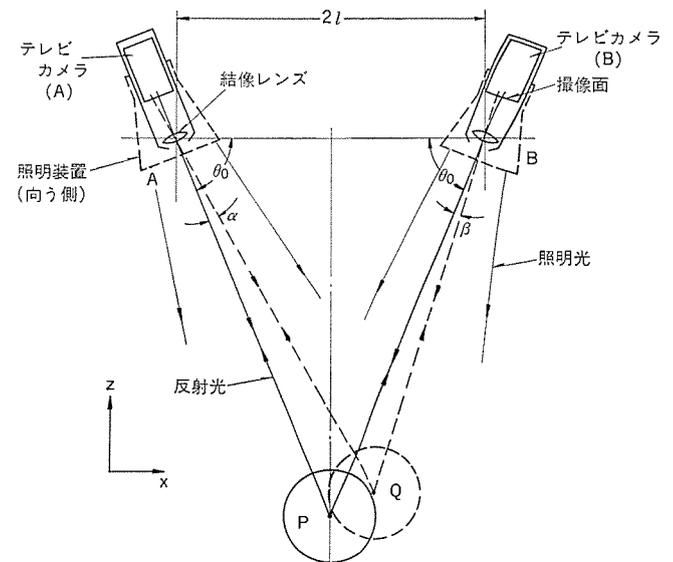
はこのコンピュータは計測目的以外にも用いられることもある。個々のセンサの処理が比較的簡単な場合や、処理時間に余裕のある場合、又は異常検出などのように、多数の計測点の情報の総合判断を行う場合などにも用いられる。(c)はこれらの複合体で、現実には今後この形態が増大していくと考えられる。インテリジェント機能をもつ計測系と、それを統括するコンピュータにより構成されている。

3. 物体の位置、形状、表面の光学的計測系への応用

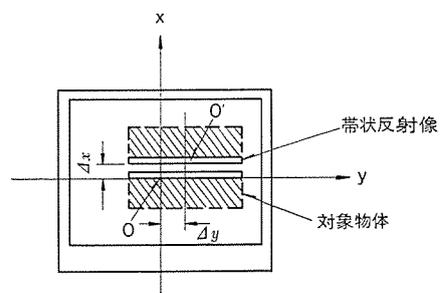
ここでは光学画像情報の計測系への応用は、必要な光学系とパターン処理機能、高度計算機能のシステム的な結合が特長である。

3.1 円筒状物体の3次元位置認識

円筒状の対象物体をある方向から観測し、物体の中心位置を認識する方式の例を述べる。図2.に基本方式を示す。図の(a)のように一定の距離 $2l$ 離れた位置に結像レンズの中心がおかれるように配置したテレビカメラと照明光源があり、カメラと光源は紙面に対し垂直な方向に並べておかれている。円筒物体の軸方向は紙面に垂直な方向と一致する。照明光の光線束の角度範囲は広くとっており、これ



(a) 光学系の構成



(b) テレビモニタ上での位置関係 (撮像面)

図2. 円筒物体中心位置認識方式の原理

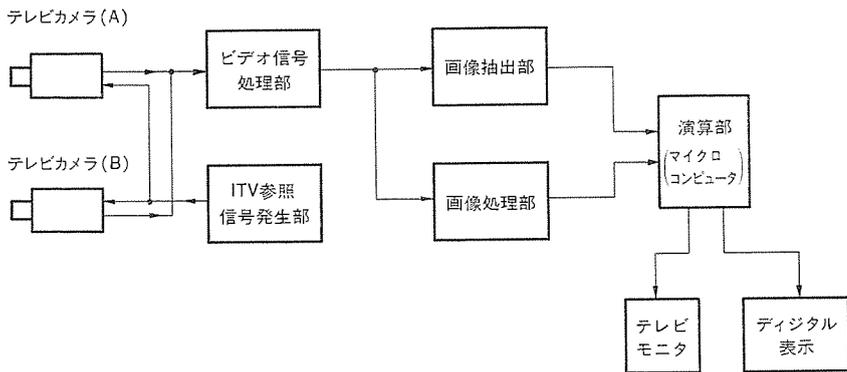


図 3. 円筒物体位置認識装置信号処理部の構成

が円筒物体表面に照射された場合、テレビカメラに向かって反射される光線は、円筒表面の法線方向より入射し、同じ方向に反射される成分のみとなる。今、カメラAのみ考えると、直線 \overline{AP} に沿って光は進み、テレビカメラの撮像面に到達する。Pは円の中心である。この場合に観測される反射光の像は、(b)に示すような、円筒表面上に沿った帯状の像となる。

円筒物体の中心がPからQに変化したとすると、選択される反射光は \overline{AQ} に沿って進み、撮像面上では、Pにある場合とは異った位置に像を結ぶ。この様子を(b)に示している。帯状反射像の位置 O' は、撮像面の中心Oから $(\Delta x, \Delta y)$ だけずれている。この Δx から直線 \overline{AP} と \overline{AQ} の角度変化 α を計算することができる。同様にカメラBにより、角度変化 β を求めることができる。カメラ間の距離 \overline{AB} は $2l$ で一定であるから、三角測量と同じ原理で、円筒物体の断面の中心Qの座標が計算できる。

円筒物体の中心のy座標(軸方向の位置)は、上記の帯状反射像の中心 O' のy方向の偏位値 Δy から計算される。このようにして円筒状物体の中心座標が2台のテレビカメラからの信号から、すべて計算により求めることができる。

この場合の信号処理方式の構成を図3.に示す。この場合には上に述べたとおり、三角関数の複雑な計算をマイクロコンピュータに行わせるが、その前提として、求める帯状反射像のみを抽出しその中心座標を求めるパターン処理を必要とする。ITV参照信号発生部は、テレビカメラの走査同期信号と有効視野範囲を限定する信号を発生し、ビデオ信号処理部で安定した2値画像に変換する。画像抽出部は視野の中から目的とする物体の選択を行い、画像処理部では帯状反射像の幅と長さのデータを抽出し、マイクロコンピュータに送ると同時に、平滑化処理により孤立点雑音や、帯状反射像に入る不要な画像成分を除去する。マイクロプロセッサは上記の帯状反射像の位置の検出、並びに上記の座標演算を行う。パターン処理部の主なところをハードウェアで分担させた例である。

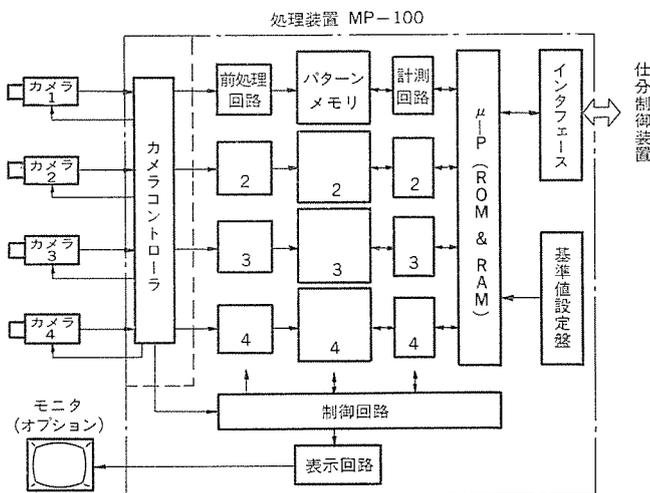
この計測方式は製鉄所のコイルヤードなどにおいて、クレーンが自分のピックアップするコイル(鋼板を円筒状に巻いたもの)の中心位置を認識するために開発したもので、クレーンなどの自動化を実現する鍵となるシステムとして期待される。またこのような情報抽出のために工夫された光学系、パターン処理、複雑な座標演算の組合せをもつシステムは、ロボットなどの自動化機器の視覚計測の基本的な概念であるといえる。

3. 2 形状認識

マイクロコンピュータを基幹とし、実用上の仕様を想定して、できるだけ高度なパターン処理機能を盛り込んだ例を次にのべる⁽¹⁾。パターン情報を処理するためには、多数回メモリアクセスを行い、かつパターンとして複雑な処理を行うため、処理時間がどうしても長くなる。この欠点を克服するため一部の機能をハードウェア化することも、一つの動向として注目される。

図4.は当社の標準的なパターン処理装置《MELSORT》の構成である。2次元の画面を 256×256 個の総素に分割し、2値化された1画面分のデータは、 256×256 ビットのパターンメモリに読み込まれ、次にマイクロプロセッサにて決められた形状比較、照合などを行い、判定結果を出力する。この装置の特長の1つは、パターンメモリに入る前に前処理回路による孤立的雑音を除去すること、及びメモリ制御回路とレジスタからなる計測回路により、パターンメモリとマイクロコンピュータを結合し、アクセス時間を大幅に短縮し、1画面当たりの処理時間が $66 \mu s$ となり、従来の $1/100$ の処理時間を実現していることである。

この装置は、青果物の自動選別などのような形状により対象を判別するシステムのために開発したもので、比較的高度な判別機能をマイクロコンピュータにより実現させている。



注) カメラコントローラは処理装置架内に実装される

図 4. パターン処理装置《MELSORT》の構成図

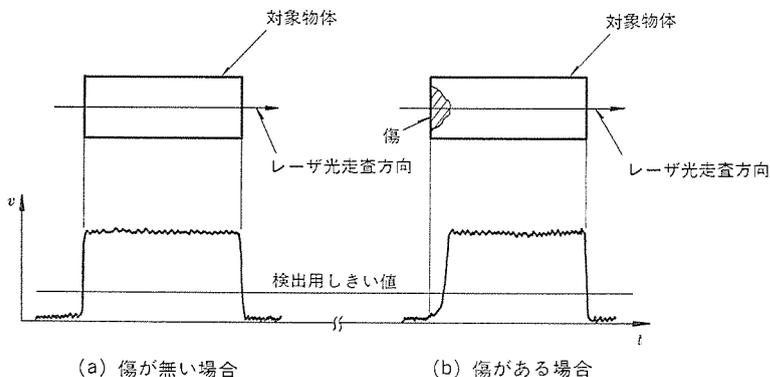


図 5. レーザ光走査式表面検査機の信号波形の例

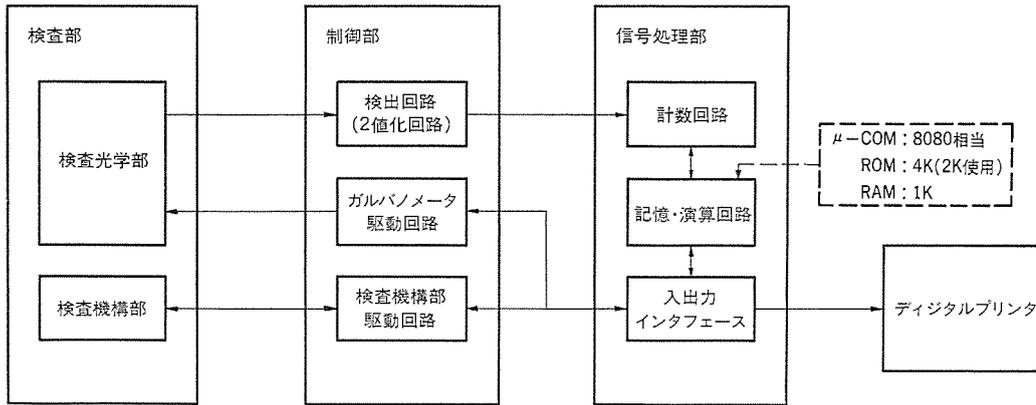


図 6. レーザ光走査式表面検査機の構成

3.3 レーザ光走査式表面検査

表面検査装置にはいくつかの種類があるが、ここではレーザ光線を機械的に走査し、反射光より表面欠陥を検出する場合の応用例をのべる。光を1次元に走査する場合は、走査方向の座標値は光線走査装置からの時間信号により求め、走査方向と垂直の方向の座標は主として対象表面の移動量より求める。このようにすれば表面に対応した2次元情報となり、前に述べたのと基本的には同じである。

いま円筒状機械部品の側面検査の場合を例として述べる。レーザ光線を円筒の側面上で軸方向に走査し、その反射光を集光、検出すると図5のような波形が得られる。円筒が軸のまわりに回転していれば、レーザ光は次々と新しい表面を走査し、そのたびに図のような波形が得られる。図中(b)に示すように表面端部に欠陥があれば、図のように波形に変化が起こる。このような信号を2値化し2次元パターンとして記憶し、欠陥に対応した絵素の分布により、欠陥の大きさの判別が可能となる。

表面検査では、一般に検出すべき欠陥が極めて小さいのが1つの特徴である。特に機械部品などの場合には側面の長さそのものが、部品により、あるいは1つの部品でもその円周上の位置によりばらつきがあり、このばらつきの中から端部の欠陥まで検出する必要がある。ここでのべる方式では図5の波形の幅が対象物体の長さに対応しており、これを2値化し、各走査線ごとの長さデータを計数し、そのヒストグラムをつくることにより判定している。図6は装置の構成であり、各走査線ごとの長さ計数値をマイクロコンピュータのメモリに読み込み、ヒストグラムを作成し、所定の決定論理により検査対象の基準長さを決定する。これを基準として、欠陥の大きさを計算し、対象物の良、不良を判定する。このようにして、多少の長さ分布にばらつきのある部品でも、マイクロコンピュータによる処理により、欠陥の検出、大きさの識別などが可能となる。検査判定時間はこの場合は光線の走査速度により、長さデータ読み込み速度が決められ、走査速度は機械系を含むシステムにより制約されている。

4. 時系列信号波形処理を用いた計測への応用

センサから得られる時系列信号波形から、必要とする計測情報を抽出する計測系にマイクロコンピュータを応用した例を以下に述べる。

4.1 超音波探傷

超音波探傷は送信子より発したパルス状の超音波が、被検材である金属体中を伝ば(播)し、欠陥部で反射されて受信子に達するのを観測するのが通常の方法である。従来よりこの観測はオシロスコープにて行い、被検材の底面の反射(Bエコー)、被検材表面からの反射(S

エコー)との中間にみられる欠陥からの反射(Fエコー)を目視識別し、欠陥の位置と程度との概略を識別している。

この判定をマイクロコンピュータにて定量化し、更に複数台の、方式の異なる検査機を並行して管理し、データ収集を上位のマイクロコンピュータにて行う新しい方式を当社にて開発している。図7に処理系のシステム構成を示す。

上位にマスタマイコンがあり、それに対しスレーブマイコンを置いて、これが超音波探傷を直接行う。1組の超音波探傷を1つのチャネルとし、マスタマイコンには8チャネルまで接続できる。上に述べたとおり超音波パルスは送信され、各エコーによる信号は受信アンプに入る。個別クロック発生部より欠陥エコー(Fエコー)と底面反射(Bエコー)の観測される時間にゲートパルスを発生させ、このゲートパルスの中に入った受信

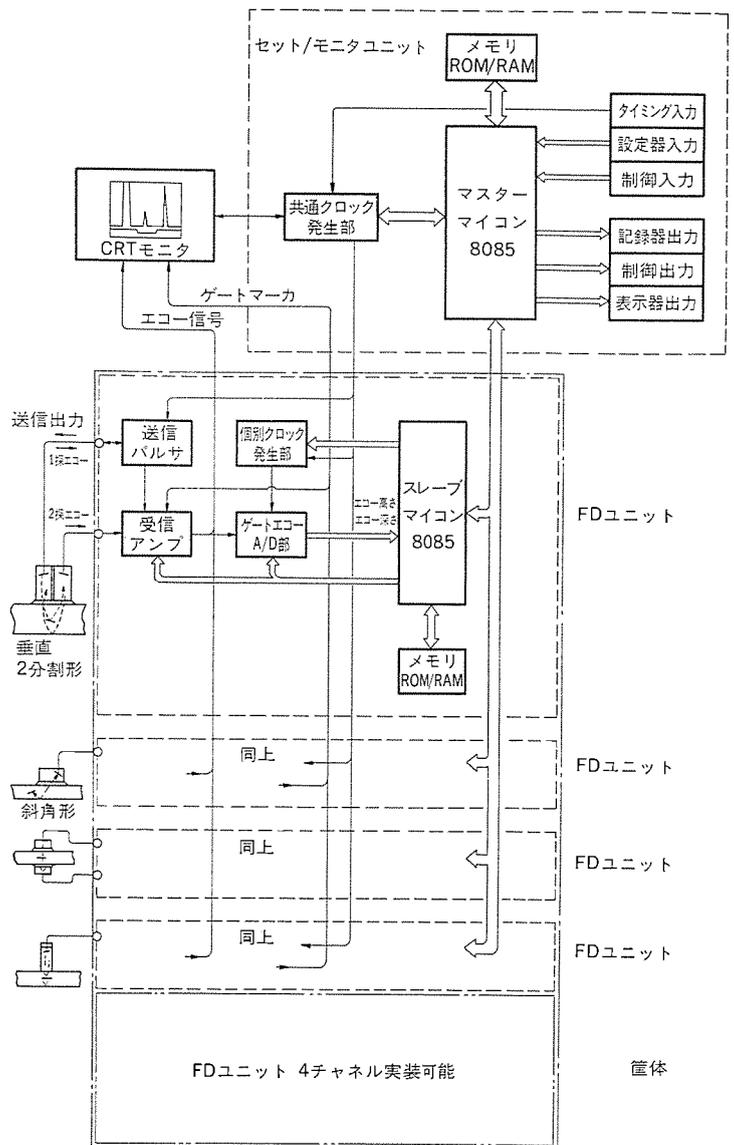


図 7. 多重マイクロプロセッサ制御方式デジタル超音波探傷装置ブロック図

信号パルスのア/D変換を、ゲートア/D部で行う。ここでは受信波形のピーク値と、その時間的な発生位置(被検材深さ方向位置に対応)とがデータとしてスレーブマイコンに読み込まれる。またBエコーから被検材の厚みも計測される。上記のゲートパルスの設定位置や、走査が必要な場合にはその走査方法は、マスタマイコンからの管理データによりスレーブマイコンに指令される。

マスタマイコンは、各チャンネルの計測した欠陥及び被検材厚みデータなどを収集し、処理して必要な表示機器に出力する。また設定器からの入力にもとずき、各チャンネルの計測の管理データをスレーブマイコンに与える。更に上位計算機との通信も行う。各チャンネルは垂直、斜角等各種の検査法が可能である。

このようにこのシステムではマイクロコンピュータを計測系本体と統括の2段に使い、計測そのもののデジタル化、定量化と、計測対象及び検査方式の多様化に対処し、各チャンネルの探傷データの総合化による総合判定まで可能にしている。

4.2 振動波形による異常検出

振動や音により対象の状態を判断することは、視覚と並んで最も人間の得意とする計測である。一般に計測対象の、例えば異常な状態のシグナルは単に時系列波形の簡単な処理では検知できず、状態に対応する時系列信号に含まれる特徴を抽出する必要がある。

回転機などの検査工程で見出される騒音の異常などは、特定の方式によるパワースペクトルなどの統計関数の演算によりようやくその特徴が見出される程度である⁽²⁾。回転機などの異常監視の場合、シグナルがやや顕著になった状態での計測が許されるとしても、異常の種類との対応はパターンとして判別できる程度で、自動判別は難しい。

当社にて開発した回転機軸受異常検出システムでは、振動の時系列波形自身の特徴から異常の種類を判別を行っている。図8.は異常の特徴を示す時系列波形の例である。これは100W級回転機のころがり軸受に取付けた振動センサの波形で、(a)は正常、(b)は外輪、(c)は内輪、(d)は玉の各表面に欠陥をもつ軸受からの波形である。

オンラインで異常を監視する場合には、この時系列信号をそのままマイクロコンピュータに送り、異常検出を行う。具体的なシステムの構成を図9.に示す⁽³⁾。振動センサ(加速度センサ)は軸受に装着され、その出力はローカルステーションに集められる。このローカルステーションは16個までのセンサ入力を集め、順次スキップで切換えつつ、同軸ケーブルでセントラルステーションへ入力信号を送る。入力波形はデジタルに変換され、高速波形メモリに記憶される。このデータはマイクロコンピュータに読み込まれ、波形のピーク値、実効値などが演算され、一定時間ごとに平均化され外部メモリであるフロッピーディスクメモリにデータとして保管される。

プログラマブルゲインコントローラ中にレベル判定機能があり、マイクロコンピュータから与えられた比較値を入力波形が超えるとマイクロコンピュータは診断ルーチンに入り、入力波形を読み込んで、ピーク値、実効値を求め、異常レベルの大きさを判断する。次いで時間波形の包絡線形状の特徴を抽出し、油切れ、傷、異物混入等の異常種別の判定を行う。異常の場合には経時データなどの各種データを出力し、一方でオシロスコープに振動波形を表示し、人間の判断も介入できるようにしている。周波数スペクトルの解析も可能である。

セントラルステーションには、16チャンネルまでローカルステーションを接続でき、

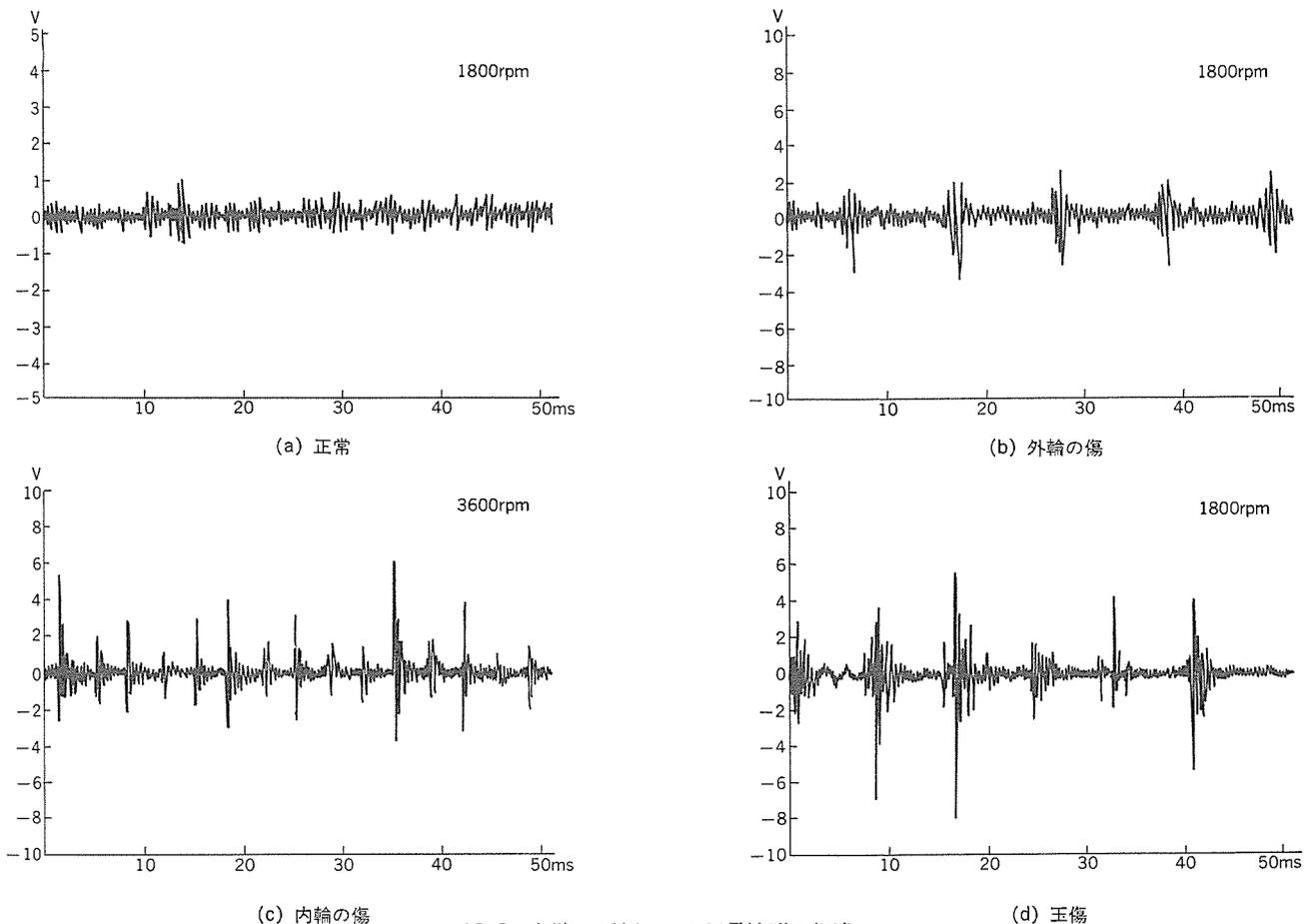


図8. 欠陥の種類による信号波形の相違

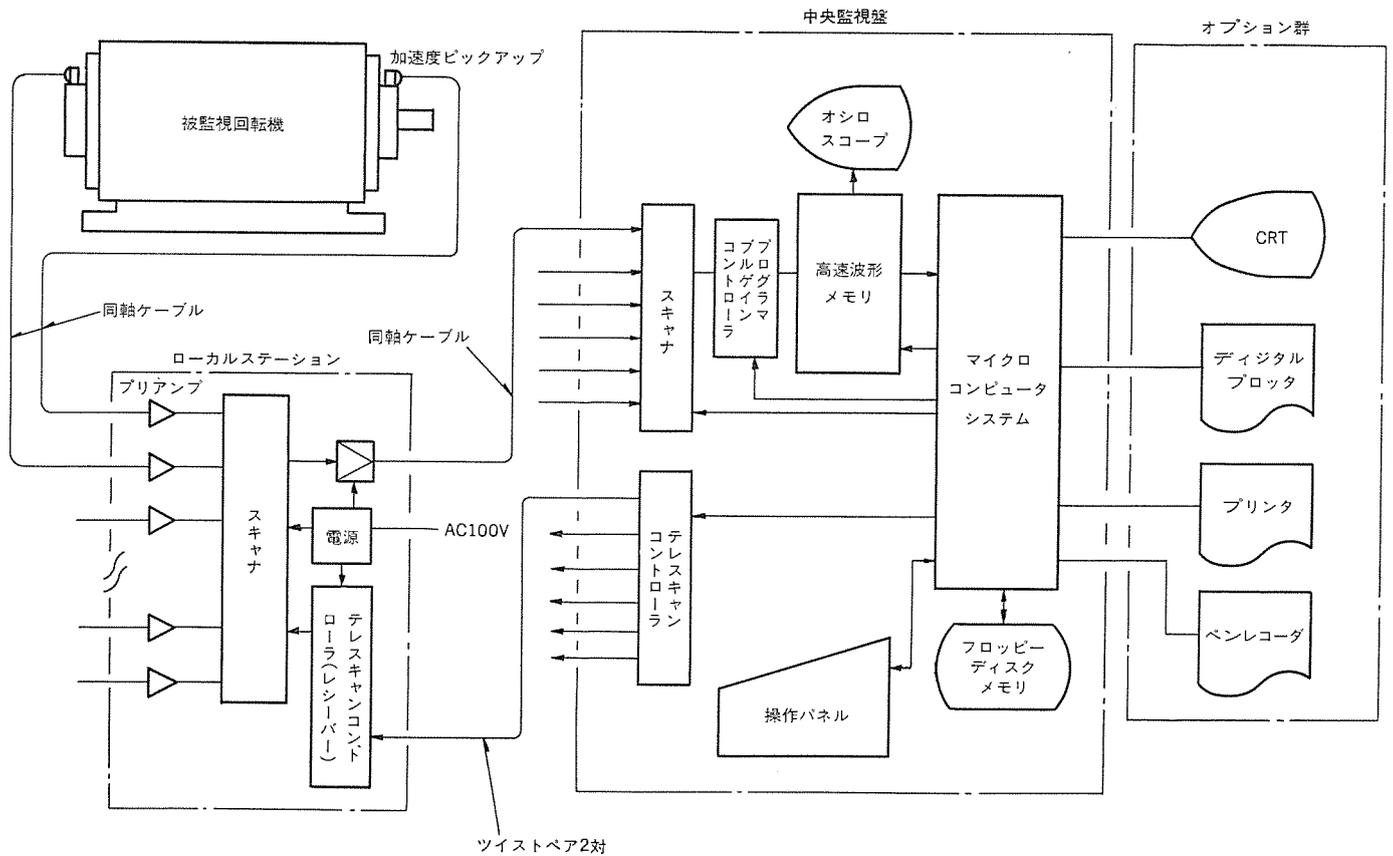


図 9. 軸受異常検出システムの構成

多数の回転機群の監視，及び他の種類の計測データの入力も可能である。こうしたシステムにより各計測値を有機的に結合し，対象の機器・設備の総合的な状態監視システムなどを実現してゆくこともできる。

5. む す び

計測系におけるマイクロコンピュータの応用は，簡単な計算処理や情報制御から比較的規模の大きい計装システムへと応用範囲は広がっている。その構成も計測系の中に組込んだ形から，処理内容を複数段階のマイクロコンピュータにて分担させている形まで，その目的に応じて自由に構成される。

マイクロコンピュータを応用した場合の最も大きな特長として，本論では高度計算機能，パターン処理機能，及び有機的結合計測系をあげ，それに対応して応用事例をのべた。いずれの場合も当面する主たる課題は処理速度にあるといえる。現状では計測システム全体の工夫と，特にパターン処理では相当な機能部分をハードウェアで分担構成することで対応している。計測系の高性能化のためにはマイクロプロセッサ，メモリ，A/D変換器等のより一層の発達が望まれる。最近の開発例で

はマイクロコンピュータの応用により従来実用レベルでは得られなかった機能をもつ計測系が多数実現しており，なお急速に展開しつつある新しい半導体素子の活用を考えると，その将来には明るい展望のもてる分野であるといえる。

参 考 文 献

- (1) 野村，伊藤，苗村：三菱パターン計測・選別システム《MEL-SORT》の開発製品化とその応用，三菱電機技報，53，No. 12，p. 899～903（昭54）
- (2) T. Usami, K. Koizumi, T. Inari and E. Ohno : Practical Application of Diagnostic Signature Analysis to Testing of Rotating Machines, Proc. IFAC Intern. Sym p. Tokyo, Japan, p. 33～39 (1977)
- (3) T. Usami, H. Teshima, S. Ohta, T. Koizumi and E. Ohno : A Dynamic Monitoring System for Bearings Using a Microprocessor, IEEE 1980 IECI proc., Philadelphia, p. 124～128

活性汚泥処理プロセスにおける新しいMLSS制御法

前田 満雄*・前田 和男**・長田 俊二***・桑田 貴平***・中堀 一郎†

1. ま え が き

近年、下水処理プロセスにおいて、流入下水負荷変動に対する放流水質の安定化・処理費用の低減化・省力化などの立場から、活性汚泥処理プロセスの自動化が急速に進展しつつある。MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid control……エアレーションタンク内混合液中の浮遊物濃度を制御する) などの活性汚泥量管理は、DO (Dissolved Oxygen control……エアレーションタンク内の溶存酸素を制御する) による空気量管理と並んで重要な項目の1つである。

従来よりプロセス全体の動力学モデルを用いたシミュレーションによる制御方式の検討例については、かなり報告されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかしながら、MLSS制御については、現在のところ実プラントにおいて実証された例は少ない。これは、(1)プロセス全体に貯えられている汚泥総量の有限性、(2)流入下水量・返送汚泥量の変動によるエアレーションタンク及び最終沈殿池内の汚泥分布の変化特性、(3)複雑な混合現象を伴う流動特性、(4)大きなむだ時間、(5)生物処理特有の問題など、この制御系特有の諸特性の解明が十分には行われていなかったためであろう。

この報告では、エアレーションタンクと最終沈殿池からなる通常のプロセスにおけるMLSS制御の実用性とその効果について検討する。まず、活性汚泥の物質収支に関する基礎式を定式化し、その平衡解に対し、エアレーションタンクと最終沈殿池の双方に貯えられている活性汚泥の総量(以下汚泥総量と呼ぶ)とその配分という観点から理論的考察を行う。すなわち、汚泥総量一定化の条件並びに流入下水配分比率、返送比率及び活性汚泥配分比率の間の基本的関係を明確にする⁽⁴⁾とともに、MLSS制御は汚泥総量管理と汚泥配分比率制御を組合せて実現できること、及び返送比率制御がMLSSの安定化に特に有効であることを導く。

次に、実プラントデータによって上記定常時の基本特性を検証し、非定常時のMLSSの変動要因について基礎的な実験的考察を行う。

以上の理論的及び実験的考察に基づき、汚泥貯留槽を有しない通常の実プラントに適用し得る新しいMLSS制御法を提示する。そして、この制御法の有効性を確認するため、MLSS制御の制御性・水質について無制御系との比較を行った。

2. 活性汚泥に関する収支モデル

ステップエアレーション法で運用される活性汚泥処理プロセスを模式図で示すと図1. のようになる。ここで図1. に用いた変数は次のように定義される。

- Q_i : 総流入下水量 (m³/h)
- $Q_{ia} \sim Q_{id}$: A~D 回路流入下水量 (m³/h)
- Q_r : 返送汚泥流量 (m³/h)
- Q_w : 余剰汚泥引抜流量 (m³/h)
- $\mu_a \sim \mu_d$: A~D 回路汚泥増殖率 (1/h)
- $C_a \sim C_d$: A~D 回路 MLSS 濃度 (mg/l)

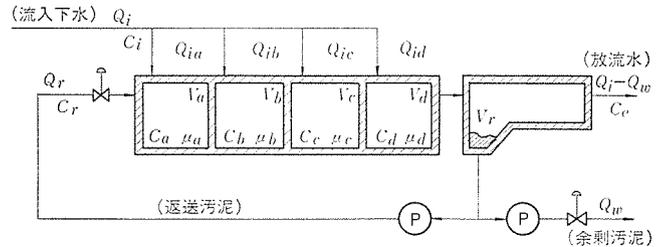


図 1. ステップ式活性汚泥プロセスの模式図

- C_r : 返送汚泥濃度 (mg/l)
- $V_a \sim V_d$: A~D 回路容積 (m³)
- V_r : 沈殿池汚泥容積 (m³)
- C_i : 流入 SS (mg/l)
- C_e : 放流 SS (mg/l)

活性汚泥プロセスを表す数学的モデルには、通常微生物濃度・有機物濃度・溶存酸素濃度・活性度など数多くのプロセス変数が必要とされるが、ここでは、MLSS制御の可能性を検討する立場から汚泥濃度のみに着目し、その物質収支を考えることにする。

(エアレーションタンク)

$$V_a \dot{C}_a = Q_r C_r + Q_{ia} C_i - (Q_r + Q_{ia}) C_a + \mu_a C_a V_a \dots (1)$$

$$V_b \dot{C}_b = (Q_r + Q_{ia}) C_a + Q_{ib} C_i - (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib}) C_b + \mu_b C_b V_b \dots (2)$$

$$V_c \dot{C}_c = (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib}) C_b + Q_{ic} C_i - (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic}) C_c + \mu_c C_c V_c \dots (3)$$

$$V_d \dot{C}_d = (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic}) C_c + Q_{id} C_i - (Q_r + Q_{id}) C_d + \mu_d C_d V_d \dots (4)$$

(最終沈殿池)

$$V_r \dot{C}_r = \{(Q_r + Q_i) \cdot C_d\}^{(t-\tau_s)} - (Q_r + Q_w) C_r - (Q - Q_w) C_e \dots (5)$$

エアレーションタンク A 回路における汚泥収支式(1)において、左辺は、単位時間当たりの汚泥変化量を示す。右辺の第1項は、最終沈殿池から返送される汚泥量、第2項は、A 回路への流入 SS (Influent Suspended Solid……流入下水中に懸濁している物質) による流入汚泥項、第3項は、B 回路への流出汚泥項である。最終項は、A 回路における汚泥増殖項である。以下 B, C, D 回路も同様である。

一方、最終沈殿池においては、式(5)の左辺は、最終沈殿池ピット内汚泥量の変化量を示す。右辺第1項は、汚泥ピットへの流入項であり、ここでは、D 回路流出汚泥が τ_s 時間かかって汚泥ピットに達していると仮定している。第2項は汚泥引抜項、第3項は放流きよ(渠)への流出項である。

3. 汚泥総量とその配分に関する基礎方程式⁽⁴⁾⁽⁵⁾

まず2章の物質収支式の左辺を零とし、辺々重ね合わせると汚泥総量一定化の条件が導かれる。

すなわち

$$Q_w C_r = Q_i C_i + (\mu_a C_a V_a + \mu_b C_b V_b + \mu_c C_c V_c + \mu_d C_d V_d) - (Q_i - Q_w) C_e \quad (6)$$

となる。上式(6)は、余剰汚泥引抜量を流入 SS 量と自己増殖量の和から流出 SS 量を引いたものに等しくすれば、汚泥総量を一定にできるということを意味している。

次に式(6)での汚泥総量一定化の下で、汚泥配分に関する基礎方程式を導く。いま式(6)に示される各項は、それぞれ式(1)~式(5)における他の項と比較してほとんど無視できるとして省略すると、式(1)~式(5)の平衡解より、各回路の汚泥量は

$$V_a C_a = \frac{V_a}{Q_r + Q_{ia}} (Q_r + Q_i) C_d \quad (7)$$

$$V_b C_b = \frac{V_b}{Q_r + Q_{ia} + Q_{ib}} (Q_r + Q_i) C_d \quad (8)$$

$$V_c C_c = \frac{V_c}{Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic}} (Q_r + Q_i) C_d \quad (9)$$

$$V_d C_d = \frac{V_d}{Q_r + Q_i} (Q_r + Q_i) C_d \quad (10)$$

$$V_r C_r = \frac{V_r}{Q_r} (Q_r + Q_i) C_d \quad (11)$$

で表される。ここで例えば式(7)の場合、右辺の $(Q_r + Q_i) C_d$ は活性汚泥循環量⁽⁶⁾ W (プロセス内を循環する活性汚泥の量)であり、 $V_a / (Q_r + Q_{ia})$ は A 回路の汚泥滞留時間 (池の有効容量を単位時間当たり流入量で除した値) を意味する。したがって A 回路汚泥量は、活性汚泥循環量と A 回路の汚泥滞留時間との積で表される。

各回路の汚泥量及び汚泥滞留時間をそれぞれ S_i , τ_i ($i=a \sim d$, r) とし、その総和をそれぞれ汚泥総量 S_T , 汚泥回転時間 τ_T ⁽⁶⁾ とすると

$$S_i = \tau_i W \quad (i=a \sim d, T) \quad (12)$$

$$S_i / S_T = \tau_i / \tau_T \quad (i=a \sim d, r) \quad (13)$$

となる。式(7)~式(11)を更に整理すると、汚泥配分比率 ($\bar{C}_a \sim \bar{C}_r$) と流入下水配分比率 ($a \sim d$) と返送比率 r の関係が次のように導かれる。

$$\bar{C}_a \triangleq \frac{S_a}{S_T} = V_a / (r+a) u \quad (14)$$

$$\bar{C}_b \triangleq \frac{S_b}{S_T} = V_b / (r+a+b) u \quad (15)$$

$$\bar{C}_c \triangleq \frac{S_c}{S_T} = V_c / (r+a+b+c) u \quad (16)$$

$$\bar{C}_d \triangleq \frac{S_d}{S_T} = V_d / (r+1) u \quad (17)$$

$$\bar{C}_s \triangleq \frac{S_s}{S_T} = \frac{Q_i \cdot \tau_s}{u} \quad (18)$$

$$\bar{C}_r \triangleq \frac{S_r}{S_T} = V_r / r u \quad (19)$$

ただし

$$u = \left(\frac{V_a}{r+a} + \frac{V_b}{r+a+b} + \frac{V_c}{r+a+b+c} + \frac{V_d}{r+1} + Q_i \cdot \tau_s + \frac{V_r}{r} \right) \quad (20)$$

$$a \triangleq \frac{Q_{ia}}{Q_i}, \quad b \triangleq \frac{Q_{ib}}{Q_i}, \quad c \triangleq \frac{Q_{ic}}{Q_i}, \quad d \triangleq \frac{Q_{id}}{Q_i}, \quad r \triangleq \frac{Q_r}{Q_i}$$

S_s は汚泥沈降部汚泥量とする。

以上のことから、MLSS 制御は流入下水配分比率及び返送比率制御と汚泥総量管理を組合せて実現できることが容易に推察される。上の条件で返送比率を変化させた場合の汚泥配分比率 $\bar{C}_a \sim \bar{C}_r$ は、図 2. のようになる。図 2. よりエアレーションタンクの汚泥配分比率は返送比率 r の上昇あるいは流入下水量の減少とともに大きくなること分かる。一方最終沈殿池の汚泥配分比率 \bar{C}_r は上とは逆の傾向を示す。

また図 2. より通常の施設では、返送比率は 10~50 % 程度しか自由度がないため、返送比率の調整による汚泥配分比率の変化幅も小さく、返送汚泥量操作のみによる MLSS 制御にはかなり限界があり、汚泥総量管理が必要不可欠であることが示される。

4. 実プロセスでの現象解析

ほぼ同一流量負荷を与えた場合の返送流量一定制御と返送比率一定制御を比較する。この場合の返送汚泥濃度及び MLSS の時系列変化特性を図 3. に示す。返送比率制御では、定常的には流入下水量の多少にかかわらず返送汚泥濃度がほぼ一定になる。これを受けて各回路 MLSS もほぼ一定になっており、3 章で述べたとおりであ

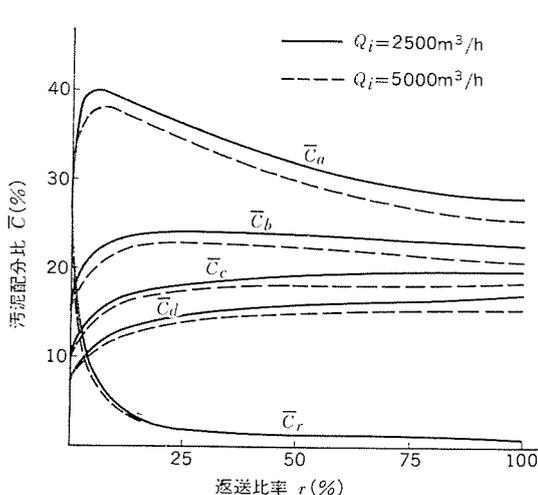


図 2. 活性汚泥配分比率と返送比率

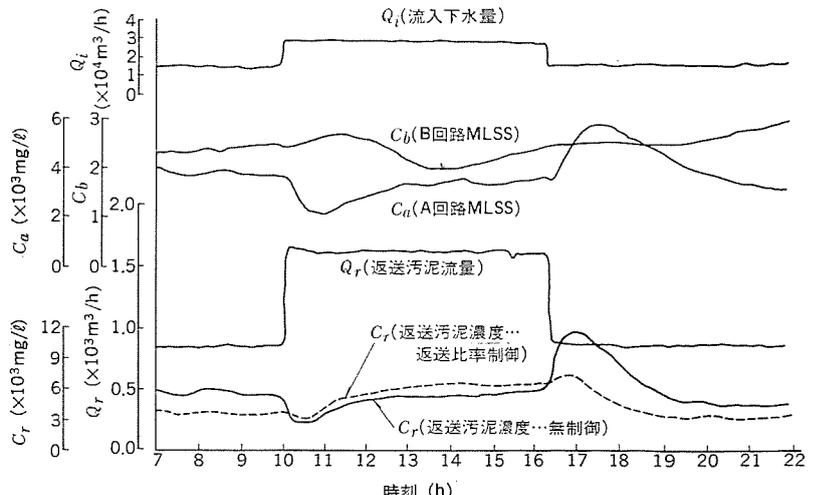


図 3. 無制御系と返送比率制御系の応答性の比較

る。ところで返送汚泥流量一定の場合、流入下水量の少ないときは、その多いときに比べて返送汚泥濃度は低い値を示す。これは返送比率が高くなり、最終沈殿池の汚泥配分比が小さくなるためである。

一方流量突変時の過渡応答を比較してみると、返送比率制御の方が返送汚泥濃度の変動幅が大きい。これは、流入下水量に応じて返送汚泥流量を変えているので、最終沈殿池の汚泥の時間遅れによる変化特性をより強める方向に働いたためである。

以上、実データの解析より返送比率制御は、定常的には系の安定化につながるが、流量突変時には返送汚泥濃度にかんがりの変動を引き起こすことが分かり、この変動の抑制に MLSS フィードバック制御を付加する必要があることが分かった。

5. 新しい活性汚泥量制御法⁽⁵⁾⁽⁷⁾

3. 4 節の理論的及び実験的考察に基づき、長期間安定に機能する制御法の手順を次に述べる。

(1) MLSS 設定値を維持するのに必要な汚泥総量を確保するための余剰汚泥引抜き量操作による汚泥総量管理を行う。

(2) プロセス各部の MLSS 変化を定常的に安定にするため、返送比率制御を基準制御とする。

(3) (2)による最終沈殿池での過渡特性による MLSS の変動を抑制するため、返送汚泥流量操作による MLSS フィードバック制御を修正制御として付加する。なお、返送汚泥濃度変化を抑制する返送汚泥濃度 フィードバック制御を更に加味することも場合によっては必要となる。

すなわち、以上の制御は次の式で実現される。

$$Q_w = K_1 Q_i + G_1 (S_r - S_r^*) \dots \dots \dots (21)$$

$$Q_r = K_2 Q_i + G_2 (x_j^* - x_j) - G_3 (x_r^* - x_r) \dots \dots \dots (22)$$

(j=a or b)

ここで

K_1, K_2 : 流入下水量に対する比率, $G_1 \sim G_3$: フィードバックゲインとする。なお * は設定値を示す。

この制御法のフローシートを図 4. に示す。

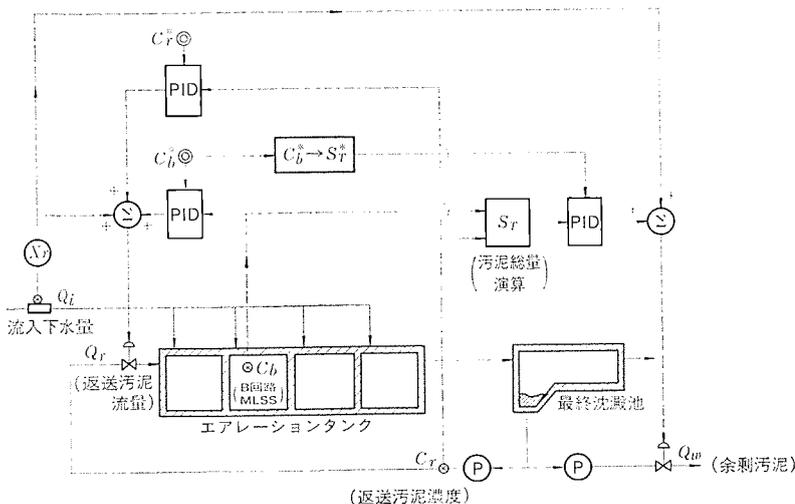


図 4. 新しく提案された MLSS 制御回路構成図

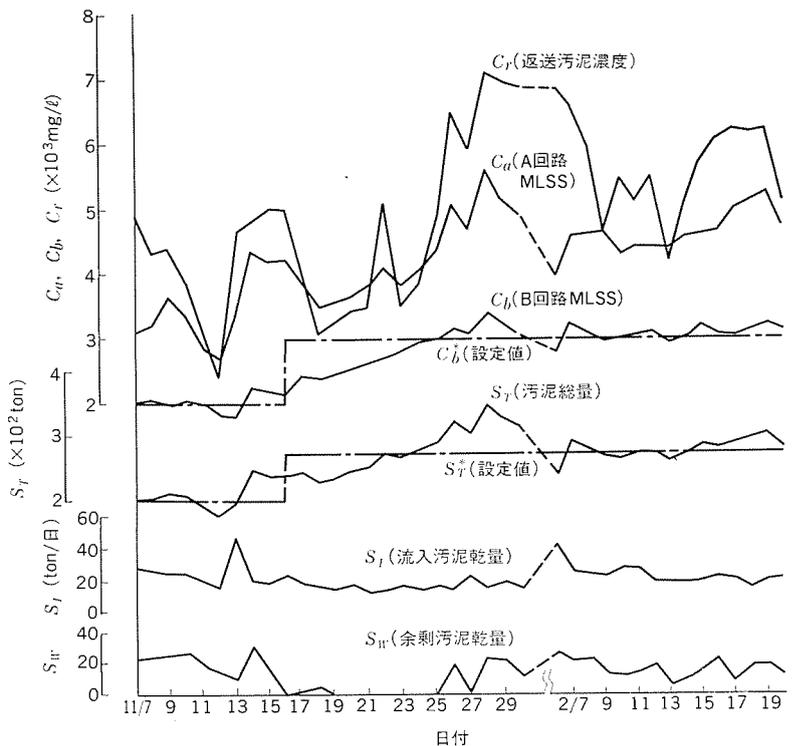


図 5. MLSS 及び汚泥総量の長期的傾向

6. 実プラントへの適用結果

この制御法の実用性を確かめるため、実プラントに適用し、6か月の実験を行った。基本的制御回路は図 4. に述べたとおりであるが、実プラントでは若干変更している。また、汚泥総量管理については、その指示値は 1 度運転員に伝えられ、改めて手動設定値として用いている。なお、式(22)の返送汚泥濃度のフィードバック制御は、付加しなかった。

長期間の MLSS の安定性を図 5. に示す。図 5. より長期間にわたって MLSS がほぼ設定値に維持されていたことが分かる。また、MLSS の設定値を 2,000 mg/l から 3,000 mg/l に変更した場合の応答性について検討した結果、MLSS が安定するまでに約 10 日というかなりの日数を必要とすること、及び MLSS の設定値変更に伴い、同時に汚泥総量設定値の変更が必要であることが分かった。

7. MLSS 制御の運用効果

図 4. に示す制御回路に基づいて実プラントを用い、制御系 (MLSS 及び DO 制御) と無制御系 (返送流量一定及び DO 制御) とを同時運転しながら、制御性、水質について比較検討した結果について示す⁽⁷⁾。

実験に供した施設は図 6. に示すように、3 槽のエアレーションタンク及び 6 池の最終沈殿池で構成されたものを 1 系列とした。1 系列当たりの処理能力は 40 万 m³/日であり、これを 2 系列用い、一方を制御系、他方を無制御系として同時運転を行った。調査条件を表 1. に示す。水質試験 (手分析) に関しては、下水道試験法に準じて行った。採水地点はエアレーションタンク各代表槽の流入水及び流出水である。採取水はおのおの

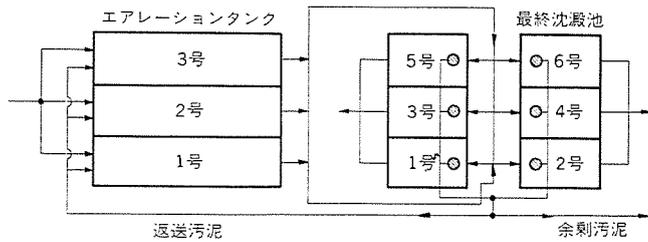


図 6. 施設フロー

表 1. 調査条件

調査回数	系	DO 設定値 (mg/l)	MLSS 設定値 (mg/l)	返送汚泥流量 (m ³ /h)	制御方式
第 1 回	無制御系	B: 1 D: 2	—	1,200	返送流量一定
	制御系	B: 1 D: 2	2,500	—	MLSS 制御
第 2 回	無制御系	B: 2 D: 2	—	1,400	返送流量一定
	制御系	B: 2 D: 2	3,000	—	MLSS 制御
第 3 回	無制御系	B: 2 D: 2	—	1,400	返送流量一定
	制御系	B: 2 D: 2	3,000	—	MLSS 制御

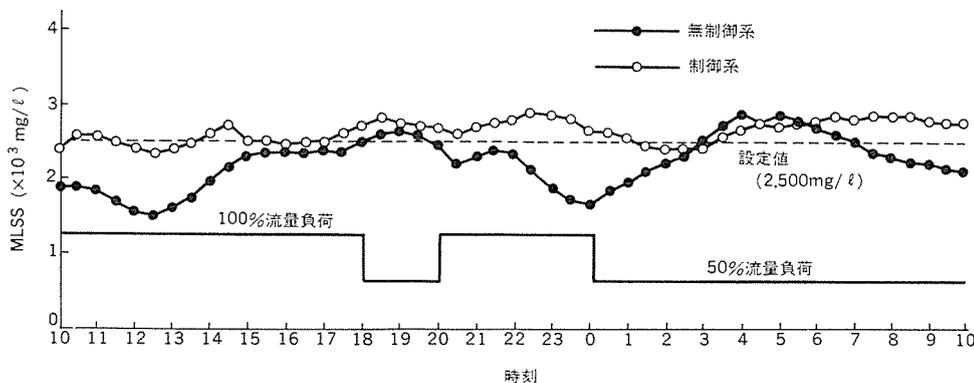


図 7. 無制御系と制御系における B 回路 MLSS 時系列 (第 1 回調査)

No. 5A ろ(濾)紙で濾過し、濾液を検水とした。また、自動計測データについては、計算機にロギングした。

7.1 MLSS 制御性⁽⁷⁾

制御系及び無制御系のエアレーションタンク各代表槽について、制御地点 (B 回路) MLSS 時系列比較結果は文献 (7) より図 7. のようになる。図 7. において、制御系 MLSS 日平均値 (\bar{C}) = 2,626 mg/l, 標準偏差 (σ) = 159 mg/l, 変動係数 (σ/\bar{C}) = 0.06 であったのに対し、無制御系では、 \bar{C} = 2,164 mg/l, σ = 363 mg/l, σ/\bar{C} = 0.168 であり、制御による MLSS の安定性が確認された。また、代表槽による系列全体の制御性についても同様の比較を行った結果、系列内各槽の MLSS は、ほぼ同一挙動を示していることを確認した。

図 7. においてエアレーションタンク内における汚泥総量は、制御系代表槽は 54t, 無制御系では 63t で制御系より 16% 多かった。この状態で水質について比較結果をつぎに述べる。

7.2 水質⁽⁷⁾

制御系及び無制御系の各地点から、2 時間ごとに 24 時間同時採水を行い、分析した結果を表 2. に示す。また代表的水質例として、

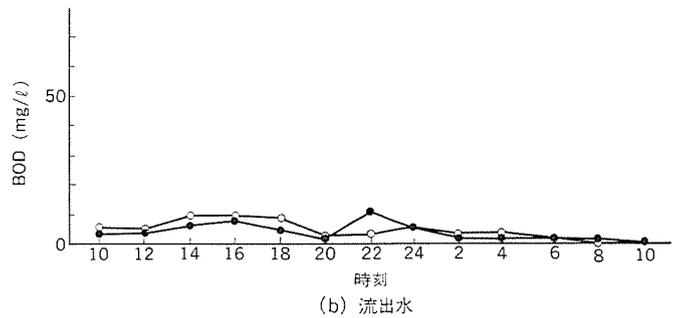
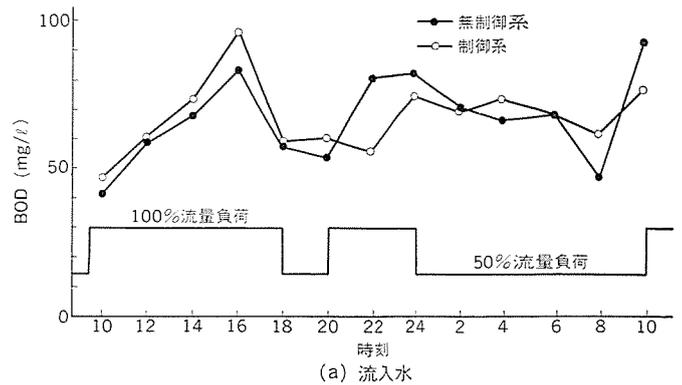


図 8. 無制御系と制御系における BOD 時系列 (第 1 回調査)

表 2. BOD の最大, 最小, 平均値 (第 1 回調査)

		BOD (mg/l)	
		無制御系	制御系
流入水	最大	96.0	97.6
	最小	41.2	47.2
	平均値	68.4	68.3
流出水	最大	11.9	9.9
	最小	1.3	0.1
	平均値	4.7	5.0

BOD (Biochemical Oxygen Demand……水質の指標の 1

つで生物化学的酸素要求量と呼ばれ、溶存酸素の存在のもとで水中の分解可能性物質が生物化学的に安定化するために必要な酸素量をいう) の時系列は、文献 (7) より図 8. のようになる。

これらの結果によれば、文献 (7) にも述べられているように、制御の有無による差異はみられない。これは、さきに述べたように、エアレーションタンク内汚泥乾量の多少による影響もあり、水質負荷 (BOD/SS 負荷……エアレーションタンク内の単位 MLSS 量当たり 1 日に流入する BOD 量) と関連づけて検討を加える。

まず、MLSS 制御によって、BOD/SS 負荷がどのように影響されるかについて、エアレーションタンク内各回路及び全回路、日平均値について検討した結果は文献 (7) より図 9. のようになる。ここで平均流入扉開度とは、A 回路流入扉開度を示すものである。図 9. に示すように、ステップエアレーション法では、下流回路に進むに従い、負荷は増大し、流入扉開度によっても影響を受ける。

つぎに、B 回路 MLSS 制御が全 BOD/SS 負荷の安定性に及ぼす影響について検討した結果は、文献 (7) より図 10. のようになる。図 10. によれば、制御によって負荷の安定性は向上するが、そ

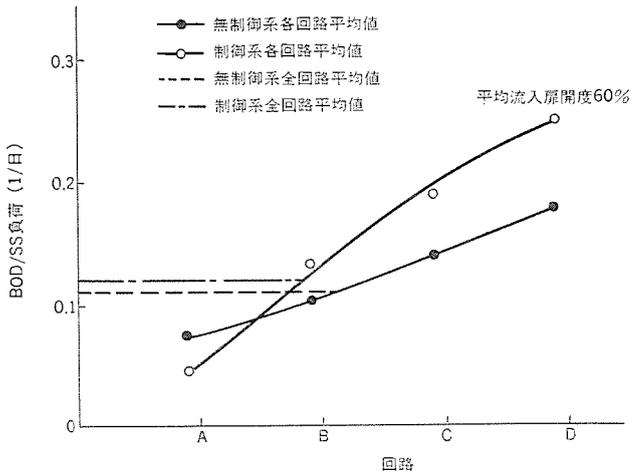


図 9. 各回路日平均 BOD/SS 負荷 (第 1 回調査)

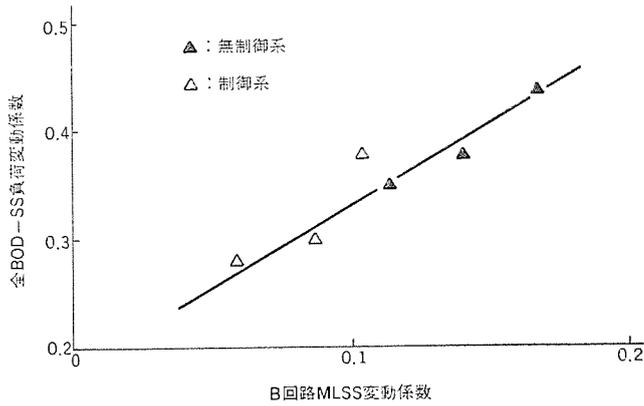


図 10. 無制御系, 制御系 B 回路 MLSS 変動係数と全 BOD/SS 負荷変動係数との関係 (第 1 ~ 第 3 回調査)

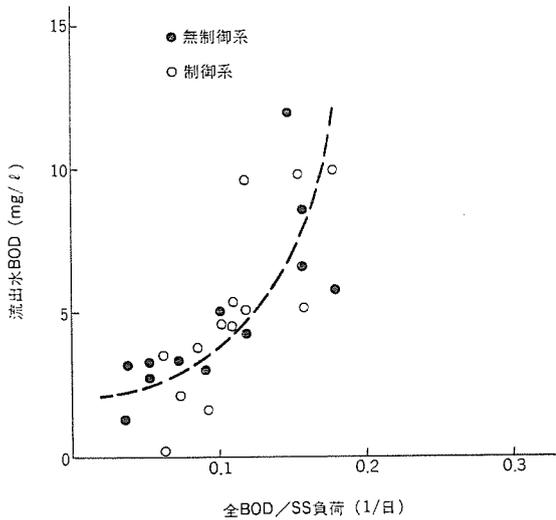


図 11. 全 BOD/SS 負荷と流出水 BOD との関係 (第 1 回調査)

の限界は, MLSS を完全に一定化したとしても, 流入 BOD 濃度や流入水量の変動に基づく負荷変動は, 依然残ることを示している。

ここで, BOD/SS 負荷が処理水質に及ぼす影響について検討する。文献(7)に示されている図 11. は, 全 BOD/SS 負荷と流出水 BOD との関係のプロットしたものである。図 11. から分かるように, 処理水質は, 制御の有無によらず, BOD/SS 負荷に依存している。このことから MLSS 制御の処理水質に対する運用効果は, MLSS の設定値及び BOD/SS 負荷の大きさによって異なっていくことが理解されよう。したがって, 定常的に BOD/SS 負荷の低い状態で運転されている処理施設においては, 制御によって更に水質の向上を期待するものではなく, 総合的な維持管理の向上を図るものであることが示唆された。

8. む す び

この報告では, 新しい MLSS 制御法の実用性とその効果について検討した。まず, 汚泥収支モデルの平衡解に理論的検討を加え, 活性汚泥循環量と各回路汚泥滞留時間, そして各回路汚泥量との関係, 並びに汚泥配分比と流入下水配分比と返送比率との関係を明らかにした。次に, 実プラントデータを解析し, MLSS の変動要因とその対策について実験的検討を加えた。

以上の考察に基づき MLSS 制御の具体的方法を提示した。実プラントに適用し無制御系と比較したところ, MLSS の安定性については, 短期的にも長期的にも著しい改善を示したものの, 処理水質については顕著な差はなかった。

今後残された課題として, 汚泥総量推定の高精度化, 並びにその自動化と処理水質・送気量・余剰汚泥発生量に及ぼす影響の検討などがある。

なお, 本稿作成に当たって, ご指導とご協力をいただいた東京都下水道局の関係各位に対し, 深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) J. B. Busby etc. : "Dynamic Modeling and Control Strategies to the Activated Sludge Process" J WPCF, 47, No. 5, MAY (1975)
- (2) R. P. Härmäläinen etc. : "A control Model for Activated Sludge Wastewater Process" IFAC, 61.6, 1~10 (1975)
- (3) 田沼: 下水処理プロセスにおける水質最適フィードバック, SICE 論文集, 15, No. 1 (1979)
- (4) 前田: 活性汚泥プロセスにおける汚泥の総量と配分に関する制御について, 第 16 回下水道研究発表会, 173/175 (1979)
- (5) 中掘ほか: MLSS 制御と総汚泥量制御の関係について, 第 17 回下水道研究発表会, 540/542 (1980)
- (6) 松井: 汚泥日令, 汚泥滞留時間に代わる新しい活性汚泥管理指標, 汚泥回転数の提案, 下水道協会誌, 12-30, 31/41 (1973)
- (7) 荻島, 中里: 実施設における MLSS 制御効果, 第 17 回下水道研究発表会, 537/539 (1980)

食品プロセスにおける計装技術の応用

柳下紀久次*・小原博修**・木戸正克***

1. ま え が き

鉄鋼、紙パルプ及び有機化学などに先導されて導入されてきたデジタル計装制御システムは、最近、それら産業と比較して設備規模の小さい食品工業にも逐次導入されるようになってきた。この分野への導入過程も他産業と同様、制御用計算機による集中形制御から、分散形デジタル計装制御へと進んできた。

食品工業へのデジタル計装システムの導入状況は、全製造業中の1～2%と推定され少ない。その原因としては、①設備規模に対しこの計装制御システムのコスト比重が大き、②人間の食生活と直結し、社会的影響度が高く、使えない装置の導入に不安感を持つなどが考えられる。しかし、今後は、マイクロコンピュータを使用したデジタル制御装置の価格低減と信頼度向上による幅広い普及、社会の嗜好多様化による製造の複雑化などにより、設備の一部に適用するユニット制御として、また総合的な分散形デジタル制御として逐次導入されていくであろう。

食品工業における計装自動化については、他産業と比較し以下の特徴をもつ。

- (1) 設備規模は、先導形他産業と比較し、小さいが使い方が複雑である。同一設備を使用して、多種の製品を製造したり、食品につきものの殺菌、洗浄等の工程がある。
- (2) 食品製造の絶対条件として、製造上の間違いは許されない。
- (3) 製造の形態は、製品の均質化を目的とする少種多量生産と嗜好の多様化に因ずる多種少量生産がある。多種少量生産は、製造品種切替のひん(頻)度が高い。
- (4) DDCは高度なものは少ないがシーケンス制御が複雑である。DDCの種類は、温度40%、流量20%、液位20%、圧力10%という報告⁽¹⁾もある。
- (5) 嗜好に結びつく関係上、製品の製造順位、ブレンド精度が製品の品質に影響を与える。
- (6) 食品関係のセンサ開発の遅れがあり完全な自動化にはいたらない。最近、酵素膜センサ及び微生物センサが実用の段階に入りつつある⁽²⁾。

このような特徴を持つ食品工業に当社は、過去、制御用計算機、ユニット制御用マイクロコンピュータを納入してきた。特に、昭和55年、乳製品プラントへ分散形デジタル計装システムを納入したのでそのシ

SYU: 同期装置

C/S: コンピュータステーション

L/S: ローカルステーション

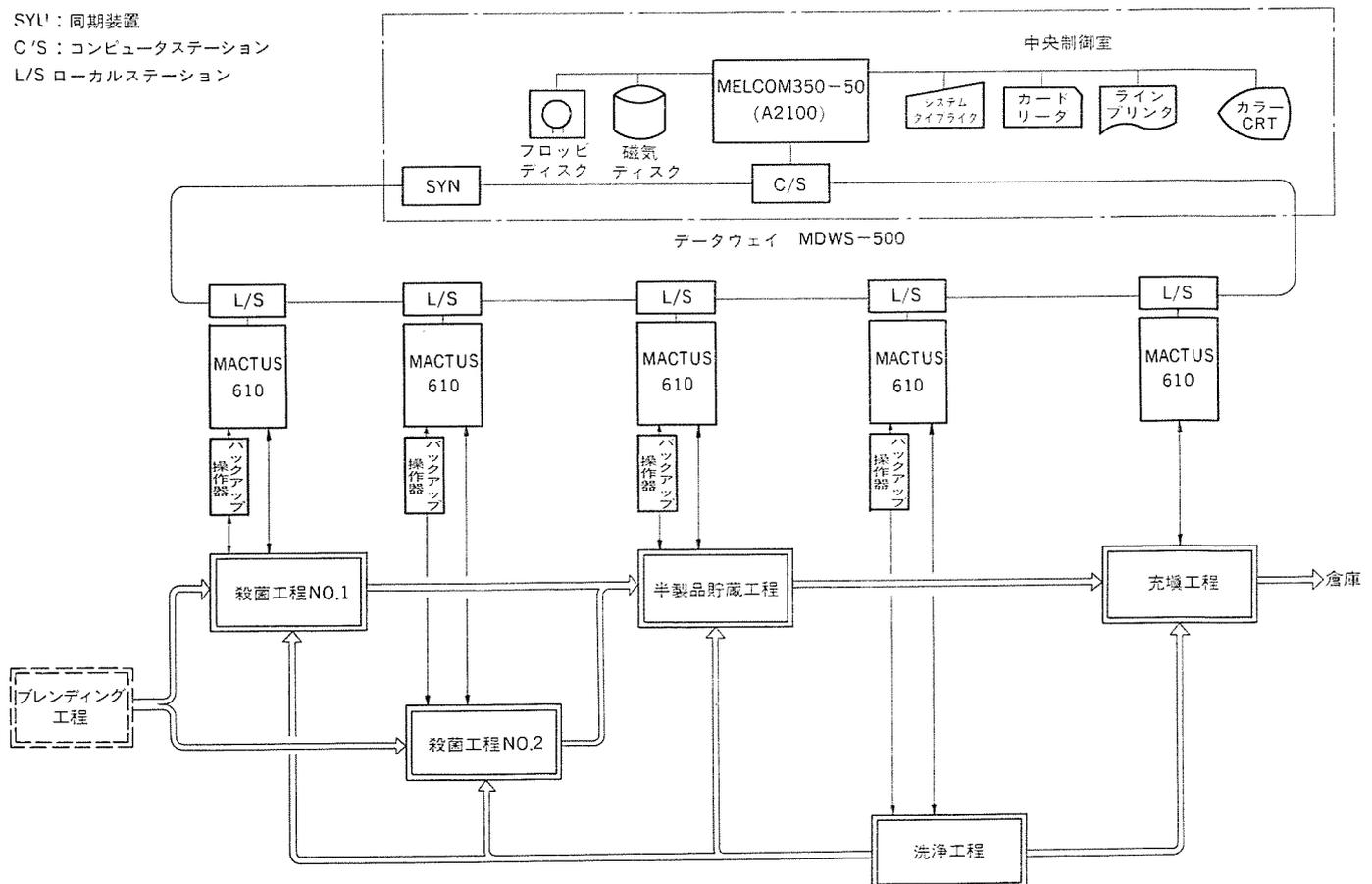


図 1. システム構成図

テムを以下に紹介する。

2. システム概要

このシステムは、各種原料がブレンドされた後の殺菌工程から、容器に充てん(填)する充填工程までを管理する分散形デジタル計装システムである。工程の流れ及びシステム構成図を図1.に示す。

殺菌工程では、乳製品をプレートヒータにより殺菌するが、製品品質をそこなわないようにするため、急速加温、急速冷却、脂肪分の含有分均質化及びスタートアップ、設備異常時の半製品回収などが行われる。殺菌された半製品は、充填工程との製造処理能力のバランスをとるため、半製品受入れ用の複数タンクに製品ごとに中間貯蔵される。中間貯蔵の半製品は、出荷計画に基づき充填工程へ送られ、充填機で容器に充填される。充填機は、バッチごとの前工程生産能力に比較し、1台当たりの処理能力が低い(製品単位が細かい)多数台設置され、スケジューリングに基づき稼働される。それら一連のバッチごとの生産の合間に、食品衛生上及び同一設備で多種製品が製造される関係上、蒸気、洗剤、湯、水を使用して、製造設備の殺菌、洗浄が行われ、製品の品質維持が行われる。

このプラントに分散形デジタル計装システムを導入するに当たって以下が考慮されている。

- (1) ローカルコントローラ及びセンター計算機が最も効率良く機能を発揮できるよう機能分担を決定すること。
- (2) ローカルコントローラ間の分担範囲を、製造管理区分、設備設置状態、生産工程、設備変更の容易さなどから決定すること。
- (3) システム内の1装置が自動系から解列されても全体のシステムダウン又はシステム機能の大幅低下とならぬよう各ソフトウェア及びマンマシンを計画すること。
- (4) ローカル間、ローカルとセンター間のコミュニケーションの内容、容量、必要伝送速度を検討し、コミュニケーションがシステムのあい(隘)路とならないようにすること。
- (5) センターシステムのCRTが操業の主体機器となるので、そのオペレーション方式にはプラントの操業実体を十分考慮したものとすること。

このシステムは、図1.に示すように、中央制御室に設置される計算機システム《MELCOM 350-50》(A 2100)と現場に分散設置されるローカルコントローラ《MACTUS 610》5台とそれらを結合するデータウェイMDWS-500より成る。《MELCOM 350-50》(A 2100)は、プラント全体の監視、制御指示、製造管理、製造実績記録を行い、《MACTUS 610》は、プラントのコントロール(DDC及びシーケンス)を行う。その間を結合するMDWS-500は、《MACTUS 610》間のN:N伝送と、《MELCOM 350-50》(A 2100)と《MACTUS 610》間の1:N伝送を並列して実行する。以下それらサブシステムを紹介する。

3. ローカルコントロールシステム

3.1 ローカルコントロールシステムの機能

食品プロセスのように製品銘柄の変更に伴う運転条件の変動更には運転中の周囲条件の動的変化に対する対応などバッチプロセス制御には多くの複雑な機能が要求される。したがって、このシステムのローカルコントローラにも装置の運転に関係した次のすべての機能が含まれている。

- (1) シーケンス制御機能

装置の運転状態は、各種インタロック信号から成るシーケンスロジックで決定されるが、一般的に次のような手順でプロセスが運転される。

- (a) 運転すべき装置の選択、使用すべき洗剤の選択、プロセス運転モードの選択
- (b) 該当する装置の洗浄が終了し、使用可能なことの確認
- (c) 該当する装置の前後の工程を担当する装置の状態の確認
- (d) プロセスの運転開始
- (e) 異常発生時の処理
プロセス運転 ホールド
プロセスシャットダウン 又は特殊処理
再スタート
- (f) プロセスのメンテナンス
インチャライズ、ライン 切換等

(2) DDC制御機能

装置の温度、圧力、レベル等を処理工程ごとに決められた設定値に保つことが必要である。この処理のためにPID演算によるDDC制御を行っているが、連続制御プロセスに比べてこのシステムのようなバッチプロセスにおいては製品の銘柄、処理工程等により目標値を種々変動させるため、DDC制御機能がシーケンス制御機能と複雑に絡み合っている。DDC制御機能は最大8ループまで処理可能でありカスケード制御も1ループ内で処理している。DDC制御機能は、次のような機能から構成している。

- (a) 入出力信号の処理と演算制御との結合
- (b) 単純PID演算及びカスケードPID演算
- (c) 制御演算パラメータ
- (d) リミット値

リモート運転モードにすると、DDC制御演算に関する各種パラメータは上位計算機から設定可能である。

(3) マンマシンインタフェース表示・操作機能

ローカルコントロールパネル外部に選択スイッチ、押ボタン(鈕)、表示ランプを設けて、運転すべき装置の選択、洗剤の選択、各種運転モードの選択、指令を行うと同時に運転状態を表示している。更に複雑なプロセスでは、グラフィックパネルを設け、運転状態が直ちに識別できるような配慮をしている。ローカルコントロールパネルの1例を図2.に示す。

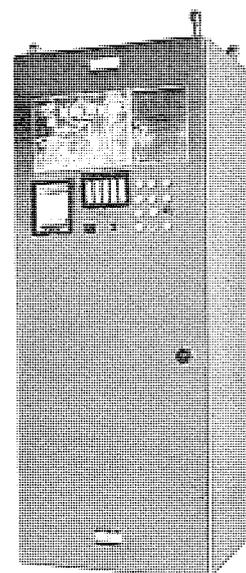


図2. ローカルコントロールパネル《MACTUS 610》

(4) データコミュニケーション機能

製品の送り側ローカルコントローラから、受け側ローカルコントローラに必要な情報を伝送し、確認信号を逆に伝送することにより、両プロセス共安全かつ確実に運転を行っている。特にタンク及びパイプで結合されているプロセスが多いため、閉そく(塞)回路及びハンマリング現象による機器の破損を防止するよう配慮している。中央監視室からの集中監視・集中制御を行うためにローカルコントローラのシーケンス制御情報、DDC制御情報を上位計算機に送ったり、上位計算機から制御指令を受けたりする機能も有している。

3.2 マルチコントローラ《MACTUS 610》

ローカルコントローラは、マルチコントローラ《MACTUS 610》を採用しており、次の機能を備えている。

(1) 計装制御とシーケンス制御を1台で処理

プロセスの温度、圧力を制御する計装制御とバルブ、モータ等を制御するシーケンス制御の両者を1台で扱うことが可能で、複雑なプロセスの運転パターンを容易に処理することができる。

(2) プロセス制御用問題向言語

計装ブロック(PIDなど)、シーケンス制御ブロック(AND, ORなど)をプログラミングパネルを通じて容易に作成できる問題向言語(POL)を採用している。

(3) 停電対策の考慮

永久記憶可能なワイヤメモリを採用し停電対策を構じている。

(4) バックアップシステムの完備

《MACTUS 610》故障時においてもプロセス運転が可能のように計装ループに対してはバックアップ操作器、バルブ、ポンプ等に対しては、手動スイッチを装備しシステムとしての信頼性を向上させている。

(5) メンテナンス機器の完備

プログラムの作成、変更をマニュアルで行うプログラミングパネル及びプログラムの作成、変更、保存、交換、照合、操作記録を自動的に行うカセット磁気テープ・プリンタ装置(MTPR)を設置しプロセス制御技術者のメンテナンスを容易にしている。

4. センターシステム

4.1 センターシステムの機能

このシステムのセンターシステムは、分散されたローカルコントローラのデータを収集し、監視、製造管理、記録をすると同時にリアルタイムでプロセス及びローカルコントローラの状態をCRTに表示する。またローカルコントローラのDDC定数、イニシャルセット及び制御タイミング時にその旨をオペレータにアナウンスし、オペレータの指示に従って制御出力を行う。

以下に機能詳細を記述する。

(1) モニタリング

(a) プロセスの状態表示/監視

プロセスの現状工程及び状態(バルブ、ポンプ、温度、圧力)をCRTにグラフィック表示する。また、ローカルコントローラで出力したバルブ開閉、ポンプ起動/停止に対する応動確認、故障監視及び復旧確認の監視を行う。

(b) シーケンスに関する表示

ローカルコントローラが持っているシーケンスに関する情報及びセンター計算機が持っている製造管理情報をキャラクタ表示する。特にアラーム情報については、ローカルコントローラでアラームが発生した旨の情報をセンター計算機に知らせ、センター計算機はそのときのプロセス情報に基づき原因が何人であるか究明しキャラクタ表示する。

(c) DDCに関する表示

ローカルコントローラが持っているDDCに関する情報をタグナンバ画面、コントロールパネル画面、トレンドグラフ画面、DDC定数画面に表示する。コントロールパネル画面の1例を図3.に示す。

(2) 製造管理

センターシステムが管理する製造に関するデータは次のとおりである。

(a) 当日製造の品種、製造予定量及び翌日繰越し量

(b) 殺菌実績(当日、週間、月間、年間)

(c) 製造中プロセスの品種

(a)項は、オーダーエントリ、オーダーエントリ修正機能でCRTキーボードより入

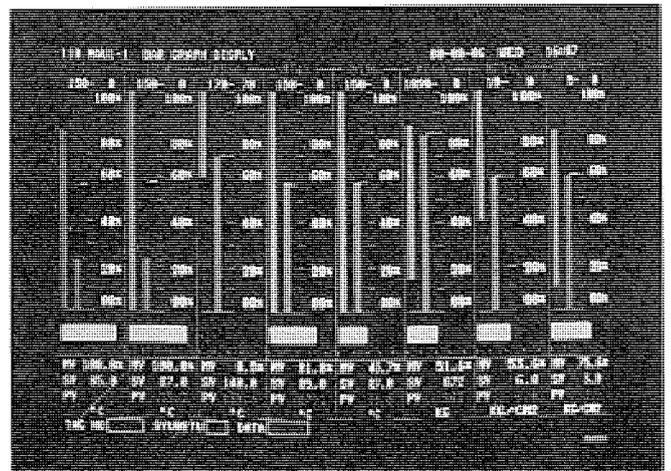


図 3. DDC コントロールパネル画面

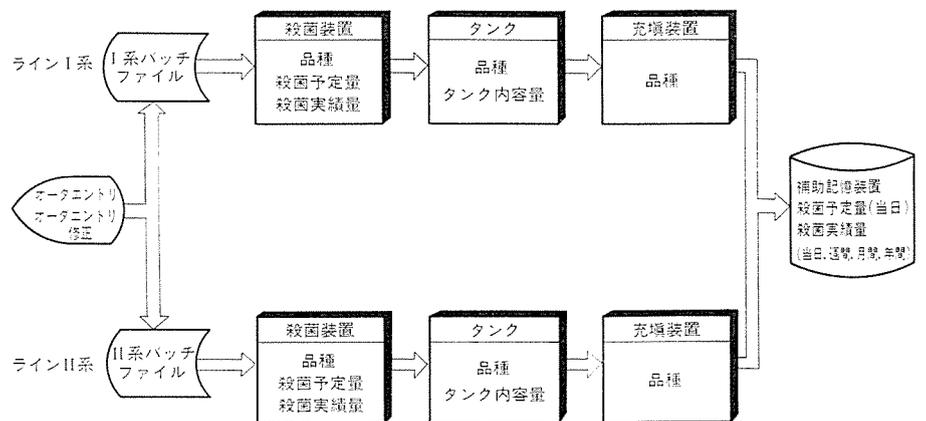


図 4. 製造管理 データフロー

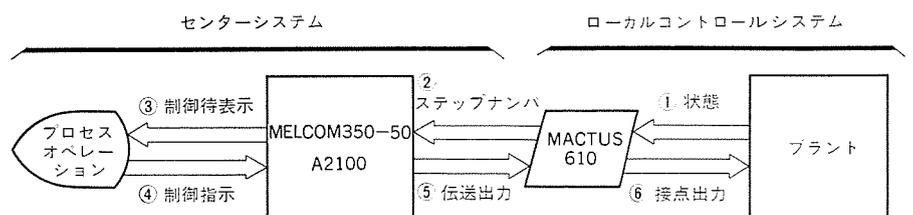


図 5. 制御指示フロー

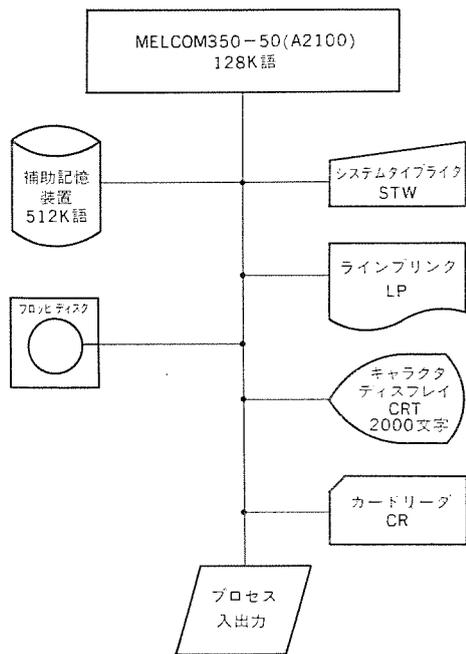


図 6. センター 計算機 ハードウェア 構成

力する。図 4. に製造管理 データフローを示す。

(3) 制御指示

センターシステムは、ローカルコントローラより収集したデータ及び製造管理データに基づき現工程より次工程に進むタイミングと判断したとき、次

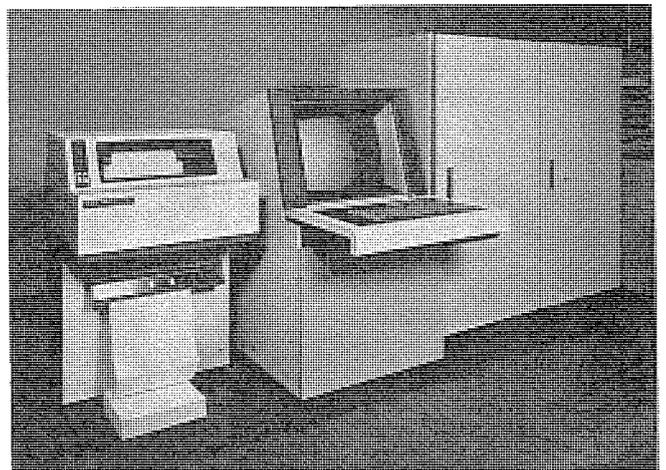


図 7. 計算機 システム 外観

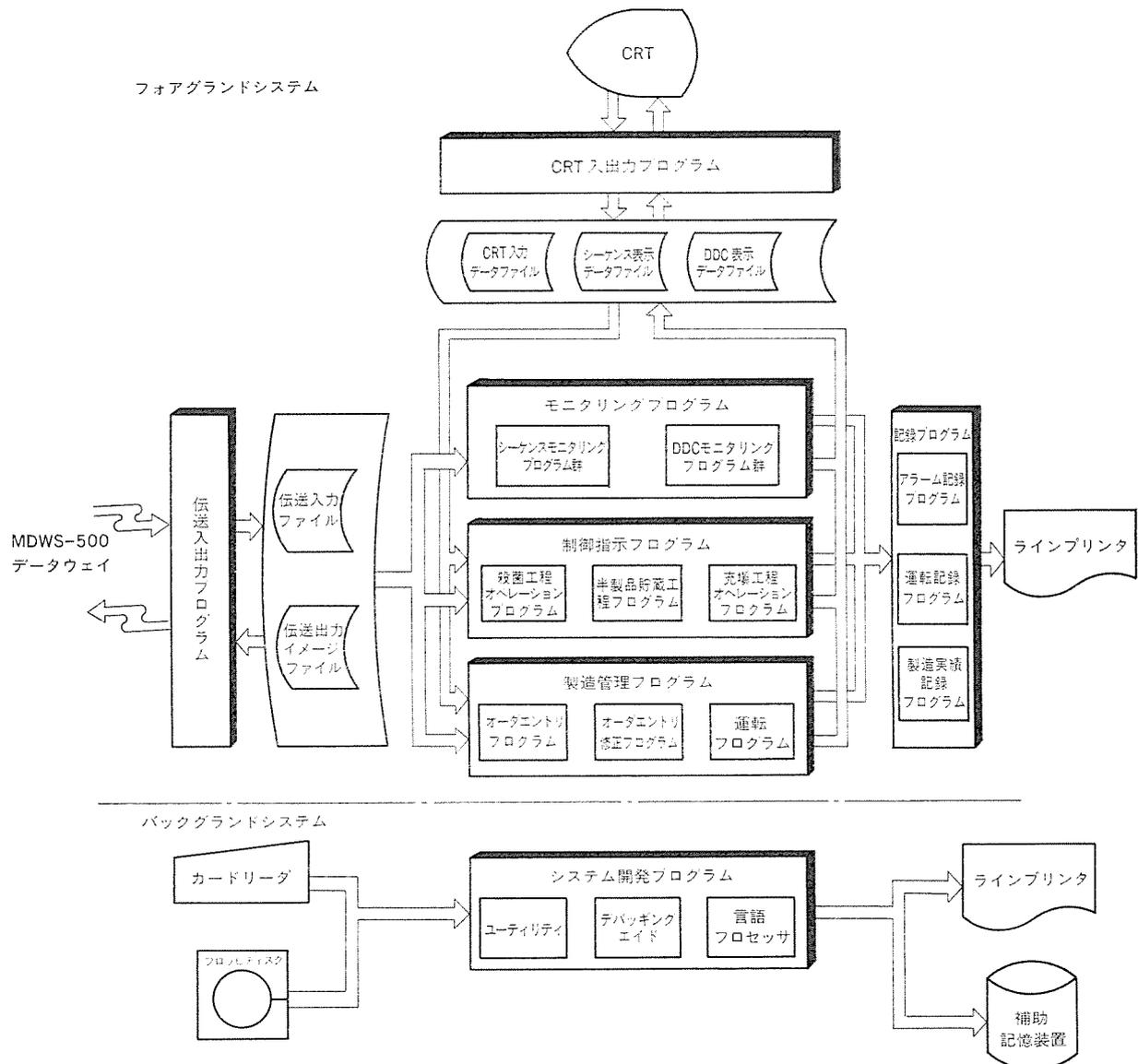


図 8. センター 計算機 ソフトウェア 構成

工程の内容を CRT にアナウンス表示する。オペレータは、この表示により制御項目を CRT キーボードより入力しセンター計算機は入力された制御項目に従って、制御出力をローカルコントローラに出力する。図 5. に制御指示フローを示す。

また、品種単位の DDC 定数を製造開始前にローカルコントローラに対しイニシャルロードする。更に、DDC 制御中でも DDC 定数の書換えを行うことができる。

(4) 記録

リアルタイムに印字する運転記録、アラーム記録と製造終了時印字する製造実績記録とがある。

4.2 センター計算機

(1) センター計算機ハードウェア仕様

センター計算機は、制御用計算機《MELCOM 350-50》(A 2100) を使用し、システム開発用カードリーダー、システム保守用フロッピーディスク、伝送制御用 PIO、マンマシンコミュニケーション用 CRT、記録用ラインプリンタを実装している。図 6. にセンター計算機ハードウェア構成、図 7. に外観を示す。

(2) センター計算機ソフトウェア仕様

センター計算機は、フォアグラウンドシステム、バックグラウンドシステムの両者がモニタ (TSOS-D) の下で機能する。図 8. にセンター計算機ソフトウェア構成を示す。

5. コミュニケーション

5.1 コミュニケーションへの要求機能

近年の計算機制御システムの動向は、「制御の分散化」、「データの統合化」を目指しており、このシステムもこの主旨に沿ってデータウェイの選択を行った。このとき必要とされる伝送システムは

(1) 中央計算機とローカルコントローラ間伝送システム

(2) ローカルコントローラ間伝送システム

である。ローカルコントローラ間の情報は、運転シーケンス用インタロック信

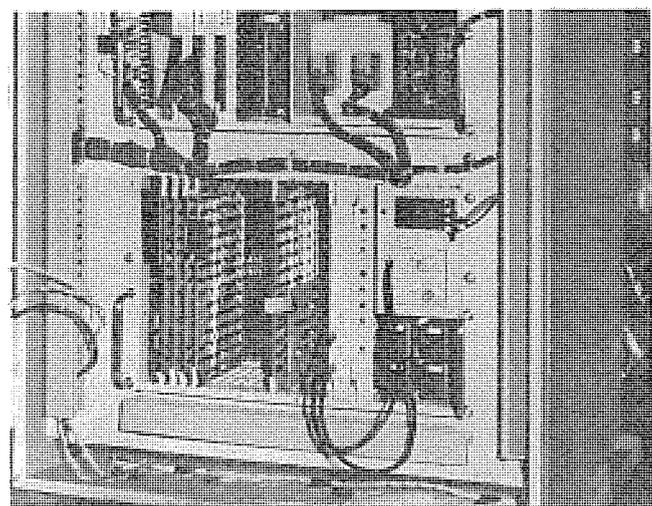


図 9. データウェイ MDWS-500

表 1. MDWS-500 の仕様

シ ス テ ム 仕 様	ステーション数(最大)	127 台
	通 信 形 態	N : N (1 : N を含む)
	ステーション間距離	1 km ただしバイパス時 2 km (最大)
	総 延 長 (最大)	128 km
	誤りチェック方式	CRC
	2 重 化 構 成	可 能
	同報通信機能	有
伝 送 仕 様	伝 送 路 路	5C2V-S (75Ω 同軸ケーブル) シールド付
	伝 送 路 構 成	ループ状
	多 重 化 方 式	タイムスロットによるチャンネル多重
	伝 送 速 度	3.072 Mbps 6.144 Mbps
	符 号 化 方 式	DWM 又は AMI

号であり、n : n 通信を基本としている。中央計算機とローカルコントローラ間の情報は、中央制御室で現運転状態のは(把握)、各製造工程運転指令、ローカルコントローラに対する目標値指令、各種アナログデータの表示などを行うためのものであり 1 : n 通信である。

5.2 データウェイ MDWS-500

MDWS-500 は、1 条のループ状伝送路とタイムスロットによるチャンネル多重化を使用したデータウェイシステムであり、特に機能分散形プロセス制御システムに要求される高速応答性、システム管理情報の集中化の両立を可能にしている。MDWS-500 の外観を図 9. に、主要仕様を表 1. に示す。

6. む す び

以上、食品プロセスにおける計装技術の 1 応用例として乳製品プラントのシステム概要とその機能について説明した。

人間の食物に対する際限の無い欲求により、食品は、今後ますます多様化し、かつ高級化していくであろう。その中にあって、デジタル計装制御装置も徐々に導入されており、1 部には、生産計画まで電子計算機にゆだねているところさえある。このような状況下で、今後も食品プロセスに合致した。デジタル計装システムの追求に努力を続け、より良いシステムを提供していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 日本電気計測器工業会：計装機器需要構造調査報告書 (昭 54)
- (2) 鈴木、軽部：固定化酵素、微生物によるプロセス計測、計測と制御、17, No. 12 (昭 53)

化学プラントにおけるガスクロマトグラフ ガイダンスシステム

清宮 忠昭*・岡 富士郎**・御厨 長十**

1. ま え が き

近年、化学プラントにおいては、高効率化への指向が強力に実施されてきた。プラントの合理化、省エネルギー化、環境対策そしてこれらを支えるケミカル及びプロセス技術の進歩が計装技術の新しいニーズを生み出してきたと思われる。

この新しいニーズは大きく分けると2通りあり、1つは複雑高度な制御が可能な計装制御技術であり、これへの対応としてデジタル計装技術が挙げられる。特にマイクロコンピュータ応用による分散化システム、コンピュータ応用技術による高度な集中管理システムの進歩が著しい。そしてもう1つは以上の要求に適したセンサであり、またそのシステム化である。

このような状況の中でプロセス分析計は、質的向上の目標を遂行する手段として最も重要な機器の1つであり、化学プロセスへの導入は着実に増大してきている。従来プロセス分析計については、“故障が多い”“調整が面倒である”“保守が大変である”“応答速度が遅い”などの問題が指摘されてきた。しかし近年におけるデジタル化特にマイクロコンピュータにより以上の欠点はシステムとして急速に解決されてきている。

分析計の中でもプロセスガスクロマトグラフは、“はん(汎)用的な分析装置である”“複数の成分を同時に測定ができる”“精度が良い”“測定レンジが広い”などの特長を有しているため化学プロセスへの導入が広く行われてきた。しかし“間欠分析的な分析方法である”“定期的な校正が必要である”“応答速度が遅い”などの欠点を持ち、その能力をプラント操業に十分活用するには困難があった。ここにマイクロプロセッサ技術を応用したガイダンスシステム、又は高度な判断能力を有するモニタリングシステムの必要性が生じてくる。本文ではこの分析計用ガイダンスシステムの1例として、三菱総合計装システム《MACTUS S 670》を応用したプロセスガスクロマトグラフ用ガイダンスシステムについて紹介する。

2. プロセス用ガスクロマトグラフ

プロセス分析計は、プロセスの状態監視を行う上で重要な検出装置の1つであり、特に高品質化、高効率化を目指したプラントでは極めて重要な位置をしめている。このプロセス分析計の中でも汎用的な性質から最も多く使用され、より高性能化が期待されているのがプロセスガスクロマトグラフである。この原理を図1.に示す。

一般的にガスクロマトグラフは、サンプルバルブ、カラム、及び検出器より構成され、これらは検出の安定性のため恒温槽に収納されている。まずサンプルガスとしてプロセスより一定量採取し、サンプルバルブの切換えによりキャリアガスを加える。このキャリアガスは、サンプルガスと親和力や反応性が少ないものが使用される。このサンプルガスはキャリアガスに押し込まれカラムの中に充てん(填)された固定相との親和力の差により成分ごとに分離されカラムより押し出される。したがってカラム出口にセットされた検出器によってそれぞれ分離されたガス成分ご

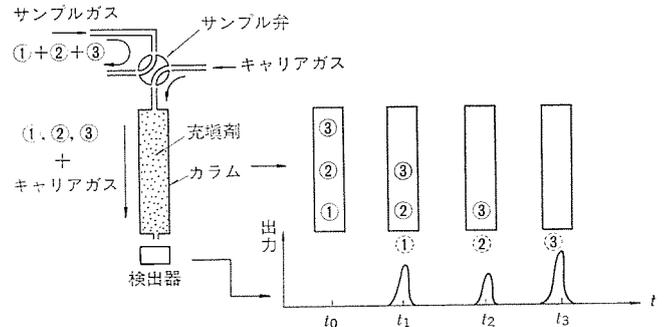


図 1. ガスクロマトグラフ 原理図

とに検出することができる。そしてこれらの成分は、検出器の出力であるピーク値又は面積値となって表れる。これら一連の動作は、プロセス用の場合は専用プログラムにより自動的にコントロールされる。

以上の原理からわかるようにガスクロマトグラフにおいては次の欠点が挙げられる。

- ・連続測定が不可能(原理的に間欠的な測定方法である)。
- ・定期的な校正が必要である。
- ・応答速度が遅い。
- ・構造及びコントロール等が複雑である。

このような欠点を極力カバーし、かつ得られたデータをオペレータにより容易に判断できる形態で提示するのがオペレータガイダンスシステムである。

3. ガスクロマトグラフ オペレータ ガイダンス システム

3.1 システム構成(図2., 図3. 参照)

《MACTUS 670》システム

- ・CPU: 8ビットマイクロプロセッサ
- ・メモリ: 32KB, ワイヤメモリ

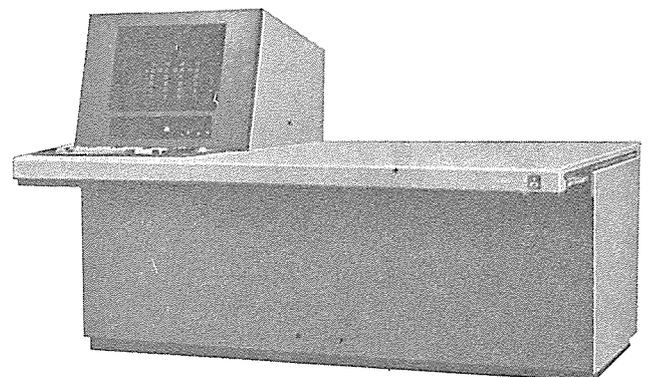


図 2. プロセスガスクロマトグラフ オペレーションガイダンスシステム

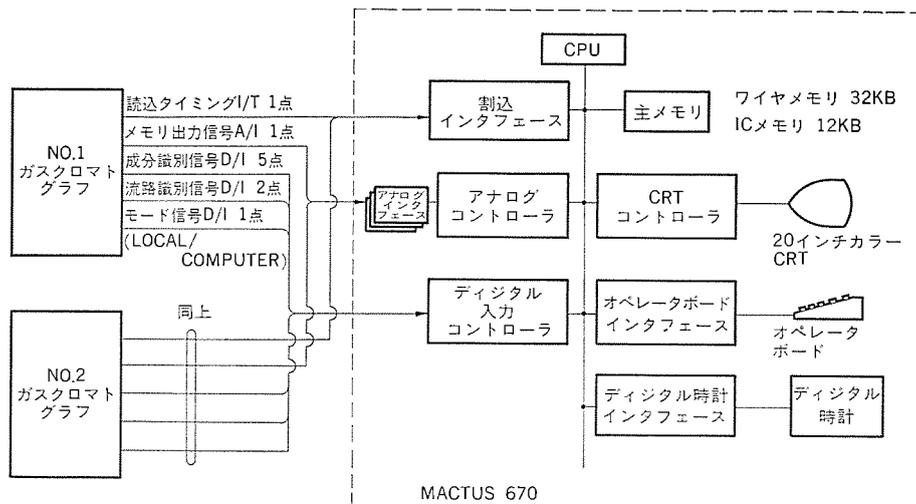


図 3. 《MACTUS 670》及び ガスクロマトグラフ 構成

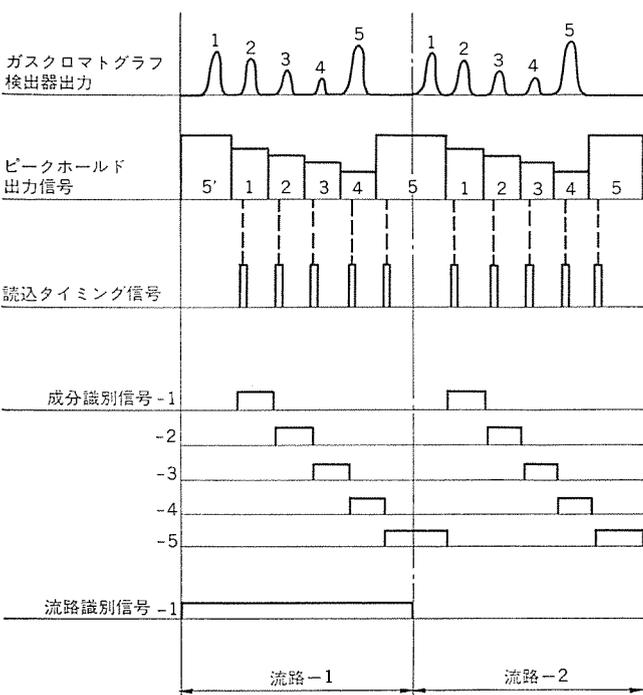


図 4. 入力仕様

8 KB, P ROM
4 KB, IC RAM

- CRT: 20 インチカラー
- オペレータ キーボード
- アナログ入力 インタフェース

3.2 入力仕様

1 台の《MACTUS 670》は図 3. のように 2 台のプロセスガスクロマトグラフのデータ処理を行うものとし、各々のガスクロマトグラフはサンプルガスを 2 か所より採取し切換えて計測することができるように構成されている。したがって 4 種類の流路の成分データを処理する能力を有する。

また、ガスクロマトグラフのデータ出力としては、ピークピッカー法でピーク値をホールドしたものを出力する。このタイミングを図 4. に示す。

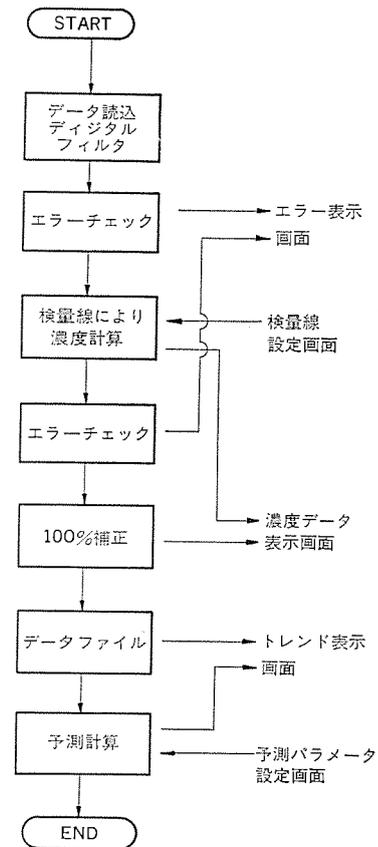


図 5. データ処理フロー

3.3 データ処理

(1) データの読込み

読込タイミング信号によりデータを読込む。読込んだデータは、デジタルフィルタリング処理を行う。

(2) 濃度計算 (補正前)

以上により読込んだデータに対して、各ストリームごとに設定した検量線に基づいてキャリブレーションを行い各成分の濃度を算出する。ガスクロマトグラフで分析できない成分については、キーボードよりインプットしたデータを使用する。

(3) 濃度計算 (補正)

各成分のトータル値が 100% になるように (2) 項のデータの補正計算を行う。

(4) 予測計算

以上より得られたデータはすべて 1 サイクル遅れのデータであり、その補償上予測計算を行う。この予測計算は、以前のデータファイルを基に重み付逐次回帰分析により行っている。

(5) エラーチェック

エラーチェック機能として、ガスクロマトグラフ側の異常を中心に検出し警報を出すとともに、メンテナンス用としてエラー項目をファイルする。なおエラー検出項目は次のとおりである。

- 流路識別信号エラー
- 成分識別信号エラー
- 読込タイミング信号エラー
- データスパンオーバー
- トータル値エラー

データ処理フローの概略を図 5. に示す。

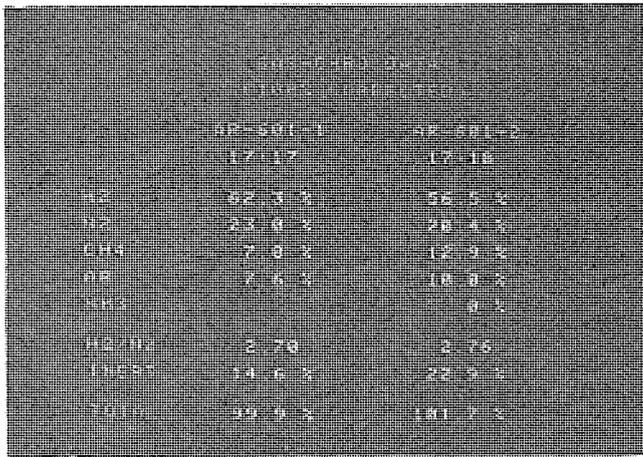


図 6. 濃度データ表示画面

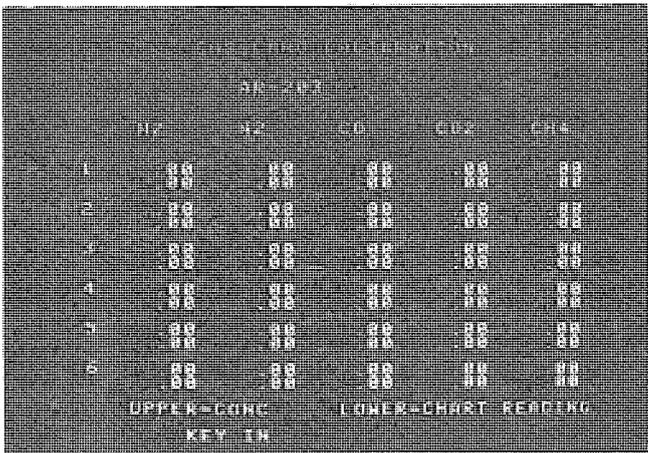


図 7. 検量線表示、設定画面

3.4 CRT画面

このシステムは、オペレータガイドを主目的とするため特にCRT画面の充実に留意した。画面は大きく分けて、オペレータ画面とメンテナンス画面に分かれ、次の構成となっている。

(1) オペレータ画面

- 補正前濃度データ表示画面
- 補正後濃度データ表示画面
- トレンド表示画面
- 検量線表示及び設定画面

(2) メンテナンス画面

- ローカルモード表示画面
 - エラーファイル表示画面
 - 処理前データ表示画面
 - 予測計算パラメータ設定画面
 - トレンドグラフ組合せ設定画面
 - その他プログラム表示、修正画面
- オペレータ画面の例を図6., 図7. に示す。

この画面構成は、オペレータ画面に劣らずメンテナンス画面を充実させ、このシステムを単にオペレーション時にとどまらず、メンテナンス時にも極めて有効なシステムとしている。一方、各設定画面はすべて空欄記述方式を採用し、容易にかつ確実に設定が可能である。

4. む す び

以上、プロセスガスクロマトグラフガイダンスシステムについて述べたが、ガスクロ分析値にとどまらず、その他のプロセス変数値の読み込み、演算処理を行い、重要なプロセス変数の変化状況を関連して表示するなど利用方法を発展させれば、プラントオペレーションに一層有用なものとなる。

ガスクロ分析値を正確に、しかも予測計算によって分析の遅れを補償して知ることができれば、プロセスの制御にも好影響を与えるであろう。コンピュータによってプロセスの最適オペレーションガイドを与える(オンライン制御ではない)ような場合であれば、ガスクロの信頼性もオンライン制御程シビアな問題とはならないので、分析値をオンラインで読み込み、利用することは十分可能であろう。このような方式は現実的にかなり価値の高いものと思われる。ガスクロ分析値によって閉ループ制御を行う可能性も考えられる。既にユニットプロセス、比較的簡単なプロセスについて実施例が報告されている。プロセス上の必要性、安全性、ガスクロの信頼性、精度などの問題があり、簡単な問題ではないが、今後の発展に期待したい。

ここに1例として紹介したプロセスガスクロマトグラフガイダンスシステムの製作に当たって、三菱化成工業(株)テクノエンジニア(株)技術開発センター及び最終ユーザーである三菱化成黒崎工場施設部電計技術室の関係各位より、極めて有益な御指導、御助言をいただいていることを、この紙面を借り深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 大橋紀男: PGCによるプロセス制御の可能性, 計装(昭55-7)

下水処理場における分散形DDCシステム

若月秀樹*・飛山哲幸**

1. ま え が き

近年、産業の発展と都市人口の増加に伴い工場排水・生活排水が増え、また公共用水域の水質汚濁防止に対処するため、下水・排水処理施設の充実が図られている。一方最近の下水処理場では、従来の処理場に比較して設備規模の拡大が図られ、更に広域処理化も検討されはじめています。

こうした状況の中で今後の下水処理場のあり方として次のような事柄が要求されてきている。下水処理場の規模の拡大に伴い、下水処理場設備の省エネルギー化の指向、少人数による処理場の運用、処理場の管理情報の的確で効率的な収集が要求される。また一般に下水処理場の建設は数年～十数年間にわたって行われ、その間に処理機械や制御技術の進歩など時代の変遷に対して対応してゆけるシステムが要求されている。こうした要求に答えるべく近年 DDC 分散形システムが着目されてきており、今後一層こうしたシステムが採用されることが多くなると思われる。

本文では、下水処理場の DDC 分散形システムの構成例として当社が最近納入した横浜市金沢下水処理場向けの DDC 分散形システムを紹介する。

2. 下水処理場の概要

2.1 下水処理のプロセス

都市における下水処理場では、活性汚泥法による高級処理が広く採用されている。この方法は下水に活性汚泥を加え、エアレーションタンクで空気を吹込み均一に混合し、活性汚泥中の好気性微生物によって生物学的に処理する方法である。標準活性汚泥法による下水処理場の施設構成と配列を図 1 に示す。

導水管きょ(渠)により下水処理場へ導入された下水は、沈砂池に入り非腐敗性無機分質は沈降除去し、きょう雑物はスクリーンにより除去される。次に下水は汚水ポンプにより最初沈殿池へ送られ、下水中の有機性浮遊物質を沈殿除去する。沈殿した汚泥は汚泥処理設備へ送られる。ついで下水はエアレーションタンクへ入り、最終沈殿池より返送された活性汚泥を混合し、更に空気を吹込んで数時間エアレーションすることにより活性汚泥中の好気性微生物を増殖させ、下水中

の有機物をこれに食べさせて生物学的に下水を酸化処理する。ついで最終沈殿池では、前の生物処理過程で生じた汚泥を沈殿させ上澄水と汚泥に分離する。この上澄水に塩素を注入し消毒した上で放流する。また沈殿汚泥は多数の好気性微生物を含んだ活性汚泥であり、返送汚泥としてエアレーションタンクに返送し、残りは余剰汚泥として汚泥処理設備で処理される。

最初沈殿池及び最終沈殿池で沈降分離された沈殿汚泥は、汚泥ポンプにより汚泥濃縮槽に導き滞留させ、汚泥を沈降濃縮し含水率 96～97% の汚泥とする。更にこの濃縮汚泥は汚泥消化槽へ送られ、汚泥中の有機物は、恒温の元で嫌気性細菌や微生物の働きにより酵素を媒体として分解消化され、脱離液とガスと泥状物(消化汚泥)となる。消化汚泥は洗浄槽で水洗しアルカリ度を低下させ、凝集剤により汚泥を凝集しやすくして、脱水設備にかけ脱水することにより含水率 75% 以下の汚泥ケーキとする。この汚泥ケーキは、焼却炉で焼却するかまたは投棄する。

2.2 下水・汚泥の計装制御

下水処理場における計装制御には、水位・流量・風量等を量的に制御することによって下水・汚泥の質の向上を図る制御と、濁度・pH・汚泥濃度・溶存酸素等を質的に制御する場合の 2 通りがある。しかし、量に関する制御は現在でも広く行われているが、質による計装制御の自動化はなお今後の課題である。質的に制御する方法が余り行われていない理由は、連続測定ができ、保守性の優れた計測器が少ないためであるが、現在各方面で質による計装制御に関する研究や実験が盛んに行われている。

3. 金沢下水処理場の概要

3.1 概要

金沢下水処理場は、横浜市国際港都建設計画に基づく下水道整備事業の一環として計画され、横浜市で 8 番目の下水処理場として昭和 54 年 10 月 1 日に一部通水を開始した。横浜市はほぼ全市域を 9 処理区に分け、同処理場はそのうち金沢処理区を対象とし、処理区域内の生活環境整備と東京湾の水質汚濁防止を目的としている。

金沢処理区の下水排除方式は、分流式及び合流式下水道を採用しており、流入した下水は活性汚泥法により高級処理をし、減菌後富岡川に放流される。同処理場には将来、工場排水の処理施設、3 次処理施設、汚泥処理施設(他処理場の汚泥も処理する計画である)が建設される計画であり、横浜市の下水処理場の中核となる処理場である(表 1.)。

3.2 設備概要

金沢下水処理場における主要施設を表 2. に、主要計測器と主要制御項目を表 3. に示す。

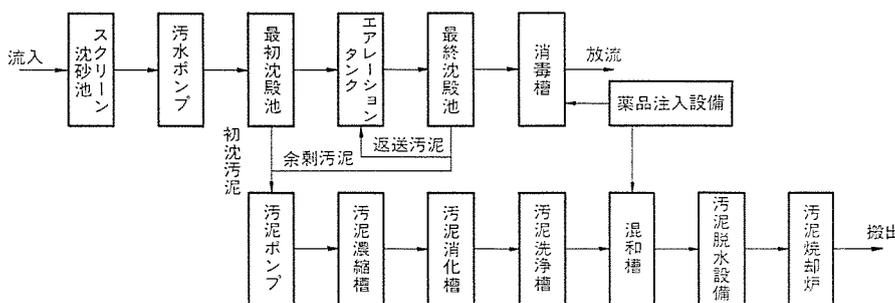


図 1. 下水処理場のプロセス

表 1. 計画諸元

区 分		全 体 計 画	第 1 期 計 画
計 画 処 理 面 積		4,946 ha	
計 画 処 理 人 口		800,000人相当	
計 画 流 入 量	日 平 均	320,000 m ³ /日	53,000 m ³ /日
	日 最 大	416,000 m ³ /日	69,000 m ³ /日
	雨 天 時 最 大	21.2 m ³ /s	
排 除 方 式		分流式（一部合流式）	
処 理 方 式		標準活性汚泥法	
系 列 数		6 系列	1 系列
敷 地 面 積	水 処 理 用 地	112,100 m ²	
	汚 泥 3 次 処 理 用 地	123,900 m ²	

表 2. 主要施設

設 備 名	設 備 内 容	数 量	
		全 体	今 期
沈 砂 池	分 流 用 幅 3.2m×長 27m	2 池	2 池
	合 流 用 幅 3.2m×長 27m	4 池	4 池
主 ボ ン プ	分流汚水ポンプ 610 kW 1,330 kW	3 台	2 台
		1 台	0 台
	合流汚水ポンプ 430 kW	3 台	1 台
	雨 水 ボ ン プ 1,600 kW	3 台	1 台
	雨 沈 ボ ン プ 1,000 kW	2 台	1 台
ブ ロ ヲ ヲ	380 kW	2 台	1 台
	700 kW	6 台	1 台
最 初 沈 殿 池	幅 12m×長 34m 有効水深 3.7m, 滞留時間 2.1 時間	6 系列 (12池)	1 系列 (4池)
エ ア レ ー シ ョ ン タ ン ク	幅 6.1m×長 228m 有効水深 5.6m, 滞留時間 5.4 時間	6 系列 (12池)	1 系列 (2池)
最 終 沈 殿 池	幅 12m×長 50m 有効水深 3.1m, 滞留時間 2.6 時間	6 系列 (24池)	1 系列 (4池)
減 菌 池	幅 2.5m×長 180m	2 池	1 池
	幅 2.5m×長 135m	1 池	1 池

表 3. 主要計測器・主要制御項目

	沈 砂 池, 揚 水	最 初 沈 殿 池	エ ア レ ー シ ョ ン タ ン ク	最 終 沈 殿 池	減 菌 池	受 電, 発 電
主 要 計 測 器	沈砂池水位 ポンプ井水位 汚水ポンプ回転数 汚水ポンプ吐量	初沈汚泥濃度 初沈汚泥界面 初沈汚泥引抜量 初沈流入濁度 初沈流出濁度	MLSS DO pH ブロー風量	終沈汚泥界面レベル 終沈汚泥界面濃度 返送汚泥量 余剰汚泥量 終沈流出濁度 終沈流出 UV	次亜塩注入量	
主 要 制 御 項 目 (自 動)	(ゲート) 池数制御 (除じん機) 水位差制御 タイムスケジュール ポンプ連動制御 (ポンプ) 水位-流量変換 台制+速制	(スカムスキーマ) タイムスケジュール制御 (初汚泥ポンプ) 汚泥引抜制御 タイム, 順序引抜 最適汚泥引抜 汚泥界面制御	(風 量) 空気量一定制御 風量比率一定制御 風量比率+DO 一定制御 (ブロー) 圧力一定制御 風量制御	(返, 余ポンプ) 返送汚泥一定制御 返送比率一定制御 MLSS 制御 界面制御	(注入機) 注入量一定制御 注入率一定制御	(受変電) 停電復電制御 ピークカット制御 力率制御 (発 電) 自動発停制御 台数制御 負荷分担制御 負荷制限制御

4. システムの概要

4.1 システム設計上の留意点

金沢下水処理場におけるシステム設計上で考慮した主な点は、次のとおりである。

(1) 設備の拡張性及び柔軟性

下水処理場の建設は、下水道の整備状況に合わせて数年～十数年間にわたって逐次増設工事が繰返されてゆく。一方、下水処理場の性格から、通水が開始されると処理場の設備を長期間にわたって停止することは不可能である。したがって増設工事の際に既存設備の停止を生じないように、あるいは既存設備を停止せざるをえない場合でもその範囲を最小限にすることが必要である。

また長い建設期間のうちには、機械の新鋭化や下水処理場のプロセスの制御技術の進歩もあり、時代の変遷にも対応できるシステムを構成する。

(2) 監視・保守の容易化

下水処理場の設備規模が大きくなるに従って機器はその種類・量とも多くなり、設置範囲も拡大する。こうしたことから処理場の管理情報の増大や監視・保守業務の複雑さが増してくる。一方最近の下水処理場の管理形態として操作員や保守員の少人数化、並びに熟練者の減少などの傾向から、少人数による監視が可能で保守の容易なシステムを構成する。

(3) 情報提供の効率化

下水処理場の大規模化に伴う各種情報の多種多様化、並びに処理プロセス間での情報の有機的つながりの拡大に対応するため、多量の情報の効率的な処理や操作員に対する的確な情報を提供するシステムを構成する。

4.2 システムの特長

金沢下水処理場におけるシステムの特長は、監視及び制御システムをピラミッド形に下位から上位へと積上げる階層構造を持つシステムである点と、シーケンス制御と計装制御をハード的またソフト的にも独立性を持たせている点である。

4. 2. 1 制御システム

シーケンス制御機器、すなわち、電源系統しゃ断器、ポンプ、ゲート等の ON-OFF 制御機器は、シーケンスコントローラ《MACTUS 700》により

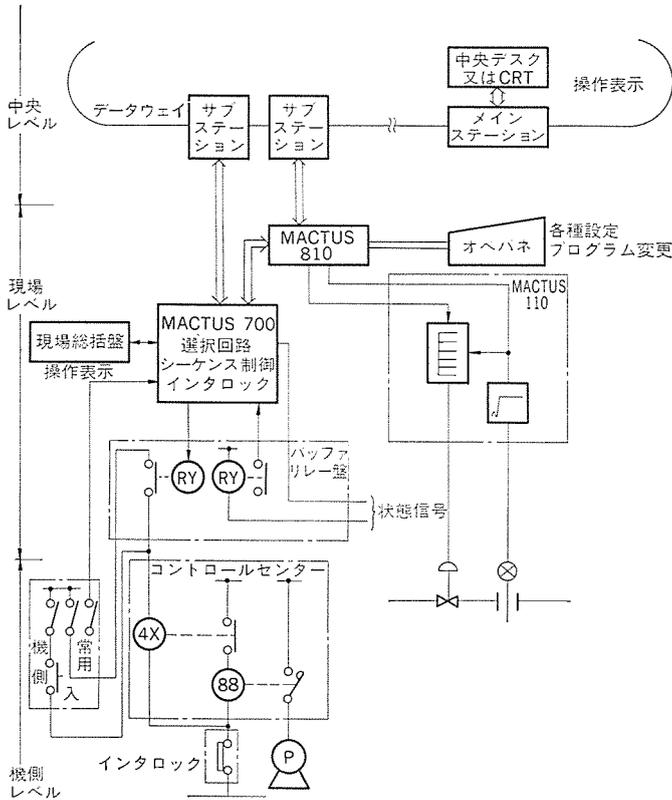


図 2. 《MACTUS 700》によるマイナ制御

制御する。計装制御機器、すなわちポンプの回転制御装置、流量制御調節弁等のプロセス制御機器は、マイクロコントローラ《MACTUS 810》により DDC が行われる。またマイクロコントローラは、ポンプの台数制御や故障機飛び越し制御等の高度な論理判断も行っているため、制御レベル的にはシーケンスコントローラの上に位置づけられている(図 2., 図 3.)。

上述のようにシーケンス制御と計装制御は、ハード的にも制御ロジックにおいても独立性を保持しており、シーケンスコントローラ又はマイクロコントローラのいずれかが故障などにより停止した場合でも、他方の制御はある程度限定されるにしてもプラントすべてが停止する危険性を避けている。

1例としてポンプ制御の場合を図 4. に示す。

《MACTUS 700》と《MACTUS 810》の主な機能は次のとおりである。

《MACTUS 700》の機能

- (1) 各種シーケンス制御
- (2) 現場総括盤の操作・表示制御
- (3) 機器の運転・故障情報及び制御指令の伝送機能

《MACTUS 810》の機能

- (1) アナログ・パルス入力の工学値変換
- (2) 各種 DDC 及び DDC モード切替
- (3) DDC のパラメータチューニング及びモニタ機能
- (4) DDC ループ起動停止機能
- (5) 台数制御などの論理判断
- (6) 上位計算機よりの DDC プログラムのダイレクトロード機能
- (7) 計測データや計装制御情報の伝送機能

4. 2. 2 情報伝送

金沢下水処理場内の各電気室と中央監視室との間の情報(制御及び監視情報)伝送には、データウェイシステム MDWS-30 を採用している。

データウェイは、各電気室に設置された《MACTUS 700》及び《MACTUS 810》をすべて経由しており、プラントの運転状況、故障発

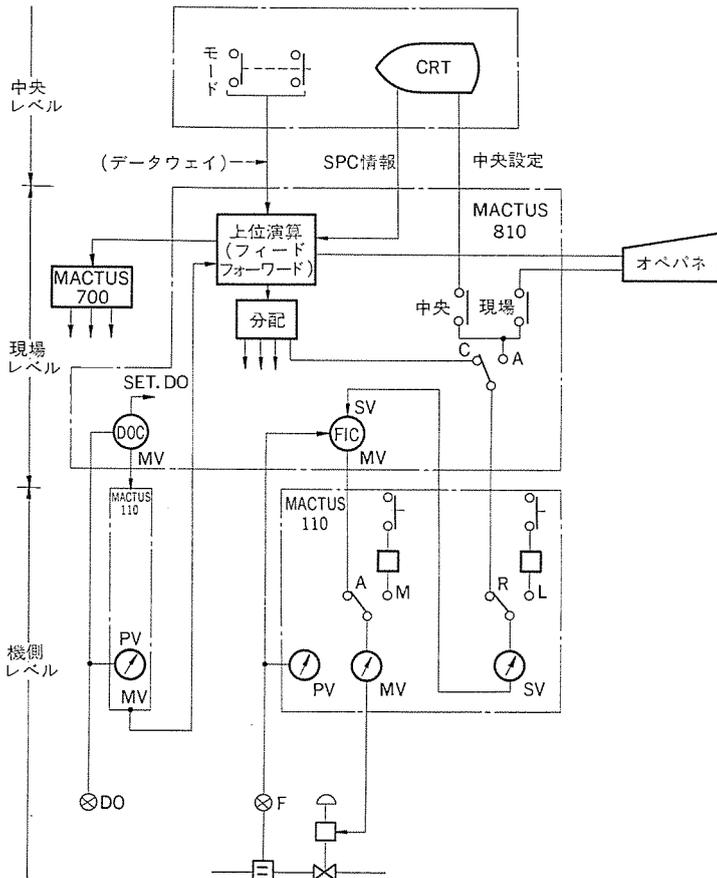


図 3. 《MACTUS 810》によるマイナ制御

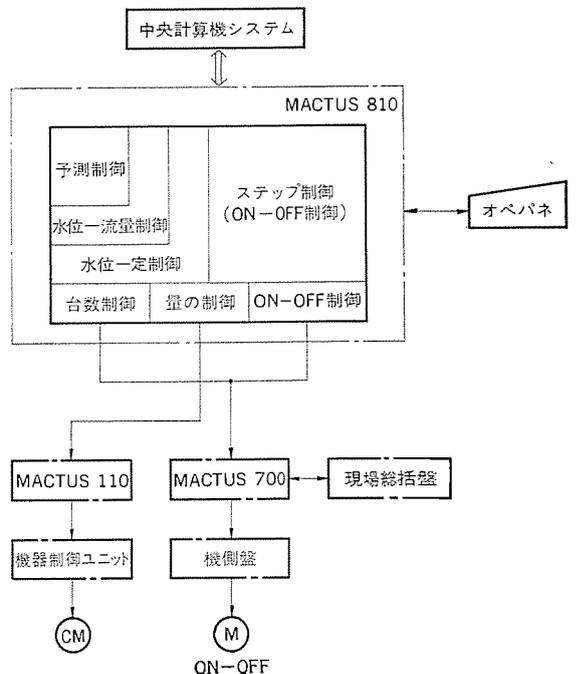


図 4. 《MACTUS 810》によるポンプ制御

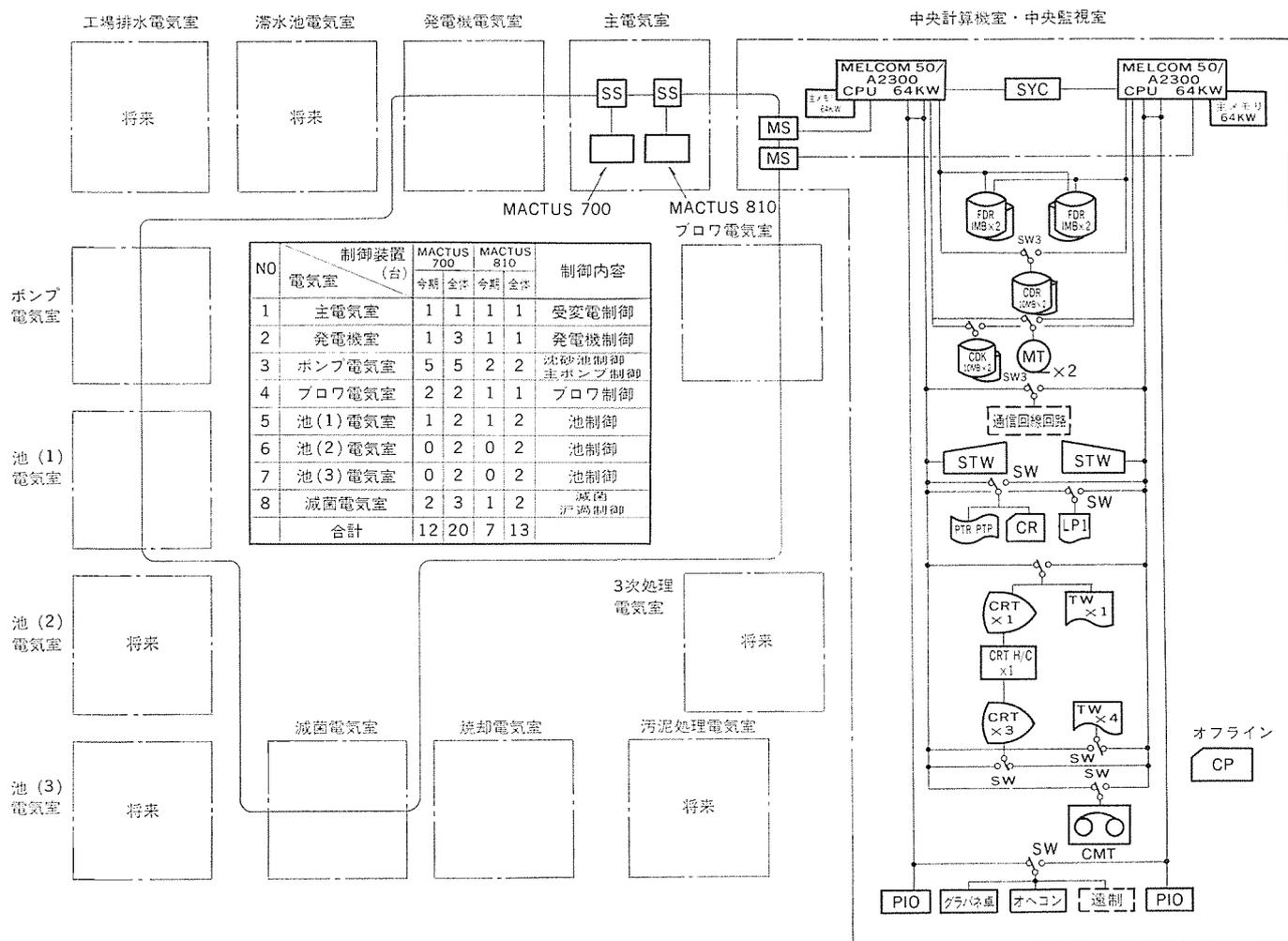


図 5. 中央計算機とデータウェイシステム

生、制御情報や指令はすべてデータウェイを経由して伝送される。なお、《MACTUS 700》及び《MACTUS 810》はMDWS-30とバス結合しておりデータウェイとの情報伝達の高速化を図っている。

金沢下水処理場の中継ポンプ場は、遠隔装置を現在のデータウェイシステムに接続し、金沢下水処理場の中央監視室から監視制御が可能なシステムにする計画である(図5.)。

4. 2. 3 監視・操作

金沢下水処理場の運用は原則として次のとおりである。制御に関しては、シーケンスコントローラ及びマイクロコントローラにて自動運転を行い、必要時のみ中央監視室より制御モードの切替や手動によるバックアップ操作を行う。また監視体制は通常操作員は随時監視とし、常時監視は中央計算機が担う。

同処理場における監視・操作は、基本的に下記の3つのレベルから構成されている。

(1) 中央レベル

プラントの通常の運転を行うのに必要な操作機能と監視機能を有し、中央監視室からの監視及び操作を行うことができる。同処理場の通常の運用は、このレベルで行われ、同処理場のプラント全体を統括するものである。

中央監視室(図6.)には、中央監視室、中央操作卓、CRT、アナウンスメントタイプライタ、記録計盤、指示計盤を設置し、操作員が的確に効率よく監視操作ができるようにしている。またロギングタイプライタに

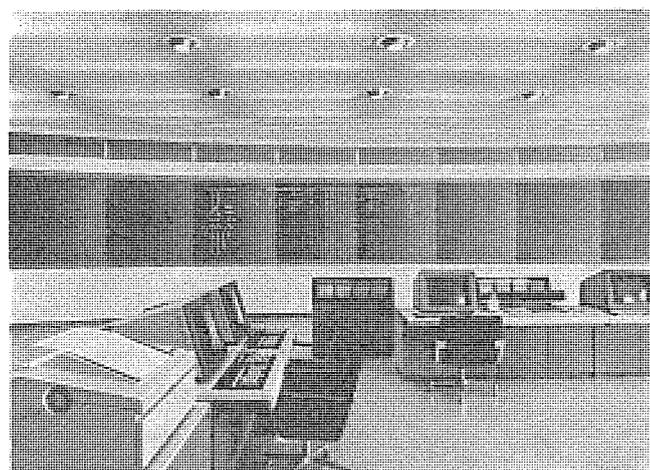


図 6. 中央監視室

より日誌、日報、月報等の管理データの提供を行うことにより、処理場の運用に役立っている。

CRTは、処理場のすべての機器や処理プロセスの監視及び制御が可能であり、各種の情報を集約してリスト表示、グラフ表示、図形表示を行い、大量のデータを操作員に的確に提供している(図7.)。

なお、上述の中央監視制御機器は、すべて中央計算機に接続され

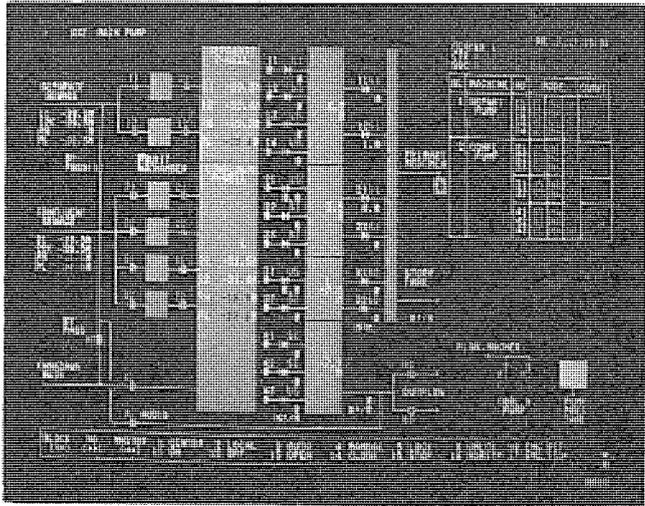


図 7. CRT 画面例

ている。

(2) 現場レベル

プラントの正規の運転を行うのに必要な監視機能と操作機能を有し、各電気室における監視と操作を可能としている。原則的にこのレベル監視操作は下記の場合行われる。

- (a) プラント立上げ時の監視操作
- (b) プラント増設及び改造時の監視操作
- (c) 中央計算機及び伝送系の停止時の監視操作

なお、このレベルでの監視操作は、各設備ごとに現場総括盤を設けて行っている。

(3) 機側レベル

機器を運転するのに必要な最低限の監視と操作を確保するものであり、原則的には機器の試験調整を目的とする。したがって監視および操作の容易さはさ程要求していない。

なお、このレベルでの操作のみがシーケンスコントローラないしマイクロコントローラを使用せずに直接機器を動作させるシステムとなっている。また機器保護装置のうち、ロジック的故障(例えば封水断や起動渋滞)はシーケンスコントローラで保護回路を組んでいるので、シーケンスコントローラが停止時は機器の保護はされないが、シーケンスコントローラが立上っている場合にはインタロックリレーを介して保護をするようになってい

4.3 システムの信頼性と保守性

プラントにおいて信頼性と保守性を考える場合は、ハード単体の面からシステム全体の面の両方から検討する必要がある。このシステムにおいてもシステム的に信頼性と保守性を向上させるため、前述の階層

化システム構成、シーケンス制御と計装制御の分割のほか、最小設備単位での制御装置の分散化、中央計算機のデュプレックス方式の採用、電源の停電対策などを考慮している。

またシーケンスコントローラやマイクロコントローラについても現場電気室に設置されても十分信頼性が得られるものを採用している。

4.4 ハード仕様

(1) 《MACTUS 700》

CPU ワイヤメモリ 8000 ステップ 一時記憶 1024 点

プログラム POL 言語 (問題向き言語)

タイマ設定 ON-LINE 設定

データウェイ接続 バス結合 (DMA 接続)

《MACTUS 810》接続 ビットパラレル・ワードシリアル伝送

(2) 《MACTUS 810》

CPU IC メモリ 32 ルーヴ相当 (PID 制御ルーヴ)

プログラム POL/FIF (穴埋め記述法)

データウェイ接続 バス結合 (DMA 接続)

CRT 付 オペレータパネル 付属

(3) 《MELCOM 50 S/A 2300》

CPU メモリ容量 128 KW×2 MOSIC メモリ

計算機システム デュプレックス方式

データウェイ MDWS-30 9.6 KW/秒/チャンネル

CRT M 2398 20 インチ カラー 7 色 4800 画素

5. む す び

以上、下水処理場における分散形 DDC システムの例として、横浜市金沢下水処理場をとりあげその概要を述べた。このシステムは DDC システムを構成するに当たって、シーケンスコントローラやマイクロコントローラなどの電子制御装置が停止したとき、それによって引き起こされるプラント停止の範囲を最小限にとどめ、更に保守や増設工事に対処しやすくするために、分散制御方式及び階層化システムの考えを採り入れたものである。

このシステムは、下水処理場の本格的分散形 DDC システムとして我が国でも最新のものであり、今後の下水処理場における分散形 DDC システムの方向を示すものと考えられる。

今後、下水処理場の分散形 DDC システムを計画される方々に参考となれば幸いである。

最後にこのシステムの設計、製作に当たり終始ご指導をいただいた関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 渡辺：水の浄化と処理システム、三菱電機技報、46, No. 5 (昭 47)

火力発電プラントにおけるデジタル制御システム

吉田日出夫*・前原史彦*・稲葉孝一*・古久保雄二*・篠原光一**

1. ま え が き

近年、火力発電プラントの自動化、省力化はくるところまで来たと言っても過言ではなく、大規模でかつ高度な自動化となってきた。自動化が拡大されるに従って、制御に用いられる情報量も増大し、運転員が時々刻々変化するプラント情報を的確には(把)握することがむずかしくなってきた。これらを改善するため、現在の最新鋭火力発電プラントの計装制御設計は、主にマンマシンコミュニケーションの改善という点に力をおいて行われている。

また、最近の火力発電所は、比較的大容量の火力プラントまでが、ミドル火力運用を要求されることもあって、ひん(頻)繁な起動、停止及び急激な負荷変動に対し、十分追従できる必要性が生じてきた。更に燃料の多様化もあいまって、計装制御関係は、その内容がますます、高度化、複雑化してゆく傾向にある。

以下に、これらを背景とした火力発電プラントにおけるデジタル制御システムについての技術動向、ハードウェア構成、ソフトウェア構成について簡単に論じ、その具体例を紹介したいと考える。

2. 技 術 動 向

2.1 ニーズ

近年、火力発電プラントの大容量化及び高効率化に伴い、プラントの諸設備・装置が高度化、複雑化してきており、このため、省力化とともに安全確実な運転操作が一層強く要望されるようになった。特に我が国では、計算機の進歩とあいまって、新設の大容量火力プラントには計算機による自動化システムが多く導入されている。従来は、これらの対応を各ユニットに納める制御用計算機にすべておわせていたが、マイクロプロセッサの出現により用途、機能に応じハードウェアを分散化させる方式がとれるようになり、制御の分散、情報の集中という思想が容易に満足できるようになってきた。

以上のようなことから、火力発電分野においてもマイクロプロセッサをベースにしたDDCシステムがクローズアップされてきており、制御システムに対する主な要求ポイントとして次の項目を上げることができる。

(1) システム信頼性

システムの信頼性を向上させるため、制御システムの重要部分は多重化できること。

(2) バックアップ機能

万一、制御システムにトラブルが発生しても、現状維持又は安全に停止できるバックアップ機能を有していること。

(3) 操作性

火力発電プラントの運転では、ぼう大なプラント情報を少数の運転員で管理しなければならず、このため、CRTなどの周辺装置を十分活用して情報の把握が的確にできるような、充実したマンマシンインタフェース

機能を有していること。

(4) 起動・停止スケジュール演算機能

中間負荷運転を強いられる火力発電プラントでは、複雑な起動停止からプラントを保護するため、めん密な起動停止スケジュール演算機能を有していること。

2.2 DDC化のメリット

ここ数年の間にマイクロプロセッサは、小形・高信頼性・高速データ処理能力・経済性などから制御用コンポーネントとして完全に定着したといえるが、火力発電プラント制御装置の各制御ループにマイクロプロセッサを導入した場合、次のようなメリットが上げられる。

(1) 複雑な情報処理、演算処理がハードウェア規模をあまりかえずに容易に実現できる。

(2) きめ細かい予測演算やスケジュール演算が容易に行える。

(3) 大量のデータを容易にストックできる。

(4) コントロールモード切替時のパンプレスタンスファを容易に実現できる。

(5) 他装置との情報交換に際し、信号線の情報密度を高め信号線の有効利用が図れる。

(6) 自己診断により速やかな故障検出、対策処理が可能である。

(7) ソフトウェアにより制御装置を実現でき、システム変更が容易であるためシステムの柔軟性が増す。

これらのメリットをそれぞれの用途に生かすことにより、デジタル電子油圧式ガバ制御装置、デジタルABC、デジタルバーナ制御装置、デジタルALR・AQR、シーケンサ等の制御装置が構成される。

2.3 火力発電プラント向けデジタル制御システム

今回の火力発電プラント向けデジタル制御システムのシステム構成の1例を図1に示す。これは電力向けとして積極的にマイクロプロセッサを導入した集中監視分散制御形DDCシステムであり、上記のような要求に十分対処できるよう、次のような考慮を払っている。

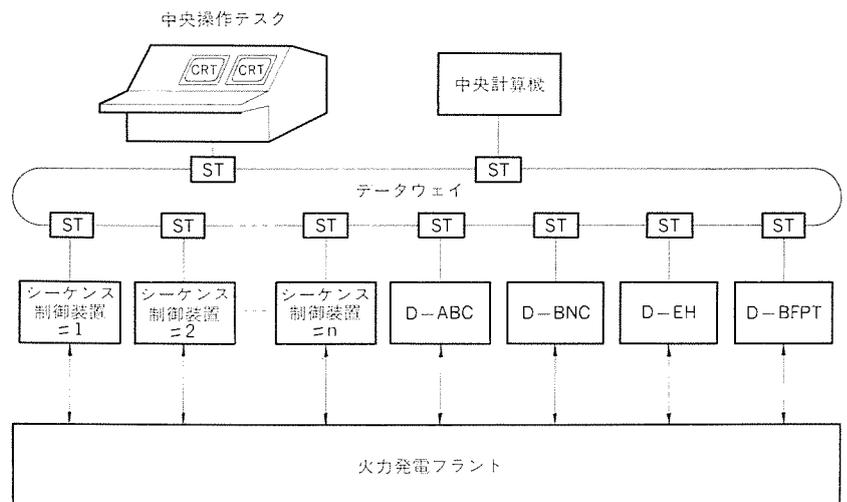


図1. 火力発電プラント向けデジタル制御システム構成

(1) 制御機能を機能グループごとに分割し、その各々のグループにCPUを配備する機能分散形システムとして、万一の場合にもプラント全体への被害波及を局所化できるようにした。

(2) 必要に応じて機能グループ単位に2重化システムが構成でき、信頼性を大幅に向上させることができるようにした。

(3) 手動操作・非常停止に対しては、独立したバックアップシステムが容易に配備できるようにし、他装置とのマッチングについても十分考慮を払い、総合システムとしての構成が効果的に達成できるようにした。

(4) 監視機能については、データウェイ、リンケージエディタ等を介して中央計算機がすべての制御データ、プラントデータを管理し、中央のグラフィックCRT、聴覚インタフェース(VAS)に出力するという形態を採用した。

(5) 入出力部については、仕様を電力規格に準拠させ、特に耐サージ性、耐ノイズ性に特別の配慮を払うようにした。

なお、これらのデジタル制御システムを火力発電プラントに大幅に導入する場合、解決すべき問題点として次のような点が上げられる。これらを解決することが、次のステップに進む大きな鍵となるであろう。

- (1) 最適制御システム構成の立案
- (2) 分散化適正規模の算出
- (3) ソフトウェア体系とその生産性

以下、システムコンポーネント制御装置を中心に、そのハードウェア構成・ソフトウェア構成について述べていく。

3. ハードウェア

発電所制御は、多様性、複雑性、規模の大きさなどに関連して、その制御装置の構成は種々考えられる。各種方式のハードウェアを統一した思想のもとにシステム化し、合理的に最適の制御装置を構成することが重要である。

3.1 ハードウェアのラインアップ

プラントから要求される制御・保護システムを実現するためのハードウェアは、図2.に示す系列となり、基本体系は図3.、表1.のとおりである。

3.2 プログラマブルコントローラ (M-Line)

工業用計算機システム《MELCOM 350-50》シリーズの最下位に位置し、

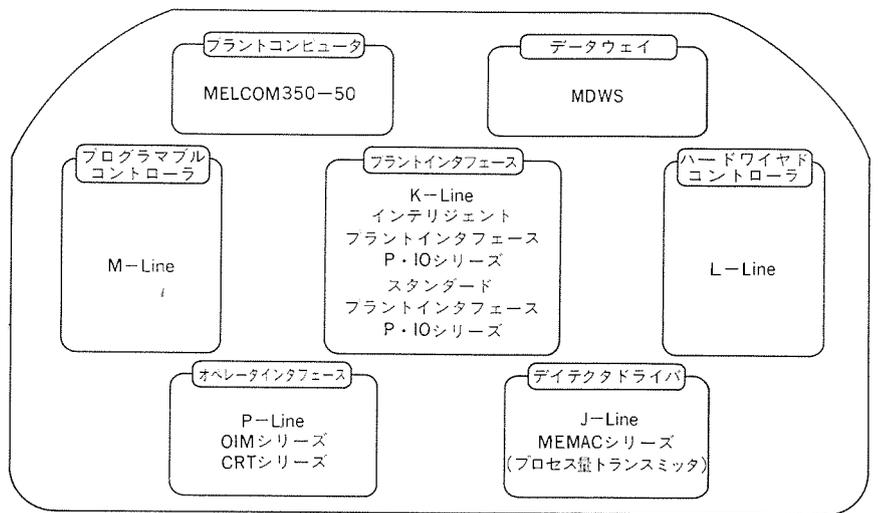


図 2. ハードウェアラインアップ

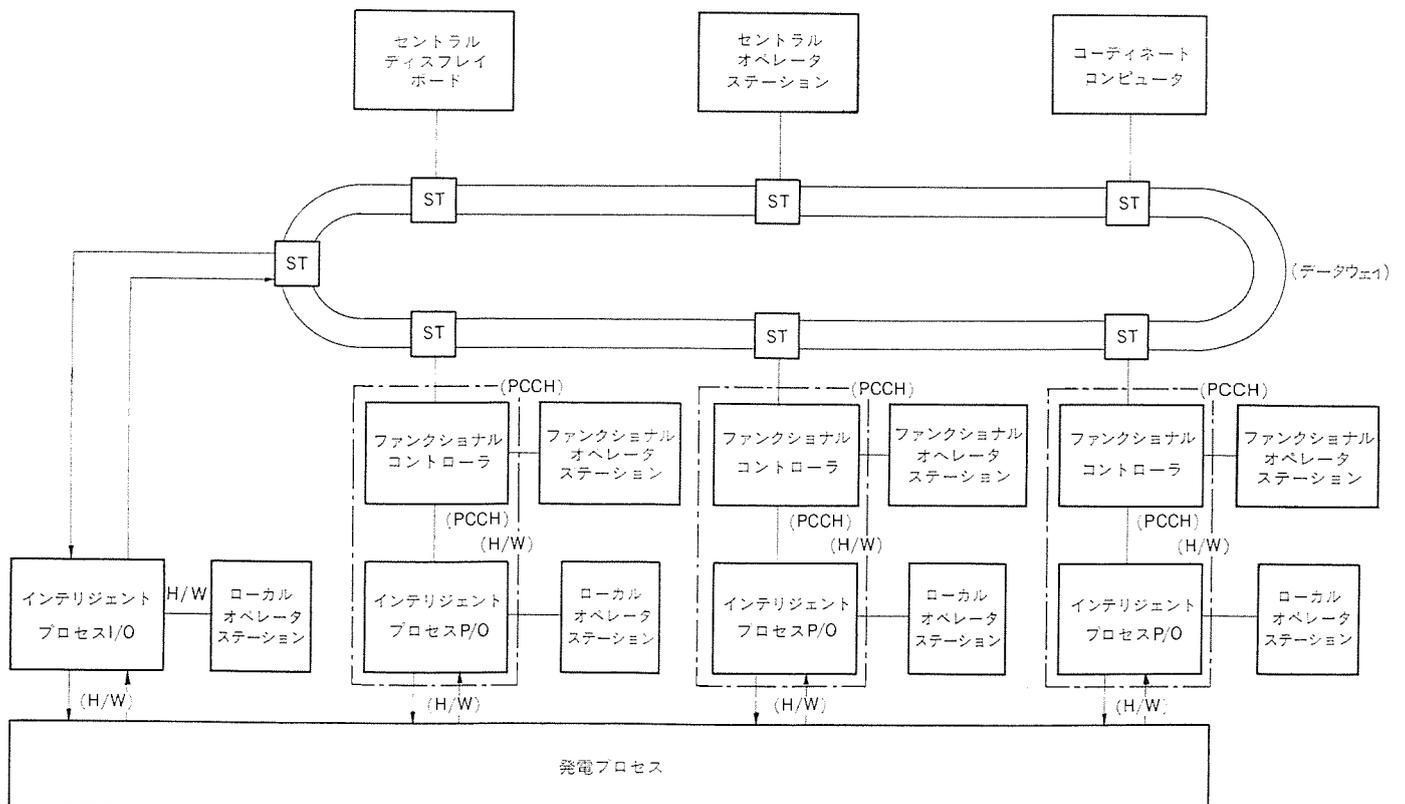


図 3. ハードウェア基本体系

表 1. ハードウェア 基本構成

名 称	用 途	使用する H W
コーディネート コンピュータ	情報の集中管理・集中処理	MELCOM 350-50 A 2300 A 2400
セントラルオペレータ ステーション	プロセスの定常的運転監視パラメ ータ変更ロギング	MELCOM 350-50 A 2100
セントラル ディスプレイボード	プロセスの起動・停止時のバック アップ操作・監視	
ファンクショナル コントローラ (プログラマブル コントローラ)	制御対象と応じたアルゴリズムの 制御を実現するコントローラ	
インテリジェント プロセス I/O	インテリジェントプロセス I/O 用 バックアップ操作ステーション	
ローカルオペレータ ステーション	プロセス操作端専用の入・出力モ ジュール	マイクロコントロー ラの PI/O
データウェイ	コーディネートコンピュータを中 心としたデータウェイシステム	MDWS-30
	分散したコントローラのデータウ ェイ (リモート PI/O)	MDWS-5

それ自体でスタンドアロンで小形高性能な工業用マイクロプロセッサシステムである。主な特長を次に示す。

(1) 高性能なマイクロプロセッサ

ハイボラ形のマイクロプロセッサチップを中心に CPU を構成し、ミニコンピュータ並みの機能を発揮する。

(2) 主メモリ

ICメモリのほかに、不揮発性のコアマモリも使用可能。

(3) 入出力チャネル

低速プログラム制御チャネルと高速のダイレクト入出力機構を備えている。

(4) リアルタイム/フェイルセーフ機能

システムの高か(稼働) 保全性を確保するために充実した RAS 機能を備えている。

3.3 プラントインタフェース (K-Line)

プロセス入出力システムには、装置特有の機能を内在したインテリジェント PIO と、通常のデジタル I/O、アナログ I/O との 2 種を準備している。

3.4 データウェイ (MDWS)

ループ状に張られた光ファイバ、又は同軸ケーブルを通じて、ケーブル上の任意の位置に設置したステーション間の情報伝達を実現する。

3.5 オペレータインタフェース

マンマシンのコミュニケーションの手段を充実させ、集約された制御エリアに的確な情報を迅速に提供し、安全で迅速な操作員の対応を可能にする。

CRT, コントロールステーション, プログラミングパネルを駆使して多角的な表現で、情報をオペレータに提供する。

4. ソフトウェア

デジタル制御システムのソフトウェア構成はスーパーバイザ(システム管理プログラム)を中心として、アプリケーションプログラム, 入出力プログラム等からなっている。図 4. にソフトウェア構成概略図を示す。

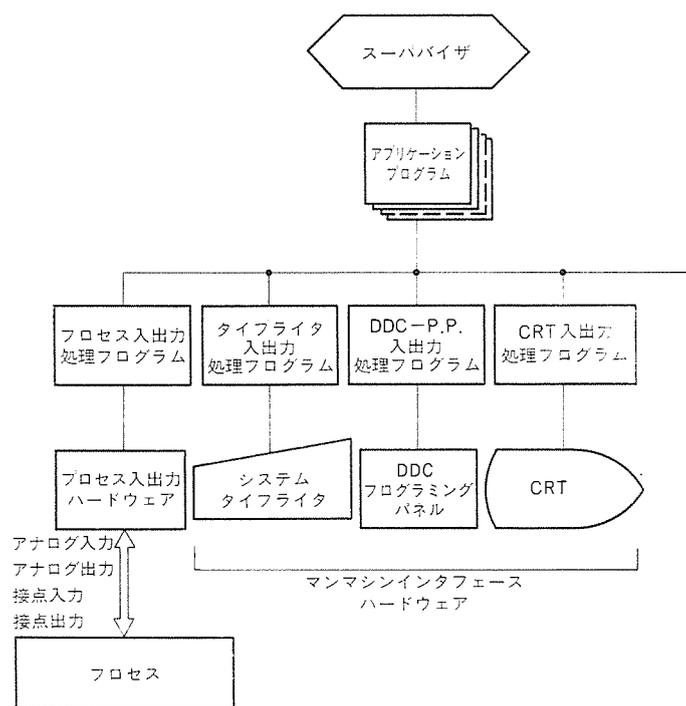


図 4. ソフトウェア 構成概略図

4.1 スーパーバイザ

割込み処理機能, タスクコントロール機能, 時間監視機能など, 従来のスーパーバイザ機能をモジュール化し, それらを組合せることによりシステムごとに最適なスーパーバイザを提供できるようにしている。

4.2 アプリケーションプログラム

近年, 開発すべきソフトウェアが大規模化し, 特に発電分野のように対象プラントごとにそのアプリケーションが大幅に異なってくる場合, 下記のような項目が特に問題となる。

- (1) ソフトウェアの開発・保守の各段階での生産性向上
- (2) ソフトウェアの品質, 特に信頼性・保守性・拡張性の向上

このため,

- (1) プログラムを分割し, ユニット単位で作成・修正できるようにする。
- (2) プログラムはなるべく高位言語を使って記述する。などの対策を取っている。こうした手法を採用することにより, いわゆる“わかりやすい”プログラムの供給を可能としている。

4.3 入出力プログラム

入出力プログラムはスーパーバイザの管理下で種々の入出力ハードウェアに対して入出力処理を行うためのプログラムパッケージである。入出力プログラムに対する要求としては

- (1) スーパーバイザとの接続が容易である。
 - (2) フォートランコントロールである。(高位言語による直接アクセスが可能である。)
 - (3) アプリケーションプログラムでの入出力操作を標準化できるようにする。
- などがあげられる。

現在, 入出力プログラムについては, ハードウェアとのかかわりが深いためアセンブラでの記述が多く, またその種類も非常に多くなってきている。このため, 入出力プログラムの保守性・拡張性の向上が, 今後の大きな課題と言える。

5. 応用 例

5.1 DEH ガバナ

DEH (Digital Electro-Hydraulic Governor) は、主タービンの回転数を制御する装置である。

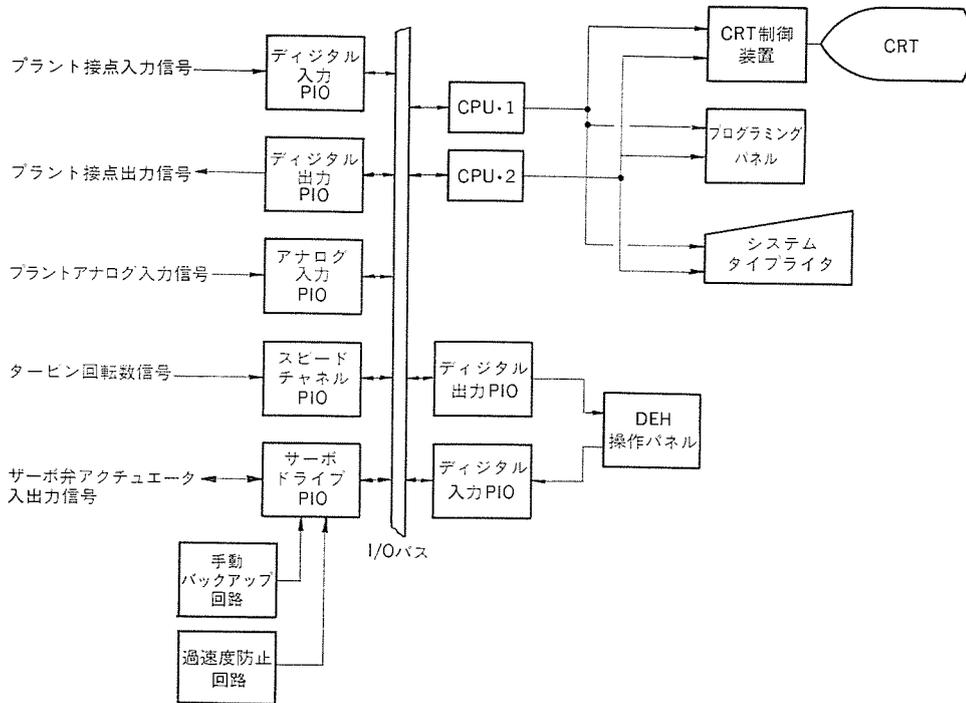


図 5. DEH 制御装置 H/W 構成概略図

5.1.1 H/W 構成

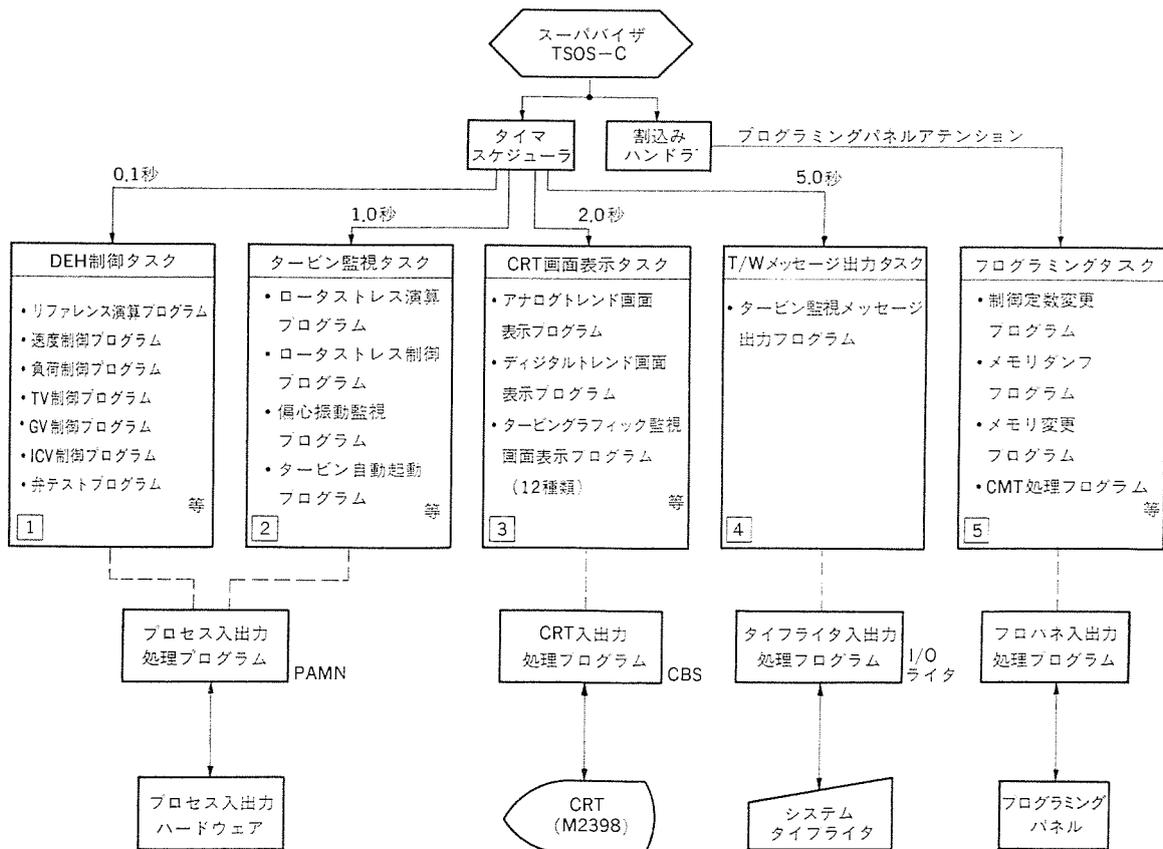
DEH ガバナの H/W 構成図を図 5. に示す。主たる制御アルゴリズムはプログラムコントローラで演算される。PIO には標準的な PIO ハードウェアの他、スピードチャンネル、サーボドライバ等、特有の PIO ハードウェアも有している。バックアップ系、保護系は、上記デジタルシステムとは全く独立したアナログ回路で構成し、信頼性の向上を図っている。マンマシンインタフェースは、DEH 操作パネル、CRT、プログラミングパネル、タイプライタ等で構成する。

5.1.2 S/W 構成

DEH ガバナの S/W 構成図を図 6. に示す。TSOS-C (スーパーバイザ) の管理のもとに 5 つの標準タスクプログラムで構成する。主として DEH 制御タスク、タービン監視タスクが制御演算を行い、他の 3 つのタスクはマンマシンインタフェース関係の演算処理を行う。

5.2 プログラマブルシーケンス制御装置

プログラマブルコントローラをシーケンス制御装置専用機として用いたもので、演算制御とシーケンス制御の両方を含む複雑な制御に本装置 1 台で対処できる。典型的な構成を図 7. に示す。



注) □の数字はプライオリティを表している。
数字が小さいもの程優先度が高い。

図 6. DEH 制御装置 S/W 構成概略図

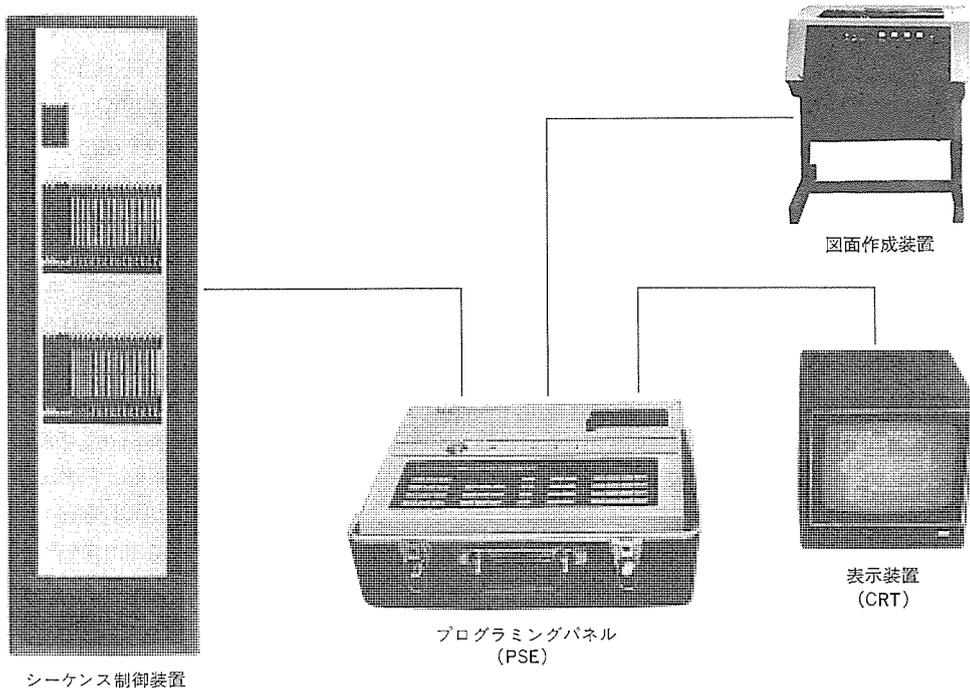


図 7. シーケンス 制御装置構成

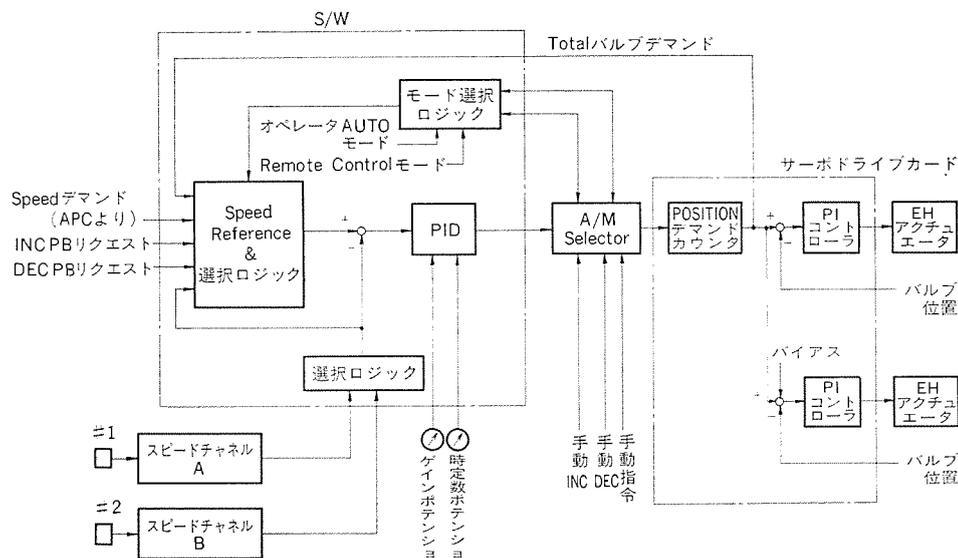


図 8. DBFPT ガバナの H/W 構成図

5.2.1 機能

この装置の主な機能的特長を以下に述べる。

(1) 高精度シーケンス制御

アナログ量の判定演算などを含む精度の高いシーケンス制御を容易にプログラミングできる。

(2) 会話形式のプログラミング

プログラムは、リレーシンボルをCRT画面上で組合せてリレー回路図を描くだけでよく、修正・追加・削除等もこのリレー回路図を通じてCRTと対話しながら行える。

(3) シミュレーション機能

プログラミング装置からの模擬入力データにより、作成済のリレーシーケンス動作のシミュレートができる。

(4) モニタ機能

現在の制御状態を一定周期ごとにCRT画面に表示する。

(5) リレー回路図面の作成

ハードコピー装置によりCRT画面上のリレー回路をコピーでき、図面として利用できる。

5.3 DBFPT ガバナ

DBFPT (Digital BFPT) ガバナは、ボイラへの給水を行うBFPタービンの回転数を制御する装置である。

5.3.1 H/W構成

DBFPTガバナのH/W構成図を図8.に示す。H/W構成はDEHガバナの場合とほとんど同じであるが、プログラマブルコントローラの2重化は行っていない。またシステムを簡素化するためCRT、タイプライタなどのマンマシンインタフェースは省略し、BFPT操作パネル、プログラミングパネルのみを備えることにした。

5.3.2 S/W構成

H/W構成図(図8.)のうちわく(枠)で囲みS/Wと記入している部分が演算プログラムで構成する部分である。モード選択などのロジック演算、速度設定演算、PIDコントロール演算などを、プログラマブルコントローラで行う。制御演算プログラムは、100msごとに起動される。

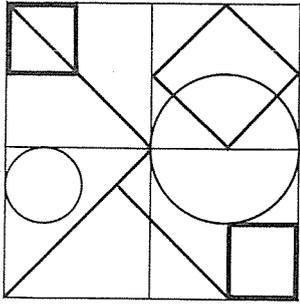
6. む す び

本稿では、火力発電プラントにおける制御装置のデジタル化の動向とハードウェア、ソフトウェアの概要と適用事例に

ついて記述したが、今後ともますますその活用は増大するものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 松本, 松宮, 花村, 小田橋, 小野: 発電分野における計算機システムの現状と今後の動向, 52, No. 9 (昭53)
- (2) 的場, 山内, 松本, 池田, 中島: 分散制御システムにおけるデータウエー, 52, No. 2 (昭53)
- (3) 米沢, 武藤, 長沢, 朱雀, 下間: 《MELCOM》350-50工業用計算機システム, 52, No. 3 (昭53)



特許と新案

電気機器の冷却装置 (特許第914001号)

発明者 小林 凱・鹿野 義郎

この発明は、フロン等の凝縮性冷媒の相変化を利用して半導体素子を冷却する沸騰冷却装置に関するもので、沸騰部への液相冷媒の安定した供給を可能にすることによってすぐれた冷却特性を得ることを目的とする。

図1. は従来装置の1例である。例えば凝縮性冷媒としてフロン113を使用し1kW近辺の熱量が半導体素子(1)で発生し、これが放熱片(1-a)を通して冷媒液相(6)に加えられた時には1秒間で約1lもの大量の気相(8)が発生する。一方、逆に凝縮部(3)から沸騰部(2)に戻ってくる凝縮液(9)の量は1秒間で約200分の1lといった少量である。したがって特に大容量装置の場合、気相(8)によって凝縮液(9)が吹きあげられ、沸騰部(2)へ十分な液相冷媒(6)が供給し得なくなり、ひいては正常な冷却動作が行えなくなるという欠点があった。

これに対しこの発明は図2. に示すように、沸騰部(2)と凝縮部(3)は冷媒流通管路(4)で結ばれ、液相冷媒(6)は冷媒液面(7)が管路上部開口部(11)の上方の適当位置にまでくるように満たされている。更に管路(4)の内部に補助管路(12)がその上部開口部(13)を液溜(16)中の管路上部開口部(11)よりも上方、冷媒液面(7)よりも下方に位置するようにし、かつ下部開口部(14)を沸騰部(2)中に置

くようにして装着されている。

この発明の装置は以上のごとく構成され、液溜(16)に満ちている液相(6)は管路(4)及び補助管路(12)を経て放熱片(1-a)内部にもどるようになっている。補助管路下部開口部(14)は放熱片(1-a)において沸騰が激しく行われる部分よりも下までもってきているので、気相(8)が補助管路(12)内部に突入することはなく、たとえ、極めて激しい沸騰動作が起こり管路(4)内がほとんど気相で占められるようなことがあっても、補助管路(12)内部では安定した戻り液(15)の流れが得られ、常に安定した液相(6)の供給が可能となる。

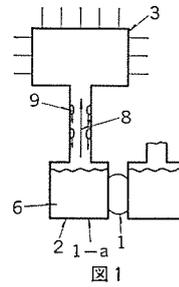


図1

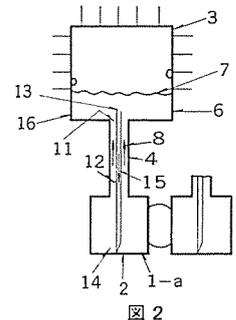


図2

ダイオード故障標定装置 (特許第774324号)

発明者 山中 彪生

この発明は、符号発信器の数値信号出力を読取る装置において、符号発信器の出力用接点と直列に入っているダイオードに短絡故障が生じた場合にどの箇所のダイオードが故障したかを標定する装置に関する。

図1. はこの発明の標定対象となる符号発信器及び数値読取回路の1例を示す図である。C1U, C1Dは接点P1の開閉数を接点開閉の組合わせによる2進10進符号として取出す符号発信器で、C1Uは1の位、C1Dは10の位用のもの、C2U, C2D、は接点P2に対応する符号発信器でC2Uは1の位、C2Dは10の位用のものである。例えばC1Uにおいて、接点1U1, 1U2, 1U4, 1U8がコイル1Uによって閉じられると、1, 2, 4, 8を表す出力がダイオード1U1D, 1U2D, 1U4D, 1U8Dを通して読取用共通線LU1~LU8, LD1~LD8に出力される。他の符号発信器C1D, C2U, C2Dも同様に作用する。次に、C1U, C1Dの出力を読み取る際には、線LS1に正の電位を印加し、C1U, C1Dの接点を通して現れる出力を読取用共通線LU1~LD8により読取る。

ここで符号発信器C2U, C2Dがそれぞれ7, 8を計数し接点2U1, 2U2, 2U4, 2D8を閉じており、C2Uのダイオード2U2Dが短絡故障している場合を例にとり、これを図2. の標定装置で標定する動作について説明する。最初は操作スイッチSWは図示の位置にあり継電器Aが付勢され、接点AU1~AD8は閉路している。この状態でロータリスイッチTRSにより順次LU1~LD8を選択して正電位を印加して行く。いま短絡したダイオード2U2Dに接続されているLU2を選択すると、故障ダイオード、接点2U2, 2U1, 2U4, 2D8を介してまわり込んだ正電位が他の読取用共通線LU1, LU4, LD8にも現れ、記憶用継電器RU1, RU2, RU4, RD8が付勢される。記憶用継電器RU1~RD8の接点回路RU14, RU24, RU25, RU26, ……、RD84からなる検出回路は、2個以上の記憶用継電器が付勢されたことにより閉路され、ランプLが点灯し、読取用共通線LU2に接続されているダイオードのうちどれかが故障していることがわかる。次にスイッチSWを切換えると、接点BU1~BD8が閉路して受量用継電器TU1~TD8が読取用共通線LU1~LD8に接続される。継電器Aには復帰制限

特許と新案

を持たせてあるので付勢された記憶用継電器の、接点 B₀ の閉成による自己保持時間は確保される。ここで選択装置 S によって線 LS 1 ~ LSN に順次正電位を選択的に印加して行く。そして線 LS 2 を選択すると、先にロータリスイッチ TRS で LU 2 を選択した際と同様に読取用共通線 LU 1, LU 2, LU 4, LD 8 に正電位が現れ、それに接続された受量用継電器 TU 1, TU 2, TU 4, TD 8 が付勢され

る。対応する記憶用継電器と受量用継電器が付勢されるとこれらの接点 RU 12, RU 13, …… , RD 82, RD 83 からなる一致検出回路が閉路し、継電器 CD が付勢され、選択装置 S を停止させる。これにより、LU 2 に接続されかつ LS 2 に接続されたダイオード 2U 2D が故障していることを標定することができる。

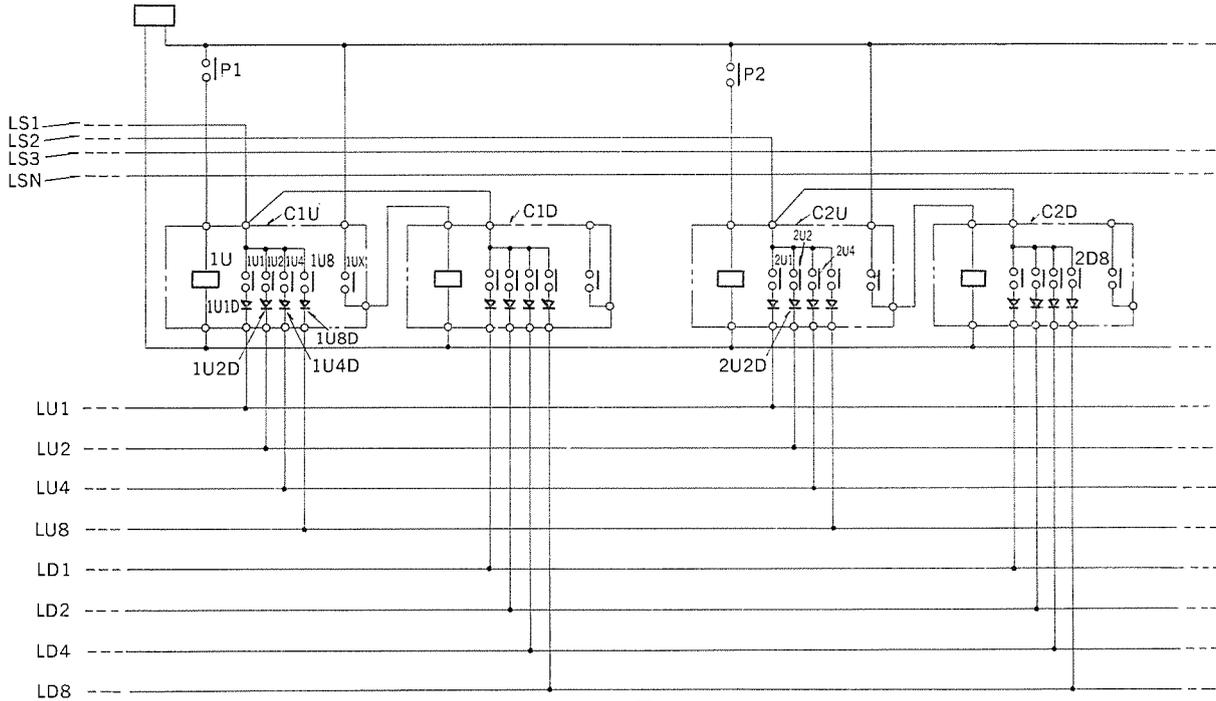


図 1

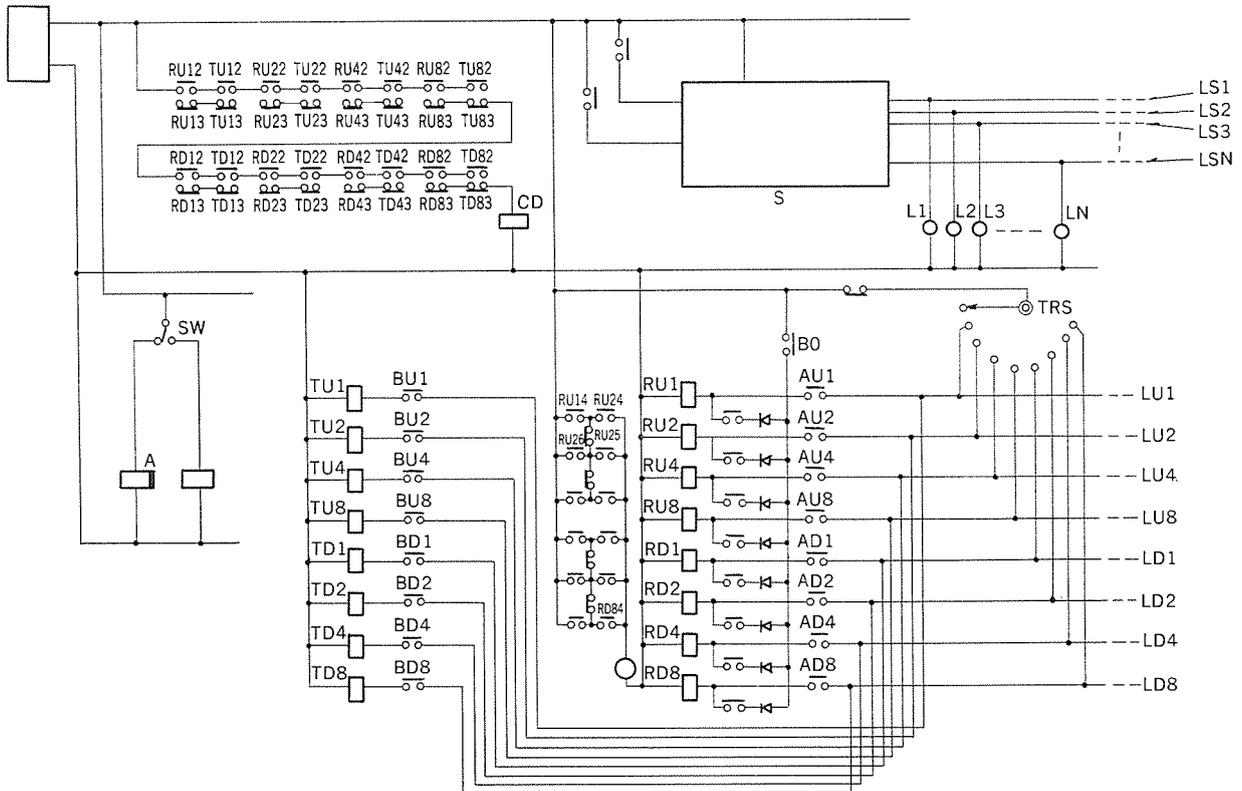


図 2

1. ま え が き

電力系統の高電圧・大容量化に伴って、主要機種の一つである変圧器も高電圧・大容量化が進んでいる。変圧器の高電圧・大容量化によってその輸送重量・寸法は増大する傾向にあるが、一方輸送上の制約は厳しくなる状況にある。我が国では一般に火力・原子力発電所は海岸近くに建設され、変圧器は海上輸送されるので輸送上の制約はほとんどなく、単器容量が1,000 MVAを超過する変圧器であっても組立輸送されている。一方、変電所や水力発電所は、内陸に建設されるので変圧器は陸上輸送となり、鉄道・道路などの輸送制限を受けるため組立輸送が可能な変圧器の最大容量は500 MVA前後である。

三菱電機(株)では、これらの輸送制限を克服するために特別3相変圧器や6分割特別3相変圧器を開発して多数の変圧器を納入してきたが、今後輸送上の制約はますます厳しくなると考えられるので、新しい輸送方式の開発が必要となってきている。

このために、新しい輸送方式としてコイルグループをパッケージ方式とし、分解輸送を行う変圧器(CGPA—Coil Group Packed Assembly—変圧器)を関西電力(株)との共同研究によって開発した。ここにCGPA変圧器について紹介する。

2. CGPA変圧器の概要と特長

CGPA変圧器は、コイルグループを絶縁物製の密封容器に収納して外気としゃ(遮)断した状態で輸送並びに現地組立を行う変圧器である。コイルグループの密封(パック)は、工場でのコイルグループ組立工程でパック用部品を取付け、乾燥直後に通油口のみを残して他の部分の密封作業を行う。パック材料は、絶縁物と一体構造となってコイルグループを包んでおり、通油のための開口部以外は変圧器の内部に組込む。その他の構造及び組立方法は通常の変圧器と同様である。工場試験終了後鉄心解体を行い、コイルグループは通油口をシール材で密封して輸送タンクへ収納後現地へ輸送する。鉄心などの中身部品も防湿こん(梱)包して現地へ輸送する。

現地では、コイルグループを下部タンクに収納する時点で下部の通油口を開封するが、下部タンクには絶縁油を入れてコイルグループの吸湿を防止する構造となっている。上部通油口の開封はリード結線時に行う。したがってコイルグループの大気露出時間は、通常の変圧器とほぼ同一である。

このように、CGPA変圧器では工場組立段階でコイルグループをパックするため、信頼度の低下をきたすことなく現地への輸送並びに現地組立ができる。CGPA変圧器は、次のような特長を有している。

- (1) 最大輸送重量が大幅に軽減できるので、特殊大形車両を必要としない。
- (2) 輸送上の制約が大幅に改善されるため変圧器設計上の自由度が増し、特別3相、6分割特別3相、あるいは単相器3台によるパック構成となっているものについて、この方式を採用することによ

り普通3相変圧器とすることが可能となり、すえ(据)付スペースの縮小化、省資源、損失低減が図れる。

(3) コイルグループは、現地組立完了まで絶縁物を吸湿させることなく、工場試験を終了した状態に完全に保持されているため、組立輸送方式による場合と同様の信頼度を確保できる。

(4) 現地での鉄心積作業等は、防湿・防じん(塵)対策を施した環境下で行う必要があるが、近年の機材の進歩によってこれらの環境は比較的容易に実現できる。また、現地組立作業時の揚重設備としても大がかりなものは不要であり、一般のレッカー車などで十分である。

(5) 外鉄形変圧器の場合は、コイル配置として交互配置を採用しているため、コイルグループを容易に分割してパックすることが可能であり、したがって超大容量器への適用も容易である。

(6) コイルグループの上下開口部は、繰返してパックできる構造となっているため、変圧器の移設も可能である。

3. CGPA変圧器の開発

CGPA変圧器の開発に当たっては、コイルグループを密封収納する容器としてどのような材料を使用するかを検討する必要がある。使用する材料としては種々のものが考えられるが、工場におけるコイルグループの組立途上でパックするという観点から、プラスチックフィルムやゴムなどの軟質材料をパック材料として用いることにして、パック材料の選択・パック材料の接合方法・パック構造・防湿効果の確認・輸送並びに現地組立方法及び試験検査方法の研究を進めた。更にこれらの研究内容を集大成してCGPA変圧器の一連の製作技術を確立するとともに、実系統における実用性能を検証するために実証用変圧器を製作した。

3.1 パック材料の選択と加工方法

パック材料としてのプラスチックフィルムやゴムなどの軟質材料には非常に多くの種類がある。パック材料は、変圧器の中身部品として内部に組込まれるため、その選択に当たっては防湿性に優れているほか、耐油性・耐熱性などの特性についても十分に検討する必要がある。このために適用可能と思われる約50種類のサンプルについて電気特性・機械強度・透湿度・耐油性・油污損性、及び加熱劣化後のこれらの特性の変化やガス発生の有無などは(把)握するための試験を行った。この結果、FEP系の材料が優れていることがわかった。表1.に代表的な材料について特性の1例を示す。

次にパック材料の接合方法について検討した。接合の方法には、接着剤を用いる方法と熱溶着による方法がある。更に熱溶着には外部から加熱する方法と高周波や超音波によって内部発熱させる方法がある。いずれの方法を用いるかは接合部の強度や作業性を考慮して決定する必要がある。このために接合方法について種々の試験を行った。その結果、FEP系の材料の接合には、外部熱源を用いた熱溶着が適していることがわかったので、パックの実作業に適したヒートシーラを開発した。

表 1. 各種材料の諸特性の 1 例

材 料	特 性 透 湿 率 ^{*1} ($\frac{g \cdot cm}{cm^2 \cdot s \cdot cmHg}$)	交 流 破 壊 電 圧 ($\frac{kV}{mm}$)	弾 性 率 ($\frac{kg}{mm^2}$)		引 張 強 度 ($\frac{kg}{mm^2}$)		伸 び (%)		融 解 温 度 ($^{\circ}C$)
			常 温	90 $^{\circ}C$	常 温	110 $^{\circ}C$ 200 h ^{*2}	常 温	110 $^{\circ}C$ 200 h ^{*2}	
FEP	0.3~0.55	106	50	35	4.1	4.1	480	460	250
FEP (ガラス入)	0.8~90	29	170	145	16	14	0	0	320
ETFE	1.5	89	80	40	—	—	—	—	250
ポリエステル	1.8	96	270~360	270~320	17	15	115	105	250
ポリプロピレン	0.25~0.35	213	215	125	12	7	90	70	150
ニトリルゴム	20~30	44	—	—	4.1	—	50	—	190

注 *1 JIS Z 0208 カップ法による。(40 $^{\circ}C$, 90% RH)

*2 油中加熱後の値

FEP : FLUORINATED ETHYLENE PROPYLENE

ETFE : ETHYLENE TETRAFLUOROETHYLENE

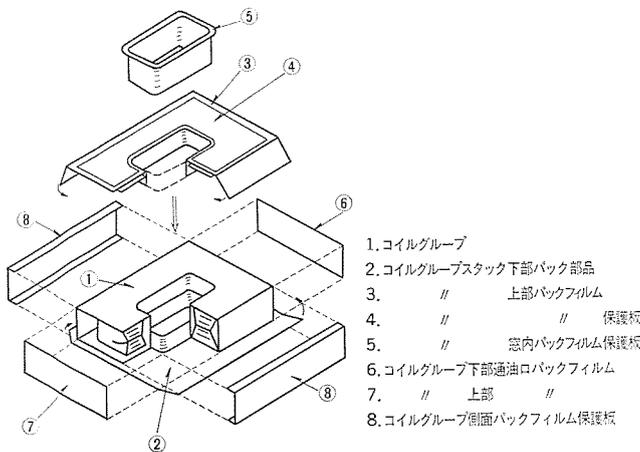


図 1. パック構造

3. 2 パック構造と工作方法

図 1. にパックの構造を示す。図 1. において①はパックされるコイルグループを示し、②~⑧はパックのための部品を示す。コイルグループとパックのための部品の組立は、次のように行う。まずコイルグループを組立てる際のコイルグループ下部バック部品②を用意し、その上にコイルグループ①を組立てる。コイルグループの組立が完了した時点で、コイルグループ上部バック部品③、④を取付け、この状態で乾燥する。乾燥終了後に②と③の接合を行い、最後にパック材保護板⑤と⑧を取付ける。⑤と⑧を取付けた後は通常の変圧器と同様に組立てる。

工場での試験を終えた後は、リード結線を外した時点で上部通油口をシール材⑦でシールし、鉄心解体を行う。鉄心解体後にコイルグループを下部タンクより取出しシール材⑥で下部通油口をシールして輸送タンクに納める。これらのパック作業は空調された組立室で行う。

3. 3 防湿効果確認実験

CGPA 変圧器では、分解輸送を行うに当たって絶縁物が吸湿することなく輸送並びに現地組立ができることが特長である。

このためにコイルグループをパックする材料には、防湿性に優れているものを使用しているが、実物のコイルグループをパックしての防湿効果を確認するために、500 kV 級変圧器のコイルグループを用いて実際にパックし、作業性の検証を行うとともに湿度の高い梅雨時での防湿効果確認実験を行った⁽¹⁾。その結果、コイルグループの絶縁物内水分の増加は非常に少なく、吸湿防止に対してこの方式が有効であることを確認できた。図 2. に防湿効果確認実験中のモデルを示し、図 3. に同モデルにおける絶縁物内水分の変化を示す。絶縁物内の水分

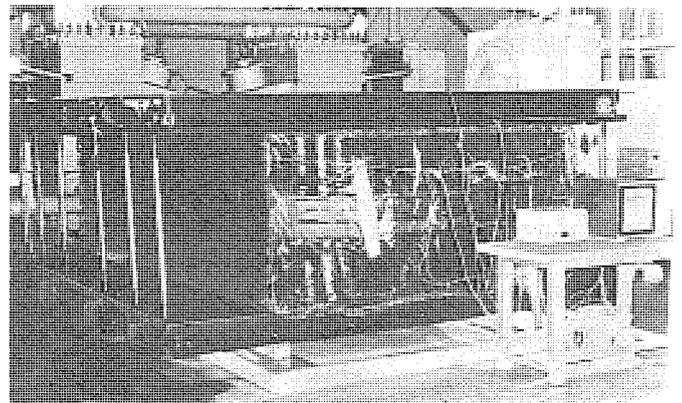


図 2. 防湿効果確認実験中のモデル

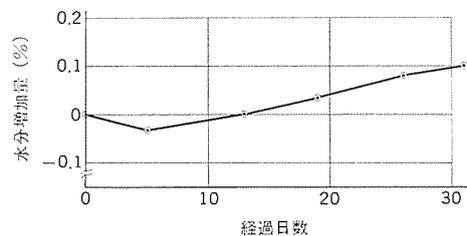


図 3. 絶縁物内の水分変化

は、コイルグループ内に組込んだサンプルを定期的に取り出して測定した。

3. 4 輸送並びに現地組立模擬実験

パックされたコイルグループの現地への輸送は、現地での組立用治具を兼ねた締付プレートによって強固に締付けられた状態で輸送タンクに納めて行うので、輸送中にコイルやパック材料が損傷を受けることはないと考えられるが、確認のためにトレーによる輸送実験と貨車による突放し実験を行った。パック材料が損傷を受けたか否かの判定については、あらかじめパック内部に封入しておいたガスのもれを検出する方法によった。

更に、コイルグループが現地に到着してから下部タンクに収納するまでの工法及び必要治工具類の机上検討結果を確認するために現地組立を模擬した実験を行った。

これら一連の実験を終えた後、コイルグループを解体してコイルやパック材料の損傷の有無を調べ、何ら異常のないことを確認した。実験に用いたコイルグループは、発電所用 600 MVA 級変圧器の 1/2 相分に相当する大きさを有し、重量は約 25 トンである。

4. 500 kV 実証用変圧器の製作

CGPA 変圧器の開発のために行った研究内容を集大成し、工場における製作技術を確立するとともに関西電力(株)奥多々良木発電所に

輸送して再組立を行って現地組立作業を確認し、更に 500 kV 実系統に接続して実用性能検証を行うための実証用変圧器を製作した⁽²⁾。

4.1 変圧器の仕様

外鉄形送油風冷式
 単相 100 MVA 60 Hz
 高圧 550/√3 kV 500 L号
 低圧 77(38.5) kV 70号

この変圧器の設計に当たっては、変電用バンク1,000 MVA、あるいは発電用 600 MVA 変圧器に CGPA 方式を採用した場合を想定した。外鉄形変圧器の場合は、コイルグループを容易に分割してパックできることを考慮して、変圧器のコイルグループは前述の変圧器の 1/2 相分に相当する大きさとした。

4.2 変圧器の製作

工場での製作については、この変圧器のコイルグループとほぼ同じ大きさのコイルグループによるパック作業確認実験などを行っていたのでスムーズに行うことができた。図 4. に実証器のパックされたコイルグループを示す。

4.3 工場試験

工場試験としては、一般の 500 kV 電力用変圧器に通常実施されている試験のほか長時間温度試験、長時間耐電圧試験を行った。

これらの試験の結果、油中ガス分析の結果にも異常は認められず、

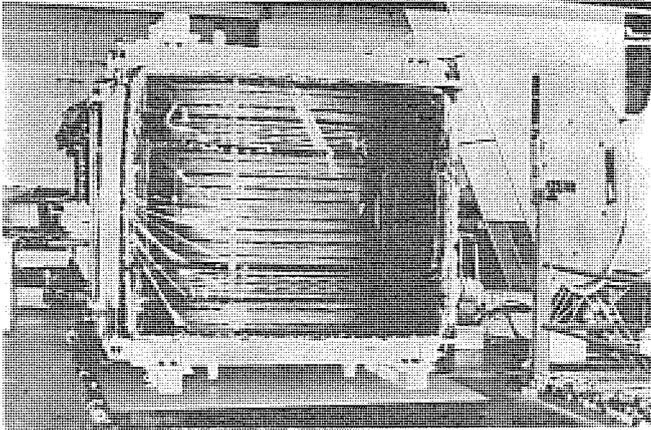


図 4. 実証器のパックされたコイルグループ

表 2. 実証器の試験内容

項目	工場試験	現地試験(注)
特性試験	(1) 変圧比測定	○
	(2) 極性試験	○
	(3) 巻線抵抗測定	×
	(4) 無負荷特性試験	○
	(5) インピーダンス試験	○ (低電流)
	(6) 温度試験	×
	(a) 通常温度試験 (12時間)	
	(b) 現地課電対象	
	温度試験 (110% 励磁, 12時間)	
	(7) 騒音試験	○
	(8) 移行電圧測定	×
	(9) 絶縁抵抗測定	○
(10) 誘電正接及び静電容量測定	○	
(11) 油中ガス分析	○	
(12) その他部品関係の試験	○	
耐電圧試験	(1) 加圧試験	現行の現地耐電圧試験を実施
	(2) 雷インパルス試験	
	(3) 開閉インパルス試験	
	(4) 誘導試験	
	(5) 長時間交流耐電圧試験	

注 ○印 実施した ×印 実施せず

また部分放電測定結果も良好であったことからパック材料及び組立方法に問題がないことを確認できた。表 2. に試験項目を示す。

4.4 輸送

CGPA 変圧器では、最大重量物はコイルグループであり、この変圧器の場合は輸送タンクを含めて約 30 トンである。コイルグループの輸送は、シキ 70 形低床車及びセミトレーで行った。鉄心その他の部品は、防湿梱包してトラックで行った。この変圧器を仮に組立輸送するとすれば、輸送重量は約 80 トンとなる。図 5. に現地へ輸送中のコイルグループを示す。

4.5 現地組立

現地組立は、大別してコイルグループを下部タンクに収納するまでの主として揚重設備を用いる作業と、鉄心積などの組立作業に分けられる。コイルグループを下部タンクに収納する作業は、あらかじめ現地組立模擬実験を行っていたため、問題なく行うことができた。揚重設備としては、レッカー車 2 台を使用した。図 6. に下部タンクへ収納作業中のコイルグループを示す。

鉄心積などの組立作業は、防湿・防塵対策を施した環境下で行う必要があり、このためにじゃばら式のテントハウスを用いた。テントハウスの大きさは、幅 9 m、長さ 10 m、高さ 4.5 m (いずれも有効内寸法) である。テントハウス内には、通常の変圧器の現地組立作業時に用いるドライエア発生装置を用いて乾燥空気を送入するとともに、温湿度計や粉じん(塵)測定器を用いて作業環境を監視した。図 7. に鉄心積作業中の実証器を示す。鉄心積が終了し、タンクを覆った

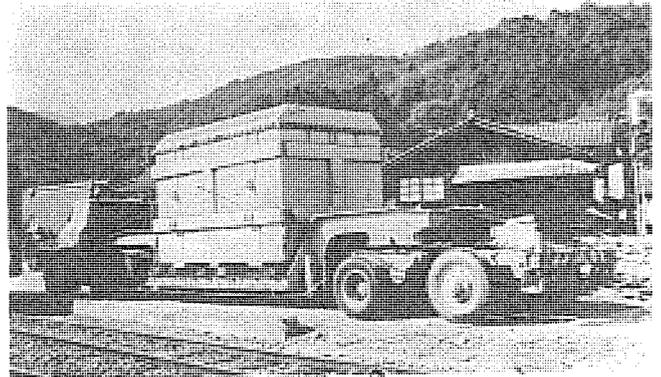


図 5. 現地へ輸送中のコイルグループ

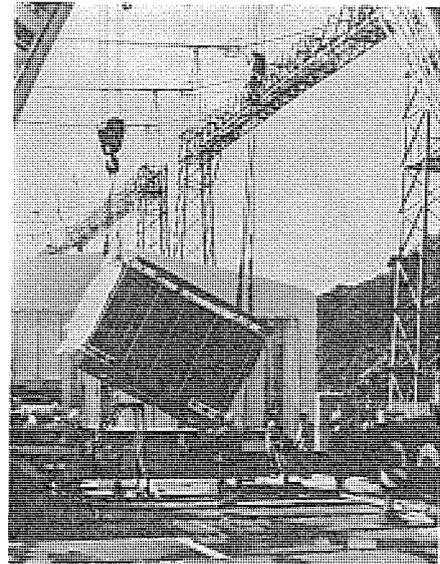


図 6. 現地にて下部タンクへ収納作業中のコイルグループ

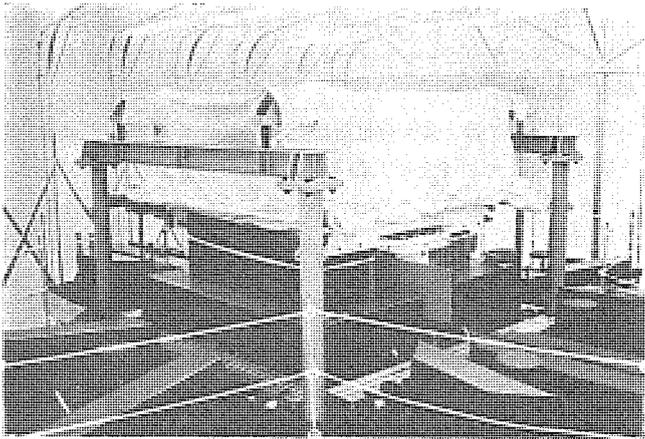


図 7. 現地で鉄心積作業中の実証器

表 3. CGPA 方式による変圧器諸元の 1 例
(500 kV 変電所用 パック 1,000 MVA)

		従来方式 (単相器×3台)	CGPA 方式 (普通3相器)	
仕 様	容 量	1,000/3 MVA	1,000 MVA	
	相 数	単相	3 相	
	周 波 数	60 Hz	同 左	
	電 圧	高 圧	$500/\sqrt{3}$ kV	500 kV
		中 圧	$275/\sqrt{3}$ kV	275 kV
低 圧		73.5 kV	73.5 kV	
絶 縁 階 級	高 圧	500 L 号	同 左	
	中 圧	200 号		
	中性点	70 号		
	低 圧	70 号		
インピーダンス		14%(H-M)	同 左	
形 式		外鉄形送油風冷式単巻変圧器 低騒音形		
重 量	本 体	190 トン×3	400 トン	
	油	60 トン×3	110 トン	
	付 属 品	90 トン×3	140 トン	
	総 重 量	340 トン×3	650 トン	
	最 大 輸 送 重 量	150 トン	40 トン	
据 付 面 積		28 m×13.5 m×(16 mH)*	16 m×11 m×(9 mH)*	
効 率 (PF=100%) 補 機 損		99.80%	99.83%	
		41 kW×3	60 kW	
現 地 組 立 工 期		約 60 日	約 70 日	

注 * 印外部接続はガス母線とした。

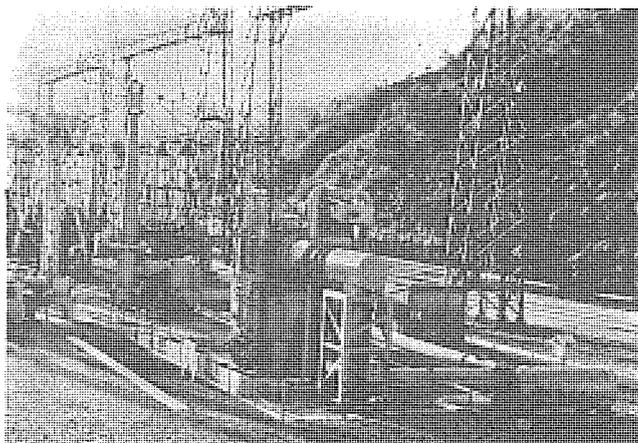


図 8. 500 kV 実系統において課電試験中の変圧器
(関西電力(株)奥多々良木発電所)

後の組立作業は通常の変圧器の現地組立作業と同様である。

工場における鉄心解体から現地組立後の注油までに要した日数は、約 30 日であった。この間の絶縁物の吸湿状況については、水分測定用のサンプルを定期的に取り出して測定することにより監視した。その結果、絶縁物内水分の増加は 0.1% 以下であった。

4. 6 現地試験

分解輸送・現地組立を行う変圧器では、現地試験の内容とその実施方法が問題となる。CGPA 変圧器の場合は、コイルグループは組立輸送の場合と同様に工場試験に合格したのと同じ状態に保たれているので、現地試験としては工場で実施する試験をすべて実施する必要はないと考えられる。したがって絶縁強度の検証試験としての雷インパルス試験や誘導試験なども不要であると考えられるので、耐電圧試験としては現行の現地耐電圧を行った。鉄心については解体再組立されるが、外鉄形変圧器の場合は鉄心の形状が単純であるため、再組立による特性の劣化はほとんどないと考えられ、鉄心の特性に対する試験の必要はないと思われるが、今回は確認のために鉄損・励磁電流・振動・騒音などの測定を行った。試験の結果はいずれも良好であった。表 2. に現地試験として行った試験の項目を示す。

5. 大容量器に対する適用

CGPA 変圧器では、輸送重量が大幅に軽減でき、また輸送上の制約が大幅に改善され、設計上の自由度が増すために現在単相器 3 台で構成されている 500 kV・1,000 MVA 変圧器なども普通 3 相変圧器とすることが可能である。この場合、最大輸送重量は 50 トン以下となり、従来の約 1/3 に軽減される。また据付面積が小さくなり、効率も向上する。CGPA 変圧器では、現地で鉄心積を行うために本体の組立時間は増加するが、単相器 3 台が 3 相器 1 台となるため全体としての工期は従来とほとんど変わらない。表 3. に 500 kV・パック 1,000 MVA 変圧器について従来方式の場合と CGPA 方式を採用した場合の変圧器諸元を示す。

6. む す び

CGPA 変圧器についてその特長、開発の内容、実証用変圧器の製作、大容量器への適用について紹介した。変圧器の輸送上の制約は、今後ますます厳しくなることが予想されるが、CGPA 変圧器の基本的な製作技術が確立されたことにより、高電圧・大容量変圧器の輸送に大きく貢献するものと期待される。なお、実証用変圧器は、現在関西電力(株)奥多々良木発電所構内で 500 kV 実系統に接続して課電試験を実施しているが、課電試験終了後は工場へ持ち返って最終確認のための試験を実施する予定である。

終わりに、この研究を実施するに際してご指導・ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 松村, 菅: 昭和 54 年電気関係学会関西支部連合大会, G3-38
- (2) 松村, 田村ほか: 昭和 55 年電気学会全国大会, 570

温水暖房システムにおける簡易床暖房

山崎 起助*・清水 誠*・斉藤 辰夫**・野沢 栄治**・鈴木 欽三***

1. ま え が き

日本の暖房市場は今、大きく変わろうとしている。その変化をもたらす要因は、第1に資源の有効利用を考えた省エネルギー指向であり、第2にますます多様化する生活や住居環境への対応であり、第3に暖房環境の質的要求度の高まりであり、あるいは製品価格の低コスト化の要求である。

今回これらの要因を基に開発した《マルチクリーンヒーター》は、こうした新しい暖房市場に対応させるものである。すなわち、省エネルギー、省スペース性、並びに快適暖房を手軽にしかも経済的に組合せできる《マルチクリーンヒーター》システムは暖房用温水ボイラを核に2室同時暖房、4部屋切換暖房をするシステム構成となっており、現行、冷暖房壁掛《クリーンヒーターエアコン》との組合せもできるユニークなものである。

特にこのシステムの最大の特長は暖房の理想形態といわれている“頭寒足熱”暖房である「床暖房」ができることである。しかもこの床暖房は本格的な床暖房と変らぬ性能を有し、かつ、組合せが自由であるという工事、設置上の特長を有している。

ここに《マルチクリーンヒーター》システムの概要と床暖房パネルの諸特性及び熱解析の結果を報告する。

2. 機種構成及び組合せ例

《マルチクリーンヒーター》システムの機種構成を図1.に示す。システムは室外ユニットに暖房用ボイラ3機種、冷房機2機種があり、室内ユニット

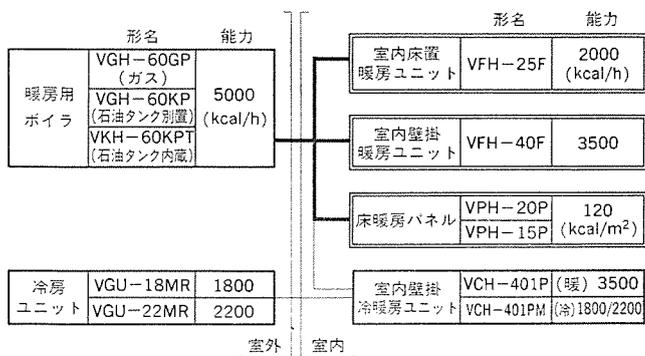


図1. 《マルチクリーンヒーター》の機種構成

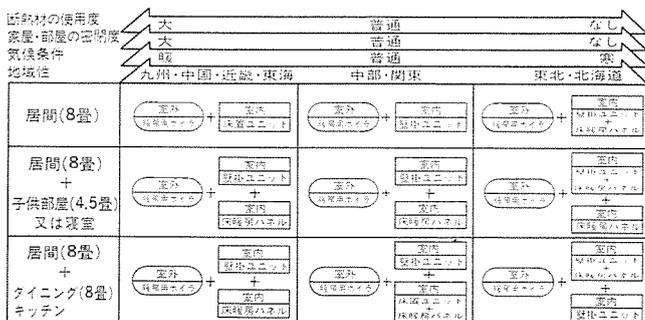


図2. 組合せ例

(放熱器)として、室内床置暖房ユニット、室内壁掛暖房ユニット、床暖房パネル及び室内壁掛冷暖房ユニットの4機種を有し、これら室内外の組合せにより、システムを構成している。

このシステム中、室外ユニット及び室内壁掛冷暖房ユニットは昭和55年2月に発売した壁掛形《クリーンヒーターエアコン》である。したがって《マルチクリーンヒーター》の開発は、室内ユニットの3機種と関連システム部品に主眼をおいた。図2.はこのシステムのマルチ使用での代表的な組合せ例を示す。

図に示すように、このシステムの特長はあらゆる暖房環境の条件下で、最も理想とする暖房形態を作り出すところにある。すなわち、暖房能力は家屋構造や断熱材の使用度、部屋の機能、あるいは気候条件や地域差などにより大きく変化する。一方、暖房環境はより省エネルギー、より省スペース、快適性の向上、かつ経済性のすぐれたものへと変化しつつある。このシステムはこれら新しいニーズに対し、各々の暖房負荷変化に対応して行くものである。また、システム構成は主に2部屋同時暖房のマルチ使用であるが、同室に床暖房パネルと他暖房ユニットを組合せて同時使用できるのもメリットとなっている。

2.1 システムの特長

《マルチクリーンヒーター》とは、1台の温水熱源機(ボイラ)で複数の放熱器を接続し各々の放熱器が個別に制御でき、2室同時使用、接続放熱器数を4台までと限定した温水システムである。

このシステムは、セントラルヒーティングシステムと対比して考えられるためセントラルヒーティングの良さを持ち、欠点を補ったシステムでなければならない。以下このシステムの特長を述べる。

(1) 省エネルギー指向のシステムである。

セントラルヒーティングは、全室同時暖房を可能とするボイラ能力を備えており、そのため15,000 kcal/h以上のパナ能力を持っている。これに対し、このシステムでは2室同時使用に限定しているためパナ能力を6,000 kcal/hとしている。このパナ能力の相違は貯湯容量の差であるが、特に低負荷時において燃焼効率の差として表れる。貯湯量はセントラルヒーティングの場合で約50l、このシステムは約5lであるため、この少ない分だけ余分なエネルギーを消費せず省エネルギーになる。更にパナ熱量が少ないため経済的な材料投資で効果的な燃焼効率が得られる。このシステムの燃焼効率は90%(石油タイプ)であり、温水配管の熱ロスを差し引いたシステム効率でも85%以上を確保している。

各放熱器には各々の温水の開閉コックを内蔵させ、使用しない部屋での放熱ロスを防止するとともに室温調節器により自動的に室温を調節できるようにしてある。放熱器の能力は低流量で保証しているため配管径をセントラルヒーティングに比べて1サイズ落すことができる。そのため配管内部の水量は少なくなり放熱ロスも小さくでき、ポンプの消費電力も少なくすることができる。更に“頭寒足熱”の床暖房パネルによる暖房は温風暖房時の室温設定温度より6℃程下げても同じような快適性がえられ、このため省エネルギーシステムである。

(2) 暖房形態が自由に組合せできるシステムである。

温風暖房から床暖房まで豊富なバリエーションを持つ《マルチクリーンヒーター

→は、部屋の条件や気候条件あるいはライフスタイルに合わせて最適な暖房形態を作り出すことができる。

(3) 高い暖房エコロジーが得られる。

理想的な暖房エコロジー(暖房の快適性)を生む条件は室内上下温度差が少なく、しかも適度な室温を保ち、かつ乾燥しないことや空気の流れの少ないことがあげられる。

このシステムはセントラルヒーティングと同様、温水による暖房のためこれらの条件を満たし、マイルドな暖房環境を可能とする。

(4) システム工事が簡単にできる。

暖房用ボイラは、ミスタータンクや循環ポンプなどの機能部品を内蔵しているため水道工事や煙突工事を必要としない。また温水配管工事は加工性の良いφ8の銅管ベアチューブや特殊ゴムチューブを使うため簡単であり、しかもφ45の壁穴1つの加工で新築、既設住宅いずれにも設置できるパイピングシステムである。

(5) 清潔で安全性の高いシステムである。

《マルチクリーンヒーター》は室内での燃焼は一切行わないシステムである。温水ボイラの燃焼技術には《クリーンヒーター》のフェイルセーフシステムを導入し、安全性を高めている。また室内放熱器はすべて温水による暖房のため空気の汚れもなく清潔である。

2.2 システムの機能と制御

図3.に示すシステム機能図は、マルチ使用の代表的組合せ例で、壁掛暖房ユニット(以下壁掛F.C.という)と床暖房パネルを組合せたものである。このシステムは図の点線で表わしているように、更に暖房ユニット2台を接続できるようになっている。しかし、この場合、同時運転はボイラ出力を5,000 kcal/hとしているため、2台までとしている。

図に示すようにボイラの運転は壁掛F.C.に電源を供給しているため、壁掛F.C.の運転スイッチにより行う。循環水の温度は室内負荷と無関係にボイラの内部にセットした温水サーモスタットにより75°Cに制御する。この場合使用しない放熱器は温水開閉コックにより温水の循環を止め、放熱ロスを防止できるようになっている。室内側の温

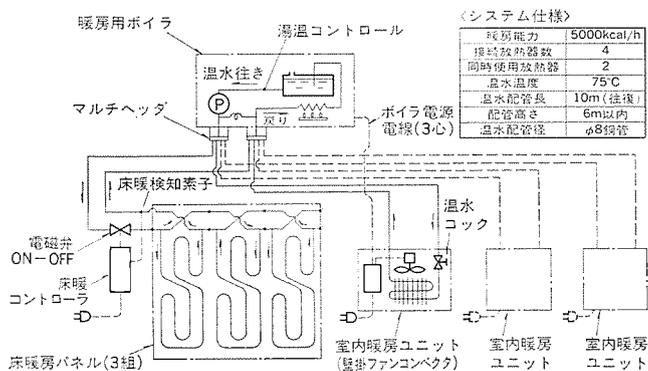
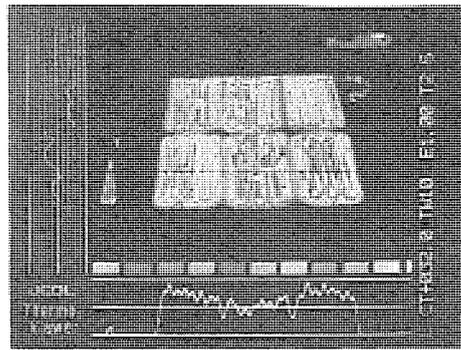
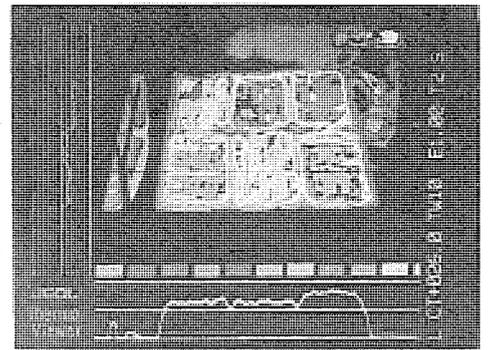


図3. システム機能図



(a) カーペット無し



(b) カーペット有り

図4. 表面温度分布

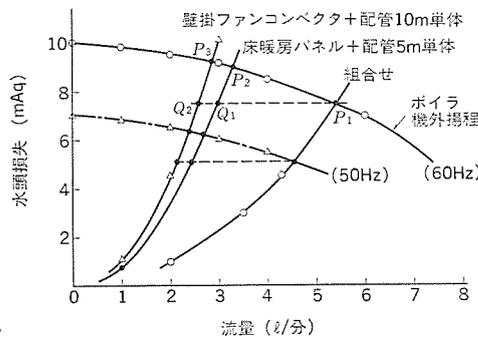


図5. 流量配分特性

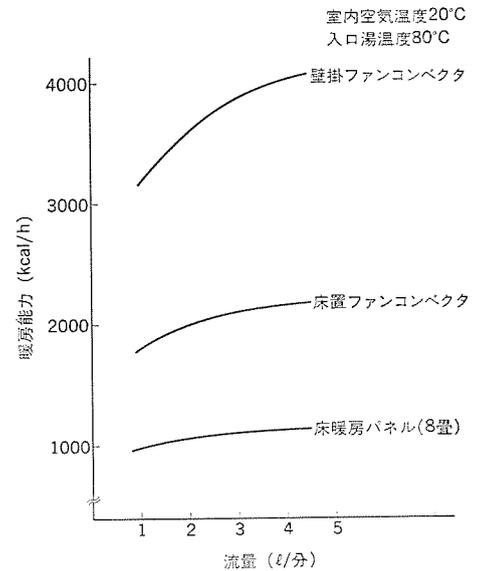


図6. 暖房能力線図

度調節は各々の放熱器に付属のサーモスタットで各部屋ごとに行う。壁掛F.C.の場合はサーミスタで室温をキャッチし、送風機をON, OFFさせて室温調節を行っている。床暖房の場合はパネル床面の温度を調節して室温をコントロールする。この場合、一般的な床面温度調節は四方弁とポンプによりパネル配管に流れる循環水の湯温だけを変える方式をとっており、この方法は設備コストがかさむ欠点を持っている。一方、このシステムでは各々の放熱器と床暖房パネルを同時使用するため、ボイラの温水設定温度を変えるような制御を行うと放熱器の所定の所定の暖房能力が出ないことになり、このため図に示すように床暖房単体の制御を行っている。

この方法はパネルのもどり配管部に検出素子を取付け、温水温度をキャッチし温水水路中にセットした電磁弁をON, OFFさせて流量の間欠コントロールを行う流量調節方式を採用している。

図4.は床暖房パネルの表面温度分布の1例であり、このときの条件は平均温水温度50°C、放熱量約120 kcal/h・m²である。

次に放熱器を複数(マルチ)使用する場合は特に流量配分が問題となり、各々の放熱器の特性を保証するために所定の温水流量を確保しなくてはならない。流量配分は各放熱器の水頭損失と配管管路圧損によって決まるが、このシステムはφ8の小口径銅管を使用するので配管長が流量配分を左右する。図5.に1例を示すが、床暖房パネル(この場合4セット8畳相当)までの配管長を5m、壁掛F.C.までの配管長を10mにした場合、それぞれの流量は床暖房パネルに3l/分、壁

掛 F.C に 2.6 l/分 である。この場合の暖房能力は図 6. に示す能力線図より、床暖房 パネル が約 1,100 kcal/h、壁掛 F.C が 3,800 kcal/h の放熱量となる。これ以外の組合せにおいても低流量で能力が得られる放熱器と高揚程 ポンプ の採用で複数使用時の流量アンバランスは問題とならない。

2.3 構成機種仕様

表 1. は床置及び、壁掛暖房ユニットの仕様を示す。この機種はルームサーモスタット付で自動運転による暖房能力の3段階制御ができる。この制御の特長は室温の立上りを強で運転させ、室温が設定温度になると弱になり次に OFF になる、そして弱→OFF→弱→OFF 運転を繰り返す。

図 7. は床暖房パネルの仕様及び構造と組合せ例を示す。床暖房は《マルチクリーンヒーター》システム中で、省エネルギー、省スペースの観点から

表 1. 放熱器仕様

仕様	機種	床置暖房ユニット (VPH-25F)	壁掛暖房ユニット (VWH-40F)
外形寸法 (mm)		155×530×600	170×850×380
消費電力 50/60 Hz (W)		45/45 (AC 100 V)	23/27 (AC 100 V)
暖房能力 強/弱 (RT=20°C, 温水=80°C) (kcal/h)		2,000/1,500	4,000/3,400
風量 強/弱 (m³/min)		2.7/2	6/6.6
騒音 強/弱 (dB)		42/35	43/37.5
送風形式		シロッコファン(φ220)	ラインフローファン(φ90)
操作性	タイマー	12h ONタイマー	12h ONタイマー
	室温調節	強, 弱, OFF, 能力3段階制御	強, 弱, OFF, 能力3段階制御
	風量調節	強, 弱, 2段切換え	強, 弱, 2段切換え
	加湿量 (cc/h)	100 (加湿容量 0.8 l)	なし
製品重量 (kg)		10	12

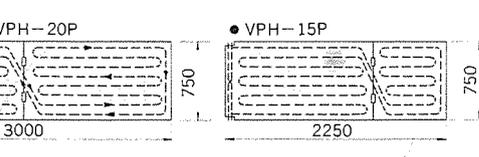
形名	VPH-20P	VPH-15P		
形式	折りたたみ式床暖房パネル			
外形寸法 (mm)	厚さ	15	15	
	幅	750	750	
	長さ	1500+1500=3000	1500+750=2250	
表面外装	塩ビ鋼板 0.6t (塩ビシート 0.15t)			
接続方式	耐熱温水チューブ接続			
耐荷重 (kg/cm²)	15			
重量 (kg)	14	10.5		
耐水圧 (kg/cm²)	1.0以下			
断面構造 (mm)				
温水出力 (口)	● VPH-20P	● VPH-15P		
組合せ例				
組合せ形名	VPH-15P×3	VPH-15P×2	VPH-20P×3	VPH-20P×4
暖房能力 (kcal/h)	600	800	800	1100

図 7. 床暖房パネル仕様

不可欠のものである。

以下、開発した床暖房について記す。

3. 床暖房パネル

3.1 特長

- (1) 厚さ 15 mm のうす形温水パネル
- (2) 2つ折りができ、接続部の少ないパネル
- (3) 耐荷重 15 kg/cm² の本格床パネル
- (4) 圧損抵抗の少ない配管システム
- (5) 2畳相当 14 kg の軽量パネル
- (6) 工事が簡単
- (7) 量産性良好で低価格パネル

3.2 パネル構造及び材料

断面構造とパネル配管構造を図 7. に示す。パネルのパイプ配管は交差した親管とパネル表面に熱を伝えるだ(蛇)行したパイプよりなり、組合せたときに並列回路となる。パネル間の接続を最小限にするため 2つ折りにし、そのために配管材は繰返し曲げ強度に耐え、かつ、高温水の使用に耐える架橋高密度ポリエチレンパイプを採用している。パネルの表面材はブラチゾル塗装法で積層した塩ビ鋼板を採用している。断熱材はオープンモールドで成形した硬質発泡ウレタンフォームで発泡密度は 0.08 g/cm³ である。

4. 床暖房パネルの熱的解析

床暖房パネル(以下、パネルと呼ぶ)の熱的な性能を支配する構成要因として、伝熱板の厚さ、パイプピッチ、伝熱板とパイプの装着熱抵抗などがある。それらが床暖房パネルの表面温度分布や放熱量に及ぼす影響について解析する。

4.1 放熱モデルとヒートバランス

一般に、家庭ではパネルの上にカーペットを敷いて使用する場合が多く、そのような状態での定常時におけるパネルの放熱を考えるために、図 8. に示すような放熱モデルを設定する。

記号の説明

- K : 熱通過率 Q : 放熱量 T : 絶対温度
 K_O' : パネルを含まない床下側の熱通過率
 T_H' : パイプ真上伝熱板温度 l_P : パイプピッチ
 n_K : ($=K_O/K_I$) n_T : (T_O/T_I)
 δ : 厚さ θ : 摂氏温度 λ : 熱伝導率

添え字

- C : カーペット H : 伝熱板 T : 全体
 I : 室内側 O : 床下側

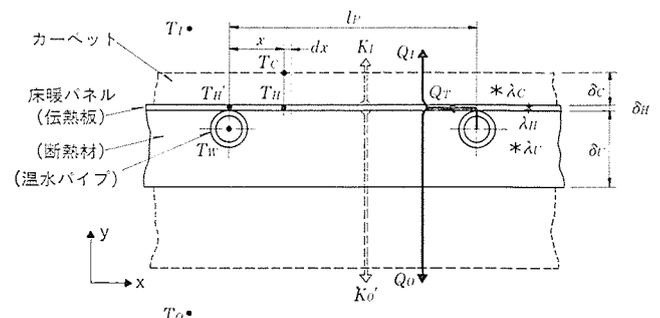


図 8. 放熱モデル

U : パネル断熱材 W : 温水

パネルの伝熱板と断熱材及びカーペットのx方向(水平方向)の熱伝導は、 $\lambda_H \delta_H \gg \lambda_V \delta_V$ 及び $\lambda_H \delta_H \gg \lambda_C \delta_C$ の関係にある。したがってx方向の熱移動は伝熱板のみを通して行われるものと考え、温水からの熱は矢印のように伝熱板を経てy方向(垂直方向)の室内及び床下方向に放熱するものとして扱うことができる。

いま、伝熱板の $x \sim x + dx$ 間におけるヒートバランスを考えると次の微分方程式が成立する。

$$\frac{d^2 T_H}{dx^2} - (1+n_K) \frac{K_I}{\lambda_H \delta_H} (T_H' - T_A) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

ただし $T_A = \frac{(1+n_K n_T)}{(1+n_K)} T_I \dots \dots \dots (2)$

4.2 温度分布

伝熱板及びカーペット表面の温度分布は、式(1)に境界条件として、 $x=0$ で $T_H = T_H'$ 、 $x=(l_P/2)$ で $(dT_H/dx) = 0$ を与えることにより、それぞれ次のように定まる⁽¹⁾。

伝熱板の表面温度分布

$$\left(\frac{T_H - T_A}{T_H' - T_A} \right)_x = \frac{\cos h[m(l_P/2 - x)]}{\cos h(ml_P/2)} \dots \dots \dots (3)$$

ただし

$$m = \sqrt{(1+n_K) K_I / \lambda_H \delta_H} \dots \dots \dots (4)$$

カーペットの表面温度分布

$$\left(\frac{T_C - T_A}{T_H' - T_A} \right)_x = \left(1 - \frac{\delta_C K_I}{\lambda_C} \right) \left(\frac{T_H - T_A}{T_H' - T_A} \right)_x + \frac{\delta_C K_I}{\lambda_C} \left(\frac{T_I - T_A}{T_H' - T_A} \right) \dots \dots \dots (5)$$

図9.はその温度分布の例を示す。カーペットの表面温度分布は、その熱抵抗により影響されるが、一般的にはこの図のように、伝熱板温度分布に比して、かなり平坦化されることがわかる。

パネルの構成要因によって決まるフィン効率 η (放熱板からの全放熱量を放熱板表面がすべて T_H' に等しいと仮定した際の放熱量で除した値)は式(6)で表される⁽¹⁾。したがって、 η は温度分布の平坦化の指標とし

$$\eta = \frac{\tan h(ml_P/2)}{(ml_P/2)} \dots \dots \dots (6)$$

に扱うことができ、この値が大きい程、温度分布は平坦化の傾向になる。図10.は式(6)の関係を表したもので、式(4)とから下記のように構成要因を整えることによって、伝熱板やカーペット表面の温度分布は平坦化を強められる。

- (1) 伝熱板の熱伝導率 λ_H 、厚さ δ_H を大きく。
- (2) パイプピッチ l_P を小さく。

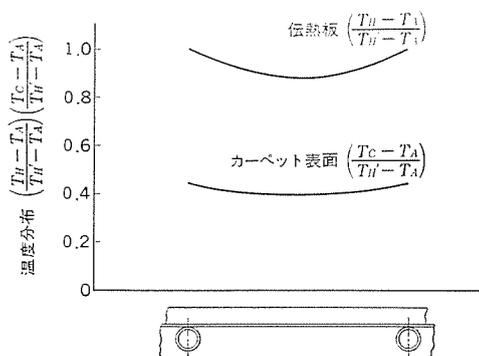


図9. 温度分布

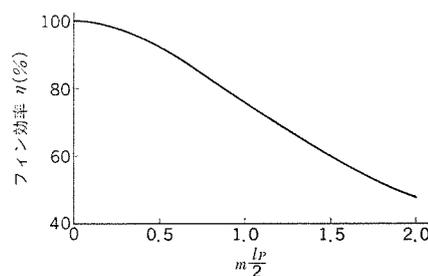


図10. 伝熱板のフィン効率

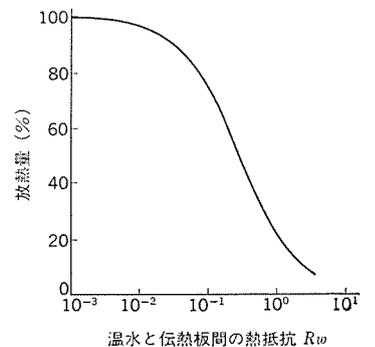


図11. 温水と伝熱板間熱抵抗と放熱量

- (3) 室内側の熱通過率 K_I を小さく。
- (4) 床下側の熱通過率 K_O' を小さく。

(1), (2)項については、パネル設計上、考慮を要する項目で、パネルの放熱量、耐強度性、軽量化及びコスト面から検討してパネル構成を決定しなければならない。(3)項について、 K_I を小さくすること、すなわち熱抵抗のあまり大きなカーペットの使用は所要の放熱量を得るために温水温度を高め、床下側への放熱ロスを増加させることになるので控えた方がよい。また(4)項は床下への熱ロスを低減させるためにも必要な事項である。

4.3 放熱量

図9.において、温水から伝熱板までの熱抵抗を R_W とすれば、温水から伝熱板に伝わる熱量(=総放熱量) Q_T 、室内側放熱量 Q_I 及び床下側放熱量 Q_O はそれぞれ次式で表すことができる。

$$Q_T = \frac{T_W - T_A}{[1/\eta(1+n_K)K_I] + R_W} \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_I = \frac{1}{1+n_K} [Q_T - n_K(n_T - 1)K_I T_I] \dots \dots \dots (8)$$

$$Q_O = Q_T - Q_I \dots \dots \dots (9)$$

図11.は R_W と Q_T の関係を表した例である。この図から明らかにように R_W 、パネルの放熱性能に大きく影響し、 R_W が約 3×10^{-2} ($m^2 h^\circ C/kcal$)より大きくなると放熱特性が急激に低下する。したがって、当パネルでは、この対策としてパイプをアルミテラで伝熱板に装着させ R_W の減少を図っている。その結果、これを施さない場合に比べて放熱量は約80%増加している。

図12.は暖房に供される室内側の放熱量 Q_I と平均温水温度 O_W との関係を表した例である。 Q_I は O_W 及び室内側熱通過率 K_I に比例して増加する。熱抵抗の小さなカーペットの使用は K_I 値を大きくすることになり、同一 O_W であっても多くの放熱量を得ることができる(反面、伝熱板やカーペット表面の温度分布は平坦性に劣る)。次に床下側への熱ロス Q_O について述べる。

このパネルは断熱性能の優れた硬質発泡ウレタンフォームを使用して Q_O を極力押えるように配慮しているが、パネルの設置状況によっても、更に床下への放熱を少なくさせることができる。

図13.は床下側への放熱量 Q_O を総放熱量 Q_T に対する割合を表した例である。この図から床下への放熱を少なくするためにはパネルの設置状況を次のようにするとよい。

- (1) 床の断熱を良くして床下側の熱通過率 K_O' を小さくする。
- (2) なるべく熱抵抗の小さなカーペットを使用して室内側の熱通過率を大きくする。

以上に述べた、床暖房パネルの温度分布や放熱量の解析と実験に

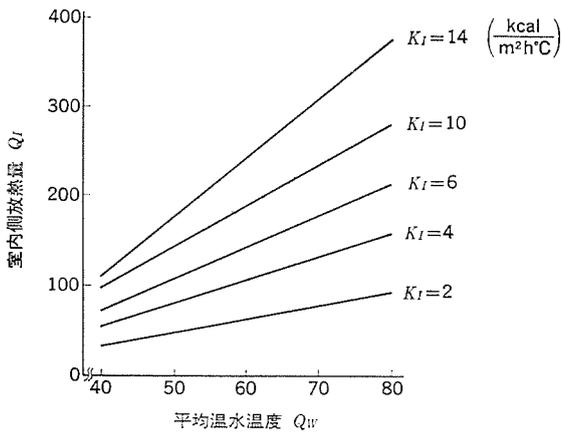


図 12. 平均温水温度と室内側放熱量

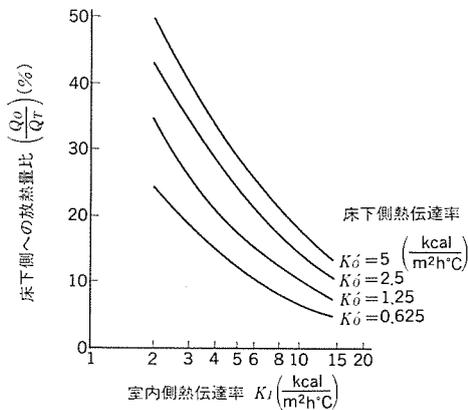


図 13. 床下側への放熱量

より、効果的な伝熱板の厚さやパイプピッチ及びパイプの装着方法を採用し、更には、床下側への放熱ロスを定量的に評価し、その減少対策を的確に行っている。

5. 床暖房の快適性

床暖房パネルによる暖房は、ふく(輻)射暖房と床面からのゆるやかな対流暖房及び足元からの伝導による暖房であり、ソフトな暖房を行うことができる。このように床暖房は温風暖房の場合に比べて、輻射と伝導による暖房効果をプラスすることができるので、室内の空気温度を低めに設定しても快適な暖房環境が得られる。図 14. は室内の空気温度と床面温度の組合せから求めた、快適制御範囲を示す

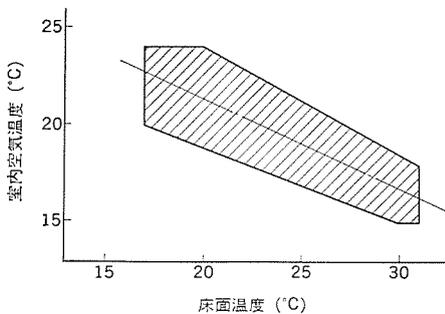


図 14. 温風 - 床暖房組合せ快適暖房制御範囲

図である。

この快適制御範囲は空気温度 15~24°C、床面温度 16~31°C に想定し、床面温度を高くするに従って、空気温度を低くするように設定している。図中の鎖線は中心線を示し、温風暖房と床暖房を組合せて暖房を行う場合、中心線に近づけるように制御すれば快適性を高めることができる。

この快適制御範囲の中で、左上方は温風暖房の領域であり、空気温度が高く、床面温度は低い、右下方は床暖房の領域である。したがって、《マルチクリーンヒーター》システムは、温風暖房の立上りの早い特性の長所と床暖房による快適性と、後に述べる省エネルギー性の高い長所を相互に切換えて運転できるので、快適な暖房環境を経済的に実現することができる。

6. 床暖房の省エネルギー効果

床暖房を行うとき先に述べたように室内空気温度は温風暖房の場合に比べて低めに設定しても快適性を落さず、かつ暖房負荷を小さくすることができる。

表 2. は東京と札幌の冬期3か月間、温風暖房を行うときの熱負荷に対し、床暖房を行ったときの熱負荷率を示す。計算条件は南と東面が外気と接する外壁で、北と西面が非空調室に隣接する内壁となっている。木造8畳間で断熱材にグラスウールを使っており、暖房時間は6~23時までの17時間である。

東京の場合、床暖房時の熱負荷は温風暖房時の56%となり、札幌の場合67%であり、床暖房方式の経済効果が顕著に表れている。ただし、この経済効果を維持するためには、床下の断熱を十分行い放熱ロスを極力押えることが必要である。

表 2. 温風暖房に対する床暖房の熱負荷率

月	東京		札幌	
	12月	0.51	0.66	0.66
1月	0.56	0.66	0.66	0.67
2月	0.60	0.66	0.66	0.67
3か月トータル比率	0.56	0.67	0.66	0.67

〈設計条件〉

- ・室内空気温
- 温風暖房 21°C
- 床暖房 17°C
- ・断熱材 (mm)

	天井	床	外壁
東京	50	50	50
札幌	100	75	75

(札幌は2重ガラス窓)

注) 温風暖房の熱負荷を1.0とする。

7. む す び

今後ますます多様化する暖房環境の中で、省エネルギー指向は強まる一方である。したがって、このシステムの機種充実を行うと共に、システム全体の効率や床暖房パネルの熱効率の向上、更には、このシステムが空調全体へと発展応用できるよう改良開発を図っていく考えである。

参 考 文 献

- (1) 甲藤好郎：伝熱概論，養賢堂，p. 25~28

技術試験衛星III型搭載 能動式熱制御装置の開発

東 久雄*・板垣春昭*・中村安雄*・木村 弘**・桜井也寸史**

1. ま え が き

絶対零度に近いヒートシンクである宇宙空間を、一方では地上に比べはるかに強い太陽光照射を受けながら飛しょうする人工衛星の熱環境は極めてか(苛)酷である。近年、通信、資源探査、気象観測と、人工衛星の需要が高まるとともに、衛星の大電力化、多様化、長寿命化が進み、その熱制御に対する要求は高度なものとなりつつある。実際、機器のコーティングの選択、インシュレータの使用といった受動型熱制御方式で、各要素間の放射、伝導結合を調整するだけでは、三軸姿勢制御衛星に見られる日照、日陰の大きな外部熱入力変化、大電力機器のオンオフなどに対応して機器を所定の温度に維持することは非常に困難である。

ここに紹介する、可変コンダクタンスヒートパイプ(以下、VCHPと言う)、サーマルルーバ(以下、ルーバと言う)はいずれも制御対象機器の温度に応じて機器とヒートシンクとの間の熱抵抗が変化する伝熱素子である。VCHPは伝導結合を制御し、ルーバは放射結合を制御する。例えば、VCHPは衛星構体に組込んで、発熱機器と衛星外被にもうけられた放熱板との間の伝導結合の制御に、ルーバは衛星外表面に取付け、宇宙空間との放射結合の制御に用いることができる。軽量で信頼性も高いことから宇宙用として早くから注目を浴び、NASAを中心に開発が進められ、いくつかの衛星の熱制御で既に実績がある。これらを用いた熱制御は従来の受動型に対し、能動型熱制御方式と呼ばれ、大きな役割を果たしつつある。

我が国では、宇宙開発事業団の指導のもとに昭和46年度の委託研究以来、三菱電機(株)が研究に着手した。理論解析、実験の段階を経て、衛星とう(搭)載を前提に設計技術、製作技術の検討を行い開発を進めてきた。この成果を踏まえ、能動式熱制御装置として技術試験衛星III型(以下ETS-IIIと言う)に搭載し、宇宙空間での飛しょう実験を行う予定である。ETS-IIIは、昭和56年度に種子島宇宙センターから、高度1,000 km、傾斜角45°の円軌道に打上げられる三軸姿勢制御衛星で、能動式熱制御装置は地球指向面に搭載され、衛星の熱制御系とは切り離して独立に飛しょう実験が行われる予定である。

現在、フライトモデルを製作中であるが、同一設計によるプロトタイプモデルの認定試験は既に終了し、開発の最終段階に入っている。以下、能動式熱制御装置について開発上のポイント、設計仕様、試験などについて述べる。

2. VCHPの開発

ヒートパイプは、液体の相変化に伴う潜熱の授受を利用した、高効率の熱伝達素子である。密閉された内部には通常ウイックと呼ばれる。多孔質材料が装着され、作動流体が封入されている。管の一端を加熱すると液体は蒸気となって流れ冷却部に凝縮し、凝

縮した液体はウイックに生ずる毛管圧力差によって再び加熱部へ帰環する。

VCHP(Variable Conductance Heat Pipe)は、外見上、通常のヒートパイプがリザーバと呼ばれるガスた(溜)めを端部に取付けた構造で、内部には作動流体に加えて、適量の不凝縮ガスを封入している。この場合も加熱により蒸気流が生ずるが、管の另一端には不凝縮ガスによりブロックされて蒸気の流れ込まないつまり熱の伝わらない領域を形成する。この蒸気と不凝縮ガスとの界面は、蒸気流に起因する不凝縮ガスの対流による流れと、濃度こう(勾)配に起因する拡散による流れとが量的に均衡して形成されるもので蒸気温度に応じてその軸方向位置を変える。すなわち、蒸気温度が高くなると蒸気領域が冷却領域に大きく広がり、逆に低くなると縮小するため、加熱部と冷却部間の熱伝達率が変わることになる。これにより発熱条件や冷却条件の大きな変化に対し、加熱部の温度変化を小さくすることができる。

2.1 設計

VCHPの飛しょう実験の主眼を、宇宙環境下での動作性能評価に置き、更に衛星への実用化における将来的な課題を考慮しつつ実験装置の設計を行った。

VCHPの制御対象は、100 mm×200 mmの大きさで発熱量が5~15 Wまで変化する電子機器を想定し、この温度を5~35°Cの範囲に制御する。ヒートシンクは宇宙空間とし、衛星外表面に露出した放熱板より機器で発生した熱を逃がす。そのため、入射する太陽光、地球赤外、地球アルベドなどの軌道熱入力に応じて、冷却条件は大きく変化することになる。装置は、図1.に示す様に、電子機機を模擬する加熱板、放射板、その間を熱的に結合するVCHP、そして温度センサなどの計装部、取付ブラケットなどの実装部より構成する。プロトタイプモデルの外観を図2.に示す。

加熱板は、ヒータをちょう(貼)付したアルミ板で、VCHP蒸発部とリザーバとはアルミ合金のサドルを介して結合している。熱損失を小さ

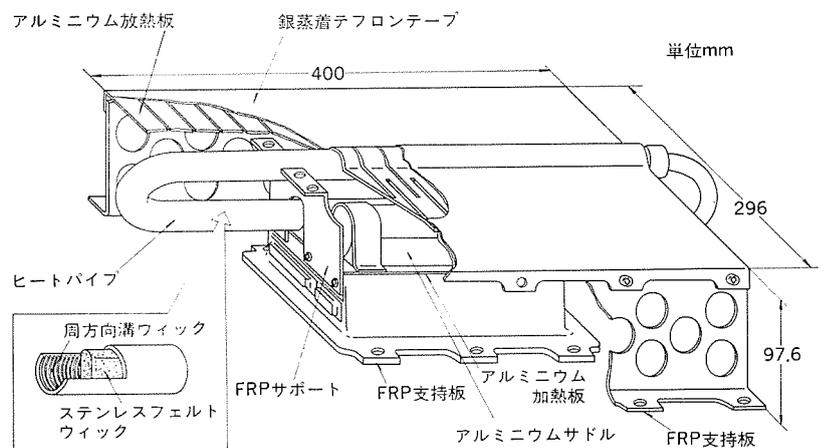


図1. ヒートパイプ実験装置構成図

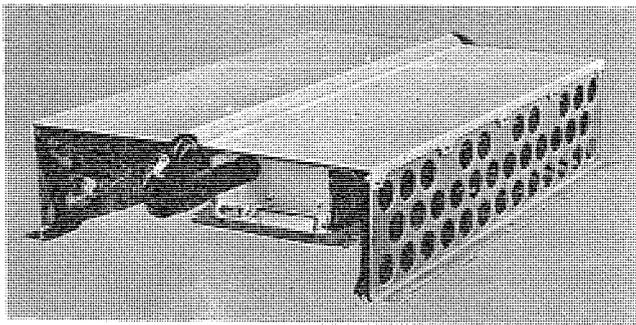
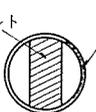
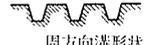


図 2. ヒートパイプ 実験装置外観 (プロトタイプモデル)

表 1. VCHP 設計仕様

エンベロープ	ステンレス鋼 SUS304, OD16φ×1.0t×780mm (蒸発部200mm, 断熱部180mm, 凝縮部400mm)
ウィック形状 (複合ウィック方式)	ステンレスフェルト (気孔率0.97)  周方向溝  周方向溝形状
リザーバ	ステンレス鋼 SUS304, OD30φ×0.5t, 内容積120cc
作動流体	メチルアルコール
不凝縮ガス	窒素ガスとヘリウムガスとの混合, 6.6 × 10 ⁻⁴ mol

くするため、全体を多層インシュレーションで覆い、衛星構体には FRP のセパレータを介して固定する。

VCHP には、熱輸送、熱制御、いずれもこの開発での重要な課題となる新しい方式を採用した。熱輸送方式には液体帰環用と、毛管圧力発生用とにそれぞれ適したウィックを使い分ける複合ウィック方式を用い、前者には目が荒く透過率の大きいステンレスフェルトを管中央に置き、後者には目が細かく有効孔径が小さい周方向溝を管壁に切った。この方式は、単に熱輸送量を大きくできるだけでなく、蒸気が管壁に直接接触しているため、径方向熱伝達率が大きく、したがって加熱部、冷却部間の熱抵抗を著しく小さくすることが可能である。表 1. に複合ウィックの仕様を示す。無重力下での性能予測には新たに開発した解析手法を用いた。これは蒸発部において作動流体が溝ウィックを周方向に流れる際、溝に生じたメニスカスが底部に後退していく過程を、刻々流路抵抗と有効毛管半径の変化として動的にとらえ、熱輸送限界を見つけ出す数値解析手法で、これまで数多くの基礎実験によりその有効性が確認されている。この複合ウィックの製作では、フェルトウィックの成形、周方向溝ウィック共製造技術上困難な課題であったが、多くの試作、加工条件の検討の結果、安定した品質のウィックを得ることが可能となった。熱輸送性能に関し、傾斜 20 mm で重力に抗して 30 W 以上の熱輸送量、蒸発部における 2,000 W/m²・°C 以上の径方向熱伝達率を得ている。

熱制御方式はホットリザーバ方式によった。これはリザーバと加熱部とを熱的に結合し、リザーバ温度を安定化させ、制御性能の向上を図った方式である。確かにコールドリザーバ方式に比べ熱制御性能は良いが、時定数の大きい拡散過程への依存性が強いいためトランジエントにおける挙動をとらえることが設計上のポイントとなった。エンジニアリングモデルを用い、実際の軌道熱環境を模擬したスペースシミュレーション試験においてこの点を中心に評価、検討しリザーバへの液体流入防止、封

入ガス量などの設計に反映させている。

放熱板は熱伝導が良く、軽量のアルミ合金を用い外表面には太陽光吸収率が小さく赤外放射率の大きい銀蒸着テフロンを張り付けて、十分な排熱性能が得られるようにした。裏側は多層インシュレーションで覆い、衛星構体との放射結合を切っている。放熱板には軸と垂直方向にスリットを設け、軸方向の熱伝導を悪くした。これは不凝縮ガスが制御する蒸気流以外の熱伝導を小さくし、熱制御性能を向上させるためである。

2.2 開発試験

試験は機械環境試験、熱性能試験、寿命試験より構成する。

機械環境試験として、正弦波振動、ランダム振動、音響、加速度試験を実施し、装置がロケットの打上げ環境に耐え得ることを確認した。試験条件は衛星本体から規定されるレベルで、それを表 2. に示す。

熱性能試験としては、スペースチェンバを用い軌道上の熱環境を模擬

表 2. 環境試験条件

温度試験		音響試験		
最低温度	-15°C	1/1 オクターブ 中心周波数 (Hz)	音圧レベル (dB)	公差 (dB)
最高温度	+40°C (ルーバ) +55°C (ヒートパイプ)	31.5	127	±5
試験時間	各 6 時間	63	129	±3
正弦波振動試験		125	134	
周波数 (Hz)	レベル (Go-p)	250	137	
5~100	15.0	500	138	
100~200	5.0	1,000	138	
200~2,000	5.0	2,000	135	±5
掃引率	2 oct/min	4,000	131	
低周波の振動は全振幅 12.7 mm であること		8,000	125	
ランダム振動試験		全レベル	144	+3, -1
		試験時間	120(s)	
		0 dB = 2 × 10 ⁻⁵ N/m ²		
		加速度レベル		
周波数 (Hz)	加速度密度 (g ² /Hz)	各軸 18 G 2.5 分		
20~230	0.09			
230~350	+6 dB/oct			
350~900	0.2			
900~2,000	-6 dB/oct			
平均レベル 15.64 Grms				
各方向につき 2 分間				

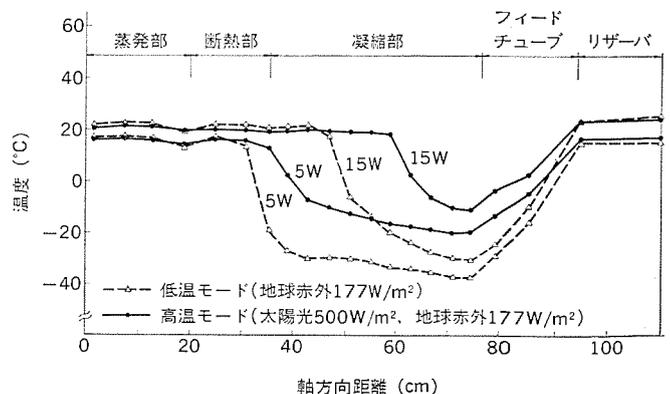


図 3. VCHP 軸方向温度分布 (定常試験)

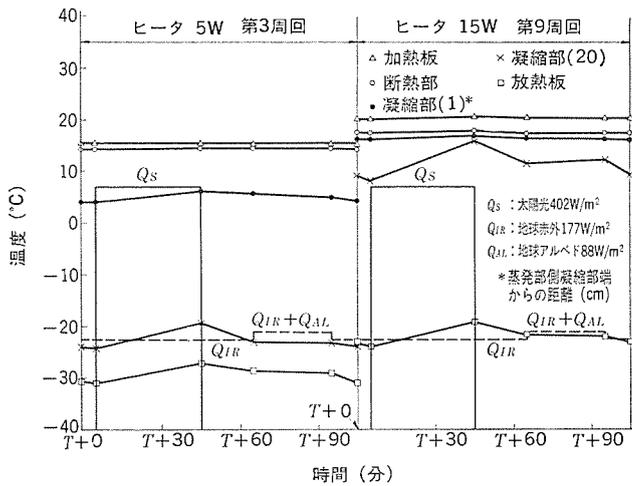


図 4. VCHP 温度応答 (衛星全日照軌道)

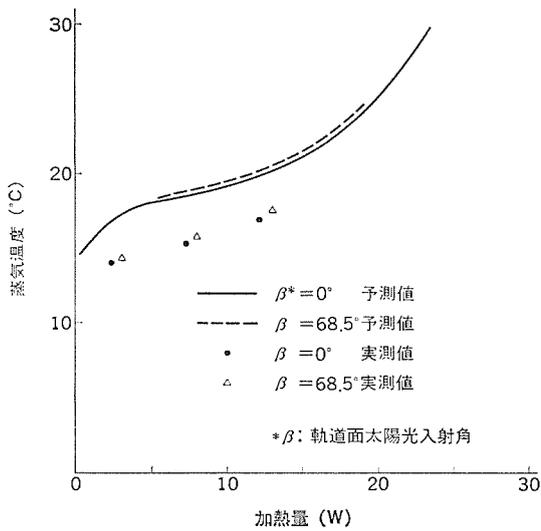


図 5. 予測値との比較

した条件下で VCHP の熱制御性能を評価するスペースシミュレーション試験を実施した。太陽光はキセノンランプ、地球赤外及びアルベドは4本の赤外線ランプにより模擬した。試験は実際よりも苛酷な外部熱入力条件(全日照、全日陰)を設定した、2つの定常試験と、軌道上での代表的な外部熱入力条件(全日照、最大日陰軌道)を模擬した2つの準定常軌道モード試験より構成する。図3., 図4. にその結果を示す。定常試験での軸方向温度分布を見ると、加熱量、外部熱入力の変化に応じて蒸気領域が大きく伸縮し蒸気温度が一定に制御される様子がわかる。一方1周回中で、軌道熱入力変動する軌道モード試験の結果を

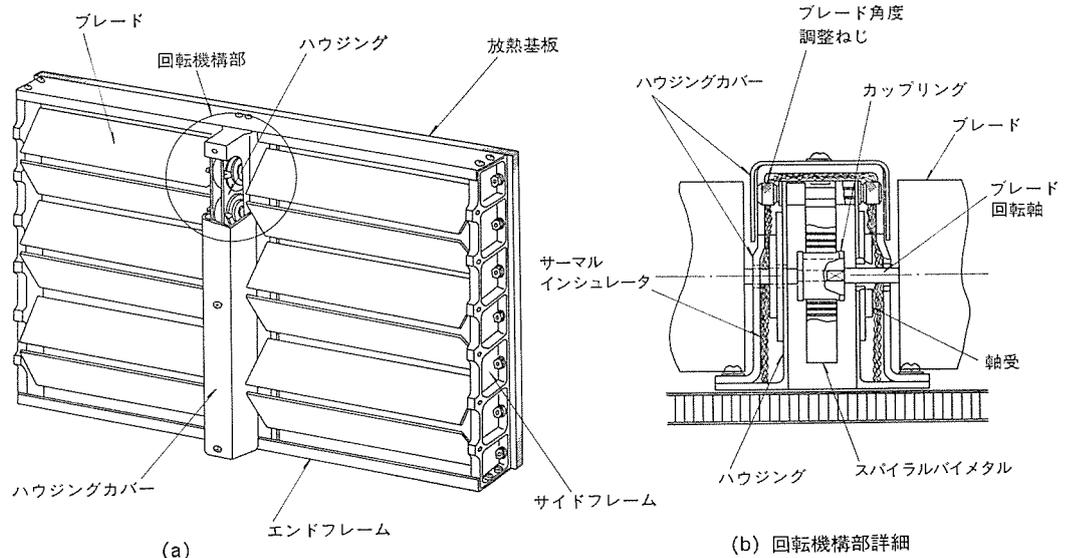


図 6. サーマルルーバ 実験装置の構成

見ると、放熱板や凝縮部端部の温度は大きく変動するが、蒸発部に近づくにつれ変動は小さくなり、加熱板温度はほとんど変化がない。図5. に軌道モード試験における熱制御性能のまとめを拡散フロントによる解析値とともに示した。3°C程度予測の方が高めであるが良い一致であるといえる。加熱板の温度範囲は14~22°Cで仕様値5~35°Cに対し十分、余裕のある値である。

寿命試験は VCHP 単体を対象に現在、実施中である。VCHP の性能劣化は、不凝縮ガスの発生あるいは最大熱輸送量の低下となって表れるが、その原因は主として使用材料間の適合性、及び製作過程における不純物や酸化膜などの除去が不十分なためと考えられる。材料の選択や、製作プロセスの設定ではこの点の配慮が必要である。この種の試験は従来、我が国では実績が少なくその成果が期待されるが、約1年間のデータでは特に変化が認められておらず、製造プロセスの設定に問題はないといえる。

現在、昭和55年11月の完成を目標にフライトモデルの製造、試験段階へと進んでいる。

3. サーマルルーバの開発

ルーバは、人工衛星の放熱面である外被に取付けられ、温度に応じてブレードと呼ぶ熱的反射板を開閉して、外被からの放射エネルギーを制御することにより衛星の温度制御を行う能動熱制御素子である。ルーバの特徴は、機構的に簡単で、電力を必要とせず、軽量であることから、PIONEER, NIMBUS, OAO, ATS6等の多くの飛しょう実績がある。然し、従来のルーバは、太陽光照射下での放熱性能が、太陽光の方位角によっては著しく低下するため、その使用条件に制限を受けていたが、ブレードの回転方向を従来の並向回転から対向回転とすることにより、極端な放熱性能の低下を避けることが可能となった。この開発では、対向回転型ルーバの放射特性及び太陽光照射下での放熱性能を明らかにするとともに、実用化に際して必要な(1)耐環境性、(2)基本機器としての軽量化、(3)軸受部の信頼性向上などの開発要素を解決することを目ざした。

3.1 設計

この開発におけるルーバの構成を、図6. に示す。ETS-III では衛星本体とは熱的に切り離して飛しょう実験を行うため、衛星外被を模

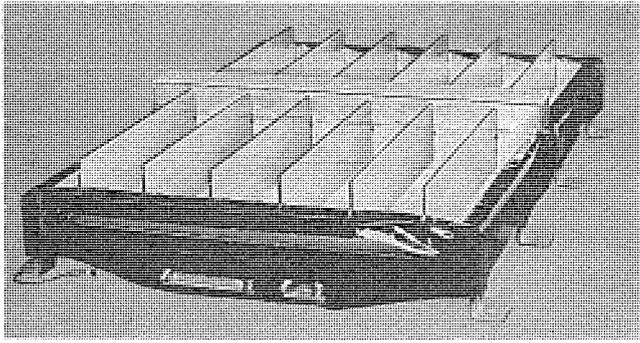


図 7. サーマルルーバ 実験装置外観 (プロトタイプモデル)

擬する放熱基板にルーバを取付けており、放熱基板の裏側には、衛星の内部発熱を模擬するテープヒータを装着している。ルーバ本体は、ブレードと、基板温度を検知してブレードを駆動するアクチュエータ、それを収納するハウジング、アクチュエータが基板温度のみを検知するように外部環境から断熱するハウジングカバー及び周囲のフレームで構成する。外観を図 7. に示す。

ルーバに対する要求性能は、ETS-III の地球指向面での軌道環境条件下において実効放熱面積約 0.12 m^2 で 5 W から 15 W の加熱量の変化に対し、基板温度を 0°C から 40°C に制御することである。地球指向面では、地球赤外輻射及びアルビドを受けるため排熱性能は低下するが、宇宙空間を熱シンクとし、外部熱入力がない場合は、基板温度を 25°C 、基板の輻射率を 0.8 として 340 W/m^2 の排熱性能がある。

ルーバの基本性能は、実効放射率 $\epsilon_{eff}(\theta)$ 、及び実効太陽光吸収率 $\alpha_{s, eff}(\theta, \psi, \phi)$ で表され、各々の定義式は次のとおりである。

$$\epsilon_{eff}(\theta) = Q_{BP} / A_{BP} \sigma T_{BP}^4 \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha_{s, eff}(\theta, \psi, \phi) = (\epsilon_{eff}(\theta) A_{BP} \sigma T_{BP}^4 - Q_{BP}) / A_{BP} \cdot S \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 θ : ブレード開き角 (全閉 0° 、全開 90°)、 Q_{BP} : 基板からの正味放熱量、 σ : ステファンボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{K}^4$)、 T_{BP} : 基板の温度、 S : 太陽定数、 ψ : 太陽光入射の仰角、 ϕ : 太陽光入射方位角である。

性能解析に当たっては、モンテカルロ法によるレイトレースの手法を用いて、放熱基板と各構成要素間の放射交換係数を求め、外部からの熱入力についても同様な方法で吸収熱量を求め、系全体での熱平衡方程式を解いて正味放熱量を求めた。基板温度とブレード開き角の関係は 5°C のとき全閉、 20°C のとき全開でその間は線形に変化するものとした。

ブレードとアクチュエータの配置は、アクチュエータ 6 個を基板の中央に配列し、両側にブレードを並べて、1つのアクチュエータで 2枚のブレードを駆動できるようにした。ブレードはアルミ製で、長さ 20 cm 、幅 5 cm 、厚さ 0.26 cm に成型されており、表面は全開時の実効放射率を上げるため鏡面仕上げとしている。アクチュエータとしては、液体、気体、電気的サーモスタット、及び、スパイラルバイメタルなどによる方式が考えられるが、設計の簡易さ、重量、信頼性、開発コスト等の面からスパイラルバイメタルを採用した。バイメタルの基板温度に対する検知感度を高めるため、バイメタルはアルミ製のハウジングに取り付け、ハウジングの基板への取付面にはサーマルグリースを施し、ハウジング、バイメタル、及び基板は、いずれも黒色塗装を行っている。また、外部熱環境条件がバイメタル温度に影響してブレードの回転角を狂わせないように、ハ

表 3. ルーバの設計仕様

熱伝達性能	15 W 以上 (宇宙空間をヒートシンク)
動作温度 (放熱基板)	5 W~15 W の加熱量変化に対し、 0°C ~ 40°C に制御
有効放射面積	$1,200 \text{ cm}^2$
実効放射率	ブレード全閉時: 0.15 以下 ブレード全開時: 0.65 以上
実効太陽光吸収率 (ブレード全開時)	太陽光仰角 15° : 0.10 以下 太陽光仰角 90° : 0.20 以下
ブレード開き角設定温度	ブレード全閉: 5°C ブレード全開: 20°C
重量	2 kg 以下 (放熱基板を含む)

ウジンク全体を多層インシュレーション材を内張りした FRP 製のハウジングカバーで覆っている。ブレードとバイメタル間の断熱は、ブレード軸及びバイメタルとの結合部材に熱伝導率が低く、使用温度範囲の広い高分子材料を用いて行っている。

バイメタルは、温度差 15°C で、ブレードが 90° 回転して全閉から全開となるように設計しており、全閉/全開温度はハウジングの角度調整用スリット内を動かして調整する。

ブレード回転軸の軸受の選定に当たっては、(1)ブレードの回転速度が、たかだか 1 rpm 以下と非常に遅いこと、(2)回転範囲が 0° から 90° に限られて一様に回転しないこと、(3)高真空中の潤滑として長時間の安定性が要求されることなどの理由から、静止摩擦係数の小さいテフロン樹脂を採用した。

放熱基板はアルミ表皮のハネカムサンドイッチ板で、放熱側には太陽光吸収率が小さく、赤外放射率の大きい 5 mil の銀蒸着テフロンテープを張り付け、基板の裏側は熱ロスをなくすように多層インシュレーションで覆っている。

ルーバには高分子材料を多く用いており、これらからの脱ガスによりアルミ鏡面や放熱面を汚染し、熱光学特性が劣化しないように、使用する材料はいずれも TWL (Total Weight Loss) が 0.1% 以下、VCM (Volatile Condensing Material) が 0.01% 以下のものから選ぶことを基準としている。設計仕様をまとめて表 3. に示す。

3.2 開発試験

ルーバは、熱的性能試験である熱真空試験のほか、地上での取扱い時及びロケット打上げ時の環境条件に対する耐環境性を確認する一連の環境試験として、温度試験、振動試験 (正弦波及びランダム)、音響試験を行った。試験レベルは、VCHP に対するものとまとめて表 2. に示した。温度試験レベルを除いては、VCHP と同じである。

熱真空試験は、宇宙開発事業団の小平分室中型スペースチェンバで行った。VCHP と同様、軌道熱入力の模擬として、疑似太陽光源にキセノンランプ、アルビド、地球赤外放射の模擬に赤外線ランプを用いた。実効放射率の測定は外部熱入力をなしに、基板ヒータで基板温度を何段階か変化させて行った。解析値と EM の測定結果を比較して図 8. に示す。解析値には、インシュレーションや測定に伴う熱リークを含まないため、ブレード開き角が小さい領域では測定値とのずれが大きいが、開き角が大きい領域では良い一致を示した。熱リークを補正したブレードモデルの結果では、解析値と良く一致している。従来の並向回転方式による場合の実効放射率は図中の点線のようになり、

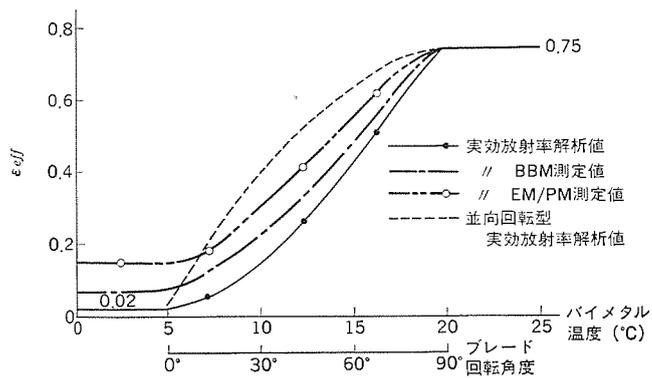


図 8. ブレード 開き角と実効放射率

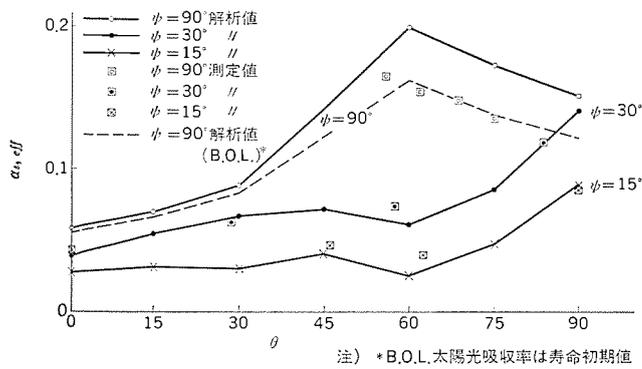


図 9. ブレード 開き角と太陽光吸収率

対向回転方式の方が $\epsilon_{eff}(\theta)$ と ブレード 開き角の関係は線型であり制御性が優れているのも 1 つの特長である。

太陽光照射下の性能では、方位角 0° の場合、太陽光仰角とブレード開き角をパラメータとして実効太陽光吸収率の解析値と測定値の比較を図 9 に示す。 $15^\circ \sim 30^\circ$ の低い仰角での解析値と測定値は良く一致しているが、 $60^\circ \sim 90^\circ$ と仰角が高くなると測定値の方がやや低目である。これは基板のシルバーテフロンテープの太陽光吸収率として解析値に寿命末期の値を使ったため、太陽光の影響が強くなる仰角の高い場合の解析値が、実際よりも大き目となったと考えられる。以上の実効放射率、太陽光吸収率を用いて静止衛星に適用する場合につき試算すると、最悪条件でも基板温度 25°C で 200 W/m^2 程度を排熱できる。

軌道衛星の場合、日照、日陰を繰返す際の基板温度制御性を確認するため、軌道モード試験を行った。軌道熱入力条件は ETS-III の地球指向面に対する条件に相当し、軌道面太陽光ベクトルのなす角 β が 68.5° の場合である。図 10 に示すように放熱量 15 W に対し、太陽光入射を ON/OFF しても、ブレード温度は $160^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ と大きく変動するが、基板温度は $20^\circ\text{C} \sim 18^\circ\text{C}$ に制御され、放熱量 5 W でも $17^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$ に制御することができた。

振動試験、音響試験は、いずれも受入試験レベルの 1.5 倍の認定試験レベルで行ったが、試験後での機械的機能・性能は何ら損なわれず、十分に耐環境性を持つことが確認できた。温度試験もブレードがストップで止る 5°C 、 20°C から 20°C 超過した -15°C 、 $+40^\circ\text{C}$ で行

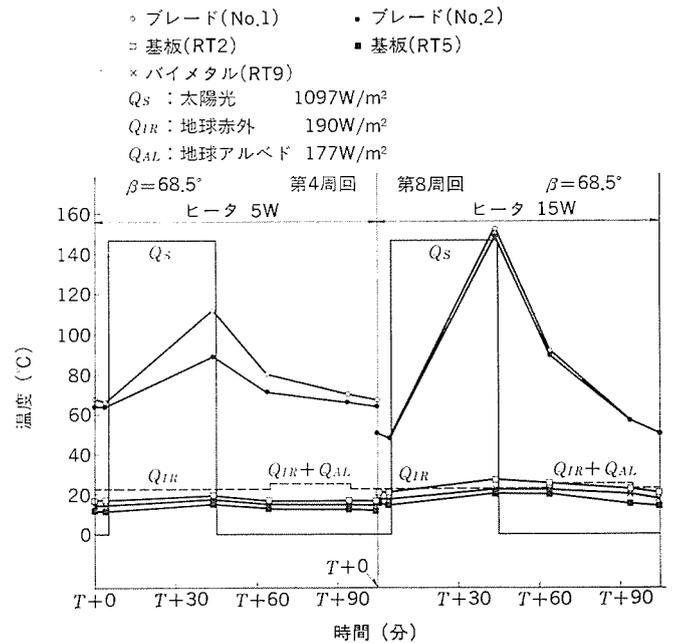


図 10. ルーパ 温度応答 (衛星全日照軌道)

ったが、ブレードの回転性能に何ら異常はなかった。

これら、一連の環境試験のほか、信頼性試験としてブレードモデルを用いて、高温 50°C 、低温 -20°C の熱サイクル試験を実施中であるが、現在 6,000 サイクルを経過した時点でブレードの回転性能に異常は生じていない。その他の信頼性試験として、高真空中での軸受部の寿命試験、及び使用する熱制御材料の紫外線劣化試験を実施している。

現在、昭和 55 年 11 月の完成を目標にフライトモデルの製造、試験段階へと進んでいる。

4. む す び

ヒートパイプ、サーマルルーパは、衛星の三軸化、大電力化に伴って、熱制御素子として必ず(須)のものとなってきたが、今回の開発により実用化のポイントとなる設計、製造、試験における技術的課題の多くが解決できたとと言える。ヒートパイプについては、(1)複合ウィックの設計法の確立、(2)アウトガス対策を中心とした製造仕様と中間検査工程の確立、(3)重力下における試験結果の無重力下への置き換え評価などに、サーマルルーパについては、(1)鏡面を含む系の多重反射解析による性能解析技術の確立、(2)ルーパ鏡面の製造法、(3)信頼性の高い駆動機構の開発などに進展がみられた。

今後の課題としては、飛しょう実験と地上試験との対応をつけるため、熱真空試験を実運用のシーケンスに合わせて行い、運用解析のソフトウェアを整備しておくことが必要である。また、今後の人工衛星への実用化のため、ヒートパイプについては衛星構体への実装方式の最適化、サーマルルーパについては、一層の軽量化を行って行く所存である。

終わりに、この開発を遂行するに当たり、開発の当初からご指導をいただいた東京大学宇宙航空研究所の大島教授に感謝の意を表す。

暖房機用耐熱材料の熱サイクル寿命評価 —アルミナイズド鋼の熱サイクル中の高温酸化—

土方明躬*・吉岡純夫**・宮崎政行**・田中 博***・林 幸男***

1. ま え が き

家庭用暖房機の燃焼器や熱交換器用材料として、高温での耐酸化性の優れた鋼にアルミニウムを溶着・拡散処理をしたアルミナイズド鋼が用いられることが多い。この材料は燃焼器部品のほかに自動車用の排気部品などに用いられており、優れた耐高温酸化特性が実証されている。このアルミナイズド鋼を一定の温度に保持して使用する場合には、表面の鉄・アルミ合金層（以後、合金層と呼ぶ）が保護膜となって酸化がほとんど進行せず、約800°Cの温度まで使用可能であるといわれている。しかし、加熱冷却の繰返し条件下で使用する場合には、素地鋼（以後、母材と呼ぶ）と合金層との熱膨張率の差により合金層に繰返し応力が生じる。このために合金層にクラックが発生し、そのクラックを介して母材が酸化されることが知られている⁽¹⁾⁽²⁾。したがって、加熱冷却の繰返しをうける部材にアルミナイズド鋼を使用する場合には、材料の信頼性の点から、ヒートサイクルとクラック発生寿命（クラックが発生するまでの繰返し数）との関係や、クラック発生後の酸化挙動を（把）握しておく必要があるが、従来これらに関する定量的な検討はなされていないようである。そこで、筆者ら⁽³⁾はアルミナイズド鋼がヒートサイクルをうけ合金層にクラックが入り、そのクラックを介して母材の板厚全体が酸化されるまでの段階をモデル化により提案した。また、それを検証するために、アルミナイズド鋼の試験片を用いて熱疲労試験と高温疲労試験及び酸化試験を行った。この報告は、これらの検討結果に基づきアルミナイズド鋼が高温ふん（霧）囲気で繰返し使用される場合の耐久性を評価する方法を検討したものである。

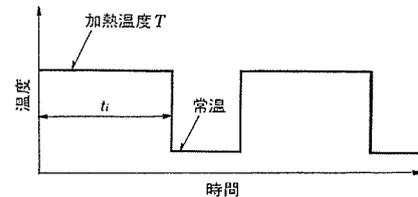
2. 寿命評価モデル

酸化の機構は現実には複雑なものと思われるが、ここでは半定量的な寿命評価を行うことを主眼に単純化したモデルを用いて以下の検討を行った。すなわち、図1.(a)に示すような、一定温度の加熱冷却の繰返しをうけるアルミナイズド鋼の酸化の機構を図1.(b)に示すような3段階にわけて考えた。

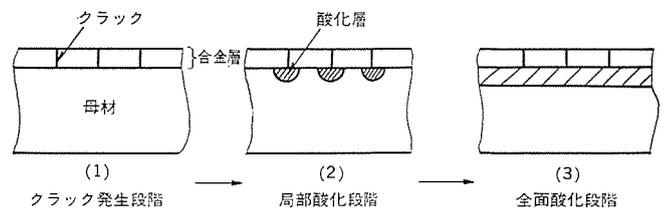
第1のクラック発生段階は、加熱冷却の繰返しによりアルミナイズド鋼表面の合金層にクラックが発生し、クラックが合金層を貫通するまでの段階である。クラック発生の原因は、母材と合金層の熱膨張率の差により発生する熱応力が繰返し負荷されるためである。この合金層に発生する熱応力及び熱ひずみは、合金層の厚みが母材の厚みに比べて薄い場合には、次式で示される。

$$\begin{aligned} \sigma_t &= (\alpha_c - \alpha_t) \cdot E_t \cdot \Delta T \\ \varepsilon_t &= (\alpha_c - \alpha_t) \cdot \Delta T \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 σ_t ；合金層に発生する熱応力、 ε_t ；合金層に発生する熱ひずみ、 α_c ；母材の熱膨張率、 α_t ；合金層の熱膨張率、 E_t ；合金層の弾性係数、 ΔT ；加熱温度差 (deg) である。この熱応力の繰返しにより合金層の表面に最初のクラックが発生するまでの繰返し数(寿命)を N_c とする。この寿命 N_c までの期間は、合金層にクラックは存在



(a) 加熱温度サイクル



(b) 各段階での断面状態

図1. 酸化機構のモデル化

しないので母材は酸化されないと考えてよく、したがって母材の酸化はクラック発生後から始まるものとする。なお、合金層の厚みは、通常数10 μmと薄いので、表面に発生したクラックが母材に到達するまでの繰返し数は、クラックが発生するまでの繰返し数に比べると無視できると考えられる。

第2の局部酸化段階は、合金層に発生したクラックより酸素が侵入して母材の酸化が進行し、合金層と母材の境界層全面に酸化層が広がるまでの段階である。この場合、母材の酸化はクラックを中心とした同心円状に進行するものとする。ここで、加熱通算時間 t における酸化速度を v_L 、クラック間の平均距離を R 、1サイクル当たりの加熱時間を t_i とすれば、酸化層が境界層全面に広がるまでの繰返し数 N_L と R との関係は、次式で表わされる。

$$R = 2 \cdot \int_0^{t_i \cdot N_L} v_L \cdot dt \quad (2)$$

式(2)の右辺の積分値は母材の酸化層の深さを表しており、一般に酸化層の深さと加熱時間 t との関係は、次のように考えられている。すなわち、鉄や銅などのように母材金属に対する酸化物の容積比が1.3~2.0の場合には緻密な酸化物を形成し、その成長速度は酸化物中の金属イオンの拡散速度によって支配され、一定温度下において酸化層の厚さは加熱時間 t の平方根に比例する。これが次式で表されるいわゆる酸化の放物線則である⁽⁴⁾。

$$\int v_L \cdot dt = K_L \cdot \sqrt{t} \quad (3)$$

ここに、 K_L は比例定数である。

ここで、酸化層が境界層全面に広がるまでの加熱時間 $t = t_i \cdot N_L$ であるので、式(3)を式(2)に代入すれば酸化層が境界層全面を覆うまでの繰返し数 N_L は、次式で表される。

$$N_L = \frac{R^2}{t_i \cdot k_L^2} \quad (4)$$

* 中央研究所(工博) ** 中央研究所 *** 中津川製作所

ここに、 $k_L=2K_L$ である。

第3の全面酸化段階は、酸化層が一様に母材の板厚方向へ進行していく段階である。この場合も第2の局部酸化段階で用いた考え方を採用し、酸化速度を v_G 、板厚を X とし、板厚 $X \gg R$ とすれば、第2段階終了後酸化層が板厚全体を覆うまでの繰返し数 N_G は、次式で表される。

$$N_G = \frac{X^2}{t_i \cdot k_G^2} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 k_G は比例定数である。

したがって、母材の板厚全体にわたって酸化が完了するまでの総繰返し数 N は、以上に述べた3つの段階の繰返し数を合計したものととなり次式で表される。

$$N = N_C + N_L + N_G = N_C + \frac{R^2}{t_i \cdot k_L^2} + \frac{X^2}{t_i \cdot k_G^2} \dots\dots\dots (6)$$

3. クラック発生寿命

繰返し加熱冷却をうけるアルミナイズド鋼の表面合金層にクラックが発生するまでの繰返し数を求めるために熱疲労試験と高温疲労試験を行った。

3.1 熱疲労試験

熱疲労によるクラック発生寿命を求めるための試験は、図2. に示す装置を用いて行った。この装置は、電気炉からなる加熱部と強制空冷を行う冷却部からなり、アルミナイズド鋼の試験片が所定温度になったとき交互に出し入れすることにより熱疲労試験を行う装置である。試験片は板厚 1.6 mm の S10C 相当の鋼板にアルミニウム溶着・拡散処理を施したものである。また、合金層の厚さは 40~50 μm 程度である。この試験片を幅 50 mm、長さ 80 mm の長方形に切り出し、表面の合金層にクラックのないことを確認後試験に供した。また試験片の温度は、試験片に接合した熱電対にて測定した。クラックの発生寿命は所定の回数ごとに、試験片表面を 80 倍の拡大鏡で観察することにより求めた。

熱疲労試験における試験条件（上限温度、下限温度）及び得られたクラック発生寿命を表 1. に示す。同表より上限温度が 800°C のク

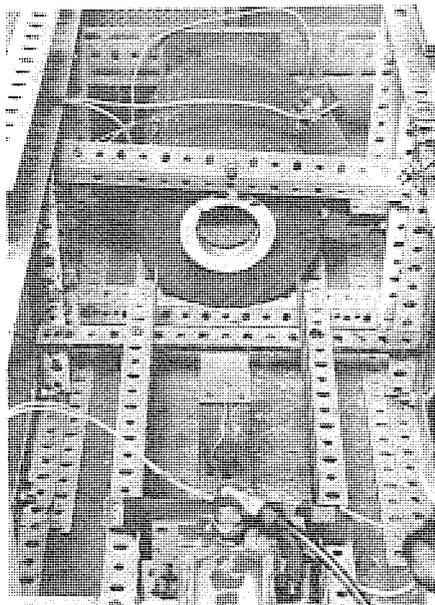


図 2. 熱疲労試験状況

表 1. 熱疲労試験結果

加熱温度範囲 (°C)		クラック発生回数
上限	下限	
550	50	$>1.6 \times 10^4$
650	50	$>1.1 \times 10^4$
750	50	270
		530
800	50	100

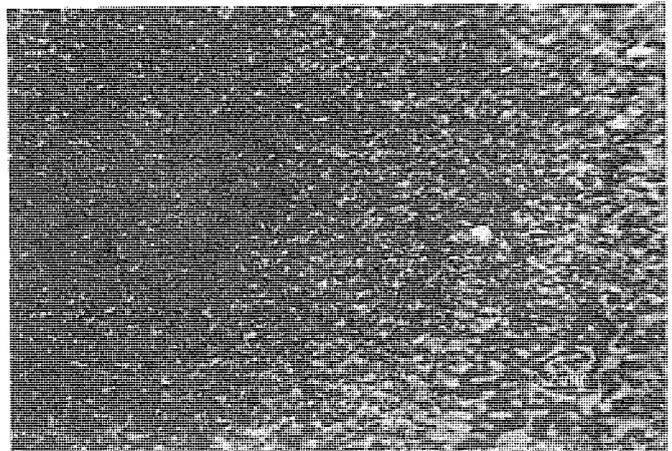


図 3. 試験片表面観察結果
(加熱温度範囲 800~50°C, 回数 100 回)

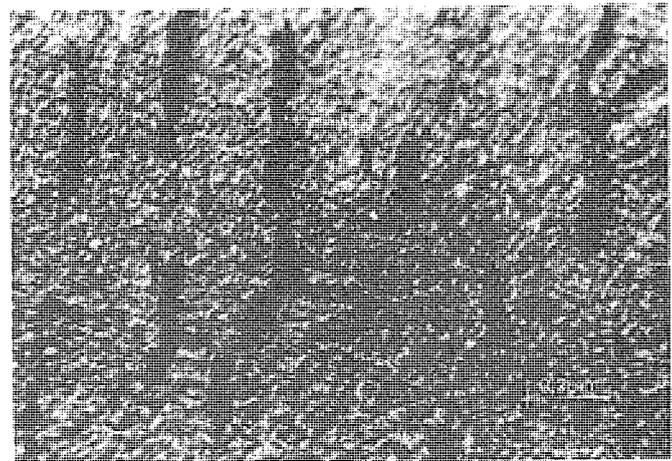


図 4. 試験片表面観察結果
(加熱温度範囲 750~50°C, 回数 530 回)

ラック発生寿命は 100 回程度であるのに対して、650°C 以下の試験においては、繰返し数 1×10^4 回でもクラックの発生は認められず、上限温度とクラック発生寿命とが深いかわりのあることがうかがえる。また、熱疲労試験後のクラックの発生状況の試験片表面での観察例を図 3. 及び図 4. に示す。図 3. ではクラックが発生したままの状態であるが、図 4. ではクラック発生後母材の酸化が進み発生したクラックより酸化物が噴出している部分が一部認められる。

3.2 高温疲労試験

熱疲労試験では、加熱温度が低い場合 (650°C, 550°C) には、繰返

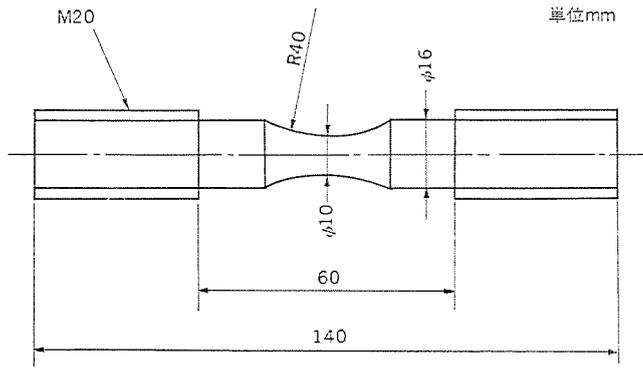


図 5. 試験片形状

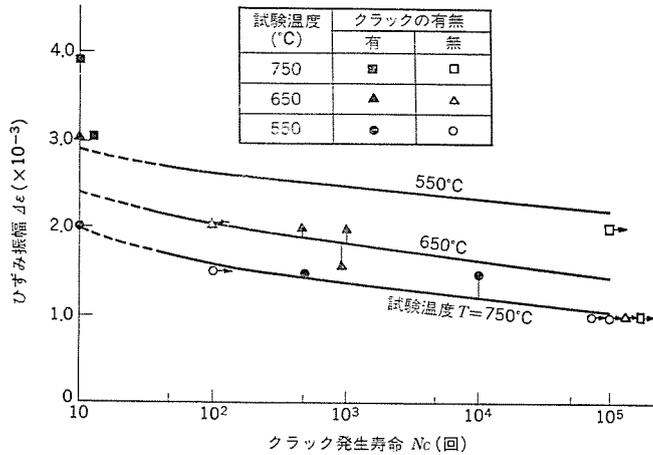


図 6. 高温疲労試験結果

し数が 1×10^4 回以上でもクラックが発生せず、クラック発生までに長時間を必要とする。そこで、加熱温度が低い場合には高温疲労試験を行い、その結果を用いて熱疲労寿命を推定した。

高温疲労試験では、アルミナイド鋼の丸棒試験片に一定温度下で繰返しひずみを加え、合金層にクラックが発生するまでの繰返し数とひずみ振幅との関係を各温度に対して求めた。ひずみ制御は、試験片の最小径部の径方向ひずみを制御する方法で行った。また、クラックの有無の観察方法は、前述の熱疲労試験と同様にして行った。試験片は図 5. に示す形状の S35C 丸棒試験片にアルミニウム溶着・拡散処理を施したものである。試験片の軸方向ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ は、最小径部 ($\phi 10$) の径方向ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon_{\phi}$ を測定することにより次の関係式を用いて求めた。

$$\Delta \varepsilon = 2 \Delta \varepsilon_{\phi} + (1 - 2\nu) \frac{\Delta \sigma}{E} \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 ν は母材のポアソン比、 E は母材の弾性係数、 $\Delta \sigma$ は応力振幅である。

ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ とクラック発生寿命 N_c との関係を図 6. に示す。この結果より、高温になるほど N_c は低下し、0.3% 程度以上のひずみをかけた場合には 550°C でも 10 回以下でクラックが発生することがわかる。

高温疲労強度と熱疲労強度の対応関係については論議のあるところであるが、ここでは便宜上次のようにして高温疲労試験結果より熱疲労寿命を推定した。すなわち、熱疲労試験において合金層のうけるひずみ振幅 $\Delta \varepsilon'$ は、試験温度範囲で熱膨張率が一定であるとすれば、合金層の厚さが母材の厚さに比べて十分小さいので前述のど

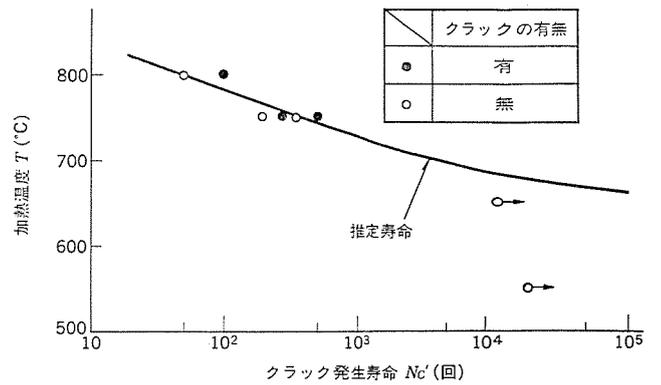


図 7. 熱疲労試験結果と推定寿命との相関

とく次式で表される。

$$\Delta \varepsilon' = (\alpha_c - \alpha_t) \cdot \Delta T \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon'$ のひずみ振幅が加わった場合の熱疲労寿命 N_c' は、熱疲労試験における上限温度を試験温度とした $\Delta \varepsilon (= \Delta \varepsilon')$ での高温疲労寿命 N_c と同じとする。この仮定により温度範囲 ΔT の熱疲労寿命 N_c' をこのときの上限温度 T における高温疲労寿命 N_c とし、 N_c に対応する $\Delta \varepsilon$ を $\Delta \varepsilon'$ とすることにより式 (8) の $(\alpha_c - \alpha_t)$ が求まる。この試験結果では、 $T = 750^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 700$ deg) における熱疲労寿命 N_c' の平均値は 400 回であり、これに対応する $\Delta \varepsilon$ は図 6. より 1.5×10^{-3} となる。この値を式 (8) の $\Delta \varepsilon'$ と等値とすると $(\alpha_c - \alpha_t) = 2.1 \times 10^{-6}$ となる。この $(\alpha_c - \alpha_t)$ を用いて、 $T = 650^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 600$ deg) の熱疲労寿命を推定すると次のようになる。すなわち、合金層に生じるひずみ振幅 $\Delta \varepsilon'$ は、式 (8) より $\Delta \varepsilon' = 1.3 \times 10^{-3}$ である。この値を高温疲労試験結果の 650°C の曲線に対応させると寿命 N_c は、 $N_c = 5 \times 10^5$ となり、この寿命を 650°C 加熱冷却の熱疲労寿命 N_c' とする。同様の方法で他の温度 T に対する熱疲労寿命を求めると図 7. を得る。この図 7. には、熱疲労試験結果もプロットした。

4. 酸化速度

合金層にクラックが発生した後は、母材はクラックの間隙を通して大気と接触するため酸化するが、その酸化速度は通常の鋼材を高温酸

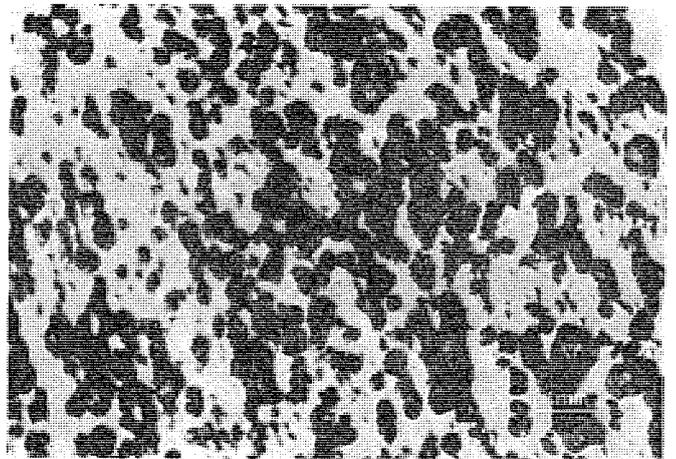


図 8. 酸化試験片表面観察結果 (加熱温度 750°C)

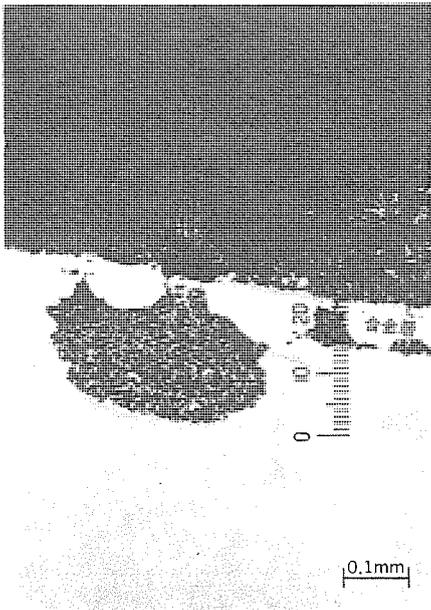


図 9. 酸化試験片断面観察結果 (加熱温度 750°C)

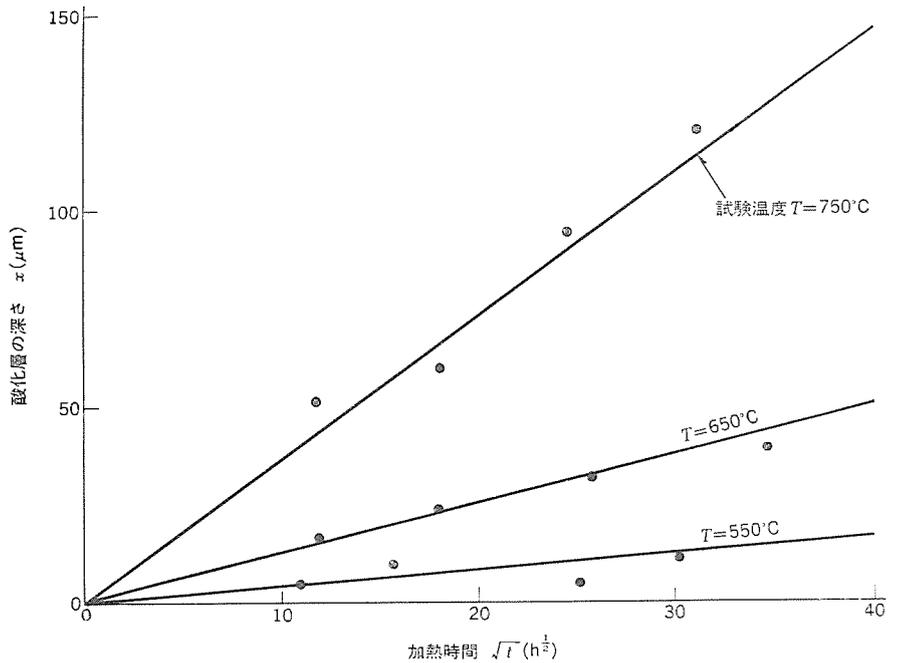


図 10. 酸化層の深さと時間との関係 (局部酸化の場合)

化させた場合と異なると考えられる。そこで、クラックを発生させた試験片を高温炉中に放置して、その酸化層の深さと加熱時間の関係を求めた。試験片は熱疲労試験に用いた試験片と同じものを用いた。また、表面のクラック発生は、試験片を 900°C に数秒間保持した後、水によって急冷し、この処理を 4 回繰返して行った。このときの表面状態は、図 3. に示したものとほぼ同じ程度であった。

酸化試験は 550°C, 650°C, 750°C の 3 条件で行い。これらの温度に最高約 900 時間放置後試験片のクラックを含む断面を切断して酸化層の深さを測定した。なお、酸化層の深さは合金層と母材の境界からの深さを測定したものである。また、試験後の表面観察結果及び断面観察結果を図 8., 図 9. に示す。これらの結果をもとに、酸化の放物線則に従って、加熱時間の平方根で整理すると図 10. のようになり、酸化層の深さは各加熱温度ごとに加熱時間の平方根に比例している。

5. 考 察

5.1 母材の酸化速度の定式化

酸化層の深さ x は、加熱温度一定の場合には、前述したように加熱時間 t の平方根に比例する。すなわち、 $x \propto \sqrt{t}$ で表される。また、加熱時間一定の場合には、酸化反応は化学反応の 1 種であるので、その酸化層深さ x はアレニウスの法則に従うと考えられ、 $x \propto e^{-\frac{B}{T_a}}$ で表すことができると考えられる。ここに、 B は比例定数、 T_a は加熱温度 (K) である。これより、加熱温度 t 及び加熱時間 T_a が与えられる場合の酸化層の深さ x は、次式で表される。

$$x = A\sqrt{t}/e^{\frac{B}{T_a}} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 A は比例定数である。

局部酸化試験結果を用いて式 (9) の定数を求めると $A = 2.19 \times 10^4$, $B = 8.92 \times 10^3$ となり、式 (9) は次のようになる。

$$x = 2.19 \times 10^4 \sqrt{t}/e^{\frac{8.92 \times 10^3}{T_a}} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 $x(\mu\text{m})$, $t(\text{h})$ である。

局部酸化試験結果を x とパラメータ $\theta (= \sqrt{t}/e^{\frac{8.92 \times 10^3}{T_a}})$ で整理すると図 11. となる。これより、試験結果は図の実線で示す式 (10) で、ほぼ整理できることがわかる。

同様の方法で、全面酸化について式 (9) の定数を求めると次式が得られる。

$$x = 8.97 \times 10^3 \sqrt{t}/e^{\frac{1.73 \times 10^4}{T_a}} \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 $x(\text{mm})$ である。

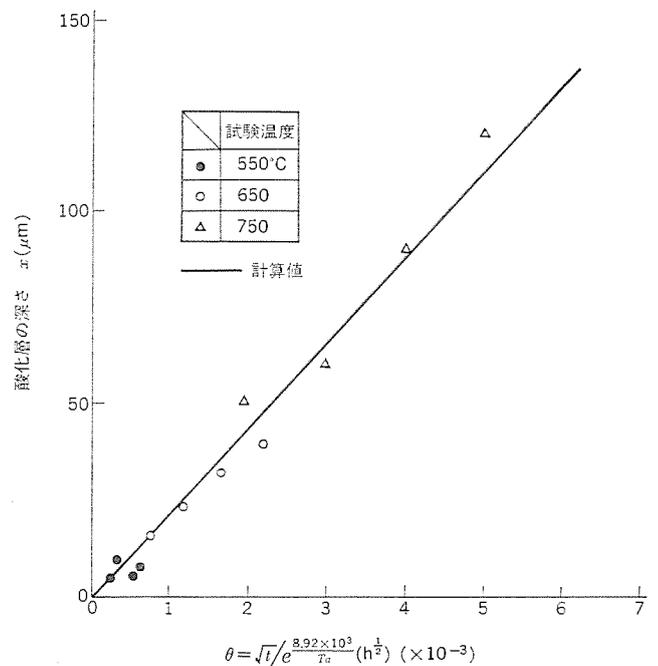


図 11. 酸化層の深さとパラメータ θ との関係 (局部酸化の場合)

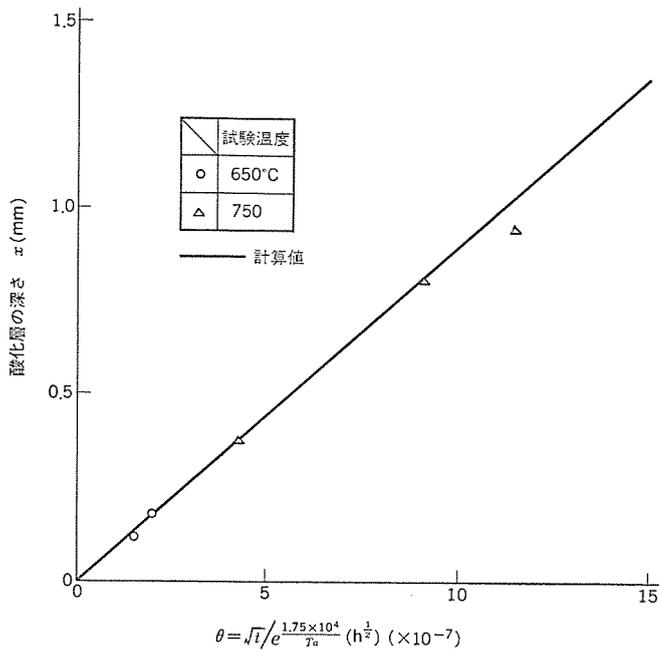


図 12. 酸化層の深さとパラメータ θ との関係 (全面酸化の場合)

全面酸化試験結果を x とパラメータ θ ($=\sqrt{\pi}/e^{\frac{1.75 \times 10^4}{T_a}}(h^{\frac{1}{2}})$) で整理すると図 12. となり、局部酸化同様に試験結果は式(11)で表示できる。これらの結果より式(10)の妥当性が明らかになるとともに、式(10)と式(11)を比較すると、全面酸化段階に入ると局部酸化段階よりも酸化速度が速くなる。

5.2 寿命計算の1例

以上までの結果をもとに、1例として下記の条件でアルミナイズド鋼の寿命を求める。

加熱温度 T を 650°C 及び、この温度に保持されている1サイクル当たりの時間 t_1 を 0.2h とすると、以下のようになる。

- (1) 第1段階の合金層にクラックが発生する繰返し数 N_C は、図 7. より $N_C \approx 5 \times 10^5$ となる。
- (2) 第2段階の酸化層が境界層全体を覆うまでの繰返し数 N_L は、クラック間の平均距離 R を 0.2mm とすると、 $N_L \approx 3 \times 10^4$ となる。
- (3) 第3段階の酸化層が板厚全体を覆うまでの繰返し数 N_G は、

板厚を 2mm とすると、 $N_G \approx 3.4 \times 10^5$ となる。

したがって、全寿命 N は、

$$N = N_C + N_L + N_G \approx 8.8 \times 10^5 \text{ (回)}$$

となり、加熱温度 650°C での全燃焼加熱通算時間 H は、

$$H = 0.2 N \approx 1.8 \times 10^5 \text{ (h)}$$

となる。

過入力状態で実機の加速寿命試験を実施した結果は、ここで示した寿命と比較的よい一致を示しており、ここで述べた高温酸化の推定方法が実機にも適用できる。

なお、実際の暖房機の燃焼器や熱交換器は、実使用状態では最高 500°C 前後であるので、前記した寿命よりも1オーダー以上の寿命となり、高温酸化が問題となることはない。

6. む す び

加熱冷却の繰返し条件下で使用するアルミナイズド鋼の耐酸化性評価のため、加熱冷却の繰返し数とアルミ合金層のクラック発生寿命の関係を求め、更にクラック発生後の酸化速度を求めた。

その結果、次の結論を得た。

- (1) 加熱冷却を繰返しうけるアルミナイズド鋼の全寿命は、
 - (a) 合金層にクラックが入るまでの寿命 (N_C)。
 - (b) クラックを介して母材が局部的に酸化される寿命 (N_L)。
 - (c) 母材が全面酸化をうける寿命 (N_G)。
 との3つの段階を合せたもので表される。
- (2) 合金層にクラックの発生する条件を熱疲労試験及び高温疲労試験で求めた結果、クラックの発生寿命 (N_C) は加熱温度により大きく影響をうけ、上限温度が 100 (deg) 異なれば寿命も1オーダー以上の違いが生じることが明らかになった。
- (3) 局部酸化及び全面酸化とも酸化深さは、加熱時間 (t) と加熱温度 (T_a) をパラメータとして表示でき、表示式として各々式(10)と式(11)を得た。

参 考 文 献

- (1) 嵯峨ほか：金属表面技術，17，5，163 (昭41)
- (2) 伊藤ほか：日新製鋼技報，32，81 (昭50)
- (3) 土方ほか：機構論，No. 780-13，1 (昭53)
- (4) 宮川：耐食材料の基礎(I)，機械学会第461回講習会教材

薄形、額調エアコン《アートクール》の開発

関口 浩*・上妻 親司*・友沢 久**

1. ま え が き

昭和54年度におけるルームエアコンの全国普及率は40%を突破し、なかでも高普及率地域である大阪、京都においては70%以上の値を示している。またルームエアコンの売上高をみてもカラーテレビのそれよりもりょうが(凌駕)し今や家電品の花形といっても過言ではない。更に普及率の向上に伴い需要の構造も変化しており、昭和54年度においては新規需要が全体の60%に低下した反面買増需要が30%を占め年々その差が縮まっている。これに伴いエアコン保有1世帯当たりの平均保有台数も全国平均にて1.4台と複数保有の傾向が強まっている。このように拡大するマーケット、需要構造の変化に対応したルームエアコンの開発は従来以上にユーザーの種々の分析を行った上で、その開発のターゲットを明確にしたものにする必要があるが、とりわけユーザーのライフステージ、ライフスタイル、ライフスペースを発想の原点に置き開発する手法が有用である。

当社はなかでもライフスペースつまりその部屋で生活する人の特性とその部屋の用途、種類、空間についての分析を行い、これらにマッチするルームエアコンとして新しい1形態を具現化した。ここで紹介する三菱ルームエアコン《アートクール》MA-1801R形は、ライフスペースセグメンテーションによる分析から発想した画期的な新製品である。以下にその概要を報告する。

2. 開発の意図

我が国の一般的社会環境と住宅事情を考慮したとき、ルームエアコンに要求される主なテーマは(1)省エネルギー、(2)省スペースである。この中で後者は特にルームエアコン設置上の部屋の用途、種類、居住空間との関連性が強く、この意味においてライフスペース的アプローチが特に重要である。省スペースの端的な製品化の例は、ルームエアコンユニット本体の薄形化であるが、これは昭和50年当社が初めて世に出し今やルームエアコンの主流となっている。

省スペースの極論は、ルームエアコン本体を室内空間から駆逐すること

であるが、技術的、価格的観点によりおのずと限界がある。しかし、実体上でなく感覚上でエアコンを室内空間から駆逐する手段が可能ならば、むしろそれが最善な問題解決法とも成り得ることがライフスペース的分析により明らかになった。言い換えれば、省スペースへのアプローチが、そのテーマの解決のみならず、ルームエアコンの新しい価値感を生み出したのである。

図1は、この発想から具現化の思考フローをまとめたものである。(1) 省スペース

室内ユニットの奥行は8.9cmで、この寸法は従来最も薄形であった当社品(10.9cm)を更に2cm(15%)薄形化している。また業界全体で見ると同能力クラスの最大厚さ品と比較しほぼ $\frac{1}{2}$ の厚さである。

(2) 装飾性

室内ユニットの前面部中央に絵画を配して額調のデザインとし、ルームエアコンに要求されるインテリア機能を大幅に向上させている。したがって室内ユニットを額としてとらえた場合ルームエアコンの占有スペースはゼロとなる。また中央の絵画は交換が自由で使用環境に調和した独自性を持たすことができる。更にリモコンボックスもユニット本体の持つふん(雰)囲気と調和させるため装飾カバー付きとしている。

額調デザインの有効活用面から、室内ユニットの設置位置が従来タイプと比較し、より居住空間へ近づくことが想定され、効果的な空調を行うことができる。

3. 構 成

三菱ルームエアコン《アートクール》MA-1801R形は、室内、室外各ユニットを分離したセパレートタイプであり、各ユニット間の接続はインスタントカップリングを使用した配管接続、2心VVFケーブルを使用した電気接続によって行う。電源の入切、温度調節などの操作は、室内ユニットにケーブルで接続したリモコンスイッチで行う。また室内ユニットの外形は額の外觀を重視し、従来タイプと比較して幅方向を狭め、高さ方向に伸ばしている。特に奥行は同様の理由から徹底した薄形化を図っている。表1に仕様、図2に室内ユニットの外觀写真、図3に外形寸法を示す。

3.1 室内ユニットの全体構成及び強度

図4に室内ユニットの内部構造を示す。一般にルームエアコンの室内ユニットは主として、熱交換器、送風機、風路、結露水処理部、外郭などから構成しているが、奥行の薄形化、前面のパネル化の実現にはそれら構成部品の配置、風路の構成、熱交換器、送風機の選択、性能の向上、寸法の小形化、効率の良いバランス点を追求し、更にルームエアコンの宿命的課題である結露現象に対してもより効果的で信頼性の高い手法を考慮しなければならない。

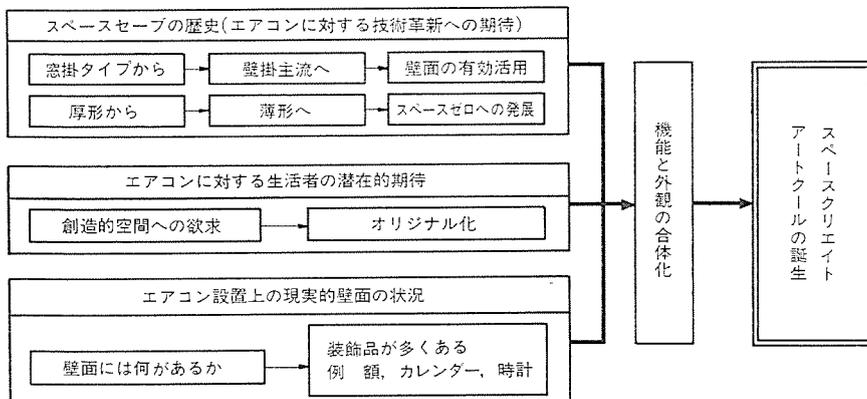


図1. アートクール誕生の流れ

表 1. MA-1801 R 形仕様

形名	MA-1801 R		
標準冷房能力	1,600/1,800 kcal/h	50/60 Hz	
冷房面積	畳	5~8/6~9	50/60 Hz
	m ²	8~13/9~14	
外形寸法	室内ユニット	高さ 470×幅 770×奥行 89 mm	
	室外ユニット	高さ 500×幅 760×奥行 150 mm	
重量	室内ユニット 10 kg	室外ユニット 27 kg	
消費電力	585/695 W	50/60 Hz	
E. E. R.	2.74/2.59 kcal/h·W	50/60 Hz	
除湿能力	1.1/1.3 l/h	50/60 Hz	
騒音	50 Hz	室内ユニット	急 37, 強 33, 弱 26 ホン
		室外ユニット	強 40, 弱 38 ホン
	60 Hz	室内ユニット	急 40, 強 34, 弱 26 ホン
		室外ユニット	強 43, 弱 38 ホン
電源	1φ 100 V	50/60 Hz	
圧縮機出力	500 W		
運転電流	6.5/7.0 A	50/60 Hz	
絵のサイズ	M6 (高さ 242×幅 409 mm)		
配管	付風長さ	4.2 m (内 1.2 m, 外 3 m)	
	接続方式	インスタントカップリング方式	
	配管方向	後, 右, 下 (左は別売)	
付帯機能	12時間タイマー 温度調節器 運転表示ランプ 室内風速3段切換		

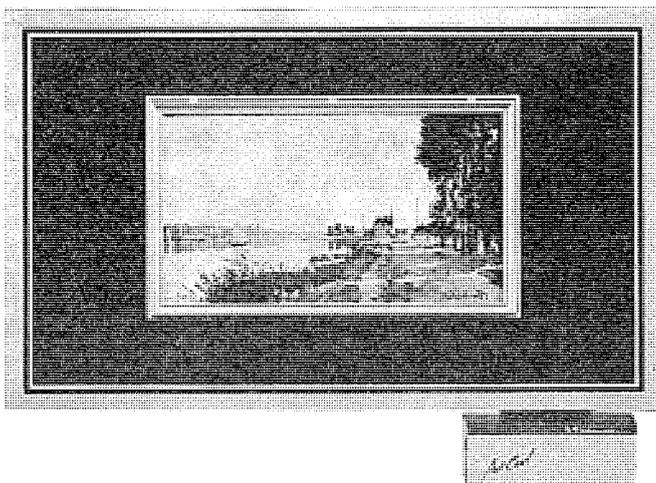


図 2. 室内ユニット外観

(1) 薄形化

図 5. に室内ユニット横断面を示す。熱交換器、送風機等の主要構成部品はすべて平面的に配置し奥行を薄くしている。具体的にはユニ

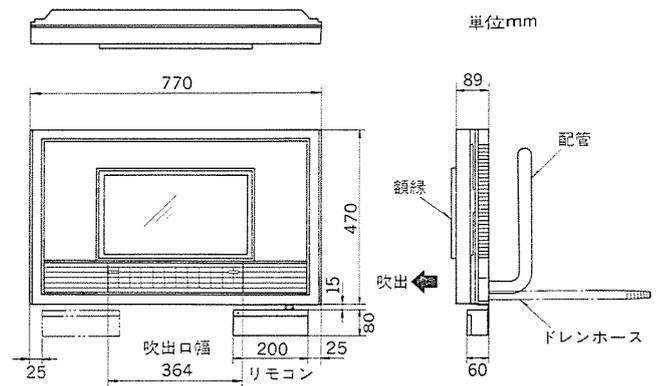


図 3. 室内ユニット外形寸法

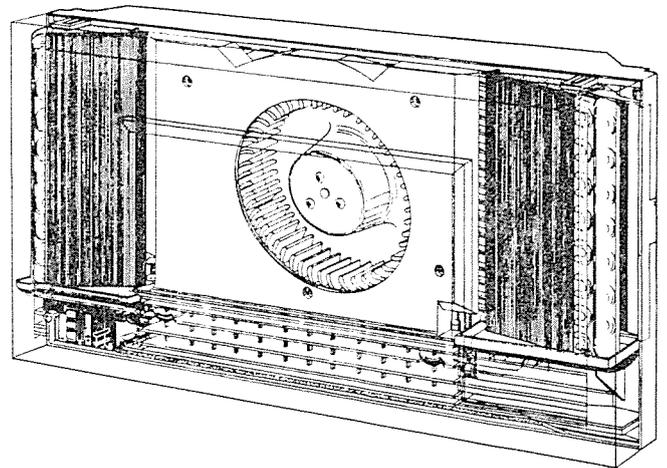


図 4. 室内ユニット内部構造

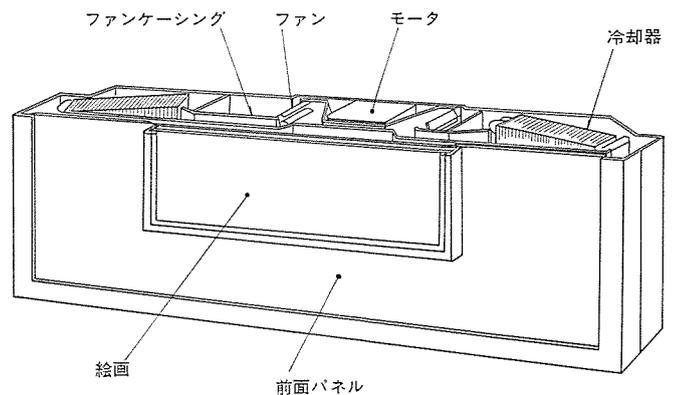


図 5. 室内ユニット横断面

ット中央に送風機を、その左右両側に2分割した熱交換器を配した構成としている。

(2) 額調デザイン化

額調デザインとするため前面部分の面積を極力パネル化し意匠面の自由度を大きくする必要があり、そのため室内空気の吸込部を従来形の前面からではなく、ユニット両背側面へと移し、外観上吸込部を表面に出さない構造とした。

(3) 結露水処理構造

奥行の薄形化に当たって最も困難な課題の1つは結露水処理構造である。前述のようにルームエアコンにとって宿命的な課題であり、いかに

に優れた機能を持つ製品でも、その処理を誤れば重大なクレームにつながる。したがって高性能、高信頼性でしかもコストアップの少ない結露水処理構造が要求される。

奥行の薄形化は、ユニットの体積を減少することになる。しかし冷房能力、消費電力等の性能を確保する必要から熱交換器、送風機など機能部品の仕様が優先的に決定され構造関係は後回しとなる。機能部品は後述のように特性改善によるコンパクト化を図っているが、結露水処理構造は送風特性との絡みで決定されるため、更に厳しくコンパクト化が要求される。例えば、必要風量確保のため全奥行寸法で風路を構成すれば、前面パネルが風路構成材となり、熱交換器通過風により室内空気が露点温度以下に冷却され、前面パネルの表面に結露を生じる。これを防止するには、風路と前面パネルとの間に断熱層を設ける必要がある。一般に必要な断熱厚さ t は式(1)で表される。

$$t = \frac{\lambda(\theta_i - \theta_s)}{\alpha(\theta_s - \theta_r)} \quad (1)$$

λ : 断熱材の熱伝導率 kcal/m・h・°C

α : 壁面熱伝導率 kcal/m²・h・°C

$\theta_i, \theta_s, \theta_r$: 各部温度 °C

しかし、十分な断熱層を設けると風路を圧迫し送風特性に悪影響を及ぼす。そこでより効果的な断熱と、結露水処理を行い断熱層を極力薄く風路の拡大を図ることが重要となる。

MA-1801 R 形は、新しく考案した強制送風による結露防止方式を採用した。これは、前面パネルとファンケーシングの間に中間仕切板を介在させ、前面パネルとファンケーシングとの間を、断熱層と風路とに区切り、前面パネルと中間仕切板とで形成する断熱層に、室温の2次空気を強制通風して高性能の断熱層を形成している。しかも前面パネルの表面には静電植毛を施し一層の断熱特性の向上を図り、前面パネル表面への結露を防止している。また背面についても、奥行の増大を極力軽減するため、当社独自の結露水回収方式を採用している。図6. に結露水処理構造を表す側面断面図を示す。

(4) 強度解析

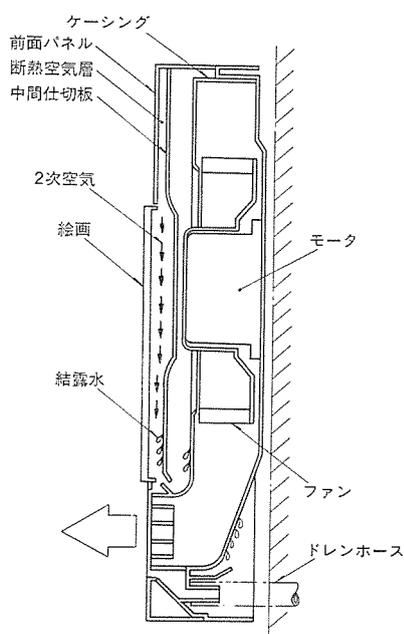
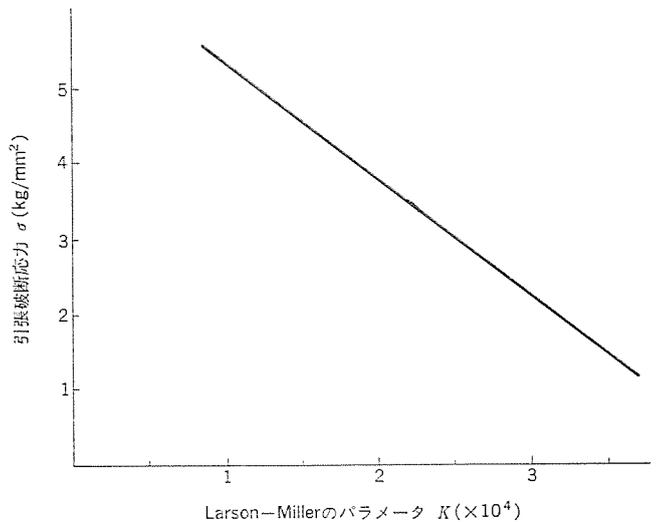


図 6. 結露水処理構造



Larson-Millerのパラメータ $K (\times 10^4)$

図 7. マスタプラチチャー曲線

奥行の薄形化は、ユニットの軽量化を目的としたプラスチック化と関連し構造体の強度低下の問題に波及する。特に集中衝撃荷重による割れ、変形の発生に対し十分な強度確認が必要である。一方プラスチックを主材とした構造体は、初期試作時には実機による強度確認が不可能であり、強度問題が最後まで尾を引き開発の効率低下を招く。今回コンピュータを使用した有限要素法による構造解析を行い問題を事前に抽出し効率的、経済的に製品開発を行った。使用プログラムは「NASTRAN」である。

材料の物性評価の基本式としてアレニウスの式を変形した式(2)のラーソン・ミラーのパラメータが用られる。

ラーソン・ミラーのパラメータ

$$K = \frac{T_0 T}{T_0 - T} (23.78 + \log t) \quad (2)$$

T_0 : 最低成形温度 K

T : 環境温度 K

t : 破断時間 h

縦軸に引張破断応力 σ 横軸にラーソン・ミラーのパラメータ K をとったマスタプラチチャー曲線を使い材料の使用条件(温度、時間等)から得た K より σ を求め構造体の各荷重条件における変形量、応力値を計算し実用強度の有無を判断する。また品質過剰な点を確認し経済設計を行った。図7. に MA-1801 R 形の構造体に使用した ABS 樹脂のマスタプラチチャー曲線を示す。

3.2 熱交換器

現在、ルームエアコンに使用する熱交換器は、フィン付熱交換器が主であるが、フィン形状により更に、プレートフィン形とスパイン(針状)フィン形とに分類する。プレートフィン形は、スパインフィン形に対し同一体積、同一風圧損失における管外表面積が大きくとれる。したがって占有体積に大きな制限のあるこの機種はプレートフィン形を採用した。しかし、熱交換器の体積を従来形に比べ30%減とする必要から次にあげる対策により特性の改善を図った。

(1) 内面溝付管の採用

ヘアピンチューブの内壁面にスパイラル状のみぞ(溝)加工を施した内面溝付管を使用し管内の蒸発熱伝達率を平滑管の4倍程度に向上させている。これは溝部による管内伝達面積の増加(約2倍)、冷媒流の乱流化の促進によるものである。図8. に内面溝付管と平滑管との

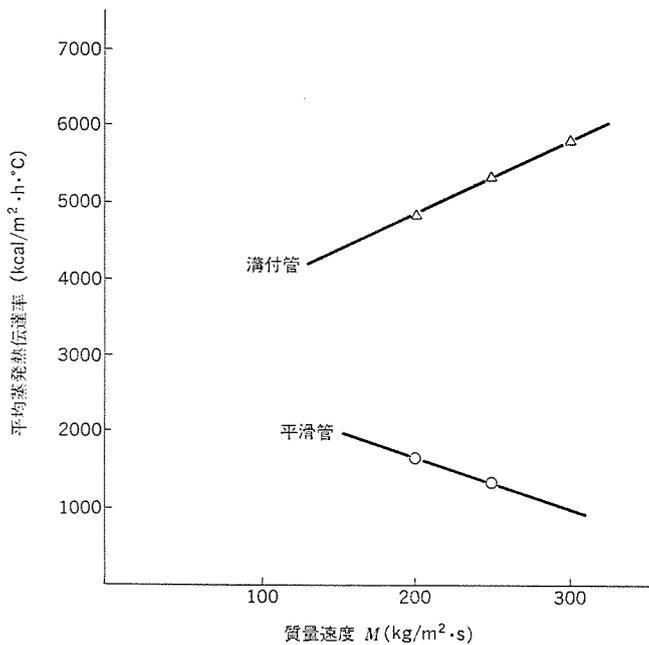


図 8. 内面溝付管と平滑管の特性比較

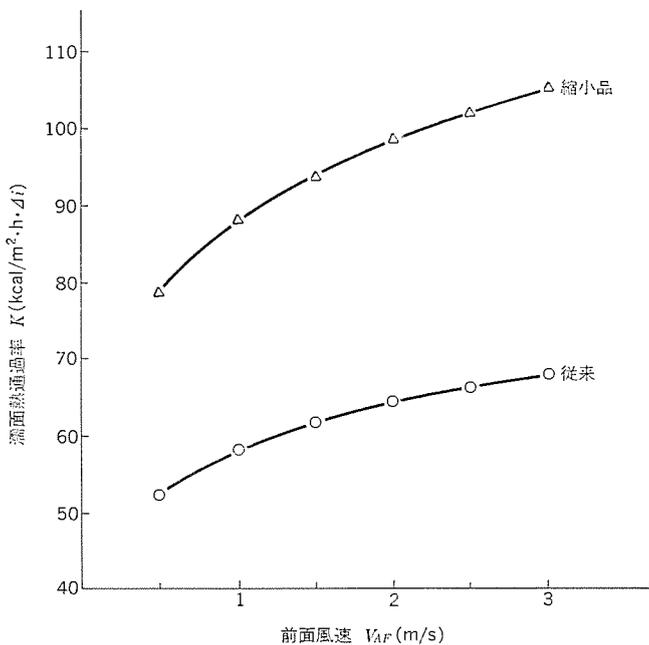


図 9. 銅管ピッチ寸法縮小品と従来品との特性比較

蒸発熱伝達率の比較を示す。

(2) 銅管配列ピッチ寸法の縮小

ヘアピンチューブの配列ピッチ寸法を縮小し、管外熱伝達率、熱通過率の向上を図った。図 9. に従来品と配列ピッチ寸法縮小品との熱通過率の比較を示す。

(3) フィン表面処理

フィン表面に水酸化皮膜処理を施し、フィン表面と結露水との親水性を向上させ、従来品に比べて風圧損失を 40% 低減した。その結果、従来フィン間に生じる結露水のブリッジ現象のため風圧損失大となり採用不可能であった小フィンピッチ品の使用を可能にし、同一熱交換器体積における管外表面積の増大、熱通過率の向上を図った。図 10. に従来品と表面処理品との風圧損失の比較を示す。

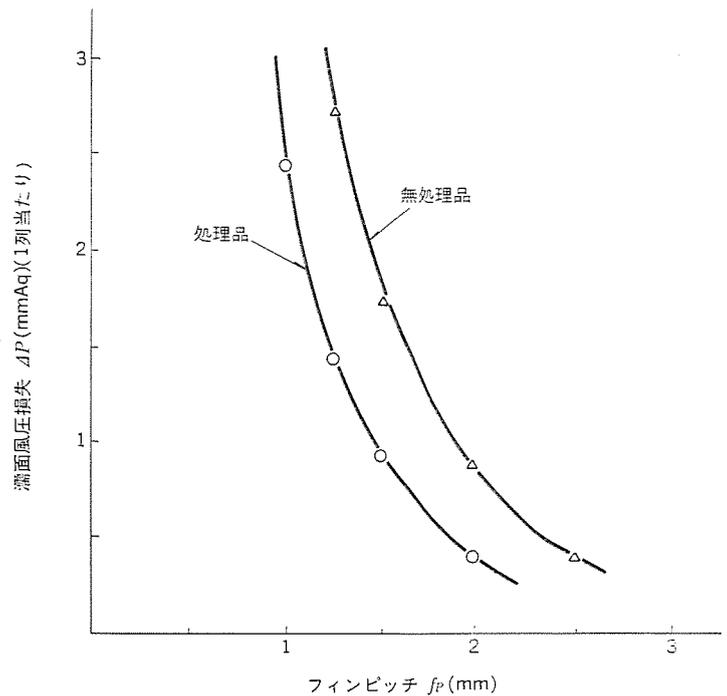


図 10. フィン表面処理品と従来品との特性比較

3.3 送風機

ルームエアコンに使用する送風機(以下ファンと称す)は一般的には次の 3 種類である。

- ① 横断流ファン(ラインフローファン)
- ② 多翼遠心ファン(シロッコファン)
- ③ 軸流ファン(プロペラファン)

MA-1801 R 形室内ユニットは、下記の理由から多翼遠心ファンを採用した。

- (1) ユニット全体の体積が小さく、したがって風路への圧迫が大となり高静圧となる。
- (2) 各部品の配置から制限される吸込風、吹出風の流れから多翼遠心ファンが適している。
- (3) 奥行寸法の制限からファンケーシングを含むファン部の寸法を極力小さくする必要がある。

多翼遠心ファンの特性は翼形状、ファンケーシングの形状等の諸因子により大きく変化する。設計目標値達成のために、各性能因子をパラメータとして実機組み込みでの特性を騒音特性絡みで検討を行った。

検討項目と結果を以下に示す。

3.3.1 翼形状、翼枚数

翼の形態的な分類には翼形翼と平板翼とがある。多翼遠心ファンに一般的に使用されるのは平板翼が多く、資料も豊富であるが、比較的小外径のものについては翼形翼の採用が目立ってきている。今回は翼形翼、平板翼の両方について検討を行った。また翼形状に関連して翼枚数(節弦比)を変化させ、合わせて検討を行った。なお翼の傾斜角については 25° 一定とした。結果的には翼形翼、平板翼の翼枚数を含めた特性は同等であった。

3.3.2 インレットリング口径

インレットリング口径は、一般的にはファン内径と一致するのが特性上好ましいとされているが、MA-1801 R 形のような曲折した風路との組合せでの適用は未知数である。ここではインレットリングの口径を次の 3 種類の変化をさせ最適値の検討を行った。

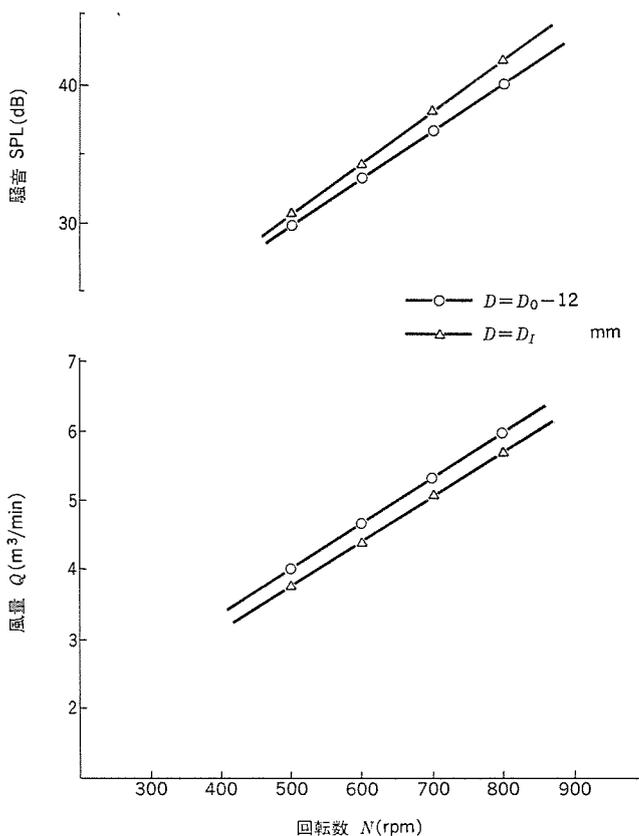


図 11. インレットリング内径と特性

- (1) $D = D_I$ D_0 : ファン外径
- (2) $D = (D_0 + D_I) / 2$ D_I : ファン内径
- (3) $D = D_0 - 12$ (構造上許容しうる最大値) 単位 mm

図 11. に $D - D_I \cdot D_0$ の変化による風量 - 騒音 - 回転数特性を示す。最高特性は (3) で口径が大きくなるほど特性が改善される傾向にある。これは吸込側風路抵抗が大きい場合、風路を拡大する効果を持つためと思われる。

3. 3. 3 ファン外径とファンケーシング拡大率

送風特性上、ファン外径とファンケーシング寸法との関係は重要な因子である。ファンケーシングのうず巻形状には、対数らせん線とアルキメデスらせん線とがあるが、このユニットでは特性上の見地、外形寸法上の制約などによりアルキメデスらせん線を採用している。

製品設計上、ケーシング外形寸法を制限した形でファン外径とケーシングの拡大率との関係を求める必要があり、この限りでは今回最高特性を示したのは、拡大率 $m = 0.356$ である。

表 2. に最終的に決定したファン設計値を、図 12. に翼形翼形状を示す。

表 2. 室内ファン仕様

外径 × 羽根幅	φ 225 × 45 mm
使用数	1 個
内外径比	0.87
翼形状	翼形翼 図 12.
翼枚数	60 枚
筋弦比	0.76
翼の傾き角	25°

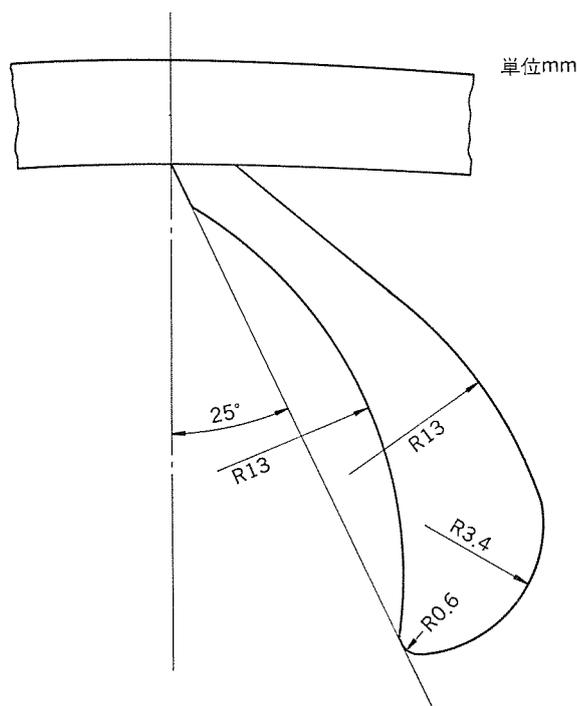


図 12. 翼形翼形状

4. む す び

以上《アートクール》MA-1801 R 形の開発の主旨と薄形化などの具体的な手法について述べた。

ユーザーのライフスペース分析からの製品発想、額調デザインの薄形室内ユニットなど多くの新しい試みをもつ製品であり、その実現のためにファン、熱交換器等の性能向上、新方式結露水処理構造の考案を行っている。需要の多様化に伴い変換を要求されるルームエアコンのせん(尖)兵となることを期待し、その結果を今後の製品開発の糧とする所存である。

1. ま え が き

最近の家庭用ガス機器の分野においては、原油価格の高騰に起因した省エネルギー指向は勿論であるが、安全性、信頼性、操作性の改善にも目覚ましいものがある。なかでも電子技術の発展を背景とした機器の制御性の向上は著しく、マイコンの応用も急速に浸透しつつある。例えば、当社の開発したFF式温風暖房機《クリーンヒーター》はスイッチ1つで全自動運転が可能であり、また湯沸器やふろ(風呂)釜に至るものまで電子回路を使用したり、リモートコントロールで操作可能なものが多数市場に出回るようになった。

一方、これら高度なソフトウェアに対応する端末機、すなわち制御に使用される部品も、各種の特長あるものが出来てきているが、こと燃焼量の制御に関しては遅れが目立っていた。というのは、従来からのガス機器では、室温や湯温を制御するには、サーモスタットによって燃焼をON、OFFさせるしかなく精密な制御が不可能であった。そのためガスの流量を連続的に制御しうる装置の登場が待ち望まれていた。

今回、このようなニーズに対応して、永久磁石と電磁回路を組合せ、磁気反発力によってガスの流量を制御できるユニークでコンパクト、かつ多機能を有した電磁式比例制御弁の開発に成功したのでここに報告する。

2. 比例制御弁の構造

ガスに限らず流体の流量制御は、弁の開度調整によって行われるのが一般的な方法であり、圧力損失を変化させて流量を変えるわけである。これを自動制御で行うには、例えばサーボモータを用いた機械的な方法もあるが、電磁石を応用することによりコンパクトで、かつはるかに応答性の良いものが得られる。

図1.にこの比例制御弁の構造を示すが、電磁石と永久磁石、ダイヤフラムを基本とした非常に単純なものである。ガスは本体右側の入口から流入し、弁と弁座間の流路で圧損を受け上部左側出口より流出する。その後配管を経てノズル(1種のオリフィス)からバーナ内へ噴出するが、このときの流量と圧力との関係は一般に次式で与えられる。

$$Q = K \cdot \sqrt{P_2 - \Delta P - P_0} \dots\dots\dots (1)$$

Q: ガス流量

P_2 : 比例制御弁出口のガス圧力

ΔP : 配管圧損

P_0 : ノズルにかかる背圧

ここでKは流量係数で、ガス種、温度、湿度により変化する。

式(1)によれば、ガス流量は $\sqrt{P_2}$ に比例し、 P_2 を制御すれば流量制御ができることが分かる。

図で、弁体はダイヤフラムを間に介して永久磁石と一体に組立てており、電磁石は鉄心が永久磁石に対面するように配置する。永久磁石の下面と、対向した電磁石鉄心の上面とが同じ極性になるよう励

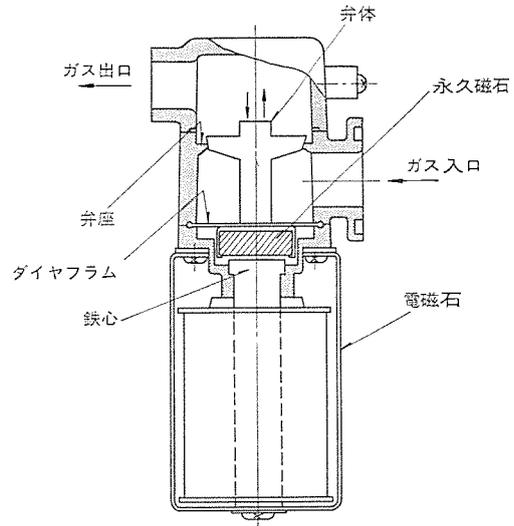


図1. 比例制御弁の構造

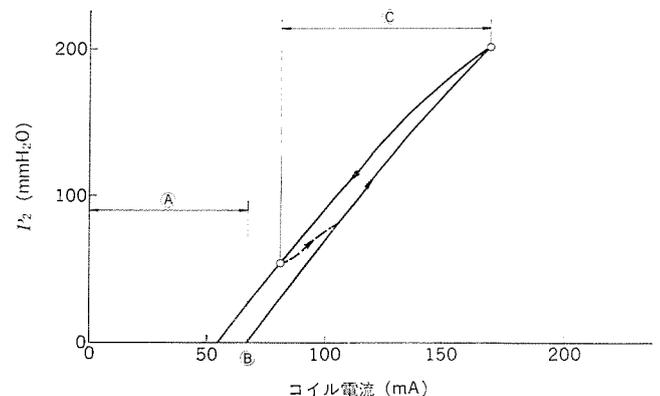


図2. 電流とガス圧 P_2 の関係

磁し、両者間に反発力を生じさせ、弁を駆動し開度を調整する。コイルへの通電電流と、ガス圧 P_2 の関係を図2.に示し、以下図に従って動作を説明する。電流範囲①は、コイル電流が少ないため磁気反発力が永久磁石の吸引力に打ち勝つことができず、弁は閉じたままガスは流れない。②では反発力と吸引力がバランスし、弁が開き、ガスが流れ始める。③部はコイル電流が更に増加したときで、電流値に応じて比例制御を行う範囲である。この③部は、適当な電流値を選ぶことにより任意に設定できる。電流値がピークから減少するときにはヒステリシスがあるが、これは弁と磁石の可動部分はダイヤフラムを介して器体に取り付けてあるだけで、電磁石や器壁との間には機械的な損失はほとんど無いため、磁気回路のみに起因するものである。

3. 動作原理

ダイヤフラムを含めた弁体部分の構造は、一般にガナと呼ばれるものと似ている。ガナはガス機器に広く使用されるもので、ダイヤフラム

* 応用機器研究所 ** 中津川製作所

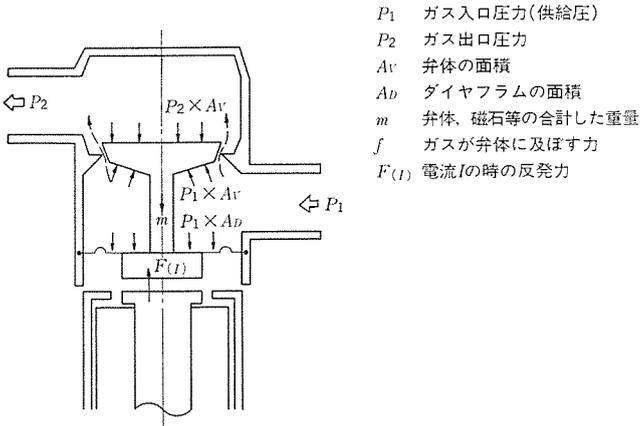


図 3. 比例制御弁の動作原理図

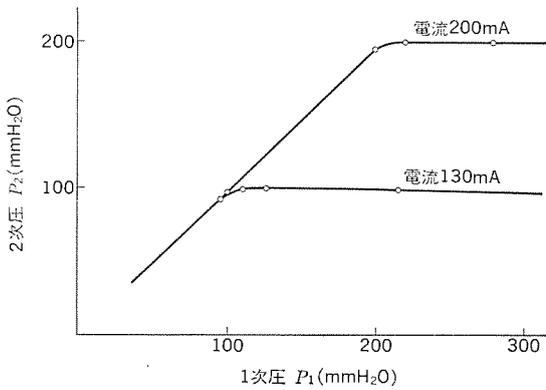


図 4. ガバナ特性

とコイルスプリングにより、供給されるガスの圧力変動を吸収し、ガス流量を安定させる働きをもつ。この比例制御弁は、このガバナを母体構造とし、コイルスプリングに替えて磁気駆動回路を組み込んだものであって、機能的には電磁ガバナとも言えるものである。この動作原理を図 3. に従って説明する。

ガスが定常流量 Q で流れているときの比例制御弁内部で働く各種の力の成分を考えてみる。ガスの流入時の圧力 P_1 は、ダイアフラムを下方へ、弁体を上方へ押す。弁と弁体の間と通過するとき流体力 f を弁に作用させ、圧損を受けて圧力は P_2 となり、弁を下方へ押す。弁体、磁石の重量 m は下方向、永久磁石と電磁石間の磁気反発力 $F(I)$ は上方向に働く。これらの力の成分をまとめると、上方向成分は式(2)のようになり、

$$F(I) + P_1 \times A_v + f \dots\dots\dots (2)$$

下方向成分は式(3)のようになる。

$$m + P_1 \times A_D + P_2 \times A_v \dots\dots\dots (3)$$

この2方向の力のバランスしたときの弁開度によりガスの流量 Q が決まるので、式(2), (3)より

$$F(I) + P_1 \times A_v + f = m + P_1 \times A_D + P_2 \times A_v \dots\dots\dots (4)$$

この式を P_2 についてまとめると、

$$P_2 = \frac{F(I) + f - m + P_1 \times (A_v - A_D)}{A_v} \dots\dots\dots (5)$$

ここでダイアフラムと弁の面積を $A_D \approx A_v$ とし、 $f \ll F(I)$, m であるから $f \approx 0$ とおいて

$$P_2 = \frac{F(I) - m}{A_v} \dots\dots\dots (6)$$

となる。この式から、次の2つのことが明らかになる。第1に、 P_2

は P_1 に無関係に $F(I)$ の関数であり、電磁石コイルへの通電電流によって制御できること、第2にコイルへの通電電流を一定とした場合には P_1 に無関係に P_2 を一定に保持できること、すなわちガバナ機能を持っている。図 4. にガバナ特性の1例を示すが、良好な特性が得られている。

4. 比例制御弁の仕様

仕様を表 1. に、また外観写真を図 5. に示す。この比例制御弁の特長として

- (1) ガス転換が容易である。
- (2) 制御範囲が、制御弁の仕様変更でなく制御回路の設定変更の

表 1. 比例制御弁の仕様

項目	仕様
制御方式	電磁反発式
電源	DC 12V
消費電力	3W 以下
制御ガス	都市ガス, LNG, LPG
制御容量	5,000~30,000 kcal 用, 共用可能
制御機能	比例制御 1~1/4 ガバナ機能
使用温度範囲	-20~+50°C
材質	永久磁石 Ba フェライト等方性磁石 弁体 ジェラコン樹脂 本体 アルミダイカスト
ガス転換	電子回路の設定つまみ切換えとガスノズル変更
外形寸法	幅 55×奥行 55×高さ 153 mm
重量	850 g

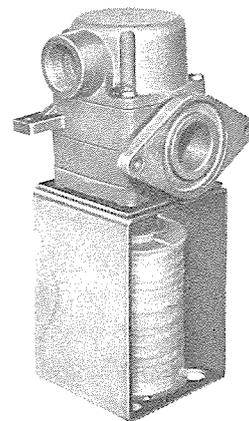


図 5. 外観図

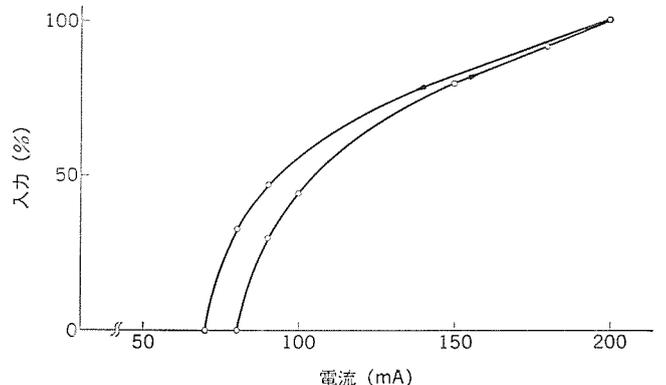


図 6. 入力制御特性

みで任意に設定できる。

- (3) 各種燃焼量の機器に、制御弁の仕様変更無しで適用可能である。
- (4) 消費電力が極めて少ない。
- (5) 比例制御、ガバナ機能の複数の機能を有する。
- (6) 持っている機能に対しコンパクトである。

などの多くの長所をもっている。また、ガス入力と制御電流の関係を表す入力制御特性の1例を図6.に示す。

5. 比例制御弁の技術的検討

永久磁石を用いた磁気反発回路には、参考にするべき過去の事例は無く、設計製造はすべて実験により確認を行った。以下に、特性に影響を及ぼす各種要素について検討した結果の概略について述べる。

5.1 磁気回路の構成

構成を決定する主要因としては図7.に示すように、

- (1) 鉄心、永久磁石、磁路ヨークの位置関係
- (2) 鉄心の先端径
- (3) 磁石の径と磁束密度

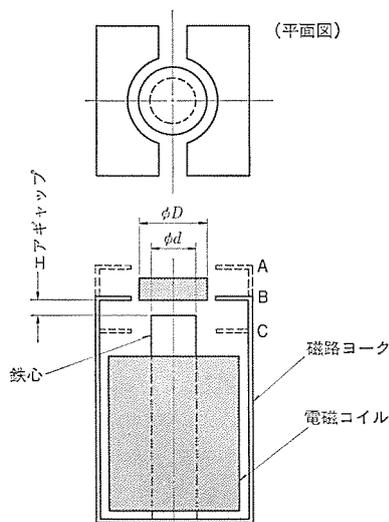


図7. 磁気回路の構成

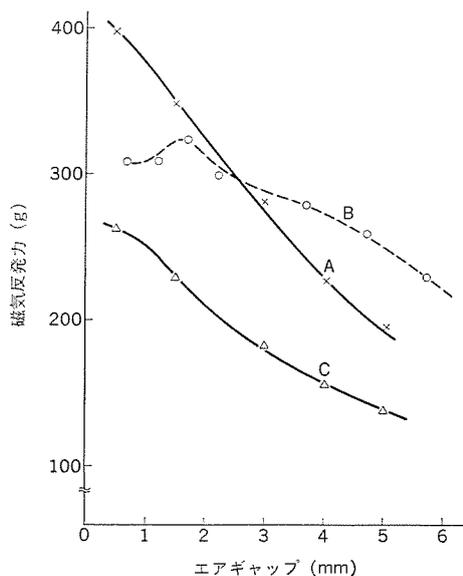


図8. 磁路ヨーク位置の影響

などがあげられる。磁路ヨークの位置を図中のA, B, Cのように変化させると、磁気反発力は図8.に示すようにエアギャップの変化に応じて異なった変化をする。弁体と永久磁石は一体に構成されているため、弁体が閉じるためには、最小ギャップを確保する必要があり、量産時の各構成部品の精度を考慮して1mmに設定した。また通常の最大弁開度は4mm程度であるから、1~4mmのエアギャップの範囲で最適な変化をするヨーク位置の選定が必要である。結果として、電流値とガス入力の関係である入力制御特性は、A, B, Cの3者では、電流値の多寡は別として大差がなかったが、ガバナ機能はBの位置のものが最良であった。良好なガバナ特性は P_2 を安定に保つ能力ということであり、そのためには前述の式(6)より、 $F(x)$ の変動を少なくする必要があることが分かる。したがって、図8.のうちで、エアギャップによる磁気反発力の変化の最も少ないBが適しているわけである。

鉄心の先端の径も大きな要因の1つで、磁気回路に影響を与える。図9.に一定の反発力220gを得るのに必要なコイル通電電流と鉄心の径の関係を示す。電流値は、径の増加に従って急激に減少し効率が向上するが、最適径で飽和した後再び増加する。

永久磁石の外径と磁束密度については、図10.に各種磁石を用いて、コイルへの通電電流を一定に保持した場合の、エアギャップと磁気

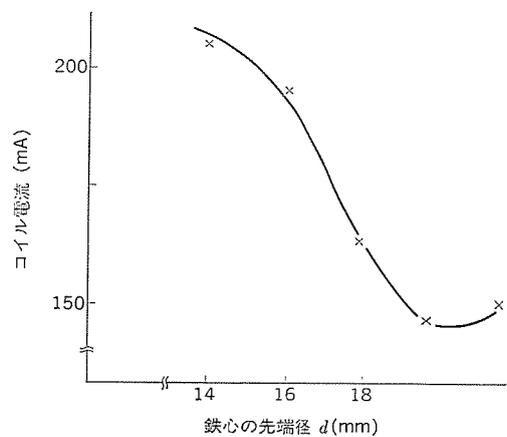


図9. 鉄心の先端径の影響

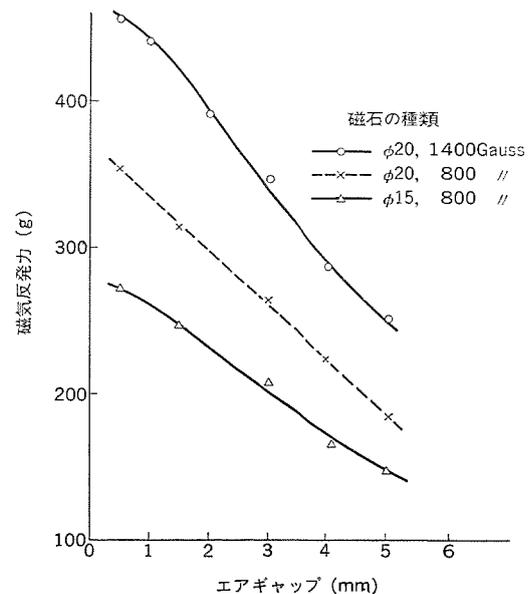


図10. 磁石の影響 (電流値一定の場合)

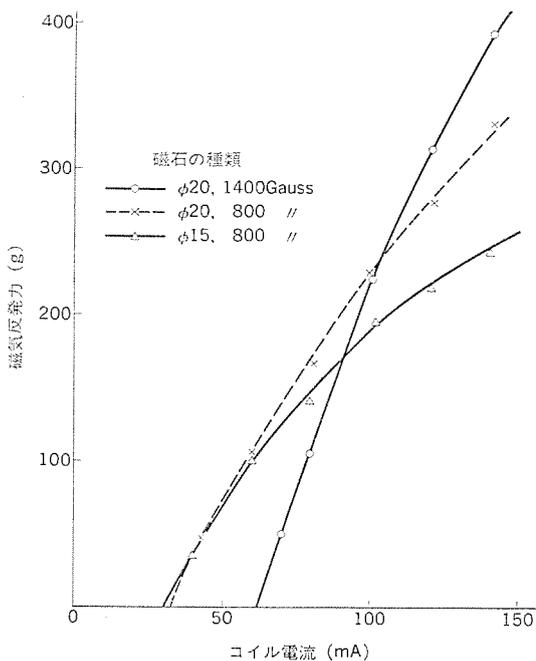


図 11. 磁石の影響 (エアギャップ一定の場合)

反発力の関係を示す。磁束密度が同じでも径の大きい方が、また径は同じでも磁束密度の大きい方が磁気反発力が大きくなっている。同じく図 11. には、エアギャップを一定に保持した場合のコイル通電電流と反発力の関係を示す。電流を 0 から増加させてゆき、磁気反発力が生じ始めるときの電流値つまり起動電流は、磁束密度が同じであれば磁石の外径に依存せずほぼ同じであり、磁束密度の増加に伴い増大する。他方、電流値を更に増加させた場合には、磁束密度が大きいほど、また磁石の外径の大きいほど強い磁気反発力が得られる。

比例制御特性に関しては、制御弁へ電流を与える電子回路を設計する上で適切な電流範囲が得られ、電流値も少なく回路への負担の少ないこと、量産性向上のためには、ばらつきの少ないことなどの条件を満たすことが必要であり、上記特性を勘案して設計を行った。

これら各種要因の影響は、永久磁石、鉄心と磁路ヨークの間に働く磁束の分布、強さ、方向等を解析することにより解明でき、ひいては磁気反発力の発生メカニズムも明らかにすることができる。そのため研究所の協力により面積要素法を用いてコンピュータで解析を試みているが、現在までは十分な結果は得ていない。

5.2 永久磁石の特性

永久磁石の満たすべき条件は、

- (1) 経時劣化の無いこと。
- (2) 使用温度範囲 (-20~+50°C) で、磁束密度に変化の無いこと。
- (3) 制御弁の電磁石の逆磁界によって劣化しないこと。
- (4) 大量生産に適していること。

などがあげられるが、これらの

すべてを完全に満足するものを入手するのは困難であった。各種検討の結果、Ba フェライトの等方性磁石を選定し、逆磁界や低温により劣化しないような処理を施している。この磁石は、経時的な劣化はほとんど無く、熱的にも安定性が高いので我々の仕様にかなったものであるが、唯一の欠点として、磁束密度に $-0.19\%/^{\circ}\text{C}$ の可逆的な温度依存性がある。したがって永久変化は無いが、ガス流量制御特性に温度依存性が生じる。この特性が機器に支障を及ぼす場合には、温度補償をする必要があり、応用例において言及する。

5.3 ヒステリシス

先にも述べたように、この比例制御弁のヒステリシスは磁気回路によるものである。ヒステリシスが大きい場合には、制御特性には応答の遅れとなって影響を及ぼし、制御対象である温度の静定性が悪くなる。したがってヒステリシスの改善のために、磁気回路材料として残留磁気の少ない電磁軟鉄を使用している。ただし、家庭用ガス機器に使用するには、快適性を損ねない限りヒステリシスは許容されうるし、また電子回路によってフィードバック制御を行えば、実用上支障の無い温度制御が確保できる。

6. 応用例

6.1 動作説明

この比例制御弁を暖房用ボイラの温水制御に使用した 1 例を図 12. に示す。このシステムの動作を説明すると、貯湯タンクの水はポンプで熱交換器に送り、バーナにより加熱されて外部の暖房用放熱機で冷却され再び貯湯タンクに戻ってくる。この間、熱交換器の出口に取付けたサーミスタで湯温を測定し設定温度と比較して比例制御弁へ制御信号が送られガス量が自動的に調節する構成になっている。このシステムにあって比例動作の様子を図 13. により説明する。

バーナを着火し水温が 70°C までは 100% 入力 (実機では 6,000 kcal/h) で燃焼し 70°C~80°C の間で比例動作領域となり、80°C で燃焼を停止するように電子回路を構成している。また、80°C 直前の最低入力は全入力の約 30% である。本来この最低入力は低い程比例制御システムとしては良いわけであるが、バーナの燃焼性や低入力時の熱効率の観点から実用上支障のない入力に設定している。応用例では最低入力 2,000 kcal/h であるが、負荷がこれより低い場合には 2,000 kcal/h と 0 の間で ON, OFF 制御となり図 13. の A, B, C, D, E というループを描く。我々の用途の場合には暖房能力が約 2,000~3,000 kcal/h であるので湯温 75°C 位のところで定常動作をする。

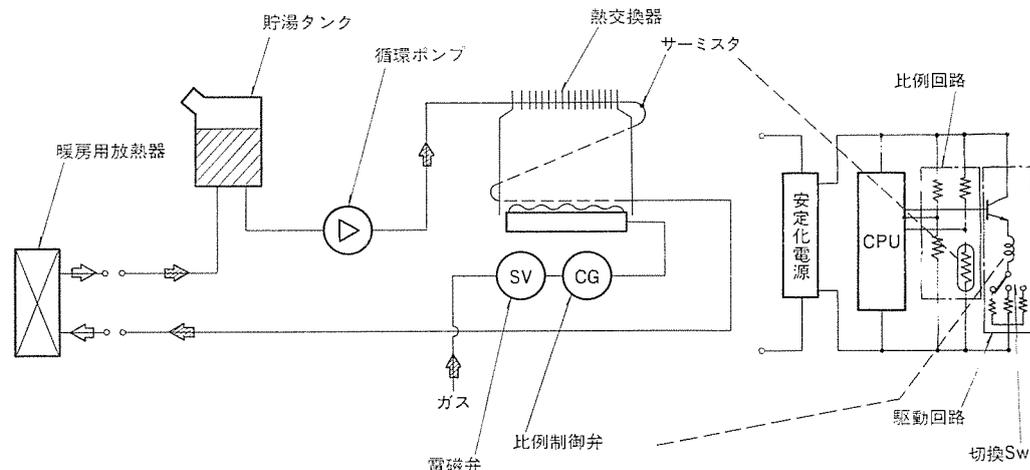


図 12. システム説明図

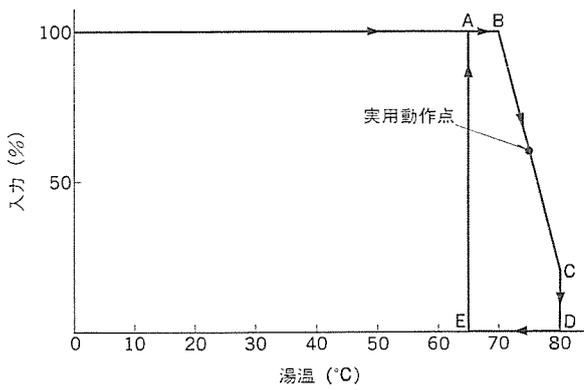


図 13. 比例制御動作説明図

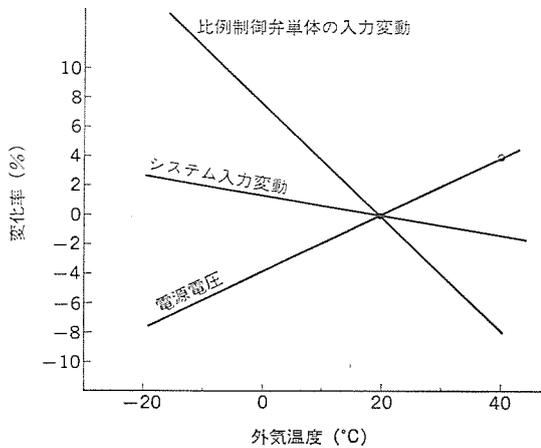


図 14. 温度補償特性

また、燃焼が停止したときには電磁弁と比例制御弁が同時にしゃ(遮)断され、ガス漏れに対しては2重遮断となり信頼性を向上させている。

6.2 温度補償

この比例制御弁を実機に应用する場合には、周囲温度に留意する必要がある。応用例の場合は、暖房用の用途であるから周囲温度 -20°C \sim $+40^{\circ}\text{C}$ まで安定した制御特性が要求される。磁気回路の検討の中で述べたように磁石の選定に当たっては温度依存性の小さいフェライト磁石を選んだが、それでも磁束密度に負の温度依存性があり、加えて電磁石のコイルは温度に対して負の電流特性を持っているので、この比例制御弁は単体で図 14. のように温度に対して負の特性を有している。したがって周囲温度が低いときに入力が多くなり、温度が高くなると入力下がる。

暖房用のシステムとしては望ましい特性であるが製品のスペックを保証するためには入力の変動を一定の範囲に納める必要がある。そ

のために電子回路の電源電圧に正の温度特性を持たせて、組合せによりシステムの温度補償を行っている。図 14. に特性を示してあるが -20°C \sim $+40^{\circ}\text{C}$ の範囲で入力の変動は $\pm 5\%$ 以内である。

6.3 比例制御弁を使用することによる利点

比例制御システムと電磁弁による ON, OFF 制御との相違は比例制御の場合は負荷に見合ったガス量で燃焼をするのでバーナの ON, OFF 回数が少ないこと、ON, OFF 制御の場合には燃焼量と負荷がマッチングしないため ON, OFF 回数が多くなることである。そのことにより熱交換器の寿命やバーナの着火音が問題になる。これを軽減するために ON, OFF 制御の場合は図 12. 中の貯湯タンクの容量を大きくし、また温度制御のディファレンシャルを大きくしたりして解決を図っているが、貯湯量を多くすることは余分にエネルギーを必要とし省エネルギーに逆行するばかりでなく暖房の立ち上がりが遅くなり、加えて温度変化が大きいためユーザーの使用感が悪くなる。比例制御と ON, OFF 制御では貯湯量に約 3 倍の相違がある。

またユーザーばかりでなく工事をする側にも利点がある。ガスの種類は LPG, LNG, 都市ガスと多様であるが LPG から都市ガスへの転換、更には近年、都市ガスから LNG へのガス転換が行われており、これらのガス転換工事において、各ガス種によって発熱量や 2 次圧に相違があるため、ガス転換するためにはノズルの交換及び 2 次圧の調整をしなければならぬ。2 次圧の調整は従来のガケを用いた器具では、ガケのスプリングを調節して 2 次圧を調整していたのに対し、このシステムによると 2 次圧はおのこのガス種に対応する切換スイッチにより調整が可能となりガス転換作業が容易になる。

7. む す び

以上、今回開発したガス比例制御弁の構成、動作原理、磁気回路設計に当たっての諸検討事項、応用例によりこの比例制御弁を使用することの利点について述べた。開発の目標を高精度、高信頼性においたので、磁気回路を構成する材料を電磁軟鉄材に限定し、なおかつ熱処理を施してヒステリシスを小さくするなど製造コスト的にはいまま一歩というところである。しかし応用例のようにシステムとして高精度を必要としない用途にはこのような材料選定や熱処理は不要である。

今後この比例制御弁の用途を広げて行くためには、使用目的に合った材料選定や熱処理方法によって製造コストを下げ、使用される製品のコストを圧迫しないようにして、《クリーンヒーター》をはじめ、より多くの製品に应用できるよう検討を進めていきたい。そのことによりガス燃焼技術と電子技術の有機的結合が可能となり、従来にないソフトウェアを持った新しいタイプのガス器具をユーザーに提供できると確信する。

デジタル保護リレー

畑田 稔*・吉田 敬史*・大垣 健二*・細井真知夫*・本間 昭好*

1. ま え が き

マイクロコンピュータによる保護リレーは、一般にデジタルリレーと呼ばれ、近年その実用化開発が急速に進展し、一部電力会社では実用化段階に達している。これまでに当社が開発したデジタルリレーには表1のようなものがあり、広義の保護リレーである系統安定化装置では既にマイクロコンピュータを主要演算回路としたシステムが実用化されている。

デジタルリレー実用化の流れとしては、既存の保護装置に対応して各装置をデジタル形に置き換えることによって、機能の高度化、特殊系統の保護、設置スペースの減少、保守の省力化等を指向した「装置形」の応用と、保護、計測、制御等電気所全体の配電盤群の合理化を目的としてこれらの全機能を包含して総合的にデジタル化する「システム形」の応用とがあり、いずれも実系統での実証試験を経て耐サージノイズ性、運用保守性、信頼性等の改良が重ねられ、80年代に入るとともに試採用段階に入っている。

この論文ではこれまでのデジタルリレー開発の経緯を紹介し、最近のデジタルリレー技術の概況、実証試験結果について報告する。また今後の開発動向についても述べる。

表 1. マイクロコンピュータの保護リレーへの適用形態

適用形態	適用例	マイコン適用の目的
単体形	周波数リレー	精度向上
装置形	回線選択保護装置 送電線後備保護装置 方向比較キャリアリレー装置 系統安定化装置	点検・保守の省力化 小形化 性能向上
システム形	配電デジタル保護・制御システム	トータルメリットの追求

2. デジタルリレー開発の経緯

2.1 デジタルリレーの誕生

デジタル計算機の電力系統保護への応用を初めて具体的に提案したのはウェスチングハウス社 ロックフェラー氏の論文(1968年)である。当社もこの時期にデジタルリレーの基礎研究を開始し、ミニコンピュータを用いて送電線保護リレーを試作し、1974年より約2年間関西電力(株)猪名川変電所、南大浜線(154kV)において我が国初のデジタルリレーの実系統実証試験を実施した。

この結果デジタル計算機により電力系統保護が十分可能であることが実証された。やがてマイクロコンピュータの飛躍的な発展によって計算機ハードウェアの革新が進み、デジタルリレーは小形化、高信頼度化、保守の省力化、経済性など電力保護システムに要求されるニーズに合致する今後の保護リレーとして実用化が急速にクローズアップされるようになった。

2.2 電気所デジタル制御システム(SDCS)の開発

SDCSはマイクロコンピュータを複数台用いて電気所の保護、計測、制

御、伝送等すべての神経機能を一括してデジタル化することで情報フローの整理統合、変電所規模での合理化を指向したもので、その結果、省資源、省スペース、省力化、高信頼度化が達成される。SDCS開発はまず規模の小さい配電用変電所対象に試作システムを開発し、1977年より約2年間、関西電力(株)茄子作変電所(77kV)において実証試験を実施した。試作システムの外観及びシステム構成を図1、図2に示す。

このシステムは保護用に8台、計測制御用に4台、テレコン用に1台、計13台のマイクロコンピュータから構成されている。SDCSは実証試験中の28件の系統事故に正応動し、また計測、制御、テレコン各機能共良好な動作が検証された。配電用SDCSは近く試作機より

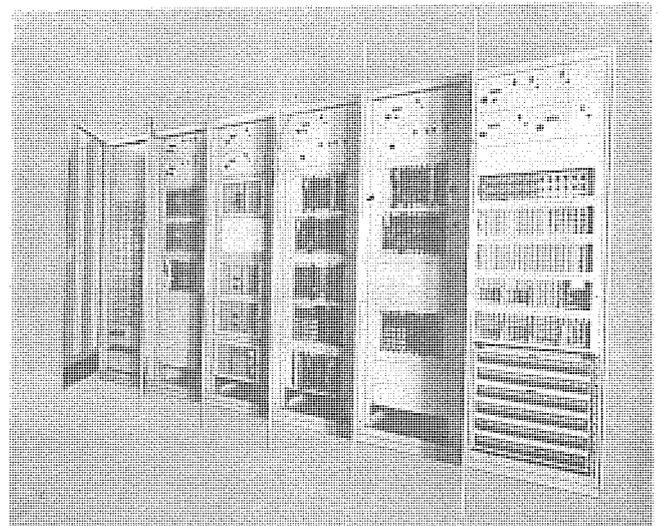
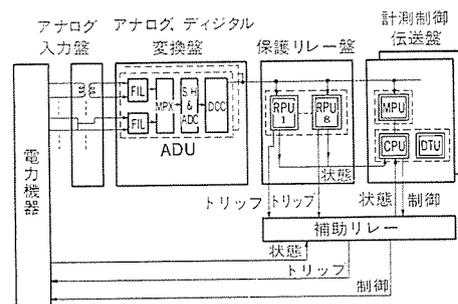


図 1. 配電用 SDSCS 試作システムの外観



- ADU: アナログ/デジタル変換ユニット
- FIL: フィルタ回路
- MPX: マルチプレクサ回路
- S/H: サンプルホールド回路
- ADC: アナログ/デジタル変換回路
- DCC: データチャネル制御回路
- RPU: 保護ユニット(高速処理ユニット)
- MPU: 計測ユニット(低速処理ユニット)
- CPU: 制御ユニット(//)
- DTU: テレコンユニット(//)

図 2. 配電用 SDSCS システム 構成

一段と小形化を進めた実用機が運用する予定で、今後更に基幹系 SDCS の実用化に向けて研究開発を進める予定である。

2.3 デジタル形送電線保護リレーの標準化

デジタルリレーのメリットの1つはある応用に対して同じハードウェアを用いてプログラムによって種々の保護装置が構成できることである。デジタルリレーの基本ハードウェアについては3章に詳述しているが、SDCS、送電線保護リレーいずれもこの基本ハードウェアを組合せることによって構成できる。現在方向比較キャリア保護装置、後備距離継電装置、回線選択保護装置として3種類のデジタル形送電線保護リレーが実証試験に供されており、いずれも好成績を収めている。これらの各装置は用途ごとに用途に適したハードウェアの標準化がなされており、ソフトウェアによっておのおのの保護機能を実現している。送電線保護用デジタルリレーの代表例として図3. に関西電力(株)飛騨新幹線(154 kV)において実証試験中のデジタル形方向比較継電装置の外観を示す。

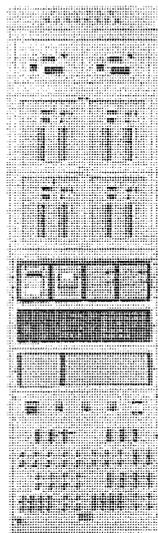


図3. 全デジタル形方向比較継電装置

3. デジタルリレーシステムの構成

3.1 デジタルリレー基本部の構成

デジタル保護リレーシステムの構成は、適用する系統及び保護方式によって異なるが、数種の基本ハードウェアを組合せそれにソフトウェアを乗せることにより、目的の保護リレーシステムを構成する。図4. に基本構成を示す。これらの機能は次のとおりである。

3.1.1 入力変換ユニット

系統の変成器 (PD, CT) からの入力電圧・電流を取扱しやすい信号レベル (電圧) に変換する部分で、外部との絶縁をとるとともにサージ・ノイズの進入防止を図る。

3.1.2 デジタルリレーユニット

基本形として1/2ユニット構造で、CPUにてリレーを実現するリレーシステムの主要構成部である。以下その内容を次に示す。

(1) アナログフィルタ

系統事故時に入力される電圧・電流信号は、多くの高調波が含まれ波形ひずみ(歪)を生じている。このため不要な高調波成分を除去し、基本波成分のみ抽出する歪波対策フィルタ回路を設ける。

(2) サンプリング・A/D変換回路

リレー演算を行う電圧・電流入力を、システムの目的に合ったサンプリング

周波数でサンプリングする。例えば50 Hz系で600 Hz, 60 Hz系で720 Hzで、サンプルホールド回路を用いて同時にサンプリングする。これは電気角30°間隔のデータとなり、リレー演算に都合のよい値が得られる。この値をマルチプレクサで切換えて、順次A/D変換器にて12ビットのデジタル値に変換する。

これらサンプルホールドを含めたアナログ入力処理部は、規模の大きい多入力システムにも拡張できるよう対処してある。

(3) 演算処理部

保護リレーは、その機能として系統事故を数10 ms以内に検出しトリップ出力を出し事故除去をする必要がある。そのため必要なデータの取込み及び高精度な四則演算を、より高速度で実行することができバイポーラビットスライス形マイクロプロセッサを用い、低消費電力でありながら方式的に高速化を図ったマイクロコンピュータを開発した。このCPUでリレー演算プログラムを実行し、動作判定をするとトリップ指令を出力する。

このCPUは、多入力・多出力形デジタルリレーへの応用及び、将来の上位系との接続、より高度な機能アップのためのソフトウェア増加に対処できる広いメモリ空間と拡張性を有している。表2. に、マイクロコンピュータの仕様を示す。

(4) 入出力インターフェース

入出力補助リレーユニットと接続されるデジタル入出力回路は、すべてホトカプラにより光絶縁しサージノイズの進入を防止している。更にデータは、高信頼度パターンコードを使用し、重複エラーが発生しても誤動作しないようにしている。

3.1.3 整定部

デジタルリレーは、多くのリレー要素を1つのリレーユニットに実装できるため、リレー整定点数も多くなる。そのためデジタルリレーでは、従来と異なり各リレー要素に共通で、整定値スイッチと整定確認用のデジタル表示器を設け、要素選択スイッチと組合せて整定値を、不揮発性メモリに書き込む方法をとる。

この整定方式では、整定値を直接整定し表示するため、整定が容易でかつ確実に行え、多種多様のリレー要素の整定部が、共通化でき小形にできる。更に将来、変電所のホストコンピュータからの自動整定に対しても考慮してあり、容易に対処できる特長がある。図5. に、整定操作パネルと整定部の構成を示す。

3.1.4 入出力補助リレーユニット

サージノイズの強い外部機器と直接接続するトリップ指令などの出力、及び外部機器からの信号入力は、補助リレーを介して接続し、外部

表2. マイクロコンピュータの仕様

CPU 素子	バイポーラビットスライス マイクロプロセッサ
制御方式	マイクログラム制御方式
語長	16ビット+パリティ
言語	アセンブリ言語

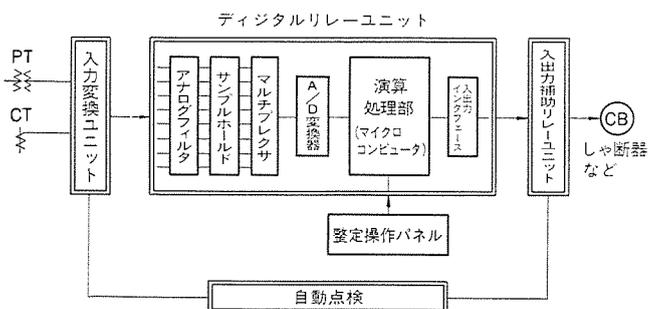


図4. デジタルリレーシステムの基本構成

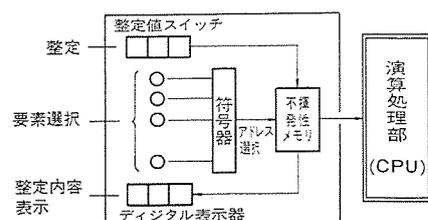


図5. 整定部の構成

と絶縁する。これにより、入出力の光絶縁とあいまって外来サージに強いシステム構成としている。

3.2 デジタルリレー周辺部の構成

(1) 自動点検

デジタルリレーでは、その特長である診断能力を生かして、常時監視機能の充実を行った。そのため、従来のような複雑な自動点検機構を必要とせず、簡単に広い範囲を常時チェックできる。このようにデジタルリレーでは、自動監視を行い無保存・無点検化への指向をより一層進めている。

(2) プリント

デジタルリレーにオプションとしてプリントを付加し、リレーの動作記録、ロケータ機能、整定値の記録等を行わせることもできる。

3.3 システムの信頼性

一般にデジタルリレーにおいても、高い信頼性の保護システムを構成するため、主保護・後備保護の分離と、メインリレー・フェイルセーフリレーの直列2重化 (AND 構成) を行う場合が多い。

デジタルリレーの信頼性向上策について下記に示す。

(1) デジタルリレーの信頼性設計

保護リレーの重要性から、設計から製造・試験に至るまで、豊富な経験を生かし、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、電源フィルタ・入力トランス・補助リレー等による外部との絶縁としゃへい(遮蔽)。更に配線分離 (クリーンデータ)、ホトカブラによる光絶縁によりサージノイズの進入防止を図っている。ユニットレベルでも様々な角度から検討を行い、極めて安定な動作が得られる設計となっている。

熱対策として、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、低消費電力のデジタルリレーを実現している。ソフトウェアは、信頼性確保のため n 回連続照合、データの高信頼度パターン化により冗長性を持たせ、リレープログラムのマクロ化などによる標準パッケージ化を行い品質の均一化を図っている。

また自動監視機能も充実させ、広範囲な常時監視・点検を行っている。表3.に自動監視機能の1部を示す。

表3. デジタルリレーの自動監視機能例

	入力部	3相データ検定 AD変換精度チェック
デジタル自動監視	処理部	パリティ検定 ウォッチドグタイマ 不正アドレス 演算機能点検 プログラム点検
	整定部	2重化不一致検定 総匝チェック 相対チェック

4. デジタルリレーのソフトウェア

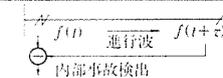
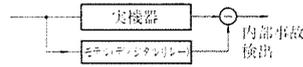
4.1 デジタルリレーの演算原理 (アルゴリズム)

デジタルリレーのアルゴリズムは大別すると次の2通りのものがある。

- ① 従来形 (アナログ) リレーの原理をそのままデジタル処理で置き換えたもの。
- ② デジタルリレー独特のもの。

前者の場合リレーの動作時間、検出感度などの性能は、トランジスタ形

表4. デジタルリレーの演算原理の分類

	方式	方式の概要
アナログリレー置換形演算原理	ベクトル積演算形	積演算による位相比較を動作原理とするもの
	ベクトル加算演算形	加算演算による大小比較を動作原理とするもの
デジタルリレー独特の演算原理 (例)	線路方程式による距離リレー	線路方程式 $r=Ri+L\frac{di}{dt}$ より直接 (R,L) を求めるもの
	進行波差動リレー	
	モデルレファレンス形機器保護リレー (トランス、リアクトル)	

リレーと通例大差なく、これまでの保護方式、シーケンスなどがそのまま採用できる。この場合デジタルリレーのメリットとしては回路に経年変化がない、調整が不要、小形化、保守の簡易化、その結果としての総合経済性などがあげられる。後者の場合従来形リレーでは、実現が不可能若しくは著しく複雑化するような機能をソフトウェアにより実現するもので、循環電流対策の高度化、距離リレー位相特性の最適化によるリモートバックアップ性能の向上などを目的とした開発例がある。表4.にデジタルリレー演算原理の分類を示している。

4.2 デジタルリレーソフトウェア

デジタルリレーのソフトウェアの固定化は、高信頼度化及び生産性向上のうえで重要であり、当社ではリレーソフトウェアのパッケージ化を中心に製品化を進めている。1例としては汎用性に優れたベクトル形90°演算積方式アルゴリズムに基づくリレーソフトウェアについて紹介する。この方式のリレー演算に使用される主な式は下記4種である。

① ベクトル量の絶対値の算出

$$v_{op}(t)^2 + v_{op}\left(t - \frac{\pi}{2}\right)^2 = |v_{op}|^2$$

② 2ベクトルの位相差が90°以内か否かの判定

$$v_{pol}\left(t - \frac{\pi}{2}\right) \cdot v_{op}\left(t - \frac{\pi}{2}\right) + v_{pol}(t) \cdot v_{op}(t) > 0$$

③ 2ベクトルの進み遅れの判定

$$v_{pol}(t) \cdot v_{op}\left(t - \frac{\pi}{2}\right) - v_{pol}\left(t - \frac{\pi}{2}\right) \cdot v_{op}(t) > 0$$

④ ベクトルの移相

$$v_{op} \cdot e^{j\theta} = \cos \theta \times v_{op}(t) - \sin \theta \cdot v_{op}\left(t - \frac{\pi}{2}\right)$$

代表例として θ -要素の構成例を示す。位相比較原理による θ -要素の原理は図6.に示すように、ベクトル \dot{V} と $(\dot{Z}I - \dot{V})$ のなす角が90°以内の時動作するようにすればよい。したがってこの原理に対応するアルゴリズムは次のようになる。

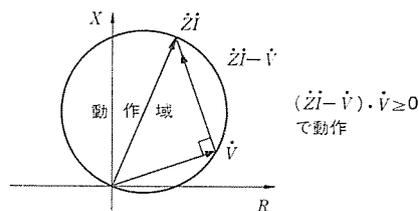


図6. 位相比較による θ -要素の原理

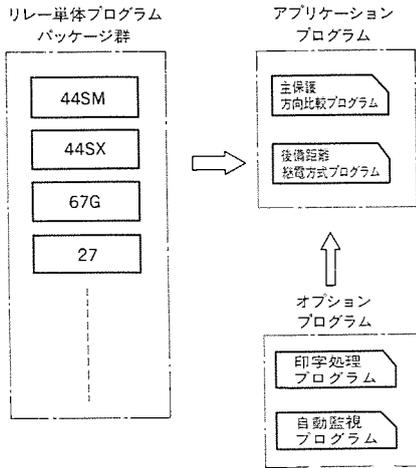


図 7. デジタルリレーのソフトウェア（ベクトル形の例）

$$v_{pol}(t) = v(t) + kv(t-4\pi)$$

$$i(t)e^{j75^\circ} = (\cos 75^\circ)i(t) - (\sin 75^\circ)i\left(t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$v_{op}(t) = Z_{set} \cdot i(t)e^{j75^\circ} - v(t)$$

$$v_{pol}\left(t - \frac{\pi}{2}\right)v_{op}\left(t - \frac{\pi}{2}\right) + v_{pol}(t)v_{op}(t) > 0$$

Z_{set} : 整定値
 k : メモリ効果

これは結局極性ベクトル v_{pol} として電圧の現在データに至近端事故時対策用のメモリ電圧として数サイクル前の電圧データを加えた量を定義し、第2式は線路角 75° に相当して電流データの位相を進める操作、第3式は演算ベクトル ($Zi-v$) の定義、そして第4式によって極性ベクトルと演算ベクトルの位相判定を実施している。図7. にソフトウェア構成を示すが、基本的にはリレー単体プログラムパッケージ群とアプリケーションプログラムから構成され、必要に応じてオプションプログラムが追加される構成としている。

5. デジタルリレーの周辺システム

5.1 デジタルセンサ

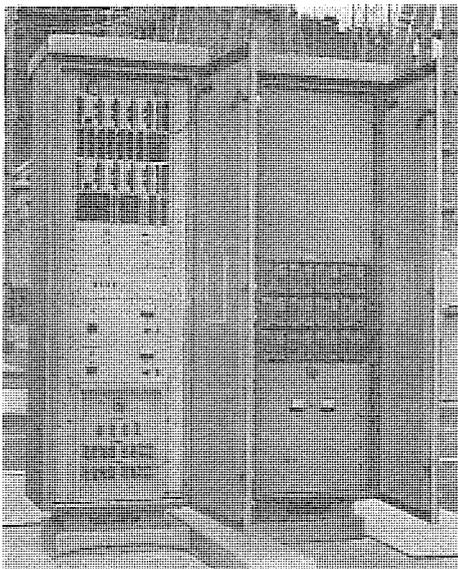


図 8. 光ファイバ伝送の構内伝送への適用例

デジタルリレーから見た場合、従来形センサ (CT, PD) がかかえている問題点、すなわち高圧 CT の絶縁方法、直流分飽和、周波数特性、負担などの改善のみならず、センサ出力そのものからデジタル値であれば、更に好都合であることより、デジタル出力を指向した“デジタル・センサ”が、デジタルリレーの進展とともに注目をあびてきた。デジタルセンサとしていろいろなものも研究されてきたが、近年ではガス絶縁変電所 (GIS) の普及により、絶縁の問題は解決の方向に向かってきたため、その開発の目的は、例えば (GIS+A/D 変換器) といったデジタルリレーに適した経済的かつ信頼性の高いセンサを開発するという方向が主となってきており、このような技術が検討されている。

5.2 光ファイバ伝送

光ファイバの低損失化、発光・受光素子の開発に伴い、光伝送の実用化システムが運転され始めてきている。デジタルリレーと光伝送が、必ずしも直結するものではないが、両者が結合されて経済的にも、機能的にも有利なシステムを構成するケースが増加するであろうことは十分予想される。

図8. は構内伝送への適用例で、500 kV 変電所に設置されたデジタルリレーと、光ファイバ伝送を組合せた保護システムの内、CPD 直下の A/D 変換及び光伝送機能を持つ盤の写真である。

6. 実証試験結果

デジタル保護リレーは表5. に示すとおりこれまでに7か所で実証試験を実施している。これらの実証試験のねらいと結果について整理すると以下のようになる。

6.1 保護機能の検証

表5. は実証試験装置一覧表であり、実証試験完了した装置の動作実績は、正動作20件、正不動作49件で十分に実用に供しうることを実証した。代表的な事故例として、内部3線地絡事故時のオシログラムを図9. に、プリンタによる動作印字結果を図10. に示している。

6.2 信頼性の検証

デジタル保護リレーにおける信頼性の評価項目として、サージ・ノイズ、

表 5. 実証試験における動作実績

No.	実証試験地点	電圧階級	継電方式	実証試験期間	動作実績 (昭和55年7月末現在)		
					内部事故 正動作(件)	外部事故 正動作(件)	合計
1	関西電力(株) 猪名川 S/S 南大浜線	154 kV	回線選択 距離継電方式	昭和49年7月～ 昭和51年3月	7	20	27
2	関西電力(株) 猪名川 S/S 奥多々良木線	500 kV	距離継電方式 (構内光伝送)	昭和52年5月～ 昭和55年1月	2	3	5
3	関西電力(株) 茄子作 S/S	77 kV/6 kV	母線保護 変圧器保護 配電線保護	昭和52年12月～ 昭和55年1月	11	17	28
4	中部電力(株) 西部 S/S 西部幹線	275 kV	距離継電方式	昭和54年8月～ 昭和55年3月	0	9	9
5	東京電力(株) 内房 S/S 内房線	66 kV	回線選択 距離継電方式	昭和55年2月～ 昭和56年2月 (実証試験中)	—	—	—
6	関西電力(株) 北方 SW/S 小坂 SW/S 飛騨新幹線	154 kV	方向比較 搬送保護継電方式	昭和55年5月～ 昭和56年3月 (実証試験中)	—	—	—
7	中部電力(株) 北枝阜 S/S 藤原線	77 kV	回線選択 距離継電方式	昭和55年7月～ 昭和56年6月 (実証試験中)	—	—	—

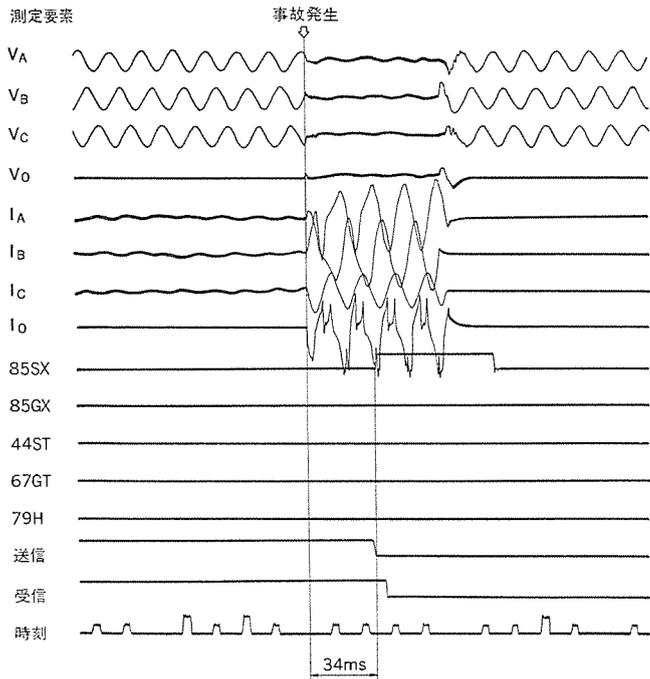


図 9. 内部3線地絡時のオシログラム

07 24 05 08 ← 系統事故発生日時 (7月24日5時8分)

440M Aソウ ドウサ
 440M Bソウ ドウサ
 440M Cソウ ドウサ
 27 Aソウ ドウサ
 27 Bソウ ドウサ
 27 Cソウ ドウサ
 44S3 Aソウ ドウサ
 R=0.062オーム
 X=0.210オーム
 44S3 Bソウ ドウサ
 R=0.031オーム
 X=0.226オーム
 44S3 Cソウ ドウサ
 R=0.078オーム
 X=0.234オーム
 85SX

← 44S3 (A相) 動作印字
 ← 44S3 (A相) 動作時のインピーダンス印字 (PCT2次測換算)

図 10. 内部3線地絡時のプリンタによる印字

熱、素子不良、プログラム不良等が考えられる。以下では、これらの要因に対する装置の信頼性について述べる。

(1) サージ・ノイズ

実証試験におけるサージカウンタの測定値は、表 6. に示すとおりその侵入サージレベルがほとんど 500 V 以下のものであり、まれに 500 V ~ 2 kV などの侵入がみられる。それゆえ、工場内試験で行っている表 7. に示すような試験により十分なサージ・ノイズ耐力を検証でき、実際、実証試験中に機器の開閉操作など、各種の電気的変化が配電盤室内のデジタル保護リレーにも印加されたものと思われるが、入力トランスの入出力間シールド、ホトカブラによる光絶縁、ノイズ吸収素子の付加などの配慮により、デジタル保護リレー本体のハードウェアの異常発生や不要な応動につながることはなく、良好な結果が得られた。

(2) 熱

半導体素子は集積度が大きく、かつ高速動作をするため、その消費電力も大きく、したがって発熱も盛んである。このため、熱対策としてファンによる冷却が行われてきたが、実証試験において熱によるトラブルはなく良好な結果が得られた。実証試験中に得られた環境

表 6. サージレベル測定値 (関西電力(株)猪名川 S/S 500 kV ヤードでの測定例)

計測点	測定値 (カウント数)				
	50 V	200 V	500 V	1 kV	2 kV
CT 回路	1,011	52	29	6	4
PD 回路	1,160	161	22	1	1
電源	266	12	4	0	0

表 7. サージ・ノイズ試験内容例

項目	条件
インパルス試験 (JEC)	4.5kV 40µs 正、負各3回
サージ試験 (ANSI)	3kV 包絡線幅6µs くりかえし50回以上 2秒以上印加
ノイズ試験	0~2kV 50~1000ns

基礎データから回路・実装両方式において適切な改良を施すことにより、実用機ではファルス化が実現する予定である。

(3) 素子不良

実証試験の始めには、入力部に使用されている素子不良があった。これは、入力部素子がハイブリッド素子と呼ばれ、いくつかの集積回路チップを互いにボンディングで接続して全体を1つの IC パッケージに収納しているため、チップ数、接続の多いことが信頼性を低下させていたと言える。しかしながら、最近の半導体技術の進歩により、チップ数の減少などの結果信頼性は着実に向上してきており、十分実用に供すると言える成果が得られた。

(4) プログラム

デジタル保護リレーを構成するためのソフトウェアは、従来のミニコンを用いたシステムに比べ小規模であり、かつ入出力が明確である。そのため、プログラムは作りやすく誤りにくい構成となり、工場内、実証両試験において極端に変更の少ないプログラムとすることが検証できた。

6.3 保守性の検証

デジタルゆえの自己監視機能を最大限に活用することにより、点検の省力化、装置不良時における不良原因追求作業の省力化と装置復旧の高速化を推進できることが実証された。

7. む す び

以上デジタル保護リレーの開発の経緯、基本ハードウェアとソフトウェアの概要、これまでの実証試験結果などについて紹介した。デジタルリレーは80年代に入りいよいよ実用化時期を迎えており、今後電力系統の一層の拡大発展のために不可欠の装置としてクローズアップされつつある。電気所間光通信やデジタルセンサの研究、系統制御などへの大形計算機システムの導入等保護リレー周辺の技術革新も急ピッチで進展しており、デジタルリレーはこれらの周辺システムと有機的連系を強めることで一層その価値が高まってゆくであろう。デジタルリレーの開発に当たって日頃ご指導、ご助言をいただいている関西電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)を始め各電力会社各位に深く感謝の意を表する次第である。

スポット ライト

無駄・ムラのない暖かさを実現する 三菱サーキュレーター

暖房時、室内の温度分布を平均化する働きをするサーキュレーター。省エネルギーと居住空間の快適化ということから、近年、このサーキュレーターが見直され始めています。

今回新発売した三菱サーキュレーターは、家庭の居間に設置される機器のため、特に次の点に留意して開発しました。

(1)低騒音・適正風量風速

三菱サーキュレーターは、最適設計されたファンおよびケーシングを持つラインフローファンの採用で、大風量・低騒音化を図りました。また風向調節は三菱独自の方式として、本体回転方式とし、風向調節による風量・風速の低下を防ぎました。

(2)省電力化

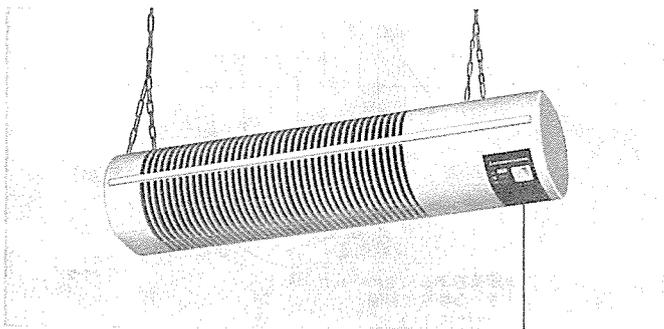
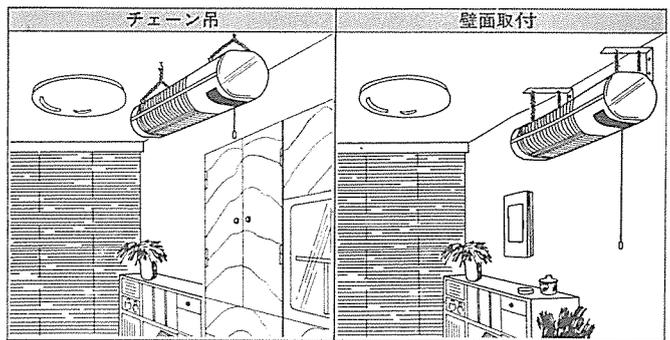
省エネルギー機器のひとつとして、消費電力を極力小さくするため効率を高くしたモータを採用しています。もちろん、ファン・ケーシングの効率を高めたことも消費電力低下に役立っています。

(3)設置の簡易化

サーキュレーターは天井や壁面から吊下げて設置できるようにし、そのため本体荷重の軽量化にも注意をはらいました。構造上の強度安全性は万全です。



設置例



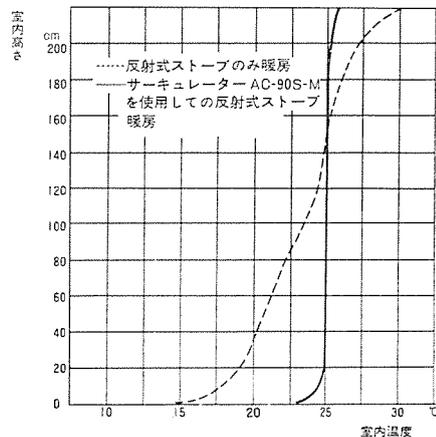
特長

- 天井・壁面どこにでも設置できる丸形スリムタイプのスマートなデザイン。
- チェーン吊り方式による天井取付け。金具により壁面設置も可能。
- 強弱風量調節可能。
- 風向調節は、風量低下のない本体回転方式。
- 色調はホワイト、ブラウンの2種類。
- サーモスタット付の自動運転タイプ(AC-90A)もラインアップ。

仕様

機種名	電圧(V)	周波数(Hz)	消費電力(W)		風量(m ³ /分)		騒音(ホン)		重量(kg)	備考
			強	弱	強	弱	強	弱		
AC-90S-M	100	50	19	11	4.3	2.9	33	23	2.6	●ブラウン
		60	20	12	4.7	3.0	34	24		
AC-90S-C	100	50	19	11	4.3	2.9	33	23	2.6	●ホワイト
		60	20	12	4.7	3.0	34	24		
AC-90A	100	50	19	11	4.3	2.9	33	23	2.6	●ブラウン ●自動運転
		60	20	12	4.7	3.0	34	24		
AC-90P	100	50	26	18	5.7	4.4	40	34	2.6	●ブラウン ●大風量
		60	28	19	5.9	4.3	41	33.5		

サーキュレーション効果を示す室内温度分布曲線の1例



スポット ライト

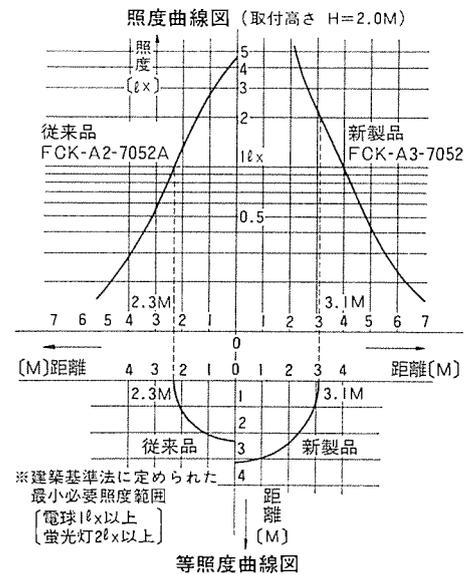
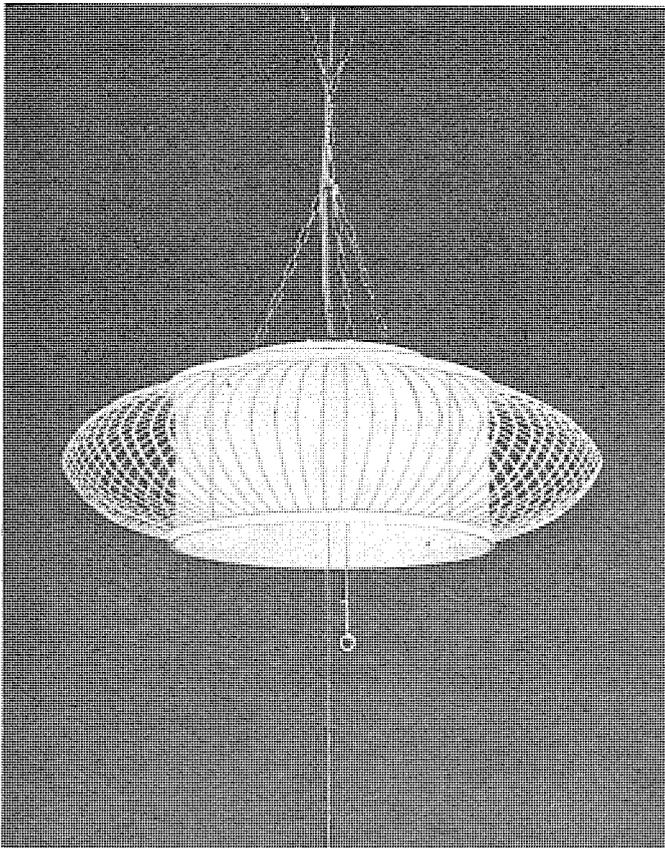
住宅用ペンダントタイプの 三菱併用形非常用蛍光灯器具(電池内蔵式)

三菱電機ではこのたび、住宅、旅館、公共施設等の居室に適した住宅用ペンダントタイプの非常用蛍光灯器具に、通常時も非常時(停電時)も同じ円形蛍光ランプを点灯させる方式(併用形)の70Wタイプ(FCL30W+FCL40W)3機種を業界に先がけ発売しました。

従来、住宅用ペンダントタイプの非常用蛍光灯器具は、蛍光ラ

ンプの他に白熱電球を組み込み、非常時(停電時)にはその白熱電球を点灯させる方式(組込形)が使用されていました。しかしこの方式は、白熱電球の発光効率が低いため、有効な照射範囲が狭く、一方では建築基準法で非常用照明装置を設置する際の必要照度範囲が定められているため、広い部屋では明るさが不足する場合があります。

そこで、白熱電球より発光効率の高い蛍光ランプを通常時とともに、非常時にもそのまま点灯させる方式(併用形)を採用し、より広い範囲を照射できるようにしました。また、非常用電源となる内蔵電池の容量を、当社の高効率インバータ採用により大幅に小形化することができたため、内蔵電池が交換部品でもあることから、メンテナンス費用が軽減され、非常に経済的な製品となっています。



新・旧性能比較

	新製品(併用形:非常時蛍光灯点灯)	従来品(組込形:非常時白熱灯点灯)
非常用光源と非常時点灯光束	(円形蛍光ランプ30W×非常時光束比) 718lm(1670lm×0.43)	(白熱電球20W) 290lm
建築基準法に定める最低必要照度が得られる範囲(取付高さ H=2m)	半径 3.1m (図参照)	半径 2.3m (図参照)
内蔵電池定格	密閉形ニッケルカドミウム蓄電池 7.2V 1650mAh	密閉形ニッケルカドミウム蓄電池 12V 1650mAh
非常点灯方式	内蔵インバータによる高周波点灯(光束比43%)	直流 12V
意匠	通常時に点灯する蛍光ランプをそのまま非常用光源とするためシンプルなデザインになる。器具の大きさは一般住宅用と同等でセードも一般住宅用と同じものが使える(下形おおい形除く)。	電池が大きいことと電球を組みこむため器具が大きくなる。

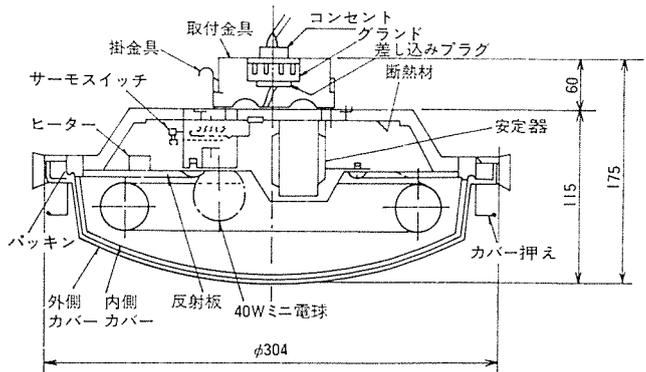
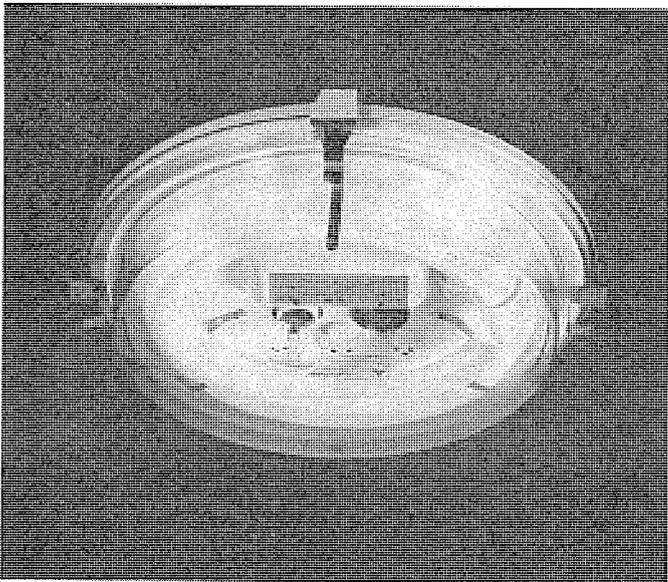
スポット ライト

-50℃から常温まで使用できる 三菱冷凍室用蛍光灯器具

三菱電機ではこのたび、-50℃から常温(5℃~35℃)まで非常に広い温度範囲で使用可能な、冷凍室用蛍光灯器具を新発売しました。蛍光灯は高効率・長寿命など、省エネルギー照明には欠かせない光源ですが、低温下では点灯しにくく、明るさも不充分などの欠点があるため、冷凍室用照明としては不向きでした。一方、電球は、低温でも高温でも点灯しますが、効率が悪く寿命が短いという欠点があります。当社では以前より、30W円形蛍光灯と40Wミニ電球を組み合わせた低温専用の冷凍室用蛍光灯器具を販売してきましたが、常温では使用できない方式のため、保守が多少不便でした。新製品は-50℃から常温まで使用できるため、たいへん使いやすく経済的です。この器具はスナップアクションサーモスイッチを使用して、低温では30W円形蛍光灯が点灯し、0℃~常温では40Wミニ電球が自動的に切換って点灯します。

特長

- 点灯直後から充分な明るさ
蛍光灯点灯直後の光束不足を補うため、40Wミニ電球を内蔵。スイッチONと同時に適度の明るさが得られます。蛍光灯の明るさが充分になると、ミニ電球は自動的に消灯します。
- 極低温から常温まで使用可能
-50℃から+35℃まで(FCP-R321Aは-40℃から+35℃まで)の温度で使用可能です。温度が高くなり、0℃近辺~+35℃になると、蛍光灯に切換ってミニ電球が点灯します。
- 省エネルギー照明
白熱灯に比べ、消費電力は約半、寿命は約4倍です。しかも蛍光灯は市販のものがそのまま利用できます。
- 冷凍室外で保守が可能
ステンレス製ワンタッチ取付金具と防水プラグの採用で、器具の着脱が容易にでき、冷凍室外でランプ交換などの保守が行えます。
- 防水構造
本体とカバーの周囲は防水パッキンで密閉構造にしてあるので、冷凍室内の温度上昇で発生する水滴等も器具内には入りません。



仕様

	FCP-R321A				FCP-R321A・L			
使用温度範囲	-40℃	0℃	5℃	35℃	-50℃	-5℃	0℃	35℃
	蛍光灯点灯		ミニ電球点灯		蛍光灯点灯		ミニ電球点灯	
定 格	100V 50/60Hz				100V 50/60Hz			

機能とコストパフォーマンスで選ばれる 三菱汎用シーケンサ《MELSEC-Kシリーズ》

三菱電機がこのたび発売した《MELSEC-Kシリーズ》は、工作機械、組立機械、加工機械などのマシンコントロールに適したシーケンサです。これらの用途に最適なように、経済性・機能性・コンパクト性を追求しました。

シリーズは、K1・K2の2モデルのCPUを持っており、入出力128点を中心規模とするマシンコントローラの用途と、入出力256点を中心規模として最大512点までの拡張性があるプラントコントロールの用途に適しています。また、従来のシーケンス命令に加えて、加減算などのデータ命令が装備され、機能の向上が図れています。

特長

●小形で経済的

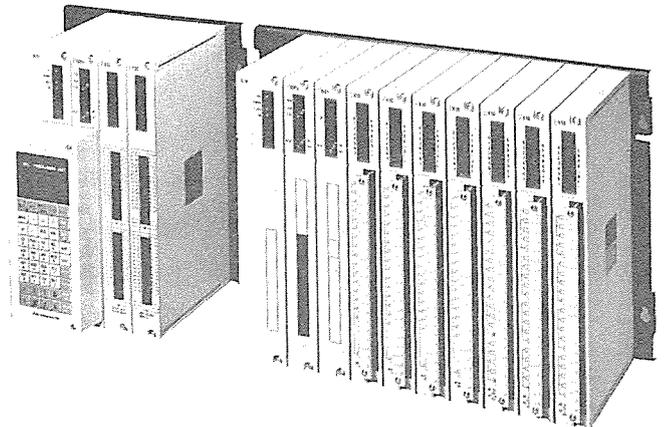
徹底したモジュール化を図り、豊富なユニットを揃えていますので、経済的でコンパクトなシステムが構成できます。

- (1)普及タイプのK1CPUと高性能タイプのK2CPUをシリーズ化しています。
- (2)ユニット構成は、同一形状のプラスチックケースに収納されている電源ユニット、CPUユニット、入出力ユニット、オプションユニットと、それらを結合するベースユニットから成っています。ベースユニットは入出力ユニット個数に合わせて、8個装着の基本ユニットの他、2個および5個装着の拡張ベースユニットがあります。
- (3)入出力ユニットは、種々の仕様のプロセス入出力とデータ入出力に適用できる種類を揃え、ユニット当りの収納点数を16点、32点、64点の各種を揃えています。従って、写真のように同じ入出力128点構成で、着脱可能な端子台コネクタ方式(16点単位)とさらにコンパクトなコネクタ接続方式のシステム構成が可能です。

●高い機能性

プログラミングと調整・保守作業の大幅な効率化を図っています。

- (1)従来のシーケンス命令に加え、マスターコントロール、ユニバーサルシフト、条件ジャンプ、パルス生成命令など、複雑なシーケンスも組み易くなっています。またシーケンス命令の他に、マシンコントロールに便利なデータ命令として、>、<、=、+、-、データ移動、BCD/Binary交換命令を加えましたので、シーケンスなみの手軽さでデータを扱うプログラムの作成が可能です。
- (2)周辺機器の機能を向上しています。プログラミングユニットなどの周辺機器(PE)は写真のように本体CPUに直接装着できます。フィールドでのプログラム修正など、簡便に行えます。また周辺機器サポートベース(PSB)にプログラミングユニット、ライターユニットなどの着脱可能な周辺機器ユニット(PE)を2個装着し、通常のデスクトップ形の装置として、CPUとオンラインまたはオフラインにて機動性の高いプログラムの作成、修正および入出力操作を行うことができます。
- (3)プログラミングユニット(CPU)にプログラムの修正に便利な挿入、削除モードキー、およびプログラムの動作をチェックするモニターキー、さらに任意の出力をオン・オフできるテストキーが備えてあり、デバッグ、調整に便利です。
- (4)オプションとしてモニターユニットを用い、故障条件を予めプログラムしておくこと、故障時刻当インデックス番号が表示され、トラブルシュートに威力を発揮します。



K12B形ベースユニットの実装
(入出力)64点単位×2個=128点
(外形寸法)W240×H300×D228(mm)

K18B形ベースユニットの実装
(入出力)16点単位×8個=128点
(外形寸法)W450×H300×D200(mm)



周辺機器サポートベース(PSB)装置の
プログラミングユニット(PU)および
EP-ROMライターユニット(WU)

仕様

シリーズ		MELSEC-K1	MELSEC-K2
項目			
制御方式		ストアードプログラム、繰返し演算方式	
プログラム言語		シーケンス制御専用言語 (リレーシンボル、ロジックシンボル併用)	
命令内容	命令数	26種類	
		シーケンス命令:基本シーケンス命令に加え、マスターコントロールユニバーサルシフト、条件ジャンプ、パルス生成命令 データ命令:大小比較(>、<、=)加減算(+、-)BCD/Binary変換、データ移動(MOV)命令	
プログラム容量		基本1024ステップ 最大2048ステップ	基本2048ステップ 最大4096ステップ
プログラム実行時間		平均30μS/ステップ	平均10μS/ステップ
入出力点数		最大256点	最大512点
プログラムメモリ		EP-ROM(1Kまたは2Kステップ単位)、またはIC-RAM(2Kステップ単位) ただし、IC-RAMはリチウム電池によるバックアップ付	
一時記憶		254点	254点(余点停電保持選択可)
タイマカウンタ		64点(タイマ、カウンタ合計にて)	
ユニバーサルシフト		254点(一時記憶使用分)	
データ	レジスタ点数	64点 1データ4bit単位で最大4桁まで扱い可能	
	データ入出力	入出力4点でデータ1桁を構成、プロセス入出力と混用可能	
入出力ユニット単位		16点/ユニット、32点/ユニット、64点/ユニット	
オプションユニット (入出力ユニット同一形状)		外部故障モニタ:0-99点までモニタ可能 ラッチユニット:16/32点単位の停電保持可能 アナログタイマ:16点単位の時限設定可能	
	周辺機器 (プログラム入出力装置)	周辺機器サポートベース(PSB)および 周辺機器ユニット(PE)として、プログラミングユニット(PU) P-ROMライターユニット(WU)、オーディオカセットインタフェースユニット(MTF)など	

当社の登録特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
884083	スイッチの操作装置	{ 渡辺睦雄・寺田光彦 池本一雄	885489	織機のよこ入れ用加速電源印加法	岸本 健・小倉新三
884084	ガス方電表示装置	鳥取 浩	885490	同期整流回路	秋田興一郎
884085	電気掃除機	榎 道治	885491	複数被点検部の点検方式	海老坂敏信
884086	ループコントロール装置	{ 中野茂樹・佐藤寿一 河本晴夫	885492	三相全波半導体整流器	大原啓治
884087	反射形蛍光水銀ランプ	{ 大盛真次・近藤 登 尾崎彰紀	885493	太陽電池 パネル	泉田喜一郎
884088	移相変換器	赤松建三・寄森正樹	885494	テレビジョン受像機	伯井俊彦
884089	ハイブリット式電気自動車の回路方式	小原太郎	885495	周波数変調符号伝送方式	杉村滋夫・太田堯久
884090	半導体装置の製造方法	{ 番條敏信・山崎 進 佐伯 保・矢野栄喜	885496	無線中継用 アンテナシステム	吉田 宏
884091	メアンダ・ライン形移相器	紅林秀都司・古屋輝雄	885497	片手操作電話機	正田茂雄
884092	電気指令式ブレーキ装置	太田幹雄・亀田康幸	885498	二段圧縮冷凍装置	相良泰一
884093	エンジン・インターロック装置	魚田耕作	885499	アンテナ	水沢丕雄・別段信一
884094	サイリスタ整流器の出力電流制御方式	大沢喜信・東野重紀	885500	アンテナ一次放射系	{ 水沢丕雄・武市吉博 別段信一
884095	電解酸化装置	{ 齊藤長男・久慈陽一 早川隆昭	885501	真空リレー	田中広二
884096	メサ型超階段接合素子の製造方法	石井 孝・高橋和久	885502	船舶用機関操縦装置の制御装置	{ 栗原倫一・梶原源太郎 北野 満
884097	排煙装置	石 雅彦	885503	交換形磁気ディスク記憶装置	東山 昇
884098	内部照射形放射線照射装置	山本 明・三富至道	885504	気液接触装置	{ 伊藤利朗・田畑則一 大沢孝夫・柘植 恵 西 敦義・中村 進
884099	感光性樹脂の被着方法	貞森将昭	885505	空気調和装置	{ 伊藤利朗・田畑則一 大沢孝夫・柘植 恵 西 敦義・福田光男
884100	窓用換気扇取付装置	新井純一	885506	冷蔵庫負荷計算尺	平野要蔵
884101	接点開閉検出装置	三品英二・大藪 勲	885507	転像装置	{ 道家昭彦・伊藤修孝 苗村水戸夫
884102	放射線照射装置用コンパの制御装置	三富至道	885508	転像装置	{ 道家昭彦・伊藤修孝 苗村水戸夫
884103	蓄冷熱材	{ 成田勝彦・小島秀子 小俣虎之助	885509	パイロット継電装置	高田信治
884104	映像情報検索装置	永井忠男・西村晃一	885510	整流子の製造方法	田中康夫
884105	放電加工機の火災防止装置	高橋義博	885511	気体調和 システム	{ 伊藤利朗・大沢孝夫 柘植 恵・西 敦義
884106	電気自動車の制御装置	三橋英一	885512	気体調和 システム	{ 伊藤利朗・田畑則一 柘植 恵・西 敦義
885478	ダイナモ 制御装置	小川裕三	885513	気体調和 システム	{ 田畑則一・大沢孝夫 柘植 恵・西 敦義
885479	雑音検出回路	大西良一・岩田修司	885514	熱交換器	{ 草川英昭・高橋健造 増見達生・吉野昌孝 橋本芳樹
885480	アルミニウム導体の電氣的接続装置	大島征一・田中秀和	885515	ビル清掃機	三田村隆輝
885481	電力制御装置	赤松昌彦	885516	ビル清掃機	三田村隆輝
885482	定位置停止装置	横山昌弘	885517	変流器	森下彦三
885483	リニア・コンペアの速度制御装置	猪谷耕太郎	885518	空気調和機用計算尺	平野要蔵・中村勝雄
885484	カラー受像管蛍光面作成用露光装置	藤村健男	885519	磁気記録媒体の製造方法	{ 岡村康弘・高倉義憲 東武 明・谷山 侑 川合義信
885485	位相比較継電装置	鈴木健治	885520	耐高温性硬質フォームの製造法	古橋靖夫・西本芳夫
885486	ローラテーブル駆動装置	石 雅彦			
885487	内燃機関点火装置	千葉聖一			
885488	母線保護装置	高田信治			

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
885521	硬化性樹脂組成物	江藤 昌平	888962	平滑回路	佐野 重信
885522	液相法による結晶成長法及び装置	池田 健志・伊藤 昭子 石井 恂・田中 利夫	888963	表示パネル装置	倉橋浩一郎・鳥取 浩
885523	導体の塗装被膜除去方法	宮地 哲郎・小早川 満	888964	液体燃料燃焼装置	野間口 有・石田明夫 藤原 通雄・向井 正啓
885524	オゾン除去剤	市川 幸治・中出 昭 前田 満雄・中山 繁樹	888965	送配電網の信号伝送方式	武田 克巳
885525	溶接線ならい装置	馬場 利彦・原 且則	888966	不純物または湿気を取り除く装置	宮本 龍男・稲村 彰一
888947	発電機の自動運転制度方式	山本 潤二・横田 浩	888967	機関の排気ガス浄化用火装置	才田 敏和
888948	ネマチック液晶組成物	柴山 恭一・小野 博	888968	識別信号発生装置	茂木 充
888949	直線電動機	岸本 健・小倉 新三	888969	極性自動切換装置	杉本 維平・加藤 昌弘
888950	放電加工装置の消耗電極除去方法	井元 武司・石村 俊介 河内 幸朗	888970	しゃ断器の等価試験装置	瀬渡 卓三・笹本 栄
888951	自動仕分け装置	茶谷 三郎・吉田 修己	888971	マレイミド基を有するメチル化芳香族誘導体の製造法	不可 三晃・江藤 昌平 森脇 紀元
888952	直線電動機	岸本 健・小倉 新三			
888953	プラズマディスプレイパネルの製作方法	鳥取 浩	888972	負荷運転方式	平川 耕三・山下 隆司 棚野 庸孝・寺本 昭好 大沢 喜信
888954	自動部品選出装置	浅野 哲正・山根 恒夫	888973	コンデンサ開閉装置	細野 勇
888955	しゃ断器制御装置	宇佐美 勝洋	888974	自動再送要求情報伝送装置	井上 徹
888956	しゃ断器制御装置	宇佐美 勝洋	888975	透湿性の改善されたしゃへい物	草川 英昭・高橋 健造 増見 達生・橋本 芳樹
888957	しゃ断器制御装置	宇佐美 勝洋			
888958	しゃ断器制御装置	宇佐美 勝洋	888976	データ伝送方式	富田 悟
888959	監視装置	鈴木 健治・中村 勝己	888977	車両制御装置	高見 弘
888960	電解加工装置	荒井 伸治	888978	直流電気車の制御装置	甲木 莞爾・成戸 昌司
888961	高速しゃ断器	石田 秀樹	888979	トルク変換装置	青木 晃

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 54 No. 12 集積回路特集

特集論文

- LSI マスクレイアウト図論理照査システム—PALLEQ—
- 高速 ECL ゲートアレイ
- 第 3 世代カラーテレビ信号系リニア IC の開発
- ボルテージシンセサイザ用 C MOS LSI
- 8 ビット マイクロコンピュータシリーズ
- ビデオディスプレイ用コンピュータ PCA 8540 の機能と応用
- “高密度実装技術” LSI のパッケージング技術

普通論文

- 《MELCOM 350-50》シーケンスコントローラ
- 電力系統運用シミュレータ
- 農林水産省納め多良岳開拓水管理システム
- 2 極空気冷却タービン発電機の新シリーズ
- 工業技術院筑波研究センター防災安全管理システム
- 準ミリ波オフセットカセグレン地球局アンテナ
- 平板形スピーカーの解析

<p>三菱電機技報編集委員</p> <table border="0"> <tr> <td>委員長</td> <td>高木 敏三</td> <td>委 員</td> <td>柴田 謙三</td> </tr> <tr> <td>副委員長</td> <td>大谷 秀雄</td> <td>”</td> <td>樋口 昭</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>横 濱 博</td> <td>”</td> <td>神谷 友清</td> </tr> <tr> <td>常任委員</td> <td>三 輪 進</td> <td>”</td> <td>立川清兵衛</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>唐仁原孝之</td> <td>”</td> <td>中里 裕臣</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>増淵 悦男</td> <td>”</td> <td>柴山 恭一</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>葛野 信一</td> <td>”</td> <td>福井 三郎</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>三 浦 宏</td> <td>”</td> <td>杉 山 睦</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>中原昭次郎</td> <td>”</td> <td>瀬 辺 国昭</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>桐 生 悠一</td> <td>”</td> <td>竹 内 守 久</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>野 畑 昭 夫</td> <td>幹 事</td> <td>諸 住 康 平</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>的 場 徹</td> <td>”</td> <td>足 立 健 郎</td> </tr> <tr> <td>”</td> <td>尾 形 善 弘</td> <td>11号特集担当</td> <td>小 林 凱</td> </tr> </table>	委員長	高木 敏三	委 員	柴田 謙三	副委員長	大谷 秀雄	”	樋口 昭	”	横 濱 博	”	神谷 友清	常任委員	三 輪 進	”	立川清兵衛	”	唐仁原孝之	”	中里 裕臣	”	増淵 悦男	”	柴山 恭一	”	葛野 信一	”	福井 三郎	”	三 浦 宏	”	杉 山 睦	”	中原昭次郎	”	瀬 辺 国昭	”	桐 生 悠一	”	竹 内 守 久	”	野 畑 昭 夫	幹 事	諸 住 康 平	”	的 場 徹	”	足 立 健 郎	”	尾 形 善 弘	11号特集担当	小 林 凱	<p>三菱電機技報 54 巻 11 号</p> <p>(無断転載を禁ず)</p> <p>昭和 55 年 11 月 22 日 印刷 昭和 55 年 11 月 25 日 発行</p> <p>編集兼発行人 諸 住 康 平</p> <p>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</p> <p>発 行 所 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒 100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 243 局 1785</p> <p>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 オーム社書店 Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018</p> <p>定 価 1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)</p>
委員長	高木 敏三	委 員	柴田 謙三																																																		
副委員長	大谷 秀雄	”	樋口 昭																																																		
”	横 濱 博	”	神谷 友清																																																		
常任委員	三 輪 進	”	立川清兵衛																																																		
”	唐仁原孝之	”	中里 裕臣																																																		
”	増淵 悦男	”	柴山 恭一																																																		
”	葛野 信一	”	福井 三郎																																																		
”	三 浦 宏	”	杉 山 睦																																																		
”	中原昭次郎	”	瀬 辺 国昭																																																		
”	桐 生 悠一	”	竹 内 守 久																																																		
”	野 畑 昭 夫	幹 事	諸 住 康 平																																																		
”	的 場 徹	”	足 立 健 郎																																																		
”	尾 形 善 弘	11号特集担当	小 林 凱																																																		

三菱電機ではこのたび、230ℓクラスの冷凍冷蔵庫MR-2350A-1形に電子コントロール方式を採用しました。従来、冷蔵庫の制御装置は、霜取制御装置、圧縮機の始動、過負荷保護装置などの個々の電気部品が用いられていました。これらを電子部

品化し、さらに制御回路に冷蔵庫専用LSI（大規模集積回路）を採用しコントロールするシステムとしたのが、MR-2350A-1形です。これにより、信頼性が大幅に向上しました。



特長

●霜取制御

LSIに内蔵された電子タイマが、圧縮機の運転時間を積算します。8時間に達すると霜取りを開始し、霜取完了バイメタルスイッチが温度を検出、LSIがその情報に基づき、冷却運転への復帰を指令します。

●圧縮機の始動および過負荷保護

圧縮機の始動は、過負荷保護のため過電流センサで行います。

●圧縮機の再始動防止

圧縮機の始動時の過負荷を避けるため、圧縮機の運転停止後6分間の再始動禁止回路を内蔵しています。

●その他のメリット

ドアポケット、1・2・3棚などで使い勝手を向上し、また、コンシールド形放熱器〈スッキリバック方式〉の採用で、ゴミやホコリによる放熱効果の低下を防止するとともに、据付スペースの縮小化を図っています。

仕様

種 類		冷凍冷蔵庫
有効内容積<ℓ>	合 計	235
	冷凍室	55
	冷蔵室	180
外形寸法<mm>	高 さ	1545
	幅	560
	奥行(除ハンドル)	635
冷却の方式		冷気強制循環式
冷凍室の性能		-18℃以下(スリースター)
月間消費電力<kWh/月>	50Hz	36
	60Hz	37
電動機消費電力<W>	50Hz	106
	60Hz	107
霜 取	方 式	ヒーター式
	操 作	自動開始・自動終了
	排水処理	自動蒸発式