

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.53 No.11

研究特集

三菱電機技報

Vol. 53 No. 11 NOVEMBER 1979

研究特集

目 次

特 集 論 文

分光測定によるしゃ断現象解析技術	奥田莊一郎・植田至宏・村井 裕	777
錫ウイスカの発生と防止対策	長谷川知治・村田安裕・川中龍介・南郷重行	781
イオン注入による高速バイポーラプロセス	赤坂洋一・桜井弘美・大野則夫・塚本克博・平尾 正	786
有機汚泥の凍結・脱水-コンポスト化システムの総合評価	山西健一郎・小沢建樹・本多敏一・森川允弘・山本利栄	789
赤外線撮像装置	近藤倫正・佐伯利一・山下純一郎・伊東克能・高橋 進	794
カラー ITV 静止画伝送装置	藤野順一・宮崎秀人・土屋徳翁・山際豊行・堀 高明	798
群集流・避難誘導シミュレータ	中崎勝一・和泉陽平・寺沢昭夫	802
空調機におけるマトリクス電子制御方式	松岡文雄	806

普 通 論 文

ディジタル式制御棒位置指示装置	西沢行夫・早川利文	813
コンパクト《ガスクリーンヒーター》の開発	錦織威紀・相本照男・林 幸夫・中村 進・牧野寿彦	818
ガス絶縁母線のシリーズ化とその適用	桑原 宏・松田節之・但田昭司・倭 雅英	823
全日本空輸(株)総合ネットワークシステムの開発	青柳 敏・磯崎 真・苅田正雄・中村俊彦・林 博之	828
石油ガス化ファンヒータ KD-25, KD-32BT, B 形	根岸宣匡・山口博志	833
軌道交通システムシミュレータ ACTS	荒屋真二・片岡正俊・高橋啓一・居蔵和徳	836
特許と新案		811
半導体装置及びその製造方法・回転電機の冷却液循環装置・時刻開閉装置		
当社の登録特許一覧		810
スポットライト		841
冷暖房エアコン 《霧ヶ峰》壁掛薄形新シリーズ・ビデオカセットレコーダ HV-5000W, 6000 (表紙-3)		

FEATURING DEVELOPMENTAL RESEARCH

CONTENTS

FEATURED PAPERS

The Application of Spectroscopy to the Analysis of Arc-Quenching Phenomena	Shoichiro Okuda et al.	777
The Growth of Tin Whiskers, and Methods for Its Suppression	Tomoharu Hasegawa et al.	781
A High-Speed Bipolar Process Using Full Ion Implantation	Yoichi Akasaka et al.	786
An Overall Evaluation of a System for the Freezing, Dewatering and Composting of Organic Sludge	Ken'ichiro Yamanishi et al.	789
A Thermal Imaging System	Michimasa Kondo et al.	794
Freeze-Picture Transmission in Color CCTV Systems	Jun'ichi Fujino et al.	798
A Simulator for Crowd Flow and Evacuation Guidance	Katsuichi Nakazaki et al.	802
The Application of Matrix Electronic Control to Air Conditioners	Fumio Matsuoka	806

GENERAL PAPERS

A Digital Position-Indication System for Control Rods	Yukio Nishizawa & Toshifumi Hayakawa	813
The Development of a Compact Gas-Fired Clean Heater	Takeki Nishikouri et al.	818
The Development of a Series of Gas-Insulated Busbars, and Their Application	Hiroshi Kawahara et al.	823
The Development of a Total Network Computer System for All-Nippon Airways	Tsutomu Aoyagi et al.	828
Vaporized Kerosene Fan-Heaters	Nobumasa Negishi & Hiroshi Yamaguchi	833
The ACTS Simulator for the Design and Evaluation of Guided Transit Systems	Shinji Araya et al.	836

表 紙

金属表面に生成した硫化鉛の針状結晶群 (走査形電子顕微鏡写真 6,000 倍)

日常見かける腐食生成物は無定形であることが多い、美的イメージに欠けるが、時としてすばらしい自然の造形美に出会うことがある。

写真は硫黄を含むゴムと鉛を含む黄銅が油中に共存するとき、おののから溶出した硫黄と鉛が金属表面に析出して生成した硫化鉛 PbS を主成分とする針状結晶群である。

結晶群の近辺には、結晶の発生と成長に適した温度、湿度、結晶核の存在などの諸条件を満す環境が生じていた。

これらの結晶の成長過程を調べ、腐食反応を明らかにすることにより防食法を決める有力な情報を得ることができる。

COVER

Lead Sulfide Needle Crystals Grown on a Metal Surface (Scanning Electron micrograph: magnification 6000 times)

Most corrosion products are amorphous and therefore not particularly attractive, but one occasionally meets with striking examples of nature's artistry.

The cover shows needle-like crystals that were formed when rubber and brass were co-present in an oil medium. Sulfur from the rubber and lead from the brass dissolved in oil, combined to form PbS, and precipitated.

This was possible only because all conditions—temperature, humidity, and the presence of crystal nuclei—necessary for the formation and growth of the crystals were fulfilled in the vicinity of the crystal groups.

The investigation of the growth mechanisms of crystals, and the light this throws on corrosion reactions, yield information that is invaluable in determining methods of corrosion control.

アブストラクト

分光測定によるしゃ断現象解析技術

奥田莊一郎・植田至宏・村井 裕

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.777～780

従来、しゃ断器内で発生するような光学的に厚いプラズマの分光計測による解析は困難であった。筆者らは、プラズマ内の発光が一部吸収される現象を考慮に入れて、プラズマからのスペクトル強度を計算し、この結果と実測結果とを照合することによって、正確にプラズマの状態量を推定する方法を確立した。この方法をSF₆アーカに適用した例について述べるとともに、分光計測を含めた総合的なプラズマ診断システムについても触れた。

赤外線撮像装置

近藤倫正・佐伯利一・山下純一郎・伊東克能・高橋 進

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.794～797

赤外線撮像装置は、常温程度の物体が放射する波長10μm前後の赤外線を検出して画像として表示するものである。このたび、夜間暗視及び視程不良時などの撮像をリアルタイムで行うための赤外線撮像装置を試作した。この装置は、シリアル走査方式で多素子検出器を用いて高感度化をはかっており、この方式の装置では我が国最高の性能が得られた。ここでは試作装置の構成、性能諸元、及び撮像結果などについて述べる。

錫ウイスカの発生と防止対策

長谷川知治・村田安裕・川中龍介・南郷重行

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.781～785

光沢錫めっきは、はんだ付性・耐食性・経済性に優れているので、種々の電子部品に採用されているが、その表面からウイスカと呼ばれる微細な結晶が発生してくることがあり、微弱電流回路では回路短絡の原因となることもあるので問題となっている。

この論文では、ウイスカの成長に影響する、めっき浴の種類・めっき厚・熱処理の有無などの要因について実験を行った結果の概要と、それをもとにまとめた発生防止対策について報告する。

カラーITV静止画伝送装置

藤野順一・宮崎秀人・土屋徳翁・山際豊行・堀 高明

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.798～801

最近、ダム・水源池などの遠隔監視用に、ITVの狭帯域伝送による静止画が導入されており、更にカラー化の傾向にある。今回NTSC標準カラーTV信号の直接予測DPCM方式による帯域圧縮を行い、音声帯域回線を用いた場合、1画面を約1分で伝送可能な装置を開発したので、その概要について述べる。画品質は水平解像度約250本、S/Nは42dB以上で伝送回線でのエラーに対しては、CRC方式による自動再送修正を行う。

イオン注入による高速バイポーラプロセス

赤坂洋一・桜井弘美・大野則夫・塚本克博・平尾 正

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.786～788

ECLや高速TTLデバイスの高性能化、高密度化を図るために、イオン注入を用いた酸化膜分離バイポーラプロセス (Oxide Isolated Bipolar Process)を開発した。エミッタをひ素イオン注入により形成することにより、従来法では不可能であったホトレジストマスクを利用できるようになり、簡便で、パターン精度、歩留りの向上を図れるセルフアラインプロセス (Self-Aligned Process)が可能になった。このプロセスにより、 $f_T=5\text{GHz}$ 以上、 $tpd=0.25\text{ns}$ の性能が得られ、また、高性能のバイポーラメモリや高周波プリスケーラが試作された。

群集流・避難誘導シミュレータ

中崎勝一・和泉陽平・寺沢昭夫

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.802～805

システム化の進められているビル防災システムの一環として注目されている避難誘導システムの検討を目的とした群集流解析のための群集流・避難誘導シミュレータを開発した。このシミュレータは、対象建物内での群集流の流動状況をシミュレートすることにより、避難時間を最小とする避難方向を決定するための情報を出力する。この報告では、シミュレータの概要とそれを用いた避難計画の検討例について紹介する。

有機汚泥の凍結・脱水・コンポスト化システムの総合評価

山西健一郎・小沢建樹・本多敏一・森川允弘・山本利栄

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.789～793

下水汚泥を凍結融解法により改質し、脱水し、発酵させてコンポストにする一貫処理技術を確立した。改質には高濃度汚泥を処理できるシェルチューブ形凍結融解処理装置を開発して用い、脱水性を改善し、またコンポスト化には好気性発酵槽を適用して、良質のコンポストを得ている。システム構成、凍結融解槽、凍結脱水の特性及びコンポストについて述べる。

空調機におけるマトリクス電子制御方式

松岡文雄

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P.806～809

省エネルギーにそくした空気調和装置の最適制御を行うため、冷凍サイクルの解析を行うシミュレーションプログラムを開発し、空調機の各構成要素が能力・成績係数などのシステム特性におよぼす影響を多対多対応のマトリクスとしてまとめた。更に、これをマイクロコンピュータで演算させて、時々刻々空調機の容量制御を行いつつ、常に最小消費電力量となるように最適制御を行う手法を開発した。

Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 794~97 (1979)

A Thermal Imaging System

by Michimasa Kondo, Toshikazu Saheki, Jun'ichiro Yamashita, Katsuyoshi Ito & Susumu Takahashi

This system displays images based on detection of the infrared radiation peak emitted by bodies near standard temperature at wavelengths in the region of 10 μm . A prototype serial scan system has been manufactured which employs a multielement detector to attain the improved sensitivity necessary to provide real-time imaging under night-viewing or low-visibility conditions. It offers the highest performance of any system of its type in Japan. The article describes the configuration of the system, performance specifications, and the imaging results obtained.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 798~801 (1979)

Freeze-Picture Transmission in Color CCTV Systems

by Jun'ichi Fujino, Mihito Miyazaki, Tokuo Tsuchiya, Toyosuke Yamagawa & Takaaki Hori

The transmission of still pictures on narrow-bandwidth channels is increasingly used in closed-circuit TV systems for the remote monitoring of dams, reservoirs etc., and there is also a trend to the use of color. Equipment has now been developed for the transmission of standard NTSC color TV signals using band compression based on direct predictive differential pulse-code modulation. It can transmit one frame per minute over voice-frequency (telephone) circuits, with a horizontal resolution of approximately 250 lines and an S/N ratio of 42 dB or better. Transmission circuit errors are compensated for by a cyclic redundancy check system. The article gives a general description of the system.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 802~05 (1979)

A Simulator for Crowd Flow and Evacuation Guidance

by Katsuichi Nakazaki, Yohei Izumi & Akio Terasawa

A crowd flow simulator has been developed in order to study problems of evacuation guidance as one aspect of a comprehensive disaster prevention and control system for buildings. By simulating crowd flow in the target building, the equipment is able to provide data on the selection of evacuation routes that will minimize the time required. The article gives a general description of the simulator, and presents some examples of evacuation plans developed using it.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 806~09 (1979)

The Application of Matrix Electronic Control to Air Conditioners

by Fumio Matsuoka

In order to achieve optimum control of air conditioners for energy economy, a simulation program has been developed for the analysis of the refrigerating cycle, by means of which the influence of the various constituent elements on performance, E E R and the like are coordinated in a plural-to-plural matrix. A method has been developed in which data is processed in a microcomputer to give optimum control, to obtain moment-by-moment performance control of air conditioning equipment while minimizing the consumption of electrical energy.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 777~80 (1979)

The Application of Spectroscopy to the Analysis of Arc-Quenching Phenomena

by Shoichiro Okuda, Yoshihiro Ueda & Yutaka Murai

The use of spectroscopy in analyzing the optically thick plasma generated inside circuit breakers has always presented difficulties. Based on the fact that some of the light generated in the plasma is absorbed, the authors have developed a method in which plasma spectrum strength is calculated and the results compared with actually measured values to arrive at accurate values for plasma parameters. The article discusses examples of how this method is applied to arcs in SF₆ gas, and describes a comprehensive plasma diagnostics system that includes spectroscopy.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 781~85 (1979)

The Growth of Tin Whiskers, and Methods for Its Suppression

by Tomoharu Hasegawa, Yasuhiro Murata, Ryusuke Kawanaka & Shigeyuki Nango

Because of its superior solderability, corrosion resistance and economy, bright tin plating is applied to a wide variety of electronic components, but it suffers from the drawback that fine, filamentary crystals grow from its surface and become a cause of short circuiting in dry circuits. The article presents the results of a series of experiments to determine the influence on the growth of these whiskers of such factors as the kind of plating bath, the thickness of plating and the presence or absence of annealing, and describes measures for the repression of this growth based on these results.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 786~88 (1979)

A High-Speed Bipolar Process Using Full Ion Implantation

by Yoichi Akasaka, Hiromi Sakurai, Norio Ono, Katsuhiro Tsukamoto & Tadashi Hirao

An oxide-isolated bipolar process using ion implantation has been developed as a means of increasing the performance and the density of ECL and high-speed TTL devices. The use of arsenic ion implantation in the formation of the emitter has enabled the use of a photoresist mask, impossible with current techniques, in a self-aligned process that is simpler, yet offers improved pattern precision and yield. This process has made it possible to obtain an f_T of 5GHz or more and a tpd of 0.25ns, and prototype high-performance bipolar memories and high-frequency prescalers have been built.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 53, No. 11, pp. 789~93 (1979)

An Overall Evaluation of a System for the Freezing, Dewatering and Composting of Organic Sludge

by Ken'ichiro Yamanishi, Tateki Ozawa, Toshikazu Honda, Masahiro Morikawa & Toshie Yamamoto

Integrated technology has been developed for the conditioning, dewatering and composting of sewage sludge by freezing and thawing. Shell-and-bube freezing and thawing equipment capable of handling high-density sludge was developed for use in conditioning, dewatering efficiency was improved, and an aerobic composting tank was used to obtain higher-grade compost. The article describes system configuration, the freezing and thawing tank, freezing-dewatering performance, and the characteristics of the compost obtained.

アブストラクト

ディジタル式制御棒位置指示装置

西沢行夫・早川利文

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P813～817

制御棒位置指示装置は、原子炉の熱出力を制御する制御棒の位置を検出し、指示するもので、原子炉の運転状況監視上特に重要な役割を果たすものである。従来から、加圧水形原子炉の制御棒位置指示装置として、差動トランスの原理を用いたアナログ式のものがあるが、このディジタル式制御棒位置指示装置はより高安定性・高精度・高信頼性システムの実現を目的として開発された。本稿では、その特長、システム概要について紹介する。

コンパクト《ガスクリーンヒーター》の開発

錦織成紀・橋本照男・林 幸夫・中村 進・牧野寿彦

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P818～822

従来の《ガスクリーンヒーター》に比較して、大幅にコンパクト化（特に薄形化）した新形の《クリーンヒーター》を開発した。コンパクト化実現に大きく貢献した長円形バーナ、及びアルミ熱交換器を中心に、実際の薄形《クリーンヒーター》の構造、機能について詳述する。

この《クリーンヒーター》は薄形、低価格とともに壁かけ設置が可能という大きな特長を有する。

全日本空輸(株)総合ネットワークシステムの開発

青柳 敏・磯崎 真・苅田正雄・中村俊彦・林 博之

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P828～832

航空機の座席予約システムを中心とした、全日本空輸(株)の総合ネットワークシステムが昭和53年11月に本格稼働を開始した。ここでは、このシステムの概要とともに、三菱電機(株)が開発した回線集約用通信制御処理装置、及び座席予約・航空券発行用の端末装置などについて紹介する。

ガス絶縁母線のシリーズ化とその適用

桑原 宏・松田節之・但田昭司・倭 雅英

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P823～827

単相形500kV用ガス絶縁母線(GIB)の開発に引き続き、低電圧用の開発及び3相一括形の開発を行い、154kVから500kVまでに使用される各種のGIBをシリーズ化した。

一方、適用方法の検討も進み、製品出荷も多くなっているので、構造、試験結果や、適用面での経済性、並びに適用上の他のメリットについて、具体例を示しながら詳述した。

石油ガス化ファンヒーターKD-25, KD-32BT, B形

根岸宣匡・山口博志

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P833～835

従来の石油ストーブは、その簡便性によって毎年約600万台が市場に導入されているが、その安全性、臭気、すす発生などの問題があった。石油ガス化ファンヒーターは、新しく開発した、空気圧により灯油を噴霧するAJBバーナを採用してそれらの問題点を改善した。その特性を述べるとともに、安全装置を含めその動作を紹介する。

軌道交通システムシミュレータACTS

荒屋真二・片岡正俊・高橋啓一・居蔵和徳

三菱電機技報 Vol.53・No.11・P836～840

軌道交通システムの計画・設計をサポートする総合的なソフトウェア体系の一部として、列車群及び乗客フローのダイナミクスを含む総合的なシミュレータを開発した。このシミュレータには種々のシミュレーションモードがあり、目的に応じたモード選択を行うことによりシステムの計画・設計を一貫して定量的に進めることができる。この報告では、シミュレータの概要とそれを用いたシステム設計方法について述べている。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 11, pp. 828~32 (1979)
The Development of a Total Network Computer System
for All-Nippon Airways
by Tsutomu Aoyagi, Makoto Isozaki, Masao Karita, Toshihiko Nakamura
& Hiroyuki Hayashi

A total network computer system, primarily for aircraft seat reservations, went into full-scale operation for All-Nippon Airways in November, 1978. The article presents a general description of the system, and describes a terminal interface processor and terminals for the making of seat reservations and the issuance of tickets, which were developed by Mitsubishi Electric.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 11, pp. 813~17 (1979)

Vaporized Kerosene Fan-Heaters

by Nobumasa Negishi & Hiroshi Yamaguchi

Because of their simplicity and convenience, conventional kerosene space heaters sell in Japan at a rate of about 6 million per year, despite problems of safety, odor and soot. A new type of fan-heater fired by vaporized kerosene remedies these defects through use of a newly developed air-jet burner (ABJ) which vaporizes the kerosene by means of a jet of air. The article discusses the performance of the new heater and describes its operation, specifically the safety devices provided.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 11, pp. 818~22 (1979)

A Digital Position-Indication System for Control Rods

by Yukio Nishizawa & Toshifumi Hayakawa

Systems that detect and indicate the position of the control rods that regulate the thermal output of a nuclear reactor play a particularly important role in monitoring its operational status. Conventionally, control rod position indication in pressurized water reactors has been of the analog type, utilizing the principle of the differential transformer. The present digital system was developed with the objective of achieving greater stability, greater accuracy, and higher reliability. The article gives a general description of the system and describes its advantages.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 11, pp. 833~35 (1979)

The ACTS Simulator for the Design and Evaluation of Guided Transit Systems

by Shinji Araya, Masatoshi Kataoka, Keiichi Takahashi & Kazunori Ikura

As part of a total software package to support the planning and design of guided transit systems, a comprehensive simulator has been developed that involves groups of trains plus the dynamics of passenger flow. It has several simulation modes, enabling quantitative advances in integrated system planning and design through selection of the appropriate mode. The article gives a general description of the simulator, and of techniques of system design based on its use.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 53, No. 11, pp. 823~27 (1979)

The Development of a Series of Gas-Insulated Busbars, and Their Application

by Hiroshi Kawahara, Setsuyuki Matsuda, Shoji Tada & Masahide Yamato

The development of single-phase 500 kV SF₆ gas insulated busbars (GIBs) has been followed by low-voltage and integrated 3-phase types, so that a complete series is now available for 154~500 kV. With progress in application technology and increasing production, the article deals with the construction, test results and economy in use of GIBs, along with their other application-related advantages.

分光測定によるしゃ断現象解析技術

奥田莊一郎*・植田至宏**・村井 裕**

1. まえがき

しゃ断器の消弧力を高めるためにはしゃ断現象を解明し、新しい消弧方式を開発することが必要である。これまでのしゃ断現象の研究は、アーケが発生している間の電圧電流測定に基づいてアーケ時定数⁽¹⁾などの指標を導入し消弧力について論じてきた。一連の研究は既存の消弧媒体又は消弧方式の間の優劣を判定する手段としては確かに有力であったが、近年短絡電流が増大するにつれて明らかになってきた閉そく(塞)現象⁽²⁾など、消弧室の内部で起こる現象を解明するためには、これだけでは不十分である。

そこで我々は消弧室のアーケ現象をより直接には(把)握るためにアーケの診断技術⁽³⁾を体系化し、数年前から閉塞現象はもとより消弧力向上のための新しい課題に適用してきた。今回はそのうち中心的な役割を担っている分光測定による解析技術をとりあげ、特にSF₆ガスしゃ断器及び気中しゃ断器の消弧室に発生するしゃ断アーケを解析するために我々が新たに開発した手法の概要を紹介する。

2. しゃ断アーケの分光特性

しゃ断器の接点を開離することによって発生するしゃ断アーケは、それまで絶縁体であった気体に電気エネルギーが注入される結果、分子が原子に解離し、更に原子がイオンと自由電子とに分解して導電性を持つに至ったものである。このようなプラズマの中にプローブ(探針)を入れるのは熱的に不可能であり、また探査用の光も透過できないため、アーケ自身から発する光を分光測定するのが唯一の計測手段である。この分光測定はそれから得られる情報が多いだけでなく、との現象をかく(攪)乱することなく測定できるという大きな利点を持っているが、しゃ断アーケには以下のような特殊性があるため、それらを考慮に入れた解析法が必要である。

しゃ断アーケの第1の特徴は含まれている成分の数が多いことである。消弧媒体である気体の原子やイオンが含まれていることは当然であるが、その他に電極物質及び壁面物質がアーケの高温によって蒸発して混入しており、スペクトル線の数は膨大になる。これに加えて第2の特徴である粒子密度が高い結果、発光体のエネルギー準位が他粒子の影響によって変動する(Stark効果)ために線スペクトルが広がり(Broadening)、またその分布の中心波長も自然波長からずれる(Shift)。

また高密度高電離プラズマであるため自由電子がイオンに衝突するひん度が高くなり、その過程で電子の運動エネルギーが光のエネルギーとして放出される。その結果連続スペクトルが強くなり、上述のように広がった線スペクトルに重畳するので線スペクトルが識別しにくくなる。

また、分光測定はその性質上違う空間の発光を観測視線に沿って積分したものが観測されるが、アーケは第3の特徴として空間的に不均一であるため、高温部で発した光が表面に達するまでに途中の低温部で吸収される(「光学的に厚い」プラズマという)。特に線スペクト

ルの中心波長の光は選択的に吸収されるので周囲の波長の光よりもかえって弱くなり、いわゆる自己反転形のスペクトルになることがある。

以上に述べたようなしゃ断アーケの分光特性の1例として、図1にSF₆ガス中、電流ピーク値50kAアーケの分光特性を測定した写真を示した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。これは可動電極と一体となって動くスリットを用いてアーケの中心部分の分光特性の時間的変化を記録したものであり、図の縦軸が波長、横軸が時間方向である。アーケを流れる電流の波形を写真の下に示したが、写真左端の電流ピーク時直後から中央部の電流零点を経て、右端の第2半波ピーク直前までの変化がみられる。検出されている粒子はガス成分のふつ素原子(F1を表す)と硫黄の一価イオン(SII)、及び電極物質の銅原子(Cu1)とタンゲステン原子(W1)である。これからわかるように電流零点近傍では粒子密度が低くなっているが、銅の一部のスペクトル線は自己反転をおこしている。

以上のような分光特性を持つしゃ断アーケに対して、宇宙空間や核融合プラズマに用いられているような分光解析手法、すちわち線スペクトルの幅及び相対強度比からそれぞれ電子密度、温度を推定するやり分けは誤差を生じやすいのでそのままの形では適用できない。この理由からアーケの分光測定は実験室で作られた単純なプラズマに使われるが、これに対し我々はこのたびアーケの成分、圧力及び温度の空間分布を与えたときのスペクトルを計算し、実測値と一致するパラメータを求めていくという手法を開発し、しゃ断アーケに適用したところ、信頼度の高い結果が得られた。次章ではこの手法の主要部分である計算について解説する。

3. しゃ断アーケの発光強度の計算

この章では特にことわらない限り、式中の文字は表1の物理定数をあらわすものとする。

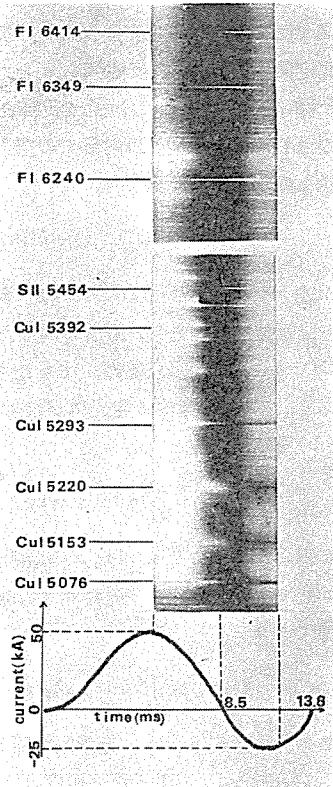


図1. しゃ断アーケ分光特性の時間変化(SF₆)

表 1. 物理定数

$c=2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}$	光速度
$h=6.6256 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	Plank 定数
$k=1.38054 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{deg}^{-1}$	Boltzmann 定数
$e=1.60210 \times 10^{-19} \text{ C}$	電気素量
$E_H=2.17854 \times 10^{-13} \text{ J}$	水素の電離エネルギー

3.1 広がった光源からの発光

アーチを測定する視線に沿った座標を x 、アーチの表面（これより外側では今考えている波長 λ の光の発光が無視できるような境界）の測定側の座標を b 、反対側を a とする。この視線に沿った光の強さ I （単位面積当たり、単位波長当たり、単位時間当たりに流れる光のエネルギー）のアーチの内部での空間的変化は各地点の発光量と吸収量との差によって決まり、

$$\frac{\partial}{\partial x} I(\lambda, x) = \varepsilon(\lambda, x) - k'(\lambda, x) I(\lambda, x) \quad (1)$$

が成立する。ここに $\varepsilon(\lambda, x)$ は自然放出発光係数（単位体積当たり、単位波長当たり、単位時間当たりに放出される光のエネルギー）、 $k'(\lambda, x)$ は有効吸収係数、すなわち吸収係数と誘導放出係数の差である。アーチの背後に発光体がなければ $I(\lambda, a) = 0$ の境界条件で式(1)を積分すると

$$I(\lambda, b) = \int_a^b \varepsilon(\lambda, x) \exp(-\tau(\lambda, x)) dx \quad (2)$$

が得られる。ここに $\tau(\lambda, x)$ は測定側の表面 b からアーチの中の点 x までの光学的深さ（optical depth）と呼ばれる次式で定義される量であり

$$\tau(\lambda, x) \equiv \int_x^b k'(\lambda, x) dx \quad (3)$$

この大きさがプラズマの光学的な厚さの指標になる。

しゃ断アーチのような高密度高電離プラズマの中では粒子間の衝突ひん度が高いためエネルギー授受が速やかに行われる所以局所熱平衡（Local Thermodynamic Equilibrium, 以下 LTE と略す）に達していると仮定してもよいことが多い、その場合には有効吸収係数 k' は黒体ふく射強度 B と発光係数 ε によって

$$k'(\lambda, x) = \frac{\varepsilon(\lambda, x)}{B(\lambda, x)} \quad (4)$$

$$B(\lambda, T(x)) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left\{ \exp\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right) - 1 \right\}} \quad (5)$$

と表される。（Kirchhoff の式）

以上から発光係数 $\varepsilon(\lambda, x)$ がわかれれば式(2)～式(5)によって発光強度 $I(\lambda, b)$ が計算できることがわかる。次節ではこの発光係数を求める計算について述べる。

3.2 発光係数

LTE のもとでは元素の混合比、圧力、温度を与えるべくすべてのエネルギー準位を占める粒子の密度は後述のように求まるので発光係数はこれらの変数だけの関数となる。そこでこの節では混合比 c_j 、圧力 p 、温度 T を与えたときの発光係数 $\varepsilon(\lambda)$ を計算する。

発光係数 ε は線スペクトルによる発光係数 ε_L と連続スペクトルによる発光係数 ε_C との和で与えられる。

$$\varepsilon(\lambda) = \varepsilon_L(\lambda) + \varepsilon_C(\lambda) \quad (6)$$

ので ε_L と ε_C とに分けて論じる。

3.2.1 粒子密度

今 m 種の元素がモル混合比 $c_1 : c_2 : \dots : c_m$ で存在し圧力 $p[\text{Nm}^{-2}]$ 、

温度 $T[\text{K}]$ の下で LTE の状態にあるときの状態量を以下のように定義する。

j : 元素を表す添字 ($j=1, 2, \dots, m$)

z : 有効電荷数（イオン価数+1）

$N_e[\text{m}^{-3}]$: 電子密度

$N_j^z[\text{m}^{-3}]$: j 番目の元素の $(z-1)$ 価イオンの粒子密度

U_j^z : 分配関数

$E_{\infty}^{z,j}[\text{J}]$: 電離エネルギー

$\Delta E_{\infty}^z[\text{J}]$: 電離エネルギーの低下量

このとき、状態方程式、混合関係式、電気的中性条件からそれぞれ

$$p = kT(N_e + \sum_j \sum_z N_j^z), \quad (7)$$

$$\sum_z N_1^z : \sum_z N_2^z : \dots : \sum_z N_m^z = c_1 : c_2 : \dots : c_m, \quad (8)$$

$$\sum_z (z-1) N_j^z = N_e, \quad (9)$$

が、また Saha の平衡式から

$$\frac{N_j^{z+1} N_e}{N_j^z} = 6.24 \times 10^{23} \cdot \frac{U_j^{z+1}}{U_j^z} (kT)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E_{\infty}^{z,j} - \Delta E_{\infty}^z}{kT}\right),$$

$$(j=1, 2, \dots, m; z=1, 2, \dots) \quad (10)$$

が成立する。ここに分配関数はエネルギー準位 E_t とその統計的重率 g_t を用いて次式で、

$$U_j^z = \sum_{E_t < E_{\infty}^{z,j} - \Delta E_{\infty}^z} g_t \exp \frac{E_t}{kT}, \quad (11)$$

また ΔE_{∞}^z は

$$\Delta E_{\infty}^z = 3.34 \times 10^{-30} \cdot z \cdot \sqrt{\frac{N_e + \sum_j \sum_z (z-1)^2 N_j^z}{T}} \quad (12)$$

から求められる。

式(7)～式(12)を用いれば与えられた $c_j (j=1, \dots, m)$ 、 p 、 T に対して N_e 、 $N_j^z (z=1, 2, \dots; j=1, \dots, m)$ を求めることができる。このとき必要な $E_{\infty}^{z,j}$ 、 g_t 、 E_t の値は NBS の表⁽¹⁾のものを理論値で補足して用いた。

3.2.2 連続スペクトル

連続スペクトルは自由電子が他の粒子に衝突して運動エネルギーを失う際に放出される光であり、衝突の対象となる粒子として中性原子と陽イオンが考えられるが、後者のほうが Coulomb 作用で衝突断面積が大きいため、しゃ断アーチのような高電離プラズマでは前者は無視してさしつかえない。したがって連続スペクトル発光係数 ε_C は

$$\varepsilon_C(\lambda) = \sum_j \sum_{z \geq 2} \varepsilon_B^{z,j}(\lambda) + \sum_j \sum_{z \geq 2} \varepsilon_R^{z,j}(\lambda) \quad (13)$$

のようないオとの衝突による制動ふく射 $\varepsilon_B^{z,j}$ 及び再結合ふく射 $\varepsilon_R^{z,j}$ を考えればよい。

制動ふく射は Coulomb 場と自由電子の Maxwell 形速度分布を仮定すれば（これらはほとんど常に成立している）。

$$\varepsilon_B^{z,j}(\lambda) = 2.58 \times 10^{-18}$$

$$\cdot g_{ff}(T, \lambda) N_e N_z^j \frac{z^2}{\lambda^2 \sqrt{T}} \exp\left(-\frac{hc}{kT\lambda}\right) \quad (14)$$

から求められる。ここに g_{ff} は Gaunt 因子と呼ばれる量子力学的な補正係数で、我々が扱う可視領域波長、数万 K での温度では 1 に近い値をとる。

再結合ふく射については水素以外の元素では理論的に確立されていないが、我々はその波長についてはエネルギー準位の表⁽¹⁾を用い、衝突断面積については水素類似とし、次式から計算した。

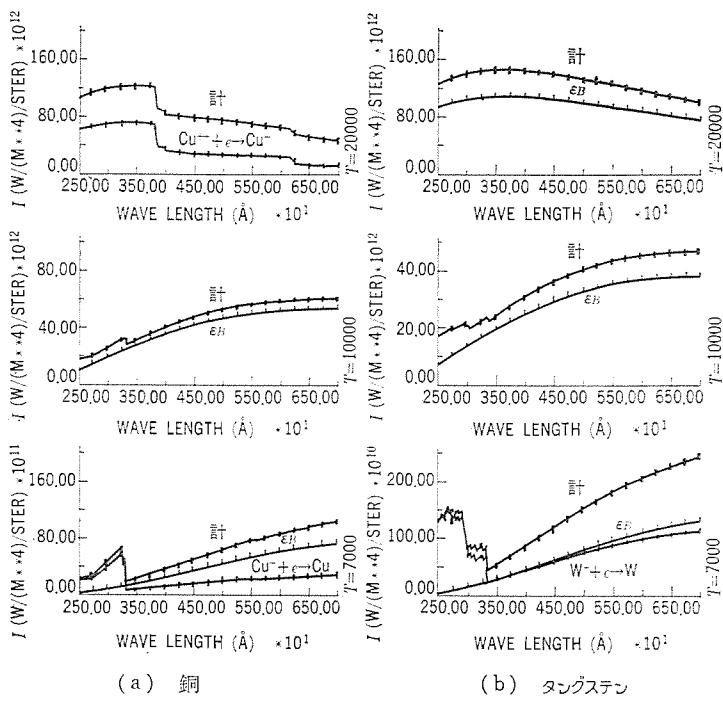


図 2. 連続スペクトルの発光強度(1気圧) (1気圧: 7,000, 10,000, 20,000 K)
合計と主な成分 (ε_B : 制動ふく射)

$$\varepsilon_R^z(\lambda) = 2.58 \times 10^{-18} N_e N_j^z (1) \frac{z^4}{\lambda^2} T^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{hc}{kT\lambda}\right) \times \sum_{Ei \geq E_{\infty}^{z-1} - \Delta E_{\infty}^{z-1} - \frac{hc}{\lambda}} \frac{g_i}{2n_i^5} g_{fb}(n_i, \lambda) \exp\left(\frac{E_{\infty}^{z-1} - \Delta E_{\infty}^{z-1} - E_i}{kT}\right) \quad (15)$$

ここで n_i は各エネルギー準位の主量子数, $N_j^z(1)$ はこのイオンの基底状態の粒子密度であり, また g_{fb} は Gaunt 因子で $n_i \geq 4$ であれば 1 に近い値をとる。例として図 2. に銅及びタンゲステン, プラズマの連続スペクトル発光係数を示した。

3.2.3 線スペクトル

線スペクトル発光係数 ε_L はすべてのスペクトル線のこの波長への寄与 ε_{L^e} の和であり,

$$\varepsilon_L(\lambda) = \sum_e \varepsilon_{L^e}(\lambda), \quad (16)$$

$$\varepsilon_{L^e}(\lambda) = \frac{hc}{4\pi} \frac{A_e}{\lambda_0} N_e \phi(\lambda) \quad (17)$$

とかける。ここで λ_0 , A_e はこの線スペクトルのそれぞれ自然波長及び遷移確率, また N_e はこの線スペクトルを自然放出するエネルギー準位を占める粒子の密度であってこれはこの準位の値 E_i , 統計的重率 g_i , 及びこれの属するイオンの全粒子密度 N_j^z 及び分配関数 U_j^z を用いて

$$N_e = N_j^z \frac{g_i^z}{U_j^z} \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right) \quad (18)$$

から求められる。また $\phi(\lambda)$ は

$$\int_0^\infty \phi(\lambda) d\lambda = 1 \quad (19)$$

が成り立つよう規格化された分布関数であり, しゃ断アーケの場合にはこの線スペクトルの Doppler 半値幅 W_D , Stark 幅 W_S 及び Stark シフト d_S を用いて

$$\phi(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} H\left(\frac{W_S}{W_D}, \frac{\lambda - \lambda_0 - d_S}{W_D}\right) \quad (20)$$

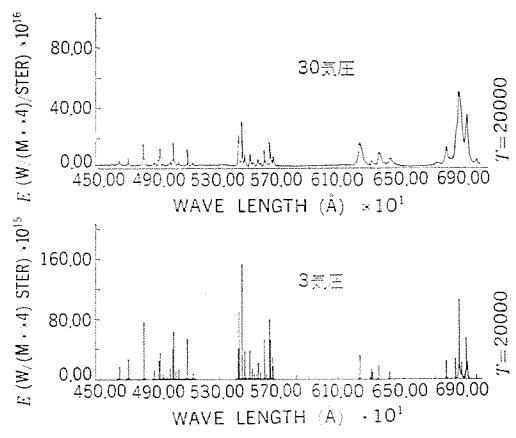


図 3. SF₆ の発光係数 (20,000 K)

とあらわすことができる。ここに H は

$$H(\alpha, v) = \frac{\alpha}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-y^2)}{\alpha^2 + (v - y)^2} dy \quad (21)$$

で定義される Voigt Function であり, 低温で支配的な Gauss 分布と Stark 効果による Lorentz 分布の畳み込み積分になっている。Doppler 半値幅 W_D はこの線スペクトルが属するイオンの質量 M を用いて,

$$W_D = \lambda_0 \sqrt{\frac{2kT}{Mc^2}} \quad (22)$$

で, また Stark 幅及びシフトはそれぞれ次式で求められる。

$$W_S = N_e W_S^*(T) (1 + 1.75 N_e^{\frac{1}{2}} \alpha_S^*(T) (1 - \gamma R)), \quad (23)$$

$$d_S = N_e d_S^*(T) + 2N_e^{5/4} \alpha_S^*(T) W_S^*(T) (1 - \gamma R). \quad (24)$$

ここに γ は中性原子及び一価イオンでそれぞれ 0.75 及び 1.2 という値をとる定数, R は次式で与えられる Debye shielding parameter,

$$R = 9 \times 10^{-3} N_e^{1/6} T^{-1/2} \quad (25)$$

また W_S^* , λ_S^* , α_S^* は数個の温度について計算されているもの⁽⁷⁾⁽⁸⁾を補間して用いた。

3.2.4 計算例

発光係数を計算した例として, 20,000 K の SF₆ ガスの発光係数を 3 気圧及び 30 気圧について計算し, 図 3. に示した。3 気圧では線スペクトルが鋭く, また連続スペクトルは線スペクトルに比べて無視できる程小さい。一方, 30 気圧では線スペクトルが広がって重なり合い, その中には近接した線スペクトルに埋もれているものもみられ, また連続スペクトルが強くなつて弱い線スペクトルが判別しにくくなっている。

4. SF₆ アーケへの適応例

2 章で述べた手法, すなわち実測したスペクトルに 3 章で解説した計算値が一致するようなアーケの成分, 圧力及び温度を選ぶという手法を実際に SF₆ ガス中アーケに適用した結果の例を図 4. に示した。図中 (a) で示されたスペクトルは, 3 気圧の SF₆ ガス中で形成された実効値 10 kA の交流アーケにおいて, 電流瞬時値が 8 kA の時点で測定した分光写真からアーケの中央部を通る視線に相当する部分を濃度計で記録したものである。図の横軸は 5,100 Å から 6,500 Å にわたる光の波長, また縦軸は写真的黒化度を示しているが, 標準光源で較正した結果によると, この範囲では感度は一定であったので, 縦軸はアーケの対数発光強度とみなしてさしつかえない。

(b) は (a) に一致させるような空間パラメータを探して計算した結果である。この計算では圧力は 3 気圧で一定, また成分と温度とに

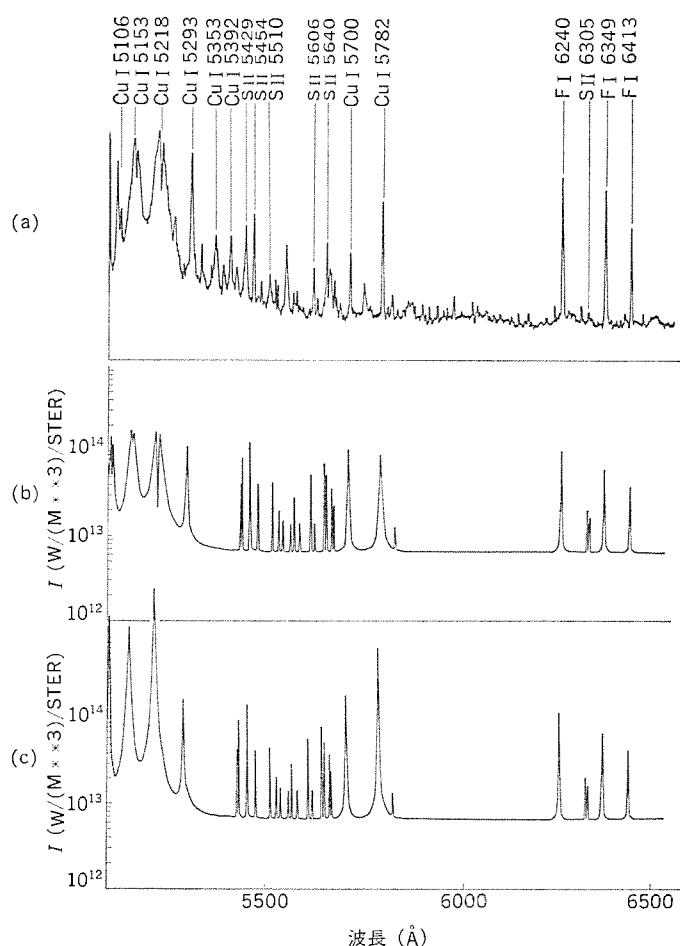


図 4. 実測値と計算値の比較

ついては円筒対称な分布を仮定している。最適なパラメータは温度分布については中心で 15,000 K で半径方向に沿って放物曲線状に下がる分布、また成分については中心では銅がほとんどを占め周辺部程 SF₆ガスが増え、最も外側の銅の混合率は 0.1% になっている。一致させたスペクトルの結果をみると銅の 5106, 5153 及び 5218 Å の自己反転スペクトルをはじめ、線スペクトル相互及び線スペクトルと連続スペクトルの相対強度など(a)と非常によい一致を示している。

(c)は(b)と同じ空間分布を仮定し光の吸収過程を無視したものであるが、S, F などのガス成分の線スペクトルについてはよく一致しているものの銅の線スペクトルについては過大評価になっていることがわかる。

この例で示されたように、この解析方法を用いればしゃ断アーケの分光測定は現象解明の強力な手段となる。そこで現在我々は実験室モデルのアーケに対してこの方法を適用し、アーケの生成、消滅の機構を明らかにしつつあるが、実験のしゃ断器のアーケ現象についても光ファイバなどの実験技術を用いればここで述べた方法を容易に適用することができる。

5. プラズマ診断システム

以上述べてきたようにしゃ断アーケの分光測定は、波長方向の特性だけでなく空間的变化を考慮に入れなければ解析ができないのでこれまで専ら写真測光を手段としてきた。この方法はデータをパターン認識できるという利点はあるものの、データを得るまでの手間がかかるに加え、データの定量性が極めて悪いという欠点があった。

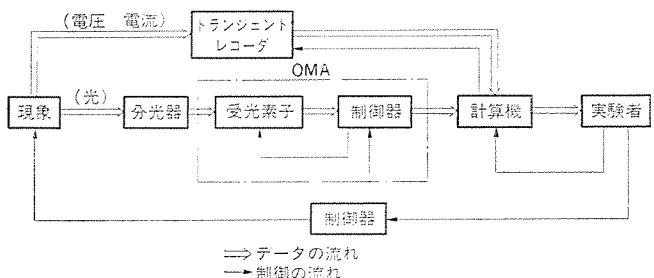


図 5. しゃ断アーケの計測システム

そこへ最近米国でビジコンの原理を応用した OMA (Optical Multichannel Analyser)⁽⁹⁾が実用化されたので当研究室ではいち早くそれをアーケ計測用に設置した。これは格子状に配置された受光素子を電子ビームで読み取る方法で、写真測光の多次元性と光電子増幅管の定量性を兼ね備えたものである。

当研究室では既に電圧電流特性を計算機制御で計測するシステムを開発した⁽¹⁰⁾が、これに OMA を接続し、図 5. に示したブロックダイヤグラムのようにデータ処理を行う。現行のバッチ処理から更にオンライン処理をし、3 章で述べた計算結果との照合も対話形処理で行い、アーケのパラメータ推定だけでなく実験計画そのものも自動化できるなど、画期的な計測方法である。

OMA を用いた結果の報告は後日に譲り、ここでは紹介にとどめる。

6. む す び

多成分、高密度及び光学的に厚いという特徴をもつしゃ断アーケを直接計測する唯一の手段である分光測定の解析手法を開発したのでそれを解説し、SF₆大電流アーケに適用した例を挙げ、それを更に有効にする計測システムを紹介した。

この論文をむすぶにあたり、アーケ現象の研究について適切なご助言と懇切なご指導を賜った京都大学工学部、上之園親佐教授に深く謝意を表します。また、京都大学工学部電気第二工学専攻修士課程在学当時にこの研究の推進に協力していただいた関西電力(株)の土井義宏氏に深謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 潮、伊藤、宮本：三菱電機、35, No. 5, p. 811 (昭 36)
- (2) Y. Ueda, H. Sasao, Y. Murai, K. Yoshinaga, T. Miyamoto, H. Kuwahara, S. Tominaga : Symposium on High Voltage Switching Equipment, Sydney, p. 86 (1979)
- (3) 植田、椎尾、吉安、奥田、宮本：三菱電機技報、51, No. 11, p. 711 (昭 52)
- (4) 奥田、植田、土井、上之園：電気学会全国大会、128 (昭 54)
- (5) 奥田、植田、土井、上之園：電気学会全国大会、129 (昭 54)
- (6) C. E. Moore : Atomic Energy Levels 1, NBS (1952)
- (7) H. R. Griem : Spectral Line Broadening by Plasmas, Academic Press (1974)
- (8) K. Jaya Ram : ph. D Thesis (1971), Nagoya University.
- (9) J. L. Weber : SPIE, 82, p. 60 (1976)
- (10) T. Miyamoto, T. Takami : IEEE Trans. Instrum. Meas., IM-24, p. 379 (1975)

錫ウイスカの発生と防止対策

長谷川知治*・村田安裕*・川中龍介**・南郷重行**

1. まえがき

従来、電気すず(錫)めっき皮膜は無光沢であつてその特性も悪かったが、近年になって、硫酸浴及びほうふつ化浴に対する合成光沢剤が開発されたため、光沢のある外観と優れた耐食性・はんだ付けなどを有するようになった。そして、カドミウムめっきにおける公害の問題及び電子産業の著しい発展とあいまって、光沢電気錫めっきは多くの用途に急速に用いられるようになった。今日では、スイッチ・リレー・ICなどの端子やコネクタの接触子などのように、良好なはんだ付け・耐食性・電気的特性を必要とする部分に多量に用いられている。

ところが、錫めっきの表面からは、めっき後しばらくすると微細な針状結晶(これを一般にウイスカ(Whisker)と呼ぶ)が自然成長していくことがあり、長さは数mmに達するので、充電部間の間げき(隙)が狭い場合には短絡の原因となることがある。特に最近のように、配線が複雑小形化・微弱電流化している電子機器においては、ますますその危険性が増すことになり、実装される電子部品の信頼性の面から、このウイスカの防止対策をとることが緊急の課題となっている。

ウイスカについては、今までに種々の研究結果が報告されており、その特徴・発生に影響を与えるいくつかの要因などはかなりわかっているが、発生原因・機構・発生防止法についてはまだ十分にはわかっておらず、今後の研究による解明が待されている。

ここでは、このウイスカの発生に影響を与える錫めっきの光沢剤の種類・錫めっき厚・熱処理の有無などのいくつかの要因について実験を行った結果の概要とともに、それらを基にしてまとめた発生防止対策について報告する。

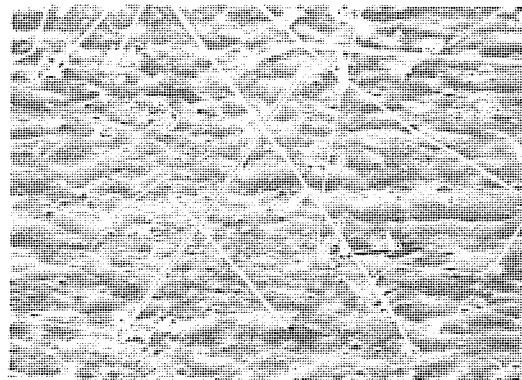
2. 錫ウイスカの特徴

ウイスカには、蒸気や溶液などからの析出及び化合物からの還元・熱分解などによってできるものと、ここで問題としているような、金属から直接成長していくもの(これを一般に真性ウイスカと呼ぶ)とがあり、後者としては、低融点金属の錫・亜鉛・カドミウムのウイスカが有名である。

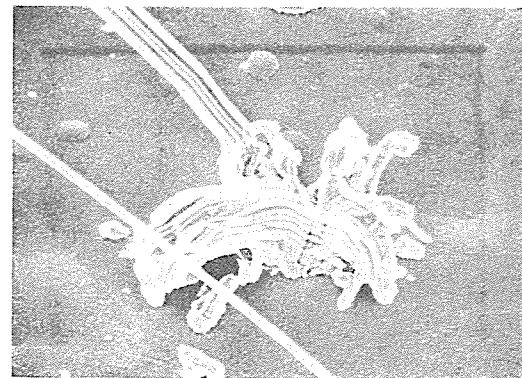
黄銅上の錫めっきから多数発生した錫ウイスカの、走査形電子顕微鏡による観察結果を図1.(a), (b)に示す。(a)は全体的な様子を示す写真であるが、まっすぐに成長しているもの・折れ曲ったものの・太いもの・細いものなど種々の形態のウイスカが存在することがわかる。また、(b)は発生部付近の拡大写真であるが、発生部は複雑な様相を呈しており、細いウイスカが何本も束になっていろいろな方向に出ていているように観察される。

錫ウイスカの主な特徴について、今までに報告されている文献(1～4)などからまとめてみると、次のような。

- (1) 錫の単結晶で、機械的強度が非常に大きい。
- (2) 直径は 2μ 前後で、長さは1～5mm程度である。



(a) 倍率 $\times 180$



(b) 倍率 $\times 1200$

図1. 黄銅上の錫めっきから発生した錫のウイスカ

(3) 電気抵抗は1本数 10Ω であり、許容通電电流は10mA程度である。

(4) 発生までの間に潜伏期間がある。

(5) 結晶の根本から成長が起こり、ある一定の長さまで成長すると、ほとんど成長は停止する。

(6) 数 μ という薄い層からは発生しやすく、塊状多結晶や単結晶からは成長しないか、あるいは成長困難である。

(7) めっき皮膜中に圧縮応力があったり、外圧を加えたりすると、成長は促進される。

(8) 鉛を少量添加すると、発生はほとんど防止される。

3. 錫ウイスカの発生要因及び防止対策の検討

3.1 錫めっきの光沢剤とウイスカ発生との関係

光沢剤の開発により、外観・はんだ付けなどの優れた皮膜が得られるようになったが、ウイスカについては無光沢錫めっき皮膜よりも発生しやすくなっている。光沢剤の副作用が出たと言える。

市販されている光沢剤にはいくつかの種類があり、成分も多少異なるので、光沢剤の種類とウイスカ発生との関係について調べた。

表 1. 光沢剤の種類とウイスカ発生との関係

光沢剤	めっき厚(μ)	観察期間(月数)					
		1	3	6	10	16	5年
A	5	×	×	×	×	×	×
	15	△	×	×	×	×	×
B	5	△	△	△	△	×	×
	15	△	△	×	×	×	×
C	5	△	△	△	△	△	×
	15	○	○	○	○	○	○
D	5	○	△	△	△	△	×
	15	○	○	○	○	○	○
E	5	○	△	△	△	△	△
	15	○	○	○	○	○	○

注) 1. 下地金属は、銅である。

2. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

×: 多くの長いウイスカが発生。

表 2. 錫めっき厚とウイスカ発生との関係

下地金属	めっき厚(μ)	観察期間(月数)	
		9	16
銅	1	×	×
	3	△	△
	10	○	○

注) 1. 錫めっきの光沢剤は、Dを使用。

2. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

×: 多くの長いウイスカが発生。

表 3. 下地金属とウイスカ発生との関係

下地金属	めっき	観察期間(月数)					
		1	3	5	7	12	16
黄銅	—	×	×	×	×	×	×
りん青銅	—	△	×	×	×	×	×
錫入り銅	—	○	△	△	△	△	△
脱酸銅	—	○	△	△	△	△	△
鉄	—	○	○	○	△	△	△
コバルト	—	○	○	△	△	△	△
黄銅	ニッケルめっき 5μ	○	○	○	△	△	△

注) 1. 錫めっきの光沢剤は、Aを使用。

2. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

×: 多くの長いウイスカが発生。

表 1. は、各光沢剤が添加された硫酸酸性のめっき浴を用いて、銅張積層板に厚さ 5 μ 及び 15 μ の錫めっきを行い、これを常温常湿条件下に放置したときのウイスカの発生の程度を観察した結果である。

この表から、ウイスカの発生の程度は光沢剤の種類によってかなり異なり、光沢剤 A を用いた場合が最も発生しやすく、次いで B であり、C・D・E を用いた場合には比較的発生しにくいことがわかる。光沢剤が A の試料では、ウイスカ発生までの潜伏期間が短く、急激に多くの長いウイスカが発生しているが、光沢剤が C・D・E の試料では、潜伏期間も長く、成長の仕方も比較的穏やかである。光沢剤が B の試料は、その中間である。また、光沢剤が A 及び B の試料では、めっき厚 5 μ と 15 μ とではそれほど大きな差は見られないが、光沢剤が C・D・E のものでは、めっき厚が 15 μ の場合にはいずれも約 5 年間発生が認められないなど、発生量が少なくてウイスカ発生抑制に対するめっき厚増大の効果が認められる。

光沢剤の種類とウイスカ発生との関係を、光沢剤の成分をもとにみてみると、A 及び B の成分はアミン-アルデヒド系であり、C・D・E はケトン系であることから、成分がどの系統のものであるかがウイスカ発生に対しては重要であり、電子部品用の錫めっきの光沢剤としては、ケトン系のものを用いたほうがよい。

3.2 錫めっき厚とウイスカ発生との関係

3.1 節の実験の結果から、錫ウイスカは、めっき厚が 5 μ と 15 μ の場合では 5 μ のほうが発生しやすいこと、つまり薄いものからが発生しやすいことが明らかとなった。また、前述のように、数 μ という薄い層からは発生しやすいと文献⁽²⁾にも報告されている。そこで新たにめっき厚とウイスカ発生との関係を明らかにする実験を行った。

表 2. は、銅板上錫めっき(光沢剤は D) のめっき厚を変えて実験を行った結果であるが、3 μ, 1 μ とめっき厚が薄くなるほど発生

量は増しており、めっき厚の薄いほうがウイスカは発生しやすいという前の結果が再確認された。これらの結果から、錫ウイスカは、めっき厚が 1 μ 程度に薄いときに発生しやすいと言える。

3.3 下地金属とウイスカ発生との関係

ウイスカの発生は、下地金属が亜鉛あるいは黄銅などの亜鉛を含む合金である場合には非常に加速されるが、鉄・ニッケルなどの場合には反対にかなり抑制されるなど、下地金属の種類にも影響されると言われている⁽²⁾⁽⁴⁾。

表 3. は、黄銅(2種)・りん青銅・錫入り銅(純銅に微量の錫を添加したもの)・脱酸銅・鉄・コバルト(Fe-Ni-Co 合金)及び黄銅に 5 μ のニッケルめっきを行った板材上に、ウイスカ発生を最も促進させた光沢剤 A を添加しためっき浴で 10 μ の錫めっきを行い、ウイスカの発生の程度を調べた結果である。

黄銅はやはりウイスカ発生に対する影響力が大きく、これへの錫めっきからは、1か月以内で非常に多くのウイスカが発生した。ただ、長さはあまり長くなく、1 mm 程度ぐらいのものが多かった。下地がりん青銅の場合には、発生密度は黄銅の場合ほど大きくはなかったが、長いものが多かった。また、下地が錫入り銅及び脱酸銅の場合にも、発生密度は比較的小さかったが、3~4 mm のかなり長い

ものがあった。その他のものにおいては、発生量はごく少量であった。

表3の結果をもとに、ウイスカ発生に対する下地金属の影響の程度を順位づけると、影響力の大きいものから、黄銅>りん青銅>錫入り銅・脱酸銅>コバルト>鉄・黄銅上ニッケルめっきとなる。

黄銅は、成分中の亜鉛が拡散しやすく、これが悪影響を及ぼすと言われているため、他の銅系材料とは別であると考えたほうがよいが、上の結果から、一般的に、銅系材料は鉄・ニッケル系材料に比べるとウイスカ発生に対して悪影響を及ぼすと言える。逆に、鉄・ニッケル系材料は影響力が小さいと言えるので、黄銅のように影響力の大きい材料を用いる場合には、下層めっきとしてニッケルめっきを採用すれば、ウイスカの発生をかなり抑制できると判断される。今回の実験のニッケルめっき厚は5μとしたが、一般的には、2μ程度で拡散防止用などに用いられている。

3.4 ふんい気(高温多湿)とウイスカ発生との関係

錫ウイスカは、常温常湿条件下においてもかなり発生するが、高温多湿条件下ではこれが加速されると言われている⁽¹⁾⁽³⁾。そこで、60°C, 95% RH条件下でのウイスカ発生状況を表4に示す。

表4. 高温多湿(60°C, 95% RH)下でのウイスカ発生状況

観察期間(月数)		1	3	5	7	10
めっき厚(μ)	光沢剤					
A	5	△	△	△	△	△
	15	△	×	×	×	×
B	5	○	○	○	△	△
	15	○	○	○	△	△
C	5	○	○	○	○	○
	15	○	○	○	○	○
D	5	△	△	△	△	△
	15	○	○	○	○	○
E	5	○	○	○	○	○
	15	○	○	○	△	△

注) 1. 下地金属は、銅である。

2. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

×: 多くの長いウイスカが発生。

表5. ふんい気条件とウイスカ発生との関係

観察期間(月数)		1	3	5	9	13
ふんい気条件						
常温常湿		○	○	○	○	○
60°C, 95% RH		○	○	○	△	△

注) 1. 試料は、コバルト上銅下層めっき(なし, 3~4, 6~8), 上層めっき(10μ)品を使用。

2. 錫めっきの光沢剤は、Dを使用。

3. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

95% RH条件下における発生の程度を調べた。

表4.は、銅張積層板に5μ及び15μの光沢錫めっきを行った試料についての観察結果である。これを表1.の結果と比較してみると、高温多湿条件下のほうが常温常湿下より発生が少なくなっている。ところが、コバルトに銅の下層めっきを行った後錫めっきをした試料を用いての実験の結果は表5.のようであり、上の結果とは相反する結果となった。この原因としては、高温多湿条件下の試料間で腐食の程度に差があったことが考えられる。つまり、60°C, 95% RH条件下では、穏やかな熱処理の効果(次の3.5節で詳しく述べるが、ウイスカ発生を抑制する効果がある)とめっき面の腐食の悪影響(腐食生成物によるめっき層への圧縮応力の発生)との2つの作用があり、表4.の実験では、めっき面の腐食が少なかったため熱処理の効果がまさり、表1.の結果よりウイスカの発生が少なかったと考えられる。一方、表5.の実験においては、高温多湿条件下の試料の腐食の程度が激しく、下地金属の腐食によって発生したさびが、錫めっき層に与える悪影響のほうが熱処理の効果よりもさびを除いたため、常温常湿下よりウイスカの発生が多かったと判断される。その1つの証拠として、表5.の実験で発生したウイスカはさび発生部の近辺に多く見られ、その他の部分にはほとんどみられなかつたことがあげられる。

これらのことから、高温多湿の条件下であっても、下地の腐食によるさびの発生がなければ、ウイスカの発生が加速されるという一般に言われている現象は起こらないと考える。

3.5 热処理とウイスカ発生との関係

ウイスカはめっき皮膜中に残留応力があると発生しやすいこと⁽⁴⁾から、熱処理によってこの応力を除去すれば、その発生は抑制されると考えられる。

表6.は、銅張積層板に5μ及び15μの錫めっきを行った後、

表6. 热処理品におけるウイスカ発生状況

観察期間(月数)		1	3	6	10	16	5年
めっき厚(μ)	光沢剤						
A	5	○	○	○	○	△	×
	15	○	○	△	△	△	×
B	5	○	○	○	○	△	×
	15	○	○	○	○	△	×
C	5	○	○	△	△	△	△
	15	○	○	○	○	○	○
D	5	○	○	○	△	△	△
	15	○	○	○	○	○	○
E	5	○	○	○	○	○	△
	15	○	○	○	△	△	△

注) 1. 下地金属は銅である。

2. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

×: 多くの長いウイスカが発生。

表 7. 热处理条件とウイスカ発生との関係

热处理条件 観察期間 (月数)	热处理	なし	125°C 1 h	125°C 3 h	125°C 10 h
	なし	—	—	—	—
9	×	—	○	○	○
16	×	—	○	○	○

注) 1. 錫めっきの光沢剤は、D を使用。

2. 下地金属は、鋼である。

3. 表中の記号

○: 発生が認められない。

△: 発生が認められる。

×: 多くの長いウイスカが発生。

表 8. リフロー処理の検討に用いた試料

試料 No.	下地金属	下層錫めっき厚 (μ)	錫めっき厚 (μ)
1	脱酸鋼	なし	10
2	コバルト	5	10
3	りん青銅	フラッシュ	0.8~1.5
4	鉄	なし	0.4程度

注) 試料 No. 1 及び 2 は、実験室で作成したものであり、No. 3 及び 4 は市販品 (4 はブリキ) である。

120°C で 15 h の熱処理を行った試料についての観察結果である。

これを表 1. と比較してみると、熱処理の効果が明らかである。

光沢剤が A 及び B の試料では、熱処理のない場合には 1 か月以内に発生し始め、1~6 か月程度で多くの長いウイスカが発生しているが、熱処理を行った場合には、発生までの潜伏期間が光沢剤 A の試料でも 6 か月、B の試料では 16 か月とかなり長くなっているし、またウイスカ発生の傾向も抑制されている。その他の試料においても同様である。

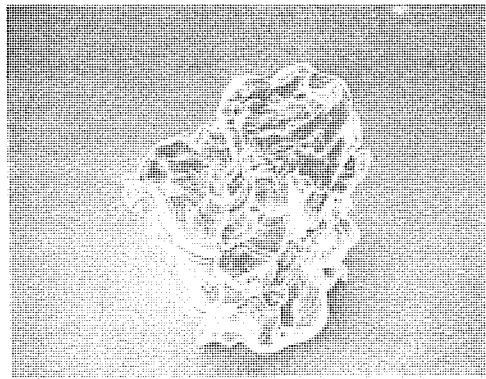
このように、熱処理はウイスカ発生までの潜伏期間を長くするとともに、発生しようとする傾向を抑制する効果がある。

実際の製品において熱処理をする場合には、もっと短い処理時間で済ませなければならないが、短い処理時間であってもその効果は認められる。その 1 例を表 7. に示す。これは、純銅板に 1 μ の光沢錫めっき (光沢剤は D) を行った試料で、熱処理条件を変えてウイスカの発生の程度を観察した結果である。この場合には、125°C、3 h の熱処理で発生は 16 か月間防止されている。

熱処理時間をもっと短くするには、もっと温度を高くすればよく、究極的には 1 度溶かせばよいと言える。ブリキからはウイスカはほとんど発生しないが、これは、ブリキでは錫めっき後にその錫を 1 度溶かすリフロー工程を施しているためと言われている。そこで、表 8. の試料を用いてリフロー処理の効果を調べた。試料 No. 1 及び 2 は、ブリキの製造方法をまねて実験室で作製したものであり、No. 3 及び 4 は市販品である。1 年間観察を行ったが、すべての試料でウイスカは認められなかった。したがって、リフロー処理は、ウイスカ発生を抑制する効果がかなり大きいと言える。しかしながら、ブリキを打抜き加工した別の試料においては、5~9 か月でウイスカの発生が認められた。したがって、リフロー処理品であっても後加工を行った場

表 9. はんだめっきとウイスカ発生との関係

試料 No.	下地金属	はんだめっき		観察結果	備考
		組成	めっき厚 (μ)		
1	積層板上の 錫箔	95% Sn -5% Pb	5	5 年間発生は認められない。	5 年目には、表面上の所々に小さな突出物が見られた。
2			15		特に表面上変化なし。
3	りん青銅上 錫めっき 5 μ	90% Sn -10% Pb	5	1 年間発生は認められない。	



倍率 ×480

図 2. はんだめっき (95% Sn-5% Pb) 5 μ の試料の 5 年目の観察で見られた突出物

台には、それによる残留応力のためにウイスカが発生することもあるので、加工後の再熱処理が必要である。

3. 6 はんだめっきとウイスカ発生との関係

錫に少量の銅・ニッケル・鉛などの他の元素を添加すると、ウイスカの発生をほとんど防止できることが S. M. Arnold によって報告されている⁽³⁾。これをもとにめっき方法・皮膜の特性などがいろいろ研究されているが、浴管理・価格・はんだ付けなどの点から、現在ウイスカ発生防止用として実用化されているのははんだめっきである。そこで、はんだめっきの効果について調べた。

表 9. は、市販のスルホン酸系の光沢はんだめっき浴を用いて、錫張積層板に 5 μ 及び 15 μ の 95% Sn-5% Pb はんだめっきを行った試料を 5 年間観察した結果と、りん青銅に錫めっきを行った後、光沢剤 B を用いたほうふつ化浴で 90% Sn-10% Pb のはんだめっきを行った試料を 1 年間観察した結果である。

試料 No. 1 において、5 年目の観察で表面に図 2. に示すような小さな突出物が見られたが、No. 2 では 5 年間、No. 3 では 1 年間 (観察継続中) ウイスカの発生が認められない。図 2. の突出物はウイスカの変形したものであるが、長さは 0.1 mm 程度であって実用上はほとんど問題にならないと考えられる。以上のことから、鉛を少量含有したはんだめっきは、ウイスカ発生を防止する効果が非常に大きいことがわかる。

4. 発生防止対策

現在、ウイスカの発生を完全に防止する方法は見つかっていないので、今まで述べてきたような実験の結果をもとに、種々の発生抑制策を講じなければならない。その主なものを上の結果をもとにまとめて

表 10. 錫 ウイスカ の発生防止対策

ステップ	めっき側からの対策		回路・構造側からの対策
	対策	内容	
第1ステップ	錫めっきを他の錫を含まないめっきへ変更		
第2ステップ	↓ できない場合 はんだめっきへ変更	1. 鉛の含有量を 5% 以上とする。 2. 下地金属は、ウイスカ発生に対する影響力の小さいものを選定する。	
第3ステップ	↓ できない場合 錫めっきのまま	1. 上の 2 と同じ。 2. 光沢剤は、ケトン系のものを用いる。 3. めっき厚は大きくする。 4. 熱処理を行う。 ただし、プリティン・リフロー材については 4 のみ実施する。 2. 間隔を大きくするなど、ウイスカが発生しても短絡の起こり得ない構造とする。 3. マイラシートを入れるなどの防壁をもらける。	

みると、表 10. のようになる。これにしたがい、以下にその手順を示す。

(1) ウイスカによる問題が生じそうな部分の錫めっきを、錫を含まない他のめっきに変更する。

これができない場合には、次の(2)を実施する。

(2) 錫めっきを、5% 以上鉛の入ったはんだめっきに変更する。この場合、下地金属もできるかぎりウイスカ発生に対する影響力の小さいものを選定したほうがよい。

(2)を実施すれば、ほとんどウイスカの発生は防止できると考えられる。ただし、めっき後加工を行ったり、圧縮応力を加えたりするとウイスカが発生する危険性があるので、このような場合には更に他の対策を講じる必要がある。

(3) やむを得ず光沢錫めっきを用いる場合には、次の 2 つの対策を別々に、あるいはより良い対策としては同時に実施する。

1 つは、回路・構造側からの対策である。回路上からは、ウイスカによる短絡が生じたとしてもこれを焼き切ってしまうか、あるいは、数 10Ω の抵抗を示すウイスカが並列に回路に入っても問題のない回

路条件にしておけばよい。また、構造上からは、ウイスカが発生しても短絡が起こらないよう間隔を大きくするとか、マイラーなどで防壁をもうけるとかすればよい。

他の 1 つは、めっき側からの対策である。これは、下地金属としては、ウイスカ発生に対する影響力の小さいものを選定する（これは、母材そのもののみでなく、母材上に影響力の小さい金属のめっき、例えば 2μ 程度のニッケルめっきをすることをも言う）とともに、光沢剤はケトン系のものを用い、めっき厚は $10\sim15\mu$ と厚い目にし、熱処理を十分行う方法である。熱処理条件については、下地金属・光沢剤の種類などでその効果が異なると考えられるので、一概には言えないが、1 つの目安として 125°C , 3 h があげられる。ただし、熱処理は完全な防止法ではなく抑制法であることを心にとどめておかねばならない。

板材の時点で既に錫めっきが施されているプリティン・リフロー材を用いる場合には、リフロー処理がウイスカ発生を抑制する効果がかなり大きいに安心しがちであるが、後加工で生じた残留応力でウイスカが発生するがあるので、必要に応じて熱処理を追加するか、回路・構造側からの対策を行うことが望ましい。

5. む す び

近年の部品の小形化・微弱電流化に伴って問題となってきた錫 ウイスカについて、その発生要因と発生状況との関係について実験・調査した結果、並びにその結果をもとにしてまとめた発生防止対策について報告した。

発生原因・発生メカニズムが十分にわかっておらず、完全な発生防止法が確立されていない現状では、このような実験の積重ねによってその対策を講じていくより外にない。

更に、もっと基礎的な実験が多くの人々によってなされ、完全なウイスカ発生防止法が確立されることを願ってやまない。

参 考 文 献

- (1) K. G. Compton, A. Mendizza, S. M. Arnold : Corrosion, 7, 327 (1951)
- (2) V. K. Glazunova, N. T. Kudryavtsev : J. Appl. Chem. U. S. S. R., 36, 519 (1963)
- (3) S. M. Arnold : Plating, 53, 96 (1966)
- (4) S. C. Britton : Trans. Inst. Metal. Finishing., 52, 95 (1974)

イオン注入による高速バイポーラプロセス

赤坂洋一*・桜井弘美**・大野則夫**・塙本克博*・平尾正**

1. まえがき

バイポーラ素子の高速化、高性能化には、パターンサイズの微細化と、浅い接合形成が不可欠である。バイポーラ素子の微細化を図る技術として代表的なものは

- (1) 従来のpn接合分離方式に代わる酸化膜による素子間分離。
- (2) 拡散のための開口部をそのままコンタクトとするセルフアライン技術(ウオッシュエミッタ技術がその代表的例)。

である。また浅い接合形成技術としては、イオン注入技術と、薄いエピタキシャル層成長技術が中心となる。また、LSIレベルでのチップの縮小、性能向上のためには多層配線技術が要求される。

我々は、以上の要求を満たす高速バイポーラプロセスを開発し、その性能を確認したのでイオン注入を利用したセルフアライン技術を中心にその概要を報告する。

2. 高速バイポーラ素子へのイオン注入

図1. は我々が開発したECL(Emitter Coupled Logic:エミッタ結合論理)などの高速バイポーラ論理やメモリに用いるプロセスのフローと、断面構造の模式図である。このプロセスの特徴は以下の点にある。

- (1) B^+ 及び As^+ イオン注入によるベース、及びエミッタのドーピング。
- (2) ひ素イオン(As^+)注入によるセルフアラインコンタクトエミッタ:ISAC法(Implanted Self-Sign Contact)。
- (3) 酸化膜分離構造。
- (4) 薄いn形エピタキシャル層、Al 2層配線。

各領域の深さ方向のディメンションは、n形エピタキシャル層の厚さ1.8

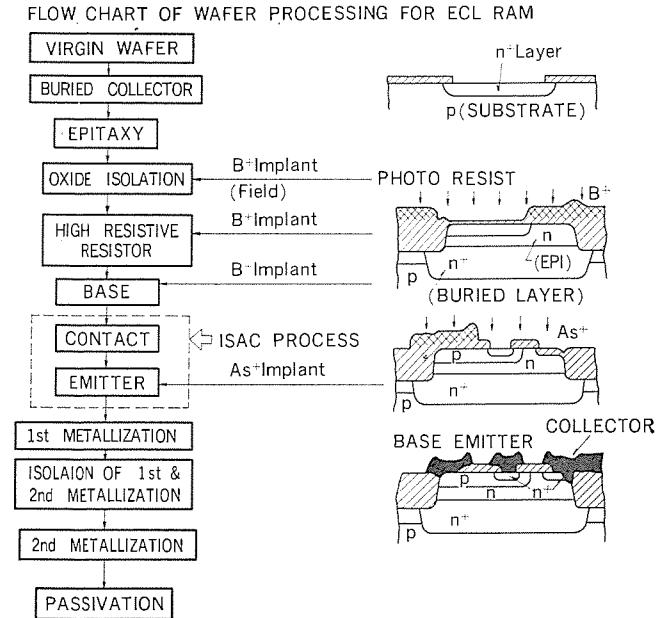


図1. 全イオン注入バイポーラプロセスのフローと断面図(RAM用)

μm 、ベース深さ0.5~0.6 μm 、エミッタ深さ0.3~0.4 μm 、埋込みコレクタ層の接合深さ3~5 μm である。

エミッタへのイオン注入は高濃度注入が必要で、なおかつ浅い接合が要求されるため、結晶欠陥の発生に十分注意する必要がある。図2.は As^+ イオン注入層が形成する接合の特性とイオン注入後のアニール条件の関係

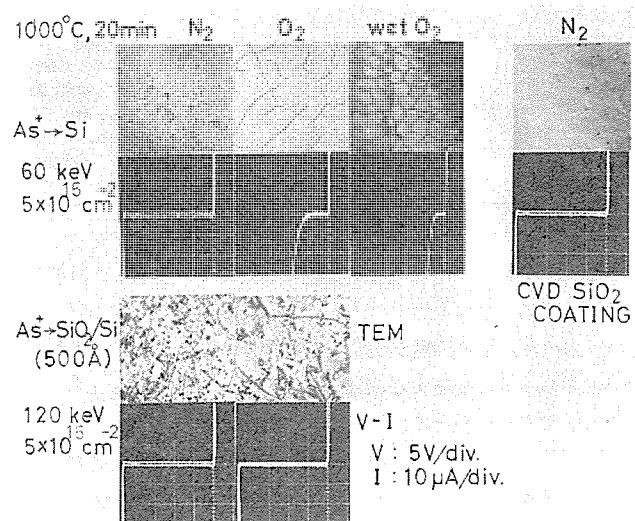


図2. 高濃度As注入層の接合特性、及び発生する2次欠陥とアニール条件の関係

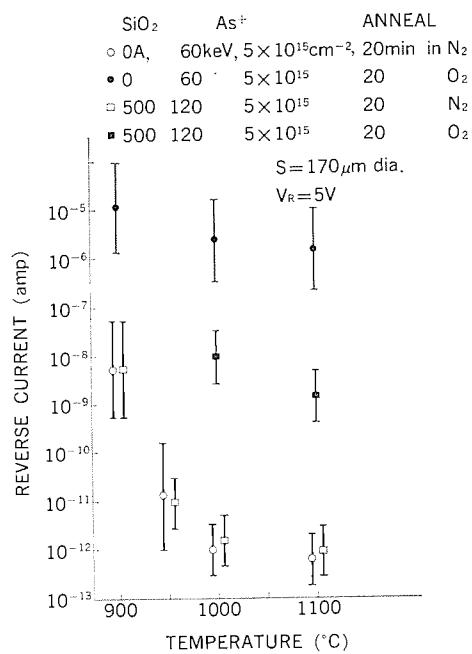


図3. 高濃度注入により形成したダイオードの逆方向リーキ電流とアニール条件の関係

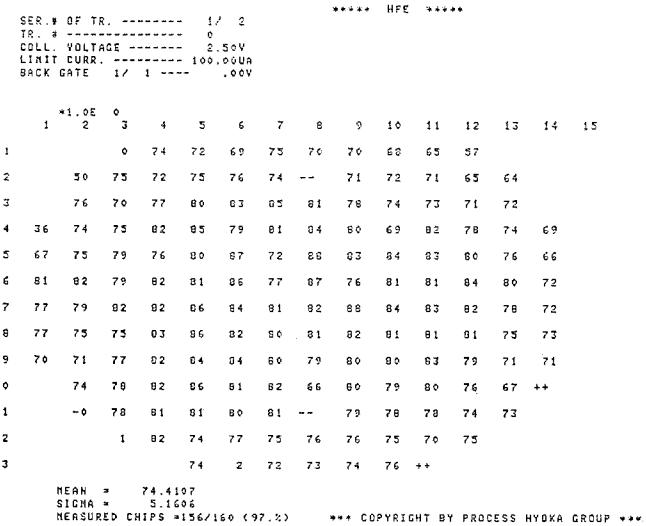


図 4. 2重イオン注入(ベースB⁺, エミッタAs⁺)で形成した酸化膜分離されたトランジスタのh_{FE}のウエハ内分布

ル方法との関係、及び発生する欠陥の透過電子顕微鏡写真を示したものである。図より以下のことがわかる。

- (1) 酸化性ふんい気では転位ループあるいは転位網が発生し、接合特性の劣化を招く。
- (2) SiO₂を通して注入すると SiO₂中のO原子のノックオン注入に起因すると思われる欠陥の発生が見られ、接合特性への悪影響が見られる。
- (3) 注入後、N₂ふんい気でアニールすれば2次欠陥はほとんど発生せず、接合リーカーは少ない。

図3. は 170 μmΦ の直径の接合領域をもつダイオードに 5V の逆バイアスをかけて測定したリーカー電流とアニール条件の関係を示す。図2. で明らかのように、N₂中でアニールするとリーカー電流は少ない。また、アニール温度が高い程リーカー電流は減少するが、N₂中ではほぼ 1,000 °C で飽和する傾向があり、アニール温度としては少なくとも 1,000°C が必要である。以上の結果、アニールは 1,000°C 以上、N₂中で行うことが基本的に必要であることが明らかになった。

As⁺イオン注入エミッタの開発により、従来から用いられていたベースイオン注入(B⁺)とともに、すべてイオン注入によるバイポーラ接合の形成が可能になり注入量、注入エネルギーを変えることにより、h_{FE}が広範囲に精度よく制御されるようになった。また著しいh_{FE}の均一性の向上が達せられた。図4. は h_{FE}のウエハ内のマップを示す。ウエハ全チップの h_{FE} の平均値は 74.4 で分散は 6.9%，h_{FE} 値で ±5.2 程度の均一性が通常得られる。このような高い均一性は、イオン注入による制御性の向上のほかに As エミッタを用いたことによるエミッタ押し出し効果の低減や高精度熱処理技術の開発によることが大きい。h_{FE}は結晶欠陥やひずみの影響を受けやすく、酸化膜分離構造におけるこれらの問題を解決するプロセス技術の開発により、イオン注入の高い制御性が生かされるようになった。

3. イオン注入によるセルフアライン方式 (ISAC 方式)

図5. は ISAC 方式のプロセスフローと、各工程での模式断面図である。ISAC 方式は 1枚のマスクでエミッタと同時にすべてのコンタクト部を開口し、次にベースコンタクト部をオーバーサイズのレジストマスクで覆って As⁺イオンを注入してエミッタ及びコレクタコンタクト部を形成し、レジストを除

PROCESSING OF IMPLANTED SELF-ALIGNING CONTACT (ISAC) Emitter

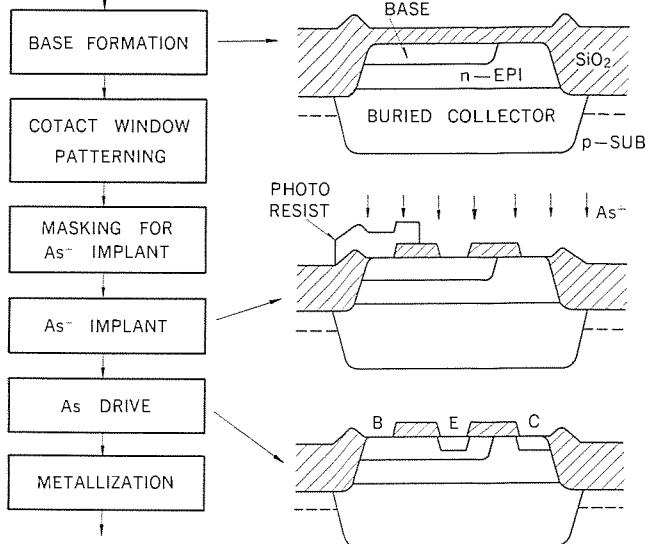


図 5. ISAC プロセス

SEM PHOTOGRAPH OF MEMORY CELL OF 4Kbit ECLRAM BEFORE METALLIZATION

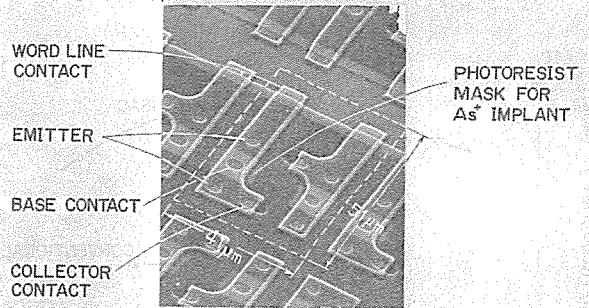


図 6. ISAC プロセスにより、全コンタクトが 1枚のマスクで開口したバイポーラ RAM のセルの SEM 写真

去してエミッタアニールをする。その後すぐ配線工程に入る。図6. は ISAC 方式で試作中のメモリセル部の SEM 写真である。図はメタライズ前の状態で、すべてのコンタクトが開口され、ベースコンタクトを覆っていたレジストにより As⁺イオン注入されなかった領域がはっきりと見わけられる。この方法ではエミッタ開口部をそのままコンタクトとするためエミッタの微細化が可能であり、更にエミッタ開口後は全くエッチング工程がないので、エミッタの電極金属の突き抜け不良を完全に抑えることができる。従来法に比べ工程が簡略になり、微細な写真製版やエッチング工程は従来 2 度必要であったのが 1 度でよい。また、すべてのコンタクトオールを同一マスクで開けるため、Al とコンタクトのマスク合わせマージンが少なくてよい。このためトランジスタサイズを 3 μm ルールでは 15% 程度縮小することができた。ISAC 方式で留意すべき点は、ベースコンタクト上を覆うレジストマスクの除去である。イオン注入後のレジスト除去をプラズマを用いて行った場合、ほぼ $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ の注入量まで問題なく除去できることがわかった。このプロセスでは、

エミッタ注入量は $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ であり、レジスト除去は問題なく、コントロール性も従来法と変わらないことがわかった。また、信頼性の面でも問題はなかった。

4. 試作したデバイスの性能

今回開発した全イオン注入、酸化膜分離プロセスで種々のレベルのデバイスを試作し、その性能を評価した。図7.は、単体トランジスタの f_T を測定した結果である。トランジスタは、エミッタ形状が $3 \times 30 \mu\text{m}$ のものを用いた。得られた f_T は $5 \sim 5.5 \text{ GHz}$ であり、従来法によるトランジスタの f_T (約 1 GHz 以下) に比べ、かなり高い。これは、ベース幅の縮小によるベース走行時間の短縮のほかに、パターンの微細化、酸化膜分離、浅い接合形成による寄生容量の低下による。表1.に $3 \times 4 \mu\text{m}$ 及び $3 \times 38 \mu\text{m}$ のエミッタサイズのトランジスタの各接合容量と、トランジスタ特性を示す。酸化膜分離方式による C_{TC} の低下、イオン注入による浅いベース・エミッタ接合による C_{TE} 、 C_{TC} の低下の上に、ISAC方式によるパターンサイズ縮小による C_{TS} 、 C_{TC} の低下が図られ、更に薄いベース幅 ($0.15 \sim 0.20 \mu\text{m}$) によるベース走行時間の減少により高い f_T が得られている。

図8.は、5段リングオシレータより求めたECLゲートの伝ば(播)遅延時間 t_{pd} とスイッチング電流 I_S の関係を示している。 $I_S = 7 \text{ mA}$ では t_{pd} は 0.25 ns 、 0.5 mA では 0.75 ns であった。次に今回開発したプロセスにより試作した1Kビット及び4Kビットのランダムアクセスメモリ(RAM)の特性を表2.に示す。1K RAMは $4 \mu\text{m}$ ルール、4K RAMは $3 \mu\text{m}$ ルールで設計されたものである。図9.は同様にこのプロセス

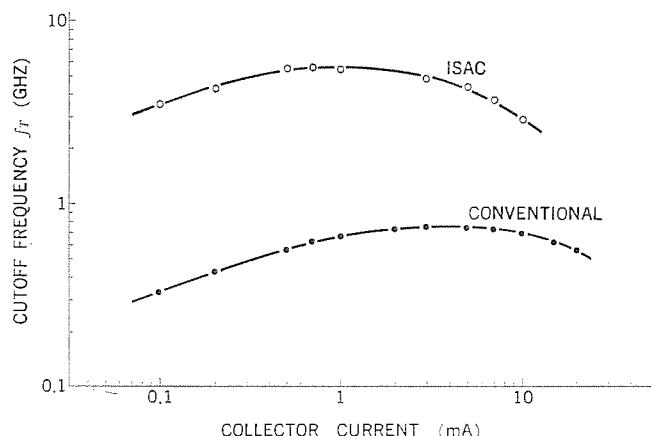


図7. 全イオン注入、ISACプロセスによるトランジスタの f_T

表1. イオン注入酸化膜分離プロセスで試作したトランジスタの諸特性

Emitter Size (μm^2)	3×4	3×38
$C_{TC}(\text{pF})$	0.04	0.37
$C_{TE}(\text{pF})$	0.05	0.33
$C_{TS}(\text{pF})$	0.16	0.58
$f_T(\text{GHz})$	5.0	5.0
h_{FE}	100	
$BV_{CEO}(\text{V})$	12	
$BV_{CBO}(\text{V})$	28	
$BV_{EBO}(\text{V})$	5.4	

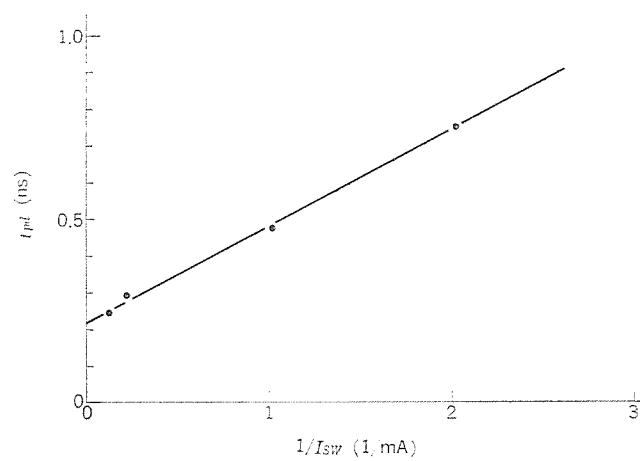


図8. リングオシレータにより測定した伝播遅延時間 t_{pd} とスイッチング電流の関係

表2. イオン注入酸化膜分離プロセスで試作したBip. RAMの性能

	1 K-bit ECL RAM	4 K-bit TTL(ECL) RAM
入出力	ECL	TTL or ECL
アクセス時間	10 ns	25 ns (13 ns)
消費電力	350 mW	500 mW
チップサイズ	$2.40 \times 4.60 \text{ mm}^2$	$3.60 \times 5.15 \text{ mm}^2$

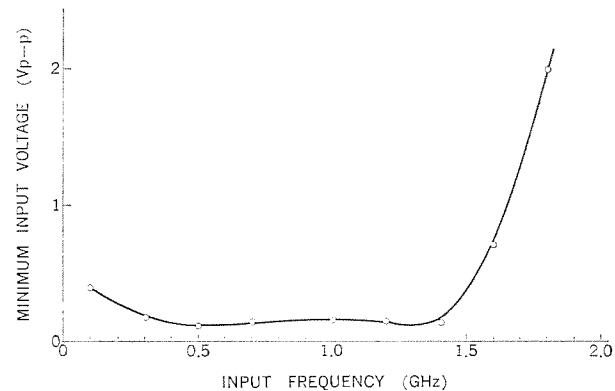


図9. 試作したUHF帯プリスケーラ(1/64分周)の入力感度特性

により試作したTV用のUHF帯のプリスケーラ(1/64分周)の入力感度特性を示す。先に述べた高い f_T と低い寄生容量とにより 1.5 GHz まで実用可能な分周能力を示しており、最高 1.8 GHz まで動作することが確かめられた。

5. むすび

酸化膜分離バイポーラプロセスにイオン注入ドーピング技術を適用することにより、レジストマスクを活用した新方式のセルファライン技術が可能になった。この技術による微細化、イオン注入による浅い接合形成を利用した高速バイポーラプロセスにより、メモリや高周波プリスケーラ、あるいは高速論理デバイスの性能の向上が達せられた。

有機汚泥の凍結・脱水・コンポスト化システムの総合評価

山西健一郎*・小沢建樹*・本多敏一*・森川允弘*・山本利栄**

1. まえがき

近年廃棄物の処理、処分に対する社会的関心が高まっている。廃棄物そのものの性状、成分などによって、その処理、処分法が区別されるが、下水、屎尿処理場などから排出される生活系汚泥は有機性成分に富むため、たい(堆)肥(コンポスト)として緑農地へ還元する、というのが最も望ましいと考えられる。

従来はこれらの汚泥は、焼却されたり埋立用として処分されていた。これらの方法は、大気汚染という点で環境保全に逆行する、という批判、また国内での埋立地の制限などで将来的な方向と一致せず、更に汚泥処分についても資源リサイクルを完結すべきだ、との考え方にも根強い。従来いくつかのコンポスト化の試みがなされてきたが、有機性汚泥が難脱水性である、ということがコンポスト化の大きな障害になっていた。

この障害を取除き、有機性汚泥の緑農地還元システムを指向し、二ヶにこたえるため、昭和52年度通産省の重要技術開発補助金の交付を受けるとともに、神戸市の昭和53年度建設省受託調査「下水汚泥の処理処分計画に関する調査」の一環として神戸市下水道局の協力を得て、このシステムを用いて下水汚泥の一貫処理システムの工業化試験を実施した。

本稿ではシステム及び構成機器の特性、性能と、コンポストの品質を記す。

2. システムフロー

このシステムの汚泥処理量は約 $22\text{ m}^3/8\text{ 時間}$ (固体分濃度 1.5 %)、汚泥凍結処理能力は $3.3\text{ m}^3/8\text{ 時間}$ (固体分濃度 10 %) であり、これは下水処理対象人口の 5,000 人分に相当する、試験研究とはいえ

実規模に近いものである。

このシステムを要約すると、下水汚泥を脱水性向上のために、凍結融解処理により改質し、次に脱水し、最終的に発酵させてコンポストにするというもので、図 1. にシステムフローを示す。

図にしたがって、フローを説明する。

(1) まず下水処理場からの初沈と余剰の混合汚泥は粗大ごみなどの除去のためのスクリーンを通して原汚泥貯留槽(槽)に蓄えられ、濃縮のため遠心濃縮機にかけられ、高濃度汚泥とされる。その際濃縮の効率を上げられるよう無機凝集剤を混入できるようにもしている。

(2) 次に高濃度汚泥は凍結融解槽に圧入され脱水性が改善される。凍結融解槽はシェルチューブ形の熱交換器の形状で、圧力容器内に多数のステンレスパイプが配置されており、その中に汚泥が圧入され、周囲に熱媒体を通して凍結融解できる方式になっている。

(3) 脱水性が改善された汚泥は脱水機で脱水される。脱水機は真空・加圧方式を用いて、まず真空排気により、大部分の水をひきぬき、つづいて加圧し、含水率約 65 % の脱水ケーキとする。脱水ケーキは厚さ約 5 mm で幅 1,000 mm の板状で、これは次の発酵を行わせるため、通気性が確保されるよう粉碎機にかけられる。またこのように粗粒状にされた汚泥に、既に発酵完了済みのコンポストを還流材として一部混入し、発酵の種付けの作用をもたせている。

(4) 最終の発酵槽は、汚泥処理容量 22 m^3 、床面積 $3\text{ m} \times 5\text{ m}$ 、高さ 5 m の半密閉構造になっている。粗粒状汚泥は、バケットコンベアで発酵槽上部に移送され、槽内に投入される。槽内は上・中・下段に分かれている、それぞれ、コンベアで汚泥が移送される。汚泥が上段から中段に移るとき、切りかえし(かくはん(攪拌)作用)がおき、均一な好気性発酵が確保される。上・中段で 10 日間発酵し、コンポ

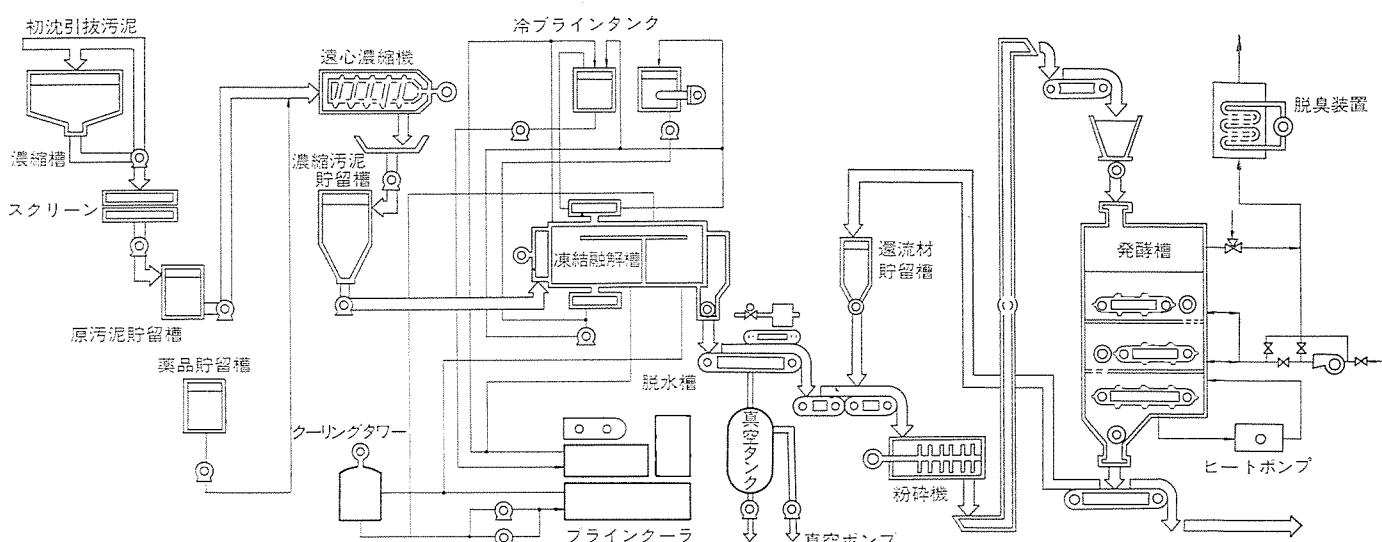


図 1. システムフロー

トとなるが、下段に設置したヒートポンプを用いた乾燥部を通すことにより、含水率の低い性状の安定したコンポストが得られる。槽内の空気の流通は、ブロワによる加圧、減圧方式を用いている。

3. シェル チューブ形凍結融解槽

1.0 m² × 4.5 mL の圧力容器の中に内径 42.8 mm^φ のステンレスパイプが配列されており、圧力容器の中央部に断熱材の壁を設けて、前半部に冷 ブライン (冷熱媒体)、後半部に温 ブライン (温熱媒体) を還流させ、凍結部、融解部としている。速心濃縮機で高濃度に濃縮された汚泥は圧入 ポンプによって、ステンレスパイプに均等に圧入される。この機構は図 2. に示したように、凍結部の冷 ブラインで -15°C に凍結され氷柱になった汚泥は、次に、冷 ブラインのかわりに、温 ブラインを還流させ、汚泥氷柱の表面層のみを融解させる。このような状態で更に汚泥を圧入すると、そのピストン作用により、汚泥氷柱は融解部

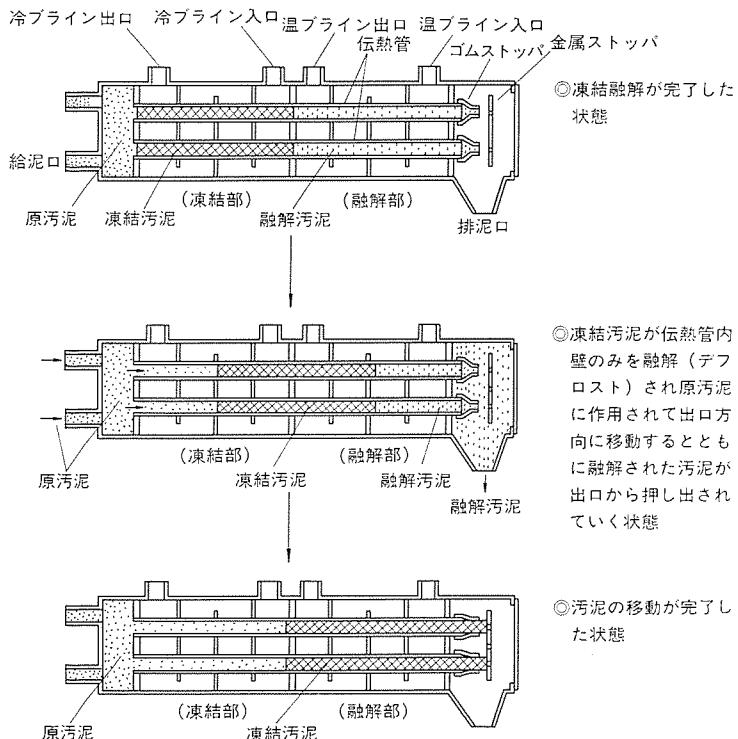


図 2. 汚泥凍結処理方式の原理図

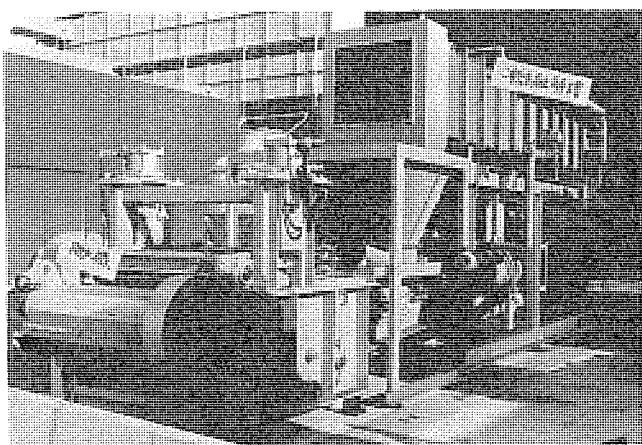


図 3. 凍結融解脱水処理装置

側に移り、端部にとりつけたゴム製ストップで静止させられる。この状態で凍結部には冷ブライン、融解部には温ブラインを還流させると、凍結氷柱と融解汚泥となり、これを繰り返すことにより、凍結効果によって脱水性の改善された汚泥ができる。図3.にこの処理装置の概観を示す。

凍結融解サイクルに要する時間は1時間であり、1サイクルの処理汚泥量は500lである。この方式の特長は、汚泥圧入方式を用いでいるので、従来の例えは平板式凍結融解槽に比べて高濃度の汚泥が処理でき、そのため汚泥の固形分換算からみれば多く処理できるので、経済性において優れている。

4. 汚泥の脱水特性

4. 1 凍結メカニズム

汚泥を凍結融解すれば脱水性が改善されることはよく知られた事実であるが、その原因、作用をメカニズムの面からとらえた研究は少ない⁽¹⁾⁽²⁾。ここでは汚泥凍結時の現象と理論について現段階で確認している知見について述べる。

4. 1. 1 凍結界面進行による汚泥粒子の移動

凍結を行っていくと凍結界面の進行にそって汚泥粒子が移動し、汚泥粒子が1か所に集積される。この移動のしかたは、凍結界面の進行速度及び凍結界面のパターンによって異なり、凍結界面の進行速度が遅いほど、また界面パターンがフラット状であるほど、集積されやすく、汚泥ロックの粗大化が顕著となる。図4.に汚泥凍結界面の移動を、図5.に汚泥の初期状態と、凍結融解後の状態とを示す。

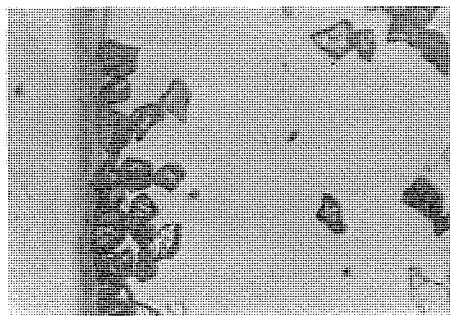
理論的には、図 6. に示すように液相、固相及び粒子が接触角 α で平衡にある系において、それぞれ 3 つの界面の単位面積あたりの表面自由エネルギーを σ_{LP} , σ_{SP} , σ_{LS} (erg/cm^2) とすると、表面自由エネルギーの関係は次式で表される。

この式(1)で表された表面自由エネルギーの関係より、凍結界面と粒子との間げき(隙)に存在する境界水(boundary water)に凍結点降下による浸透圧が生ずる⁽³⁾。

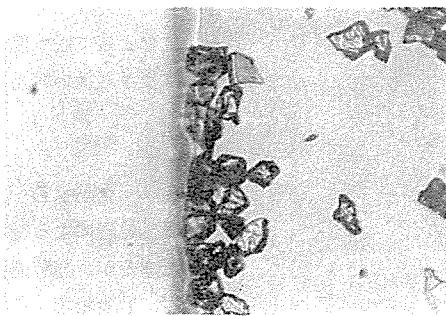
次に外力が働き、自由エネルギー変化が起こった場合、この自由エネルギーの変化分により、凍結界面と粒子との間隙に存在する境界水に化学ポテンシャルが生ずる⁽⁴⁾。この2つの力の解析の詳細は省略するが、その合力によっておこされる粒子の最大移動速度は次式となる。この式において、第1項が化学ポテンシャルによる速度、第2項が浸透圧による速度を表す。

$$v_{\max} = \frac{2(n+1)L\alpha_0 V_0 D}{kT d^2} + \frac{4DLKf}{RT^2 \Delta v \alpha \rho^2 d} \left(\frac{dT}{dl} \right) \dots \dots \dots (2)$$

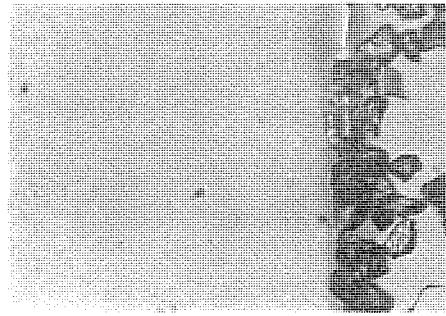
v_{\max} : 粒子の最大移動速度 (cm/s), n : 粒子と固相の空隙と表面自由エネルギーとの関係を表す指数, L : 単位体積当たりの融解潜熱 (erg/cm³), a_0 : 分子径 (cm), V_0 : 原子容 (cm³), D : 拡散係数 (cm²/s), k : ボルツマン定数 (erg/deg), T : 温度 (deg), d : 粒子径 (cm), K : 固相と粒子の熱伝導度の比, f : 境界層の厚み (cm), R : 気体定数 (erg/g·deg), Δv : 液相と固相の単位質量当たりの体積の差 (cm³/g), α : 固相と液相の密度比, ρ : 液相の密度 (g/cm³), dT/dl : 境界層における温度こう(勾)配 (deg/cm)



(1)

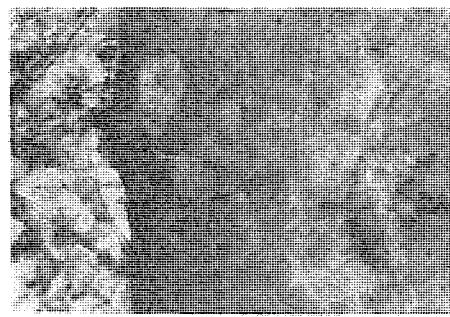


(2)

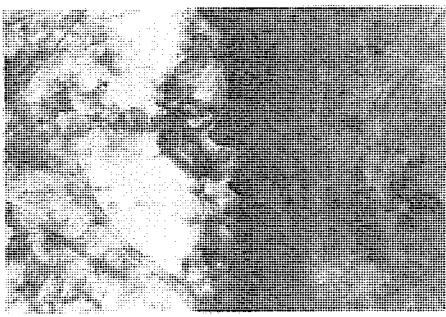


(3)

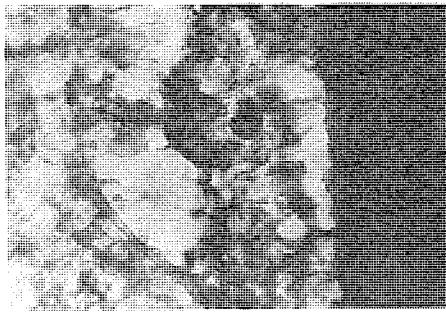
アルミナの場合 (X 300)



(1)



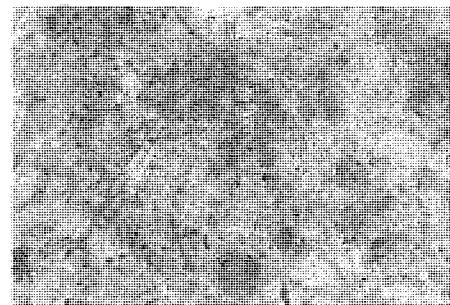
(2)



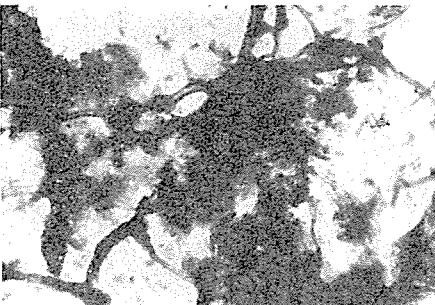
(3)

初沈余剩混合汚泥の場合 (X 150)

図 4. 凍結界面の移動状態〔凍結速度: 5 (mm/h)〕(左から右に界面が進行)



(1) 原液



(2) 凍結融解処理後

図 5. 初沈混合汚泥の顕微鏡写真 (X 150)

ガラス球を例にとり式(2)による計算と実験とを比較すれば、粒子径が大きくなれば第1項の寄与が大となり、小さくなれば第1項、第2項の寄与度合いがほぼ同じになることが分かる。

4.1.2 凍結時の汚泥粒子の凝集

凍結界面進行による汚泥粒子の集積作用と同時に、相互に接近した粒子は Van der Waals 力により凝集をおこす。ただし、粒子は電気 2 重層による粒子間反発力をもっており、これに打ち勝たねば凝集は起こりにくく、粒子表面の電位の緩和などの操作が必要となる。

斥力、引力の合成ポテンシャル ΔV (erg) は

$$\Delta V = \frac{c \varepsilon d^2 \phi_0^2}{4 b} \exp\{-E(b-d)\} - \frac{Ad}{24(b-d)} \quad \dots \dots \dots (3)$$

c : 定数、 ε : 誘電率 (esu)、 d : 粒子径 (cm)、 ϕ_0 : 表面電位 (V)、 b : 粒子の中心間距離 (cm)、 E : 定数 (1/cm)、 A : 定数となり、第1項が斥力、第2項が引力のポテンシャルを表す。ここで $\Delta V \leq 0$ なる限界の表面電位 (汚泥粒子と固水相とをみかけの粒子

とみなし、 ζ 電位で規定) は数 10 mV であり、対象汚泥の大部分については、 ζ 電位はそれより十分低く、凝集することが計算の上でも確認できる。しかし一部汚泥については、 ζ 電位が高い場合があり、そのような汚泥については、無機凝集剤の添加などにより ζ 電位を下げて処理している。

このほか、凝集粒子群の中から毛細管水を引き抜く作用なども考えられる。

4.2 沂過比抵抗及び脱水ケーキ含水率

有機汚泥の凍結処理による脱水性改善について、下水処理場から排出される初沈汚泥及び余剰汚泥を対象として、凍結速度の影響を調べた。凍結速度は氷結晶界面の移動速度 (氷結晶成長速度) で表した。凍結処理後の汚泥は沂過比抵抗、及び真空脱水後加圧力 4 kg/cm² で圧搾脱水を行ったケーキの含水率を測定した。図 7. は凍結速度と沂過比抵抗との関係を、図 8. は凍結速度と脱水ケーキ含水率との関係を示す。

初沈汚泥と余剰汚泥の凍結速度による処理効果を比較すれば、沂過比抵抗については、初沈汚泥は平均凍結速度が約 30 mm/h 以下の範囲では沂過比抵抗と凍結速度との対数値は直線関係となり、余

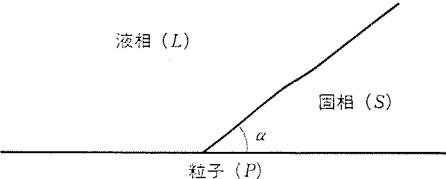


図 6. 液相・固相・粒子が平衡にある系

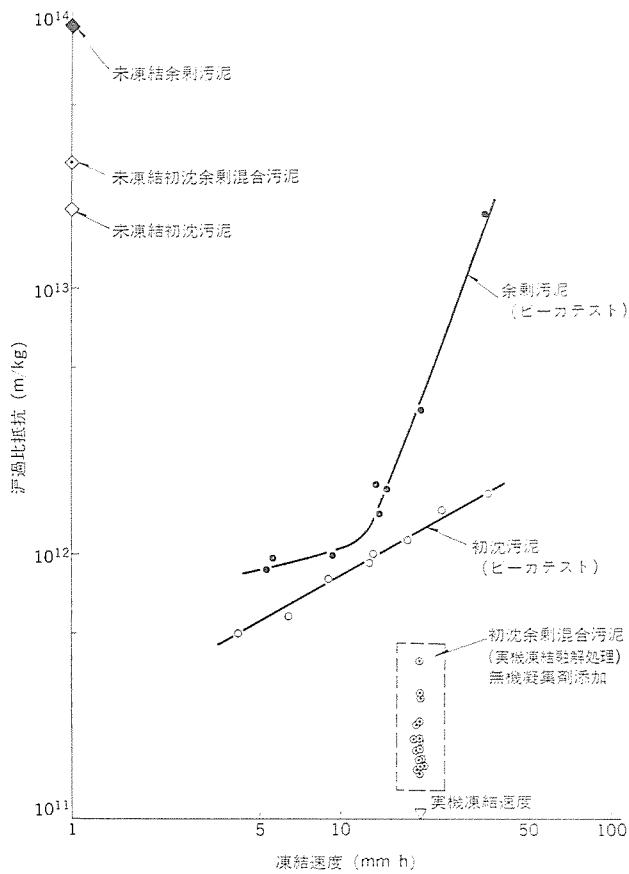


図 7. 凍結速度と汎過比抵抗の関係

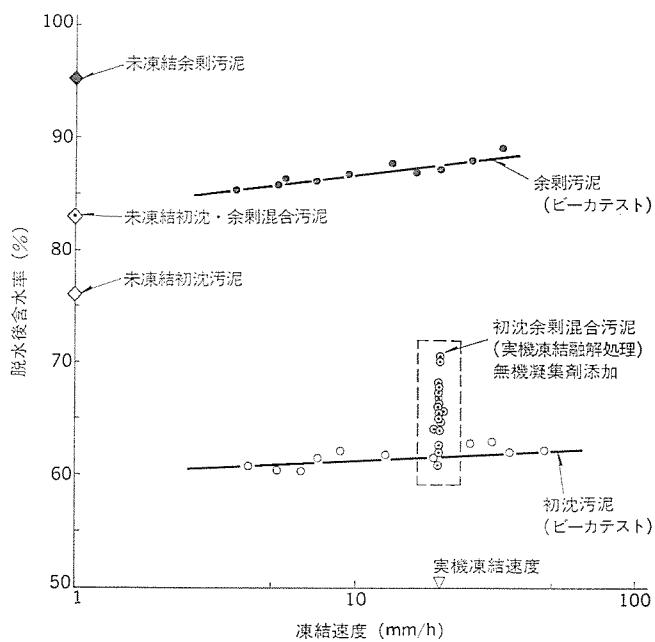


図 8. 凍結速度と脱水後含水率の関係

剩汚泥では平均凍結速度が約 10 mm/h 以上になると急激に汎過性が悪化する。次に脱水ケーキ含水率については初沈汚泥、余剩汚泥共に凍結速度にはあまり影響を受けないが、全体的に余剩汚泥のほうがかなり高い値を示している。また図 7.、図 8. に初沈・余剩混合汚泥が凍結融解処理装置によって処理された場合の、汎過比抵抗及び脱水ケーキ含水率について示す。

有機汚泥は凍結条件が脱水性に重要な意味をもっており、凍結速度によって脱水性が左右されるが、適当な凍結条件を維持することにより取扱い容易な脱水汚泥が得られることを確認した。

5. コンポスト

5.1 発酵状態

凍結処理による脱水ケーキは発酵槽で発酵し、コンポスト化されるわけであるが、発酵過程において汚泥の変化があらわれる。すなわち品質、微生物相、有機分などのほか含水率、pH、炭素率の変化など

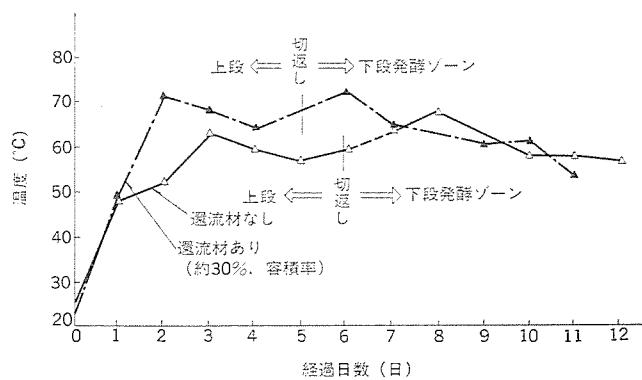


図 9. 品温の变化

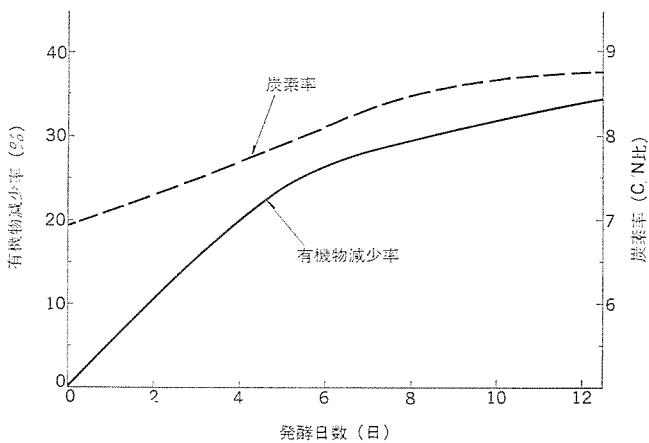


図 10. 汚泥中の有機物の減少率及び炭素率の変化

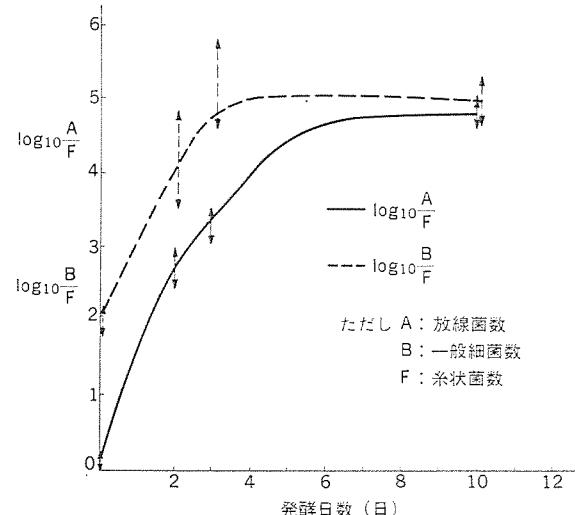


図 11. 発酵過程における微生物相の変化

がある。図 9., 図 10., 図 11. にそれぞれ品温変化、有機分減少率と炭素率 (C/N 比)、微生物相の変化を示す。品温は汚泥投入直後から上昇はじめ、発酵開始後 2 ~ 3 日でピークに達し、その後次第に低下するが、上段から下段に移された後再び上昇しピークに達して、後徐々に下降する。また有機分の減少率は、10 日間の発酵により、35 % になり、炭素率は 7 から 9 になっている。一方、汚泥中の微生物相の変化は、発酵過程で、糸状菌数 (F) に対する放線菌数 (A)、一般細菌数 (B) の割合が増え、土壤微生物相的観点から、良好になっているといえる。

また外観及びにおいについては、投入汚泥は灰黒色であったのがかっ色に変化し、また当初のいわゆる下水臭は数日間の発酵でなくなり、でき上がりコンポストはほとんどにおいがしない。

5.2 コンポストの品質

このシステムで得られるコンポストは、その処理工程で、系外からの不要物の混入を極力少なくしているので緑農地還元という点で適切なものといえよう。これを農業サイドから検討した結果を示す。

- (1) 発酵による有機分減量が多いにもかかわらず、もともとの下水の有機分含有量が多いため、農家堆肥 (約 65 %) と同程度である。
- (2) 調湿材、通気改良材など、腐熟に長時間を要するおがくずなどが入っていないので発酵処理、判定が簡単で品質も安定している。
- (3) 有機質を土壤に施用したとき微生物による分解速度が適正でなければならない。この分解速度と強い相関をもつ炭素率が 10 日間の発酵で 9 になり、土壤腐食の平均的炭素率 10 に近く、分解速度も適正であるといえる。

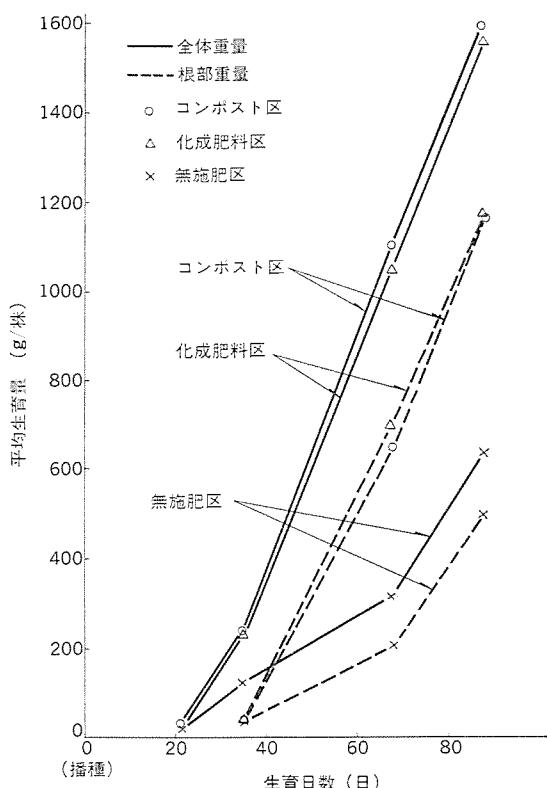


図 12. 大根の生育経過



コンポスト区…コンポスト 2 トン (乾物換算) / 10 a
化成肥料区…N-P-K = 9-6-7, 166 kg/10 a
いずれも元肥として全層施肥

図 13. 大根の生育状況比較 (播種後 88 日)

- (4) 土壤微生物相的にも A/F 値、B/F 値が高く良好である。
- (5) 栽培土壤への施用量が一般堆肥の施用量 (平均 10 a あたり 1 トン) と同程度で肥料効果を発揮し、生育にも支障を来さぬことが各種栽培試験で確認されている。図 12., 図 13. に生育状態の 1 例を示す。

6. む す び

有機汚泥のコンポスト化という技術の中で、汚泥をいかに効率よく改質し脱水するか、またその過程で脱離液の処理が容易でなければならぬ、という前提条件にもとづき、凍結・脱水技術をほり下げる。凍結メカニズムの追求については、その効果が顕著であるにもかかわらず、学問分野として未知のことが多い。本稿で、その一部を記したが、汚泥の物理化学特性を更に詳細に解明し、その処理法についても、現状よりも改善すべく研究中である。特に、コンポストが葉菜、根菜などを通し、人間生体に関連するということから、重金属をはじめ有害物質は極力排除しなければならない⁽⁵⁾。一切の有害物質のないコンポストを得るための処理法も重要課題であり、これは上記汚泥物性の解明と不可分である。

また、このコンポスト化システムと従来の下水処理システムとの経済性比較についても、より詳細な検討を加えている。これらはいずれ稿を改めて報告する予定である。

最後にこの研究に多大のご協力を賜った神戸市下水道局関係各位及び土壤微生物学、農学サイドから種々ご指導いただいた京都大学農学部植物栄養学教室の方々に深く感謝する。

参考文献

- (1) 中村：表面，No. 1, p. 1~10 (昭 50)
- (2) 佐藤ほか：水道協会誌，519, p. 12~23 (昭 52)
- (3) P. Hoekstra et al. : Journal of Colloid and Interface Science, 25, p. 166~173 (1967)
- (4) D. R. Uhlmann et al. : Journal of Applied Physics, 35, No. 10, p. 2,986~2,993 (1964)
- (5) 寺島：下水道協会誌，13, No. 142, p. 2~9 (昭 51)

赤外線撮像装置

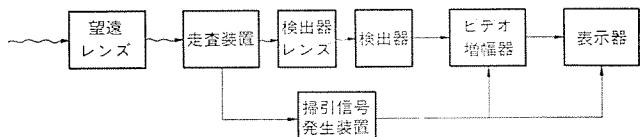
近藤倫正*・佐伯利一*・山下純一郎*・伊東克能*・高橋進**

1. まえがき

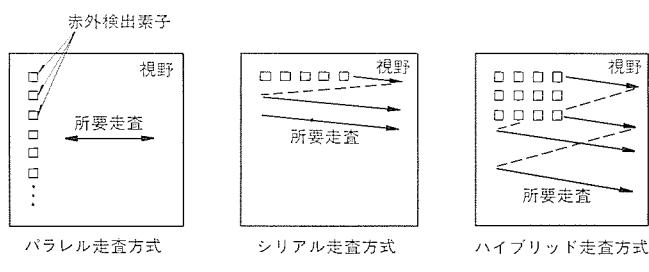
赤外線撮像装置は目標から放射される赤外線を検出して像として表示する。よく知られるように地表付近の物体の放射電磁波のピークは $10 \mu\text{m}$ 付近の赤外域にあり、この帯域の波長の大気透過率が高いことと相まって、大半の赤外線撮像装置はこの波長帯を利用している。このように常温程度の物体の放射電磁波を利用する赤外線撮像装置では目標に対する投射光が不要で、夜間暗視、視程不良時の透視撮像及び種々の熱像監視などに利用することができる。これらの撮像で大気による減衰が大きい遠景を対象とする場合には装置は高い感度及び分解能が必要である。赤外線撮像装置の感度を向上させるにはいくつかの方法がある⁽¹⁾が、その中に多素子検出器の各素子の出力信号にその配列に対応した遅延を与えて重畳する方法がある。このたびこの方法を変形し高感度化及び小形軽量化をはかった赤外線撮像装置を試作した。この装置はシリアル走査方式で遠景の撮像をリアルタイムで行うことを目的としており、この装置を用いて撮像を行った結果、遠景目標に対しても高品質な画像を得ることができた。ここではこの装置の構成、性能諸元及び撮像結果などについて述べる。

2. 赤外線撮像装置の基本構成

赤外線撮像装置に用いる赤外線検出器はパイロビジコンのように電子走査が可能な検出器もあるが、高い感度を有するものは半導体検出器である。しかし半導体検出器は電子走査が可能な面倒のものが実用化されていない。そこで高性能な赤外線撮像装置は現状では高速メカニカルスキャナと高感度検出器とを組合せ、情景をメカニカルスキャナで走査して映像を形成する。この種の赤外線撮像装置の基本構成を図1.(a)に示す。望遠レンズに入射した赤外線は走査装置で瞬時視野方



(a) 基本ブロック図



(b) 走査方式の種類

図 1. 赤外線撮像装置の基本構成

向を規則的に変えられ、検出器レンズで赤外検出器上に集光される。検出器出力は増幅されて表示器に送られる。一方、走査装置の走査タイミング信号に同期した掃引信号によって表示器のラスタを構成する。このラスタに検出器からの信号が輝度変調を与え情景を表示する。ところで図1.(a)の基本構成は多素子検出器を用いる場合、走査方法と検出器の素子配列とによって、①シリアル走査方式、②パラレル走査方式、③ハイブリッド走査方式、の3種類の方式が考えられている。図1.(b)にこれらの走査方式を示す。シリアル走査方式は垂直及び水平の2次元走査を行って水平方向に配列した検出素子に対して、配列位置の差異に対応したビデオ信号の位相のずれを遅延線によって修正したのちに重畳するTDI (Time Delay and Integration) 手法を用いるもので、検出素子数 n に対して \sqrt{n} だけ SNR が改善される。この方式は高速スキャナと低速スキャナの2種類のスキャナが必要だが、検出素子の特性の偏差があっても均一な映像が得られる、シリアルビデオ信号が得られるので画像追尾及びCRTディスプレーに適しているなどの長所もある。パラレル走査方式は垂直方向に配列した検出素子に対して水平方向のみ走査する方式で、低速1次元の走査しか行ないのでメカニカルスキャナが低速かつ1種類でよいが、検出素子の特性の偏差により映像が不均一になりやすい、CRTディスプレーを用いる場合走査変換を必要とするなどの短所もある。ハイブリッドスキャナ方式はシリアル及びパラレルの両者の長所短所をあわせ持つことは容易に想像される。

3. 試作装置の概要

試作装置は遠景をリアルタイムで撮像することができるほか、可搬性に富むこと、CRTディスプレーで表示することができる、及び画像追尾用の信号を簡単にえられることを前提条件とした。このため次の点に留意して設計を行った。

- (1) 検出器として半導体検出器の1種である多素子の水銀・カドミウム・テルライド (HgCdTe) を用い高感度化をはかる。
- (2) 小形軽量化及び高分解能を意図した変形シリアル走査方式とする。
- (3) 開口径 $100 \text{ mm}\phi$ の光学系を用いて距離数 km の各種情景を明りょうに撮像することができる。
- (4) 2段切換視野及び合焦の遠隔操作などにより操用性の高いものとする。

これらの留意点にもとづいて得られたこの装置のブロック図を図2.に示す。図でアフォーカル光学系に入射した赤外線は、水平及び垂直の2次元スキャナで走査され検出器レンズで検出器上に集光される。検出器は20素子のHgCdTeでその素子配列は図3.に示すように10素子2列になっている。検出器の各素子からの出力信号は各素子の配列とスキャナの配向方向に対応した20種類の視野方向の映像信号である。これらの映像信号は水平方向の10素子分を1組としてTDIにより2組の信号に合成される。この2組の信号のうち図3.の下段の組の信号を水平走査1回分だけCCD遅延線を用いて時間

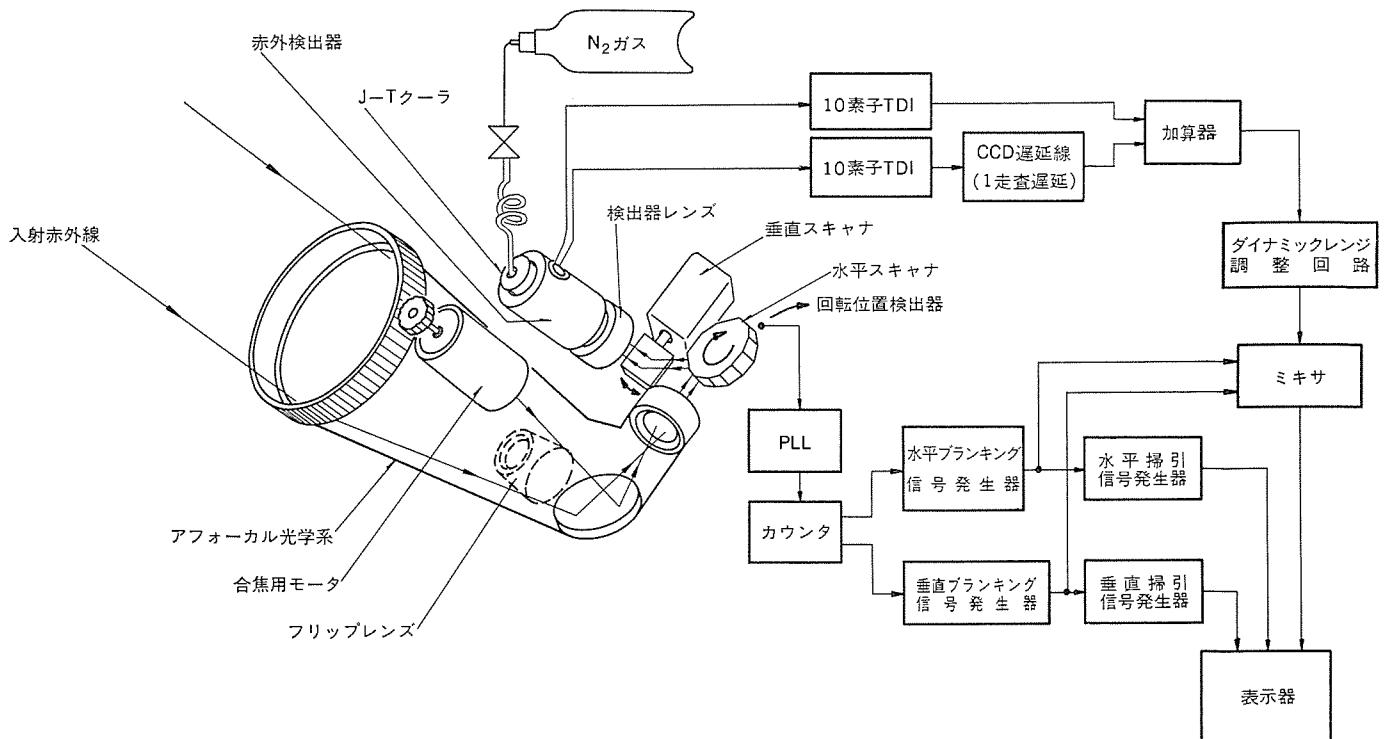


図 2. 試作装置のブロック図

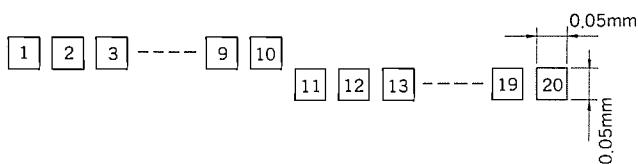
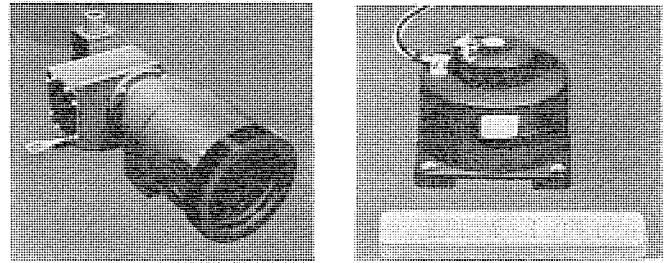


図 3. 検出素子の配列及び寸法

的に遅延させたあと上段の組の信号と加算器により加算する。この操作によって互いの組のブランディング期間に他の組の信号が加えられ、2組の信号が交互に組合せられたシリアル映像信号が得られる。この映像信号はダイナミックレンジ調整回路でダイナミックレンジを調整されて表示器に入力される。一方、回転位置検出器から得られる同期タイミング信号は PLL (Phase Locked Loop) とカウンタ⁽²⁾を用いる方法とによってスキャナの機械的偏差に起因するタイミング変動を修正されて水平及び垂直のブランディング信号及び掃引信号に変換される。これらの掃引信号を用いて 2:1 のインターレース比でシリアル映像信号を表示器で表示する。ところで図 2. のブロック図で先に述べた設計留意点にもとづいて特に考慮されている点は次のとおりである。

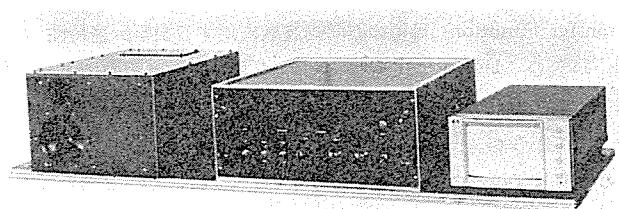
(1) 走査法

この装置では水平スキャナの1回分の走査で2本分のラスターに相当する映像信号を得ているが、この方法によって水平スキャナの回転数を半減させるとともに水平走査効率を2倍に高め、結果としてスキャナの大幅な低電力化及び小形化を達成している。また1フレームで同一点を2回走査するオーバラップ走査を採用して最小分解可能温度差 M RTD (Minimum Resolvable Temperature Difference) を向上させている。このほか検出器素子配列・寸法、水平スキャナ用多角柱ミラー角数・寸法及び光学系定数などと等価雑音温度差 NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) との関係については既に報告した方法⁽³⁾により最適化をはかっている。



(a) アフォーカル光学系

(b) 水平スキャナ



(c) 試作装置

図 4. 試作装置の外観

(2) アフォーカル光学系

アフォーカル光学系の外観を図 4. (a) に示す。アフォーカル光学系は屈折系でレンズ素材はゲルマニウム (Ge) である。MTF を悪化させない範囲でレンズ枚数の節減と光路長の短縮をはかっている。またフリップズーム方式により視野を2段に切換えることができる。このほか合焦用として対物レンズを光軸の前後にモータ駆動で移動させる機構をそなえている。

(3) 水平スキャナ

水平スキャナの外観を図 4. (b) に示す。水平スキャナはアウターロータ形のヒステリシスシンクロナスマータを用いたものであり、ロータの外周に多角

柱ミラーを取付けている。この構造は通常のインナロータ形モータに多角柱ミラーを結合したものより小形である上に回転部のイナーシャを小さくすることができる。走査法の工夫と相まって小形・低電力のモータでこの装置に適合する安定で静しうくな高速回転スキャナが得られた。

(4) ダイナミックレンジ調整回路

ダイナミックレンジ調整回路は映像信号の低周波成分のみゲインを抑制する回路で、高温の目標の背景における微細な部分を撮像する場合その他に有効である。

以上のように、この装置は先に述べた設計留意点にもとづいて、感度、分解能及び寸法・重量に対して最適性が追求されている。この装置の外観は図 4. (c) に示すとおりで左から撮像部、信号処理部及び表示部である。表示部には CRT 方式のディスプレーを用いている。

4. 性 能 諸 元

4. 1 撮像性能の評価法

赤外線撮像装置の撮像性能は NETD 及び MRTD で表される⁽⁴⁾。この装置のように多素子検出器を用いたオーバラップ走査を行ったものの NETD 及び MRTD は式(1), (2)で与えられる。

$$\text{NETD} = \frac{4 d \left(\frac{f_H}{mC} \right)^{\frac{1}{2}}}{(\sqrt{\omega})^{\frac{5}{2}} D_0^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D_{\lambda} * \tau_{\lambda} \frac{dN}{dT} d\lambda} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$MRTD = 6\sqrt{\frac{\omega}{\pi F T_e \eta_{av}}} \cdot f_T \cdot \frac{(NETD)}{(MTF)} \dots \dots \dots (2)$$

但し C : 1列の検出素子数 D_0 : 光学系開口径 D_{λ^*} : 検出素子の平均分光検出率 d : 検出素子の1辺の長さ \dot{F} : フレーム数 f_H : 水平スキャナ回転数 f_T : 目標の空間周波数 m : アフォーカル光学系倍率 T_e : 眼の積分時間 η_{ov} : オーバーラップ走査率 λ : 波長 τ_0 : 光学系透過率 $\sqrt{\omega}$: 瞬時視野 dN/dT : 単位波長あたりの微分輝度 MTF : (Modulation Transfer Function) 目標の空間周波数に対する振幅伝達特性 NETD 及び MRTD は式(1), (2)を用いて設計段階で予測できるものである。これらの値は小なるほど装置は高い撮像性能を有することになるが、一般的の傾向としては装置の小形軽量化と反する。この装置は先に述べた走査法の検討では式(1), (2)を用いて撮像性能を予測した。

4. 2 試作装置の性能諸元

この装置の性能諸元は表1. 及び図5. に示すとおりである。ただしNETDは実測値を示しMRTDは計算値と実測値の双方を示した。またこの装置の検出波長帯は8~13μmであり計算にもこの値を用いた。

一方、式(1)にこの装置の各諸元を代入して得られる NETD の計算値は 0.21°C であり測定値との差は無視しうるほど小さい。同様に MRTD も 図 5. に示すように式(2)にこの装置の各諸元を代入して得られる計算値と測定値の差は小さい。このように NETD と MRTD の計算値と実測値が一致するのは、この装置が設計段階で意図した通りの性能を有していることを意味する。特に多要素の信号を重畠するときに用いた TDI 手法で、重畠するときの遅延時間の偏差による角度分解能の低下は無視しうる程度であり、この装置の方式は高い実用性を有していると考えられる。

表 1. 試作装置の性能諸元

項 目	性能諸元	項 目	性能諸元
水平走査線数	243本	光学系開口比	2:1
フレーム数	20/秒	アフォーカル 光学系倍率	狭角 14.5 広角 4.4
フィールド数	40/秒		
視野	狭角 25×33(mrad ²) 広角 83×110(mrad ²)	検出器素子数	20
瞬時視野	狭角 0.25 mrad 広角 0.83 mrad	検出素子寸法	50×50 (μm ²)
		検出器平均検出率	1.7×10 ¹⁰ cm ² /Hz/W
		検出器平均レスポンシビリティ	2.2×10 ⁴ V/W
オーバラップ走査率	2	合焦範囲	5 m~∞
アスペクト比	4:3	NETD (測定値)	狭角 0.18 広角 0.22
光学系開口径	100 mφ		

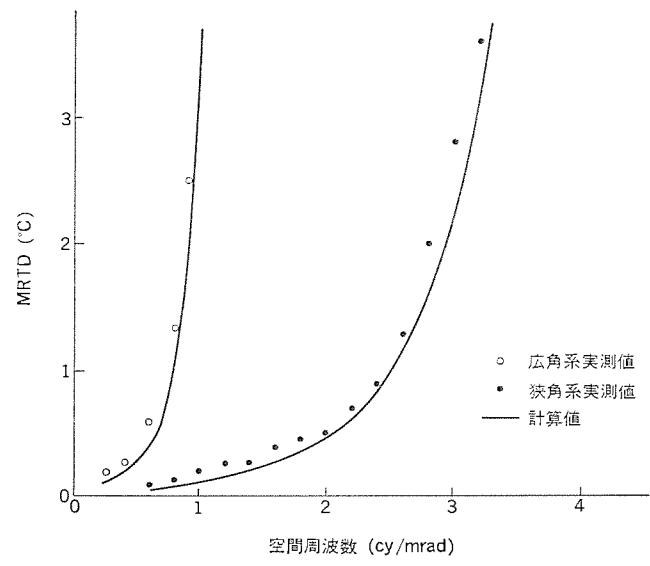


図 5. MRTD

5. 摄像結果

この装置はすでに述べたように遠景の撮像をリアルタイムで行うことの目的としている。この装置を用いて種々の静目標及び動目標の撮像試験を行った結果、上記の目的に適合していることがわかった。これらの撮像試験で得られた主要な結果は次のとおりである。

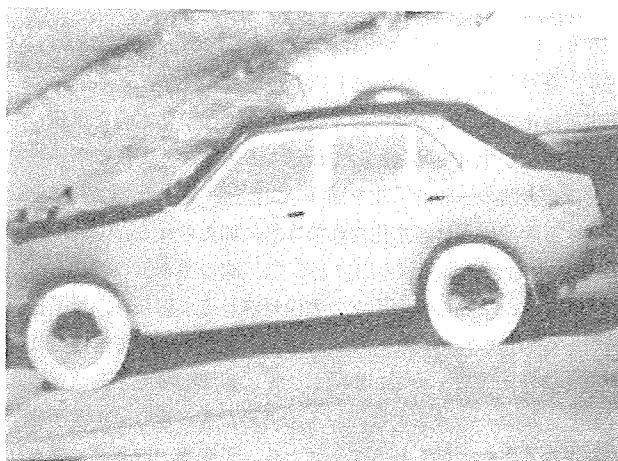
- (1) 視程が良好な場合には昼夜の別なく 1 km 以遠で人間が手を振る姿を表示画面上で識別することができる。
 - (2) かすみ、もや、霧及び煙の存在する情景では可視 TV よりも遠景を撮像することができる。
 - (3) 画面の均一性が良好で不自然な輝度分布や局在的ひずみがほとんどない。
 - (4) 建造物、貯水タンク、自動車及び煙突など多くの種類の目標が混在し、温度分布が広範囲にわたる都市部の情景でも画面全体を最良の状態で撮像することができる。

(5) 残像が事実上ない（この特性は検出器の時定数が小さいことと、走査変換を行うことなく CRT ディスプレーで表示しているために得られたものである）。

参考までに静的目標に対する撮像例を図 6. (a), (b), (c) に示す。(a), (b) はこの装置による撮像例で、(a) は距離 150 m 遠方に駐車している乗用車、(b) は距離 2 km, 遠方にある建物である。(c) は(b) の可視 TV 画像である。図 6. (a), (b), (c) とも CRT ディスプレー上の映像をモノクロームフィルムを装填したカメラで再撮像したものである。(b), (c) に注目すると画面上方に位置する遠距離の建物と画面下の近距離の建物は実際には同色のコンクリート製であるが、(b) では同一コントラストであるのに対して(c) では遠距離の建物のコントラストが劣化している。すなわちこの撮像を行った条件では可視域よりも 10 μm 赤外域のほうが大気透過率が良好であることを示している。

6. む す び

多素子検出器を用いて高感度化をはかったシリアル走査方式赤外線撮像装置の構成、性能諸元及び撮像結果などについて述べた。この装置は多素子検出器を用いた場合に得られる理論的な性能に近いものを実現しており、この方式の赤外線撮像装置が夜間暗視及び視程不良時の撮像などに高い実用性を持つことがわかった。そしてこの装置を用いた実景の撮像例によりいくつかの特徴的な事項を示した。今後更に検出器素子数及び走査線数の多いものを開発する予定である。



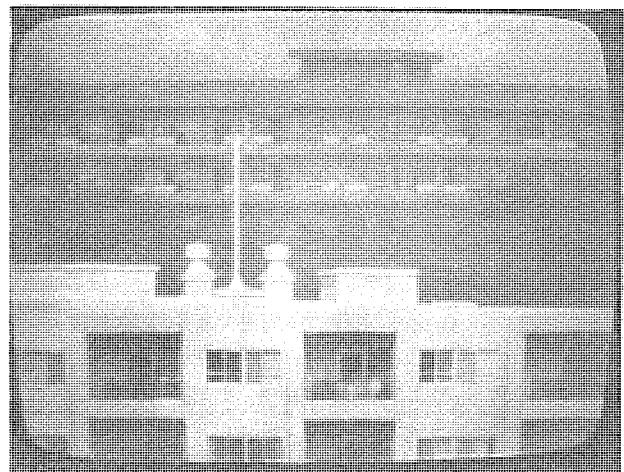
(a) 赤外画像

参 考 文 献

- (1) J. M. Lloyd : Thermal Imaging Systems, Plenum Press (1975)
- (2) T. Tajime, T. Saheki et al. : Serial Scan Thermal Imaging System, SPIE Modern Utilization of Infrared Technology IV, 156 (1978)
- (3) 伊東, 近藤ほか : 昭和 54 年度信学会大, No. 1,027
- (4) 伊東, 近藤ほか : 昭和 53 年度信学会大, S 11-4



(b) 赤外画像



(c) 可視 TV 画像

図 6. 撮像例

カラーITV静止画伝送装置

藤野順一*・宮崎秀人*・土屋徳翁**・山際豊行**・堀高明**

1. まえがき

最近、産業用あるいは公共用の各種監視システムにおいて、ITV画像を電話回線などの狭帯域伝送路を介して伝送・監視する要求が増えつつある。しかし、画像（特にカラー画像）はその情報量が大きいため、これを直接伝送したのでは伝送に長時間かかる。

実用的な伝送時間の画像伝送装置を得るため、帯域圧縮技術を用い画像の伝送情報量を減らす方式が用いられる。

我々はNTSC標準カラーTV信号の直接予測DPCM方式⁽¹⁾による帯域圧縮を行い、音声帯域の伝送路の場合(9,600 bps)1画面(フィールド)を約1分で伝送可能な「カラーITV静止画伝送装置」を開発したので、その概要について述べる。この装置の画品質は、S/N42 dB以上、水平解像度約250本であり、上記システムにおいて高品質画像を提供できる。また伝送回線のノイズなどによる伝送エラーに対してはCRCチェックによる再送修正機能を有している。

2. 画像信号の帯域圧縮伝送

一般に画像信号の画素間には相間があり、これらの相間（冗長度）を利用することにより画像信号の帯域圧縮が行われる⁽²⁾。ITVの静止画伝送の場合には、フレーム内の画素間の相間を用いた帯域圧縮が行える。TV信号は画像を走査による時系列信号としているため、アナログ信号であるTV信号をサンプリングにより、各画素を量子化しデジタル信号とした場合、現在の信号値は過去の信号値から予測することができる。この予測値との誤差を量子化・符号化して伝送する事により伝送情報量を減らすことができる。

画像信号を長距離伝送する場合、アナログ伝送に比べ伝送路での妨害を受けにくいデジタル伝送方式が有利であるが、上記のように帯域圧縮された符号を伝送する場合、符号誤りが生じた時には画質劣化が大きいので伝送に関して誤り検出・訂正機能が要求される。

2.1 予測符号化方式

ITV静止画伝送装置に用いられるフレーム内予測符号化方式には ΔM （定差変調）及びDPCM（差分PCM）方式などがあり、 ΔM 方式は標本化周波数を最高信号周波数の2倍よりもはるかに高くとり前値との差を1ビットで伝送する方式で、狭帯域伝送路を用いるITV静止画伝送の場合、標本点数（=伝送ビット数）が多大となり、符号化器の動作速度が非常に高くなるため、一般にDPCM方式が用いられる。DPCM方式は更に、複合カラーTV信号を直接DPCM処理する直接予測DPCM方式と、複合カラーTV信号をいったん輝度信号Yと色信号Cに分離した後、それぞれについてDPCM処理を行う分離予測DPCM方式とに分かれる。分離予測DPCM方式はY及びCについて、それぞれ最適の符号化を行うことができる。符号化効率はよいが、複合カラーTV信号を入・出力とする一般的のITV静止画伝送装置の場合には、Y-C分離・合成及びY, C符号化信号の時分割多重伝送などに多くのハードを要し、送・受信装置の規模が大きくなるため一般的なシステムに対しては得策ではない。

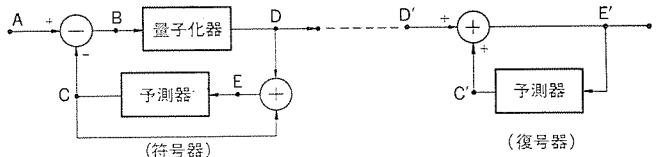


図1. 予測符号器・復号器の一般的構成

い。したがってこの装置では直接予測DPCM方式を採用した。

複合カラーTV信号を直接符号化する直接予測DPCM方式における標本化周波数 f_s は、TV信号の帯域幅4.2 MHzに対し、標本化定理より、ナイキスト周波数8.4 MHz以上となる。一方、標本化による量子化ノイズ（画面における輝度及び色度のビート妨害）を考えた場合、ビート周波数が視覚感度の低い水平走査周波数の1/2オフセット関係になる周波数が望ましく、これには f_s をカラーサブキャリア f_{sc} の3倍又は4倍に選べばよい。伝送時間を短くするためには標本点数は少ない程よいので標本化周波数は低い程よいことになる。これらからこの装置では標本化周波数 $f_s=3f_{sc}$ とした。また1標本値当たりの量子化ビット数は複合カラーTV信号を対象としているため8ビットとした。この場合1水平走査線当たりの標本点数は682.5個となり、1フィールドの走査線数を262本とすれば1画面（フィールド）当たりの全量子化ビット数は約1.4 Mビットになる。

予測符号化方式では過去の標本値列から現在の標本値を予測し、その誤差を量子化（符号化）して伝送する方式で、これに用いる符号器及び複合器の一般的構成を図1に示す。図において符号化しようとする画像信号は標本化されてA点に加えられる。C点には帰還ループに含まれる予測器の出力として、次の標本値の予測値が加えられており、実際の標本値との差信号がB点に得られ、量子化及び適当な符号化が行われてD点を経て符号化信号として送出される。一方出力信号は帰還ループに導かれ、先に差をとった予測値との和をとることにより、E点には画像入力信号A点の近似値が量子化誤差のみを含んだ形で得られることになる。予測器ではE点に得られた信号を必要な標本数だけ記憶しておき、これらとの間で適当な演算を行って次の予測値を求め、C点に供給して上記の動作を可能とする。受信側の復号器では送信側符号器の帰還回路と同様な構成で、D'点の符号化信号入力よりE'点に符号器のE点と同じ近似信号を得て画像出力とする。

予測値 P は次式に示されるように、一般には複数個の過去の標本値 z^{-n} （実ハードではE及びE'点の値）の線形結合として表される。

$$P = a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n} = \sum_{i=1}^n a_i z^{-i} \quad (1)$$

ただし a_i ：予測係数 z^{-n} ：nサンプル前の標本値
式(1)において最も単純な $a_1=1, a_2=\dots=a_n=0$ 、すなわち $P=z^{-1}$ とした場合が、前値予測と呼ばれる方式で単色TV信号の場合には多く用いられるが、複合カラーTV信号の場合には色信号成分に対し

ての予測精度が悪い。適当な個数の標本値及び予測係数を選ぶことにより、複合カラーTV信号の輝度信号成分及び色信号成分に対する予測精度を高くとることができる。

量子化には一定量子化ステップの直線量子化、及び信号振幅により量子化ステップを変化（一般には小振幅時に細かく、大振幅時に粗く）する非直線量子化があるが、画像信号の場合には視覚特性及び信号振幅の確率分布を考慮した場合、画像のS/Nを高くできる非直線量子化が一般的に用いられる⁽³⁾。

一般にDPCM符号化に用いる量子化器の最大量子化レベルは、入力信号の最大振幅に比べ非常に小さく設定されるので、入力信号の急激な変化に対し最大量子化レベルのステップで応答しても追随できない場合（こう（勾）配過負荷）が生じる。このような場合画面では輪郭部のボケ及び解像度の劣化となる。この勾配過負荷による画質劣化を防ぐためこの装置では次のような方式を新たに開発して採用している。すなわち、勾配過負荷発生時には量子化レベルが連続して正又は負の最大量子化レベルをとることから、量子化レベルの時間的変化を見ることによって勾配過負荷の生じたことを検出し、勾配過負荷発生時に最大量子化レベルを更に大きな値に切換えることにより、入力信号の急激な変化に対する応答を大きく改善した。この方式によれば受信側においても、符号化信号の時間的変化から同様に勾配過負荷の発生を検出できるので特別な信号の伝送は必要なく、したがって伝送時間に影響なく好都合である。

2.2 伝送方式

伝送すべき画像データはDPCM信号のため、符号誤りが生じた時は局部的なものにとどまらずDPCM復号化された時にそれ以後のデータに影響を及ぼす。また、1画面の画像データを効率よく伝送する必要がある。このため画像伝送方式は、一連の画像データを多項式で表示させ、これを特性多項式で割算した余りをチェック符号として付加するCRC方式を採用した。CRC方式は、

伝送路上での符号が原始データと対応しないため、保守などに不便であるが、伝送効率、誤り検出能力が比較的優れている。

画像伝送中、符号誤りが検出された場合、1画面伝送終了時、符号誤りの生じたラインの画像データを自動的に再送する方式により修正を行っている。この再送制御と、操作器により、送信側機器を制御するため、制御信号伝送回線が必要となる。この場合、かなり多数の制御項目を確実に伝送する必要があるため、誤り検出能力が高く、保守にも便利なことから検定方式を、2回連送照合と、パリティ検定の併用方式を採用した。

これらの画像データと制御信号の、符号・複合・再送の機能は、図2の伝送制御部に収納されMODEMに接続される。

この装置が、一般的に使用されている伝送帯域が0.3～3.4kHzの伝送回線では、画像伝送、制御伝送の通信速度は、それぞれ9,600bps、200bps(600, 1,200bps)として全2重通信回線が構成できる。

このほかに、電信電話公社専用線I規格、私設通信ケーブル、マイクロ波無線回線では48Kbpsの通信速度が可能であり、MODEMをかえれば高速画像伝送ができる。

3. 装置の構成と動作

3.1 基本構成

この装置を用いたカラーITV静止画伝送システムの基本構成図を図2に示す。受信側の操作器による画像伝送指令は、伝送制御部及びMODEMを介し制御回線により送信側に送られ、MODEM及び伝送制御部により画像伝送指令信号となり、以下の動作をさせる。送信側のITVカメラからの複合カラーTV信号をA/D変換し、1フレーム分実時間でフィールドメモリに書き込みこれを狭帯域伝送路及びMODEMに合った速度（低速）で読み出しDPCM符号化され、伝送用フォーマットでMODEMを介し狭帯域伝送路へ送り出す。受信側はMODEMからの符号化信号を直接フィールドメモリに書き込み、同時に標準TV速度で読み出し、復合化した後D/A変換してモニタする。

3.2 送信装置

送信装置は図3に示す各ブロックで構成する。

複合カラーTV信号入力から同期分離回路により、垂直、水平及びバースト信号(f_{sc})を抜きとり、これらに同期した $3f_{sc}$ のクロックを基本クロック発生器で発生し基本クロックとする。この $3f_{sc}$ を標本化クロックとして用いて入力の複合カラーTV信号を標本化・8ビットA/D変換する。また基本クロック及び垂直、水平同期信号よりメモリコントロール信号を発生し、このA/D変換された8ビットPCM信号をフィールドメモリに書き込む。

フィールドメモリは16KダイナミックRAMで構成されており、1メモリ周期は5基本クロック周期（約466ns）とし、これを駆動する各種のRAMコントロール信号及びアドレス信号を、メモリコントロール回路で発生している。この装置では伝送時間の短縮のため、メモリタイミングに一定の関係をもたせることにより垂直及び水平ブランディング期間に相当する信号は伝送しなくてよい方式を開発して用いており、実際にフィ

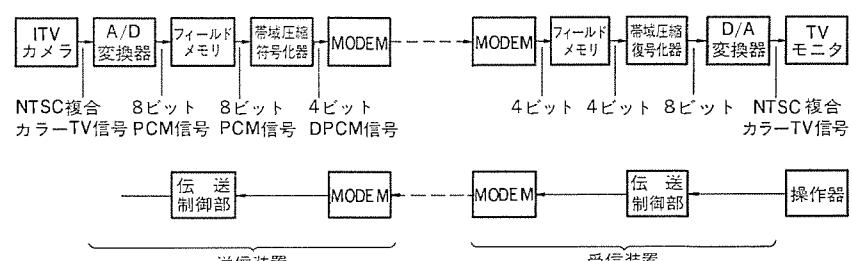


図2. カラーITV静止画伝送システム基本構成図

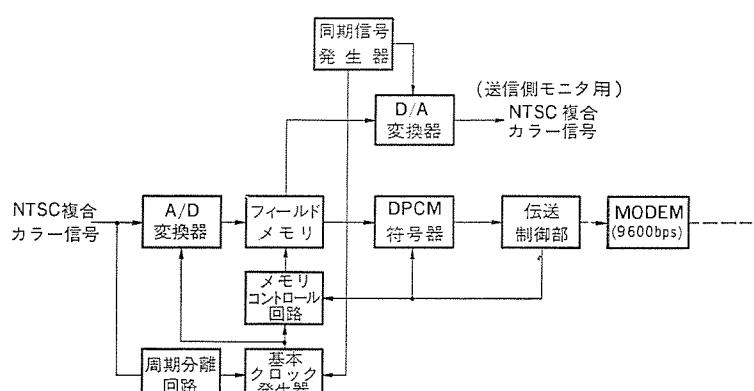


図3. 送信装置ブロック図

ールドメモリに書込まれるのはビデオ信号領域だけである。標準TV信号を $3f_{sc}$ (10.7MHz)で標本化した時、水平ブランディング期間を除く1水平走査線当たりの標本点数は580以下であり、垂直ブランディング期間を除く1フィールド当たりの走査線数は250以下であるので⁽⁴⁾、送信側のフィールドメモリはこれらをカバーする縦256×横640アドレスのメモリ各8ビットの構成とした。このように垂直及び水平ブランディング部分を除くことにより、全信号をメモリ・伝送する場合に比べて約22%のメモリ容量の節減及び伝送時間の短縮が可能である。またこの装置のように、送信側の画像を8ビットPCMの形でメモリすると、4ビットDPCMの形でメモリする場合のような画像書込時に実時間で高速の符号化をする必要がなく、更に送信側で画像モニタを行いたいときにも専用の復号器を必要とせずD/A変換するだけでモニタができるなど都合がよい。

伝送制御部からの伝送クロックにより、低速でフィールドメモリから8ビットPCM信号を読み出し、DPCM符号器で符号化され4ビットDPCM信号となり、伝送制御部で伝送用フォーマットに変換され、MODEMを介して狭帯域伝送路へ送り出される。

送信側モニタのために、モニタ用の同期信号発生器で発生した同期信号に合わせ、標準TV速度($3f_{sc}$)でフィールドメモリから、8ビットPCM信号を読み出し、D/A変換器によりアナログビデオ信号とし、同期信号及びバースト信号を加えたNTSC標準複合カラーTV信号が取り出せる。

3.3 受信装置

受信装置は図4に示す各ブロックで構成する。

狭帯域伝送路を通じて送られてきた信号はMODEM、伝送制御部を経て4ビットDPCM信号となり、伝送制御部からの伝送クロックにより、受信側のフィールドメモリに4ビットDPCMの形で書込まれる。受信側のフィールドメモリも送信側と同様のアドレス構成であるが各4ビットで容量は半分である。

モニタ用の同期信号発生器で発生したバースト信号(f_{sc})の3倍のクロックを基本クロック発生器で発生し、基本クロック($3f_{sc}$)とする。この基本クロック及び伝送制御部からの伝送クロックよりメモリコントロール信号を発生し、上記の書込動作が行われる。モニタ用の同期信号及びバースト信号に合わせ、標準TV速度($3f_{sc}$)でフィールドメモリからDPCM信号を読み出し、DPCM復号器で8ビットPCM信号とし、D/A変換してアナログビデオ信号を得る。これにモニタ用同期信号発生器からの同期信号及びバースト信号を加えNTSC複合カラーTV信号を得る。

NTSC標準複合カラーTV信号は、色副搬送波については2フレームを単位とする繰り返し信号である⁽¹⁾ため、フィールドメモリの信号をこのような形にするのに、この装置ではD/A変換器の出力デオビ信号を輝度信号Yと色信号Cとに分離し、C信号をフレームの構成を考慮してフレーム周期で反転した後、合成する方式を用いている。

表1に、この装置の仕様を示し、図5に装置の外観を示す。また図6には、この装置に用いたメモリ基板を示す。

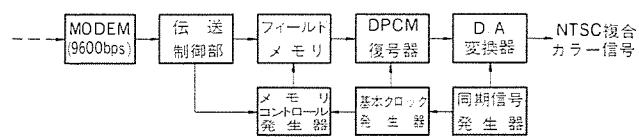


図4. 受信装置ブロック図

表1. カラーITV静止画伝送装置仕様

	NV-300	NV-400
カラーワーク	NTSC方式	NTSC方式
伝送路	0.3~3.4kHz 電電公社D-1規格相当	48kHz 電電公社I規格相当
通信方式	全2重通信方式	全2重通信方式
画像伝送速度	9,600bps	48Kbps
1画面伝送時間	30/60秒 2段階切換	6/12秒 2段階切換
帯域圧縮方式	DPCM 帯域圧縮方式	DPCM 帯域圧縮方式
圧縮比	1/2	1/2
帯域変換方式	ICメモリ・フィールドメモリ	ICメモリ・フィールドメモリ
誤り制御方式	CRCチェック方式、自動再送修正	CRCチェック方式、自動再送修正
制御伝送速度	200, 600, 1,200bps	200, 600, 1,200bps
送像コード	SINGLE/CONTINUOUS	SINGLE/CONTINUOUS
映像入出力	NTSCカラーTV信号 VBS 1.0Vp-p/75Ω	NTSCカラーTV信号 VBS 1.0Vp-p/75Ω
解像度	水平250本以上 垂直170本以上(伝送速度LOW)	水平250本以上 垂直170本以上(伝送速度LOW)
階調特性	グレースケール10階調以上	グレースケール10階調以上
表示方式	書換画面の同時表示又は 瞬時切換表示	書換画面の同時表示又は 瞬時切換表示
S/N比	42dB以上	42dB以上
許容周間温度	0~40°C	0~40°C
電源定格	AC 100V±10% 50/60Hz 1φ	AC 100V±10% 50/60Hz 1φ

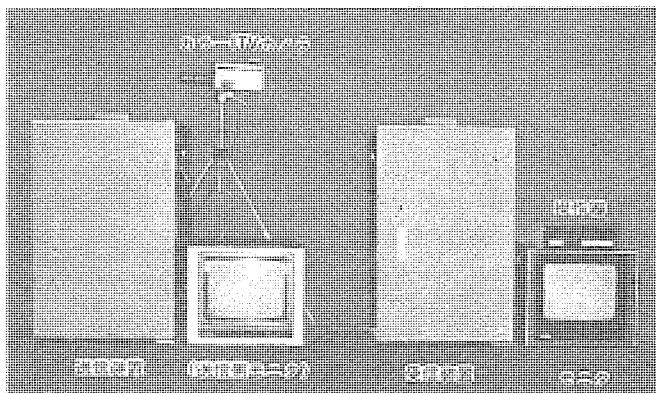


図5. 装置の外観

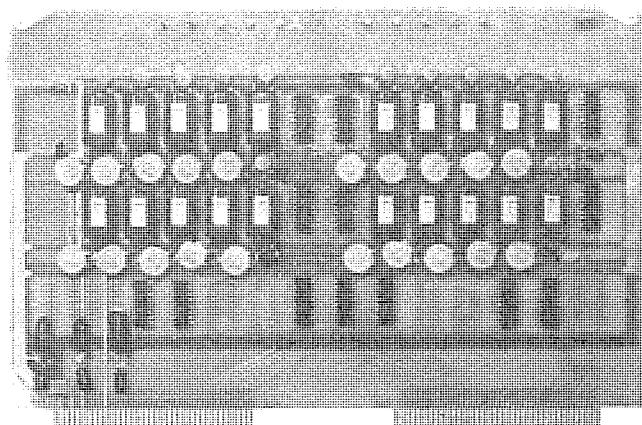
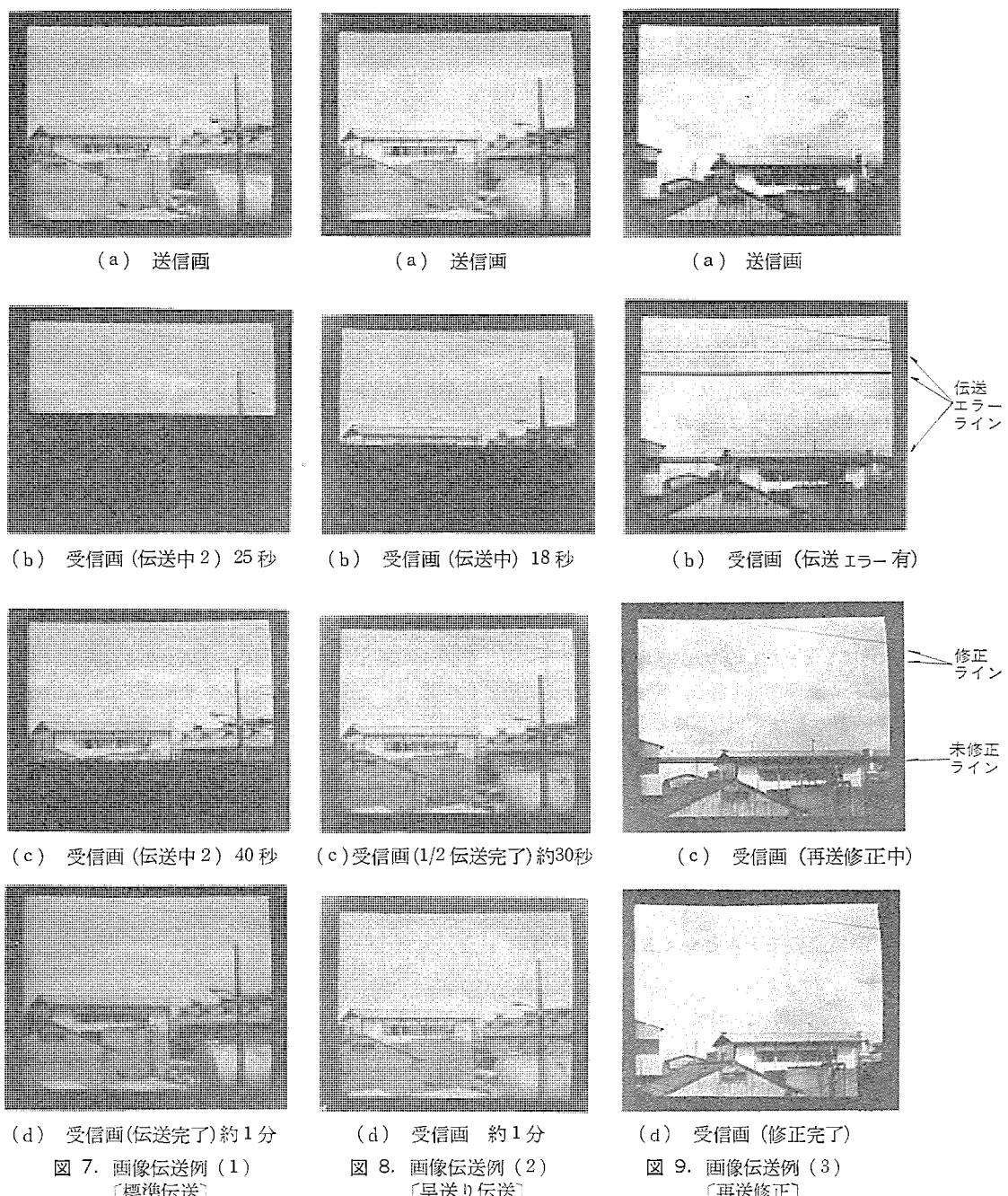


図6. メモリ基板

4. 画像伝送方式

この装置では利用者の目的、用途に応じて種々の伝送モードを選択できるように工夫している。すなわち、標準的な画像伝送の場合には、画像の上部からライン単位で順次伝送する。この場合、受信画像が完成するにはデータを伝送する必要があり、伝送時間は約1分である。この場合の1例を図7.に標準伝送として示す。用途によっては垂直方向の解像度が要求されない場合、及び最終的には正規の解像度が要求されるが伝送途中、より早く全体の画像内容をは(把)握したい場合がある。このような要求に対して、この装置では画像のラインを1本おきに伝送、又は1本おきに伝送した後、残りのラインを伝送する機能をもたせ対処できるようにした。この場合の1例を図8.に早送り伝送として示す。

伝送路エラーに対しては、伝送制御部でRC方式によるチェックを行い、再送指令を制御回線を介して送信側に送り、ライン単位の再送修正を自動的に行う。この動作例を図9.に再送修正として示す。



5. むすび

新しく開発したカラーITV静止画伝送装置の概要について述べた。遠隔監視の分野などにおいては、できるだけ安いコストで高品質の画像を送る要求がますます高まりつつあり、この装置がそのような幅広い用途に大いに役立つと期待される。今後は更に圧縮率を高め、

伝送時間の短縮及び画品質の向上を目標に研究開発を進めるとともに、装置の小形化など性能の向上をはかっていく予定である。

参考文献

- (1) J. B. O'Neal, Jr : BSTJ 45, 5 May-June, 689 (1966)
- (2) 滝、青木、樋渡：画像工学、コロナ社 (昭48)
- (3) 梅田、大森：TV学会誌, 26, 8, 659 (昭47)
- (4) TV学会編：テレビジョン工学ハンドブック、オーム社 (昭44)

群集流・避難誘導シミュレータ

中崎勝一*・和泉陽平**・寺沢昭夫***

1. まえがき

最近、都市においてビルの高層化や、駅ターミナルを中心とする地域再開発によるビルの大形化、複合化などの傾向が著しい。一般にこれらのビルは、デパート、ショッピングセンタ、飲食店、ホテル、オフィスなど不特定多数の人が利用する複合用途ビルであり、設計計画に際しては十分な防災対策がなされなければならない。つまり、避難計画を中心とした建築計画面、防災諸設備のシステム的運用面、更には、防災設備と空調設備をはじめとする他のビル用設備との有機的運用面など多面的な検討が必要である。特に、避難誘導については、従来の火災報知機、非常放送、避難誘導灯、避難器具などの設備のみに頼るのではなく、火災の際の熱・煙・有毒ガスの伝ば(播)挙動、群集心理などを考慮したシステム的アプローチが必要である。

当社は以前から、避難誘導を含む、防災システムのシステム化に関する研究開発を行ってきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。その1つの成果として、避難時間を最小とするための避難方向決定を目的とする避難群集流解析のためのシミュレータを開発したので、本文でその概要を紹介する。なお、この群集流・避難誘導シミュレータの具体的な応用としては、建築計画における避難計画評価などが考えられ、その簡単な使用例についても例示する。

2. 群集流のモデルとシミュレータの目的

地下街やショッピングエリアなどの一定の場所に不特定多数の人が集まっている場合を群集と呼び、火災などの災害時における群集の心理

と行動は種々検討されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。その心理的側面では、不安や情報不足を共通な因子として、多くの子を散らすようなばらばらな拡散的な動き、あるいは出口に向かう動き、その場での何らかの動きをきっかけとする一斉の雪崩現象などの、いわゆる群集心理による行動が混乱を引きおこすと言われている⁽⁴⁾。このような群集行動のシミュレーションも行われている⁽⁷⁾が、この心理的要因による群集の動きを正確にシミュレートすることは困難である。

この群集流の心理的側面による混乱をいかに避けるかということともさることながら、実際の避難時の通路の確保及び避難情報提供などの一連のバックアップ機能や避難計画が必要である。このため、ここでは群集流の心理的側面を対象外として、避難する人々がある避難計画に従って通路網を流動する場合の群集密度の時間的・空間的变化をシミュレートすることにより、避難計画を評価することを目的とするシミュレータを構成する。具体的には、このシミュレーションを繰り返すことにより、避難時間を最小とするための避難方向決定を行うことができる。

2.1 群集流のモデル

このシミュレータでは、ある通路における群集流の密度変動は、流入・流出流量の差に起因するという簡単なダイナミックモデルで表す。そのとき密度集中による密度の低下をモデル化した密度-速度特性を使って、通路の流出量を、その通路の幅、群集流密度、速度、下流側通路の混雑度、通路の曲がり形状などの関数として考える。また、通路の流入流量は、その通路に接続している上流側通路の流出流量の和と考える。このようなダイナミック特性の群集流密度変動で、群集流の流動状況をシミュレートする。

3. シミュレータの構成

このシミュレータでは、地下街などの平面的通路構成あるいは高層ビルなどの立体的通路構成のいずれに対しても、図2.に示すような通路とホールの組合せとしてネットワーク表現することにより、対象区域の物理構成を入力する。更に、この情報を利用して求めた各出口

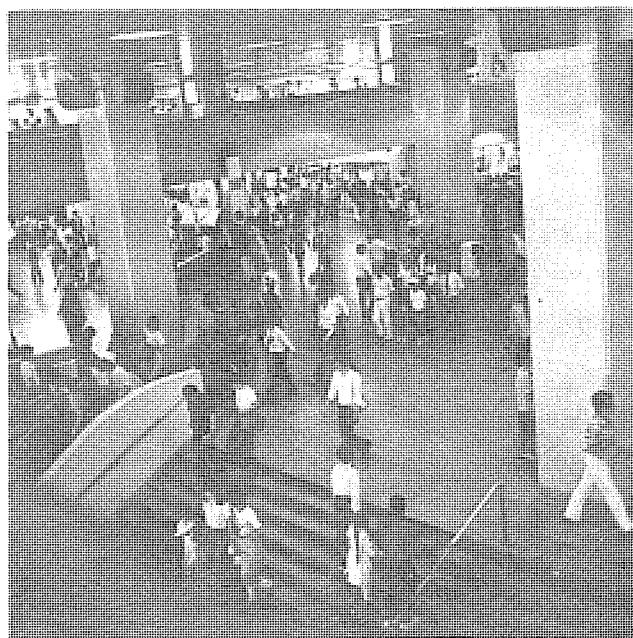


図1. 駅ターミナルでの人の流れ

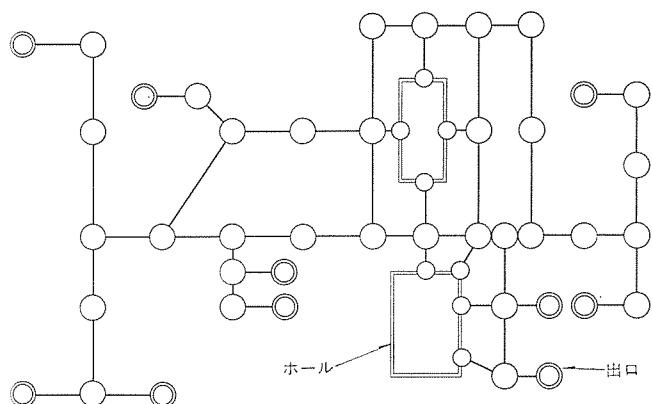


図2. 対象通路のネットワーク表現

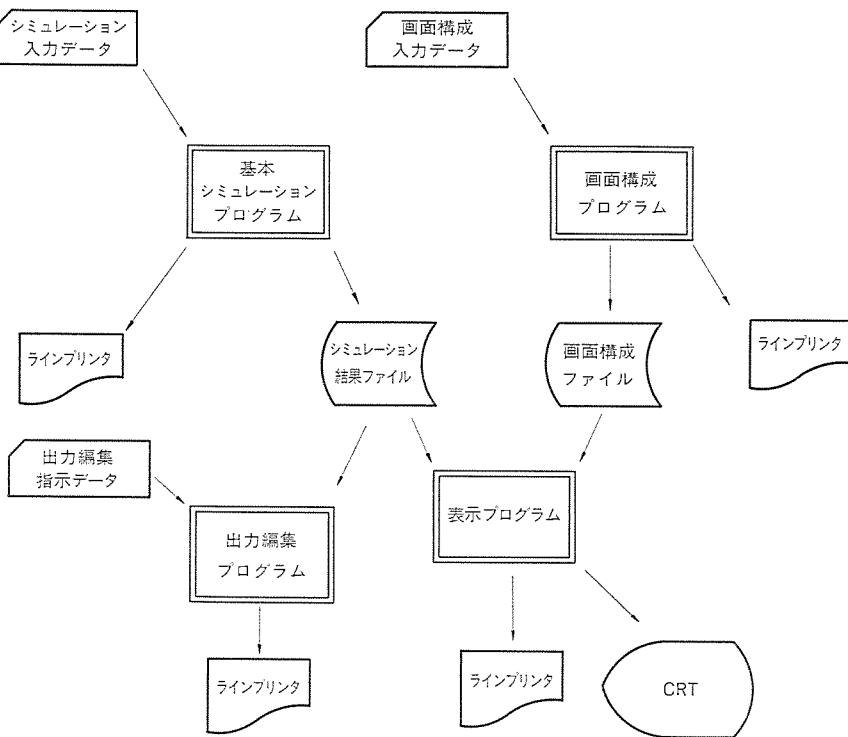


図 3. システム構成図

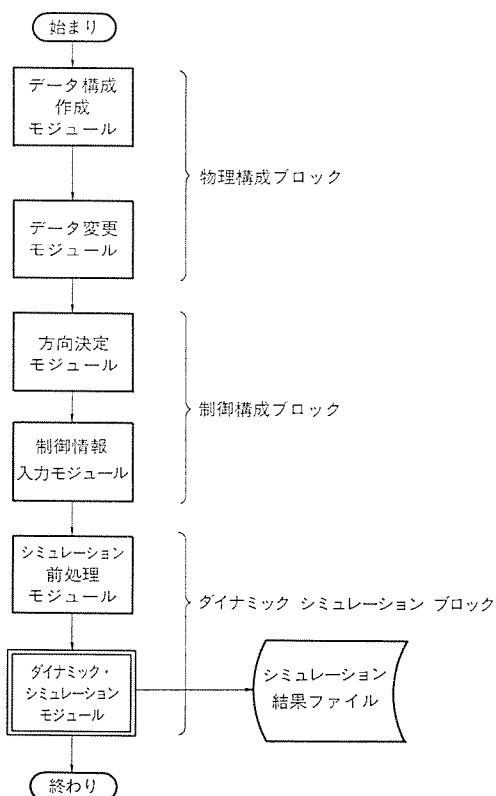


図 4. 基本 シミュレータ の プログラム構成と流れ

への最短時間経路情報と避難方向指示の制御情報とによって避難計画に沿った避難方向決定を行い、群集流モデルにより、その流动状況をシミュレートする。

3.1 シミュレータのシステム構成

システム構成を図 3. に示す。シミュレーションプログラムと表示プログラム、出力編集プログラムはシミュレーション結果ファイルを介して結合されてい

る。画面表示プログラムを利用すると、前もって作られている画面構成ファイルとシミュレーション結果ファイルとを利用することにより、群集流の空間的な密度変動を表示できる。

また、出力編集プログラムを利用すると、各通路の密度の時間的推移を表示できる。

3.2 基本シミュレータの構成と機能

ここでは、システムの基本要素である基本シミュレーションプログラムの構成と機能について述べる。

図 4. に示されているように、基本シミュレーションプログラムは、大きく分けると物理構成ブロック、制御ブロック、シミュレーションブロックから構成されており、各モジュールの機能を次に示す。

(1) データ構造作成モジュール

このモジュールでは、対象区域のネットワーク情報をデータ構造の形で格納するとともに、各通路の特性値、初期密度を読込む。

(2) データ変更モジュール

このモジュールでは、火災発生時などの通行不可能な通路を指定し、この通路へ流入する通路方向の使用を禁止する。

(3) 方向決定モジュール

このモジュールでは、上に述べた2つのモジュールで入力された入力情報を用い、対象区域内のすべてのノードから出口への避難経路を最短パスアルゴリズムを用いて決定する。

(4) 制御情報入力モジュール

このモジュールでは、分岐点での方向指示を入力するとともに、モジュール(3)で方向決定されなかった通路の方向を決定する。ここでの入力指示がない場合には、最短パスアルゴリズムで決定された避難経路に準じてすべての方向が決定される。

(5) シミュレーション前処理モジュール

このモジュールでは、ダイナミックシミュレーションに都合のよいようにネットワークデータ構造の変換と、ダイナミックシミュレーションに必要な各種設定条件を入力する。

(6) ダイナミックシミュレーションモジュール

このモジュールでは、群集流の流动状況をシミュレートし、その結果をシミュレーション結果ファイルに出力する。

3.3 出力用プログラムの機能

このシミュレータにおいては、前述した基本シミュレータプログラム以外に出力用として次のプログラムが準備されている。

(1) 画面構成プログラム

このプログラムでは、群集流の空間的な密度変動表示のために、ネットワーク情報入力により、対象ネットワークの画面構成を行い、その画面情報を画面構成ファイルに出力する。

(2) 表示プログラム

このプログラムでは、シミュレーション結果ファイルと画面構成ファイルとによって、各時間ごとの群集流密度分布を画面上に表示する。

(3) 出力編集プログラム

このプログラムでは、シミュレーション結果ファイルを用いて特定の通路の群集流密度の時間的推移をラインプリンタへグラフ出力する。

4. 入出力データ

基本 シミュレータ の入力形式は、図 5. に示すように、

- (1) ネットワーク 情報………通路の特性、接続関係、初期密度
 (2) 変更情報 ………火災時の使用不可能通路の指定
 (3) 制御情報 ………分岐点における方向指示
 (4) シミュレーション 条件情報………各種 パラメータ の設定

の順に入力される。また、図2.のようネットワーク表現されたモデルケースに対してシミュレーションを行った場合の出力例を図6.に示す。この例では、10箇所の出口に向けての群集の移動状況が群集密度に

図 5. 入力データ例

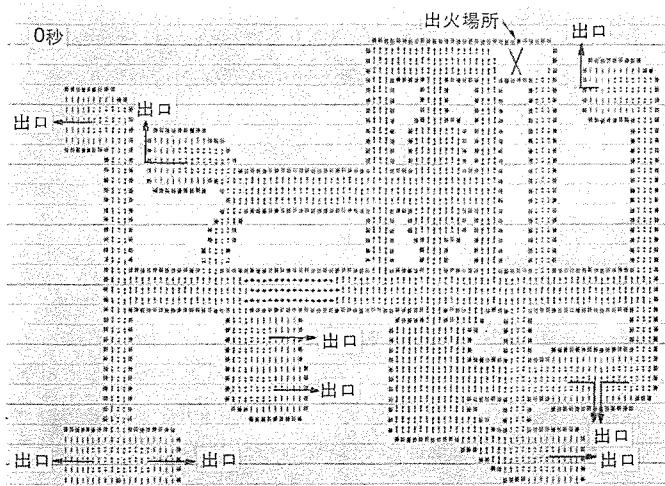
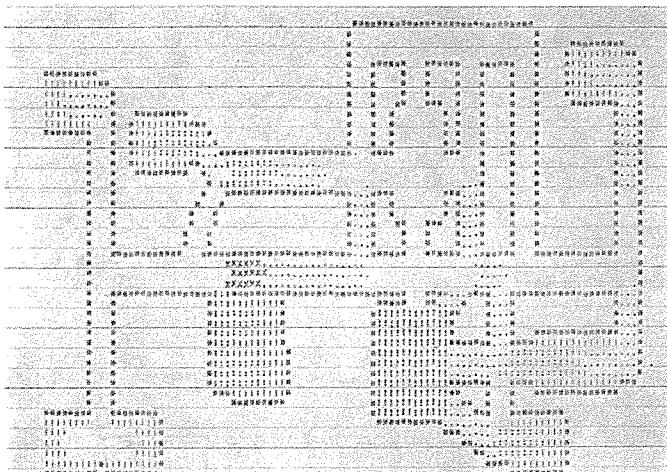


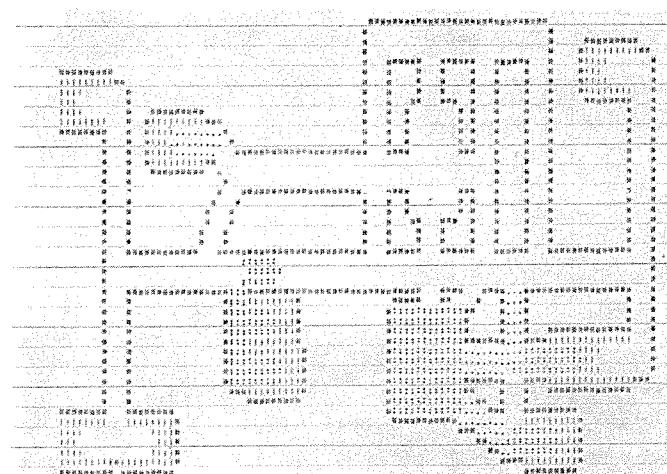
図 6. (その 1) 出力データ例

対応したグラフの濃淡によって表されている。

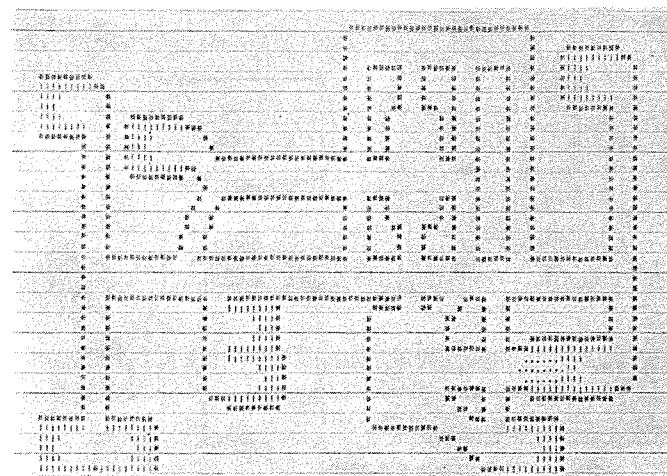
更に判断を助ける意味で、平均避難時間、残留率（避難開始時点における対象区域内の総人に対する現時点での残留人比）の時間的推移などが示される。



60秒後



80秒後



120秒後

5. 建築・避難計画への適用

ここでは、実際の建物構成をモデルにしたシミュレーション例によって、このシミュレータの使用例を説明し、建築・避難計画評価への適用について述べる。

モデルケースに対して行ったシミュレーションの結果、次のようなことが分かった。

(1) 人の流れの集中・分散は、図7.に示すように、全体の避難状況に著しい影響を及ぼす。

(2) 出口付近などは人の流れの集中することにより、渋滞現象が生じる。

この結果、人の流れを分散させるように誘導指示することが、避難時間短縮の1つの戦略として考えられる。このため、このシミュレータを用いての避難計画の検討において、どのような方向指示によって群集流の分散を図るかが、主要なポイントとなり、その最適な方向指示時の避難時間が、その建物構成を評価する指標と考えられる。

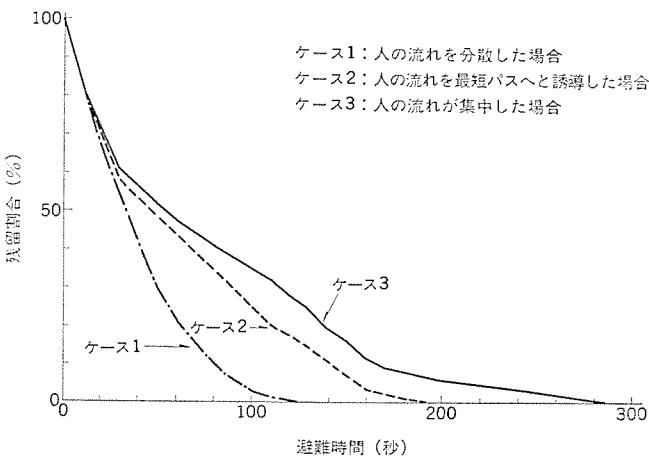


図7. 避難状況の比較

このことで明らかのように、実際の避難に際して、避難状況に重要な影響を及ぼすものとして、方向指示・誘導のほかに、通路・非常口などの建物の構成、初期人数分布などが考えられる。これに対して、建物の構成を変えることによって、これらの影響を解析することが可能である。

更に進んだ形での応用例としては、避難誘導方向制御などが考えられるが、これについては、熱・煙の伝播挙動解析⁽⁵⁾⁽⁶⁾、群集心理解析、群集流計測など一連の手法・技術との組合せが不可欠であり⁽¹⁰⁾、今後とも継続的な検討が必要である。

6. むすび

以上、当社の開発した群集流・避難誘導シミュレータの概要とその使用法について紹介した。このシミュレータは、防災システムのシステム化を進める上で不可欠なものと考えられるが、熱・煙の伝播挙動解析など残された問題も多い。当社では今後とも、防災システムの研究開発・実用化を進めていく所存である。今後とも関係各位のご教示をお願いしたい。

参考文献

- (1) 和泉、小沢：三菱電機技報、50, No. 7, p. 397 (昭51)
- (2) 今出、和泉：電気学会誌、93, No. 6, p. 499～506 (昭48)
- (3) 池見、小沢：三菱電機技報、48, No. 11, p. 1,330～1,333 (昭49)
- (4) 日本火災学会：災害時の心理と行動、火災科学セミナー(昭48)
- (5) 藤田：計測学会論文集、12, No. 4, p. 424 (昭51)
- (6) 広瀬：電設工業、No. 6, p. 17～22 (昭49)
- (7) 平井、榎井：システムと制御、21, No. 6, p. 331 (昭52)
- (8) 藤井：空気調和・衛生工学、47, No. 10, p. 12～16 (昭48)
- (9) 若松、田中：空気調和・衛生工学、48, No. 1, p. 62～78 (昭49)
- (10) 今出：安全・防災システムと計画、東京電機大学出版局 (昭50)

空調機におけるマトリクス電子制御方式

松岡文雄*

1. まえがき

近年、省エネルギーは社会的要請となってきており、空気調和の分野においても、省エネルギー形の機器及び制御方法の開発が時代の要請となっている。

そこで、空気調和装置の最適設計・最適制御を実行するために、その各構成要素が能力・成績係数などのシステム特性におよぼす影響を判定するシミュレーションプログラムを開発して多対多対応のマトリクスとしてまとめた。これをコンピュータと組合せることにより、快適性を維持しつつ常に最小消費電力となるような空気調和装置の最適運転制御を、容易に行うことができる。

2. 冷凍サイクルモデル

空気調和装置における標準的な冷凍サイクルのモデルを図1に示す。圧縮機にはレシプロ形出力2.2kWを使用し、冷暖房切換用四方弁を介して室内側熱交換器・温度式膨張弁・室外側熱交換器及び受液器で構成する、標準的な冷凍サイクルモデルの暖房運転例である。図2にその冷媒の動きをモリエル線図上で示した。ここで、熱物性値的な機能としての基本的な冷凍サイクル構成要素として、圧縮機の理論ピストン押しのけ量 V_p 、室内側熱交換器の伝熱面積 A_t に総括熱通過

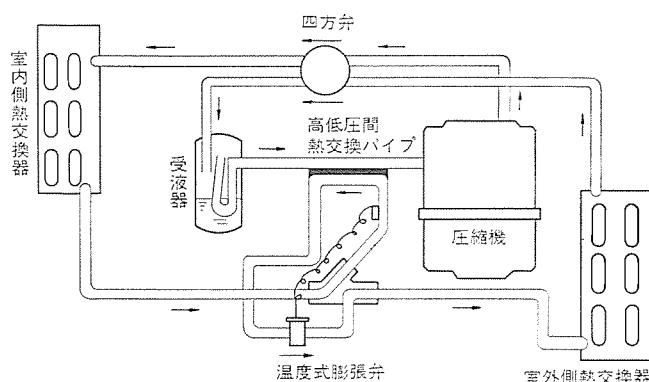


図1. 冷凍サイクルモデル (暖房運転)

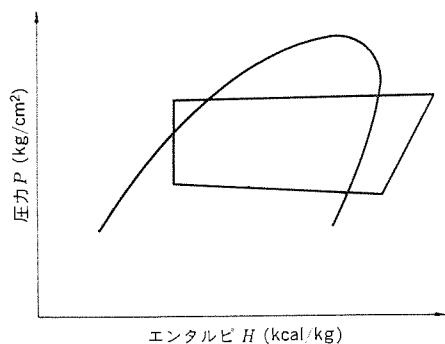


図2. モリエル線図上の冷凍サイクル

率 K_t を乗じた熱交換特性 $A_t \times K_t$ 、温度式膨張弁の開度特性に基づく凝縮器出口冷媒の過冷却度 S_c 、室外側熱交換器の伝熱面積 A_0 に総括熱通過率 K_0 を乗じた熱交換特性 $A_0 \times K_0$ 、及び高低圧間熱交換パイプの伝熱面積 A_h に総括熱通過率 K_h を乗じた熱交換特性 $A_h \times K_h$ を取り上げることにする。

3. シミュレーション

この解析に使用したシミュレーションプログラムのゼネラルフローチャートを図3に示す。このプログラムでは、上記冷凍サイクルの各構成要素をパラメータとしてインプットし、単位換算など前処理計算と、空気調和装置起動前の冷媒の分布計算を行った後、運転開始後の計算を実行す

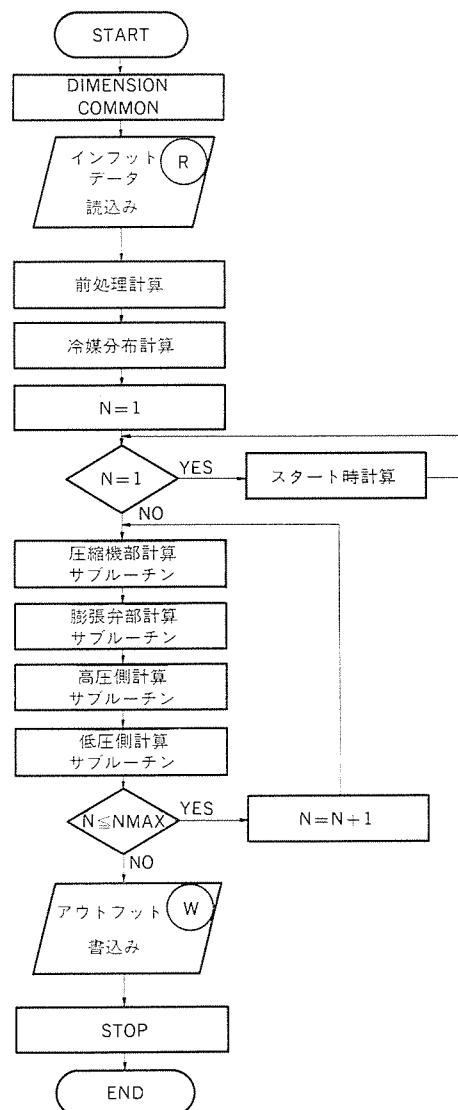


図3. ゼネラルフローチャート

表 1. 空調機各要素の冷暖房能力と成績係数におよぼす影響

構成要素	冷 房 時	暖 房 時
$A_i K_i$	$Q_c = 2521 A_i K_i + 3614$ $COP_c = 0.2197 A_i K_i + 1.848$	$Q_h = 394.1 A_i K_i + 6103$ $COP_h = 0.6328 A_i K_i + 2.143$
$A_0 K_0$	$Q_c = 762.6 A_0 K_0 + 5430$ $COP_c = 0.5617 A_0 K_0 + 1.506$	$Q_h = 1791 A_0 K_0 + 4706$ $COP_h = -0.02414 A_0 K_0 + 2.800$
V_p	$Q_c = 3184 V_p + 3009$ $COP_c = -0.8428 V_p + 2.911$	$Q_h = 4938 V_p + 1559$ $COP_h = -0.6722 V_p + 3.448$
$A_h K_h$	$Q_c = -240.3 A_h K_h + 6433$ $COP_c = -0.03914 A_h K_h + 2.107$	$Q_h = 98.28 A_h K_h + 6399$ $COP_h = 0.01793 A_h K_h + 2.758$
S_c	$Q_c = -22.31 S_c + 6262$ $COP_c = 0.0003751 S_c + 2.067$	$Q_h = 18.25 S_c + 6424$ $COP_h = 0.01275 S_c + 2.725$

る。ここでは、前述した冷媒の流れを考慮し、圧縮機部サブルーチン・膨張弁部サブルーチン・高圧側凝縮器部サブルーチン・低圧側蒸発部サブルーチンと順次計算を行い、時々刻々冷媒の変化を追っていくようにしている。前章で述べた冷凍サイクルの各構成要素を規格化して1.0とし、この値を0.5, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5に変化させてシステム特性を計算した結果を表1.に示す。この表において、 Q_c は冷房能力 kcal/h, COP_c は冷房成績係数、 Q_h は暖房能力 kcal/h, COP_h は暖房成績係数を表している。

4. 冷凍サイクル各構成要素とシステム特性 のマトリクス相関

冷凍サイクルの各構成要素 ($A_i \times K_i$, $A_0 \times K_0$, V_p , $A_h \times K_h$, S_c) とシステム特性 (Q_c , COP_c , Q_h , COP_h) との相関を式(1)に示す。

$$\begin{aligned} \delta Q_c &= \frac{\partial Q_c}{\partial A_i K_i} \cdot \delta A_i K_i + \frac{\partial Q_c}{\partial A_0 K_0} \cdot \delta A_0 K_0 + \frac{\partial Q_c}{\partial V_p} \cdot \delta V_p \\ &\quad + \frac{\partial Q_c}{\partial A_h K_h} \cdot \delta A_h K_h + \frac{\partial Q_c}{\partial S_c} \cdot \delta S_c \\ \delta COP_c &= \frac{\partial COP_c}{\partial A_i K_i} \cdot \delta A_i K_i + \frac{\partial COP_c}{\partial A_0 K_0} \cdot \delta A_0 K_0 + \frac{\partial COP_c}{\partial V_p} \\ &\quad \cdot \delta V_p + \frac{\partial COP_c}{\partial A_h K_h} \cdot \delta A_h K_h + \frac{\partial COP_c}{\partial S_c} \cdot \delta S_c \\ \delta Q_h &= \frac{\partial Q_h}{\partial A_i K_i} \cdot \delta A_i K_i + \frac{\partial Q_h}{\partial A_0 K_0} \cdot \delta A_0 K_0 + \frac{\partial Q_h}{\partial V_p} \cdot \delta V_p \\ &\quad + \frac{\partial Q_h}{\partial A_h K_h} \cdot \delta A_h K_h + \frac{\partial Q_h}{\partial S_c} \cdot \delta S_c \\ \delta COP_h &= \frac{\partial COP_h}{\partial A_i K_i} \cdot \delta A_i K_i + \frac{\partial COP_h}{\partial A_0 K_0} \cdot \delta A_0 K_0 + \frac{\partial COP_h}{\partial V_p} \\ &\quad \cdot \delta V_p + \frac{\partial COP_h}{\partial A_h K_h} \cdot \delta A_h K_h + \frac{\partial COP_h}{\partial S_c} \cdot \delta S_c \end{aligned} \quad \cdots (1)$$

更に、表1.を使用すると式(1)はマトリクス式(2)となる。

$$\begin{bmatrix} \delta Q_c \\ \delta COP_c \\ \delta Q_h \\ \delta COP_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2521 & 762.6 & 3184 & -240.8 & -22.31 \\ 0.2197 & 0.5617 & -0.8428 & -0.03914 & 0.0003751 \\ 394.1 & 1791 & 4938 & 98.28 & 18.25 \\ 0.6328 & -0.02414 & -0.6722 & 0.01793 & 0.01275 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta A_i K_i \\ \delta A_0 K_0 \\ \delta V_p \\ \delta A_h K_h \\ \delta S_c \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

これを使えば、冷凍サイクル各構成要素の変化がシステム特性におよぼす影響を容易に明確にできる。また、式(2)を逆に使えば、所望するシステム特性を得るための各構成要素の必要変更量を求めることができる。そこで、次にその応用方法について述べる。

5. マトリクス電子制御方式

前述のマトリクスを実際の空気調和装置に適用する方法を図4., 図5.を用いて説明する。図4.は、空気調和装置にマイクロコンピュータを組込み、室内側熱交換器のファン、室外側熱交換器のファン及び圧縮機をコントロールできるようにした例である。図5.はこのマイクロコンピュータに、式(2)のマトリクスを記憶させて所要システム特性に沿って演算させ、構成要素の変更必要量を出力させるようにした例である。

5.1 容量制御

現在、空気調和装置による冷房運転時には、サーモスタットによるON-OFF運転制御が行われておらず、サーモスタットの設定温度・冷房能力・負荷の相対関係によって断続運転がくり返され、過渡運転状態にあることが多いといえる。つまり、機器のもの最も最高の運転状態ではなく、成績係数の悪い状態で使用されていることになる。この状態を明確にするため、壁などの熱容量・空気調和の動的冷房能力・動的成績係数・サーモスタットの室温制御仕様並びに冷房負荷を含めた空調システム全体の実測による評価を行い、その時間的変化状況を図6.に示す。ここで、 T_s はサーモスタットの室温設定温度、 ΔT_s は設定温度幅を示す。更に図7.に空調機がONした時の起動時の入力の時間的変化を示す。この図から、空調機の起動時は安定運転時に比べて入力が多く必要とされることが分かる。すなわち、安定運転時のCOP2.6に比べて、起動時のCOPは2.07程度にまで下がり、実に20%の減少となっている。したがって、空調機の連続運転を実施することは、省エネルギー的見地から極めて有効な制御であると

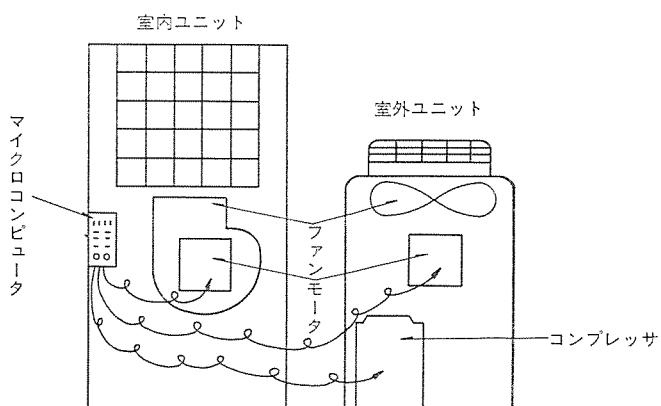


図4. マイクロコンピュータ組込空気調和装置

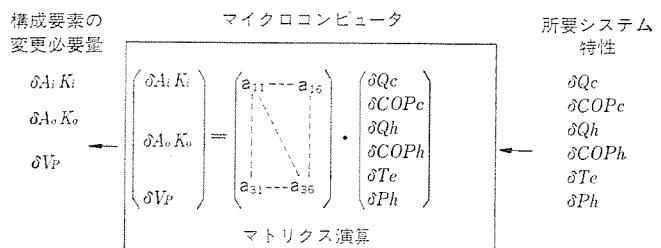


図5. マイクロコンピュータの利用方法

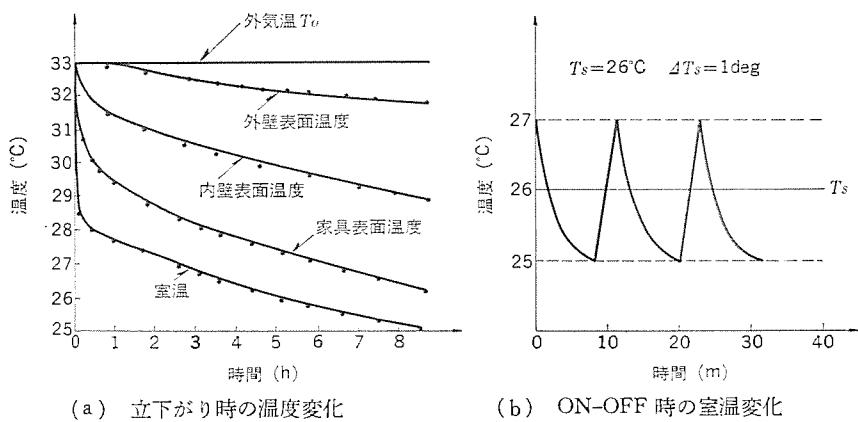


図 6. 空調システムの動特性

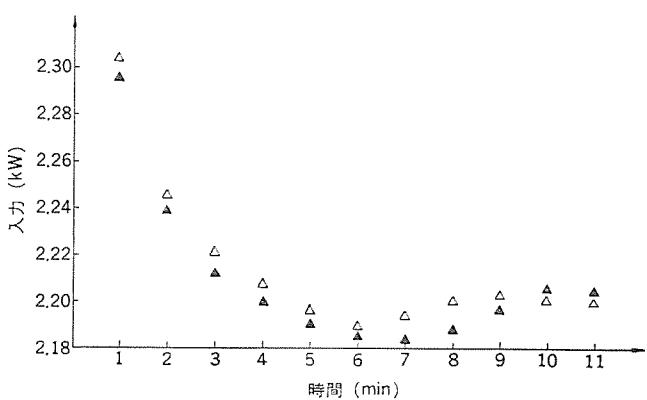


図 7. 再起動時圧縮機入力の時間的変化

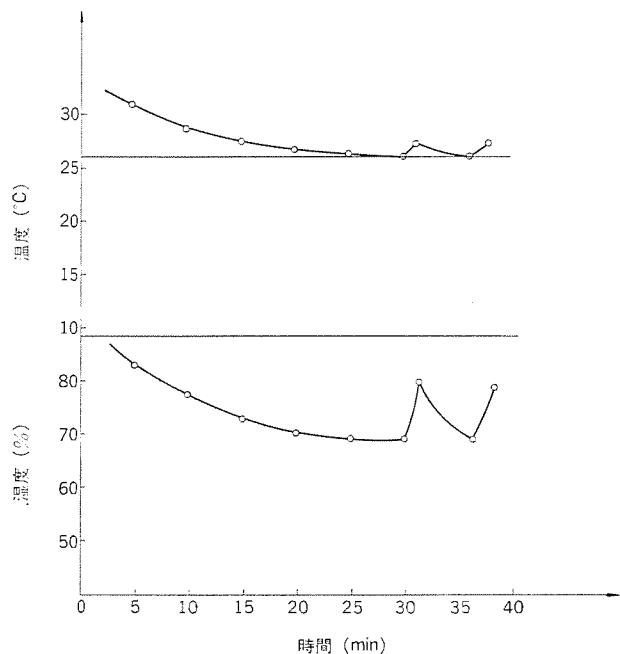


図 8. 冷房運転中の室内温湿度

いえる。ところが、図 6. に示すように室内・外の壁面温度などは壁の熱容量のために常に変化しており、例え内部発生熱が一定であつたとしても、トータル熱負荷としては動的変化をしており、室内温度を一定に保つためには、冷房能力を常に変化させてやらなければならぬ。このような時にこそ、これまで述べてきたマトリクス電子制御方式が有力な武器となってくるわけである。図 5. に示すよう

に、各時刻における必要冷房能力 Q_c がマイクロコンピュータにインプットされると、マトリクス演算が行われて各構成要素の変更必要量が output され、室内側あるいは室外側の熱交換器用ファンの速度調節や、ハード上可能ならば圧縮機の容量制御が行われる。しかも、所要システム特性の中に成績係数 COP_c を含めてあるため、常に最高の COP_c のもとでの容量制御を行わせることができる。このようにすれば、繁雑な ON-OFF 運転に比べてトータル的に COP を向上させるとともに、圧縮機の信頼性をも増加させることができる。

5.2 蒸発温度制御

梅雨時の湿気の多い季節に冷房運転をする場合の室内温湿度は、図 8. に示すような変化をする。この図では、室内相対湿度がまだ 70% までしか下がっていないのに、室温が 26°C まで下がっている。このような時に快適な環境を作るためには、潜熱比の大きい（冷房能力のうち顯熱による温度変化より潜熱による除湿能力の大きい）運転が要求される。そのためには、蒸発温度を下げて運転する必要がある。そこで、式(1)・式(2)の中のシステム特性のうちに蒸発温度 T_e を含め、式(3)を導く。

$$\begin{bmatrix} \delta Q_c \\ \delta COP_c \\ \delta T_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta A_i K_i \\ \delta A_0 K_0 \\ \delta V_p \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (3)$$

今、冷房能力 Q_c と蒸発温度 T_e との要求があれば、式(3)で示す行列の演算によって、逆に室内側と室外側熱交換器のファン及び圧縮機の制御量を求めることができる。

5.3 運転範囲の拡大

冬期暖房運転時で暖房負荷が小さいとき、高圧側（凝縮器側）圧力が上昇して高圧カットオフになり、暖房運転が不可能となる場合がある。だからといって、高圧側圧力を下げて運転を続行させるために室外側熱交換器（蒸発器）用ファンの回転数を落とすと、こんどは低圧側圧力が下がり過ぎて蒸発温度が -10.0°C 程度になり、霜が着き始めてやがてはデフロストサイクルに入り、これもまた暖房運転続行不可能となる。この様子を図 9. に示す。暖房運転時には高圧側圧力が 26 kg/cm² 程度以下で、かつ蒸発温度が -5°C 以上であるようなシステム特性をもたせなければならない。室内側熱交換器用ファンと室外側熱交換器用ファンだけでこれを実行しようとすると、もはや構成要素 1 個を可変にしただけでは解決できない。両ファンを可変にした時に、いかなる相関でコントロールすれば、両者を制御限界内に入れるができるかを示したのが図 10. である。図中、 T_e は蒸発温度、 P_h は高圧側圧力を示す。斜線部は着霜領域、網目部は高圧カットオフ領域であり、両者を避ける制御領域は極めて狭いことが明確である。

この場合のマトリクスは、式(4)に示すような暖房能力 Q_h 、暖房成績係数 COP_h 、高圧側圧力 P_h 、蒸発温度 T_e を含んだものにすればよい。

$$\begin{bmatrix} \delta Q_h \\ \delta COP_h \\ \delta P_h \\ \delta T_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta A_i K_i \\ \delta A_0 K_0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (4)$$

この式を、図 4.、図 5. に示すように応用すれば、その時に必要

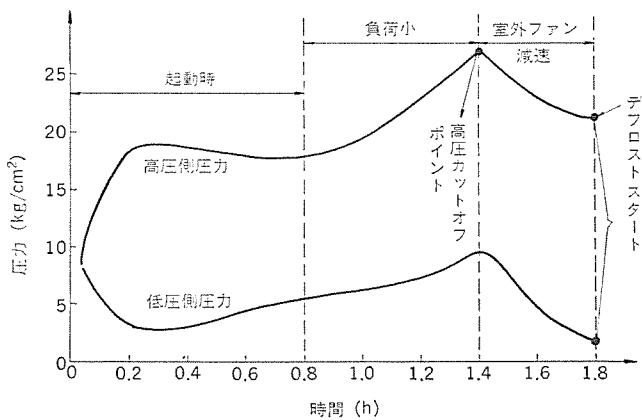


図 9. 高圧 カットオフ と デフロスト

な暖房能力に応じ、室内・外の両 ファンを図 10. に示す制限領域内で相関を持たせて制御することができる。

これまで述べてきたように、容量制御・蒸発温度制御・運転範囲の拡大などは、省エネルギー運転制御あるいは快適性の向上、更には機器自体の信頼性の向上を追求したものである。このような、きめ細かい運転を簡便に統一的に実行する手段として、マイクロコンピュータを使ったマトリクス電子制御方式の開発は、極めて有効であると確信している。

最後に、空気調和装置の機能制御用 ゼネラル フローチャートを図 11. に示す。

6. む す び

省エネルギーが強い社会的 requirement となってきており、空調・冷凍の分野にたずさわる技術者として、空気調和装置の省エネルギー運転方法を確立することは社会的義務と考えなければならない。一方、電子技術の発達に伴い、最近、マイクロコンピュータ組込みの機器が台頭しへじめているが、空気調和装置に関しては、未だその機能を十分に活用しているとは言い難い。本文では、マイクロコンピュータの持つ記憶・演算・判断の機能を利用してマトリクス手法を紹介し、これから電子制御による空気調和装置の最適制御の方向を示した。今後とも、ますます省エネルギーでかつ快適な空調を行うために、きめ細かい運転制御が要求されるであろうし、そのための道具としてのマイクロコンピュータを十分に活用する方法が開発されることを期待するものである。

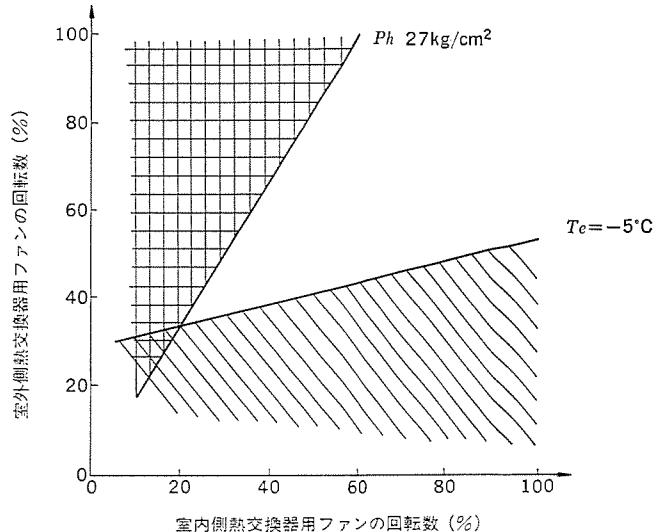


図 10. 室内・外両熱交換器用 ファンの速度調節限界

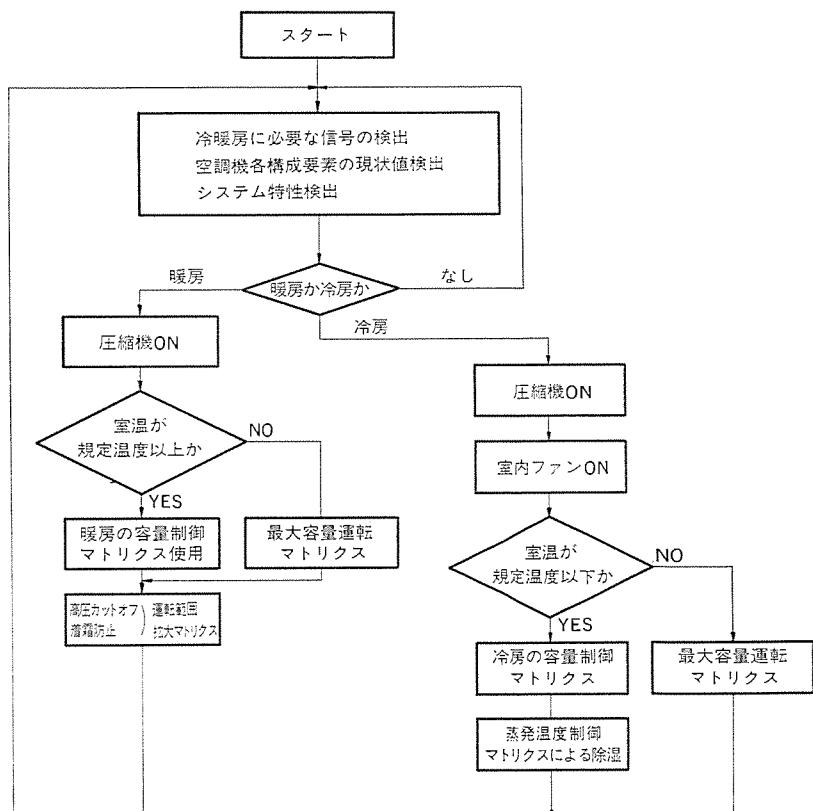
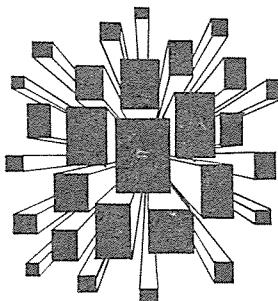


図 11. 空気調和装置の制御用 ゼネラル フローチャート

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
864440	マイカボンド用樹脂組成物	柴山恭一・小野 博 地大英毅	868126	張力制御装置	浅野哲正・柏原正信
864441	ゲル化等の時間自動記録装置	農守熊太郎・酒井国人	868127	空気清浄装置	草川英昭・柳下和夫
864442	ろう材供給装置	小倉正久	868128	円偏波発生器	光本誠一
864443	光記録材料	池尾寛文・野田正一 沢田隆夫・岡本栄知 武藤勝俊	868129	ケーブル巻取装置	橋本 勉・武田文雄
864444	耐熱軟化性が良好で無剥脱半田揚げ可能な電着用水分散ワニスの製造方法	柴山恭一・小野 博 地大英毅・佐伯英夫	868130	放熱 フィン付集積回路装置	渡辺克己
864445	半田揚げ性の良好な電着用水分散ワニスの製造法	柴山恭一・小野 博 地大英毅・佐伯英夫	868131	エレベータの非常運転装置	大久保利美・福渡英世
864446	電着塗料廃液の処理方法	柴山恭一・佐藤文彦 服部真知子	868132	危険速度回避装置	中野隆生
864447	無剥脱半田揚げ可能な電着用水分散ワニスの製造法	柴山恭一・小野 博 地大英毅・佐伯英夫	868133	リードアウト接点付カウンタ	釜池 宏
866134	光ドラレーダ装置	長能宗彦・須崎 渉	868134	過電流遮電装置	木戸正克
866903	換気装置	村松成夫・吉野昌孝	868135	電界応答装置	林 正之
867743	磁気テープ制御装置	仁田周一・菅 茂 今村長義・安藤 久	868136	冷却手段付半導体装置	中村 隆・茂手木良夫
868102	位相比較保護遮電装置	古谷昭雄	868137	多相交流回転電機の固定子の巻線方法	柴山恭一・小野 博
868103	パルス発生回路	壺井芳昭・佐々木武夫	868138	直流電動機の制御装置	藤井 翼
868104	オート・トランス系統の母線保護方式	高田信治	868139	周波数リレー	中田 仗祐
868105	回転電機の軸定位保持装置	藤山辰之・神田昭夫	868140	電動機の起動装置	堀尾 猛・柴田一雄
868106	TV音声多重ステレオ受信回路	寺田 武	868141	電力しゃ断装置	赤松昌彦
868107	エレベータ制御装置	安西伸夫	868142	ファクシミリ装置	田崎昭憲・坪井英二
868108	受信信号の自動切替回路	寺田 武	868143	ファクシミリ装置	山崎宣典
868109	インバータの並列運転方式	細野 勇	868144	電気掃除機	高木洋一郎
868110	半導体装置の電極	加藤忠雄	868145	蓄勢機構	小林弘男
868111	インバータ装置	赤松昌彦・熊野昌義 中堀一郎	868146	永久電流スイッチ	小林弘男
868112	多重母線保護遮電装置	辻倉洋右	868147	ロータリ式圧縮機の吐出弁装置	長嶺元・福田興司
868113	移動磁性体への磁気的マーク着磁装置	野田昌宏	868148	寸法検査装置	高橋 豊
868114	細線の接合装置	山本 勇・小倉正久 山崎雅敏	868149	ノッチングプレス	堤 長之
868116	事故点標定装置	前田耕二	868150	不飽和ポリエチル樹脂組成物	森川鉄也・佐藤 隆
868117	ネットワーク系統における逆電流しゃ断方式	美濃順一	868151	多相交流電力制御装置	山田忠利
868118	しゃ断器の制御方式	北浦孝一	868152	無接触探針	忠 五雄
868119	励磁装置	横田 浩	868153	変圧器	稻荷隆彦・井上 悟
868120	絶縁被膜形成装置	玉置明信	868154	エレベータの着床制御装置	木崎 精・掛水典義
868121	事故点標定装置	前田耕二	868155	圧延加工装置の制御装置	西崎俊一郎・不可三晃
868122	母線保護装置	高田信二・辻倉洋右	868156	変圧器鉄心自動組立装置	江藤昌平・森脇紀元
868123	振幅変調回路	岩部 昭・歩藤正信	868157	マンコンペアの運転管理装置	中島博行
868124	変圧器装置	八尾伊治	868158	電気車制御方式	岩本英雄
868125	液晶表示装置	柴山恭一・小野 博	868159	速度基準パターン発生回路	岡田和夫・菊池 誠
			868160	電着塗装の浴液管理法	白井 満
			868161	蓄冷熱材	安西伸夫
			868162	管と管板との自動アーチ溶接法	吉谷 豊・浜崎芳治
			868163	電子線照射装置	蘿原智・沢永 寧
					三矢周夫・三浦允之
					久山研一
					寺園成宏
					柴山恭一・佐藤文彦
					藤井良純
					成田勝彦・小島秀子
					小俣虎之助
					鶴飼 順・鉄 豊造
					石田国彦

特許と新案



半導体装置及びその製造方法 (特許 第 792945 号)

発明者 島田義行

この発明は、半導体多結晶中への不純物拡散速度が半導体単結晶中への拡散速度より早いことを利用して製造される新規な半導体装置に関するものである。

図1は従来のこの種半導体装置の製造工程を示す断面図で、まずp形基板(1)を準備し、その一部表面領域にn⁺埋込層(2)を形成した後、n形エピタキシャル層(3)を形成する(図1(a))。次にn形エピタキシャル層(3)の表面から選択的に拡散してp形分離層(4)を形成(図1(b))し、更にコレクタウォール(6)及びp形ベース領域(7)を形成(図1(c))するとともにn⁺形エミッタ層(8)を形成(図1(d))するものであった。

ところがこのような方法で作られる従来装置では、分離層(4)はn形層(3)の厚さに等しい深さだけp形不純物を拡散して形成されるため、その拡散に長時間を要し、作業能率が悪い欠点があった。

図2はこの発明装置の1実施例をあらわす製造工程図であり、p形基板(1)の所定表面部分及びn⁺埋込層(2)の所定表面部分にそれぞれSiO₂膜(9)(10)を被着した後、エピタキシャル成長させるものである。これにより、図2(b)に示すようにSiO₂膜(9)(10)の上には多結晶層(32)(33)が、SiO₂膜がない部分には単結晶層(31)がそれぞれ形成される。

次に、単結晶層(31)内と多結晶層(32)内へp形不純物の同時拡散を行い、p形ベース層(7)とp形分離層(41)を同時に形成する(図2(c))。続いてp形ベース層(7)内及びn形多結晶層(33)内にn形不純物を同時拡散し、N形エミッタ層(8)とn⁺コレクタウォール(61)

を同時に形成する(図2(d))。

このようにして製作される集積回路装置は誘電体薄膜(9)(10)を形成する工程は従来に比して付加するが、n⁺エミッタ領域(8)を形成するまでに必要な拡散工程は、p形ベース領域(7)及びp形分離層(41)を形成するための拡散、n⁺エミッタ領域(8)及びn⁺コレクタウォール(61)を形成するための拡散と2回の拡散工程でよく、作業時間が大幅に短縮される特長がある。

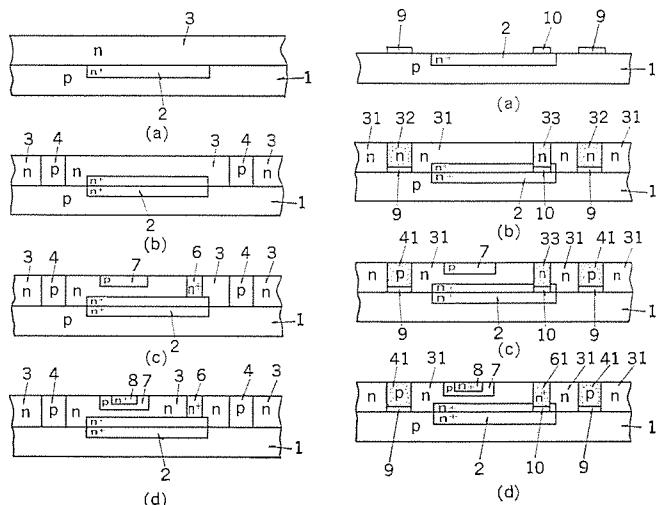


図2

回転電機の冷却液循環装置 (特許 第 778985 号)

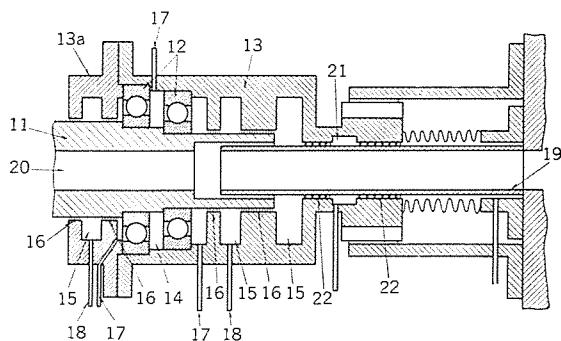
発明者 二川暁美

この発明は回転電機のか(稼)働に伴って生じる回転子の軸端の熱膨張による変位と同一変位を軸封用ハウジング部も行い得る構造により、軸封装置の設計の自由度を増大させて冷却液に対する漏えい(洩)防止効果の大きな回転電機の冷却液循環装置を提供しようとするものである。

図において、(11)は回転子の右方の軸端部でその外周には軸受(12)を介して軸受カバー(13a)を一体に固定した軸封用ハウジング(13)がかんごう(嵌合)支持されている。そして上記軸受(12)はハウジング(13)に形成したおう(凹)所(14)に取付けられ、その左側には1つ、右側には2つの凹所(15)が互いに間隔を隔てて形成され、上記凹所(14)、(15)間及び凹所(15)相互間のハウジング(13)と軸端部(11)との

間にはそれぞれ軸封装置(16)が設けられている。また図中(17)は上記軸受(12)を取付けた凹所(14)に開口する給油口で、この給油口から供給される潤滑液で軸受(12)を潤滑するとともに、上記潤滑液でシール用背圧を凹所(14)内に加える。(18)は上記凹所(14)の両側に隣接した凹所(15)に開口する潤滑液の排出口である。(19)は冷却液の供給管で、その基端部は静止部に配置された冷却液配管に接続され、そしてその先端部は上記ハウジング(13)の小内径となつた右端部を貫通して上記軸端部(11)に形成した中空孔(20)にそう(挿)入されている。上記供給管(19)の先端部とハウジング(13)の右端部との間にはハウジング(13)に形成した凹所(21)の両側に両者が相対的に軸方向にしゅう(摺)動し得る構成の摺動パッキング機構(22)が介在している。

しかし、このような構成によれば回転子の軸端部(11)が熱膨張により静止部に対して軸方向に変位しても、これとともに軸封用ハウジング(13)も変位する。したがって、これら両者間には相対軸方向変位は起らず、相対回転のみが存在するだけなので、軸封装置(16)にはラビリンス・シールはもちろん、他のメカニカル・シールその他のいわゆる通常の回転専用軸封手段も使うことができる。そのため供給管(19)と軸端部(11)の中心孔(20)との間げきを通してハウジング(13)内に入り込む冷却液が、外部に漏出するのを防止することができ、より効果的な軸封を行い得るものである。



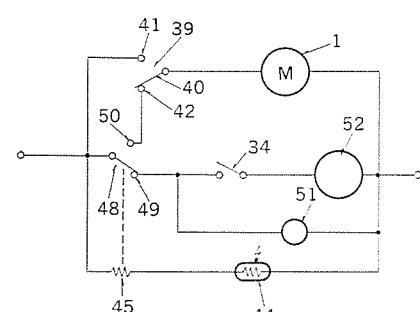
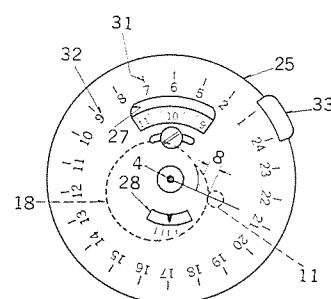
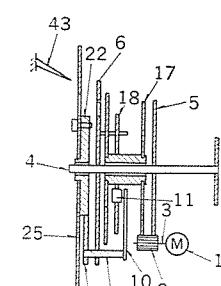
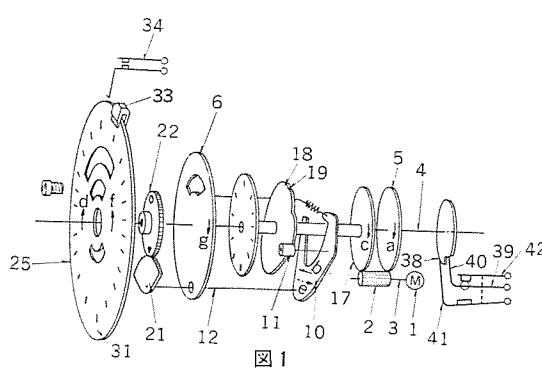
時刻開閉装置 (特許 第733710号)

発明者 神本明輝・元木義明

この発明は日の出時刻を利用した時刻誤差の少ない時計装置により、注意の時刻及び照度変化に応じた開閉動作を行い、例えばネオン灯、広告灯などの日没時点灯、深夜消灯、夜明け前再点灯、朝消灯を制御する時刻開閉装置に関し、累積誤差を生ずることなく、停電による遅れを自動的に回復する能力を有し、日の出時刻を利用して均時差を含まない正しい時刻をは(把)握し、昼間及び夜間の正しい時刻を読み取りやすく表示するものである。

図1ないし図4において、日の出に至り周囲の照度が大きくなれば、光電感光体(44)の抵抗値が減少しヒータ部(45)が発熱するので、熱応動継電器(48)は夜間側端子(49)を開いて常夜灯(51)を消灯させ、昼間側端子(50)を閉じて駆動源(1)を始動させる。駆動源(1)の回転は、出力軸(3)、小歯車(2)、歯車(5)、目盛板軸(4)を経て円板(6)を矢印方向に回転させるから軸(12)は目盛板軸(4)の周囲を公転する。駆動源(1)が回転を続けると、可動片(41)がおう(凹)部(38)に落下するので、切換開閉器(39)の中央可動片(40)は可動片(41)側を閉じ固定片(42)側を開き、駆動源(1)は熱応動継電器(48)の動作に関係なく回転を続ける。日没に至れば光電感光体(44)の抵抗値が増大するので熱応動継電器(48)は復帰し、常夜灯(51)を点灯させる。目盛板(4)が始動から1回転を終了したとき、中央可動片(40)は凹部(38)に落下するので、中央可動片(40)は固定片(42)側に閉じる。したがって、駆動源(1)は停止する。すなわち、駆動源(1)は始動後22時間だけ連続回転したことになり、この間、固定時刻指標(43)は時刻目盛(31)及び時刻数字(32)によって時刻を表示する。その後は、昼間側端子(50)が閉となるまで、すなわち日の出時刻まで駆動源(1)は停止する。このように駆動源(1)の再起動時刻は日の出時刻に強制されるので停電による遅れ回復、時刻誤差累積の破算の作用がなされる。負荷(52)を開閉させたいときは、制

御爪(33)を希望の時刻目盛(31)位置に摩擦固定すれば、制御爪(33)の幅に相当する時間だけ開閉器(34)は閉じて負荷(52)への通電を行う。歯車(17)は歯車(5)の1回転につき $\frac{1}{365}$ 回転するように設定され、カム(18)は1年間の日の出時刻の変化に応じた凹と凸のカム面(19)が形成されているので、日の出時刻が早くなる期間中においては、ローラ(11)がカム面(19)の押圧によって変位を受け、又形レバー(10)を矢印c方向に回動させるから、目盛板(25)は扇形歯車(21)、歯車(22)を経て、矢印f方向に回動し、毎日の日の出時刻が早くなる変化に追従した位置に、目盛板(25)は自動的に補正回動され、均時差による誤差を含まない正しい時刻に負荷(52)を開閉させることができる。



デジタル式制御棒位置指示装置

西沢行夫*・早川利文*

1. まえがき

この装置は、原子炉の熱出力を制御する多数の制御棒の位置を各制御棒ごとに検出、指示するとともに、制御棒落下時に警報を発し、また、制御棒の位置情報をプラントコンピュータに与えるもので、原子炉の運転状況監視上特に重要な役割を果たすものである。

加圧水形原子炉の制御棒は、制御棒駆動機構によって駆動され、高温高圧の原子炉圧力容器内を上下に移動する。制御棒に取付けられている制御棒駆動軸は、制御棒と同じくやはり高温高圧の環境下で、原子炉圧力容器の一部を成す駆動軸ハウジング内に密閉されている。したがって制御棒の位置は、圧力容器の外側から、何らかの間接的手段により検出する必要がある。

従来から、加圧水形原子炉の制御棒位置指示装置として、差動トランジスタの原理を用いたアナログ方式のものがあるが、このデジタル式制御棒位置指示装置は、周囲温度、制御棒駆動軸の透磁率など種々の変動要素に影響されない安定度、精度、信頼性の高いシステムの実現を目的として開発したものである。この稿では、デジタル式制御棒位置指示装置の概要を紹介する。

2. 主な特長

2.1 高安定性

駆動軸ハウジングの外周に、多数のコイル群から構成する検出器を設け、制御棒の存在の有無を判断するデジタル検出方式を採用することにより、温度変化、制御棒駆動軸の透磁率の変化等に対する影響が極めて少ない。

2.2 高精度

位置検出精度は ± 4 ステップであり、制御棒駆動全ストローク(228ステップ)の38分の1の分解能で制御棒の位置検出が可能である。

2.3 高信頼性

(1) 検出器コイルの2重化

検出器のコイル群は、A、B 2つの独立したチャネルに分離し、冗長化しているため、どちらか一方のチャネルの单一故障では機能を喪失しない。

(2) 信号処理系の2重化

検出器出力を処理する電子回路は、チャネル別に独立したキャビネットに収納し、入出力ケーブルも含めて冗長化しているため、片チャネルが故障した場合でも機能を喪失しない。

(3) 主要回路の3重化

主要回路は常時3回路冗長させ、故障が生ずると当該回路を自動的にシステムから切り離す方式により高信頼化を図っている。

(4) 電源系統の2重化

表示ユニット内のカードに必要なDC電源は、主電源と補助電源の2系統が冗長化されていて、どちらか一方の单一故障では機能を喪失しない。

2.4 フィールドケーブルの減少

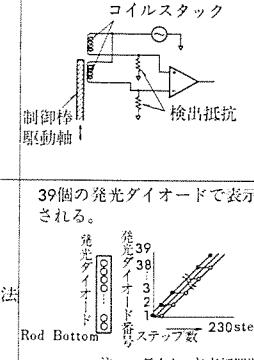
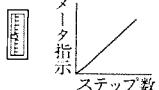
多重伝送方式を採用することにより、従来に比してペネトレーションを経由するフィールドケーブルの本数を大幅に減少できる。

2.5 現地調整期間の短縮、保守性の向上

(1) 調整箇所の追求

制御棒駆動軸が検出器コイル内に存在するか、存在しないかを検出する、いわゆるデジタル式検出方法と、デジタル信号処理方式の採用により調整箇所は皆無である。したがって、フィールドキャリブレーション

表 1. デジタル式とアナログ式の比較

No.	項目	デジタル式制御棒位置指示装置	アナログ式制御棒位置指示装置
1	動作原理	下図に示すように、検出器上に6step間に設けられたコイルス택クに制御棒駆動軸が挿入された場合、そのコイルス택クのインダクタンスが増加して検出抵抗の両端電圧が減少する。すなわち、相隣り合うコイルス택クのインダクタンスの差を、それぞれの検出抵抗の両端電圧の差として検出することにより制御棒の位置を検出する。	差動トランジスタの原理であり下図に示すように、制御棒駆動軸(磁性体)の位置によって、検出器の1次コイルと2次コイルの結合度が変化し2次側に誘起される電圧が変化する。したがって、2次側の電圧を測定すれば制御棒の位置を検出することができる。
2	位置表示方法	 39個の発光ダイオードで表示される。 注→ダイオード点灯期間 →点灯 →消灯	メータで表示される。 
3	精度	± 4 ステップ以内(ただし、制御棒駆動軸の炉底位置における機械的誤差は除く)(片チャネルの場合 $+4, -10$ ステップ又は $+10, -4$ ステップ以内)	$\pm 5\%$ 以内(± 11.5 ステップ以内)
4	調整及び保守性	調整不要	0ステップ位置での零調、230ステップ位置でのスパン調が必要である。
5	構成	検出器 1台/制御棒データキャビネット(C/V内設置) 2面ディスプレーユニット(中制盤) 1台	検出器 1台/制御棒ラック(リレー室設置) 3面指示計ユニット(中制盤) 7台
6	ペネトレーションを経由するケーブル数	4心×8本	4心×制御棒本数

ンを必要としない。

(2) テスタビリティの向上

信号処理系のテストが随時行えるよう種々のテスト機能を備えている。

(3) 故障検出、表示

カードに故障検出機能をもたせ、故障時には中央制御室において故障表示を行うことにより、故障チャンネル、故障箇所のは(把)握が容易となる。

アナログ式制御棒位置指示装置との比較を表1.に示す。

3. システムの概要

3.1 構成

このシステムは、図1.に示すように検出器、データキャビネット、及び表示ユニットから構成されている。

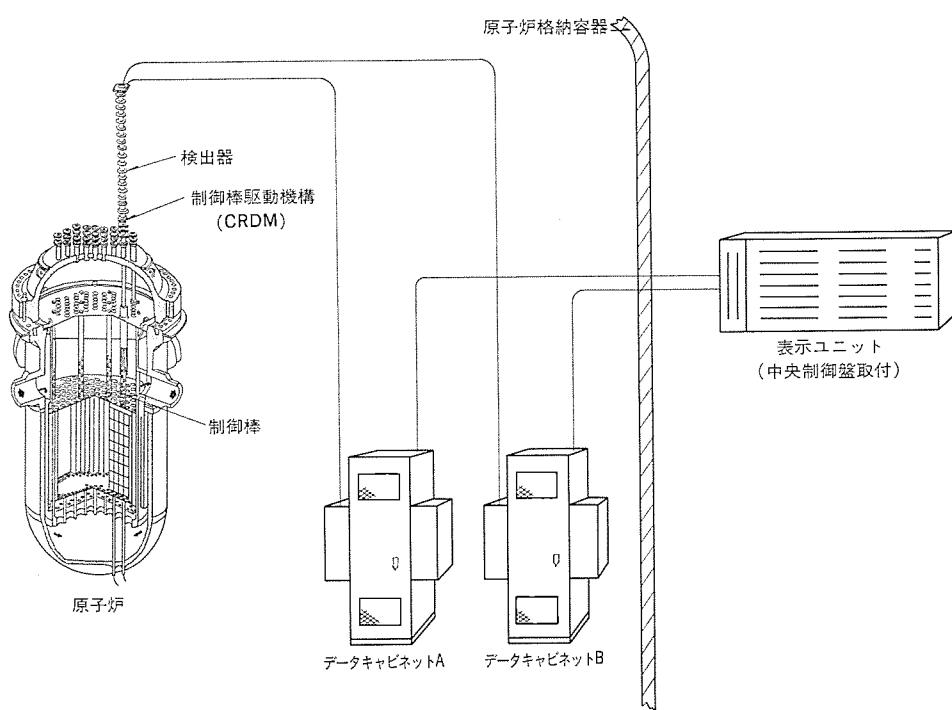


図1. システム構成図

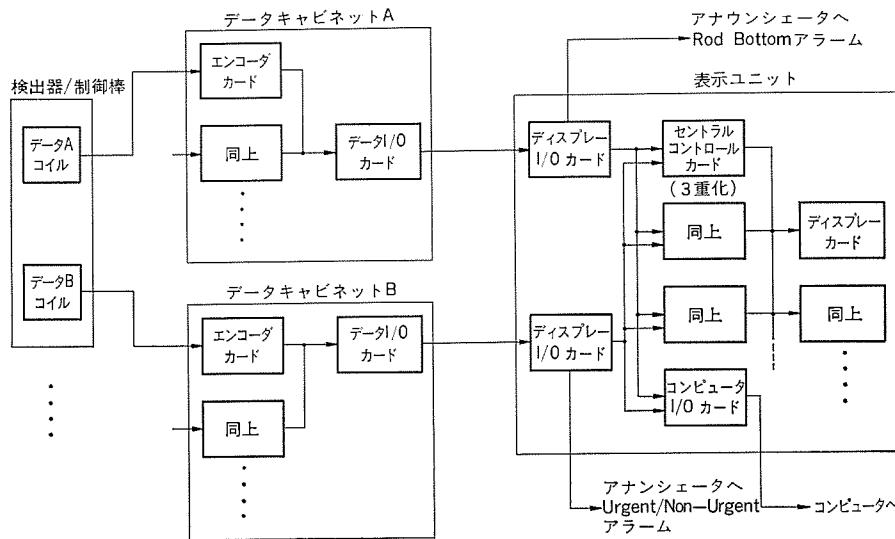


図2. ブロック図

検出器は各制御棒ごとに、原子炉圧力容器の上部にある制御棒駆動機構の上部に取付けられる。2台のデータキャビネットは原子炉格納容器内に設置され、表示ユニットは中央制御室の中央制御盤に取付けられる。

検出器の出力信号は2本の多心ケーブルで2台のデータキャビネットに伝送される。各データキャビネットは検出器出力をデジタル信号に変換し、表示ユニットからアドレス信号により指定された制御棒の位置情報を表示ユニット側に伝送する。表示ユニットでは、2台のデータキャビネットから伝送されてくる制御棒位置信号を演算し、各制御棒ごとに縦に配列した39個の発光ダイオードにより、制御棒の位置を6ステップ(95.3 mm)ごとに表示するとともに、制御棒位置情報をプラントコンピュータへ伝送する。また表示ユニットは、制御棒が炉底位置にあるか否かを検出し、炉底位置にある場合は、中央制御室のアナウンシェータにより警報を発する。

3.2 検出器

駆動軸ハウジングの外側に取付けられる検出器は、図3.に示すように、非磁性のステンレス管に垂直に等間隔で配置された42個のコイルから構成されている。

42個のコイルは奇数番目のコイルのチャンネルと、偶数番目のコイルのチャンネルとに分けられ、それぞれ専用の多心ケーブルにより、データキャビネットA、Bに接続される。

図4.に検出器コイルの結線を示す。Aチャンネルのコイルの片端はすべて共通に結線され、データキャビネットAから交流電源が供給され

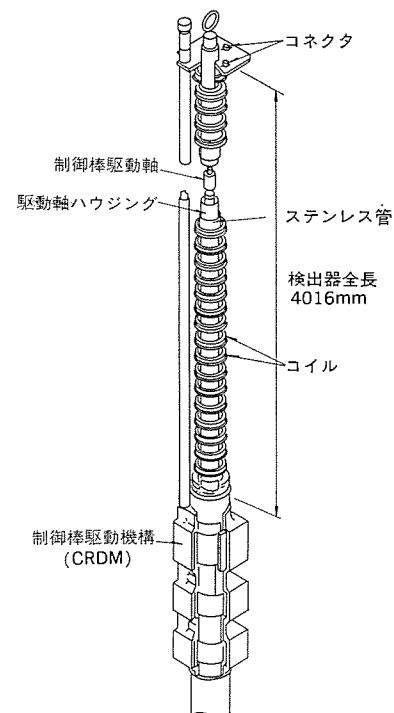


図3. 検出器外観図

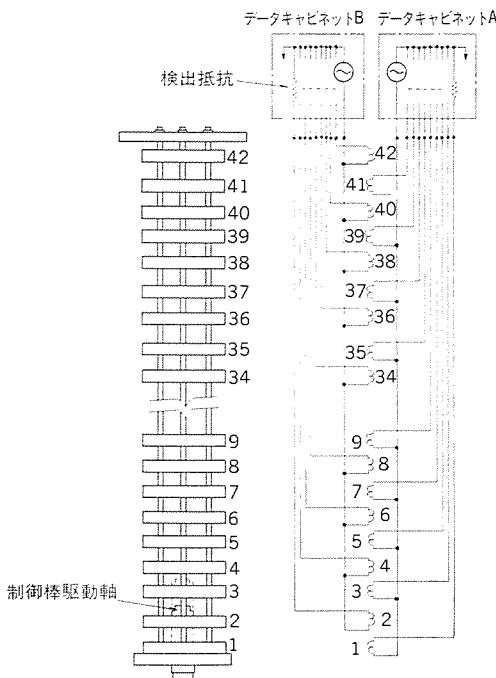


図 4. 検出器結線図

る。コイルの他端は、各コイルごとにデータキャビネット A のエンコーダカード内の検出抵抗を経由して前記交流電源に帰還される。B チャンネルのコイルについても同様である。

制御棒の位置検出は、制御棒に取付けられている制御棒駆動軸の先端の位置を、検出器の各コイルによって磁気的に検出することにより行う。すなわち、制御棒駆動軸は磁性体であるため、検出器の各コイルのインダクタンスは、制御棒駆動軸がそう（挿）入されているコイルは大きく、挿入されていないコイルは小さいことを利用するものである。

制御棒が炉底位置にある場合、制御棒駆動軸は、図 3. に示すコイル 1, 2 を通過している。したがってコイル 1, 2 のインダクタンスは、コイル 3 以降のそれよりも大きい。このため A チャンネルではコイル 1 - 3 間に、B チャンネルではコイル 2 - 4 間にインダクタンスの差が生じている。次に制御棒駆動軸が移動し、コイル 1, 2, 及び 3 を通過する位置に到達すると、A チャンネルではコイル 3 - 5 間に、B チャンネルではコイル 2 - 4 間にインダクタンスの差が生ずる。このように、インダクタンスの差が生ずるコイルの組は、制御棒駆動軸の先端の位置に対応して変化する。インダクタンスの差はデータキャビネットのカード内の検出抵抗により、電圧の差として検出され、どの位置のコイル間でアンバランスが生じているか見つけ出され、次段の回路により 5 ビットのデジタルコード信号に変換される。個々に分離したコイルからなる検出器を用いているため、片方のチャンネルのコイルが故障した場合でも、他のチャンネルにより制御棒の位置を検出することが可能である。ただし、この場合検出精度は 2 分の 1 に減少する。

3.3 データキャビネット

データキャビネットは 2 台用い、おのおの次の機器から構成している。

- | | | |
|---------------------|---|---------|
| (a) エンコーダカード | : | 1 / 制御棒 |
| (b) データ I/O カード | : | 1 |
| (c) カード用 DC 安定化電源 | : | 1 |
| (d) 検出器コイル励磁用電源トランス | : | 1 |

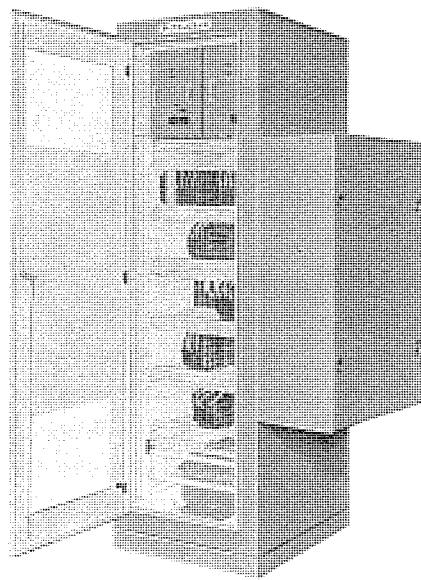


図 5. データキャビネット

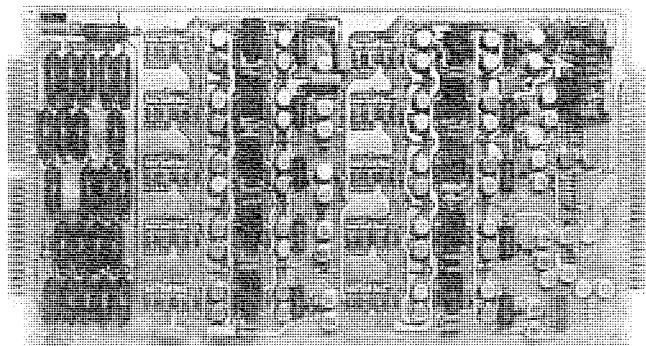


図 6. エンコーダカード

3.3.1 エンコーダカード

エンコーダカードは検出器 1 台に対し、2 枚あり、それぞれデータキャビネット A, データキャビネット B に収納されている。

このカードは、検出器の各コイルに直列に接続される検出抵抗を内蔵しており、検出抵抗の両端に発生する電圧を相互比較し、最大偏差を生じている検出抵抗の組を見つけ出し、これを 5 ビットの Gray Code 信号に変換する。アドレス信号を受けると、Gray Code の位置信号はデータ I/O カードを介して、表示ユニットに伝送される。このカードは上記機能のほか、検出コイル、多心ケーブル、あるいはエンコーダカード内の検出抵抗の断線、短絡の故障等を検出する機能を備えている。故障が検出されると、表示ユニットで故障表示が行われ、当該制御棒の位置検出精度は通常の 2 分の 1 に切換えられる。

3.3.2 データ I/O カード

このカードは、表示ユニットからエンコーダカードに与えられるアドレス信号と、エンコーダカードから表示ユニットへ送る位置信号のインターフェースに用いられる。データキャビネット側の回路と表示ユニット側の回路は、このカード内のフォトカプラ素子により電気的に隔離される。データ I/O カードにはパリティビット発生回路があり、データキャビネット - 表示ユニット間の信号伝送系の故障診断に用いられる。またこのカードには、エンコーダカードの出力を模擬するテストスイッチが備えられており、データキャビネットと表示ユニットとを組合せた総合チェックが容易に行えるよう

考慮されている。

3.4 表示ユニット

表示ユニットは下記の機器で構成している。

- (a) ディスプレー I/O カード : 2
- (b) セントラルコントロールカード : 3
- (c) ディスプレーカード : 1／制御棒
- (d) コンピュータ I/O カード : 1
- (e) カード用 DC 安定化電源 : 2

3.4.1 ディスプレー I/O カード

このカードは、表示ユニット側にあって、前述のデータ I/O カードと同機能を果すものである。データ I/O カードで発生したパリティビットは、ディスプレー I/O カード内でディスプレー I/O カード側で発生させたものと突き合わせられる。パリティチェックは A, B 両チャンネルのディスプレー I/O カードで行われるが、片チャンネルが故障と判断された場合は、次段のセントラルコントロールカードは正常なチャンネルだけで制御棒の位置指示を行う。このときの位置検出精度は両チャンネル正常時の 2分の1となる。一方、両チャンネルが故障と判断された場合は、次段のセントラルコントロールカードは、該当する制御棒は炉底位置を表示するようディスプレーカードに命じ、故障表示灯を点灯させるとともに中央制御室のアナウンシェータにより警報を発する。

3.4.2 セントラルコントロールカード

このカードはエンコーダカードへアドレス信号を供給し、エンコーダカードから制御棒位置情報であるデータ信号を受ける。データ信号は前述のごとく 5 ビットの Gray Code 信号である。A, B 両チャンネルのデータは Gray Code 信号として受けてラッピングされ、Binary Code 信号に変換され、加算される。もし、A チャンネルのデータにエラーが生じた場合、セントラルコントロールカードは B チャンネルのデータのみを使用して制御棒の位置を表示する。この場合、精度は 2分の1 になり、該当制御棒の故障表示灯が点灯し、中央制御室のアナウンシェータにより“非

緊急”警報を発する。B チャンネルのデータにエラーが生じた場合も同様である。

Gray Code 信号は増・減いずれの場合も 1 ビットずつ変化し、2 ビット以上同時に変化しない Code である。検出器コイルは、A グループコイルと B グループコイルが交互に配列しているため、A チャンネルと B チャンネルのデータ信号には 2 ビット以上の差ができることはない。もし両チャンネルの Gray Code 信号が 2 ビット以上異なる場合、また両チャンネルのデータにエラーが生じた場合は、セントラルコントロールカードは自動的に炉底位置表示を行い、故障表示灯を点灯させるとともに中央制御室のアナウンシェータにより“緊急”警報を発する。

セントラルコントロールカードは、アドレス信号の発生、両データチャンネルの突き合わせ、データのエラー検出等、このシステムの心臓部である。単一故障により制御棒位置検出機能が喪失されないように常時 3 枚のセントラルコントロールカードを冗長させている。この 3 枚のセントラルコントロールカードは多数決方式で動作し、故障したカードは自動的にシステムから切り離されるようにされている。

セントラルコントロールカードは次の警報信号を発生する。これらの信号はリレーを介して中央制御室へアナウンシェータに送られる。

- (a) 緊急故障 : 両データチャンネルが故障し、制御棒 1 本以上の位置検出機能喪失
- (b) 非緊急故障 : 片データチャンネルの故障
- (c) 制御棒炉底位置
- (d) 2 本以上制御棒炉底位置

セントラルコントロールカードは回路パターンが複雑であるため、大形 (400 × 280) の 4 層基板を採用している。

3.4.3 ディスプレーカード

ディスプレーカードは制御棒 1 本につき 1 枚用いられる。ディスプレーカードはセントラルコントロールカードからアドレス信号に対応した制御棒のデジタル位置信号を受け、これをカードエッジに取付けられた発光ダイオードを駆動するためにデコードする。制御棒の位置を表示する発光ダイオードは 39 個あり、各発光ダイオードは制御棒の動きの 6 ステップ (95.3 mm) に相当する。制御棒位置表示以外に、故障表示用として 1 個の発光ダイオードが別に設けられている。

3.4.4 コンピュータ I/O カード

各制御棒のデジタル位置信号は、コンピュータ I/O カードを介してプラン

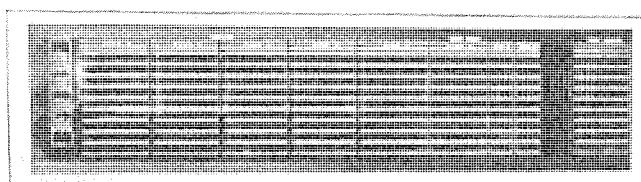


図 7. 表示ユニット

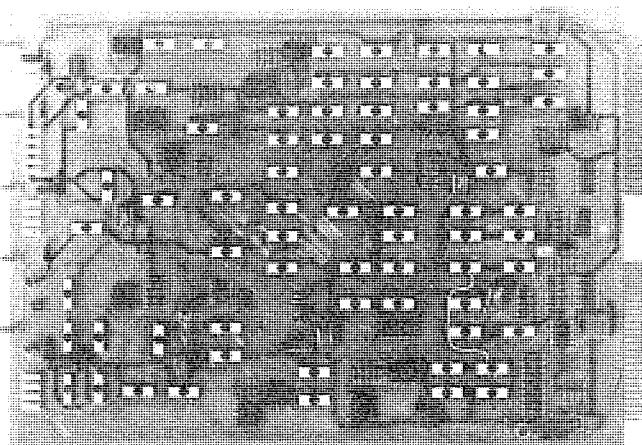


図 8. セントラルコントロールカード (4 層基板)

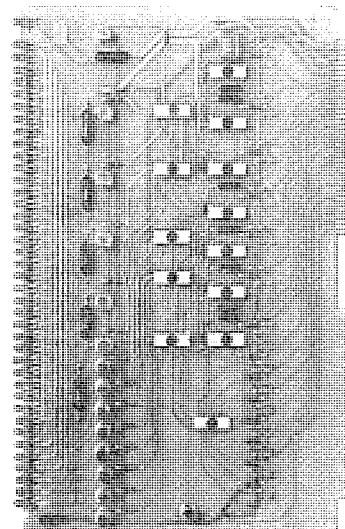


図 9. ディスプレーカード

ト計算機へ伝送される。

コンピュータ I/O カードは A, B 両チャネルのディスプレー I/O カードから Gray Code 信号、パリティビット信号を受け、セントラルコントロールカードからアドレス信号を受けて RAM にメモリし、コンピュータから指定される制御棒の情報をコンピュータに送る。また、デジタルコンパレータにより、1 アドレスサイクル前後のデータを常時比較し、制御棒位置に変化が生じた場合はいつでも割込信号をコンピュータへ送る。

4. 性能確認

性能確認は、カードレベル、システムレベル、制御棒駆動機構 (CRDM) 実機との組合せ試験、及び連続環境試験の4段階の形式試験により実施し、所期の性能を満足する結果を得た。特に連続環境試験については、設置環境を考慮し、設計的にも十分な配慮を払ったことにより、設置環境に比べてはるかに厳しい高温高湿環境下における1年間の連続通電試験において、故障は皆無であった。

代表的な試験項目は次に示すとおりである。

4.1 カードレベル

- (1) 常温機能試験
- (2) 温度試験：データキャビネット内収納カードについては、0°C 及び 65°C、表示ユニット内収納カードについては 16°C 及び 60°C の温度条件にて実施。
- (3) 高温高湿試験：データキャビネット内収納カードについては温度 65°C、湿度 95% の環境条件にて 8 時間連続。
- (4) 電源変動試験

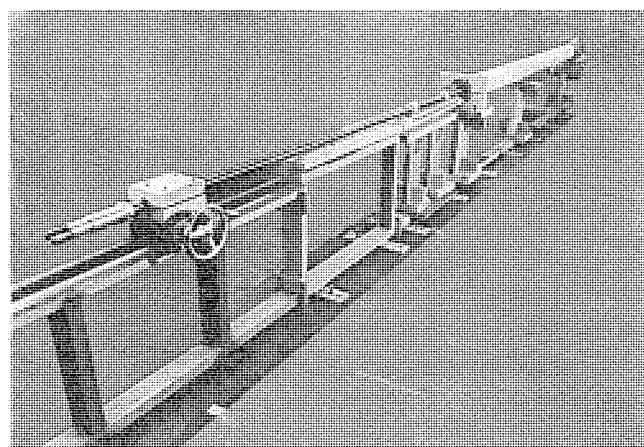


図 10. 精度試験装置

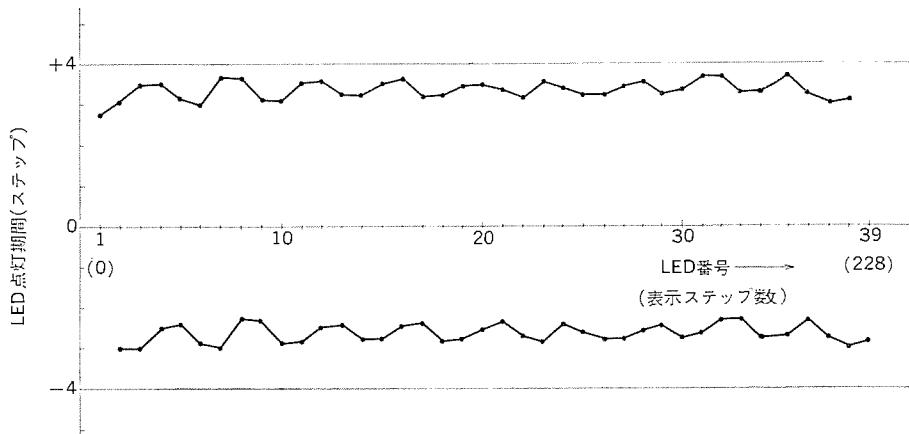


図 11. 精度試験結果例

4.2 システムレベル

- (1) システム精度：実際の制御棒駆動軸を検出器にそろ（挿）入する試験装置にて実施（図 10）。精度は ± 4 ステップ以下である（図 11）。
- (2) 常温機能試験
- (3) 温度試験：キャビネット全体を恒温そろ（槽）に入れ、データキャビネットは 0°C 及び 65°C、表示ユニットは 16°C 及び 60°C の温度条件にて実施。
- (4) 高温高湿試験：データキャビネットについて、温度 65°C、湿度 95% の環境条件にて実施。
- (5) 耐ノイズ試験：検出器—データキャビネット、及び データキャビネット—表示ユニット間の信号ラインへスパイク誘導、電源ラインへスパイク伝導の外乱を与えることによる。
- (6) 電源変動試験

4.3 制御棒駆動機構 (CRDM) 実機との組合せ試験

三菱重工業(・)神戸造船所内の CRDM 試験装置を用い、原子炉冷態状態及び原子炉温態状態を模擬した試験条件で、精度試験を実施。

4.4 連続環境試験

データキャビネットを温度 45°C、湿度 70% 以上の環境条件で、1年間の連続通電試験を実施。

5. むすび

本文は、当社が新しく開発したデジタル式制御棒位置指示装置に関し、主として特長、システム構成及びハードウェアの概要について紹介したものである。この装置は、電力エネルギーの主要な供給源としてますます比重を増している原子力発電プラントの出力制御に関係したものであると同時に、原子炉格納容器内に設置されることを念頭におき、信頼性のより一層の向上に努力していく考えである。

最後に、この装置の開発にあたりご協力をいたいたい三菱重工業(株)神戸造船所並びに三菱原子力(株)原子力設計センターの関係者各位に謝意を表する。

コンパクト《ガスクリーンヒーター》の開発

錦織威紀*・帽本照男**・林幸夫***・中村進***・牧野寿彦***

1. まえがき

当社の《ガスクリーンヒーター》を始めとしたFF暖房機市場は、石油タイプの参入とともに急激な伸長を示し、普及率も10%を突破した。

この時期の新製品開発の方向は、一方では付加機能の拡充などによる高級化指向と、他方徹底したコスト追求による低価格化の方向とに分かれ、いわゆる“2極分化”的様相を呈することになる。更に低価格化においては、購買層、用途別需要などを考慮した場合、必然的に省スペースの観点から製品のコンパクト化（特に薄形化）を指向せざるを得なくなる。

上記の観点から、昭和54年度新形《ガスクリーンヒーター》として、薄形《クリーンヒーター》VGS-25 Aを開発した。

本稿では、この薄形《クリーンヒーター》の設計上の課題、その解決策、実際の構造などについて述べる。

2. コンパクト化における問題点

《ガスクリーンヒーター》の構成は

- (1) 燃焼部分（燃焼器及び熱交換器）
- (2) 送風機部分（対流用及び燃焼用）
- (3) 制御部分（ガス回路及び電気回路）
- (4) 外装部分（外かく及び意匠部品）

の各部分に大別できる。

これらの内、従来の《クリーンヒーター》においてコンパクト化（特に薄形化）を妨げてきた部分は燃焼部分である。この阻害要因の明確化とその解決方向について検討を加えた。

2.1 燃焼器部分

従来、バーナ及び燃焼筒（燃焼空間を形成する部材）は、ほとんどが円形あるいは円筒形状であり、特に薄形化という点で問題があった。そこで、バーナ形状並びに燃焼筒断面形状を長円形とすることにより薄形化を図ることにした。

2.2 热交換器部分

従来はステンレス鋼板製のものが多く、形状的に制御され、必要伝熱面積の確保という点でコンパクト化に難があった。この解決方向として、熱交換器材料にアルミニウムを使用し、断面形状を長円形にして(1)項の燃焼筒部分と一体構造として検討した。

3. バーナの薄形化

図1にVGS-25 Aのバーナの構造図を示す。今回、形を長円形にして薄形化を図り、更にエジェクタ効果を積極的に利用することにより、広い燃焼範囲を持つバーナを開発した。

バーナは黄銅製の長円バーナヘッドとアルミダイカスト製の本体（混合室）とから構成されている。長円にすると、同一面積の円に比べて周長がより長くなり、炎孔面積を増加させることができる。このことは炎孔部での圧力損失を小さく抑えることになり、後述のエジェクタの性能アップとともに、薄形化に対しては合理的な形状と言える。バーナ

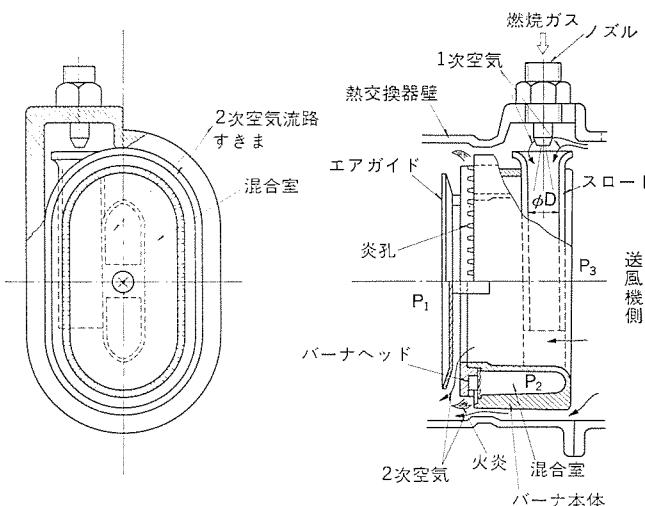


図1. バーナの構造

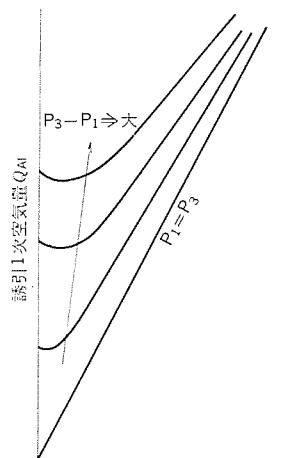


図2. エジェクタの特性

本体は熱交換器本体にすっぽりはいる構造になっており、送風機も直接取付くコンパクトな設計である。ノズルから噴出される燃料ガスはエジェクタ部で1次空気を誘引し、本体の内側を1回りする形の混合室で十分混合され、バーナヘッドで均一な火炎を形成する。一方、2次空気はバーナ中央部、熱交換器とバーナ本体の間のすき間の2か所から、火炎に対して有効に当たるようになっている。また、中央部の2次空気は、バーナヘッド、及びエアガイドを冷却する効果を持っている。

エジェクタ部はノズル、スロートから構成されている。エジェクタを用いて青色炎、並びにCO排出の少ない、広い燃焼範囲を確保するためには、基本的に、

- (1) 各ガス種に対して所定の1次空気率 μ_1 を得る。
- (2) ガス流量(燃焼量)の変化に対して1次空気率 μ_1 を一定に保つ。

ことが重要である。スロートは通常のガス機器に用いられているそれとは違い、ダイカストという製作上のことを考慮に入れ、ストレート管を用い、長さも内径(D)の5倍とし、それをバーナ本体の下に一体化して納めコンパクト化を図った。このようにしても(1)の項は満足できるものである。また(2)項について考えると一般的エジェクタでは圧力 P_1 、 P_3 (図1.)が同じで、この場合図2.に示すように、燃料ガス量に対して誘引される1次空気の割合 μ_1 が一定の理想的なエジェクタ効果が期待されるのに対し、FF式では必然的に $P_3 > P_1$ という関係になり、燃料ガスが小になると1次空気の割合が大きくなり、1次空気率 μ_1 一定という条件が満足できなくなってしまう傾向にある。そこで、今回のバーナは2次空気の通過面積を十分大きくとり、 P_3 と P_1 の差をできるだけ低く抑えることにより理想的なエジェクタの特性に近づけた。

ガス種の違いについては、ノズルとスロートの距離及びノズル外径を変化させることにより(1)の項を満足させ、ほぼすべてのガス種に対して満足のいく燃焼範囲を確保している。また、通常のガス量、空気量の変動範囲を十分上回る安定燃焼範囲が確保されている。

4. 热交換器のアルミ化

アルミニウム製熱交換器を採用するために検討すべき項目としては、熱交換性能の検討はもちろんあるが、材料的な特質として特に、高温強度の検討、腐食に対する考慮がなされねばならない。この章ではこれらについて具体的に述べる。

4.1 热交換性能の検討

性能面で要求される条件は

- (1) コンパクトであること。
- (2) 吐出温風温度をできるだけ均一にすること。
- (3) 热交換器温度が与えられた温度範囲にあるとともに、できるだけ温度分布が均一なこと。
- (4) 热交換効率が大きいこと。

等であり、これらすべてを考慮して設計を行った。

この熱交換器は図3.に示すように熱交ボーダー、内側フイン、外側フイン、バーナ取付部、排気口等の要素からなり、燃焼ガスは熱交ボーダーの内側を通過し、外側を対流用空気が上方から下方に向けて通過する、いわゆる“直交流形熱交換器”である。熱交ボーダー断面形状を偏平(長円)にすることにより従来の円筒形熱交換器に比して薄形化が可能になった。更に熱交ボーダーの内外に多数のフインを一体で取

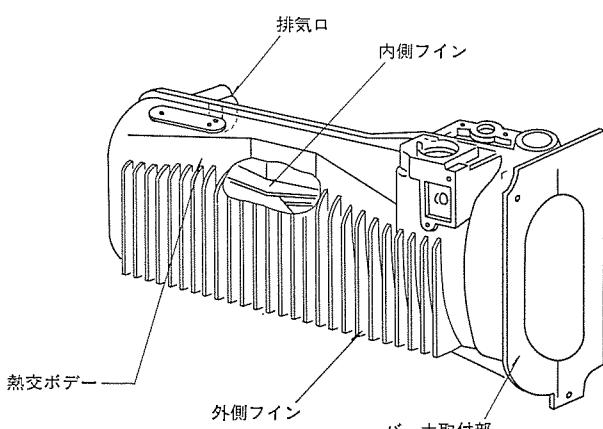


図3. アルミ熱交の構造

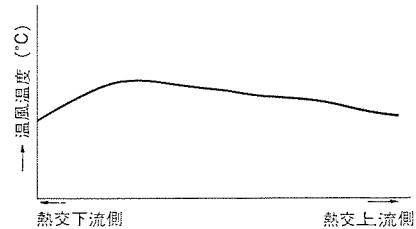


図4. 吐出温風温度分布の1例

付けて伝熱面積を増加させ、特に内側フインではフイン間のギャップを小さくすることにより熱伝達率を大きくすることができ、従来に比較して大幅なコンパクト化が実現した。

また、室内への吐出温風温度が不均一であると暖房の快適性を損なうため、できるだけ均一化を図る必要がある。特に排気口付近では、燃焼ガスは低温となって熱交換しにくく吐出温度が低下する傾向が予想される。このため、この部分の熱交ボーダーを広がりをもたせた形状にしてこの部分を通過する対流用空気を制限するとともに、内側フインの伝熱面積を増して熱交換能力を増加し低温風を防止した。吐出温風温度分布の1例を図4.に示す。

アルミ熱交換器自身の温度も、高温強度の面から最高許容値が、また低温腐食の観点から最低値が要求されその範囲も極めて狭い。しかも熱応力の低下のため温度分布もできるだけ均一にすることがほしい。これらの要求を満足すべく熱交換器内側、外側の各フインの形状、寸法を実験と解析を繰り返して決定した。

このようにして従来との体積比で約1/2というコンパクト熱交換器が完成した。

4.2 高温強度の検討

この暖房機は内蔵のルームサーモスタットで燃焼をON-OFFさせているが、平均的な使用条件では6分ON、6分OFFの繰り返しで使用されると考えられるので、寿命として100,000回以上の繰り返し運転に耐える必要がある。そのため、今回のアルミ熱交換器では熱交換器表面の最高温度を材料の強度が比較的高い250°C以下とし、更に燃焼ガスの流れと内外フインの位置と形状を工夫することにより各部の温度差を少なくして熱応力を小さくするように配慮した。

このような燃焼繰り返しによる熱疲労寿命推定法については既に本誌⁽¹⁾で報告したが、アルミ熱交換器では製品状態での強度のうち特に溶接部の強度を明確にすることが重要であった。それは、熱交換器に発生する熱応力を有限要素法を利用して求めたところ、最大応力は上下溶接部とその近傍に発生し、次いで中央高温部の外面フイン付根部分で高く、その他の部分の応力は比較的小さいことが明らかになったためである。なお、溶接部については不溶着部をクラックと考え、燃焼繰り返しによるクラック進展の有無についても有限要素法によって検討したが、熱応力によるクラックの進展はないとの結論を得た。

一方、材料の強度を確認するため母材及び溶接したテストピースによって引張り試験と疲労試験を実施した。テストピースの引張り強度は、実機より切り出した試験片のそれとほぼ同程度であった。

溶接部は、同じ温度なら母材に比べ強度の低下が認められるが溶接部の最高温度は母材の最高温度240°Cに比べ180°Cと低いため、寿命曲線は母材より有利になる。実機での過酷な加速試験を加えたこれらの試験結果により作成した寿命曲線が図5.である。

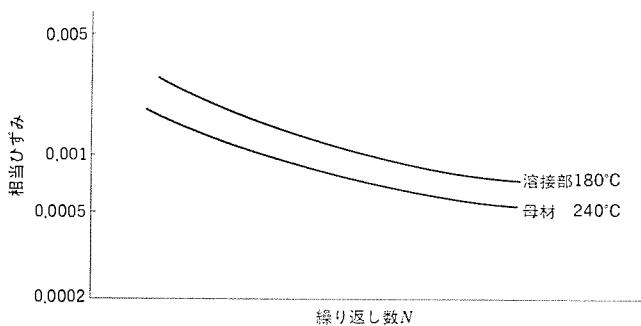


図 5. ADC の母材及び溶接部の寿命曲線

これより、この熱交換器の通常運転状態での寿命を推定すると溶接部、フイン付根部分共に 1,000,000 回程度となり、十分な安全率を有することがわかった。

4.3 腐食

《クリーンヒーター》の熱交換器においては、燃焼ガスの凝縮によって生成する凝縮液での材料の腐食という問題がある。

燃焼中には微量の硫黄成分が存在し、この硫黄成分が燃焼酸化して、三酸化硫黄 SO_3 を生成する。燃焼ガスが低温表面に接すると、この三酸化硫黄は燃焼ガス中の水分とともに硫酸 H_2SO_4 として凝縮し、材料を腐食する。これを低温露点腐食とよんでいる。

燃焼ガス中の硫黄分濃度は、0.02~0.05 パーセント程度である。この硫黄分は燃焼により二酸化硫黄となり、更に酸化されて三酸化硫黄となる。この三酸化硫黄 SO_3 の燃焼ガス中の濃度は最終的に 0.1~1.0 ppm となる。

燃焼ガス中の水分が凝縮はじめると露点であるが、この露点は水分の量と SO_3 の濃度によって決定される。露点はガス中の凝縮成分の分圧と、凝縮液の蒸気圧とが平衡するところであるから、 SO_3 が存在せず水分だけなら、水の蒸気圧から計算して、燃焼ガス中の水分 15 パーセントの時 54°C、20 パーセントの時 60°C という比較的低い温度になる。ところが、硫酸の蒸気圧は著しく低いため、 SO_3 が存在して H_2SO_4 として凝縮する場合は、露点の上昇が起こる。この露点は、図 6. に示すように、微量の SO_3 でもかなり上昇し、上記濃度では、約 100°C 程度になる。このため、熱交換器の低温部では水の露点以上でも H_2SO_4 の凝縮が起こり、腐食が生ずるおそれがある。

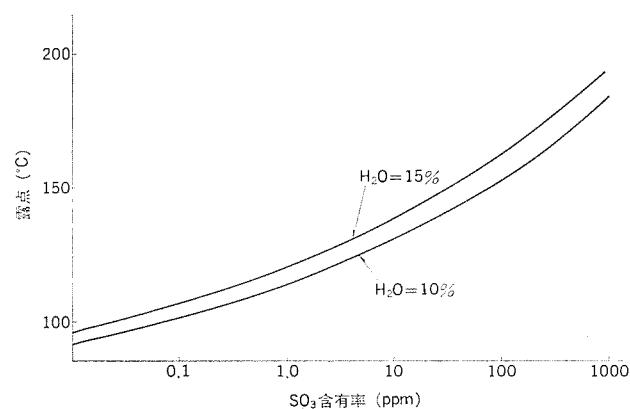


図 6. 燃焼ガス中の SO_3 量と露点温度との関係

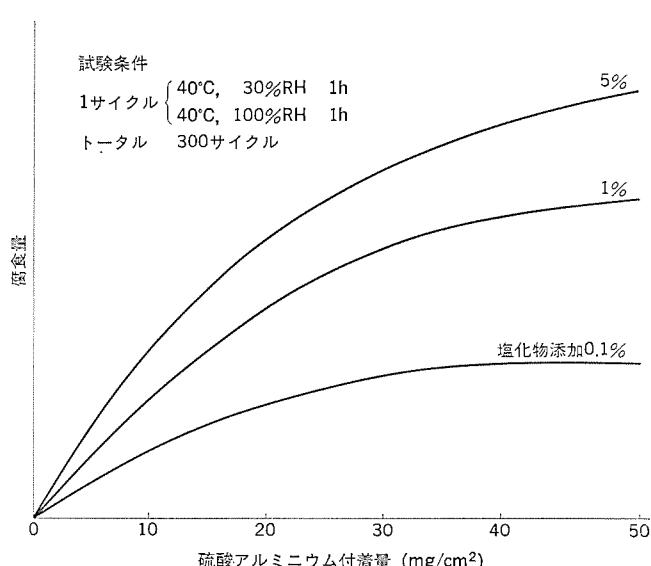
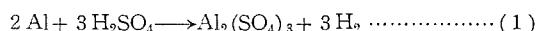


図 7. 硫酸アルミニウムの付着とアルミニウムの腐食

アルミニウムを材料とする熱交換器の場合は、この低温露点腐食がいっそう厳しくなる。

硫酸による腐食は、まず次の反応が起こる。



生成する硫酸アルミニウムはアルミ表面に残存するが、水分がある場合には、次のような反応により水酸化アルミニウムとなる。



この反応で生成する硫酸は再び式 (1) の反応によりアルミニウムの腐食にあずかる。

このため、熱交換器内面に凝縮する硫酸量を厳密に測定するとともに、式(1)及び式(2)の反応による腐食量をモデル試験及び実機試験により測定した。その結果の1例を図 7. に示す。

このようにして、アルミニウム製熱交換器の腐食条件を明確にして、これを、構造・温度条件などに反映させることによって、硫酸の付着量を最小にコントロールし、腐食を抑止して、十分な信頼性のある熱交換器を確立した。

5. VGS-25 の構造、機能

上述のように、特に燃焼部において薄形化が検討されたが、この章ではこれらを実際に使用して製品化された VGS-25 の構造、機能について述べる。

5.1 VGS-25 の構造

図 8. に VGS-25 内部構造の概略と外形寸法を示す。

燃焼器部分を内蔵したアルミ製熱交換器と燃焼用送風機を直接接続して本体下部に配置し、上方から対流用送風機で送風し、吐出グリルで温風の方向を制御して本体下部前方に吐出す下吹出構造とした。下吹出形は比較的小風量で良好な暖房特性が得られるため、温風暖房機のコンパクト化には欠かせない条件といえる。

対流用送風機は大口径の薄形シロッコファンを低速度で運転して、要求される対流風量、騒音値を確保した。

制御部分(ガス回路、電子回路)はダイレクト着火方式(パイロットバーナレス)を採用して部品数を減じ、操作性を考慮して本体右側上部にレイアウトした。

表 1. VGS-25 の仕様

項目	仕様	
	都市ガス	LPガス
ガス種類	6B, 6C, 13A等	4B, 6A
ガス消費量	2,600 kcal/h	2,500 kcal/h
暖房能力	2,210 kcal/h	2,130 kcal/h
熱効率	約85%	
暖房可能面積	7~13 m ² (4.5~8畳)	
電源	単相 100V 50/60Hz	
消費電力	72/61W	
対流風量	強 3.7/3.7 m ³ /min 弱 3.3/3.3 m ³ /min	
騒音	(1m×1m前方 Aレンジ) 強 40/40 ホン 弱 38/38 ホン	
室温制御方式	メインダイレクト着火、電子式ルームサーモによるバーナON-OFF制御	
主要安全装置	炎検知回路、放電検知回路、放電タイマ、プレバージタイム、風量スイッチ、オートカット、遅延サーモ、自己保持回路、電流ヒューズ	
外形寸法	高さ 600×幅 530×奥行 90mm (背面カバー 65mm)	
製品重量	16kg	

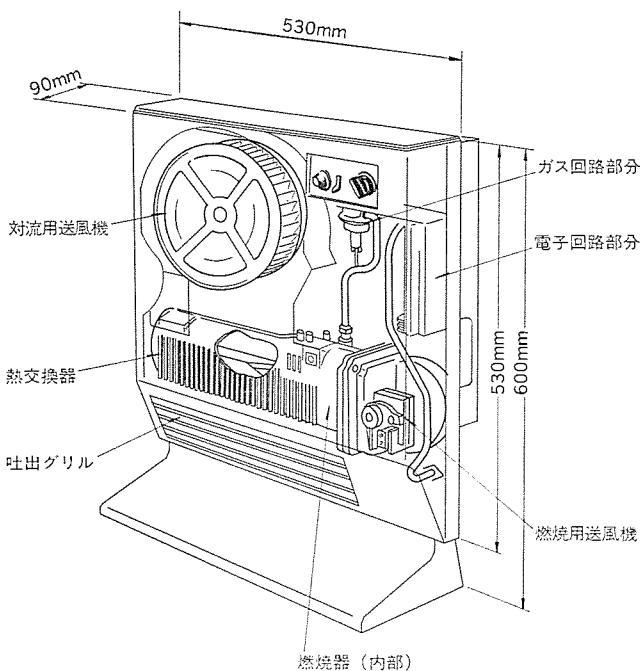


図 8. VGS-25 の内部構造と外形寸法

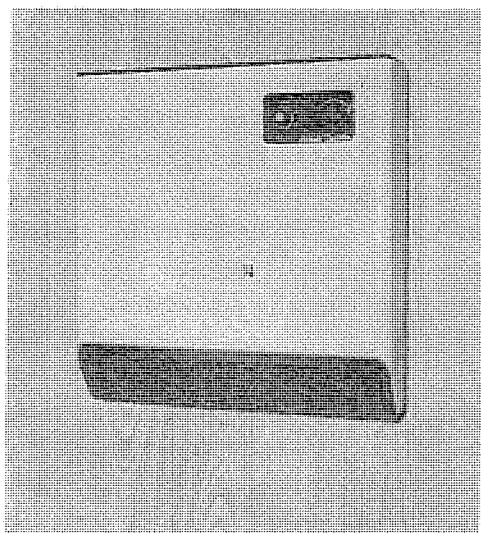


図 9. 壁かけ設置の実施例

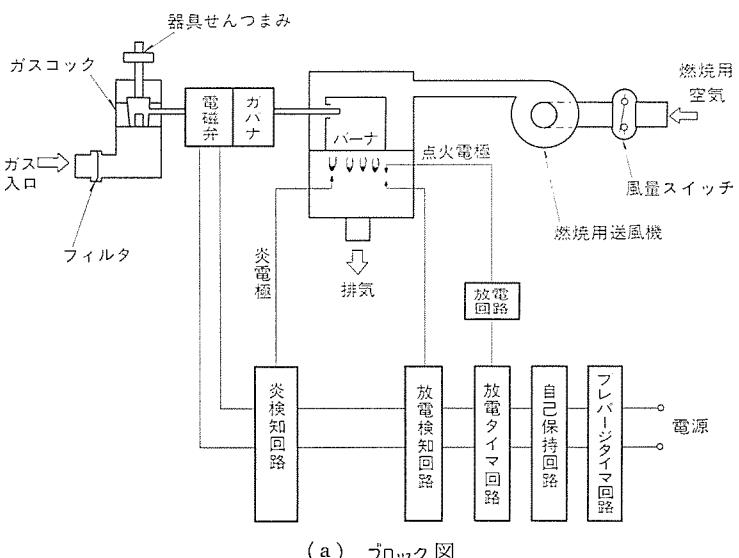
薄形化がもたらした効用は、省スペースはもちろん、低価格、軽量等々、種々あるが、これらの総合効果として壁かけ設置が可能となつたことは、VGS-25の大きな特長となっている。

この壁かけ設置の実施例を図9に示す。吐出グリル部の斜めカットのデザインは、壁かけ設置において、より効果的である。

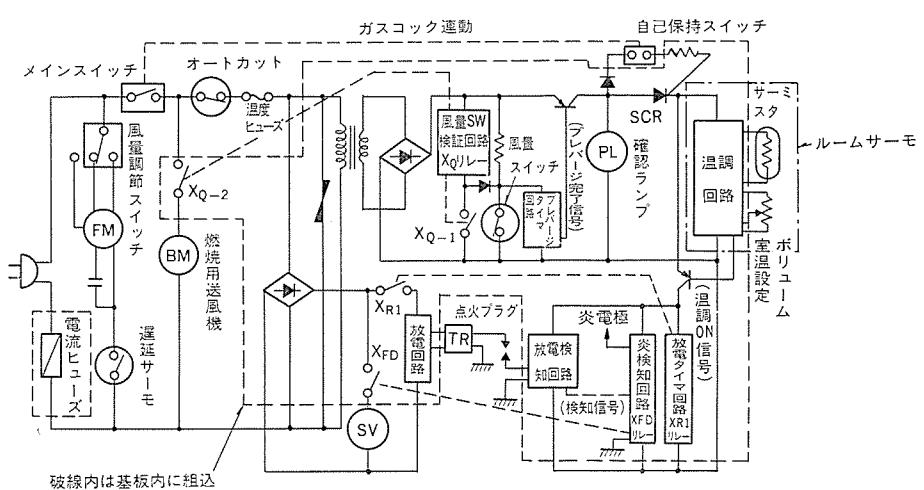
5.2 VGS-25 の機能

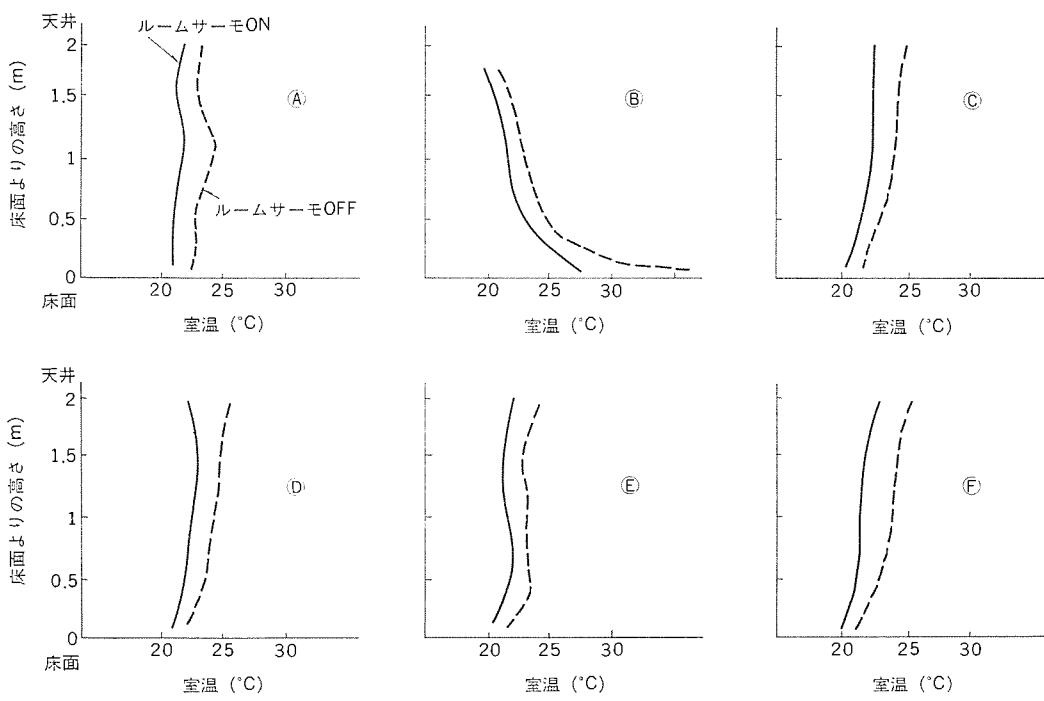
VGS-25の概略仕様を表1に、動作原理図(ブロック図及び電気回路図)を図10に示す。

着火操作は手動の器具せんつまみで行い、着火後はルームサーモで電磁弁を

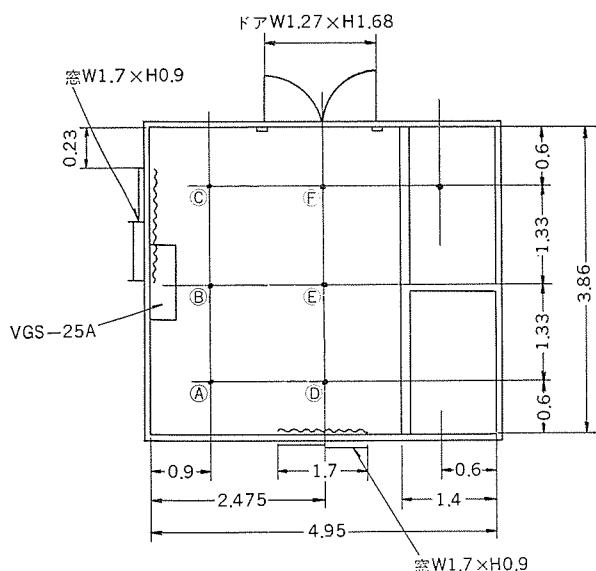


(a) ブロック図





(a) 温度分布



(b) 測定位置

図 11. 室内温度分布の1例

開閉してバーナを ON-OFF する自動温度調節となっている。着火方式は前述したダイレクト着火方式を使用してコンパクト化、低価格化に貢献している。VGS-25 はコンパクトを設計目標としたが、このため各種トラブルに対する安全性、暖房特性等には特に留意する必要があり、この観点から導入したのが、ダイレクト着火における放電検知回路、ブレーキジャマ回路、風量スイッチ等、種々の安全装置及び、電子式（サーミスタ式）ルームサーも等々である。

最後に VGS-25 の性能の一端として暖房特性について検討する。図 11. はモデルルームで行った室内温度分布測定結果

の 1 例である。室内温度分布の評価要素としては室内の上下方向温度差、水平方向温度差、ルームサーもによる動作温度の下限、上限(ON-OFF)の温度差（いわゆるディファレンシャル）等が考えられる。図 11. によれば室内上下方向の温度差は、吐出温風の影響を直接うける⑧点を除きルームサーも ON-OFF 時とも約 4 deg 以内に収まっている。また水平方向温度差についても、更にルームサーも ON-OFF 時のディファレンシャルもかなり良好な結果が確認できた。これらは温風吹出方向（下吹出し）、ルームサーもディファレンシャル（サーミスタにより小さく設定）の相乗効果によって達成されたものである。

6. むすび

アルミニウム製熱交換器、長円形バーナの採用により《ガスクリーンヒーター》の大幅な薄形化が達成できた。しかし FF 暖房機市場の拡大とともに《クリーンヒーター》への要求もますます厳しくなると思われる所以この要求に答える新製品開発への努力を今後共続けていくつもりである。

参考文献

- (1) 土方ほか：三菱電機技報, 52, No. 5, p. 373 (昭 53)

ガス絶縁母線のシリーズ化とその適用

桑原 宏*・松田 節之**・但田 昭司**・倭 雅英**

1. まえがき

電力需要の増大に伴う変電所の大容量化、並びに環境上の諸問題に対処する一方策として、ガス絶縁機器が広く採用されているが、更に各機器間などを接続する電路にガス絶縁母線(Gas Insulated Bus: 以下、GIB)を適用し、全ガス絶縁化を行って変電所の構成の自由度を一層高めることが普及しつつあり、海外においては、単相形や3相一括形及び直接埋設方式のものが既に積極的に採用されている。

当社では、このような情勢から、図1.に示すように、(1)実績の豊富なガス絶縁技術を生かしながら、(2)経済効果を高めるために母線の簡素化と小形化とを図り、更に(3)メンテナンスフリー構造を追求するという方針のもとに開発を進め、その結果、変電所の構成に数々の利点を発揮するGIBのシリーズ化を終えた。

このGIBのうち、500kVの雷インパルス耐電圧(以下、LIWL)の、関西電力(株)との共同研究によるものを、同社奥多々良木P/Sで昭和53年7月から1年間の実フィールド試験を終えるなど、その後に実証試験用並びに製品用として多数が具体化されており、昭和54年中の製品としての製作実績は線路長で1km以上になろうとしている。

ここでは、GIB適用上の利点、構造の概要、種類、性能並びに適用などについて詳しく報告する。

2. GIBの概要

図1.に示すように、GIBは、すえ(据)付時に溶接などによって長尺化できるので、接続部構造や据付方法などで従来の母線とは異なるが、不純物を抑制する装置を各絶縁スペーサに取付けているので、

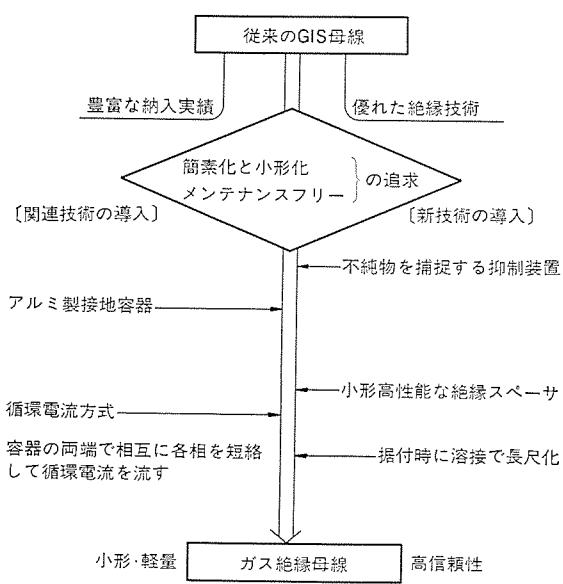


図1. GIBの開発

従来の母線と比べて直径で60~80%に小形化しながら、信頼性の高いものを実現している。このGIBを適用することによる利点を箇条書きにすると、

- (1) 変電所の縮小化が達成できる。
- (2) 変電所構成の自由度が向上する(直角曲げが可能)。
- (3) 経済的に有利(大容量送電が可能、送電損失が少ない)。
- (4) 安全性が高い(不燃性である、漏れ磁束がない)。
- (5) 絶縁協調上有利(GISとサージインピーダンスが同等)。
- (6) 静電容量が小さく交流耐電圧試験可能。

(7) メンテナンスフリー

などである。次に、これらを実現するGIBの構造や定格事項並びに製造方法について述べる。

2.1 GIBシリーズ

開発したGIBシリーズの定格と特性とを表1.に示す。

154~500kVの系統電圧に対応して168~550kVの定格電圧のものを製品化したが、このうち特に500kV系統用は、全ガス絶縁化することによって変電所の広がりを抑えられるメリットが大きいことなどから、絶縁階級の1段低いLIWL 1550の製品をサージ計算並びに耐電圧特性を検討して実用化することができた。

耐電圧特性と短時間電流強度とは、他のガス絶縁機器と同等であり、サージインピーダンスがGISとほとんど同じであることなどから、使用上に特別な制約は生じない。

電流容量では比較的大きなものに適しているので、代表的なものとして3,000~16,000A定格のものを記載した。500kV用は、主として耐電圧から形状が決まり、275kV以下では、主として電流容量で形状が決まるので、定格電流を大きくするか又は小さくする場合に形状決定の要因になろう。500kV用については8,000A定格品をガス循環による強制冷却することにより、定格電流を2倍の16,000Aにすることが可能である。

表1. 代表的なガス絶縁母線の定格事項と諸定数

系統電圧 (kV)	154/187	220	275	500					
定格電圧 (kV)	168/204	240	300	550					
耐電圧 (kV)	雷インパルス 750	900	1,050	1,550			1,800		
商用周波	325	395	460	750					
定格電流 (A)	相分離形 3,000	3,000	4,000	4,000	8,000	※16,000	4,000	8,000	※16,000
	3相一括形 "	"	"	"	—	—	"	—	—
短時間電流 (kA)	40		50/63						
定格ガス圧 (kg/cm ²)	4 (20°Cで)								
相分離形	インダクタンス (mH/km)	0.25	0.25	0.23	0.24	0.17	0.17	0.25	0.18
	静電容量 (F/km)	0.044	0.044	0.046	0.047	0.066	0.066	0.044	0.060
インピーダンス (Ω)	75		75	70	70	50	50	75	55
外径 (mm)	相分離形	300	350	400	550	700	700	600	750
約	3相一括形	600	700	800	1,100	—	—	1,200	—

注) ※印は強制冷却方式を採用

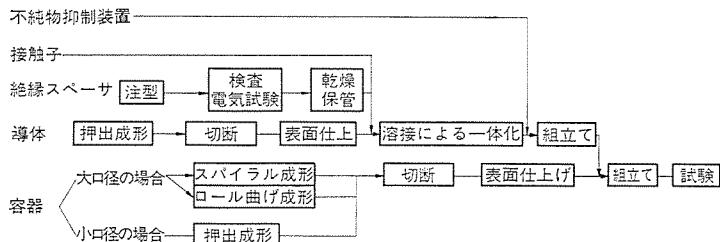


図 4. ガス 絶縁母線の代表的な製作 プロセス

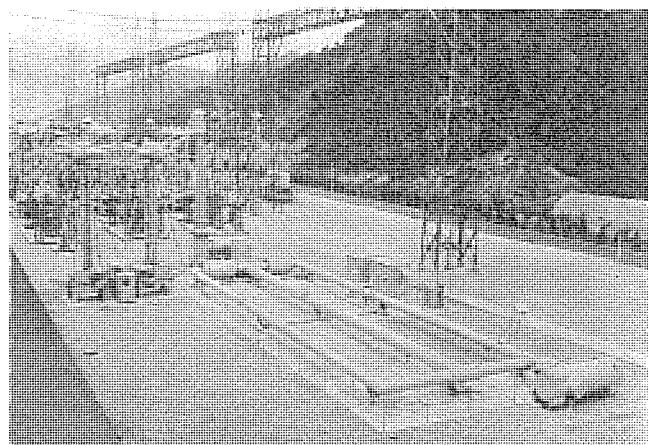
た不純物は、再び出ることではなく、補そく(捉)されたままになる。

2.4 製作方法

製作方法は、GIS 用の母線と基本的に同じであるが、ユニットが非常に長く、フランジ接続を廃して溶接接続を行うことなどから、主として図 4. に示す経路で行う。容器内に不純物が入り込まないように細心の注意を払い、更に組立ては清浄室で実施するように考慮している。

3. 試験結果

試験は、実フィールド試験とユニット試験及び部品試験に区別し、その概要は次のとおりである。



(a) 関西電力(株)奥多々良木発電所 500 kV 4,000, 8,000 A



(b) 北海道電力(株)技術研究所 275 kV 4,000 A

図 5. 実 フィールド 試験



図 6. 直接埋設 GIB の漏気箇所の測定

3.1 実フィールド試験

昭和 53 年 7 月から関西電力との共同研究で、同社奥多々良木 P/S で 1 年間、500 kV 用 4,000 A 及び 8,000 A 定格の供試品を使用して実系系統から課電しながら CT の逆励磁によって定格電圧を通電して検証試験を実施した。この状況が図 5. の (a) で、試験項目は、一部当社の構内で実施したものと含めて次のようである。なお、この内容については、報告済みの別報を参照されたい⁽³⁾。

- (1) 長期課通電試験
- (2) ヒートサイクル 試験 (夏・冬に各 1 回)
- (3) 母線の伸縮量の測定
- (4) SF₆ ガス 中の水分測定及び ガス分析
- (5) 不等沈下試験 (当社の構内で実施)
- (6) 事故復旧模擬作業 (")

一方、寒冷地における GIB の適用及び地中埋設について、昭和 53 年 9 月から北海道電力(株)との共同研究で、同社技術研究所に 275 kV 用 4,000 A (地中部 2,000 A) 定格の供試品を設備して実フィールド試験を 2 年間の予定で開始し、順調に継続中である。図 5. (b) にその状況を示す。

地中埋設 GIB については、地中で漏気した場合に地上から検出してその場所を特定化できるか否かの実用化のため重要な問題もあり、当社の構内で図 6. に示すように、漏気箇所発見のための試験を実施している。

試験は、GIB を模擬して深さ 0.6 m の所にパイプを埋め、接続して地上に置いた制御装置により、毎分約 2 cc の SF₆ ガスを供給して地中で漏気させ、これを図 6. に示すように、地上に放射状に置いたカップで採集可能かどうかを検証する。カップ内の気体を可搬式の SF₆ ガスリードイテクタ及びガスクロマトグラフで試験したところ、後者のガスクロでは半日後に、前者のデイテクタでは 1 日後に SF₆ ガスを検出し、地上で漏気を確認することが可能であった。試験期間中に降雨があり、検出までの時間が若干遅れるが、やがて元通りに検出できることも確認した。

3.2 ユニット試験

前節と同様に、単相形の場合の試験内容は既に報告済みであるので⁽³⁾、別に実施された 3 相一括形 GIB の試験結果について報告する。供試品は 187 kV 用 3,000 A 定格のものである。

- (1) 耐電圧試験

直線部、曲がり部を含む供試品を用い、最低使用ガス圧及び大気圧ガス圧における耐電圧試験を行い、表 1. の仕様について良好な結果が得られ、更に相間に対地の 150 % の電圧を印加するようにして試験を行い、良好な結果が得られた。試験は、図 7. に示すように、

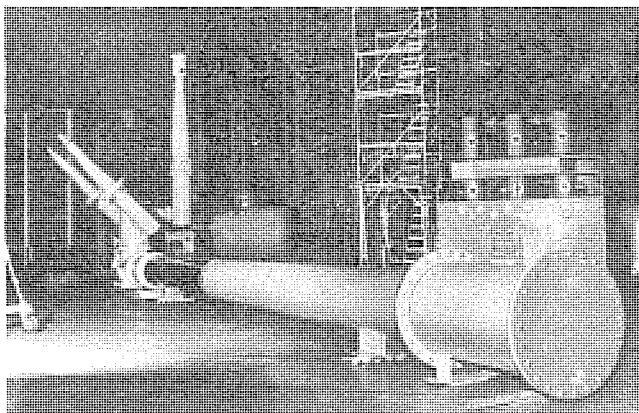


図 7. 3相一括 GIB の耐電圧試験

ブッシング間隔を十分にとるようにして引き出し、実施した。

(2) 温度上昇試験

径 3 mm の導体にそれぞれ 120° ずつ位相の異なる電流を通電したが、温度上昇は仕様値内に十分に入り、局部過熱もないことを確認した。

(3) 輸送試験

供試品に G メータを取り付け、絶縁スペーサと導体とについてはひずみ (歪) も測定しながら、大阪一姫路間の代表的な道路を輸送し、異常のないことを確認した。

(4) 耐震試験

直線ユニットを、加振機を用いて 0.3 g 摄共振正弦 3 波の条件で試験をし、異常のないことを確認した。

(5) 短時間電流試験

直線部、曲がり部を含む供試品に、表 1. に記載の電流を通電し、強度上及び前後の接触抵抗にも異常のないことを確認した。

3.3 部品試験

前節同様、絶縁スペーサの諸試験や、接触子の多数回しゅう (摺) 動試験には、既に報告済み⁽³⁾の試験と同様の試験を実施し、良好な結果を得た。

4. 適用とメリット

GIB の適用箇所は、変電所構内で、例えば図 8. に示すように、

(1) 変圧器と GIS との接続

(2) 既設機器と増設 GIS との接続

(3) 線路の交差部

(4) 変電所の引出口

などで、図 9. は (2) の例で、既設 275 kV 屋内変電所に隣接して増設される GIS と、屋内開閉所の連結母線として適用され、屋内変電所内でブッシングを介して引き出されている。スペースの関係で OF ケーブルの処理が難しく、線路長も短いことから、GIB が最適である。その外に

(5) 送電線の一部

(6) 鉄道との交差部のどう (洞) 道部

などの種々の適用が可能である。

適用に際し、直角曲げができるなどから、既成の配置にとらわれないで変電所の構成を自由に設計でき、必要に応じて任意の場所に避雷器を取付けることができるという利点があるので、GIB のメリットを最大限に発揮する変電所構成を実現することができる。

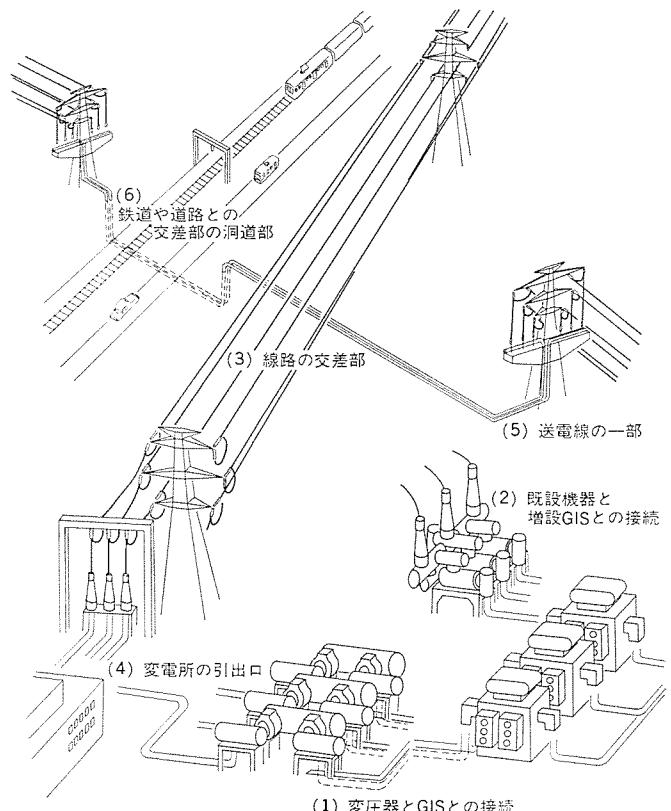


図 8. ガス絶縁母線の代表的な適用例

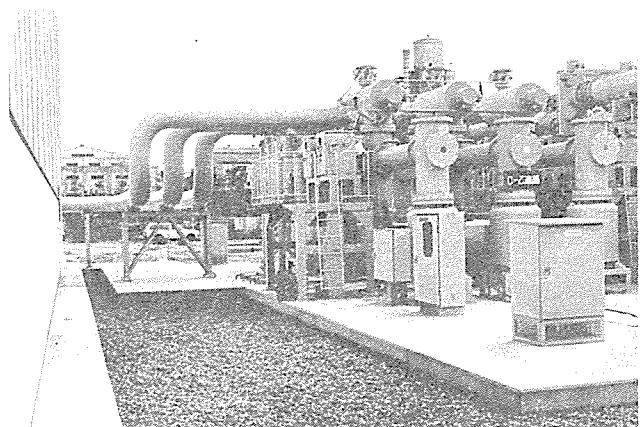


図 9. 中部電力(株)知多変電所納め GIB 275 kV 4,000 A

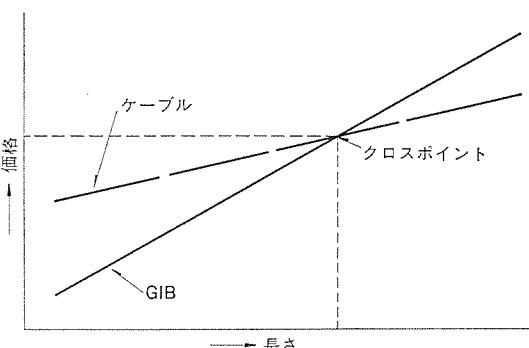


図 10. GIB とケーブルとの価格比較

次に、1 例として GIB とケーブルとの価格を比較してみる。

図 10. に示すように、GIB とケーブルとの価格は、ある長さで交

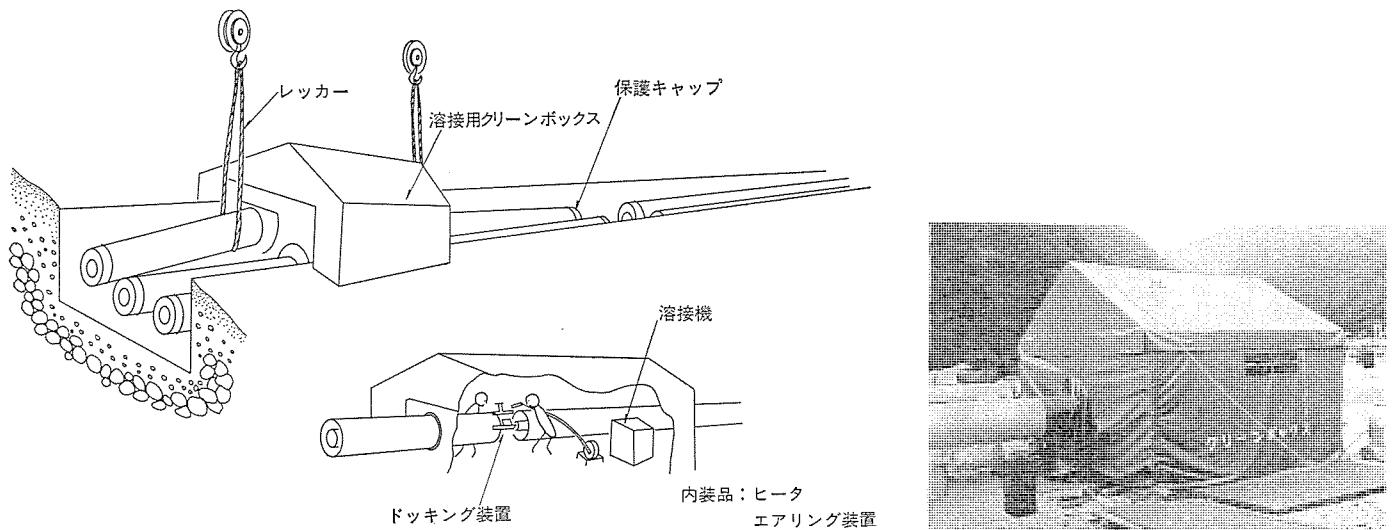


図 11. クリーンボックス

差する。比較的短い場合には、付帯設備のない GIB が安価で、長い場合にはケーブルが有利になる。両者の価格のクロスポイントは、大電流、高電圧になるほど、図 10. の右方に寄り、GIB の適用範囲が大きくなる。

単相形の場合、GIB を適用するほうが有利な長さは、275 kV 用の 2,000 A 定格で 300 m, 4,000 A で 900 m との報告⁽⁴⁾もあり、3 相一括形の普及や、今後の技術開発により、GIB の適用範囲は更に拡大されると考えられる。

5. 据付けと保守

5.1 据付け

GIB の据付けは、GIS で実績のある SF₆ ガス処理技術と防じん(塵)技術並びに離相母線の溶接接続の技術の上に、特別な裏当金の採用などの独自の技術を附加して行える。この場合、溶接の完全を期するため、必要に応じて作業前に溶接のサンプル試験を実施したり、溶接時に風雨の影響を受けないように、図 11. に示すようなクリーンボックスを使用する。クリーンボックスは、風塵を防ぐとともに、必要に応じて乾燥空気を送り込むことができるので、雨天時の据付けも可能になる。

溶接時には人が入り込めるスペースが必要であるが、相分離形では相間寸法をそれほど大きくとれないで、通常は容器の弾性を利用して相間を広げ、溶接スペースを確保する。図 11. の場合には、開きょ(渠)内敷設になるので、地上まで持ち上げて溶接を行う例を示しているが、開渠幅を一部分だけ広げておけば、そこで溶接し、GIB を順次に軸方向に移動させる方法も採用できる。

機器間を接続する場合には、最終ユニットの接続時に寸法調整が必要になるので、切削して使用できる寸法調整ユニットを用いるが、調整代が小さい場合にはベローズユニットを用いて調整することができる。

据付け後、真空引きの上、ガス充てんするが、1日のうちに作業が完了できるように 1 ガス区分の容積は 20,000 l 程度を限度とする。

最後に、不純物を不純物抑制装置内に捕捉するため、AC 電圧を段階的に印加する、いわゆるコンディショニングを実施する。1 方法として、常規対地電圧を 1 E とすると、0.5 E ~ 1.3 E の範囲内で数段階に分けて各 10 分間程度ずつ合計 30 ~ 60 分間のコンディショニングを

行えば十分である。コンディショニングの電源容量が十分にない場合には、1 相ずつ実施したり、3 相一括形では 1 相ないし 2 相に電圧を印加して行うことも可能である。

なお、長距離母線の場合には、GIB の静電容量と、電源のインダクタンスとを共振するように選んで電源容量を少なくする方法も考えられる。

5.2 保守

運転開始後には特別に点検する必要はなく、温度補償圧力スイッチによるガス密度管理を行っていればよく、他の機器を巡回点検する際に外観の異常の有無を確認すれば、十分であろう。

塗装を行ったものについては、3 ~ 5 年で補修塗りを実施する。万一、破損した場合には、状況によって破損箇所を切断除去し、新しい母線を溶接接続して復旧することが可能である。

6. むすび

GIB は、電力需要の増大と、都市の過密化により、ますますその役割が増大してゆくものと考えられるが、今後、可とう(撓)性を加えた GIB を採用するなどで、据付け自由度の増大や工期の短縮が図られ、経済面でもますます有利になり、急速に普及するものと思われる。

また、現在、検討が実施されている UHV 送電では、GIB は不可欠な要素と考えられ、現在でも容器及び絶縁スペーサなどには製造技術上に何らの問題もなく、仕様が確定すれば、容易に開発が可能である。

終わりに、この GIB のシリーズ化に種々ご助力下さった関西電力(株)、北海道電力(株)並びに中部電力(株)の関係者に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 松村、富永ほか：電気学会関西支部、昭 53, G 3-57
- (2) 松村、富永ほか：電気学会全国大会、和 54, 1,026
- (3) 松村、富永ほか：三菱電機技報、54, No. 8, p. 593 (昭 54)
- (4) 林ほか：電気学会誌、97, 5, 344 (昭 52-5)

全日本空輸(株)総合ネットワークシステムの開発

青柳 敏*・磯崎 真**・苅田正雄**・中村俊彦**・林 博之**

1. まえがき

大形航空機を利用した大量輸送時代をむかえ、航空会社の扱う情報量の増加も年々著しく、オンライン機能に質・量共に高度なものが必要されている。

このような背景のもとに全日本空輸(株)が計画し、開発にあたった総合システムが、昭和53年11月6日から運用を開始した。航空機の座席予約、及び航空機の運航管理を主業務とするこの総合システムは、全国の空港、支店、及び各地の代理店を網羅する一大ネットワークを構成している。

この全日空総合ネットワークシステムでは、全国津々浦々からの航空機の座席予約などの問合せを直接センタのホスト計算機と接続せず、いったん最寄りの回線集約用サブセンタに集めここで低速回線群を数本の高速回線に集約しセンタと接続する方式を採用し、回線使用コストの低減、及びホスト計算機の負荷分散をはかっている。

ホスト計算機には日本ユニバックス(株)のU-1100/44 4重系大形システムが導入され、この総合ネットワークシステムを支える全国4か所のサブセンタに設けられた回線集約用通信制御処理装置の製作、設置、並びに全国350か所以上に及ぶ座席予約及びネットワーク管理用端末M345F-Mキャラクタディスプレー装置、更に航空券の自動発行用端末M2243発券プリンタ装置の製作と、全国各地への設置・展開を三菱電機(株)が担当した。

ここでは全日空総合システムの概要とともに、特に三菱電機が開発した通信制御処理装置、及び端末装置などについて紹介する。

2. 全日本空輸(株)総合ネットワークシステムの概要

2.1 総合ネットワークシステムの機能

このシステムでは、リザーナシステム及び空港システムと呼ばれる2種の業務処理が動作しており、その概要を表1.に示す。

2.1.1 リザーナシステム(RESANA: Reservation System of ANA)

全国各地の支店及び代理店から寄せられる座席予約を迅速にかつ大量に処理するシステムで、国内線予約システムとしては初めてPNR(旅客氏名登録)方式を採用している。PNR方式は座席の予約に際

して利用者が確実に座席を保留できるように、予約済とう(搭)乗便の情報、旅客氏名、連絡先、航空券購入の状態、及びその他サービス情報を計算機に入力し座席管理を確実に行うシステムである。またこのほか、オンラインによる運航ダイヤの登録・変更、座席の台帳管理の実施等の特長を持つシステムである。

航空券購入時に航空券を自動発券するシステムも近日中に運用が開始される。

2.1.2 空港システム

各空港における航空機の運航管理、運航指示、空港間メッセージ通信等の業務を行うシステムであり、表1.に示す4種のサブシステムごとに機能を果たしている。

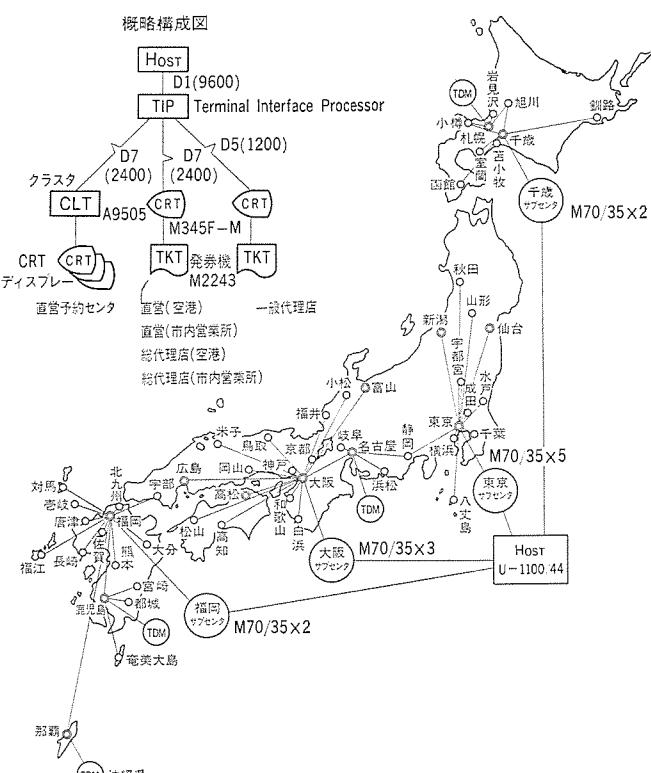


図1. 総合ネットワークシステムの構成

表1. 総合ネットワークシステムの機能

システム名	リザーナシステム	空港システム	ス テ ム
サブシステム	—	運航情報システム	気象情報システム
システムの通称	RESANA (Reservation System) of ANA	FIS (Flight Information) System	FPS (Flight Planning) System
機能	(1) 航空機の座席予約及び照会 (2) 航空券の自動発券	航空機の運航情報の収集・伝達	(1) 飛行実施計画の作成及び伝達 気象情報の収集及び各空港への伝達
他計算機システムとの結合	旅行代理店計算機システム	—	航空局計算機システム
			気象庁計算機システム

表 2. TIP 接続回線端末一覧

回線呼称		プライマリ回線	セカンダリ回線					
接続端末	呼称	HOST	CRT	ROP	VDT	L/P	DTY	TC 500
	形番	L 1100/44	M 345 F-M	A 9600-35	H-9908	H-9613	H-9391/9393	TC 500
	種類	ホスト計算機	キャラクタディスプレー装置	受信専用プリンタ装置	キャラクタディスプレー装置	ラインプリンタ装置	データタイプライタ	データタイプライタ
通信速度	9,600 bps	1,200/2,400 bps	1,200/2,400 bps	1,200 bps	1,200 bps	1,200 bps	200 bps	200 bps
通信方式	全2重	半2重	半2重	半2重	半2重	半2重	半2重	半2重
同期方式	同期式	調歩式/同期式	調歩式/同期式	調歩式	調歩式	調歩式	調歩式	調歩式
伝送制御手順	HDLC準拠 非同期応答モード	M 345 標準制御手順		Pol-Sel 方式	Pol-Sel 方式	Pol-Sel 方式	Pol-Sel 方式	Pol-Sel 方式
伝送コード	JIS 8 単位	JIS-C-6220	JIS-C-6220	JIS-C-6220	JIS-C-6220	JIS-C-6220	JIS-C-6220	ASC 11
主業務	—	リザーナ/空港系	リザーナ/空港系	空港系	空港系	空港系	空港系	空港系
備考		M2243発券プリンタ C3483-4汎用プリンタが接続可		運航管理用 ITV の接続				

2.2 ネットワーク構成

このシステムは東京羽田に計算機センタを設置し、千歳空港、羽田センタ内、大阪市内、及び福岡空港の4か所に5システムの回線集約用サブセンタを、札幌、名古屋、鹿児島及び沖縄にはローカルセンタを設置し、端末とホスト計算機とを効率のよい回線網で接続する一大ネットワークを構成している。

図1.にこのネットワークシステムの構成を示す。回線集約用サブセンタには、《MELCOM》70/35ミニコンピュータが通信制御処理装置として採用され、TIP (Terminal Interface Processor) システムと呼ばれている。各地のTIPとU-1100/44ホスト計算機とは、9,600 bpsの複数回線で接続されている。

ローカルセンタはサブセンタに接続され、端末集中度の高い都市の端末群を集約している。ローカルセンタにはTDM (Time Division Multiplexer) と呼ばれる回線分割使用装置が設置されている。

そして、このオンラインネットワークシステムを支える端末装置として、全国各地の空港、都市などに800台余りの予約業務用M 345 F-Mキャラクタディスプレー装置、300余台の空港系業務端末群が設置されており、全国どこからでも高度な通信機能を用いてホスト計算機と自由に対話し業務を遂行できる体制がとられている。

2.3 回線・端末の接続方式

回線集約用TIPには、ホスト計算機が接続されるプライマリ回線と、端末群が接続されるセカンダリ回線とに大別され接続される。

プライマリ回線は、HDLC(High Level Data Link Control)に準拠した制御手順を全2重9,600 bps複数回線上で実現し、接続している。

セカンダリ回線は、通信速度200~2,400 bpsの半2重通信方式で各種端末と接続されている。各種端末は、端末ごとに異なった制御方式により制御されている。表2.に回線・端末の接続一覧を示す。

3. 通信制御処理装置 (TIP) の機能

3.1 回線の集約

このシステムにおいて、TIPはリモートコンセントレータとしての機能を果たすべく全国4か所に設置され、担当地区の低速回線に接続され

た端末からのメッセージを集め、ホストとの高速回線に統合しメッセージを送出する。このようにTIPで地区ごとに多数の低速回線を、小数の高速回線に集約しホストと接続するこの方式は、回線コストの低減効果が非常に大きい。

3.2 ネットワーク制御

端末ごとに異なる制御手順及び回線の諸特性をTIPで吸収し、ホスト計算機とは同一の制御手順、同一特性の回線を用いてメッセージの交換を行う。これにより、ホスト計算機の通信制御における計算機負荷を軽減し、業務処理に専念できる環境をととのえている。TIPで持つ伝送制御手順を以下に述べる。

3.2.1 対ホストデータリンク制御

ホスト-TIP間の伝送制御には、このシステムのために新たに開発された伝送制御手順が使用されている。この手順はHDLC制御手順を1文字単位の伝送制御上で実現させており、次の6項を主眼として日本ユニバックス(株)と共同で開発された。

- (1) 異機種計算機間結合 (非同期応答モードの採用)
- (2) 高信頼度・高能率転送
- (3) コードトランスペアレントな伝送
- (4) マルチチャネル伝送制御の実現
- (5) メッセージ管理による航空券の抜け、2重発行の防止
- (6) ホストによる運転状況の一括管理

3.2.2 セカンダリ回線/端末制御

TIPでは6種の端末群が5つの伝送制御手順によって接続されており、すべてポーリング-セレクティング方式を採用している。

(1) M 345 制御手順

M 345 F-Mキャラクタディスプレー装置、A 9505クラスタ制御装置、A 9600-35受信専用プリンタ装置等を制御する手順であり、調歩/同期の両同期方式で動作する。なおM 2243発券プリンタ装置はこの手順を用い、M 345 F-Mを経由して出力される。

(2) VDT 制御手順

H-9918キャラクタディスプレー装置、及びITV装置を制御する手順である。

(3) L/P 制御手順

H-9613 ラインプリンタ装置を制御する。L/P は出力専用端末のため、ポーリング手順は持たない。

(4) DTY 制御手順

H-9391/H-9393 データタイプライト装置を制御する。

(5) TC 500 制御手順

TC 500 データタイプライト装置を制御する。

3.2.3 コード変換

端末とのメッセージ送受信時にホスト-TIP 共通コードと端末個有の伝送コード間のコード変換を行う。また端末、ホストごとの伝送で定められた制御コードの検出を行い、制御コードで決められている機能を果たす。これらのコード変換、タイムフィル文字の検出などは通信制御装置のマイクロプログラムで行われる。

3.3 障害処理

TIP のハードウェア及びソフトウェア障害に対するリカバリ処理、リンク制御・端末制御上の障害に対する処理など、各種障害に対し自動回復処理が採用されている。

特に TIP の障害対策として、各サブセンタに 1 台設置された予備 TIP に、オンライン計算機の状態監視プログラムを常駐させ、オンライン機に障害が検知された時、接続されている全回線をプログラムコントロールで一斉に切換え、自動的に処理を継続する。

3.4 保守診断機能

オンライン実行中に検知された回線・端末の障害を診断し障害機器を分離し、担当分野に連絡することによって障害回復に当たる。また新設される回線・端末の評価を行い、オンライン使用前に初期不良を検出し回復に当たる。これら両機能共にホスト計算機の指示により、TIP と TIP オペレータとが対話をしつつ実行される。

4. TIP の構成

4.1 ハードウェア構成

TIP は 6680 通信制御処理装置と称し、《MELCOM》70/35 中央処

表 3. ハードウェア概略仕様

機器	項目	仕様
中央処理装置 MELCOM 70/35	(1) 記憶容量	16~128 K 語
	(2) 語長	16 ビット + 1 パリティビット + 1 スペアビット
	(3) 命令数	74+14 (オプション) 種
	(4) 演算速度	加減算 1.10 μ 秒
	(5) 回線制御装置接続台数	2 台/TIP
	(6) その他	ブッシュダウン スタック、アドレス変換機構等
回線制御装置 TYPE-II CCL	(1) 通信速度	50 bps~48 Kbps
	(2) 収容回線数	半 2 重 96 回線/台 全 2 重 48 回線/台
	(3) データ輸送能力	20 K バイト/秒/台
	(4) 通信方式	単向、半 2 重、全 2 重、NCU 制御
	(5) 同期方式	調歩同期式、独立同期式、フレーム同期式
	(6) 伝送コード	5~8 単位の任意のコード

理装置と、6,660 回線制御装置 (タイプ 2-CCU) とから構成されている。

図 2. に標準 TIP システムのハードウェア構成を、表 3. にハードウェア概略仕様を示す。

東京サブセンタの予備機には、ネットワーク変換処理のため、標準構成に加えて、カード読み取り装置、ラインプリンタ装置、固定ヘッドディスク装置、及び磁気テープ装置が接続される。

4.1.1 TIP を構成する主要機器の機能

(1) 中央処理装置 (《MELCOM》70/35 システム)

主記憶容量 112K 語を内蔵し、ソフトウェアにより全システムの制御を行う。この装置には、回線制御装置を接続する高速チャンネル、システムタイプライト装置、及び外部記憶装置としてカセット磁気テープ装置が接続される。

(2) 回線制御装置

中央処理装置と伝送回線との間にあって、マイクロプログラム制御のもとに、送受信されるデータの直並列変換、回線インターフェースの制御、制御キャラクタの検出、コード変換、回線ごとのタイム監視などを行う。

また通信制御パルスを持ち、回線、端末診断の際、オペレータからのコマンドを受付け、診断処理の制御を行う。

(3) システム操作卓

TIP の運転状況、及び回線の動作状況を表示するとともに、手動により TIP の系の切換指示を行なう装置である。

(4) 回線切換装置

2 台ないし 4 台の TIP の内 1 台を予備機とし、オンライン機障害の際の系の切換えを、予備機からのプログラム指示、あるいはシステム操作卓からの切換指示によって行なう。

4.1.2 各サブセンタの TIP 構成

各サブセンタは、オンライン TIP、予備 TIP、及び回線切換装置から構成されている。現在の各サブセンタ TIP 構成を表 4. に示す。最大構成時

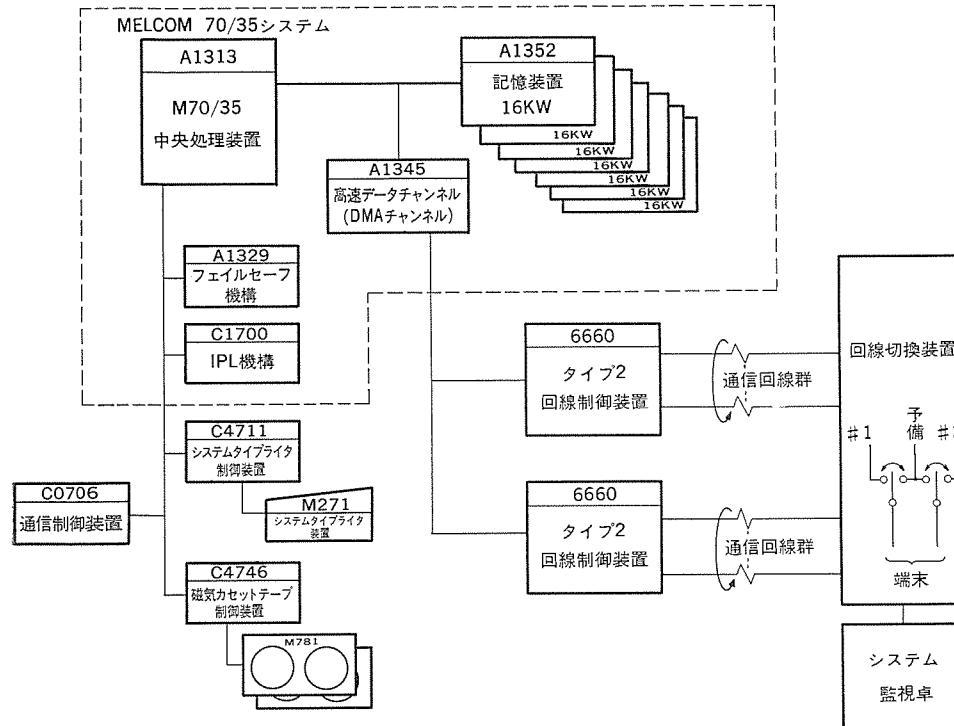


図 2. 標準 TIP システムのハードウェア構成

表 4. サブセンタの TIP 構成
(カッコ内は増設計画のある TIP 台数)

サブセンタ名	TIP 構成台数			対ホスト接続回線数
	オンライン系	予備系	合計	
千歳	1	1	2	2回線/TIP
東京第1	2	1	3	3回線/TIP
東京第2	1(+1)	1	2(+1)	2回線/TIP
大阪	2(+1)	1	3(+1)	3回線/TIP
福岡	2	1	3	2回線/TIP
合計	8(+2)	5	13(+2)	—

には、オンライン系3台に対し予備系1台となる。

4.2 ソフトウェア構成

TIP では、CNM (Communication Network Manager) と呼ばれる通信制御専用のパッケージソフトウェアを使用している。

CNM は大きく次の3種のプログラムに分類される。

- (1) エグゼクティブ
- (2) コミュニケーションプログラム
- (3) サポートプログラム

4.2.1 エグゼクティブ

エグゼクティブは CNM プログラムの中核となるプログラムであり、次の9種の機能モジュールから構成される。

- (1) 割込処理プログラム
- (2) システム障害処理プログラム
- (3) タイマ管理プログラム
- (4) パネル制御プログラム
- (5) タスク管理プログラム
- (6) キュー管理プログラム
- (7) バッファ管理プログラム
- (8) 各種エグゼクティブサービスプログラム
- (9) オンライン系監視プログラム(バックアップモニタ)

エグゼクティブの各機能モジュールは、おのおの独立したプログラムとして、コミュニケーションプログラム、サポートプログラム、及びエグゼクティブの他機能からの要求に応じて処理を行う。

バックアップモニタは、システムの初期値設定時に予備系として位置付けられた TIP でのみ動作し、1秒に1回オンライン系の監視を行い、障害を検知したならば直ちに回線系を切換え、自己をオンライン系と

して動作させる機能を有する。

このエグゼクティブは、スループットを重視するため、内部処理をすっきりして効率のよいプログラム体系で実現している。

4.2.2 コミュニケーションプログラム

コミュニケーションプログラムは、次の5種のプログラム群から構成され、回線制御装置、回線、端末を一括して管理し、ハードウェアの割込み、あるいはエグゼクティブにより起動される。

- (1) 回線制御装置コントロールプログラム(CCP)

- (2) ラインハンドラ(LH)

- (3) 回線サービススケジューラ(LSS)

- (4) 各種サービスサブルーチン群(FBGR)

- (5) メッセージエディット&ルーティングプロセッサ(EDIT)

各モジュールは、ラインハンドラを除き、回線/端末の特性から原則として独立しており、はん(汎)用度の高いシステムを構成している。このため、新たな制御手順を有する端末をシステムに追加する場合、ラインハンドラだけを作成するだけでよい。現在、対ホスト(リンク)、M345、VDT、L/P、DTY、及びTC500の6種の端末などを制御するラインハンドラを有する。

メッセージエディット&ルーティングプロセッサ(EDIT)では、ホスト及び端末から受信したメッセージが正常に相手に受信されるまでの管理、ホスト回線におけるチャンネルリンクの管理などを行う。

4.2.3 サポートプログラム

サポートプログラムは、オンライン動作と並行して、障害となったハードウェア(回線制御装置、モデム、回線、端末)の診断・保守を実行する。サポートプログラムは、次の2種の機能モジュールから構成される。

- (1) オンライン端末テストプログラム
- (2) インライン回線テストプログラム

4.2.4 CNMでのメッセージの流れ

図3.にTIPにおけるCNMプログラム内のメッセージの流れを示す。各端末ハンドラからのポーリングに対し、端末から受信したメッセージは、回線制御装置コントロールプログラム(CCP)、端末ハンドラ(LH)を経由してEDITプロセッサに渡される。EDITプロセッサでは、メッセージにホストとのインターフェースをとる情報を付加し、リンクハンドラを通じホスト計算機に送出する。ホストでメッセージを正常に受信するまでEDITプロセッサで送出したメッセージを保管し、メッセージの再送要求があれば直ちにそれに応じる体制がとられている。

ホストから応答メッセージが受信されたとき、CCP、リンクハンドラを経由してEDITプロセッサが起動され、端末の種類、番号、メッセージの正当性などを解析した後、該当する端末ハンドラに渡され、端末へメッセージが送出される。端末へのメッセージ送信が完了したとき、EDITプロセッサはホストへ送信完了通知メッセージを送出する。ホストではTIPから送信完了通知を受信するまで、TIPへ送出したメッセージを保持し、TIPからの再送要求に備える。

このようなメッセージの流れにより、メッセージの蒸発、2重発行防止などの制御を行っている。

5. リザーナ端末システムの概要

全日空総合ネットワークシステムには、以下に示す端末群が全国各地の空港、支店、代理店に設置され、主にリザーナ業務に使用されている。図

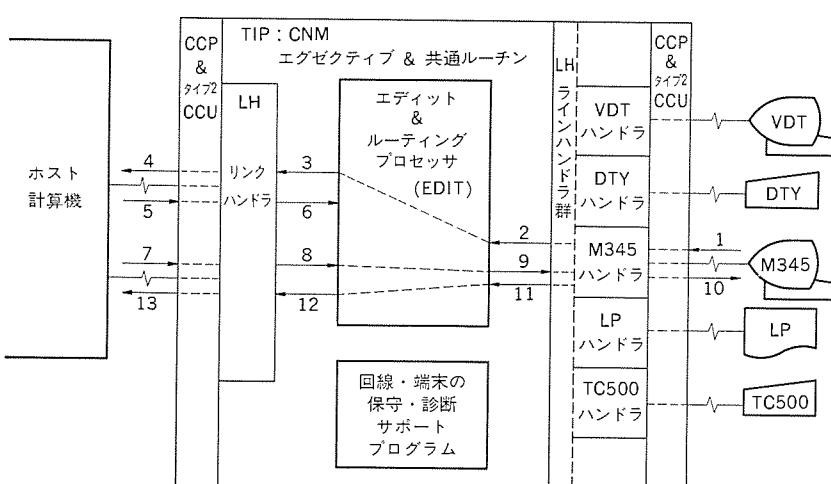


図3. CNMでのメッセージの流れ

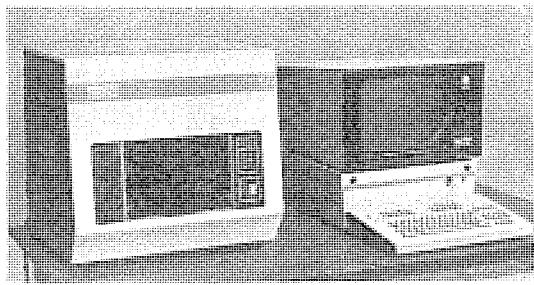
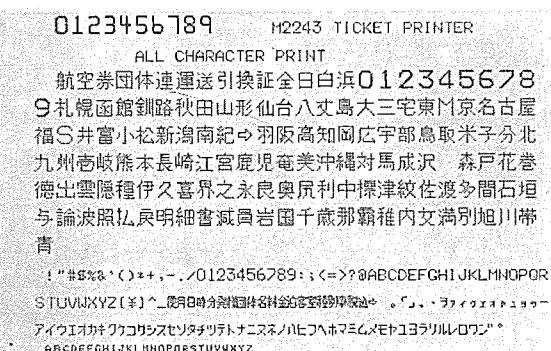


図 4. M 345 F-M CRT, M 2243 TKT の外観



(a) 航空券印字例



(b) 全文字印字例

図 5. 発券プリンタ印字例

4. に M 345 F-M 及び M 2243 TKT の外観を示す。

5. 1 リザーナ端末の概要

(1) A 9505-10 クラスタ制御装置 (CLT)

2~16台のM 345 F-M CRT, 及び, A 9600-35 ROPを集約し, 1本の回線に接続する集線機能を有する端末制御装置である。

(2) M 345 F-M キャラクタディスプレー装置 (CRT)

14インチモノクロブラウン管を使用し, 128種2,000文字をラスタスキャン方式で表示するキャラクタディスプレー装置である。各CRTには空港名+などを持つ専用キーボードが接続され, 予約・案内等業務の主要端末として使用される。

(3) A 9600-35 受信専用プリンタ装置 (ROP)

128種の文字を165字/秒の速度で印字するワイヤドット方式の受信専用プリンタ装置で, CRTとは独立して設置される。

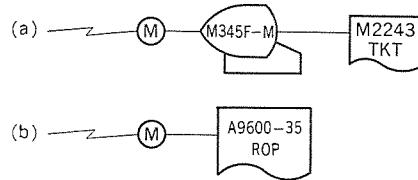
(4) C-3483-4 ハードコピ-装置 (H/C)

M 345 F-M CRTに接続され, ROPと同様の機能を有する。

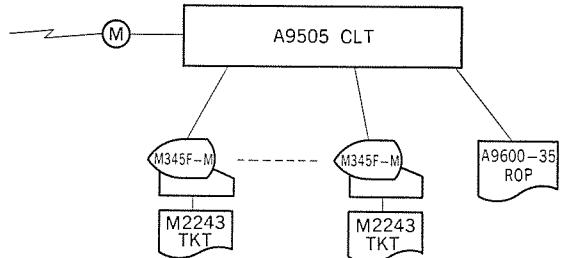
(5) M 2243 発券プリンタ装置 (TKT)

ホストから送信されるメッセージを航空券として印字出力するプリンタ装置である。空港名などの漢字148種, 英数カナの各大中小文字,

(1) スタンドアロン接続形



(2) クラスタ接続形



(3) コンカチネーション接続形

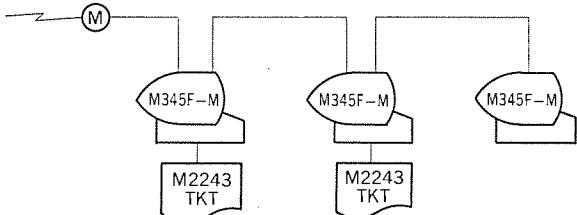


図 6. リザーナ端末の接続形態

OCR (Optical Character Readout) 装置で読込可能な10種のOCR文字などが印字可能である。図5.にM 2243による印字例を示す。

5. 2 リザーナ端末の接続方式

端末のシステムへの接続方式には, スタンドアロン, クラスタ, コンカチネーションの3種があり, 図6.にその接続形態を示す。

6. むすび

このシステムは, 表5.に示すシステム移行を経て昭和53年11月に運用が開始され, 以来システムは順調にか(稼)働している。

また昭和54年3月に実施されたTIP処理能力測定において, 当初の設計どおり, 端末への1秒ごとのポーリングサービス, 20件/秒のメッセージ処理が実証され, ホストの処理時間を含めての応答時間が, 平均3秒以内という非常に良好な状態で運用されている。

今後とも端末の増設が予定され, 最終的にはリザーナ・空港系端末を含め2,300台を越える世界有数規模のネットワークシステムが計画されている。

最後に, このような大規模システムの完成のため絶大なご支援とご協力をいただいた, 日本ユニバックス(株)ほか, 各社開発関係並びに運用部門の各位に深く感謝する次第である。

表 5. システム移行の概要

業	務	空港システム	リザーナシステム
移行日	昭和53年9月1日	昭和53年11月6日	
移行方式	計算機システムの置換 (回線, 端末構成は維持)	全システムの置換 (計算機, 回線, 端末)	
回線系の移行方	事前処理	新旧計算機間に回線切換 スイッチを設置	新システムを構築 ただし一部端末は仮設置
法	移行当日	スイッチ操作による回線 切換	新端末の本設置 旧端末との置換

石油ガス化ファンヒータKD-25, KD-32BT, B形

根岸 宣匡*・山口 博志*

1. まえがき

毎年約600万台販売されている石油ストーブは、火災や火傷などの安全性及び臭気、すす発生において悪いイメージを持たれていた。このような問題を解決するために石油ガス化ファンヒータが開発されたものである。このファンヒータの燃焼機は、灯油を空気圧で噴霧しガス化して燃焼させる予混合燃焼方式であって、クリーンな完全燃焼ですすの発生がなく、点消火の歯切れがよいので臭気の発生も少なくなっている。また今まで不可能とされていた火力調節が簡単な方法で可能になり、部屋の暖房負荷にも追従できるようになった。

この最初のモデルは1978年に発売したが、市場での評価は大変よく、全国的な暖冬にもかかわらず約30万台が販売された。今年度品はデザインを一新し、燃焼の安定性、安全性、操作性を更に改善したものである。

2. 仕様

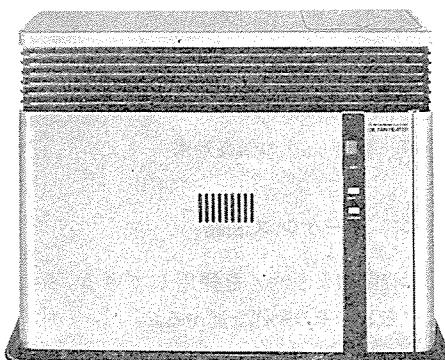
機種系列として3,200 kcal/h 2種類、2,500 kcal/h 1種類で仕様は表1のとおりである。

特長

- (1) 燃焼は完全燃焼ですすの発生がなく、点火、消火が瞬時であるので臭気の発生が少ない。
- (2) 完全燃焼させながら無段階の火力調節ができる。
- (3) 安全装置はすべて自己保持回路を採用し、フェイルセーフ構造にしてある。
- (4) 安全で室温分布のよい温風式である。
- (5) すえ(据)付工事が不要で、移動できる。

3. 構成

図1. は構造を、図2. は燃焼原理を示す。図1. において(図2. を参照して)、燃焼用の1次空気は送風部より点火つまみ(兼火力調節バルブ)を経て中央



KD-²⁵₃₂ BT形石油ガス化ファンヒータ

表1. 仕様

形 名	KD-25 BT形	KD-32 BT形	KD-32 B形
油 タン ク	4.2l カートリッジタンク	(別売別置タンク)	
電 源	単相 100V 50/60Hz		
定格消費電力(燃焼時)	100/98W	115/110W	
点火時初期最大消費電力		300W	
暖 房 能 力	2,500~約1,600 kcal/h	3,200~約2,000 kcal/h	
暖 房 適 室	10畳~6畳	13畳~8畳	
送 風 量 (温 風)	1.5/1.6 m ³ /min	1.9/2.0 m ³ /min	
使 用 燃 料	白灯油 (JIS 1号灯油)		
灯 油 消 費 量	0.3~約0.19 l/h	0.38~約0.24 l/h	
運 転 音 (A 特 性)	強 43/44 弱 41/42 dB	強 43/44 弱 40/41 dB	
燃 焼 用 送 風 機	φ140 mm 2段ターボファン		
温 風 用 送 風 機	φ64×40 mm シロッコファン	φ70×240 mm ラインフローファン	
平 均 温 風 温 度		室温 +100°C	
点 火 方 式	高圧放電点火による自動点火		
安 全 装 置	炎検知装置 対震自動消火装置 停電保険装置 温度過界防止装置 水検知装置 移動安全装置	炎検知センサ+IC回路 自動セット形落球式 動作値 150~250 Gal リレーによる自己保持回路 サーモスイッチ+ 温度ヒューズ 水検知センサ+IC回路 送油回路しゃ断方式	
外 形 尺 法	高さ 501×幅 660×奥行 245 mm (置台:幅 707×奥行 327 mm)		
重 量	21kg	22kg	21kg

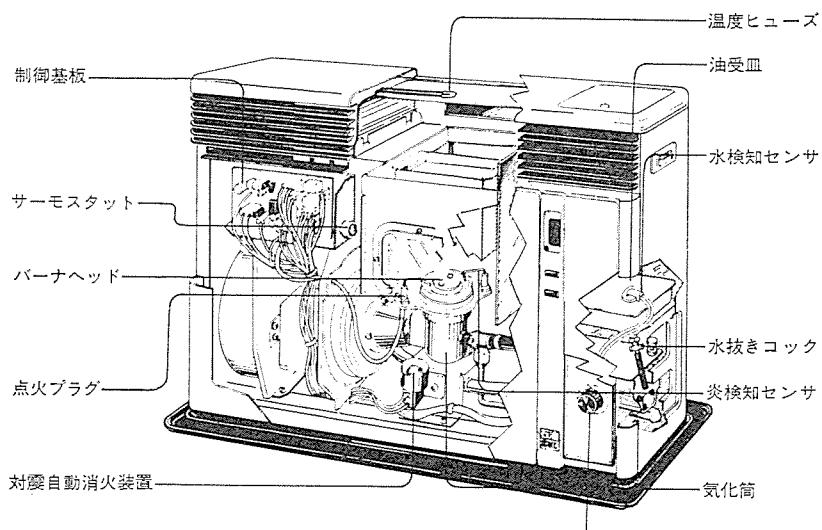


図1. 構造図 (KD-25 BT形)

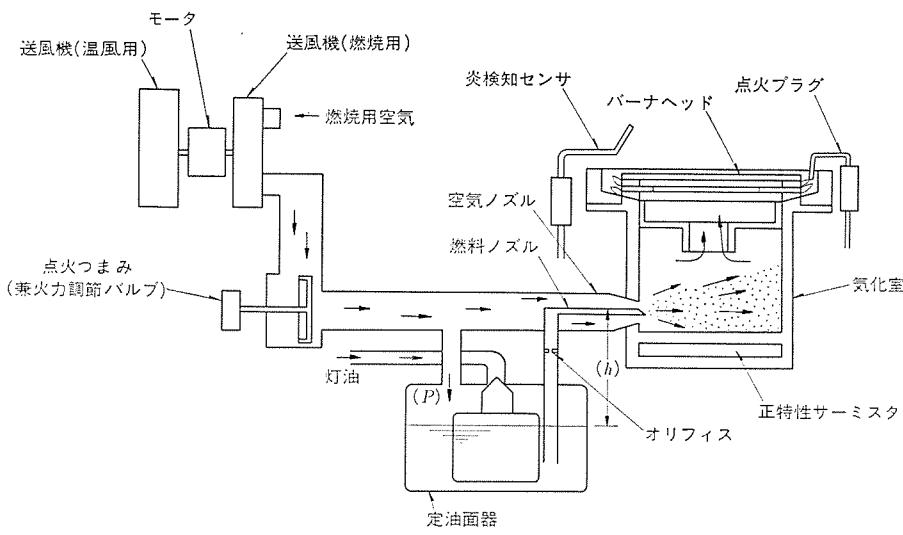


図 2. 燃焼原理図

の気化室に導入される。燃料はカートリッジタンクから油受皿を経て定油面器へ導かれ、空気圧で気化室に噴霧供給される。燃焼した高温の排気ガスはケース背面上部から吐出する冷風と混合し温風吹出口から吹き出される。なお制御基板は左、対震自動消火装置は気化室の下部に配置してある。

4. 燃 燃 装 置

図3.に燃焼機の構造を示す。図2.のヒータ(正特性サーミスタ)で気化室を所定の温度($\geq 200^{\circ}\text{C}$)に予熱した後、送風機によって燃焼用の1次空気が火力調節バルブを介して空気ノズルより気化室に供給されると、同時に空気ノズル内の静圧が加圧パイプを通じて定油面器にフィードバックされて灯油が燃焼ノズル内のオリフィスにて制御され気化室に1次空気で微粒化し供給される。この場合空気比 μ は次式のように表現できる。

$$\mu = Q / (q \cdot Q_0) K (1/Q_0) \cdot (P/h_1)^{1/2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 Q_0 、 Q は、理論空気量(単位重量の灯油を完全燃焼させるのに必要な理論的最小空気量)、及び実投入空気量(g)、 q は燃料投入量(g)である。 P 、 h_1 は、それぞれ空気ノズル内圧、灯油のオリフィス部における圧力損失(cm H₂O)。 K は、流量係数、オリフィス径や密度などに関係する比例係数である。燃焼ノズルと定油面器内油

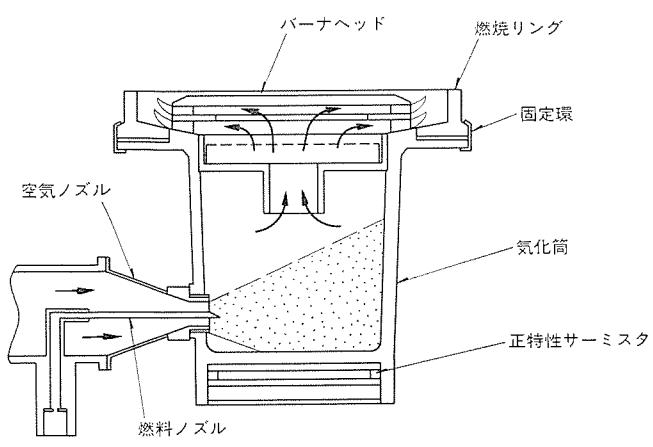


図 3. 燃焼機構造

面とのレベル差を h (cm)とすれば、 h_1 は次式で与えられる(γ_k 、 γ_w は灯油との密度)。

$$P - (\gamma_k / \gamma_w) h = h_1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

火力調節範囲を広くとるためには火力調節バルブによって変化する P に対して h_1 の比を一定にする、すなわち μ を一定にする必要があり、式(1)、式(2)から $h=0$ にしなければならないが、 $P=0$ になつても常に燃料ノズルの先端に灯油が残留し変質するため $h=15\text{ mm}$ を確保し、かつ最大の P を 45 mm Aq にして空気比の変動を $0.8\sim 1.0$ の範囲に抑え、最大燃焼量に対して 63% の火力調節をしている。

噴霧された灯油は気化室壁面に衝突し、気化して高速空気流によって掃気されるので気化時間が短縮され、かつ空気との混合が早いので、気化室のコンパクト化が図れるため点火、消火の歯切れがよく、未燃ガスの排出を少なくすることが実現できた。

バーナヘッドの炎口寸法はバックファイアに対して消炎距離を基準に設計し、リフトに対しては炎口負荷が過大にならないように炎口面積を設定し、かつ保炎効果のある燃焼リングをバーナヘッドの周囲に取付けた。この効果はすす粒子が生成され黄炎になる空気比 $\mu=0.7$ 以上とリフトが生じる空気比の範囲で比較でき、図4.に示してあり、燃焼量が大きい場合、すなわち炎口負荷が大きい場合この効果が顕著に現れ、火炎は炎口から完全に難れても燃焼リングの内周壁で燃焼しつづける。この燃焼リングはヒートショックに十分に耐える磁器にし、かつ気化室が熱伝導によって加熱しすぎないように取付けてある。

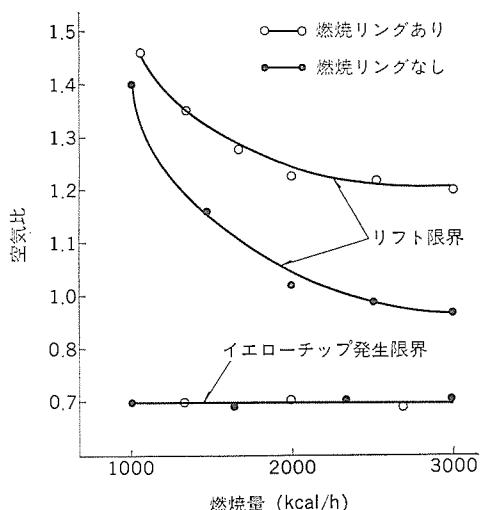


図 4. 燃焼リングの保炎効果

5. シーケンス回路

石油ガス化ファンヒーターは自動着火システムを採用している。シーケンス回路の概略図を図5.に示し、その動作を述べる。

(1) 電源プラグをコンセントに差し込み、点火つまみを回し電源スイッチを投入すると、正特性サーミスタのヒータに通じ、また電源ランプが点灯する。

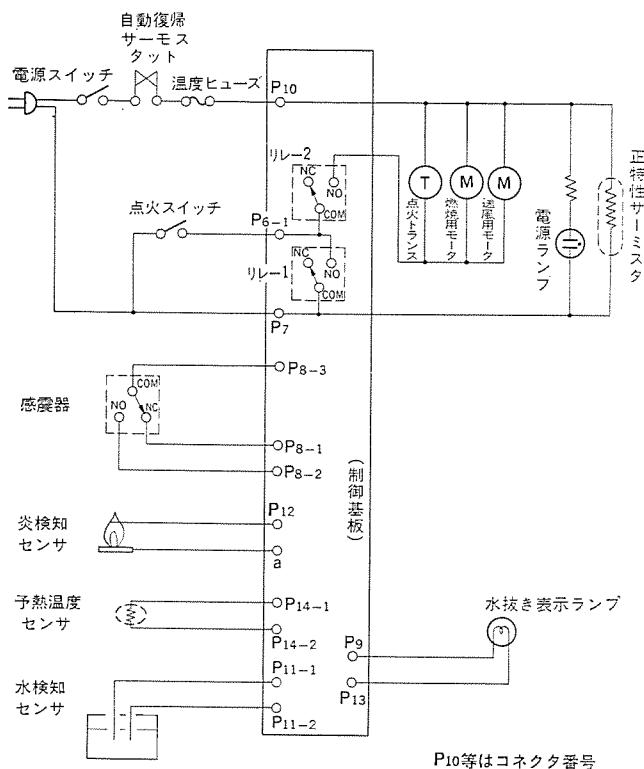


図 5. シーケンス回路概略図

(2) 点火つまみを押して点火スイッチを投入すると、制御基板に通電する。点火スイッチは点火つまみを押している間だけ投入し、点火つまみを離すと OFF するスイッチである。制御基板に通電すると、リレー 1 が閉じて自己保持する。リレー 1 は炎検知センサ、予熱温度センサ、水検知センサ、感震器（地震感知センサ）の信号によって制御される。

(3) 気化室内が灯油を気化するのに適した温度になると予熱温度センサの信号が変化し、リレー 2 が閉じて燃焼用モータ、（送風用モータ：KD-32 B, KD-32 BT 形の場合）点火トランスに通電され着火動作が始まる。点火トランスは内部にタイマを持ち通電後約 15 秒間火花放電する。

(4) 正常に燃焼しているときは、炎検知センサ信号によりリレー 1 は保持されるが、炎が無くなったとき、あるいは異常燃焼のとき、リレー 1 が OFF し、燃焼用モータ、（送風用モータ：KD-32 B, KD-32 BT 形の場合）が停止する。

6. 安全回路

石油ガス化ファンヒータは次の安全回路をもっている。

(1) 対震自動消火装置

感震器は自動復帰型を使用し、感震器の接点でリレー 1 の制御を行っている。感震器が 150～250 ガル (cm/秒²)・(震度 5 程度) の振動を受けるとリレー 1 が OFF し、燃焼を停止する。また感震器の接点が復帰するまでの間（約 60 ミリ秒）に制御基板内のリレー 1 電源電圧をリレー 1 の不感動電圧以下に下げ、リレー 1 の再動作を防ぐ。

(2) 温度過昇防止装置

異常過熱、異常燃焼を自動復帰 サーモスイッチと温度ヒューズとで 2 重にチェックしている。自動復帰 サーモスイッチと温度ヒューズは回路に直列に入っており、異常時には電源を元からしゃ断し、燃焼を停止する。

(3) 停電時再通電保障装置

燃焼中停電したとき燃焼を停止する。再通電されたとき、新たに点火操作をするまで、燃焼を開始しない。

(4) 炎検知装置

万一、炎が消えたときや異常燃焼のときにリレー 1 を OFF し、燃焼用のモータを停止させ、灯油の予混合ガスの発生を停止させる。炎検知センサはフレームロッドを使用し、炎のイオン電流を利用している。石油ガス化ファンヒータは正常燃焼の場合、15～30 μA 程度のイオン電流が流れる。

(5) 水検知装置

灯油の中に水が混入した場合、異常燃焼を未然に防ぐため燃焼を停止し、水抜き表示ランプを点灯させ、水が混入したことを知らせる。水検知センサは 2 本の電極を燃料タンク内に設け、水と灯油の電気抵抗の差を利用している。燃料タンク内に水がある場合、水センサ電極に流れる電流は 2～10 μA 程度である。

以上の安全回路はいずれも異常事態が過ぎ去っても、自動的には再燃焼をしない構造になっている。再燃焼させる場合は再度点火操作（点火つまみを押す）を行うことにより可能となる。

7. むすび

1978 年度は 30 万台を越える実績をつくり、新しい暖房器市場を形成することができた。1979 年度は他メーカーからもこの市場へ加わり市場は更に拡大される。今後この燃焼機の特長である火力調節、点火、消火の瞬時性、及びコンパクト化につき改善を図るとともに安全性、使用性能の向上に努力を重ねていきたい。なおこの製品の開発にあたりご指導、ご協力をいただいた各位に感謝する。

参考文献

- 野間口、松井、根岸：新しい灯油気化式燃焼機、三菱電機技術報、53、No. 8 (昭和 54)

軌道交通システムシミュレータACTS

荒屋 真二*・片岡 正俊**・高橋 啓一**・居蔵 和徳**

1. まえがき

当社では、軌道交通システムの計画・設計をサポートする「交通計画」、「システム基本計画」、「システム計画・設計」にわたる総合的なソフトウェアを体系化しているが、ここで述べる軌道輸送システムシミュレータACTS (Automatically-Controlled Transit System simulator) は、「システム計画・設計」の道具の1つとして開発したものである。

軌道輸送システムにおいてシステム全体のダイナミクスを定量的には(把)握することは、列車ダイヤ、信号保安システム、運行管理システムなどの設計・評価において重要なことである。しかし、この種のシステムでは変数の数が多いだけでなく、駅着発、信号変化などの離散的事象も数多く存在しているため、従来の数理的解析手法の適用が困難な分野の1つである。そのため計算機によるシミュレーションが有力な解析手段となってくる。

この論文では、シミュレータACTSの概要とそれを用いたシステム設計方法について述べる。

2. シミュレータの目的

シミュレータACTSは、駅間距離が比較的短く乗降客数の多い都市形の軌道交通システムを主な対象とし、システム全体のダイナミクスを定量的に把握しながら設計・評価を進める道具として開発したものである。その具体的な使用目的としては次の4つがある。

- (1) 信号保安システムの設計・評価
- (2) 列車ダイヤの作成・評価
- (3) 列車自動運転システムの設計・評価
- (4) 運行管理システムの設計・評価

これらはすべてシステム全体のダイナミクスに大きな影響を与えるものである。また、ACTSでは乗客フローも詳細にシミュレートできるので、上記以外にも多くの応用が可能である。

3. シミュレータの機能

(1) シミュレーションモード

ACTSには表1.に示すように(i)保安長確認運転モード、(ii)1列車運転モード、(iii)複数列車運転モードからなる3つのシミュレーションモードがあり、設計者は使用目的に応じてモードの選択が可能である。

(2) 方式選択の柔軟性

信号保安システム、自動運転システム、運行管理システムなどのサブシステムには種々の方式があるが、ACTSにはそれらの標準的な方式をいくつか組込んでおり、自由に選択できる。特殊な方式あるいは新方式に対しても4.2節で述べる応用シミュレーションにより即座に対処できる。

(3) モデル選定の融通性

ACTSには詳細度の異なる種々のモデルを準備しており、使用目的に応じて精度のモデルを選択できる。システムの規模が大きくなり、

表1. 3つのシミュレーションモード

モード	シミュレーション内容	基本的出力
保安長確認運転	すべての閉そく区分点において、人為的にATCブレーキを作動させ、列車を減速あるいは停止させる。	・距離・速度曲線 ・停止距離余裕
1列車運転	正常なATC信号のもとで、あるルートにそって、1列車を自動運転により走行させる。	・ランカーブ ・モータ電流 ・最小運転時間 ・各種評価量
複数列車運転	列車間の相互作用だけでなく、列車と乗客流の相互作用も考慮しながら、複数列車を運行管理システムのもとで走行させる。	・実績ダイヤ ・車内混雑度 ・ホーム待乗客数 ・列車遅延状況 ・各種評価指標

表2. 異常時シミュレーション内容

異常内容	指示項目
初期遅延	列番、駅番、遅延時間
駆動系故障	列番、駆動力減少率
徐行区間発生	閉そく区間番号、信号速度
乗客数急増	開始、終了時刻、OD表

シミュレーションが長時間にわたるときには、適当なモデルの選択により計算機の処理時間を節約することもできる。

(4) システム異常のシミュレーション

交通システムの評価にあたっては、その一部に異常が発生してダイヤが乱れたときのシステムの挙動も重要な検討項目の1つである。そのためACTSには表2.に示すような異常状態を人為的に発生できる機能をもたせてある。

(5) 乗客フローのシミュレーション

交通システム本来の使命は、乗客を安全、迅速、快適に輸送することにあり、それを乗客の立場から評価するには乗客フローのシミュレーションも不可欠であるが、従来あまり重視されていなかったようである。更に乗降客数が多く運転時間の小さい都市形システムでは、遅延増大現象に見られるように、乗客フローが列車ダイナミクスに与える影響もかなり大きい。そこでACTSでは乗客をODごとに管理した詳細な乗客フローのシミュレーションをも可能としている。

(6) 各種評価量の算出

表定速度、電力消費量、RMS電流、最小運転時間、待時間などを含めた総所要時間、総遅延時間等の各種評価指標も同時に算出する。設計者の判断を援助する。

(7) 対話形 シミュレーション

システム設計の迅速化をはかるため、ACTS は図 5. に示したようにグラフィックディスプレー端末を介する対話形のシミュレーションも可能である。

4. シミュレータの構成

4.1 システム構成

システム構成を図 1. に示す。シミュレーションプログラムと出力編集プログラムはシミュレーション結果ファイルを介して結合しており、一度シミュレーションを行えば、その結果を種々の形で何度も出力することが可能である。シミュレーションプログラムには、標準装備の「基本シミュレーションプログラム」と、設計者が必要に応じて作成したモジュールを組む「応用シミュレーションプログラム」の2種類がある。

データファイルは、入力データ、システムパラメータ、ダイヤなどの基本的情報を格納したファイル、各時刻ごとのシステム変数の値を格納した大容量ファイル、各駅での待乗客数の変化などを格納した専用目的ファイルから成り、目的に応じて内容の取捨選択を行うことによって、ファイル量並びにアクセス時間を制御できる。また、ファイルフォーマットに留意すれば他システムにこのファイルを流用することも簡単である。

4.2 プログラム構成

シミュレーションプログラムは、入力解釈部とシミュレーション部を分離した構成となっている。更にシミュレーション部は各サブシステムごとにモジュール化して、独立性の高いものとな

っている。(図 2. 参照) このモジュール化により、各サブシステムを目的にかなったモジュールで置き換えて実行する応用シミュレーションの実現を容易にしている。また、シミュレーション部の構成モジュールと入力解釈部との独立性を高めるために図 3. (b) に示すような間接入力法を採用している。この手法を用いれば、入力データを追加しても新たな入力ルーチンを作成する必要は全くない。

4.3 各モジュールの基本的機能

(1) シミュレーション制御モジュール

このモジュールは、各列車の状態をもとに種々のシステム変数の値を更新する。また、ダイヤの生成、入力データの取り出し、シミュレーション結果ファイルへの書出しなどの出入力管理も行う。

(2) 運行管理モジュール

このモジュールは、運行管理システムにほぼ対応しており、列車遅延時の管理、列車群制御指令の算出などの演算処理を行っている。列車遅延計測駅、計測方式、計測精度、操作量、制御駅、制御アルゴリズムなどを指定可能であり、これらが組合せられた形の列車群制

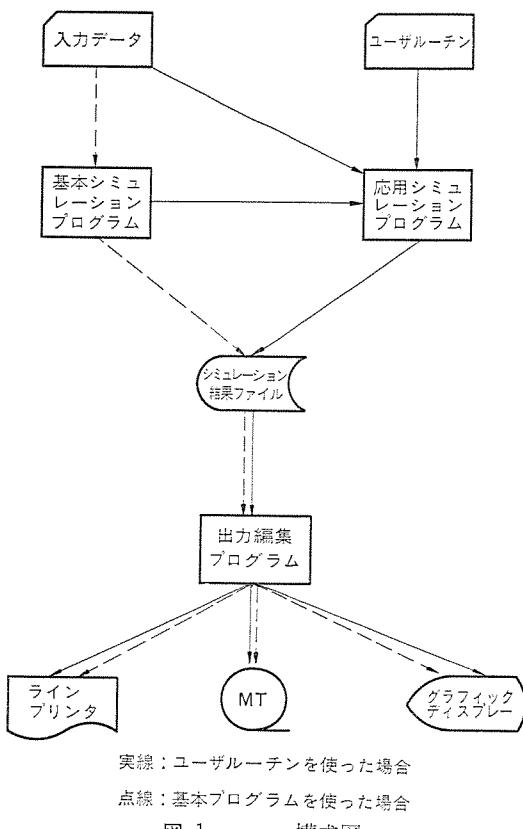


図 1. システム構成図

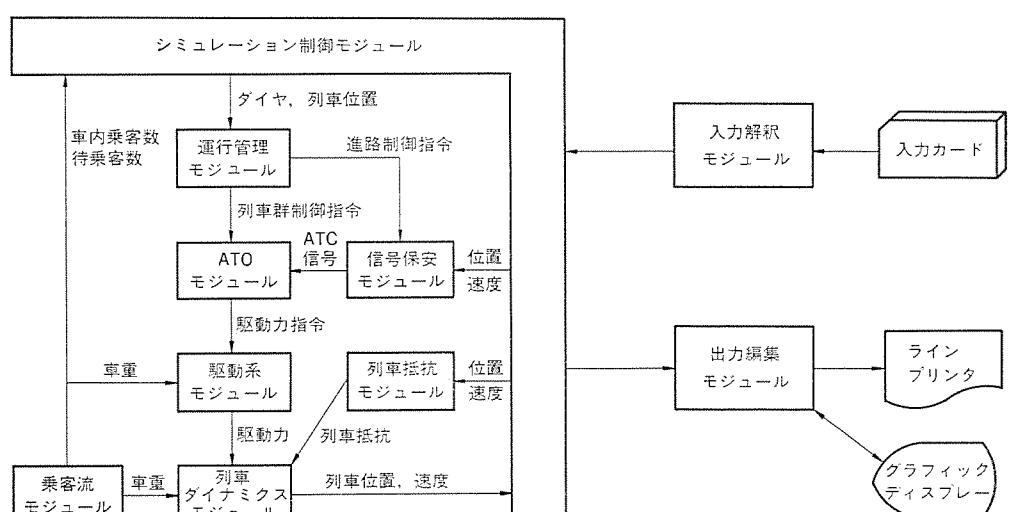


図 2. プログラム構成図

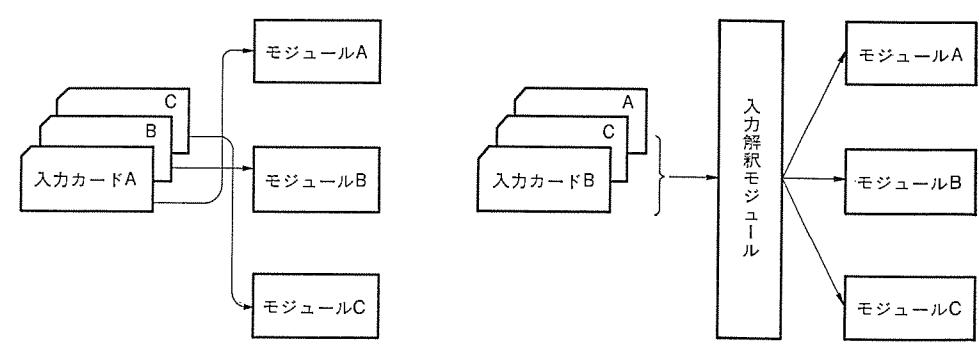


図 3. 直接入力方式と間接入力方式

御をシミュレートできる。

(3) 信号系モジュール

このモジュールでは各列車が受信するATC信号速度を閉そく方式、連動条件及び先行列車の状態にもとづいて決定する。閉そく方式連動条件が指定可能である。

(4) ATOモジュール

自動運転システムをシミュレートするモジュールである。受信したATC速度信号に、運行管理システムからの制御指令を加味させて駆動力指令を決定することにより、発車制御及び速度制御を実現する。定速制御モードと定位置停止制御モードの2つのモードから成り立っている。また、ATCブレーキ作動の判定もこのモジュールで行っている。

(5) 列車抵抗モジュール

走行中の各列車が受ける列車抵抗を計算するモジュールである。走行抵抗、こう(勾)配抵抗などの算出モデルが組込まれている。勾配抵抗計算では列車長を考慮した計算も可能である。

(6) 駆動系モジュール

各列車の駆動システムをシミュレーションするモジュールである。列車のけん引力、ブレーキ力の算出にあたっては、むだ時間と時定数を考慮しているほか、応荷重装置もモデル化している。また、主電動機の電流計算、力行、回生電力量も必要に応じて行うことができる。制御方式としてノッチ制御、ノッチレス制御の2方式を用意している。

(7) 列車ダイナミクスマジュール

列車抵抗及び駆動力などにもとづき数値積分を行い、各列車の位置及び速度を更新するモジュールである。

(8) 乗客フローモジュール

システム内の乗客フローをシミュレートするモジュールである。乗客フローは入力されたOD表を基礎とし、OD交通量を時間帯に応じて変動させる方法を探っている。駅及び列車内の乗客は目的駅別ごとに管理し、乗降速度は車内混雑度の非線形関数でモデル化している。

5. 入出力データ

ACTSは操作性にも注意を払っており、データに応じた種々の実行制御が可能である。入力形式は取扱いの容易なフリーフォーマットを採用した。また、他のシステムの出力を利用することもできる。

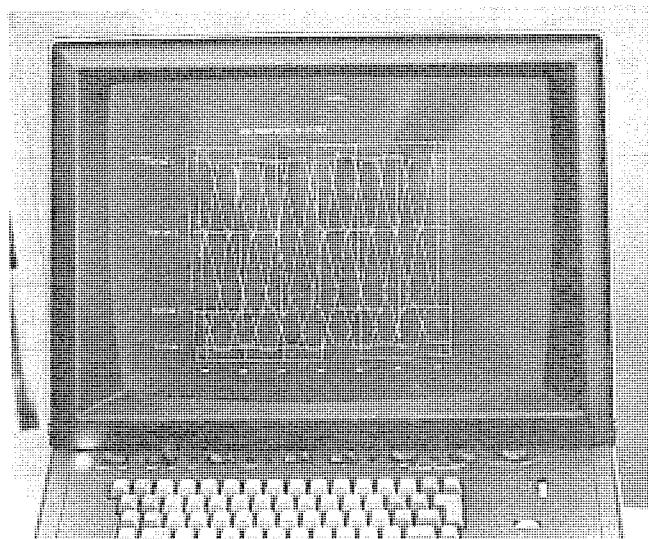


図4. グラフィックディスプレー画面例

ACTSを用いてシステム設計を行う場合には、パラメータを変化させてその影響を調べるという作業も多い。この作業をサポートするために「マルチラン機能」を有し、任意のパラメータの値を各シミュレーションランごとに自動的に変化させることによって、1度に何回ものシミュレーションを行わせることができる。

出力編集プログラムより得られる出力データは用途に応じXYプロット、グラフィックディスプレーに出力される。図4.にグラフィックディスプレーの画面例を示す。

6. システム設計での使用法

システム設計におけるACTSの使用法は種々考えられるが、ここではその1例を紹介する。図5.は、輸送需要及び路線条件を出発点とした場合のACTSの一使用法を示したものである。

(1) 保安長確認運転シミュレーション

このシミュレーションでは、各閉そく区間の長さが安全上十分であるかどうかのチェックを行うことが主目的であり、信号方式に応じた各閉そく区間の停止距離余裕が算出される。設計者は全線にわたって閉そく区割、使用信号速度、信号方式などの修正を行う。図6.はこのモードにおけるプロット出力の1例であり、列車長を考慮した勾配抵抗のもとでの停止距離が一目でわかる。

(2) 1列車運転シミュレーション

1列車運転シミュレーションでは、(1)で安全が確認された信号系のもとで1列車をある運転ルートにそって走行させることにより、表定

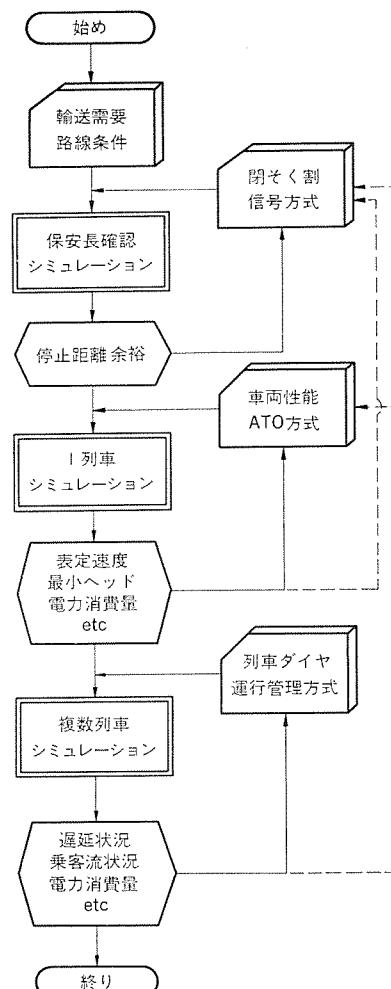


図5. シミュレータの使用法

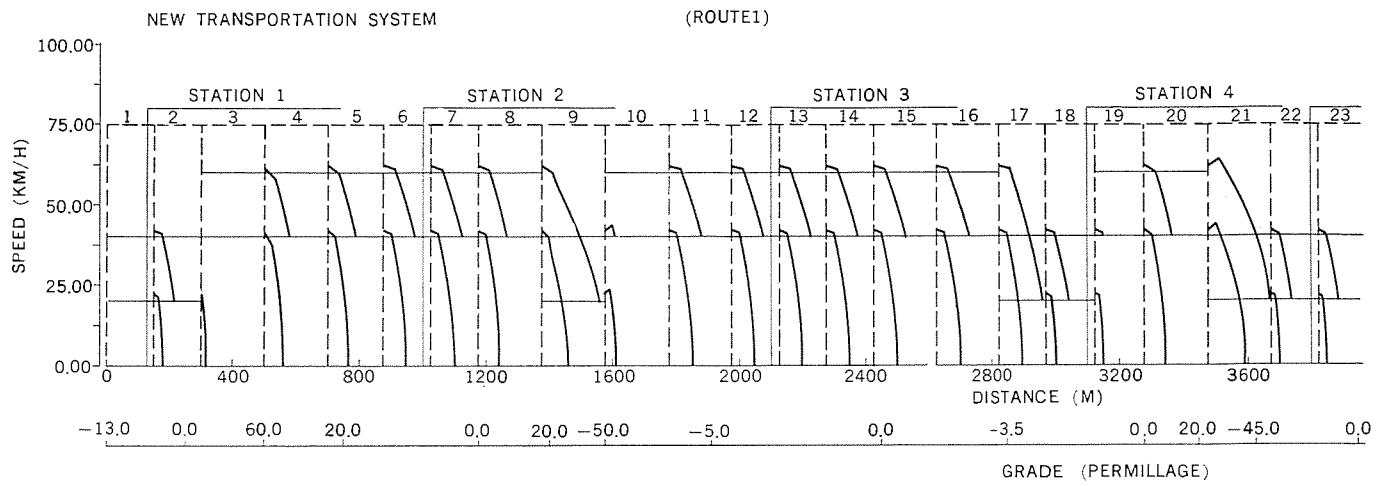


図 6. 保安長確認運転 シミュレーション出力例

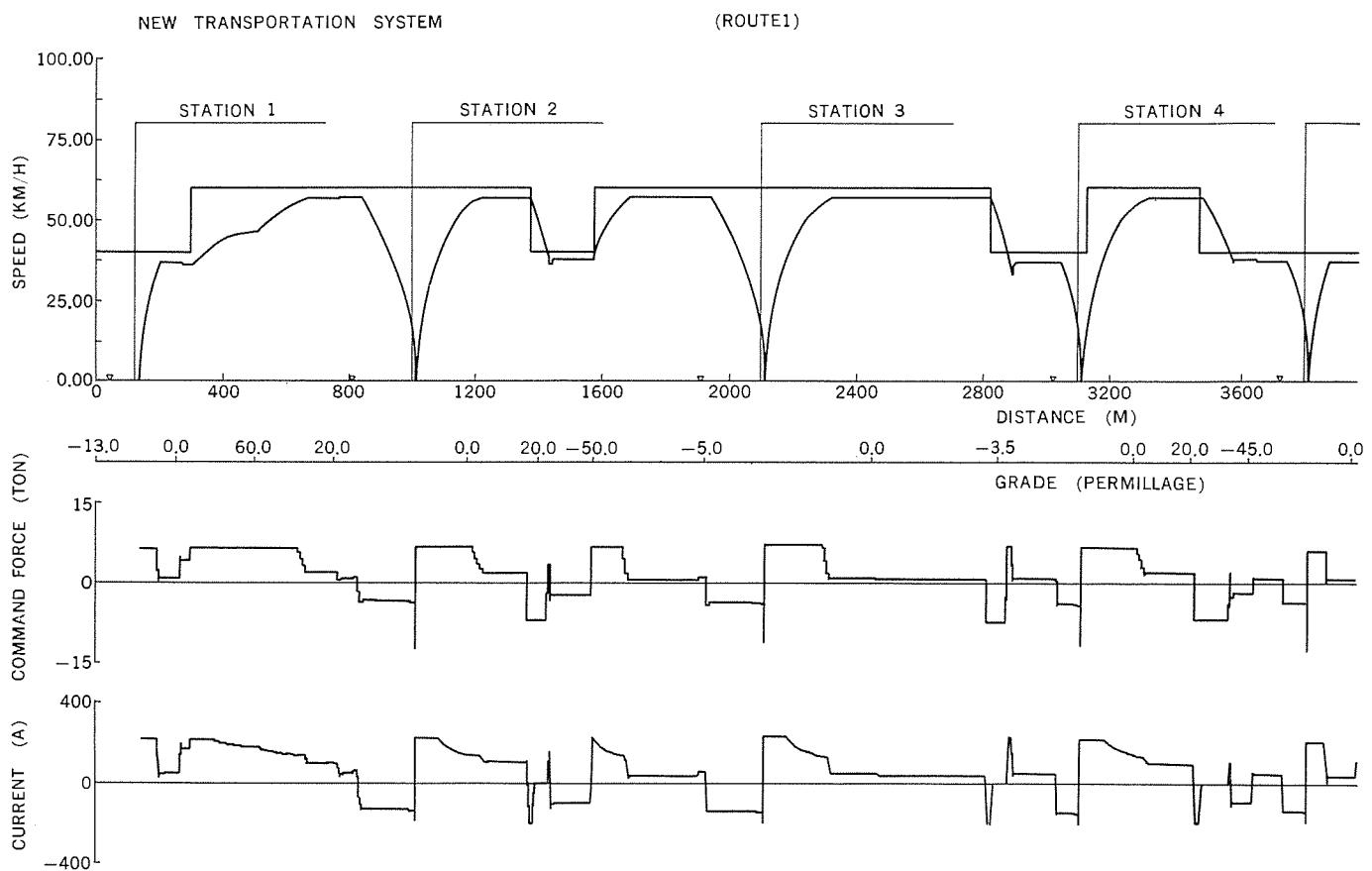


図 7. 1列車運転 シミュレーション出力例

速度、最小運転時隔などの基本的仕様が満足されているかを確認する。もし問題があれば、ランカーブを見ながら車両性能あるいは駅間走行制御系の修正を行う。また、場合によっては閉そく区間の数や長さ、あるいは使用する ATC 信号の変更も行うが、この時には(1)にもどって信号系の安全性を再確認する必要がある。この1列車運転シミュレーションは、閉そく割の修正に必要な各閉そく区分点における最小運転時隔、容量算定に役立つ主電動機の RMS 電流、力行、回生電力量あるいは列車ダイヤ作成の基本となる駅間走行時間などを出力する。図 7. はこのモードにおけるプロット出力の1例である。

(3) 複数列車運転 シミュレーション

複数列車運転シミュレーションは、乗客フローを含めたシステム全体の挙動をシミュレートすることによりダイナミックな観点からの総合評価を可能とするものであり、特に、列車ダイヤ及び運行管理システムの設計・評価に欠くことができない。列車ダイヤは乱れのないときのサービスレベルを決定するだけでなく、駅停車時間余裕、駅間走行時間余裕などの設定次第でダイヤ乱れ時の列車群制御の効果に大きな影響を与えるものである。したがって列車ダイヤ及び列車群制御システムはそれらの相互関連を十分考慮しながら設計されなければならない。

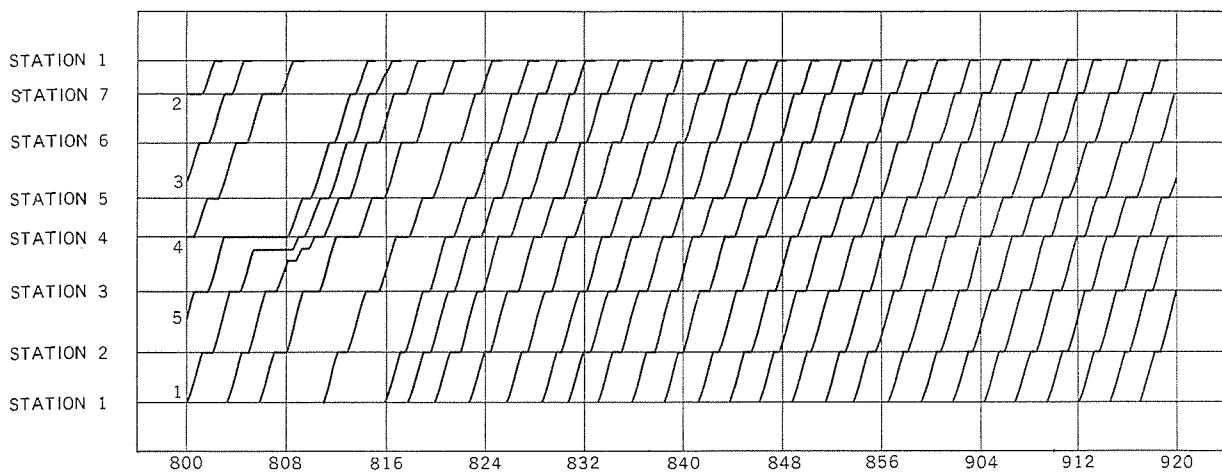


図 8. 複数列車運転 シミュレーション 出力例 (実績 ダイヤ)

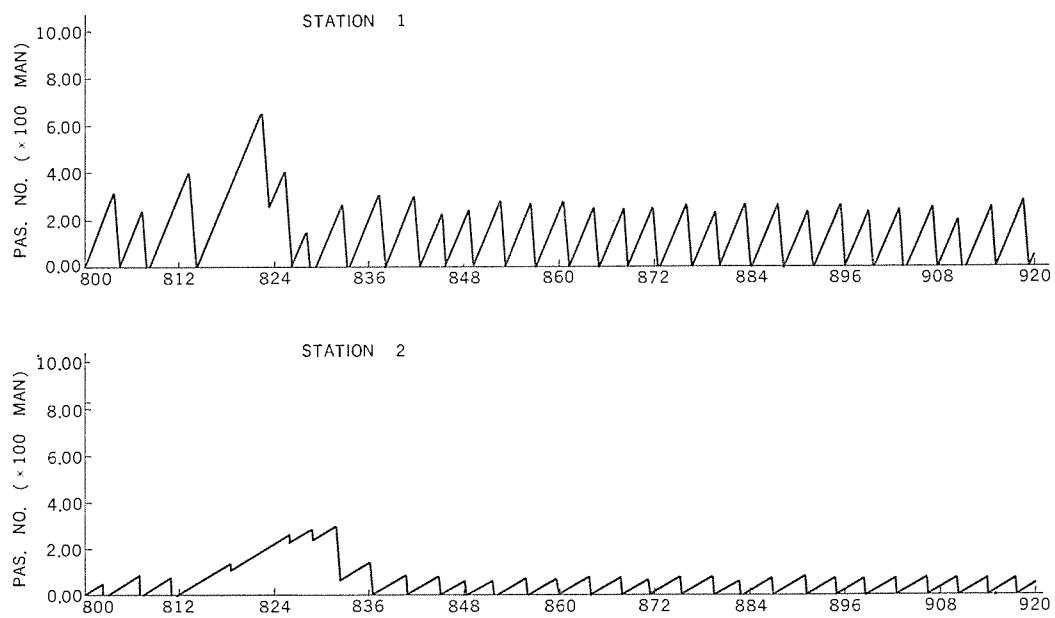


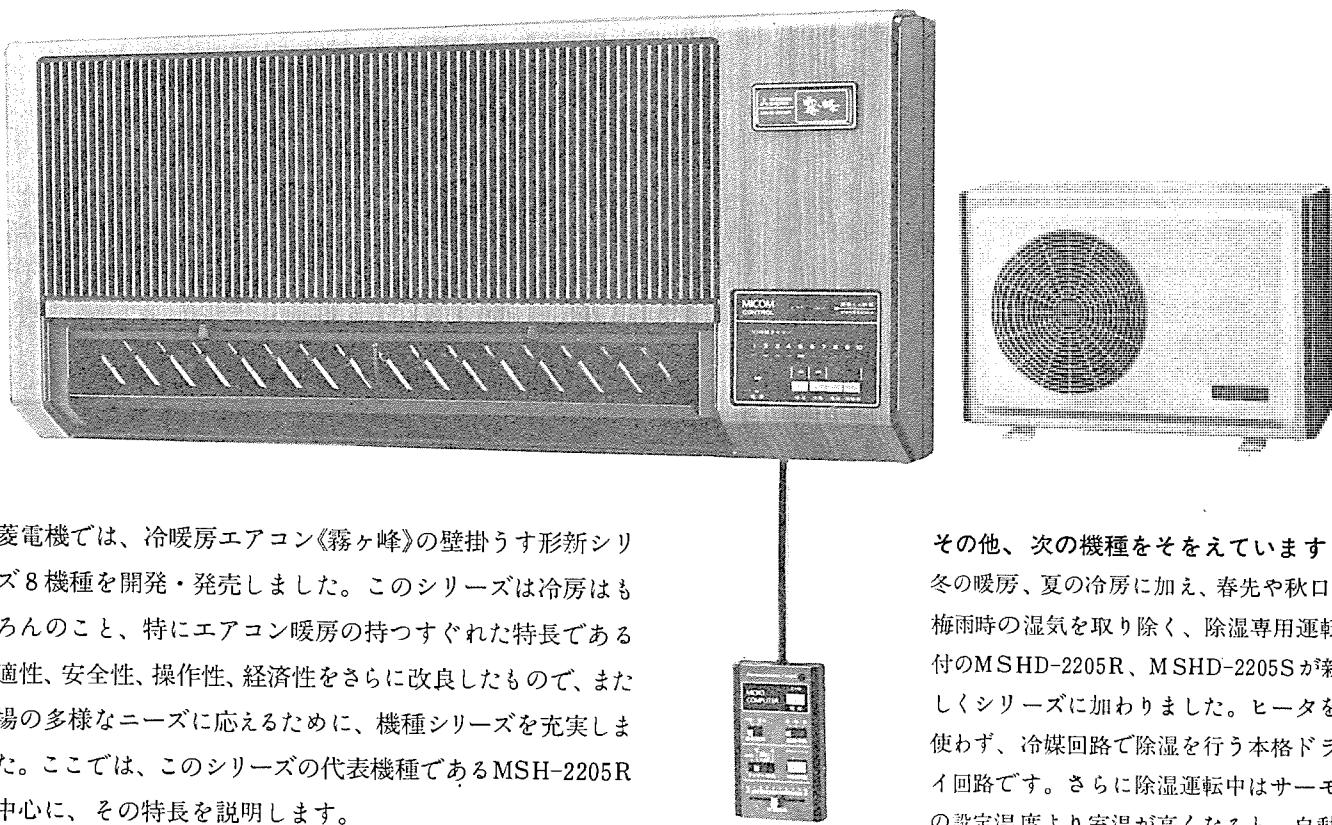
図 9. 複数列車運転 シミュレーション 出力例 (駅待乗客数変化)

まず、輸送需要及びサービスレベルを考えながら1列車運転 シミュレーションで得たデータをもとに列車ダイヤの基本案を作成する。また、列車群制御方式及びその制御 パラメータの選択を行う。次に、ダイヤ乱れのない状態でシミュレーションを行い、列車運行状態及び乗客フロー状態をラインプリンタあるいはプロッタ出力により検討する。しかる後に、各種のダイヤ乱れを人為的に発生させて列車群制御の性能を調べ、必要に応じて列車ダイヤ及び制御 パラメータの調整を行なう。図 8. は7つの駅からなる環状路線において5本の列車が160秒の運転時隔で運行されている時に、何らかの原因で4駅で5分の列車遅延が発生した時の列車群の運行状態を表すプロット図である。この図は各駅に10秒の駅停車時間余裕をもつ列車ダイヤのもとで駅停車時間のみを調整する列車群制御を

行った場合で、本来ならば発散する乱れが正常ダイヤにほぼ復帰している。図 9. は図 8. と同じ条件のときの1駅及び2駅での待乗客数の変化を表したプロット出力である。8時30分を過ぎるとほぼ平常にもどっていることがわかる。

7. む す び

当社の開発した軌道交通システムシミュレータ ACTS の機能とその使用法について述べた。このシミュレータは、乱れに対して強いダイヤの作成、評価、運行管理における運転整理の手法の開発と評価、並びに電力設備、車両用機器など各種 ハードウェアの最適設計を行う上で、有効な手段を提供するものである。



三菱電機では、冷暖房エアコン《霧ヶ峰》の壁掛うす形新シリーズ8機種を開発・発売しました。このシリーズは冷房はもちろんのこと、特にエアコン暖房の持つすぐれた特長である快適性、安全性、操作性、経済性をさらに改良したもので、また市場の多様なニーズに応えるために、機種シリーズを充実しました。ここでは、このシリーズの代表機種であるMSH-2205Rを中心に、その特長を説明します。

MSH-2205Rの特長

- 強力な暖房能力(3300/3700kcal/h外気温7°Cの時)に加え、《霧ヶ峰》独自のホットアップ回路で外気温の低い場合の低温特性を改善しました。このホットアップ回路は、外気温の低下を自動的に感知し、0°C以下になると自動的に電磁弁により毛細管流路を切換え、暖房能力を約10%増加させ、さらに運転効率も改善した省エネルギー・システムです。
- 室内側ユニット17cm、室外側ユニット25cm、リモコンスイッチ3cmと、それぞれのユニットの奥行寸法もグンとうす形になり、壁面との調和、スペースセーブ、据付けのしやすさと多様化など、エアコンに求められる理想の姿を追求しました。
- マイコンを搭載し、制御内容を充実した10時間タイマーを採用。すべての操作をワンタッチにして、使いやすさを大きく向上しました。切タイマーは冷・暖房に安眠ソフト回路が働き、冷房の場合はタイマー作動1時間後に室温を2°C上げ、暖房の場合は1時間後に室温を2°C下げる、省エネルギー・タイプの健康タイマーです。暖房入タイマーには、起床1時間前から室温を監視し、室温に応じて必要最小限の暖房運転を行う、経済的な「ウォーミングアップ回路」を採用しています。
- 電子式漏電しゃ断器を内蔵し、一層の安全性を追求。さらにアース工事を省略することもできます。

その他、次の機種をそえてあります
冬の暖房、夏の冷房に加え、春先や秋口、
梅雨時の湿気を取り除く、除湿専用運転付のMSHD-2205R、MSHD-2205Sが新しくシリーズに加わりました。ヒータを使わず、冷媒回路で除湿を行う本格ドライ回路です。さらに除湿運転中はサーモの設定温度より室温が高くなると、自動的に冷房運転を行う除湿・冷房自動切換機構付で、除湿運転中でも室温調節が可能です。

- 子供部屋には最適な暖房能力(2450/2700Kcal/h)を持つMSH-1802R。(ホットアップ回路は付いていません)
- 温暖地向には、20A回路で設置できる暖房能力(2850/3250Kcal/h)のMSH-2206R。
- 離れた位置から室温コントロールできる光感度方式多機能ワイヤレスリモコン「エアコマンダー」のMSH-2204R。ワイヤレスリモコンは、室温センサをリモコンに内蔵し、手元でキメ細かな室温調節ができます。(エアコマンダーはIC制御です)

仕様

形名	能力(Kcal/h)				補助ヒータ(W)	電源	ホットアップ回路	マイコン				
	50Hz		60Hz									
	暖房	冷房	暖房	冷房								
MSH-1802R	2450	1600	2700	1800	710	単相100V	—	○				
MSH-2206R	2850	2000	3250	2240	650	単相100V	○	○				
MSH-2205R	3300	2000	3700	2240	1200	単相100V	○	○				
MSH-2205S	3300	2000	3700	2240	1200	単相200V	○	○				
MSH-2205RT	3100	2000	3500	2240	1005	単相100V 3相200V	○	○				
MSHD-2205R	3300	2000	3700	2240	1200	単相100V	○	○				
MSHD-2205S	3300	2000	3700	2240	1200	単相200V	○	○				
MSH-2204R	3300	2000	3700	2240	1200	単相100V	○	IC				

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
868164	蓄冷熱材	{成田勝彦・小島秀子 小俣虎之助	871197	複数個の静止形電気回路の点検装置	{畠田稔・三宅康明 海老坂敏信
868165	光検知器	岡本栄知	871198	半導体装置とその製造方法	伝田隆治
868166	半導体装置	北陽滋	871199	映像切換回路	仲佐節男・堀高明
868167	電機子くさびの装着法	桜田武	871200	高層ラック自動倉庫	中野宣政
869175	電磁連結装置の制御装置	福永武尚	871201	物体選別装置	{稻荷隆彦・渡辺光人 長谷川正・野田昌宏
869176	形状検出装置	松谷勝己	871202	エレベータの階床選択装置	{小沢靖彦・丸山祥男 水谷実
869177	コントロールセンタのバスダクト	辻徳雄・吉田利之	871203	物体検査装置	野田昌宏
869241	画像表示装置	倉橋浩一郎・池端重樹	871204	荷役機械制御装置	川合弘・飯田博
870291	集電環の製造方法	小林須美	871205	標準偏差測定装置	三井茂
871094	形鋼連続圧延における尾端補償方法	{原田利夫・中俣伸一 荒木四郎・中島浩衛 川崎宏規・渡辺和夫 三浦敬一	871206	乾式計器用変成器	長谷川逸史・村上貞利
		高田信治	871207	乾式計器用変成器	長谷川逸夫・村上貞利
		斎藤豊	871208	絶縁導体の製造方法	{西崎俊一郎・寺谷宏 玉置明信・板倉真介
		壺井芳昭	871209	速度制御装置	柏原正信
871189	保護继電装置	石井孝	871210	エレベータの乗客案内装置	{樋口成弘・堀大成 原田輝夫
871190	検知装置	三上一郎	871211	張力制御装置	吉田公一
871191	エレベータの信号伝達装置	芦谷正裕・鉄野治雄	871212	直列・並列符号変換装置	島田政代士
871192	半導体装置のエッティング方法	永田良茂	871213	半導体集積回路の製造法	{柏木忠・河津哲 堀江和夫・赤坂洋一
871193	パイロット線繼電器	相良泰一			
871194	半導体装置の故障検出器				
871195	信号検出装置				
871196	低沸点ガス液化機の並列運転装置				

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 53 No. 12 省エネルギー特集

特集論文

- 省エネルギーへの挑戦
- 空調の省エネルギー
- 冷凍・冷蔵の省エネルギー
- 照明の省エネルギー
- 電鉄における回生ブレーキ併用チョッパ制御装置
- 当社工場の省エネルギー実施例

普通論文

- 石油ガス化瞬間湯沸器
- 最近の《MELCOM》の磁気ディスク装置
- 多機能リモートコントロールシステム用LSIシリーズ
- カードリーダ形マイコン内蔵電子レンジ
- 三菱パターン計測・選別システム《MELSPORT》の開発製品化とその応用
- 衛星通信用120 Mbit/s 4相PSK変復調装置
- 回転電気機械の通風冷却解析

<p>三菱電機技報編集委員会</p> <p>委員長 森達川 隆 副委員長 浦徳太郎 " 後藤正之 常任委員 佐々木二郎 " 増淵悦男 " 葛野信一 " 三輪進 " 高月一 " 瀬原田三郎 " 高橋広光 " 忍足博 " 武田克巳 " 清田浩 " 福家章</p> <p>常任委員 久保田伸夫 " 斎藤春雄 委員 德山長 " 樋口昭 " 神谷友清 " 橋爪基 " 秋吉俊男 " 土井貞春 " 川井尚 " 小野勝啓 幹事 本間吉夫 " 足立健郎 11号特集担当 中山高</p>	<p>三菱電機技報 53巻11号</p> <p>(無断転載を禁ず)</p> <p>編集兼発行人 本間吉夫 印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地 大日本印刷株式会社 発行所 東京都千代田区大手町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」 Tel. (03) 243局1785 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 定価 1部400円送料別(年間予約は送料共5,200円)</p>
--	--

スポットライト

わが国初の5モータ・ダイレクトドライブ方式採用 三菱ビデオカセットレコーダー^{〈HV-5000W〉} ^{〈HV-6000〉}

三菱電機では、本邦初の5モータ・ダイレクトドライブ方式のデッキ部を持ち、加えてワイヤレスリモコン可能なビデオカセットレコーダー2機種を開発し、発売しました。HV-5000Wはテレビ音声多重放送に対応して、ステレオや二ヵ国語の記録・再生ができるタイプ、HV-6000は6番組の一週間予約録画の機能を備えたタイプです。マイクロコンピュータをHV-5000Wでは1個、HV-6000では2個搭載していますので、“マイコンビデオ”のネーミングを冠しています。

HV-5000Wの特長

- 一般の音声多重放送受信可能なすべてのテレビで再生可能のように、2つの音声を放送と同じ電波方式に交換するための音声多重エンコーダーを内蔵しています。
- 音声多重放送を受信するデコーダと、二系統の音声録画再生回路を備えているため、本機単独で音声多重放送の記録ができます。
- どの音声トラックにも自由にアフレコができます。

HV-6000の特長

- 録画開始の曜日、時間、チャンネルと録画終了の時間が6番組予約可能。毎日、同一時間帯の予約もできます。
- 現在時間、開始時間、終了時間それぞれの専用表示部を備えているなど、設定が容易なように配慮しています。

2機種に共通した特長

- マイクロプロセッサでメカニズムをコントロールしているので、切換操作は電子スイッチ化されています。したがって、すべての操作をソフトタッチで行うことができます。
- 再生、録画、チャンネル、早送り、巻戻し、一時停止、静止、コマ送り、停止、電源などのVTRのすべての機能がワイヤレスリモートコントロールできます。ワイヤードリモコンでも、もちろん可能です。
- 再生から巻戻し、早送りから再生への操作がダイレクトにワンタッチでき、操作性が大きく向上しています。
- 電子チューナの採用により、VHFもUHFもワンタッチで選局できます。
- 雑音自動消去回路付なので、雑音のないきれいな音で静止画像が楽しめます。
- テープが終端になると、自動的に最初まで巻戻すオートリwind機能を備えています。
- 露付が起ると警告ランプを点灯させ、同時にレコーダーを非動作にしてテープの損傷を未然に防ぎます。



5モータ・ダイレクトドライブ方式の特長

- ビデオカセットレコーダーには回転を必要とする部分が5カ所あり、この5カ所にそれぞれ専用モータを設け、このうち4カ所はモータと回転部が直結したダイレクトドライブ方式を採用しています。したがって、次のような優れた特長を備えています。
- 劣化しやすいゴムベルトや経時変化の大きいフェルトをテープ駆動部にはまったく使用していないため、高い信頼性が期待できます。
 - デッキ内の部品点数が、摩耗のある機械部品も含めて、従来の約1500点から $\frac{1}{3}$ の約500点と大幅に減少しており、それだけに高い安定性能と信頼性が得られています。

