

10  
1981

## 上下水道向けシステム特集

### 目次

#### 特集論文

水、水問題と水システム……………	1
西川 禎一	
上下水道における監視・制御システムの動向……………	3
荒木義朝・中島敏博・前田満雄・松谷勝己・渡辺一弘	
浄水場の監視・制御システム……………	7
砂山洋治・井上省三・小沢純一郎・山田晃男・小林敏昭	
下水処理場の監視・制御システム……………	12
田中孝浩・盛口全太・中堀一郎・長田俊二・長束晴弘	
送配水システムの監視・制御システム……………	17
広瀬政次・中村苗起・柳沢 忍・津吉信夫・福田豊生	
農林水産省納め阿賀野川用水集中管理システム……………	21
澤柳宣裕・小林 茂・大石将之・牧本健二・城島登士治	
上下水道へのオゾン応用機器の適用……………	26
吾妻健国・竹山 哲・中山繁樹・松永正征	

#### 普通論文

配電線を利用した搬送方式の開発……………	33
三好明好・小林照朋・諏沢俊二・吉原孝夫	
三菱高周波オゾナイザ……………	37
橘川 彪・梶田 勲・今泉 一・田中正明	
全日本空輸(株)向けとう乗載情報システム……………	41
村上雄一・林 博之・金子弘美・秋山 始・宮田文雄	
国際規格G3適合高速感熱ファクシミリ《MELFAS 550》……………	46
加藤雅敏・木野茂徳・今中良史・永田良浩・大原 彰	
リアルタイム高エネルギーX線検査システムの開発……………	51
鈴木敏允・藤内武徳・小田 稔・馬殿進路	
大出力炭酸ガスレーザ……………	55
永井治彦・吉田寿夫・菱井正夫・若林国久・名井康人	
サイリスタ式電鉄用セクションストッパ装置……………	60
鈴木敏夫・米畑 譲・青山正和・佐野博司・大塚義規	

#### 特許と新案

多段警報装置付計器……………	31
ディスプレイ用陰極線管の螢光面	
回路しゃ断器	
切換開閉器用限流抵抗器	
当社の登録実用新案一覧……………	68

#### スポットライト

三菱ガス絶縁変圧器……………	65
三菱ブロワ付クラッチモートル……………	66
《ダイヤトーン》スピーカーDS-503形……………	67
《MELCOM 70》用グラフィックディスプレイGDS-70形……………	(表3)

#### 表紙

埼玉県荒川右岸流域下水道建設事務所納め 新河岸川処理センター 中央操作室及び新しいデジタルコントローラ《MACTUS 610》

新河岸川処理センターは、埼玉県の荒川右岸、10市3町の住宅・工場の排水処理を目的に、昭和56年4月、処理を開始した。完成時処理能力128万m<sup>3</sup>/日(第1期能力8万m<sup>3</sup>/日)の大規模下水処理場で、受変電設備から計算機-計装制御設備まで、当社の最新のシステム技術が採用されている。写真はその中央操作室である。(写真提供 埼玉県荒川右岸下水道事務所)

《MACTUS 610》は省エネルギー制御、バッチプロセス制御などにデジタル計装の有する機能を最大限に発揮するホループ形プロセスコントローラであり、各種周辺装置と組合せることにより最適なシステムの構成を容易にする。



## アブストラクト

### 上下水道における監視・制御システムの動向

荒木義朝・中島敏博・前田満雄・松谷勝己・渡辺一弘

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P3～6

上下水道における監視、制御システムは水の需要の増大に伴い大規模化、高度化、複雑化してきている。この論文は上下水道の監視、制御システムに要求される機能とその動向を考察し、そのシステムシリーズ《MELWAC》について紹介するとともに、そのシステムをささえるプラント制御技術の動向と総合計装制御システム《MACTUS》などの概要、並びに新しい監視装置について述べる。

### 農林水産省納め阿賀野川用水集中管理システム

澤柳宣裕・小林 茂・大石将之・牧本健二・城島登士治

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P21～25

近代的農業経営では、合理的な水利用すなわち農業用水の総合的・効果的な利用を目指して、上流域・下流域に必要水量を均等に配水し、水路からのいっ(溢)水などの災害を未然に防止し、安定した水の管理を行うことが望まれている。本文では、阿賀野川下流域地域約15,000haの広大な受益地を対象として上記の目的を達成するために、農林水産省北陸農政局阿賀野川用水農業水利事業所に納入した集中管理施設について紹介する。

### 浄水場の監視・制御システム

砂山洋治・井上省三・小沢純一郎・山田晃男・小林敏昭

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P7～11

上水道の設備はほとんどの都市に普及し、その普及率は90%以上となった。しかし、最近の需要量は石油ショック以来伸び率は鈍っているものの、依然増加の傾向にある。これに対して供給者側では、水源の不足、水質の悪化、更には省エネルギー化などに対応するため、設備の効率的な運用が要求されている。ここでは、このような要求に対応する浄水場の監視・制御システムを紹介する。

### 上下水道へのオゾン応用機器の適用

吾妻健国・竹山 哲・中山繁樹・松永正征

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P26～30

近年、世界的に水資源の枯渇と水質規制の強化が進むに従って、上水処理や下水高度処理用の酸化剤として、オゾンの採用を検討する動きが活発になってきている。

オゾン処理は上水の脱臭、殺菌、脱色に効果があり、下水に対しては殺菌と有機物除去及び排ガス脱臭に有効である。当社では少量の過酸化水素を併用した有機物除去装置やオゾンによる下水臭気の乾式脱臭装置を開発し、顕著な処理効果をあげている。

### 下水処理場の監視・制御システム

田中孝浩・盛口全太・中堀一郎・長田俊二・長東晴弘

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P12～16

最近の下水処理場における監視・制御システムは広域化、大規模化、高度化、複雑化してきている。それに伴い、従来の電磁リレー並びにアナログ計装から、マイコンを利用したデジタル計装制御装置と計算機とを組合せたシステム構成にするケースが多くなってきている。この論文は、下水処理場における監視と制御について、目的と問題点及び下水処理場のシステム構成について述べたものである。

### 配電線を利用した搬送方式の開発

三好明好・小林照朋・諏沢俊二・吉原孝夫

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P33～36

近年、電力会社では、配電系統の自動化の気運が高まりつつあり、この業界の各方面で配電線路機器の監視・制御及び集中負荷制御などの研究が行われ、一部においてはその実用化が進められている。当社でもこの分野での研究・開発を長年にわたって行ってきた。今までの研究成果をここにまとめて報告する。

### 送配水系統の監視・制御システム

広瀬政次・中村苗起・柳沢 忍・津吉信夫・福田豊生

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P17～20

水道事業の目的は、需要者に良質の水を安定かつ公平に、費用を少なく供給することにある。これらをより良くするためには、広範囲で数も多い送配水系統をうまく運用する必要がある。このため各所で管理システムが導入されてきているが、電子技術の進歩、運用システム手法の進歩などにより、更に有効なものになってきている。この稿では運用システムの基本的考え方、最新の事例における内容、特長を紹介する。

### 三菱高周波オゾナイザ

橘川 彪・梶田 勲・今泉 一・田中正明

三菱電機技報 Vol.55・No.10・P37～40

近年、オゾナイザに省エネルギー、省スペース形が要求されている。従来オゾナイザに関しては省エネルギーと省スペースは相反するものであった。しかし当社では放電空けき(隙)長1.0mmのオゾン発生器と、無声放電に適した定電流形高周波インバータの開発により、省エネルギーで省スペースのオゾナイザを実現した。ここでは今回製品化したオゾナイザの詳細を紹介する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 21~25 (1981)

## A Centralized Monitoring and Control System for the Agano Irrigation-Water System

by Nobuhiro Sawayanagi, Shigeru Kobayashi, Masayuki Oishi  
Kenji Makimoto & Toshiharu Jojima

Modern agricultural management calls for integrated and effective utilization of irrigation water. This, in turn, requires equable distribution of the necessary water to the upper and lower areas served, the prevention of disasters such as overflow from open irrigation channels, and stable control of water supplies. The article describes a centralized monitoring and control system designed to satisfy these objectives and supplied by Mitsubishi Electric to the Agano Irrigation Waterworks of the Ministry of Agriculture and Forestry's Hokuriku Office. This system covers an area of about 15,000 hectares along the lower reaches of the Agano River.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 3~6 (1981)

## Trends in Supervisory-Control Systems for Filtration and Wastewater-Treatment Plants

by Yoshitomo Araki, Toshihiro Nakajima, Mitsuo Maeda, Katsumi Matsuya  
& Kazuhiro Watanabe

The continuing strong demand for water is responsible for the trend toward increasing scale, sophistication, and complexity in supervisory-control systems for filtration and wastewater-treatment plants. The article introduces the MELWAC series of systems, describing studies to determine the functions required of supervisory-control systems and to identify trends. Also covered are the trends in the plant-control technology essential to these systems, with a general description of the MACTUS integrated instrumentation and control system, and a new supervisory system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 26~30 (1981)

## The Application of Ozonation Equipment for Filtration and Wastewater-Treatment Plants

by Kenkoku Azuma, Tetsu Takeyama, Shigeki Nakayama  
& Masayuki Matsunaga

The inadequacy of water resources and the difficulty of securing the necessary water quality are intensifying worldwide problems. Active consideration is therefore now being given to the utilization of ozone as an oxidizing reagent in the treatment of potable water and for high-grade treatment of sewage. Ozonation is effective in the deodorization, sterilization, and decolorization of potable water and in the sterilization of sewage, the removal of organic materials, and the deodorization of effluent gases. The article describes a process developed by Mitsubishi Electric that eliminates organic materials from sewage using small amounts of hydrogen peroxide with ozone, and treats offensive sewage odors using a dry-process ozone deodorizer. The treatment is highly effective.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 7~11 (1981)

## A Supervisory-Control System for Filtration Plants

by Yoji Sunayama, Shozo Inoue, Jun'ichiro Ozawa, Akio Yamada  
& Toshiaki Kobayashi

Waterworks are an almost universal feature of urban life, and they are to be found in about 90% of Japanese towns. The oil crisis inhibited the growth of demand for waterworks, but a stable—if rather lower—demand is confidently expected to continue. On the other hand, considerable efforts are being expended by water suppliers to ensure efficient and economical use of existing waterworks. This program is designed to meet the need to save energy and to overcome current difficulties, including those of inadequate water resources and pollution. The article introduces a supervisory-control system for filtration plants that meets these needs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 33~36 (1981)

## A Distribution-Network Power-Line Carrier-Communication System

by Akeyoshi Miyoshi, Terutomu Kobayashi, Shunji Suzawa  
& Takao Yoshihara

Electric power companies, faced with the ever-growing need for the automation of distribution systems, are actively engaged in research into the monitoring and control of distribution equipment and into centralized load control, and are already making practical use of some of their findings. The article reports on the results of research and development in this field—one in which Mitsubishi Electric has also been long active.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 12~16 (1981)

## A Supervisory-Control System for Wastewater-Treatment Plants

by Takahiro Tanaka, Zenta Moriguchi, Ichiro Nakabori, Shunji Osada  
& Haruhiro Nagatsuka

Current supervisory-control systems for wastewater-treatment plants have grown in the diversity and complexity of their areas of application, in scale, and in sophistication. As conventional devices such as electromagnetic relays and analog instrumentation are proving no longer able to cope with current developments, system configurations that permit interfacing between computers and digital monitoring and control devices using microprocessors are coming into extensive use. The article discusses a supervisory-control system for wastewater-treatment plants with specific reference to the purpose of the system and the problems it is designed to solve.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 37~40 (1981)

## A High-Frequency Ozonizer

by Takeshi Kitsukawa, Isao Kajita, Hajime Imaizumi & Masaaki Tanaka

Demand for energy-efficient, compact ozonizers has strengthened in recent years. Conventional ozonizers have not been able to reconcile the conflicting demands for energy conservation and space saving. Mitsubishi Electric, however, has produced a high-frequency ozonizer that achieves these objectives by developing an ozone generator with a 1.0mm discharge gap and a constant-current high-frequency inverter suitable for silent electric discharge. The article details the Corporation's recently marketed commercial ozonizer.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 17~20 (1981)

## A Centralized Monitoring and Control System for Water-Supply Networks

by Masatsugu Hirose, Naeki Nakamura, Shinobu Yanagisawa  
Nobuo Tsuyoshi & Toyo Fukuda

City water services aim to provide a stable, consistent, and economical supply of purified water. They therefore need to take advantage of the largest possible number of sources of water and the most extensive water-supply networks. Advances in electronic technology and water-supply operating systems enable efficient use of centralized monitoring and control systems extending over very large geographical areas.

The article introduces the basic philosophy of water-supply operating systems, focusing on their actual content and special features and illustrating them by practical examples drawn from a new Mitsubishi Electric system.

# アブストラクト

全日本空輸(株)向けとう乗載情報システム  
村上雄一・林 博之・金子弘美・秋山 始・宮田文雄  
三菱電機技報 Vol.55・No.10・P41～45

全日本空輸(株)納入のとう乗載情報システムが昭和55年6月にか(稼)働したが、このシステムの完成にあたり内容を紹介する。システムはとう乗券を自動発行する機能と航空機の重量や重心位置を計算して安全運航のチェックを行う機能が主要機能となっている。また、このシステムで用いられている端末装置には、ディスプレイ装置、とう乗券発行装置、自動改札読取装置などがあり、特に航空業界で初めて採用したとう乗券の自動改札方式は大きな注目をあびている。

大出力炭酸ガスレーザ  
永井治彦・吉田寿夫・菱井正夫・若林国久・名井康人  
三菱電機技報 Vol.55・No.10・P55～59

工業技術院の大形プロジェクト「超高性能レーザ応用複合生産システムの研究開発」の一環として行われた、5kW級大出力CO<sub>2</sub>レーザの成果について述べる。このレーザは当社独自の高ガス圧力発振技術を基礎として大出力機を開発したもので、最大出力8.7kWを不安定形共振器から取出すことに成功し、安定形共振器でも出力6kW、発振効率18%の高効率を得た。

国際規格G 3 適合高速感熱ファクシミリ《MELFAS 550》  
加藤雅敏・木野茂徳・今中良史・永田良浩・大原 彰  
三菱電機技報 Vol.55・No.10・P46～50

《MELFAS 550》は、国際規格G3に適合したB4判デジタル高速ファクシミリで、標準原稿を約20秒で電送でき、更に当社独自の高速モードにより10秒台で電送できる。記録にはランニングコストの安い感熱記録方式を採用し、発信元コード印字機能や自動縮小機能などの新機能を備えた高性能ファクシミリである。  
本文では、このファクシミリの特長、構成、動作、性能などについて説明する。

サイリスタ式電鉄用セクションストッパ装置  
鈴木敏夫・米畑 譲・青山正和・佐野博司・大塚義規  
三菱電機技報 Vol.55・No.10・P60～64

き電区分のためのセクションを車両が通過するときに、パンタグラフによりセクションが短絡される。このセクション短絡を防止するために、従来よりダイオードセクションストッパ装置が使用されているが、ダイオードで給電されるき電区間では、近年増加の途にある回生制動車走行時の回生電力の処理が不可能であった。今般、回生制動車の走行路線にも適用できるサイリスタ式セクションストッパ装置を開発、製作したのでその概要を報告する。

リアルタイム高エネルギーX線検査システムの開発  
鈴木敏允・藤内武徳・小田 稔・馬殿進路  
三菱電機技報 Vol.55・No.10・P51～54

現在、ライナックによる非破壊検査はX線フィルムによる撮影のみであり、検査の自動化及び省力化のために画像化が望まれてきた。そこで、ライナックのX線照射と同時に目視検査ができるリアルタイム高エネルギーX線検査システムを開発した。このシステムは、従来の低エネルギー用X線テレビに比べて、厚物鋼板の検査ができる。この論文では、センサ部を中心に述べ、得られた性能について報告する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 55~59 (1981)

## A High-Power Continuous-Wattage Carbon Dioxide Laser

by Haruhiko Nagai, Hisao Yoshida, Masao Hishii, Kunihsa Wakabayashi & Yasuhito Myoi

As part of the Agency of Industrial Science and Technology's large-scale project to strengthen research and development for flexible manufacturing-system complexes provided with lasers, Mitsubishi Electric has developed a high-power CO<sub>2</sub> laser capable of outputs up to 5kW. The article describes this achievement.

Based on the Corporation's advanced high-pressure laser-oscillation concept, this successful laser has delivered up to 8.7kW with an unstable resonator and up to 6kW with a stable resonator, and oscillation efficiency has also been improved to 18%.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 41~45 (1981)

## A Load-Information System for All Nippon Airways

by Yuichi Murakami, Hiroyuki Hayashi, Hiromi Kaneko, Hajime Akiyama & Fumio Miyata

A load-information system supplied by Mitsubishi Electric to All Nippon Airways went into operation in June 1980. The article describes both the system and the process that led to its completion. Its most important functions are to dispense boarding passes automatically and to check the safety of airline service by calculating the weight and the balance of the aircraft. The terminals used in the system include a color-character display, a boarding-pass printer, and an automatic gate counter. The automatic ticket-gate system, new to the airline industry, is attracting particularly widespread attention.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 60~64 (1981)

## A Thyristor Section Stopper for Traction Feeders

by Toshio Suzuki, Yuzuru Yonehata, Masakazu Aoyama, Hiroshi Sano & Yoshinori Otsuka

When electric railcars pass a section designed to separate traction feeders, the problem of short-circuiting the section arises due to the use of pantographs. The conventional solution has been to use a diode section stopper to prevent the section from being short-circuited, but this method cannot cope with the large regenerative powers introduced by vehicles—increasingly numerous—that use regenerative braking.

Mitsubishi Electric has developed and produced a thyristor section stopper for traction feeders that can be applied to rail lines on which vehicles with regenerative brakes operate. The article provides a general description of the equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 46~50 (1981)

## The MELFAS-550 High-Speed Thermal-Printing Facsimile Transceiver Conforming to CCITT and T.4 and T.30 Recommendations

by Masatoshi Kato, Shigenori Kino, Toshifumi Imanaka, Yoshihiro Nagata & Akira Ohara

The MELFAS-550 is a high-speed thermal-printing facsimile transceiver conforming to CCITT T.4 and T.30 recommendations that enables a standard A4 document to be transmitted in about 20sec or, by the use of a special high-speed mode developed by Mitsubishi Electric, in about 10sec. It is a sophisticated unit that ensures low running costs by the adoption of a thermal-printing system and offers new, improved functions including source-code printing and automatic reduction. The article discusses the features, configuration, operation, and performance of the MELFAS-550.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 10, pp. 51~54 (1981)

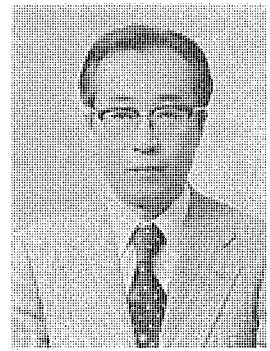
## The Development of a Real-Time High-Energy X-Ray Inspection System

by Toshimitsu Suzuki, Takenori Tonai, Minoru Oda & Shinji Badono

Nondestructive inspection using linear accelerators (e.g., Mitsubishi Electric's LINACs) was until recently performed by making exposures of X-ray film. Now, however, demand is burgeoning for visualization to facilitate automatic, labor-saving inspection. In response to this demand, the Corporation has developed a real-time, high-energy X-ray inspection system that combines X-ray irradiation by a LINAC with visual inspection. This system enables the inspection of thick steel previously impossible with the use of conventional low-energy X-ray television. The article describes the performance of the system, concentrating specifically on the sensor section.

## 水、水問題と水システム

京都大学工学部教授 工学博士 西川 禎 一



初めにお断りしておくが、筆者は水利用と水処理の全般について高邁な見識を披露できるほどの者ではない。水利用システムの問題のうちで、特に送配水に関する部分はネットワークの問題としてとらえられるところが多く、そのような観点から水利用技術についていささか興味を抱いているシステム工学を専門とする人間である。しかし思い返すまでもなく、水ほど我々にかかわりの深い物質はない。それはすべての生命を構成し、日々の生活に支配的な影響を与えている。それゆえ、誰しもが水についてはそれなりの関心を抱かざるを得ない。この一文は、そうした誰しものうちの一人の書いた、いわばテクニカル・エッセイとしてお読みいただきたい。

古来、我が国は降水に恵まれた「みずほ」の国である。年平均降水量は1,800 mmにも達し、世界の平均800 mm程度に比べてはるかに多い。だから湿潤な気候に悩まされ、また時折の豪雨、豪雪や洪水にひどく痛めつけられることはあっても、乾燥や水不足に悩まされることは比較的少なかった。夏季の高温多湿な気候のゆえに、水耕稲作農業が伝統的な基盤産業として発達した。農業が相対的に衰微した今日でも、なお農業用水の需要は全需要の約半分を占める。

水が豊かであったがために、それが極めて貴重な資源であるという認識は、人びとの間に生まれ難かった。山の麓に湧出る水はいつも清らかで、緑野をぬう小川の流れも絶えることがない。身近な自然の中から好きなときに好きなだけ、さしたる苦労もなしに汲上げることができる。そして「湯水のごとく」使い去り、もろもろの汚れを無意識のうちに「水に流す」。そんな感覚と習慣が身についてしまった。つまり水は常に「天の恵み」なのであり、流れは給水装置であると同時に環境浄化の自然装置なのであった。豊かな水とその流れは稲作農業とともに、水の量と質について、おおむね無関心でおおらかな国民性をはぐくんできたのである。

少し余談だが、日本語には「水」を含んだ言葉が数多い。いわゆるみずみずしい、みずくさい、水入り、水入らず、水を差す、水増し、水の泡、水掛け論、水もの、水揚げ、水商売、行雲流水、などなど。いずれも人生の機微、陰影に触れる何がしかの含みをもっている。このことは、水によって知らず知らずのうちに培われてきた日本人の生活感覚の一面を示すようで面白い。

ところで近年、経済の高度成長期を経て工業化と都市化が進み、生活水準も向上するに従って、水をめぐる事情は急速に変わってきた。まず、需要が増すに見あうだけの供給量の増加は困難になってしまった。物理的にも経済的にも良質の水源はほとんど使い尽くさ

れ、新しい水源の開発コストは著しく上昇したのである。現在では毎秒1 m<sup>3</sup>の利水を新たに加えるために、30~80億円の費用を投入しなければならないといわれている。それに大規模ダムなどの取水施設を建設するについて、地もとの合意を得ること、自然・環境保全との調和をはかることも、ますます困難になりつつある。つまり水不足といわれる状況の発生である。

次に、生活排水や産業廃水の量が増し、加えて質も複雑化した結果、自然装置による汚水浄化能力は限界をはるかに越してしまった。そして、河川水や海洋水の汚濁と質の悪化が、深刻な問題を呈するに至ったのである。

水不足と水汚染が目立ってくると、我々もはやおおらかではいられない。さまざまな問いが人びとの間から発せられるようになる。いわく、今後どのような手段で、またどのくらい、新しい水源を開発できるのか、現状における水利用の実態はどのようになっており、それをより合理化するにはどのようにすればよいのか、水質悪化の原因とメカニズムはどのようなものであり、それをくい止め回復する有効な手だては何なのか、節水や水の再利用はどの程度可能なのか、水に替わって使える物質はないのだろうか、などである。いずれにしても、水を無制限な天与の恵みとして受取り使い去るには、我々の活動は膨脹しすぎたのであり、人自らの手で管理すべき社会的物質、社会的資源であるとの認識が生まれてきた。

ここで考え直してみると、日本では国土面積あたりの降水量は多くとも、人口1人あたりの年間降水量は約6,000 m<sup>3</sup>であって、これは世界平均の約1/5くらいでしかない。また降水量の季節的変動、地域的偏在もかなり大きい。降水による不連続的な水資源供給は、河川や湖沼により平滑化されるはずであるが、日本の河川の年流出率は70~90%（欧米、中国などでは5~30%）にも達する。また洪水時には土砂流、山崩れ、滞砂などが起こりやすい。

つまり水利用の面からみて、自然的条件は決して有利とはいえないのである。そこで溜池やダムを築いて、人工的に水資源供給を平滑化し、また流出率を低下させることが行われてきた。しかしダムはもともと洪水の調節、発電、砂防、灌漑などを主目的にしたものが多く、上水利用はどちらかといえば副次的なものであった。

取水については自然及び技術的条件のほか、伝統的な水利権が大きな社会的制約条件として存在する。水利権、つまりウォーター・ライトは外国にもあるもので、決して我が国固有のものではない。しかし古来、農業用水、特に水田灌漑用水が大きな比重を占めてきた

我が国では、今日でも独特の形態と重みをもっている。水田における水は独立した経済的な財ではなく、水田という資本財の付属物とみなされ、水利費は量水制ではなく面積割りで賦課されるのが原則である。つまり、水利権に基づく灌漑用水は、工業用水や都市用水とは経済的、社会的にまったく別の原理によって取扱われている。農業用水の問題は農業の問題に直接かかわるもので、すべてマーケット・メカニズムにゆだねるというような形はとりにくいであろう。しかし利水の問題をすべてひっくるめて総合的に考えようとするならば、水利権は再配分も含めて何らかの整理を要する大きなポイントであるには違いない。

新しい水源の開発はますます困難になりつつあるにしても、まだしばらくは実現可能で他よりも有利な手段として、引続き行われるであろう。ただそのとき、水没補償というような割切り方だけでなく、水源地域の振興という視点が必要である。下水の2次あるいは3次処理による利水も、産業用水などでふえていくであろう。水質が悪いこと、量が変動しやすいこと、水温が比較的高いことなどの難点もあるが、水源と消費地が同一であること、原水の供給が安定していること、水利権の問題がないことなど利点も多く、汚染や地盤沈下の防止などの観点からも、リサイクリングの必要性和利点はますます高まる傾向にある。リサイクリングの割合を高めていくことができれば、資源開発と環境保全の両面に望ましい効果が期待される。現存する難点の解決のためには、物理・化学・生物学的な個別技術の改善をはかるとともに、計測・制御・システム的技術をより高度化し、より有効に利用することを考えねばならない。

さてしかし、トレンドでみれば水の需給事情は今後ますますタイトになり、特に南関東、近畿、北九州などで水不足が顕著になると予想されている。水が不足するのであれば、乏しきを分かちあうために、一段と工夫をしなければならない。水のユーザからする要求はいろいろあろうが、要は

(1) サービスの質が良く、また安定していること。

(2) 料金が安いこと。

の2点であろう。そして(1)の中味は

(a) 供給が安定していること。

(b) 供給の地域差などがなく、サービスが公平であること。

(c) 水質が良いこと。

(d) 渇水や火災、地震などの緊急時でも、一定の対策が講じられること。

などと考えられる。

(1)と(2)の要求は質と費用に関するものであるから、本来的に矛盾するところがあり、どのあたりの水準で妥当とするかという問題になる。しかし、取水、導水、浄水、送水から配水に至る各段階で、制度、設備そして管理運用法などの合理化によって、現状よりコスト/パフォーマンスを改善できる余地は多いであろう。供給の末端の方から考えてみよう。(a)と(b)を具体化して言えば、状況のいかにかわからず、配水管網の末端において有効水頭が必要な一定範囲に保たれるという要求である。配水管網が既設のものであり、配水源と末端需要量に関する条件が与えられているとすれば、ポンプ

とバルブという制御機器をどのように配置し、またどのように運転して、有効水頭一定の要求を満たすかという問題に帰着される。実際的な見地からこの問題を定式化するには、まず供給及び需要量変動のパターン、有効水頭の許容範囲、利用可能な制御機器とその設置の可能性を知る必要がある。次に当然、費用との兼ね合いを考えねばならないから、機器の価格、設置費、運転費などの算定が必要である。それより前に、管内圧力また流量(流速)のモニタリングについて、技術的並びに経費的な検討を要する。更に無視できないのは、漏水に関する事項である。そして一応の定式化ができたとしても、非線形最適化問題となるのでその解法は簡単ではないし、変動要因の推定、予測、更にダイナミクスまで含めると相当な難問になる。

このようになりに限定された問題を取上げてみても、計測・制御機器のハード面及びシステム制御のソフト面ともに、なお研究を要する技術的課題が幾つも残されている。既に一部で配水制御のシステムは稼働しているようであるが、技術的によりスマートなものとなるには、今しばらくの時間を要するであろう。少し範囲を広げて、配水管路網の最適設計まで含めて考えると、問題は一層複雑なものとなる。幸か不幸か、現状では諸々の施設の計画・設計と管理・運用は、それぞれ別々の人達によってやや独立に取扱われているふうがある。それによって、複雑な問題がうまい具合にブレイクダウンされているという見方もできよう。しかし需給事情がひっ迫するにつれ、好むと好まざるとにかかわらず今後の対応策は変わらざるを得ない。ブロック化なども取入れた配水システム全体の問題として、更には取水から配水までの広域利水の問題として、長いタイム・スパンの拡張性まで含めて、施設の整備と運用の一貫した思想が必要となり、それを実現する手段が求められることになる。簡単にいえば、水利用体系全般に対する一貫性と合理性の要求が強まるだろうということである。水利用だけでなく、水利用と水処理を含めたトータルな水システムというべきかもしれない。

ただし、ここでいう合理性とは単純な経済的合理性のような意味ではなく、社会的資源という観点からのそれである。つまり、自然や歴史や将来の人間活動(生活と生産)のありようなども含めて、目標を多面的に考えた上での合理性である。この目標設定には時間を要するとしても、いずれ我々は回答を迫られることになる。

技術がそれだけで直接に目標を設定し、回答を作成するわけではない。けれども目標の設定の仕方に影響を及ぼし、その実現の可能性を保障するのは技術である。水に関する計測といった最も基本的な技術から、推定、予測、制御、伝送、監視、管理、評価のシステム技術に至るまで、簡便、低価格でかつ安定性、信頼性並びに操作性の高い技術に対する需要がますます強まるであろう。更に水だけでなく、例えばエネルギーの発生、省エネルギーといった他のシステムとのかかわりも考慮して、より広い立場からの要求にこたえる用意がなくてはならない。要は、社会的資源の有効利用についての確な認識と見通しをもち、それに応じた技術開発の方略を立てることである。

# 上下水道における監視・制御システムの動向

荒木義朝\*・中島敏博\*・前田満雄\*\*・松谷勝己\*・渡辺一弘\*

## 1. ま え が き

近年の生活水準の向上に伴い、水の需要は増大の一途をたどりそれに比例して瀬戸内海の赤潮の発生にも見られるような新たな公害問題、また毎年どこかの地域でニュースになる給水制限など、水資源の確保が上下水道プラントにとって、ひっ迫した重大な課題となってきた。ここに、省資源・省エネルギー対策も含め、より高度化、複雑化した今日の上下水道プラントにおける監視制御システムに要求される機能とそのシステムシリーズ《MELWACシリーズ》について概要と特長を述べる。

## 2. プラント制御技術の動向

### 2.1 上水道プロセスの制御

上水道では普及率 90% に達し、維持管理センターの時代に入っており、水の供給安定性・水の品質管理、及び処理プロセスの省資源・省エネルギー化を目指した維持管理の自動化が今後の焦点となろう(図 1.)。

供給安定性に係るポンプ制御や広域運用計画については、シミュレーションを活用し最適方法が提案されているが、品質管理や省エネルギーに係る薬注制御についても、取水源上流域の都市化、下水道整備拡大に伴う水源水質の悪化により、上水一般水質のみならず、臭気・味覚・トリハロメタンなど有害物質への関心を高めてきている。これらは凝集プロセス制御、塩素注入制御、あるいは一部では塩素に替わるオゾン注入制御の役割が期待されてきている。更に期待されることは、薬注制御によって、100 m<sup>3</sup>/日規模プラントで年間数億円使用する薬品費の低減効果である。

また、薬品の過剰注入は生成汚泥の脱水性を悪くしたり、ろ(濾)過池の通水抵抗を高めるなど汚泥管理や濾過池運用に影響を及ぼし、ひいては場内排水の水質を悪化させる要因となる。

そこで汚泥管理を含む薬注制御や関連法規の対象となる

場内排水のクローズド化を図る運用システムも今後望まれよう。

### 2.2 下水道プロセスの制御

下水道では、普及率 30% と低く、特に地方都市町村の普及率の低さが目立っている。

この分野では、今後、(1)処理規模の多様化、特に中小規模プラントの増加、(2)処理方式の多様化、(3)処理システムの高度化(総量規制、再利用)、(4)汚泥処分、エネルギー問題などを背景としたプラント制御への期待が高まってきている。中小規模プラント用の制御システム、下水道利用人口の 70% 近くを占める合流式下水処理施設の雨天時の制御、あるいは将来の問題として脱窒、脱りんなどの高度処理システム制御なども期待されている(図 2.)。

また、活性汚泥プロセス制御については、最近実用化技術が確立さ

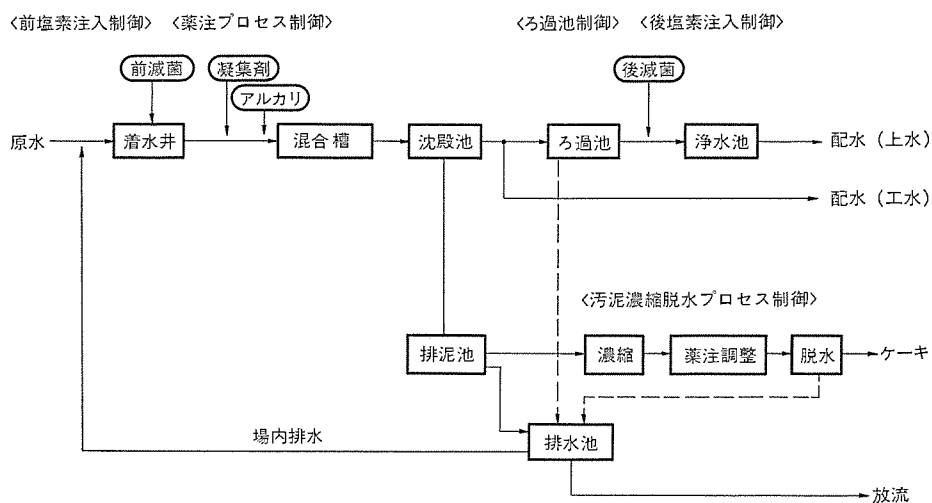


図 1. 上水処理プロセスフローとプラント制御

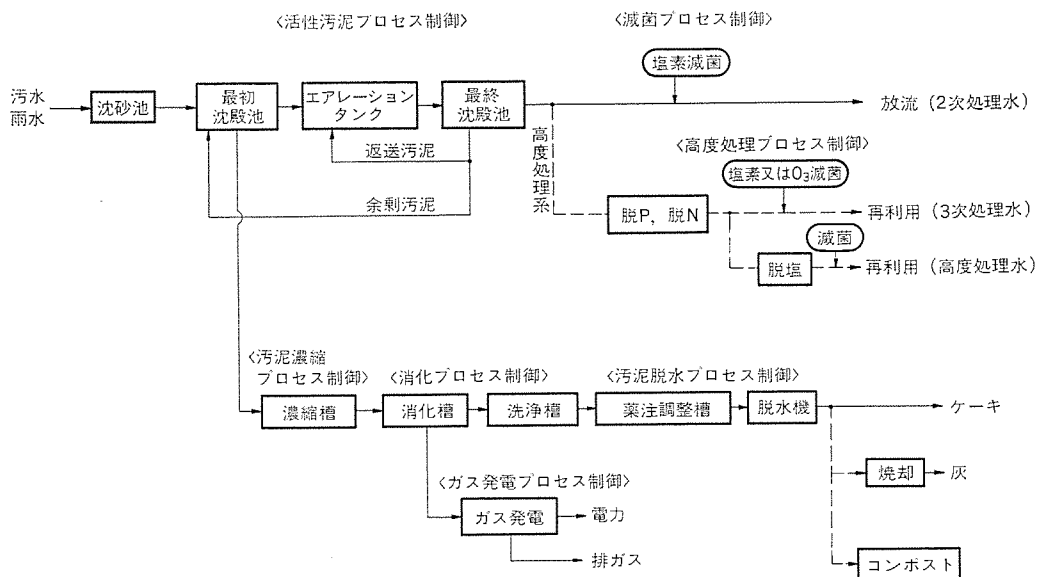


図 2. 下水処理プロセスフローとプラント制御

れた汚泥総量制御の普及が期待される。これはエアレーションタンクと最終沈殿池とに滞留する汚泥総量を推定し、これを制御することによって処理水質、送気量、余剰汚泥量を含む総合的な運用の最適化を図るものである。

次に、汚泥問題については、特に大都市では汚泥処分量の低減は重要な課題であり、(1)嫌気消化プロセス制御、(2)ケーキ乾量中の40%を占めている薬注量の低減化を目指した薬注・脱水プロセス制御、(3)汚泥焼却プロセス制御などが重要課題となろう。

### 3. 監視制御システムの変遷と要求される機能

上下水道プラントにおける監視制御システムは、公共施設であること、それも数千人を対象とする小規模のものから数百万人を対象とする超大規模なものまで多種多様にわたること、プラント設備が一度に完成することは少なく、数回又は多い場合は数十回にわたって分割建設されること、また制御対象システムのメカニズムがいまだに解明されていない部分が多いことなどを特徴としている。

以下に要求される機能の分析とその動向、そして上下水道プラントの規模に応じて最適の監視制御システムをシリーズ化した《MELWACシリーズ》について述べる。

#### 3.1 監視操作システム

上下水道プラントにおける監視操作システムは、一言にいうと、分散監視操作形から集中監視操作形へと移行してきた。

分散形から集中形への指向は運転員の作業環境の改善及び運転員の肉体的・精神的負担の軽減に役立ち、ひいてはプラント全体の運転

管理の質の向上にもつながり、当然時代が要求する帰結である。

上下水道プラントにおける監視操作システムに本当に必要かつ十分な機能は何かと分析追求することにより、各種ハードウェアが有効にシステムに融合し、最適なシステムが誕生するといえる。

図3.に示すとおり、監視操作システムは集中化の傾向にあり、特にマイクロプロセッサ及び工業用計算機が、そのフレキシビリティに富んだ情報処理機能により、システムの中核になってきている。

しかし、監視操作機能の集中化といえながらも、その集中化された監視操作システムを構成するハードウェアは、マイクロプロセッサの発展にもより、機能別に細分化される傾向にある。

このように機能分散・集中監視操作システムの中で、各ハードウェアは有機的に結合され、システム全体として信頼性・監視性・操作性・拡張性の高いものになっている。

#### 3.2 制御システム

上下水道プラントにおける制御システムは、その公共性より、信頼性・安全性・拡張性について十分考慮を払わねばならないことはもちろんだが、上下水道プラントの大規模化の傾向も受けて、制御システムは分散化が指向されている(図4.)。

この理由は危険分散というシステム全体としての信頼性、安全性、並びに経済性の追求の結果といえる。

この制御システムの分散化の傾向は、マイクロプロセッサとその応用技術の飛躍的な進歩が信頼性と融通性を兼ねそなえた小形で高機能のハードウェアを低価格で提供したことが大きな役割を果たしているといえよう。

また、上下水道プラントの広域化に伴い、予測制御もとり入れた高度なソフトウェアを含む広域制御システム開発が要求されつつあることも大きな特徴である。

#### 3.3 《MELWACシリーズ》

上下水道プラントにおける監視操作システムと制御システムについてそのシステムの変遷と機能を分析してきたが、ここで上下水道プラントにおいてそのプラントのもつ特徴を十分考慮し、信頼性・安全性・拡張性・経済性・保守性・監視性、並びに操作性を追求した結果、表1.に示す上下水道プラント向け監視制御システムをシリーズ化したので紹介する。

このシリーズは《MELWACシリーズ》と名づけ、1000シリーズから9000シリーズまでそろえている。

表1.は各シリーズの特長と構成をまとめたもので、適用プラントの項目はプラントの処理能力別に大中小規模に区分しているが、これは1つの目安であり、適用するプラントの特殊性及びその施設の運転管理や保守体制に照らし、もっとも適したシステム構成を各シリーズの特長に応じて選択すべきである。

図5.に《MELWAC 7000シリーズ》のシステム構成図を示す。これは大規模プラントにおける集中監視操作・分散制御形システムの1例である。

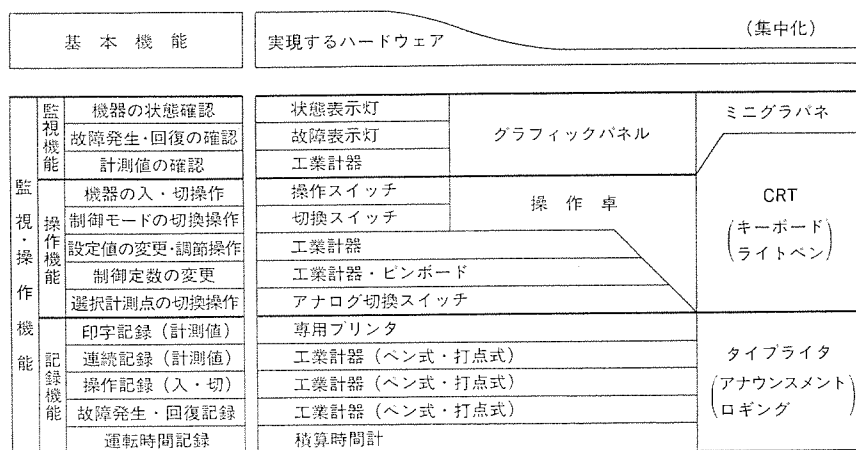


図3. 監視操作システムの機能分析

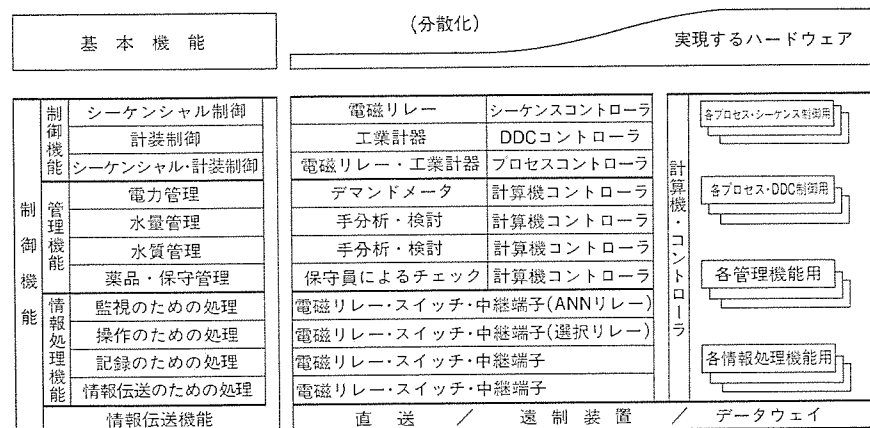


図4. 制御システムの機能分析

表 1. 《MELWAC シリーズ》の機能一覧

シリーズ名	適用プラント	シリーズの特長	シ ス テ ム 構 成						
			監 視 機 能	操 作 機 能	記 録 機 能	制 御 機 能	管理機能	情報処理機能	情報伝送機能
MELWAC 1000	各種ポンプ場 小規模浄水場	集中管理 集中制御形	グラフィックパネル	専用スイッチ 工業計器	工業計器 タイプライタ	電磁リレー 工業計器 プロセスコントローラ (MACTUSシリーズ)	—	電磁リレー	直送方式
MELWAC 3000	〃 処理場 5,000～50,000 m <sup>3</sup> /日	集中管理 集中制御形	ミニグラフィック CRT	専用スイッチ CRT キーボード	タイプライタ ハードコピー	プロセスコントローラ (MACTUSシリーズ)	—	情報処理コン トローラ	簡易情報バス
MELWAC 5000	中規模浄水場 〃 処理場 30,000～200,000 m <sup>3</sup> /日	集中管理 部分分散制御形	ミニグラフィック CRT(4,800画素)*1 M 870 機能も含む	専用スイッチ CRT キーボード	タイプライタ ハードコピー	プロセスコントローラ (MACTUSシリーズ)	計算機*3	情報処理コン トローラ	データウェイ
MELWAC 7000	大規模浄水場 〃 処理場 150,000～2,000,000 m <sup>3</sup> /日	集中管理 分散制御形	ミニグラフィック CRT (4,800 画素)*1, *2 M 870 機能も含む	操作卓の縮小化 はん用スイッチ CRT キーボード	タイプライタ ハードコピー ラインプリンタ	プロセスコントローラ (MACTUSシリーズ)	計算機*3	情報処理コン トローラ	データウェイ
MELWAC 9000	広域管理システム	集中管理形	グラフィックパネル (系統図) CRT(4,800画素)*1	操作卓の縮小化 はん用スイッチ CRT キーボード	タイプライタ ハードコピー ラインプリンタ	—	計算機*3	情報処理コン トローラ	遠方監視制御 装置 (MELFLEX シリーズ)

注 \*1 CRT 画面の ON-LINE 作成・修正可能, \*2 CRT 画面による Program 作成可能, \*3 高級制御機能も含む

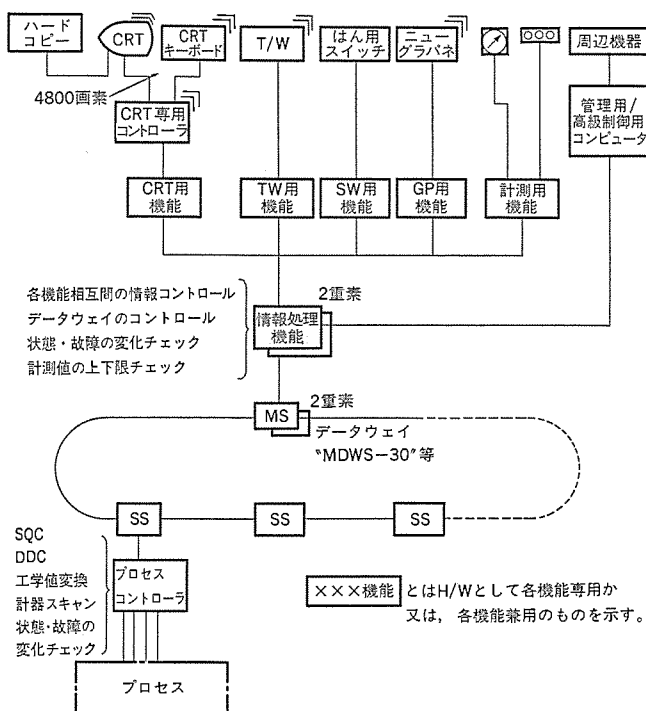


図 5. 《MELWAC 7000 シリーズ》システム構成図

#### 4. 《MELWAC シリーズ》を構成するハードウェア

##### 4.1 《MACTUS シリーズ》

《MELWAC》システムの制御機能を担当するプロセスコントローラはデジタル計装制御システム《MACTUS》でシリーズ化されており、プラントの規模及びシステムの制御機能に応じて選択することができる。

表 2. に《MACTUS シリーズ》の中のプロセスコントローラについてその用途と主なる仕様を示す。

プロセスコントローラに要求される機能はプロセスの規模・性格によりそれぞれ異なるため、その適用分野によってプロセスコントローラも異なったものとなるが、それらに共通する基本設計思想は下記のとおりである。

- (a) 信頼性の向上、拡張の容易さ、増設の容易さを実現するため、地域的な機能分散、同一地域での機能の分散が行える分散形システム構成である。

表 2. 《MACTUS シリーズ》プロセスコントローラ

	用途と特長	H/W 仕様
ハイレベルコン トローラ MACTUS 810	複雑なアルゴリズム、多変数制御等のハイレベルの計装制御に最適なコントローラ	計装制御: MAX. 32 ループ シーケンス制御: MAX. 8,000 ステップ DIO 各 1,024 点
マルチコン トローラ MACTUS 700	DDC とシーケンス制御の混合した制御に最適なマルチコントローラ MACTUS 700 は特にシーケンスの高速化を図っている。	計装制御: MAX. 32 ループ相当 シーケンス制御: MAX. 8,000 ステップ DIO 各 1,024 点
MACTUS 610		計装制御: MAX. 8 ループ シーケンス制御: MAX. 4,000 ステップ DIO 各 512 点
シーケンスコン トローラ MACTUS 400	小規模のシーケンス制御専用のプログラマブルコントローラ	シーケンス制御: MAX. 896 ステップ DIO 合計 128 点
1 ループコン トローラ MACTUS 200	分散制御の極限。DDC 1 ループを 1 台のアナログ調節計に縮小したデジタルコントローラ。操作パネル付き	計装制御: 1 ループ
ループインタフェ ースユニット MACTUS 120	MACTUS 810, 700, 610 用の DDC ループインタフェース(1 ループ/1 台)。異常時の出力値保持。手動操作可。	

- (b) 信頼性の向上を実現するため、各種のバックアップシステムを準備している。

- (c) システムの拡張に備え、ビルディングブロック方式を採用。

- (d) ユーザーが取扱うアプリケーションプログラムの言語はシーケンス制御(SQC)用として問題向言語(POL)更に、計装制御(DDC)用として空欄記述方式(FIF)を採用し、プログラム作成及びフィールドでのプログラムの変更を容易に行えるようにしている。

- (e) プロセスコントローラは制御の分類として下記 3 種類を準備し、幅広いニーズに対応している。

- ・計装制御(DDC)専用タイプ(図 6.)
- ・シーケンス制御(SQC)専用タイプ

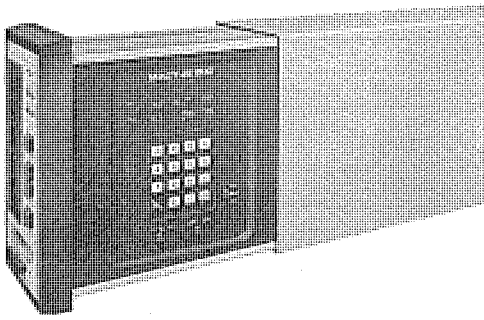


図 6. 1 ループコントローラ《MACTUS 200》

・計装制御 (DDC) とシーケンス制御 (SQC) 共用タイプ

(f) プロセスの制御だけでなく、中央との情報交換が行える。

#### 4.2 《MELCOM 350/50 シリーズ》

《MELWAC》システムの中で、特に中・大規模プラントにおける管理機能、情報処理機能を受けもつのが、三菱工業用計算機システム《MELCOM 350/50》である。

このシステムは集中監視操作の一翼をにない、下位の《MACTUS シリーズ》の各コントローラとデータウェイを介して結ばれ、プラントの各種情報を処理している。特に《MACTUS 870》と呼んでいる CRT ディスプレイ装置を使ったオペレータステーションはこの《MELCOM 350/50》システムに組み込み、使い勝手の良いマンマシンインタフェースとして下位の DDC コントローラ (例えば《MACTUS 810》) のモニタ及び操作が容易に出来るよう工夫されている。また、工業用計算機システムとして、その信頼性・保守性・拡張性は、十分確保されており、特に、上下水道プラントの特徴である設備の増設を考慮し、これに有利なデュプレックス方式による CPU の 2 重化システムを特長としている。

#### 4.3 《MELFLEX シリーズ》

《MELWAC》システムの中で、特に広域プラントにおける情報伝送機能に威力を発揮するのが、三菱情報伝送システム《MELFLEX シリーズ》である。

テレコミュニケーション・データ処理・プロセスインタフェース・マンマシンインタフェースの各機能を有機的にかつ階層的に自由に組合せられることを特長とした広域監視制御システムで、伝送路も自営線、電電公社線、そして無線まで規模も小から大まで幅広い要求にこたえられるようシリーズ化されている。

### 5. 新しい監視装置

上下水道プラントにおける監視操作装置は水処理システムをグラフィック化した大形パネルが主流を占めてきた。

しかし、CRT ディスプレイ装置の出現により、グラフィックパネルの持つ機能が改めて検討されることになった。つまり、CRT ディスプレイ装置に望めない機能、すなわちプラント全体の状態が一目で判断できるという点に焦点があてられるようになった。そして、監視の容易さ、すえ(据)付面積、経済性、省エネ、省資源など多方面からの検討も行われ、小形化された監視操作盤「ミニグラ」が多く採用されるようになった(図 7.)。

次に、三菱ニューグラパネ機能のうち、本稿では計測信号の表示方法として特に研究開発を行った液晶式計測模擬シンボル装置の概要を紹介する。

#### (1) スピーディな視覚判断

プラントの設備シンボルがアナログ信号で変動し、計測値が表示される

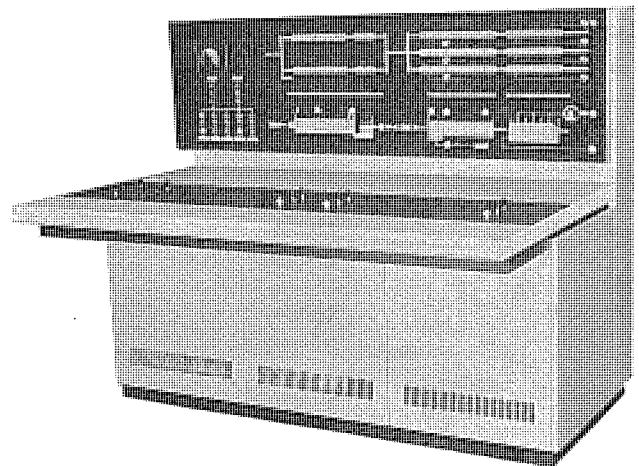


図 7. 新しい監視装置 ニューグラパネ

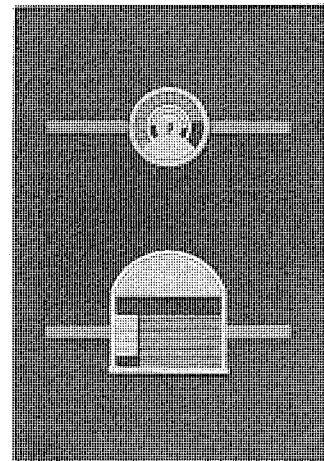


図 8. 液晶式模擬シンボル

ため、デジタル表示管やアナログ指示計よりはるかに早く視覚判断できる(図 8.)。

#### (2) 状態比較が容易

上下限設定値が表示でき、任意に設定変更ができるので、プロセス値との比較が容易に行える。

#### (3) スピーディな異常キャッチ

上下限を越えると、プロセスシンボルがフリッカ表示するので、異常をオペレータがスピーディに視覚判断できる。

#### (4) 多様なプロセス値の表示

水質のよどれ状態、バルブの開度状態などが任意の色、濃淡で表示できるなど多様なプロセス値の表示が可能である。

これらの特長をもつ、三菱ニューグラパネはプラントのプロセスが正常であるかどうかを簡単に判別できるよう心掛け、製作されているので、従来の水処理システムの監視とは全く違ったイメージで安全かつ確実な監視が可能である。

### 6. む す び

以上、上下水道プラントにおける監視制御システムの最近のシステム動向をソフトウェア、ハードウェアの両面からその概要を述べてきた。

今後とも、プラント側から要求されるニーズを十分吸収し、その時代に合った最適な監視制御システムを提供し、“水は限りあるもの”の立場から社会の要求にこたえて行く所存である。

# 浄水場の監視・制御システム

砂山 洋治\*・井上 省三\*・小沢純一郎\*・山田 晃男\*\*・小林 敏昭\*\*\*

## 1. ま え が き

上水道の設備はほとんどの都市に普及し、その普及率は昭和53年度において90%となった。最近の需要量は、石油ショック以来伸び率は鈍っているものの、依然増加傾向にある。これに対し、供給者側では水源の不足、水質の悪化、省エネルギー化などの厳しい環境を克服しなければならない。このような環境のもとで、良質の水を安定して需要家に供給するには今まで以上に設備の効率的な運用が必要となる。このためには、オペレータが浄水場の設備を合理的かつ効率的に運用し得るための、適切な監視・制御システムが必要となる。

このシステムではオペレータがプラント全体を容易かつ的確には(把)握でき、プラントの状態に応じて適切な運転が行えることが大切である。また、更に、オペレータになじむ適度な自動化が必要となろう。ここでは、上記の観点から考えられた浄水場の監視・制御システムを紹介する。

## 2. 浄水場の運用制御

### 2.1 浄水場のプロセス

浄水場は通常、原水導入、水処理、送配水及び汚泥処理の4つのプロセスから構成される。原水導入プロセスでは、主に河川から導かれた原水が沈砂池できょう(夾)雑物や砂がとり除かれ、ポンプ井を経て取水ポンプにより着水井に送られる。水処理プロセスは前塩素による滅菌、硫酸バンドやPACなどの凝集剤の注入、pH調整のためのカセイソーダの注入の後、凝集池でフロックを形成させ沈殿池でフロックの沈降を行う。沈殿池の上澄水はろ過池に導かれ浮遊物を最終的に除去し、これを後塩素で滅菌して浄水とし、浄水池に導かれる。送配水プロセスでは、この浄水が送配水ポンプにより管路を通して需要家に送られる。一方、沈殿池で沈降分離した汚泥(泥)は汚泥処理プロセスにおいて処理される。以上のプロセスを図1.に示す。

プロセスにおいて処理される。以上のプロセスを図1.に示す。

### 2.2 浄水場プロセスの運用

浄水場では原水を処理し浄水を規準水質に保持するため安定、安全かつ合理的な運用制御が要求される。また、原水導入、水処理、送配水ポンプ、汚泥処理に要する電力エネルギーや薬品の量の軽減を目指した運用も望まれている。浄水場プロセスの歴史は古く基本的な運用制御の技術はほぼ完成したといえるが、上に述べたより高度な運用制御を目指して更に改良、改善の努力がなされている。以下に最近の2、3の話題について述べる。

#### (1) 水量について

原水流量の変動、需要量の変動を吸収し、更には操作の容易性、プラントの安定性(流量変化によるプラント特性の変動を少なくする)から考えて、取水流量、導水流量、送水流量を安定化し、上記流入量(原水)、流出量(需要量)の変動を、浄水池(更には、配水池)の有効貯留能力で吸収する運用が考えられる。このためには、原水流量、需要量に応じて各流入出流量の設定値を求める。更に、ろ過池に対しては総ろ過流量設定値を基にして、各ろ過池の洗浄、ろ過、ろ過待機の制御スケジュールを作成する。これらの結果は直接プロセスコントローラを通じて自動制御する方法やCRTなどに出力オペレータのガイダンスとして利用する方法が考えられる。

#### (2) 水質について

原水水質の変動を吸収して安定した水質の水を作るには、図2.に示す水質制御をプロセスコントローラにより実現する。

水質制御の難しさは、プラントの無駄時間が非常に長く(3~4時間)入力を与えても出力が表れるまで3~4時間必要なことである。このため、現在の水質制御のほとんどはモデル式(ジャークテストなどにより作成する)に基づくフィードフォワード制御(FF制御)である。FF制御では、原水水質に応じて薬品注入率を決定するモデル式の精度

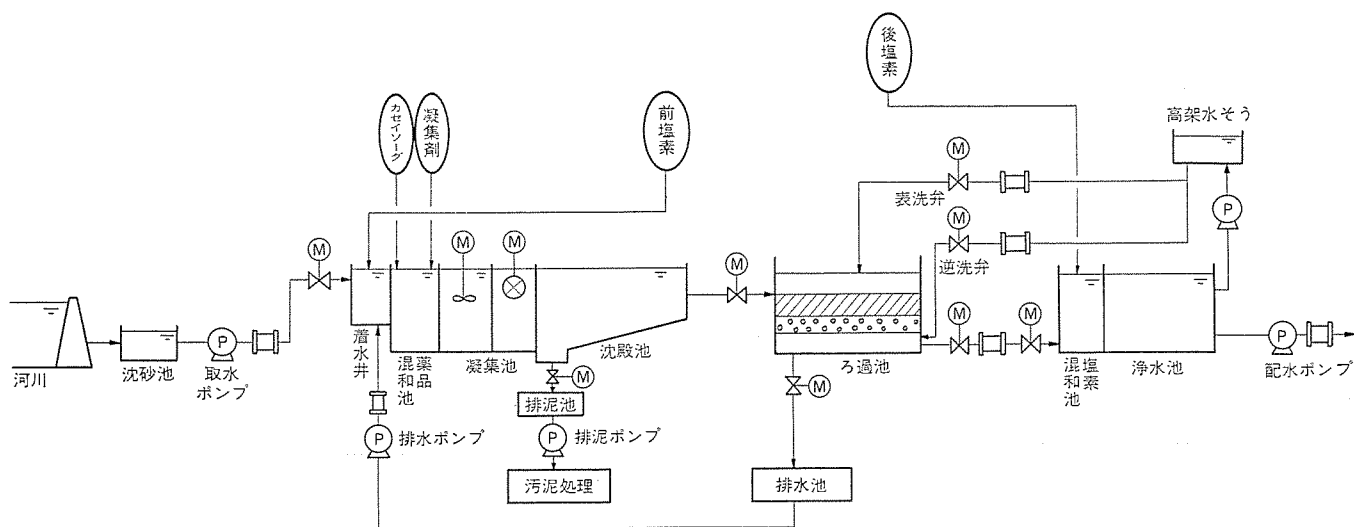


図1. 浄水場のプロセス

が処理水質の安定性を左右する。しかしながら、モデル式の精度を向上させるには限界がある。そこで、水質制御としてはFF制御に加えて処理水質をフィードバックして注入率を決定するフィードバック制御（FB制御）を付加する。更に、2～3時間先の原水水質を予測して注入率（基準注入率）を決定し、FF、FB制御に加える（予測

レギュレータ方式）。この手法は、基準注入率によって操作量（注入率）を安定させ、FF制御によって原水水質の変動に追従させ、FB制御によって処理水質の安定性を向上させる特長をもったロバスト（強靱な）制御手法である。

## 2.3 水質制御の実例

ここでは、水質制御の実例として4万トン／日の浄水場に納入した前塩素・濁度・後塩素制御の結果を紹介する。

### (1) 凝集剤注入制御（PAC）

この浄水場におけるPAC注入のモデル式は、ジャテスト実験及び実プラントにおける試験から決定し、原水濁度の範囲によって3つの注入モデル式を作った。そして、前述の予測レギュレータ方式により制御を行った。図3.(c)にその結果を示す。原水濁度が20時間の中で26度から16度と変化しており、これに対して沈殿池濁度は設定値の±25%の間に収まっている。

### (2) 塩素注入制御（前・後塩）

前塩素制御はFF制御を行うモデル式（塩素要求量－前塩素注入率、アンモニア性窒素－前塩素注入率などを関係づける式）がないので基準注入率+FB制御とし、後塩素制御はろ過池出口残塩によるモデル式を作成

し、FF制御もつけ加えた予測レギュレータ方式とした。図3.(d)、(e)をみると両者共良好な制御結果となっている。

## 3. 監視・制御システムのあり方

浄水場の運用制御について紹介したが、ここでは運用制御を実現する監視・制御システムのあり方について述べる。浄水場の運用にあたっては水質、水量の安定化が最も重要な目的である。高度な運用制

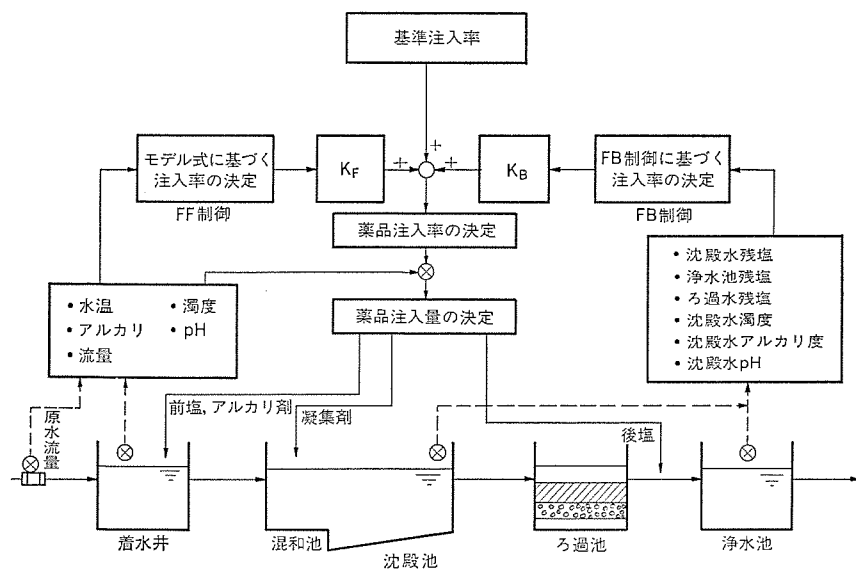
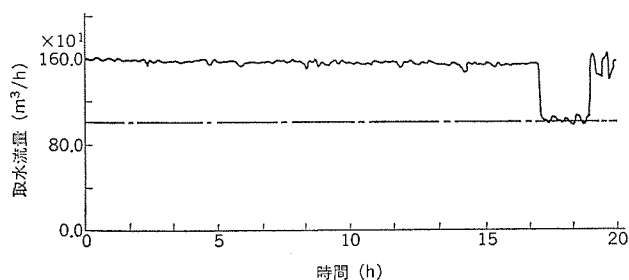
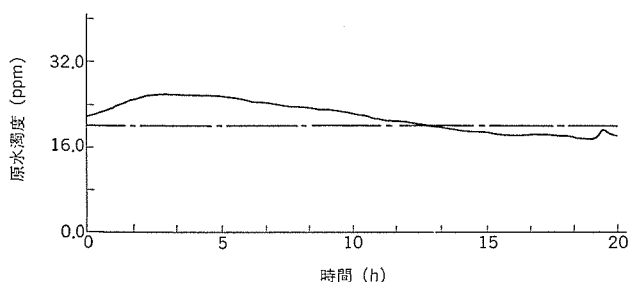


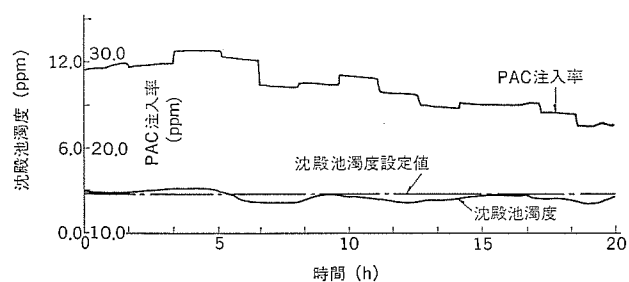
図2. 薬品注入制御フロー



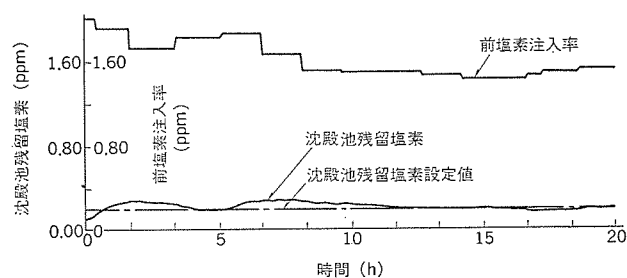
(a) 取水流量



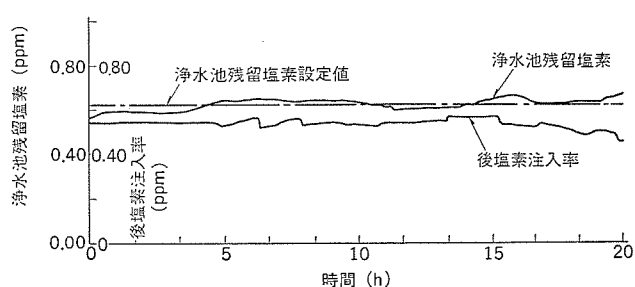
(b) 原水濁度



(c) PAC注入率と沈殿池濁度



(d) 前塩素注入率と沈殿池残留塩素



(e) 後塩素注入率と浄水池残留塩素

図3. 薬品注入制御の結果の1例

御を考へても、常にこの目的が満足されていなければ実用に耐えることはできない。正常時でも異常時でも上記の目的を実現できるシステムを構築し、正常時には安全で安定した運用制御、更に合理的な運用制御を、異常時には安全で安定した運用制御を実現することが必要であろう。以上の観点より監視・制御システムのあり方をまとめると次のようになる。

#### (1) システムの信頼性、安全性の向上

安定した水質、水量を保持するためにはシステムの信頼性を高め、またシステムの単機能の停止が全体機能の停止とならないようにバックアップ方式を考慮し、安全性を高めるシステム構成とする。

#### (2) 設備の拡張に対する柔軟性

浄水場の計画水量は年次ごとに増加するのが常であり、逐次設備の増設が行われてゆくが、増設時に設備を長期間にわたって停止させることは浄水場の使命から考えて不可能である。したがって、増設工事のときに既設の設備を停止させないように、あるいは停止させる場合には短時間、小範囲に限定できるシステム構成とする。

#### (3) 監視・制御の合理化

浄水場の規模が大きくなるに従って、設置される機器の数量が多くなり、管理情報の増大や監視、保守業務の繁雑さが増してくるが、オペレータには正常時、異常時を含めた適確なる処置、操作を要求される。一方省力化、省エネルギー指向から少人数による合理的な運用が望まれている。このために、監視制御が合理的に行えるシステム構

成とする。

以上の諸点を満足させる監視制御システムには、

① 制御機能の分散化 ((1)項、(2)項)

② 監視機能の集中化 ((3)項)

が必要である。

### 4. ハードウェアの構成

集中監視、分散制御の階層化システム構成に対応する各種のハードウェア、工業用計算機《MELCOM 350-50 シリーズ》及び総合計装システム《MACTUS シリーズ》が用意されている。図4.に浄水場（大規模）の監視・制御システム例を示す。

このシステム構成は次の機能レベルに分かれる。

① 計測制御機能

② 情報伝送機能

③ 監視操作機能

④ 運用管理機能

(1) 計測制御機能レベルでは、電気室単位にプロセスコントローラを分散して設置し、各種 DDC 制御、シーケンス制御を行う。表1.に主要制御項目及び対応するプロセスコントローラを示す。

プロセスコントローラのバックアップとしては、いろいろな方法が考えられるが、この例ではバックアップ操作器《MACTUS 120》を採用し、故障時には手動で操作量を設定する。

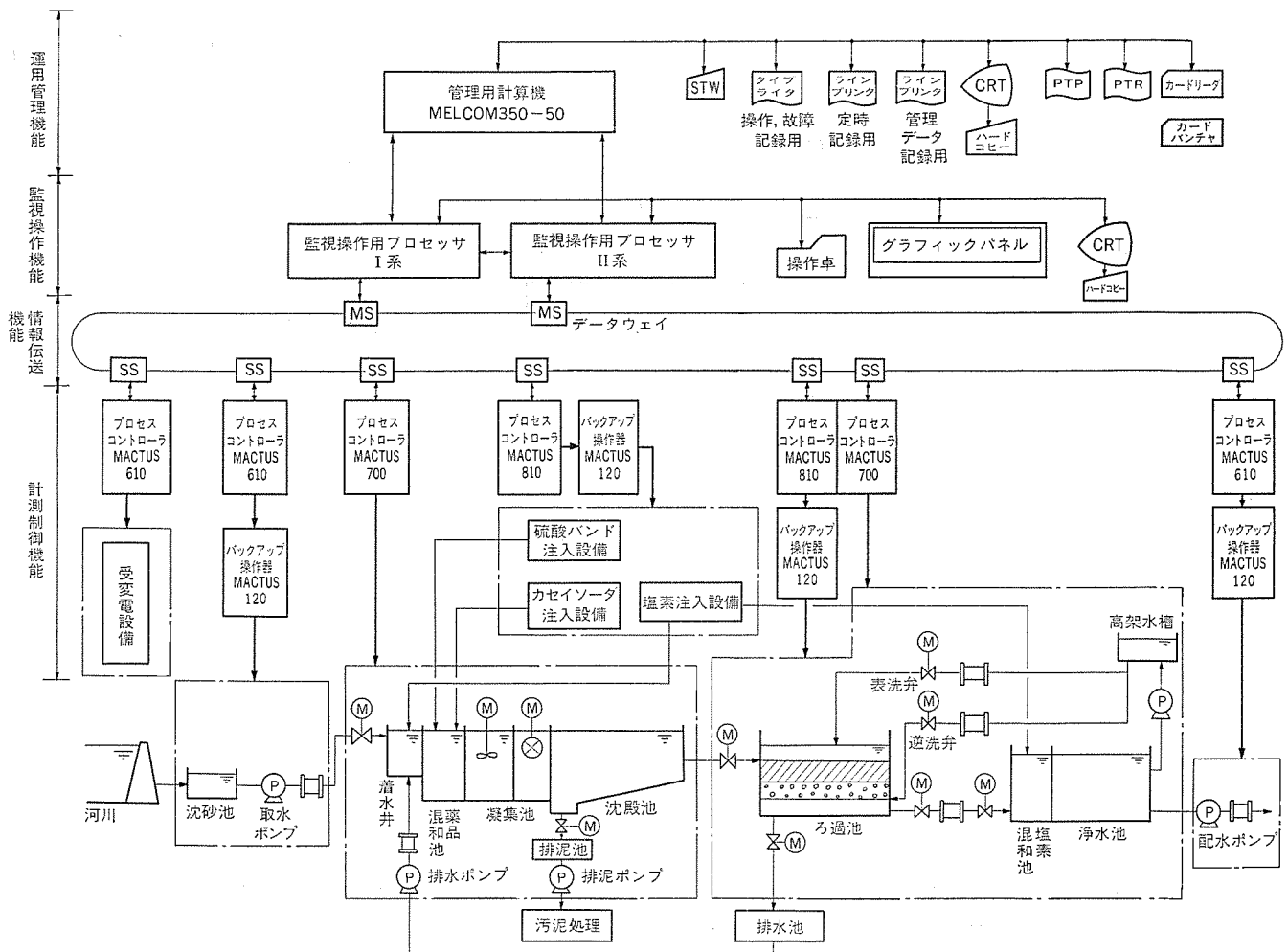


図4. 浄水場監視・制御システム構成 (大規模浄水場用)

表 1. 主要制御項目・プロセスコントローラ

	受 変 電 設 備	取 水 設 備	着水井・沈殿池設備	ろ 過 池 設 備	薬 品 注 入 設 備	配 水 ポ ン プ 設 備
制 御 項 目	停電復電制御 デマンド制御 力率制御	沈砂池水位制御 取水流量制御 取水ポンプ台数制御	排水ポンプ制御 排泥ポンプ制御 排泥制御 急撹機操作 フロキュレタ操作	ろ過流量制御 高架水そう揚水ポンプ制御 表・逆洗流量制御 洗浄シーケンス制御 池数制御 浄水池水位制御	硫酸バンド注入制御 カセイソーダ注入制御 塩素注入制御	吐出圧制御 配水流量制御 配水ポンプ台数制御
プ ロ セ ス コ ン ト ロ ー ラ	MACTUS 610 (DDC制御) (シーケンス制御)	MACTUS 610 (同 左)	MACTUS 700 (シーケンス制御)	MACTUS 810 (DDC制御) MACTUS 700 (シーケンス制御)	MACTUS 810 (DDC制御)	MACTUS 610 (DDC制御) (シーケンス制御)

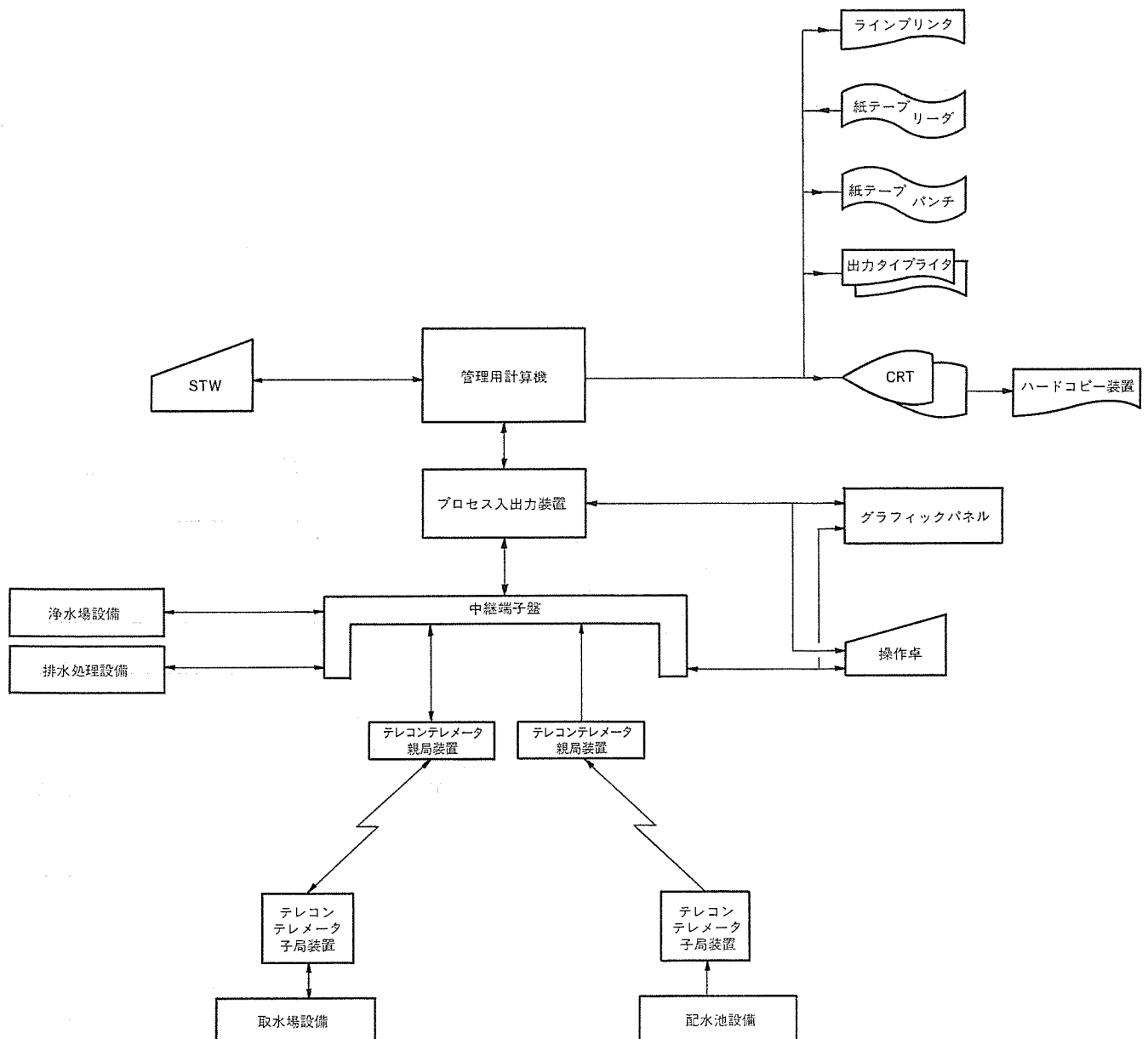


図 5. 浄水場監視・制御システム 構成 (中小規模浄水用)

(2) 情報伝送機能レベルは監視制御用プロセッサとプロセスコントローラ相互間の情報伝送を同軸ケーブル1本で行うものであり、将来の増設は容易に行うことができる(ステーション間距離1 km, 全長最大64 km, 端末ステーション最大64)。

故障したステーションは自己チェック機能により自動的に切離されバイパスされるので、全体的なシステムダウンを防ぐことができる。

(3) 監視操作機能レベルでは、操作卓からの選択操作及び設定値の変更、グラフィックパネルへの状態表示、故障表示、計測値のアナログ

及びデジタル表示を行う。監視操作用プロセッサは2重化されており、信頼性を高めている。

マンマシンインタフェースとしては、プラント全体を一括して把握し、操作を行うためにグラフィックパネルと操作卓を設置している。グラフィックパネルには必要最小限の表示を行い詳細はCRTで監視する。

(4) 運用管理機能レベルでは、CRT、ハードコピー、タイプライタ、ラインプリンタなどのマンマシンインタフェース機器を用いて、管理用計算機によるオペレータへのガイダンスを出力する。

以上は大規模浄水場のハードウェア構成であるが、中小規模の浄水場では各機能に対応するハードウェアを考慮する必要がある(図5.)。

(a) 計測制御機能レベルでは入出力点数に応じてプロセスコントローラの台数を減少させたり、1ループロコントローラ《MACTUS 200》を採用する。

(b) 情報伝送機能レベルでは、場内が狭く入出力点数が少ない場合には、ケーブルによる直送を採用する。

(c) 監視操作機能レベルでは監視操作用プロセッサの代わりに、ANNリレー、2重選択防止リレーを採用する。

(d) 運用管理機能レベルでは、規模に応じた機種を選定、周辺装置の台数を考慮し、場合によってはロガーの機能のみを採用する。

## 5. ソフトウェアの構成

監視制御システムのソフトウェアとしては、計測制御機能レベルのソフトウェア(DDC, SQC)から運用管理機能レベルのソフトウェアまで多種多量のソフトウェアがあるが、ここでは監視操作と運用管理機能におけるソフトウェア構成を紹介する。

### (1) 監視操作機能

#### (a) 監視・警報

プロセス機器からの信号・計測データを収集してデータファイルに保持し、以降の内部処理の基本とする。また、状態変化や規準値オーバーがあれば、その旨をオペレータに印字・表示して知らせる。

#### (b) CRTオペレーション

グラフィックパネルでは表示できない詳細の故障表示、フローシート表示、並びに計測値のトレンド表示やガイダンス表示を行う。

### (2) 運用管理機能

#### (a) 運用ソフトウェア

浄水場全体の合理的な運用を行うため、水質運用、水量運用のソフトウェアを構築し、最適な各設定値を計算する。

#### (b) 帳票作成

日報、月報及び年報などを作成し出力印字する。

#### (c) 資料作成

運用単価の計算や保全情報、資材情報の管理を行い、必要のつど集計、印字する。

以上のソフトウェアは、浄水場の規模に応じて、またハードウェア構成に応じて、その構成が変わってくる。図6.には監視操作機能と運

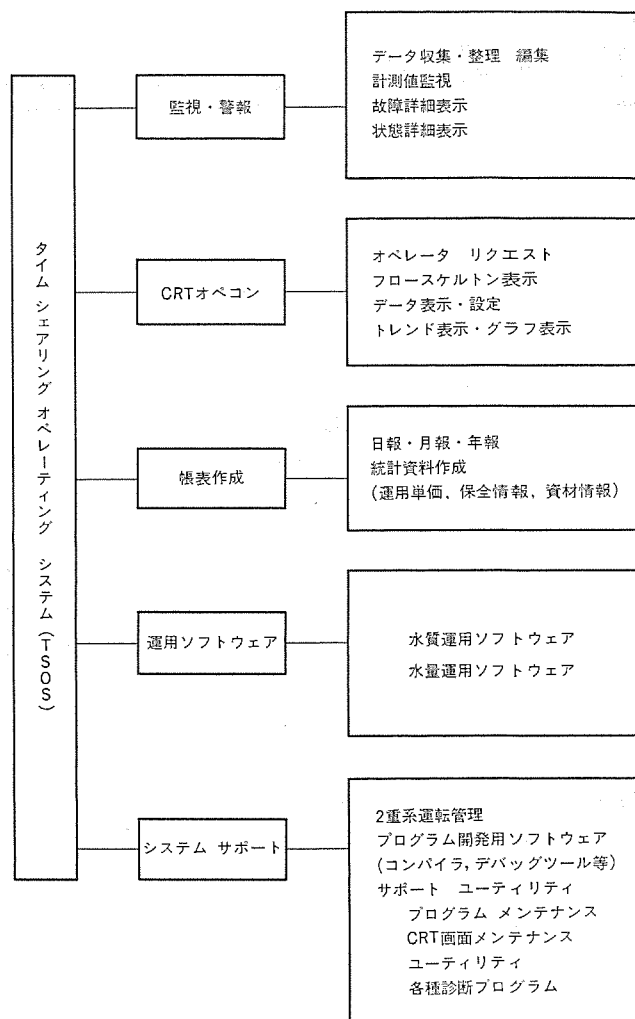


図 6. 浄水場システムソフトウェア構成

用管理機能のソフトウェアを1つにした構成を示す。各ソフトウェアを効率よく動作させるためのベースソフトウェアとしてTSOS(タイムシェアリングオペレーティングシステム)を使用している。また、2重系運転管理やプログラム及びデータのメンテナンスなどを行うシステムサポート機能も重要なソフトウェアである。

## 6. む す び

浄水場の監視・制御システムの役割、ハードウェア、ソフトウェアの1部を紹介したが、最近の浄水場運用に対する要求は従来の機器単体操作の自動化、情報収集の自動化からより高度な総合運用に移りつつある。当社は、このような高度化する要求にこたえるため、常に有用なハードウェア、ソフトウェアを開発・製作しており、今後共これらの技術の充実を図ってゆく所存である。

また、これらの技術の開発に当たり、多くの都市の水道関係各位からいただいた御指導に対し厚く御礼を申し上げる次第である。

# 下水処理場の監視・制御システム

田中孝浩\*・盛口全太\*・中堀一郎\*\*・長田俊二\*・長束晴弘\*\*\*

## 1. ま え が き

近年下水道施設の普及と拡大は順調に伸びている。一方最近の下水処理場では、従来の処理場に比較して施設が大規模化、複雑化し、それに伴って監視範囲の拡大、制御については量の制御から質の制御へと高度な制御が要求され、運営面、維持管理面からは、管理業務の拡大に伴って省力化、省労化による合理化を強く要求されてきている。また一般的に、下水処理場の建設は1度に全体設備が完成するのではなく、最終完了まで段階的に拡張されていくことが多く、電気設備もそれにつれて順次設置されていくため、それに対応してゆける柔軟性と拡張性のある信頼度の高いシステムの採用が必要になっている。

これらの背景をもとに、最近の下水処理場では、集中監視制御方式として、近年著しく発達したプロセスコントローラを用いたデジタル計装制御へと移行し、また計算機システムを導入し、最適な監視・制御システムを組立てることが多くなってきた。

本稿では、下水処理場に DDC 分散形計装システム及び計算機システムを用いた監視・制御システムを中心に紹介する。

## 2. 下水処理プロセスの監視・制御

### 2.1 下水処理プロセス

下水処理場は、通常、下水導入・水処置・汚でい(泥)処理の3つのプロセスから構成される。下水導入プロセスでは、流入きよ(渠)から導かれた下水が沈砂池できよ(夾)雑物や砂が取除かれ、ポンプ井を経て、汚水ポンプにより着水井へ送られる。水処理プロセスは最初沈殿池における重力沈降、ばく(曝)気そう(槽)における活性汚泥処理、フロアによる曝気槽への送気、最終沈殿池における汚泥の沈降分離、放流水の塩素滅菌の各プロセスに分けられる。汚泥処理プロセスは濃縮槽における汚泥の重力沈降分離、消化槽における汚泥のけ

ん(嫌)気性消化、消化ガスを利用した消化槽の加温及び発電、洗浄槽での水洗浄、薬注による汚泥の凝固、脱水機による汚泥の脱水ケーキ化、焼却炉での汚泥ケーキの焼却の各プロセスに分けられる。これらのプロセスを図1.に示す。実際の下水処理場では種々の条件により上記プロセスの一部が省略されたり、別のプロセスが付加されたりする場合も多い。

### 2.2 下水処理プロセスの運用

下水処理場では流入下水を処理し、放流水を規準水質に保持するため、安定、安全かつ合理的な運用制御が要求される。また水処理、汚泥処理では電力、石油などのエネルギーを大量に消費するので、省エネルギー、省資源を旨とした運用が望まれている。

ところが、水処理と汚泥処理のプロセスは一般的に次の特質をもっているため、運用制御はかならずしも容易ではない。

- (1) プロセス特性に不明な点が残されている。
- (2) プロセスに大きな時間遅れ、外乱、非線形性が存在する。
- (3) プロセス相互間に有機的な関連がある。
- (4) 運用が多目的である。

最近、これらの運用制御の問題を解決するため、実プラント運用データなどによりプロセス特性の解明がなされ、種々のプロセスシミュレーションモデルが開発されてきている。また、運用制御の手法として状態の推定予測手法、運用計画(OR)手法、制御手法などが実用化の域に達しつつある。ここでは、2、3の最近の動きについて触れておく。

#### (1) 雨水、汚水ポンプの運用<sup>(1)</sup>

従来は水位によるポンプ台数制御や水位一定化を旨としたポンプ回転数制御が主に用いられてきたが、最近では晴天時の日間の汚水流入変動を調整池や流入渠の貯留能力を利用して平滑化し、下水処理場への負荷を一定化する制御手法が検討されている。また、降雨時には流入量の急激な変動に追従し、遅れのない適切な運転が流入量の推定と予測に基づき、更に水位フィードバックを付加したポンプ制御法として実用化されつつある。

#### (2) 汚泥総量の運用<sup>(2)</sup> ～(5)

曝気槽及び最終沈殿池に存在する汚泥の固形物量を一定化し、BOD/SS負荷を安定に保持しようとするもので、汚泥の固形物量の推定手法に実用的なカルマンフィルタなども開発され、汚泥総量制御の実現性が高まってきている。管理の効果については、BOD/SS負荷を指標として、処理水質・送風量・余剰汚泥発生量・汚

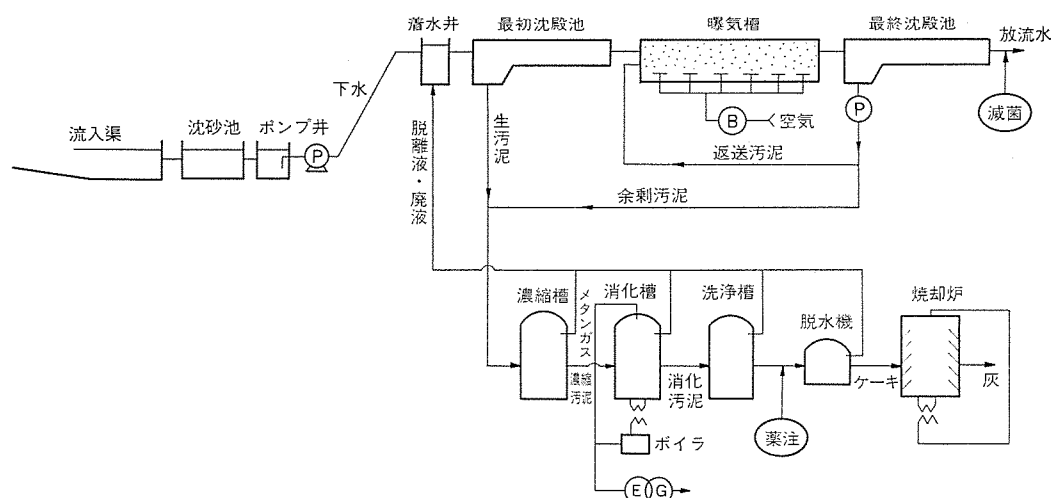


図1. 下水処理プロセス

泥性状などより検討が続けられている。

### (3) 消化槽の運用<sup>(9)</sup>

消化槽の発生ガスの増加と安定化を図るため、濃縮汚泥の投入抽出量制御、消化槽の温度制御などが検討されている。この制御を基礎として、消化ガスによる発電システム及び消化槽の加温システムに関する具体的な可能性・経済性の検討が進むことになろう。

## 3. 下水処理プロセスの監視制御システムの構成

### 3.1 機能の分類

下水処理場の監視制御は次の3つのレベルに大別することができる。

#### (1) 中央監視操作とシステム制御

中央では、下水流量の調整、処理水質の管理、汚泥量と質の管理、汚泥処理量の調整、消化、脱水、焼却プロセスの管理、熱エネルギー管理などのプロセスの総合運用がオペレータの判断に基づいて行われている。大規模処理場では、数千点の情報が中央に集められ、オペレータの判断に役立つ形で監視盤・CRT・タイプライタなどに出力される。このため、電算機が有効な手段として使用される。中小規模処理場では電算機を導入せず、従来の監視盤と操作卓によって、マンマシンインタフェースを構成することができる。

最近、下水処理プロセス特性の解明が進むに伴い、効率的な運用法をシステム制御技術を駆使して求め、これをオペレータの判断の補助として用いることが試みられつつある。これを達成する手段として電算機が利用される。

#### (2) 計装制御

下水処理場における各種プロセスの流量・圧力・水位・温度・成分などの監視と制御を対象とする。このうち、成分制御を除く量的な制御の方法は、過去の経験の蓄積により、ほぼ定着しつつある。また汚泥総量・MLSS・DOなどの成分制御についても、最近のプロセス特性調査解析の進展、水質計器の改良、DDC制御の普及などにより実用化の段階に入ってきたと考えられる。

#### (3) シーケンス制御

ポンプ・バルブ・ブローなどの水処理機械、汚泥処理機械、受変電自家発などの電気機器の制御を対象とする。これら機器の状態や故障の監視と機器の自動・手動選択の手法はほぼ定形化しつつある。下水処理場のこれらの機器のシーケンス制御は、かなり複雑な論理判断が要求されるが、この機能は最近ではリレー盤からPLC(プログラマブル

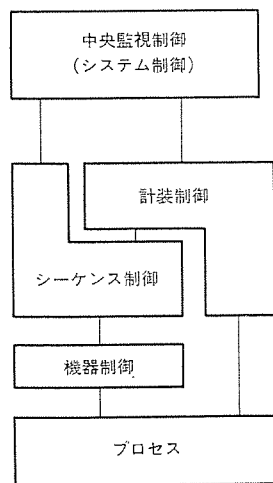


図2. 監視制御のブロック図

ロジックコントローラ)に移行しつつある。

### 3.2 システム構成

3.1節で述べた3つの監視制御は図2.に示すような階層構造となる。また、これらの3つのレベルはその内容、制御周期、設置場所に相違があるので、これらの機能を別個のハードウェアに割りつけることが多い。この場合、上位と下位の機能をダブらせ相互にバックア

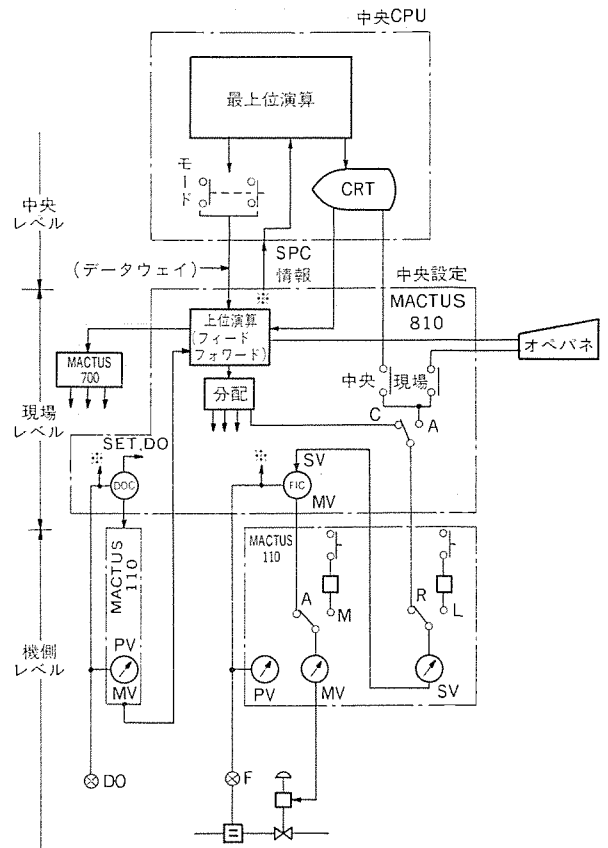


図3. 上位計算機とDDC制御装置の機能分散例

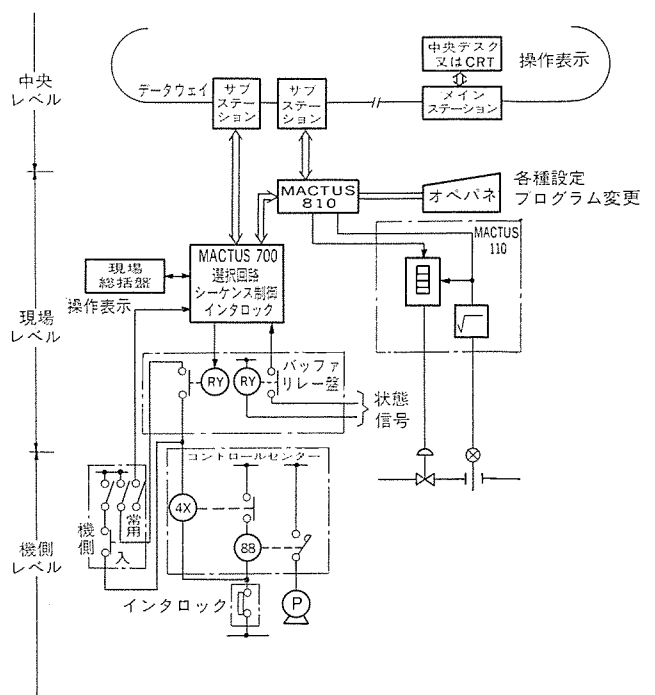


図4. DDC制御とシーケンス制御の機能分散例

アップ構成に組むことが一般的である。

図 3. に上位電算機と DDC 制御装置との機能分散例を示す。図 4. に DDC と SQC との機能分散例を示す。

中小規模のプラントでは、計装制御とシーケンス制御を同一のプロセッ

サに割りつけたり、中央の電算機にこれらすべての機能を割りつけることもある。

大規模プラントと中小規模プラントのシステム構成例を図 5. 及び図 6. に示す。

#### 4. システム構成するハードウェア

3. 2 節で述べたシステム構成例の基本思想は機能分散、危険分散並びにシステムの拡張性を主眼としている。これらシステムを構成するためのハードウェアにおける信頼性、保守性などについてシステム構成上、いかにあるべきか以下留意点につき述べる。

##### 4. 1 計算機システム

計算機システムを構成する場合、上位計算機の故障を考慮して、

- (1) 計算機の 2 重化構成
- (2) 計算機は 1 重とし、直送ラインによるバックアップを加えた構成などがとられる。

2 重化の場合、その方式はデュアル方式、デュプレックス方式、ロードシェア方式などがあるが、下水処理プラントの特徴である設備増設を考慮して、デュプレックス方式を採用し、システムの拡張性、保守性の確保を図る場合が多い。万一、上位計算機が故障しても、下位制御装置

(プロセスコントローラなど)での単独

運動が可能ないように設計するべきであり、そのほかに、

- (1) 伝送路の 2 重化
- (2) 下位プロセスコントローラのバイパス機能(リンク状のデータウェイ使用の場合)などのシステムの信頼性、保守性を上げるとともに、増設時の拡張性に対しても考慮すべきである。

##### 4. 2 制御システム

制御システムを構成するうえでの留意点は、

- (1) 計測器の保守時及び異常時にも制御が暴走しない制御構造、即ち制御の階層化とフェイルセーフ機能化を図る必要がある。
- (2) プロセスの特性を(把)握し、制御ループを構成することが重要である。
- (3) プロセスの配管系統、操作器の制御範囲を十分検討する必要がある。例えば、処理場の完成時には適当な操作器はあるが、運転当

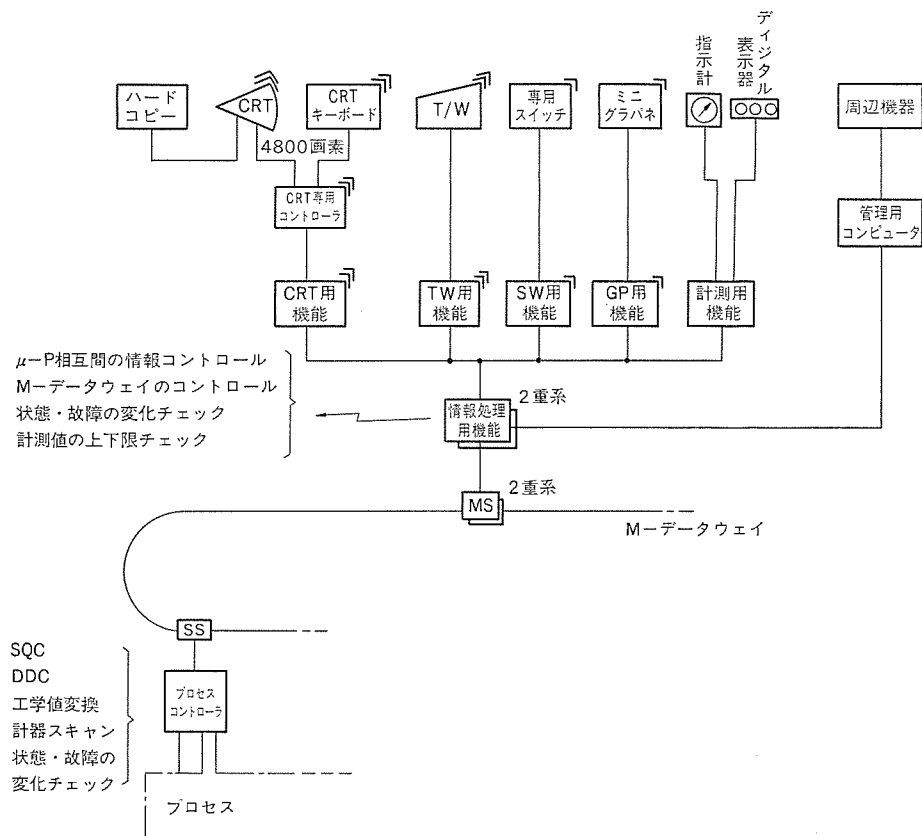


図 5. 大規模下水処理プラント例

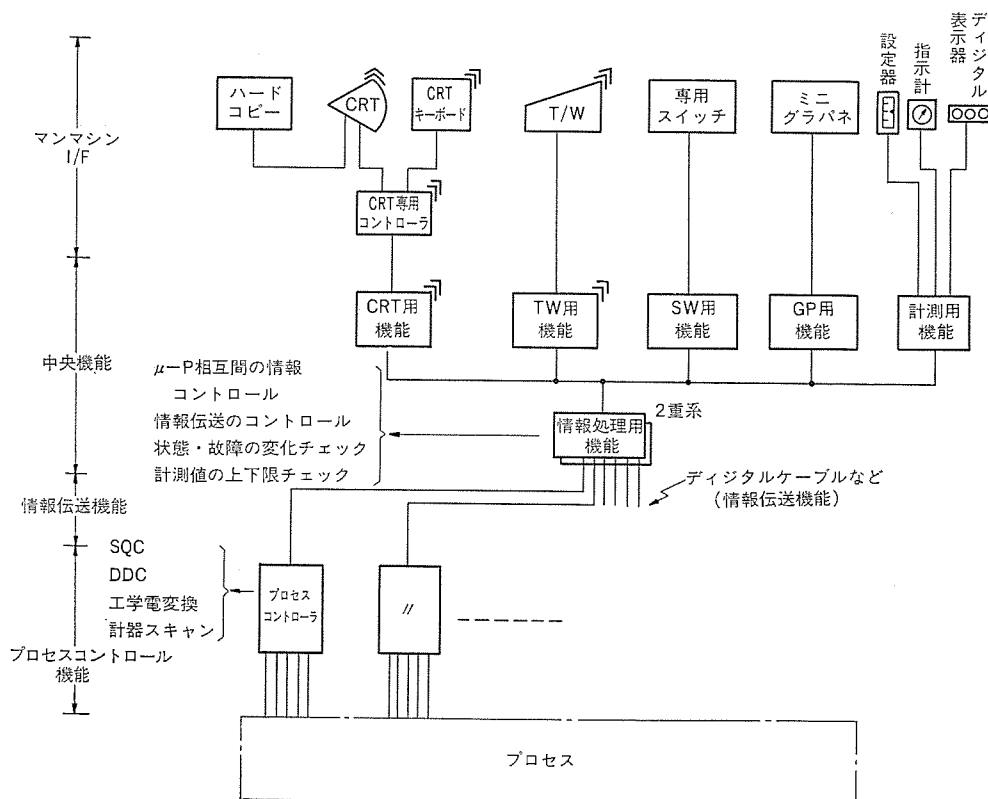


図 6. 中・小規模下水処理プラント例

表 1. 下水処理プロセスの主な制御項目

制御項目	制 御 例	MACTUS	MACTUS
		200	810
フィードバック制御	各種流量一定制御, レベル一定制御, 圧力一定制御	○	○
比 率 制 御	返送比率制御, 曝気倍率制御, 薬注制御	○	○
カスケード制御	MLSS 制御, DO 制御, pH 制御	○	○
各 種 補 正	温度補正, 圧力補正	○	○
台 数 制 御	ポンプ, 送風機	○	○
シーケンス制御との混在	ポンプ, 送風機などの台数決定と順序選択の組合せ初沈/余剰汚泥引抜制御	×	○
プログラム制御	焼却炉における起動時の温度制御, 初沈/余剰汚泥引抜制御における引抜流量の設定値	△	○
非 線 形 補 償	pH 制御などプロセス特性補償, 操作器特性補償, マルチリセットウィンドアップ機能, プロセスモデル	△	○
時刻管理制御	初沈/余剰汚泥引抜制御などの引抜開始時刻及び引抜時間に基づく制御	×	○
干 渉 問 題	曝気槽流入空気弁同士の干渉防止, DO 制御と吐出圧一定制御の干渉防止, 流動層炉の風量制御の干渉防止	×	○
長時間の平滑化	汚泥総量制御におけるプロセス量の平滑化	×	○
オートチューニング	制御パラメータ (P, I, D など) の自動調整	×	○
センサチェック	プロセス量のチェック	○	○

注 ○: 可能, △: 制御内容によって不可, ×: 不可能

初は処理量が少ないため, 制御範囲が狭く, 場合によつては制御不能となってしまう問題が往々発生することがある。

下水処理プロセスの主な制御項目について表 1. に示す。これら制御を実現するために, 近年 1 ループコントローラ, マルチコントローラ, ハイレベルコントローラなどの出現により, DDC 制御が一般的になってきている。

デジタルコントローラとして, 1 ループコントローラ《MACTUS 200》, マルチコントローラ《MACTUS 610》《MACTUS 700》, ハイレベルコントローラ《MACTUS 810》と広い用途への適用を考えてシリーズ化している。ここでは下水処理場に例をとって《MACTUS 200》と《MACTUS 810》で実現出来る制御項目も表 1. に併記する。

《MACTUS 200》は表示部はアナログ調節計とほぼ同一であるが, 従来, 数個のアナログ計器で構成した 1 ループを 1 台で可能とする DDC コントローラである。

基本制御であるフィードバック制御, カスケード制御の実現のほか, 制御性の改善を図る調節弁の流量特性補償, 簡単なプロセス特性の補償を行うことができる。また, 上位の監視制御装置とはシリアル伝送ができるなど, アナログ計器に比較して数段の機能アップとなっている。

図 7. は《MACTUS 200》による制御ループの 1 例である。

下水処理プロセスの特徴は一般に,

- (1) 応答性が遅い
- (2) 非線形プロセス

であるが, そのほかに近年電力代の高騰に伴う省エネルギー化, 環境保全の観点から放流水質の確保及び安定化など制御の質が問われ始めている。

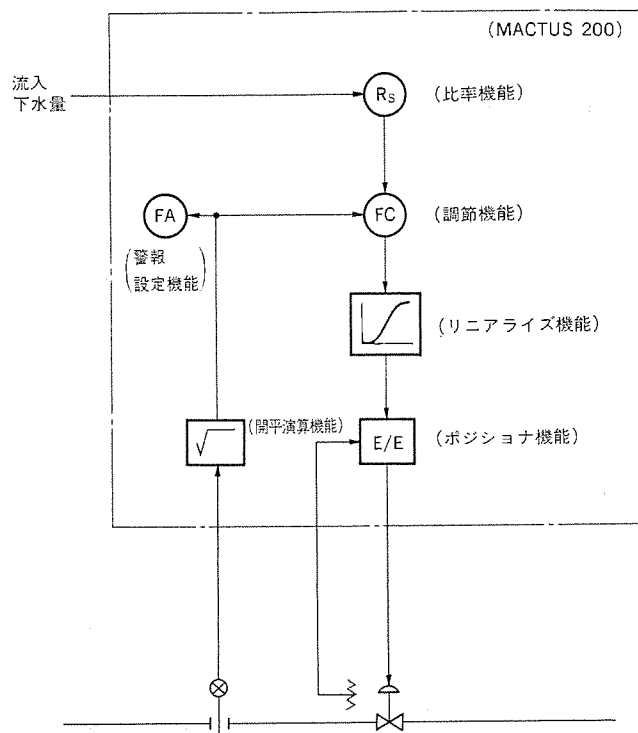


図 7. 1 ループコントローラで実現できる制御ループ例 (比率制御)

例えば, BOD-SS 負荷を一定にし, 放流水質を確保するため, 曝気槽内の MLSS を一定にする MLSS 制御が提唱されている。これらの制御には, プロセス量の長時間の平滑化, 時間管理, シーケンス回路との複合した機能をもっている《MACTUS 610》あるいは《MACTUS 810》が適している。

このように, 制御ループ数, 制御の複雑さ, 機能などにより適切な機種を選定する必要がある。

#### 4.3 計測器システム

下水処理プロセスのプロセス量を計測する計測器は,

- (1) 量を測定する計測器 (量的計測器)
- (2) (水)質を測定する計測器 (質的計測器)

に大別される。これらの計測器を表 2. に示す。計測器は処理プロセスの状態を把握するものであり, 測定精度が悪化したり, 測定不能になると制御, 管理面で問題になるので十分検討しなければならない。以下, 計測器における選定の留意点について述べる。

(1) 被測定対象物に適した計測器の選定及び適切な取付け, 被測定対象物と計測器の測定原理の組合せにより, 機種の選定及び取付方法に十分注意を払わなければならない。例えば, ①流量計における直管部の問題, ②超音波式 (流量計, 濃度計) における超音波阻外物質 (SS, 気泡など) の問題, ③圧力計における沈殿たい (堆) 積部の問題, ④接触部の腐食の問題, ⑤濃度計の平均濃度場への設置などを十分検討し, 機種選定及び取付けを行わなければならない。

(2) 保守性

被測定対象物は汚水, 汚泥であるので, 汚れによる誤差の発生は避けることが難しい。特に現存の水質計器では, 長時間無保守で稼働するのは難しく, おおよそ 2 週間～1 か月に 1 度の保守が必要であろう。また, 光学式の計測器は汚泥性状が変化することにより校正する必要がある。したがって, 洗浄機構を付加し, できるだけ保守期間を長くするとともに保守が容易にできる取付けをすることが望ましい。

表 2. 下水処理プロセスの計測器

	種 類	測 定 原 理	測定項目又は設置場所
計測器	流量計 (流速計)	電磁式, 超音波式, 差圧式 (オリフィスプレート, ベンチュリ管), せき式, フリューム式, 容積式, 面積式, 熱線式	流入下水量, ポンプ吐出流量, 返送汚泥量, 放流量, 濃縮槽投入/引抜き量, 消化槽投入/引抜き量, 脱離液量, 風量など
	レベル計	フロート式, 圧力式, エアバージ式, トルクチューブ式, 超音波式, 静電容量式	ポンプ井, 流入渠, 汚泥ピット, 調整槽, 放流渠, 消化槽, 蒸集混和槽, ホッパ, 河川など
	圧力計	静電容量式, 半導体式	送風機吐出圧力, 空気槽圧力, 消化ガス圧力, 給水圧力など
	開度計	ポテンショメータ	各種バルブ
	回転数計	タコゼネレータ	各種ポンプ
	温度計	熱電対, 測温抵抗体	空気本管, 消化槽, 焼却炉など
	重量計	磁歪式	ホッパ, 塩素ポンプ, 脱水ケーキなど
質的計測器	MLSS 計	散乱光, 透過光, ガルバニセル式, ボーログラフ式, 超音波式, 光学式	曝気槽, 最初沈殿池, 最終沈殿池, 消化汚泥, 濃縮汚泥など
	濁度計	透過光・散乱光比較方式, 散乱光式	流入, 放流, など
	pH 計	ガラス電極式	流入水, 薬注汚泥, 消化槽など
	汚泥界面計	超音波式	最初/最終沈殿池
	UV 計		放流水

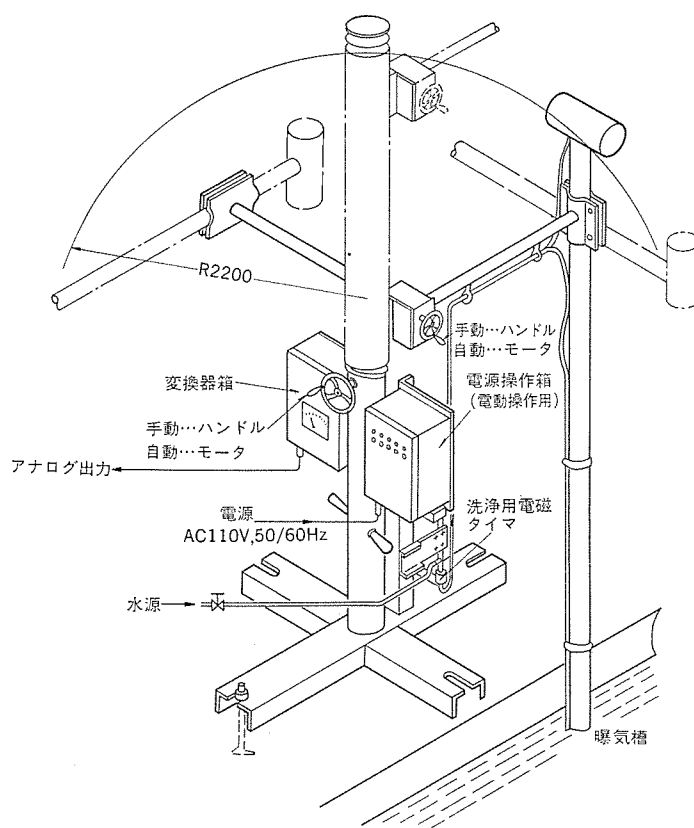


図 8. オートターンリフト 概略図

採用されるものと思われる。

今後の下水処理場の監視・制御システムを計画される方々の御参考になれば幸いである。

## 参 考 文 献

- (1) 五十嵐, 加藤: 下水ポンプ場における流入量の予測監視システム, 第18回下水道研究発表会講演集 P. 512~514
- (2) 吉田, 荻島: 活性汚泥プロセスにおける汚泥総量制御, 第18回下水道研究発表会講演集 P. 518~520
- (3) 前田ほか: 活性汚泥量制御の運用効果の評価視点, 第18回下水道研究発表会講演集 P. 521~523
- (4) 長田ほか: 汚泥総量制御と今後の活性汚泥量管理の方向, 第18回下水道研究発表会講演集 P. 524~526
- (5) 桑田ほか: 実下水処理プラントにおける汚泥総量の推定算法, 第18回下水道研究発表会講演集 P. 527~529
- (6) 前田ほか: 嫌気性消化プロセスのシミュレーションによる解析と制御, 第18回下水道研究発表会講演集 P. 554~556

“オートターンリフト”の出現により, これらの問題が改善された。図 8. に“オートターンリフト”の概略図を示す。

その他, 特に水質計器の設置数は保守を十分に考慮して計画するべきである。

## 5. む す び

以上, 下水処理場における監視制御システムについて述べたが, 下水道がますます広域化, 大規模化, 高度化しつつあり, 従来の熟練者の経験や勘による監視, 操作よりも省エネルギー, 省力化, プロセスの自動化を考へて, 合理化する気運が高まってくるであろう。そのためにも, 計装制御システムの構成については十分な検討が必要である。

下水処理場の分散形 DDC 制御システム及び質の制御は比較的最近発達した技術であるが, 今後処理場の設備自体の開発及び改良, 水質計器の開発及び改良とあいまってますます重要度が増し一般的に

# 送配水システムの監視・制御システム

広瀬政次\*・中村苗起\*・柳沢 忍\*\*・津吉信夫\*\*・福田豊生\*\*\*

## 1. ま え が き

上水道の社会的使命は大きく、人々の生活に密着している。日常あまり意識されることは少ないかもしれないが、それだけ安定に供給されていることである。しかしながら上水道供給には多くの施設、設備などが必要で、中でも最も広範囲にわたり設置される送配水関連施設、設備の管理が大きな比重をもっている。三菱電機(株)はこれらの管理用監視制御システムに早くから取り組み、各種の遠方監視制御システム、集中管理システムの製作、納入を行ってきたが、基礎となる電子技術と送配水系運用管理方法の発展により、水道事業全体としても、次々とこれらの管理システムが導入され、それぞれの成果が上げられていると考えられる。最近では漏水時対策、省エネルギーなどが焦点となり、更に高度な送配水運用管理が行われている。この論文ではその基本的システム技術の考え方と実施例の内容、特長を記述する。

## 2. 基本的システム技術の考え方

送配水系のもつ使命は、(a)安全な水質の水を、(b)十分な水量と適切な水圧で、(c)連続的に供給することである。一方、その運用制御システムは、(d)経済性、(e)操作性、(f)信頼性をもつことが要求される。これらの多様な使命を達成するためには、上水道施設の計画及び運用が総合的に調和のとれていることが重要である。

近年のハードウェア技術の進歩は上水道においても着実に導入され、機器の自動化、省エネルギー化、高信頼化が達成されてきている。マイクロプロセッサの普及と電子計算機の利用は一方でシステム設計範囲の拡大化をもたらし、ソフトウェアとしてのシステム技術、すなわち機器単位の制御と同時に全体を管理する総合管理運用システムの実現が重要視されてきている。システム技術は広い範囲の意味をもっており、また対象とする送配水システムによって特有の技術を開発する場合も多い。

上水道事業の社会的使命は大きく、その広域化と大規模化によって多くの使命をもっているが、これらの使命を列挙しただけでも、表1.のように30項目にも及ぶ事業使命の相互の関係を(把握)するために、定量的構造化手法(RISM)を用いてシステム分析を行うと、図1.のような階層的関連が得られる。図中の番号は表1.の項目番号を表している。例えば、財政的基盤強化の下に、施設計画の適正化が実現され、技術的基盤強化とあわせて、合理的運用が可能となる。そして、周辺への環境影響を考慮する一方で、安定供給の実現によって社会福祉向上の実現と水原価低減が達成される。図1.では分かりやすくするために巨視的にかかかれているが、更に項目間、あるいは細部の項目内容についてもRISMによって分析することができる。このような構造分析手法によって、プロジェクトの開発と推進、施設の適正化、あるいは運用システムの概念設計などに有益な指針を得ることができるであろう。

表 1. 上水道事業の使命

番 号	項 目 内 容
1	漏水がない
2	衛生上問題のない水の供給
3	維持管理の容易な設備
4	水質に悪影響を及ぼさない機器、施設
5	必要量の水の供給
6	地域社会の自然環境保全
7	水害防止
8	異常時(事故・漏水・水質汚染)における迅速な処理
9	合理的な運用
10	施設の合理性
11	地域社会の福祉の向上
12	計装機器の信頼性
13	薬品貯蔵量の適正化
14	動力消費の軽減
15	水原価の低減
16	技術的基盤の強化
17	財政的基盤の強化
18	水の循環利用システムの設置
19	浄水処理に伴う排出物の少ない施設
20	水源の水質に応じた浄水方法の選択
21	水源の選択
22	適正な水圧で供給する
23	地域社会の総合的計画との整合、調整
24	水の有効利用
25	安定した供給
26	必要な地域に供給する
27	将来の自然環境の変化を見込んだ上水道計画
28	周辺へ悪影響を及ぼさない施設
29	将来の発展へ適合した施設
30	外部からの汚染に強い施設

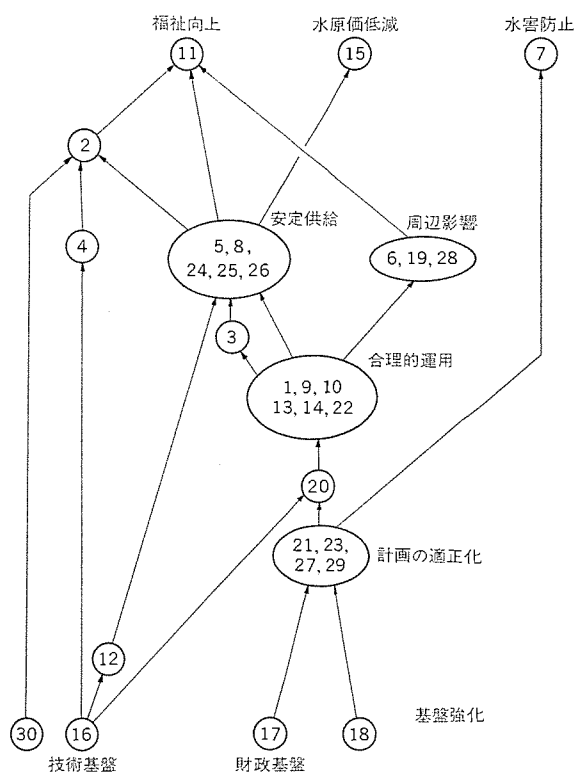


図 1. 上水道事業使命の階層的関連

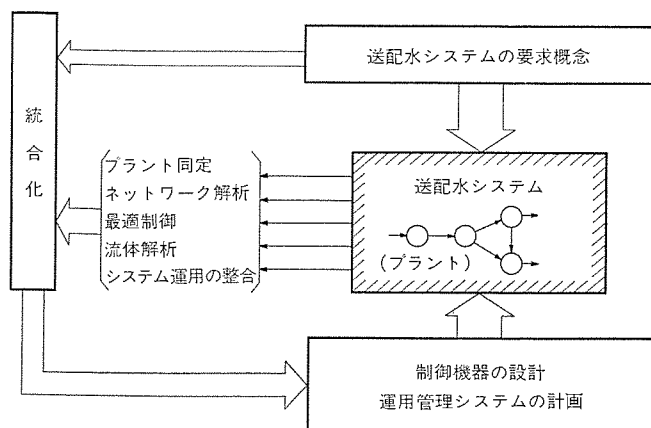


図 2. 送配水システムの計画と設計

表 2. 送配水システムにおけるシステム技術内容

項 目	内 容
シ ス テ ム 分 析	送配水事業の使命分析 計画運用目的群の構造分析
予 測 手 法	長期需要構造の分析と施設計画 短期需要変動のモデル化
統 合 最 適 化	取水、浄水、送配水システムのトータル制御 地域制御と協調制御 広域多目的分運用
スケ ジ ュー リ ン グ	ポンプ群運用 配水池運用 バルブ操作運用 開水路系運用
同 定 技 術	浄水プロセスの把握と制御系設計
ネ ッ ト ワー ク 解 析	送配水網圧力流量分布計算 ポンプ容量、バルブ位置最適化 ポンプ運用、バルブ操作によるネットワーク制御
流 体 解 析	ポンプトリップ時水撃作用解析と制御機器の整合
不 定 流 解 析	ポンプ井動的解析 河川、開水路動的解析、原水水質予測
個 別 最 適 化	機器の最適制御 構成プラントの最適オペレーション

送配水システムは、その運用制御の形態として多面的である。送配水システムとしてもつべき要求概念と対象システムの定量的把握がシステム設計に不可欠である。図 2. にその計画と設計の流れを示している。要求概念には、送配水システムのもつ普遍的な使命である安定供給、安全水質、費用節減などとともに、対象地域固有の要求があり、それらをシステムのプラントにどのように実現するかを検討しなければならない。次に、送配水システムを構成する機器、プラント、それらの接続関係を把握するために、モデリング、ネットワーク解析あるいはデータ統計処理の作業が行われる。プラントの静的及び動的特性を得ることによって、プラントの制御と機器の制御系設計の段階に進む。システム要求概念とシステムのプラント特性、制御機器の統合化によって、個々の制御から全体の協調をとる運用管理システムが設計される。このようにして設計された機器が実際のシステムにおいて所要の動作をすることの検討には、システムのシミュレータが大きな役割を果たし、ネットワークなどのように複雑なシステムでは不可欠である。また、実システムのか(稼働)において適応的に調整されることも実用上有効である。

システム技術が送配水システムにおいて、どのように展開されているかを表 2. に示している。システム分析ではシステムとしてのあり方の分析が行われる。予測手法として日間及び時間単位の需要予測モデルが過去のデータ解析により求められ、運用スケジューリングに用いられ

る。統合最適化はシステム全体の運用指針を与えるもので、ポンプ、バルブ及び配水池などの協調運用、地域間運用が得られる。同定技術はプラント特性を知るために浄水プロセスなどのデータ処理によってモデルを作成し制御系設計に用いられる。個別の機器及びプラントの制御は、ネットワークとしての結合による影響を解析して後に決定される。また、開水路の不定流解析やポンプトリップ、バルブ閉鎖に伴う水撃作用解析が事前に実施されることによって、機器操作によるシステムの安全性が確保される。

このように、上水道の送配水システムへのシステム技術の展開は最近の顕著な傾向であり、多分野の技術の集約化が要求されている。システム技術の導入とその適用には開発すべき諸問題も多く、実際のシステム運用とハードウェア、ソフトウェア開発の調和のとれた発展が今後望まれている。

### 3. 実システムに利用される機器

2 章で述べたプラント、システムのあり方を具現化する機器として三菱電機(株)は各種の製品シリーズを用意しており、各水道の実態に即したプラント、システムが決定されれば、その目的に適合した最善の具体的集中管理、監視制御システムをこの製品シリーズから任意に選定し、融通性のあるシステム構成を可能としている。その製品シリーズ名称は次のようなものである。

(1) 各施設、設備監視制御機器

《MACTUS シリーズ》、《MELFLEX シリーズ》

(2) 各伝送機器

FX, FM, FS, ME シリーズ 各種無線装置

《MELFLEX シリーズ》 情報伝送機器

(3) データ処理装置、電子計算機

《MELFLEX シリーズ》、《MELCOM 350/50 シリーズ》

(4) マンマシンインタフェース機器

監視盤(グラフィックパネル)、監視操作卓、CRT など。

構成としてはごく一般的概念として図 3. に示すようなものとなるが、実際にはそれぞれの水道施設状況、目的と重点のとり方、費用の目安により計画、実施され変化してくるものである。

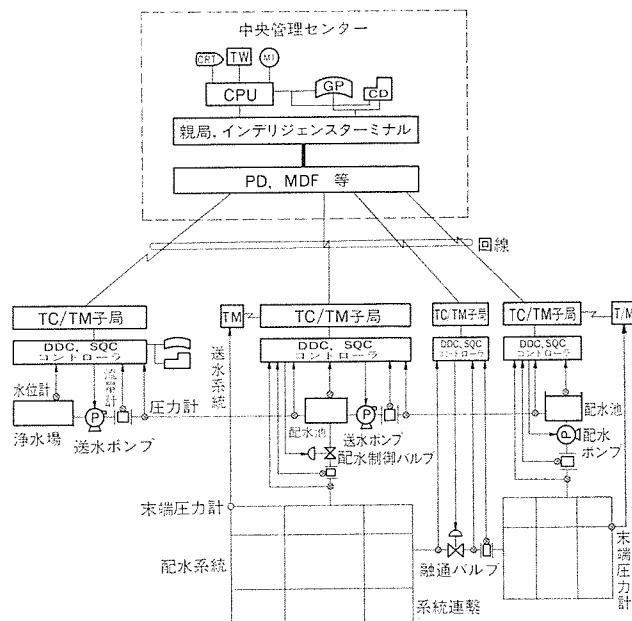


図 3. 送配水システム監視制御システム概念図

#### 4. システムの実例（福岡市水道局 配水調整システム）

昭和 56 年 5 月から運用に入った福岡市水道局の配水調整システムを実際のシステムとして、計画の経緯、内容、目的、システム構成について説明する。

##### 4.1 福岡市水道の概要

福岡市の水道は、大正 12 年に 35,200 人に対して  $15,000 \text{ m}^3/\text{日}$  の給水を開始して以来、その後の人口の増加、生活水準の向上、産業のめざましい発展などにより、需要量は急激に増加し、現在給水人口は 1,064,000 人になり、 $335,000 \text{ m}^3/\text{日}$  の給水を実施している。

このため、14 回にも及ぶ拡張工事を重ね、浄水場は 5 箇所、配水管の延長は 2,509 km にも及び、複雑多岐を極め、市内全般にわたる給水状況を的確に把握し、状況に速応した合理的な運営が困難となってきた。しかも、長期的には水需要が増加してゆくことは必至であり、将来にわたって安定供給するため、水源開発や水の有効利用の推進が必要である。

このような状況から、取水事業を進めるとともに、水の有効利用、安定した供給、公平な供給などを合理的に実現すべく配水調整化の計画・調査を進めていたが、昭和 53 年の異常渇水を契機とし、総合水運用システムの第 1 段階として、昭和 54 年配水調整事業に着手、昭和 56 年 3 月に完成した。

##### 4.2 配水調整システムの機能

福岡市の配水方式は 5 箇所の浄水場からの自然流下方式であるが、標高差は約 60 m もあり、かつ管網が複雑に絡み合っている。

これらの配管網を効率良く、安全に運営してゆくため、主要幹線を核として給水区域を 20 区画のブロックに分割する管網整備を行うとともに、各ブロックの主要点に電動調整弁・圧力計・流量計などの管網監視制御設備を設置した。

管網監視制御設備の機能を最大限に発揮し、管網の管理の最適化を図るのが配水調整システムであるが、第 1 段階として以下の項目の実現を主目的としている。

###### (1) 漏水量の減少

配水管における漏水孔からの漏水量は一般に水圧の 0.5 乗又は 1.15 乗に比例する。電動調整弁の遠隔制御により、夜間の水圧上昇を防止し漏水量を減少させる。現在の漏水量は約  $45,000 \text{ m}^3/\text{日}$  と推定されるが、このシステムの稼働により、内  $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$  の漏水防止が可能となる計画である。

###### (2) 安定した供給

主要幹線の電動調整弁の制御により、浄水場間の相互融通を行い、ダム貯留量、浄水場能力の変化に対応した運営が可能となる。(1) 項と合わせて水の有効利用と安定給水を図る。

###### (3) 公平給水の確保

主要幹線から各ブロックへの注入点の電動調整弁の制御により、地域による配水量、水圧差をなくす。また、万一、制限給水などの異常時には、その操作が短時間で安全に行え、かつ操作員の負担を軽減することができる。

###### (4) データの蓄積と資料の提供

将来、総合水運用システムを建設するための計画・評価用データを蓄積するとともに、各種資料の提供を行う。

##### 4.3 システムの構成

全体システムの構成を図 4. に示す。電動調整弁を 123 箇所、水圧計を 99 箇所、流量計を 47 箇所に設け、これらのデータは 227 箇所に

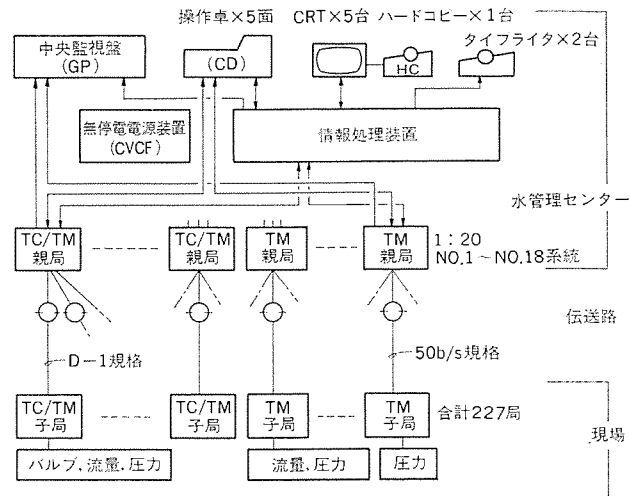


図 4. 全体システム構成図

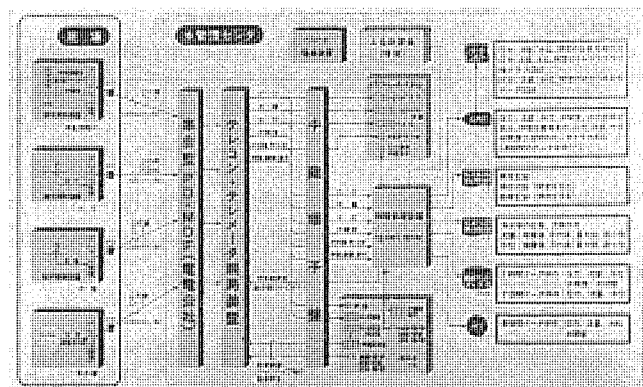


図 5. システム信号系統図

設置したテレコン・テレメータ装置（他社製）により、電電公社線を經由して水道局別館の水管理センターに接続されている。

水管理センターのテレコン・テレメータ装置は 18 系統で構成され、1 系統（親局 1 セット）当たり子局を最大 20 局まで接続することができる。情報処理装置はテレコン・テレメータ装置を最大 20 系統まで接続する機能を有し、5 台の操作卓から並列同時制御を行うことにより、市内全域の電動調整弁を短時間で制御することができる。

中央監視盤に表示する主要データ（圧力、流量、弁状態など）はテレコン・テレメータ装置に直結し、また 5 台の操作卓にはそれぞれバックアップ操作部を設け、情報処理装置の停止時においても監視制御ができるよう考慮され、信頼性の向上を図っている。図 5. にシステム信号系統図を示す。

配水調整システムが持つ特徴とこれに対応したこのシステムの構成方法を以下に示す。

###### (1) 対象施設は多いが、1 局当たりのデータ量が少ない。

1 : N 対向方式のテレコン・テレメータの採用により、データの伝送処理速度と経済性を整合させた。

###### (2) 対象施設が広域に及び、かつ相互に結合されている。

中央監視盤に施設全体の概要表示を行い、制御に要する詳細データの表示は CRT で行うことにより、監視・操作性の向上を図った。

###### (3) 制御対象が多く、かつ短時間での操作が必要。

5 台の操作卓による並列同時制御と計算機による操作結果の妥当性チェックを行い、操作の確実性を図った。

表 3. 処理内容一覧

項 目	処 理 内 容	結 果
テレメータ 処理	デ ー タ 収 集	データ読込, データフォーマットチェック, 伝送系異常・休止局チェック
	デ ー タ 検 定	上下限, SV 変化, データ変化幅, データ更新不良チェック
	デ ー タ 演 算	データ積算, データ集計
	G P 表 示	上・下限異常
	CRT 表 示	警報表示, シンボリック表示
	アナウンスメント印字	操作, 故障, 異常記録
テレコン ロール処理	卓 割 込 処 理	選択/制御符号作成, 選出
	関 連 デ ー タ 表 示	水系図, 設定値等関連データ表示
	アンサバック処理	選択完了, 設定値のアンサバック受理
	T C 検 定	機器 No., 弁開度照合, 多重選択チェック
オペレーシ ョンガイド	パ タ ー ン 表 示	水系図, 特殊パターン表示
	時系列, リスト・グラフ表示	全データ 1 h, 12 h, 24 h, 48 h 間のリスト・グラフ表示
	現在値/設定値表示	水位, 流量, 圧力の設定値, 現在表示弁の現在値, 状態表示
日, 月報作 成	浄 水 場 日・月 報	水位, 積算流量
	配 水 管 網	流量, 圧力, 弁開度, 編集可能
長期間デ ータ保存	収 録 と 表 示	全データを 1 回/1 日収録, 任意月・日のデータを検索し, オペレーションガイドとして CRT 表示

## (4) 状態変動が複雑である。

地区別水系図, 区画別水系図, 幹線水系図など操作目的に合わせた CRT 画面を表示するとともに, 時系列グラフ, リスト表示も編集機能を持たせ, 任意のデータの相関性を表示可能とした。

## (5) 記録, 保存すべきデータが多い。

CRT 上で日報・月報の編集を行い, ハードコピー装置で作表することによりタイプライタの台数を削減した。また, 磁気テープにより長期間データの保存を行う。

## (6) 絶えず施設の拡充, 整備が行われる。

中央監視盤はモザイク式グラフィックパネルを使用し, また情報処理装置は, テーブルの変更で対処できるプログラム構造とすることにより, 増設・変更性の向上を図った。

## 4.4 情報処理方式

水管理センターの情報処理装置には, 主処理装置として工業用計算機《MELCOM 350-50・A 2100》, 前置処理装置としてマイクロプロセッサ《MELFLEX 400》を使用した機能分散形処理方式を採用している。前置処理装置はテレコン・テレメータ接続部及び 5 台の操作卓内にそれぞれ収納し, 前者はテレコン・テレメータ装置からのデータを実時間処理, 後者は操作シーケンスチェック, 選択制御符号変換などを行っている。これにより, 主処理装置の負担を軽減し, 演算処理速度, CRT 表示速度などの向上を図っている。

情報処理の内容は, (1)テレメータデータ処理, (2)テレコントロール処理, (3)オペレーションガイド, (4)日・月報作成, (5)長期間データ保存などである。表 3. に処理内容一覧を示す。

## 4.5 マンマシンインタフェース

大規模, 広域の施設を安全・円滑に運営してゆくには, マンマシンインタフェースが重要な要素となる。このシステムでは, 配水状況を一括把握するための中央監視盤, 詳細水系状況及び各種グラフ・リストを表示するグラフィックディスプレイ装置, 日・月報作成の編集が可能なハードコピー装置などを機能的に使い分けている。

特に 5 台の操作卓は独立した同一機能を有し, 緊急時は 5 人の操

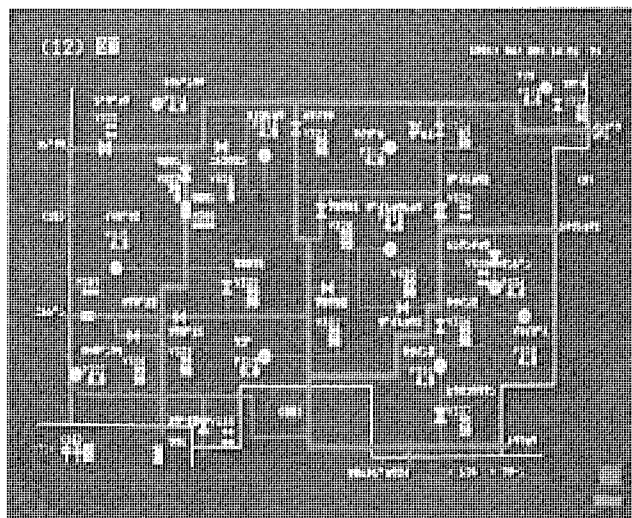


図 6. 地区水系図例

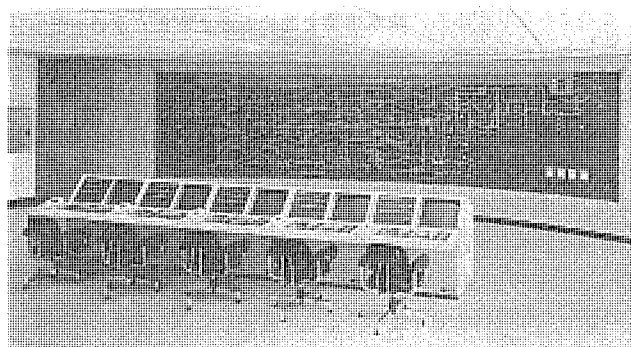


図 7. 水管理センターコントロール室

作員による 123 箇所の電動調整弁の並列同時制御が可能である。また, 操作ひん(頻)度の少ないときは, 任意の 1 台で全施設を監視制御が可能であり, 残る操作卓の CRT はオペレーションガイドなどの各種情報を表示することができる。図 6. に操作時表示する地区水系図例を, 図 7. に水管理センターの一部を示す。

## 5. む す び

今後ますます水の有効利用, 効率の良い送配水システムが追求され, 送配水監視制御システムも進歩し発展していくものと考えられる。我々も今後, 過去のノウハウ, 技術を生かし, 更に良いシステムを作り上げるべく努力したい。

なお, 末尾ながら御指導, 御協力いただいた福岡市水道局をはじめとする関係者各位に深く感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 藤原, 柳沢, 田中: 水道用情報伝送処理システム, 三菱電機技報, 52, No. 2 (昭 53)
- (2) 福田, 駒谷: 水道事業における構造分析の応用, 全国水道研究発表会 (昭 56)
- (3) 福田, 小沢: 上水道の送配水網の制御, 電気学会雑誌, 101, (3) (昭 56)
- (4) 福岡市水道局編: 配水調整事業
- (5) 日本水道協会: 漏水防止対策指針 (昭 52)

# 農林水産省納め阿賀野川用水集中管理システム

澤柳 宣裕\*・小林 茂\*\*・大石 将之\*\*・牧本 健二\*\*\*・城島 登士治\*\*

## 1. ま え が き

近年、農業をめぐる社会・経済情勢の急激な変化によって、慣行水利権の見直しと水資源の再配分などきびしい対応が迫られている。また、農村人口の流出による労働力の不足から水管理の合理化と省力化の要請が強く、施設機能の改善が必要となってきた。

上記のような社会的背景の下で、水管理の合理化・省力化を目的として全国的に農業分野において集中管理システムの導入が計画施工されている。

本文で紹介する阿賀野川用水管理システムは、このような時代のう勢に対応して、水利用の合理化に積極的に取組もうとするものであり、用水管理システムの主な機能として下記のことを行っている。

- (1) 頭首工の自動制御（定水位制御）
- (2) 主要幹線水路における流量計測（水位計と超音波流速計による中央換算方式）
- (3) 分土工の開度制御（設定開度制御）
- (4) 無線回線による移動通信 など。

## 2. 阿賀野川用水事業の概要

この地域は新潟県の中央部を流れる阿賀野川の両岸に展開する水田地帯で、穀倉地帯として名高い新潟平野の中核的地域である。その用水源は従来は阿賀野川とその支流及びけい流並びに地下水に頼っていたが、主要水源である阿賀野川は近年河川改修並びに上流でのダム築造に伴って取水地点付近の河床が低下し、取水困難を極め、毎年用水不足に悩まされている。

この事業はこのような用水状況を改善するため用水改良事業を行なうもので、基幹施設として阿賀野川と早出川に頭首工を新設し、用水を合口取水するとともに、水路の新設・改良により用水の確保と合理的な配水を行い、関連基盤整備事業とあいまってこの地区の農業生産性の向上と農業経営の安定を図るものである。その主要諸元は概略下記のとおりである（図 1.、図 2.）。

- (1) 受益面積 15,160 ha
- (2) 主要工事
  - (a) 阿賀野川頭首工
 

計画こう(洪)水量	11,000 m <sup>3</sup> /s
せき(堰)長	206.4 m
ゲート	洪水吐 5 門 (ローラ: 3 門, 転倒: 2 門)
	土砂吐 1 門
	舟通し 1 式 (幅員 6.0 m)
	魚道 1 式
取水量	合計 49.79 m <sup>3</sup> /s
(内訳)	農水 43.62 m <sup>3</sup> /s
	上工水(東港) 6.03 m <sup>3</sup> /s
	上水 0.14 m <sup>3</sup> /s

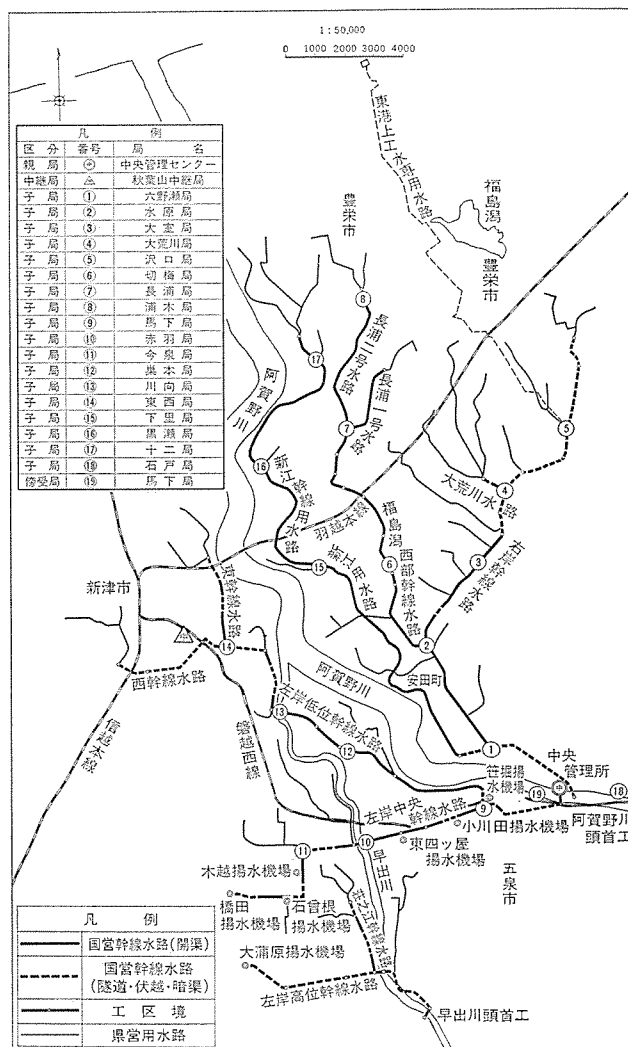


図 1. 阿賀野川用水計画概要図

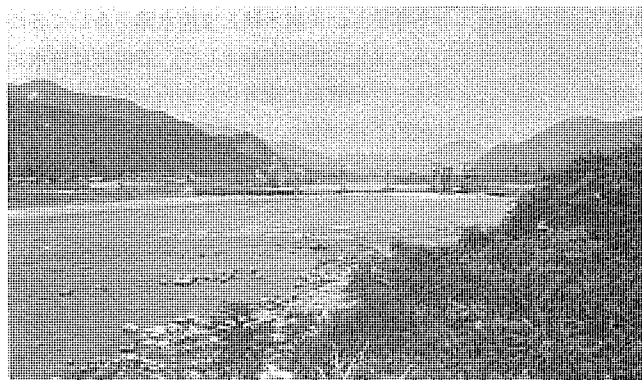


図 2. 阿賀野川頭首工

- (b) 早出川頭首工
 

計画洪水量	1,380 m <sup>3</sup> /s
堰長	70.0 m

ゲート	洪水吐	2門（ローラゲート）
	土砂吐	1門（ローラゲート）
	魚道	1式（幅員 2.0 m）
	取水量	5.68 m <sup>3</sup> /s

### (c) 水路

右岸幹線水路	60.1 km
左岸幹線水路	41.9 km

(3) 関係市町村	3市7町村
-----------	-------

## 3. システム計画

### 3.1 水管理の導入目的と基本構想

#### 3.1.1 導入目的

この地区における諸々の水利用の実態をふまえ、下記事項をシステム導入の目的としている。

##### (1) 水配分の合理化

適正な水配分と時期別営農変化への対応を図るため、情報の全面は(把)握と単一意志による統括管理を行う。

##### (2) 水の有効利用と災害の防止

地域が広大であることから、流量・雨量情報把握による取水量の規制及び水位の監視による水路いつ(溢)流事故の防止を図る。

##### (3) 管理費の節減(合理化・省力化)

管理データの自動記録、堰ゲートの自動制御、分水路の遠隔操作などにより合理化・省力化を図る。

##### (4) 心理的不平、不満の解消

幹線下流量の把握と記録による不平、不満の解消を図る。

##### (5) 運営・管理組織の一元化

右岸・左岸土地改良区連合による管理の一元化を図る。

#### 3.1.2 基本構想

この地域の特色を十分充足するため、構想としては水管理の合理化を最重要項目とし、下記の点に留意した。

- (1) 操作が容易で信頼性の高いこと。
- (2) 維持管理費が低廉であること。
- (3) 緊急、迅速な対応が可能であること。
- (4) 高度な技術は避けること。

### 3.2 システム化の範囲

このシステムの管理範囲は下記の手順により検討決定した。

#### (1) 管理対象は頭首工及び幹線用水路だけに限定する。

配水方式は、頭首工から取水し、幹線水路と支線水路を介して各(圃)場に配水されている。また、配水施設として、幹線には分水路、放水工、チェックなどがあり、水管理は複雑化しているが、支線以下の各路線については比較的単純であり、管理上支障がない。

#### (2) 早出川頭首工は範囲から除外する。

この地域は阿賀野川水系と早出川水系に大別することができるが、①早出川水系の受益面積は約 1,500 ha と小さく、また水利用において阿賀野川水系と分離できる。②早出川水系は水路延長が短く、配水機構は比較的単純である。③頭首工規模が小さく、管理組織も一元化されている。などの理由から早出川頭首工は管理の範囲から除外した。

#### (3) 東港上工水分水には流量計をつけて、流量を監視する。

沢口分水路における他種用水(上工水)との分離は流量が大きい(6.03 m<sup>3</sup>/s)ので流量計を設置し、分水流量を監視する方式とした。また、水原上水分水については流量が小さい(0.14 m<sup>3</sup>/s)ので、流

量計は設けずに需要者の申告制とする。

### 3.3 システム設計

#### 3.3.1 管理案と管理方法

管理については管理レベル、管理範囲と経済性(施設費及び維持管理費)などを考慮し、数案につき比較検討した結果、下記のように決定した。

(1) 中央管理所については、現在の頭首工管理所では狭いうえに老朽化しているため、新規に頭首工下流右岸に建屋を新築する。

(2) 既設の頭首工管理所は無人とし、老朽施設は改造し、中央管理所からすべて監視制御できるようにする。

(3) 中央管理所では、計算機により頭首工ゲートの自動制御を行う。

(4) 右・左岸取水工、幹線主要地点で流量計測を行う。流量計測点は大分木工のほか、各土地改良区との境界点を主とする。

(5) 中央管理所と右・左岸土地改良事務所間及び移動パトロール車間で無線通話を行う。

#### 3.3.2 伝送回線

この地区は受益地が広範囲にわたること、受益地が河川で分断されることなどから情報伝送回線は無線方式を採用した。また、移動無線回線については使用ひん(頻)度からテレメタ用の無線回線と分離することにした。

#### 3.3.3 流量計測方法

この地区では、水路が開水路でところどころに水位調整工があるため、流量計測が非常に困難であるが、下記のような流量計測方法を適用した。

##### (1) パーシャルフリュームによる流量計測(4箇所)

用水路にてパーシャルフリュームが既設のところはこれを流用する。

##### (2) 自由流出による流量計測(1箇所)

分水路の内、常時自由流出になる分水路については上流水位と開度から流量換算を行う。

##### (3) 超音波流速計による流量計測(19箇所)

上記以外の箇所では安定に精度よく流量計測することが困難なので、超音波流速計と水位計による流量計測を行う。なお、流速センサの位置は固定されているので、各々の水位によって計測流速を平均流速に修正する必要があるが、これらの演算や流水断面と平均流速を掛け合わせる演算などは計測箇所が多いことから、経済的な面と精度的な面から中央管理所にマイクロコンピュータを内蔵した流量演算装置を

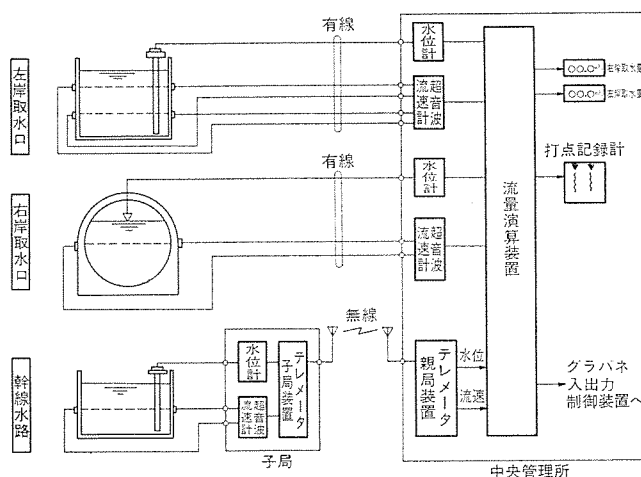


図 3. 超音波流量計測ブロック図

設置し、中央で流量に換算する方式とする。

図 3. に流量計測 ブロック 図を示す。

#### 4. 管理設備

##### 4.1 システム構成

この管理設備は阿賀野川頭首工及び頭首工から取水する右・左岸幹線水路における流量、水位、ゲート開度並びに降雨量の情報を中央管理所(図 4.)にて一括同時収集し、頭首工施設及び用水状況の監視、情報処理、ゲート制御などを行うとともに、地区内を巡回する移動パトロール車との連絡通信を行うものである。このシステムの置局構成は下記のとおりとなっている。

- |                     |       |
|---------------------|-------|
| (1) 中央管理所           | 1 箇所  |
| (2) 無線中継局(秋葉山)      | 1 箇所  |
| (3) 子局              | 18 箇所 |
| (4) 傍受局(馬下水位局)      | 1 箇所  |
| (5) 移動通信基地局(センター含む) | 3 箇所  |
| (6) 移動パトロール車        | 3 台   |

図 5. にこのシステムの系統図を、図 6. に水系模式図を示す。



図 4. 中央管理所

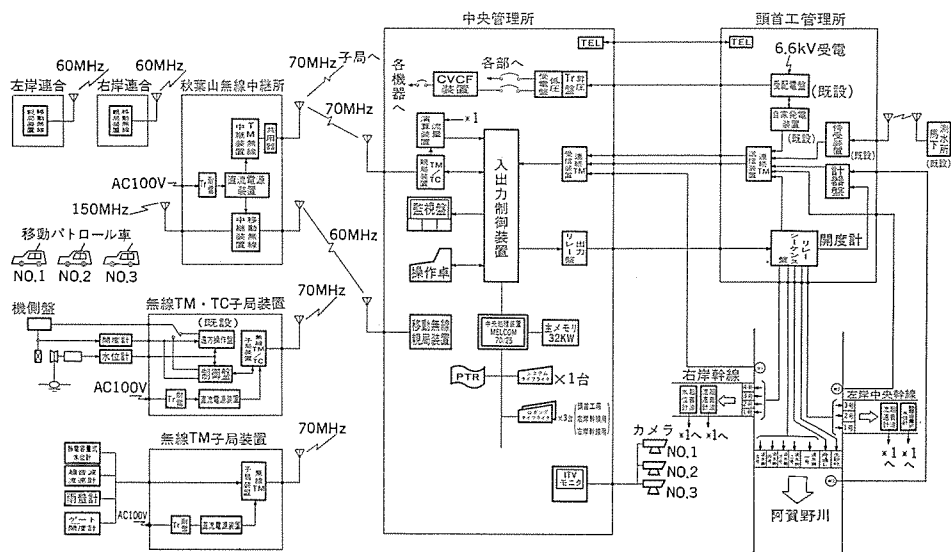


図 5. システム系統図

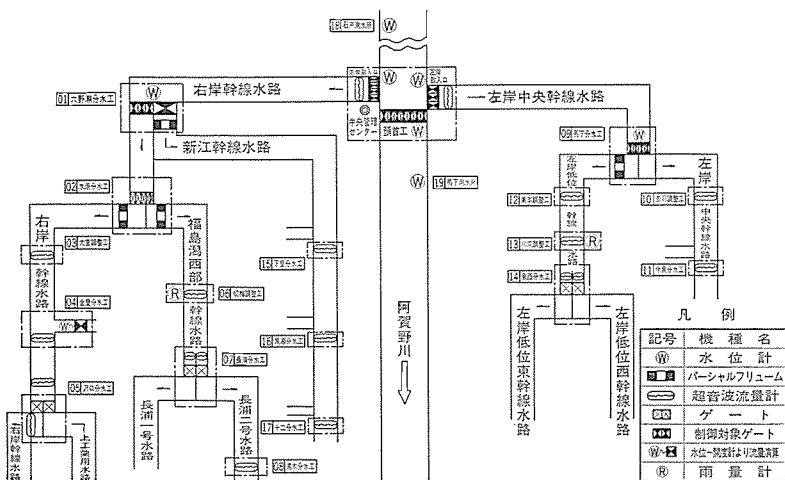


図 6. 水系模式図

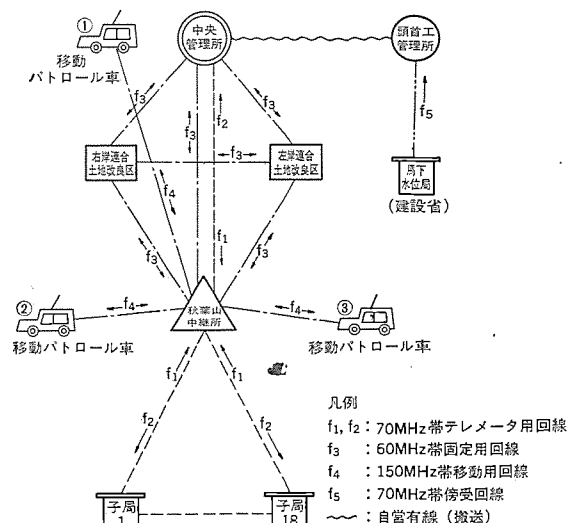


図 7. 伝送回線構成図

##### 4.2 情報伝送方式

情報伝送には、(1)中央管理所と子局情報伝送、(2)中央管理所と頭首工管理所間情報伝送、の2系統がある(図 7.)。

##### 4.2.1 中央管理所—子局間情報伝送方式

この水系は自然流下の開水路であり、管理情報の伝送にはさほどの速応性が要求されないため、70 MHz 帯無線回線による 1: N 形のポーリング方式としている。呼出周期は 5 分、30 分、1 時間、3 時間、6 時間の 5 段階であるが、通常のシステム運用期間中は最短の 5 分で収集している。

##### 4.2.2 中央管理所—頭首工管理所間情報伝送方式

頭首工の情報はデータ量が多く、中央管理所まで直送するにはケーブル心数が多くなり、また信頼性にも欠けるので、この間の伝送方式は高速の 1: 1 常時伝送方式としている。また、後述する堰の自動制御関連データに 1 回線、それ以外のデータに 1 回線、計 2 回線とし、自動制御関連データの高速伝送化を図っている。

##### 4.3 情報処理方式

中央管理所では、中央処理装置を設置して各種データ処理を行い、操作員への各種情報の提供、管理データの蓄積と省力化を図っている。

表 1. はこの システム の 情報処理内容の一覧表である。

#### 4. 4 制御方式

##### 4. 4. 1 頭首工自動制御

このシステムでは、操作卓の設定入力に従い、頭首工の定水位自動制

表 1. 情報処理一覧 (阿賀野川)

項	目	処 理 内 容	処 理 結 果
データ読込み	テレメータデータ	測定によるデータ読込み	
	直 送 デ ー タ	1 定周期ごとにデータ読込み	
データ検定	欠測、渋滞検定	通信系レベルのデータ検定	アナウンスメント記録 可視可聴警報
	フォーマット検定	スケール、パリティ、BCD 検定	
	上 下 限 検 定	水位、流量の上下限異常監視	
	SV 検 定	SV データのうち異常、故障発生、復旧監視	
演算処理	流 量 計 算	水位、流速→流量 パルシャルフリューム水位→流量 水位、開度→流量 H-Q 換算式→流量 堰放流量	デジタル表示 時報記録
	集 計 処 理	最大、最小、平均、積算	
出力処理	常 時 表 示	頭首工データの表示	日報記録
	切 換 表 示	幹線水路の水位/流量切換表示	
	選 択 表 示	幹線水路制御時間連データ表示 全収集、演算データの選択表示	
	打 点 記 録	頭首工上下流水位の記録	
作表処理	時 報 印 字	毎正時ごとに印字	
	日 報 印 字	集計結果を 1 日 1 回印字	
	操 作 記 録 印 字	ゲート操作時に印字	

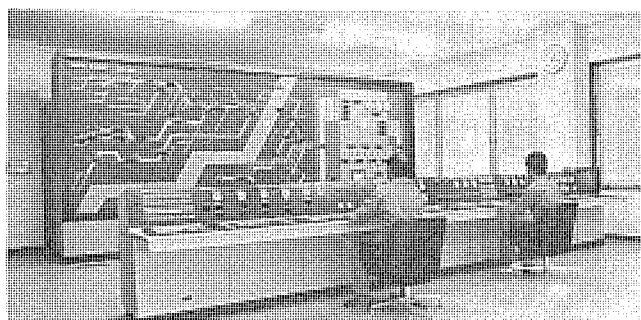


図 8. 中 央 管 理 室



図 9. 用 水 路 と 子 局

御が行える。制御対象 ゲートは洪水吐 3 門 (自動選択) であり、中央処理装置から直接制御を行い、これらの自動制御の監視は連続 TM 受信装置に内蔵されたマイクロコンピュータにより常時行っている。

#### (1) 入力データ

##### (a) 基準水位

堰右岸水位計と左岸水位計の内の選択された水位計とする。また、 $2 \times N (N=15)$  秒で堰水位の移動平均値をとっている。

##### (b) ゲート開度

雑音に強く精度のよい シンクローデジタル方式を採用し、複速構成とし cm 単位の精度を確保している。

##### (c) 設定入力

下記の設定が操作卓から行える。

表 2. 構成機器一覧

機 器 名	場 所	仕 様	中央管理所	頭首工管理所	秋葉山中継所	子 局	左岸連合	右岸連合
監 視 制 御 設 備	1	無線 TM・TC 親局装置	1					
	2	子局装置				2		
	3	無線 TM 子局装置				16		
	4	連続 TM 送信装置		1				
	5	受信装置	1					
	6	中央処理装置	1					
	7	入出力制御装置	1					
	8	流量演算装置	1					
	9	出力リレー装置	1					
	10	監視盤	1					
	11	操作卓	2 面	1				
	12	入出力 T/W	1					
	13	ロギング T/W	3					
	14	リレーシーケンス盤		4				
	15	計 器 盤		1				
	16	制 御 盤				2		
	17	水位傍受装置		既設				
電 源 設 備	1	低 圧 受 電 盤	1					
	2	CVC F	7.5 kVA	1				
	3	直流電源装置			1	2		
	4	耐電トランス			1	18		
	5	6 kV 受配電盤		既設				
	6	自家発電装置		既設				
無 線 設 備	1	移動無線親局装置	1				1	1
	2	子局装置	(3)					
	3	TM 無線中継装置			1			
	4	移動			1			
	5	空 中 線	2(3)		3	18	1	1
設 計 備 V	1	ITV カメラ	1	2				
	2	モニタテレビ	1					
	3	同上付属品	1					
検 出 器	1	雨 量 計				2		
	2	水 位 計 (1)	フロートアナログ式			7		
	3	水 位 計 (2)	フロートデジタル式	2		1		
	4	水 位 計	超音波式	1				
	5	水 位 計	静電容量式	1		18		
	6	超音波流速計		2		17		
	7	開 度 計	S/D 変換	15		11		

表 3. 機 器 仕 様 一 覧

機 器 名	仕 様	機 器 名	仕 様
無線テレメータテレ コン装置	回 線 通信方式 呼出信号 制御信号 符号方式 同期方式 伝送速度 呼出モード 自動呼出周期	操 作 卓	形 状 構 成 コントロールディスプレイ 3面構成 テレメータ制御部 テレコン制御部 移動無線通話部 頭首工ゲート制御部 自動制御部 受配電設備制御部 ITV 監視視
			寸 法 幅 2,100×高 1,029×奥行 900 mm/面
連続テレメータ装置	回 線 通信方式 符号方式 同期方式 伝送速度	グ ラ フ ィ ッ ク 盤	盤面材質 寸 法 表示部
			モザイク式 幅 61,300×高 2,800×奥行 800 mm 月日、時刻表示 頭首工水文情報表示 幹線水位・流量表示 水位・流量上下限表示 雨量表示等
中 央 処 理 装 置	演算部 主メモリ 主メモリ素子 サイクルタイム 入出力タイプライタ ロギングタイプライタ	C V C F	容 量 入 力 出 力 充電方式 蓄電池
			7.5 kVA 10 分間 AC 200 V 3 φ, AC 100 V 1 φ AC 100 V 1 φ 60 Hz 全自動浮動充電方式 焼結式アルカリ蓄電池
流 量 演 算 装 置	演算部 主メモリ 主メモリ素子 サイクルタイム 演算方式 容 量	流 量 計	測定対象 流速測定 水位測定 流量換算 演算方式
			開水路又は暗きょ 超音波式 静電容量式又は超音波式 流水断面×平均流速 中央流量演算装置による集中演算方式

(i) 上/下限設定値, (ii) 単位動作量, (iii) 休止時間

## (2) 自動制御方式

- (a) 制御方式 定水位制御方式  
(b) 制御精度  $\pm 1$  cm  
(c) 常時運用精度 基準水位  $\pm 2$  cm ( $\pm 3$  cm 逸脱で警報,  $\pm 10$  cm で警報出力後自動制御停止)

## 4. 4. 2 分土工制御方式

右岸及び左岸第1分土工は制御頻度が高いことから、中央管理所から遠方制御が可能となっている。制御方式は伝送回線が無線であるため開度設定値制御を主体とし、バックアップとして開/閉/停の手動制御が行えるようになっている。

## 4. 5 マンマシンインタフェース

広域にわたる多量のデータを取扱うシステムにおいて、管理設備と操作員との対話機能、いわゆるマンマシンインタフェースは設備を誤りなくかつ効率的に運用するために重要な要素である。マンマシンインタフェースとしては、このシステムでは、(1)グラフィック監視盤、(2)監視操作卓、(3)ロギングタイプライタ、(4)アナウンスメントタイプライタ(入出力タイプライタと兼用)があり、それぞれ機能的に使い分けている。

## 4. 6 構成機器及び機器仕様

この管理設備は中央処理装置を中心とする監視制御設備、情報伝送

を主体とする伝送設備、検出器などの計装設備のほか、ITV 設備、移動無線設備、電源設備などから構成される。表 2. にこの管理設備の構成機器一覧表を、表 3. に主要機器の概略仕様を示す。

## 5. む す び

以上、阿賀野川用水管理システムの導入経過と設備の概要について述べたが、特にこのシステムの特長として下記の2点があげられる。

## (1) 頭首工の自動定水位制御

## (2) 超音波流速計による開水路の流量計測

前者は導入前には操作卓につききりの手動による調整制御であったが、現在は、自動制御系が順調にか(稼)働し、省力化に大きく寄与している。後者は開水路における流量計測の信頼度向上に関する1方法として参考にしていただきたい。

管理システムの導入は今のところ管理範囲の拡大により即省力化につながるものでないが、管理の一元化により質的向上と今後の省力化への期待ができるという段階であることを最後に付け加えておきたい。

終わりにあたって、この管理システムの計画・施工に御指導、御協力いただいた阿賀野川用水農業水利事業所、右岸及び左岸土地改良区連合の関係各位に深く感謝する次第である。

# 上下水道へのオゾン応用機器の適用

吾妻健国\*・竹山 哲\*\*・中山繁樹\*\*\*・松永正征\*

## 1. ま え が き

当社では昭和 43 年に工業用 オゾナイザの開発に着手して以来、下水中の有害物質や COD の除去、殺菌、脱色及び上水や排 気ガスの脱臭など、オゾンによる上下水処理装置の研究開発を積み重ねてきた。

また昨今、塩素処理によって生ずる有機塩素化合物の毒性が問題にされるに至って、この塩素代替酸化剤としてのオゾンの用途が更に拡大していくことは明らかである。

本文では、まず初めに当社が開発した工業用 オゾナイザの概要を述べ、更にオゾンによる地下水の脱色と飲料水化、湖沼水のかび臭の除去など上水処理の実施例を報告する。下水のオゾン処理の主目的はバクテリアやウイルスの殺菌及び溶解性有機物の除去であるが、過酸化水素の併用によりオゾン酸化が促進され、オゾンの利用効率も向上することについて述べ、最後に下水臭気の脱臭に関して画期的な処理効果を示し、経費も安い乾式の脱臭装置が有望であることを述べるとともに、その概要を報告する。

## 2. オ ズ ナ イ ザ

### 2.1 オゾナイザの概要

オゾナイザは、誘電体をはさんだ一対の電極間に、乾燥した酸素含有気体（通常は空気）を流して両電極間に 5~18 kV の交流高電圧を加えることによって無声放電を起こし、酸素からオゾン(O<sub>3</sub>)を合成する装置である。図 1. は円筒形電極管を用いたオゾン発生器の原理図で、この図における放電空げき(隙)におけるオゾン生成反応を原理的に説明すれば下記のような 3 段階の過程で示される。

#### (1) 無声放電による酸素分子の解離過程

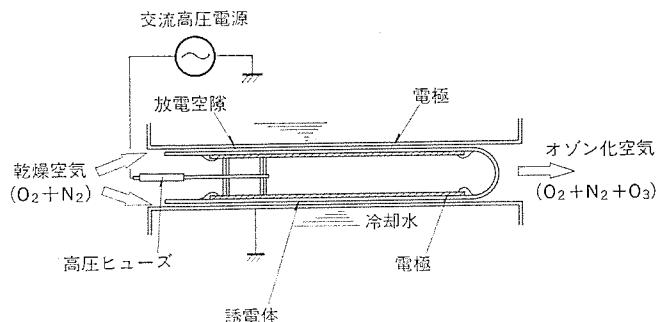
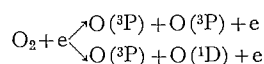


図 1. オゾン発生器の原理的構成



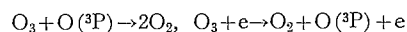
ここで、 $e$  は電子、 $O(^3P)$  及び  $O(^1D)$  はそれぞれ基底状態、励起 1 重項状態の酸素原子である。

#### (2) $O(^3P)$ と $O_2$ 、第 3 物質との衝突によるオゾンの生成過程



ここで、 $M$  は  $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CO_2$  などの第 3 物質である。

#### (3) 生成したオゾンの分解（オゾン濃度が飽和する要因）過程



オゾン生成の熱収支は  $3O_2 \rightarrow 2O_3 - 68 \text{ kcal}$  となり、オゾンの理論収率は  $0.83 \text{ kWh/kgO}_3$  となる。しかし、現実の工業用 オゾナイザのオゾン収率は原料気体に空気をを用いた場合には放電電力のみで約  $13.3 \text{ kWh/kg}$ 、酸素を用いた場合には約  $5.5 \text{ kWh/kg}$  であり、85~94% の電力が熱ロスになっている。

表 1. は当社の オゾナイザ の仕様を容量別に示したもので、オゾン発

表 1. オゾナイザの容量別仕様

形 名	容 量	方 式	オゾン発生器の冷却	オ ズ ン 濃 度	消費電力と設置スペース	用 途
OS-B	1 g/h ~ 1,000 g/h	・円筒形電極 SUS/ガラス/アルミニウム ・キュービカル形 ・50/60 Hz 放電 ・コンプレッサによる送気	外部電極 (SUS) を水冷	20 g/Nm <sup>3</sup> (原料: 空気)	・約 30 kWh/kg ・3.0 m × 2.2 m × 2.0 mH (800 g/h の場合)	・小規模水処理 ・空気脱臭
OT-E	1 kg/h ~ 30 kg/h	・円筒形電極 SUS/ガラス/アルミニウム ・共通ベース (〜4 kg/h) 又はユニット 化構造 ・1,000 Hz 放電 ・プロアによる送気	外部電極 (SUS) を水冷	20 g/Nm <sup>3</sup> (原料: 空気)	・18.5~22.6 kWh/kg ・5.0 m × 3.6 m × 2.0 mH	・上水脱臭、殺菌 ・し尿脱色・COD 除去 ・下水殺菌
OE	40 kg/h 以 上	・円筒形電極 SUS/ガラス/SS ・1,000 Hz 放電 ・プロアによる送気	外部電極 (SUS) 及び内 部電極 (SS) を水冷	・20 g/Nm <sup>3</sup> (原料: 空気) ・45 g/Nm <sup>3</sup> (原料: 酸素)		・上水脱臭殺菌 ・パルプ漂白等の生産設備 向

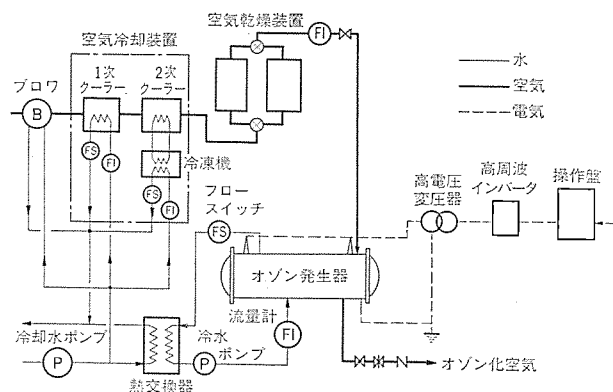


図 2. OT-E 形 オゾナイザのフローチャート

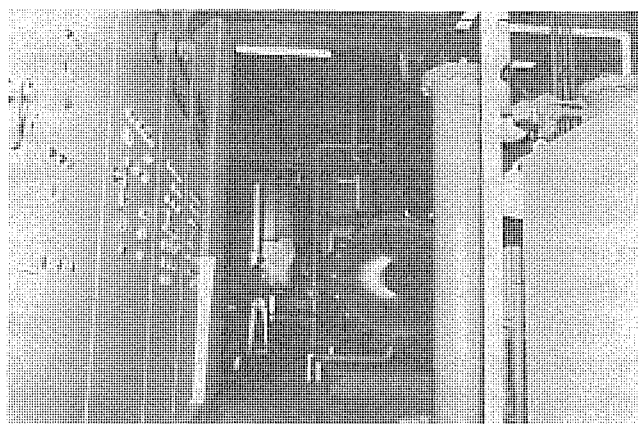


図 3. オゾンプラント (4.5 kg/h) 設置外観

生容量が 1,000 g/h までの小形のもの (OS-B 形) はコンパクト性とメンテナンスのしやすさを重視した構造にしている。また、中・大容量の OT-E、OE 形は省エネルギーを重視して、原料空気をブローで送気したり、放電部の冷却能力を向上させる対策が講じられている。

図 2. は中規模 オゾナイザ (OT-E シリーズ) のフローチャートを示す。図に示すように、ブローにより約  $1 \text{ kg/cm}^2$  に加圧した原料空気を空気冷却装置と吸湿剤を使った空気乾燥装置に通して、常圧換算露点が一  $50^\circ\text{C}$  以下の乾燥空気を作る。これをオゾン発生器に導入し、 $1 \text{ kHz}$  の無声放電によって濃度  $20 \text{ g/Nm}^3$  のオゾンを生産させる。高圧電源には定電流形インバータを採用し、オゾン濃度調節の応答速度を 0.1 秒にまで高速度化している。

図 3. に地下水の飲料水化用として、稼働中のオゾンプラント (容量 4.5 kg/h) の外観を示す。

## 2.2 上下水処理用にオゾナイザを設置する際の留意点

上下水処理用のオゾナイザを有効に使い、安定に稼働させ、かつオゾン漏れによる 2 次公害の恐れを無くするためには次のような配慮が必要である。

(1) まず、設計に当たっては、オゾン反応塔のオゾン利用効率を 90 % 以上に設定し、排オゾン濃度を少なくする設計をする。更に、オゾン発生量の自動制御機能を付加して、被処理水の性状に応じてオゾン発生量を調整し、省エネルギー化する。

(2) 次に使用にあたっては、オゾン発生量は原料空気の露点や冷却水温度の影響をうけるので、オゾン発生容量に 20 % 程度の余裕をもたす。また、乾燥空気の露点が低下すると放電電極表面に硝酸が付着して腐食を起こすので、年 1 回以上のオーバーホールを実施して、構

成機器を整備された状態で稼働させる。

(3) 河川水や井水をオゾン発生器の冷却水として直接流すと塩分や鉄分によりかん(罐)体の腐食が起こりやすいので、図 2. に示すように、熱交換器を介在させるか、冷凍機を使ってオゾン発生器を間接的に冷却するようにする。

(4) 下水処理場では周囲ふんい気による電気接点の腐食が進行しやすいので、スイッチ類は密閉構造とし、操作盤はふんい気を清浄に保った専用の機械室に設置する。

(5) オゾンと接触する部分のパッキン類にはふっ素ゴム又は EPT (Ethylene Propylene Terpolymer) などの耐オゾン性の材料を使う。また、排オゾン分解剤の寿命を排オゾンモニタで監視し、排オゾン濃度が 0.1 ppm 以下になるように適宜排オゾン分解剤を交換する。

## 3. 上水処理への応用

オゾンの工業的規模での利用は 19 世紀末のドイツの飲料水の殺菌に始まる。その後、ヨーロッパ諸国を中心として次々に普及し、現在では千箇所以上でオゾン水処理プラントが建設稼働しているといわれる。この分野でのオゾンの評価は確立されているとみることができよう。

ところで、国内での状況を見ると、上水関連への実用例は少なく、むしろ、し尿や産業排水の処理分野で先行している。しかし、上水源の汚染やトリハロメタンの問題がクローズアップされてきた今日、従来の浄水プロセスを見直しする必要が生じてきた。オゾンは、

(1) 殺菌作用としては塩素より強力であるうえ、多くの無機物及び有機物を酸化分解できる。

(2) トリハロメタン生成の先駆物質を除去できる。

などの特性を持っているほか、最近の工業オゾナイザは、信頼性の向上、省エネルギー化が進んでおり、その実用的価値は以前に増して高くなっている。

この章では、国内で実用されている脱色、脱臭用途を中心に概略的な紹介をする。

### 3.1 地下水の脱色と飲料水化

地下水などの天然水はしばしば植物の分解生成物に由来する物質により黄かっ(褐)色に着色している。この種の脱色にはオゾンが有効であり、実用化されている。

図 4. は当社が納入した地下水脱色、飲料水化プラントのフローチャートである。まず、オゾン処理と砂ろ過により脱色、除鉄及び  $\text{KMnO}_4$  消費量低下を行い、粒状活性炭ろ過で仕上げている。

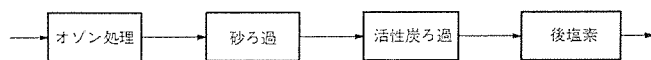


図 4. 地下水飲料水化プラントフローチャート

表 2. 地下水飲料水化プラント処理結果

項目	原水	地下水
$\text{KMnO}_4$ 消費量	16.4 ppm	2.7 ppm
色度	140	3
pH	8.5	8.0
大腸菌群	不検出	不検出
一般細菌	1/㎖	14/㎖
鉄	0.53	0.12
マンガン	0.009	不検出
蒸発残留物	366 ppm	369 ppm

表 2. は図 2. に示した地下水飲料水化プラントによって処理された処理水と原水の水質を示しているが、飲料水基準に適合した処理水が得られていることがわかる。オゾン処理後の活性炭ろ過では活性炭の寿命が伸びるのが一般であるが、このプラントでもすでに1年以上の通水を続けており、十分な処理能力が維持されている。

### 3.2 湖沼水源のかび臭などの脱臭

水源の富栄養化が進行すると藻類や放線菌が繁殖し、これらの代謝成分であるジオスミンや2-メチルイソボルネオールなどにより悪臭が発生する。この悪臭は通常の浄水プロセスでは除去が困難であり、いわゆる“くさい水”の問題がおきる。応急的には粉末活性炭の注入で切抜けているが、この方法はランニングコストや高濃度臭気の除去に難点がある。臭気発生が恒常化している所では、オゾン処理が最も効果的かつ経済的であると評価されている。

図 5. は臭気濃度 (TO) の除去例である。TO が 40 程度のろ過水では 1 ppm 強のオゾン注入で 10 以下、湖水に対しては 2 ppm 強で 10 になる。TO が 300 という高臭気のろ過水に対しては 2.5~3 ppm のオゾン注入で 30 に低下している。高臭気水の十分な脱臭には、オゾン単独よりも活性炭ろ過との組合せを推奨したい。なお、参考として、ろ過水に合成ジオスミンを溶解させたモデル水の脱臭も

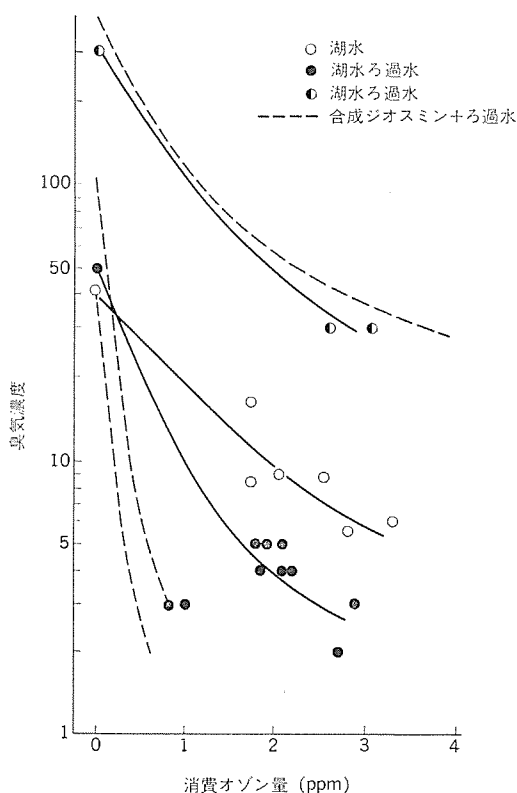


図 5. 臭気濃度の除去例

表 3. 上水脱臭ランニングコスト比較

処理方式	条 件	ランニングコスト (円/m³)	備 考
オゾン処理	2 ppm 注入	0.8	電力費: 20 円/kWh
粉末活性炭注入	20 ppm 注入*	4.0	活性炭費用: 200 円/kg
粒状活性炭ろ過	100,000 m³/ton AC*	3.0	再生費: 300 円/kg

注 \* 印 穂刈久則, 水道協会雑誌, No. 516, 23 (昭 52) 参照

合せて示しておく<sup>(1)</sup>。表 3. は活性炭処理とのランニングコスト試算を比較したものであるが、オゾン処理の経済性がわかるであろう。

### 3.3 その他の用途

オゾンのその他の用途として殺菌、除鉄、除マンガンなどがあるが、ここでは省略する。ただし、塩素殺菌によるトリハロメタン生成抑制手段の1つとして、オゾン処理→後塩素処理が検討されていることをつけ加えておく<sup>(2)</sup>。

## 4. 下水処理への応用

下水処理の中でのオゾンの役割は殺菌、溶解性有機物除去が中心である。これらへのオゾン用途としては今のところ国内での実用例はほとんどないが、社会的要求の高度かつ多様化や水資源不足の切迫などによりその役割分担に期待が寄せられることになるだろう。

### 4.1 バクテリアやウイルスの殺菌、不活性化

殺菌前の2次処理水中には  $10^4 \sim 10^6$  個/ml の大腸菌が存在する。この殺菌に必要なオゾン注入量は水質により変動するのが一般であるが、C. Gomella の結果<sup>(3)</sup>を図示すると、図 6. のようにまとめられる。すなわち、生存率  $10^{-4}$  の殺菌には 5~12 ppm のオゾンが必要である。ウイルスの不活性化にもオゾンは有効である。例えば、タバコモザイクウイルスによる塩素との比較によると<sup>(4)</sup>、重量比でオゾンの方が5倍強も強力であるとされている。

塩素処理に比べて、オゾン処理はコスト高になるが、操作性や危険物の貯蔵が不要になること、更には以下に述べる脱色、脱臭などの効果を総合的に考慮すべきである。また、オゾン原料として酸素を使うと、消費電力は空気原料の1/2以下になることから、酸素ばく(曝)気活性汚泥法との結合によりオゾンコストは大幅に低減できる。この用途には当社 OT-E 又は OE 形オゾナイザが有効であるが、し尿処理プラントとして稼働中の装置のフローチャートを図 7. に示した。

### 4.2 有機物除去

また、オゾンは2次処理水の脱色、脱臭に有効であり、図 8. に示す

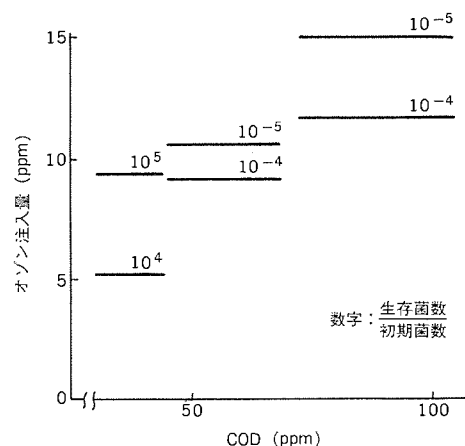


図 6. 下水2次処理水のオゾン殺菌 (大腸菌)

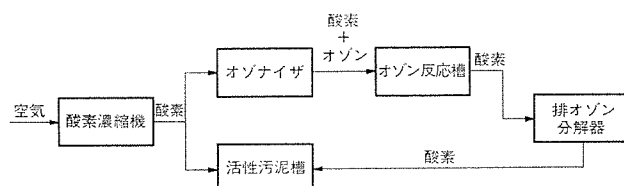


図 7. 酸素曝気活性汚泥処理と組合せたオゾン処理フロー

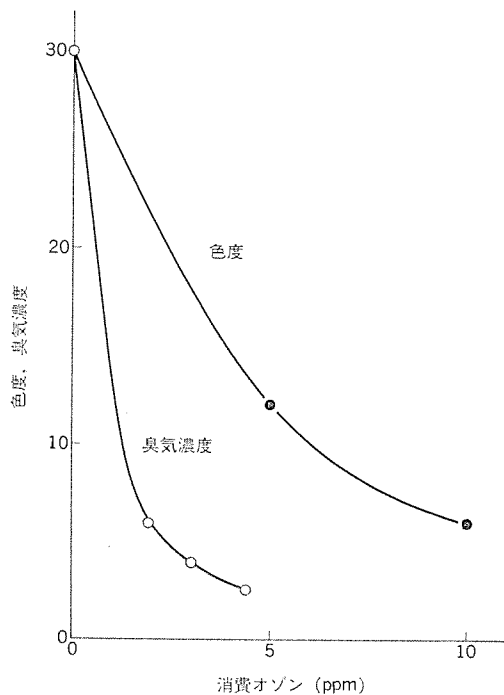


図 8. 2 次処理水の脱色, 脱臭剤

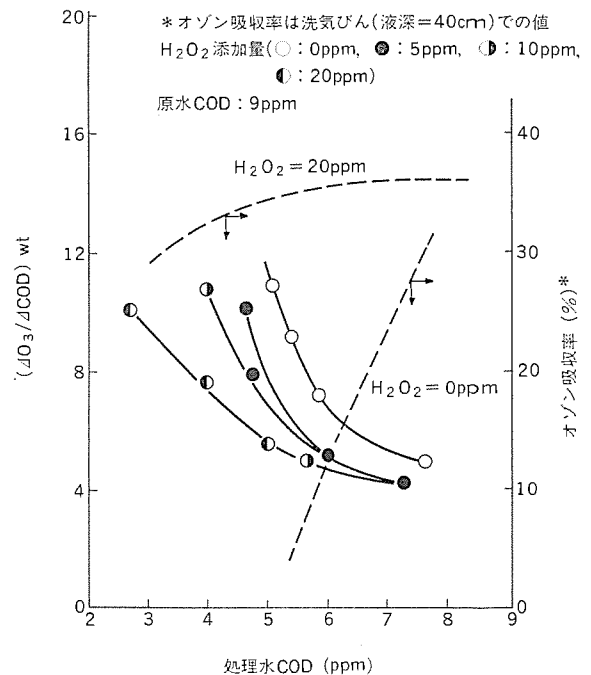


図 9. オゾン処理法と過酸化水素添加オゾン処理法の比較

ように、殺菌に必要な量のオゾン注入することによって脱色と脱臭も完遂されることがわかる。

COD 除去にも適用可能であるが、その除去率に限界があるのが一般である。また、20 ppm 以上のオゾン注入を効率的に行うためには、何そう(槽)かの反応槽からなる複雑かつ大容量の反応槽が必要になる。このような欠点は当社で開発した過酸化水素添加オゾン処理法で解決できる<sup>(5)</sup>。図 9. は 2 次処理水の COD 除去に適用した結果であるが、過酸化水素添加により処理水 COD (原水 9 ppm) が低下し、同時に  $\Delta O_3/\Delta COD$  が低くなるので、オゾンの必要量が低減できる。また、図 9. に合わせて示したオゾン吸収率を比較すると、オゾンの気相から液相への移動が過酸化水素添加で拡散律速領域に入り、単一の気泡塔で 90% 以上のオゾン吸収率(液深 4~5 m)が可能になる。

## 5. 排ガス脱臭への応用

### 5.1 オゾン脱臭設備の概要

オゾンは 1930 年代から下水臭気の脱臭に採用されてきたが、当初の気相混合法から現在の湿式オゾン又は活性炭などの併用<sup>(6)</sup>と内容が進歩してきている。現在推奨できる方式として、(1) オゾンと他の薬剤とを併用した湿式酸化・湿式還元脱臭装置、及び、(2) 悪臭物質とオゾンの反応促進剤を用いた乾式脱臭装置がある。(1) はオゾン化水洗浄・次亜塩素酸ソーダ洗浄・チオ硫酸ソーダ洗浄又は(オゾン化水+次亜塩)洗浄・チオ硫酸ソーダ洗浄といった多段洗浄プロセスによって脱臭する方法であり、オゾンと次亜塩を使った洗浄(湿式酸化)によってアンモニアなどの窒素系悪臭物質及び硫化水素などのいおう系悪臭物質を除去する。次いで、チオ硫酸ソーダを使った洗浄

(湿式還元)によって残存オゾンと塩素( $Cl_2O$ )を除去する。また、必要に応じて湿式還元によりアルデヒドも除去する薬液を使用する。この方式は実績も多く、水処理系統の薄い臭気から汚泥処理系統の濃厚臭気(臭気濃度 1 万以上)にまで適応しても実用上十分な脱臭性能を有し、維持費も 0.05 円/ $Nm^3$  以下である。しかし、毎月約 2 回の薬品の補給や、pH メータや次亜塩濃度計の保守に多少の人手を要する。(2) は昭和 55 年に当社が開発したものであり、下記にその内容を説明する。

### 5.2 乾式脱臭装置の概要

図 10. はこの方式のフローチャートを示したもので、送風機によって捕集された悪臭ガスに化学量論量以上の過剰オゾンを添加した後、脱臭塔に導入する。塔内には添着活性炭(オゾン酸化反応促進剤)が充てん(填)されていて、被処理ガス中の法定 8 物質を含む主要悪臭物質を触媒的にオゾン酸化する。余剰オゾンは添着活性炭の後段のオゾ

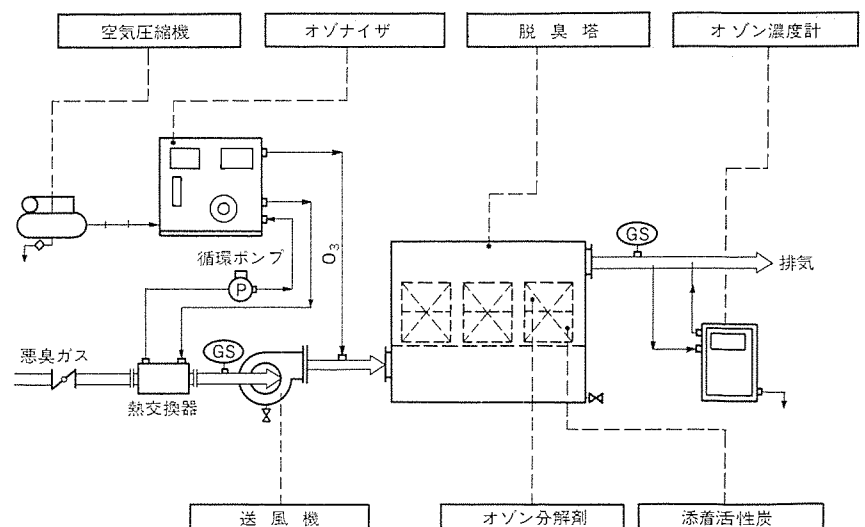


図 10. 乾式脱臭装置のフローチャート

表 4. 標準機器構成

形 名	処理風量 (m <sup>3</sup> /min)	オゾンナイザ (W×D×H)(mm)	空気圧縮機 (W×L×H)(mm)	送風機	充填剤 (m <sup>3</sup> )	オゾン分解剤 (m <sup>3</sup> )	設置面積 (m <sup>2</sup> )	消費電力 (kW)
KO <sub>I</sub> -50	50	OS-60 200×600×1,600	5.76 m <sup>3</sup> /h 385×995×775	片吸込形 ターボファン 2.2 kW	0.8	0.36	約 39	3
KO <sub>I</sub> -100	100	OS-60/OS-80 2,000×600×1,600	5.76/11.4 m <sup>3</sup> /h 389×995×775	同 上 3.7 kW	1.6	0.72	47	5.5
KO <sub>I</sub> -200	200	OS-120/OS-180 2,000×600×1,800	16.8/28.5 m <sup>3</sup> /h 425×1,175×820	同 上 7.5 kW	3.2	1.08	62	11
KO <sub>I</sub> -300	300	OS-180/OS-240 2,100×1,435×2,160	28.5 m <sup>3</sup> /h 500×1,385×965	同 上 11 kW	4.8	1.44	75	17
KO <sub>I</sub> -450	450	OS-360 2,120×1,560×2,160	41.7 m <sup>3</sup> /h 540×1,540×1,040	同 上 18.5 kW	7.2	3.24	100	27.5
KO <sub>I</sub> -600	600	OS-360/OS-500 2,120×1,560×2,160	41.7 m <sup>3</sup> /h 540×1,540×1,040	同 上 22 kW	9.6	4.32	114	32.5

ン分解剤（ヤシ殻活性炭又は解媒添着炭）によって除去される。オゾンは通常 3～5 ppm 添加し、2 種の充填剤には オゾン酸化生成物がない（堆）積されるので、1 年に 1 回のひん（頻）度で更新する。

この方式は臭気濃度が 2,000～3,000 以下の悪臭ガス、例えば沈砂・水処理系統からの悪臭ガスの脱臭に適している。処理後のガスの臭気濃度は 50 以下、ランニングコストは 0.04 円/Nm<sup>3</sup> 以下で、水や人手を要しない装置である。

従来の活性炭吸着法と比較すると 1 段の処理プロセスで法定 8 物質を同時に除去でき、特に硫化メチルやアルデヒドなどの中性物質の除去能力が格段に大きいという特長がある。この方法の標準機器構成を表 4 に示す。この方式は今後の下水臭気処理装置として大いに発展するものと考えられる。

## 6. む す び

オゾンナイザは米国、カナダ、ヨーロッパの上下水道用に千件を超える設置実績があり、日本でも上下水道脱臭用、下水の殺菌、有機物除去、排水脱臭用に用途が拡大しており、特にトリハロメタンを副生する塩素の代替酸化剤として、注目されている。

本報ではオゾンナイザ及び上下水へのオゾン処理の応用について報告したが、その内容は下記のように要約される。

（1）オゾンナイザは工業用機器として完成しているが、下水処理機器として処理場に設置する場合、稼働時の省エネルギー化と腐食防止対策について設計時及び維持管理時に配慮すべきである。

（2）上下水処理への応用としては脱臭、殺菌、脱色があり、地下水の脱色、殺菌、有機物除去と湖沼水のかび臭の除去に顕著な効果が確認できた。

（3）下水処理への応用としては脱臭、脱色、殺菌及び COD 除去があるが、オゾンと過酸化水素を併用することにより、オゾン反応が促進される。

（4）下水排水ガスのオゾン脱臭には湿式と乾式を開発したが、省力と省エネルギーの観点から今後は乾式が有望である。

## 参 考 文 献

- （1）山本：水道協会誌 No. 497, 10（昭 50）
- （2）宗宮、山田、森：水処理技術, 21, 897（昭 55）
- （3）C. Gamella：“Forum on Ozone Disinfection”, International Ozone Institute, p. 205（1976）
- （4）池畑：環境技術, 5, 6, 231（昭 51）
- （5）中山、難波：PPM, 10（5）, 30（昭 54）
- （6）吾妻：産業機械 No. 362, 48（昭 55）

# 特許と新案

## 多段警報装置付計器 (特許 第1020926号)

発明者 桜井五十次

この発明は、目盛板上に複数の警報接点を設けた多段警報装置付計器に関するものである。

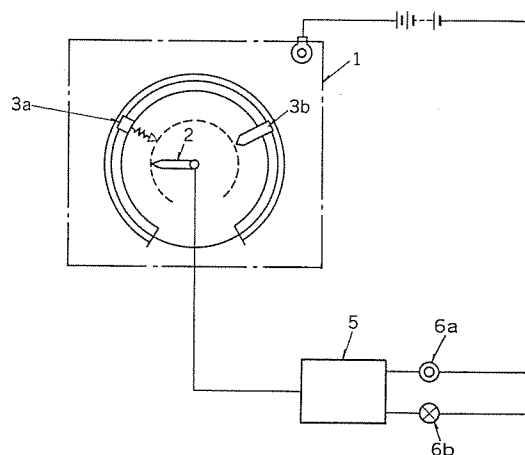
従来のこのような装置において $n$ 段の警報を発生させるには、目盛板上に設置した $n$ 個の警報接点相互間を電氣的に絶縁し、 $n$ 個の警報接点の各々をそれぞれ個別の警報管制器に接続して第1段から第 $n$ 段の警報動作を区別するようにしている。したがってこのように構成された従来の計器においては、接点構造が複雑になる。また各々の警報接点にリード線が取付られているので警報設定位置変更などにおける取扱が困難である。更に各段の警報管制器が個別に設けられている為、必然的に大形となり、また操作も複雑となるなどの欠点を有していた。

この発明はこの様な欠点をなくすためになされたものでこの発明の一実施例を2段警報装置付最大需要電力計について説明する。

図において(1)は目盛板、(2)使用電力に比例して回転する押し手指針、(3a)は第1段警報接点、(3b)は第2段警報接点で、異なる抵抗値を有している。(5)は警報管制器で使用電力に比例して回転する押し手指針(2)が第1段警報接点(3a)に接触しているか、第2段警報接点(3b)に接触しているか、抵抗値の差異により弁別する弁別回路を有し、第1段警報接点(3a)に接触すると第1段警報器(6a)を、第2段警報接点(3b)に接触すると第2段警報器(6b)を作動するようになされている。

これを $n$ 段警報装置付計器とするには、目盛板上に抵抗値の異なる $m$ 個の警報接点を設け $n$ 種類の信号を弁別するようにすればよい。

したがってこの発明による多段警報装置付計器によれば、接点の構造、取扱がきわめて簡単で、しかもリード線が無いため、可動部品に触れる危険もない、更に警報管制器により順次各段の警報動作を展開していくので個別操作するわずらわしさが無いなど、優れた多段警報装置付計器とする事ができる。



## ディスプレイ用陰極線管の螢光面 (特許 第917125号)

発明者 石井 隆

この発明はディスプレイ用陰極線管の螢光体に関し、10% 残光時間が50 mm 秒以上あり、所定の発光強度をもち、しかも螢光体検査が可能な赤色発光螢光体を提供する。

従来、赤色螢光体として知られるマンガン付活オルトリン酸亜鉛マグネシウム螢光体は、10% 残光時間が150 mm 秒あり、カラーテレビ用螢光体に必要な50 mm 秒は十分確保することができる反面、発光輝度がカラーテレビ用螢光体に必要な発光輝度の半分しかなく、しかも螢光体検査に用いる紫外線ランプでは発光しないという欠点があるため、この螢光体はディスプレイ用螢光体として用いることができなかった。

そこで、この発明では上記マンガン付活オルトリン酸亜鉛マグネシウム螢光体に対し、この螢光体のもつ上記欠点を解消するため別の螢光体として、3~50重量%のユーロピウム付活イットリウムオキシサルファイド

螢光体、3~45重量%のユーロピウム付活酸化イットリウム螢光体、5~65重量%のユーロピウム付活バナジウム酸イットリウム螢光体のうち、少なくとも1種の螢光体を上記重量%に相当する量だけ付加することにより、ディスプレイ用陰極線管の赤色発光螢光体を形成している。

上述したユーロピウム付活イットリウムオキシサルファイド螢光体、ユーロピウム付活酸化イットリウム螢光体、ユーロピウム付活バナジウム酸イットリウム螢光体を付加すればするほど発光輝度は高くなるとともに紫外線による発光もより強くなるが、10% 残光時間が減少するので、この発明では50 mm 秒の10% 残光時間を少なくとも確保するため上記3つの螢光体の付加重量%の上限を上記のように定めている。

## 回路しゃ断器 (実用新案 第1337844号)

考案者 長谷川清博・飯尾 司

この考案は電磁反発接触子を備えた限流形回路しゃ断器の改良に関するものである。

従来のものは、電源側導体に固定された第1の固定接点に対向し、低い過電流により開離する。負荷側に接続された可動接点、及び上記導体に固着された第2の固定接点に対向して、短絡電流のような大電流によって開離する反発接点が固着された電磁反発機構を電源側に1極に1個直列に設けていた。しかし、このような回路しゃ断器においては、特に定格によって電磁反発機構の反発可動子の種類が増加するので、大量生産によるコストダウンが望めない。また温度上昇抑制から反発可動子が大きくなるなどの欠点を有していた。

この考案はこれ等の欠点をなくするため図1. に示すように、常時、固定導体(11)に閉路されている反発可動子(7a)、及び軸受(8)などを含む電磁反発機構部(6)をユニット状にし、固定導体(11)と電源端子導体(4)間に図2. に示すように複数個並設している。(定格によって増減する)このような構成にあっては、定格の数倍程度の過電流はトグルリンク機構(13)を介し可動接触子(12)が開離され、短絡電流のような大電流においては反発可動子(7)が開離し、発生するアークにより短絡電流を限流する。しかも並設された反発可動子(7)間には電磁吸引力が働くので、複数の反発可動子(7)はあたかも1個の

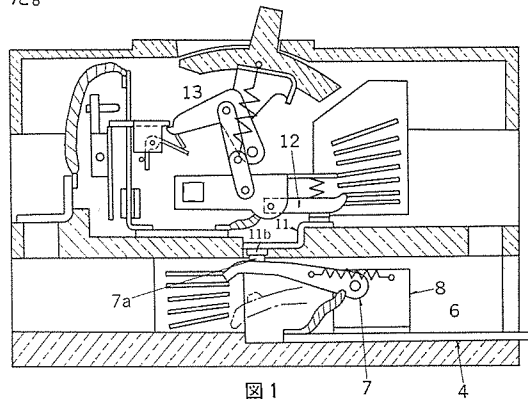


図1

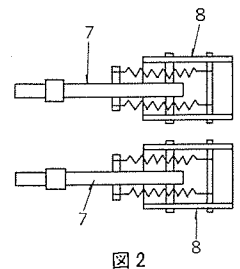


図2

反発可動子であるかのように、固定接点(11b)から一体に反発開離する。

ゆえに、必要な定格電流に応じてユニット状の反発可動子を増減できる。また、小容量から大容量までの電磁反発機構が共用化され、全体として必要数が増加されるので、大量生産によるコストダウンが望める。更に反発可動子を小形軽量化できるので、反発可動子の断面積が小さくなり、このため開離スピードを早くすることができるので、優れた限流しゃ断性能が得られる効果がある。

## 切換開閉器用限流抵抗器 (実用新案 第1327380号)

考案者 提長之・石井 勇雄

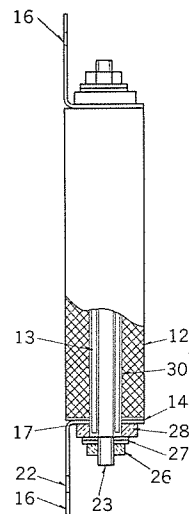
この考案は、切換開閉器の接点部分に隣設される限流抵抗器に関する。

この種の抵抗器は、1~10Ωの抵抗値を有するように作製されるが、その抵抗材料として従来はニクロム線が用いられていた。ニクロム線の抵抗率は、約100 μΩ・cmであるから、1~10Ωの抵抗値を得ようとすると、線の長さは非常に長いものとなり、従来は巻わく(棒)に巻回したものを数個必要としていた。しかしこのような従来の抵抗器では、巻棒を必要とすること、巻線作業が煩雑で特殊の巻線装置を用いる必要があるために高価となること、占有スペースが大きい開閉器が大型化するなどの欠点があった。

この考案は、マイカ粉末、ガラス粉末及び導電性物質粉末を混合し、上記ガラス粉末の溶融する温度で加圧成形することにより得られる混成抵抗体を抵抗要素として用いることによって、上述の欠点のない切換開閉器用限流抵抗器を提供するものである。

図はこの考案の1実施例を示す一部切欠断面図で、混成抵抗体からなる抵抗成形体(12)の中心孔(13)中に絶縁スリーブ(30)を介してス

タッド(23)が設けられている。(16)は、上記抵抗成形体(12)を切換開閉器に電気的に接続するための取付孔(22)を有する金具で、その水平部(17)は抵抗成形体(12)の両端の銅めっき(14)に接しており更に絶縁スペーサ(28)、皿ばね(27)を介してナット(26)によって抵抗成形体(12)に電気的、機械的に接続固定されている。この考案に係る混成抵抗体は各粉末の混合比を変えることによって、抵抗率を10<sup>-4</sup>~10<sup>4</sup> μΩ・cmの範囲内で自由に選択できるので、目的に応じて適当な抵抗値を選ぶことによりコンパクトに抵抗器を製作することができる。また、この混成抵抗体は巻棒を必要としないので、従来に比し小形で安価な抵抗体を得られるなどの特長を有する。



# 配電線を利用した搬送方式の開発

三好 明好\*・小林 照朋\*・諏沢 俊二\*・吉原 孝夫\*

## 1. ま え が き

近年、電力会社においては、電力需要の増大により設備の大規模化・高度化の方向にあり、これに伴い、電力の安定供給・設備の効率的運用・保守業務の省力化などを図るため、給電業務の総合自動化が推進されている。なかでも発電所や送電システムの運用の自動化は、自動化対象が1箇所に集中しているため、比較的容易に導入されてきた。しかし、配電系統における自動化は、対象が広範囲にわたるかつかつ点に在しているために、自動化の導入が困難であり、この導入に際しては信頼性が高く、経済性の高い通信手段が必要不可欠なものとなっている。一般の配電線は、通信手段が必要とされる箇所にはくまなく施設されているという優位性から、配電線を通信路として使用する配電線搬送の研究が十数年前から積極的に展開されてきた。近年の目ざましい通信技術と電子技術の発展にささえられ配電線搬送も実用化への確実な歩みを続けている。ここに、当社の配電線搬送に関する研究のうち、アンサバックと呼ばれる配電線の負荷端から電源端に至る信号伝送技術を主体にその概要を紹介する。

## 2. 配電線搬送の概要

配電線搬送技術は、冒頭でも述べたとおり、電力会社の配電自動化という大きなテーマの一環として研究が鋭意進められているのが現状である。配電線搬送は、もともとヨーロッパで、既に数十年前から実用化されているリプルコントロール又はAFCC (Audio Frequency Centralized Control) と呼ばれる配電線搬送技術を発端としている。

このリプルコントロールは150~数百Hzの範囲の単一周波数による信号を配電用変電所又は2次変電所の母線へ母線電圧の1~2%の信号レベルで線間注入し、高圧配電線及び柱上変圧器を経由して低圧側へ伝達されたこの信号を低圧配電線の随所で受信する方式である。

ヨーロッパにおいては、温水器・クーラーなどの需要家機器の制御、街路灯・信号灯で代表される公共機器の制御、並びに最近では需要家の多重料金制メータの切換制御などに広く利用されており、我が国でも一部の電力会社が深夜電力利用温水器の制御を実施している。

このように、リプルコントロールは現在実用化されている配電線搬送の唯一の方式であり、負荷集中制御には有効ではあるが、その伝送形式は変電所から配電線の末端側への単一方向通信である。このため、配電線搬送を自動検針・線路開閉装置の監視制御などの配電自動化に適合させるためには、配電線の末端側から変電所への返信方式(アンサバック方式)の確立が不可欠となる。

このアンサバック方式に要求される条件としては、基本的に次の諸点が挙げられる。

(1) リプルコントロールなどの下り方向通信(変電所→末端側)の場合は、一般的に末端側の受信器数が多いため、受信器はコンパクトで経済的なものが要求されるが、逆に上がり方向(末端側→変電所)のアンサバックには、末端側に設置される多数の送信器にコンパクトで、かつ経済的なものが要求されること。

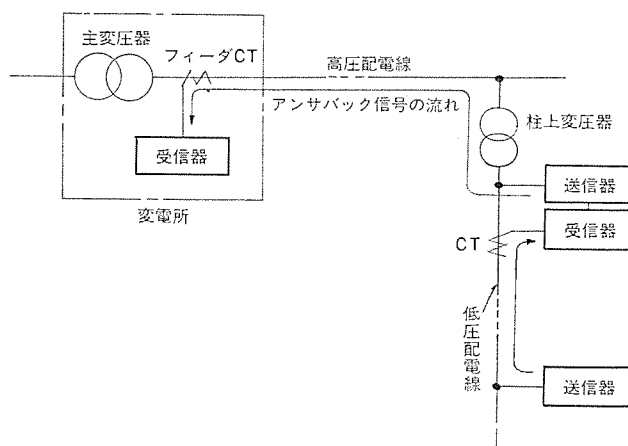


図 1. アンサバック方式の概念図

(2) 一般的に下り方向通信よりもアンサバックの方が情報伝送量が多いため、これに見合った伝送速度が確保できること。

(3) アンサバック信号は下り方向の信号と混信を生じない通信方式及び周波数帯であること。

(4) アンサバック情報の情報源としては、自動検針のように低圧配電線に点在する各需要家に情報源がある場合と線路開閉装置の監視や配電線の電圧・電流の計測のように高圧配電線又は柱上変圧器の2次側(低圧側)直下に情報源がある場合の2通りがある。アンサバックはこれらのすべての情報源に適用するものであること。

当社は以上のような条件を考慮しつつ、アンサバック方式の開発に取り組んできた。当社のアンサバック方式の概念図を図1.に示す。図1.に示すように、高圧配電線側(6.6kV系統)のアンサバックは柱上変圧器と同柱上に送信器を設置し、柱上変圧器の低圧側直下に数百Hzの音声周波数による電流信号を線間注入する方式である。この信号は当該柱上変圧器を介して高圧側へ伝達され、更にインピーダンスの低い変電所の主変圧器へと流入するため、変電所の既設の交流器(以下CTと呼ぶ)により検出することが可能である。また、低圧配電線側(210/105V系統)におけるアンサバックは、端末側に設置された送信器によって、10kHz前後のインパルス電流信号を発生させ、この電流を柱上変圧器低圧側直下に設置したCTによって検出する方式である。

これらの信号の信号伝送特性及び装置の内容については3章以降で説明することとする。

## 3. 高圧配電線における伝送特性

高圧配電線における当社のアンサバック方式としては数百Hzの音声周波数による電流信号を柱上変圧器の2次側より注入する方式を採用している。これは、一般的な高圧配電線の音声周波におけるインピーダンスマップより、変電所の主変圧器直下のインピーダンスが最も低く、末端側から注入された電流信号の大半が変電所の主変圧器側に流入

するからである。しかも、柱上変圧器2次側において、電源側インピーダンスが負荷側インピーダンスに比べて非常に小さいことから、柱上変圧器2次側に信号を注入すれば、その信号電流の大半は柱上変圧器2次巻線に流入し、これが柱上変圧器の巻数比によって高圧配電線へ伝達される。このため、アンサバック送信器は低圧側へ設置することが可能であり、送信器は低圧機器となるため、設置工事や保守作業の面からも優位となる。

さて、柱上変圧器の2次側に単一周波数の信号を連続注入し、変電所の当該フィーダCT2次側で受信した場合の信号電流伝送比実測例を図2.に示す。ここで、信号電流伝送比は次のように定義する。

$$\text{信号電流伝送比} = \frac{\text{受信電流} \times \text{当該フィーダCT比}}{\text{信号注入電流} / \text{柱上変圧器変成比}}$$

図2.から明らかなように、信号周波数を550 Hz以下に選定すれば、比較的効率のよい伝送が得られることがわかる。図2.において、伝送比が1以上となる原因は高圧需要家の進相コンデンサと線路イン

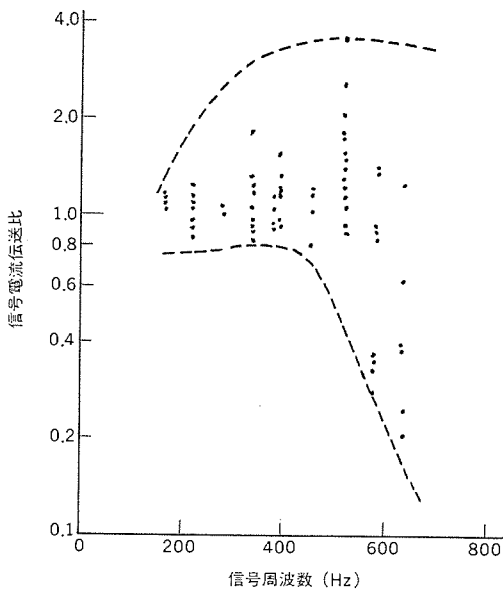


図2. 信号電流伝送比分布例 (60 Hz 系統)

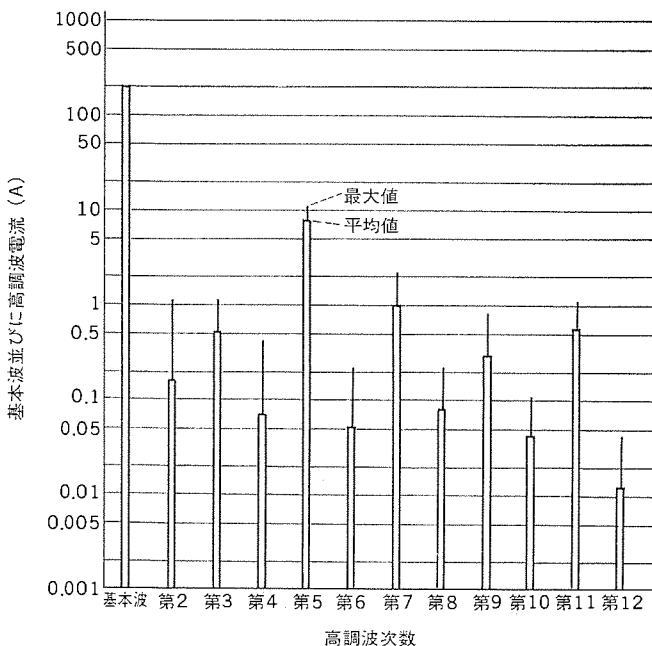


図3. フィーダの高周波雑音電流例 (60 Hz 系統)

ーダンス及び柱上変圧器とその負荷を含めた負荷インピーダンスとの共振現象に基づくものである。

アンサバック方式における信号周波数・送信レベルなどを決定するための因子として、上述の信号伝送特性と並んで重要な因子は受信点(変電所)におけるフィーダの雑音特性である。

雑音として最も大きいものは系統周波数の高調波雑音であり、その1例を図3.に示す。高調波雑音以外の白色雑音と呼ばれるものは最大値で50 mA程度、平均値で10 mA程度である。

一般的な伝送系の評価としては、符号化した信号を送信点より送信し、これを受信点で受信して送信号と照合し、そのビット誤り数から次式に示すビット誤り率で評価することが多い。

$$\text{ビット誤り率} = \frac{\text{誤り受信ビット数}}{\text{全送信ビット数}}$$

当方式において、偶数次高調波を中心に $\pm 30$  Hz 偏移させた60ボアの周波数偏移変調(FSK)信号を10~30 A 柱上変圧器2次側へ注入して変電所のフィーダCTで受信した場合の実測ビット誤り率は、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ の範囲にある。ビット誤り率と注入電流の関係は注入電流が増加するにつれてビット誤り率が減少する傾向を示す。また、ビット誤り率と負荷電流、時間帯などの関係は配電線の負荷の分布、配電線の形態(分岐、こう長など)によって決定されるため、配電線により千差万別であり、一般的な特性を述べることは困難である。

#### 4. 低圧配電線における信号伝送特性

低圧配電線における伝送は、高圧配電線に比べ線路こう長が短いことから、装置の小形化に有利な高周波信号とするのが一般的である。

当社の方式は、なかでも送信器の構成が最も簡単な電源同期定位相インパルス方式を採用している。この方式の概念図を図4.に示す。この方式は、電源周波数の $0^\circ$ 位相又は $180^\circ$ 位相に、コンデンサの瞬時放電現象を利用した10 kHz程度のインパルス信号を線間注入し、このインパルス信号の有無によってデジタル情報を送る方式である。 $0^\circ$ 位相又は $180^\circ$ 位相に信号注入する理由は、実測結果より、この位相における雑音が最も少ないからである。

低圧配電線は先に述べたように、電源端(柱上変圧器2次側直下)

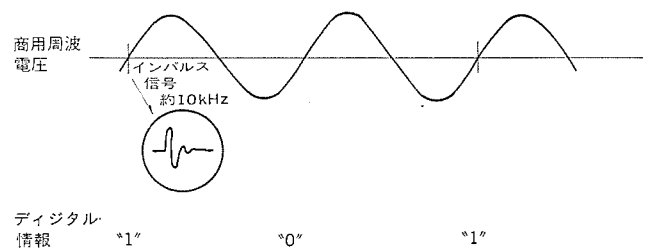


図4. 電源同期定位相インパルス方式の概念図

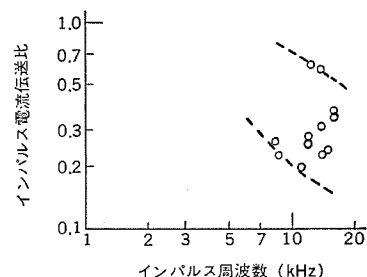


図5. インパルス電流伝送比分布例

のインピーダンスが最も低く、負荷端のインピーダンスは高いので、下り方向伝送の場合の受信方式は電圧検出方式、上り方向伝送の場合は電流検出方式が有利である。上り方向のインパルス電流伝送特性の1例を図5.に示す。ここに、インパルス電流伝送比は次のように定義する。

$$\text{インパルス電流伝送比} = \frac{\text{電源端におけるインパルス受信電流}}{\text{負荷端のインパルス送信電流}}$$

伝送特性は送信点の位置と負荷インピーダンスによる影響を非常に受けやすいため、配電線によってばらつきが大きい。実測によれば、信号周波数帯における定常雑音電流は1~30 mAの範囲にあり、また定常雑音電圧としては1~50 mVの範囲にある。

この方式の上り下り伝送を総合すると、ビット誤り率は伝送速度60ボーにおいて $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$ 程度の実測値が得られている。

## 5. 配電線搬送方式の構成例

### 5.1 概要

配電自動化の一環として、リプルコントロールによる温水器制御は一部で既に実用化されているが、配電自動化の主眼とも言うべき線路開閉装置の監視制御及び自動検針については実用化試験の域を脱していないのが現状である。配電線を利用した各搬送方式については、既にその伝送特性は検証された状況にあり、これを踏まえて、方式の確定・実用装置の開発・実施規模の拡大へのステップを歩みつつある。

当社の配電自動化システムの構成概念図を図6.に示す。

電力会社の営業所にはシステムの中核とも言うべき中央装置を設置し、通信線により配電用変電所に設置した配電線搬送用送受信装置と結合する。この送受信装置は、中央装置からの指令に基づいて、リプルコントロール信号により中継装置の呼出し及び負荷制御用端末装置の開閉制御を行う。自動検針の場合は、中継装置によって検針用端末装置から前述のインパルス伝送方式により周期的に検針データを返信させ、これを中継装置内に記憶しておき、中央装置からの検針指令に基づいて、そのデータを前述のアンサバック方式により受信装置へ一括返信する。開閉装置の監視制御並びに線路の電圧・電流の計測などは、中央装置からの指令に基づいて中継装置が応答し、中継装置内の監視機能及び計測機能によって得られたデータをアンサバック方

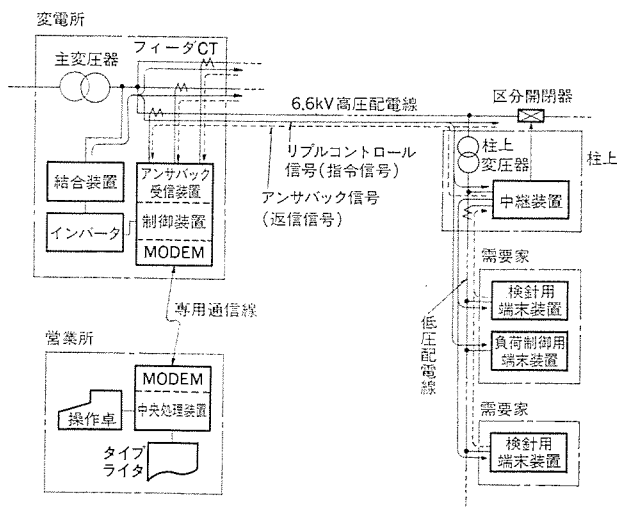


図6. システム概念図

式により受信装置へ返信する。

配電線搬送用の送受信装置、中継装置及び端末装置の各装置間における搬送方式及び信号周波数などの仕様を表1.に示す。

### 5.2 送信装置

送信装置は変電所に設置され、アンサバック受信装置と一体化した制御装置、その制御装置から指令信号を受けてリプルコントロール信号を発生するインバータ、及びその信号を高圧母線へ注入するための結合装置から構成される。各構成装置の外観を図7.~図9.に示す。

### 5.3 受信装置

受信装置は変電所に設置され、柱上変圧器直下に設置された中継装置からの検針データ、計測データ及び監視データのアンサバック信号を受信する。

### 5.4 中継装置

中継装置は柱上変圧器と同柱上に設置し、常時機能として一定時間ごとに傘下の各検針用端末装置（最大40台）を呼出し、その検針データを返信させ、内部のメモリに記憶する機能と、線路の電圧・電流などの30分間平均値を計測して30分ごとにこれを記憶更新する機能を有しており、中央からの指令に基づいてこれら所定のデータを返信する。開閉装置の監視制御は中央装置より指令を受けた場合

表1. システム仕様一覧

	項目	仕様
下り方向伝送（変電所→末端側）	送信装置↓中継装置	
	信号伝送路	高圧配電線、柱上変圧器
	搬送方式	リプルコントロール方式
	信号周波数	195/225 Hz
	変調方式	FSK
	伝送速度	30 ボー
	受信方式	電圧検出方式
	符号形式	BCD
	送信装置↓負荷制御用装置	
	信号伝送路	高圧配電線、柱上変圧器、低圧配電線
	搬送方式	リプルコントロール方式
	信号周波数	225 Hz
上り方向伝送（末端側→変電所）	中継装置↓検針用装置	
	信号伝送路	低圧配電線
	搬送方式	電源同期定位相インパルス方式
	信号周波数	約 10 kHz
	信号形態	インパルス
	伝送速度	60 ボー
	受信方式	電圧検出方式
	符号形式	BCD
	検針用装置↓中継装置	
	信号伝送路	柱上変圧器、高圧配電線
	搬送方式	電流アンサバック方式
	信号周波数	440/500 Hz
中継装置↓受信装置	変調方式	FSK
	伝送速度	60 ボー
	受信方式	電流検出方式
	符号形式	BCD

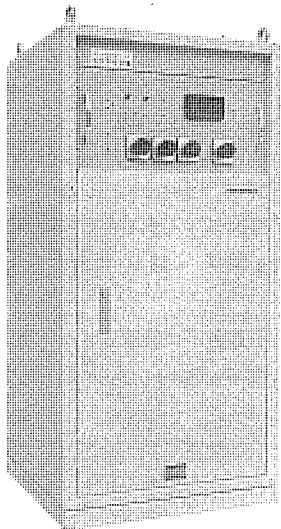


図 7. 制御装置の外観

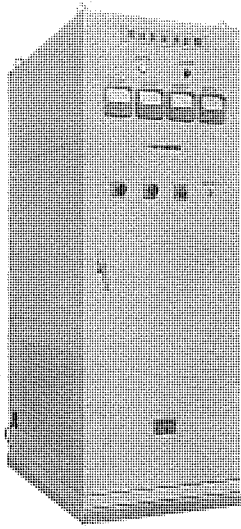


図 8. インバータの外観

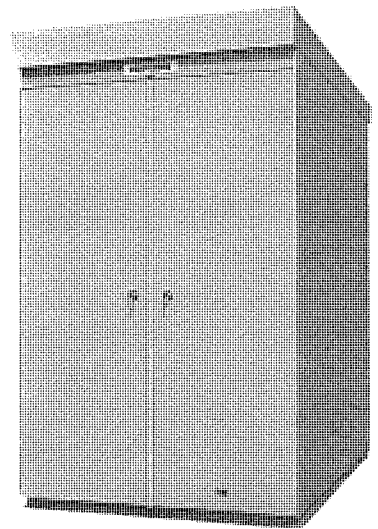


図 9. 結合装置の外観

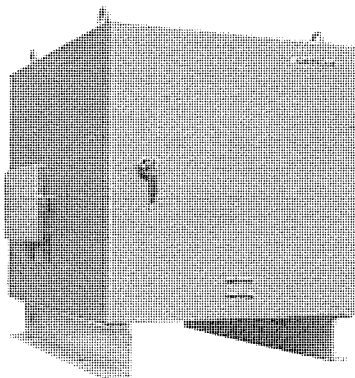


図 10. 中継装置の外観

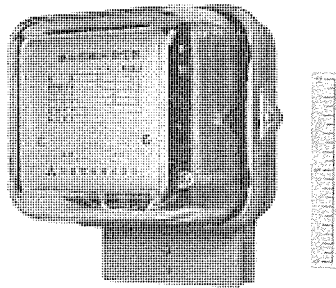


図 11. 単項目負荷制御用端末装置の外観

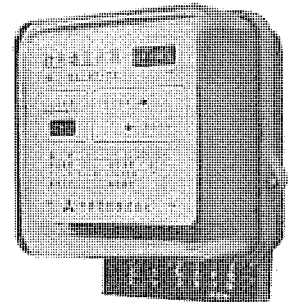


図 12. 検針用端末装置（端末エンコーダ方式）の外観

に実行し、制御の場合は所定の制御を行う前後の開閉状態を、また監視の場合は現在の開閉状態を中央へアンサバックする。その外観を図 10. に示す。

#### 5. 5 負荷制御用端末装置

負荷制御用端末装置は各家庭に設置される電気温水器の一括制御用受信器であり、変電所の送信装置からのリラルコントロール信号を直接受信する。温水器制御のみに限らず、クーラーその他を含めた多項目制御用端末装置も別途開発済みである。単項目負荷制御用端末装置の外観を図 11. に示す。

#### 5. 6 検針用端末装置

検針用端末装置は各需要家に設置され、自動検針の端末装置としての機能を有するものである。これには、端末装置自身に取引用電力量計の指示値と同じ値を積算記憶する端末エンコーダ方式と、取引用電力量計からの単位使用量ごとの信号を中継装置へ伝送して中継装置にて各需要家の指示値と同じ値を積算記憶する中継エンコーダ方式がある。端末エンコーダ方式の端末装置を図 12. に示す。

### 6. む す び

以上、当社における配電線搬送について紹介したが、配電線搬送に

よる配電自動化については、本文でも述べたように、実用化試験への緒についたばかりである。配電線は各電力会社にとって自社保有設備であり、搬送機器の設置・保守が自社で実施できること、監視・制御したい箇所には必ず敷設されていること、一括制御・個別制御も可能であること、及び双方向通信も可能であることなど、伝送路として魅力のある諸点を有している。

今後当社としては経済性の追求、実用化機器の検証に精力的に取り組む、実用化の早期実現を目指してまい(邁)進するつもりである。

#### 参 考 文 献

- (1) 山本ほか：配電線負荷情報の伝送に関する研究，九州電力研究報告 No. 76002 (昭 51)
- (2) 別府ほか：高圧配電線ならびに低圧配電線におけるデータ伝送基礎特性，電中研，研究報告 No. 175538 (昭 51)
- (3) 有賀ほか：配電線におけるデータ伝送試験結果，電中研，研究報告 No. 177519 (昭 53)
- (4) 有賀，荻野：低圧配電線における信号伝送特性の基本的検討，電中研，研究報告 No. 176062 (昭 53)

## 1. ま え が き

当社のオゾナイザは昭和47年に製品化し、昭和52年に省エネルギーを志向したOT-B、OS-Bシリーズを発売し、好評を博している。

従来から、オゾナイザは染色排水の脱色装置として、また下水処理装置の脱臭などに利用されているが、最近では主として尿処理場における3次処理装置としての用途が多い。

オゾナイザに対する市場の要求として装置価格の低減があげられる一方、より省エネルギー、省スペース、すべ(据)付工事期間の短縮を図るという経済性があげられる。

ここに紹介する新製品OT-B形オゾナイザは、このような市場の要求に基づいて開発設計されたオゾナイザである。従来のオゾナイザに比べ放電空けき(隙)長の縮小による冷却効率の向上が図られ、同時にオゾナイザとして最適な高周波定電流形インバータを採用している。この結果オゾナイザの全消費電力は約15%の低減を実現しており、一方オゾン発生容量4kg/hのオゾナイザにおいては設置床面積は当社従来機に比較し約1/2に低減している。

## 2. 構造と特長

### 2.1 オゾン発生器

工業的に大量のオゾンを生ずる場合、無声放電方式によるオゾナイザが広く利用されている。オゾナイザを構成する装置の中で、オゾン発生器は無声放電を生ずさせ、空気又は酸素からなる供給原料気体に含まれる酸素よりオゾンを生ずするための放電電極構造を有する極めて重要な構成要素である。図1.にオゾン発生器の電極構造の概略を示しているように、接地された円筒形の金属電極管(以下、接地電極管という)と内面にアルミを溶射し先端を封じたガラス電極管(以下高圧電極管という)とをスペーサによって一定の空隙長を保持するよう配置した構造をもっている。また、これらの両電極管間に交流高電圧を印加して無声放電を生ずさせ、放電空隙に十分乾燥した空気又は酸素を流し酸素の一部をオゾン化する構造のものである。この放電期間に発生する発熱の大部分は接地電極管の外側に流す水により冷却している。

オゾン発生器のオゾン発生に関する特性は一般に供給する原料気体の単位体積当りに含まれるオゾンの重量(すなわちオゾン濃度)と、放電電力 $W$ と供給原料気体の流量 $Q$ との比 $W/Q$ の2つの関係で示される。また、オゾンの生成効率率はオゾン収率と呼ばれ、単位投入

電力当たりのオゾン発生量として定義されている。

次にオゾン発生器の性能改善のためにはオゾン収率の向上が必要であり、このためにはオゾン収率に關与する諸条件の検討をしなければならない。以下にオゾン収率に影響を与える諸要因の概要を述べる。まず第1の要因は前述の $W/Q$ である。これは電極の構造、運転の条件(圧力、露点、冷却水温度など)が同じであれば流量 $Q$ を大きくして $W/Q$ を小さくする程オゾン収率は良いが、オゾナイザの周辺機器であるブロワ、空気乾燥装置などの補機容量が増大する。したがって、電極の構造、運転条件に適した $W/Q$ とすることによりオゾナイザ全体の電力を小さくすることができる。

第2の要因は放電空隙においてオゾンを生ずる放電化学的反応に適した放電を起こさせるための条件に關するものと逆にいったん生成したオゾンを分解してしまう要因となる気体温度に關するものがある。これらについて簡単に説明する。

(1) 放電の状態に關するパラメータは次のようである。

放電空隙長 $d$ 、放電空間内圧力 $p$ 及び原料気体の成分と含有水分 $D_F$ 。

(2) 気体温度に關するパラメータは次のようである。

放電空隙長 $d$ 、冷却水温度 $T_W$ 及び放電電力密度 $W/S$ 。ここで $W$ は放電電力、 $S$ は放電面積を示す。

原料気体が空気の場合は最大オゾン収率が極限に達する $p \cdot d$ (放電空隙長と放電空間内圧力の積)が存在する。最大オゾン収率は気体温度の影響の無い状態でのオゾン収率を表し、放電の状態のみにより決まる。また、放電空間内圧力は原料気体を供給するブロワの性能と生成したオゾンを使用するオゾン処理装置による制約から0.7~1.0 kg/cm<sup>2</sup>G程度が一般的に使用されている。この場合、放電空隙長の最適値は0.6~0.8 mmと考えられる。

原料気体が酸素の場合に、最大オゾン収率は放電空隙長が小さい程大きくなる。また、冷却効果は放電空隙長が小さい程大きい。しかし、放電空隙長は高圧電極管の材質、工作精度により制約される。このため、当社はガラス電極管を独自の技術により製作し、仕上り寸法精度を飛躍的に向上させることに成功した。同時に、接地電極管に高精度の引抜管を使用することにより放電空隙長を従来の半分以下とすることができた。このように放電空隙長を縮小した効果として、放電空隙部分での熱抵抗が半減した。それゆえ、接地及び高圧両電極管の対向部の単位面積当たりの放電電力、すなわち放電電力密度 $W/S$ を従来の2倍程度に高めても冷却水温度が20℃以下であれば、冷却水温度の影響は小さくなり、この結果接地及び高圧電極管本数を従来の約半分に減らすことができ、大幅な小形化を実現することができた。

実機における電極管本数はオゾン発生量により異なり、1つのかん(罐)体内に数十ないし数百本が収納されている。なお、オゾン発生器内部に両電極管を2組直列に配したタンデム方式を採用している。また、高圧電極管の導電膜の端部には電界を緩和し異常放電を防止する処置を施している。

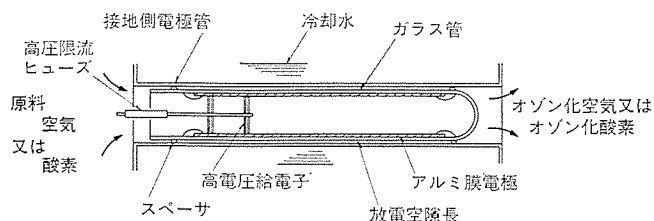


図1. オゾナイザ電極構造

一方、オゾナイザは用途上、1日24時間の連続運転が要求される。したがって、高い信頼性が必要である。このため、高電圧電極管1本ごとに高圧限流ヒューズを備え、万一高電圧電極管破損事故が発生した場合でも、局部的にヒューズによる回路シャ断が実施され、オゾナイザを停止することなく健全な高電圧電極管による連続運転が継続される。

## 2.2 空気乾燥装置

原料気体に含まれる水分はNOx生成を助長する働きがあり、結果的にオゾン収率を低下させる。したがって、露点は $-50^{\circ}\text{C}$ 以下でなくてはならない。このために加熱再生式空気乾燥装置を使用し、安定した性能が得られるように配慮されている。

## 2.3 高周波インバータ

オゾナイザの放電特性に適した高周波インバータを開発した。電気的特性として方形の電流波形が得られる定電流形インバータであり、この結果従来から実用されている正弦波電圧源に比べて1周期中の放電期間が長く、放電空隙で消費される電力が一定である。また、高周波電源で所定の放電電力を得るため放電電圧が低く、放電電圧波形の改善の効果と相乗して放電電流の集中が少ない安定したグロー状の均一な放電が得られている。図2.に放電波形を示す。

OT-E形オゾナイザ用のインバータは図3.のように構成されている。原理的にはオゾナイザの静電容量を利用して転流するとともに、コンバータの点弧を制御することにより起動用コンデンサなしで円滑に起動するように調整されており、回路が簡単である。

インバータの基本仕様を表1.に示す。定電流形インバータは誘導電圧調整器(正弦波電圧源)による電圧制御に比較して次のような特長がある。

- (1) オゾン生成に適した放電状態を作ることができ、オゾン収率が向上する。
- (2) 定電流制御をしているために、放電電力の安定な制御ができる。また、調整範囲が広く、応答速度が速い。この結果、オゾン濃度制御の精度、応答速度が改善され、効率良くオゾンを供給できる。
- (3) 力率がよいので電源容量が小さい。
- (4) 印加電圧が低く、高電圧電極管の寿命が長くなる。

構造的にはパネルタイプとして図4.に示すように、制御盤に内蔵する方式で装置全体の小形化を可能にした。

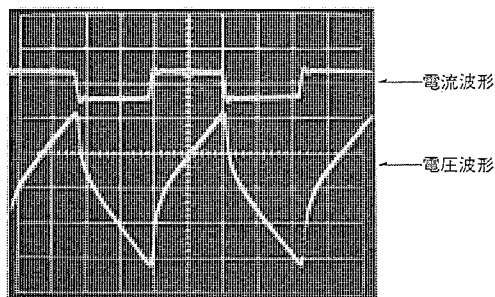


図2. 放電波形

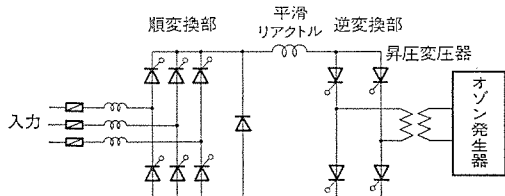


図3. オゾナイザ用インバータ回路構成

表1. インバータ基本仕様

項 目	仕 様
入 力 電 圧	200/220 V, 50/60 Hz
出 力 電 圧 (V)	500
出 力 周 波 数 (Hz)	1,000
発 生 量 制 御 範 圍 (%)	5~100
制 御 方 式	電流制御
冷 却 方 式	空 冷
電 源 力 率 (%)	85 以上

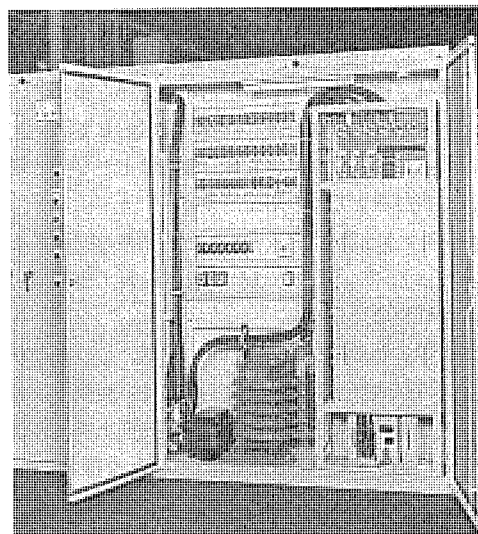


図4. 高周波インバータを内蔵したオゾナイザ制御盤

## 3. 省エネルギーの効果

### 3.1 オゾン発生特性

OT-E形オゾナイザの諸性能試験結果を図5.~図7.に示す。

#### (1) 冷却水温度特性

冷却水温度 $T_W$ に対するオゾン濃度 $C_{O_3}$ と $W/Q_N$ ( $Q_N$ :大気圧換算原料空気量)の関係を示す図5.のオゾン濃度 $C_{O_3}=20\text{ g/Nm}^3$ 近辺よりオゾン濃度が濃くなるに従って(すなわち $W/Q_N$ が大きくなるに従って)冷却水温度 $T_W$ への依存性が強くなってきている。しかし、一般的な稼働範囲である $C_{O_3}\leq 20\text{ g/Nm}^3$ 、冷却水温度 $T_W=15\sim 25^{\circ}\text{C}$ では3~4%程度のオゾン収率の変化しか示さないことが確認された。これは後述する放電空隙長の縮小効果によるものである。

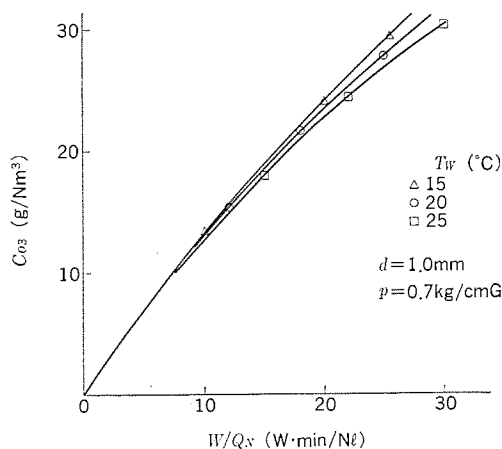


図5.  $W/Q_N$ とオゾン濃度 $C_{O_3}$ の関係  
(パラメータ: 冷却水温度 $T_W$ )

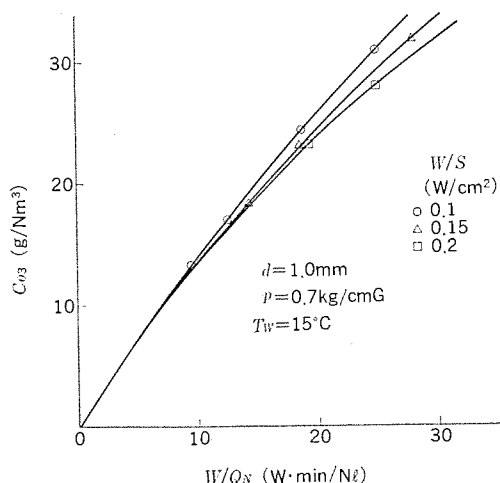


図 6.  $W/Q_N$  と オゾン 濃度  $C_{O_3}$  の関係  
(パラメータ: 放電電力密度  $W/S$ )

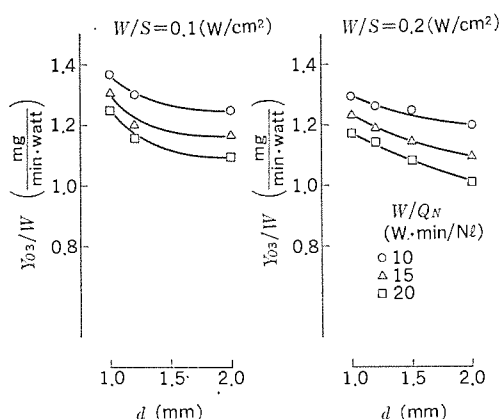


図 7. 放電空隙長  $d$  と オゾン 収率  $Y_{O_3}/W$  の関係

## (2) 放電電力密度特性

放電電力密度  $W/S$  に対する オゾン 濃度  $C_{O_3}$  と  $W/Q_N$  の関係を図 6. に示す。

商用周波 オゾナイザにおいて、放電電力密度の大きさは電極部の構造及び使用誘電体材料の耐電圧から制約され、 $W/S=0.1 \text{ W/cm}^2$  程度であり、 $W/Q_N=0\sim 20 \text{ W}\cdot\text{min/Nl}$  の一般的な実用範囲では  $W/S$  の影響は少なく、オゾン発生特性は  $W/Q_N$  によって決っていた。しかし、図に示すように、 $C_{O_3}\geq 20 \text{ g/Nm}^3$  で  $W/S\geq 0.2 \text{ W/cm}^2$  になると、同一オゾン濃度を得るために  $W/Q_N$  が増大し、オゾン収率の低下につながっている。この傾向は生成オゾン濃度が高い程、顕著に現われる。

したがって、 $W/S$  の増大はオゾナイザの小形化に直接関連する要因ではあるが、オゾン発生器の設計に当たってはこれらを十分に留意しなければならないことが確認された。

## (3) 放電空隙長特性

放電電力密度  $W/S$  の変化に対する放電空隙長  $d$  とオゾン収率  $Y_{O_3}/W$  ( $Y_{O_3}$ : オゾン発生量) の関係を図 7. に示す。

これらの結果より放電部の気体温度上昇に直接影響する  $W/S$  の増大は放電空隙長  $d$  の増大と相乗的に作用して、オゾン収率の低下をもたらしている。

放電空隙長  $d$  の縮小によりオゾン収率を向上させる効果は  $W/S$  が小さい領域で大きい。 $W/S\leq 0.2 \text{ W/cm}^2$  では  $d$  の縮小でオゾン収率は向上するが、その効果は  $d\leq 1.0 \text{ mm}$  で最大となる傾向にある。

当然ながら、 $W/Q_N$  の大きい程、すなわちオゾン濃度  $C_{O_3}$  が濃い程、放電空隙長  $d$  の影響を受けることが明らかとなった。

OT-E 形 オゾナイザではこれらの結果を勘案して放電空隙長  $d$  及び放電電力密度  $W/S$  を決めている。

なお、オゾン発生器内圧力  $p$  は  $p\cdot d$  としてオゾン収率に關与するが、前述のように装置上の制約より  $p=0.7 \text{ kg/cm}^3$  としている。

これらの結果より OT-E 形 オゾナイザではオゾン濃度  $C_{O_3}=20 \text{ g/Nm}^3$  で放電電力  $W/Y_{O_3}=13.7 \text{ kW}\cdot\text{h/kg}$  が、また  $C_{O_3}=16 \text{ g/Nm}^3$  で  $W/Y_{O_3}=13.1 \text{ kW}\cdot\text{h/kg}$  が得られている。これらの数値は他の諸条件を同一として、当社従来装置 (OT-B 形) に比較して、放電電力密度  $W/S$  の増大にもかかわらず、約 10% の効率の向上となっている。

## 3.2 消費電力

オゾナイザの全消費電力は正味の放電電力を得るための供給電力と空気乾燥装置、空気冷却装置及びブロワなど空気系統各装置の運転電力を合計したものとなる。

空気系統各装置の規模は供給原料空気量の増大に従い大きくなる。したがって、運転電力の増加につながる。しかし、オゾナイザにおいては、オゾン濃度を適切に決めることにより、放電電力と空気系統各装置の消費電力のバランスを図ることが可能であり、OT-E 形 オゾナイザにおいては図 8. に示すように全消費電力が最小となるオゾン濃度が存在する。この値は  $C_{O_3}=20 \text{ g/Nm}^3$  近辺となる。

表 2. に新旧 オゾナイザの消費電力を比較して示した。表からわか

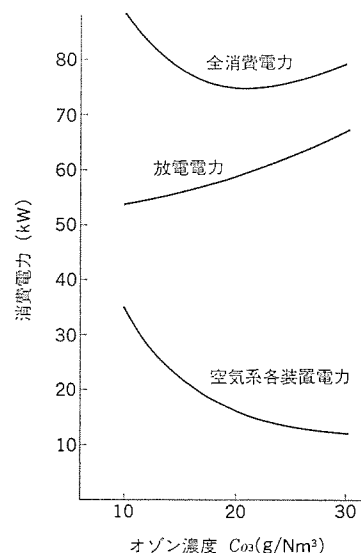


図 8. 消費電力と オゾン 濃度  $C_{O_3}$  の関係  
(オゾン発生量  $4 \text{ kg/h}$ )

表 2. 新旧 オゾナイザの消費電力の比較

項 目		形 名	OT-E	OT-B
構成機器	ブ ロ ワ (kW)		15	15
	空 気 冷 却 装 置 (kW)		2.2	3.7
	空気乾燥装置	ヒ ー タ (kW)	7.5	12
		再生ブロワ (kW)	—	1.5
消費電力	放 電 電 力 (kW)		58.9	63.2
	空 気 系 各 装 置 の 電 力 (kW)		15.9	24.8
	総 合 計 電 力 (kW)		74.8	88

備考 オゾン濃度  $20 \text{ g/Nm}^3$       オゾン発生量  $4 \text{ kg/h}$

ように、OT-E 形 オゾナイザでは全消費電力で約 15% の低減が実現している。

#### 4. OT-E 形シリーズ

オゾン発生器の構造改良、高周波インバータの採用と低圧加熱再生方式空気乾燥装置の組合せで省エネルギー化と小形化を実現した。

OT-E 形 オゾナイザはブロフ、空気冷却装置、空気乾燥装置、オゾン発生器、高電圧変圧器、高周波インバータ及び制御盤で構成されている。このシリーズでは、特にオゾン発生量 4 kg/h までの機種は共通ベースに組んだコンパクト形になっている。

そのフローを図 9. に示す。冷却系は熱交換器による間接冷却方式を採用している。

OT-E 形シリーズの標準仕様を表 3. に、コンパクト形標準仕様を図 10. に、また外観を図 11. に示す。

図 11. において、高周波インバータは制御盤に内蔵されており、従来別置きとなっていた力率改善リアクトル、誘導電圧調整器が姿を消している。

このオゾナイザの特長をまとめると次のとおりである。

- (1) オゾン発生に適した波形を有する電流形高周波インバータの採用で、放電面積当たりのオゾン発生量が約 2 倍になっている（当社商用周波オゾナイザ比）。
- (2) オゾン発生量の制御性が優れている。制御範囲は定格オゾン発生量の 5～100% であり、応答速度 0.1 s である。

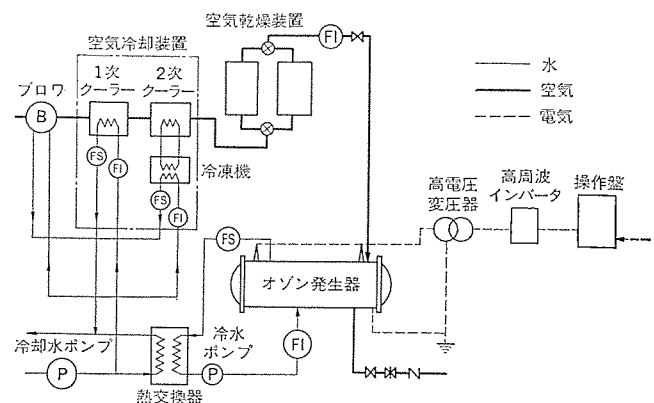


図 9. OT-E 形 オゾナイザフロー図

表 3. OT-E 形 オゾナイザ標準仕様

形 名	オゾン発生量 (kg/h)	原料気量 (Nm <sup>3</sup> /h)	冷却水量 (l/min)		消費電力 (kW)	電源容量 (kVA)
			オゾン発生器	周辺機器		
OT-1-E	1.0	50	64	29	22.6	34
OT-1.5-E	1.5	75	95	32	30.9	45
OT-2-E	2.0	100	127	37	39.7	57
OT-2.5-E	2.5	125	160	41	47.8	68
OT-3-E	3.0	150	195	43	56.8	80
OT-4-E	4.0	200	256	53	74.8	104
OT-5-E	5.0	250	318	90	94.7	130
OT-6-E	6.0	300	582	96	113.3	152
OT-8-E	8.0	400	510	147	151.3	210
OT-10-E	10.0	500	636	157	185.4	250
OT-20-E	20.0	1,000	1,270	305	373.6	470
OT-30-E	30.0	1,500	1,910	462	554.9	710

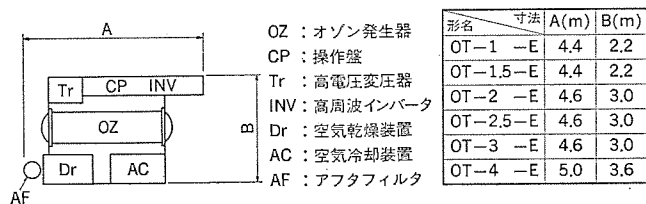


図 10. OT-1-E～OT-4-E 形 オゾナイザ配置図 (コンパクト形標準)

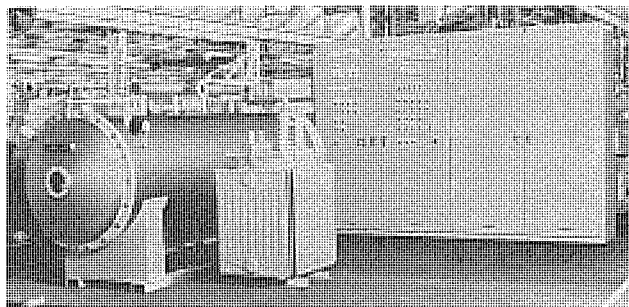


図 11. OT-E 形 オゾナイザ外観 (セパレートタイプ)

生量の 5～100% であり、応答速度 0.1 s である。

(3) 高圧電極管、接地電極管の寸法精度を向上させ、放電空隙長 1.0 mm を実現して、約 15% の省エネルギーを達成している（当社商用周波オゾナイザ比）。

(4) オゾン発生量 1～4 kg/h をコンパクト形の一体構造とし、オゾナイザの設置面積を 50% 低減した（当社商用周波オゾナイザ比）。

(5) 熱交換器による間接冷却方式を標準装備にして、冷却水によるオゾン発生器罐体腐食の懸念を皆無にすると同時に、下水 2 次処理水、し尿 3 次処理水などを冷却水として使用できる。

#### 5. む す び

新形高周波オゾナイザについて紹介した。オゾナイザは低濃度、低放電電力密度においてオゾン収率は高いものであるが、放電空隙長の縮小を図った結果、比較的高い放電電力密度の範囲においても高いオゾン収率が得られた。高い放電電力密度を得るため、オゾナイザに適した定電流形高周波インバータを採用した。また、比較的小容量オゾナイザにはコンパクト形の一体構造を採用した。その結果、大幅な省エネルギー化と省スペース化が実現できた。

今後の課題として、オゾナイザの省エネルギー化の要求はますます強まることは必至であり、同時にオゾンの用途の多様化が進むものとみられる。これらの要求に対して、

- (1) オゾナイザとしてオゾン発生器の構造の見直しと同時に、空気乾燥装置の高効率化など周辺構成機器の性能見直しを進める。
- (2) プラント全体の中でオゾナイザをとらえ、諸条件を考慮して最適のオゾナイザのフローを決定して設計開発することが重要になってくるものとみられる。(昭和 56-7-2 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) 田畑, 田中, 八木: 電気学会論文誌 97-B 11667 (昭 52-11)
- (2) 田畑, 八木: 電気学会論文誌 95-B 5249 (昭 50-5)
- (3) オゾナイザハンドブック, コロナ社 (昭 35)
- (4) 橘川, 今泉: 環境技術, 7, No. 9 (昭 53)

# 全日本空輸(株)向けとう乗載情報システム

村上雄一\*・林 博之\*\*・金子弘美\*\*・秋山 始\*\*・宮田文雄\*\*

## 1. ま え が き

近年、我が国の航空業界は大形航空機を使用した大量輸送時代を迎えてきている。それに伴い、航空会社の空港における旅客、手荷物、貨物などのとう乗載業務はますます複雑化してきており、業務の効率化が大きな課題となっている。

そのため、全日本空輸(株)ではかねてからとう乗載業務のコンピュータ化を計画し、三菱電機(株)ではその開発作業を進めてきたが、昭和55年6月19日より全日空とう乗載情報システム(ANA LOAD INFORMATION SYSTEM)の運用が東京、大阪、千歳、福岡の4空港で開始された。このシステムにより空港でのとう乗載業務が迅速に、正確にしかも効率的に行われるようになり、航空機の定時運航や安全性の向上に大きな威力を発揮している。

本稿では、この全日空とう乗載情報システムの概要とともに三菱電機(株)がこのシステムのために開発した各種端末装置について紹介する。

## 2. システム概要

ミニコンピュータと各種端末装置を空港内に設置し、それらをオンライン接続することにより空港における旅客・手荷物・貨物などの航空機へのとう乗載情報を一元的に管理することをこのシステムは目的としている。このシステムはとう乗券の自動発行や自動改札及び航空機へのとう乗載重量やとう乗載バランスの自動計算など多くの機能を備え、これまで手作業で実施してきた空港内のとう乗載に関する業務をコンピュータにより代行させ、作業の迅速化、正確化に寄与している。特に、航空業界としては世界で初めて採用したとう乗券の自動改札読取装置は、航空機へのとう乗の際、磁気コード付きとう乗券を読み取り、チェック及びカウントを行う装置であり、迅速性のみならず旅客サービスの点についても注目をあびている。

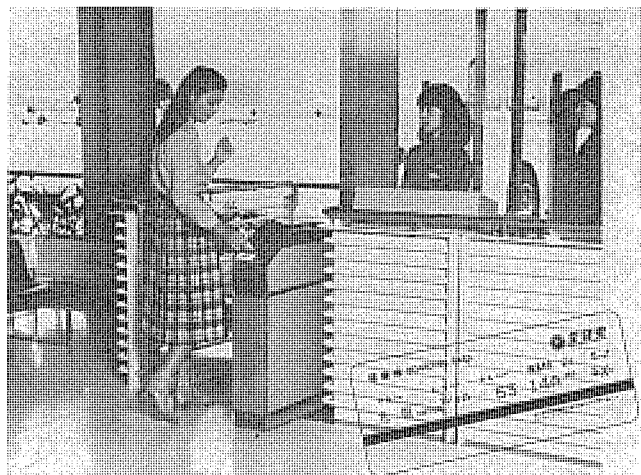


図 1. 空港における自動改札読取装置の使用状況及び磁気コード付きとう乗券の券面フォーマット例

図 1. に空港における自動改札読取装置の使用状況及びここで使用される磁気コード付きとう乗券の券面フォーマット例を示す。

### 2.1 システム構成

東京、大阪、千歳、福岡の4空港には《MELCOM 70/40》ミニコンピュータシステムが設置され、空港内の各部署には次の端末が回線により接続されている。

- (1) キャラクタディスプレイ装置 (CRT)
- (2) とう乗券発行装置 (BPP)
- (3) 自動改札読取装置 (AGC)
- (4) 受信専用プリンタ (ROP)
- (5) 情報表示テレビ (ITV)

また、各空港のミニコンピュータは東京に設置されているホスト計算機(予約/空港システム:《UNIVAC 1100/44》)と通信回線で接続されており、ホストシステムからのとう乗載に関するデータの受信やホストシステムの一部機能の画面照会を行っている。

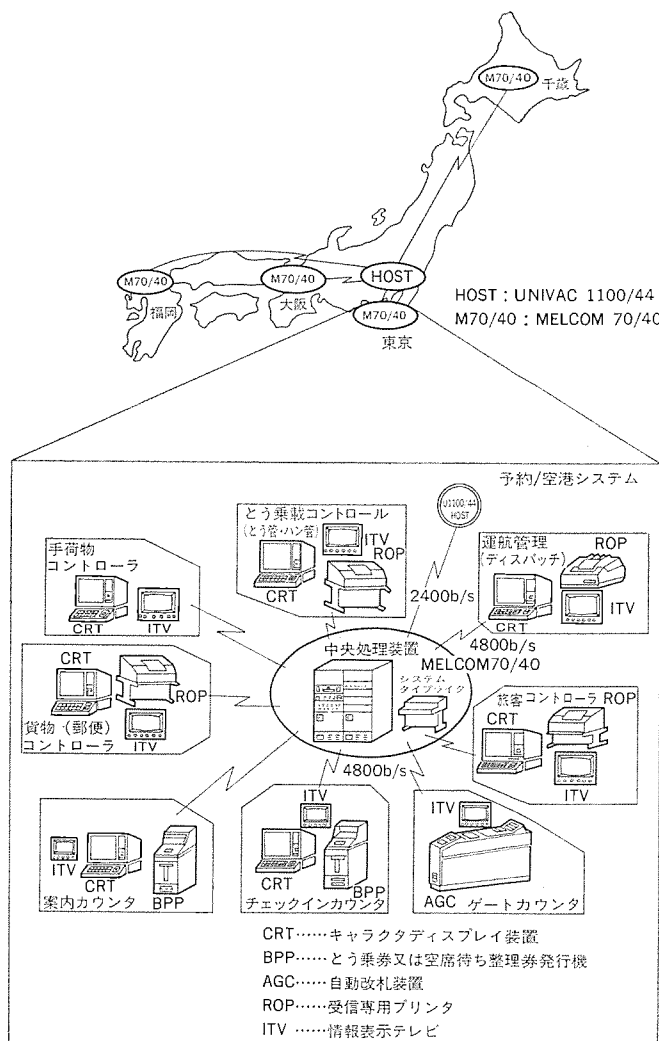


図 2. ネットワーク構成図

図 2. にシステムのネットワーク構成図を示す。

ミニコンピュータシステムは、《MELCOM 70/40》中央処理装置と M 2883-23 固定ディスク装置（記憶容量20 メガバイト(MB)）及び B 6850 回線制御装置 (CC 50) とから構成されている。固定ディスク装置は 2 台構成で、常に 2 台のディスク内容を一致させる（ミラーモード）ことにより信頼性を高めている。また、東京と大阪は 2 台の中央処理装置を設置し、1 台がオンライン系、他の 1 台が待機系という 2 重系（デュプレックス方式）で構成されている。

図 3. に東京及び大阪のミニコンピュータシステムのハードウェア構成図を示す。

ソフトウェアは、UOS (UNIVERSAL OPERATING SYSTEM) と呼ばれる《MELCOM 70》ミニコンピュータシリーズ上のはん用管理プログラムのもとで、各種端末やホスト計算機からのメッセージ処理を行っている。処理されたとう乗載情報結果は入力端末に回答として表示

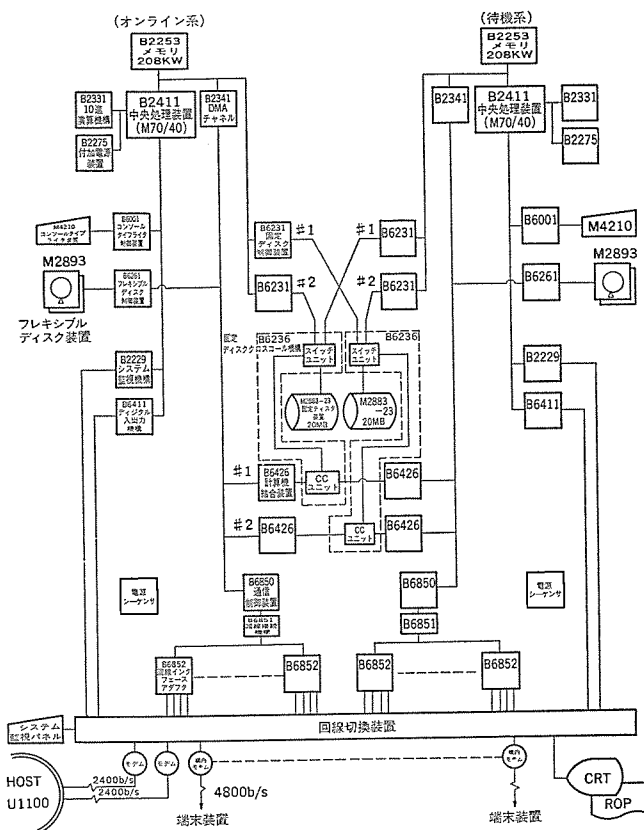


図 3. ハードウェア構成図

されるとともに、他の CRT や ITV, ROP に対しても同時に連動表示される。

図 4. にソフトウェア処理の流れの概略図を示す。

## 2.2 システム機能

システム機能は旅客管理機能、とう乗載重量・バランス計算機能及び運転管理機能に大別される。以下に各機能の概要を示す。

### 2.2.1 旅客管理機能

旅客管理機能にはチェックイン処理機能、ゲート処理機能及びその他の旅客コントロール処理機能がある。

チェックイン処理機能は当システム業務処理の中核を成す機能の1つであり、CRT から入力されたメッセージに対して座席をアサイン（割当て）して磁気コード付きのとう乗券を指定された席数だけ発行する処理である。とう乗券を発行する際の座席アサイン方法にはいくつかの種類があるがそのうち主なものを紹介する。

#### (1) 自動アサイン発行

CRT からのワンタッチの入力で、座席配置上のバランスを考慮して最適な座席をアサインして発行する。

#### (2) 種別指定アサイン発行

前方座席指定、通路側座席指定、禁煙座席指定など指定された座席範囲の中で座席配置バランス上最適な座席をアサインして発行する。

#### (3) リクエストアサイン発行

入力された座席番号の座席をアサインして発行する。

#### (4) 同行旅客アサイン発行

2人以上14人までの同行旅客に対してまとまった座席をアサインして発行する。

#### (5) 接続便座席アサイン発行

行先空港で他の便に乗継ぐ旅客に対して、その接続する便の座席をアサインして発行する。

とう乗券を発行する端末の CRT 画面上には扱う便の座席のチャートが表示されていて、自端末での発行ばかりでなく他の端末からの入力によって発行された座席についてもリアルタイムにチャートに反映する。それによりオペレータはその便のチェックイン状況が一目では(把)握できるように考慮されている。また、最新のチェックイン旅客数は ITV を通して他の部署にもリアルタイムに反映される。

図 5. にチェックイン時の CRT 画面の座席チャート表示例、図 6. に ITV 画面の表示例を示す。チェックインの処理性能面では、1 秒当たり 2 件のチェックイン処理と CRT からの発行要求入力に対する 2 秒以内の応答を保つよう設計されている。

ゲート処理機能は AGC からの入力処理を行う機能である。BPP に

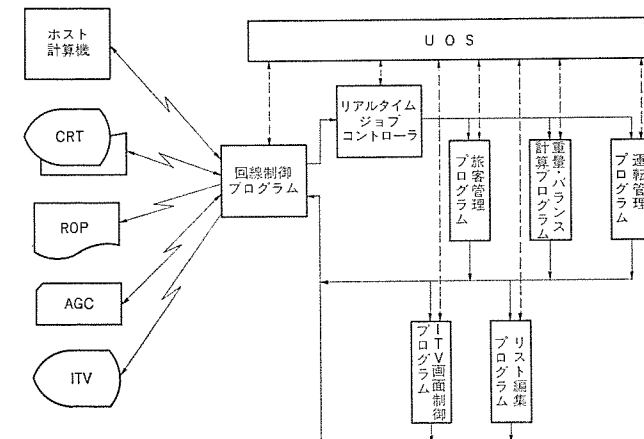


図 4. ソフトウェア処理の流れの概略図

AQB	B-	243	TYCFUK/	B4-8133	(8133)	0725	( )	IRG	( )	FLT	( )
RSV	SLB	CHK	CHD	INF	RMN	ZU1	2A2	ZB3	ZC4	ZE6	GL
FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EY	47	500	61	0	0	439	6	10	8	6	11
CNX	SEA	CHK	INF	CNX	SEA	CHK	INF	CNX	SEA	CHK	INF
	121	2	0	0	405	9	0	0	0	0	0

U1	U6	1	10	20	30	40	50	60
K	...	00	000	000	...	NN	NN	NNNN
J	...	00	000	000	...	NN	NN	NNNN
H	...	0	000	...	NN	NN	NNNN	NNNN

G	0	NN	NNNN	NNNN	NNNN	NNNN	NNNN	NNNN
F	0	NN	NNNN	NNNN	NNNN	NNNN	NNNN	NNNN
E	00	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
D	00	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN

C	00	0000	NN	NNNN	NN	NNNN	NNNN	NNNN
B	00	000	NN	NNNN	NN	NNNN	NNNN	NNNN
A	00	00	NN	NNNN	NN	NNNN	NNNN	NNNN

図 5. チェックイン時の CRT 画面の座席チャート表示例 (ボーイング 747 SR の例、N : 禁煙席、O : 一般席、P : 団体予約席、B : 乗継乗客のための予約席、. : チェックイン済み席)

FLT	POS	SLB	SNM	BCD	HTF	STR	WAG	FWK
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100	100	100

図 6. ITV 画面表示例 (旅客のチェックイン状況及びとう乗状況, 貨物, 手荷物及び燃料のとう載状況を示す)

より発行されたとう乗券には磁気情報が付加されており, AGC ではこの情報を読み取り, 便名や行先などのとう乗券の有効性のチェック及びとう乗者数のカウントを行う。カウントされたとう乗者数の最終結果は航空機が離陸する際の重量や重心位置の計算の基礎データとして用いられる。

その他の旅客コントロール機能としては次のものがある。

- (1) 団体旅客の登録機能  
団体旅客やVIPのような特殊旅客を登録して, チェックインによる自動座席アサインが行われる前にも座席を確保できるよう配慮した機能である。
- (2) 予約情報の取得機能  
CRTからの入力によってホストシステムの1つである予約システムより最新の予約数をこのシステムに反映させる機能である。
- (3) 接続便の座席割当機能  
乗継客に対する座席の確保をする機能であり, 行先空港で接続する便の座席の登録を行う。また, 登録は運航スケジュールに合わせて月間単位で行うことも可能で, その場合は毎日の運航便に対して自動的に登録が行われる。

### 2.2.2 とう乗重量・バランス計算機能

航空機のとう乗載情報には旅客のほかには貨物や手荷物の情報があり, これらもCRTからのオペレータの入力によりシステムに反映される。システムにおいて処理されたこれらのとう乗載情報データはITVを介してリアルタイムに空港内のそれぞれの部署に伝達される(図6.参照)。旅客を含めこれらのとう乗載情報の入力があると, とう乗載重量ととう乗載位置より航空機の全重量及び重心位置を計算し, 安全運航のための許容値とのチェックを行う。この機能が重量・バランス計算機能(WEIGHT AND BALANCE機能)であり, このシステムの中ではチェックイン処理機能とともにソフトウェアの中核機能の役割を担っている。

重量・バランス計算機能の主な処理には次のものがある。

- (1) ホストシステムの1機能である飛行計画システムより運航する航空機の重量・バランスに関する諸元データやとう載燃料の情報を取得する。
- (2) とう乗載重量の予想入力があると最適バランスのとう載位置を計算して指示する。
- (3) 旅客や貨物などのとう乗載実績入力があると重量・バランス計算と許容値とのチェックを行い, 結果をCRTへ表示する。許容値とのチェックで異常があった場合はCRTのほかはITVやROPに警告表示を行い, オペレータに注意を促す。

FINAL WEIGHT AND BALANCE LIST									
F0053 A- JA8133 RJTT-RJCC					24/04/81 (06:14) NR=D				
WT INDEX									
1. ATOW(1) = 570800					MTOW = 574000				
2. O.E.W. = 363000 + 266					LDLT = 618000 MLGW = 564000				
3. ADNL = 0					ZFLT = 604500 MZFW = 526500				
4. (2)+(3) = 363000 + 266					TOLT =				
5. FUEL = 78000					BOF = 54000				
6. WT+FUEL=441000					PTOW = 550000				
7. A.C.L. = 129800									
OTHER = 0									
BCM									
8. PAX-500 = 75000					PAX NR GRPCH SPCIL-GRP				
9. BCM TTL = 46300					F-1 = 6200				
11. PAYLOAD = 121300					F-2 = 11000				
12. Z/F WT = 484300					A-1 = 15400				
13. TAXI WT = 562300					A-2 = 11300				
15. L/D WT = 508300					BUL = 2400				
					ZU = 20 (0) (0/0)				
					ZA = 48 (0) (0/0)				
					ZB = 78 (0) (0/0)				
					ZC = 115 (0) (0/0)				
					ZD = 92 (0) (0/0)				
					ZE = 146 (0) (0/0)				
					TTL = 500 (0) (0/0)				
					CHTTL = 0				
					INFTTL = 28				

図 7. 重量・バランスリストの例

- (4) 1つの便のとう乗載実績入力がすべて完了すると重量・バランスの計算結果を自動的にROPにプリントアウトする。

図7.に自動出力される重量・バランスリストの例を示す。

出力されたリストの情報は航空機上の乗員に伝達され, 離陸の際の計器設定のためのデータとして用いられる。したがって, この機能は航空機の安全運航に重要な役割を果たしているものである。

### 2.2.3 運転管理機能

このシステムは1日24時間及び1年365日間を無休運転している。また, 1日の運転を4ステータスに分けて管理している。すなわち, 1日の運用業務が開始する前に必要なデータを準備する業務準備ステータス, オペレータの入力でとう乗載情報を処理する業務処理ステータス, 1日の運用業務終了後日報を作成したり翌日や翌々日の便の情報を作成する業務終了ステータス, 及びシステムの監視のみを行う非業務ステータスである。これらの各ステータスは初期設定された時刻によりオペレータの介入なしに自動的に切り替わり, システムとして無人化運転を行っている。

このように無休無人化運転を行っているためだけでなく, システムの中断が航空機の遅延や欠航を招いたり, また安全性を脅かすものであるため, システム監視機能や障害対策機能には十分な配慮がなされている。以下にそのいくつかを紹介する。

#### (1) 2重系運転

システム構成として中央処理装置や固定ディスクは2重系となっている(中央処理装置は東京, 大阪のみ)。これらの中央処理装置や固定ディスクは常時監視状態にあり, 1方に障害が発生すると自動的に切り換えや切離しを行い運転が継続できるような監視機能を備えている。

#### (2) 分散形システム

ホストシステムとは回線接続され, 各種データを取得しているが, ホストが障害を起こしてもこのシステムとして支障がないようにホストを代行する機能を備えている。

#### (3) 端末や回線の診断機能

端末や回線の診断や接続, 切離しをオンライン中に行う機能を持っている。更に端末が障害となっても, 他の端末へ代行できる機能も備えている。

#### (4) データリカバリ機能

万一システムが停止した際でも再立上げ後1~2分でシステム停止前の状態にデータ処理をリカバリする機能を備えている。

### 3. 端 末 装 置

2.1 節で記述したように、このシステムでは各種端末装置をオンライン接続している。ここではその中でこのシステム用に開発あるいは改良した端末装置について紹介する。

#### 3.1 M 2347-01/02 ディスプレイ装置 (CRT)

M 2347/01 形 CRT はチェックインカウンタに設置され、とう乗券を発行する際の入力装置として用いられる。装置は表示部、制御部、操作



図 8. M 2347-02 形 CRT 外観

表 1. 端末装置概略仕様

M 2347-01/02 CRT	
表示文字数	2,000 字 (80 字×25 行)+48 字
文字表示方式	7×9 (タテ×ヨコ) ドットマトリクス
表示字種	128 種
表示色	赤, 緑, 白 (3 色)
通信方式	ベーシックボーリング方式
通信速度	4,800 b/s
誤り検出方式	水平・垂直パリティチェック
フォーマット機能	1 文字単位の色指定, ブリンク (1 Hz, 3 Hz) 指定
キーボード	多文字発生キー, キー入力確認音
M 2277 AGC	
処理能力	70 人/分
磁気記録	FM, 1トラック, 記録密度 55 bpi
読取方法	表裏前後 4 方向
通信方式	ベーシックボーリング方式
通信速度	4,800 b/s
読取項目	便名, 月日, ゾーン別, クラス別, 経由など
カウント表示項目	大人, ファースト, 幼児, ゾーン別
M 2257 BPP	
印字方式	ワイヤドットマトリクス方式 (18 ピン)
印字時間	0.38 秒/券
発券時間	0.65 秒/券
文字種	大文字 6×5.6 mm 18×24 ドット (ハーフドット) 中文字 3×3.5 mm 9×16 ドット (ハーフドット) 小文字 2.3×1.8 mm 7×8 ドット (ハーフドット)
インクリボン	カセット式, 黒
磁気エンコード	記録方式 FM, 1トラック, 記録密度 55 bpi
券サイズ	57.5 mm (H)×139.7 mm (W)
ホッペ容量	1,000 枚
印字項目	とう乗券: 行先, 便名, 月日, 座席番号, 種別, ゾーン別 空席待整理券: 行先, 整理番号, 月日, スカイメイト

部に分割されており、カウンタに設置しやすい構造となっている。表示部は最大 2,048 文字がカラー (赤, 緑, 白) 表示でき、特に座席チャート表示のため 1 文字単位の色指定が可能となっている。制御部はセンター (ミニコンピュータ) とのデータの送受信、画面編集などを制御するマイクロプロセッサのほか、BPP を接続するためのインタフェースを備えている。操作部は、チェックイン業務を能率的に行うため、前方、通路、禁煙、幼児同伴、SM (スカイメイト)、発行など多数のファンクションキー (多文字発生) を備え、ワンタッチ操作によるキー入力を可能としており、またキー入力確認音により入力の確認もできるよう配慮されている。

M 2347-02 形 CRT は、カウンタ以外の部署に設置されるスタンダード形の装置で、旅客コントロールや貨物、手荷物のとう乗情報への入力に使用される。装置の主要機能は M 2347-01 形 CRT と同一であり、ROP を接続するためのインタフェースを備えている。

図 8. に M 2347-02 形 CRT の外観、表 1. に CRT の概略仕様を示す。

#### 3.2 M 2277 形自動改札読取装置 (AGC)

M 2277 形 AGC はゲートカウンタに設置され、旅客によりとう乗券 (以下券と略称する) が投入口に投入されると券が搬送され、券上の磁気ストライプに記録された磁気情報を読み取り、券の有効性のチェック、ファーストクラス、エコノミークラス、幼児、ゾーン別などの判別を行い、有効券に対してはカウントと使用済加工として穴あけを実施する。また、カウントデータをセンターに送信し、センターからの応答をオペレータに知らせるなどの処理を行うオンライン機能及び装置単独でその機能を発揮するオフライン機能を有する。

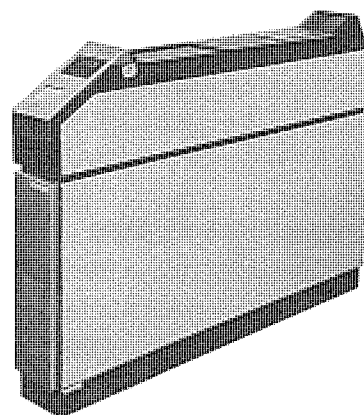


図 9. M 2277 形 AGC 外観

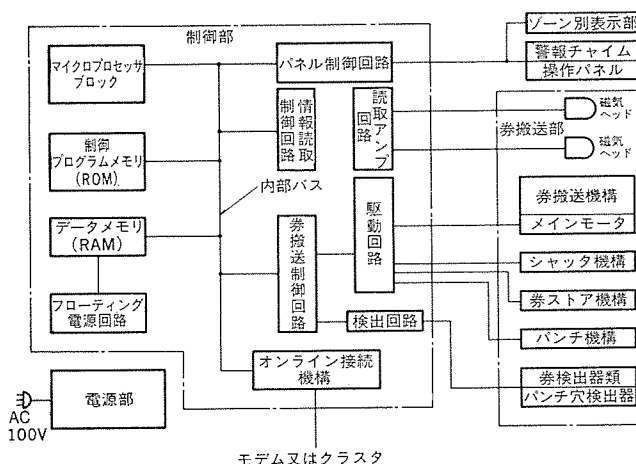


図 10. M 2277 形 AGC ブロック図

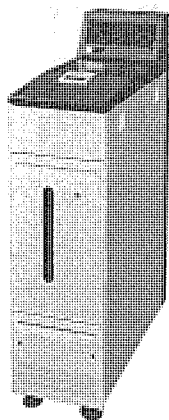


図 11. M 2257 形 BPP 外観

図 9. に M 2277 形 AGC の外観を、図 10. にブロック図を示す。AGC は券搬送部、制御部及びオンライン接続機構から構成されている。以下に各部の概要を説明する。

#### (1) 券搬送部

投入口から投入された券を読取部を経由し、取出口まで高速及び確実に送るブロックである。読取部は2個の磁気ヘッドパンチ穴検出器などよりなり、ここでは券が使用済みであるかどうかを検出し、更に券上の磁気ストライプ上に書込まれている磁気情報を読取る。磁気ヘッドは券が投入口に表裏前後4方向で投入されることを考慮した構造となっている。更に異常券が投入された場合など、次の券の投入を防ぐために投入口にはシャッター機構、読取済みであることを表すパンチ穴をあけるパンチ機構が付いている。

#### (2) 制御部

主制御は内蔵プログラムによるマイクロプロセッサ制御により行われ、券搬送制御、磁気情報の判定、データの集計などを行う。エコノミー/ファースト/幼児/ゾーン別に集計されたデータはRAM(Random Access Memory)に蓄積される。このRAMには低消費電力のICを使用し、また停電時はフローティング電源回路から供給されるバッテリー電源によりデータの消去を防いでいる。

#### (3) オンライン接続機構

センターとAGC間のデータ送受信を行う部分で、データのエラーチェックや伝送制御などを行う。

表 1. に AGC の概略仕様を示す。

### 3.3 M 2257 と乗整理券発行装置 (BPP)

M 2257 形 BPP はチェックインカウンタに設置され、とう乗券及び空席待整理券を発行する装置である。とう乗券には行先、便名、月日、座席番号、備考、種別、(ファースト、エコノミー、割引など)、ゾーンなどの印字と AGC で読取れる磁気情報記録を行う (図 1. 参照)。空席待整理券には行先、月日、番号などを印字する。

図 11. に M 2257 形 BPP の外観を、図 12. にブロック図を示す。

この装置は M 2347 形 CRT に接続され、センターから CRT 経由で送られてくるデータを受信し、発券を行う。構成は印字部と制御部とからなり、機構的にはホッパに積まれたとう乗券又は空席待整理券 (以下券と略称する) を1枚ずつ給紙する部分と CRT から受信したデータに基づき、印字及び磁気記録を行う部分と更に券を排出する部分とから構成されている。

券は昇降式ホッパとフリクションローにより自動給紙される。ホッパは1,000枚の容量を持ち、上から順次処理される。ホッパ部の直後には、

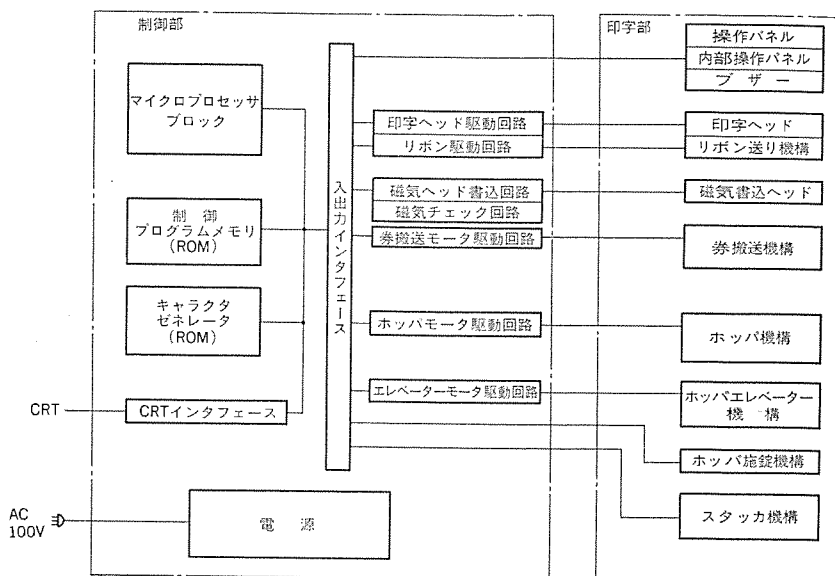


図 12. M 2257 形 BPP ブロック図

券が2枚以上同時に給紙された場合に、1枚ずつ分離する2重送り防止機構を設けてある。

印字部は18組のワイヤとソレノイドからなる印字ヘッドで文字を印字し、磁気ヘッドで磁気書込動作を行う。これらの動作と並行して、券はシャッターを通過し、スタックへ排出される。なお、エンドレスのインクリボンは印字動作時のみリボン送り動作を行う。

制御部は次の4機構で構成されている。

- (1) 受信データの解析、編集、各機構部の制御などを行うマイクロプロセッサブロック
- (2) 制御プログラムを内蔵するROM (Read Only Memory) より構成される制御プログラムメモリ
- (3) 英数字、漢字などの文字パターンを記憶するROMよりなるキャラクターゼネレータ
- (4) CRT からデータを受信したり、各種ステータス信号をCRTに送出するためのインタフェース

表 1. に BPP の概要仕様を示す。

## 4. む す び

このシステムは4空港における(稼働開始以来順調に稼働を続け、迅速性、正確性及び安全性が求められる航空機のとう乗載業務をコンピュータにより一元化したシステムとして極めて大きな評価が得られている。また、当初の設計値であった1秒当たり2件のチェックイン処理も十分保たれ、新しく開発したAGCにおける旅客の通過も極めてスムーズに運用されている。

今後は第2段階として4空港以外の空港への展開も予定されているが、将来は全日本空輸(株)の持つ他システム(予約システム、空港情報システムなど)との整合性を図り更に高度なトータルシステムとして研究を重ねていく予定である。

なお、このシステムを含めた全日本空輸(株)の総合情報オンラインシステムは、昭和55年度情報化週間に当たり情報化週間推進会議より優秀情報処理システムとして表彰を受けた。

最後に、このシステムを開発するに当たり御指導、御協力いただいた全日本空輸(株)をはじめとする関係者各位に深く感謝の意を表する。

# 国際規格G3適合高速感熱ファクシミリ《MELFAS 550》

加藤 雅敏\*・木野 茂徳\*・今中 良史\*・永田 良浩\*・大原 彰\*\*

## 1. ま え が き

画像情報の優れた通信手段であるファクシミリは、電話回線を用いた一般事務用ファクシミリを中心に、ここ数年来急速に普及してきている。また、最近注目をあびているオフィスオートメーション(OA)においても、ファクシミリは重要な役割を果たすものとして期待されている。

国際的な規格標準化についても、G1(A4判電送時間6分の低速機)、G2(3分の中速機)に続いて、G3(1分以下の高速機)の規格も決まり、異なるメーカーの装置間でも交信できるようになった。

ここに紹介する新製品《MELFAS 550》は国際規格G3に適合しており、標準原稿を約20秒で電送できるファクシミリである。また、当社独自の高速モードを備えており、10秒台の電送も可能にしている。記録部には、ランニングコストの安い感熱記録を採用し、信頼性、経済性に優れている。

## 2. 特 長

《MELFAS 550》の外観を図1.に、主な仕様を表1.に示す。

主な特長は次のとおりである。

### (1) 国際規格G3適合

デジタル高速ファクシミリの国際規格G3に適合しており、帯域圧縮方式としてMR(2次元)とMH(1次元)の両符号化方式を装備している。そのため、G3規格適合機との相互交信や国際通信が可能であり、標準原稿を約20秒で高速電送できる。

### (2) 10秒台電送可能な高速モード

電送時間を短縮する高速モードを装備しているため、G3規格のMR符号化方式よりも約20%速く電送できる。更に、自動誤り再送機能により回線の状態に関係なく常に忠実な画像を再現できる。

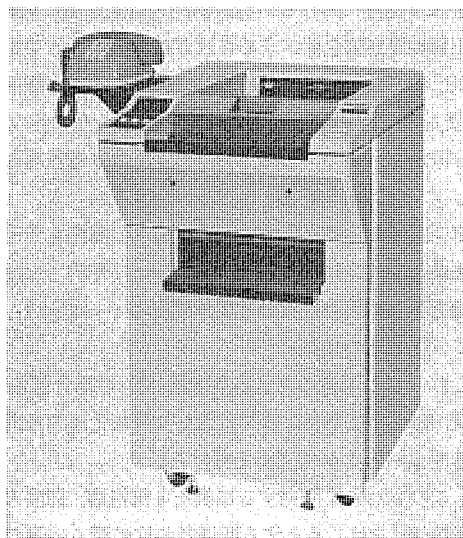


図1. 《MELFAS 550》の外観

表1. 《MELFAS 550》の主な仕様

使用回線	加入電話回線、2線式専用回線(D-1, D-3)
伝送速度	9,600/7,200/4,800/2,400 b/s 自動切換え
走直線密度	(主) 8本/mm (副) 7.7, 3.85本/mm
電送時間	約20秒(B4判標準原稿 9,600 b/s)
送信原稿の大きさ	最大幅 297mm (JIS A3相当) 最大長 約2m
有効走査幅	読取 256mm (JIS B4相当) 記録 256mm
記録紙サイズ	257mm×100mm 巻ロール紙
受信機カット方式	原稿長に合わせてオートカット。原稿長が160mm以下の場合は160mm。
帯域圧縮方式	G3規格MR(2次元)及びMH(1次元)
読取方式	CCDによる固体電子走査
記録方式	サーマルヘッドによる感熱記録
寸法	900(高さ)×540(幅)×680(奥行)mm
重量	約75kg
消費電力	動作時 平均 300VA 待機時 45VA

### (3) 感熱記録方式の採用

記録部には、ランニングコストが安く、経済性に優れた感熱記録方式を採用している。10秒台電送を実現するため、新たに高速記録用のサーマルヘッドを開発し、更に温度シミュレータによる熱制御方式を採用している。この結果、5ms/ラインという従来にない高速記録にもかかわらず、鮮明な記録画像を得ることができる。

### (4) 高性能読取信号処理方式

原稿読取部では、原稿の画像情報を忠実に、また高品質で読取るため、次のような読取信号処理方式を採用している。すなわち、イメージセンサの感度ばらつきなどに起因する画信号レベルの不均一性の補正、アパーチャ効果などに起因する解像度劣化の補正、地色のある原稿の背景濃度補正、及びコントラストの低い原稿に対する補正などの処理を行っている。この結果、常に良好な画像を得ることができる。

その他、《MELFAS 550》はポーリング機能、自動受信機能、電話呼出し機能、自動縮小機能、発信元コード印字機能などの多くの機能を備えている。

## 3. 構成と動作

《MELFAS 550》の構成を図2.に示す。《MELFAS 550》は原稿読取部、帯域圧縮部、記録部、シーケンス制御部、回線インタフェース部から構成されるフロア形の送受兼用機である。

次にその動作を説明する。送信側で原稿を原稿台に入れると、自動的に読取位置まで搬送し、けい光灯が点灯した後、原稿は停止する。送信者は動作モードを選択し、スイッチを切換えてから、受信端末をダイヤルして呼出す。受信側からトーン信号(CED)が返送されてきたことを確認し、ファックススイッチをONすると、国際規格G3の

伝送制御手順に従って制御信号を交信した後、原稿の送信を開始する。原稿上の画像情報は原稿読取部で電気的2値信号に変換される。この2値信号は帯域圧縮部で符号化され、シーケンス制御の指令に従って変調器、網制御装置 (NCU) を経て電話回線へ送り出される。受信側では、電送されてきた信号を復調器で復調し、更に帯域圧縮部で復号化した後、記録部で感熱記録紙上に画像情報を再現する。受信が終了すると、受信記録紙は自動的にカットされ、回線が切断される。

以下、各部の動作について詳しく述べる。

### 3.1 原稿読取部

原稿読取部は、原稿搬送系、光電変換系、読取信号処理系で構成している (図2.)。

原稿搬送系は積重ねた原稿を順次読込む自動給紙機構 (50枚まで可能)、原稿幅を検出する原稿幅検出機構、原稿の排出方向を決める原稿前出し、後出し切換機構などからなる。また、内蔵式の原稿台 (トレイ) 採用によるスペースの節約、除電ブラシによる原稿の帯電防止などの配慮もしている。

光電変換系は原稿照明用の2本のけい光灯、小形レンズ及び読取画素数2,048のCCDイメージセンサからなり、B4判原稿の短辺 (256mm) を8ドット/mmの解像度で読取る。

読取信号処理系は原稿読取部の主要部であり、良好な画質を得るために、光電変換系で得た画像信号に対し、以下に述べるユニフォミティ補正、背景濃度とコントラスト補正、アパーチャ補正などの処理を行う。

#### 3.1.1 ユニフォミティ補正

光電変換系で得た画像信号は、けい光灯の両端部の減光、レンズの周辺減光、CCDイメージセンサの感度ばらつきなどのため、レベルが不均一である。これらの不均一性を一挙に取除くのがユニフォミティ補正回路である。補正は原稿読取開始前に補正信号を1画素単位で自動的に作成し、この補正信号で図3.の増幅器の利得を制御して行う。補正信号は次のように作成する。補正用の全白を複数回走査し、その間に増幅器の出力と一定レベル $V_0$ を1画素単位で誤差検出器で比較する。増幅器の入力電圧を $V$ 、利得を $A$ とすると、誤差検出器及び補正信号発生器において、 $V \times A = V_0$ を満たすように1画素単位で $A$ を決定し、RAMに補正信号として、デジタル信号の形で記憶する。また、不均一性は時間的に徐々に変化するため、原稿1枚ごとに補正信号を作成する。

ユニフォミティ補正回路を設けたことで、光電変換系で得た画像信号に含まれる $\pm 10\%$ 程度の不均一性は、常に全白レベル( $V_0$ )の $\pm 0.5\%$ 程度の精度で補正され、均一な画質が得られる。

#### 3.1.2 背景濃度及びコントラスト補正

読取原稿には、灰色や黄色がかった地色を持つ (背景濃度の高い) ものや、文字が淡くコントラストの低いものなどがある。これらは受信画の地が汚れたり、文字がかすれたりする原因となるため、背景

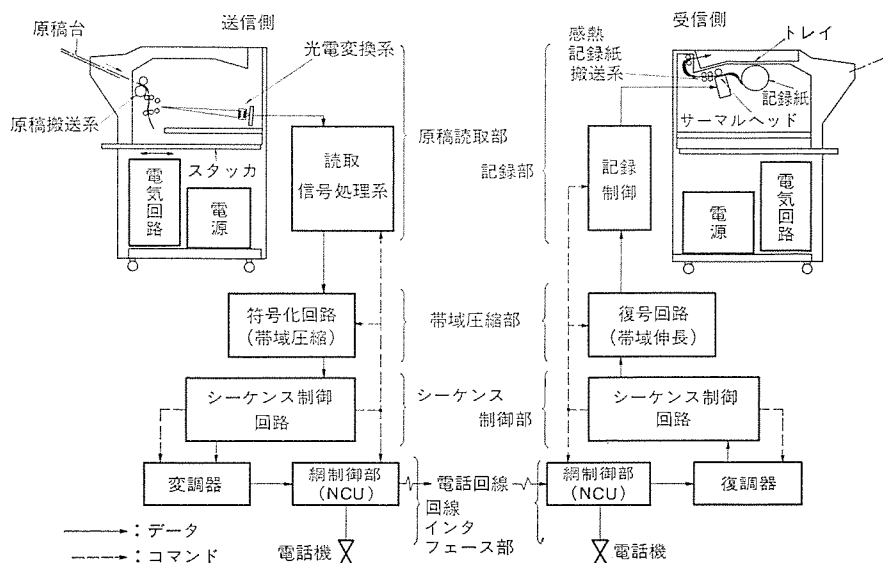


図2. 《MELFAS 550》の構成

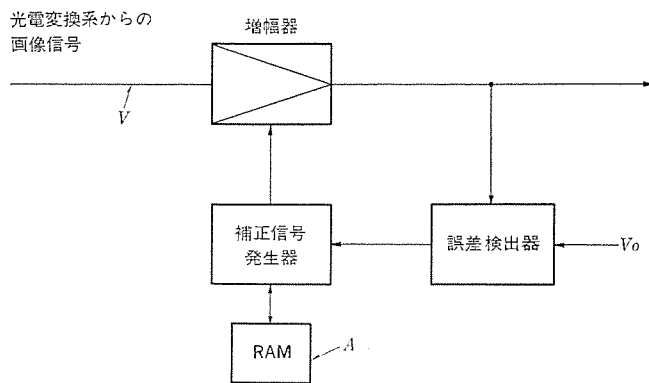


図3. ユニフォミティ補正回路

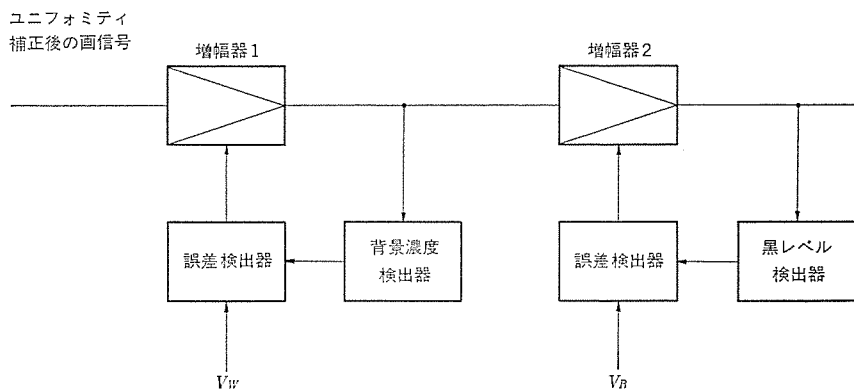


図4. 背景濃度及びコントラスト補正回路

濃度及びコントラスト補正を行っている。ユニフォミティ補正後の画像信号から背景濃度を検出する場合、読取原稿の両側の原稿読取ガイドの白部分を除く必要がある。そこで、図4.の背景濃度検出器では、適当な放電定数を持つピーク検出回路を設け、両端の白部分を除いた原稿の背景濃度を検出している。検出された背景濃度は誤差検出器で一定レベル $V_W$ と比較され、これらが同一レベルになるように増幅器1の利得が制御される。

コントラスト補正は、背景濃度補正された画像信号の黒レベルのピークが図4.の黒レベル検出器で検出され、検出結果と一定レベル $V_B$ が誤差検出器で比較され、これらが同一となるように増幅器2の利

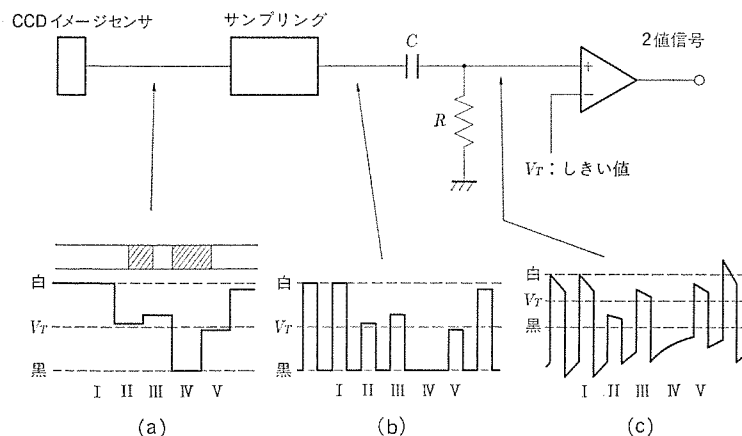


図 5. アパーチャ 補正回路

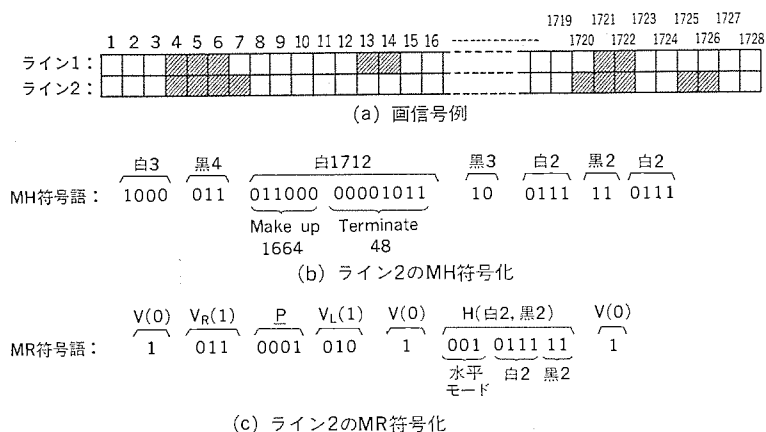


図 6. 符号化例

### (1) MH 符号化方式 (Modified Huffman Coding)

一般に、原稿を走査して得られる 2 値画信号においては、連続した白画素と連続した黒画素が交互に並んでいる。連続した画素の長さはランレングスと呼ばれる。例えば、図 6. (a) のライン 2 は白 3, 黒 4, 白 1712, 黒 3, … のランレングスを有する画素列から成っている。そこで、このランレングスを符号化して送れば、電送時間の短縮ができる。MH 符号化方式では、装置化を容易にするために、ランレングスを 64 ごとのグループ分けし、各グループを示す符号 (Make up Code) と、そのグループのどの長さのランレングスを示す符号 (Terminating Code) との組合せで示すことになっている。例えば、図 6. (a) のライン 2 を MH 符号化すると、(b) のようになり、1,728 画素の画信号が 33 ビットの MH 符号に圧縮されることが分かる。

### (2) MR 符号化方式 (Modified READ Coding)

MH 符号化方式は画像の走査線内の相関を利用した、いわゆる 1 次元符号化方式である。ところで、隣接する走査線は相関を有しており、前走査線において黒であった画素位置は次走査線においても黒である場合が多い。そこで、このような画像の 2 次元的な相関を利用し、走査線間の差分データのみを符号化すれば、MH 符号化の場合よりも更に圧縮効果が増すはずである。MR 符号化方式はこのような考えの基に設計された 2 次元符号化方式である。

ここで、符号化しようとする走査線を符号化ライン、そ

得を制御する。

この結果、背景の信号レベルが常に  $V_W$ 、黒のレベルが常に  $V_B$  となる画像信号が得られ、読取原稿の地色による受信画の地の汚れやコントラストが低いための文字のかすれなどが完全に除去される。

### 3. 1. 3 アパーチャ補正

CCD イメージセンサの出力は、CCD のアパーチャ効果やレンズ分解能の影響などにより、その高周波成分（すなわち、線密度の高い画像情報成分）が減衰し、これは解像度劣化の原因となる。《MELFAS 550》では、解像度の劣化を補償するために、微分回路を用いて輪郭を強調するアパーチャ補正回路を採用している。

図 5. にアパーチャ補正回路を示す。CCD イメージセンサの出力は、図 5. (a) II, III, V に示すように、高周波成分に対して白レベルと黒レベルの中間（以後中間レベルと記す）となる。この出力を図 5. (b) に示すように、画素周期の一定幅  $\alpha$  でサンプリングし、くし形波形とした後、微分定数  $CR$  を画素周期の 1.5 倍程度にとった微分回路を通すことにより、図 5. (c) の波形を得る。図 5. (c) におけるピーク値をしきい値  $V_T$  と比較すると、白レベルに続く中間レベル II は黒に、黒レベルに続く中間レベル V は白に、それぞれ読取り、解像度の劣化を補償できる。この方式によると簡易な回路構成で解像度の劣化を十分に補償できる。

### 3. 2 帯域圧縮部

《MELFAS 550》の帯域圧縮部は、G3 規格 (CCITT 勧告 T. 4) の MH, MR 符号化方式による符号化及び復号を行う。以下に両符号化方式の概要を説明する。

表 2. MR 符号によるモード

モード	モードの説明	画信号例
バ ス	参照ライン上の白又は黒のランが符号化ライン上で消滅したとき	
垂 直	参照ライン上の白又は黒のランが符号化ライン上に続いており、その差分が3以下であるとき	
水 平	符号化ライン上に白又は黒のランが新たに出現したとき。あるいは、差分が4以上で垂直モードに含まれないとき	

表 3. MR 符号表

モ	ド	記 号	符 号
バ	ス	P	0 0 0 1
水	平	H	0 0 1 + MH <sub>1</sub> + MH <sub>2</sub> (注)
垂 直	差 分	0	V(0)
		右 方 向	V <sub>R</sub> (1)
		左 方 向	V <sub>L</sub> (1)
	0	右 方 向	V <sub>R</sub> (2)
		左 方 向	V <sub>L</sub> (2)
		右 方 向	V <sub>R</sub> (3)

注 MH<sub>1</sub>, MH<sub>2</sub> は、それぞれ、対応するランの MH 符号である。

の1つ前の走査線を参照ラインと呼ぶことにする。符号化にあたっては、両ラインの各画素の状態を左から順に調べてゆき、表2.に示す3つのモードのいずれかに合致したとき、対応する符号を出力する。表3.に各モードにおける符号の割当を示す。一般的な原稿では、垂直モードの出現ひん(頻)度が他のモードに比べて圧倒的に大きく、その中でも $V(0)$ になる場合が約50%近くある。そこで、 $V(0)$ には1ビットの短い符号語を割当て、圧縮効果を高めている。例えば、図6.(a)のライン2をMR符号化すると、(c)に示すように22ビットに圧縮される。ところで、MR符号化方式では、いったん伝送誤りが生じるとそれ以降のラインは復号不可能になるので、KラインおきにMH符号化を行い、伝送誤りの波及をくい止めている。線密度 $8 \times 3.85$ 本/mmでは $K=2$ 、 $8 \times 7.7$ 本/mmでは $K=4$ である。

《MELFAS 550》では、符号化部と復号部を別回路とし、各々ROMシケンサのプログラムに従って信号処理を行う。MH及びMR符号のみならず独自の高速モードの符号化も行う。

### 3.3 記録部

《MELFAS 550》の記録部には、ランニングコストの安い感熱記録方式を採用した。従来、感熱記録は記録速度が遅いのが欠点とされ、デジタル高速ファクシミリへの適用は困難であるとされていた。しかし、当社では高速記録に適したサーマルヘッド及びその駆動方式を開発し、1ライン当たりの記録時間5msを実現した。この値は、国際規格G3において標準として定められた1ラインの最小伝送時間20msの1/4であり、高速モードによる10秒台電送も実現できるものである。

#### 3.3.1 サーマルヘッド

サーマルヘッドには、熱応答特性が優れ安価な厚膜形を採用した。有効記録幅は256mm、ドット密度は8ドット/mmである。高速記録を実現するために、同時記録ドット数は512とした。発熱抵抗体とセラミック基板との間には熱抵抗層(グレーズ層)を設け熱効率を向上させることにより、同時記録ドット数が増えることによる消費電力の増加を防いでいる。また、サーマルヘッドには、シリアル-パラレル変換回路、スイッチ回路などの駆動回路が一体化されているため、記録制御回路とのインターフェースは数本の信号線と電源だけとなっている。

#### 3.3.2 記録制御回路

《MELFAS 550》では、帯域圧縮を用いて高速電送を実現しているため、画像情報により記録周期は5msから数秒まで変動する。一方、感熱記録方式における記録濃度は発熱抵抗体の表面温度によりきまる。したがって、記録周期が短くなると、発熱抵抗体の表面温度は、図7.に示すように、前ライン記録時の蓄熱効果により徐々に上昇する。このため、短い記録周期のラインが連続すると、記録ドットのにじみや尾引きが現れる。

このような高速記録に伴う画質の劣化を防ぐためには、発熱抵抗体の表面温度変化を検知し、サーマルヘッドへの印加エネルギーを制御する必要がある。しかし、図7.に示されたような高速に変化する発熱抵抗体の表面温度を測定する適当な手段は見あたらない。そこで、《MELFAS 550》では、以下に述べる温度シミュレータを用いて、サーマルヘッドへの印加エネルギーを制御することにより高速記録を実現している。

図8.(a)に温度シミュレータの構成図を示す。図のように、サーマルヘッドへの印加電圧の積分波形と直流の電圧を比較器に入力し、通電停止信号を得ている。ここで、積分回路の時定数を発熱抵抗体の

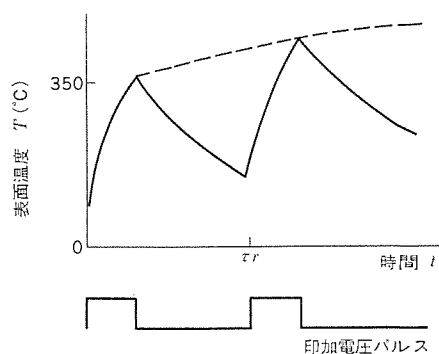


図7. 発熱抵抗体の表面温度

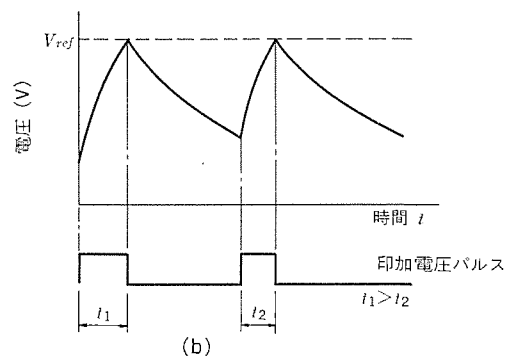
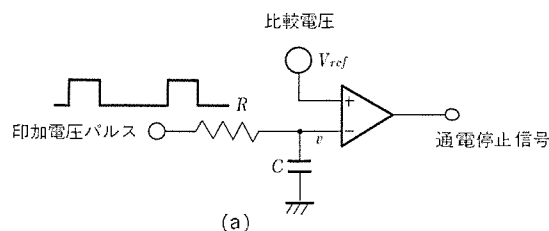


図8. 温度シミュレータによる熱制御

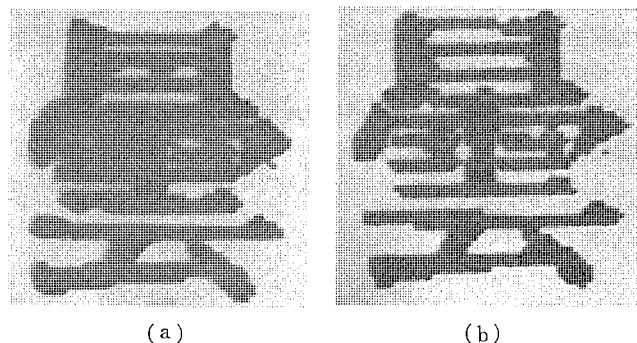


図9. 記録例

熱応答の熱時定数と一致させておくと、積分回路の出力電圧 $v$ は、発熱抵抗体の表面温度に対応した変化を示す。したがって、積分回路の出力電圧 $v$ があらかじめ設定された比較電圧 $V_{ref}$ に達すると、通電を停止するため、発熱体の表面温度は常に同じピーク温度になるように制御されていることになる。図8.(b)には、記録周期が短い場合における積分回路の出力波形及びサーマルヘッドへの印加電圧波形を示している。図のように、印加電圧のパルス幅は、第1ライン記録時より第2ライン記録時の方が短くなっている。図9.は記録周期が10msの場合の記録例である。(a)の熱制御なしの場合にはにじみ、尾引きを生じているが、(b)の熱制御ありの場合にはそれがほとんど見られない。また、比較電圧 $V_{ref}$ は周囲温度に応じて変

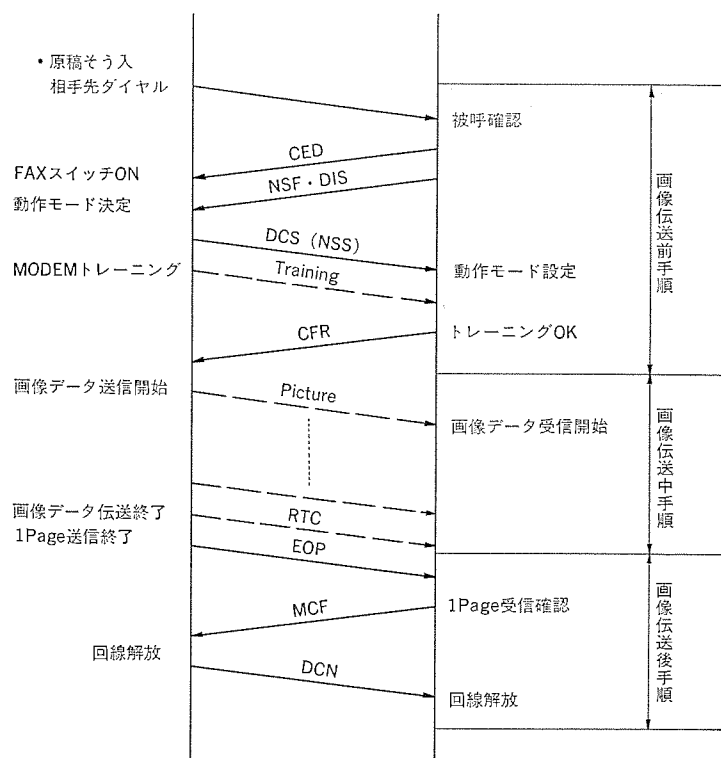


図 10. 国際規格 G3 による伝送制御手順 (CCITT 勧告 T. 30)  
(原稿を 1 枚伝送する場合)

化するように設計されているため、周囲温度の変動に対しても、均一な記録濃度が得られるようになっている。

### 3. 3. 3 感熱記録紙搬送系

感熱記録紙はパルスモータにより搬送され、受信紙はロータリカットによる切断、除電ブラシによる静電気除去の後、本体上部のトレイへ排出される。受信紙の切断後、感熱記録紙は自動的にサーマルヘッド部にまで逆搬送されるため、むだ紙が全くない。間欠搬送による感熱記録紙の振動はサイレントローにより抑制されるため静かな搬送系になっている。また、本体上部には感熱記録紙の残量を示すインジケータがあり、記録紙の装てん(填)もワンタッチで行えるなど、操作性にも優

れた設計となっている。

### 3. 4 シーケンス制御部

シーケンス制御部は 8 ビットマイクロプロセッサ、伝送制御手順用 LSI, バッファメモリ などから構成されている。制御の主な内容は国際規格 G3 に従った信号交信を行う信号制御 (回線インタフェース部の制御を含む)、高速伝送を行う場合の高速モード制御、紙搬送の機構制御、操作パネルのスイッチ確認とランプの点灯及びファクシミリ各部の動作順序の制御である。

図 10. に国際規格 G3 の伝送制御手順 (CCITT 勧告 T. 30) を示す。伝送制御手順は画像伝送前手順、画像伝送中手順、画像伝送後手順 (以下、前手順、中手順、後手順と記す) に分けられる。前手順では、符号化方式、伝送速度、走査線密度、ポーリング及び高速モードなどの動作モードの選択が行われる。また、自動フォールバックによる最適伝送速度の選択も前手順の特長の 1 つである。中手順では、画像情報伝送中の各部の動作を監視している。後手順では、画像伝送終了後の送達確認、連送モードへの移行、回線切断又は電話予約による電話への切換えなどを行っている。

高速モードでの動作時には、画像データをブロック単位で送信し、受信側でデータに誤りが発見されると画像データの再送を行うための誤り再送手順の制御を行っている。これにより、伝送誤りによる画質の劣化を防止している。

## 4. む す び

国際規格 G3 に適合したファクシミリ《MELFAS 550》について、その特長と概要について述べた。

《MELFAS 550》は、国際規格 G3 で決められた帯域圧縮方式を用いて、B4 判の原稿を約 20 秒で電送できるほか、高速モードを用いると、10 秒台電送も可能なファクシミリである。また、記録部に感熱記録方式を用いることにより、ランニングコストの低減を図っている。

《MELFAS 550 シリーズ》には、G3 モードと高速モードを装備した標準タイプのほか、G2 兼用タイプ、全 2 重タイプなどの機種もそろっているため、より広範囲かつ多用途なファクシミリネットワークを構成することができる。

# リアルタイム高エネルギーX線検査システムの開発

鈴木敏允\*・藤内武徳\*・小田 稔\*\*・馬殿進路\*\*

## 1. ま え が き

現在、鋼板の非破壊検査用X線発生装置として、低エネルギーX線発生装置と高エネルギーX線発生装置（直線加速器のことであり、以下ライナックと言う）とがある。低エネルギーX線発生装置は50～300 keVのエネルギーで鋼板厚さ数mm～数十mmの検査に用いられ、ライナックは450 keV～12 MeVのエネルギーで鋼板厚さ16～500 mmの検査に用いられている。

当社が製作しているライナックは、大出力X線が取出せるため、X線フィルムの撮影時間が大幅に短縮されている。しかし、フィルムのセッ、撮影、現像、結果の判定という一連の作業は人手と時間がかかりこの分野での自動化が叫ばれている。

そこで、フィルムを用いず、X線照射と同時に目視検査ができるリアルタイム高エネルギーX線検査システム（通称、ライナックテレビ）を開発した。

従来からも低エネルギーX線用としてはリアルタイムのX線テレビが開発され、実用化されているが、高エネルギーX線用のものはまだ実用化されていない。これは、X線のエネルギーが高くなるに従って、けい光体の変換効率の低下による画像雑音の増加、散乱線によるコントラストの低下などが問題となるためである。今回開発したシステムは、低エネルギー用X線テレビのこれらの問題点を解決して、高エネルギーX線に対する画像性能を大幅に改善し、X線テレビの適用範囲を大形厚物鋼製品にまで広げることができた。

ここでは、センサ部を中心に述べ、得られた性能について報告する。

## 2. システムの概要

このシステムは、照射室内に検査鋼板をはさんでライナックとそれと対向した位置に置かれるセンサ部とモニタテレビとから構成されている。

センサ部でX線を光に変換し、更に電気信号に変換してモニタテレビに送信する。このモニタテレビ上の画像を見ながら検査を行うことができ、VTRで記録することができる。

図1. にこのシステムの構成のブロック図を示す。

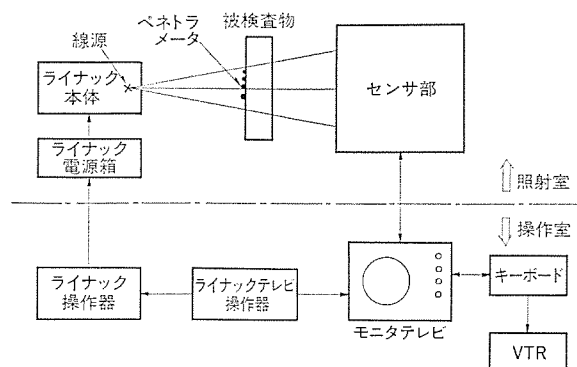


図1. リアルタイム高エネルギーX線検査システムの構成

## 2.1 特 長

- (1) 鋼板の厚さに関係なく、X線照射と同時にリアルタイム（実時間）での検査が可能になり、透視時間は瞬時である。
- (2) 従来のX線テレビに比べて厚物鋼板の検査ができる。
- (3) 欠陥識別度が良い。
- (4) センサ部がコンパクトである。
- (5) センサ部の工夫により量子ノイズが少ない。
- (6) 焦点・センサ間距離が1m以上とれる。
- (7) キーボードによりモニタテレビ上に検査年月日、鋼板厚、検査番号などを打込みVTRで記録できる。また、音声による記録もできる。
- (8) フィルムに比べて年間維持費が少ない。
- (9) フィルム撮影前の中間検査に利用できる。
- (10) 大量生産品の検査に最適である。
- (11) ラインに設置し、検査の自動化、省力化に役立つ。
- (12) 動状態での回転部の間げき（隙）など、フィルム撮影できない部分の検査に利用できる。

## 2.2 構 成

### (1) ライナック

高エネルギーX線発生装置であり、本体、電源箱、操作器などから構成されている。出力950 keV、15 R/min-m (450 keV、1.5 R/min-mの2段切換え)の超小形ライナックML-1 RⅢから、12 MeV、2,000 R/min-m (7 MeV、500 R/min-mの2段切換え)の大形ライナックML-15 RⅡBまでシリーズ化されている。図2. にML-1 RⅢの本体を、図3. にML-15 RⅡBの本体を示す。

### (2) センサ部

図4. にセンサ部の外観を示す。センサ部はX線を光に変換するシンチレータ、コンデンサレンズ、平面鏡、結像レンズ、光増幅機能を有する低照度テレビカメラ、及び鉛シールドから構成されている。詳細は3章で述べる。

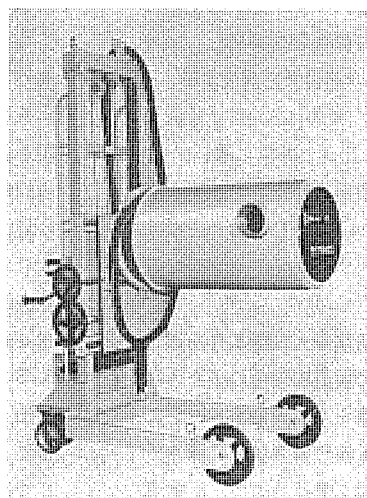


図2. ML-1 RⅢ ライナック本体

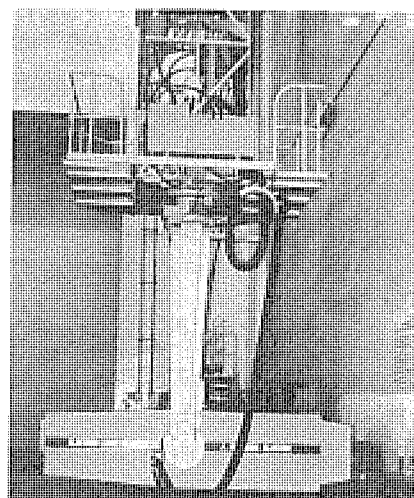


図3. ML-15 RⅡB ライナック本体

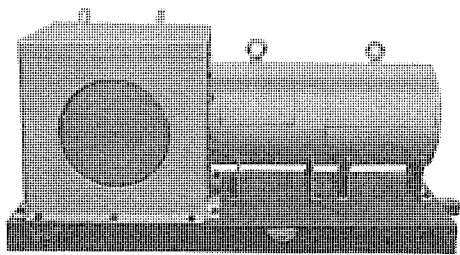


図 4. センサ部の外観

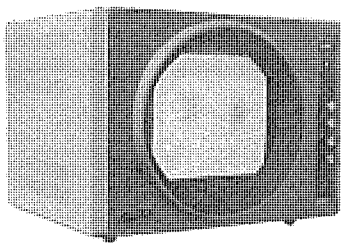


図 5. モニタテレビの外観

### (3) ライナックテレビ 操作器

主に、低照度 テレビカメラの光増幅部の回路を制御すると同時に、システム全体を制御する。

### (4) モニタテレビ

リアルタイムで被検査物を目視検査するための画像表示手段であるが、低照度 テレビカメラのビジコン部も制御する。ビデオアンプ、シェーディング補正回路、ハレーション防止回路なども内蔵している。図 5. にボルト・ナットが写っている モニタテレビの外観を示す。

### (5) VTR 及び キーボード

フィルム撮影の場合は、被検査物表面にマーカ（鉛製の英数文字及び記号）をは（貼）りつけてフィルム上に記録し保存している。このシステムでは、キーボードで検査年月日、鋼板の厚さ、検査番号などを打込み VTR でビデオテープに記録する。また、音声での記録も可能である。

## 3. センサ部

従来の X 線 テレビ では、薄いけい光スクリーンを用いて X 線透視像を形成し、これを口径比の大きいレンズと高感度ビジコン、又はイメージインテンシファイア (I. I. と略す) を用いてモニタテレビに表示する方式が採用されている。

しかし、従来のこの方式ではけい光スクリーンの厚さを大きくできないため、透過力の大きい高エネルギー X 線はほとんど通過してしまい、透視像の形成に役立つ X 線はごく一部にすぎない。その割合は多くの装置において 1% 又はそれ以下である。したがって、透視像の光量が不足し、かつ透視像を形成するけい光発生過程のひん（頻）度の不足による量子雑音が欠陥識別度を低下させていた。

このシステムでは、この欠点を改善し、高エネルギー X 線に対しても欠陥識別度の良い画像が得られるセンサ部を採用している。

### 3.1 原理

図 6. にセンサ部の構成図を示す。図 6. に基づいてセンサ部を詳細に説明する。X 線源から放射された X 線は被検査物を透過し、シンチレータを照射してけい光を発生し、被検査物の透視像を形成する。シンチレータとしては NaI や CsI などを用いる。このシンチレータは低エネルギー用 X 線テレビに用いられているものに比べて非常に厚い。このために、高エネルギー X 線に対する変換効率が 1 けた（桁）以上も高く、画像の量子ノイズが非常に小さくなっている。しかし一方では、シンチレータが厚いために、光学的分解能を確保するための光学系の設計に困難がある。

コンデンサレンズはシンチレータ中に形成された透視像の結像条件を改善するために用いられ、X 線で照射されるので放射線着色の少ない材質のものを使っている。平面鏡は、光線経路を 90° 偏向することによって結像レンズや低照度テレビカメラなどを X 線照射領域外に置き、X 線から保護している。平面鏡も X 線の照射を受けるので、反射率の劣化を防ぐために表面鏡を用いている。結像レンズはシンチレータに

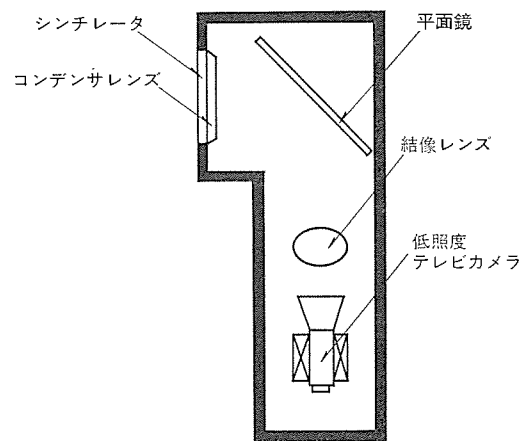


図 6. センサ部の構成

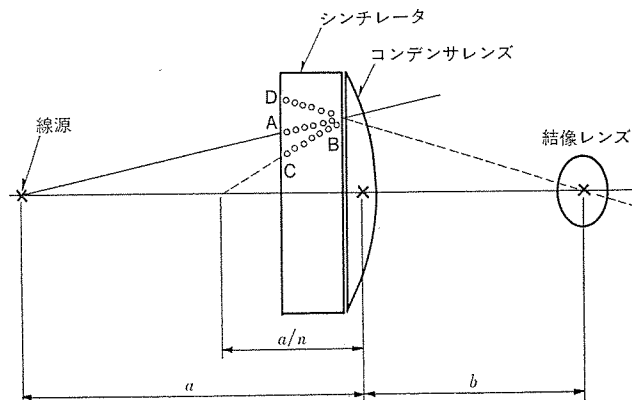


図 7. コンデンサレンズの機能

よって形成された透視像を低照度テレビカメラの撮像管の受光面に結像させる。撮像管は高感度のものを用いている。鉛シールドは装置を不要な X 線照射から保護し、かつ透視像のコントラストの低下を防止するのに必要である。シンチレータが発生するけい光は微弱であり、外からの光をしゃ断するため鉛シールドの内側は暗箱になっている。

### 3.2 コンデンサレンズ

図 7. にコンデンサレンズの機能を示す。平面鏡は光の経路を折曲げる作用をするだけなのでこの図では省略してある。X 線源から放射される X 線のうち、任意の方向へ向かうものを考える。この X 線はシンチレータの中で直線 AB に沿ってけい光発生点を生じる。これらの点は特定の方向の X 線に起因するものであるから、表示画像上では 1 つの点として表現されることが鮮鋭な画像を形成するための必要条件である。しかし、直線 AB は結像レンズから見て斜めになっているので、このままでは結像レンズの作る像の上で 1 つの点には表現されない。したがって、このままでは画面の周辺部の像が放射状方向にぼけることになる。そこで、コンデンサレンズを用いて、直線 AB の見かけの方向を変化させ、正しく結像レンズの方向を向くようにする。シンチレータ表面での光の屈折を考慮すると直線 AB は見掛け上直線 CB となるので、これを更に見掛け上直線 DB の方向に変化させればよい。

### 3.3 結像レンズ

結像レンズの口径は次のようにして決める。X 線はシンチレータに入射して 1 個の 1 次電子を発生させ、この 1 次電子は多数の電子を励起してけい光を発生させる。1 次過程がコンプトン散乱である場合は、反跳 X 線が少し離れた場所でけい光を発生することがあるが、高エ

エネルギー X線の場合、これは透視像の形成には役立たず、むしろ有害な散乱光となる。ここで、1次過程から発生したけい光は、その一部が結像レンズに捕えられ、撮像管の受光面上の1点に送られる。このとき、結像レンズの口径が小さいと、全体としての光量が不足するばかりでなく、撮像管の光電面からの光電子の発生が不確実となり、1次過程の一部が最終出力に寄与できなくなる場合がある。これは光電面から光電子を発生するまでの過程が確率過程であるためであり、1次過程のほとんどすべてを最終出力に寄与させるためには、最終過程である光電子の発生が、1次過程1回につき平均で10個程度必要である。この条件が満たされないと、透視像を形成する情報の一部を失うことになり、量子雑音が増加する。

この条件より、結像レンズの半径  $d$  は次式で表される。

$$d = b(45W/\epsilon E)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $E$ : 1次電子のエネルギー (eV)

$W$ : シンチレータ中で1個のけい光を発生するのに必要な平均エネルギー (eV)

$\epsilon$ : 撮像管受光面の量子効率

$b$ : コンデンサレンズから結像レンズまでの距離

である。

ここで述べたことはシンチレータで発生した1次過程をむだなく利用するために光学系に要求される条件であり、具体的には光学系の明るさの下限を決める。光学系の明るさを上式の条件より明るくすることは単に光量が増加するだけで、統計的な意味での情報量の増加にはならない。一方、光学系の明るさを大きくすると、焦点深度が浅くなり、シンチレータの厚さを厚くできなくなるので、かえって画像情報を減らすことになる。したがって、単なる光量の増加は撮像管に I.I. を使うなどの他の手段に頼る方がよい。

### 3.4 シンチレータ

シンチレータの厚さを決める条件の1つは、光学系の明るさを式(1)で規定した場合の焦点深度による光学的なぼけをシンチレータ中での1次電子の飛程によるぼけと同程度にすることである。

この条件より、シンチレータの厚さ  $t$  はシンチレータの屈折率を  $\eta$ 、密度を  $\rho$  とすると、次式で表される。

$$t = 7.9 \times 10^{-8} \epsilon^{1/2} E^{3/2} \eta \rho^{-1} W^{-1/2} \dots\dots\dots (2)$$

この式は、電子エネルギーが大きくなると、非常に大きな値となり、別の限定要素を考える必要がでてくる。それはシンチレータの X線に対する吸収係数  $\mu p$  とシンチレータの厚さ  $t$  の関係である。 $\mu p t$  が1程度の大きさになると、それ以上  $t$  を大きくしても画像情報はほとんど増加せず、他の条件を悪くするのでかえって不利である。更に、X線による1次過程がコンプトン散乱や電子対創生である場合は、シンチレータの厚さを大きくするとコントラストの低下が生じる。

結局、 $\mu p t$  の値はかなり小さく選ぶのがよい。シンチレータの厚さをこの条件に従って決めると、式(2)より小さい値を選択することになり、光学的分解能には余裕を生じることになる。したがって、結像レンズの口径は式(1)よりその比率だけ大きくできる。ただし、これによる改善は単なる光量の増加であって、統計的な意味での画像情報の増加ではない。したがって、結像レンズの口径は式(1)に従って決め、光量の増加には I.I. などを用いた方がよい。

## 4. 性能及びデータ

### 4.1 欠陥識別度

この装置の性能は、被検査物の厚みに対して、直径いくらのワイヤ

(JIS ペネトラメータ) が見えるかという欠陥識別度 (% 表示) で表現されている。

図 8. に ML-1 R III を用いた場合の欠陥識別度を示す。これより、欠陥識別度 2 % 以下の範囲は鋼板厚さ 40 ~ 100 mm である。図 9. には ML-15 R II B を用いた場合の欠陥識別度を示す。欠陥識別度 2 % 以下の範囲では、7 MeV のときは 90 ~ 250 mm、12 MeV のときは 100 ~ 270 mm である。

### 4.2 データ

図 10. ~ 図 14. に ML-1 R III を用いて得られたモニタテレビ上の画像を示す。エネルギーは 950 keV、線源・センサ間距離 1.2 m、線源・被検査物間距離は 70 cm である。

図 10. は 50 mm の鉄板の前に JIS ペネトラメータを貼りつけた場合の画像で左よりワイヤの直径は 2.5, 2.0, 1.6 mm である。

図 11. は 80 mm の鉄板の前に JIS ペネトラメータを貼りつけた場合の画像で M5 のナットと直径 1.6 mm のワイヤが見える。

図 12. ~ 図 14. は 60 mm の鉄板の前にそれぞれ片口スパナ (左よ

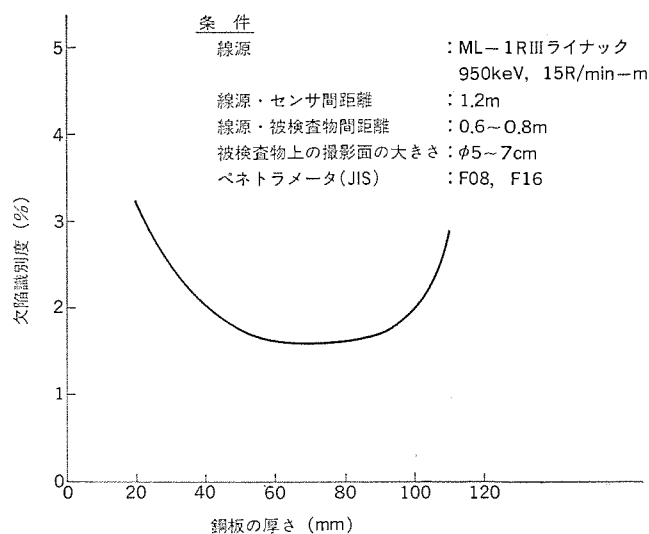


図 8. 欠陥識別度 (ML-1 R III)

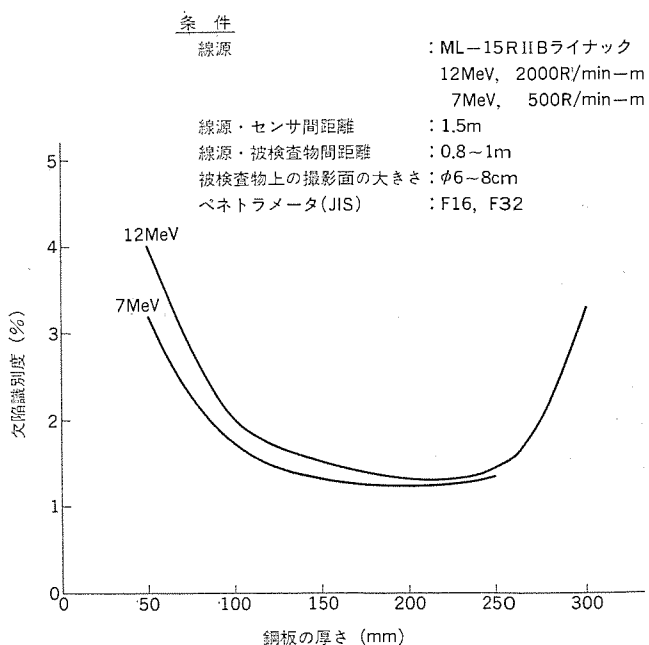


図 9. 欠陥識別度 (ML-15 R II B)

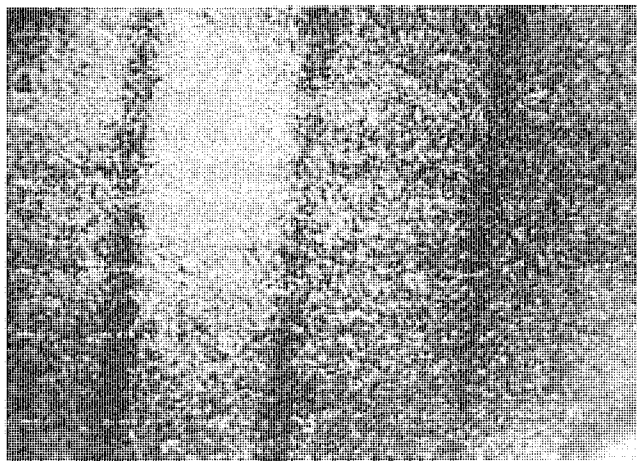


図 10. JIS ペネトラメータ (鉄板厚 50 mm)

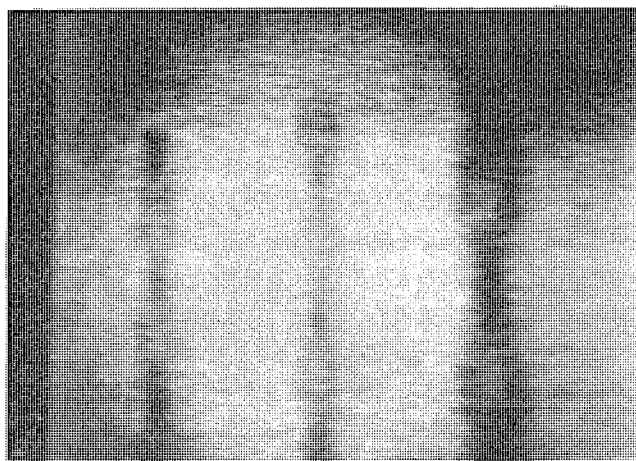


図 13. キリ (鉄板厚 60 mm)

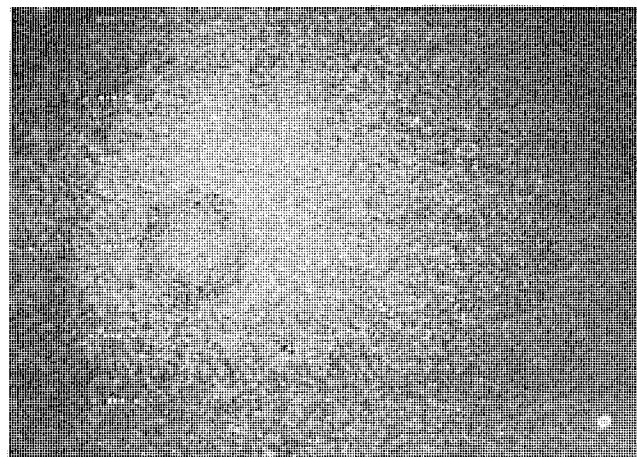


図 11. JIS ペネトラメータ (鉄板厚 80 mm)

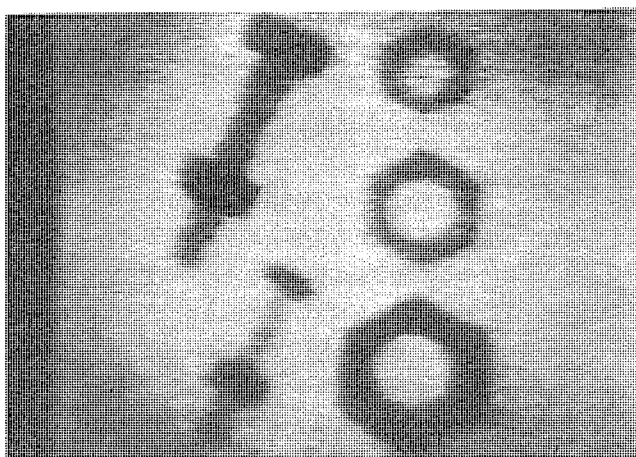


図 14. ボルト・ナット (鉄板厚 60 mm)



図 12. 片口スパナ (鉄板厚 60 mm)

り No. 10, 11, 13), キリ (左より直径 6, 6.5 mm), ボルト・ナット (図 14. の左上より M6, M5 のボルト, 右上より M6, M8, M10 のナット) を置いた場合の画像である。

## 5. 今後の課題

ここでは I. I. についてあまり触れなかったが, I. I. の諸性能も画質を左右する大きな要素である。近年, I. I. の技術的進歩は著しいものがあるが, 解像力, ひずみ(歪), コントラスト, 利得の画面内での均一性などにまだ問題があり, 現在でも理想的なものは入手が困難である。今後は, コスト面まで含めての画像増幅系の最適化が 1 つの課題と言える。

また, 不定形の鋼製品に適用する場合の マスキング 技術などの補助的な技術を充実させ, 用途を拡大して行きたい。

## 6. む す び

以上, リアルタイム 高エネルギー X 線検査 システムの構成, センサ部の設計手法, 性能及びデータについて報告した。従来の低エネルギー用 X 線テレビに比べて厚物鋼板の検査ができ良い欠陥識別度が得られている。今後, ライナックを用いた非破壊検査には有力な手段となり, 検査の自動化, 省力化が期待できる。

終わりに, このシステムの開発にあたって, 御指導, 御意見をいただいた関係者各位に深く謝意を表する次第である。

# 大出力炭酸ガスレーザー

永井治彦\*・吉田寿夫\*\*・菱井正夫\*\*・若林国久\*\*・名井康人\*\*

## 1. ま え が き

大出力のCO<sub>2</sub>レーザーが各種材料の切断、溶接、表面熱処理などの加工への応用に広く適用されつつあることはよく知られている。特に、最近の産業界におけるCO<sub>2</sub>レーザー加工機の実用化気運には目を見はるものがあり、この分野の将来性の一端がうかがわれる。

通商産業省 工業技術院の大形プロジェクト「超高性能レーザー応用複合生産システムの研究開発」は昭和52年12月に開始されたが、この研究の一環として、昭和55年度に5kW級CO<sub>2</sub>レーザー発振器の技術開発を完了し、最終目標である昭和58年度の20kW CO<sub>2</sub>レーザーの開発に向けて、研究が順調に進められている。

この論文は従来から当社が独自に研究開発を行ってきた高ガス圧力CO<sub>2</sub>レーザー発振技術をベースとして上記大プロジェクト計画の5kW級・3軸直交形CO<sub>2</sub>レーザー装置を開発し、その成果についてまとめたものである。また、この結果をもとに、20kW CO<sub>2</sub>レーザー開発の展望についても触れる。

## 2. 方式と特長

CO<sub>2</sub>レーザーの発振原理については、既に昭和53年10月号の本誌に掲載したので省略する<sup>(1)</sup>。今回は試作した5kW級CO<sub>2</sub>レーザーの方式、すなわち高ガス圧力・ガス封じ切り方式とその特長に重点をおいて述べる。

従来、連続発振(CW)の大出力CO<sub>2</sub>レーザーはほとんど低ガス圧力(20~40 Torr)で動作されており、100 Torr以上の高いガス圧力での発振例は数少なく、加工用の実用機として製作されたものは皆無である。高ガス圧力動作のCO<sub>2</sub>レーザーが低ガス圧力動作のものに比べて、後述するように、ガス封じ切り運転、出力の長時間安定性、装置の小形・大出力化など数々の本質的に優れた利点を持つにもかかわらず実用化されなかった理由は、放電の安定性のような技術的難題に加えて、下記するような性能上の課題を従来抱えていたためと思われる<sup>(2), (3)</sup>。

(1) 発振効率(レーザー出力/放電電力)が5~10%程度と低い。

(2) 短時間の出力変動(Fluctuation)が大きい。

これらの課題の主要な原因は1つで、共振器ミラーと放電部との間に存在する励起されないレーザーガスによる光吸収の影響である。すなわち、光吸収が非励起ガスの温度上昇を起こす結果、更に光吸収が促進されて、共振器損失が増大するとともに、光路での加熱ガスの対流が屈折率の変動を起こして、レーザー出力のゆらぎを発生させるためである。このような共振器内での光吸収の効果は、小信号利得の高い低ガス圧力レーザーでは無視し得ても、相対的に小信号利得の低い高ガス圧力レーザーでは無視できない特有の要因である。当社では高ガス圧力動作におけるこの光吸収の悪影響を指摘し、そのメカニズムを明らかにするとともに、非励起部のガスを循環させるなどの手段を講じて、上記した従来の欠点の解決を図っている<sup>(4)</sup>。この結果、出力のゆらぎは解消され、発振効率も安定形共振器を使用した場合

は、18~20%と高い値がガス封じ切り状態で実現されている<sup>(5)</sup>。

次に、高ガス圧力レーザーの特長について以下に列記する<sup>(6)</sup>。

(1) ガス封じ切り動作に適している。これは低ガス圧力レーザーに比べて、解離によるCO<sub>2</sub>の減少量が小さい(封入量の15~20%減)ことと、容器内の不純ガスを相対的に多く許容できるためである。

(2) 熱膨脹などにより共振器長の伸縮が生じて、出力が安定で再現性が良く、放電開始後の待ち時間もほとんど不要である。これは分子衝突によりスペクトル線の幅が広がる結果(ガス圧力150 Torrのとき750 MHz)、共振器長の変化が生じて、常にスペクトル線の中央付近にいずれかの縦モードが同調されているためである。

(3) ガス圧力を上げることにより、装置の小形・大出力化が図れる。これは、分子密度がガス圧力に比例して増加するので、レーザー出力もガス圧力とともに増大するためである。

(4) ガス流速を比較的低い値(5kW出力のレーザーで約30 m/s)まで低減でき、送風機など装置の小形化に適している。これは、放電部を通過するガスの質量流量が大きいので、ガスの温度上昇が小さいことによる。

このように高ガス圧力レーザーは、加工用の装置として優れた利点を多く有するが、技術的課題は放電の安定化と出力取出しの技術であった。放電の安定性は電極の構成、構造、材料、ガス流速、ガス組成などの要因に複雑に依存するが、次の3.2節に示すような多分割陰極を採用して、30~40 W/cm<sup>3</sup>(ガス圧力200 Torr)の放電電力密度を実現しており<sup>(7)</sup>、この論文ではこれを5kW級の装置に拡大・適用を図っている。

出力取出し技術については、放電ギャップ長すなわちビーム径を拡大することにより、5kW以上の出力を安定形共振器から取出せることを確認した。また、従来高ガス圧力CO<sub>2</sub>レーザーでは適用例がなかった不安定形共振器を採用した発振試験でも高い発振効率を得られ、高ガス圧力レーザーに適用可能であることが今回明らかになっている。

## 3. 装置の試作

試作した大出力CO<sub>2</sub>レーザーの全景写真とその構成とをそれぞれ図1.と図2.に示す。このレーザーは光軸とガス流の向きと放電の方向とが互いにほぼ直交する。いわゆる3軸直交形のものである。表1.に装置の基本仕様を示す。以下、装置の各構成要素の大略内容について述べる。

### 3.1 ガス流体路

図3.にガス流体路の構成を示す。レーザーガス(CO<sub>2</sub>-CO-N<sub>2</sub>-He=2-1-6-32)は送風機により流体路の中を矢印の向きに循環している。放電部ガス流速の圧力依存性を図4.に示す。レーザー動作ガス圧力100~200 Torrにおいて、30~50 m/sのガス流速が得られている。放電部で加熱されたレーザーガスは1次熱交換器(冷媒:クーリングタワー水)と2次熱交換器(冷媒:ブライン、-5°C)とにより冷却されている。

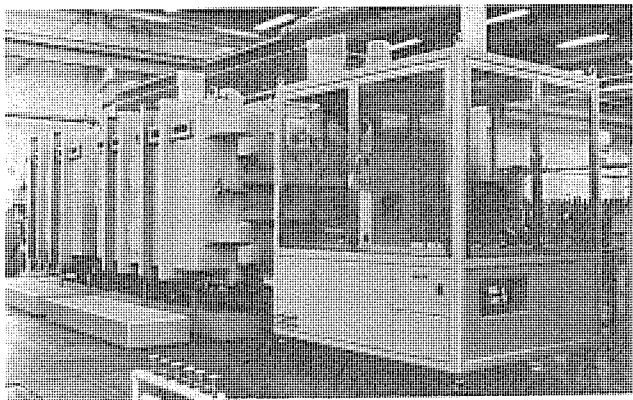


図 1. 大出力 CO<sub>2</sub> レーザの全景

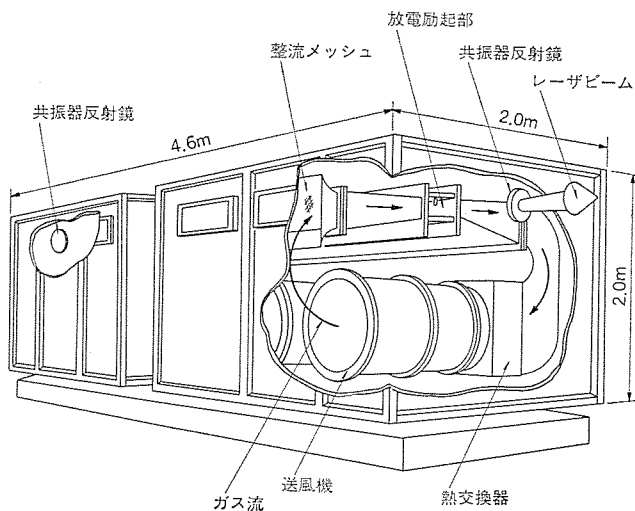


図 2. 大出力 CO<sub>2</sub> レーザの構成

表 1. 装置の基本仕様

項 目	仕 様
放 電 部 長 さ	3 m
放 電 間 隙 長	30~50 mm
陰 極 構 成	Mo ピン分割配列
放 電 用 電 源	DC 11 kV×10 A 又は 5.5 kV×20 A
レ ー ザ ガ ス	CO <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub> , He 4 種混合ガス
レ ー ザ ガ ス 圧 力	100~300 Torr
ガ ス 流 速 (放電部)	30~50 m/s
ガ ス 流 量	530 m <sup>3</sup> /min
送 風 機	85 m <sup>3</sup> /min, 200 mmAq 6 台
チ ラ	38,400 kcal/h

### 3.2 放電電極

放電励起部の光軸に垂直な断面図を図 5. に示す。陽極は銅製の平板電極であり、陰極は Mo 製分割陰極で構成されている。それぞれの陰極は先端が針状形状であり、かつ ガス 流下流方向に折曲げられている。陰極は図 5. の紙面に垂直な方向に、10 mm ピッチで 1 列に配列されている。放電長は 3 m であり、放電ギャップ長は 30~50 mm の範囲で可変である。陽・陰極間の放電開始を容易にするために、陰極の上流側にトリガ電極が配設されている。それぞれの分割陰極には 30 kΩ の放電安定化抵抗が接続されている。

### 3.3 共振器

安定形及び不安定形の 2 つのタイプの共振器を図 6. (a), (b) に示す。

安定形共振器は 2 枚のおう(凹)面鏡により構成されており、一方

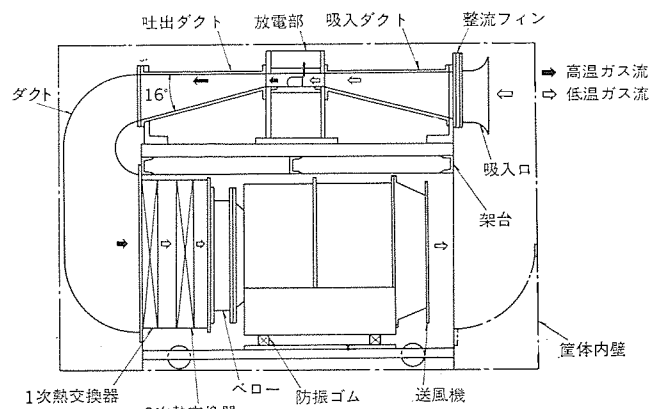


図 3. ガス 流体路の構成

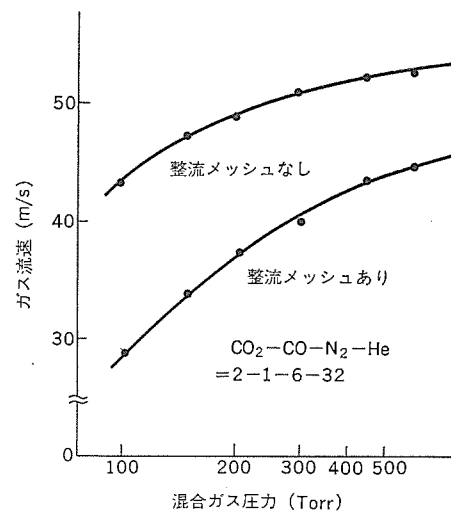


図 4. 放電部の ガス 流速

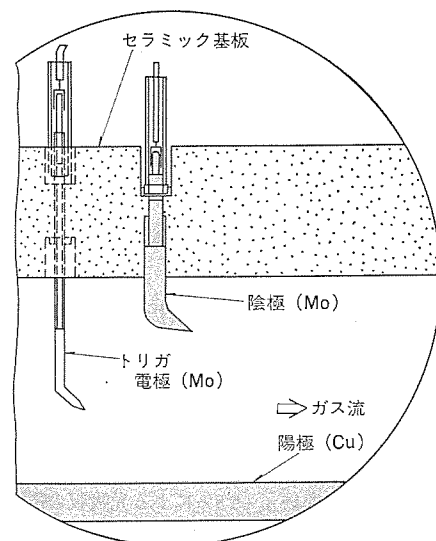


図 5. 放電部断面図

は全反射鏡, 他方は部分反射鏡である。レーザービームはこの部分反射鏡から取出される。2 枚の反射鏡間の距離, すなわち共振器長は 4.6 m である。この共振器は最も単純な 1 光路系で全領域の励起媒質に蓄えられたエネルギーを光エネルギーに変換できるので、高効率なレーザー発振を可能にしている。また、共振器のアライメントも簡単である。

不安定形共振器は図 6. (b) に示されているように、おうとつ

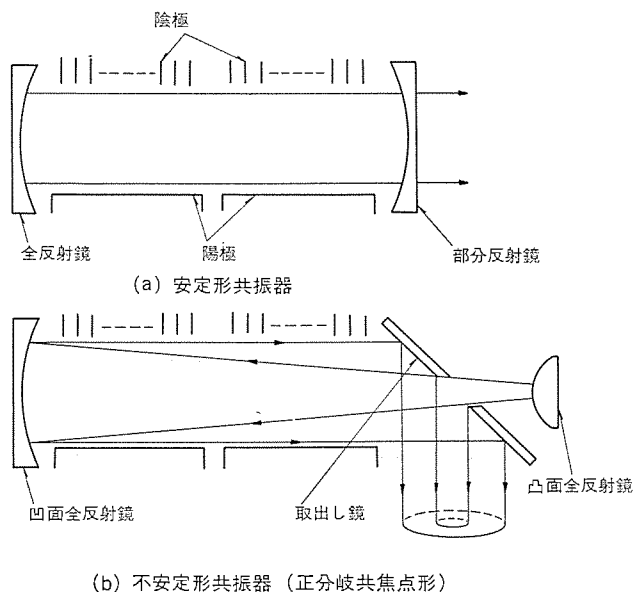


図 6. 安定形及び不安定形共振器の構成

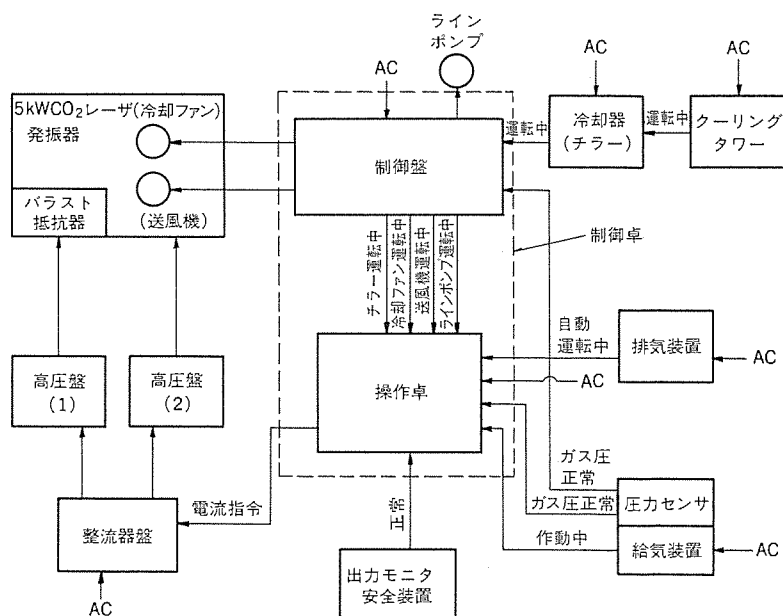


図 7. 制御システムブロック図

(凹凸) 2枚の球面鏡及び光軸に対して  $45^\circ$  の角度で傾いた穴付きの平面鏡により構成されている。レーザービームは2枚の球面鏡間を増幅されつつ往復するが、凸面鏡から凹面鏡へ向うとき、ビームは強制的に広げられ、逆に凹面鏡から凸面鏡へ向うときには、その広げられたビームがコリメートされる。この平行ビームを上記の穴付平面鏡により取出す。したがって、レーザービームの近視野像、すなわち穴付平面鏡から出た直後のビームは中心部の抜けた環状ビームとなるが、遠視野像、すなわちこの環状ビームをレンズなどで集光させた焦点面上における像は中心部に最大強度を持つパターンとなる。

不安定形共振器は3枚の鏡とも金属鏡で構成できるため、レーザービームによる損傷に対して強く、大出力レーザーに適している。

### 3.4 電源及び制御系

図 7. に制御システムブロック図を示す。電源は発振器きょう(筐)体内部の電気絶縁を容易にするために、中点接地方式を採用した直流高圧電源である。サイリスタによる定電流制御方式のものである。レーザ

出力設定は電流により行われる。

レーザガスの交換は排気装置及び給気装置に設けた制御シーケンスにより自動運転ができる。操作卓には、レーザービームに対する安全性、あるいはレーザー装置の保護のための各種インタロックが設けられている。

## 4. 動作特性

### 4.1 放電特性

放電ギャップ長 40 mm, ガス圧力 75~150 Torr における放電特性を図 8. に示す。100 Torr において、最大投入電力 63 kW が得られている。この値は安定放電の維持が可能な最大電力にほぼ対応している。放電電源の最大定格 (5.5 kV, 20 A) による制限のため、100 Torr 以外の圧力における最大電力が 63 kW より小さくなっている。

上記の最大投入電力は電力密度に換算すると  $27 \text{ W/cm}^3$  になる。また、図 8. に示されている放電電圧から、放電パラメータ  $E/N$  を算

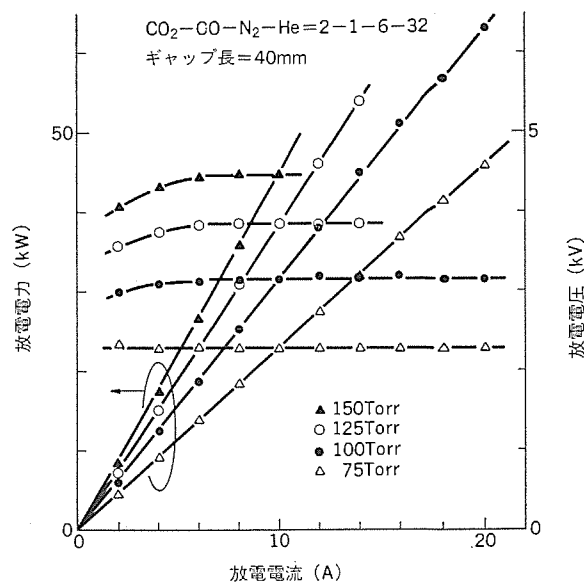


図 8. 放電特性

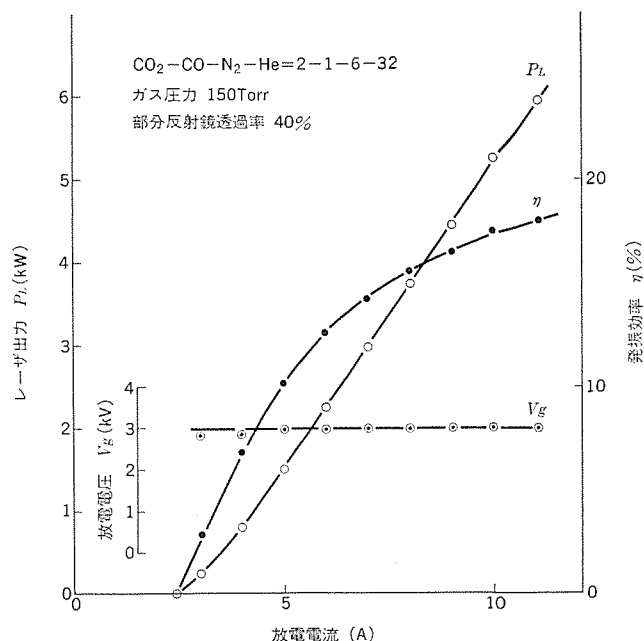


図 9. 安定形共振器による出力特性

出すると  $2.2 \times 10^{-10} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$  となる。この値は レーザ 励起に最適な  $E/N$  値に近いので、生成された放電励起媒質中では効率の良い レーザ 励起<sup>(7)</sup>の作用が生じているものと考えられる。

## 4.2 発振特性

### 4.2.1 安定形共振器

図 9. に安定形共振器の発振特性を示す。動作条件は ギャップ長 30 mm, 部分反射鏡の透過率 40 %, ガス 圧力 150 Torr 封じ切りで、ガス 組成比は前項放電特性で述べたものと同一である。最大出力 6 kW が放電電流 11 A 時に得られた。部分反射鏡の損傷を考慮したため、これ以上の出力を得る試みは行っていないが、レーザ 出力 6 kW の時における発振効率、すなわち放電入力に対する レーザ 出力の割合は約 18 % と極めて高い。この高い発振効率が得られた要因は、動作 ガス 圧力が高いために放電部における ガス 温度上昇が低く抑えられ、いわゆる利得の飽和が見られないこと、そして共振器構成が 2 枚の凹面鏡のみによる 1 光路形であるため、鏡などによる損失が低いこと、更に非放電空間の強制対流による ビーム 吸収の抑制効果による。

放電部での ガス 温度上昇により、レーザビームの小信号利得が放電入力に比例しなくなるいわゆる利得の飽和が起こっていないことは、同図において放電電流の増大に対して レーザ 出力が直線的に伸びていることより明らかである。放電部における ガス 流速は図 4. より分かるように約 34 m/s と比較的低い値であり、ガス 圧力が高いために低い ガス 流速でも高い発振効率が得られている。

共振器構成が 1 光路形であることは、折返し用 ミラー による損失が無く、更には、共振器長に対する放電長の割合が大きくなり、共振器内に存在する非放電空間の長さを短くできる。したがって、この非放電空間による レーザビームの吸収損失を低減でき、高い発振効率を得ることができる。この装置は試作機であるため、放電長 3 m に対して共振器長 4.6 m と長く、非放電空間はかなり長くなっている。この非放電空間を短くすることにより、発振効率を更に改善することが可能である。

出力 6 kW 時における発振モードの近視野像は、放電方向 30 mm, ガス 流方向約 23 mm のく(矩)形高次モードである。長辺は ギャップ長により決定されている。また、短辺は ガス 流方向の利得分布により決定されるため、放電電流の増大とともに大きくなる。

連続発振による出力安定度は  $1.2 \% / \text{h}$  であった。ガス 封じ切り時における出力の安定性は、ガス 組成の変化及び共振器鏡の傾きとに依存する。共振器の構成が 2 枚の鏡のみの 1 光路形であることは鏡の傾き角の許容度が大きく、したがって出力安定度が良い。また、2 章でも述べたように、動作 ガス 圧力が高いためにスペクトル線の幅の広がり、したがって共振器長の変化が生じて常にも常にスペクトル線の中央付近に共振器の縦モードが存在する。ゆえに熱膨脹などにより共振器長が変化しても、高い出力安定度を得ることができる。

### 4.2.2 不安定形共振器

安定形共振器を使用したレーザの発振出力の限界は ZnSe あるいは GaAs 基板の共振器 ミラー の耐光強度によって決定され、その値は 6~7 kW 程度であろう。これ以上の高出力レーザには、金属鏡のみで構成される不安定形共振器を適用せねばならない。

レーザガス 圧力 100 Torr, 放電 ギャップ長 40 mm, 放電長 3 m の光増幅器に、共振器長 5.6 m, 幾何学的拡大率 1.5, 取出し鏡の直径 20 mm の不安定形共振器を結合させたときの発振特性を図 10. に示す。放電電流 20 A で、8.7 kW のレーザ 出力が得られた。高圧力

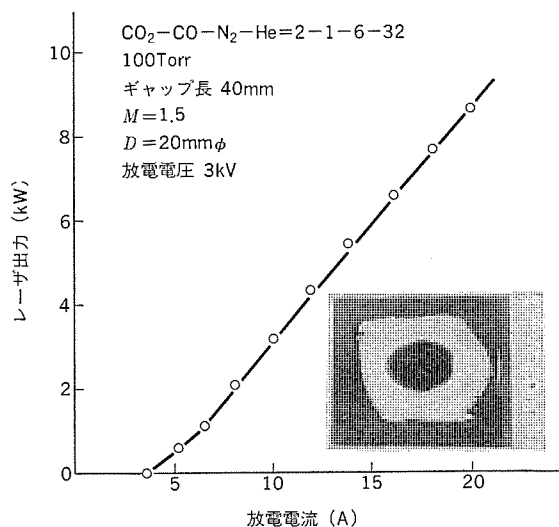


図 10. 不安定形共振器による出力特性

で動作させているので、レーザ 出力は高出力領域でも放電電流に対して直線的に増大している。レーザ 出力が 8.7 kW 時の発振効率は 14.5 % に達している。この値は、不安定形共振器の発振効率としては従来にない高い値である。

レーザ 出力 7.5 kW で、4 時間連続運転したときのレーザ 出力の変動幅は  $\pm 200 \text{ W}$  で、その変動率は  $\pm 2.7 \%$  である。この装置は高圧動作の 1 光路形共振器であるので、レーザ 出力が極めて安定である。

安定形共振器を使用したレーザでは、レーザ 出力が増大するにつれて、発振するレーザビームの横モードが高次化し、レーザビームの広がり角が増大する傾向にある。しかし、不安定形共振器を使用したレーザでは、すべてのレーザ 出力においてビームのパターンはあまり変らない。この性質は不安定形共振器の長所である。レーザ 出力が 7 kW のときのレーザビームの近視野像を図 10. に示す。このように、不安定形共振器から出射されるビームパターンは環状である。

レーザビームを 10 m 伝送し、そのビーム径の計測からレーザビームの広がり角を求めると、 $1 \sim 2 \text{ mrad}$  であった。この値は安定形共振器から出射される高次モードのビームの広がり角の  $1/3 \sim 1/5$  である。不安定形共振器から出射されるレーザビームの広がり角は小さいので、ビームの長距離伝送が容易である。広がり角  $\theta$  のレーザビームを焦点距離  $f$  の加工光学系で集光した場合、焦点面でのスポット径  $D$  は  $D = f\theta$  で近似できる。不安定形共振器のレーザビームを集光すると、ビームのスポット径は小さくなり、そのパワー密度は高くなる。あるいは、加工光学系の焦点距離を長くすることができるので、焦点深度を大きくとれる。ゆえに、不安定形共振器のビームで加工した場合、安定形共振器の場合よりも加工性能が良く、再現性の良い加工特性が得られる。

### 4.3 溶接例

レーザビーム熱源は溶接・表面焼入れ・切断などに適用可能である。簡単な加工光学系を組み、レーザ 出力 7 kW で、304 ステンレス鋼の溶接実験を行った結果について述べる。溶接速度が 0.5 m/min, 1 m/min, 2 m/min における溶込み深さはそれぞれ 10~11 mm, 8~9 mm, 6~7 mm である。溶接速度が 2 m/min のときの溶込み断面形状を図 11. に示す。このように、レーザビームは線熱源的に挙動するので、熱影響部が少なく、熱変形が微小な良質の溶接を高速で行

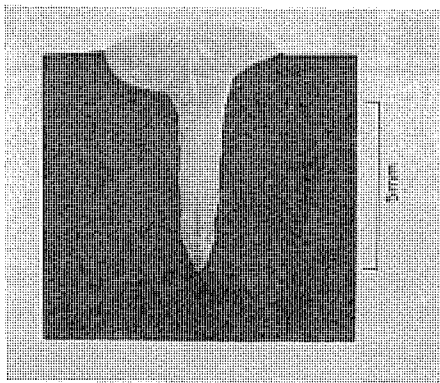


図 11. 304 ステンレス 鋼の溶込み形状  
(7 kW, 2 m/min)

うことができる。溶接時に発生する プラズマの除去方法及び加工光学系などを改良することによって、溶込み深さ・溶込み形状などの溶接特性を改良することができる。

## 5. 20 kW レーザへの展望

20 kW レーザ を実用ラインで使えるものに仕上げるためには、装置の小形化、レーザ 出力と ビームモード の安定化及び再現性の向上、保守管理の容易化などを図る必要がある。

前章で述べたように、放電長 3 m で 8.7 kW 出力が得られたが、この技術をそのまま 20 kW レーザ に適用した場合、放電長が 7 m と長大化し、非現実的なものとなる。また、共振器のフレネル数が小さくなり、不安定形共振器の設計が困難になる。これらの問題点を解決するためには、単位放電長当たりの投入電力を更に増大できる新放電励起法の開発が望まれる。

当社では、従来のグロー 放電に補助放電として無声放電<sup>(6)</sup>を重ねることにより、投入最大電力が約 3 倍まで増大できること、拡散化された均質な放電励起媒質が得られることが新たに判明した。現状の開発段階において、この無声放電補助グロー 放電励起法が装置の小形化を可能とし、放電長 3 m、共振器長 3.5 m 程度の 20 kW レーザ が実現できる見通しを得ている。

## 6. む す び

高 ガス 圧力・ガス 封じ切り方式の大出力 CO<sub>2</sub> レーザ を試作し、不安定形共振器による発振試験で、最大出力 8.7 kW、発振効率 14.5 % を得た。不安定形共振器を採用して、高 ガス 圧力発振を試みた試験は今回が初めてである。また、安定形共振器でも出力 6 kW、発振効率 18 % を得た。共振器の最適結合を図れば、20 % を越す発振効率を得ることが可能である。このレーザ の運転試験のまとめを表 2 に示す。これらの発振効率は、従来の数少ない高 ガス 圧力発振実験例の結果と比べると極めて高いうえ、ガス 封じ切り状態で実現したことに大きな意義がある。低 ガス 圧力の CO<sub>2</sub> レーザ では、常時多量

表 2. 運転試験のまとめ

		直 流 放 電 励 起	
放 電 条 件	放 電 長	2.9 m	
	陰 極	M <sub>0</sub> ビン分割配列	
放 電 条 件	陽 極	Cu の平板	
	放電ギャップ長	30, 40 mm	
	ガ ス 圧 力	100, 150 Torr	
	ガ ス 組 成	CO <sub>2</sub> : CO : N <sub>2</sub> : He 2 : 1 : 6 : 32	
不 安 定 形 共 振 器	出 力	最 大 出 力 8.7 kW 励 起 効 率 14.5 % (ガ ス 圧 力 100 Torr 放電ギャップ長 40 mm)	
	共 振 器 構 成	ミ ラ ー ① : R <sub>1</sub> , Cu の凸面 ミ ラ ー ② : R <sub>2</sub> , Cu の凹面 取り出しミラー : 内径 20 mmφ 共 振 器 長 5.6 m, 拡 大 率 1.5 結 合 係 数 54 %	
安 定 形 共 振 器	出 力	最 大 出 力 6 kW, マルチモード 励 起 効 率 18 % (ガ ス 圧 力 150 Torr 放電ギャップ長 30 mm)	
	共 振 器 構 成	ミ ラ ー ① : R <sub>1</sub> , GaAs の凹面 透 過 率 40 % ミ ラ ー ② : R <sub>2</sub> , Si の凹面 共 振 器 長 4.6 m	

のレーザガスを廃棄・補給しなければ、このような高い効率を得ることができないのが通常である。

2 章で指摘したように、高 ガス 圧力 CO<sub>2</sub> レーザ は産業用の装置として出力の安定性・再現性、ガス 封じ切り動作など数々の魅力ある利点を有するが、これらの長所が出力 5 kW 以上の大出力領域においても確認されたことは大きな成果である。

今回の不安定形共振器による発振試験、及び無声放電を重ねた最近の放電実験などの経験を通じて、昭和 58 年度の 20 kW CO<sub>2</sub> レーザ の開発に対する自信を得た。

## 参 考 文 献

- (1) 永井ほか：三菱電機技報, 52, No. 12, p. 891 (昭 53)
- (2) R. Mcleary, W. E. Gibbs : IEEE J. Quantum Electron., QE-9, 828 (1973)
- (3) S. A. Wutzke, J. L. Pack : CLEA PD-20 (1973)
- (4) M. Hishii, et al. : Appl. Phys. Letters, 36, No. 10, 797 (1980)
- (5) H. Nagai, et al. : CLEA No. 12.2 (1979)
- (6) 永井, 永井, 秋葉 : 電子通信学会・光 エレクトロニクス 研究会資料, OQE 80-42 (昭 55)
- (7) T. Akiba, H. Nagai, M. Hishii : IEEE J. Quantum Electron., QE-15, 162 (1979)
- (8) 八木ほか：レーザ 研究, 5, No. 3, 39 (1977)

# サイリスタ式電鉄用セクションストップ装置

鈴木 敏夫\*・米畑 譲\*・青山 正和\*・佐野 博司\*・大塚 義規\*

## 1. ま え が き

直流式電気鉄道では、事故時あるいは保守作業などで局部的に区分して停電するためのき電区分用のセクションを設けることが地方鉄道建設規程第74条に規定されているが、このセクションは車両のパンタグラフによって容易に短絡されるので、セクションスルーを防止するためにセクションの数を複数個として中間デッドセクションを設けることが必要となる。また、中間デッドセクションへのき電も必要となるため、直流しゃ断器やあるいはダイオードセクションストップが従来より使用されている。ダイオードセクションストップは可動部を有せず、保守周期の延長が容易な優れた方式であるが、近年増加の途にある回生制動車走行時の回生電力の処理が不可能である。このため、直流しゃ断とダイオードセクションストップの短所を補い、長所を生かして回生制動車走行時にも対応できる静止形のセクションストップ方式の要求が生じてきた。

このほど、福岡市交通局地下鉄き電設備として、回生制動車走行にも対応できるサイリスタセクションストップを開発製作し、取付け後の実車試験においても良好な結果が得られたので、このサイリスタセクションストップ装置の内容について紹介する。

## 2. サイリスタセクションストップの概要

中間デッドセクションへの給電方法の主なものとしては、従来より採用されているセクションを2個とし直流しゃ断器を使用したもの、セクションの数を3個としダイオードストップを使用したものと今回開発したセクションの数を3個としサイリスタストップを使用したものがある。これらの方式の概略回路構成、動作及び特徴を表1に示す。

サイリスタセクションストップは表1に示すように優れた方式であるが、これらの長所を遺憾無く発揮するためには、中間デッドセクション内車両の補機電流及び力行運転電流の供給と回生制動電流の処理を車両位置検知無しで車両の状態に応じて円滑に制御してやる必要がある。そこで、従来の直流しゃ断器方式及びダイオードセクションストップ方式の従来技術に新しく、電流、電圧検出機能、サイリスタターンオフ検出機能、点弧サイリスタ選択演算機能及び保護連動機能を加味し、全体として確実なき電制御が行われるように考慮した。

表2. サイリスタセクションストップの仕様

項 目	仕 様
形 式	CN-SA2R1
定格回路電圧	DC 1,500 V
定 格 電 流	(連続) 70 A (短時間) 3,200 A 10 秒間
主 回 路 接 続	逆並列接続 サイリスタスイッチ
素 子 構 成	三菱大電力サイリスタ FT 2500 BH-56 (2,500 A, 2,800 V) 2S×1P×2A
冷 却 方 式	密閉形風中自冷式
制 御 機 能	SW1 電流検出 ( $I_{1P}$ , $I_{1B}$ ) ターンオフ検出 ( $T_1$ ) ゲートパルス増幅
	SW2 電流検出 ( $I_{2P}$ , $I_{2B}$ ) 電圧検出 ( $E_2$ ) ターンオフ検出 ( $T_2$ ) ゲート選択論理演算 ゲートパルス増幅

注 制御機能以外はSW1とSW2は同一である。

表1. 中間デッドセクションへの給電方式

方式	概 略 回 路 構 成	動 作	特 徴	
			長 所	短 所
直流しゃ断器		(1) 72Fは54F1及び54F2の両方が投入されているときのみ投入される。 (2) 72Fの開放時に車両がセクションオーバーをしてもデッドセクションが加圧されるだけである。	(1) 車両が力行、回生のいずれでも電流を流すことができる。 (2) セクションが2箇所だけでよい。	(1) 直流しゃ断器の保守・点検が面倒である。 (2) 72F回路の配線が長距離となり工事が大変である。
ダイオードストップ		(1) セクション内は常時二分され車両が中央部でセクションオーバーをしてもダイオードによりセクションスルーはブロックされる。	(1) ストップ装置は工事の容易な最適位置に設置できる。 (2) ストップ装置の構造は非常に簡単である。 (3) ストップ回路は無接点化されており保守点検の周期を長くできる。	(1) セクション区間では車両の回生が不可能となる。 (2) セクションが3箇所必要である。
サイリスタストップ		(1) 構成はダイオードストップと同一である。 (2) セクション内での車両の状態(力行又は回生)に応じてストップ内のサイリスタ素子のゲート信号を制御する。	(1) 車両が力行、回生のいずれでも電流を流すことができる。 (2) ストップ装置は工事の容易な最適位置に設置できる。 (3) ストップ回路は無接点化されており保守点検の周期を長くできる。	(1) セクションが3箇所必要である。

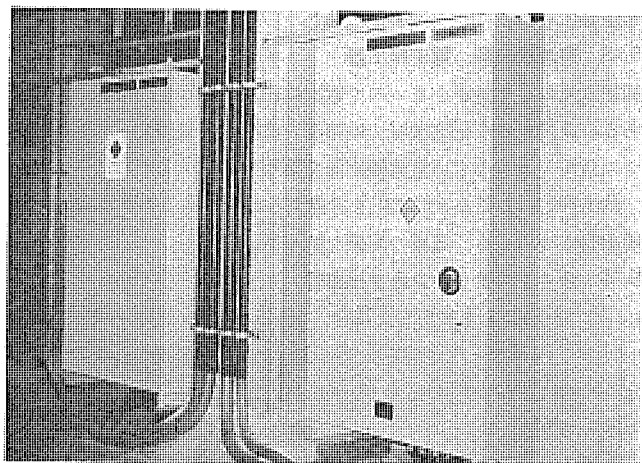
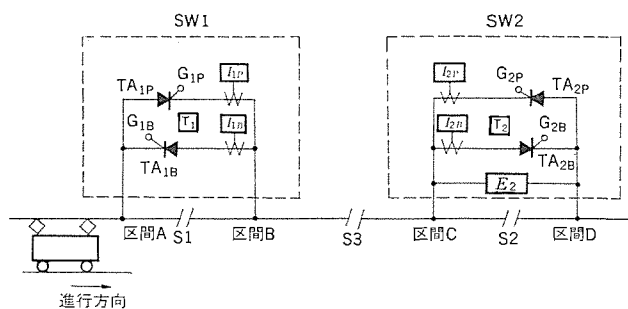


図 1. サイリスタセクションストップ 外観



$I_{1P}$  : SW1 力行側サイリスタ電流  
 $I_{1B}$  : SW1 回生側サイリスタ電流  
 $T_1$  : SW1 サイリスタターンオフ信号  
 $G_{1P}$  : SW1 力行側ゲートパルス  
 $G_{1B}$  : SW1 回生側ゲートパルス  
 $TA_{1P}$  : SW1 力行側サイリスタアーム  
 $TA_{1B}$  : SW1 回生側サイリスタアーム  
 $S1 \sim S3$  : セクション  
 $I_{2P}$  : SW2 力行側サイリスタ電流  
 $I_{2B}$  : SW2 回生側サイリスタ電流  
 $T_2$  : SW2 サイリスタターンオフ信号  
 $E_2$  : SW2 端子間電圧  
 $G_{2P}$  : SW2 力行側ゲートパルス  
 $G_{2B}$  : SW2 回生側ゲートパルス  
 $TA_{2P}$  : SW2 力行側サイリスタアーム  
 $TA_{2B}$  : SW2 回生側サイリスタアーム

図 2. セクションストップの回路構成

表 3. セクションストップの動作モード

モードNO.	スイッチの状態 (ゲートオン ゲートオフ)	説 明 *
1		(1) SW1の全サイリスタがゲートオンの状態である。 (2) セクション内に車両が無い場合（待機状態）、又は区間Bにおいて（区間BとCにまたがった場合も含む）車両が力行→回生と切換えを行った場合の中継用（過渡状態）のモードである。
2		(1) SW1及びSW2の力行側サイリスタがゲートオンの状態である。 (2) ダイオードセクションストップと同様、セクション区間での力行を可能としている。
3		(1) SW1及びSW2の回生側サイリスタがゲートオンの状態である。 (2) セクション区間での回生を可能としている。
4		(1) SW2の全サイリスタがゲートオンの状態である。 (2) 区間C内で、車両が起動又は力行→回生の切換えを行った場合の中継用（過渡状態）のモードである。
5		(1) SW1及びSW2の全サイリスタがゲートオフの状態である。 (2) 異常時のモードであり異常が回復すればモード1へ自動的に移行される。

注 \*印 説明文中“力行”には“力行”も含めるものとする。これは力行時も補機電流を流すためである。

### 3. 主な仕様

サイリスタセクションストップ装置の主な仕様は表 2. に示すとおりである。サイリスタスイッチ 1（以下 SW1 と呼ぶ）及びサイリスタスイッチ 2（以下 SW2 と呼ぶ）の 2 台 1 組でセクションストップとして機能し、サイリスタ選択演算機能などは SW2 側のみに集中して設けている。なお、図 1. は福岡市交通局地下鉄 1 号線今川橋に設置の西行 SW1（手前、正面向き）及び東行 SW2（裏面）の外観写真である。

### 4. 回路構成と動作

サイリスタセクションストップの概略構成と動作については表 1. に既に示したが、ここではやや詳しい内容について説明する。

#### 4.1 回路構成

ゲートオンすべきサイリスタを決定するのに必要な各種信号を含めたサイリスタセクションストップ回路構成を図 2. に示す。

(1) き電線は S1, S3, S2 の 3 個のセクションにより、区間 A, B, C, D の 4 個の区間に区分され、セクション S1 及び S2 に並列にサイリスタアーム  $TA_{1P}$ ,  $TA_{1B}$  及び  $TA_{2P}$ ,  $TA_{2B}$  からなる逆並列接続サイリスタスイッチ SW1, SW2 が接続される。

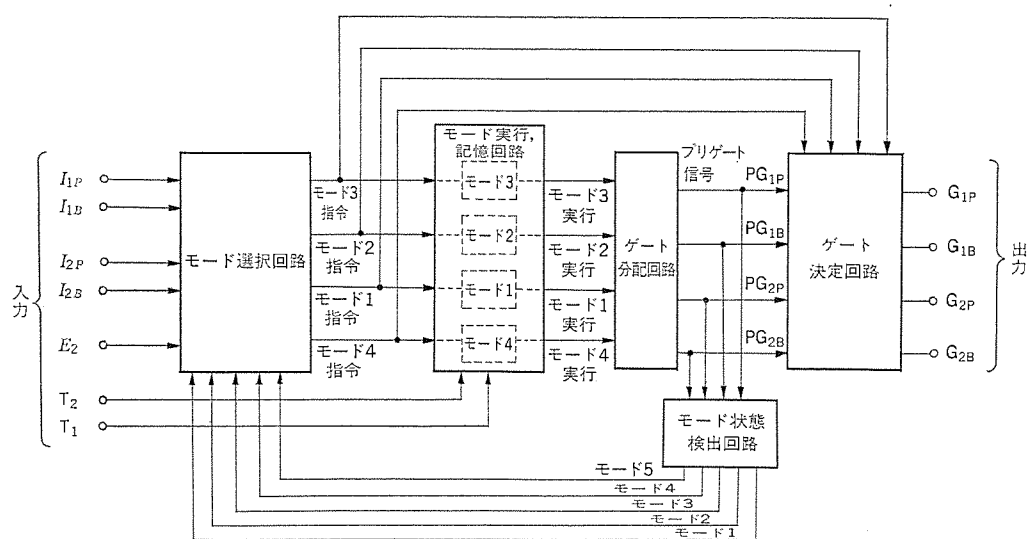


図 3. 制御回路ブロック図

(2) SW 1 は補機電流あるいは力行電流  $I_{1P}$ 、回生電流  $I_{1B}$  及びサイリスタアーム  $TA_{1P}$ 、 $TA_{1B}$  のターンオフ信号  $T_{1OFF}$  を検出し、その信号を SW 2 へ送ると共に、SW 2 からのサイリスタゲート信号  $G_{1P}$ 、 $G_{1B}$  で該当するサイリスタをオン、オフ制御する。

(3) SW 2 も補機電流あるいは力行電流  $I_{2P}$ 、回生電流  $I_{2B}$  及びサイリスタアーム  $TA_{2P}$ 、 $TA_{2B}$  のターンオフ信号  $T_{2OFF}$  を検出するとともに、サイリスタゲート信号  $G_{2P}$ 、 $G_{2B}$  で該当するサイリスタをオン、オフ制御するが、更に SW 2 の力行、回生サイリスタアーム  $TA_{2P}$ 、 $TA_{2B}$  が共にターンオフしている状態で車両が区間 C に進入した場合に、速やかに区間 C への給電を行うことができるように SW 2 端子間電圧  $E_2$  を検出できるようにしている。

#### 4. 2 動作モード

定常状態における動作モードとしては、表 3. に示す 5 つのモードがある。表 3. には、各動作モードのスイッチ状態及び動作状態の説明を合せて示した。

#### 4. 3 動作モード切替制御

表 3. に示す動作モード間の切替制御は、図 3. の制御回路ブロック図に示すように、切替え前の動作モード状態と図 2. に示す各種入力信号との論理演算によって行っている。

### 5. 設計上の留意点

#### 5. 1 サイリスタの選択

次の電圧、電流条件などを勘案し、各アームあたり三菱大電力サイリスタ FT 2500 BH-56 (2,500 A, 2,800 V) を 2S×1P で使用することとした。

##### (1) 電圧条件

区間 B (又は区間 C) 地絡で区間 A (又は区間 D) から開閉サージあるいは雷サージが進入した場合などにおいて素子定格電圧及び臨界オフ電圧上昇率を超えないこと。これらの条件を満足させるために適切なサージアブソーバも考慮した。

##### (2) 電流条件

次の項目を満足すること。

(a) 補機電流及び力行電流を平均化した値 DC 70 A を連続通電した後、力行起動電流 DC 3,200 A を 10 秒間通電できること。

(b) 回生電流は力行電流より小さいが、サイリスタ素子の種類の縮減を図るため、回生用サイリスタは力行用サイリスタと同一のものを使用すること。

(c) 区間 B 又は区間 C で短絡事故が発生した場合、対応するき電しゃ断器がしゃ断完了するまで流れる事故電流に対して、サイリスタ素子は破壊しないこと。

#### 5. 2 制御回路の信頼性向上とストップ短絡機能

制御回路は高信頼性の部品を適切な方法で使用するにより、更に信頼性の向上を図っている。また、制御回路の要となる動作モード切替論理回路の入力信号の読込みと論理演算とは、交互にタイミングをずらして適切な時点で実施することにより、読込み誤り、不要動作を防止するとともに耐ノイズ性の強化を図っている。

万一、制御回路に故障が発生した場合には、ストップ短絡指令を出せばそれらの制御回路と別系統の回路により、全サイリスタをゲートオフして、車両走行の妨げとならぬように、一時的にストップ短絡状態にできる機能を有している。なお、このとき速やかに正規状態に復帰できるように、制御回路のプリント基板化及び部品のユニット化を

考慮している。

#### 5. 3 電流検出器、電圧検出器

補機電流の最小値が小さいので電流検出器には特別の配慮が必要である。そのため小電流領域での精度、直線性が良好で、大電流領域での負担 VA が小さい電流検出器を使用した。

約 1,800 V までのき電電圧を考慮する必要のある SW 2 端子電圧検出器についても、同様の配慮を払った。

#### 5. 4 サイリスタターンオフ検出器

モード 1 で  $I_{1P}=1$  を検出した場合、SW 1 の  $G_{1B}$  をゲートオフすれば、サイリスタアーム  $TA_{1B}$  は自動的にターンオフするのが保証されるので、一定時間後に SW 2 の  $G_{2P}$  をゲートオンしてやれば、モード 2 にそのまま移行できる。

ところが、モード 2 で  $I_{1P}=0$ 、 $I_{2P}=0$  を検出した場合には、電流は検出設定レベル以下になったというだけで、SW 2 の  $G_{2P}$  をゲートオフしても必ずしもサイリスタアーム  $TA_{2P}$  が自動的にターンオフするとは限らない。そこで、モード 2 からモード 1 への移行時には、SW 2 のサイリスタアームがすべてターンオフしていることを確認した後に、モード 1 へ移行する必要がある、ターンオフ検出が必要となる。

#### 5. 5 SW 1, SW 2 間信号伝達

サイリスタスイッチ間は、直線で 100~200 m 程度あるので、信号伝達距離は 150~300 m 程度にもなる。次の方法により多ひん(頻)度オン、オフ信号の不要振動の発生並びに雑音の進入を抑制することができた。

(1) ホトカブラによる入力抵抗の低減と SW 1, SW 2 制御電源の分離

(2) ダンピング条件を満足する部品定数の選定

(3) シールドケーブルの使用

#### 5. 6 素子故障検出器

区間 B, C のいずれにも車両が存在せず、また区間 B, C に地絡事故も発生していないときには、SW 1 及び SW 2 はき電回路電位に保持されてはいるが、スイッチ端子間には電圧が印加されておらず、また電流が流れていない状態にあり、サイリスタ素子使用条件としては緩いので常時は素子故障の監視は行わず、仕業検査あるいは定期検査時などに素子故障検出指令で各スイッチのすべてのサイリスタのターンオフを検出することにより容易にチェックできるように考慮した。なお、素子故障検出指令は装置前面の押しボタンでも指令でき、のぞき窓内部に設けた発光ダイオードにより、異常時はどの素子が異常であるかを識別できる。

#### 5. 7 制御電源異常

今回、制御電源は近隣のき電変電所から信頼度の高い AC 200 V を引込み使用しているが、この制御電源がダウンするとすべてのサイリスタがゲートオフされて区間 B, C が停電となるため、万一の制御電源異常に備えて常時制御電源を監視することとした。

なお、更に高い信頼性を考慮する場合には、き電変電所蓄電池あるいはき電線電圧を制御電源として使用することも考えられるが、経済性及び保護の面でのデメリットも生ずる。

#### 5. 8 き電しゃ断器との連動

SW 1, SW 2 が接続されている区間 A, D のき電しゃ断器が開放されている場合には、SW 1, SW 2 のサイリスタをゲートオンする必要がない。そこで、対応するき電しゃ断器の投入状態を各スイッチのサイリスタゲートオン条件として加えることにより、なお一層ストップ機能を強化することとした。

## 6. 装置の構成と特長

装置の構成と特長を列挙すると次のとおりである。

- (1) 本体は SW 1, SW 2 の 2 分割とし、各々最適な位置に設置して、主回路ケーブルの配線を簡単化できるように考慮した。
- (2) 各スイッチは、正面右側の制御回路部と正面下側手前の制御回路用外部端子部を除いて、すべて主回路部となっており、それぞれ仕切りが設けられている（以下、図 4. の内部構造写真を参照）。
- (3) 主回路部は上から電圧検出器（SW 2 のみ）、サージアブソーバユニット、電流検出器、サイリスタスタック、ゲートユニット及びターンオフ検出器高圧部が収納されており、主回路用外部端子は天井部に設けられている。
- (4) 制御回路部は上から制御用プリント基板を収納するスイング式のラック、リレーユニット及び NFB ユニットの順に取付けられている。
- (5) カバーはすべてコルプレンパッキンを使用したボルト締め構造で、冷却扇その他の補機類や冷却油を一切使用しない密閉形気中自冷方式としており、また大容量サイリスタの採用、部品のユニット化、制御回路の IC 化などにより装置を小形化しているのもトンネル内への設置も可能である。

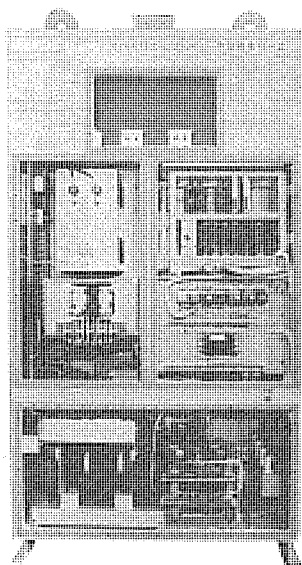


図 4. サイリスタセクションストップ 内部構造

## 7. 試験結果

各段階における種々の項目について試験が実施され、設計どおりの機能を有することが確認された。主な内容についてまとめて示す。

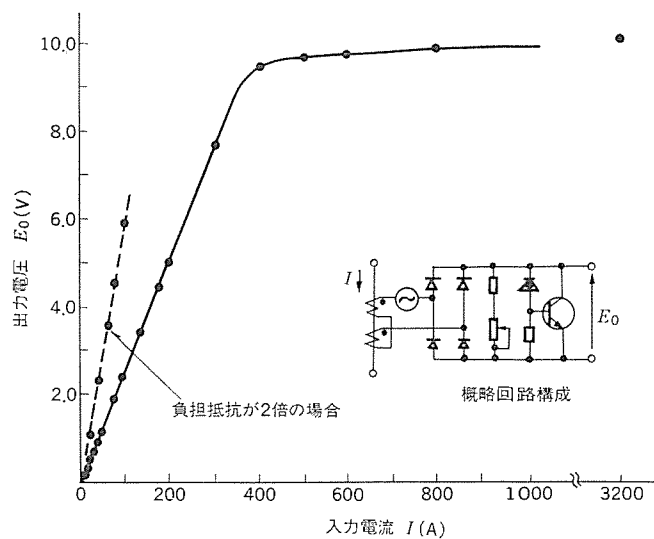
### 7.1 等価試験

#### (1) 密閉形気中自冷方式温度上昇試験

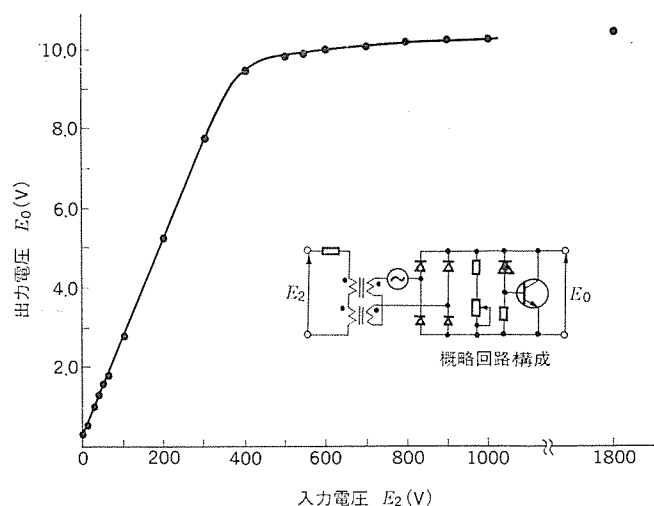
カバーをすべて閉じた状態で、順方向に DC 70 A の電流を流して各部温度が十分に飽和した後、DC 3,200 A の電流を 10 秒間通電したときのサイリスタ冷却フィン温度の上昇値は設計値を十分に満足した。

#### (2) 電流検出器、電圧検出器及びターンオフ検出器特性

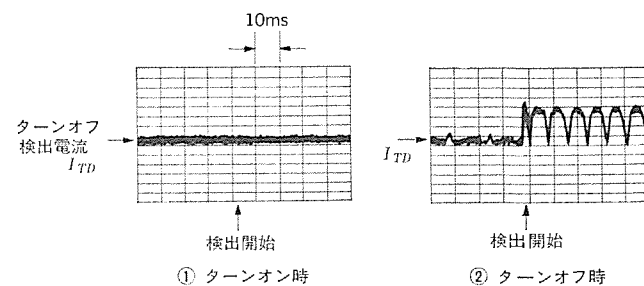
電流検出器及び電圧検出器の概略回路構成と入出力特性測定結果を図 5. (a), (b) に示す。両検出器共に特性は良好であった。また、種々の制約条件を解決して開発した高圧電位部サイリスタのターンオフ検出器も良好な特性を有することが確認された。図 5. (c) に力行、回生用サイリスタアームがすべてターンオンしている場合とターンオフしている場合のターンオフ検出電流波形を示す。



(a) 電流検出器入出力特性



(b) 電圧検出器入出力特性



(c) ターンオフ 検出電流波形例

図 5. 各種検出器特性

#### (3) 模擬信号によるモード切換動作確認試験

車両走行状態を想定した模擬信号によるモード切換動作確認試験も、順行と逆行、力行と回生との組合せ、あるいは各区分での力行、回生切換えなどにおいて、良好な結果が得られた。

#### (4) 水密試験

JIS C 0920 に定められた防まつ形防水に対する散水試験で有害な影響が無いことが確認された。

### 7.2 実車試験

以下に示す試験結果は福岡市交通局地下鉄 1 号線今川橋東行サイリスタセクションストップで実施されたものである。

表 4. 実車試験結果

走行パターン NO.	走行パターン	走行結果						
1	順行力行通過	良好						
2	逆行力行通過	良好						
3	順行回生通過	良好						
4	逆行回生通過	良好 (図6(a)参照)						
5	順行力行進入 区間Bで力行→回生切換え	良好						
6	逆行回生進入 区間Bで回生→力行切換え	良好						
7	順行力行進入 区間Cで力行→回生切換え	良好 (図6(b)参照)						
8	逆行回生進入 区間Cで回生→力行切換え	良好						
セクションオーバー防止機能確認試験  (1) S3短絡状態で車両停止→モード2 (2) $I_s$ 測定結果 <table border="1"> <tr> <td>54F11, 54F13共にオン</td> <td><math>I_s=635\text{mA}</math></td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>54F11オン, 54F13オフ</td> <td><math>I_s=75\text{mA}</math></td> <td>-----</td> </tr> </table>			54F11, 54F13共にオン	$I_s=635\text{mA}$	-----	54F11オン, 54F13オフ	$I_s=75\text{mA}$	-----
54F11, 54F13共にオン	$I_s=635\text{mA}$	-----						
54F11オン, 54F13オフ	$I_s=75\text{mA}$	-----						

## (1) 実車走行試験

各種走行パターンにおけるモード切換動作確認試験結果を表4.に示す。このときの各部波形例として走行パターンNo.4及びNo.7のオシログラムを図6.(a), (b)に示す。これらの結果より、実車走行においても良好な切換えが行われることが確認された。車上データにも特に異常が認められなかった。

## (2) セクションオーバー防止機能確認試験

測定方法と測定結果を表4.下段に示す。電流抑制抵抗付き電流計を区間Dのき電線とレールとの間に接続すると、き電しゃ断器54F11, 54F13が共にオンの場合には、図中破線で示す電流635mAが測定されたが、セクションS3が短絡でも、き電しゃ断器54F13がオフの場合には、図中1点鎖線で示す電流75mAまで低減された。これはSW2のセクションオーバー防止機能によるもので、区間Dとレールとを直接接続(短絡事故相当)としてもセクションオーバー電流が85mA程度しか流れないことを示している。

## 8. む す び

サイリスタセクションストップはセクションオーバー防止機能を損うことなしに、

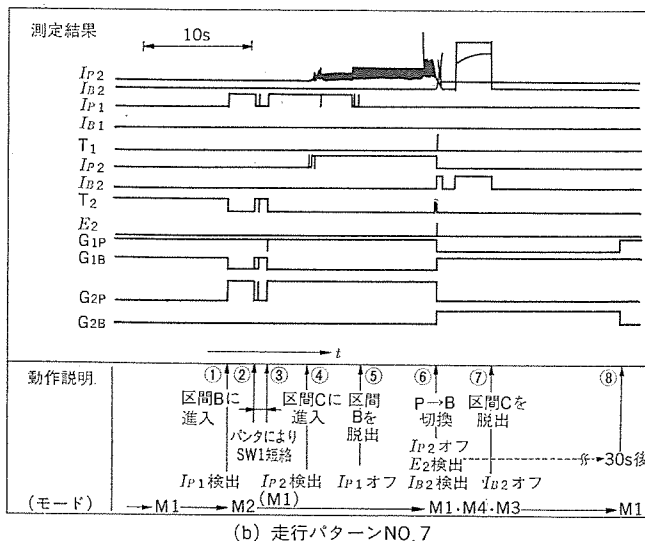
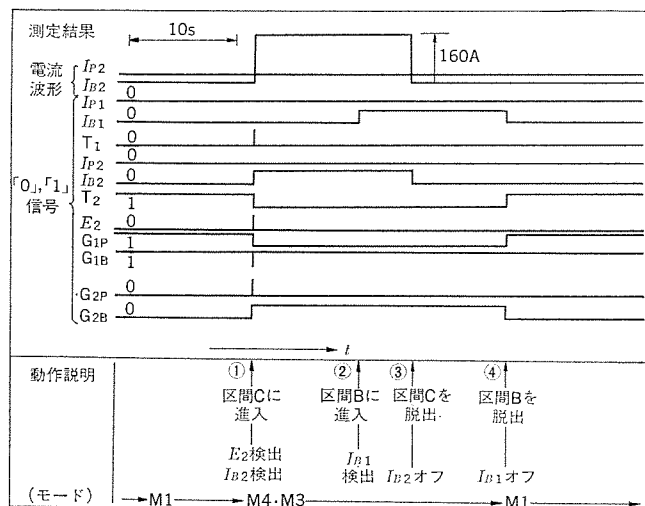


図 6. 実車走行試験 オシログラム

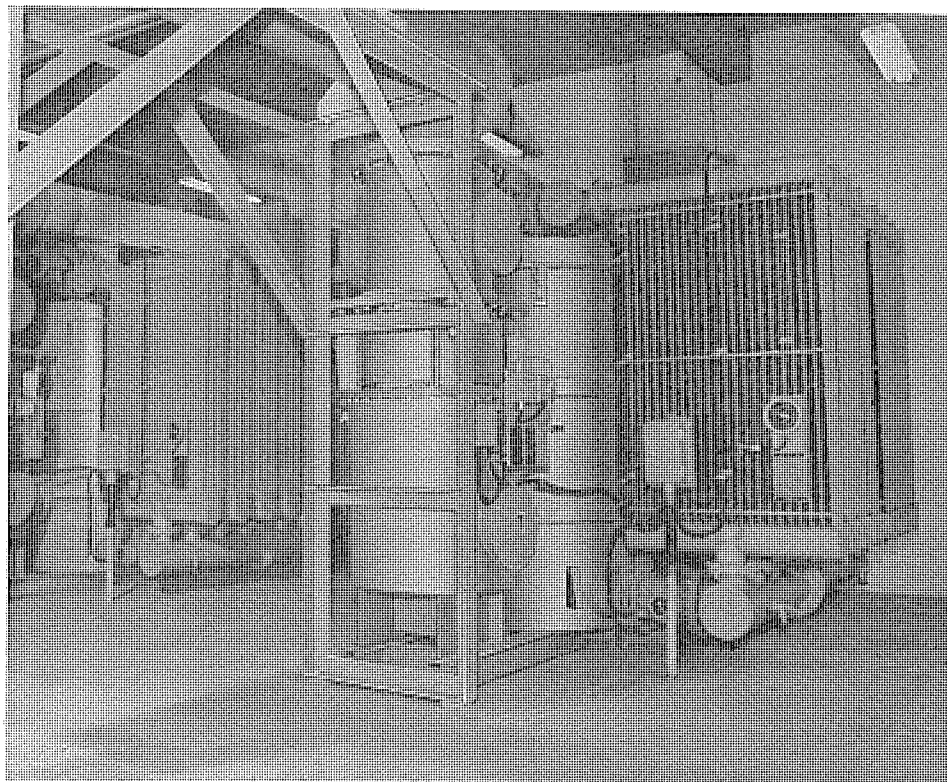
中間デッドセクション内の車両の力行電流及び補機電流の供給、並びに停止制動あるいは抑速制動時回生電流の流出を円滑に行うことができる。特に、中間デッドセクション内における回生ブレーキの使用が保証されたことにより、車両ブレーキの信頼性の向上に寄与するところ大である。また、サイリスタセクションストップにおける主回路の開閉はサイリスタへのゲートパルスのオン、オフ制御により無接点で行われるので、接点の摩耗などがなく、保守点検の周期も長くすることが可能である。これらの特性により、直流式電気鉄道のき電区分用としてサイリスタセクションストップが今後ますます使用されることが期待される。

最後に、この装置の完成にあたって御指導、御支援をいただいた福岡市交通局関係各位に深く謝意を表する次第である。

## 不燃性のSF<sub>6</sub>ガスを使用した 三菱ガス絶縁変圧器

三菱電機ではこのたび、不燃性のSF<sub>6</sub>ガスを絶縁媒体としたガス絶縁変圧器を発売しました。これは変圧器の不燃化、保守の簡便化、周囲環境との調和、小形化、高信頼化などの強い要求に応じて開発を進めてきたもので、市街地の変電所、ビルディングや地下街などの屋内変電所、トンネル内変電所、発電所、各種プラント工場などの電力設備などに最適な変圧器です。

ガス絶縁変圧器の製作範囲は、電圧110kV・容量30MVAまでと、従来の不燃性、難燃性変圧器の製作範囲をより大きく広げています。さらに、ガス絶縁開閉装置(GIS)と組み合わせることにより、変電所の大幅なコンパクト化とトータルなガス絶縁化が達成できます。



### 特長

#### ●すぐれた防災性

不燃性、非爆発性で、物理的にも化学的にも安全なSF<sub>6</sub>ガスで絶縁しているため、防災性にすぐれています。

#### ●保守が簡便

完全密封構造のため、外気の湿気やゴミなどの周囲環境によって変圧器の中身が汚損されることがなく、変圧器内部の保守点検をする必要がありません。またSF<sub>6</sub>ガスを封入・回収する場合にも、鉱油と比べて清浄で簡便に作業できるので、現地据付作業が容易です。

#### ●周囲環境との調和

油入変圧器の場合に必要な噴油対策、例えば油だめや防油堤が不要です。

#### ●小形・軽量

絶縁強度の高いSF<sub>6</sub>ガスで絶縁していますので、高電圧品では乾式変圧器より小形・軽量となり、変圧器の輸送および現地搬入が容易です。

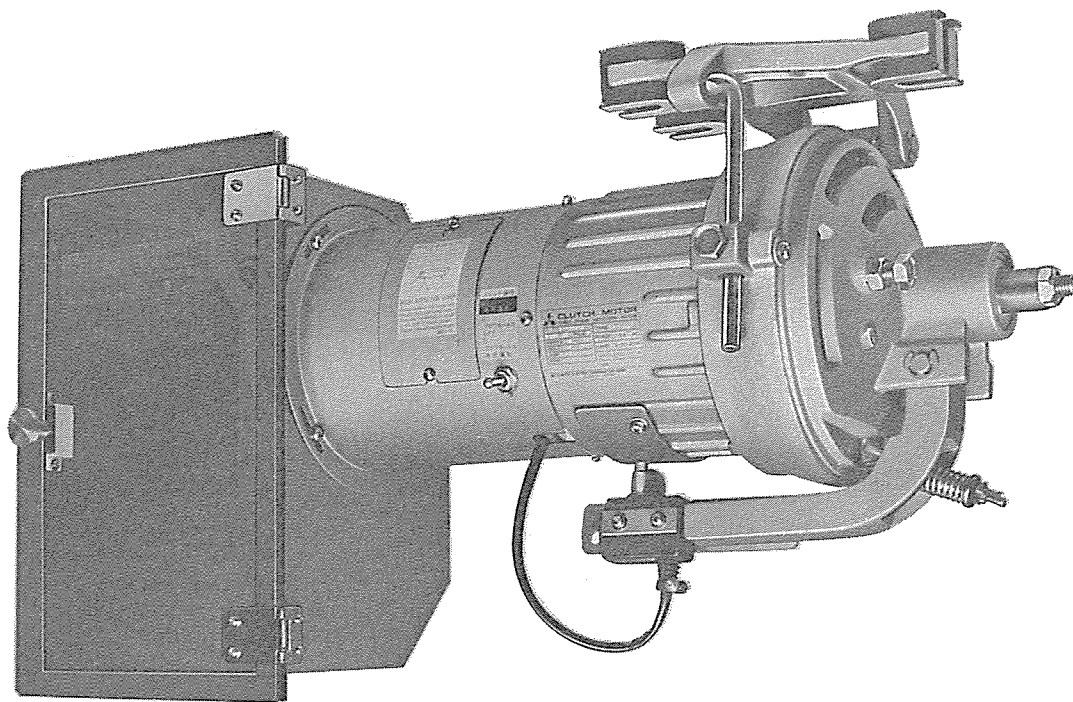
### 三菱ガス絶縁変圧器の形式

形 名	形 式	標準容量	電 圧	絶縁種別	温度上昇限度
AS-GR	自冷式	3,000kVA程度以下	110kV以下	E 種	70℃ (抵抗法)
AS-GUR	送ガス自冷式	20,000kVA程度以下			
AS-GUB	送ガス風冷式	30,000kVA程度以下			

### 標準仕様

公称電圧 (kV)	標準タップ(kV) (無電圧タップ切替装置付)	交流試験 電圧(kV)	衝撃試験 電圧(kV)	標 準 容 量 (kVA)	
110	F115-R110-F105-F100	230	550	500	6000
77	F80.5-R77-F73.5-F70	160	400	750	7500
66	F69-R66-F63-F60	140	350	1000	10000
33	F34.5-R33-F31.5-F30	70	200	1500	15000
22	F23-R22-F21-F20	50	150	2000	20000
11	F11.5-R11-F10.5-F10	28	90	3000	30000
6.6	F6.9-R6.6-F6.3-6.0-5.7	22	60	4500	

## 強力な集塵力を発揮する 三菱ブロワ付クラッチモートル



このたび三菱電機では、縫製作業の合理化・省力化・脱技能化を推進し、近年特に要望の増大している作業環境の向上に貢献する、ブロワ付クラッチモートルを新発売しました。

本機は、クラッチ・ブレーキを内蔵するクラッチモートルに、ターボファン式のブロワモートルと塵埃を収納する集塵箱をコンパクトにまとめたものです。

工業用のヘリ縫いミシン、メス付ミシン、裁断機などの駆動と自動糸切り・糸くず・裁断くずの集塵を自動的に行い、作業能率の向上と清潔な環境づくりに大きな威力を発揮します。

### 特長

#### ●強力な集塵力

ブロワ専用モートルの使用により強力な集塵力が得られ、また50Hz・60Hz共用で、吸込圧力は同一です。

#### ●静かでしかも省エネ運転

ブロワは負荷を運転する時のみ作動するので、通常は騒音が少なく静かで、しかも省エネルギー運転です。

#### ●コンパクト設計で取付けも簡単

クラッチモートル、ブロワモートルおよび集塵箱を一体構造としたコンパクト設計。取付けも簡単です。

#### ●ブロワ切換スイッチ付

切換スイッチにより、ブロワ・クラッチモートル連動運転、ブロワ休止運転、ブロワ連続運転などが行え、多目的に使用できます。

#### ●糸くず、布くず、ホコリなどをシャットアウト

集塵箱のフィルタが二重構造となっているため、塵埃がブロワ内部へ入る心配がなく、またフィルタは簡単に取り外しできるので、掃除も容易に行えます。

#### ●一目でわかるゴミ量

集塵箱のフタを透明にしたため、ゴミの量が一目でわかります。

### 標準仕様

形 名	相 数 (φ)	極 数 (P)	出 力 (W)	電 圧 (V)	※1 全負荷電流(A)		※2 全負荷回転数(rpm)		最大静圧 (mmAq)	最大風量 (m <sup>3</sup> /min)	集塵容量 (ℓ)	重 量 (kg)
					50Hz	60Hz	50Hz	60Hz				
CA-B252E	1	2	250	100	8.4	7.6	2840	3430	1100	2.5	5	23
CA-B402E	1	2	400	100	9.7	9.6	2870	3450	1100	2.5	5	26
CB-B252E	3	2	250	200	2.7	2.6	2880	3460	1100	2.5	5	23
CB-B402E	3	2	400	200	3.1	3.0	2890	3460	1100	2.5	5	25

※1 クラッチモートル+ブロワモートル電流 ※2 クラッチモートル回転数

# スポットライト

DUD方式採用の本格派3ウェイ・システム

## 《ダイヤトーン》スピーカーDS-503形

デジタルオーディオ時代を迎えて、PCMテープレコーダーやDADプレーヤーが続々と出現し、プログラムソースが大きく改善されてきています。これにともない、再生側のスピーカーにも、デジタルオーディオに対応した高性能スピーカーが必要になってきています。

ダイヤトーンでは、こうした新時代に対処し、最新の技術を搭載したDS-503形3ウェイ・スピーカーシステムを開発しました。この機種はすでに発売以来ご好評をいただいているDS-505形の姉妹品で、その設計思想を受け継いだブックシェルフ形のホーム用高級スピーカーシステムです。

### 特長

#### ●3ウェイ構成バスレフ方式

高音用に2.3cmドーム形、中音用に6.5cmドーム形、低音用に32cmハニカムコーンスピーカーを搭載した3ウェイ・スピーカーシステムで、低音増強用として歪が少なく豊かな響きのバスレフ方式を採用。特にポートには純アルミ引抜きパイプダクトを使っているため、共振の少ない反応の速い低音を実現しました。

#### ●高音用・中音用にDUD方式ボロン化振動板を採用

超硬質のチタン金属を深絞りする技術と、それをさらに超硬質のボロン化する技術と、ボイスコイルを振動板に直接捲く工作技術の開発により、ダイヤトーン独自のDUD方式 (DIATONE Unified Diaphragm) を完成し、ドーム形の直接放射形スピーカーで超高音域まで微細な信号も再生する高分解能スピーカーとなりました。

#### ●口径32cmハニカムコーン振動板

デジタルオーディオでは低音域のダイナミックレンジの拡大は著しいものがありますが、この低音域の歪を少なくアタック音を完全に再生し、混交調整が少なくても低音の分解能にすぐれたウーファーを作るため、ダイヤトーン独自の技術であるハニカムコーン振動板を採用しました。特に、新開発のポリアミド繊維を使用し、軽くて強靱な振動板を実現しています。

#### ●低歪磁気回路を搭載

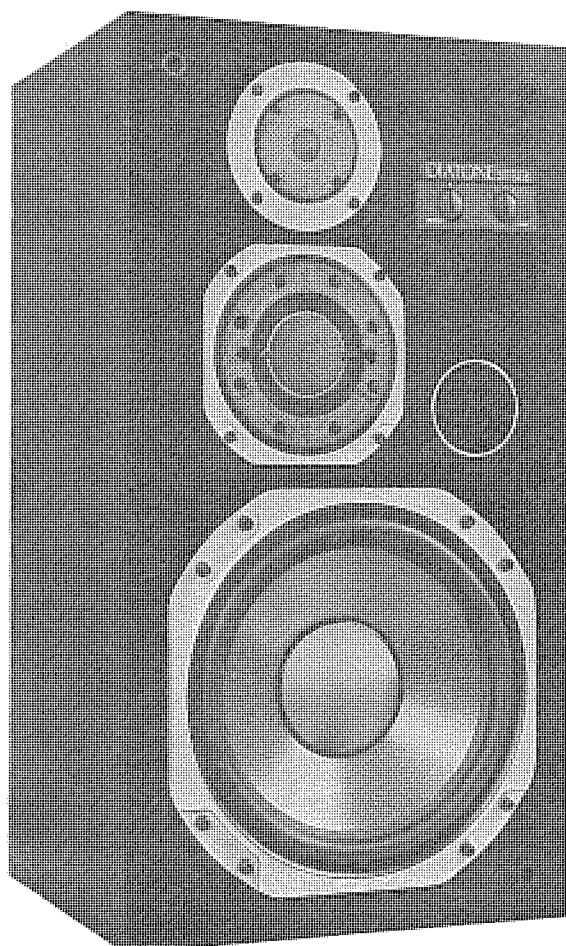
ウーファーの磁気回路には、磁極空隙部にFe-Ni合金材料を装置し、ボイスコイルに流れる電流がひずまないようにした低歪磁気回路を採用しています。

#### ●低歪ネットワーク

ネットワークによる音質劣化がないよう、フィルターコイルは歪の少ない積層オリエントコア入りコイルをワニス含浸して使用し、コンデンサは徹底した測定と試聴との繰り返しで厳選したものを採用するなど、十分な配慮を施しています。特に、内部配線は従来のハンダ付けによる配線を廃止し、圧着端子による接続を行い、配線材料には1.4mm<sup>2</sup>の無酸素銅線を使用しています。

### 標準仕様

方 式	3ウェイ・3スピーカー バスレフ方式
使 用 ユ ニ ッ ト	低音用 32cmハニカムコーン形 中音用 6.5cmDUD方式ドーム形 高音用 2.3cmDUD方式ドーム形
公称インピーダンス	6Ω
最大入力	100W
定格入力	30W
再生周波数帯域	30~40,000Hz
反共振周波数	21Hz
クロスオーバー周波数	500Hz、5000Hz
出力音圧レベル	90dB/W/m
レベルコントロール	MIDDLE 4段切換 HIGH 4段切換
外形寸法	390(W)×720(H)×377(D)mm
重 量	33kg



登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1239549	放電装置	高塚 桂三	1239594	口出線保護用 ブッシュ	田中 道章
1239551	端子装置	藤 井 洋	1239596	防振形回転機	中本 道夫
1239554	積層鉄心の締付装置	有木正幸・松本金昭	1239600	巻線装置	石井昭二・辻 洋
1239555	加湿器	大堀正春・大州俊和	1239602	分割巻線変圧器	久岡 俊之
1239556	加湿器	大堀正春・大州俊和	1239605	締付工具	秋吉 俊男
1239558	筐体の開閉形 テーブル 装置	安 井 修	1239608	冷凍装置	伊 藤 博
1239561	回転電機の集電環短絡装置	藤山 辰之	1239609	ワイヤ 巻きわく支持装置	山本文孝
1239562	内蔵機器点検用筐体扉	中原 義昭	1239610	油分離器	山崎 泰彦
1239564	アナログ・デジタル 変換回路	西谷 芳久・三橋 康夫	1239619	電磁連結装置	小林 良治
1239566	モールド 変成器	山内 欣二	1239621	テレビカメラ 用回転台の制御装置	宮原 武見
1239573	VHF チューナ 装置	前川 英喜・西脇 正治 丸山 明男	1239623	ヒートポンプ 式空気調和装置	小林 靖夫
1239580	スイッチング 回路	高橋 修・小野 健一	1239624	遮断器の引出装置	小原 正利
1239581	電磁制動装置	田村 勝明	1239626	電子レンジ の加熱箱	町原義太郎・池田 宏司 熊田 泰治・田村 邦夫
1239582	燃焼装置	酒井正侃・西楽 隆司	1239628	高周波調理器	高橋 恒夫
1239586	回転電機の固定子 フレーム	樋口 芳則・鈴木 好弘	1239629	温湿度交換器	山崎 起助・湯山 恭
1239587	変圧器 コイル	加藤 一男	1239630	電気コード 用接続金具	川戸 慎二郎
1239588	半導体装置	山本 勇	1239631	立て形工作機の切削油剤の自動 供給装置	東 福 政一
1239589	回転電機の電動、手動両用型 2 次短絡操作装置	友広 豊和	1239646	蓄熱暖房器	増田 三郎・須田 洋

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 55 No. 11 工業用計算機と応用特集

特集論文

- 工業用計算機システムの動向—分散制御システム—
- 《MELCOM 350-50》工業用計算機における分散システムの  
構成技術
- 火力・原子力発電における工業用計算機システムの動向
- 電力系統分野における分散処理システム
- 鉄鋼における分散処理
- 水処理分野における分散制御システム
- 鉄道における分散処理システム
- ビル管理用分散形プロセス入出力システム

- 分散化されたソフトウェア生産システム
  - 分散処理システムにおける CRT マンマシンインタフェース
  - 工業用計算機システムにおけるモダンゼーション
- 普通論文
- 最近の移動用変電所の動向—三菱スーパーモビル変電所—
  - 新形 500 kV 直列コンデンサ保護装置の開発
  - 河川・道路管理用機能分散形テレメータ
  - 船舶の主機換装用電機品における省エネルギーと省力
  - 圧延用直流多相式サイリスタモータ 1,950 kW
  - 水封式水中電動機の絶縁特性

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 55 巻 10 号			
委員長	志岐 守哉	委 員	柴田 謹三	(無断転載を禁ず)			
副委員長	大谷 秀雄	"	樋口 昭				
"	横 浜 博	"	柳 下 昌 平	昭和 56 年 10 月 22 日 印刷 昭和 56 年 10 月 25 日 発行			
常任委員	三 輪 進	"	立川清兵衛				
"	唐仁原孝之	"	徳 山 長	編集兼発行人 諸 住 康 平			
"	木 内 孝	"	柴 山 恭 一				
"	葛 野 信 一	"	福 井 三 郎	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			
"	三 浦 宏	"	町 井 昭 宏				
"	阿 部 修	"	瀨 辺 国 昭	発 行 所 東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号 (〒 100) 菱電エンジニアリング株式会社内			
"	桐 生 悠 一	"	倉 橋 浩 一 郎				
"	野 畑 昭 夫	"	竹 内 守 久	「三菱電機技報社」 Tel. (03) 218 局 2045			
"	的 場 徹	幹 事	諸 住 康 平				
"	尾 形 善 弘	"	足 立 健 郎	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			
10 号特集担当			小 林 凱				
				定 価 1 部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)			

## 《MELCOM70》用 グラフィックディスプレイGDS-70形



図形処理システム・パッケージ〈GDS-70〉

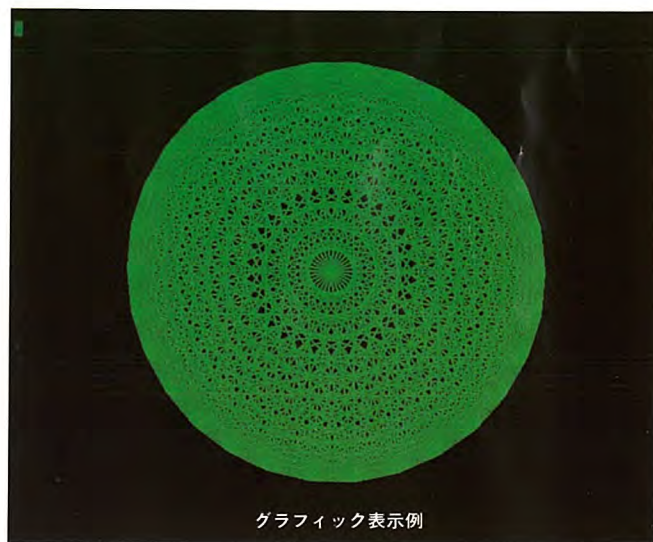
### 特長

- ラスタ・スキャン方式ディスプレイ採用  
ラスタ・スキャン方式の採用により、640×480ドットの高解像度、明るい画面、部分消去などを可能にしています。
- マルチスクリーンによる操作性向上  
キャラクタ画面とグラフィック画面の2つを持っており、画面の重畳、切換表示を可能にし、グラフィック画面を壊すことなく、キャラクタでの会話ができるようになりました。
- 大容量のキャラクタ・メモリ  
136字×100行のメモリを持っており、キーボードからの操作により画面を上下左右に移動させ、80字×30行の範囲で参照することができます。従って、以前に出力された内容を100行までさかのぼって参照できるほか、画面上での編集も100行単位で実行可能にしています。
- プログラマブル・ファンクションキー  
10個のプログラマブル・ファンクションキーがあり、それぞれ64文字までの文字例を植付けることができ、このキーを押すだけで植付けられた文字例を発生することができます。使用頻度の高い文字例を植付けておくことにより、キー入力操作はより簡略化することができます。
- 2種類の表示速度  
高速と低速の2種類の表示速度があり、画面出力中でもキーボードからワンタッチで切換えられますので、操作性がより向上しました。
- 一人二役のハードコピー装置  
ハードコピー装置として、ドット・インパクト方式のプリンタを採用しており、2ポート・インタフェースになっているため、ディスプレイ装置のハードコピーとしてだけでなく、計算機のプリンタ装置としても同時に使用できます。

三菱電機ではこのたび、《MELCOM70》の普及形グラフィックディスプレイ装置として、「M4380ディスプレイ装置」を開発し、本年3月より販売を開始しました。

近年の計算機利用の底辺拡大に伴い、手軽な図形出力の要求が急速に高まっています。このような需要動向に対応して、「M4380ディスプレイ装置」は、特に需要の大きい普及形グラフィック市場に参入すべく、使いやすさと低価格を追求して登場したものです。

このディスプレイ装置と、ミニコンピュータ《MELCOM70》とを組み合わせたシステムである、図形処理システム・パッケージ《GDS-70》は発表以来、大きな好評をいただいています。



グラフィック表示例

### 標準仕様

使 用 C R T	14インチブラウン管
表 示 方 式	インタレース・ラスタ・キャン方式 キャラクタコード・リフレッシュ方式 グラフィックドット・リフレッシュ方式
表 示 文 字	表示エリア 80字×30行 メ モ リ 136字×100行
図 形 表 示	横640×縦480ドット
表 示 指 定	キャラクタ ノーマル、プリンク、リバース アンダーライン、無表示 グラフィック 実線、破線、部分消去 など8種
編 集 機 能	キャラクタ・デリート/インサート ライン・デリート/インサート
ファンクションキー	10個(それぞれ64字まで植付可)