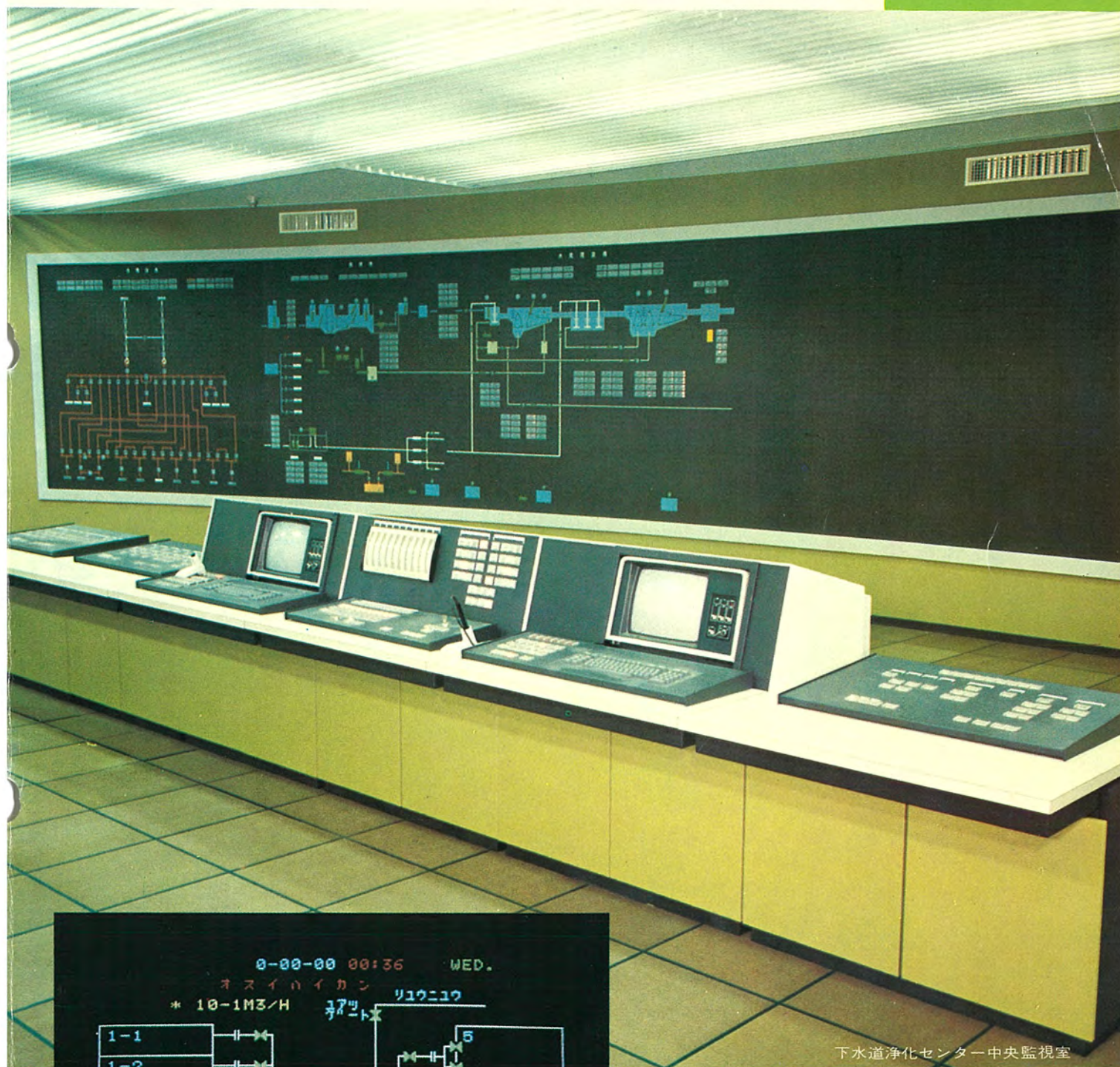


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

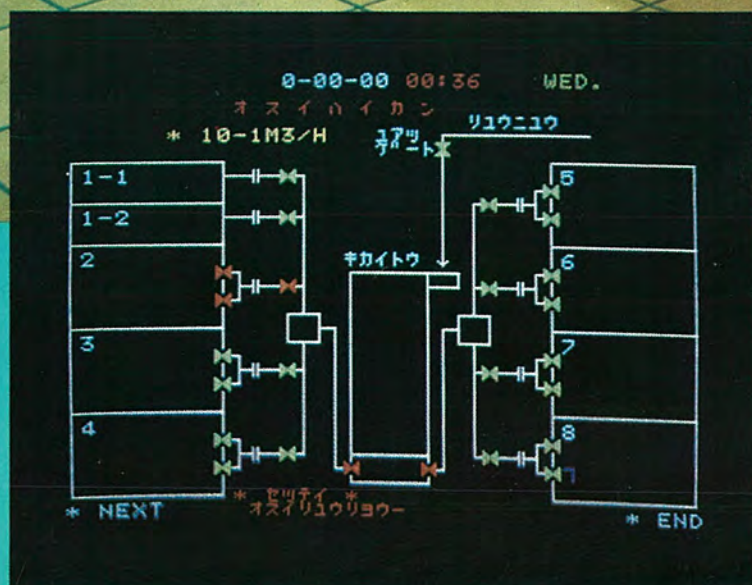
Vol.50 No.12

水処理プラント用電機品特集

12
1976



下水道浄化センター中央監視室



三菱電機技報

Vol. 50 No. 12 DECEMBER 1976

水処理プラント用電機品特集

目次

特集論文

水の処理方法	松岡宏昌・田畑則一・水上幸三・鈴木 滋・新見明彦	623
水の利用運用システム	福田豊生・前田和男・小沢純一郎・伊藤俊一	629
水処理総合計装制御装置	竹野宏平・戸根川寿志・大野宣男・苗村善健・盛口全太	635
水処理用監視操作盤	安田宜弘・盛口全太	641
水処理用回転機	坪井克剛・岡部繁康・佐藤公夫	647
水処理用受配電動力盤	岸本 正・片山 明・藤本侃四郎・墨 義人・高橋 勝	653

普通論文

三菱信号伝送装置《MELPLEX》シリーズ	山下弘雄・大野宣男・石井哲夫	661
高解像度X線テレビジョン装置 XT-1100 シリーズ	堀 高明・山際豊行・仲佐節男	666
スピーカーの駆動系による非直線ひずみの低減	土屋英司・岡田 将・池田英男・野村達衛・佐伯多門	670
最近の大形変圧器技術開発〔I〕	田村良平・清水英範・平井正好・渡辺次男	675

FEATURING ELECTRICAL EQUIPMENT FOR WATER-TREATMENT PLANTS

CONTENTS

FEATURED PAPERS

New Developments in Water-Treatment Systems	Hiromasa Matsuoka et al.	623
Water-Utilization and Water-Management Systems	Toyo'o Fukuda et al.	629
Integrated Instrumentation and Supervisory-Control Systems for Water-Treatment Plants	Kohei Takeno et al.	635
Supervisory-Control Panels for Water-Treatment Plants	Yoshihiro Yasuda & Zenta Moriguchi	641
Electric Motors for Water-Treatment Applications	Katsutaka Tsuboi et al.	647
Power Reception and Distribution Panels for Water-Treatment Plants	Tadashi Kishimoto et al.	653

GENERAL PAPERS

The MELPLEX Series of Signal-Transmission Controllers	Hiro'o Yamashita et al.	661
Series XT-1100 High-Resolution X-Ray TV Equipment	Takaaki Hori et al.	666
The Reduction of Nonlinear Distortion Due to the Driving Mechanism in Loudspeakers	Hideshi Tsuchiya et al.	670
Recent Progress in the Development of Large Power Transformers	Ryohei Tamura et al.	675

表紙

下水道浄化センター中央監視室

最近の人口の都市集中化、生活水準の向上による水需要の増大、生活環境整備による下水道の普及、及び下水処理の高級処理の必要などによって水処理設備はますます大規模・広域化しており、それにつれて各設備の運転管理は複雑・多岐になってきている。茨城県常南流域下水道利根浄化センターに納入した計算機システムは下水処理場の集中監視制御を目的としたもので、表紙写真はその中央監視室に設けた CRT ディスプレー装置を組み込んだ中央操作盤、全体の系統を表示する中央監視盤及びディスプレイ装置に表示させた処理場機器の運転状況グラフィックを示す。中央監視室には二重系計算機システム、データウェイ装置などが設置され、さらに同所構内には受配電機器、電動機、同制御機器等が多数納入設置されている。

COVER

Central Control Room for a Sewage-Purification Plant

The computer-control system delivered to the Tone Purification Center of the Jonan Catchment-Area Sewage System in Ibaragi Prefecture is designed to accomplish centralized control of sewage treatment. The cover photo shows the central control board, including the CRT display unit, and a graphic display of plant-operating conditions for all systems, which appears at the central monitoring control desk and on the CRT display unit. In the central monitoring room are installed a double-redundant computer system, data path, etc., as well as reception and distribution apparatus, motors, and associated control equipment, much of which was supplied by Mitsubishi Electric.

水の処理方法

松岡宏昌・田畑則一・水上幸三・鈴木 滋・新見明彦
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P623～628

汚水の処理、汚泥の処理は環境保全のための重要な社会政策である。これらの処理方法として種々の方法、装置が提案されているが、この論文で我々は当社のオゾン処理、電解処理、凍結融解式スラッジ処理の最近における技術の進歩・改良について述べ、新しい処理技術の確立を計ろうとするものである。

水処理用受配電動力盤

岸本 正・片山 明・藤本侃四郎・墨 義人・高橋 勝
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P653～658

水処理プラント設備の中で、その動力源となっている受配電設備は最も重要であり、またその歴史も古い。

近年の大規模、複雑化した水処理プラント受配電設備に要求される大きな命題は、信頼性の高いこと、コンパクトなこと、監視操作しやすいこと、保守点検しやすいこと、である。当社は豊富な経験と実績を基に、これらの命題を一挙に実現する各種新装置を先般開発完了し、既に納入をはじめているが、本文ではこれらの概要と主な特長を中心に紹介する。

水の利用運用システム

福田豊生・前田和男・小沢純一郎・伊藤俊一
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P629～634

都市用水、工業用水、農業用水などの水需要が増大するにつれて、その水資源開発、運用方法の改善、及び水処理技術の高度化などの必要性が高まっている。水系管理システムは、水系の広域化、水利用の複雑多様化に伴い水の安定供給環境保全の必要性から大規模複雑化し、よりきめ細かな計画、運用、制御を要求されている。

現在、上記広域複雑化する水系管理システムに必要なソフトウェアを開発したので、本文でこれらの理論及びシミュレーション結果を概略紹介する。

三菱信号伝送装置「MELPLEX」シリーズ

山下弘雄・大野宣男・石井哲夫
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P661～665

近年、各種産業プラントは自動化、省力化が進み、その制御システムは複雑高級化し、しかも大規模広域化しており、これにともない取扱う信号量も多くなり、全プラントに占めるケーブル配線工事費の割合は大きくなる一方である。

三菱電機では、プラント制御の豊富な経験と連絡線減少技術とにより、プラント制御用のユニークな信号伝送装置「MELPLEX」シリーズの開発を行ったので紹介をする。

水処理総合計装制御装置

竹野宏平・戸根川寿志・大野宣男・苗村善健・盛口全太
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P635～640

近年の水処理プラントは急激に大規模、複雑化してきており、これまでも各種の自動化機器や省力化機器が開発、納入されてきた。

当社は、従来より水処理プラントの特性や今後の動向を分析していたが、先般新しい思想の基に、水処理最適制御システムを確立し、システム構成する各コンポーネントもより高信頼度、小形化、保守の容易性、長寿命化を焦点として開発し納入した。

本文ではこれら最新の各装置について、その概要と適用例等を紹介している。

高解像度X線テレビジョン装置XT-1100シリーズ

堀 高明・山際豊行・仲佐節男
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P666～669

X線テレビジョンが製品化されてから既に15年以上を経過したが、この間、その性能はより高度な品質を要求する医療環境に刺激され飛躍的に改善されてきた。更に近年、高解像度のイメージンテンシファイアが開発され、テレビジョンもこの画像を劣化なく再現しうる高解像度の性能が要求されるようになった。

このような背景のもとに必要となった高解像度テレビジョンの方式について検討し、新しく製品化したXT-1100シリーズの設計概要及びその性能を紹介した。

水処理用監視操作盤

安田宜弘・盛口全太
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P641～646

最近、需要量、処理量の増大に対応して水処理プラントは、上水下水とも広域水道、流域下水のように大形化、複雑化している。このような水処理プラント運営の省力化、省エネルギー、省資源化のため、浄水場、処理場及び周辺のポンプ場も含めて集中管理し、プラントの運用の効率化を図ることが必要となっている。膨大な情報が集中する中央監視室のデザインについても従来の考え方から脱皮し、人間工学面からのデザインアプローチが必要である。このようなデザインアプローチによる縮小形監視操作盤を中心に新製品について紹介する。

スピーカークの駆動系による非直線ひずみの低減

土屋英司・岡田 将・池田英男・野村達衛・佐伯多門
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P670～674

スピーカークの性能向上を意図し、駆動系による非直線ひずみの発生機構と、ひずみ低減の具体策について検討している。

空隙中の磁束の分布を電算機を用いることによって解析し、その分布の不均一によって生じる電流ひずみを計算している。また、ボイスコイルより発生する磁束を電算機を用いて解析し、その磁束が非直線な磁化特性を持つ磁性体を通ることによって生じる電流ひずみを計算する式を考え、実測との間により対応を認めている。

磁化特性の非直線性に基づく電流ひずみを低減する磁性体の特性を冶金的に実現し、非常に低ひずみのスピーカークを得ている。

水処理用回転機

坪井克剛・岡部繁康・佐藤公夫
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P647～652

最近、都市用水、工業用水、農業に対する需要及び都市下水、工業廃水の処理量の急激な増大に対処するため、水処理プラントはますます大規模化するとともに効率的な水の制御のためポンプモータの回転数制御がクローズアップされている。当社の可変速モータはその制御の容易さ、微細調整ができる、保守が容易、高信頼度、運転効率がよい、などの点から各分野に多くの納入実績がある。本文では当社の特色ある可変速モータの機種、仕様、特長、適用基準などについて紹介するとともに、水中モータについても同様に紹介する。

最近の大形変圧器技術開発〔I〕—絶縁、磁界、漂遊損、温度上昇、油流—

田村良平・清水英範・平井正好・渡辺次男
三菱電機技報 Vol.50・No.12・P675～680

最近の大形変圧器は、急速に大容量化・高電圧化が進み、高度の信頼性が要求されるようになり、新技術が強く要求されている。当社は、これに備えて大容量高電圧変圧器の開発に対する技術者・設備の両面について態勢を整えて強力に技術開発を推進し、見るべき成果を上げている。その概要を2編に分け、本編では、電磁界、絶縁、漂遊損、温度上昇及び油流に関し、諸現象解明のために取り組んだ基礎研究、モデル試験、更に実規模での検証試験につき、関連する計測関係の技術開発の実情を含めて紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 553-58 (1976)

Power Reception and Distribution Panels for Water-Treatment Plants

by Tadashi Kishimoto, Akira Katayama, Naoshiro Fujimoto, Yoshito Sumi and Masaru Takahashi

Of all the apparatus in a water-treatment plant, the power reception and distribution equipment is of primary importance. In today's large-scale and complex water-treatment plants, the main requirements of this equipment are for high reliability, compactness, ease of supervision, operation, maintenance and inspection.

Mitsubishi Electric has recently completed development of a range of new apparatus that provides all of the above requirements, and deliveries have already commenced.

The article describes the apparatus, and introduces the main features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 661-65 (1976)

The MELPLEX Series of Signal-Transmission Controllers

by Hiro'o Yamashita, Nobuo Ono and Tetsuo Ishii

In recent years, increased automation has resulted in savings in manpower, while control systems have become increasingly complex and sophisticated, larger in scale, and broader based. Accordingly, the volume of signals handled has grown so that the ratio of total plant costs accounted for by cable-laying expense has increased tremendously. Introduced in the article is Mitsubishi Electric's MELPEX, a unique series of signal-transmission controllers for plant control applications, which features a significant reduction of link lines.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 666-69 (1976)

Series XT-1100 High-Resolution X-Ray TV Equipment

by Takaaki Hori, Toyoyuki Yamagiwa and Setsuo Nakasa

More than 15 years have passed since X-ray TV equipment went into commercial production, during which time performance has improved dramatically in response to the demands of medical practitioners. More recently, a high-resolution image intensifier has been developed, resulting in a need for TV equipment capable of displaying such high-quality images. Research and development work has resulted in production of TV equipment of suitably high resolution, in the form of the Series XT-1100, the design specifics and features of which are presented in the article.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 670-74 (1976)

The Reduction of Nonlinear Distortion Due to the Driving Mechanism in Loudspeakers

by Hideshi Tsuchiya, Masaru Okada, Hideo Ikeda, Tatsuei Nomura and Tamon Saeki

Investigations were carried out on the mechanism by which nonlinear distortion in loudspeakers is caused by the driving mechanism, and on concrete measures to limit this distortion. Magnetic-flux distribution in the gap was analyzed with the aid of a computer, and current distortion arising from disuniformities of flux distribution was calculated. The magnetic flux generated by the voice coil was also computer-analyzed, equations for calculating the current distortion caused by the flux through magnetic material of nonlinear characteristics were developed, and good correspondence was obtained with actual measurements.

The magnetic characteristics necessary to minimize current distortion due to nonlinearity were achieved by metallurgical means, resulting in a speaker exhibiting extremely low distortion.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 675-80 (1976)

Recent Progress in the Development of Large Power Transformers

by Ryohei Tamura, Hidenori Shimizu, Masayoshi Hirai and Tsugio Watanabe

With the recent rapid rises in the capacity and voltage of large power transformers, and the need for higher levels of reliability, there has been a strong demand for new technology. The article is one of two dealing with the subject, and covers electromagnetic fields, insulation, stray-load loss, temperature rise and oil flow, through the stages of initial clarification of the various phenomena through basic research, model testing, full-scale models and prototype testing.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 623-28 (1976)

New Developments in Water-Treatment Systems

by Hiromasa Matsuoka, Norikazu Tabata, Yoshimi Mizukami, Shigeru Suzuki and Akihiko Shimmi

Effective treatment of sewage and sludge is an important aspect of social policy in the field of environmental conservation. A wide variety of treatment methods and equipment are available, and the article discusses recent progress and improvements in Mitsubishi Electric's technologies of ozonization, electrolytic treatment, and sludge treatment by freezing and dissolving, with a view to the establishment of new treatment techniques.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 629-34 (1976)

Water-Utilization and Water-Management Systems

by Toyo'o Fukuda, Kazuo Maeda, Jun'ichiro Ozawa and Shunichi Ito

With the increasing demand for supplies of municipal, industrial and agricultural water has come a need for greater exploitation of water resources, improved methods of management, and more sophisticated sewage-treatment engineering. As water systems expand in coverage and water-usage patterns become more complex and diverse, the necessity of stable supplies and environmental conservation has meant that water-management systems have grown in scale and complexity, requiring increasingly sophisticated planning, management and control. The article presents a brief outline of the theory of software recently developed for such broad-area, complex water-management systems, along with the results of investigation by system simulation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 635-40 (1976)

Integrated Instrumentation and Supervisory-Control Systems for Water-Treatment Plants

by Kohei Takeno, Hisashi Tonegawa, Nobuo Ono, Yoshitake Namura and Zenta Moriguchi

Recent increases in the scale and complexity of water-treatment plants have already resulted in the development and installation of various types of automated, manpower-saving equipment. For some time, Mitsubishi Electric has been analyzing the characteristics of water-treatment plants, and the directions they may be expected to take hereafter. As a result, the Corporation has recently delivered an optimum-control system for water treatment that incorporates new design concepts, and features higher reliability of components, more compact size, easier maintenance, and longer service life. The article describes recent equipment of various types, and presents examples of applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 641-46 (1976)

Supervisory-Control Panels for Water-Treatment Plants

by Yoshihiro Yasuda and Zenta Moriguchi

To cope with the recent expansion in the quantity of water used, larger and more complex treatment plants are being built, as, for example, broad-area water-supply and catchment-basin sewage-disposal installations. In order to upgrade efficiency by reducing the manpower, energy and other resources required to operate such plants, it has become necessary to apply centralized control of water-purification plants, sewage-treatment plants and associated pumping stations. In the design of central-control rooms, where the masses of data are concentrated, an innovative approach based on human engineering is required. The article describes a new standard series of supervisory-control equipment based on this approach, with emphasis on a compact control console.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 12, pp. 647-52 (1976)

Electric Motors for Water-Treatment Applications

by Katsutaka Tsuboi, Shigeyasu Okabe and Kimio Sato

As one result of the growth in scale of water-treatment plants, attention has been focused on speed control of pump motors as a means to achieve efficient water utilization. Mitsubishi Electric's variable-speed motors offer the desired efficiency because of their ease of control, fineness of adjustment, ease of maintenance, high reliability, and outstanding operating efficiency. The article discusses the various types of Mitsubishi variable-speed and submersible motors, with their respective specifications, features, and standards.

水の処理方法

松岡 宏昌*・田畑 則一*・水上 幸三**・鈴木 滋**・新見 明彦***

1. ま え が き

汚水の処理、汚泥の処理は社会生活の維持、環境保全の上から重要な社会政策となっており、各種基準についても最近行われた下水道法の改正、あるいは新たに雑用水道の基準が設定されるなどして、排水に関する水質基準は年々きびしくなっている。

それに対応して排水処理技術も急速に進歩しており、汚水、汚泥の処理方法として種々の方法、装置が提案されているが、ここでは当社のオゾン水処理、電解処理、凍結融解式スラッジ処理等の物理化学的水処理装置についての最近の技術の進歩・改良について述べ、あわせて新しい処理技術の確立を図ることを提起するものである。

2. オゾン水処理

オゾンはその酸化力の強い化学的性質を用いて、環境汚染の進む現在、生活環境の維持、確保のため、多くの適用分野が確立されつつある。オゾン処理が環境分野で見直され、今後とも、重要な一つの方法として認識される理由は、適切な処理方式をとれば、自らは酸素に分解し、2次公害を起こさない特徴を具備しているためである。多くの水処理を行う場合、化学薬品を使うことが不可欠で、使用量も比較的多い。水資源の不足が現実の問題になりつつある昨今、他の酸化剤、あるいは薬剤による可溶性イオンの増大は、水の再利用計画を実現する場合障害になる。オゾン処理の特長をあげれば、次のとおりで今後その特長を生かして、脱色・殺菌・有機物・無機物の酸化除去、また、汚濁成分の質的变化等に応用され、上水・下水・工場廃水・し尿処理等、広い分野に適用されて今後も拡大される可能性が大きい。①凝集処理のように2次汚濁の生成物がない。②過剰に添加しても、それ自身処理水中で分解して酸素になるので溶存酸素を増やす方向となる。③処理時間が他の処理法に比較して短時間である。④空気と電力のみからオゾンが得られるので、必要な場所に容易に設置できる。⑤オゾン発生量は電圧を変化させることにより適時に、適量だけ得ることができるため、自動化・省力化が可能である。ここでは、オゾン発生機（オゾナイザ）の仕様、開発状況及び今まで適用されたオゾン分野について述べる。

2.1 オゾナイザ

オゾン発生機は大規模な水処理、あるいはNOx除去用として大容量でしかもコンパクトな構造であり消費電力の少ない機種に向かって開発を進めている。例えば単機10 kg/h程度であった同一発生缶体で30 kg/hまで得られるようになっている。

従来の商用周波数オゾナイザは図1.に示すように放電密度は0.12～0.14 W/cm²程度が上限である。商用周波数オゾナイザでは、電源周波数と絶縁より決まる最高使用電圧により、放電密度が制限されて上記の値より大きくとれないが、高周波オゾナイザの場合には、周波数を上げることにより電気的に放電密度を高めることは容易である。しかし、冷却効果が十分でないと放電密度の上昇に伴って放電空き（隙）の気体温度が上昇し、オゾン収率が低下するので冷却効果の

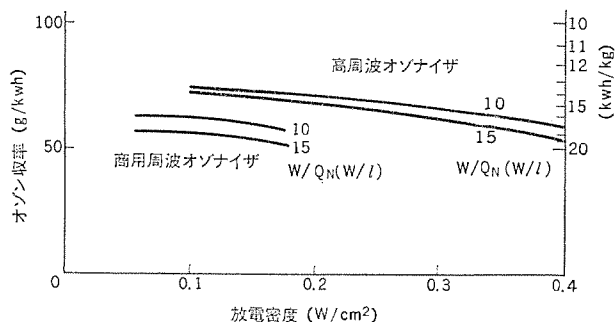


図1. 現状オゾナイザの性能

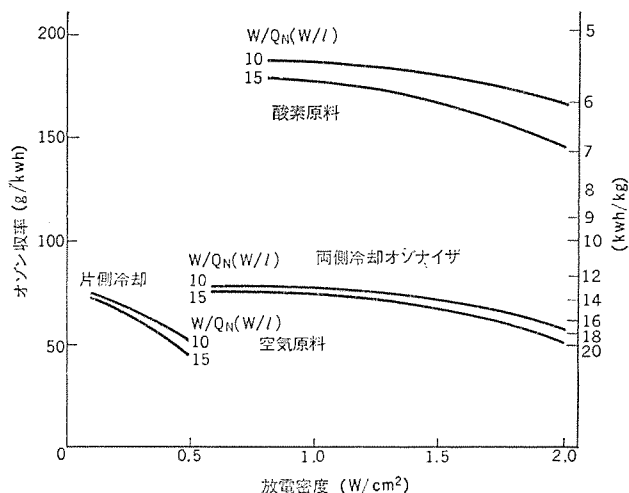


図2. 両側冷却オゾナイザの性能

面からやはり放電密度に制限を受ける。これらの関係を図2.に示した。これらの成果から、実用に供している大形オゾナイザは高周波電源を使用するもので、現在単機容量30 kg/hのものが最大である。更に、オゾナイザの性能向上のために高電圧放電管も水冷し、両側冷却方式をとると冷却効果は片側冷却の約4倍になるので放電密度も約4倍まで可能となる。両側冷却オゾナイザは、高放電密度化、すなわち、コンパクト化が可能となる。図2.に実験モデルによる両側冷却オゾナイザの放電密度と収率の関係を示す。図から明らかのように、現状の片側冷却の高周波オゾナイザに比較して、性能が飛躍的に向上していることが分かる。現在、この形式のものは試作を完了して実機の製作に応じる体制にある。この場合、単機60 kg/hとなり、更に酸素原料を使用の場合、単機120 kg/h以上の製作も可能となる。

2.1.1 構成

三菱オゾナイザは大別すれば次の機器により構成されている。

(1) オゾナイザ本体、高電圧変圧器、及び電圧調整器（高周波方式オゾナイザでは高周波インバータ）

(2) 空気圧縮機及び空気乾燥装置。十分な冷却水が確保できない

とき、あるいは大容量 オゾナイザ では プラインクーラ、クーリングタワー 等の冷却装置。

(3) 操作盤及び計装。

これらは、操作盤の押しボタンスイッチ操作により、自動運転・停止及び外部機器との連動、遠隔操作、オゾン発生量の調整が可能で異常時には警報を発し、装置を保護する。

2.1.2 特長

三菱 オゾナイザ は優れた技術的、経済的条件を具備しており、次の特

表 1. オゾン発生量と各シリーズ一覧

オゾン発生量	形 名	適 用 内 容
1~4 g/h	OS-1, OS-4	実験用
30~1,200 g/h	OS-□	工業用：空気圧縮機を除き構成機器を共通ベース上に一体化
2~6 kg/h	OT-□	工業用：構成機器別置
7~10 kg/h	OT-□-L	工業用：構成機器別置 ラインによる強制低温冷却方式
10~数百kg/h	OT-□-H	工業用：構成機器別置 ラインによる強制低温冷却方式、高周波方式

注) □内にはオゾン発生量を表示する

長がある。

(1) 脱色・脱臭・酸化・殺菌用 オゾナイザ として、1gの小容量から単機毎時 30 kg の大容量まで、豊富な機種をそろえ、オゾン発生装置として毎時 38 kg の我が国最大級プラントを含め、数多くの実績をもっている。

(2) オゾナイザ 放電管は特殊硬質 ガラス を使用しており、オゾン発生量が多く、そのうえアルミ溶射導電膜とともに高信頼性を有し、長寿命である。

(3) プラインによる強制循環低温冷却方式の採用（大形機）によりオゾン発生効率が高く、中・小形機でも水質、水量、水温等適切な冷却水が得られないときは、この方式を採用している。

(4) 各種保護装置を組み込み、安全でまた保守点検が容易である。オゾナイザ 内圧に対する 2 重安全保護、各放電管に保護ヒューズ付き、冷却に対する保護。

(5) オゾン発生量の調整が可能である。オゾンメータ及び自動制御装置との組合せにより、オゾン発生量の自動制御が可能である。

なお、オゾン発生量の制御範囲、応答性に応じて、商用周波、高周波方式 オゾナイザ いずれの機種も取りそろえている。現在標準化されている三菱 オゾナイザ の各種シリーズを表 1. ~ 表 5. に示す。

2.2 適用分野

(1) 水質汚濁防止分野

表 2. OS 形 オゾナイザ 標準仕様

形 名	オゾン発生量 (g/h) (50Hz/60Hz)	原 料 空 気 量 (l/min)	冷却水量 (l/min)	オゾナイザ 放電電力 (kW) (50/60Hz)	使用電源	外 形 寸 法 (mm)			概算重量 (kg)	接 続 管 口 径 (mm)		
						幅	奥 行	高 さ		冷 却 水 出 入 口	コンプレッサ 接 続 口	オ ズ ン 吐 出 口
OS-30-D	23/28	40	1	0.5/0.6	AC 200 V	1,535	900	1,700	600	10	15	15
OS-80-D	63/76	100	3	1.2/1.5	AC 200 V	1,660	1,050	1,715	750	15	20	20
OS-150-D	125/150	200	6	2.4/2.9	AC 200 V	1,920	975	1,760	1,100	15	20	20
OS-300-D	250/300	400	15	4.7/5.7	AC 200 V	2,295	1,840	1,900	1,300	20	20	25
OS-600-D	500/600	820	30	9.6/11.5	AC 200 V	2,950	2,180	1,950	2,000	25	20	32
OS-1200-D	1,000/1,200	1,600	60	19.0/23.0	AC 200 V	3,400	2,280	2,430	4,300	32	40	50

注) 三菱オゾナイザ OS シリーズは、オゾン発生量 1 g/h の実験用小形のものから 1,200 g/h まで 8 機種が標準化されている

表 3. OT 形 オゾナイザ 標準仕様

形 名	オゾン発生量 (kg/h)	原料空気量 (m³/h)	冷 却 水 量 (20°C) (l/min)	冷 却 水 量 (オゾナイザ以外) (l/min)	オゾナイザ 放電電力 (kW)	電 源 AC (V)	オゾナイザユニット構成 ユニット No. × 台数	
							50 Hz	60 Hz
OT-2	2.0	160	130	① 30 ② 55 ③ 89	34	400/440	2.5 K(60) × 1	2 K(60) × 1
OT-2.5	2.5	200	160	① 34 ② 60 ③ 111	42.5	400/440	3 K(60) × 1	2.5 K(60) × 1
OT-3	3.0	240	190	① 50 ② 110 ③ 133	51	400/440	3 K(50) × 1	3 K(60) × 1
OT-4	4.0	320	255	① 60 ② 120 ③ 178	68	400/440	2.5 K(50) × 2	2 K(60) × 2
OT-5	5.0	400	320	① 80 ② 180 ③ 222	85	400/440	3 K(60) × 2	2.5 K(60) × 2
OT-6	6.0	480	380	① 96 ② 215 ③ 266	102	400/440	3 K(50) × 2	3 K(60) × 2

注) 三菱オゾナイザ OT シリーズは、オゾン発生量 2 kg/h~6 kg/h の 50/60 Hz の周波数別に標準化している

表 4. OT-L 形 オゾナイザ 標準仕様

形 名	Hz	オゾン発生量 (kg/h)	原料空気量 (m ³ /h)	オゾナイザ冷却	クリーニング タワ-補給 水量(概算) (m ³ /h)	オゾナイザ 放電電力 (kW)	使用電源 AC (V)
OT-8-L	50	8	640	ブライン強制 低温冷却	1.5~3	136	3,000
	60						3,300
OT-10-L	50	10	800	ブライン強制 低温冷却	2~4	170	3,000
	60						3,300

注) ブラインによる強制低温冷却と放電電圧の上昇にて放電電力密度を上げ、OS、OT シリーズに比較し、外形の小形化と設置スペースの低減を計っている

表 5. OT-H 形 オゾナイザ 標準仕様

形 名	オゾン発生量 (kg/h)	原料空気量 (m ³ /h)	オゾナイザ 冷 却	クリーニング タワ-補給 水量(概算) (m ³ /h)	使用電源 AC (V)
OT-30-H	30	2,400	ブライン強制 低温冷却	6~12	3,000/3,300

注) オゾナイザの大容量化に伴う外形の小形化と、急激な負荷変動に適応した制御性を満足する高周波方式の大形オゾナイザである。単機オゾン発生量 30 kg/h (OT-30-H) を基本とし、このユニットの組合せにより 150 kg/h、300 kg/h 等の大容量オゾナイザを製作している

オゾナイザを用いて水処理に適用された実施例をあげ概要を述べる。

(a) 脱色 染色工場廃水の脱色処理に多くの実施例がある。最近規制の強化に伴って、生物処理とオゾンの組合せ方式が設置され、BOD を含めて廃水の浄化が行われている。有機物汚濁指標としての BOD の処理にはその指標の示すとおり、生物処理が最適であることは明白である。ここ数年し尿処理水のオゾン適用が拡大してきた。し尿処理は、処理方式の違いにより脱色効果の差があるが、活性炭処理と比較してランニングコストが有利である。一般的に着色物の脱色にはオゾンが有効で今後とも、適用が拡大する分野である。

(b) COD 低減 脱硫廃液の COD 低減にオゾンが利用されている。COD 低下のためにはオゾン量が多く、オゾンが効果的に作用する領域で処理し、その後活性炭吸着法ほかを組合せ、吸着剤の量を低減させる方式が望ましい。

(c) フェノール フェノール類の除去にオゾンを用いることは、活性汚泥が活性炭で処理するより簡便である。フェノール類をオゾンにより酸化分解して、生物処理をしやすいカルボン酸の形態にして処理することにより廃水の浄化が可能である。

(2) 上水処理

河川、湖沼の汚濁により上水処理場の負荷が高くなってきたといわれる。数年前から夏季、においが発生して問題になり、オゾンの適用がなされた。更に上水の着色の問題が発生している。フミン酸鉄の除去にオゾンは有効である。従来は、ポリ塩化アルミニウムなどを添加、凝集処理により除去しているが、イオンの増加、スラッジ処理等、好ましい方法とは言えない。着色成分の分解をもとににおいを除去する目的でのオゾン適用が十分考えられる。

(3) 水の再利用

水資源の枯渇に伴い、水の再利用がクローズアップされ、テストプラントが設置、研究されている。当社でも、生活排水再利用の実験に参画し、その結果から次のような知見が得られている。

(a) 色及び臭気(下水臭)は、完全に除去されている。

(b) COD は入口で 20 ppm 前後のものが 40~50 %除去される。

(c) 界面活性剤も分解できた。

(d) 亜硝酸性窒素は、硝酸性窒素に変化した。

(e) 大腸菌もなくなる。更に、オゾンと生物ろ(汙)過との併用により、活性汚泥処理ではある限界までしか COD の低下がみられないものについて更に改善ができることが分かった。

代表的な水処理分野へのオゾンの適用を述べたが、ABS の除去や CN の除去、除鉄ほか、多くの適用例が報告されている。また、水処理分野以外でも脱臭や、排ガス(NOx)処理への適用も今後拡大されると考えている。

3. 廃水の電解処理

産業廃水処理に電解法を適用した物理化学的処理が最近注目されている。電解を応用する場合、その目的によって、(1) 電解凝集処理、(2) 電気浮上処理の 2 種に分けられる。前者は可溶性陽極材(Al、Fe 等)を用い、電解で陽極より溶出する活性な金属イオンの凝集作用を水処理に応用するものであり、後者は不溶性

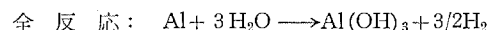
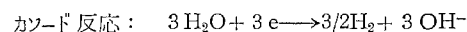
陽極材(フェライト等)を用いて、水の電気分解で発生する H₂、O₂ ガスを利用して、主に懸濁物質の固液分離を行うものであり、狭義の電解応用処理である。これらの物理化学的処理法は、従来の生物処理や凝集沈殿、加圧浮上処理にないかずつの特長を有しており、新しい処理方法として単独にあるいは他の処理法との併用によって、幅広い用途が期待される。ここではその概要と当社製品について紹介する。

3.1 電解凝集処理

3.1.1 電解凝集処理の原理

(1) 可溶性電極反応(例: Al)

廃水を可溶性電極を用いて電解処理すると、電極面で次に示す反応が起こる。



この反応により生成される Al(OH)₃ が、補凝集剤として作用し、同時に発生する H₂ ガスがフロックに吸着し、浮上分離作用をもたらす。可溶性陽極材としては、Al の外に Fe、Zn、Mg などがあるが Al³⁺ や Fe³⁺ は Z_n²⁺ や Mg²⁺ よりはるかに凝集効果が大きい(Schlitz-Hardy 則)。なお陰極材料としては、Fe、SUS、C、Pb などが用いられる。

3.1.2 微小間隙高速流式電解凝集処理装置

従来の電解凝集装置における電極構造は電解そう(槽)の中に陰陽の各電極を交互にそれぞれ 5 cm 程度の間隔で配置し、比較的長時間(20~30 分)液を槽内に滞留させて電解を行うことによって、陽極金属を溶出させる方式が一般的であった。この方式では液の流れが緩やかで電極表面にスケールが付着したり、電極間にきょう(夾)雑物が沈降(堆)積したり、電極の局部腐食を起こしたりして、長時間の連続運転にはいろいろ問題があった。

当社では、従来法のこれらの欠点を克服し、新たに多くのメリットを有する微小間隙高速流式電解凝集処理装置を開発した。これは円

筒状のアルミニウムとステンレスからなる電極を微小間隙(0.5~1mm)を隔てて対向させ、その間隙に処理しようとする廃水を高速で強制的に流しながら通電することによって、廃水中にAlイオンを溶出させるもので、この高速流によって電極表面は効果的に洗浄される。かつ陽極表面に吸着した物質を機械的に除去するために、絶縁スペーサで陽極表面上をしゅう(摺)動する方式もとり入れている。被処理水は微小間隙を通過後、浮上分離槽へ導かれ、ここでスカムと清澄水に効率よく分離される(この場合、後述の電気浮上装置と組合せるケースが多い)。

3. 1. 3 微小間隙高速流式電解処理装置の特長

- (1) 平板式に比べて電極スケールの影響がなく、安定した連続運転ができる。
- (2) 高電流密度化(1A/cm²)が可能になり、平板式の場合(2mA/cm²~10mA/cm²)に比べて電解処理部が数分の1にコンパクト化できる。
- (3) 高電流密度にできるため、エマルジョンブレイクが効果的に行われ、含油廃水処理に適している。
- (4) 電極の保守が容易。平板式では数百枚の電極板で構成されているのに対して、1対の電極でよく、電極の装填、交換、清掃作業が容易である。

3. 1. 4 用途

- (1) エマルジョン廃水処理
- (2) 機械工場廃水の油分、BOD、COD成分の除去
- (3) その他

3. 1. 5 製品系列

表 6. 高速電解凝集装置

形名	電流容量 (アルミ電解)	処理水量	備考
SG シリ ズ	SG-1	100 A	1~1.5 m ³ /h エマルジョン専用ユニット 電解装置・浮上分離装置・電源が 一体構造となっている
	SG-3	300 A	2~4 m ³ /h
	SG-6	600 A	4~8 m ³ /h
	SG-10	1,000 A	7~14 m ³ /h (溶出アルミ約50 ~25ppmに対応)

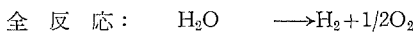
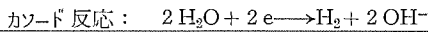
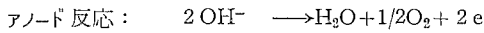
3. 2 電気浮上処理

廃水中の懸濁物質を固液分離する方法には、沈降分離、浮上分離、汜過分離、遠心分離などがある。このうち浮上分離法には電気浮上法と加圧浮上法とが採用されている。前者は後者に比較して、種々の点ですぐれている。

3. 2. 1 電気浮上法の原理

(1) 不溶性電極反応

水を陽極、陰極それぞれに不溶性電極材料を用いて電気分解すると各電極では次式に示すような反応が起こる。



この反応により発生するH₂、O₂ガスがフロックに吸着し、見掛けの比重が軽くなり、フロックの浮上性を高め、良好な清澄水を得ることができる。また水電解の副次的効果として、廃水中の汚濁成分の直

接電解酸化や次亜塩素酸を副生し、これがCOD、BODの低減、脱色、殺菌効果などを高める。

3. 2. 2 電気浮上装置の特長

- (1) 水の電気分解で発生する気泡は水素で10~30μ、酸素で20~60μ程度であり、加圧浮上法による気泡の100~150μと比べてはるかに小さい。また、電解で発生する気泡の平均密度は20°Cで0.5g/ℓであり、空気密度1.2g/ℓに比べて半分以下である。これらの理由でフロックへの気泡の付着性、浮上性がすぐれ、微細なS・Sを分離でき、高度の清澄水を得ることができる。
- (2) 加圧浮上法では、加圧水が処理水量の20~30%程度必要とされているが、電気浮上方式では不要である。また、空気圧縮機の騒音や高圧タンクなどの複雑な機器がなく、コンパクトで保守が容易となる。
- (3) 薬品凝集との併用により、加圧浮上法と同等以上の処理効果が発揮される。
- (4) 浮上用電極材料としては、特殊フェライト合金を用いているため、耐食性にすぐれ、かつ金属イオンの溶出がないため分離スカムを飼料原料、あるいは有効活用する場合の処理に適している。

その代表的なものとして、水産加工廃水の等電点凝集処理への適用があげられる。

- (5) 物理化学処理のため、断続運転が可能となり、特に生物処理に不向きな寒冷地向け廃水処理、あるいは負荷変動の多い廃水処理に適している。

3. 2. 3 用途

- (1) 水産加工廃水(すり身加工など蛋白質含有廃水のCOD低減)
- (2) 食品工業廃水(油分除去、BOD、CODの低減)
- (3) 含油廃水の油水分離(一般機械工場)
- (4) 染色工場廃水(脱色、BOD、CODの低減)

表 7. 三菱 電気浮上装置

形名	処理水量 (m ³ /h)	ガス発生電流 (A)	プラント電源容量		プラント設置面積 (参考値) (mm)
			受電設備容量 (最大)(kVA)	標準消費電力 (kW)	
DF-2	~2	40	6	3	3,000×1,800
DF-5	3~6	100	12	8	3,400×3,600
DF-8	5~8	100	12	8	3,400×3,600
DF-10	8~12	200	16	8	5,000×4,000
DF-20	16~24	400	20	11	7,200×7,200
DF-30	25~36	600	30	17	7,800×7,200
DF-50	40~60	1,000	48	26	9,000×7,700
DF-100	80~120	2,000	94	52	12,000×9,000
DF-150	130~180	3,000	142	80	14,000×10,500

- 注) 1. DF-8以下は電気浮上装置、フロッキュレータ、薬液注入装置、操作盤(直流電源内蔵)が一体となって、共通架台に載っている
2. DF-10以上のものは、電気浮上装置を中心に薬液注入装置、直流電源、操作盤、フロッキュレータ、ポンプなどが付加されて、排水処理プラントを形成する
3. ガス発生電力量は約200Wh/m³
4. プラント電源容量は、ガス発生用直流電源をはじめとして、ポンプ、かくはん機等、プラントを構成した場合のすべての動力を包含した値である
5. 力率は非常に良好
6. プラント設置面積は、排水水質・注入薬液量・操業時間などの違いにより、時間当たり処理水量が同じでも付帯設備の大きさが大きく変わることがある。上表の面積は一例を示す



図 3. 電気浮上槽上部 (DF-150)

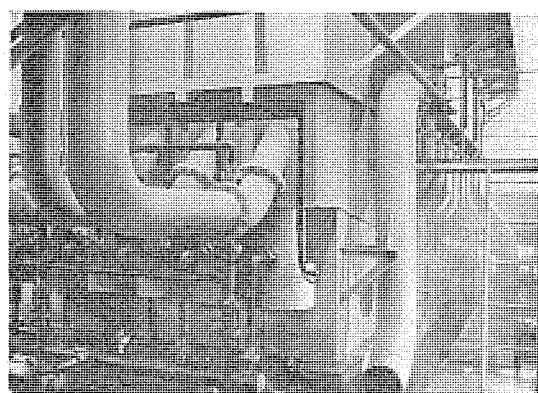


図 4. 電気浮上槽本体 (DF-150)

(5) 洗濯場廃水 (油分, 界面活性剤, COD, BOD の低減)

3.3 製品系列

当社の製品系列を表 7. に示す。また DF-150 形電気浮上装置 (処理能力 150 m³/h, 3,000 m³/d) の写真を図 3., 図 4. に示す。

このプラントは水産加工廃水 1 次処理装置として納入されたものであり, 我が国最大級のものである。

4. 凍結融解式スラッジ処理

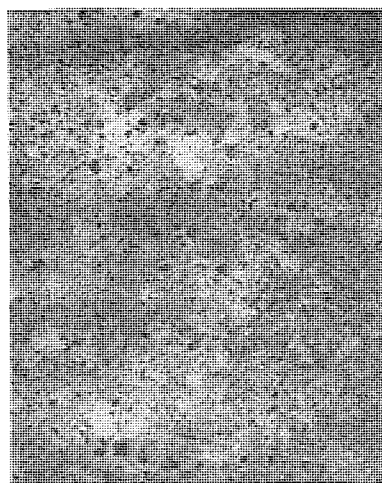
スラッジを凍結させて再び融解すると, 脱水性がよくなり, 従来から行われている機械的な脱水よりも含水率の低い脱水ケーキが得られることは, かなり以前から知られており, 放射性スラッジや浄水場のスラッジの脱水に英国で使用されていた。我が国でもこの方面の技術開発が進み, 最近では多くの分野で使用されるようになってきた。凍結融解法は, 新しい脱水方法として, 今後ますます発展が期待されるものである。

4.1 凍結融解法の原理

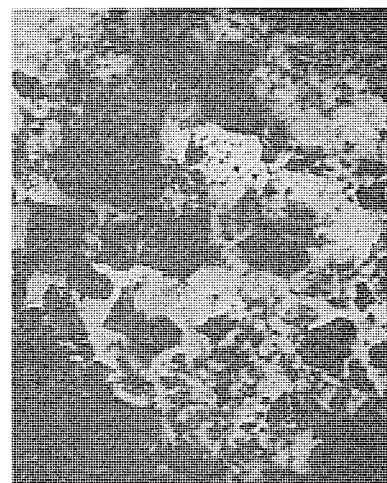
コロイド状のスラッジを氷結点以下に徐々に冷却していくと, 冷却面に氷が生成されていくが, この氷は, 汚泥粒子をほとんど含まない。更に, 時間とともに氷が生長していくと, 汚泥粒子は冷却面と反対方向に濃縮されていく。これらの現象は, 自然界において霜柱に見ることができる。濃縮された汚泥粒子は互いに吸着し合い, 氷の膨脹力を受けながら粗大粒子に生長し, 融解した後は, 沈降性・浮過性ともに凍結前のスラッジの数十倍にも改善される。汚泥粒子の粗大化を示すものとして, 図 5. に浄水場スラッジの顕微鏡写真を示した。

4.2 凍結融解法の効果

凍結融解法は, 広範囲のスラッジに適用が可能であるが, そのうちの幾つかの例を表 8. に示した。これは, スラッジを凍結処理して脱水したものと, 未処理のまま脱水した場合のケーキの含水率とを比較



原スラッジ



凍結処理後のスラッジ

図 5. 浄水場スラッジの顕微鏡写真 (×50)

表 8. 凍結処理効果の一例

スラッジ	含 水 率 (%)		
	原スラッジ	原スラッジを減圧浮過したとき	凍結処理後に減圧浮過したとき
染色廃水スラッジ	98	92	61.3
ふっ(弗)酸処理廃水スラッジ	92.3	82	54
酸洗スラッジ	94.4	91.2	78
めっきスラッジ	98	86	63
浄水場スラッジ	95.1	84.9	65.2
化粧品工場スラッジ	99.5	92.6	68.4
インク廃液スラッジ	96	82	49
段ボール廃液スラッジ	97.2	87.7	66.7

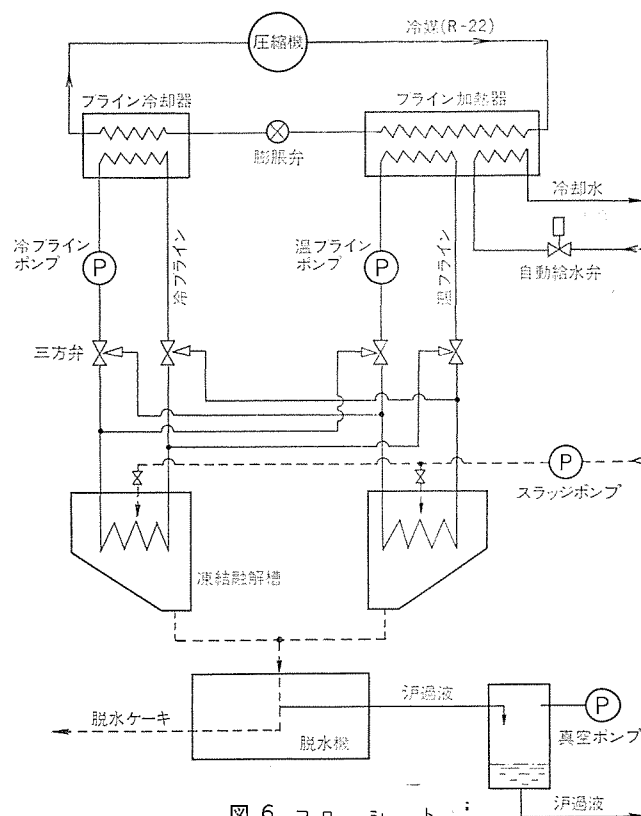


図 6. フローシート

表 9. 三菱凍結融解式 スラッジ 処理装置標準仕様

形 名		FT 3-1	FT 5-1.5	FT 7-2	FT 11-3	FT 15-4	FT 22-5	
処 理 装 置 本 体	標 準 処 理 量	t/d	0.9	1.5	2	3	4	5
	対 象 汚 泥 含 水 率	%	90% 以上（流動性のあるもの）					
	電 源		三相 50/60 Hz, 200/220 V					
	使 用 プ ラ イ ン		ナイブライン（55 wt %, 凍結点 -25℃）					
	脱 水 機		汙布走行式真空脱水機					
	運 転		全自動及び手動					
凍 結 融 解 槽 数		2						
プ ラ イ ン ク ラ	形 名	ECR-5 S	ECR-8 S	ECR-10 S	BCR-15 S	BCL-20	BCL-30	
	圧 縮 器		密 閉 形				半密閉形	
	電 動 機 出 力	kW	3.7	5.5	7.5	10.8	14/15	20.5/22
	起 動		じ か 入					
	冷 媒		R-22（CHClF ₂ ）					
	冷 凍 機 油		SUNISO 3 GS				SUNISO 4 GS	
	プ ラ イ ン 冷 却 器		シュル ア ン ド チ ュ ー ブ 形					
	プ ラ イ ン 加 熱 器		シュル ア ン ド チ ュ ー ブ 形					

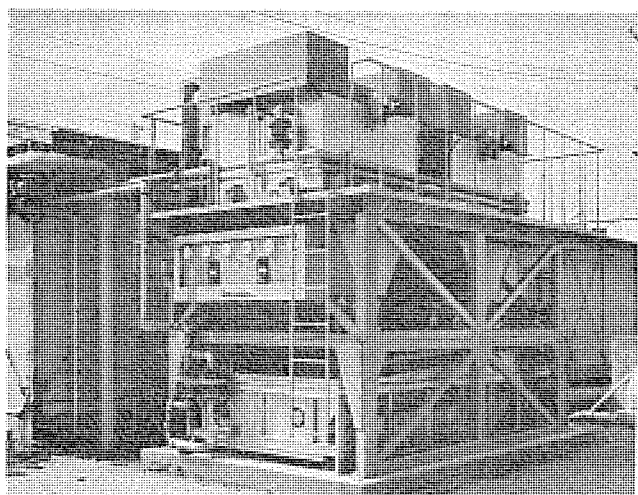


図 7. 凍結融解式 スラッジ 処理装置 (8 t/d)

したものである。

4. 3 処理装置

凍結融解式 スラッジ 処理装置は、スラッジ を凍結又は融解するための槽と、融解後のスラッジ を脱水するための脱水機とからなる処理装置本体と、これに冷熱及び温熱を供給するためのラインクーラ とからなる。これらのフローを 図 6. に示した。凍結融解槽に供給されたスラッジ は槽内の熱交換器に冷 プライン が流れることによって凍結されるが、凍結が完了すると三方弁の切換動作により、温 プライン が槽内の熱交換器に流れるようになって融解が始まる。融解が完了すると、スラッジ は脱水機に入り、そこで脱水されてケーキ が搬出される。二つの

槽は、凍結と融解とを交互に繰り返しながら処理するもので、そのピッチ は約 2 時間であるが、これは凍結時間によって決まる。すなわち、凍結時間が約 2 時間であり、三方弁の切換えもケーキ の搬出も、2 時間に 1 回の割合になるが、融解時間は凍結時間と比べて短く、片槽が凍結している間に他槽は、融解・排泥・洗浄・給泥の動作を完了してしまう。

この装置の標準機種の主要な仕様を表 9. に示した。また、図 7. は、処理量 8 t/d の装置本体の外観である。

含水率の高い多量のスラッジ が発生する場合には、凍結処理装置の前工程に、スラッジ 容積を数分の 1 に減少させるための前段濃縮機を置くのが一般的である。こうすることによって多量のスラッジ を凍結させる必要がなくなり、経済的にも有利になる。

4. 4 凍結融解法の特長

一般的な機械的脱水機と比較すると、凍結融解法には次のような特長がある。

- (1) 汙過性が数十倍に改善されて脱水が容易になり、40~70% 程度の低い含水率のケーキ が得られる。
- (2) 無薬注処理が可能であり、薬注が必要な場合でもごくわずかで済む。したがって、ケーキ 量の増大が防げる。
- (3) 大気を汚染するような 2 次公害もなく、また ケーキ が水分を再吸収して処理前の状態にもどってしまうこともない。
- (4) 全自動運転が可能であり、保守も容易である。
- (5) 脱水 ケーキ の再利用・焼却・埋立てなどの後処理が容易で、かつ経済的である。
- (6) 従来の方法ではむずかしいとされていた脱水処理にも効果が出るなど、幅広い種類のスラッジ に対して適用可能である。

5. む す び

以上、当社水処理装置の概要を紹介したが、このような物理化学的処理は、生物処理にない特長を有している。目的によってはそれぞれ単独に、あるいは活性炭吸着、活性汚泥処理などと組合せることによって水処理場の排水、あるいは産業廃水の高度処理の分野など幅広い用途の拡大が予想され、更に利用が拡大されるものと期待している。

参 考 文 献

- (1) 田畑：火力原子力発電，27，No. 2，P. 155~P. 159 (昭 51)
- (2) 鈴木：化学装置，No. 11，P. 34~P. 41 (昭 50)

水の利用運用システム

福田 豊生*・前田 和男*・小沢純一郎*・伊藤 俊一**

1. ま え が き

都市用水、工業用水、農業用水などの増大する水需要に対し、その水資源開発、運用方法の改善、及び水処理技術の高度化等の必要性が高まっている。水系の広域化、水利用の複雑多様化に伴い水の安定供給環境保全の必要性から水系管理システムは、大規模複雑化する一方、きめ細かな計画、運用、制御を要求されている。水資源の合理的有効利用のためのシステムの目的としては、

- (1) 水量の確保
- (2) 水質の確保
- (3) 水源から利用、処理、再利用にいたるまでの水系全体の合理的運用
- (4) 渇水対策、事故対策に対する柔軟性と高信頼度の安定供給などが挙げられる。一方、システムの特徴としては、

- (1) 水源、及び水需要の不確定性
- (2) 広域複雑化、水利用の多目的化
- (3) 地域、気象条件、地形条件、需要形態、人間活動の形態による特殊性

などが挙げられるであろう。このように水利用システムは不確定な自然現象の一部分であるため、目的を達成するには高度の運用技術が必要とされる。水利用システムでは、設備計画の十分な吟味に基づいた、信頼度の高いハードウェアと、その合理的な運用には、システムを十分考慮したソフトウェアが必要であり、これらシステム全体の調和が重要である。水利用システムの目的と問題点、及びその解決策をシステム分析すれば、表 1. のように表される。

基本ソフトウェアとしては、降雨流出予測、河道追跡、ダム放流制御、ダム群管理制御、需要予測、スケジュール計算、取水送水最適制御、配水管網計算、ポンプ・バルブ最適制御、導水制御、農水スケジューリング、廃水処理プラントプロセス制御、及び大規模ネットワーク（水源、送水、処理）の統合管理方法等のソフトウェア確立と充実が、システム運用の成

否をさめる重要な要素である。

以下、その基本的なソフトウェアの一部について紹介する。

2. 利水長期運用システム

利水用ダムによって需要水源を確保する場合、補給水量の長期パターン⁽¹⁾の作成とその最適化を計る必要がある。特に渇水の起きやすい地域では、残存確保水量の設定、節水レベルの設定が必要水量を長期的に満たすために必要である。ここでは、一例によってその残存確保水量の決定法について述べる⁽¹⁾。時間単位を月（あるいは旬）として、補給量 X_i (トン/月) は

$$X_i = V_i - V_{ri} \quad (i=1, 2, \dots, 12) \dots\dots\dots (1)$$

であると仮定する。すなわち、その月の補給水量は各月初めのダム貯水量 V_i と残存確保水量 V_{ri} で決まる。さて制約条件としては次の四つがある。

$$C - V_i \geq V_{ri} : \text{こう(洪)水カット余裕} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_i \geq V_{\min} : \text{最小貯水量} \dots\dots\dots (3)$$

$$X_i \geq Q_1 : \text{最小補給量} \dots\dots\dots (4)$$

$$X_i \leq Q_2 : \text{最大補給量} \dots\dots\dots (5)$$

ダム貯留方程式は、その収支から、次の式となる。

$$\begin{aligned} V_{i+1} &= V_i - X_i + R_i \\ &= V_{ri} + R_i \end{aligned}$$

ただし、 V_i : i 月ダム貯水量

V_{ri} : i 月残存確保水量

C : ダム最大有効容量

R_i : i 月ダム流入量

降雨流出によるダム流入量 R_i は確率変数で水文統計から、その 10 年あるいは 100 年確率が求められる。いま信頼度を 90 % とすれば R_i の 10 %, 90 % 確率、 $R_i^{0.1}$ と $R_i^{0.9}$ が求められる。したがって、確率制約条件は次のように書きなおされる。

$$C - V_{ri-1} \geq R_{i-1}^{0.9} + V_{ri}$$

$$V_{\min} - V_{ri-1} \leq R_{i-1}^{0.1}$$

$$V_{ri-1} - V_{ri} \geq Q_1 - R_{i-1}^{0.1}$$

$$V_{ri-1} - V_{ri} \leq Q_2 - R_{i-1}^{0.9}$$

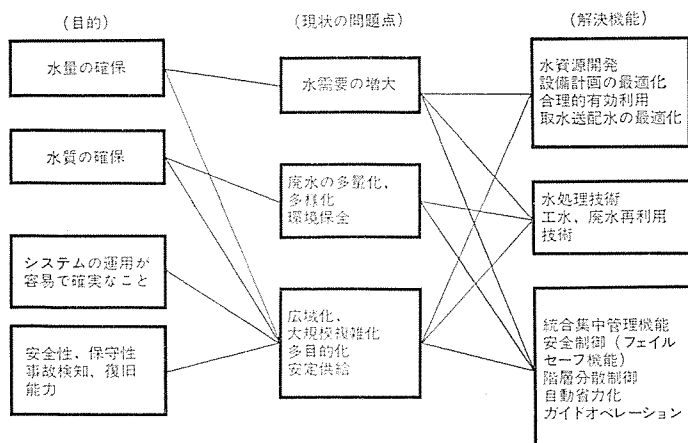
一方、評価関数は目的に応じて設定されるが、ここでは年間を通じて、目標補給量 X_i^* をみたすために、次の評価関数とする。

$$\min \sum_{i=1}^{12} C_i (X_i - X_i^*)^2 \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 C_i : 重み係数

この最適解を非線形計画法によって求めれば、最適な残存確保水量のパターンは、図 1. のようになる。図中点線は、現実の最適化計算を行う以前の実績値を示す。確保水量より下まわれば、節水が行われるが、信頼度の値によって、このレベルは移動する。すなわち、より安全側に操作すれば、節水になりやすい一方、長期的に保証されるというトレードオフ (Trade off) の問題になる。現実には、降雨気象の非再現性と不確定性による予測の困難さ、ダムの貯水容量の不足などの事情から、十分な安全度をもって運用する必要がある。

表 1. 水利用運用システム



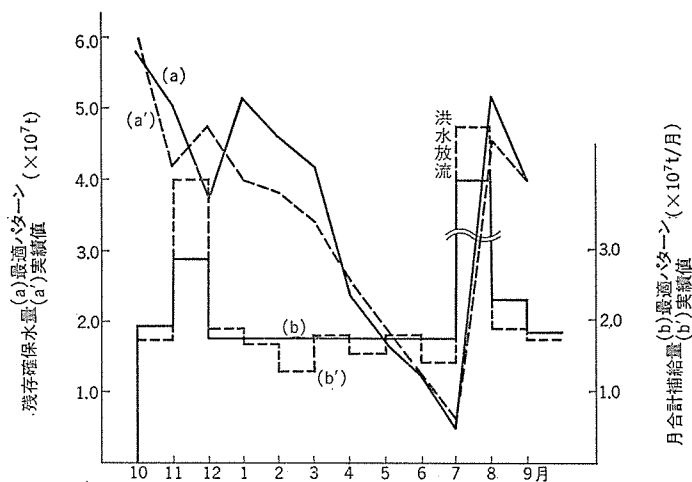


図 1. 残存確保水量と補給水量

3. 上水道運用システム

上水道に要求される三つの要素は、水量・水圧・水質の保持である。これらの内、水質に関しては浄水場運用問題として、水量・水圧に関しては、配水管網の問題として解決しなければならない。

配水管網においては、計画上的問題として、

- 〔1〕 経済的配水管網設計
- 〔2〕 配水管網内配水池（ポンプ・バルブ）最適地決定問題
- 〔3〕 最適計測点（流量、水頭）問題

運用上の問題として

- (1) 需要予測
- (2) 配分問題
- (3) 末端圧制御
- (4) 事故点（モレ）検出

等がある。もちろん、計画上の問題と運用上の問題とは独立ではなく深い関連性をもっている。（例えば、〔2〕と〔3〕、〔3〕と〔4〕）。当社は、これらの問題解決のため、多くの手法を開発してきたが、ここではその一部として

- ・上記問題解決法の基幹である配水管網解析プログラム
- ・末端圧保持最適 ポンプ 圧決定 プログラム

について述べる。

3.1 配水管網解析プログラム

上水道における配水管網解析には従来より、ハーディクロス法を基にして多くの解析法が提案されてきたが、ここでは当社が開発した、配水管網をネットワークとしてとらえ、それによる非線形連立方程式をニュートンラフソン法で解くプログラムについて述べる。

3.1.1 基礎方程式

配水管網における摩擦損失水頭を電位差、流量を電流とすると、回路網解析と同様に、キル上ホッフの電流、電圧側は、グラフ理論における、木、補木を使って次のように表される。

$$H_R = -[F_{RE} F_{RG}] [H_E H_G]^T \quad (7)$$

$$Q_G = -[D_{GR} D_{GJ}] [Q_R Q_J]^T \quad (8)$$

ただし、 H ：摩擦損失水頭 ベクトル

Q ：流量 ベクトル

F ：ループ行列

D ：カットセット行列

E ：圧力源

J ：流量源

G ：木

R ：補木

T ：行列の転置

を表す。また、それぞれの管路（枝）に対する、

h_{ij} ：摩擦損失水頭

q_{ij} ：流量

の関係はヘーゼンウィリアムスの式で表される。つまり

$$h_{ij} = \gamma_{ij} q_{ij}^{1.85} \quad (9)$$

ただし、 $\gamma_{ij} = 10.7 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times L$ で

C ：粗度係数

D ：管 径

L ：管 長

を表す。この式(9)を、木枝、補木枝に分けてベクトル表示すると式(10)で表される。

$$H_G = Z_G Q_G \quad H_R = Z_R Q_R \quad (10)$$

ただし、 Z_G ：木 枝

Z_R ：補木枝

に関する抵抗行列で、対角成分が、

$$Z_{ii} = \gamma_{ij} q_{ij}^{0.85}$$

である対角行列である。これらの式から、

$$F_{RG} = -D_{GR}^T$$

を利用すると、次の非線形連立方程式となる。

$$f(Q_R) = (Z_R + D_{GR}^T Z_G D_{GR}) Q_R + D_{GR}^T Z_G D_{GJ} Q_J + F_{RE} H_E = 0 \quad (11)$$

そこで、式(11)をニュートンラフソン法で解き Q_R を求め、この Q_R を式(8)に代入して Q_G を求めればすべての流量並びに摩擦損失水頭が求まる。ここでは式(11)の変数として補木流量を採ったが、配水管網において木枝が少ないときには、木流量 Q_G を変数として式(5)を作れば、その変数はそれぞれ $(b-n+1)$ 個、 $(n-1)$ 個となる。

ただし、 b ：管路数

n ：節点数

である。

3.1.2 求解法

式(11)にニュートンラフソン法を用いると、 i 回目の値 Q_{Ri} と $(i+1)$ 回目の値 $Q_{R(i+1)}$ との差 ΔQ_{Ri} は式(12)で表される。

$$\Delta Q_{Ri} = -A_i^{-1} f_i \quad (12)$$

ただし、 $A_i = 1.85(Z_{Ri} + D_{GR}^T Z_{Gi} D_{GR})$

$$f_i = f(Q_{Ri})$$

である。これより $\Delta Q_{R(i+1)}$ が求まり、式(8)に代入して、 $Q_{G(i+1)}$ が求まる。一般に、ニュートンラフソン法では、ヤコビアン (A) の逆行列を求めることが必要である。しかし、この方法では A が正値行列であるから、 A をコレスキー分解することにより、逆行列 A^{-1} を求めなくてもよい。このため、計算時間が短くなる。

3.1.3 計算例

計算例として、図2.に示すように、節点数18、枝数（管路数）23の配水管網解析を行うと、表2.の結果となる。ここでは入力としてAB間の水頭差(50m)、初期値（補木流量=1.0l）として与えた。また、図3.には、配水管網の補木数（ $=b-n+1$ ）と繰り返す1回当たりの時間との関係を示した。時間はIBM370/168による時間である。

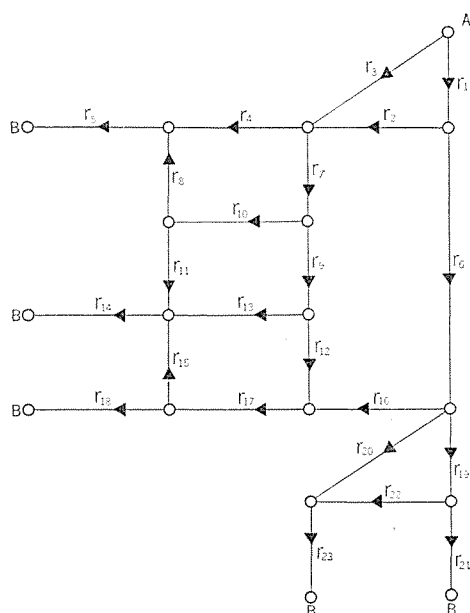


図 2. 配水管網の例

表 2. 図 2. の計算結果

i	r_i の 値	流 量 (l)	損失水頭 (m)
1	2379	68.44	16.66
2	6873	17.54	20.54
3	2916	68.65	3.88
4	12028	27.92	16.05
5	6873	34.30	13.41
6	3967	50.90	16.07
7	1458	58.26	7.58
8	1458	6.38	0.13
9	2916	31.74	4.93
10	6873	26.52	8.34
11	2916	20.15	2.13
12	1458	14.66	0.59
13	10310	17.07	5.54
14	3437	45.72	11.41
15	4373	8.49	0.65
16	4373	10.28	0.91
17	3967	24.95	4.30
18	24056	16.45	12.06
19	17183	14.72	14.72
20	24056	18.63	3.55
21	6873	13.98	2.55
22	3437	8.00	0.45
23	1718	26.62	2.10

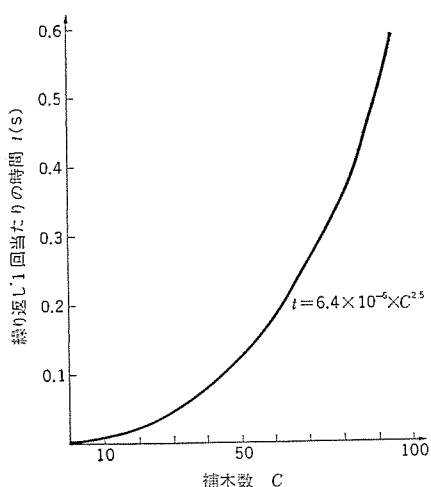


図 3. 計算時間

3. 2 末端圧保持問題

配水管網における各末端（需要家）では、水量、水圧が各末端の要求を満足していなければならない。つまり

$$\left. \begin{array}{l} H_c^m \leq H_c \\ Q_c^m \leq Q_c \end{array} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

ただし、 H_c : 末端圧
 Q_c : 末端流量
 H_c^m : 定 数
 Q_c^m : 定 数

である。

また、運転コストを最小にするには、ポンプの流量とポンプ圧の積を最小にすればよい。つまり

$$f(H_P) = (H_P, |Q_P|) \dots\dots\dots (14)$$

を最小にすればよい。

ただし、 H_P : ポンプ圧
 Q_P : ポンプ流量
 $()$: 内 積
 $|$: 絶対値

を示す。末端圧保持問題は次のような、非線形最適化問題となる。

$$\min f(H_P)$$

$$\text{sub. to } H_c^m \leq H_c$$

$$Q_c^m \leq Q_c$$

これらと、式(11)を線形化して H_P の関数として解くと次のようになる。

$$\min f(H_P) = H_P^T C_1 H_P + H_P^T C_2 \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{sub. to } A H_P \leq b \dots\dots\dots (16)$$

ただし、 C_1 、 C_2 、 A 、 b は H_P の関数である。結局、末端圧保持問題は、式(16)の制約条件の元で式(15)を最小にする制約付き最小化問題を解くことになる。具体的な解法としては、ローゼンの方法を応用した解法で解くことができる。

4. 下水道システムの制御

下水道システム制御は、環境汚染防止の面だけでなく、水再利用など水資源の有効利用の面からも、ますますその重要性を高めつつある。このシステムの究極的な目標は、不水処理場を水循環系の一要素として、公共用水域の汚濁防止あるいは再利用のために、水域単位の広域的かつ合理的な運営管理を行うことである。

下水道システムの対象は、活性汚泥法における DO 制御、MLSS（活性汚泥浮遊物質）制御など各单位操作の段階から、1次、2次、3次処理も含めた下水処理プラント全体へ、更に水系単位のプラント群全体へと拡大発展しつつある⁽⁴⁾。

まず下水処理プロセス制御として運営管理の中心である活性汚泥法をとりあげ、そのプロセスの静的な数学的モデルとその制御法について述べる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。次に近年下水処理場の大規模化・広域化に伴って問題となってきた、流入下水の水量・水質の変動に対する安定な処理水質を得るための動的な制御策を検討する⁽⁷⁾⁽⁸⁾。最後に、下水処理プラントが水系を介して相互に関連するシステムとして、流域下水道システムをとりあげ、その制御方法について検討する⁽⁹⁾。

4. 1 静的モデルに基づく下水処理プロセス制御

現在採用されている下水処理システムにおける2次処理プロセスの70%以上は活性汚泥法であり、主として好気性微生物群の吸着、凝集、酸化、同化作用を利用して、水処理を行うものである。この方法は

表 3. 静的モデルに基づく下水処理プロセス制御

方式・モデル	方 式	基 礎 モ デ ル	問 題 点
DO 一定制御	$A = \frac{R_r}{kl}(D_s - D)$	$\frac{dD}{dt} = kl \cdot AD_s - D - R_r$ A: 送風量 kl: 酸素移動係数 D: 溶存酸素 (DO) D _s : 飽和定数 R _r : 酸素消費速度	フィードバックでは時間遅れが生ずる
MLSS 一定制御	$r = \frac{C_A - C_r}{C_r - C_A}$	$C_p + rC_r = (C_A(1+r))$ r: 返送汚泥率 C _p : 流入下水 SS C _r : 返送汚泥濃度 C _A : 曝気槽内 MLSS	流入負荷の急激な変動に弱い
汚泥令一定制御	$Q_w = \frac{V_a + V_s}{X_r \theta_c} X$ (X _e : 無視) 更に余剰汚泥を曝気槽から引き抜くとすると $Q_w = \frac{V_a + V_s}{\theta_c}$	$\theta_c = \frac{(V_a + V_s)X}{Q_w X_r + (Q - Q_w)X_e}$ V _a : 曝気槽容積 V _s : 沈殿槽容積 Q _w : 余剰引抜量 Q: 下水流量 X _e : 放流水質 θ _c : 汚泥令	引抜量が過剰になることがある
F/M 比一定制御	$X = \frac{Q S_{in}}{V \theta_{FM}}$ となるよう返送率 r を制御	$\theta_{FM} = \frac{Q S_{in}}{V_a X}$ X: MLSS S _{in} : 流入下水濃度 θ _{FM} : F/M 比	・計測が困難 ・本質的に汚泥令一定制御と同じ

従来の経験的な操作法を中心としながらも、次第に、複雑な反応プロセスの数学的モデル化が試みられ、これに基づく水質パラメータに関する制御へと移行しつつある。これらの操作量は、表 3. に示すように基礎モデルの平衡状態から導かれる代数式をもとに、決定されている。

4. 2 動的モデルに基づく下水処理システム制御

4. 2. 1 活性汚泥による下水処理システムの数学的モデル

下水処理プロセスは、ばく(曝)気そう(槽)並びに沈殿池からなる。前者は下水に空気並びに活性汚泥を供給し混合する。不水に含まれる有機物は活性汚泥により除去される。後者は活性汚泥と下水の混合液を固液分離する。曝気槽の流動特性は、普通押し出し流れと完全混合流れとの中間といわれており、ここでは N 個の等しい容積 V をもつ完全混合槽列モデルを考える。一方、生物化学反応プロセスは、微生物増殖、有機物除去には Monod 形⁽⁷⁾を、DO 消費については Streeter-Phelps⁽⁷⁾形を用いることにする。第 i 槽における物質収支から、微生物増殖、有機物除去、DO 消費モデルはそれぞれ

$$V \frac{dx_i}{dt} = (Q + Q_r) x_{i-1} - (Q + Q_r) x_i + \left(\mu m \frac{S_i}{K_s + S_i} x_i - k_d x_i \right) V \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$V \frac{dS_i}{dt} = (Q + Q_r) S_{i-1} - (Q + Q_r) S_i - \frac{\mu m}{Y} \frac{S_i}{K_s + S_i} x_i V \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$V \frac{dO_i}{dt} = (Q + Q_r) O_{i-1} - (Q + Q_r) O_i + (KL_a(O_s - O_i) - R_i) V \quad \dots\dots\dots (19)$$

(i=1, …, N)

で表せる。ただし、諸変数は次のように定義される。

- Q: 流入下水流量
- Q: 返送汚泥量
- x_i: 曝気槽内汚泥濃度

- S_i: 有機物濃度
- O_i: 溶存酸素濃度
- μm: 最大増殖率
- k_d: 自己酸化率
- K_s: 解離定数
- O_s: 飽和濃度
- KL_a: 酸素移動係数
- R_i: 酸素移動速度

ここで、

$$\begin{aligned} x_0 &= (Q_r x_r + Q x_{in}) / (Q + Q_r) \\ O_0 &= (Q_r O_r + Q O_{in}) / (Q + Q_r) \\ S_0 &= (Q_r S_r + Q S_{in}) / (Q + Q_r) \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

で与えられる。

- ただし、x_r: 返送汚泥の微生物濃度
- S_r: 返送汚泥の有機物濃度
- O_r: 返送汚泥の溶存酸素濃度
- x_{in}: 流入下水の微生物濃度
- S_{in}: 流入下水の有機物濃度
- O_{in}: 流入下水の溶存酸素濃度

である。

式(17)において、左辺は曝気槽の活性汚泥の単位時間あたりの増加量を表す。右辺の第1項は前曝気槽からの流入量であり第2項は次の曝気槽への流出量であり、第3項は反応項であり有機物摂取による増殖量である。式(18)、式(19)も同様である。

一方沈殿池も、清澄層と沈殿層の二つの完全混合槽に分割しそれぞれ

$$\text{(清澄層)} \quad V_c \frac{dx_c}{dt} = (Q + Q_r) x_N - (Q - Q_w) x_c - \gamma(x_r - x_c) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$V_c \frac{dS_c}{dt} = (Q + Q_r) S_N - (Q - Q_w) S_c - \gamma_s(S_r - S_c) \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{(沈殿層)} \quad V_s \frac{dx_r}{dt} = \gamma(x_r - x_c) - (Q_r + Q_w) x_r \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$V_s \frac{dS_r}{dt} = \gamma_s(S_r - S_c) - (Q_r + Q_w) S_r \quad \dots\dots\dots (24)$$

で与えられる。

- ただし、V_c: 清澄槽容積
- V_s: 沈殿槽容積
- Q_w: 引抜余剰汚泥量
- x_c: 放流水 SS 濃度
- S_c: 放流水有機物濃度
- γ, γ_s: それぞれ活性汚泥、有機物に関する 2 層間の交換係数

上式(20)～(24)において、右辺の第1項は流入項であり、第2、3項は流出項である。

4. 2. 2 シミュレーションによる検討

流入下水流量・水質の変動に対する活性汚泥の返送率による放流水質制御の例を示す。図 4. は、流入下水の水量が 1.5 倍にステップ変化したときの制御例である。(a) は成功例であり、25% の返送率で MLSS をほぼ 2,000 mg/l に保ち、放流 BOD₅ も基準の 20 mg/l 以下である。一方(b) は失敗例であり、15% の返送率で MLSS に流失が生じ BOD₅ も 20 mg/l 以上に悪化する。図 5. は流入下水の水

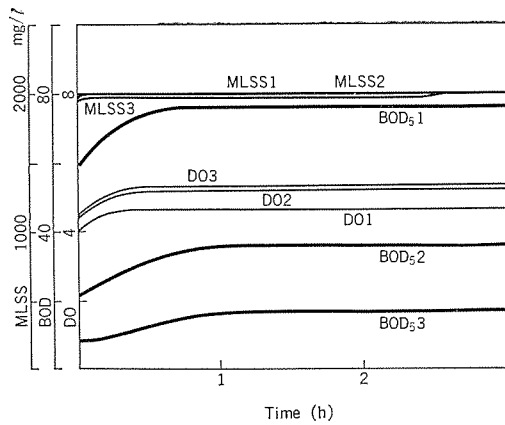


図 4. (a) 流入下水量の変動に対する制御結果 その 1

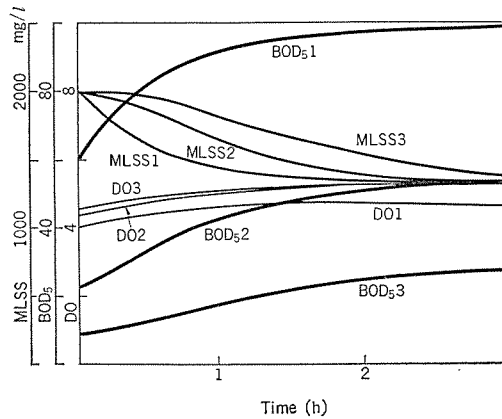


図 4. (b) 流入下水量の変動に対する制御結果 その 2

質が 1.5 倍にステップ変化した場合であり、30 % の返送率で放流 BOD₅ は基準を守っている。

図 6. は、上記の水量・水質変化に対し、種々の返送率制御を試みその放流水質の変化を検討した。その結果放流水質は、流入下水の水質よりもむしろ水量の影響を受けやすいことが分かった。また、返送率の増大につれ放流 BOD₅ はよくなるが、一方 MLSS も増大する。この MLSS もあまり大きくなれば放流 SS に悪影響をもたらすので注意を要する。

なお図 4., 図 5. 中の添字の数字 1, 2, 3 はそれぞれ 1, 2, 3 番目の番号であり、図 6. 中の添字の数字 1, 2 はそれぞれ水質・水量の変化した場合である。

4. 2. 3 最適制御方式

この方式は、①将来の流入下水量・水質の変動を予測する流入下水量・水質変動の先行予測システム、②現在の曝気槽・沈殿池内の下水及び活性汚泥などの状態及びパラメータの推定を行う下水処理プロセス状態推定システム、③、①及び②に基づいて廃水及び活性汚泥の状態を適正な基準値に維持すべく曝気風量、返送汚泥量、余剰引抜汚泥量などの操作量を最適に決定する最適制御システムからなる。従来の方式と比べて、流入下水量・水質の変動に対して応答性を高め、活性汚泥などの利用率の向上、BOD 除去率の向上、あわせて曝気用動力の節減をはかろうとするものである。

流入下水量・水質の日変化傾向は、一般に一定の傾向を示すことが多いと言われている。ここで各時間帯ごとにそれらの時間平均をとり、その一定の下水量・水質が流入すると考える。この一定外力 W^* に対し、放流水質などの基準状態 x^* を維持するための基準操作量 U^* は、基本式 (17) ~ (24) の右辺を零とおき求める。現実の流入下水量・水質は当然ながら上記日変化傾向とは若干のズレが生じ、

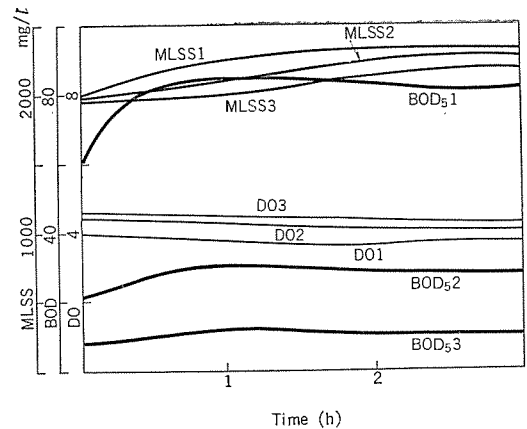


図 5. 流入下水の水質変動に対する制御結果

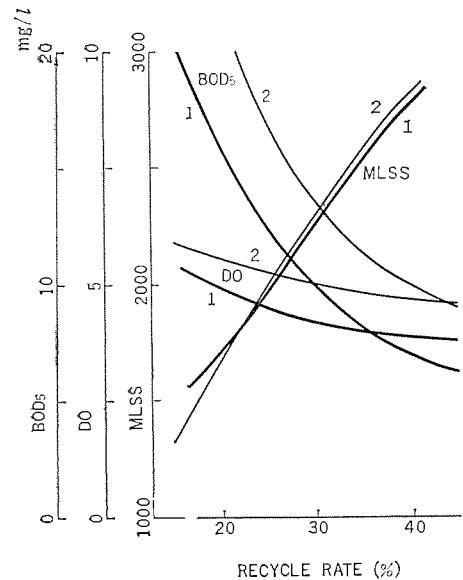


図 6. 流入下水負荷変動に対する流出水質

基準操作量 U^* のままでは、基準状態 x^* を維持することは困難になる。

したがって将来 T 時間にわたって曝気槽に流入してくる下水量・水質をあらかじめ管きょ(渠)網、沈砂池、最初沈殿池などの水量・水質の検出器の情報をもとに、統計的手法により予測しておき、上の基準外力との偏差 ΔW を求めておく。一方、曝気槽・沈殿池の廃水及び活性汚泥の状態並びにパラメータの推定を行って、基準状態からの偏差 Δx を求めておく。これらの偏差に応じて、修正操作量 ΔU は

$$\Delta U = G_x^P \Delta x + G_W^P \Delta W + G_x^I \int \Delta x dt + G_W^I \int \Delta W dt \dots (25)$$

によって決定する。

ただし、 G^P : 比例 ゲイン

G^I : 積分 ゲイン

である。

以上の方式についてのブロック図を、図 7. に示す。

4. 3 流域下水道システムの制御

河川の水質基準が、厳しくなるにつれ、水系を介して相互に関連する下水処理プラントの除去率を上げる必要がある。流域下水道システムの最適制御方式の一例を次に示す。

河川を図 8. のように 6 個の完全混合槽のリーチに分割し、それぞれ下水処理場からの放流を受けるとする。その第 i リーチの動的モデル

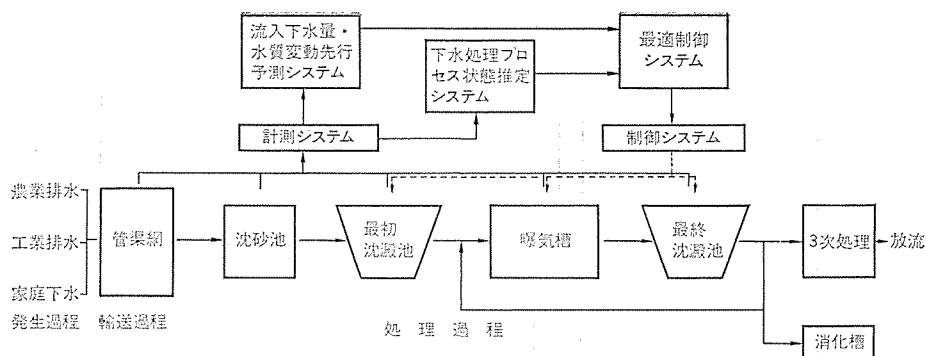


図 7. 下水処理プロセスの最適制御方式

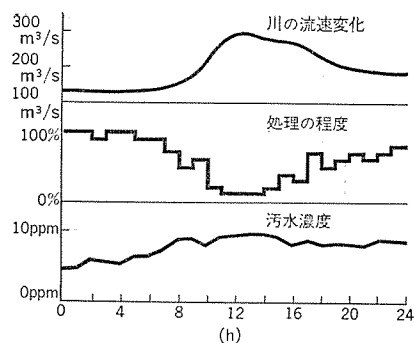


図 9. 川の流速変化と処理の程度
(下流でのもの)

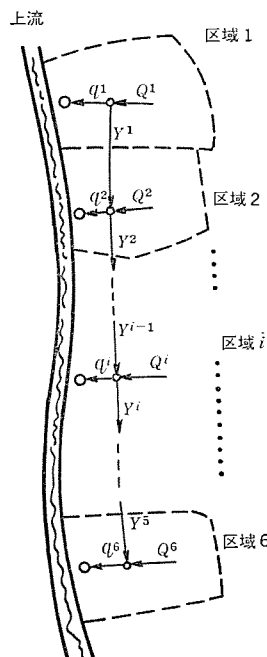


図 8. 汚水処理システムの概略図

ルは、次式で与えられる。

$$V^i \frac{dx^i}{dt} = Q^{i-1} X^{i-1} - Q^i X^i + W^i (X_d^i - X^i) - K X^i + q^i U^i \dots (26)$$

$$V_d^i \frac{dx_d^i}{dt} = W^i (X^i - X_d^i) \dots (27)$$

$$V^i \frac{dY^i}{dt} = Q^{i-1} Y^{i-1} - Q^i Y^i + W^i (Y_d^i - Y^i) - C K X^i + K_{La}^i (Y_s - Y^i) \dots (28)$$

$$V_d^i \frac{dY_d^i}{dt} = W^i (Y^i - Y_d^i) \dots (29)$$

ただし、 X^i : BOD 濃度
 Y^i : DO 濃度
 Q^i : 河川流量の BOD
 U^i : 放流水質の BOD
 V^i : 動水域の容積
 V_d^i : 死水域の容積
 W^i : V^i , V_d^i の交換係数
 K_{La}^i : 酸素移動係数
 Y_s : 飽和定数

である。

評価関数として、 $J = (\text{全処理費用}) - (\text{河川の効用})$ をとり、これを最小にする意味で最適な処理レベルを DP を使って求めると、図 9. のようになる。すなわち、河川流量の変動に伴い、排水処理効率を変動させ、つねに河川の環境基準を満たすように運転されることが分かる。このように、上流側から多数の処理場がならんでいる場合、河川流量と河川水質を考慮した運用が必要である。

5. む す び

増大する水需要に対して、限定された水資源をいかに管理し、利用し、処理するかは重要な問題であり、全体の調和を保つ広域管理の必要性は、ますます高まりつつある。大規模化と同時に複雑多様化する水利用システムの確立には、水に対する理解とともに、各分野の技術、システム技術の高度な利用が重要であり、広範匠の技術の協が必要である。今後も、より良いシステム・ソフトウェアの開発をめざして業界各位の期待に添いたいと思っている。

参 考 文 献

- (1) Revelle, C. et al.: The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, WRR, 5, No. 4 (1969)
- (2) Kesavan, et al.: Graph-Theoretic Models for Pipenetwork Analysis, ASCE, 98, No. HY 2 (1972)
- (3) Lam, et al.: Computer Analysis of Water Distribution System, ASCE 98, No. HY 3 (1972)
- (4) 内藤: 水処理の最適プロセスに関するシステム工学的考察, 環境技術研究会 (昭 47)
- (5) M. E. Burchett And G. Tchobanoglous: Facilities for Controlling the Activated Sludge Process by Mean Cell Residence Time, 46, No. 5 (1974), JWPCF
- (6) 橋本, 藤田: 活性汚泥法の適正管理に関する動力学的研究, 用水と廃水, 17, No. 7 (昭 50)
- (7) J. Busby And J. F. Andrews: Dynamic Modeling and Control Strategies for the Activated Sludge Process, 47, No. 5 (1975), JWPCF
- (8) 津野, 宗宮, 合田: 動力学モデルによる活性汚泥法の水質負荷変動に関する研究 (I), 下水道協会誌, 13, No. 141 (昭 51)
- (9) T. Fukuda And M. Naito et al.: Optimum Planning of Sewage Treatment System for Preserving Stream Quality, IFAC 5th Congress (1972)

水処理総合計装制御装置

竹野 宏平*・戸根川寿志**・大野 宣男**・苗村善健***・盛口全太**

1. ま え が き

最近の水処理プラントは、施設の大規模化と、自動化機器、省力化機器の積極的な導入という背景の中で合理的な運営を計るべく努力がなされているが、その中でも特に次の2点が大きくクローズアップされてきた。

問題点1. 大規模プラントシステムの管理思想はどうあるべきか。

問題点2. 各プラントに適用する総合計装制御システムの最適標準構成はどうあるべきか。

これらについて当社は永年の豊富な経験、実績を土台にシステム工学上の最適理論を加味し、種々検討していたが、その経過と結論につき以下述べる。

水処理プラントは、各自動制御機器の小形化や、省力化に伴う保守の容易性などから、現場の各電気室で分散管理する管理体系から、中央管理室で集中監視制御する集中管理体形へと変遷してきているが、集中管理体形では、計装制御としての算術演算要素と、シーケンスコントロールとしての論理演算要素とが複雑にからみあっているため、これらをいかに効率よく制御するかが課題であった。

これに対し、従来は専用のコントローラを各種ごとに複数台設置する方式と、大形計算機で全プラント一括制御する方式とで対処してきたが、前者では多機種採用におけるむだが大きく、後者は機能が1カ所に集中するためシステム信頼度が懸念されるという問題点が生じてきた。

このような中で我々は次のような新しい管理体系を確立し解決を計った。

『大規模プラントの管理制御システムの形態は集中管理形とするが、すべてを中央に集中するのではなく、その機能の内、現場で処理できるものは、できるだけ現場で処理する。』

すなわち、機能を分散することによってシステムの信頼度の向上(危険分散)を図った集中管理、機能分散へと指向する。

ただし分散された機能の制御装置の種類は、できるだけ少なく、しかも高インテリジェントなものとする。』

このシステムの考え方は、超小形電子計算機としてのマイクロプロセッサと高速情報伝送装置としてのデータウエーの著しい技術面及びコスト面で発達によって可能となった。

ただしこの新しい考え方は、大形化、複雑化した大規模プラントに焦点を合わせたものであり、適用するプラントの規模と、プラントごとに個有に要求される機能により修正されたシステムを考えねばならない。しかしいずれにせよ今後のプラントの管理システムは、

- (1) 集中管理機能分散形
- (2) 集中管理機能集中形
- (3) 上記両者の混合形

の三つの方式が主流となるであろう。図1.に管理システムの変遷を示す。

次に、しからば各種プラントに対して総合計装制御システムは自動化機器、省力化機器をどのように適用し、どのような構成をするのが最適であるかということが問題であるが、これに対しても当社は、技術面、コスト面など種々検討の結果プラント規模による最適システム構成の標準化を行って解決した。これを《MELWAC》(MELCO Water Control system)シリーズと名付け、水処理プラントシステムはすべてこの系列内に含めて考え処理することとした。次に《MELWAC》シリーズ名と適用プラント規模との関連を示す。

大規模プラントシステム ……《MELWAC》7000

(集中管理機能分散形) 図2. 参照

中規模プラントシステム ……《MELWAC》5000

(混合形) 図3. 参照

小規模プラントシステム ……《MELWAC》3000

(集中管理機能集中形) 図4. 参照

上記《MELWAC》シリーズを構成するものは、

- (a) 末端制御系としてのターミナルコントローラ
- (b) 全プラント管理中枢制御系としての計算機
- (c) 上記2要素を効率よく結びつける情報伝送装置

などであるが、本文では、これらの最新装置について説明する。

以上は一つの場内に散在する機器を持つ同一プラントの管理システムを対象に述べており、上水道系やダムゲート水系における広域管理システムについてはその主要構成要素である遠方監視制御装置の紹介のみにとどめるものとする。

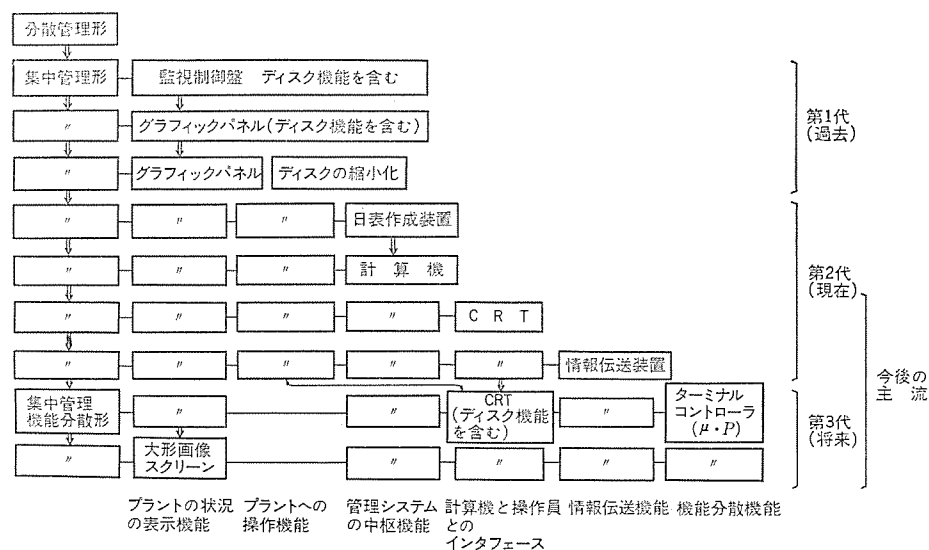


図1. 管理システムの変遷

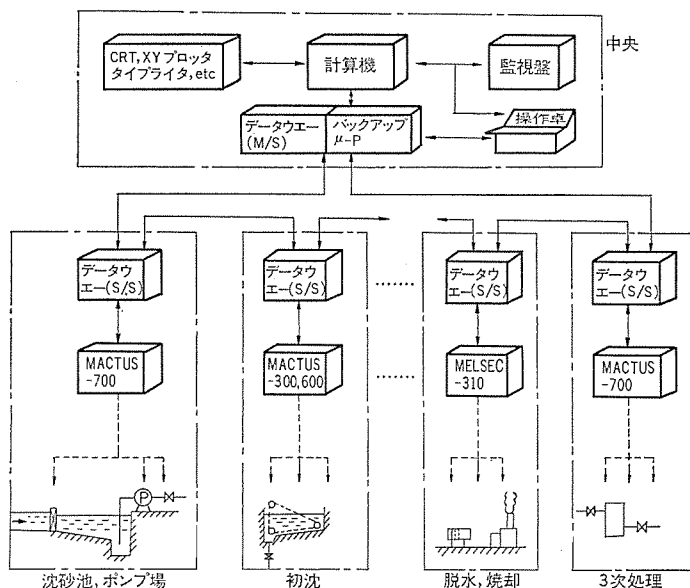


図 2. 大規模プラント《MELWAC》7000シリーズ
(集中管理機能分散形)

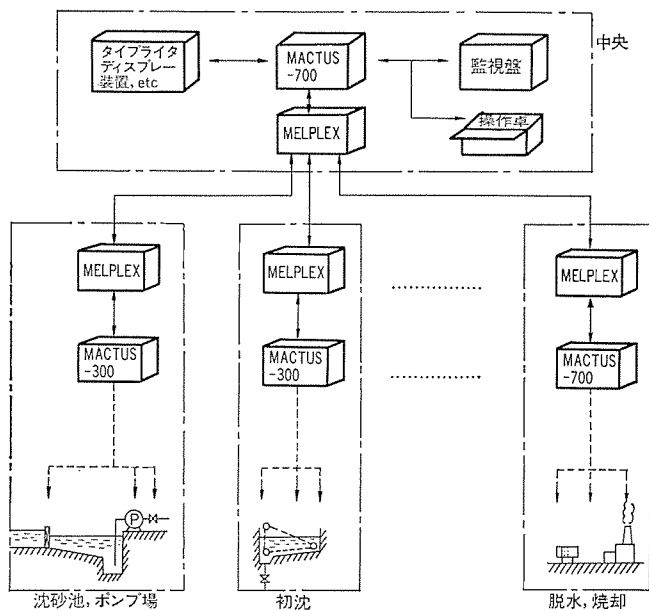


図 3. 中規模プラント《MELWAC》5000シリーズ (混合形)

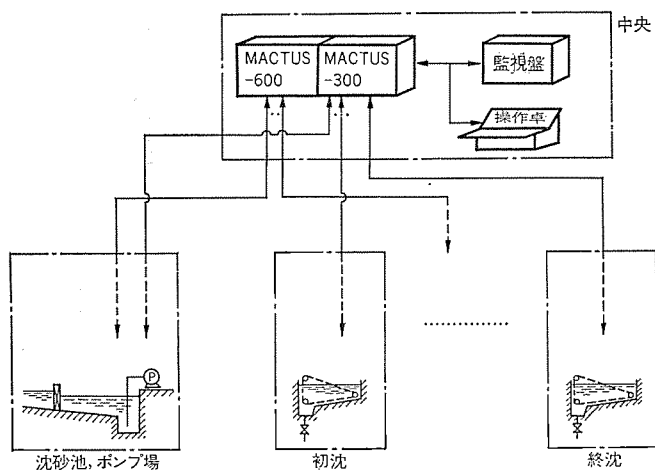


図 4. 小規模プラント《MELWAC》3000シリーズ
(集中管理機能集中形)

2. ターミナルコントローラ

2.1 MACTUS シリーズ

水処理プラントのターミナルコントローラとして当社はこの度、MACTUS (Mitsubishi Aqua Control Apparatus) シリーズを開発した。

このシリーズの基本的な特長は、水処理プラントの特性に合わせて末端制御回路から部分集中制御回路までを、各種の標準パターンに分類し、どのプラントもこのシリーズの組合せによりコントロールできることにある。

末端制御リレー部のモジュール化や、コネクタ接続方式、プログラマブル演算装置、ビルディングブロック方式等を採用することにより、各プラントに最適なシステムが自由に選べ、製作期間や現地調整作業も標準品の採用で大幅に短縮される。表 1. に各シリーズの概要を記している。

次にこの中で MACTUS-700 シリーズについて詳しく述べる。

2.2 MACTUS-700

このシリーズは、マイクロプロセッサを CPU とした総合制御部と、パーチャートディスプレイ装置やキーボードを中心とした総合監視操作部から構成されており最大 48 ループの計装制御と入力 1 kW, 出力 1 kW までのシーケンス制御が可能となっている。

プラントとの関連も含めた全体構成図を図 5. に示す。

2.2.1 総合制御部

総合制御部としては、マイクロプロセッサを中心として各種プラント側信号との入出力装置を備えたプラントコントローラ《MELPLAC》を採用しており、これについては 2.3 節でも触れているが、ここでは、ソフトウェア面及びシステム構成面での特長を次に記す。

- (1) 新 POL (高級制御向き言語) の採用により従来の制御技術者への使いやすさの提供。
- (2) マルチプロセッサ方式の採用による特殊なタスク処理への発展性。
- (3) シーケンス制御、算術演算制御、パルスカウント制御等を同時に 1 台の CPU で処理できる。
- (4) ビルディングブロック構成により小規模から大規模まで仕様に適したシステム構成ができる。ハードウェア仕様は表 4. を参照されたい。

2.2.2 総合監視操作部

このシステムは、計装制御ループとして最大 48 ループまで可能であり、プラントの規模に適したシステムを随時構成するものである。

各ループ内の標準プログラムとしては従来の計測器に準じて、下記のものを用意している。

- (1) 指示調節計用 (P, PI, PID, リミッタ付き, リセットリミッタ付き, パッチ処理付き, 等)
- (2) 指示警報計用 (上下限)

表 1. 水処理コントローラ MACTUS シリーズ

シリーズ名	概 要
MACTUS-300	標準パターンシーケンスリレー、故障表示リレー、選択リレー、入出力インタフェースリレー等を標準化してモジュール化し、各プラントごとの制御盤にビルディングブロック方式による最適組合せを可能とするもの。内部はすべてコネクタ接続による。
MACTUS-600	マイクロプロセッサを中心にプロセス I/O、監視操作部を数ループごとにモジュール化した小規模な端末演算処理装置。 (現状のアナログ調節計や演算器に変わるプログラマブルな装置)
MACTUS-700	プラントコントローラ《MELPLAC》を中心とした 48 ループの計装演算制御と入力 1 kW 出力 1 kW のシーケンス機能とを一体化した総合制御装置。また、マンマシンインタフェース用の監視操作部にもパーチャート指示計等を用いた斬新なシステム

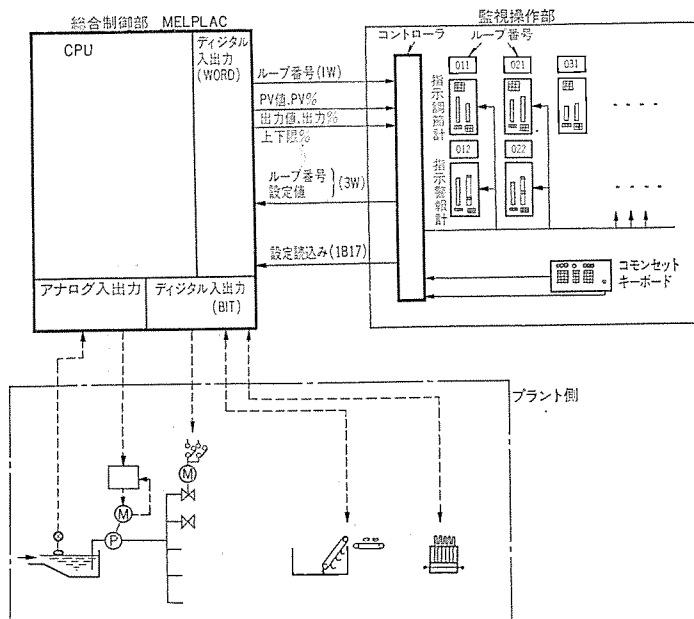


図 5. ターミナルコントローラ「MACTUS-700」全体構成図

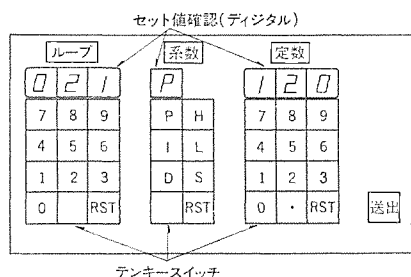


図 7. コモンセット キーボード

- (3) 加減算器用
- (4) 乗除算器用
- (5) 比率設定器用
- (6) 開平演算器用
- (7) 電々ポジション用
- (8) 非線形演算器用
- (9) 積算カウンタ用

これらのうち、オペレータとの常時会話が必要な指示調節計と指示警報計をこの監視操作部上に集中的に配列し、PID 定数や上下限設定値をコモンセットキーボードからループ番号とともにセットする方式としている。これ以外の加減算器等の各定数については、総合制御部のプログラミングパネルから設定する。

この総合監視操作部の特長は次のような点である。

- (1) 指示調節計と指示警報計の表示部は、照光式バーチャート指示とデジタル指示とを組合せた完全静止化を計り、従来のアナログ指示計の直感的に読みとれる長所と、デジタル指示計の目盛直読ができる長所とを組合せた斬新なスタイルとなっている(図 6. 参照)
- (2) コモンセットキーボードを一つ設けることにより、各ループ番号と定数を極めて簡単にセットすることができる。(図 7. 参照)
- (3) 総合制御部とのインターフェースは、ループ番号と各定数を組合せたデジタル会話方式とし、総合監視操作部にも専用の表示用のメモリとコントローラを設けているため、システム全体が極めてシンプル、かつ信頼性の高いものになっている。またこれによりこのシステム以外の総合制御部との接続(例えば計算機や他メカのコントローラ)も簡単に行うことができる。

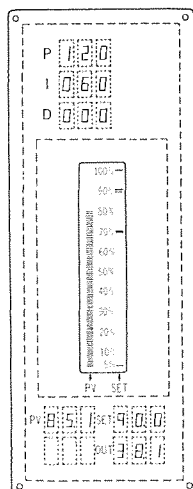


図 6. PID 調節計用表示部

2.3 コントローラと情報伝送装置

前述のように、コントローラは情報伝送装置と深い関連を有しているが、従来は相互に入出力部で重畳する所があり、システムとして組むときむだが多かった。

当社では、この点に早くから着目し、これらを一挙に解決する情報伝送装置付きコントローラを製作、納入しており、MACTUS シリーズ制御部の母体ともなっているが、以下にその概要を紹介する。

2.3.1 情報伝送装置付コントローラ

コントローラ部として、シーケンス制御専用の場合にはシーケンサ《MELSEC》310 を、また数値演算制御を含むシーケンス制御の場合にはプラントコントローラ《MELPLAC》を使用する。いずれも当社の豊富なプラント制御の実績を背景に製作されており、使いやすさと信頼性の向上、及び保守の容易性を考慮した装置で、従来の制御技術者が簡単に扱えるようになっている。また、いずれも情報伝送装置部として《MELPLEX》を接続できるが、これについては次項に述べる。《MELSEC》と《MELPLAC》の主仕様を表 2. に示す。

これらの装置は使いやすいという次の特長を持っている。

(1) 使いやすい

- プログラミングが容易←制御用言語でプログラムできる。
- システムデバッグが容易←プログラミングパネルの使用
カセット MT プリンタの使用
- 機能の改造、追加が容易←ユニット構成の採用
ワイヤメモリの使用

表 2. 《MELSEC》と《MELPLAC》の仕様一覧

項 目	MELSEC	MELPLAC
演 算 方 式	繰返し演算方式	ソース指定によるワード/ビット処理制御 ワード処理：数値演算制御 ビット処理：シーケンシャル制御
C 制 御 素 子	MSI	LSI (マイクロプロセッサ)
命 令	14 種	35 種
P 演 算 速 度	2.5 μ s/step	加減算 3.5 μ s ビット論理演算 4 μ s
U 順 込 制 御		レベル ハイ/ロー 2 レベル ハイレベル 8 点 ローレベル 24 点
サ ブ ル ー チ ン		3 重ネスト処理まで可能
インデックス修飾		インデックスレジスタ 2 語装備
一 時 記 憶	512 点	データメモリ参照
主記憶部	ワイヤメモリ	
プログラムメモリ	4 K 語	MAX 8 K 語
データメモリ	一時記憶参照	2 K 語
タ イ マ	128 点	128 点
カ ウ ン タ	プロセス出力代替	64 点
デ ィ ジ タ ル 入 力	MAX 512 点	MAX 128 語 〔中シーケンシャル制御用には〕 64 語→1,024 点使用可
デ ィ ジ タ ル 出 力	MAX 512 点	MAX 128 語 〔中シーケンシャル制御用には〕 64 語→1,024 点使用可
デジタル入出力カード	デジタル入出力カードは互換性有り	
ア ナ ロ グ 入 力		MAX 208 点
ア ナ ロ グ 出 力		MAX 256 点
システムデバッグ装置	プログラミングパネル カセット MT/プリンタ	プログラミングパネル カセット MT/プリンタ
使用条件	AC 100/110 V +10~-15% 50/60 Hz	
周 囲 温 度	0~+50°C	
湿 度	10~90% RH	

表 3. 《MELPLEX》シリーズ

大 分 類	小 分 類	用 途	機 器 名
リモートバス (プログラマブルコントローラのリモート I/O)	シーケンサ MELSEC-310 用	MELSEC-310の入出力ケーブル線心数の減少 (デジタル)	MELPLEX-310
	プラントコントローラ MELPLAC 用	MELPLACの入出力ケーブル線心数の減少 (デジタル)	MELPLEX-320
デジタルケーブル	一般制御装置用	デジタル用	MELPLEX-610
		アナログ用	MELPLEX-110

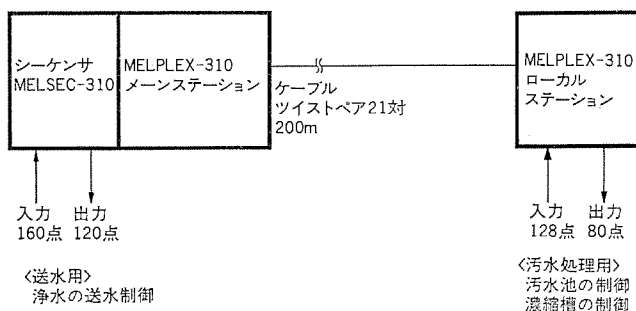


図 8. 浄水場への《MELPLEX》310 の適用例

(2) 信頼性の向上

- 集積回路、非破壊読出しメモリの採用
- プロセス入出力の強力な耐ノイズ性
- プロセス入出力の外線直接接続可能

(3) 保守の容易性

- ユニット構成の採用
- 故障自動検出システムの完備
- 豊富な表示機能
- プロセス入出力前面端子台の採用

(4) 外線工事の簡素化

- プロセス入出力の強力な耐ノイズ性により専用ダクト等の特殊な工事は不要
- 多心ケーブルの接続
- 情報伝送装置《MELPLEX》の接続可

2. 3. 2 情報伝送装置《MELPLEX》

この情報伝送装置は、簡単に言えば、コントローラ《MELSEC》の入出力部を少ない接続線で遠方に引き延ばすことを可能にした装置であり、具体的には

- 線減少による省資源化
- ケーブル配線工事費の低減化
- 増設拡張性に対するフレキシブルさ
- システム保守の容易

を主たる目的に製作されている。

《MELPLEX》には表 3. に示すシリーズがあり、その特長は次のとおりである。

- (1) ケーブル配線工事の合理化……配線ケーブルはコントローラ用は 21 対、アナログ用は 3 対配線するだけでよい。
- (2) 制御信号、表示信号の高速伝送……10 ms/1,024 点/2 km
- (3) システムの拡張が容易……コントローラ用は 21 対、アナログ用は 3 対の連絡線を共用することにより、電線の追加配線が不要
- (4) 高信頼性……無接点化
- (5) 保守の容易化……ユニット化、故障箇所の表示

浄水場の制御に《MELPLEX》310 を適用した場合のシステム構成図を図 8. に示す。

3. 計 算 機

計算機は、集中管理化の際の最高管理中枢に位置し、その重要性及び無限ともいえる機能性は、今更ここで述べるまでもない。

「まえがき」での思想に準じて計算機を導入する場合、その最も重要となる機能は次の 3 点であろう。

- (1) 集中監視制御のためのマンマシンインタフェース機能
 - (2) ターミナルコントローラへの設定値を与えるための全体プロセス制御機能
 - (3) 同一場内の各分散機能間の情報伝送のためのデータウエー機能
- 3 章では、これらの機能とその実施例を中心に以下述べる。

3. 1 マンマシンインタフェース機能

計算機システムを導入した場合、計算機で処理した情報を操作員にわかりやすく知らせ、また、操作員の意志を計算機に簡単に伝えるインタフェースとして文字画像表示装置 (CRT) の右に在る装置はない。

CRT 上には、ライトペン、キーボード又は専用スイッチを使ってプラントの情報を単線接続図・フロート・グラフ・文字等で自由に表示することが可能であるとともに、逆に同じくライトペン、キーボード又は専用スイッチを使って CRT 上より計算機へ各種の情報及び指令を入力することができる。

CRT 上には各種の情報を表示できるが、画面寸法の制約で部分的な表示となる欠点がある。したがって全体の状況を直感的には (把握) するため、別にグラフィックパネルが必要である。

なお、将来明るい部屋でも使用可能な大画面のプロジェクタ (投影機) 等が実用化されれば、現在の固定画面のグラフィックパネルに代わって融通性に富んだ可変画面のスクリーン式パネルが登場するであろう。

3. 2 プロセス制御

(1) 上水道施設におけるプロセス制御

上水道施設においては

- 水質の計測が比較的容易である。
- プロセスの特性が比較的化学反応に近くその特性が把握しやすい。

などの理由でプロセス制御に対する問題点はほとんどなく、計算機導入の効果は大きい。

(2) 下水道施設におけるプロセス制御

下水道施設においては、制御を「量の制御」と「質の制御」に区分して考える。

(a) 量の制御

量の制御とは、水位・圧力・流量に関する制御をいうが、計測器について汚水の水質が悪いのでそれ相応の配慮をすれば特に大きな問題はない。

(b) 質の制御

質の制御とは、水質に関する制御をいうが、

- 水質の連続計測 (ON-LINE 計測) がセンサの汚損等で現段階では、困難なものが多い。
- プロセスの特性が生物化学的反応であるため、制御応答速度が遅くその特性が複雑である。
- 運転指標となる水質がまだ解明されていない。

等の理由でプロセスの ON-LINE 制御には、まだ問題点は残っている。しかし現段階で可能な水質情報を収集分析することにより、今後必ず実現せねばならない ON-LINE 制御の方法に有益な情報をもたらすことが期待できる。

等の理由で計算機導入の効果はやはり大きい。

表 4. 標準 シミュレーション プログラムパッケージ

各 制 御 方 式	制 御 項 目	制 御 目 的	方 法	計 測 項 目	備 考
(I) 流入下水流量比率制御	送気量: Q_a 返送汚泥量: Q_r 余剰汚泥量: Q_w	放流水質基準の維持	$Q_a = r_a Q (r_a = 0.2 \sim 0.3)$ $Q_r = r_r Q (r_r = 3 \sim 7)$ $Q_w = r_w Q (r_w = 0.01 \sim 0.02)$	流入下水流量: Q "	
(II) 水質フィードバック制御	送気量 返送汚泥量 余剰汚泥量	DO 一定 MLSS 一定 汚泥界面一定	$Q_a = G(D - D^*)$ $Q_r = G(M - M^*)$ $Q_w = G(H - H^*)$	DO : D MLSS : M 汚泥界面: H	* 印は規準値 G は比例積分ゲイン ($H \geq H^*$ のみ)
(III) 水質フィードバック 水量フィードフォワード制御	送気量	DO 一定	$Q_a = G_1(D - D^*) + G_2 Q$	流入下水流量: Q DO : D	G_1, G_2 : 比例積分ゲイン
(IV) 静的モデルにもとづく制御	送気量	DO 一定	$Q_a = \frac{R_r}{K_1(D_s - D)}$	酸素消費速度計: R_r DO : D	D_s : 飽和酸素濃度 K_1 : 酸素移動係数
	返送汚泥量	MLSS 一定	$Q_r = r Q$ ただし $r = \frac{M - M_{in}}{M_r - M}$	流入下水 SS: M_{in} 返送汚泥 SS: M_r MLSS : M 流入下水流量: Q	
	余剰汚泥量	汚泥令一定	$Q_w = \frac{(V + V_s)M}{M_r \theta_c}$	MLSS : M 返送汚泥 SS: M_r	V : 曝気槽容積 V_s : 沈殿池 " θ_c : 汚泥令
	返送汚泥量	汚泥令一定	$Q_r = r Q$ ただし $\frac{1}{\theta_c} = \frac{Q}{V} \left(1 + r - \frac{M_r}{V} \right)$	MLSS : M 返送汚泥 SS: M_r 流入下水流量: Q	

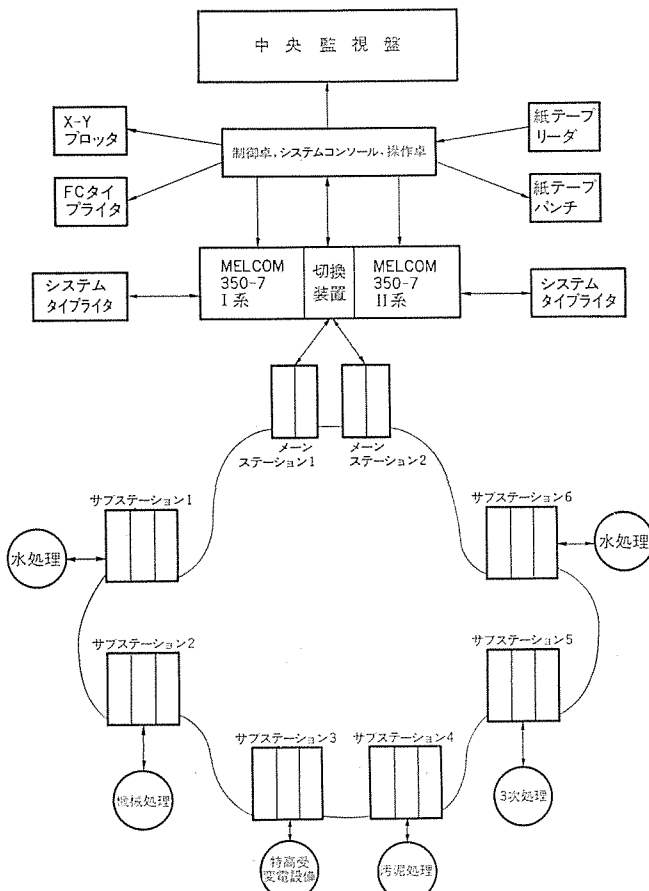


図 9. システム構成図

なお当社では、上記プロセス制御のための標準シミュレーションプログラムパッケージとして表4. のようなものをもっており、各ループの最適制御系の開発を鋭意行っている。

3.3 データウエー機能

一般に同一場内の、各分散機能間の情報伝送を行う場合

- 1) 計算機とプラントを個々に直接接続する方法
 - 2) 計算機とプラントを遠方監視制御装置によって接続する方法
 - 3) 計算機とプラントをデータウエーで接続する方法
- の3通りがある。

どの方式を採用するかは、「伝送距離」「情報量」「伝送速度」「おのおのの端末に接続される機器」等によって決まるが、大規模水処理設備の場合には、広い敷地内に情報源が散在するので、データウエー

方式を採用するのが一般に有利であろう。特に集中管理機能分散形を採用する場合にはデータウエー方式が最良である。

従来の直接接続方式は、配線スペースや増設の困難さの点で技術的には将来行き詰まるものと思われる。

3.4 計算機システム構成例

以上のような考え方をもとに構成納入した最新システムの一例を図9. に示す。

4. 遠方監視制御装置

4.1 概要

遠方監視制御装置は、広域水処理プラントシステムにおいて一つの大きなコンポーネントであり、当社においてもプラントのニーズに合わせて種々の装置を製作納入してきた。

本章では、広域水処理プラント管理レベルと、それに対応した最適な遠方監視制御システムの選び方、及びその実施例を中心に以下述べる。

4.2 管理レベルと監視制御対象

広域水処理プラントにおける集中管理のための情報伝送システムを計画する際、まず次の基本的事項を考えねばならない。

- (1) その系に属する全体施設の状態を迅速に把握し、適切な判断を早く下せること。
- (2) 施設の運用上効率を上げられること。
- (3) 適切な省力化効果があること。
- (4) 施設の運用上安全維持を高めること。

需要家各位におかれては、これらを考慮の上、それぞれの特質に合致した遠方監視制御システムの導入が行われている。

広域水処理プラントにおける集中管理、監視制御のレベルと施設対応概念は表5. に示すとおけである。本表における上水道は、工業用水道も含むと考えてよい。

4.3 実施例

当社ではこの十数年来、水処理用遠方監視制御システムに取り組んでおり、システム上、機器ハードウェア上多くの経験を積重ね、これを生かして顧客より要求ある内容について最適のシステム、機器を提供できる段階となった。次に最近の実例より代表的なものを報告する。

4.3.1 上水道

(1) 広域集中管理用遠方監視制御装置

神奈川県企業庁、神戸市水道局、大阪府水道部、名古屋市水道局な

表 5. 管理レベルと監視制御の対象表

管理レベル	監視制御区分	上水道対象施設					下水道対象施設			
		取水場	浄水場	ポンプ場	配水池	配水本管末端	ポンプ	流入口	下水幹線	処理場
1 (広域)	集中管理	○	●	○	○		○	○	○	●
		○	●	○	○	○				
2 (1:N)	監視制御			●	○		○			●
			●	○	○	○				●
	監視		●	○	○	○		○	○	●
			●	○	○	○		○	○	●
3 (1:1)	監視制御	○	●				○			●
				●	○	○		○		●
	監視	○	●	○					○	●
			●		○	○		○		●

注) ● 監視制御センタ(親局)

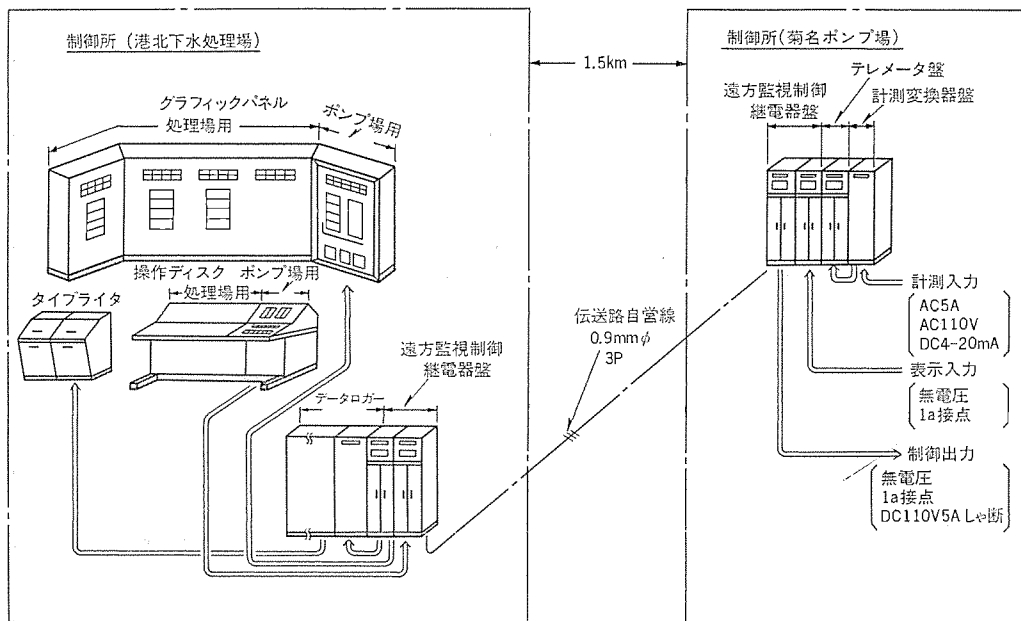


図 10. 装置構成図

どで実施、導入されてきたが、これらは取水より送水・配水までを一括して監視制御を行うものである。詳細については、参考文献(1)～(3)を参照されたい。

(2) 1:N 遠方監視装置

最近の例として美祿市では、市内 11カ所のポンプ所を無人化し、配水池水位によるポンプの自動運転を行っているが、今回集中監視システムの導入により、11カ所のポンプ所のポンプ運転状態、送水圧力の有無、配水池の水位をセンタにて把握できることとなり、より円滑な配水が可能になった。その機能、方式は次のとおりである。

(a) 機能

配水池の水位を自管線によりポンプ所まで直送し、ポンプ所のデータと合わせて、デジタル符号化し、50ビット/秒の直流符号伝送方式を用いて、電電公社専用線(A-1規格)によりセンタへ伝送する。センタではこのデータを受信し、水位データについては、監視盤にてデジタル常時表示を行うと同時に、各水位ごとに上下限の検定を行い、設定水位を逸脱した場合は、当該ランプのフリッカ表示と同時にブザーを鳴動する。

センタでのデータ受信は、11回線(将来は14回線まで増設可能)を自動切換えにて受信する1:N方式をとっており、センタ受信装置の小形化、低価格化を計っている。

(b) 方式

通信回線	電電公社専用線 (A-1規格)
通信方式	単向通信
符号形式	隣接位相反転 2回照合方式
同期方式	ワード同期
伝送速度	50ビット/秒以下
伝送方式	常時デジタルサイクリック伝送方式
データ受信	11回線順次走査による1:N方式
データ処理	水位データ……常時デジタル表示 上下限検定 送水圧力警報 ランプ表示 ポンプ運転……ランプ表示

(c) 仕様

周囲条件	
子局装置	-10～50℃
親局装置	0～40℃
供給電源	
子局装置	AC 220 V±10%
親局装置	AC 100 V±10%
精度	±1.0%以下

4.3.2 下水道施設向け遠方監視制御装置

東京都下水道局、横浜市下水道局をはじめ各市町村で実施されてきたが、これらの特徴は上水

道施設に比較して監視・制御・計測項目数が多いことにある。また、制御所が処理場に設置される場合は、被制御となるポンプ場もその施設の一部とみなして管理できるよう機器のレイアウト等が考慮されている。一例として1:1構成の横浜市下水道局の装置構成図を図10.に示す。

5. む す び

以上、各システムコンポーネントの最新技術を紹介してきた。紙面の都合上、一部省略の部分もあり、各装置の詳細仕様については、別途ご照会願いたい。また、具体的プラントへの適用方法、新システムの開発等について顧客各位のご要望には極力対応する所存である。

参 考 文 献

- (1) 神奈川県企業庁水道局：神奈川県営水道における水道事業と無線，電波時報，No. 5 (昭50)
- (2) 江村ほか：大阪府水道部集中管理システム，三菱電機技報，43，No. 11 (昭44)
- (3) 中村ほか：名古屋水道局施設集中管理システム，三菱電機技報，48，No. 10 (昭49)

1. ま え が き

上水道設備、下水道設備は都市の大形化に伴い、ますます大規模化する。上水の使用量は人口の増加、生活水準の向上により増加する一方であるが、他方、水源は数多く求めることができず、1河川あるいは1ダムに集中するというケースが多い。

したがって、設置される浄水場は大形化し、下水はその排出規準が厳しくなり、高級な処理が要求されるとともに広域にわたる地区の排水処理を行うため、大容量設備となる。

現在上水道設備、下水道設備の運営は、これら大規模設備の円滑な合理的管理を必要としており、平常時は小人数で全設備をは(把)握でき、事故時には早急にその情報を操作員に連絡し、迅速に処置を行える装置が必要である。これら目的を満足し、かつ人間工学を考慮した最新の監視操作装置についてここに紹介する。

はじめに、将来あるべき中央監視盤を想定して開発した縮小形監視操作盤、次いで最近の中央監視盤の傾向を整理した標準化シリーズ、最後に FRP 製現場盤について述べる。

2. 縮小形監視操作盤

2.1 従来の問題点

従来の中央監視装置は、処理系統をグラフィック的に描き、プロセスが一目で理解できるようにした監視盤、操作スイッチあるいは選択スイッチと機器を対応させた操作盤からなり、外に機器の動きが直視できる ITV、日報・月報を作成するタイプライタ、文字やグラフを描き出せる CRT ディスプレー装置等で構成されている。また、故障時にはベルあるいはブザーを鳴らして警報し、操作員に知らせているシステムが多い。

これらの中央監視装置は、プロセスの理解を助けるのに十分な役割をはたしているが、また次のような問題点が指摘されている。

(1) 設備の規模が大形化するに従い、グラフィック化すべきプラントが複雑になり機器の数も多くなる。したがって、グラフィック監視盤は大形となって盤幅も長くなり、集中監視するには目のとどく範囲が広くなりすぎる。

(2) 操作する機器の数が多いため、操作盤上の機器選択スイッチ、操作スイッチが多くなり、誤操作に細心の注意を払う必要がある。

(3) 計算機を導入し CRT ディスプレー装置、タイプライタ等が利用されるケースが多くなってきているが、計算機の利用は、プラントの運転、監視、操作程度にとどまり、プラント全体の操作員を含めた保守管理、運用にまで利用されているとはいえない。

(4) プラントに故障が発生したとき、操作員が点検あるいは休憩のため中央監視室に不在の時でも故障発生を知らせるため、ベル又はブザーを必要場所に取りつけているが、ベル、ブザーではどのような故障が発生したのか監視室までもどってこないと分からない。

(5) 中央監視室のスペースが広く必要となる。

(6) 自動化、省力化の本来の目的は人間に、人間らしい使命を回

復するものであるはずだが、自動化、省力化を求めるあまり、操作員に機械への帰属を強制する結果となっている。

2.2 デザインアプローチ

これらの問題点の解決のため中央監視室はどうあるべきか、真剣に検討すべき時機にきている。縮小形監視操作盤の開発にあたっては監視操作盤はただひとつの人間-機械界面を形づくる「場」であり、デザインアプローチによって、人間が機械系からいかなる強制も受けない環境をつくりださねばならないという考え方から、構造面、機能面の双方からデザインアプローチを行った。

2.2.1 構造面デザインアプローチ

構造面では人間工学面からの寸法決定、機能の分割、整理、材料の選定に重点をおいた。

(1) 構造寸法

(a) この監視操作盤は、一人の操作員による座位監視、立位操作を中心とすること。特に人間工学的寸法を監視操作盤の形状に反映させること。

(b) 監視操作盤を表示機能と操作機能とに機能区分する。

表示器具は鉛直面から3度後傾した監視面に配置する。操作器具は水平面から12度後あがりの操作面に配置する。監視面は立位の操作員の視線に直交させる。

(c) 監視操作盤を監視警報、電気系操作、プラント操作という機能別に整然と分割する。このことで監視操作盤の機能別ユニット化を可能にする。

(d) 機能区分したユニットに実装する監視操作盤の有効幅を750mmとする。機能が増加又は減少しても、機能別ユニットを増減するだけでよく、監視操作盤としてまとまった形態を維持できる。

(e) 監視操作盤が横方向に列盤を作る場合にも、操作員の注意を監視操作盤の全面に均等にゆきわたらせることができ、人間工学的にも好ましい寸法とする。操作員の心理面には機械による強制の度合いが少なくなる。

(2) FRP 材(強化プラスチック)の採用

(a) これまでの板金構造では得られない、有機的な形態が得られ、心理面への強制を少なくし、かつ、新しいイメージをつくりだせる。

(b) きょう体を並べることにより、全体として円弧状が強調される。

(c) 同一形状のきょう体を横方向に連続して並べて利用することができ、機能の変化には監視パネル、操作パネルの変化だけで対応できる。

FRP 材の詳細については 4.1 節を参照せう。

2.2.2 機能面デザインアプローチ

機能面では、常時監視操作と選択監視操作の併用、CRT 及びキャラクタディスプレイ装置の活用、故障音声自動装置等、自動化機器の採用に重点をおいた。

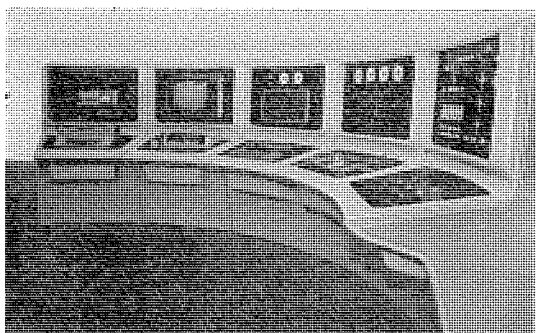


図 1. 縮小形監視操作盤

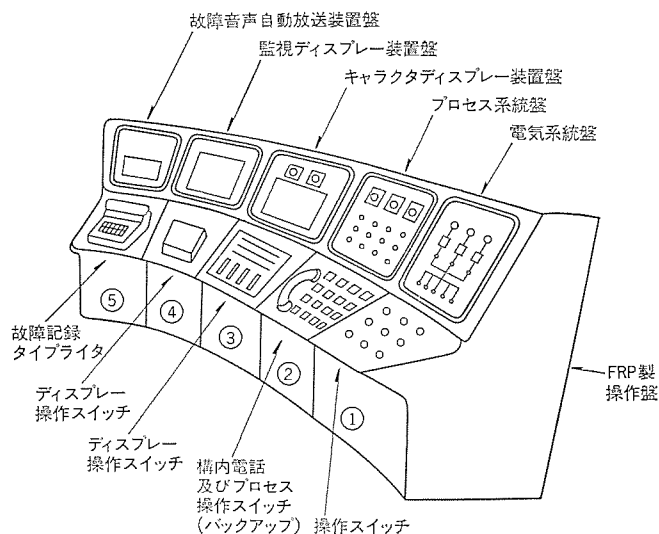


図 2. 縮小形監視操作盤の詳細

(1) CRT ディスプレー 装置の活用

(a) 電気系統の主要シャ断の表示及び操作、プロセス機器の中で常時監視を必要とする重要機器の表示計測は専用盤で行う。それ以外の機器の表示計測は操作時、故障時等任意にグラフィック化して CRT ディスプレー 装置に表示させ大形なグラフィック 監視盤を省略する。また機器の操作はキャラクタディスプレイ 装置に表示される操作要領に従って操作を行えるようにする。このように専用盤と CRT 及びキャラクタディスプレイ 装置の組合せにより、緊急時の処置に必要な常時監視機能、計算機故障時のバックアップ機能を残しながら、その時々に必要な情報を詳細に少ないスペースで得ることができる。

(b) キャラクタディスプレイ 装置には故障時の処置、復旧方法、プラントの保守要領、プラントの運転指針その他必要な事項をすべて、内容又は索引を表示させ、キメ細かい運用を行わせる。

(2) 自動化装置の活用

故障発生時には、故障記録 タイプライタに印字するとともに故障音声自動放送装置にて、宿舎、控室、屋外等に“〇〇故障”と音声で操作員に報知する。

2. 3 縮小形監視操作盤

前述のように、デザインアプローチを行った結果をまとめて開発した縮小形監視操作盤を図 1. に示す。その各機能を示したものが図 2. であり、同図について説明する。

2. 3. 1 電気系統盤

特高・高圧・低圧主幹等の重要な電気系のスケルトンを模擬母線で表し、シャ断器・接触器等の開閉状態を盤の監視面に表示する。操作

面にはこれら電気系の機器を開閉操作するスイッチを設ける。電圧・電流等の計測値、故障表示はこの盤では行わず、キャラクタディスプレイ装置盤に任意に表示するとともに計測値は定時毎日報 タイプライタに印字し、故障内容は発生時故障記録 タイプライタに印字し、故障内容は発生時故障記録 タイプライタに印字する。

2. 3. 2 プロセス系統盤

プラントの重要機器をフローシートの小さく描き、機器の運転状況を盤の監視面に表示する。またプロセス上重要な計測値は常時指示計で表示する。プロセス機器の操作は通常はキャラクタディスプレイ 装置盤で行うが、この盤の操作面には必要最小限のバックアップ用操作スイッチを設ける。また各機器の自動・手動表示灯、構内電話を設ける。

2. 3. 3 キャラクタ ディスプレー 装置盤

計測値、運転状態等を文字と数字で表示する。また各機器の開閉操作、開閉停操作は最初に TAG No. (設備 グループ名) を選択すれば、そのグループの操作すべき機器名はすべて表示される。しかる後に、各機器の対応した No. を押せば、その機器のみ選択され、同時に現在の状態も表示されるとともに操作 (開、閉) に対応する No. も表示されるので、表示された No. を押すことにより機器を操作することができる。開閉停操作のように任意の位置に操作したい機器については、数字で状態が表示されていくが、動きを視覚に訴えたい要求があるので指示計もとつける。

保守要領、運転指針等、プラント 運用上必要な事項はすべてその内容又は、それらの収納場所の詳細 (例えば〇〇たな (棚) の××要領の△△ページ 参照など) を表示させ、プラント 運用管理上、操作員のガイドとして役立たせる。

2. 3. 4 監視ディスプレイ装置盤

この盤の監視面には、プラントのフローシート、スケルトン等の詳細を表示

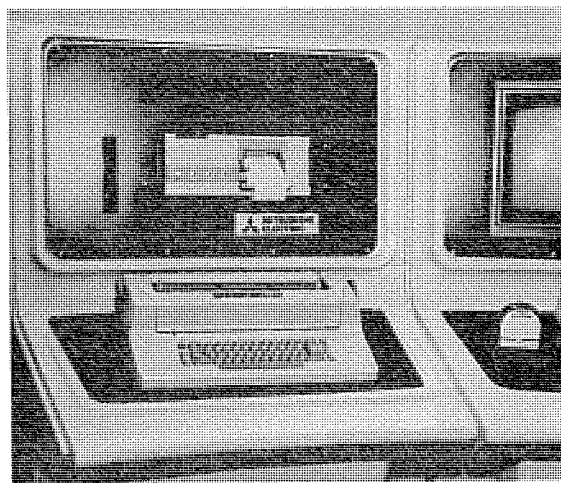


図 3. 故障音声自動放送装置盤

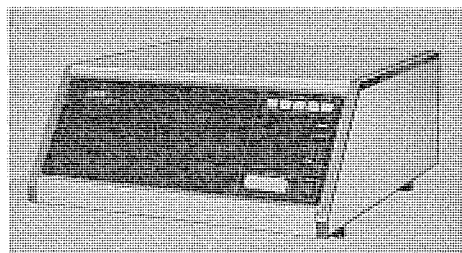


図 4. 故障音声自動放送装置本体

する。この装置を利用すると従来のグラフィック盤に表示していた模擬図などが表示でき、かつプラントの状態表示も同時に映しだすことができる。

2. 3. 5 故障音声自動放送装置盤

プラントに故障が発生すると、従来は、ベル、ブザーを鳴らして警報し、監視盤に機名と内容を表示していた。この装置は故障が発生すると“〇〇1号過電流”といった音声で連絡すべき必要箇所に繰り返しアナウンスする。同時に故障内容は故障記録タイプライタに印字するとともに監視ディスプレイ装置盤、キャラクタディスプレイ装置盤にも表示し、故障箇所を明確にする。

3. 最近の中央監視盤

3. 1 中央監視室の傾向

2章ではグラフィック監視盤を使用しない縮小形監視操作盤を紹介したが、現在はまだプラントを象形化したグラフィック監視盤が主流であり、むしろ大形化する傾向にある。

最近中央監視盤は、中央監視室全体のインテリアとして形状・色彩がデザインされる傾向にあり、従来のJEM標準色(7.5 BG 6/1.5)の監視盤が建築設備としてデザインされた室に適当に設置されることは少なくなり、監視室に合わせて監視盤の形状・色彩・配置をデザインするか、より一歩進めて電機メカが監視盤を含めて監視室全体の採光・形状・色彩・配置・換気的设计を一括して行う傾向にある。

中央監視室の具備条件は次のとおりである。

- (1) 全プラントの運転、監視、指令、その他管理業務を行うのに便利かつ効率的であること。
- (2) 中央監視室がプラントの機能を象徴したものであって、操作員、見学者に対して高度な満足感を与えること。
- (3) 操作員が監視盤の使用状態で無理なく操作監視を行えること。
- (4) 操作員と監視盤の相互干渉と視野の妨害を生じない設計であること。
- (5) 操作員が監視盤及び室内環境から物理的・心理的圧迫感を受けることなく、逆に快適な作業性と居住性が保障された場であること。
- (6) 監視盤と監視室内デザインとが調和し、個性的かつ格調高いものであること。

人間工学面から特に居住性が重要視される。軽快でソフトな感覚が要求され、使用器具の小形化、シンプル化と相まって、過去の盤から新しい感覚の盤へと移行している。

最近の傾向を整理し、将来の動向も考慮に入れ多様化する客先の要望に対して、安定した品質を短期間で製作できるようにした標準化シリーズを紹介する。

3. 2 グラフィック監視盤

グラフィック監視盤は大形化とともに直線からアーチ形へ、盤自立形から壁埋込形へと移行している。

デザインも単純化、代表化の傾向にあり、落ち着いた色調が好まれる傾向にある。監視面は特に反射のないことが要求され、変更の容易なモザイク方式が多く採用されている。またLED(発光ダイオード)等の新しい光源も採用される傾向にある。

3. 2. 1 自立形グラフィック監視盤

自立形グラフィック監視盤の側面図を図5に示す。構造を前パネル、前フレーム、天井フレーム、後フレーム、後パネルに分割した。

標準寸法は幅方向については800mmから1,300mmまで100mm

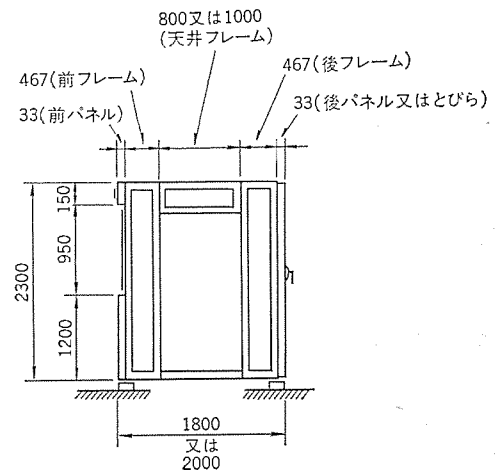


図 5. 自立形グラフィック監視盤側面図

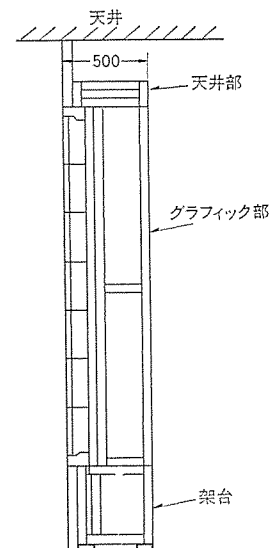


図 6. 壁埋込グラフィック監視盤断面図

間隔(6種)とした。奥行方向は1,800mm, 2,000mm(2種)とした。前パネル部分のみをプラントごとにデザインするものとし、それ以外の部分は標準構造物の組合せで製作できる。

グラフィックの方式は、プラスチック張付方式、プラスチック裏貼り方式、シルクスクリーン印刷方式、モザイク方式など各種あるが、すべてのグラフィック方式について、グラフィック部分をパネル部分と分割する方式とした。

グラフィック分割方式の特長は次のとおり

- (1) グラフィック部分を分割し、しかもパネルの色と別色にできるためデザイン面でグラフィック部分を浮き出させるよう効果的な配色が可能である。
- (2) グラフィック部分の仕様決定の遅れが、盤の納期に影響する度合いを少なくできる。
- (3) グラフィック部分が大幅に変更になった場合にも、グラフィック部分の作り変えだけで対処できる。

アーチ形配置の場合には、長方形のパネルの前面をアーチ形に配置し、後面部分に三角形のフレームをそう(挿)入する。

3. 2. 2 壁埋込形グラフィック監視盤

壁埋込形グラフィック監視盤の断面図を図6に示す。構造を架台、グラフィック部分、天井部に分割している。

標準寸法は幅方向900, 1,200, 1,500mm(3種)とし奥行方向500

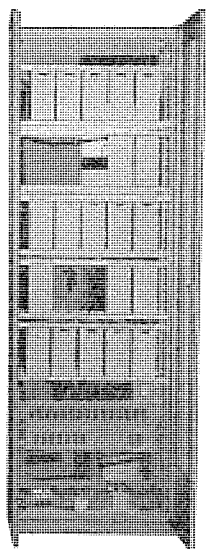


図 7. 補助盤内部

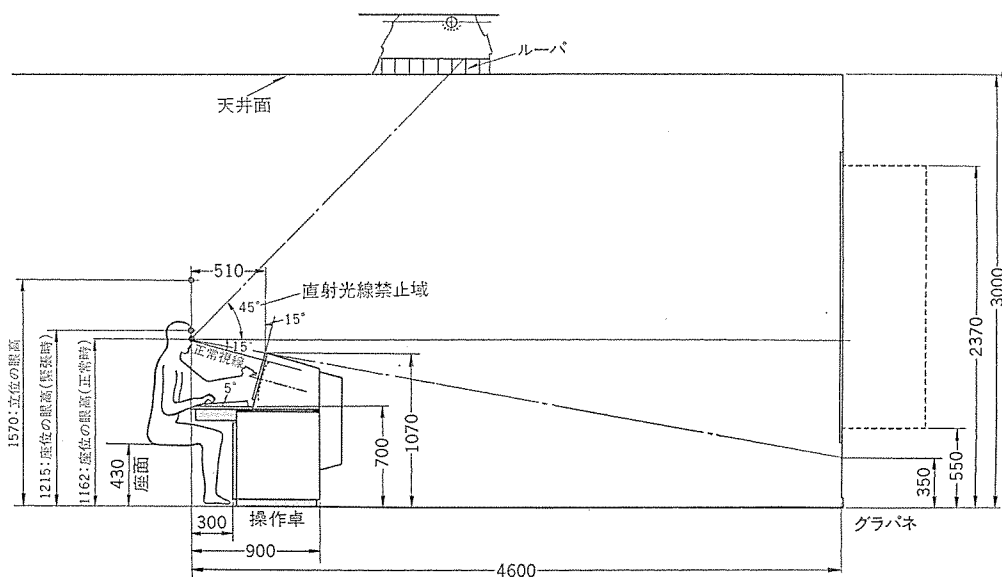


図 8. 操作員の視野と監視盤の関係図

mm とした。

3. 2. 3 補助盤

自立形グラフィック監視盤の場合にはリレーユニット(3.4節参照)は後フレーム内に収納できるが、壁埋込形の場合にはリレーユニットを収納する補助盤を別途設ける。

外形寸法は高さ 2,300+50 mm×幅 800 mm×奥行 550 mm とし

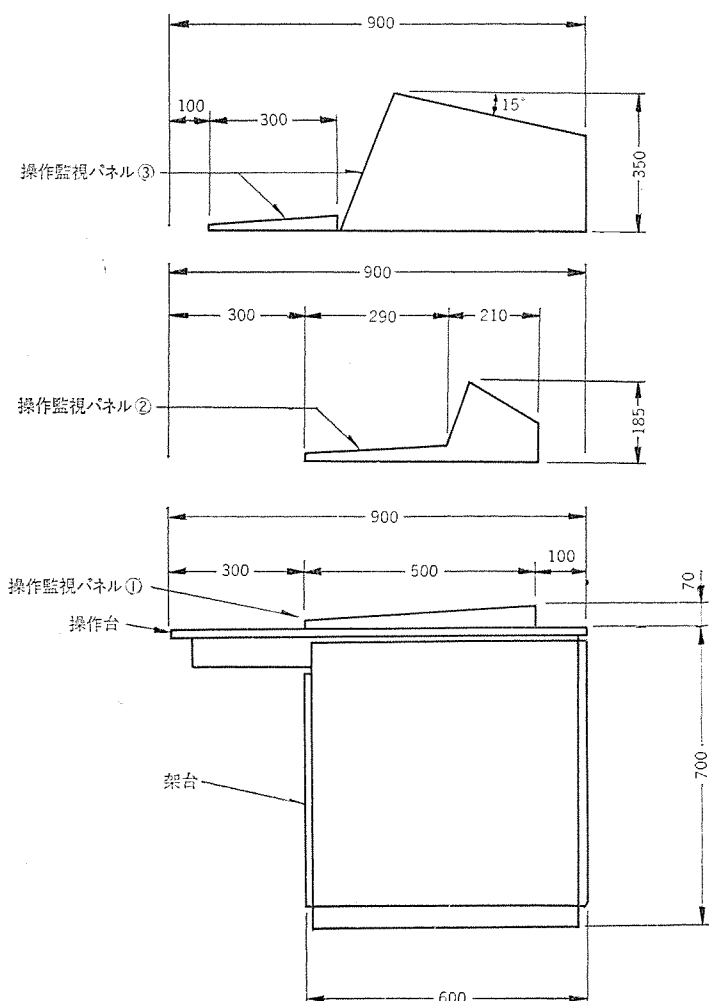


図 9. 操作卓側面図

前後面とびら付きとなる。図 7. は補助盤の内部を示す。補助盤 1 面にリレーユニット最大 25 個を収納可能である。

3. 3 操作卓

3. 3. 1 デザインアプローチ

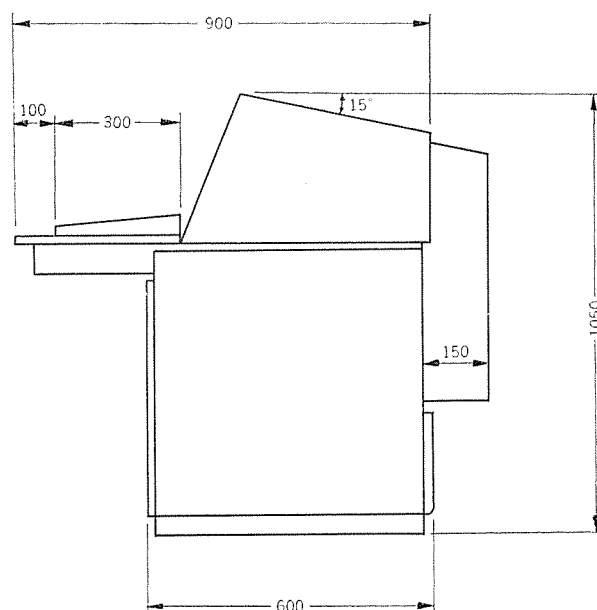
操作卓は立位操作を基本とした従来の 3.2t 鋼板製は操作員に対する圧迫感が強い採用されず、最近では軽快でソフトな感覚が要求されるので、薄鋼板、木製、デコラ、FRP (強化プラスチック材) などを有機的に組合せて使用している。

操作卓の寸法を決定するにあたっては、2 章で述べた縮小形監視操作盤で検討したことと同様に、特に人間工学面からデザインアプローチを行い決定した。

操作卓は最近の傾向から座位監視、座位操作を行うことを基本寸法とした。図 8. は操作員を基準とした操作卓とグラフィック監視盤の配置寸法関係を表す。

3. 3. 2 標準化シリーズ

図 9. は操作卓標準化シリーズの一例を示す。幅方向は 1,000 mm と



し、架台、操作台（水平部）、操作監視パネルの3分割としている。架台は1種類とし、操作台は鋼板製形状2種、デコラ1種の計3種、操作監視パネルは代表的なもの4種とし、構成品の形状、材質、色彩の組合せにより、監視室との融和、プラントの個性、客先の要望にこたえている。

操作監視パネルを分割できる構造とし、前項のグラフィックの分割方式で述べたように製作期間の短縮化システム仕様変更に応じやすい構成としている。

操作卓の操作スイッチは、盤の縮小化、操作量の増大化から、過去のねん（捻）回形スイッチは姿を消し、誤操作防止の意味からも、小角形押しボタンを使用した2挙動操作（選択、制御操作）が採用されている。

3.4 中央監視盤制御リレーユニット

中央監視盤に表示される情報は増大する一方であり、表示の方法も、点灯、フリッカ、色別（赤、緑、白その組合せ）、など多様である。グラフィック監視盤は計算機によるCRTディスプレイ装置のバックアップであるという考えから、プラントで最も信頼性の高いDC 100 V電源をそのまま使用するために、中央監視盤の制御回路はミニチュアリレーを使用してユニット化した。

3.4.1 ANNRB形リレーユニットの特長

グラフィックパネル表示用の故障表示回路、運転及び状態表示回路各種、ランプ用抵抗箱など表示回路のほか、操作卓からの2挙動制御（選択、制御回路）用の2重選択防止回路など中央監視盤に必要な回路をすべてユニット化しており、接続をすべてコネクタ接続としているため下記の特長を有している。

- (1) 各ユニットはすべて同一形状をし、10心専用コードのコネクタ接続だけで結線が完了するため、製作期間の短縮化が可能となり、現地での増設、保守管理が容易。
- (2) 個別回路各種（10回路1組）と共通回路（分岐箱等）の組合せだけで客先の各種要求に応じられる。
- (3) ミニチュアリレーを使用し、DC 100 V駆動を可能としているため、信頼性、耐サージ性、耐ノイズ性に優れている。
- (4) 保守管理に半導体の知識不要。
- (5) CRTディスプレイ装置のバックアップ用として最適。
- (6) 外部装置（計算機、日報作成装置、遠方監視装置）への信号用として無電圧1a接点を用意している。
- (7) 防じん（塵）形採用のため耐環境性に優れている。

図10. はユニットの外形を示す。

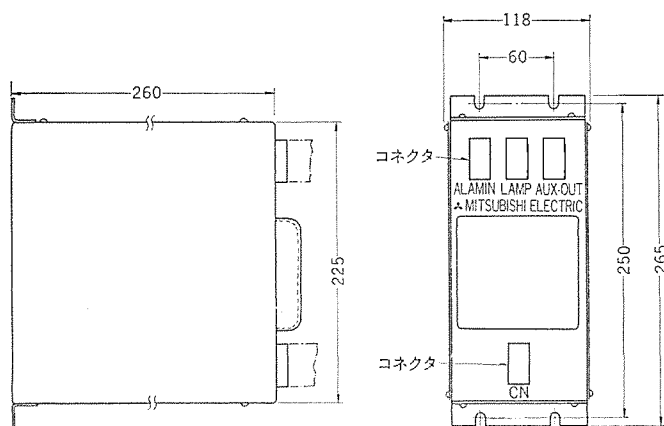


図 10. ANNRB 形 リレーユニット 外形図

表 1. リレーユニットの仕様

項 目	仕 様
定 格 電 圧	DC 100 V, DC 48 V, DC 24 V
接 点 容 量	1 A 連続通電 3 A 瞬時通電 DC 100 V 0.3 A (抵抗負荷) DC 100 V 0.1 A (誘導負荷)
耐 電 圧	外部接続端子 - 金属枠間 AC 2,000 V 1 分間
耐 衝 撃 電 圧	4,500 V (1×40 μs)
耐 振 動	複振幅 4 mm (2 g) 16.5 Hz において
耐 衝 撃	20 g 以上
リレー寿命	機械的 5,000 万回 電氣的 50 万回 (最大負荷にて)
周 囲 温 度	-10~+50°C
外 部 接 続 電 線	0.5 mm ²

表 2. リレーユニットの種類

形 名	収納回路数	備 考
ANNRB-KL	10	故障表示 (故障復帰なし)
ANNRB-KLR	10	故障表示 (故障復帰付き)
ANNRB-KU	10	運転表示 (警報停止時フリッカ停止)
ANNRB-KUN	10	運転表示 (故障復帰時フリッカ停止)
ANNRB-KM	10	状態表示
ANNRB-KS	10	2重選択防止
ANNRB-LT	30	ランプテスト
ANNRB-DI	30	ストップ
R-BOX-10	10	ランプ用抵抗
ANNRB-B19		分岐箱
ANNRB-AL	共 通	故障表示、運転表示用
ANNRB-SC	〃	2重選択防止用
ANNRB-FL	〃	フリッカリレー

3.4.2 ANNRB 形ユニットの仕様と種類

ANNRB 形ユニットの仕様は表 1. のとおり。

ANNRB 形ユニットの代表的な種類は表 2. のとおり。

3.5 盤の板厚、電線サイズ

中央監視盤は、プラントの中核であり、大量の情報の監視、制御を行う必要から、必然的に器具の小形化、電子機器の採用、それに伴う配線の細線化が進められている。また前述のように重量感、圧迫感のある 3.2t 鋼板から、薄鋼板の採用へと変化している。電線は 0.5 mm² 以下、板厚は 1.6 mm 以下が常識となってきた。

3.6 盤外ケーブル

現在プラント全体のケーブルの多心化、細線化が進められているが、中央監視室に設置されるグラフィックパネル、補助盤、操作卓などは特に相互に関連が深く配線量も多いため、それら相互の盤外ケーブルを多心化し、コネクタ接続とし、工場の中央監視盤の組合せ試験時点でケーブルを作成しておけば、工場でケーブルも含めて十分に試験ができ、現地での据付、配線、試験期間を大幅に短縮可能となる。以上の発

想から現在中央監視盤室内の盤外ケーブルは 0.75 mm²、30 心ケーブルのコネクタ接続を行っている。

4. FRP 製現場盤

下水処理場の現場盤は、下水処理場の硫化水素 (H₂S)、アンモニア (NH₃)、全炭化水素 (CH₄) などの発生ガスのために鋼板製では腐食が激しく長期の使用に耐えない場合が多い。ステンレス材の使用は高価となるので、一般には鋼板製に耐食性塗装を塗付しているが、使用環境によっては必ずしも万全でなく、安価な耐食性現場盤の出現が望まれていた。この要望にこたえるために開発したのが FRP 製現場盤である。

4.1 FRP 製現場盤の特長

FRP とは、Fiber Reinforced Plastics の略称で一般に繊維強化プラスチックと呼ばれる。この製品はプラスチックとしてポリエステルを、繊維としてガラス繊維をプラスチックとともに積層硬化させて完成したものであり、その特性を生かした FRP 製現場盤は、下記の特長を有している。

(1) 軽くて強い

補強材としてガラス繊維を使用しているため高い強度が得られる。

表 3. は FRP 材の性能を表す。

表 3. FRP の性能

試験項目 試験の状態	曲げ強さ kg/mm ²	曲げ弾性率 kg/mm ²	引張り強さ kg/mm ²	圧縮強さ kg/mm ²
標準	13 以上	600 以上	6 以上	11 以上
湿潤	11 以上	540 以上		10 以上

(2) 金属に比較し耐食性に優れている。

新しい樹脂の開発とともに、耐食性能は飛躍的な信頼性を増しており、FRP 材はすでにエアレーション周辺の防臭壁として多くの実績がある。この材質の劣化は、直接外気に接する表面層から始まることから、表面層の保護と美観をかねたゲルコート工法を採用することにより、ポートのような厳しい条件下においてもほとんど悪影響はうけず使用に耐えている。

(3) 電気的諸性能が優れている

- (a) 絶縁材料である。(難燃性)
- (b) 熱電導率が小さい。
- (c) 耐水性能が優れている。

(4) 成型工法の特長を生かした

- (a) ゲルコート工法のため表面状態がよい。
- (b) 複雑な形状でも成型が可能。

(5) 近代的設備によくマッチした漸新なデザイン

樹脂成型の特長を生かし、曲線形状でデザインしており、従来の鋼板製操作盤に比較し、ソフトなふんい気で仕上げているので、近代的な設備、建物によく調和する。

また、顔料を混入することにより任意の着色が可能である。

(6) 保守性が優れている

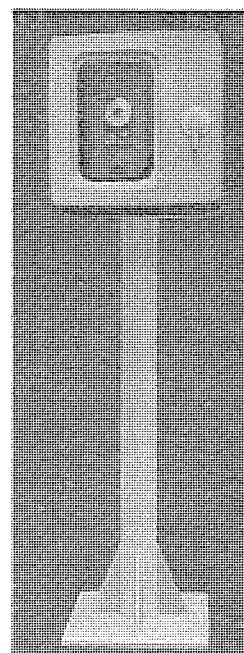


図 11. FRP 製現場盤

(a) 屋外設置に対しても、内部点検を重視した設計である。

(b) 成型の特長を生かし防水構造に余裕がある。

(c) ゲルコート面の保守ができる。

軽くペーパーをあてるだけで使用前の色、光沢が再現できる。

4.2 FRP 製盤の仕様

(1) 材料

樹脂 耐薬品 イソ系 不飽和 ポリエステル 樹脂

繊維 ガラスマット

(2) 内装電気品

1 系統分で最大下記品 1 式取付可能

メータ	LS-8 形	1 個
表示灯	LS 形	2 個
押しボタンスイッチ (ランプ付き)	OA 形	2 個

(3) 外形寸法

箱部分 高さ	450 mm	
奥行	400 mm	
幅	450 mm (1, 2 系統)	} 2 種
	650 mm (3, 4 系統)	
全体高さ	1,600 mm	

図 11. は 2 系統の外観を示す。

5. む す び

水処理設備のうち、中央監視室設備を主体として、人間とプラント間の情報伝達機能を持つ監視盤、操作卓、現場監視盤について、人間工学面から新しい感覚でデザインアプローチした新製品及び標準化シリーズを紹介した。

今後とも顧客各位のご要望に沿った装置とすべく努力する所存である。

水処理用回転機

坪井 克剛*・岡部 繁康*・佐藤 公夫**

1. ま え が き

電気機器の信頼性が高まり、かつ高品質化が進んで、水処理プラントに限らずそのプラントにおいて本来なら土木構築物、機械設備が果たしていた機能を軽減化、あるいは肩代わりすることが可能となり、プラントの建設にあたっては、より安価に、運転にあたっては、より安全、高品質の成果を得ることが期待できるようになった。

ここに紹介する各種の三菱サイリスタモータと水中モータについても、水処理の分野に限らず電力、鉄鋼、化学などのプラントにおいて成果をおさめてきているものである。その効果は、例えば、水中モータの採用でポンプ建屋の縮小化あるいは、省略が可能となり建設費の大幅な低減ができる。また、ポンプに三菱サイリスタモータによる可変速モータを採用することにより、水運用の高効率、円滑運転が望める。送・配水系での一例をあげると、従来の大きな容量の配水池を可能なかぎり容量を小さくして建設費の軽減をはかり、可変速モータとその制御装置により全体として円滑な運転を実現する。このように電気設備への依存度は今後いっそう増大するであろうが、これに十分こたえることができる三菱水中モータと、三菱サイリスタモータについて以下に紹介する。

2. 可変速モータ

2.1 総 論

可変速モータの種類は多いが⁽¹⁾、特に水処理に適した機種として、当社ではCS形サイリスタモータ⁽²⁾、SS形サイリスタモータ⁽³⁾及び静止セルビウス(ESモータ⁽⁴⁾)を推奨している。これらのモータの特徴を表1.に示す。機種決定の大きなチェックポイントは、モータのブラシの有無、速度制御範囲のとり方の二つである。すなわち、ブラシレスを希望するときはCS形サイリスタモータ、ブラシ付きでも問題とならない場合はSS形サイリスタモータ、あるいは静止セルビウス(ESモータ)となる。後2者からどちらを選択するかは、モータの同期速度が速度制御範囲のどこに位置するかによって決定する。速度制御範囲の中心付近に同期速度を選ぶことができるとき、SS形サイリ

スタモータを採用することにより、その特徴を生かした経済的な可変速モータを得ることができる。以下、各機種ごとに紹介する。

2.2 CS形サイリスタモータ

CS形サイリスタモータにはサイリスタコンバータ及びサイリスタ他励インバータで同期電動機を駆動する、交流—直流—交流式のCS-DC形(図1.)と、サイクロコンバータで同期電動機を駆動する交流—交流式のCS-AC形(図2.)の2種がある。その動作原理は次のとおりである。

表 1. 水処理用可変速モータ

		CS 形サイリスタモータ	SS 形サイリスタモータ	静止セルビウス	ES モータ
モータの種類		同期電動機	巻線形誘導電動機		
コンバータの種類		コンバータ+他励インバータ (CS-DC)	サイクロコンバータ	整流器+他励インバータ	
	電源電圧	サイクロコンバータ (CS-AC)			
出力範囲	200 V	7.5~90 kW	—	—	22~75kW
	400 V	7.5~450 kW	—	—	22~132kW
	600 V	280~2,000 kW	—	—	—
	高 圧	数千~数万 kW	数百~数万 kW	数百~数万 kW	—
ブラシの有無		ブラシレス	スリップリング付		
標準変速範囲・ 最低速度：最高速度		1：10	(最適値 1：3~1：2)	(最適値 1：2 以下)	1：10
最高速度 (rpm)		5,000	5,000	60 Hz：3,400 50 Hz：2,850	3,350 2,800
速度精度		最高速度の ±0.5%			
回生制動		可 能			不可能
逆 転		容 易	1 次の相回転切換えにより可能		
標準過負荷耐量		125 %, 60 sec			
標準始動トルク		125 % (CS-DC) 150 % (CS-AC)	150 %		
変換装置の容量		モータの定格 kVA と同等	速度制御範囲に見合った小容量		
			全域制御のとき モータ 1 次定格 kVA の約 半分	全域制御のとき モータ 1 次定格 kVA とほ ぼ同程度	
特 長		・保守が容易 (ブラシレス) ・回路構成が複雑でない ・瞬停に強い ・本表中では効率最良 (制御範囲 1：2 にて) ・回生運転が容易	・速度制御範囲の選び方が適 切であれば、変換装置容量 は静止セルビウスの更に半 分 ・モータの単体運転が容易 ・本表中では総合効率最良 ・回生運転が容易 ・本表中、電源に対する高調 波障害が最小	・変換装置容量が小さい ・モータの単体運転が容易	

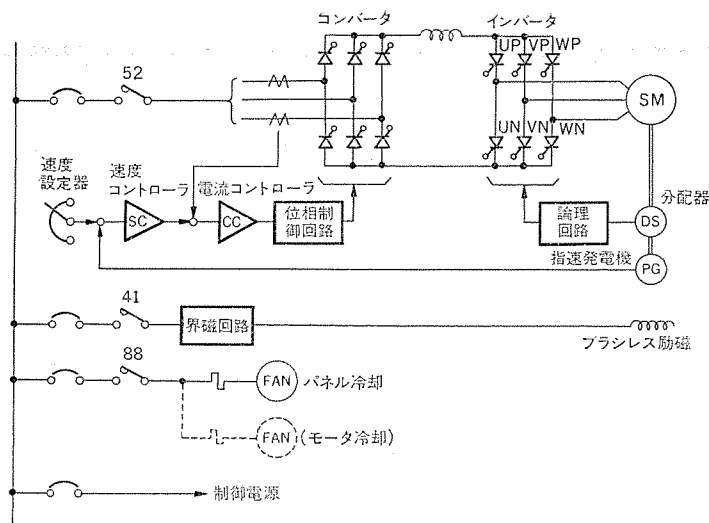


図 1. CS-DC 形サイリスタモータの回路構成

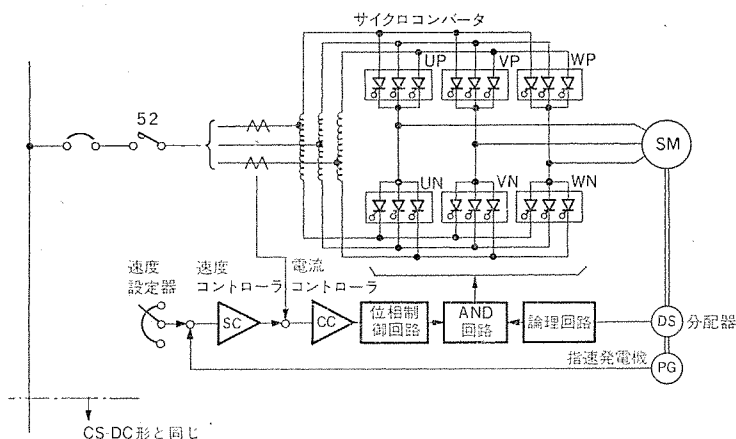


図 2. CS-AC 形サイリスタモータの回路構成

CS-DC 形サイリスタモータは、分配器と論理回路で回転子位置を検出し、この位置でトルクを発生するのに最も有効な他励インバータの点弧すべきサイリスタの組合せを選び出す。サイリスタは P 側 (UP, VP, WP), N 側 (UN, VN, WN) から同相同志を避けてそれぞれ 1 個ずつ選出されるが、この組合せは 6 モードある。選ばれたサイリスタは点弧され、コンバータの直流出力電圧を電機子に印加する。コンバータの点弧位相を位相制御回路で調整することにより、電機子巻線には任意の電圧をかけることができ、この電圧の大きさによりモータの回転速度がきまる。

CS-AC 形サイリスタモータは、サイクロコンバータのサイリスタグループ (UP, VP, WP, UN, VN, WN) の組合せを選ぶ。選ばれた二つのサイリスタグループは 3 相全波ブリッジを構成するので、電機子に印加される電圧を調整する働きをする。

CS-DS 形は低速領域 (最高速度の約 5 % 以下) では、CS-AC 形に比べ若干のトルク低下や、速度精度の低下がみられるが、水処理用可変速モータは一般的に低速での負荷は軽く、制御最低速度もそれほど低くないため、問題とならない。そのため、水処理用には、通常 1 回路構成の簡単な CS-DC 形サイリスタモータを標準にしている。ただし、数百 kW 以上でサイリスタを複数個並列使用する場合には、両者ともサイリスタ数に差がなくなることがあるので、CS-AC 形を採用することもある。

CS 形サイリスタモータでは速度制御範囲にかかわらず、常にモータの

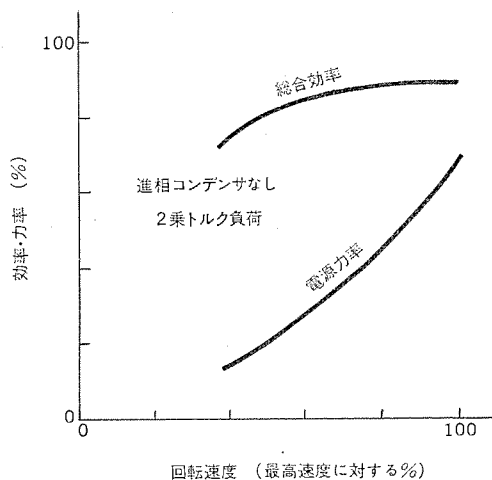


図 3. CS 形サイリスタモータの特性

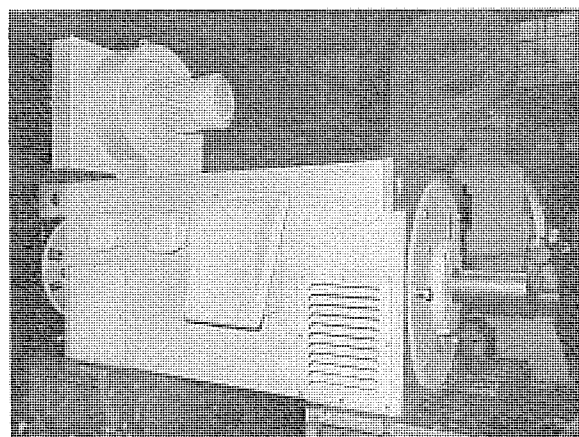


図 4. CS 形サイリスタモータ
鯖江市管理 センタ納め 132 kW 4 P
防滴保護形、他力通風形

全 kVA をカバー するだけの変換装置容量が必要である。そのかわり、特別の始動装置を必要としないため、機器構成が簡略化される。また、界磁 (回転子) や、分配器、指速発電機はすべてブラシレス方式を採用しているので完全 ブラシレスであり、保守の行き届きにくい無人ポンプ場などには最適である。

水処理の用途では、再生制動機能はそれほど必要とされないことが多い。CS 形サイリスタモータは、再生制動機能を付加しなければ、コンバータやサイクロコンバータの逆変換運転はなく、本質的に瞬停に対して、何ら影響を受けることがないので、瞬停多発地域の可変速モータとして適している。

図 3. は、ポンプのような 2 乗トルク負荷を CS 形サイリスタモータで駆動した場合の電源力率と総合効率のカーブを示している。図 4. に代表的な製品の外観を示す。

当社の CS 形サイリスタモータは、その高い性能を買われ、多方面で使用されており、長い歴史と豊富な実績を誇っている。これらを背景に、水処理用可変速電動機としても、三菱 CS 形サイリスタモータが、ますます多用されていくものと予想される。

2.3 SS 形サイリスタモータ

SS 形サイリスタモータは、巻線形誘導電動機の 2 次巻線をサイクロコンバータで励磁する可変速モータで、モータ 2 次のすべり電圧がサイリスタ変換装置の電圧とつり合うような速度で運転される (図 5.)。このモータは変換装置の電力変換方向が両方向に可能であるという特長によ

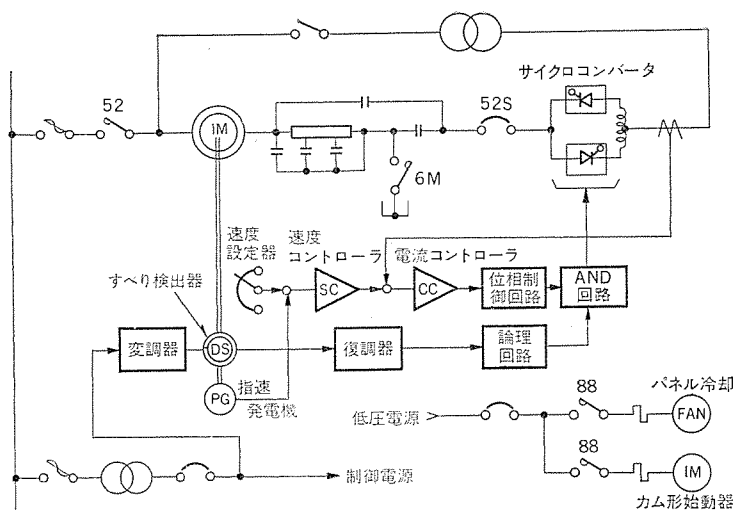


図 5. SS 形サイリスタモータの回路構成

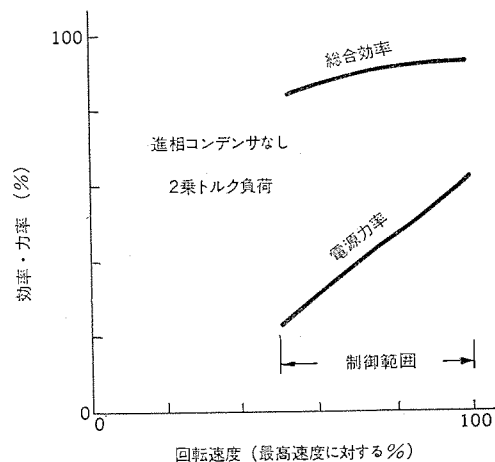


図 8. SS 形サイリスタモータの特性

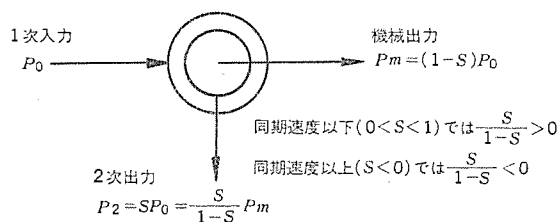


図 6. 誘導電動機のエネルギーの流れ

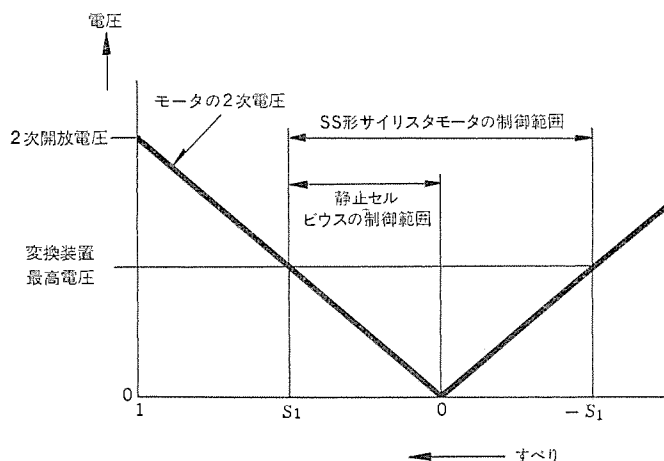


図 7. 速度制御範囲と最大電圧の関係

り、モータ 2 次余剰電力を電源に返還するだけでなく、モータの 2 次側へ電力を送り込むことも可能である。これは図 6. の誘導電動機のエネルギーの流れを示す図において、 P_2 が負の値をもとらうことを意味する。SS 形サイリスタモータでは P_2 が負の値をとるゆえ、同期速度以上での電動運転、同期速度以下での回生運転も可能となり、運転可能範囲が広がっている。

2 次変換装置の容量は、その最大電流と最大電圧の積に比例する。モータの 2 次開放電圧 (すべり=1 のときの 2 次電圧) が決まれば、2 次変換装置の最大電流は、同期速度で出し得るモータの最大出力にほぼ比例して決定される。2 次変換装置の最大電圧は、速度制御範囲内の最大すべり電圧に比例する。図 7. に示すように、SS 形サイリスタモータでは同期速度以上も制御の対象となるので静止セルビウスで、すべり S_1 からほぼ 0 まで制御するのに要するのと同一容量の

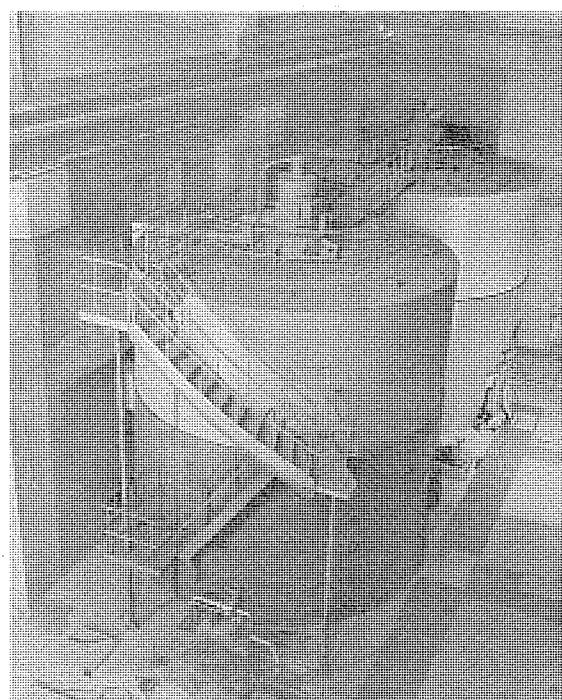


図 9. SS 形サイリスタモータ

大阪府水道部納め 1,500 kW 8P 全閉内冷形、自己通風形変換装置を使って、すべり S_1 から $-S_1$ までの制御ができる。同一出力 (最大速度における)、同一速度制御範囲の装置であれば、SS 形サイリスタモータは静止セルビウスの半分の変換装置容量で賄うことができる。したがって、2 次変換損失も軽減され、無効電力や高調波の発生量も少なくなる。

SS 形サイリスタモータは、2 次側にサイクロコンバータを使用し、モータ側へ電力を流す運転もする関係上、2 次誘起電圧位相検出用のすべり検出器が必要である。このすべり検出器は、誘起電圧が非常に低い同期速度付近でも正確に動作する必要があり、モータと同極数の小形の巻線形誘導機を直結し、この 1 次に電源電圧波形で変調した数 kHz の電圧を加え、2 次に誘起された出力を復調することにより、2 次誘起電圧位相信号を得る方法がとられている。これは当社独自の方式であり (特許権所有)、同期速度の上下にわたり、安定した運転を行うことができる。

制御最低速度までの始動は、始動抵抗器により行う。図 9. は代

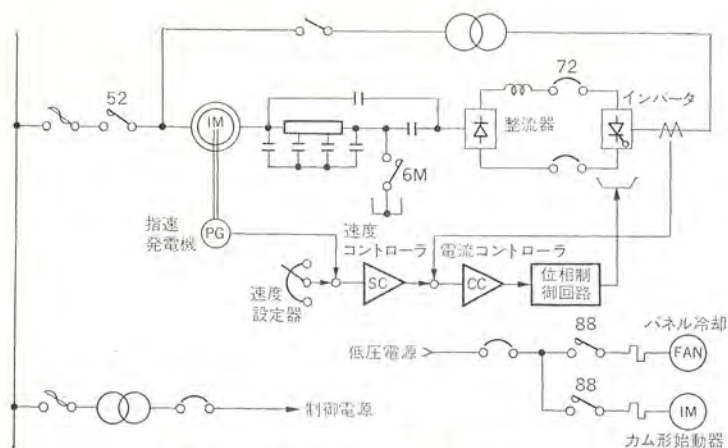


図 10. 静置セルブスの回路構成

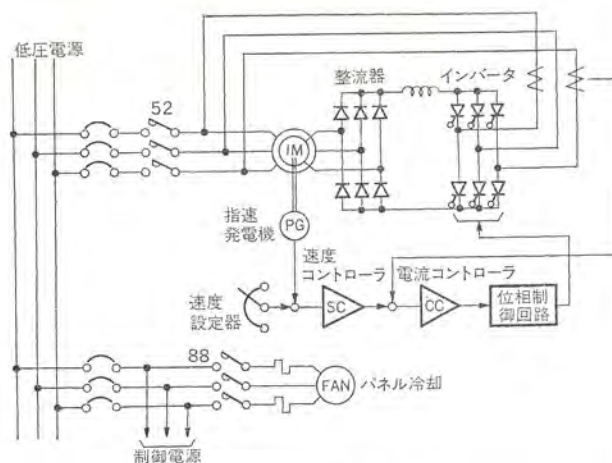


図 12. ES モータの回路構成



図 11. 静置セルブスモータ

愛知県水道局犬山導水ポンプ所納め 1,720 kW 10 P 全閉内冷形表製品の外観を示す。

2.4 静置セルブス (ES モータ)

静置セルブスは整流器と他励インバータを組合せた変換装置により、巻線形誘導電動機を2次励磁して速度制御を行うと同時に、2次余剰電力を電源に返還する方式である。(図 10.)

この方式は、速度制御範囲に応じた小さい容量の変換装置で速度制御が行えるという利点がある。また、1台の他励インバータで複数のモータを同時に制御する共通セルブス方式もとることができる。静置セルブスでは制御最低速度までの始動用に、2次短絡速度までの加速が可能な始動抵抗器を備えている。2次短絡速度は制御最高速度とほぼ一致する。図 11. は製品例である。

当社では、約 100kW までの静置セルブス装置を標準シリーズ化し、全域の速度制御を可能として始動抵抗器を省略し、しかもモータ2次電圧を最適に設計して、電圧合わせのための2次返還トランスを排した、シンプルな構成の静置セルブス装置をESモータとして製品化している(図 12.)。200 V, 400 V クラスの中容量可変速モータとして、広い用途に手軽に使用できるものである。図 13. に外観を示す。

2.5 可変速モータの特性改善

前記のすべてのモータは、サイリスタを位相制御することにより速度制

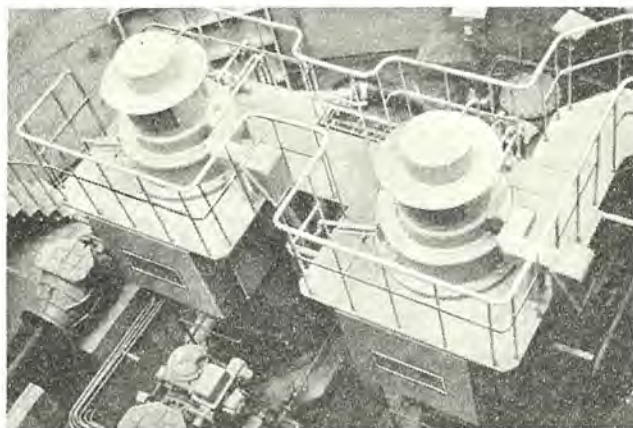


図 13. ES モータ
熊本県企業局納め 8 P 防滴保護形、自己通風形

御している関係上、運転点によっては、かなり大きな遅れ無効電力を必要とする。水処理関係ではユーザの力率改善に対する要望が大きいため、電源に力率改善コンデンサを設置することが多く、各モータごとに設置するか、まとめて1カ所に設置するかは、力率改善の程度や力率調整の要否により変わってくる。また、高調波の流入を避けるため、コンデンサには必ず6%の直列リアクトルを入れている。各モータの力率については図 3., 図 8. に示す。

SS形サイリスタモータや静置セルブスで、コンデンサをモータと並列に接続し開閉器を共用することがあるが、この場合は開閉器開放時の自動現象を避けねばならぬため、コンデンサ容量をあまり大きくできない(モータ出力の約1/3の容量が限界)。更に力率改善を要する場合は、開閉器付きのコンデンサ専用フィーダが必要である。

最近、市街地のポンプ場にサイリスタ式の変速モータを設置し、容量のそれほど大きくない電源で運転することが多くなったので、電源を共用している周辺需要家に対する高調波の影響を減ずる手段が重要となってきている。電流・電圧波形の改善の要望がある場合は、直列共振形のLCフィルタを設置して高調波を吸収している。CS形サイリスタモータに適用した場合の一例では、95%力率改善に要するコンデンサ容量を5分割し、各調波のフィルタに使用することにより、各次の高調波電流を約1/5に低減することができる。ACLを大きくすることにより、同一コンデンサ容量で更に高調波を低減することができる。ただし、この場合は無負荷時等に電圧上昇があるので、機器の定格電圧を上げるか、負荷に応じてフィルタの制御を行う必要がある。このフィルタはもちろん、力率改善コンデンサとしても働

いており、各フィードに開閉器をつけることにより力率調整も可能となる。この場合は電源との共振を避けるため、低次フィルタ投入優先のインタロックを設けている。停電に備え、サイリスタモータの電源として非常用ディーゼル発電機を設置する場合も、高調波フィルタを併設するのが望ましい。発電機の容量がそれほど大きくない場合は、そのインピーダンスはかなり大きく、サイリスタモータの転流時に大きな波形ひずみを生じ、他の負荷はもちろん、自分の運転にも支障をきたすことがある。

SS形サイリスタモータや静止セルビウスは、モータ出力に比べて変換装置容量が小さいため、高調波の発生は同一容量のCS形サイリスタモータに比べればそれほど多くはないが、返還側の高調波はCS形サイリスタモータと同じように、LCフィルタで除去することができる。一方、モータの1次側の電流高調波は、モータ回転数により次数が変化するので、LC共振回路で除去することは困難である。

水処理用可変速電動機として要求される性能の一つに、瞬停に対する安定性がある。既に述べたように、CS形サイリスタモータは瞬停に対して問題ないが、静止セルビウス装置は変換装置が常にインバータ運転されているため、瞬停による転流失敗で過電流となり、運転が継続できなくなることがあった。瞬停があっても、電源電圧の低下がそれほど急速でない場合は、瞬停を早期に発見し、インバータの点弧位相を絞り込むだけで転流失敗を防ぐことができるが、電圧の低下が急な場合は絞り込みが追いつかず、転流失敗する。主回路時定数を下げるような操作をしても、電圧低下が急な場合は100%転流失敗を防ぐことは不可能である。そこで当社では、特に瞬停に対する安定性を強く要求される用途には、静止セルビウスの2次変換装置のダイオードブリッジをサイリスタブリッジに置きかえた方式を用意している(特許出願中)。つまり、インバータ側の絞り込みと同時に、モータ側のサイリスタも絞り込み・ゲートシャ断し、もしインバータの絞り込みが効かなかった場合でも、モータ側からの電流の流入を断つ方式である。SS形サイリスタモータについても改良セルビウスと同一の瞬停保護を行うことができる。

3. 水中モータ

3.1 水中モータ適用上の利点

ポンプ駆動用の水中モータを採用した場合、次のような特長が期待できる。

(1) 騒音が小さい。

ポンプ、モータとも水中に設置される故、地上への音の伝ば(播)がない。

(2) 設置が簡単で比較的場所をとらない。

(3) 建屋が不要である。

(4) こう(汚)水にも影響されない。

(5) 日常の保守を省略できる。

軸受の潤滑等の日常の保守は、水中モータの構造からみて不要である。定期的な保守に限定されるので保守要員を減らすことが可能である。

以下、水中モータについての概要を簡単に説明し、参考に供したい。

3.2 種類と適用⁽⁵⁾⁽⁶⁾

水中モータには電動機内部に封入する流体の種類により、水封式、油封式及び乾式の3種がある。採用にあたってはそれらの構造上の相違をよく理解した上で、適切な選定を行うべきである。

水封式は、内部に水を封入したもので、水中で機能を維持できる

表 2. 三菱水中モータの種類と適用

形 式	絶縁方式	形 名	適 用 出 力	用 途
深井戸形	キャンド方式	WSB-C	0.4~15kW 2P	地下水の取水ポンプ 昇圧ポンプ
	耐水絶縁方式	WSB	18.5kW以上 2P 3.7kW以上 4P	温泉取水ポンプ 海水取水ポンプ
給水形	キャンド方式	WST-C	0.4~15kW 2P 0.4~5.5kW 4P	ビル給水ポンプ 河川水取水ポンプ
	耐水絶縁方式	WST-W	18.5kW以上 2P 7.5kW以上 4P	エアレータポンプ ブースタポンプ
河川形	耐水絶縁方式	WSE-W	7.5kW以上 4P以上	河川水取水ポンプ 上下水道送水ポンプ
	(油封式)	(WSE-L)	(三菱標準は耐水絶縁方式である。必要に応じて製作する)	下水排水ポンプ 農業かんがいポンプ
汚水汚物形	乾 式	WSP-D	三、单相 150~750W 2P・4P	一般雑排水ポンプ 汚物処理ポンプ
	乾 式	WSS-DB	三 相 1.5kW以上 2P・4P	ばっ気処理ポンプ エアレータポンプ ジェットレータポンプ
エアレータ用	耐水絶縁方式	WSA-W	2.2~22kW 酸素供給量 4~45kgO ₂ /h	食品、生活汚水、工業用ばっ気処理

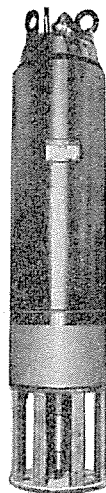


図 14. WSE形河川用水中モータ 600kW 6p 3.3kV 60Hz

絶縁方式、水潤滑で使用できる軸受等を配置したもので、外部の水が電動機内に侵入しても機能を損なうことがなく、逆に内部の水には一般の飲料に適する程度以上の清水が使用されるため、外へ漏れても影響はなく、したがってあらゆる用途に使用可能である。ただし、水潤滑であるため軸受構造よりみて、振動が比較的生じやすいポンプ用には不适当と考えられる。

油封式及び乾式は一般のモータ構造に軸シールを設けて、電動機内部に水が浸入しないようにしたもので、その寿命は軸シールの寿命に左右される。油封式は内部全体に油を封入したもので乾式は軸シール部の潤滑、冷却用に油を使用する。したがって、内部油の漏えい(洩)が問題になる用途には使用できない。

水封式は上水道用を含めほとんどの用途に、油封式及び乾式は上

水道用を抜き、比較的使用時間率の低い用途への適用を考えるべきであろう。

三菱水中モータの種類及び適用を表 2. に、外観例を図 14. に示す。

3.3 三菱水中モータの持長

3.3.1 水封式

(1) 安定した耐水絶縁

水封式はその固定子構造よりみて、キャンド式と耐水絶縁方式との 2 種類がある。キャンド式は固定子巻線をキャンドで保護したもので、耐水絶縁方式は巻線が直接封水に触れる方式である。キャンド式での固定子溶接構造は完璧であり、水中での特性は極めて安定している。

耐水絶縁方式に使用される電線は、十分な寿命試験により裏付けされた耐水特性と強固な機械特性をもち、定格電圧において $5 \times 10^4 \sim 10^5$ 時間の寿命が期待できるものである。

また、大形機種 (100 kW 以上) では、高圧級 (3 kV 及び 6 kV) のものも製作されており、既に 10 年以上無事故の実績を挙げ、その生産台数も 200 台を超えている。この高圧絶縁方式は当社独自のボイドレス方式で、世界に誇り得る絶縁技術の成果である。

(2) 高荷重に耐え、長寿命の水潤滑軸受

ポンプスラスト荷重をモータにて支えるためのスラスト軸受と、モータ軸を支えるラジアル軸受が装備されている。スラスト軸受は高荷重に耐え得る高性能を有し、最大値 8,000 kg まで実績がある。またスラスト軸受はモータの寸法上の制約によってその許容荷重が決定されるが、細長い形状の深井戸用においても 3,500 kg 程度までの実績をもっている。

(3) 安定した軸シール機構

水中モータには、外部の水に含まれている土砂、あるいは腐食成分等を内部に浸入させないために、また、電動機内部の封水の漏洩を防ぐ目的で軸貫通部に軸シールが設けられている。軸シールの故障により、モータ内外に水の流通が始まったとしても、直接すぐに機能に影響しないのが水封式の特長でもあるが、形式 (例えば、軸端下部のもの、横形) によっては、内部封水の漏洩が、すぐに始まり、封水の不足により軸受等の焼損をみる場合がある。したがって長寿命の軸シールが要求される。当社では、メカニカルシールを主体とした軸シール方式の標準を完成しており、卓越したダストシール機構と適切な材質組合せを選定しており、長寿命を誇りうるものである。

(4) 寿命の長い防せい(錆)処理

電動機本体はもちろんのこと、各部分に至るまでその防錆処理は完全であり、極めて良好な耐食性をもっている。水中における電動機回転子の高速回転によって生ずる機械的な腐食に対しても、周速との関係において限度を設けるなど設計上の配慮を行っている。

3.3.2 油封式及び乾式

油封式及び乾式は、構造的には一般地上モータ同様であるが完全な密封構造で軸貫通部に軸シールが設けられている。軸シールの故障は電動機の機能に影響を与えるため、特に配慮が必要である。当社は、適切な材質の選定と組合せ、及びダスト機構の採用により安定した性能をもっているが、負荷の影響による軸のタワミ、振れなどについても留意し、適切な軸径を決定しているので長寿命を誇り得る。

3.4 信頼性と実績

水中モータは、水中において使用されるため使用状態を直接目で確認することはできないので、より高い信頼性が要求される。信頼性の高い水中モータは、無保守運転という理想に近い状態で使用できよう。水中モータの信頼性は、特に絶縁組織の問題、水中での構造各部の問題、軸シールの問題、及び防錆の問題等の重要部分の個々の信頼性を向上させることにより総合的に高められるものである。

当社における水中モータは 15 年以上の歴史をもち、その間、数多くの製作実績をもっている。単相 250 W クラスから、大形では高圧級 600 kW に至るまで、またその種類も多い。特に大形水封式の分野では、故障も極めて少なく、10 年程度 (50,000 h 以上) 無保守で運転された実績もある。既に水中モータは一般地上モータと同様、信頼性の高い機種であることを示しているといえよう。

3.5 保守

当社水中モータは信頼性が極めて高いので、通常保守を必要としないが、直接運転状態を確かめ得ないため、定期的な (月 1 回程度) の絶縁抵抗の測定、運転中の電流の確認を行う程度の簡単な保守を希望したい。絶縁の寿命は、少なくとも 50,000 h 以上保証できるものであり、軸受関係では水封式、油封式では無保守で 20,000 h 以上の耐力をもつと考えている。軸シールは約 10,000 h 程度の寿命と一般にいわれているので、部品その他の交換を要する引揚げ点検は、軸シールの寿命をベースとして考え 2 年に 1 回程度の点検を実施するようにするのがよいと考える。軸シール部の水に異物の混入がないときは、軸シールの寿命は格段に向上するといわれる。運転開始後 2 年経過して、最初の点検を行い、その実績により次の間隔をきめてもよい。

一般には、最初の点検で異常がなければ、次の点検までの時間を伸ばすことも可能である。軸シールの摩耗が直接機能に影響を与えない形式のものでは、最初の点検までの期間を 2 年以上とすることもできよう。

水中モータの各形式とも流体を封入して、各部との流通を防止する構造をたてまえてしている。水封式の場合では、外部から清水を強制的に補給する方法がとられる場合もあるが、これは電動機内部に水あかをたい(堆)積させる結果となり、水あかの回転による運動の影響が現れることもあり、内部の水は封じきったままで使用すべきである。

以上、三菱水中モータの概略の紹介を行った。水中モータの特長を生かし、その特異性を理解されて使用されることを切望したい。今後、水処理用途に広く利用されることを期待するものである。

参考文献

- (1) 新良, 山下: 三菱電機技報, 45, No. 5, 561 (昭 46)
- (2) 山下, 永石: 三菱電機技報, 45, No. 5, 572 (昭 46)
- (3) 栗田, 片岡, 二村: 三菱電機技報, 45, No. 5, 578 (昭 46)
- (4) 栗田, 藺田, 川口: 三菱電機技報, 49, No. 6, 439 (昭 51)
- (5) 脇坂, 和田, 川口: 三菱電機技報, 48, No. 3, 344 (昭 49)
- (6) 和田, 佐藤, 中川, 田中: 三菱電機技報, 48, No. 10, 1,164 (昭 49)

水処理用受配電動力盤

岸本 正*・片山 明*・藤本侃四郎**・墨 義人***・高橋 勝***

1. ま え が き

水処理設備の社会的重要性はますます大きくなってきており、それに伴って設置場所条件などの関連からシステム、機器について高信頼度、小形縮小化、操作・保守の容易性に対する要求が強くなっている。

各設備の中でも、すべての動力の源となっている受配電設備は特に重要であり、種々改善が行われ最近の技術的進歩は目ざましいものがある。以下本文では、特に水処理設備に適用する当社最新の受配電に関する設備、すなわち SF₆ ガス絶縁変電所、特高閉鎖配電盤、MX 形メタルクラッド、G 形コントロールセンタなどについて紹介する。

2. SF₆ ガス絶縁変電所 (GIS)

SF₆ (六ふっ化硫黄) ガスの絶縁性と消弧性とを有効に利用してしゃ断器を初め、断路器・計器用変圧器・計器用変流器・避雷器・MOF などの変電機器を、接地されたタンク内に収納したガス絶縁変電所 (以下、GIS と略す) は、電力事業用変電設備から一般のビル・工場受電設備、水処理用受電盤までに数多く採用されてきた。これは、GIS の縮小化、高信頼性、保守の省力化、環境調和などの利点が、実績の増加とともに認識され、最も難点とされていた経済性の面でも、著しく改善されたためである。

水処理動力用特高受電設備として採用される GIS は、電力事業用、あるいは昭和 47 年以後に急速に設置箇所が増加した、一般工業用特高受電設備の GIS とは、本質的に何ら変るところはない。しかし、無停電運転のための格段の信頼性を必要とし、そのうえ、据付面積の縮小対策・省力化対策・腐食ガス対策などを要求されるが、GIS では容易に解決し得る問題点である。

図 1. は、水処理用受電設備として先般 GIS が採用された、名古屋市水道局猪高配水場納めの 84 kV GIS の外観であり、現在も好評のうちに運転が行われている。

84/72 kV GIS の最近の傾向として、いままでの技術を延長し、更

に縮小化を実現させたものに三相一括形 GIS があり、この概要を紹介する。

2. 1 三相一括形 GIS の特長

従来の GIS は、120 kV 以下については、しゃ断器・断路器・避雷器・計器用変圧器・変流器などの機器が、各相ごとに分けられた相分離構造を、母線は三相を共通の接地容器に収納していた。しかし、昭和 43 年以来、75 地点、423 ユニット、72 kV から 500 kV までの豊富な実績と経験とを生かして技術力の結集を図った結果、このたび、新たに 84/72 kV について各機器の三相分を共通の 1 接地タンクに収納した、いわゆる三相一括形 GIS を完成させた。この GIS の特長は、次のとおりである。

(1) 縮小化が更に進展

回路条件によって異なるが、一般的には据付面積を相分離形と比較して約 75% 程度に縮小できる。

(2) 密閉化の促進

相間にわたる配管類がなくなり、また開閉機構部分の密閉化が図られ、重化学工業地域、臨海地区、腐食性ガス等の周囲環境の悪い場所、氷結・積雪の影響のある地域など、多用途に適用できる。

(3) 環境調和

三相一括化によるガスタンクなどの減少、相間の連結部品が露出しなくなり、外観が単純化されて環境調和上非常に優れている。

(4) 保守の省力化

各部の密閉化とともに、外気条件による機能低下がなくなり、点検周期の拡大が図られ、保守・点検作業の省力化が行える。

2. 2 三相一括形 GIS の適用例

図 2. は、水処理用特高受電設備として一般的に採用されている、2 回線ケーブル受電、変圧器 2 バック、GIS-変圧器直結方式の場合である。図 1. と比較してその単純さが理解できる。図 3. は、外形寸法図である。

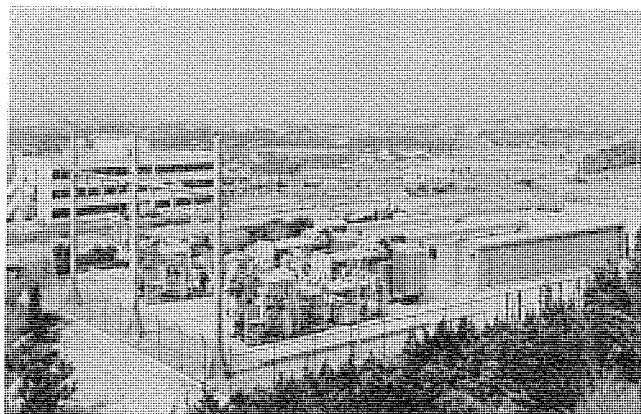


図 1. 名古屋市水道局猪高配水場納め 84 kV GIS

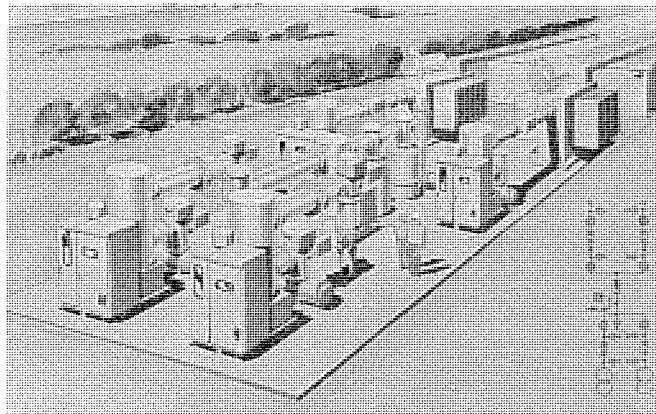


図 2. 84/72 kV 三相一括形 GIS

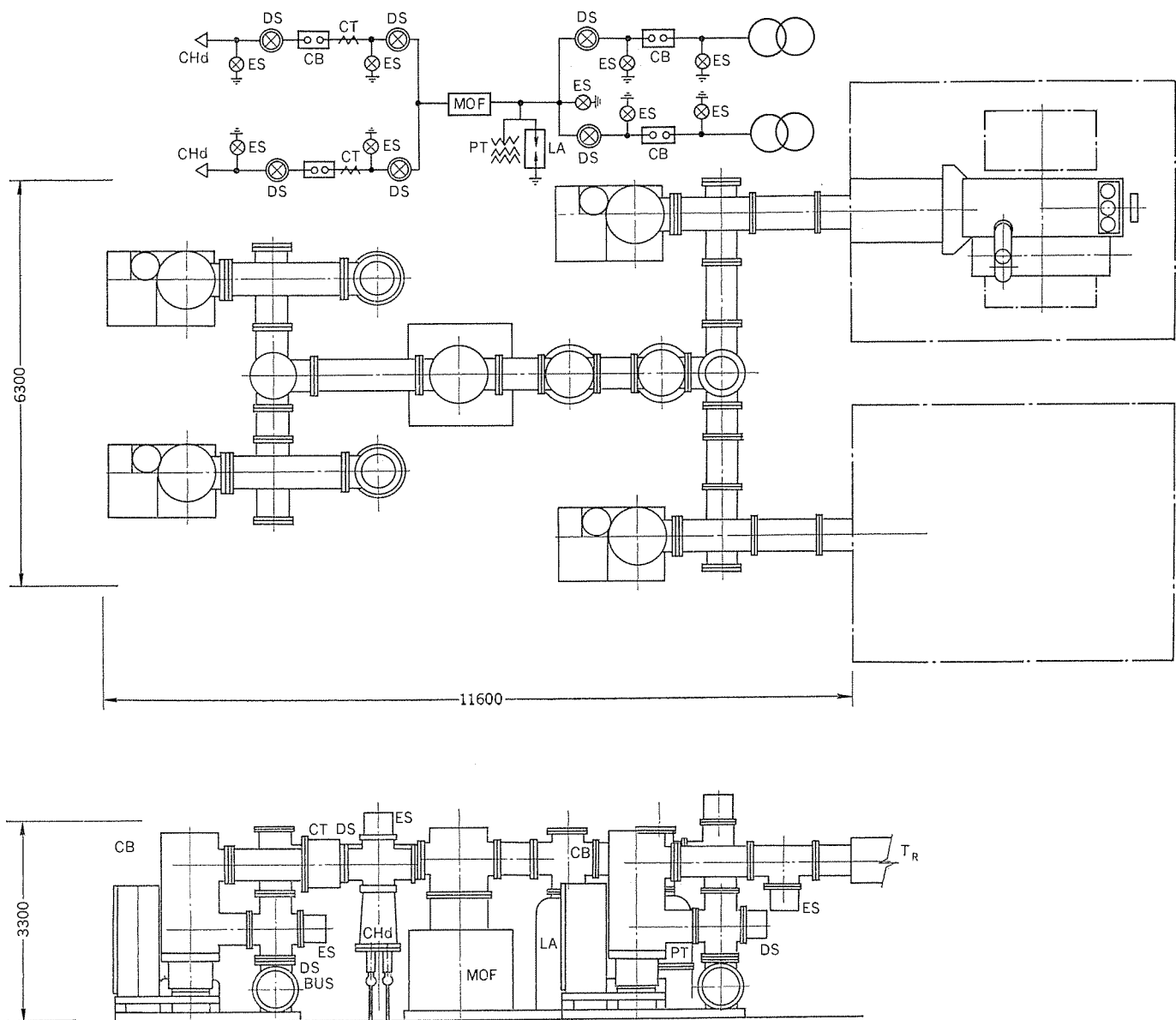


図 3. 84/72 kV 三相一括形 GIS 外形図

3. 特高閉鎖配電盤

3.1 水処理プラントにおける諸条件

一般に、公共的要素の大きい事業所などは、不測の停電や、周辺地域に対する配慮不足によってもたらされる結果が、社会問題として取り上げられる要素を多くもっているが、特に水処理プラントは、この範ちゅうに属する重要公共設備であるといえる。

このため、諸設備の中でも特に特高受変電設備に対する要請には、厳しいものがある。主な項目としては、

- (1) 異常気象状態でも運転を続行できること。
- (2) 外的要因（地震・小動物・飛来物・汚損など）を原因とする停電を極力防止する。
- (3) 万一、事故発生時には、早期検出と波及の防止とを考慮すること。
- (4) 部分停電の繰返しにより、全設備の点検が可能であること。
- (5) 運転状態のままで増設が行えること。
- (6) 設備の集中化

(7) 環境調和

などがあげられる。

これらの要請に対して満足の得られるものとしては、一般的には設備を一括して接地金属で覆った閉鎖配電盤があげられる。3章では、一般的に多く用いられている 60 kV 以上の特高閉鎖配電盤について述べる。参考として、水処理プラント向け 60 kV 以上の特高閉鎖配電盤の納入実績を表 1. に示す。

3.2 特高閉鎖配電盤の概要

現在、国内で製作されている 60 kV 以上の閉鎖配電盤や、これらに類するものは、製作メーカーにより種々の形態・特長を有しており、

- (1) JEM-1153 に準じて設計・製作された単位盤並置方式の閉鎖配電盤
- (2) 建築技術を取り入れた鉄骨構造と、銅板製パネル工法による現地組立方式で、閉鎖構造は JEM-1153 に準ずる屋外用閉鎖配電盤（図 4. 参照）
- (3) 建築用として大量に使用されている軽量発泡コンクリートパネルを外装材として使用した屋外用キュービクル

表 1. 屋外用特高閉鎖配電盤の納入実績 (60 kV 以上)

	納 入 先	電圧 (kV)	変圧器容量 (kVA)	当社出荷 年 月
1	阪神水道企業団 甲東事業所	77	1×9,000	1964-6
2	“ “ (増設)	“	1×9,000	1965-4
3	大阪市水道局 城東配水場	“	2×9,000	1968-5
4	阪神水道企業団 甲東事業所(増設)	“	—	1969-1
5	札幌市水道局 白川浄水場	66	1×2,000	1971-3
6	大分県企業局 判田浄水場	“	2×3,400	1971-10
7	横浜市下水道局 港北下水処理場	“	1×5,000	1972-3
8	神奈川県広域水道企業団 飯泉ポンプ場	“	2×17,500	1973-3
9	東京都下水道局 森ヶ崎東下水処理場	“	2×5,000	1973-3
10	福岡市下水道局 東部下処理場	“	2×3,000	1974-3
11	東京都下水道局 小菅処理場	“	1×7,500	1974-3
12	愛知県水道局 安城浄水場	77	2×5,000	1974-3
13	東京都下水道局 森ヶ崎東下水処理場(増設)	66	1×10,000	1974-8
14	札幌市水道局 白川浄水場(増設)	“	1×2,000	1974-10
15	茨城県常南流域下水道 利根浄化センター	“	1×10,000	1975-12
16	岐阜県開発企業局 落合取水場	77	2×3,000	1975-12
17	“ 中津川浄水場	“	2×1,000	1976-2

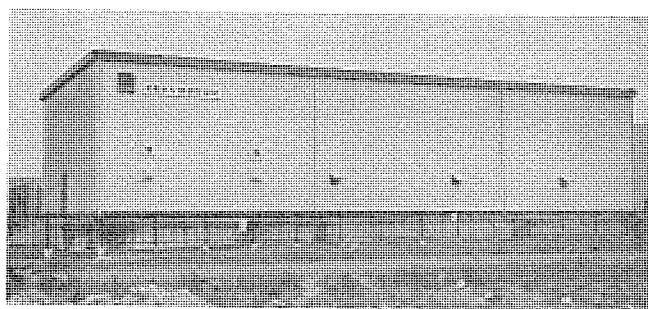


図 4. 東京都下水道局森ヶ崎下水処理場納め 60 kV 特高閉鎖配電盤

表 2. 諸項目に対する比較

比 較 項 目	銅板製閉鎖配電盤	軽量発泡コンクリート (ALC) 製キュービクル
1 異常気象状態での運転及び保守	可 能	同 左
2 地震による現象	ねじれ現象に対して有利	ALC が破損する危険性あり
3 飛来物による被害	特に問題はない	ALC が破損する危険性あり
4 汚損対策(密閉度)	準密閉構造が可能	ALC 自身が通気性があるためやや困難
5 結露防止対策	準密閉構造の場合には小形エアリング装置を設置	ALC 自身が水分を含有しているため、大形除湿装置が必要となる場合が多い
6 事故波及防止対策	回転形断路器を使用すれば可能	同 左 ただし、地絡検出はやや困難
7 部分停電による設備の点検	スケルトン上で考慮すれば可能	同 左
8 増設の難易	容 易	外被の先行投資がなければ、困難
9 断熱性	銅板のために余りよくなく、居住性は考え難い	コンクリートのため良好
10 設備の集中化	居住性が必要な場合には断熱対策が必要	居住性が必要な場合には有利
11 環境調和	ALC 製キュービクルに類似させることは可能	建屋と類似しているため異和感は少ない

などがあげられる。

このうち、現在採用されている大半は、上記(2)の形式のものと、(3)の形式のもので、いずれも全天候形式として製作されている。この二つの形式について水処理プラントとして要請される諸項目に対する得失等の比較を表 2. に示す。

これらの全天候形式のものは、内部スペースを有効に利用することにより、従来は別個に設置されていた変圧器 2 次側機器や監視制御装置などを一括収納することができるので、受変電設備の集中管理が可能となり、省力化や環境調和上に有利である。

以上、屋外用閉鎖配電盤について主に記述してきたが、屋内における受変電設備は、屋内閉鎖配電盤と比べて専有面積の小さいガス絶縁開閉装置が有利である。しかし、経済性に重点が置かれる場合には、建屋の天井や壁面を外被の一部として利用した、閉鎖配電盤に準ずるコンパクトな形式があげられる。

3.3 最近の傾向と将来

最近、特に水処理プラントにおいては、その事業場の一部を公園や遊技施設などとして一般住民に開放されている例にも見られるように、地域社会との融合が考えられ、その意味での環境調和も重要視される傾向になりつつある。

したがって、受変電設備においても、信頼性・安全性・省資源・経済性に加え、環境調和に対する配慮が必要になる。そのためには、特高側機器、主変圧器、変圧器 2 次側開閉機器、その他の受変電設備として必要な装置を総合的かつ有機的に収納配置し、また外観的には地域環境に十分にマッチする構造にした受変電所としての、一括集中化された総合設備の具体化が必要になる。

4. MX 形メタルクラッド

本章では

規 格	JEM-1153 閉鎖配電盤
定格電圧	3～10 kV
定格電流	200～3,000 A
定格しゃ断電流	8～50 kA

の規格に合致する MX 形メタルクラッドについて以下紹介する。

4.1 主な特長

MX 形メタルクラッドは、新しい時代のニーズを取り入れた新しい発想から生まれた製品であり、最近の多様化された基本仕様に対応できるように設計されており、次のような特長を有している。

(1) 箱体構造が、しゃ断器の種類に対応できる体系に設計されているので、磁気しゃ断器、真空しゃ断器、油入しゃ断器、ガスしゃ断器のいずれのしゃ断器でも自由に選ぶことができる。

(2) 閉鎖盤の形についても、E 形、F 形、G 形のいずれかを自由に選べる。E 形でも要求に応じて母線を絶縁する事ができる。

(3) 収納しゃ断器の段積構造の面でも 2 段、3 段と自由に変化させる事ができる。例えば、3 段積可能なしゃ断器を余裕を持たせて 2 段積の盤構造で製作する事ができる。

(4) 盤の構成が Flexible に行える。しゃ断器と同様、補助機器(計器用変圧器、避雷器、断路器)も単位化し、基準寸法の 1～3 段に収納できるので計画が容易に行えるとともに、寸法表により経済的な、盤面数、盤構成にすることができる。

4.2 形 名

MX 形メタルクラッドの形名は、収納しゃ断器の種類と、閉鎖盤の形のほか、顧客の指定仕様もコード化されている。(表 3.)

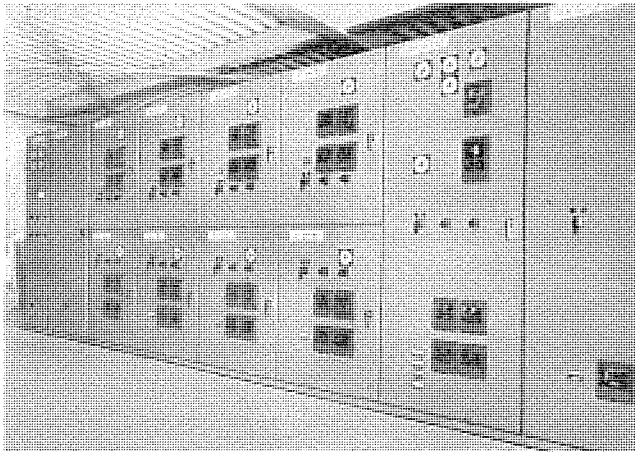


図 5. MX 形 メタルクラッド

表 3. MX 形 メタルクラッドの形名構成

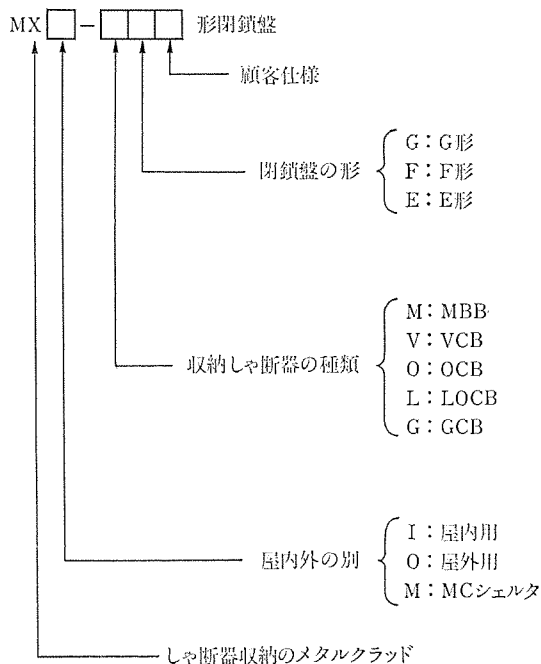


表 4. FRM 形 フレームコード (寸法) 表

寸法表の見方	幅	奥 行	CB の段積
例: FRM-772 形 フレーム	700	1,700	1
	800	2,000	2
	900	2,300	3
	1,000	2,600	
	1,200		

4. 3 盤寸法体系

盤の寸法体系は、収納しゃ断器の種類に関係なく、表 4. の FRM 形フレームのとおりに標準化して、コード化されている。

4. 4 箱 体

(1) 外箱は、3.2mm 厚さの鋼板と、アングルの組合せによる溶接構造なので、非常に強固な構造であり、輸送や、搬入、据付けの際にもゆがんだり、変形したりすることはない。

(2) 盤内にしゃ断器、引出しのための補強をしているので据付基礎床面の仕上げに左右されることなく、スムーズにしゃ断器の出し入れができる。

(3) 主回路ケーブルの端末処理スペースを十分にとったので、ケーブルの接続作業が一層容易になった。

4. 5 しゃ断器スケルトン

メタルクラッドの心臓部に相当する所で、しゃ断器の引出し機構、インタロック、シャッタ装置 (F 形以上) などをスケルトン単独で組立て、機構部の調整検査などを済ませた上、箱体に組み込む。

このスケルトン方式により、しゃ断器の種類の違いによる寸法差を吸収することができ、箱体を共用することが可能となった。また、箱内でしゃ断器と、機構部分との関連がなくなるため、安定動作性が向上した。

4. 6 高圧絶縁方式

母線及び導体の支持には、エポキシがい(碍)子や、磁器碍子を用い、絶縁母線には、エポキシの FBC (揺動浸漬法 - 自動化装置) 絶縁によ

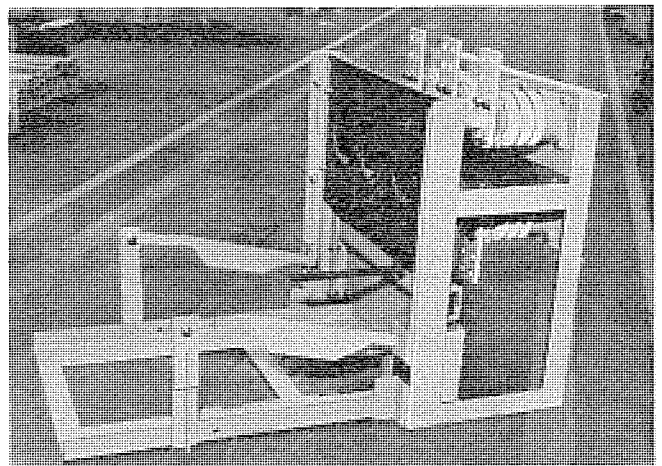


図 6. しゃ断器スケルトン

表 5. 閉鎖盤の形別による相違点

	E 形	F ₂ 形	G 形
しゃ断器	●主回路は自動連結 ●制御回路は手動連結	●主回路は自動連結 ●制御回路は手動連結	●主回路は自動連結 ●制御回路は手動連結
隔 壁	●監視制御側と主回路側との間に隔壁	●監視制御側と主回路、主母線と他の部分に隔壁 ●しゃ断器室にはシャッタ	●監視制御側と主回路、主母線と他の部分に隔壁 ●しゃ断器室にはシャッタ
絶 縁	●主回路母線は裸	●主回路母線は裸	●主回路母線は絶縁

る方式を採用しているので、信頼性がより一層向上した。

4.7 閉鎖盤の形別による相違点 (E・F・G形)

閉鎖盤の形は、E形、F形、G形の3種類で、その相違点は、表5.のとおりである。

4.8 水処理用プラントへの適用

前述のように、MX形メタルクラッドは、かずかずの特長を有しており、各方面のユーザの要求にマッチできるが、特に水処理プラントについての必要と思われる項目を述べる。

(1) とびらの開きは右開き、左開きのいずれでも、自由に選べる。また、段積みの要求に応じてとびらを2分割、3分割にすることができる。

(2) 盤後面は、カバー方式(引掛け式)でもとびらでも可能。

(3) 1枚とびらのときでもハンドルは1個(錠前付きハンドル)で製作されている。

(4) 使用鉄板の厚みについては、指定の板厚にて製作可能。

(5) 外形上の体裁も、収納機器に関係なく、同一形式のものの列盤となるので、美観の点からも、改善されている。

(6) 既納品に対する列盤増設を考慮し設計されているので、追加増設も容易に計画できる。

(7) 盤内アクセサリの取付けも可能。

各種のSPEC. に応じられるように、スペースヒータ、照明灯、コンセント等の付帯仕様も要求に応じて取付可能となっている。

5. G形コントロールセンタ

5.1 概要

G形コントロールセンタは、水処理用として十分にその機能を究明して受取り側の論理を吸収しているコントロールセンタである。

(1) 計画性・柔軟性を備えた箱体。

(2) 水処理用ユニットは、基本ユニット+αでユニットのシステム化に成功。

(3) 関連製品(リレー盤・CNF分電盤等)をコントロールセンタと同一寸法に統一した。

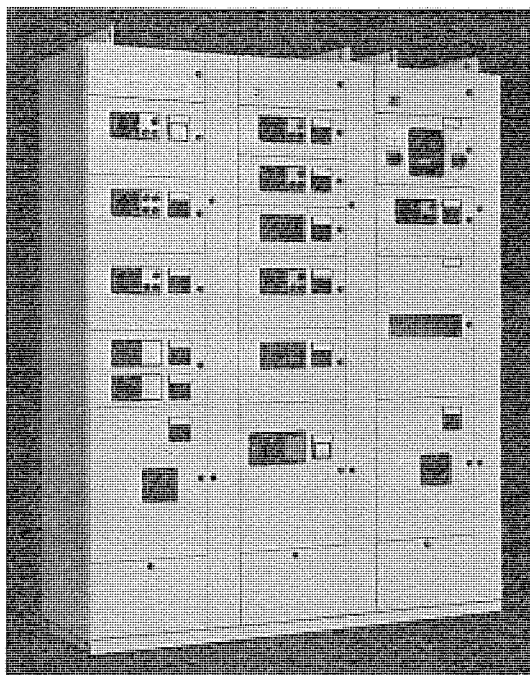


図7. 水処理用コントロールセンタ外観

図7. は水処理用コントロールセンタの3面列盤にした外観図である。

外箱は、幅630、奥行550、高さ2,300mmで、両面・片面共用の1面単位箱で構成されている。この箱はあらゆる仕様に柔軟に対処でき、計画がスムーズにできる。(表6.、表7. 参照)

また、水処理用コントロールセンタに切り離すことのできない、リレー盤は、コントロールセンタと同一寸法に統一した。この盤は、当社製補助リレーを片面形の場合72個、両面形は144個収納可能。広い総括端子台スペースで外部ケーブル接続部分が広くとれる。

5.2 水処理用コントロールセンタユニット

G形コントロールセンタのユニット形式は、表8. に示すごとく、基本形

表6. 箱体計画表

	I	II	III
母線室 A	200	200	300
ユニット室 B	1800	1800	1700
端子室 C	300	300	300
水平母線容量	1000A	1000A	3000A

注) 1. 母線室(A)は下部にも取付可能。
2. T・Bは端子室用として使用する。

表7. 水処理用コントロールセンタ基本仕様

箱形式	I	II	III
ユニット形式	基本形	自動連結形	主幹盤
最小ユニット寸法	非可逆 200mm	非可逆 300mm	主幹ユニット収納後の
ユニット積段数	9(8) 段	6(5) 段	残ユニットは有効ユニ
	可逆 300mm	可逆 300mm	ットスペースとして使
	6(5) 段	6(5) 段	用可能
配線方式	B-C 配線	B-C 配線	C 配線
制御回路端子数	18	18	18
外部端子室	5.5 SQ 換算	5.5 SQ 換算	
取付可能端子数	144 点	180 点	

注) 1. 配線方式は、C-C 配線も可能
2. ユニット積段数の() 値は端子室に使用した場合のユニット数

表8. 水処理用コントロールセンタユニット形式

ユニット形式	主回路電源側	主回路負荷側	制御回路
基本形 (図8.)	垂直母線とグリッ プにより、ユニッ トごとと差込接続	ステップ端子台、 又は電磁開閉器端 子とねじ締め接続	ユニット端子台と 1極ファストン端 子により差込接続
自動連結形	(同上)	固定側端子台とグ リップによりユニ ットごとと差込接続	ユニット端子台と 9極コネクタによ り一括差込接続

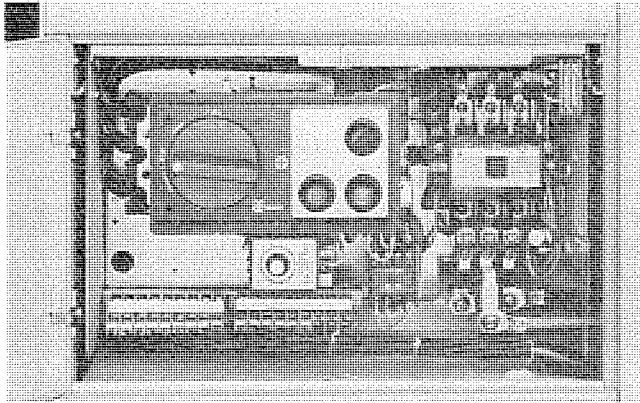


図 8. 基本形ユニット

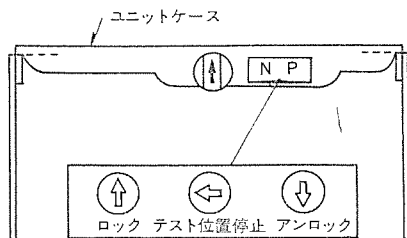


図 9. ユニットラッチ装置

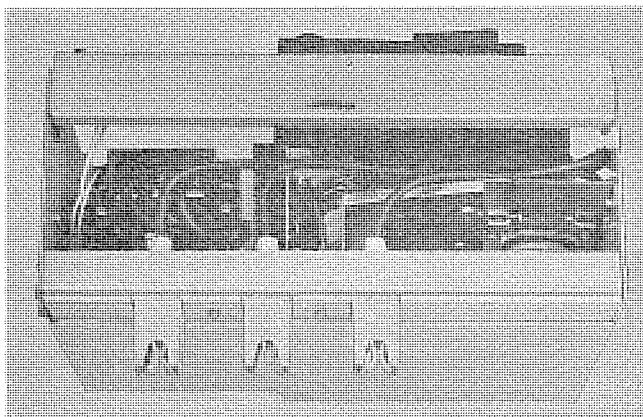


図 10. 150 A グリップ

(図 8.), 自動連結形がある。

水処理用に要求されることがある自動連結形は、基本形+α(端子を取替えるのみ)で製作ができる。この自動連結は 1,200 A NFB ユニットまで可能、ユニットサイズは基本形と同一となる。

また縦配線ダクト内には充電露出部がなく、JEM-B 配線が可能であり、主回路の 3 次元フローティンググリップと 9 極コネクタの採用によっ

て、箱体とユニットケースの関係寸法のばらつきに対して自己整合性をもたせ、またシーケンステストが容易になるなど、多くの特長を有している。

5. 2. 1 ユニットラッチ装置

運転・テスト・アンロックと確実に確認できるロック機構をもっているため、ユニット引出しが安全にでき、テスト位置が自動的に決まる。つまみをクォータ・ターンするだけで容易に確認できる。(図 9. 参照)

- (1) 運転位置 ロック。……母線と連結状態。
- (2) テスト位置 ロック。
- (3) アンロック位置。……ユニットが引き出る。

5. 2. 2 ユニット内の機器配置

ユニット内の機器配置は主として、次の点を総合的に検討して決定されている。同時にデッドスペースをなくし、従来品より補助リレーの収納条件を大幅に緩和し統一をはかった。また次の事項についての十分な検討がなされている。

- (1) 操作・メンテナンスに対する考慮
- (2) 短絡時に対する考慮
- (3) B 配線に対する考慮

5. 2. 3 主回路グリップ

自動連結形ユニットの電源・負荷側に使用され、50 A と 150 A がある。(図 10.)。600 A 以上 1,200 A NFB ユニットは、オプションで自動連結形が可能である。

接触子全体を三相一体モールドケース内に 3 次元フローティング状態に収納した構造になっており、充電露出部がなく接触子は左右上下及び回転自在に変動可能で、垂直母線とは常に線接触状態を保持できる。したがって耐溶着性が大きく高信頼性を有する。

またステップ端子台を追加することによって、ユニット収納状態で B 配線が可能である。

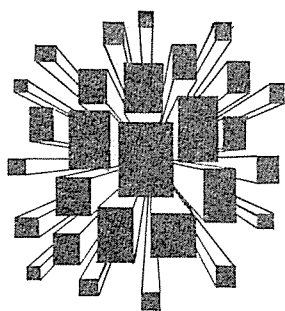
5. 2. 4 制御回路グリップ (9 極コネクタ)

15 A 定格のグリップは、適度な接触圧を有し、そう(挿)脱が極めて容易に行うことができる。コネクタケースには挿入と同時に制御端子台とロックする。自動ロック機構と回転開閉カバーが付属していて、不完全挿入も防止し、充電状態でも安全に挿脱できる。また 1 極当たり、5.5 SQ 圧着端子が 2 本 B 配線可能である。

6. む す び

以上当社の特高盤から低圧コントロールセンタまでの各最新機種について述べたが、紙面の都合で詳細には記述できない部分も多いので各装置の詳細及び一般説明や具体的適用計画については随時ご照会いただきたい。今後、水処理設備用に広く利用されることを期待するものである。

特許と新案



可とう(撓)歯車接手 (実用新案第 1075683 号)

考案者 重 浦 淳 一

この考案は鉄道車両などにおいて、ばね下装備である車輪からの振動や衝撃が、ばね上装備の原動機側へ直接伝えられないように、原動機により回転駆動される原動軸と、これに連動される車輪側被動軸との間に設ける可とう(撓)歯車接手の改良に関するものである。

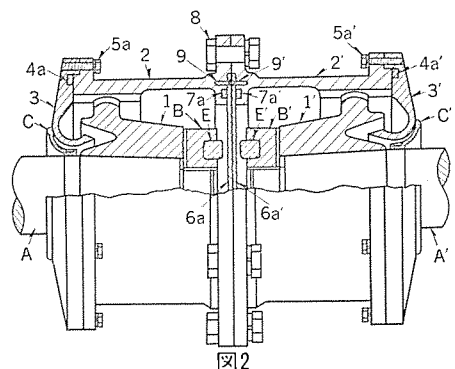
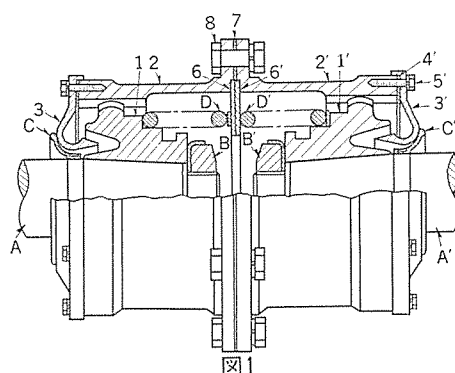
図 1. は従来の可撓歯車接手の構造を示す。図において、各内歯車 2、2' の突き内わせ部および両外側部にそう(挿)入する ガスケット 4、4' および 7 は、いずれも ボルト貫通孔を有し、このボルト取付時に各 ガスケット が押し拡げられて裂損を受け易く、また、台車における狭い取付位置では、このような可撓歯車接手を組み立てる作業には著しい困難を伴うものであった。

図 2. はこの考案のものであって、ガスケット 4a、4a' および 7a、7a' はいずれも取付ねじ 5a、5a' および ボルト・ナット 8 よりも内周側に設けられていて、ボルト挿入孔を必要としない。また内歯車 2、2' の各内側端は、ガスケット 7a、7a' を介し中心板 6a、6a' により予め油密に封さい(塞)されるようになっている。したがって、可撓歯車接手の各半部は、中心板 6a、6a' 部からそれぞれ別個に分割可能であって、内部に潤滑油を収納し得る原動軸 A 側および被動軸 A' 側が、それぞれ半独立の単位体として構成されている。

この考案によれば上述のように、接手の各半部を単位体としてあらかじめ構成しておくため、接手の組立作業が著しく容易であり、ガスケットを破損させることもなくなる。

しかも、狭あい(隘)な台車での組立ては、各内歯車 2、2' の突

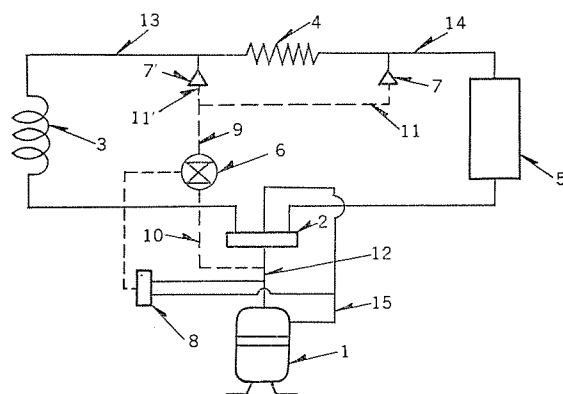
合せ部分をボルト・ナット 8 によって結合するだけでよい。



ヒートポンプ式空気調和装置 (実用新案第 1092788 号)

考案者 三 浦 隆・徳 永 龍

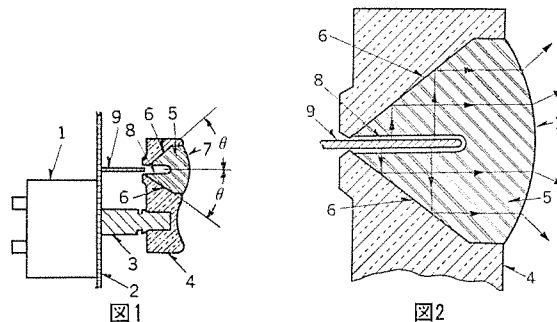
この考案は過負荷あるいは低温時に圧縮機の保護や熱交換器の凍結防止のため圧縮機の吐出ガスを蒸発側熱交換器の入口にバイパスさせるようにした空気調和機に関し、そのバイパス回路の一端を圧縮機の吐出管に接続し、他端を分岐して絞り装置をはさむように接続し、さらに高低圧兼用の圧力スイッチにより制御される回路開閉用電磁弁を回路中に、また逆止弁を上記分岐管路に設けたものであり、1 個の電磁弁、1 個の圧力スイッチ、安価な 2 個の逆止弁からなる単一かつ安価なバイパス回路により空気調和機の異常運転を防止するようにしたものである。



押しボタンスイッチの開閉状態表示装置 (実用新案第 1075144 号)

考案者 辻 幹 夫

この考案は表示ランプを使用しない表示装置に関するもので、一対の反射面を有し前面がとつ(凸)曲面となった透明体押しボタンに埋設し、さらにこの透明体の背面中央部のおう(凹)所にそう(挿)入され得よう着色表示片を設け、押しボタンの進退により表示片が透明体凹所内に挿入されたとき反射面により表示片の色が見えるよう構成されており、透明体に一対の反射面および凸曲前面を設けているためあらゆる方向から表示片の色を鮮明に見ることができるようになっている。



冷凍装置 (実用新案第 1099900 号)

考案者 福 原 敏・黒田 猪三男・杉 山 敏 和

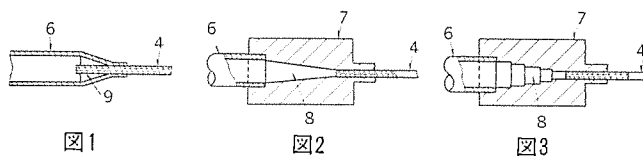
この考案は冷凍装置における毛细管と蒸発器入口管との接続構造に関するものである。

従来は図 1. に示すように毛细管(4)と蒸発器の入口管(6)を毛细管(4)より噴出される高速の液冷媒によって空間部(9)が真空状態となり、また接続部において管径が急激に大きくなるためにキャピテーションを生じ、毛细管(4)が振動して騒音を発生する欠点があった。

この考案は毛细管(4)と蒸発器入口管(6)とを質量の大きな金属製の接続管(7)を介して接続し、かつその内部通路(8)を図 2. に示すように冷媒の進行方向に行くに従って拡開するテーパ状に、ま

たは図 3. に示すように段状に形成したものである。

したがって、毛细管の脈動による振動が蒸発器に伝達されるのを接続管で防ぐことができ、またキャピテーションの発生が少なくなり騒音を低下できるものである。

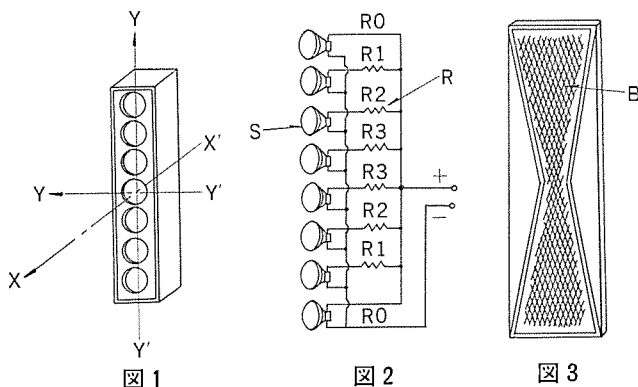


指向性スピーカー装置 (特許第 765368 号)

発明者 鈴木 英男・仁田 昭 博

この発明は複数個のスピーカーを直線状に配置した指向性スピーカー装置に関するものである。

一般に図 1. に示すようなスピーカー装置において、低音域の指向性を鋭くしようとする、スピーカー装置の寸法を大きくするより方法がなかったが、この発明は指向特性の解析に基づき、音圧分布を中心部で小さくし端部へ行くにしたがい徐々に大きくすることによって、スピーカー装置を大きくすることなく、低音域の指向性を向上したものである。具体的には図 2. のような構成において、抵抗 R を $R_0 < R_1 < R_2 < R_3$ のように選択するか、あるいは放音部の形状を図 3. に示すように構成することによって実現している。



三菱信号伝送装置《MELPLEX》シリーズ

山下 弘雄*・大野 宣男*・石井 哲夫*

1. ま え が き

近年、各種産業プラントは自動化、省力化が進み、その制御システムは複雑高級化し、しかも大規模広域化しており、これに伴い取扱う信号量も多くなる。したがって従来どおりの1信号1回線方式のケーブル配線では制御盤間等の配線量はばく大なものとなる。このような背景をもとに、これらの個々の連絡線を一元化された共通連絡線に置き換え、次のような効果を期待した連絡線減少技術を指向した伝送システムが注目されている。

- (1) 線減少による省資源化
- (2) ケーブル配線工事費の低減化
- (3) 増設・拡張性に対するフレキシブルな伝送システムの構成
- (4) システム保守の容易（システム機能区分の明確化・モジュール構成の採用）

当社では永年にわたり多くのプラント制御を行ってきたが、この豊富な経験から上記のような時代の要求に合致した、連絡線減少技術の所産であるプラント制御用の信号伝送装置《MELPLEX》の開発を行ってきた。《MELPLEX》は操作盤・監視盤・制御盤等の各盤間の

外線ケーブル本数の減少を目的とした比較的簡単なシステムである。

ここでは信号伝送装置《MELPLEX》の概要を紹介する。

2. 《MELPLEX》シリーズの仕様

信号伝送装置《MELPLEX》には、プラント内の信号の多様性により表1.に示す機器シリーズが用意され、各機器の仕様は表2.に示すとおりである。同表において入力とは、ローカルステーションからメインステーションへ向かう信号を、また出力とはメインステーションからローカルステーションへ向かう信号を総称している。

信号伝送装置《MELPLEX》は、いずれも、

- (a) 少ない線で〈ケーブル心数の減少〉
- (b) 早く〈高速性〉

表 1. 信号伝送装置《MELPLEX》シリーズ一覧

大 分 類	小 分 類	用 途	機 器 名
プログラマブル コントロール専用	リモート I/O	シーケンサ 《MELSEC》310 用	《MELPLEX》310
		プラントコントローラ 《MELPLAC》用	《MELPLEX》320
一般制御装置間 の信号伝送機器	デジタル信号伝送	制御用・監視用	《MELPLEX》610
	アナログ信号伝送	制御用・監視用	《MELPLEX》110

表 2. 信号伝送装置《MELPLEX》シリーズの仕様一覧

項 目		仕 様			
		《MELPLEX》 310	《MELPLEX》 320	《MELPLEX》 610	《MELPLEX》 110
メーンステーション	信号伝送方式	時分割多重並列繰返し伝送方式			時分割多重 アナログ直送方式
	伝送信号数	最大 入力 512 点 出力 512 点			最大 128 量 (ただし 4 量はチェック用)
	繰返し伝送周期	10 ms			1 s
	接続ローカル ステーション数	最大 入力 16 出力 32	最大 入力 16 出力 16		最大 4
	信号 インタフェース	《MELSEC》 310 I/O バスインタフェース	《MELPLAC》 I/O バスインタフェース	入力信号 $\left\{ \begin{array}{l} \text{AC } 100 \text{ V} \\ \text{AC } 200 \text{ V} \end{array} \right\} 1 \text{ A}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{DC } 100 \text{ V} \\ \text{リレー接点} \end{array} \right\} 2 \text{ A}$ オープンコレクタ 出力信号 $\left\{ \begin{array}{l} \text{AC } 100 \text{ V} \\ \text{DC } 48 \text{ V} \\ \text{DC } 100 \text{ V} \end{array} \right\}$	±10 V 50 mA
入力ローカル ステーション	実装点数	32 点 16 点単位			32 量 (内 1 量はチェック用)
	種類と仕様	$\left\{ \begin{array}{l} \text{AC } 100 \text{ V} \\ \text{DC } 48 \text{ V} \\ \text{DC } 100 \text{ V} \end{array} \right\}$			DC 電流, DC 電圧 4~20 mA 1~5 mA 0~5 V
出力ローカル ステーション	実装点数	16 点 8 点単位 $\left\{ \begin{array}{l} \text{AC } 100 \text{ V} \\ \text{AC } 200 \text{ V} \\ \text{DC } 100 \text{ V} \end{array} \right\} 2 \text{ A}$	32 点 16 点単位 $\left\{ \begin{array}{l} \text{AC } 100 \text{ V} \\ \text{AC } 200 \text{ V} \end{array} \right\} 1 \text{ A}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{DC } 100 \text{ V} \\ \text{リレー接点} \end{array} \right\} 2 \text{ A}$ オープンコレクタ		
	種類と仕様	リレー接点			
伝 送 路	ケ ー ブ ル	21 対平衡ケーブル CPEV			3 対平衡ケーブル CPEV
	伝 送 距 離	最大 2 km			
周 囲 条 件	電 源	AC 100/110 V -15~+10% 50/60 Hz			
	周 囲 温 度	0~50℃			
	湿 度	10~90%			

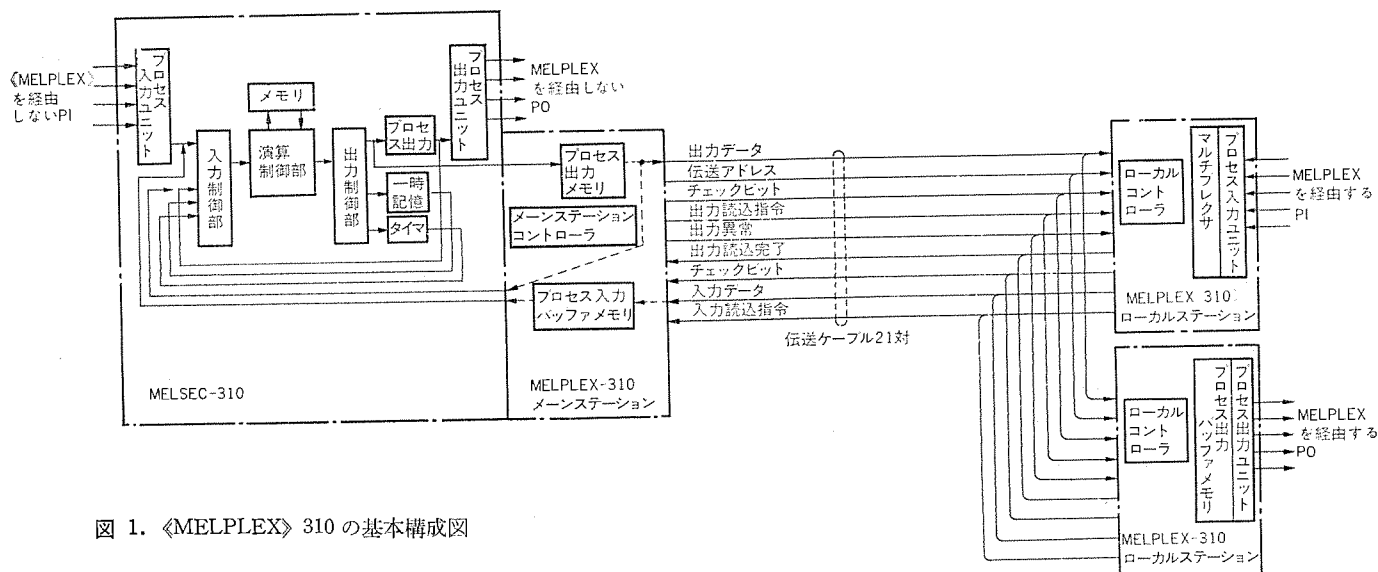


図 1. 《MELPLEX》310 の基本構成図

(c) 確実に〈信頼性の向上〉信号を送ることができ
(d) 保守が容易なく保守の容易性〉システムの実現
を目標としている。
信号伝送装置《MELPLEX》はプラント内設備として、次の制限を設けることができる。

(a) ケーブル 総延長距離（ローカルステーションとローカルステーションの最大距離）：2 km 以下

(b) 伝送コードは自由である：標準規格に左右されない。

このため伝送回路部は簡単になり、プラント制御に最適なケーブル心数（ケーブル心数は繰り返し伝送周期とほぼ反比例）を採用するなど、ユニークなシステムを構成して、前述の目標を実現している。

《MELPLEX》シリーズの各機器の概略をつぎに紹介し、3 章以下に《MELPLEX》310 を例に、前述の目標がいかに達成されているか紹介する。

2.1 《MELPLEX》310

シーケンサ《MELSEC》310 のリモート I/O コントローラの機能を果たす。《MELSEC》のプロセス入出力ユ

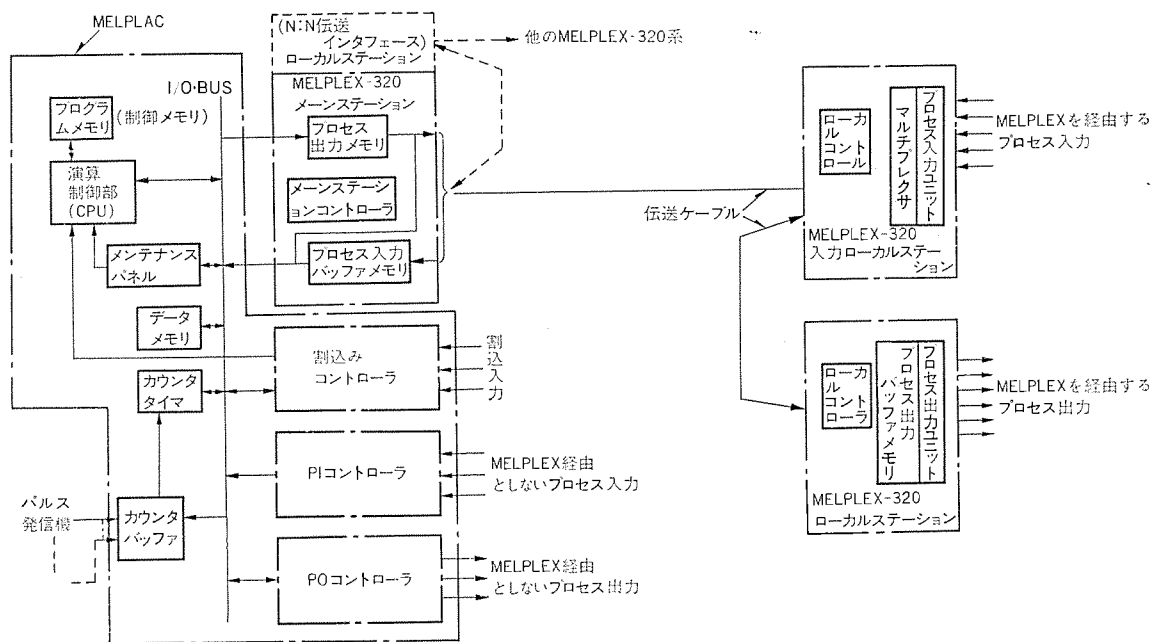


図 2. 《MELPLEX》320 の基本構成図

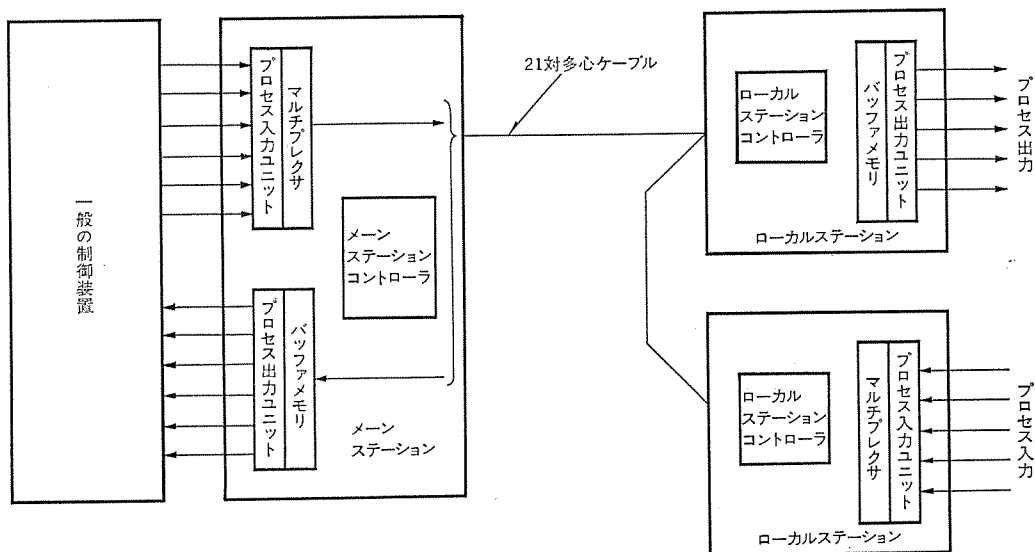


図 3. 《MELPLEX》610 の基本構成図

ットを、プロセス近傍に設置したローカステーションに収納する。これによりメインステーションとローカステーションを結ぶ長いケーブルの心数を21対で済ますことができる。《MELPLEX》310のブロック図を図1に示す。

2.2 《MELPLEX》320

プラントコントローラ《MELPLAC》のリモートI/Oコントローラの機能を果たす。ブロック図を図2に示す。

2.3 《MELPLEX》610

一般の制御装置の入出力のケーブル心数を減少させる機能を果たす。ブロック図を図3に示す。この場合入力・出力とは、メインステーション

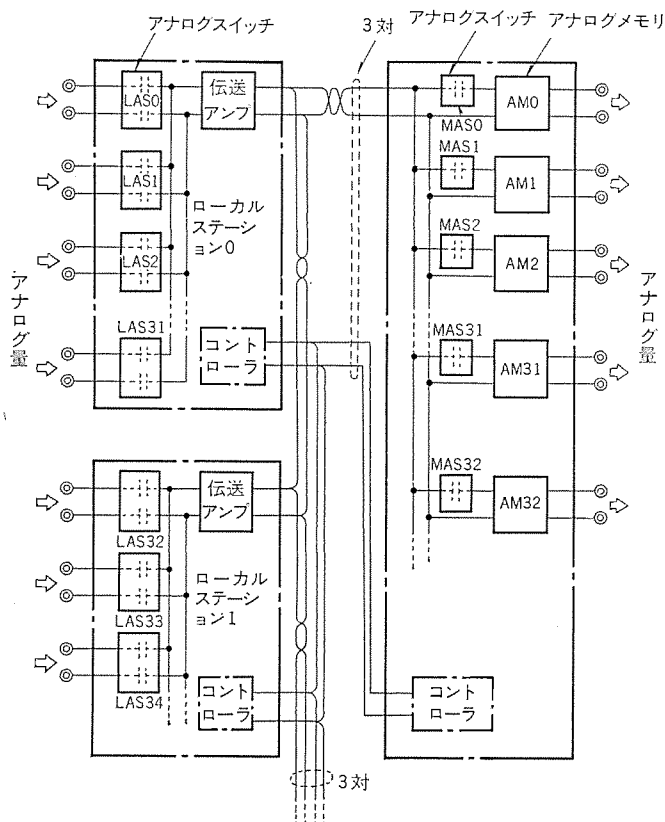


図4. 《MELPLEX》110の基本構成図

が接続される制御装置の入力・出力と同じ呼称にしている。

2.4 《MELPLEX》110

多数のアナログ信号を少ない信号線を利用して伝送するものである。アナログ信号を直接切換えて伝送し、受信側ではアナログメモリにて記憶し、これを繰り返す簡便なシステムである。図4.に《MELPLEX》110のブロック図を示す。

2.5 《MELPLEX》複合システム

連絡線減少技術の所産である各種信号伝送機器の中にある《MELPLEX》の位置づけと、《MELPLEX》シリーズのプラントでの適用形態を図5に示す。

3. 《MELPLEX》310の基本構成と機能

3.1 概要

ブロック図は図1.に示すように、《MELSEC》310のCPUに接続されたメインステーションには、プロセス出力メモリとプロセス入力バッファ、並びにメインコントローラが収納される。遠方に置かれた入力ローカステーションには入力ローカコントローラとプロセス入力ユニットが収納される。また、出力ローカステーションにはプロセス出力バッファメモリと出力ローカコントローラ並びにプロセス出力ユニットが収納される。これら各ステーション間を21対の伝送ケーブルで接続して信号伝送システムを構成する。以下各部の詳細を述べる。

3.2 メインステーション

《MELPLEX》310の中心となる基本装置であり、次の機能を持っている。

(1) 《MELSEC》310のCPUとの信号取り合い

《MELSEC》310自身の演算時間を遅らせることなくサイクルスチールにより行っている。《MELSEC》310のCPUとの信号取り合いには次の3種類がある。

- (a) CPUが指定した出力番地のプロセス出力メモリに、CPUが指定する出力状態を記憶させる。(《MELSEC》の出力動作)
- (b) CPUが指定した入力番地のプロセス入力バッファメモリの状態をCPUに与える。(《MELSEC》の入力読み込み動作)
- (c) CPUが指定する出力番地のプロセス出力メモリの状態をCPUに返送する。(《MELSEC》の出力読み込み動作)

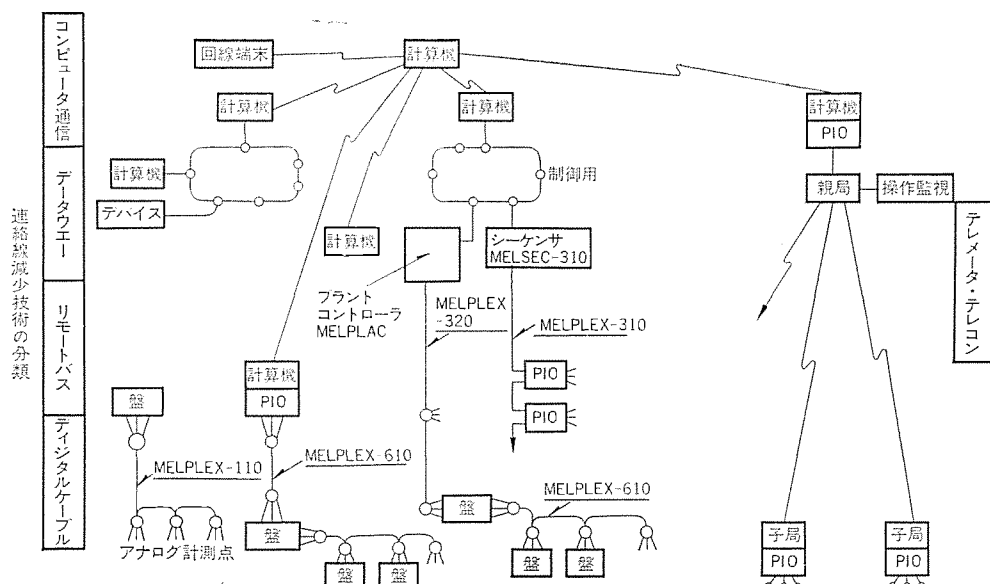


図5. 連絡線減少技術の各システムの位置づけ

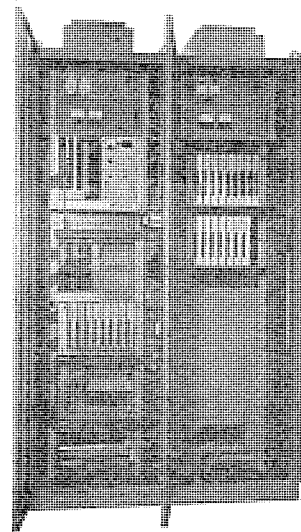


図6. 《MELPLEX》310導入のシケンサ《MELSEC》310の制御盤

(2) ローカルステーション との信号伝送

ローカルステーション との信号の取り合いは繰り返し伝送方式を採用し、繰り返し伝送周期は 10ms である。
構造的には極力回路の小形化が実現されており、カードモジュール がわずか 3 枚で構成されており、《MELSEC》310 の CPU 箱体内に収納されている。図 6. に《MELPLEX》310 を適用した《MELSEC》310 の制御盤の写真を示す。

3. 3 入力ローカルステーション

プロセスからの入力信号の受信を行いメインステーションへ時分割で繰り返し伝送する。プロセス入力ユニットは直接プロセスと直結可能である。入力点数はステーション当たり 32 点で、16 点単位にユニット化されている。

3. 4 出力ローカルステーション

メインステーションから時分割で送られてくる出力状態をプロセス出力バッファメモリに1度記憶し、プロセスへの出力を行う。プロセス出力ユニットは大容量半導体スイッチの採用により、直接電磁弁や電磁スイッチを駆動することが可能である。出力点数はステーション当たり 16 点で 8 点単位にユニット化されている。

4. 信号伝送装置の基本的条件の実現

ここでは前に述べた信号伝送装置の目標をいかに実現しているかを少し詳細に述べる。

4. 1 ケーブル心数の減少

(1) 省資減化

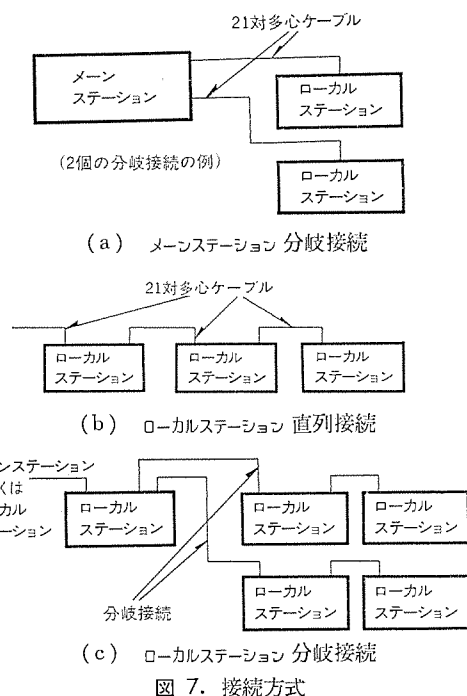
シーケンサ《MELSEC》310 の入力 512 点及び出力 512 点の合計 1,024 点の ON-OFF 信号を送受信するために 21 対のケーブルを 1 本布設すればよいので次の効果がある。

(a) ケーブル費用の低減

(b) ケーブルピット・ケーブルダクトの工事費の低減

(2) システムの増設・拡張性に対するフレキシビリティ

プロセス機器の追加若しくは増設される場合、プロセス機器からの配線はローカルステーションまでよく、ローカルステーションの増設の場合は近くにある既設のローカルステーションから、21 対の多心ケーブルを 1 本布設



すればよい。ローカルステーションの接続方式には次の4種の基本形式がある。

(a) メインステーション 分岐接続

メインステーションから最大8個のローカルステーションを直接つなぐことができる。(図 7. (a) 参照)

(b) ローカルステーション 直列接続

ローカルステーションを直列に接続することができ、直列に接続できるローカルステーションの個数に制限はない。(図 7. (b) 参照)

(c) ローカルステーション 分岐接続

一つのローカルステーションから二つのローカルステーションを分岐接続できる。(図 7. (c) 参照)

(d) 終端ローカルステーション

1本の多心ケーブルしか接続されないローカルステーションを終端ローカルステーションという。メインステーションからの1本の分岐には最大2個の終端ローカルステーションを接続することができる。

以上の基本形式を組合せて配線され、いずれの場合もメインステーションから終端ローカルステーションまでの距離は2kmまで延長できる。

4. 2 高速性

《MELPLEX》を使用して信号伝送を行う場合、一つの信号に着目すると、1信号1回線方式に比べ伝送繰り返し周期の時間だけ遅れる。この遅れは直接制御性能を左右するので極力短いほうがよい。《MELPLEX》310では10ms以下となるよう、いくつかのユニークな方法が講じられている。

(1) 並列伝送方式の採用

伝送繰り返し周期を10ms以下とするため若干のケーブル心数の増加は認め21対とし、伝送する入出力信号のアドレスと信号の情報とを並列に伝送している。

(2) 4連アドレス信号伝送方式の採用

指定したアドレス(例えば128番地)に対し、そのアドレスに続く4番地分(128~131番地)の信号が並列に伝送される4連アドレス信号伝送方式を採用している。

(3) 入出力同時伝送方式の採用

指定したアドレスと4番地分の出力信号がメインステーションから伝送すると、同じタイミングでローカルステーションからは同じ4番地分の入力信号が返送される入出力同時伝送方式を採用している。

4. 3 信頼性の向上

《MELPLEX》を導入することによりシステムの信頼性が低下しないように、装置自体の信頼性を高めると同時に、適用システムにおいても信頼性を高めるための方法も講じられている。

(1) 装置自身の信頼性の向上

(a) 部品点数の減少

制御部にはIC素子特にMSIを多く使用し、また繰り返し伝送方式の採用と簡単な伝送回路部とにより回路が簡素化し、部品点数が減少している。

(b) 信頼性の高い伝送方式

伝送シーケンスは正常な伝送を確認して進行し、しかも毎伝送サイクルごとにアドレス指定を行っているので同期ずれを起こさない。また伝送信号にはパリティビットを付して、伝送路を含めた伝送システムの信頼性がチェックできる。

(c) 耐ノイズの回路設計

従来のリレー盤の代わりに使用されるシーケンサ《MELSEC》310と併用されるので、耐ノイズ性については十分考慮されている。

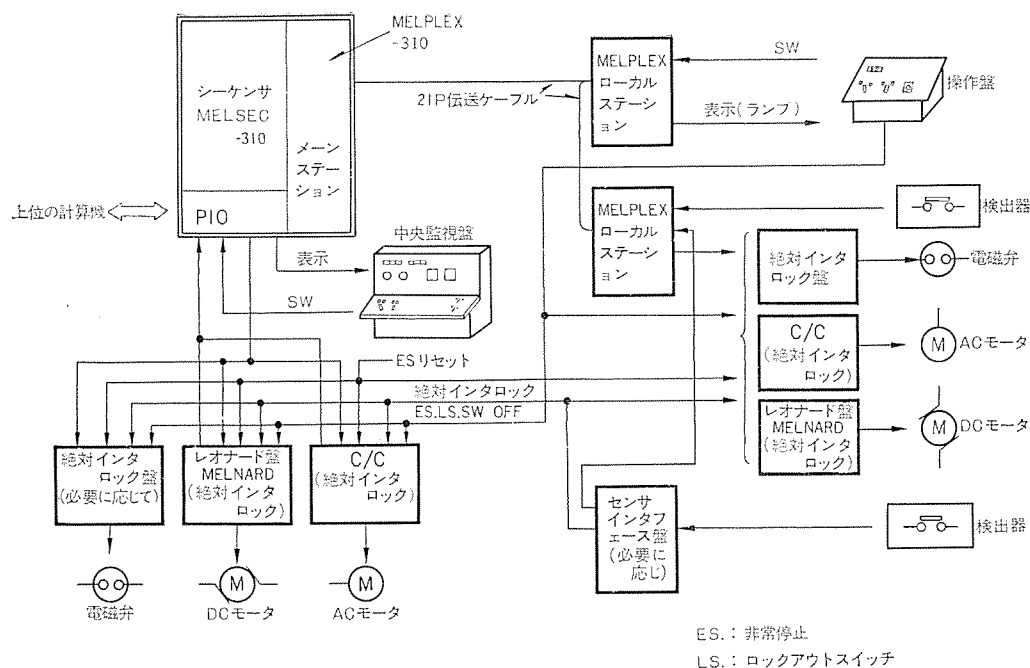


図 8. 《MELPLEX》 310 を適用したプラント制御システムの一構成例

表 3. 《MELPLEX》 310 の故障分類

ステーション	回路の分類	故障の分類
メイン ステーション	伝送回路用電源装置	重故障
	《MELSEC》	重故障
	伝送シーケンス回路	重故障
	伝送回路部	重故障
ローカル ステーション	ローカルステーション電源装置	重故障
	伝送回路部	重故障
	伝送シーケンス回路	重故障
	PI/O	軽故障

一般にノイズの侵入経路としては、

- AC電源からの侵入
- 入力信号に重畳しての侵入
- 出力側からの侵入
- 配線による誘導
- ステーション間を結ぶ伝送線からの侵入

が考えられ、これらに対して十分な対策が講じられている。

(2) 適用システムの信頼性の向上

プラントを制御する信号は《MELPLEX》を使用して効率よく伝送することができるが、《MELPLEX》適用に際してはプラントのか(稼)働率・安全性を高めるため、プラントのフェイルセーフ機能が実現するシステムを構成している。

フェイルセーフ機能



- 人身事故の防止
- 電機品を含めた機械損傷の防止
- 事故時製品ロスの減少



稼働率・安全性の向上



システムの信頼性の向上

故障率からいえば半導体回路はリレー回路に比較して、はるかに高信頼性を有しているが、フェイルセーフの考えからみるとリレー回路の

ほうが比較的容易にフェイルセーフを実現できるので、必要により《MELPLEX》の出力に有接点のインタロック(絶対インタロックと呼ぶ)を付している。このため、絶対インタロック用の信号は《MELPLEX》を経由しないで直接伝送する。

フェイルセーフ機能を達成するために絶対インタロックが適正であると同時に

- ロックアウトスイッチの設置
- 検出器の選択及び設置場所

などを系統的に検討している。

《MELPLEX》310 を適用したプラント制御システムの構成例を図 8. に示す。

4. 4 保守の容易性

《MELPLEX》の保守については、簡単に故障箇所の指摘が行え、カードユニットの交換により修復できるように考えられている。

(1) 故障検出システム

《MELPLEX》の予想される故障を分類すると表 3. のようになる。故障が発生した場合、いずれも制御対象に影響を及ぼすが、その中で全体に影響するものを重故障、局部的に影響するものを軽故障として分類している。重故障に関しては自動的に検出し、プロセス出力を断として、システム的には無用の出力を出さないようにしている。重故障は装置自身が自動的に検出する。軽故障はプロセスの誤動作という形で現れるので、シーケンス制御プログラムと動作を照合し不良箇所を人間が指適する。

(2) 表示システム

故障検出を容易なものとするため、多くの表示がある。

(a) 重故障表示

重故障を各ユニットで表示している。

(b) オンライン状態表示

メインステーションで全入出力の状態がオンラインで表示できる。

(c) ローカルステーション状態表示

各ローカルステーションごとに正常か否かの表示を、メインステーションに行っている。

(d) プロセス状態表示

ローカルステーションのプロセスに直結される入出力ユニットには、プロセス機器の動きをは(把)握するための表示ランプがついている。

(3) メンテナンスボックスの充実

メンテナンスボックスが用意されており、これを使用すればメインステーションの場所で各ローカルステーションが診断できる。

5. む す び

以上《MELPLEX》シリーズの概要を紹介したが、三菱信号伝送装置《MELPLEX》は最近のプラントのケーブル配線における新しい考え方により生まれたものである。最後に開発・製品化にあたって多大のご協力を賜った関係部門に深く感謝する。

高解像度X線テレビジョン装置 XT-1100シリーズ

堀 高明*・山際 豊行*・仲 佐 節男*

1. ま え が き

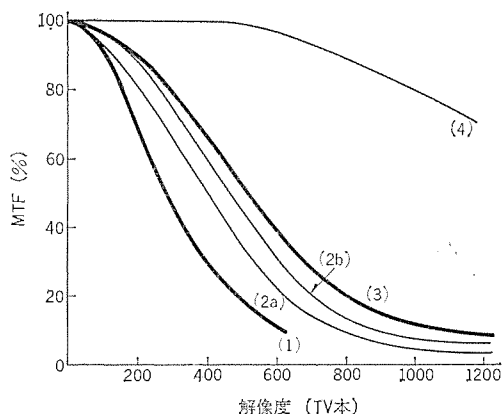
X線 テレビジョンが製品化されてから既に15年以上を経過したが、この間、その性能は電子技術の発展と、より高度な品質を要求する医療環境に刺激され飛躍的に改善されてきた。そのうち、テレビジョン部はFET・ICなどの半導体や光導電形の高感度撮像管の出現が大幅な改善をもたらし、要求を十分満足する性能を提供しえた。しかし、近年、高解像度・高輝度のII (Image Intensifier) が開発され、テレビジョンも更にこの画像を劣化なく再現しうる高解像度のものが要求されるようになった。そのため、従来の走査線数525本又は625本の標準方式にかわって精細度の高い方式を検討する必要性が生じてきた。

XT-1100はこのような背景のもとに開発された走査線数945本、映像帯域幅23MHzの高解像度テレビジョン装置であり、高性能IIと組合せて識別度の高いX線透視像を得ることを目的としたものである。以下に、高解像度テレビジョンの方式に対する検討及びXT-1100の性能について述べる。

2. 方式の検討

テレビジョン画像は電子ビームがブラウン管面を走査することによって構成される垂直、水平方向絵素の集合体である。高解像度テレビジョンはこの絵素数が従来の走査線数のものに比較して多くなったもので、次の手段が必要である。

- (1) 高解像度の撮像管及びブラウン管を使用する。
- (2) 縦方向の絵素数、すなわち垂直解像度を上げるために走査線数をふやす。
- (3) 横方向の絵素数、すなわち水平解像度を上げるために映像帯



撮 像 管	直 径	形 式	400 TV 本の 変調度	限界解像度
(1) 7735 A	1 インチ	インテグラル メッシュ形	30%	700 本
(2a) 8507 A 標準動作		セパレートメ ッシュ形	50	900
(2b) " 高電圧動作			60	1,100
(3) 8521	1.5 インチ		65	1,500
(4) C23084 F	2 インチ	リターン・ビ ーム形	100	4,500

図 1. 撮像管の解像度特性 (R 社カタログによる)

域幅を広くする。

これらの項目は互いに関連しているため、技術的可能性等も含めて総合的に検討する必要がある。

高解像度テレビジョンは既に解像度1,000本程度の中クラスから3,000本程度の超高解像度のものまで種々の装置が開発されており、技術報告も多数ある⁽¹⁾。しかし、文書撮像や画像入出力用として一部で実用⁽²⁾されているほかはもっぱら特定の実験、研究に用いられるにとどまっている。その理由は性能が十分ではあっても取扱いの容易さ、保守性、経済性などに問題があるものと考えられ、我々が高解像度テレビジョンを開発するに当たっても重点的に検討した項目である。以下、これらの検討結果を述べる。

2.1 撮像管

撮像管の解像度は走査電子ビームのスポットサイズとその電子ビームで走査されるターゲットの面積、及びターゲットに使用される光導電面の特性によって決定される。図1.は現在実用されている代表的な撮像管の解像度特性 (MTF: Modulation Transfer Function) である。

一方、このたび開発した高解像度テレビジョンの被写体に相当する高性能IIの最大識別度は9インチの入力面で25~30 lp/cmであり、これはTV解像度の1,150~1,380本に対応する。したがって、テレビジョン単体の限界解像度もこれと同等であることが望ましく、撮像管は図1.から(3)の1.5インチ管が適当と考えられる。しかし、1.5インチ管では装置が高価になり撮像管の自由な選択も困難になる。そのため、ビジコンのほかにPbOやCdSeなどの各種光導電材料のものがそろった1インチのセパレートメッシュ形を高電圧で使用することにした。この場合、限界解像度は約1,100本となるが、一般にX線テレビジョンではIIの出力面の大きさ等の関係から撮像管の走査面積を公称面積より大きく採っているためこれより多少改善されて、ほぼ高性能IIと同等になる。

2.2 走査線数

垂直解像度に対する要求は画像の水平方向と垂直方向の分解能をほぼ等しくすべきであるという基本から決まる。例えば標準方式によるテレビジョン放送では水平・垂直ともほぼ350本とバランスした解像度になるように設定されている。この装置では、水平方向は撮像管の限界解像度が約1,100本であるから垂直方向もこれと同等の解像度とすることが望ましい。

垂直解像度を上げるためには走査線数をふやす必要があるが、それには下記の方法がある。

- (1) 垂直周波数は50~60Hzで、2:1インタレースの条件で水平周波数を高くする。
 - (2) 水平周波数を保ったまま2:1インタレースの条件で垂直周波数を低くする。
 - (3) 垂直周波数は50~60Hzで、水平周波数を適当に設定することによりインタレース比を3:1, 5:1のように大きくする。
- (1)の方法は画像の安定性は良いが水平解像度を得るために必要な

表 1. 走査線数と解像度

走査線数	垂直周波数	水平周波数	インタレース	垂直解像度	水平解像度 1,000本に必要な映像帯域幅
525本	60Hz	15.75kHz	2:1	350本	12.45MHz
625		18.75		400	15.37
675		20.25		425	15.41
729		21.87		475	16.89
875		26.25		575	21.03
945		28.35		600	23.15
1,023		30.69		650	25.61
1,125		33.75		725	28.72
1,225		36.75		800	32.16
1,425		42.75		925	35.35
2,125		63.75		1,375	55.6

注) 水平解像度 1,000 本に必要な映像帯域幅=最小必要帯域幅×1.3 ただし縦横比 1

映像帯域幅がほぼ走査線数に比例して広がる。(2)と(3)は映像帯域幅をさほど広くしないで走査線数をふやすことができるが、(2)は垂直周波数が低くなるためフリッカが発生し、(3)はインタレース比が大きくなるためライン・クロージングが現れ、共にブラウン管面を直視する用途においては画像の安定性に欠ける。そこで、この装置には(1)を採用した。

上記(1)に属する高解像度テレビジョン規格 EIA-RS 343⁽³⁾には走査線数 675・729・875・945・1,023 本の各方式が制定されている。しかし、奇数であれば 2:1 インタレースにすることができるため、必ずしもこれに制約されることなく任意に走査線数を定めることができる。表 1. は EIA 及びこれに準じた走査線数をまとめたものであり、上記のバランスの上から水平解像度約 1,000 本に対し、走査線数を 1,425 本として垂直解像度 925 本を得るのが望ましいことが分かる。しかし、この場合、水平解像度 1,100 本に必要な映像帯域幅は表 1. のように約 35 MHz となり、この時の画像の S/N は信号電流を 0.3 μA としても約 20 dB と悪くなる。元来、X 線テレビジョンでは被写体である II の像が暗く撮像管の信号電流が十分取れない状態にあるため実際の S/N は更に低下し、実用に供するのは困難であろうと思われる。

そこで、撮像管面の周辺解像度が中心部よりかなり低下することを考慮し、S/N との兼ね合いから垂直解像度もその程度に押さえることにし、表 1. からこの装置には走査線数 945 本を採用した。ただし、中心部の水平解像度は撮像管の限界解像度を生かせるように映像帯域幅を 23 MHz に設定した。したがって、中心部の解像度は水平方向よりも垂直方向がやや低いが、周辺部ではほぼバランスした解像度になり、また S/N も 27 dB 程度になる。

2.3 映像増幅器

映像増幅器のポイントは周波数帯域幅と S/N である。

水平解像度 N 本を得るために必要な映像帯域幅は式(1)のようにほぼ水平走査期間に反比例、すなわち走査線数に比例する。

$$f_w = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{T_H - T_B} \right) N \cdot A \quad (1)$$

f_w = 映像帯域幅 (MHz)

N = 水平解像度 (本)

T_H = 水平走査期間 (μs) $T_H \propto \frac{1}{\text{走査線数}}$

T_B = 水平ブランキング期間 (μs)

A = 横/縦比 (XTV では 1)

しかし、式(1)は下限周波数であるから実際にはこれより 20~30% 増しの帯域幅が必要である。この装置は走査線数 945 本で、水平解像度は 1 インチ撮像管の限界解像度を生かすために必要帯域幅を

1,000 本に必要な値の 1.3 倍にあたる 23 MHz とした。一般に、このような広帯域の映像増幅器を構成する場合、ディスクリート部品では発振や振幅変動などを生じやすく、安定性に欠けることが多いので IC 化するのが望ましい。また、入力回路は高域を安定にブーストできる低入力インピーダンス形とし、アース回路もブロックごとに系統で設計を行う必要がある。

S/N は画像の良否を決定する重要な因子であるが、光導電形撮像管は信号電流が小さいため特に映像増幅器の低雑音化を図る必要がある。これらに関する研究はかなり進んでおり S/N 50 dB 以上の報告⁽⁴⁾もあるが量産ラインでは 47~48 dB 程度で、これ以上は撮像管の電極構造を変えるなど、新しい方法や素子が開発されない限り難しい状態にある。また、上記 S/N は規定の帯域幅 (4.5 MHz) における値で、この装置のような広帯域では帯域幅の 3/2 乗に比例して雑音が増加するため、23 MHz では約 27 dB となる。しかし、周波数の高い雑音は視覚的には影響が少なく、実用上は問題がない。

3. XT-1100 の概要

3.1 テレビジョン装置の構成

XT-1100 は 1 インチセパレートメッシュ形撮像管を使用した走査線数 945 本、映像帯域幅 23 MHz の高解像度テレビジョン装置で、現在、国際的な規格化が検討されている医用安全基準に従って製品化したものである。図 2. はカメラ及びカメラ制御器の外観である。また、表 2. に XT-1100 と従来の標準機種 XT-800 の仕様比較を示す。

3.2 テレビジョン装置の主要機能と回路

(1) 高解像度

ビジコン (R 社 8507 A) を高電圧動作で使用したときの解像度は水平 1,100~1,200/垂直 650 本であった。水平 1,100~1,200 本はビジコンの高電圧動作と 23 MHz の広帯域増幅器によって撮像管の解像力が

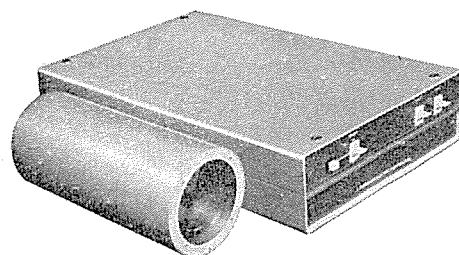
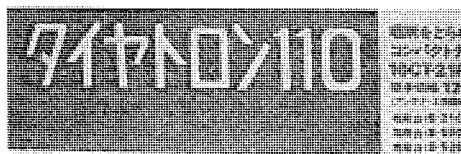


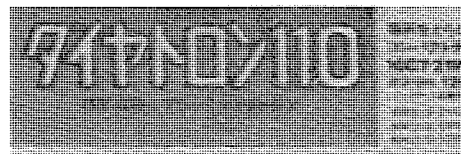
図 2. XT-1100 シリーズ カメラ・カメラ制御器

表 2. テレビジョン仕様

項 目	高解像度形 (XT-1100)	従来形 (XT-800)
① 走査線数	945 本	625 本
② 走査方式	電源非同期 2:1 インタレース	2:1 インタレース
	毎秒画数 30 枚	30 枚
	水平周波数 28.35 kHz	18.75 kHz
	垂直周波数 60 Hz	60 Hz
③ 縦横比	1:1	1:1
④ 映像帯域幅	23 MHz (IC タイプ)	6 MHz (ディスクリートタイプ)
⑤ S/N (4.5MHz)	48 dB 以上	46 dB 以上
⑥ 撮像管	1 インチセパレート形 (高電圧動作)	1 インチセパレート形 (標準動作)
⑦ レンズ	50 mm 0.75 II 形	50 mm 0.75
⑧ モニタ	17 インチ 270φ 円形画面	12 インチ 180φ 円形画面
⑨ 解像度 (中心部)		17 インチ 230φ 円形画面
撮像管 8507 A	水平 1,100 本	水平 500 本
スキャンサイズ 9.5 mm□	垂直 650 本	垂直 400 本

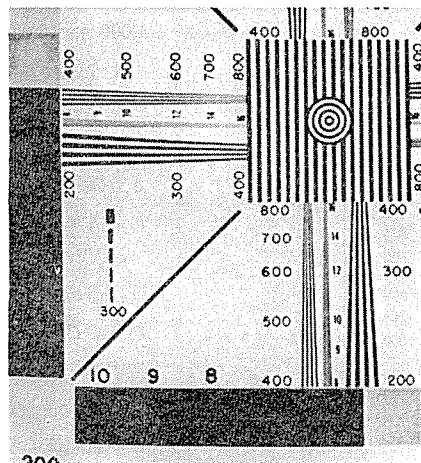


走査線数 945 本
映像帯域幅 23 MHz

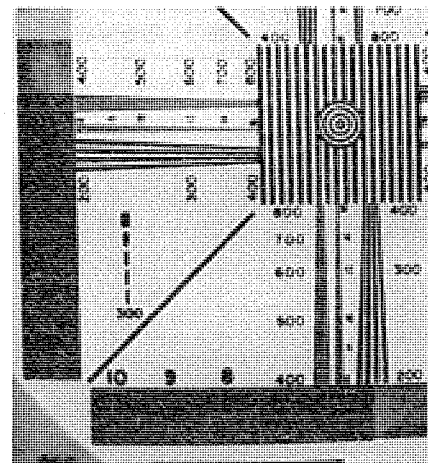


走査線数 625 本
映像帯域幅 6 MHz

図 3. モニタ像 (走査線数と映像帯域幅の効果)



ビジコン 8507 A
(水平 1,100~1,200 本 垂直 650 本)



PbO 系ビジコン XQ 1072
(水平 750 本 垂直 500 本)

図 4. 限界解像度比較

表 3. 各種撮像管の限界解像度

1 インチ撮像管		限 界 解 像 度	
		水 平	垂 直
ビジコン 8507 A	(R社)	1,100~1,200	650
CdSe 系ビジコン E 5063	(T社)	1,000	650
ZnSeZnxCd _{1-x} Te 系ビジコン S 4076	(N社)	900	600
PbO 系ビジコン XQ 1072	(N社)	750	500
SeAsTe 系ビジコン H 8362	(H社)	1,100	650

スキャンサイズ 9.5×9.5 mm

XT-1100 形テレビジョン装置 (走査線 945 本 映像帯域幅 23 MHz)

最大限に生かされた結果である。また、垂直解像度は走査線数からの計算上は約 600 本になるが、撮像試験では 650 本を十分識別できた。図 3. は XT-1100 と XT-800 の文書撮像例である。

(2) 撮像管

セパレートメッシュ形撮像管のメッシュ電極電圧を 900~1,000 V とし、撮像管の解像度を最大限に生かした。しかし、解像度は撮像管の種類によってかなり差があり、例えば PbO 系ビジコン (N社 XQ 1072) では図 4. に示すように水平 750/垂直 500 本と大きく低下する。また、同一形名のビジコンでも 1,000 本付近の解像度は表 3. に示すようにメーカーによってかなりばらつきがあった。

(3) 映像増幅器

表 4. は前置増幅器の性能で、入力に負帰還をかけた低入力インピーダンス形とし、IC で構成した。また プロセス増幅器にはハレーション防止、コントラスト補正、水平アパーチャ補正など X 線テレビジョンに必要な特殊回路を組み込んである。

(4) その他

垂直解像度の安定性に関連する走査線間隔の変動は走査線数に比例して厳しく押さえる必要がある。そのため、同期信号は垂直同期の切込み・等価パルスの含まれた EIA 規定を満足する波形とし、更に被同期回路の S/N を改善して安定度を高めた。

水平周波数の上昇は水平・垂直の偏向コイルのカップリングを強め、画像に縦じまが現れやすくなる。そこで、この装置では水平コイルのインピーダンスを下げるるとともに垂直偏向回路に水平成分のフィルタ回路を設けこれらの影響を除去した。

この装置の走査線数は 945 本であるが、一部の部品変更により、525・625・1,023 本方式に変更できる。

医用機器は電気的・構造的安全性を重視される。これに関しては

表 4. 前置増幅器の性能

S/N	48 dB 以上
	入力信号 0.3 μ A p-p 帯域幅 4.5 MHz ターゲット容量 撮像管を装着 ただし、帯域幅 23 MHz ではほぼ 28 dB (視感補正なし)
映像帯域幅	20 Hz~20 MHz ± 0.5 dB 以内 15 Hz~23 MHz +1.0 dB 以内 -3.0
最大利得	0.75 V p-p/0.3 μ A p-p (75 Ω 負荷)
無ひずみ最大出力	2.2 V p-p
入力インピーダンス	約 7.5 k Ω (低周波において)
出力インピーダンス	75 Ω

IEC において規格化が審議されており、既に提示された暫定案が基準として成立する情勢にある。この装置にはこの暫定案と国内委員会の討議結果を織り込んである。

4. X 線テレビジョンとしての機能

テレビジョン装置の解像度は水平 1,100~1,200/垂直 650 本で、従来形のほぼ 2 倍の性能が得られたが、これを 9 インチ II 入力面に換算すると水平 24/垂直 14 lp/cm の識別度に相当する。しかし、これはコントラスト 100% のテストパターンを写したときの解像度であり、実際の被写体である II の像は高域におけるレスポンスが下がっているためこの値よりかなり悪くなる。図 5. は高性能 II と XT-1100 を組合せた高解像度 X 線テレビジョンの総合識別度を作図したものである。図において撮像管はスキャンサイズが 9.5×12.7 mm のときの特性であるが、X 線テレビジョンでは 9.5~15.0 mm \square の範囲で使用するためこれより改善される場合がある。総合特性の斜線領域はこの影響による幅であり、システムの識別度はこの範囲にある。図 6. は図 5. の結果と従来形の X 線テレビジョン及び II 間接の識別度を示した図で、XT-1100 を用いた高解像度形 XTV は従来形 XTV よりかなり改善され、ほぼ従来形 II 間接に匹敵する。ただし、図の XTV の特性は水平方向の識別度を表しており、垂直方向は破線で示した部分がそれぞれの限界識別度になる。

実際に島津製作所製 II と組合せて識別度を求めたところ、高解像度形 XTV は水平 16~17/垂直 13~14 lp/cm、従来形 XTV は水平 11/垂直 8 lp/cm で上記の作図結果とほぼ一致した。また、アルミニウ

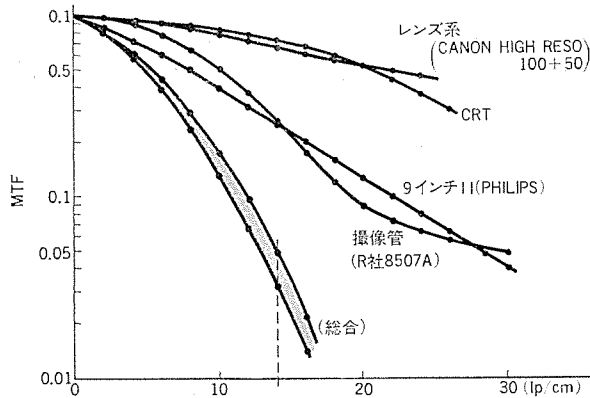


図 5. 総合特性 (高解像度形 XTV)

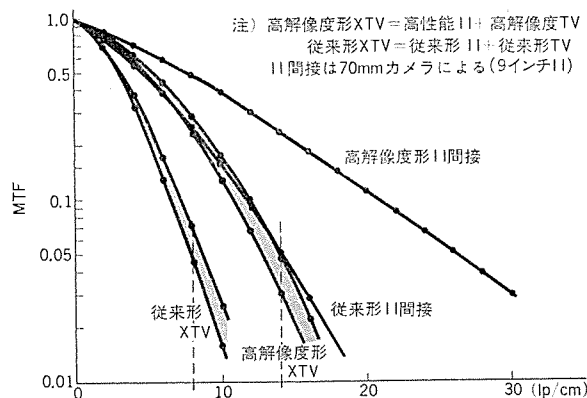


図 6. 総合特性 (XTV・II間接)

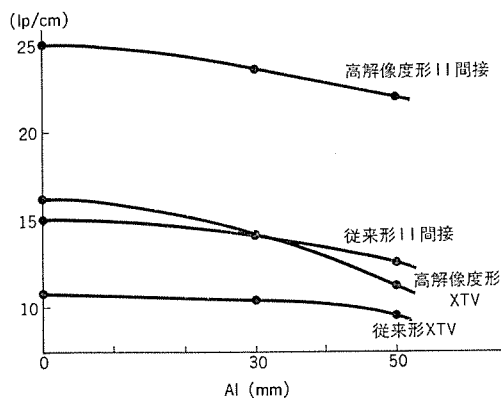


図 7. アルミニウム透過識別度

Alの板厚に対する識別度は図7.の特性が得られ、実験においても高解像度形XTVと従来形II間接はほぼ等しい結果が出た。ただし、像の鮮鋭度はアパーチャ補正などの効果により高解像度形XTVのほうが優れていた。図8.は臨床時のモニタ像の一例である。

以上はX線管焦点の大きさが影響しないII入力面での識別度を考えてきた。焦点が完全な点光源であれば拡大率に比例して識別度は向上するが、実際の焦点はある面積を有するため拡大率に比例したボケが発生する。

したがってIIやテレビジョンの個々の性能だけでなく焦点によるボケが識別度を制限しないようにすべきであり、そのためには0.1mm程度の微小焦点管と組合せることが望ましい。また、焦点の大きさ

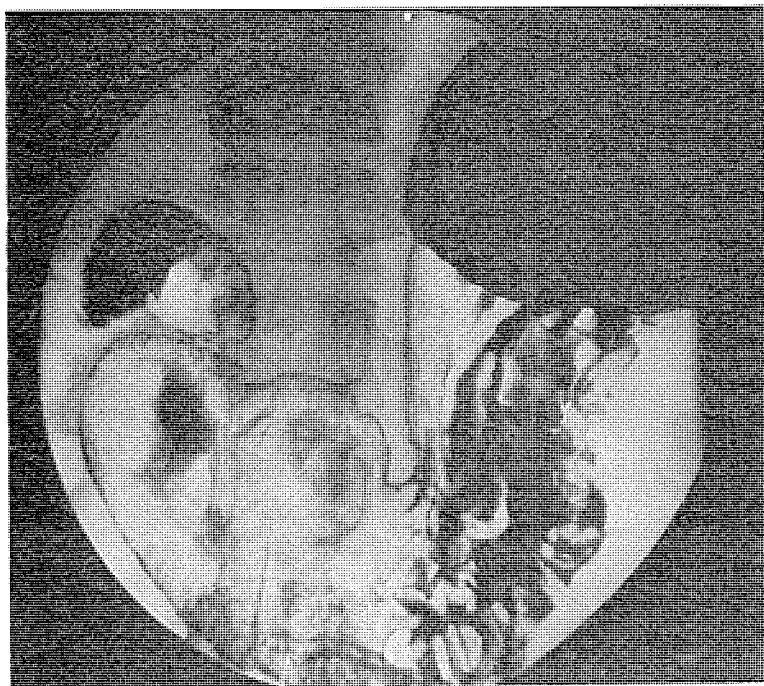


図 8. 臨床モニタ像 (名古屋市立大学病院)

は管電圧・管電流に依存し、微小焦点管であっても一般の透視条件では側峰が現れて公称寸法より横長の状態にあるといわれている。一般にテレビジョンは垂直より水平解像度が高いので、焦点の長手方向が走査線と直交するような配置で構成するとボケの影響が小さく、識別度が向上する。

5. む す び

最近、種々の分野から高解像度のテレビジョンを要求する声がある。X線医療の分野においても同様であるが、高性能IIの製品化によってその要求が本格化してきた。紹介したXT-1100シリーズはこのように動きに先駆けて製品化したものである。

装置は経済性を重視し、また従来形装置との関連を考慮して1インチ撮像管を使用したため解像度の点では中クラスに属するが、水平1,100~1,200/垂直650本の解像度を有し、またX線透視識別度も水平16~17/垂直13~14 lp/cmと従来形に比較して大幅に改善された。これは従来形のII間接にほぼ匹敵する画像をモニタ面で見ることができるようになったことを意味する。したがってXT-1100シリーズ高解像度テレビジョンを用いれば識別度の改善による診断検査の精度の向上だけでなく、直接撮影の一部をモニタ面間接に置きかえて被曝線量の軽減をはかることも期待できる。

終わりに、この装置の開発にあたってご指導、ご協力いただいた各病院及び(株)島津製作所の関係各位に心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 林：テレビジョン，28，No. 9，686 (昭49)
- (2) 岡本ほか：FUJITSU，24，No. 3，79 (昭48)
- (3) Electrical Performance Standards for High Resolution Monochrome Closed Circuit Television Camera
- (4) 坂井：テレビジョン，29，No. 8，648 (昭50)

スピーカーの駆動系による非直線ひずみの低減

土屋 英司*・岡田 将**・池田 英男**・野村 達衛***・佐伯 多門†

1. ま え が き

音響製品の性能向上には最近めざましいものがあり、これをひずみの低減という観点から眺めると、アンプ等ではひずみ率が0.1%以下というものも珍しくない⁽¹⁾。ピックアップやスピーカーは、アンプに比べればまだまだひずみが多いが、ここ数年、スピーカーの音圧周波数特性や過渡特性についての研究が進み、スピーカーのひずみはかなり改善されてきた。ここでは、スピーカーのひずみの発生機構とその低減対策について述べることにする。

スピーカーの音圧ひずみには、非直線ひずみ、過渡ひずみ、異常音等がある。ここで、過渡ひずみとは、スピーカーの電気系に対する振動系の動作の時間的な遅れが原因で、過渡的な電気信号が連続して入ってきたとき、振動系がこの入力に追従できず、前の信号による振動と次の信号による振動が重なり合って生じるひずみを指す。異常音とは、振動系のジリなどによって生じるものを言う⁽²⁾。本文においては、非直線ひずみを扱い、過渡ひずみ及び異常音にはふれない。

さて、非直線ひずみについて、その原因は振動系と駆動系の二つに分けられる。前者は、ダンパやエッジ等の支持機構及びコーンの機械的特性の非直線性から生じる。後者は、ボイスコイル近傍に存在する磁性材料の非直線な磁化特性や、ボイスコイルが置かれた空けき(隙)部分の磁束密度分布の不均一性に基づくものがある。本文では、この後者の、駆動系の非直線性に基づくひずみに着目し、ひずみの発生のメカニズムを明らかにし、かつ、このひずみを現在のスピーカーに比べ20dBすなわち1けた(桁)低下させた方法について言及する。この場合、音圧ひずみを扱うと振動系に起因するひずみが含まれて現象が複雑になるので、ひずみ発生のメカニズムを研究するに当たっては、もっぱら電流ひずみを扱って論議を進める。

駆動系の非直線によるひずみの低減については、既にいくつかの具体的な実施例がある^{(3)~(6)}。例えば、ボイスコイル近傍に磁気的異方性を持つ方向性けい素鋼の積層材を用いたり、銅のショートリングやキャップによってボイスコイルのインダクタンスを見掛け上低下させたりした例がある。これらのひずみ低減対策については、定性的な説明はされているが、定量的に扱ったものは見受けられない。

筆者らは、30cm口径のウーファのモデルを製作し、ボイスコイル近傍にヨーク部に用いた材料(SS-41)とは磁化特性が異なる磁性材料を用いたときのひずみ発生機構の追求を通じて、当社独自の手法による低ひずみスピーカーの実現に成功した。

2. 駆動系による非直線ひずみ

非直線ひずみは振動系及び駆動系の非直線性によって生じることは既述のとおりであるが、後者について、もっと立入って考えてみる。

内磁形のスピーカー構造を図1に示したが、このボイスコイルに正弦波電圧 e_{vc} を印加した時、次のような電圧の平衡式が成立つ。ここで、 R はボイスコイルの直流抵抗及びアンプ出力側の内部抵抗の和、

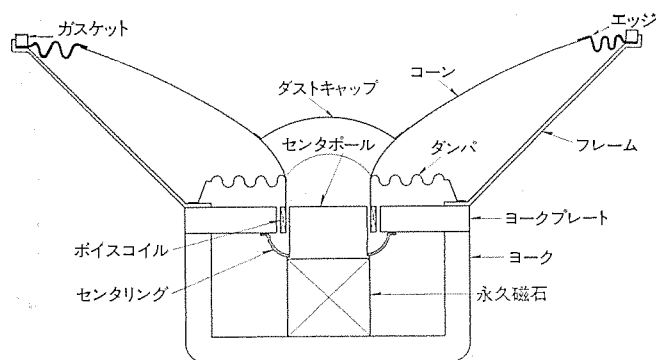


図1. スピーカーの構造

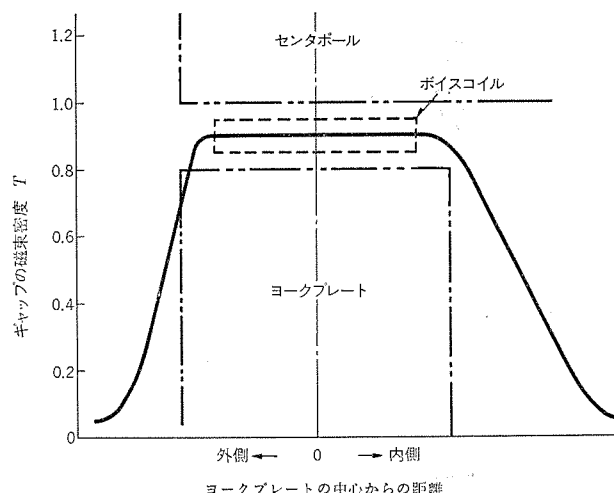


図2. 空隙の磁束密度の分布

i_{vc} はボイスコイルに流れる電流、 L はボイスコイルのインダクタンス、 B_g は空隙の磁束密度、 l はボイスコイルの等価長さ、 dx/dt はボイスコイルの振動速度である。

$$e_{vc} = Ri_{vc} + L \frac{di_{vc}}{dt} + B_g l \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

ボイスコイルが受ける力 F は式(2)で表される。

$$F = B_g l i_{vc} \quad (2)$$

駆動系によるひずみというのは、ボイスコイルを動かす力 F 、すなわち駆動力自体に基本波以外の成分が存在することによって生じるひずみである。駆動力 F にひずみを生じる原因は、式(2)から明らかに B_g あるいは i_{vc} がある。前者について、空隙中の磁束密度は普通図2.に示すような分布であるが、こうした分布では、ボイスコイルが動く範囲で磁束密度は一律でなくかつ対称でもない。そのため、ボイスコイルが内側に移動した時と外側に移動した時とでは、式(2)の B_g の値が異なり、駆動力にひずみを生じる。電流 i_{vc} にひずみを生じるのは、式(1)に示す L 、 B_g 及び dx/dt の非線形特性に起因する。 L はボイスコイル周辺の磁性体の非直線な磁化特性が、 B_g は既に述べたような磁束分布の不均一性が、また dx/dt は振動系の非直線性が関与している。

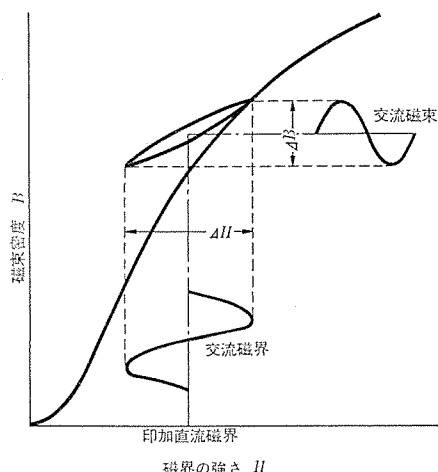


図 3. ボイスコイル 周辺にある磁性体の動作状態

次に、磁化特性の非直線性から生じるひずみについて考えてみよう。ボイスコイルの近傍にある磁性体は図 3. に示すような動作状態にある。すなわち、永久磁石による直流磁界によって、空隙中の磁束密度と同程度の直流磁束密度にプレートなどの磁性体は磁化されており、そこにボイスコイルに流れる信号電流に比例した交流磁界による交流磁束が重畳して通る。この交流磁界と交流磁束が描く軌跡は、軟鉄のような磁性体の場合には、図 3. に示すように、両者が直線比例の関係になくループを形成する。このループはマイナーループと呼ばれる。こうした状況下では、ボイスコイルに正弦波電圧を加え、仮に交流磁束が正弦波状に変化しても、交流磁界すなわちボイスコイルに流れる電流はひずみ波形となる。

dx/dt については、1 章に述べたように、今回は扱わないこととし、以下の章では、空隙の磁束分布の不均一性と磁性体の磁化特性の非直線性に基づくひずみの詳細について述べる。

3. 空隙部の磁束分布とそれによる電流ひずみ

空隙部の磁束密度の分布が、ボイスコイルの移動する範囲全体にわたっては均一でない場合、式 (1) の第 3 項に示したように、 B_0 に由来する逆起電力の非直線性が原因で電流がひずむ。駆動力が電流に比例しないことも式 (2) から理解できる。

こうした原因によるひずみを避けるため、スピーカーの基本設計においては、磁束分布が十分均一になるように留意し、ボイスコイルの幅も能率とひずみの両者を考慮して、適切に選ばれている。

ここでは、まずポール（プレート及びセンタポール）の形状、寸法及び材質を変数とし、特にポールの先端に磁性部材を取付けた場合、磁束分布に及ぼす影響を電算機により解析した結果について述べる。次いで、磁束分布が均一でない場合のひずみは、定量的にどのように表されるかについて検討する。

3.1 磁束分布の計算

図 1. に示したような、内磁形スピーカーの磁束分布を次のような仮定の下に解析した。計算に当たっては、磁性体の非線形な磁化特性を考慮し、有限要素法を用いた。

(1) 軸対称磁界問題とみなす。

(2) 永久磁石は軸方向に磁化され、磁化モーメントは一様である。軸対称でないヨーク部分に対して仮定 (1) が問題になるが、磁気飽和が発生していないので、この仮定の適用によって空隙部の磁束分布に大きな影響があるとは考えられない。また、仮定 (2) によって、

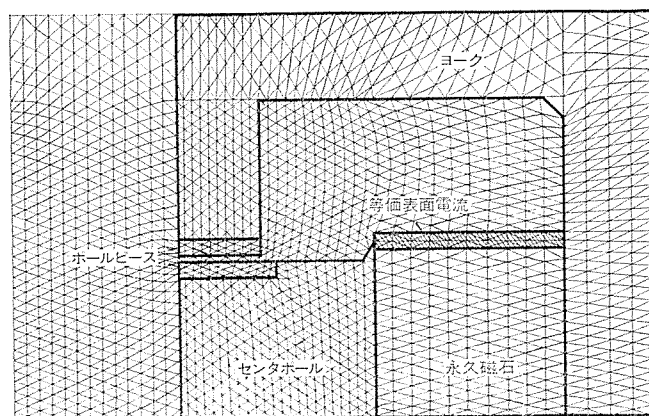


図 4. 磁気回路の要素分割例

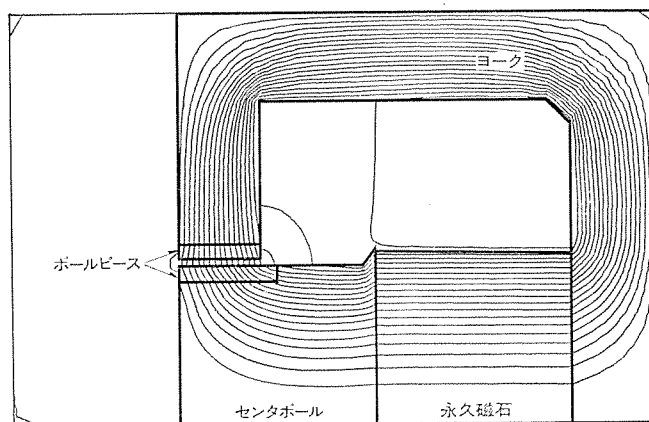


図 5. 磁束分布の解析結果

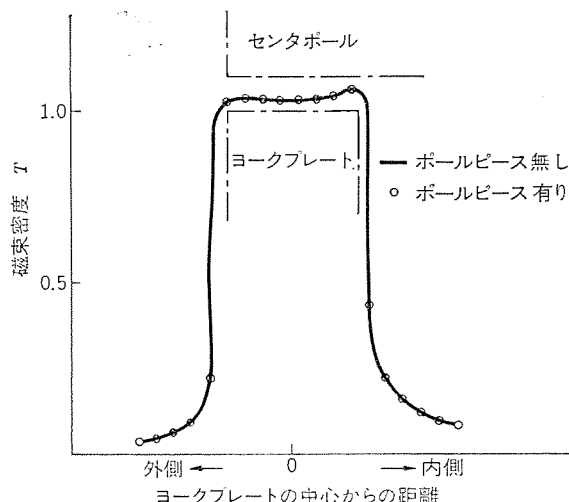


図 6. ポールピースの有無による磁束分布

永久磁石の起磁力は、磁石表面に等価表面電流をもって置き換えた。ゆえに、この場合の磁石の透磁率は真空の透磁率としている⁽⁷⁾。

有限要素法による磁界計算法⁽⁸⁾の詳細は省略するが、ここでは、三角形要素の頂点の磁気ベクトルポテンシャルを未知数として、磁界計算を行っている。要素分割の例を図 4. に示した。

起動力を表す等価表面電流は 0.955×10^6 A/m に選んだ。これは磁石の磁化モーメント 1.2 Tesla に対応させてある。ヨーク及びボイスコイル周辺に配置させた磁性材料の磁化特性は後述の 5.1 節で測定したものを用いた。

計算結果の内、磁束分布の解析結果の一例を図 5. に、また、図 6. に磁束密度の分布の計算例を示した。ボイスコイル周辺に、ヨークに用いた材料 (SS-41) と磁化特性が異なる材料を配置した場合としない場合とで、磁束密度の分布には有意な差は認められなかった。

3.2 ひずみの計算⁽¹⁾⁽⁹⁾

磁束分布が不均一な場合、電流ひずみがどのような形で表現できるかについて検討する。

電圧の平衡式は、式(3)のように書き直すことができる。ここで、 N はボイスコイルの巻数、 ϕ はボイスコイルに鎖交する交流磁束、 B_{ave} は空隙部の磁束分布にボイスコイルの長さを加味して定まる直流磁束分布である。

$$e_{VC} = R i_{VC} + N \frac{d\phi}{dt} + l \frac{d}{dt} (B_{ave} x) \quad (3)$$

ここで、 ϕ 及び B_{ave} を式(4)及び式(5)のようにおく。

$$\phi = a_1 i_{VC}^2 + a_2 i_{VC} + a_3 i_{VC} + a_4 \quad (4)$$

$$B_{ave} = b_1 x^2 + b_2 x + b_3 \quad (5)$$

ただし、 a_1, a_2, a_3, a_4 及び b_1, b_2, b_3 はそれぞれボイスコイルの電流及び変位の各項の係数である。

ボイスコイルの電流 i_{VC} と、ボイスコイルの変位 x に関して、4次以上の高調波を無視し、次のように表現する。

$$i_{VC} = I_1 \sin(\omega t + \theta_1) + I_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + I_3 \sin(3\omega t + \theta_3) \quad (6)$$

$$x = X_1 \sin(\omega t + \alpha_1) + X_2 \sin(2\omega t + \alpha_2) + X_3 \sin(3\omega t + \alpha_3) \quad (7)$$

ただし、 I_1, I_2, I_3 はそれぞれ電流の基本波、第2次高調波、第3次高調波成分を、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ はそれぞれ電流の各調波とボイスコイル印加電圧との位相差を、 X_1, X_2, X_3 はそれぞれ変位の基本波、第2次高調波、第3次高調波成分を、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ はそれぞれ変位の各調波とボイスコイル印加電圧との位相差を表す。

式(4)～(7)を式(3)に代入し、 $a_1 = a_3 = 0$ 、すなわち、ボイスコイルに鎖交する交流磁束がヒステリシスを有しない場合を考え、各調波における電流を求めると次のようになる。ここで、 E_1 はボイスコイル印加電圧の最大値である。

$$I_1 = \frac{E_1 \sin \omega t}{R \sin(\omega t + \theta_1) + N a_2 \omega \cos(\omega t + \theta_1)} \quad (8)$$

$$I_2 = \frac{-l \omega b_2 X_1^2 \sin(2\omega t + 2\alpha_1)}{R \sin(2\omega t + \theta_2) + 2 N a_2 \omega \cos(2\omega t + \theta_2)} \quad (9)$$

$$I_3 = \frac{3/4 \cdot l \omega b_1 X_1^3 \cos(3\omega t + \alpha_1)}{R \sin(3\omega t + \theta_3) + 3 N a_2 \omega \cos(3\omega t + \theta_3)} \quad (10)$$

直流磁束の分布が、ボイスコイルの動く範囲では一様であれば、式(5)において、 $b_1 = b_2 = 0$ となり、ここからの電流ひずみは生じない。実際には、磁束分布が一様でないため b_1 が有限の値をとって第3次高調波が生じ、磁束分布が非対称なため b_2 が大きくなり第2次高調波が生じる。

ここで検討したひずみと、4章に述べる磁化特性の非直線性によるひずみとが加わって、実際の電流ひずみが現れる。なお、この章での検討に当たっては、ボイスコイルの運動方程式をとり入れて高精度な計算も考えられるが、ひずみの生じる概念に一応の理解を得るにとどめた。

4. 磁化特性の非直線性によるひずみ

2章に述べたように、ボイスコイルから発生する交流磁束が空間及び磁性体中を通るが、この磁性体の磁化特性が非直線性を持つためにひずみが生じる。このひずみを低減するためには、交流磁束が磁性体を通して通らないようにするか、磁束が通ってもその影響をできるだけ少なくするかの2通りに分けられる。ここでは、後者の立場に立っての検討結果について述べる。

この問題を検討するに当たっては、ボイスコイルの作る磁束が磁性体

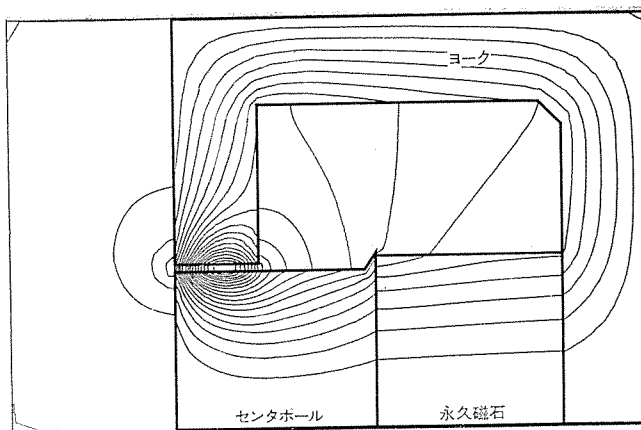


図 7. ボイスコイルによる磁束の分布

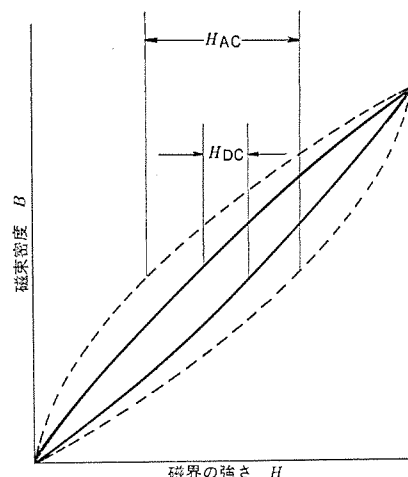


図 8. 直流と交流のマイナーループ

中をどれだけ通るか、磁束が通った時、電流ひずみがどのような形で表現できるかの2点が問題になる。

4.1 ボイスコイルが作る磁束の分布

ボイスコイルの電流が作る磁束分布を、静磁界について近似計算した結果について述べる。磁性体内のうず電流は無視し、永久磁石の特性は動作点付近のマイナーループの透磁率を入れて表した。

永久磁石の比透磁率を6.0とし、それ以外の磁性体の比透磁率を1,000とした時の磁束分布の計算例を図7.に示した。この図から、ボイスコイル周辺の磁極表面付近数ミリメートルの厚さに磁束が集中していることが分かる。今回は、うず電流を無視したが、実際には、磁性体内のうず電流の作用により、磁束は更に表面に集中すると考えられる。

4.2 磁化特性の非直線性によるひずみの表現

ボイスコイルが作る磁束が磁性体中を通るとき、磁界(電流)と磁束(電圧)は図8.に示すような非直線性を持ったマイナーループを描く。ただし、同図で H_{DC} は直流で測定した時のマイナーループの幅、 H_{AC} は交流で測定した時のマイナーループの幅を表す。この直流で測定したマイナーループの上昇側あるいは下降側の磁束密度と磁界の強さの関係を式(11)で与える。ただし、 a, b, c は磁束密度の各項の係数である。

$$H = aB^3 + bB^2 + cB \quad (11)$$

うず電流の影響を受けない程度の周波数で、磁束が正弦波的に変化していると仮定すると、磁束密度は式(12)で表される。

$$B = B_m \sin \omega t \quad (12)$$

ただし、 B_m は磁束密度の最大値である。

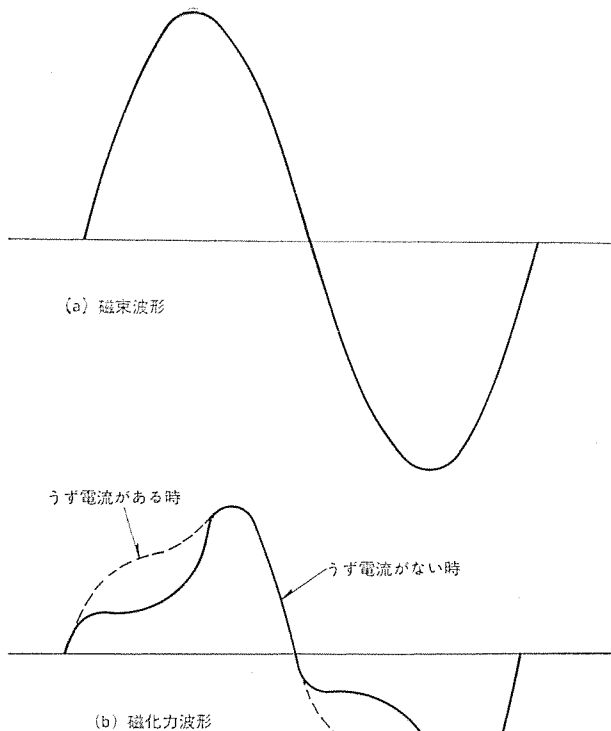


図 9. うず電流による波形の変化

上述の仮定により、この場合のマイナールーは直流で測定したときと同一であるから、式(12)を式(11)に代入すると、式(13)が得られる。

$$H = -\frac{a}{4}B_m^3 \sin 3\omega t - \frac{b}{2}B_m^2 \cos 2\omega t + \left(\frac{3a}{4}B_m^3 + cB_m\right) \sin \omega t + \frac{b}{2}B_m^2 \quad (13)$$

ここで、磁界の強さの第2次及び第3次高調波と基本波の比をそれぞれ2次及び3次ひずみと呼び、対数表示をとって H_{2nd} 及び H_{3rd} として表すと、式(14)及び式(15)が得られる。

$$H_{2nd} = 20 \log \left| \frac{b}{2c} B_m^2 \right| \quad (14)$$

$$H_{3rd} = 20 \log \left| \frac{a}{4c} B_m^3 \right| \quad (15)$$

次に、周波数が高くなり、うず電流の影響が現れてきた場合を考える。磁束正弦波条件における磁束波形と電流波形の関係を図9に示すが、周波数が高くなって生じるうず電流は磁化の時間変化に比例し⁽¹⁰⁾、電流波形は図9に破線で示したように、波形の平たんな部分(図8の H_{DC} 付近に相当)が少なくなり、正弦波に近づく。したがって、うず電流が流れると、ひずみは低減し、これを式(14)及び式(15)に加えて考える必要がある。

$$(\text{うず電流}) \doteq 20 \log H_{DC}/H_{AC} \quad (16)$$

ここまでの考えは、ボイスコイルによる磁束が鎖交する磁性体内部についてのみ論議を進めてきたが、実際のスピーカーにおいては、ボイスコイルが作る磁界 H_{VC} はすべてが磁性体にかかるのではなく、空間と磁性体の両者に配分されるので、この配分比率も考慮する必要がある。空気は磁氣的には線形であり、ボイスコイルによる磁界の内、実際にひずむのは、磁性体中の磁界 H_{iron} だけであり、この配分比率

は近似的に式(17)で表される。

$$(\text{磁化力の配分}) \doteq 20 \log H_{iron}/H_{VC} \quad (17)$$

これらを総合すると、結局、電流の2次及び3次ひずみは式(18)及び式(19)で表される。

$$I_{2nd} = 20 \log \left| \frac{b}{2c} B_m^2 \right| + 20 \log \frac{H_{DC}}{H_{AC}} + 20 \log \frac{H_{iron}}{H_{VC}} \quad (18)$$

$$I_{3rd} = 20 \log \left| \frac{a}{4c} B_m^3 \right| + 20 \log \frac{H_{DC}}{H_{AC}} + 20 \log \frac{H_{iron}}{H_{VC}} \quad (19)$$

この2つの式によって、磁化特性の非直線性に基づく電流ひずみが計算できる。

5. 実験結果とその考察

駆動系の非直線性に基づくひずみについて、4章までにおいて理論的な展開を行ってきたが、ここで、理論と実測との対応について調べることにした。

5.1 空隙の磁束分布の不均一によるひずみ

直流磁束の分布や、ボイスコイルの変位についての実測データに基づき、式(8)～(10)を用いて各調波成分を計算し、第2次及び第3次高調

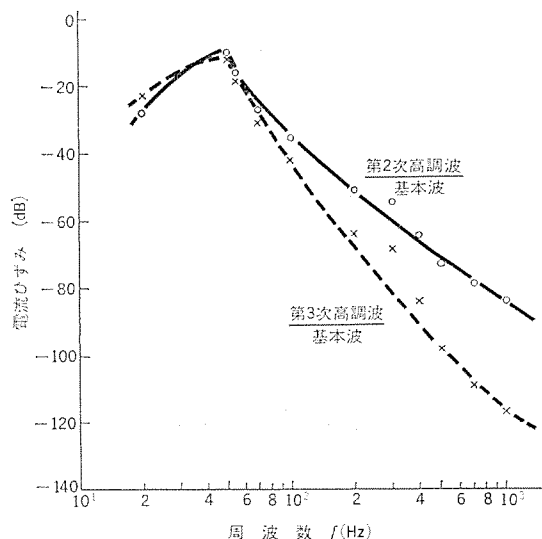


図 10. 磁束分布の不均一によるひずみ

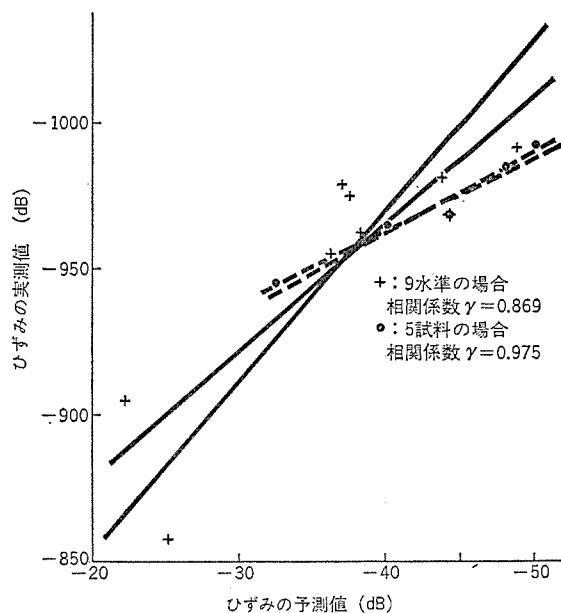


図 11. ひずみの予測値と実測値の比較

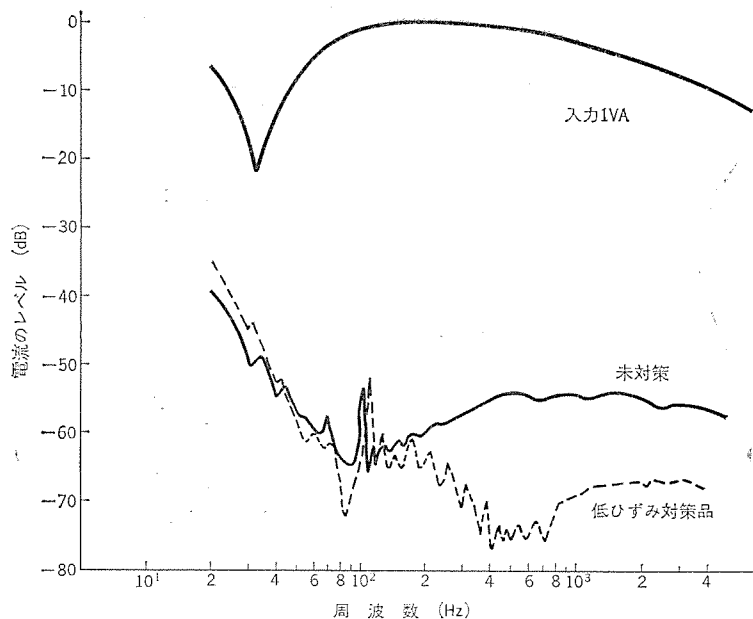


図 12. スピーカーの3次ひずみの比較

波と基本波との比を図 10. に示した。同図から、ボイスコイルの変位が大きい低周波領域において、ひずみ成分が大きくなることが分かる。この領域では、振動系の非直線性によるひずみもまた大きくなるので、この領域での電流ひずみは複雑な様相を示す。しかし、3. 2 節でも述べたように、磁束分布を均一にすれば、電流ひずみを低減できるので、磁束分布を均一にする方法について、2, 3 のアイデアを実用新案として出願中である。

5. 2 磁化特性の非直線性によるひずみ

ボイスコイルから発生する磁束が、磁気回路の各部へどれくらい鎖交するかについては 4. 1 節に述べたが、磁路の各部にサーチコイルを巻いて実測も行った。その結果、ボイスコイルの周辺に大部分の磁束が鎖交し、ヨーク部にまで回り込む磁束はただか 10 % 程度であることが実測からも確かめられた。

次に、電流ひずみを実測できるようにしたモデル磁路を作り、センタポールとヨークレートの両方のボイスコイル周辺部分に、素材及び形状の異なる 9 水準の磁性体のリングをそう(挿)入し、電流ひずみを測定するとともに、これら磁性体の磁化曲線及びマイナーループを測定し、式(11)及び式(19)によって、ひずみの予測値を計算した。

電流ひずみの測定値は、周波数によって複雑に変化しているのていま 20~4,000 Hz の間、16 点の周波数におけるひずみの値を総計して表現することとし、実測結果と計算結果の対応を図 11. に示した。実測値と計算値との相関係数は $\gamma=0.869$ で、1 % の危険率で相関があると言える。この結果から、4. 2 節に示した電流ひずみの予測式の精度はかなりよいことが確認できた。

磁性体のマイナーループを線形化すれば、式(11)で a, b が小さくなり、式(18), (19)の第 1 項が小さくなる。また、磁化曲線の立上がりをよくし動作直流磁束密度での透磁率を高くすれば、両式の第 3 項が小さくなる。したがって、磁性体のマイナーループを線形化し、透磁率を高くすれば、電流ひずみを低減することが可能であると 4. 2 節の式から考察される。

上述の考察に基づき、ニッケル鉄合金を用いて、適当な加工と熱処理により低ひずみ化が可能な磁性体を作り、これを交えた磁性体について、量産時の形状に仕上げ、電流ひずみの実測及び予測をし、その結果を図 11. に併示した。これらの 5 試料の電流ひずみの実測

値と予測値の相関係数は $\gamma=0.975$ であり、この場合には、形状の違いによる誤差が生じないため、予測式の精度は更によりことが分かる。また、スピーカーの低ひずみ化についても十分な指針が得られた。

これまでの理論的考察とモデル実験により、低ひずみ化に必要な特性が明らかになったので、量産性を考慮した加工と熱処理を冶金的に考察し⁽¹⁰⁾、マイナーループが線形であり、かつ、透磁率の高い磁性体の作製に成功した。この磁性体を用い、25 cm 口径のウーファーによる電流ひずみの測定結果を図 12. に示した。簡単な構造で、非常に低ひずみのスピーカーが得られる。

本文におけるひずみの低減方法は、磁化特性から理論的に電流ひずみを予測し、低ひずみ化に必要な磁性体を冶金学的考察に基づき実現したものである。この方法に用いた材料と処理法はこれまでの低ひずみ化には使用されておらず当社独自の方法と思われる、現在特許出願中である。

6. む す び

スピーカーの性能向上を意図し、駆動系による非直線ひずみの発生機構と、ひずみ低減の具体策について検討した。それらの結果を要約すると次のようになる。

- (1) 空隙中の直流磁束分布を、有限要素法により計算するとともに、この磁束分布の不均一性によって生じる電流ひずみを計算した一例を示した。
- (2) ボイスコイルから発生する磁束が、その周辺の磁性体に鎖交する様子を、有限要素法により計算できるようにした。
- (3) ボイスコイルの周辺にある磁性体の磁化特性の非直線性に基づく電流ひずみを計算する式を考え、この式と電流ひずみの実測値との間により対応が認められた。
- (4) 磁化特性の非直線性に基づく電流ひずみを低減する望ましい磁性体の特性を冶金的に実現し、この材料を用いてスピーカーを製作したところ、非常に低ひずみのスピーカーが得られた。

この研究開発に当たって、郡山及び相模製作所の関係各位に協力を得たことを付記する。

(昭和 51-8-3 受付)

参 考 文 献

- (1) 例えば、DIATONE INTEGRATED AMPLIFIER DA-U 750
- (2) 吉久信幸：スピーカー，理工研究社（昭 48）
- (3) 小岩ほか：スピーカーの非直線歪（その 2），電気音響研究会資料，EA 71-8（昭 46-7）
- (4) 川上ほか：スピーカーの駆動系のひずみの改善，電気音響研究会資料，EA 71-9（昭 46-7）
- (5) 後藤ほか：低ひずみダイナミックスピーカー，電気音響研究会資料，EA 72-21（昭 47-12）
- (6) 中国ほか：新磁気回路 SLC について，ラジオ技術，JAN.（昭 48）
- (7) 竹山：電磁気学現象理論，p. 259，丸善（昭 25）
- (8) P. Silvester, et al. : IEEE, Trans. Power Apparatus Syst. PAS-89, p. 1,642 (1970)
- (9) W. J. Cunningham : Non-Linear Distortion in Dynamic Loudspeaker due to Magnetic Effects, The Jour. of the Acous. Soci. of Ame. 21, No. 3, May (1949)
- (10) 近角：強磁性体の物理，裳華房（昭 34）

最近の大形変圧器技術開発(I)―絶縁, 磁界, 漂遊損, 温度上昇, 油流―

田村良平*・清水英範*・平井正好*・渡辺次男*

1. ま え が き

電力系統・電気所単位が、大規模・大容量・高電圧化され、大容量火力・原子力発電所、揚水発電所がか(稼)動し、全国的に500kV送電系統が運転・整備されつつある。その主要機器である変圧器は、大容量・高電圧化が急速に進み、1,000ないし500MVAの500kV変圧器が運転されるに至った。近年、この飛躍的な傾向は、かつ(刮)目に値し、その間、当社の機器生産に関する設備・体制は、着実に整えられてきた。

昭和47年に新鋭大形変圧器専門の赤穂工場が稼動して以来、幾多の注目すべき変圧器が製作された。特に、最近の記録的な製品をあげると、東京電力(株)袖ヶ浦発電所納め500kV 1,100MVA変圧器、関西電力(株)大飯発電所納め500kV 1,240MVA変圧器、東京電力(株)房総変電所納め500kV 1,500/3MVA変圧器などがある。これらは、長年つちかわれた当社技術開発力の結実であり、実器を製作する前に先行試作器を製作して徹底的に検証試験を実施し、その機能あるいは裕度、信頼性を確認の上、納入された。表1に、近年実施した実器検証試験の一覧表を示す。

これらの背景には、たゆまぬ基礎的あるいは周辺技術力のかん(函)養・蓄積、及びその応用が必ず(須)の条件であり、輝かしい記録品製作の背後に、過去の実績や経験に頼らない、部内の地道な研究開発の積み上げがあることを看過してはならない。

当社は、つと(夙)に今日及び将来を見越し、大形高電圧変圧器の開発に対する技術者・設備の両面について完べきの態勢を整え、赤穂工場内はもちろん、中央研究所・生産技術研究所と強力な協同研究プロジェクトを組み、開発部門において鋭意開発に専念し、なお今後の技術改善に即応しようとしている。

当社の外鉄形大容量高電圧変圧器の研究開発の現状を2編に分けて紹介することにし、本稿では、電磁界、絶縁、漂遊損、温度上昇、及び油流に関し、諸現象解明の基礎研究、モデル試験、更に実規模での検証試験につき、関連する計測関係の技術開発を含めて紹介する。

2. 絶 縁 開 発

高電圧変圧器製作上の問題点は、言うまでもなく、信頼性の高い合理的な絶縁設計であり、それは、決して短時日のうちに達成されるものではなく、基礎的な理論解析及び実験と、豊富な変圧器製作経験とをもとに、長期的な周到な開発計画に従って試作試験を重ねる必要がある。現在、当社においては、超々高圧絶縁の標準が確立されて多数の超々高圧変圧器が製作されているが、より高い信頼度を目指した、絶縁構造の検討、及び将来の1,000kV級UHV送電に備えた開発試験を実施している。

2.1 理論解析と基礎実験

合理的な絶縁構造を検討するには、複雑な電極構成や複合絶縁構成における電界計算、インパルス印加時の巻線内電位分布計算等の解析

手法の確立、及び油中絶縁破壊のメカニズムを解明するための基礎実験が必要である。

2.1.1 電界解析

電子計算機を用いた数値解析手法として、差分法・有限要素法・表面電荷法による2次元及び軸対称のプログラムを開発するとともに、抵抗紙による電界模写技術を確立し、これらを用いて静電板・コイル端部・リード等の電界集中部の状況を詳細に調べ、最適な絶縁構成を決めている。更に、リード・油中シールド部などの3次元解析を必要とする部分の電界解析には、静電探針法を応用するとともに、数値解析法についても検討を進めている。図1に抵抗紙模写によって求めた、コイル近傍の電界の一例を示す。

2.1.2 電位振動解析

雷及び開閉インパルス印加時の巻線内電位振動及び移行電圧の計算については、逐次積分法及び基準振動法による数値解析プログラムを開発し、実器設計に適用して合理的な絶縁設計を行うのに大きく寄与している。巻線内電位振動の計算値と実測値との一例を図2に示す。

2.1.3 油中絶縁破壊

油中の絶縁破壊に関しては、その破壊に及ぼす要因が多いため、まだ統一的に定式化された破壊理論が確立されていない。この点を解明する一つの手法として、油中の絶縁破壊前駆電流を観察し、破壊電圧と前駆電流との関係について研究している⁽¹⁾。図3にAC破壊時の破壊前駆電流の一例を示す。また、油中絶縁に関する基礎研究の一環として、電気学会高電圧試験常置専門委員会での共同研究

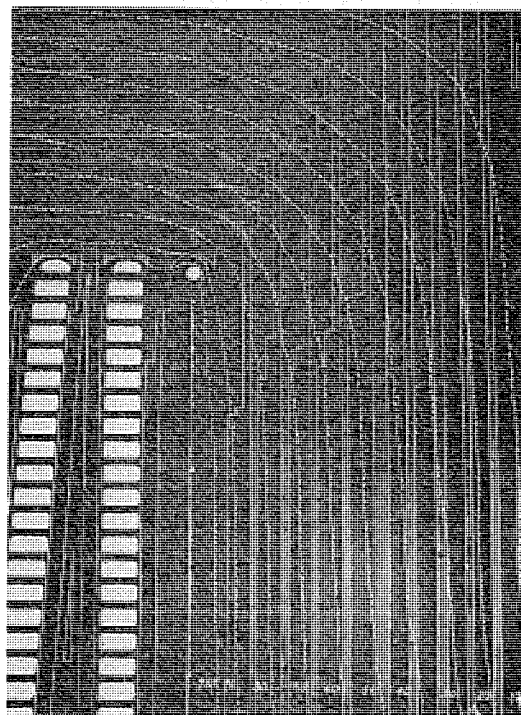


図1. コイル近傍の電界計算例(抵抗紙模写法)

* 伊丹製作所

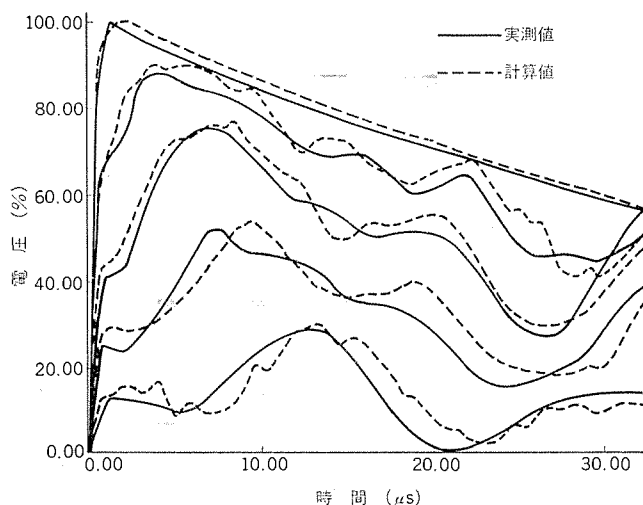


図 2. 電位振動計算例

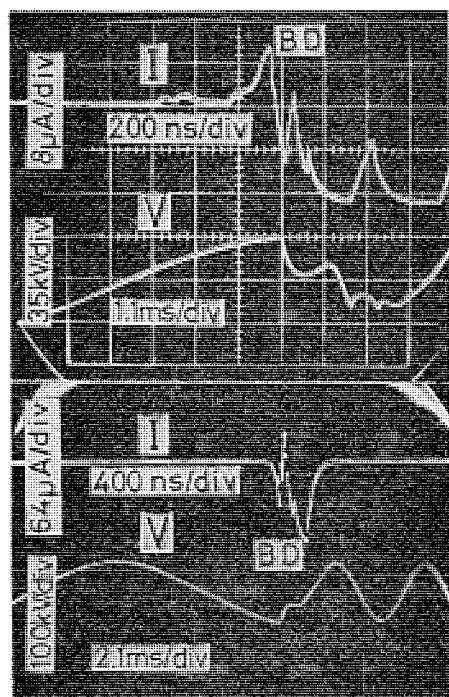


図 3. AC の破壊前駆電流

である、AC における油の $V-t$ 特性試験を実施した。

2. 1. 4 インパルス計測

高電圧計測技術として、高電圧高速度現象を忠実に計測するため、最近進歩の著しいオプトエレクトロニクスを応用した 2,000 kV 用光分圧器を開発した⁽²⁾。

2. 2 モデル試験及び実器検証試験

信頼性の高い合理的な絶縁構造を開発するには、基礎的な理論検証と実験とだけでは不十分であり、特に超々高圧絶縁では絶縁耐力だけでなく、部分放電による絶縁劣化が問題になる。したがって、設計・製作・試験とあらゆる面について検討する必要がある。当社では、昭和 33 年より超々高圧絶縁の開発に着

手し、多数の実物大絶縁モデルによる試験を繰り返した結果、従来の絶縁構造に改良を加えた E 形絶縁を完成するとともに、絶縁加工及び組立て等の工作技術、作業環境、油処理・乾燥などの工作面での改善を行った。

また、AC 1,650 kV 試験用変圧器、4,000 kV 衝撃電圧発生装置等の絶縁試験設備を備えた IVG ホール、及び新設の開発試験とう(棟)を使用して絶縁開発試験を鋭意実施している。

2. 2. 1 モデル試験

絶縁モデル試験に際しては、絶縁耐力だけではなく、長時間にわたる過電圧試験等の過酷な条件のもとでの試験を繰り返すとともに、部分放電に関しては、耐圧時の連続測定、放電箇所の追求等を行い、絶縁裕度・信頼性等を十分に確認している。図 4. に、AC 1,100 kV 印加時の 500 kV モデル変圧器の試験状況を示す。

また、巻線部以外についても、リード絶縁・ブッシング等をそれぞれモデルによって試験を実施し、設計標準を決めている。

2. 2. 2 実器による検証

500 kV 変圧器については、表 1. に示すように、発電用・変電用のいずれについても、実器と同一設計・構造の実証器を製作し、製品で行われている絶縁試験に加えて 120～140 % の誘導過電圧及び雷インパルス試験を実施し、実器においても絶縁裕度のある、信頼性の高い絶縁構造であることを立証した。図 5. に 500 kV 1,240/3 MV A 実証器を示す。



図 4. 500 kV モデル変圧器過電圧試験状況 (AC 1,100 kV 印加時)

表 1. 実証試験実施状況

		実 証 試 験	製作年	備 考
1	変電用変圧器	500 kV 1,000/3 MVA 単巻	1970	東電浜橋 S/S 向け変圧器
2	"	500 kV 1,000/6 MVA 単巻	1973	関電猪名川 S/S 向け変圧器 1/2 相
3	発電用変圧器	500 kV 1,240/3 MVA	1975	関電大阪 P/S 向け変圧器 1 相
4	"	500 kV 1,100/3 MVA	1974	東電袖ヶ浦 P/S 向け変圧器 1 相
5	"	275 kV 1,200/12 MVA	1975	原電東海 P/S 向け変圧器 1/4 相
6	"	275 kV 660/3 MVA×3 台	1973	600 MVA 級発電所用変圧器 1 相×3 (絶縁検証用、温度上昇検証用、短絡強度検証用)
7	大電流端子部	40 kA 級変圧器抵圧端子部 GMCS 組合せ試験	1974	1,000 MVA 級発電所用変圧器抵圧端子部
8	エレファントブッシング	500 kV エレファントブッシング・ケーブル組合せ試験	1974	500 kV エレファント接続部絶縁検証
9	直列コンデンサ	500 kV 直列コンデンサモデル	1974	500 kV 大容量長距離送電用直列コンデンサ

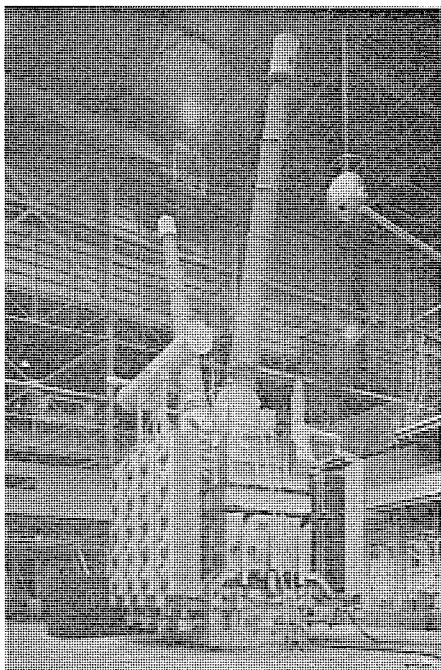


図 5. 500 kV 1,240/3-MVA 実証器

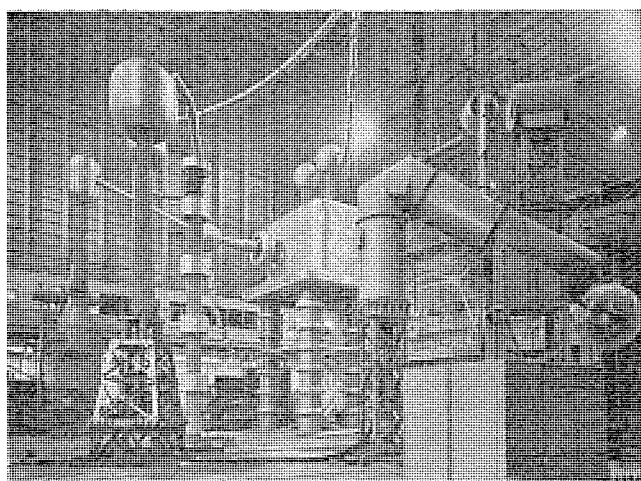


図 6. 500 kV エレファントブッシング・ケーブル 組合せ試験

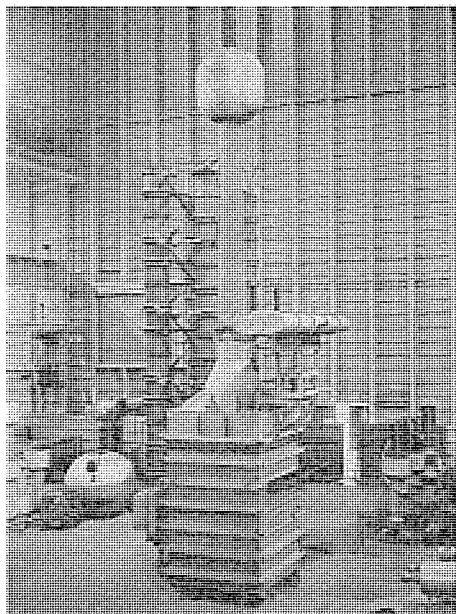


図 7. 500 kV 直列 コンデンサモデル

また、500 kV エレファントブッシングに関しては、図 6. に示すように、ケーブル との組合せ状態での実証試験を実施した。

また、外鉄形変圧器絶縁技術を応用して開発した タンク 形 500 kV 直列 コンデンサ を図 7. に示す。

3. 磁界及び漂遊損解析

大容量変圧器では、漏れ磁束によって巻線・タンク、その他の構造物に発生する漂遊損のは(把)握と、その低減対策が、局部過熱を防止して信頼性の高い製品を製作する上で重要な技術課題になる。当社では、変圧器の磁界・漂遊損問題に関し、多くの実験と理論解析とによる基礎研究を進めると同時に、実規模モデル変圧器によって理論解析の精度、及び実器の信頼性の検証を行っている。

3.1 漏れ磁界解析

3.1.1 2次元数値解析

巻線電流による漏れ磁界の把握は、巻線やタンクに発生する漂遊損失を推定し、その低減対策を検討する基礎になる。このため、当社では、早くから変圧器漏れ磁界解析の基礎的研究に着手し、映像法・フーリエ展開法などによる解析解法、差分法・有限要素法・積分方程式法などによる数値解法などの2次元磁界解析の手法を確立し、電子計算機による変圧器漏れ磁界計算プログラムを作成して設計検討に使用している⁽³⁾。図 8. は、巻線内漏れ磁界分布の計算例である。

3.1.2 3次元数値解析

変圧器の漏れ磁界の解析には、一般に2次元解析が行われている。コイル曲り部などの、厳密には2次元解析の適用できない部分については、モデル変圧器による、巻線内漏れ磁界の測定結果などの実験データに基づいて2次元計算から推定していたが、変圧器の大容量化により、更にはん(汎)用性の高い数値解析法の開発が要求されてきた。このため、中央研究所と共同で3次元磁界解析に着手し、積分方程式法を基礎にした、新しい方法による3次元磁界解析プログラムを開発した⁽⁴⁾。これは、鉄心表面に等価磁荷分布を仮定して数値計算を行うもので、差分法・有限要素法などの微分形解法が、全領域の要素分割を必要とするのに対し、鉄心長面だけの分割でよいため、計算サイズを大幅に縮小することができ、従来、実用的な規模の計算が困難とされていた、本格的な3次元計算が初めて可能になった。図 9. に計算例を示す。

3.1.3 抵抗紙模写

抵抗紙によるアナログ解析は、複雑な形状を忠実にフォローできる特長があり、電子計算機による数値解析の進歩した現在においても、なお有力な解析手段である。当社では、早くからアナログ解析の有用

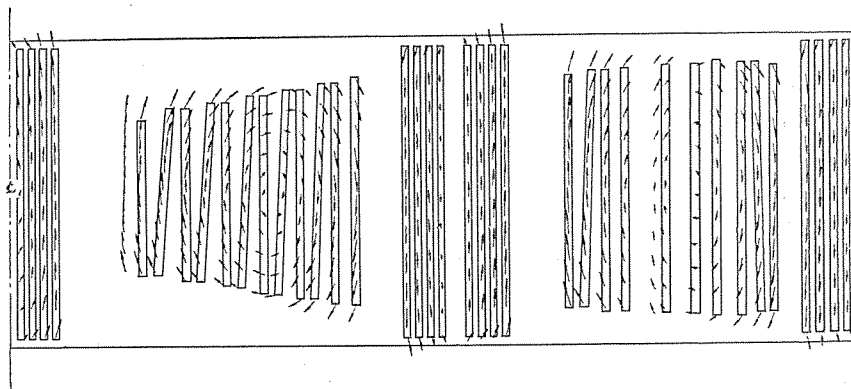


図 8. 巻線内漏れ磁束分布計算例

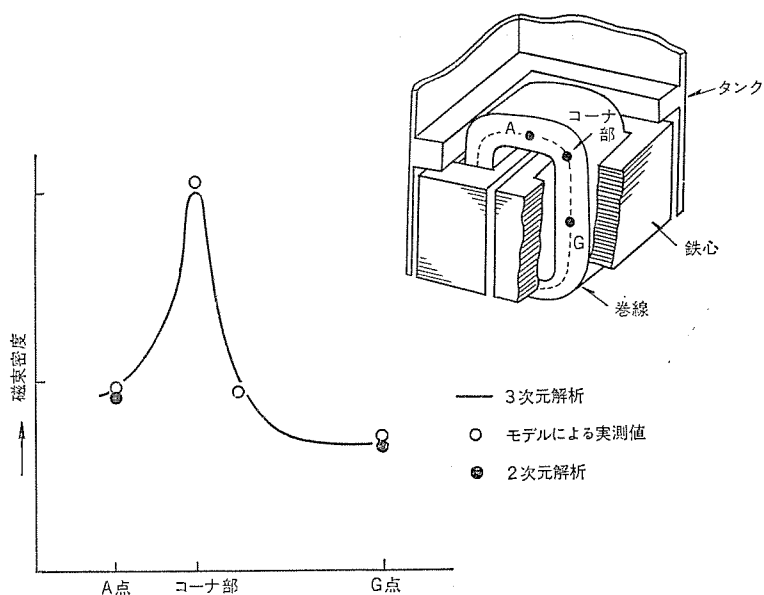


図 9. 外鉄形変圧器の3次元磁界解析

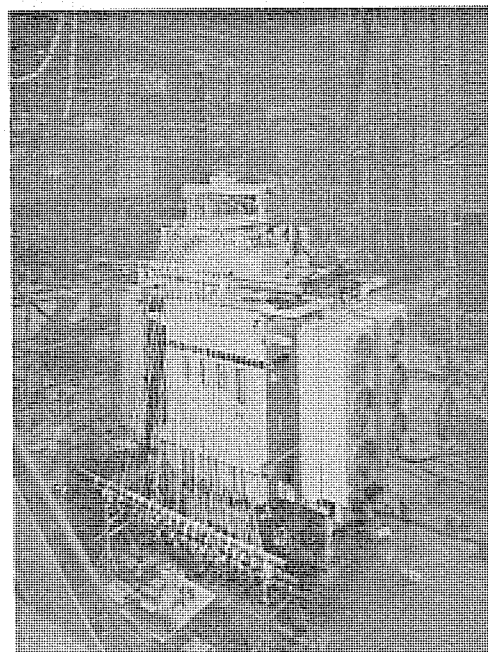


図 11. 275 kV 1,000 MVA 級, 1/2 相, モデル変圧器

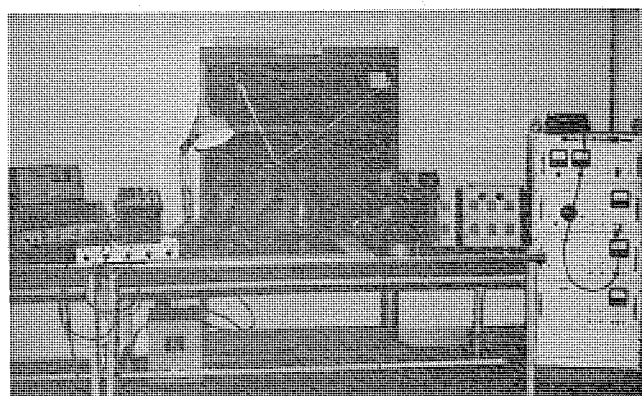


図 10. 抵抗紙模写解析装置

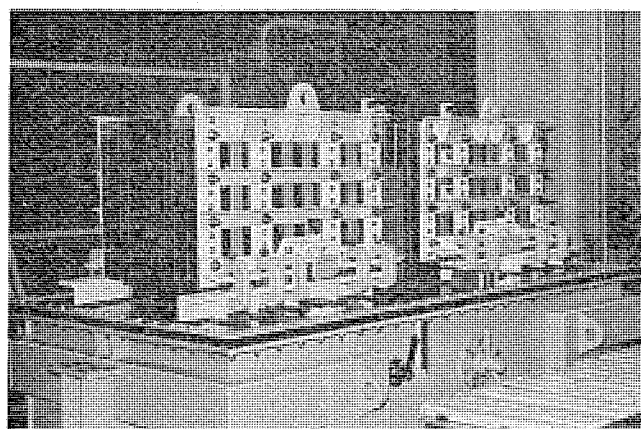


図 12. 磁界発生装置

性に着目し、抵抗紙による模写技術に関する独自の技術開発を行っており、誘導又は透磁率の異なる媒質を含む静電界・静磁界解析はもちろん、変圧器タンクのうず電流などの、鉄体を含むうず流場の模写、コイル温度上昇解析などの熱伝導現象の模写などの広い分野に活用している。

また、このようなアナログ解析を迅速かつ高精度に行えるように、図 10. に示す模写装置を開発し、こう(恒)温・恒湿の測定室に設置して使用している。

3. 1. 4 モデル及び実器による測定

製品の設計に当たっては、上記の各種の手法によって変圧器内部の磁界を解析し、局部過熱を防止するための詳細な検討を行っているが、このような理論解析の妥当性を検証し、実器の信頼性を確認するため、モデル変圧器及び実器による測定を行っている。モデル変圧器としては、図 11. に示す 275 kV 1,000 MVA 変圧器の 1/2 相を製作し、1,000 点を超えるサーチコイルによって全負荷電流通電中の巻線内部や電磁シールド中の磁界分布を詳細に測定した。また、275 kV 660/3 MVA 実証器、500 kV 1,240/3 MVA 実証器などについても、同様な磁界分布測定を実施した。

このような試験により、外鉄形変圧器では、水平・垂直断面内の漏れ磁界は、2次元計算によれば、十分な精度が得られることが確認され、また、巻線のコーナ部などについては、3次元解析の結果

が、実測値とよく一致していることが確認された。

3. 2 漂遊損解析

3. 2. 1 コイル漂遊損解析

漏れ磁界による、コイル導体内のうず電流損については、上記の磁界解析を基礎にしたコイル漂遊損計算プログラムによってコイル各部の損失分布を求め、過大な損失を発生しないように適切な対策を施している。また、コイル導体接続部などのうず電流損については、図 12. に示す磁界発生装置によって実物大資料に磁界を印加して発生損失を測定し、基礎データを蓄積するとともに、理論計算値に対する補正係数を導いて設計検討に使用している。

3. 2. 2 構造物漂遊損解析

変圧器のタンク、その他の構造物に発生する漂遊損の解析は、鋼板の磁気特性の非線形性や、対象になる構造物の配置・形状が多様であることなどの問題から、厳密な数値解析は困難である。しかし、2次元うず流場については、有限要素法及び積分方程式法による数値解析プログラムや、抵抗紙によるアナログ解析手法の開発により、鉄体を含むうず流場の解析が可能になっており、2次元計算結果をモデル実験及び実規模モデル実験などのデータに基づいて補正することによ

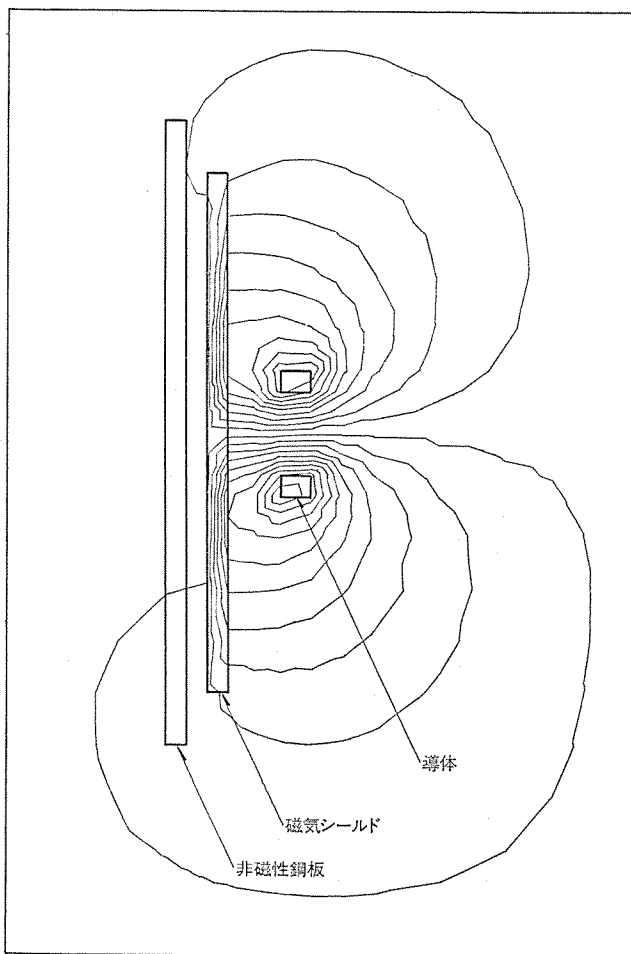


図 13. 有限要素法によるレーザー近傍のタンクのうず電流解析

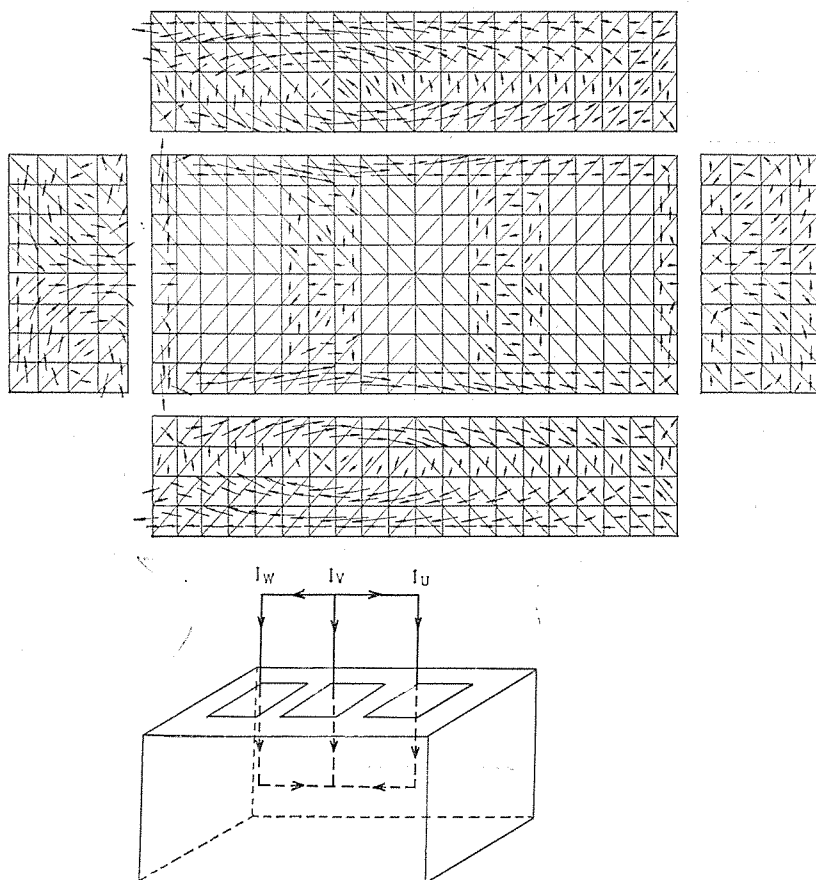


図 14. 有限要素法による非磁性タンクのうず電流解析

り、実器の漂遊損対策に活用している。図 13. は有限要素法によるタンクうず電流解析の一例である。

また、従来、数値解析が困難とされてきた立体的な任意形状の非磁性構造物の反作用磁界を含むうず電流について、有限要素法による解析プログラムを開発し、静電板や非磁性銅板を使用した大電流端子部などのうず電流解析が可能になった。図 14. にその計算例を示す。

今後、変圧器の大容量化・大電流化とともに、漂遊損対策は、ますます重要性を増してくるため、構造物の漂遊損解析については、更に研究を進めている。

3. 2. 3 モデル及び実器による測定

変圧器構造物の漂遊損は、構造材料の物性、及び形状の複雑さなどにより、理論計算の精度を向上するためには、モデル及び実器によるデータの蓄積が重要である。このため、前述の磁界発生装置を用いた実験や、タンク及びタンクシールドのモデル実験、及び 40 kA 級変圧器低圧端子部実証試験などによって得られた豊富な実測データを基に、理論解析の精度を検討するとともに、製品の設計検討に活用している。また、うず電流の等価性を考慮した、モデル化の手法を確立し、大電流低圧端子部や、その他の構造物の縮小モデルによる実験を行っている。

4. 温度上昇解析

高電圧・大容量の変圧器における温度上昇問題は、漏れ磁束による局部損失が増加する上、絶縁や短絡強度等の他の現象との調和を特に考慮して検討していかなければならないので、難しい問題である。

当社では、大容量の実規模モデルを多数製作して実器の信頼性の

検証確認を行うと同時に、これらのデータと、多くの基礎実験とにより、温度解析用プログラムを完成して使用している。

4. 1 温度解析に必要な物性

温度上昇の解析には、まず、油や紙などの物理的定数を求めなければならない。油の熱的物性には、比重量・動粘性係数・比熱・熱伝導率があるが、解析結果の精度を上げるために実測値を使用している。また、クレプ紙・クラフト紙・プレスボード等の熱伝導率は、実際に使用される状態を考慮して実測した値を用いている。

4. 2 熱抵抗解析

冷却の解析には、材質・形状・油流速によって決まる熱抵抗を求める必要がある。熱抵抗には、熱伝導率と形状とで決まる熱抵抗と、流れの状態に密接な関係のある熱伝達で決まる熱抵抗とがあるが、コイル部のように、コイル絶縁紙があり、更にプレスボードのチャンネルで囲まれているような複雑な構成で熱抵抗を数値的に取扱うのが難しい場合には、部分モデルによる実験と、抵抗紙模写装置によるアナログ的解析とを併用して求めている。

また、油流と、油の熱的性質とによって決まる、油に接する部分の熱伝達率は、発熱量及び油温と油流速とを変えた実験より求めている。

4. 3 温度解析用プログラムと実証試験

3 章の漂遊損解析と、5 章の油流解析とを組合せ

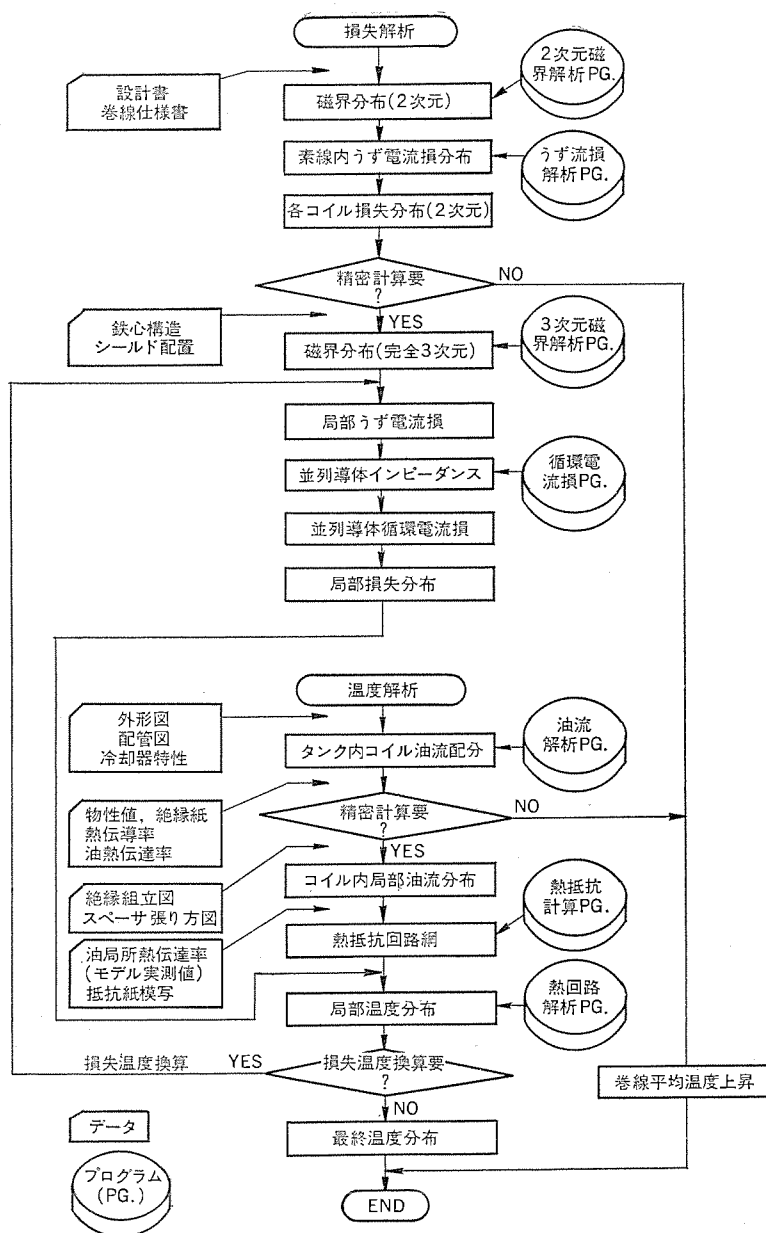


図 15. コイル 温度上昇解析 プログラムフローチャート

て幾つかの温度解析用プログラムを開発し、使用している。一例として、コイル部温度上昇解析用プログラムのフローチャートを図15.に示す。解析精度を検証するため、前述の275kV 1,000MVA 1/2相モデル変圧器に約700点の熱電対を取付け、通電電流・ポンプ台数・油温・周波数等を変えて各種の試験を行った。また、500kV 1,240/3MVA、275kV 660/3MVA実証器についても同様の実測を行った。

上記の実器測定では、変圧器巻線に通電して温度上昇試験を行うため、高電圧部に取付けられている多数の熱電対を、測定器を含め

て絶縁し、熱電対と測定器との切換えを、大地側からの光信号によって行い、通電状態で直接温度測定を行った。

以上の検証試験の結果、コイル部等の温度上昇は、相当の精度で推定できるようになった。

5. 油 流 解 析

変圧器各部の温度上昇は、発生損失と冷却とのバランスで決まる。したがって、発生損失に関する漂遊損解析と同じように、冷却に関する油流解析は、重要な問題である。外鉄形変圧器では、各コイルが垂直に支持され、流路が並列に設けられているため、変圧器上下の圧力損失が小さく、各コイルが均等に冷却されるので、本来、冷却上、優れた構造である。しかし、変圧器が大容量化するにつれ、細部にわたっての慎重な検討が必要になり、特に各流路に対する油流配分を求めると、局所熱伝達率が問題になるコイル面の油流解析が重要である。

外鉄形変圧器の油流分布及び油流速に関する解析は⁽⁵⁾⁽⁶⁾、三菱電機技報 Vol. 50, No. 9 (昭51) に詳しく記載してあるので参照願いたい。

6. む す び

最近の大形変圧器技術開発について、絶縁開発、磁界及び漂遊損解析、温度上昇及び油流解析等の概要を述べた。

なお、短絡機械力、振動、騒音、付属部品及び材料関係の開発状況については、引き続き稿を改めて紹介する予定である。

参 考 文 献

- (1) 八十島, 細川, 高見: デジタル 計測 システム による油中絶縁破壊前駆電流の測定, 電気学会研究会資料, EIM-76-10
- (2) 渡辺, 片岡, 岸, 川島: 2,000 kV 光分圧器, 三菱電機技報, 50, No. 11, 608 (昭51)
- (3) 玉置, 武智, 塩野, 博多: 大容量変圧器における漂遊損, 電気学会研究会資料, TC-72-2
- (4) 中村, 野村, 岩本: 変圧器漏れ磁界の3次元解析, 電学誌, 96-B, No. 9
- (5) 渡辺, 玉置, 清水, 森津, 松本: 外鉄形変圧器の油流分布と可視化法によるコイル面流れの観察, 三菱電機技報, 50, No. 9, 469 (昭51)
- (6) 渡辺, 清水, 村上, 松本: 変圧器内油流の可視化技術について, 電気学会研究会資料, TC-75-6

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1092270	回転電機の集電環短絡装置	大 窪 純 治	1092334	洗濯機の外箱	田原康夫・上野昭良
1092271	膨脹式救命滑り台	木名瀬武男・内 田 勉	1092335	コンデンサ 取付装置	田原康夫・上野昭良
1092272	通電装置	金谷正和・大本豊重	1092778	計数装置	佐藤征男
1092273	気体膨脹式救命いかだ	宇 川 彰・樋口三郎	1092779	水 スクラパー	{高杉茂生・畠山 明 安生三雄・水野久雄
1092274	気体膨脹式救命いかだ	木名瀬武男・河 島 清	1092780	光磁気共鳴磁力計	近藤倫正・川辺正雄
1092275	水冷却電気機器の水系統装置	奏 卓 也・松岡宏昌	1092783	信号合成器	土肥利昭
1092276	海難救助具	宇 川 彰	1092784	電動液圧 リニヤアクチュエータ	松谷英治
1092277	開閉器の表示機構	木村雅夫・西迫静隆	1092785	吸収セルのヒータ	{渡辺勢夫・佐竹正章 近藤倫正
1092278	内燃機関始動電動機用電磁スイッチ	森 下 瞭	1092786	光磁気共鳴磁力計	竹内秀夫・浅野 寛
1092279	電磁 スイッチ	{浜野 勲・下里 剛 森 下 瞭	1092787	ジュサミキサーの有底コップの着脱装置	{服部信道・森田清司 池上正修
1092280	表示ランプ取付装置	{赤羽根正夫・馬淵公作 宮崎昭信	1092788	ヒートポンプ式空調和装置	三 浦 隆・徳永 龍
1092281	電磁 スイッチ	{浜野 勲・下里 剛 森 下 瞭	1092789	暖房器の排気筒用 スリーブ	{勝股文則・前川 登 牛越 諒
1092282	二重絶縁電気機器	大塚敏勝	1092790	暖房器の排気筒用 スリーブ	勝股文則・中村 進
1092283	膨脹式簡易降下装置	大久保貫一	1092791	トルク表示装置	浅野哲正・柏原正信
1092284	開閉器の操作装置	岡田正歩	1092820	ペアガラス	{林久美雄・吉田明彦 市原輝彦
1092285	鎖錠装置	佐々木利彦	1094917	携帯型アイロン	日比野好伸・福田興司
1092286	複合形船舶用救難滑り台	{宇 川 彰・渡辺太郎 樋口昭義	1094918	自動車用室内清浄装置	野口英男・数 享
1092287	船舶用スパイラルシュータ	樋口昭義	1094919	プール兼用アイススケートリンクの底板	田 中 剛・小浜繁男
1092288	船舶用螺旋状滑り台	樋口昭義	1094920	密閉形電動圧縮機の軸受装置	河 村 求
1092289	船舶用救難滑り台	宇 川 彰	1094921	ストッパー 装置	{柳堀純一郎・藤田昇三 中島義信
1092290	ブラッシャー	長 嶺 元・高橋 豊	1094922	殺虫器	佐々木武敏
1092291	電子機器きょう体	岡本勝義・田中稔男	1094923	回路しゃ断器の消弧装置	戸田晴久
1092292	変圧器鉄心の締付装置	徳 増 治	1094924	断路器のブレード	稲 村 実・犬飼和廣
1092293	溶接トーチの角度微調整装置	赤枝潤二郎・加藤弘之	1094925	循環用管状導通孔を備えた鈎物	長谷川武男・田 中 満
1092294	高周波加熱装置	田村邦夫	1094926	可搬式電動かんな	入 江 厚・浦 武 洋
1092295	自動溶接装置	馬場利彦・袖野恵嗣	1094927	屋外形閉鎖配電盤の通風装置	水溜和哉
1092296	弁装置	田 中 満	1094928	密閉形電動圧縮機	大日方興信
1092297	継電装置及び試験装置の接続機構	山内成周	1094929	電磁粒子式制動装置	小林良治
1092298	換気扇運転制御装置	堀尾則泰	1094930	渦電流電機の冷却装置	村 山 茂
1092299	モールドケースの窓部品の取付機構	{藤井正規・金子正一 三原寿信	1094931	温度制御装置	中村富家・高梨靖士
1092300	変圧器	小野達男・吉川邦生	1094932	渦電流電機の冷却装置	村 山 茂
1092301	同期パルス発生回路	杉本維平	1094933	故障表示装置	桜 田 武
1092302	自動接点溶接機	松野博朗・菊池太一	1094934	水中モータ接続装置	佐藤公夫・稲尾 博
1092303	レンジフード	早 崎 実・石塚幹夫	1094935	液圧押し機の作動速度調節装置	田村勝明
1092304	レンジフード	酒井勝正	1094936	絶縁母線の支持装置	柿 沼 清
1092305	気体膨脹式船舶用救難滑り台	木名瀬武男・樋口昭義	1094937	圧縮ガスしゃ断器	山田和豊
1092306	発光素子付エクステンションカード	大垣健二	1094938	電氣的加工装置のワーク取付定盤	{佐藤国彦・梶田 勲 石川倫康
1092307	冷蔵庫等の補助扉開閉装置	田 中 毅	1094939	電解加工装置	佐藤国彦・加藤幸夫
1092308	防爆機器の蓋締付装置	宇都敏郎	1094940	輝度制限回路	丹羽喜一
1092309	蒸発盤	石井勇雄	1094941	サイリスタ制御回路	山田健司
1092310	アンテナ指向性表示回路	北村義弘			

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1094942	連結装置	播木 昭 男	1094961	磁気記憶装置	織田博靖・東山 昇
1094943	貫通形注形 プッシング	{坂井竜吉・村上靖武	1094962	給湯暖房装置	今 井 進
1094944	電子機器構成体	森 直 次	1094963	温水器の配管装置	{赤羽根正夫・宮崎昭信
1094945	電圧調整器付発電機	川上弘二			窪田秀治
1094946	電圧調整装置付発電機	和田一二三	1094964	温水器の配管装置	{赤羽根正夫・宮崎昭信
1094947	絶縁支持台	和田一二三・荒金堅次郎			窪田秀治
1094948	給湯装置における異常温度防止装置	{左近一郎・村上靖武	1094965	液体加熱器	高橋恒夫・長沢英治
1094949	貯湯式暖房給湯装置における給湯排水装置	森 直 次	1094966	液体加熱器	高橋恒夫・長沢英治
1094950	オゾン発生器	三ヶ田文彦・小林雅和	1094967	液体加熱器	高橋恒夫・長沢英治
1094951	金属材のロール曲げ装置		1094968	温水器	桜井信捷・日比野浩一
1094952	タッポ栓	三ヶ田文彦・小林雅和	1094969	温水器の湯水混合バルブ	宮崎昭信・窪田秀治
1094953	遮断器制御装置	古瀬元博・前田義行	1094970	温水器の格納小屋	{桜井信捷・日比野浩一
1094954	完全屋外形電気計器	渡辺 毅・中津留幹徳			藤田喜助
1094955	回路しゃ断器のスタッド端子装置	稲垣宏明	1094971	温水器の湯水混合コック	{赤羽根正夫・宮崎昭信
1094956	機器内装部品の支持台	仁科秀夫			窪田秀治
1094957	磁気ディスク記憶装置	下江利洋	1094972	温水器の漏水検出装置	{赤羽根正夫・宮崎昭信
1094958	温水器	原文吾・三原寿信			窪田秀治
1094959	鎖錠機構	三浦 晋	1094973	旋回床付エレベータ装置	伊藤拓三・篠田昌孝
1094960	回路しゃ断器の短限時引はずし装置	織田博靖	1094974	電動工具のアタッチメント	中島哲之助
		{町原義太郎・赤羽根正夫	1094975	換気扇	鈴木欽三
		三ヶ田文彦	1094976	吸排気両用換気扇	鈴木欽三
		酒井雅朗	1094977	窓用換気扇	鈴木欽三
		江口清司	1094978	窓用換気扇取付装置	鈴木欽三
			1094979	換気扇取付装置	鈴木欽三
			1094980	換気扇取付装置	鈴木欽三

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 51 No. 1 技術の進歩特集

- | | |
|----------------|----------------|
| ●研究 | ●電子計算機 |
| ●電力 | ●システム |
| ●産業用電機品と環境保全設備 | ●ビル・店舗・工場用設備機器 |
| ●汎用電機品と計測 | ●輸 送 |
| ●通信機器と電子応用機器 | ●家電関連機器 |
| ●半導体素子と集積回路 | |

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 50 巻 12 号	
委員長	小原敬助	常任委員	茶谷三郎	昭和51年12月22日 印刷	
副委員長	松岡 治	“	平林庄司	昭和51年12月25日 発行	
“	後藤正之	委 員	村上卓弥		
常任委員	武藤 正	“	神谷友清	定価1部300円(送料別)無断転載を禁ず	
“	佐々木二郎	“	熊本 永	編集兼発行人 本間吉夫	
“	葛野信一	“	橋爪 基	印刷者 高橋武夫	
“	伊原総三郎	“	吉田太郎	印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地	
“	北川和人	“	竹田俊幸	大日本印刷株式会社	
“	三矢周夫	“	松村長延	発行所 東京都千代田区大手町2丁目6番2号(〒100)	
“	清田 浩	“	小野勝啓	菱電エンジニアリング株式会社内	
“	阿部 修	幹 事	本間吉夫	「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1785	
“	武田克己	“	三田村和夫	発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地(〒100)	
“	福家 章	12号特集担当	嶋田政代士	株式会社オーム社書店	
				Tel. (03) 291 局 0811, 振替口座 東京 20018	

三菱電機技報 (昭和51年 第50巻) 総目次

1号 技術の進歩特集	7号 ノーヒューズしゃ断器特集
2号 普通	8号 普通
3号 船用電機品特集	9号 普通
4号 クレーン用電機品特集	10号 制御機器特集
5号 電子計算機周辺端末機器特集	11号 照明特集
6号 冷凍と空調特集	12号 水処理プラント用電機品特集

《技術の進歩特集》

	号 ページ		号 ページ
1. 研究編	1... 6	6. システム編	1...51
2. 電力編	1...13	7. ビル・店舗・工場用設備機器編	1...56
3. 産業用電機品と計測編	1...24	8. 輸送編	1...64
4. 通信と電子応用機器編	1...37	9. 家庭用電気品編	1...73
5. 電子計算機と電子部品編	1...43		

特集論文

《船用電機品》

	号 ページ
1. CFC 形船用交流発電機	森島守人・高橋良治・有木園幸一 3... 133
2. 最近の船用補機電動機と制御装置	名地 巍・鎗水律夫・境 正昭・藤田昇三 3... 138
3. 船舶における多重伝送制御システム	木戸正克・井上隆治・山崎 寛・故島利美 3... 142
4. マイクロプロセッサ応用システム—MUS-10 三菱船用万能計算表示装置—	山地正城・原口 聡・萱嶋帯刀・福島信夫・井村 豊 3... 147
5. 最近の船用配電盤	高江国雄・坪井英二・前田信吾 3... 153
6. 最近の船舶における電動力応用	前田文生・元木知春・中島義信・御厨長十・大久保龍二 3... 159

《クレーン用電機品》

1. 交流クレーン用制御方式とその適用	原田浩治・古田勝巳 4... 189
2. 交流クレーンのサイリスタ制御方式	原田浩治・滝沢義知・梶田武良 4... 194
3. 最近の直流大形クレーン用電機品	田中藤重・米倉善彦・深田浩一 4... 200
4. 最近のクレーン自動化システムの動向	佐竹幸雄・野村 哲 4... 205
5. クレーン自動化のためのシステムコンポーネント	山内才胤・中野宣政・伊藤善文 4... 211

《電子計算機周辺端末機器》

1. 三菱周辺端末機器の現況	武居 明・赤桐行昌・佐藤喜八郎・後藤 俊 5... 241
2. M 2365 形カラー漢字ディスプレイ装置	小畑 甫・小川 勇・由留部政則・伊藤 均 5... 246
3. M 2850 形 50 メガバイト磁気ディスク記憶装置	織田博靖・角田正俊・小野岡 靖 5... 251
4. M 2480 形光学文字読取装置 (OCR)	磯崎 真・南部 元・山本勝敬・桜井貫智 5... 256
5. 三菱 POS システム	高橋廣光・菊川 毅・細野孝雄 5... 261

《冷凍と空調》

1. 冷凍用クーリングユニット ACS-B 形	作野 勤・上田和弘・相良泰一・佐々木芳男 6... 293
-------------------------	-------------------------------

2. 薄形オープンショーカーケース (Rシリーズ)	半田文男・長谷川 厚	6... 299
3. パッケージエアコン (Pシリーズ)	三浦 隆・木ノ内達夫・柴田 実・小林靖夫	6... 302
4. 高温作業場用スポットエアコン《ラインクール》	貝瀬俊朗・知久通明・山崎起助・杉浦正一	6... 308
5. マルチセントラルシステムの熱回収成立条件	中村勝雄・笠置 紘・飯島 等	6... 314
6. セントラルヒーティングの運転シミュレーション	大畑晃一・山地 昇・酒井正博・野間口 有	6... 320

《ノーヒューズしゃ断器》

1. ノーヒューズしゃ断器の新製品	牧野節夫・山本啓一・前田信吾	7... 349
2. 電子式 NFB による低圧電器の保護協調	中山 豊・望月義範・寺地淳一・佐藤 進	7... 355
3. 低圧気中しゃ断器のアーク電圧と限流特性	久常文之・江口清司・笹尾博之・村井 裕	7... 360
4. 漏電しゃ断器検出回路の IC 化	山本清美・近藤邦昭・佐藤栄一・赤木則夫・宮崎行雄	7... 364
5. 時延形漏電リレー	新田裕稔・吉原孝夫・実森俊夫	7... 369

《制御機器》

1. 三菱標準制御器の系列と適用	吉田太郎・丸地謙二	10... 511
2. 新形電磁開閉器 MS-A シリーズ	岡戸弘行・長尾良章	10... 517
3. 制御用電磁継電器と限時継電器	長尾良章・松本文雄・五十嵐正光	10... 523
4. 誘導電動機の保護継電器	中村 隆・杉浦 洋	10... 528
5. 新形電磁開閉器 MS-A シリーズの応用と適用	岡戸弘行・佐藤洋一・渋谷弘一	10... 534

《照 明》

1. 新しい三菱けい光ランプ―「デラックス白色」及び「白熱色」―	村上勝男・大谷光興・安西良矩・伊藤 弘・栗津健三	11... 573
2. 新しい三菱けい光水銀ランプ―「ニューデラックスホワイト」及び「ニューデラックスソフト」―	村上勝男・大谷光興・尾崎彰紀・伊藤 弘・栗津健三	11... 577
3. 新しいメタルハライドランプ (ML 形 BOC ランプ)―安定器の小形化を可能にした新設計のランプ―	土橋理博・馬場景一・山本広二・若林正雄・伊吹順章	11... 581
4. 水冷式照明システムの熱除去効果	山下紀夫・斉藤英二・大貫一志	11... 585
5. 黒板照明器具	石井重行・武田輝明	11... 589
6. 三菱カラーシャドー照明システム―カラフルな美しい色影をつくりだす新しい照明方法―	土橋理博・斉藤正人・山ノ下真理・桂 秀年・前山紘一郎	11... 593

《水処理プラント用電機品》

1. 水の処理方法	松岡宏昌・田畑則一・水上幸三・鈴木 滋・新見明彦	12... 623
2. 水の利用運用システム	福田豊生・前田和男・小沢純一郎・伊藤俊一	12... 629
3. 水処理総合計装制御装置	竹野宏平・戸根川寿志・大野宣男・苗村善健・盛口全太	12... 635
4. 水処理用監視操作盤	安田宜弘・盛口全太	12... 641
5. 水処理用回転機	坪井克剛・岡部繁康・佐藤公夫	12... 647
6. 水処理用受配電動力盤	岸本 正・片山 明・藤本侃四郎・墨 義人・高橋 勝	12... 653

普通論文

1. マイクロ波加熱によるホトレジストベーキング	豊田裕康・阿部東彦	2... 81
2. カソードクロミック材料及びダークトレース蓄積表示管の開発	大野克弘・高田良雄・新居宏王・太田勝啓	2... 86
3. 電子線形加速器用 π モード加速管の実用化研究	沢田 進・美濃和芳文	2... 91
4. ガンダイオードの高信頼度化	三井 茂・鈴木 武・石原 理・小谷三千男・西畑幹夫	2... 95

5. 簡易ガン発振器マイクロ波センサ	三井 茂・小谷三千男・石原 理・沢野 寛	2...99
6. 自動アーク溶接用サイリスタ式電源	橘川 彪・柄折 攻一・瀬川博久	2... 104
7. 7.2kV 新形電力ヒューズの開発	岩崎行夫・太田 忍・近田敏之	2... 110
8. 新方式無停電電源装置	民井精三・竹内宗昭	2... 116
9. ポリスチレン系プラスチックの光劣化に及ぼす波長の効果	高橋 一郎	2... 121
10. 無接点リレー《メルログ》	青木正夫・金子正雄・中村 隆	2... 126
11. 誘電正接による突働変圧器絶縁油管理	石井敏次・福山宣房・牧野芳弘	3... 167
12. ストレートシーマ（二つ折り装置付き自動縫製機）	藤田次朗・大庭耕一	3... 173
13. 新幹線列車無線地上系設備	杉岡 昇・松島利康・原 三憲・中川幹雄・花房正昭	3... 177
14. 電子線照射装置《ダイアトロン》DP-1000	寺崎和憲・藤田彪太・上田和宏・町田賢二・大江雅男	3... 182
15. 新日本製鉄(株)戸畑新1号高炉用 52,000 kW 高炉送風設備用電機品	久富貞夫・宮原陸夫・松本敏三・藤井二郎	4... 219
16. 高炉送風機駆動用同期電動機のサイリスタ起動方式	藤井二郎・神田政典	4... 223
17. 高炉送風機駆動用同期電動機の起動用サイリスタ装置	細野 勇・矢野昌雄・甲木莞爾・柏野栄三・石村龍夫	4... 226
18. フェライト感温スイッチ	荒居 徹・山田幸慶	4... 231
19. (技術解説) 加熱冷却によるガスダイナミックレーザの発振機構	宇田新太郎	4... 236
20. アンブロ・オーストラリア 3.9 m 天体望遠鏡	木下親郎・石井康一・大沢 武・倉藤 康・飯沼健雄	5... 269
21. 電力用電子制御装置の信頼性向上	阿部久康・石橋賢悟・田井昌輝	5... 275
22. 電子計算機によるがいし形変流器の設計・製図	鶴田敬二・佐藤辰夫・松本正市	5... 281
23. 最近の電気動力計及びシャーンダイナモメータ	星野吉信・神保健作・杉本 弘・上田一郎	5... 286
24. 半導体式発熱体の応用	後藤完二	6... 327
25. 走査形電子顕微鏡の半導体への応用	加藤忠雄・小山 浩・松川隆行	6... 331
26. カラー画像分析装置 (EB-200)	酒巻裕三・中沢啓二	6... 337
27. シールレス新形定期券発行装置	草川英昭・鳥居健太・今村恒浩・多田 豊・大倉忠廣	6... 343
28. 大容量タービン発電機固定コイルエンド支持系の信頼性と強度	速水 和夫・河相成孝・八木耕三・丸山忠善・松倉欣孝	7... 379
29. 液体ヘリウム用連続形液面計	平田郁之・大井紀男	7... 384
30. 高周波 PWM インバータ用サイリスタの開発とその応用	川上 明・石堂道治・小田勝啓	7... 389
31. ビル防災システム	和泉陽平・小沢純一郎	7... 394
32. 長大軸系の横振動解析プログラム“MARS”の概要	川面恵司・松倉欣孝・村井幸雄・青木幸男・八木耕三	7... 401
33. 予混合炎の速度論的解析	松井安次・野間口 有	8... 409
34. 静的コンタクトにおける接触抵抗と接触力の関係	長谷川知治・村田安裕・小俣 桂	8... 414
35. サッシ表面処理ラインの計算機制御	奥森志朗・末武 隆	8... 418
36. マイクロプロセッサの保護リレーシステムへの応用	鈴木健治・前田耕二	8... 424
37. 簡易形座席予約端末装置	伊東俊一・清水 巖・広尾 呆・今泉 巽・林 信喜	8... 430
38. 低真空形電子ビーム溶接機用棒状熱陰極電子銃	上山善司・安永政司・佐々木茂雄・丹羽 隆・田野正博	8... 434
39. エポキシ FBC 絶縁母線	寺谷 宏・玉置明信・鳥居仁志・宮地哲郎	8... 439
40. 三菱煙道ガス測定器 SA-401 形	羽深嘉郎・宇野沢 譲・小堺 孝・小番光也・酒井喜代博	8... 444
41. 制御用計算機のアナログ入力における雑音とその対策	中根 勇・斉藤成一	8... 448
42. 水分散絶縁ワニスの安定性に及ぼす化学組成と表面電荷の影響	小野 博・柴山恭一	8... 453
43. 高耐圧大電力サイリスタの開発	北陽 滋・岩本英雄・寺尾 襄	9... 459
44. 火力発電所運転員訓練用デジタルシミュレータ	佐藤孟生・梅村忠一・馬場彰憲・横川和之・山上信太郎	9... 463
45. 外鉄形変圧器の油流分布と可視化法によるコイル面流れの観察	渡辺次男・玉置栄一・清水 澄・森津一樹・松本隆博	9... 469
46. 静電粉体塗装の直流機への適用	藤原健三・門田秋信・中西悠二・寺谷 宏・玉置明信	9... 474

47. 電気浮上法による水産加工排水処理	加藤 強・前田 満雄・久慈 陽一	9... 479
48. 入換用 DE 11 形液体式ディーゼル機関車用自動操縦装置	寺戸 浩二・永瀬和彦・六藤孝雄・森原健司・島田友二	9... 485
49. コミュニケーション プロセッサ タイプ 2	松 永 宏・松田主税・中塚茂雄・田中雄三	9... 491
50. 車両用シリコン油入ポリアミド絶縁変圧器	桑 原 宏・潮見尚暢・鶴田敬二・児玉俊英・今福誠司	9... 495
51. 超音波によるスポット溶接のインプロセス検査	奥田 滝夫・稲田幹夫・西川正一・松 山 宏・田中洋次	9... 500
52. 南海電鉄(株)納め 8000 形 AVF チョップ制御電車	成戸 昌司・鉄野治雄・金田順一郎・古田 俊久・恵美酒眞一	9... 505
53. N ロケットの電波誘導地上システム	田畑 浄治・三浦雅男・萩原 毅・尾形良征・望月純夫	10... 543
54. 電気ホイスト軸に生じる衝撃トルク	二川 曉美・村松直樹・武谷勝次・石田文夫	10... 549
55. 水中自動溶接装置の開発	山本利雄・弘中一光・島田 弥・中野大典・加藤弘之	10... 555
56. ミニコンによる発光分光分析のスペクトル写真解析	倉本一雄・吉留昭男	10... 561
57. J-FET タイマ用 IC とその応用	村上 謙二・植田昌弘・永田一志・中野隆生	10... 567
58. サファイア管を用いた高効率高圧ナトリウムランプ	大谷勝也・河原一雄・田中紀彦・伊吹順章	11... 603
59. 2,000 kV 光分圧器	渡辺次男・片岡 保・岸 章夫・川島 武	11... 608
60. 東京電力(株)袖ヶ浦発電所納め三相 1,100 MVA 525 kV 変圧器	但馬常夫・片岡 保・博多哲郎・徳増 治	11... 613
61. ホテル冷蔵庫システム	高橋克己・高田弘明・西郷 勝・坂本泰堂	11... 617
62. 三菱信号伝送装置《MELPLEX》シリーズ	山下弘雄・大野宣男・石井哲夫	12... 661
63. 高解像度 X 線テレビジョン装置 XT-1100 シリーズ	堀 高明・山際豊行・仲佐節男	12... 666
64. スピーカーの駆動系による非直線ひずみの低減	土屋英司・岡田 将・池田英男・野村達衛・佐伯多門	12... 670
65. 最近の大形変圧器技術開発〔1〕	田村良平・清水英範・平井正好・渡辺次男	12... 675

ニューフラッシュ

型鋼選別吊 リフティングマグネット

鋼材運搬の省力化機器として広く使用されているリフティングマグネットに新機種が加わりました。この型鋼選別吊 リフティングマグネットは、マトリックス状に配列した特殊小角形マグネットブロックをワンマンコントロールにより、任意に励磁選択して型鋼を選別吊上します。

したがって隣接して並んでいる型鋼の中から必要な鋼材を選び、必要な本数だけ吊上げることができます。

なお、鋼板や型鋼結束品の荷役にも使用できます。

特長

- (1)玉掛作業が不要となりますから、運搬作業の省力化、能率化が図れます。
- (2)型鋼を隣接して並べられるうえ、高所への積上げが可能ですから工場や倉庫のスペースを有効に利用できます。
- (3)1台で型鋼、鋼板、結束品など種々の鋼材を運搬できますから、多種の鋼材を扱う倉庫などでは経済的です。
- (4)サイリスタ式励磁調整装置を使用すれば、吊上量をより細かく調節できます。
- (5)特殊磁極形状ですから選別能力、吊上力が優れています。

用途

型鋼(角管、丸管)などの選別吊
鋼板の枚数吊
ビレット、ブルーム、丸鋼の選別吊

