

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.43 October 1969

水プラント用電機特集

10

大阪府水道部村野浄水場中央管理室



未来を開発する





水プラント用電機特集

目次

《特集論文》

水プラント用電動機と制御装置	奥 勝・栗田 静夫・高木洋一郎	1293
水中モートル	和田義彦・佐藤公夫・山本作衛	1303
最近の水道プラント受電設備の傾向	田 和 穰・川端保男・田中久雄・梁川美孝・吉光己吉・塚本修平	1309
水道プラント制御装置	山田米造・荒木義朝・斎藤心一	1321
水道用遠方監視制御装置	島田政代士・今 泉 巽	1332
大阪府村野浄水場計算機システム	江村利雄・坂口 功・石川欣央・竹内幸雄・山本潤二・竜田直紀・深尾忠一郎	1343
トランジスタ化ろ過池洗浄制御装置	坂口 功・松本直巳	1356
水系ゲート制御	安田宜弘・渡辺一弘	1361
AF-210 形超音波流量計	吉山裕二・芥 和 弘・田井昌輝・榊田征也・古木寿人	1366
水位リレー	下吉正人・三田村隆輝	1370
三菱MVA形パルプアクチュエータ	深川吉則・盛口全太	1374

《普通論文》

高圧水中モートルの絶縁方式	諸岡 廣・早川隆昭	1379
新形中容量 SF ₆ ガスしゃ断器 SFL シリーズ	富永正太郎・田辺俊雄・佐藤邦彦	1383
小田急電鉄納め変電所集中監視制御装置	山中彪生	1392
真空スイッチ管の実用性能	岡田武夫・青木伸一・松山 清	1399
プリント配線板の自動設計システム	三上晃一・田淵謹也・杉本満信	1406

《技術講座》

システム理論—(3)統計的決定理論とその応用—	山田敬吾	1416
-------------------------	------	------

《新製品紹介》

精密直流バイロット発電機・改良形携帯用電気カンナ・クラッシャーモートル

《ニュースフラッシュ》

8,700 kW ブラシレス励磁ソリッドポール同期電動機完成・日本国有鉄道向け EF 81 形交流電気機関車完成・わが国最小の高圧デューゼル発電機盤完成・LBC 1.5 重方式母線地絡保護継電装置・九州地区における初のスポットネットワーク受電設備完成

《表紙》

大阪府水道部村野浄水場中央管理室

村野浄水場は、昭和35年に大阪府水道部の中心浄水場として建設の礎石が据えられ、大阪市およびその周辺都市への給水の重責を果たしてきたが、最近、電子計算機 MELDAP-6000 H、データ処理装置 MELDAP-8000、12 GHz マイクロ波データ伝送装置を逐次導入し、管理データの収集処理、浄水場および関連ポンプ場のオンライン制御、監視を開始した。この浄水場は、現在なお建設の途上にあり、完成の暁には日量 1,247,000 立方メートルの処理を行なう大形プラントとなり、あわせて総合制御センタの役割を持つが、その折にはこれらの電子機器にないっそうの活躍が期待される。表紙は浄水場本館屋上からろ過池群の半分をながめたもので、右上はるかに沈殿池群の一部が見える。はめこみ魚眼写真は中央監視室の全景で、右側にグラフィックディスプレイ盤が、左側ガラス越しに電算機類が見える。





SPECIAL EDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT FOR WATER PLANTS

CONTENTS

SPECIALY COLLECTED PAPERS

Induction Motors and Control Equipment for Water Plants.....	M. Oku • S. Kurita • Y. Takagi.....	1293
Water Submersible Pump Motors.....	Y. Wada • K. Sato • S. Yamamoto.....	1303
Modernization of Power Supplies to City Water Plants	Y. Tawa • Y. Kawabata • H. Tanaka • Y. Yanagawa • M. Yoshimitsu • S. Tsukamoto.....	1309
Control Equipment of Water works and Sewerage.....	Y. Yamada • Y. Araki • S. Saito.....	1321
Supervisory Control Equipment for Waterworks.....	M. Shimada • T. Imaizumi.....	1332
Computer Control System for Murano Water Purification Plant of Osaka Prefecture	T. Emura • I. Sakaguchi • Y. Ishikawa • Y. Takeuchi • J. Yamamoto • N. Tatsuta • C. Fukao.....	1343
Transistorized Washing Control Device for Filter Bed.....	I. Sakaguchi • N. Matsumoto.....	1356
Gate Control for River Ragulation.....	Y. Yasuda • K. Watanabe.....	1361
Type AF-210 Ultrasonic Flow-meters for Large Diameter Ducts	Y. Yoshiyama • K. Akuta • M. Tai • Y. Masuda • H. Kogi.....	1366
Water Level Relays.....	M. Shimoyoshi • T. Mitamura.....	1370
Mitsubishi Type MVA Valve Actuators.....	Y. Fukagawa • Z. Moriguchi.....	1374

TECHNICAL PAPERS

Insulation System of High Tension Submersible Pump Motors.....	H. Morooka • T. Hayakawa.....	1379
New Medium Capacity SF ₆ Gas Circuit Breakers, Type SFL Series.....	S. Tominaga • T. Tanabe • K. Sato.....	1383
Central Supervisory Control System for the Odakyu Electric Railroad Company.....	T. Yamanaka.....	1392
Practical Performance of Vacuum Switching Tubes.....	T. Okada • S. Aoki • K. Matsuyama.....	1399
Design Automation System for Printed Circuit Boards.....	K. Mikami • K. Tabuchi • M. Sugimoto.....	1406

TECHNICAL LECTURE

Mathematical System Theory—(3) Statistical Decision Theory and Its Application.....	K. Yamada.....	1416
---	----------------	------

NEW PRODUCTS.....	1425
-------------------	------

NEWS FLASH.....	1428
-----------------	------

COVER :

The Central Control Room of Murano Water Purification Plant, Osaka Prefectural Waterworks

The Murano water Purification plant was founded in 1960 as central water processing facilities of Osaka Prefecture and has been discharging heavy responsibility of supplying water to its territory and its environments. Recently process control computer MELDAP-6000 H, a data processor MELDAP-8000 and a 12 GHz microwave data transmitter have been introduced one after another to the installations for starting the collection and processing of control data and on-line control and monitoring of the purification plant and associated pumping plants.

The plant is still under extension work, when completed, it will be in so large a scale that the water processing capacity becomes 1,247,000 cub. meters a day, playing the role of overall control center. In that event all these electronic apparatus will be expected to display more activity. Illustrated on the cover is a view of a half the group of filter commanded from the roof of the main building in the plant. A group of settling basins are seen on the upper right of the picture. Another illustration is a full view of a central monitoring room photographed with a fish lens. On the right is a graphic display panel and on the left are computers seen at the other side of glass panes.

UDC 628.1/.2:621.65:621.313.13:621.316.7

水プラント用電動機と制御装置

奥 勝・栗田静夫・高木洋一郎

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1293~1302

生活水準の向上と諸工業の発展に伴って、上下水道設備の拡充と大規模な治・利水事業が著しく増加している。これらの水プラントにはそれぞれ特有の事情に応じた特長や能力を持つポンプが選定されるので、これを駆動する電動機およびその制御装置は多種多様である。

ここではポンプ駆動用電動機として最も広く用いられている誘導電動機について、機能・構造上の特長と、その適要範囲について述べる。

また電動機の制御装置については、近年自動化・高能率化の要求が著しいため、これらの要求に答えるための、速度制御方式ならびに配電盤（コントロールセンタ）について、その概要と特長を述べる。なお水中モートルについては、本特集中の別論文を参照されたい。



UDC 621.313.13 [621.65]

水中モートル

和田義彦・佐藤公夫・山本作衛

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1303~1308

水中モートルは、設備床面積の減少、サクションに対する考慮が不必要、ポンプ・電動機の総合効率が高いなどの長所があるが、反面、水中で運転することの不安がつきまとう。ここに、当社の水中モートルの概要を紹介したい。その長所を再確認して頂くとともに、不安を解消することに役立てば幸である。



UDC 621.398:628.1

水道用遠方監視制御装置

島田政代士・今泉 巽

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1332~1342

最近水道用諸設備の合理的運営のため遠方監視制御装置の採用が盛んになってきた。すなわち上水用貯・配水場、ポンプ場の運転を制御所より遠方監視制御装置を介して行なう方式とすることが多い。遠方監視制御装置製作にあたっては(1)被制御所となる水道設備の配置、(2)制御・監視・計測項目の内容および項目数の大小、(3)被制御所設備の運転方式、(4)信号伝送路、(5)電源など検討すべき要因が多い。当社では従来より上記各条件を検討し最適の装置となるよう多くの方式を開発しているが、本文では、特に上・下水道用遠方監視制御装置を実施例にて説明する。



UDC 628.1:681.3

大阪府村野浄水場計算機システム

江村利雄・坂口 功・石川欣央・竹内幸雄・山本潤二・竜田直紀
深尾忠一郎

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1343~1355

大阪府水道部では、水の有効利用・経済的運用の一環として、中心浄水場である村野浄水場に計算機を含めた管理システムを導入した。このシステムは中央管理室からの主要プラントへの手動操作ならびに計算機制御を行ない。浄水プロセス全体を把握しながら安全かつ円滑運動ができる。すなわち、計算機(MELDAP-H)では、プロセス信号の監視、日報作成等を行ないプロセスを制御(薬品注入・ろ過池・送水制御している。

ここに、本計算機システムの導入にあたり、設計時にはらった配慮・システムの構成・システムの機能等につき説明する。



UDC 621.311.6:628.1

最近の水道プラント受電設備の傾向

田和 稔・川端保男・田中久雄・梁川美孝・吉光己吉・塚本修平

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1309~1320

設備近代化の波は受電設備にも波及し、受電容量の増大、制御の複雑化等に対処するために、より合理的・近代的な設備の要請が高まり、小形・高信頼性・高安全性の特長を有する真空しゃ断器・磁気しゃ断器・ガスしゃ断器等を収納したキュービクルが一般化してきている。

とくに最近の傾向として、特高機器のキュービクル化が顕著である。当社は60/70kV級のキュービクルも多数納入実績があり、ガスしゃ断器を収納したもの標準化も完了し、3kV~70kVまでのキュービクル 新JEM1114に準拠して、完全な標準設計、製作の体制が確立し、多種多様の仕様に応じることが可能である。



UDC 621.316.7:328.16

トランジスタ化ろ過池洗浄制御装置

坂口 功・松本直巳

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1356~1360

近年の浄水場においては、その処理機能および大規模自動化の進展に伴ない各種自動制御機器の使用量が急速に増大している。そのため日常の管理維持業務および接点保守業務の省力化の意味からも機器の信頼度向上が大きくクローズアップされてきた。従来ろ過池の洗浄制御回路は接点タイマーシーケンスによって構成されていたが、今度この制御回路をトランジスタ化することを試み大阪府村野浄水場において約5ヶ月間実運転試験を行ない満足できる結果を得たのでここにその内容を概説する。



UDC 621.65-52

水道プラント制御装置

山田米造・荒木義朝・斉藤心一

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1321~1331

水道プラントの制御装置は、一人制御化・自動化・プログラム制御化・遠隔化・計算機制御化されていくが、本文では横軸・たて軸ポンプの起動方式、保護方式につき述べ、水位・圧力・流量の自動制御方式については、方法および得失について述べ、その他薬品の比例注入制御の方法、ろ過設備の制御、排泥設備の制御については最近製作したものの中より一例を示した。



UDC 627.83-54

水系ゲート制御

安田宜弘・渡辺一弘

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1361~1365

従来、河川の運用は、発電と治水が主であったが、近年の工業用水、都市用水、かんがい用水の著るしい増加により、河川の水をいかに有効に利用するかという利水面が、国土総合開発上重要な問題となってきた。

これら、水利用を有効に合理的に行うためには、単に個別のダムや、水路のみを考えた局地的な運用ではなく、水源より河口までの一貫した水系を総合的に開発し運用する必要がある。

本文では河川の総合的な運用を行うためのゲート制御方式を中心に述べる。



UDC 532.534-8

AF-210形 超音波流量計

吉山裕二・芥 和弘・田井昌輝・榊田征也・古木寿人

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1366~1369

AF-210形超音波流量計は瞬時流量が連続記録できる外壁透過形である。管の外側から超音波を透過させるので、流れを妨げず、圧力損失がなく、既設配管に簡単に取付けることができる。またこの超音波流量計は他の流量計に比べ、とくに大口徑、大流量の測定に適しており、応答速度が早いので上下水道、工業用水、農業用水の流量測定および流量制御のほか、水車やポンプの効率測定や起動停止時の過渡流量測定などに用いられる。おもな仕様は適用管径 800 5,000mm測定流速範囲 0~10m/s、(最小レンジ 0~1 m/s)、精度±2%、応答速度 1秒である。



UDC 621.318.5:628.1

水位リレー

下吉正人・三田村隆輝

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1370~1373

最近の工業用水、上下水道設備などの水プラントの発展はめざましく、その制御も自動化が進むにつれて、次第に複雑性を増してきている。これに伴って、このような自動制御系の検出端の一つとして重要な役割を果たしている水位リレーについても、より高い信頼性が必要とされるようになってきた。本文はこれら水中プラントで使用される水位リレーの概要と、当社で製作しているFS形フロートレススイッチの適用方法などを述べたものである。



UDC 621.313.13:621-3

三菱MVA形バルブアクチュエータ

深川吉則・盛口全太

三菱電機技報 Vol.43・No.43・P1374~1376

最近の各種産業分野における自動化・省力化はめざましいものがあり、とくに流体移送に使用される弁類の電動化・自動化は急速に進展しつつある。当社ではこれら弁類の電動操作機としてMVA形バルブアクチュエータを製作、販売し好評を得ている。本文は水プラントに使用される当社MVA形バルブアクチュエータ標準シリーズの概要とその2、3の応用例について述べたものである。



UDC 621.313[621.65]:621.315.6

三菱高圧水中モートルの絶縁方式

諸岡 廣・早川隆昭

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1379~1382

水中モーターポンプの需要は増加の一途をたどり、内容的にも大容量、および高電圧化の傾向にある。当社ではこれを予想し、基礎的な絶縁組織の研究に着手し、努力の結果、理想的な絶縁組織を開発した。まづ1965年本邦最初の3,000V級高圧水中モートルを納入し、その真価が一般に認識され、数多く大容量、高圧水中モートルを製作し、各方面で好評を得ている。さらに、その実績と技術は1969年4月世界的にも初めてと思われる6,000V級の高圧水中モートルを製作納入(岐阜市水道部)した。本文では、この画期的な信頼性と安定性をもつた絶縁方式と特性の一部をを紹介するものである。



UDC 621.316.57.064.242

新形中容量SF₆ガスしゃ断器SFLシリーズ

富永正太郎・田辺俊雄・佐藤邦彦

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1383~1391

しゃ断電流30kAを対象とする中容量SFL形ガスしゃ断器は、72kVから300kVまでの現在の日本の高圧、超高圧全系統をカバーするシリーズが完成した。

SFL形ガスしゃ断器は、SF₆ガスを使用することにより、バフファ方式の消弧室を採用することが可能となり、すぐれたしゃ断性能に加え、機構の単純さよりくる高い信頼性、保守点検の容易さなどSF₆ガスのすぐれた特性を最も効率よく利用したしゃ断器である。

このSFLシリーズの完成により、すではある40~50kAを対象とする大容量SFHシリーズとともに当社のガスしゃ断器の全定格にわたる生産、販売態勢が整った。



UDC 621.311.4-54

小田急電鉄納め変電所集中監視制御装置

山中彪生

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1392~1398

小田急電鉄変電所集中監視制御装置の概要について紹介している。本装置は小田急電鉄全線の変電所16箇所および受電用開閉所1箇所を集中監視制御するもので次のような特長をもっている。

- (1) 全系統に三菱多段多重式遠方監視制御方式を使用している。
- (2) 系統構成はそのほぼ中心に位置する相模大野の給電所を中心制御所として構成され、各被制御所は近くの大野系では直送式、遠方の経堂系、松田系では中継所を介して搬送式で監視制御することにより、合理的に運用される形となっている。
- (3) ハードウェアについて、でも種々の検討が行なわれ、独特なものを各所に使用している。



UDC 621.316.545

真空スイッチ管の実用性能

岡田武夫・青木伸一・松山 清

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1399~1405

当記で製品化している真空スイッチ管の現状と、その実用性能について報告する。実用性能は実際の使用に際して必要な資料を実測値を中心にまとめたもので、電気的な特性以外に真空性能、機械性能、耐食、汚損性能などについて述べているので、実用的な資料であると考えている。



UDC 681.142.01:007.3

プリント配線板の自動設計システム

三上晃一・田淵謹也・杉本満信

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1406~1415

集積回路を積載するカードおよびカード・コネクタ間の接続を与えるバックパネルのボードを対象としたプリント配線板の自動設計プログラムを完成し、三菱計算センタ(MEC)に登録した。このプログラムは、論理接続関係を穿孔カードで与えられると、部品を最適位置に配置し、端子間の結合順序を定め、パターンを経路を決定することを自動的にこなす。短い計算時間で良質の設計を行なう点が特長で、計算機使用時間は5分程度でこれまで発表されているものでは最も速い。とくにパターン経路決定のために開発した線分探索法(Line search algorithm)は世界的にも高く評価されている。自動設計結果は自動製図機により、写真原板を自動作成する。



UDC 519.25:161.2

システム理論(III)－統計的決定理論とその応用－

山田敬吾

三菱電機技報 Vol.43・No.10・P1416～1424

Waldの創作になる統計的決定理論は、今日、工学・社会科学等広い分野にわたって応用されている。その理由は、それが、不確定性のもとにおける決定というわれわれが常に直面する問題をもっとも基本的な形であつている点にあるであろう。こゝでは、この理論の基礎と応用について概説を試みた。第2～6節で一般的な基礎理論を説明し、第7節でいくつかの応用例をあげておいた。



水プラント用電動機と制御装置

奥 勝*・栗田 静夫*・高木洋一郎**

Induction Motors and Control Equipment for Water Plants

Nagasaki Works Masaru OKU・Shizuo KURITA

Nagoya Works Yoichiro TAKAGI

With the elevation of living standard and the development of various industries, installations in waterworks and sewerage have been expanded and followed by undertaking of river improvement and water utilization in an extensive scale. As a result pumps for use in water plants are selected according to their features and function so as to respond to particular conditions. Then there are a good many variety of driving motors and control equipment are worked out to go with them.

Herein are described function, constructual features and application ranges of pump driving induction motors which are in the most general use. As for the control equipment, there is a marked trend of calling for automatization and higher efficiency of late. Speed control system and switchboards —control center— are outlined together with their talking points so as to offer information to meet the requirement.

1. ま え が き

誘導電動機の応用分野は非常に広範囲に及んでいるが、その特性はポンプの所要性能によくマッチするとともに構造簡単、運転容易で、長期間の無人、自動運転にも適するため、ポンプ用は三相誘導電動機の主要な応用分野となっている。

最近特に産業用および民生用として治・利水事業や上・下水道設備の拡充が飛躍的に進められており、かつその大形化の傾向が著しく、これらのプラントに適用される電動機は

- (1) 単機数千 kW に達する大形化
- (2) 重スラスト高速機および超重スラスト低速機
- (3) 複雑な制御方式
- (4) 騒音抑制がきびしい

など特殊な仕様が多いので、当社は各プラントより要求されるあらゆる仕様に対応するため小形より超大形に至る数種の系列を完備して短納期で納入している。2章にその主要な系列とそれらの内容概略を述べる。

制御については、最近の傾向として、自動化・高効率化の要求が著しく、水道関係では、送水あるいは配水ポンプの速度制御による管路末端部の圧力を一定とする制御を行なう場合が多くなってきている。

従来から行なわれているポンプの制御方法としては、オン・オフ制御・運転台数制御・速度制御・弁開度制御等があるが、ポンプ用電動機側よりみれば、これらは一定速度運転と速度制御運転に分けることができる。3章では、初めに従来より広くおこなわれている、一定速度運転のポンプ用電動機の始動方式について述べ、次に近年急激にふえてきたポンプの速度制御と各種速度制御方式の比較等について述べる。

低圧電動機への給電装置、その制御用器具の収納にはコントロールセンタが有利である。3章では、このコントロールセンタについて紹介する。

2. 水プラント用誘導電動機

2.1 標準系列

当社の一般用三相誘導電動機は、主としてサイズ(フレーム NO.)によ

表 2.1 三相誘導電動機の標準系列
Standard series of three phase induction motor.

系 列	種 類	形 式 記 号		特 長
		か ど 形	巻 線 形	
スーパーライン フレーム No. 80~355	防 滴 保 護	SB-E	SB-EW	IEC 規格と JIS, JEM 規格によっている。多種類の横形とフラジ形を在庫し即納盤等をとっている。中形以上と特殊仕様には「RONS」方式を適用している。
	全 閉 外 扇	SF-E	SF-EW	
F ラ イ ン フレーム No. 400 450	防 滴 保 護 サイレンサ付防 滴保護	FKB	FSB	各形式とも IEC 寸法に準拠している。防滴保護とそれ以外の二つの基本構造に準拠して、短納期盤等を整えている。
	屋 外 防 滴 保 護	FKB-H	FSB-H	
	全 閉 内 冷	FKB-W	FSB-W	
	全 閉 外 扇	FKE-G	FSE-G	
U ラ イ ン フレーム No. 5000 5600 6300 7100	防 滴 保 護 サイレンサ付防 滴保護	FKT	FST	米国のウェスティングハウス社の FA 形を改良して開発したシリーズである。大形モータの主力として F ラインと同じく各種の保護形式に容易に対応することができ、分解・点検が簡単である。全閉外扇形は MKT(MST) 形で製作する。
	屋 外 防 滴 保 護	UKB	USB	
	全 閉 内 冷	UKB-H	USB-H	
		UKB-W	USB-W	
MKB } シリーズ MSB } (ボックス形)	防 滴 保 護 サイレンサ付防 滴保護	UKE-G	USE-G	U ラインの範囲をこえる超大形やベデスタル形に適用する他、スーパーライン系列程度の出力でも開放屋外形や低騒音形はこの系列に含める。
	全 閉 外 扇	MKB	MSB	
		MKB-H	MSB-H	
		MKT	MST	
(ベデスタル形)	防 滴 保 護	MKB-P	MSB-P	スラスト荷重に応じてキングスベリ軸受(=R)を適用する。
	全 閉 内 冷	MKE-GP	MSE-GP	
	全 閉 外 扇屋外	MKT-PW	MST-PW	
(立形) (スラスト軸受 付をふくむ)	防 滴 保 護 立形	MKB-V(R)	MSB-V(R)	
	全 閉 外 扇 立形	MKT-V(R)	MST-V(R)	



図 2.1 SB-E 形三相誘導電動機
Type SB-E three phase induction motor.



図 2.2 SF-E 形三相誘導電動機
Type SF-E three phase induction motor.

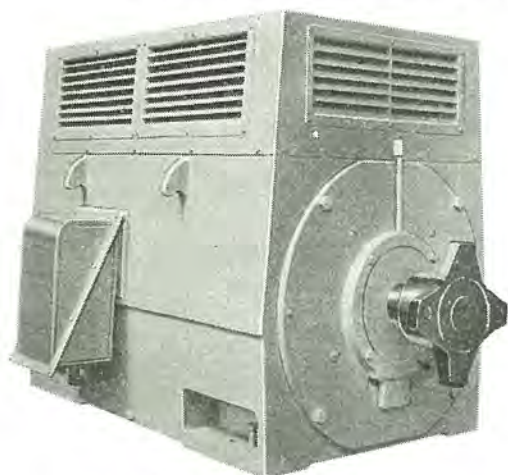


図 2.3 FKB-H 形三相誘導電動機
Type FKB-H three phase induction motor.

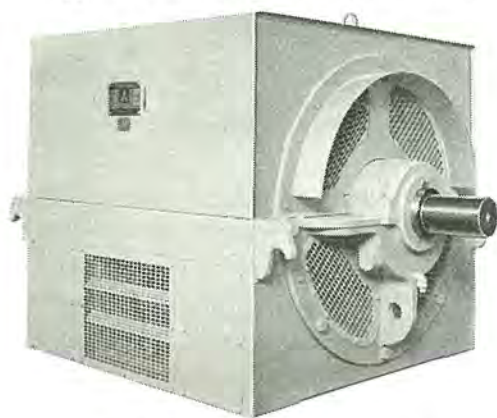


図 2.4 UKB 形三相誘導電動機
Type UKB three phase induction motor.

って分類した表 2.1 に示す標準系列によっている。

2.1.1 スーパーライン E 系列

センターハイト 355 mm までのスーパーライン電動機は、国際的な IEC 規格と JEM 1180 (低圧 E 種絶縁) JEM 1203 (高圧 B 種絶縁) に完全に合致しており、フランジ形は開放形全閉形とも寸法出力を詳細に規定した JEM 1189 に合っている。この系列は E 種絶縁の適用開始とともに、昭和 39 年より製造を開始したもので、JIS 規格を格段にしたぐすぐれた特性を誇り、低い温度上昇に押える効果的な通風冷却構造を持っている。図 2.1 と図 2.2 はスーパーライン系列の製品写真である。

2.1.2 F ライン系列, U ライン系列

F ラインと U ラインは大形誘導電動機の主力をなす系列である。いずれも防滴保護形のほか、開放屋外形・サイレンサ付き防滴保護形・全閉内冷形などに基本構造を変えことなく対応できるので、屋外大形ポンプ用にもよく適用される。なお F ラインは全閉外扇形にも変形できるので特に周囲環境が悪い設備にも適用できる。また巻線形についてもかご形と同等の系列内容であり、速度制御用や自動運転用付属部品を追加できる。図 2.3 と図 2.4 に F ラインと U ラインの製品の一例を示す。

2.1.3 MKB, MSB 系列

特大形電動機はこの系列に含まれる、横形は U ラインをこえる出力の電動機に適用するが、超大形はベドスタル形として強制通風や全閉内冷形となることが多い。F ラインと U ラインには立形は含まれないので、スーパーライン範囲を超過する出力の場合はこの系列として、ポンプスラストと回転数によりころがり軸受とキングスベリスラスト軸受を使い分けている。大形ポンプ用にはこの形式が最も多く、屋内用に防滴保護形を、屋外用には開放屋外形または全閉外扇屋外形がよく適用される。図 2.5、図 2.6 はスラスト軸受付立形電動機の製品写真である。

2.2 出力に適応する定格電圧と絶縁

電動機の定格電圧と絶縁種別は電動機自身の機能と経済性ばかりではなく、既設・隣設の電気機器との相互関係を考慮しつつプラント



図 2.5 MKB-R 形三相誘導電動機
Type MKB-R three phase induction motor.

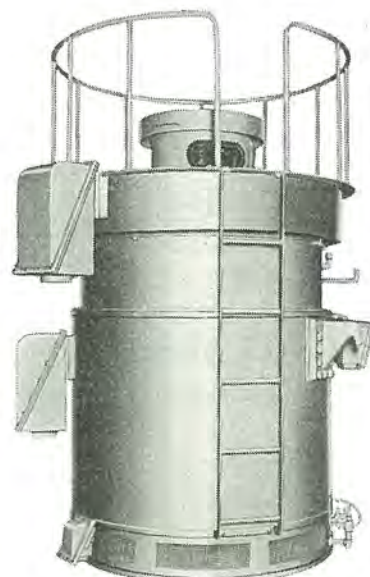


図 2.6 MST-R 形三相誘導電動機
Type MST-WR three phase induction motor.

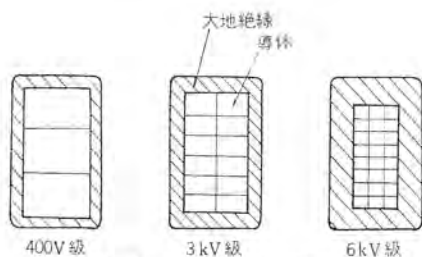


図 2.7 固定子コイルの断面
Cross section of stator coil.

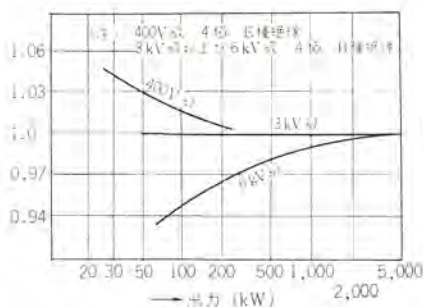


図 2.8 電圧および出力と効率の比較
Comparison of the efficiency with voltage and output.

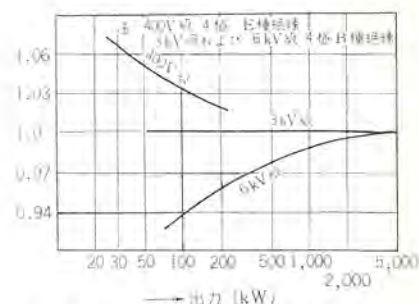


図 2.9 電圧および出力と力率の比較
Comparison of the power factor with voltage and output.

全体としての視野に立って定められたのであるが、電動機自身の技術的合理性は閑却できない。つぎに電動機出力と定格電圧の関係、および製造可能出力の範囲ならびに各電圧に対応する絶縁について述べる。

2.2.1 定格電圧と製造可能出力

わが国の高圧配電線の6kV化は昭和34年より各電力会社の努力が続けられた結果、ほとんどの配電網について6kV化が進んでいる。このため、これまで中大形電動機の定格電圧は3kV級が圧倒的に多かったが、年々400V級と6kV級の電動機が増加している。6kV級電動機は3kV級電動機に比べると、その巻線数が倍加され大地絶縁の困難度は増大し、コロナの問題など巻線製作のむずかしさはよく知られている。図2.7は4極200kW程度の固定子コイルの断面であるが、6kV級のスロット内導体の占積率は著しく小さく、小出力の発電機ほどサイズアップする割合が大きくなることを示している。さらに数十kW以下では、導体の太さが線引き不可能と成るほど細くなるので、経済性を無視しても製作不可能となる。

400Vおよび200Vの電動機の巻線絶縁は3kVに比べて相当有利であるが、出力増大につれて有効巻数を極度に減少する必要があるので、300kW程度をこえるものは、コイルが製造困難となるばかりか、大電流に耐えるコイルの機械的強度や端子引出部の電流容量などにも問題がある。それぞれの定格電圧に対する製造可能の出力限界は保護形式と極数によって大幅に変化するが、表2.2に示す程度が技術的な限界である。また、特性も電圧選定の影響を受ける。図2.8と図2.9は3kV級の効率と力率を基準にした増減の傾向を示し、図2.10は同じく起動電流の変化を示している。

2.2.2 各系列の製造可能出力

表2.1の標準系列に対応する製造可能出力を表2.3に示す。これは3,300V 60Hz B種絶縁の場合である。3,000V 50Hzでもスーパーラインはそのまま適用可能であり、Fライン以上の大形は表2.3の90%程度の出力を収容できる。400V級で製造する出力は大部分スーパーラインに含まれ8極以上の低速機が一部分Fラインに入ることがある。6kV級ではごく小出力の4極と6極をスーパーラインで製造するほか、ほとんど全部Fライン以上の大形であり、極数によって差はあるが大出力になるほど表2.3に接近する。Fラインは表2.3の70%、Uラインは約80~90%程度の出力範囲である。なお5,000kW程度を越える場合の定格電圧は6kVが適している。

2.2.3 絶縁の種類

回転機の絶縁はJISC 4004に絶縁種別と、それぞれの最高許容温度ならびに温度上昇限度を詳細に定められている。当社の絶縁は定格電圧に対応して表2.4のように絶縁種別を区分して、600V以下用のE種絶縁と3kV級までに適用するB種絶縁のほか、「ダイヤエ

表 2.2 各電圧階級の限界出力
Outputs limit of each voltage.

形 式 極数	防 滴 保 護 形			全 閉 外 扇 形		
	400V 級	3kV 級	6kV 級	400V 級	3kV 級	6kV 級
2	700kW	40kW	75kW	500kW	50kW	60kW
4	500	40	75	400	30	60
6	400	30	60	300	25	50
8	300	30	60	250	25	50
備 考	最大値	最小値	最小値	最大値	最小値	最小値

表 2.3 標準系列の最大出力
Maximum output of standard series.

系 列	形式記号	か ら び 形				巻 線 形				
		各形式の最大出力(kW)				形式記号	各形式の最大出力(kW)			
		2 極	4 極	6 極	8 極		2 極	4 極	6 極	8 極
スーパ ーライ ン	SB-E	185	355	220	150	SB-EW	110	250	200	132
	SF-E	160	185	150	110	SF-EW	110	132	110	90
F ライ ン	FKB	710	600	475	335	FSB	475	475	375	315
	FKB-H					FSB-H				
	FKT	㉑	400	355	250	FST	㉑	335	260	200
U ライ ン	UKB	㉒	4,000	3,000	2,500	USB	㉒	3,500	2,500	2,000
	UKB-H					USB-H				
MKB MSB シリ ーズ (ブラケ ット形)	MKB	2,500	5,000	4,000	4,000	MSB	1,500	4,500	3,500	3,000
	MKB-H					MSB-H				
	MKT	1,300	3,000	2,000	1,500	MST	1,000	2,000	1,500	1,000
	MKT-H					MST-H				

- 注) (1) ㉑は騒音抑制のためFKT、FST形では製作せず、MKT-H、MST-H形で製作する。
(2) ㉒はUラインの2極は製作せずMKB-H、MSB-H形で製作する。
(3) 上表はB種絶縁3,300V 60Hzの場合である。50Hzの場合はスーパーラインは上表どおりとし、その他の系列は上表出力の90%程度となる。
(4) 4,000kWをこえる場合の定格電圧は6kV級が適している。

ボキシ絶縁” (略称B(DF)絶縁) を6kV級までに適用している。B(DF)絶縁はエポキシレジンを用いたマイカボンドで作ったマイカ絶縁物で主絶縁を形成し、巻線作業完了後真空タンク内でエポキシレジンを含浸するもので、耐電圧強度と耐熱性・耐水性が非常にすぐれ、機械

表 2.4 電圧と絶縁種別
Voltages and insulation class.

種別	A	E	B	B(DF)	B(DR)
定格電圧					
600 V 以下	△	◎	◎	◎	
3,300 V	△		◎	◎	
6,600 V				◎	
11,000 V					◎

(注) ◎……標準としている。

△……過去の標準であるが注文に応じる。

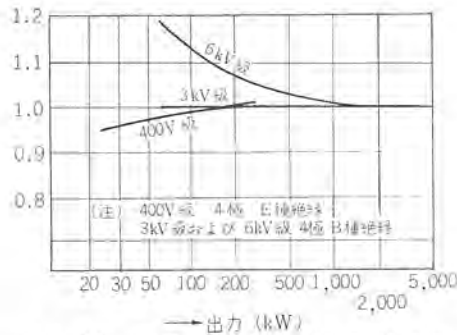


図 2.10 電圧および出力と始動電流の比較
Comparison of the starting current with voltage and output.

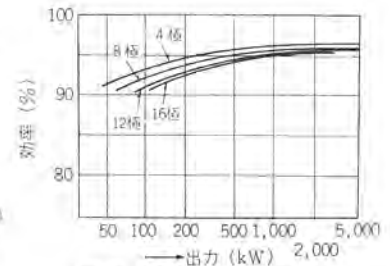


図 2.11 出力と効率
Relation of output with efficiency.

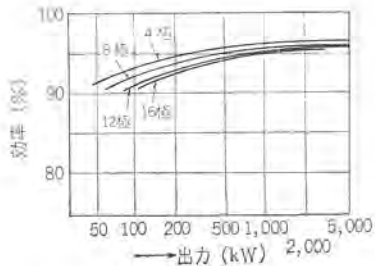


図 2.12 出力と力率
Relation of output with power factor.

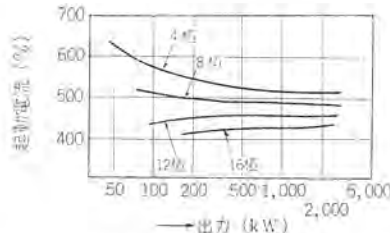


図 2.13 出力と始動電流
Relation of output with starting current.

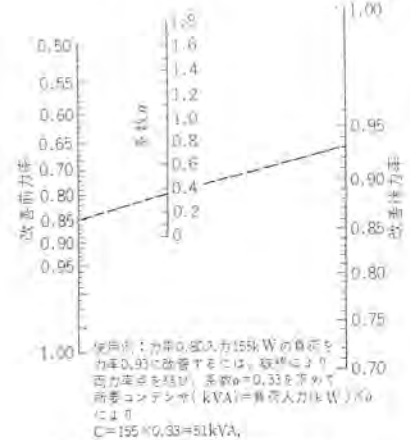


図 2.14 コンデンサ容量算出グラフ
Calculation graph for condenser capacity.

的強度はシリコンゴム絶縁と比べて数倍にも達する。11 kV 絶縁には大形発電機などに適用する不飽和ポリエステル系樹脂を使用した“ダイヤラシック絶縁”（略称 B(DR) 絶縁）を適用する。ポンプ設備は湿気が多く、また排水用ポンププラントなどは年間を通じてわずか数十日程度しか運転されないため、休止期間中の吸湿によりメグ低下が懸念される場合は、B(DF) または B(DR) 絶縁を適用すると吸湿などのおそれが全然なく、スペースヒータを省略することもできる。また、屋外用に適用してもメグ低下などのトラブルは皆無である。

2.3 電動機の特性

2.3.1 特性

ポンプの種類によって起動時の所要トルクは若干の相違があるが、普通のポンプは 2 乗トルク特性をもつので、速度制御の必要ある場合を除いて、深みぞかど形特性で十分である。小形電動機を使用する設備は電源が弱小な場合が多いので、トルク特性の余裕を大きく設計してある程度の電圧降下に耐えられるようにしている。

大形かど形電動機については、プラントによって、その起動電流による電圧降下が他の電気機器に著しい悪影響を及ぼすことがあるので、つとめて低起動電流とし、さらに高い効率と力率により運転経費の縮減をはかっている。効率・力率および起動電流は電動機の出力、電圧および極数により異なるが、図 2.11、図 2.12 および図 2.13 にそれぞれの概略値を示す。

2.3.2 力率改善

図 2.12 に示すように、誘導電動機は多極機となるほど力率低下が著しく、電源設備や送配電設備の有効利用度が低下し、送電ロスが増加し、電圧降下に悪影響を及ぼす、また電力料金が割高となるので進相用コンデンサにより力率改善を計ることが多い。200 V 級については電動機出力対応にコンデンサ容量を電力会社によって規定されている。400 V 以上の場合は改善前後の力率値より所要のコンデンサ容量を算出しているが、特に低力率の場合を除いて、電動機出力 (kW) $\times 1/3$ (kVA) 程度を一般に適用する、あまりに過大なコンデンサを使用すると、電源 OFF 時に自己励磁により定格電圧をこえる誘

起電圧を発生して、関連機器をもいためるおそれがある。また、複数台用を一括したコンデンサ容量とせず、それぞれの電動機ごとに分割して ON-OFF する必要がある。なお、力率改善に要するコンデンサ容量の簡易算出図を図 2.14 に示しているので図 2.11、図 2.12 と合わせてご参照願いたい。

2.4 構造

2.4.1 保護形式

屋内形ではほとんど全部防滴保護形である、屋外形でも絶縁の進歩により大形機は開放屋外形を適用することが多くなっている。ただし、小中形機は通風機構が複雑な“NEMA Weather Protected Mathine Type II”に相当する屋外構造は不适当であり、リブ冷却式的全閉外扇屋外形 (SF-E 形) が有利である。また、きびしく騒音を抑制する場合や、設備場所の換気がめんどろな場合は全閉内冷形が適している。これは電動機の上部または下部に内部空気を冷却するクーラを装置した形式である。冷却水には海水または清水を使用し、その所要量は、夏季最高水温 32°C の場合、電動機出力 100 kW につき 1.2 トン/時程度である。なお屋内形電動機の場合は、その出力 100 kW につき 7,000 kcal/時程度の発熱として、機械室の換気を行なう必要がある。図 2.15 はクーラを上部においた全閉内冷形の製品写真である。

2.4.2 騒音

騒音抑制は住宅地に近接するプラントでは特にきびしく要求されている。電動機より発する騒音は電磁的原因によるものと通風音が大部分を占めているので、電動機の出力や回転数に応じて騒音抑制の対策を施している。構造別には全閉外扇形・防滴保護形・全閉内冷形の順に騒音は低下する。全閉外扇形と防滴保護形にはサイレンサを装置して、2 極は 90～83 ホン、4 極以上は 85～78 ホン程度となって



図 2.15 MKE-G 形三相誘導電動機
Type MKE-G three phase induction motor

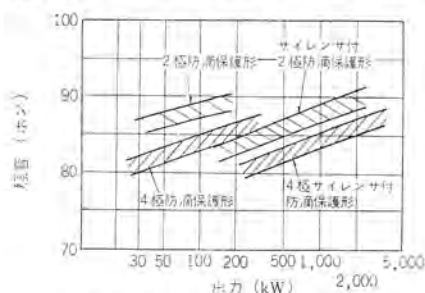


図 2.16 防滴保護形の騒音
Noise of drip-proof type motor.

いる。図 2.16 に防滴保護形の騒音概略値を示す。

2.4.3 軸受

スーパーライン系列のうち小形機のみシールドベアリングを使用している。Fライン系列はボールベアリングを標準としているが、必要に応じて二つ割りスリープベアリングでも製造している。Uライン以上は全部二つ割りスリープベアリングとし、高速大形機は強制給油を行なっている。立形機はポンプスラストと回転数により軸受構造を選定する。2極は1.5トンまで、4極は4トンまで、6極以上は6トンまでボールベアリングを使用し、これをこえるポンプスラストに対しては2極機以外はキングスベリ式スラストベアリングを適用する。大形機は水車発電機用と類似のスラストベアリングとなるので、実用上ポンプスラストについて許容限界を考慮する必要はないが、これまでの実績は50トン程度までのものが多い。

2.4.4 結合法

立軸の電動機は下向きに出した軸端でポンプ軸と結合することが多いが、センターリングと結合作業を容易にするため、電動機を中空（ホロシャフト）に作り、この中にポンプ軸を貫通して、電動機上部で結合することがある。

2.4.5 逆転防止

ポンプ停止中制水弁の故障や、まれには停止時の誤操作などによりポンプが逆転し、ときにはオーバースピードとなって、軸受やロータをいためおそれがあるので、電動機軸に機械的な逆転防止装置をつけることがある。

2.5 納期

はん(汎)用小中形電動機は多種類にわたって仕込品を多数用意し、即納態勢をとっているが、スーパーライン系列の中容量機以上と特殊仕様に対しては、「RONS」(Rapit order and negotiation service)方式

を工場と営業部門および代理店に拡充して、超短納期態勢を整備している。

3. 制御方式と制御装置

3.1 ポンプ電動機の始動方式

定速運転を行なうポンプには、一般に誘導電動機あるいは同期電動機が使用される。ポンプ電動機の始動方式は駆動用電動機の種類により、種々な方式があるが、ポンプの始動トルク特性もポンプの種類および弁の操作により異なるので、方式の選定には電源容量と合わせて十分検討を要する。いずれにしてもポンプの所要トルクに対して、必要十分な始動トルクを発生することが必要であるが、一般にポンプのGD²は小さいので始動は比較的容易である。

(1) かご形誘導電動機の始動方式

(a) 直入始動

直入始動をおこなう場合は、定格電流の5～6倍の始動電流が流れる電源容量が小さい場合は始動時の電圧降下に注意を要する。直入電動は電源容量が十分大きな場合に行なわれるが、通常は比較的小容量の電動機の場合が多い。

(b) リアクトル始動

直入始動では、電源容量または電圧降下に問題がある場合に行なわれる。これは電動機に直列にリアクトルを接続し、始動時はリアクトルに電圧を吸収させて減圧始動し、突入電流をおさえる。リアクトルの電圧タップは%吸収電圧で表わし、通常は50%、35%、20%ドロップタップを標準とする。渦巻ポンプは始動トルクが小さいので、35%ドロップタップで十分始動できるが、軸流ポンプは始動トルクが大きいため注意する必要がある。

リアクトルの容量は次式により与えられる。

$$\text{kVA} = \sqrt{3} V I_s \frac{\alpha}{100} \left(1 - \frac{\alpha}{100} \right) \times 10^{-3}$$

V: 線間電圧 (V)

I_s: 全電圧始動突入電流 (A)

α: %ドロップタップ

(c) Y-Δ始動

Y-Δ始動は、通常小容量の電動機に使用される。始動時の電圧は1/√3となり、トルクは全電圧の場合の約1/3となるため、ポンプの始動トルク特性によっては使用できない場合がある。

(d) コンベン始動（単巻変圧器始動）

単巻変圧器により、減圧始動を行なう方式で、リアクトル始動方式に比べ同一始動電流に対して、大きな始動トルクが得られる特長がある。始動電流はリアクトル起動では電圧に比例して減少するが、コンベン始動では電圧の2乗に比例して減少することによる。

制御装置はリアクトル始動方式より高価となる。

タップ値は単巻変圧器二次の一次に対する%値で表わし、50%、65%、80%タップを標準とする。単巻変圧器の容量は次式により与え算出される。

$$\text{kVA} = \sqrt{3} V I_s \left(\frac{\beta}{100} \right)^2 \times 10^{-3}$$

V: 線間電圧 (V)

I_s: 全電圧始動突入電流

β: %電圧タップ値

(2) 巻線形誘導電動機の始動方式

巻線形誘導電動機は二次抵抗始動が行なわれる。

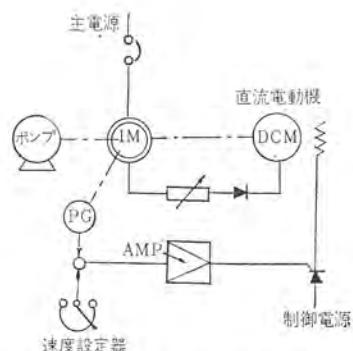


図 3.3 変形レクチフロードライブ (M-G セルビウス)
Basic diagram of modified RECTIFLOW DRIVE.

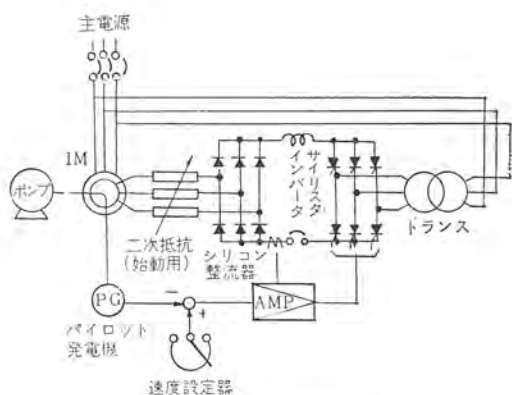


図 3.4 静止セルビウス装置
Basic diagram of static Scherbius apparatus.



図 3.5 阪神水道企業団 (大道) 1,200 kW 静止セルビウス装置
Static Scherbius apparatus for 1,200 kW pump motor.

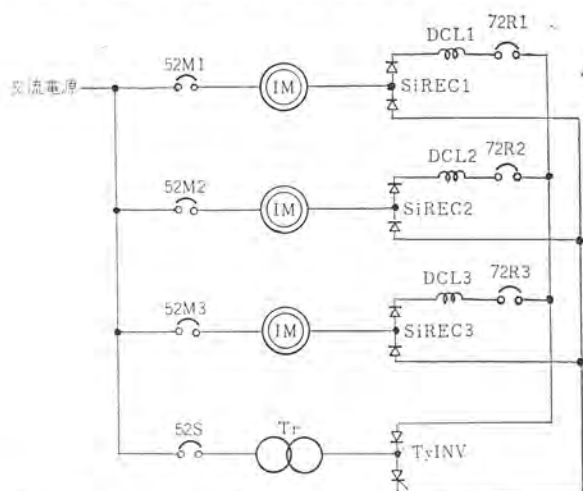


図 3.6 複数の電動機を同時に速度制御する方式 (共通セルビウス)
Static Scherbius system with one inverter for multiple motors.

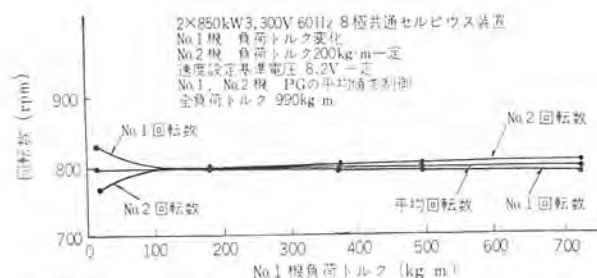


図 3.7 2台共通セルビウス装置の速度-トルク特性 (実測値)
Speed-torque characteristics of static Scherbius system with one inverter for two motors (measured).

誘導電動機から機械的には切離し、シリコン整流器を介して電気的のみ接続する。二次誘起電圧と直流電動機電機子逆起動力の関係は直結の場合と同様となるが直流電動機に誘導発電機を直結し、すべり電力は誘導発電機により電力として電源へ返還される。直流電動機は誘導電動機の回転数とは無関係に、誘導発電機の極数で定める一定回転数で運転する。速度制御は直結の場合と同様、直流電動機の界磁電流を制御することにより行なう。

機械的出力は $P_i(1-S)$ となり、本質的には定トルク特性を持っている。誘導発電機があるため、直結形よりやや効率低下する。

(3) 静止セルビウス

静止セルビウス装置は図 3.4 に示すように、負荷を駆動する巻線形誘導電動機と誘導電動機のすべりに比例した二次出力を直流に変換するためのシリコン整流器、平滑用直流リアクトル、直流に変換された二次出力を再び電源周波数の交流出力として回収し、電源へ返還するためのサイリスタ他励インバータ、および返還トランスにより構成される。速度制御はサイリスタのゲート点弧位相角をインバータ領域で制御することにより行なう。図 3.5 は 1,200 kW 誘導電動機に採用された装置の全景である。

3.4 ポンプのせん(揃)速制御

送水ポンプなどでは複数個の同一定格の電動機を同時に速度制御し、送水流量-圧力を制御することがある。このような要求に対しては、セルビウス方式は適しており、変形レクチフロー、静止セルビウスのいずれも行なわれ、共通セルビウス方式と呼ばれる。

静止セルビウス方式の場合は、図 3.6 のような整流器-直流リアクトルは各電動機それぞれに設け、直流回路で並列接続しインバータ装置を共通に 1 台設け、このインバータを位相制御することにより、各電動機を同時に速度制御する。

ただし、この方式では、各電動機を完全にせん(揃)速することはできず、各電動機は、電動機の二次インピーダンスと直流の回路の共通点までの直流抵抗に応じた速度のばらつきを持つ。一例を図 3.7 に示す。静止セルビウス方式の場合は、軽負荷においてはせん速作用がなくなるが、通常定格トルクの 10% 以上のトルクがあれば、十分安定したせん速が可能である。ポンプの場合、弁全開運転においても 10% 以上のトルクがあるので、実用上まったく問題はない。また変形レクチフローにおいても静止セルビウスと同様に共通の MG によってせん速制御が行なわれる。

3.5 各種速度制御方式の比較

前述のように、ポンプ用可変速駆動モータには、多くの方式があるが、特殊な場合を除けば、一般には誘導電動機が使用される。最近の設備の大容量化は、ますますこの傾向を強めている。表 3.1 は誘導電動機の各種制御方式の比較である。なお図 3.8 に効率曲線を示した。

表 3.1 誘導電動機速度制御比較表
Comparison table of induction motor speed control methods.

方式	二次抵抗制御 (金属・液体)	静止セルビウス (サイリスタ セルビウス)	変形レクタフロー (M-Gセルビウス)	直結レクタフロー (クレーマ)
電力の流れ 注: P_i = 総合入力 P_{in} = IM入力 P_o = IM出力 P_{dm} = DM出力 P_F = 返還電力 P_L = 損失				
速度制御法	制御対象	IMの二次抵抗を調整する	サイリスタインバータの点弧相制御	DMの界磁電流を制御する
	調整法	(金属) 手動または電動操作。通常手動のみ (液体) 手動、自動いずれも可	通常は自動とする	手動、自動いずれでも可
速度制御範囲 (2乗トルク負荷の場合)	最高(金属) 二次短絡 (液体) $S=0.05 \sim 0.1$ 最低(金属) $S=0.5$ (液体) $S=0.4 \sim 0.7$	最高 $S=0.03 \sim 0.06$ 最低 $S=1.0$ まで可	最高 $S=0.07 \sim 0.1$ 最低 $S=1.0$ まで可	最高 $S=0.07 \sim 0.1$ 最低 $S=0.7$ $S=1.0$ では不可
速度トルク特性	定トルク	定トルク	定トルク	定出力
過渡応答(自動時)	電極速度による。遅い。	最も速い	速い。	速い。
力 率	良好 トルクに関係する	悪い。速度制御範囲と負荷トルク特性に関係する。	悪い、静止セルビウスよりは良い。	二次抵抗制御よりや、悪い。
効 率 (図6.1参照)	すべりに比例して低下	最も良い	良好	良好 静止セルビウスと同程度
適用容量	(金属) 750~1,000kWまで (液体) 100kW以上	制限なし 大容量ほど有利	同 左	同 左
保守・点検	(金属) 最も容易 (液体) や、面倒	容 易	や、面倒	や、面倒
据 付	(金属) 容易 (液体) や、面倒	静止器のため容易	MGの直結等でや、面倒	DMとの直結等でや、面倒 ポンプ回りのスペースをとる

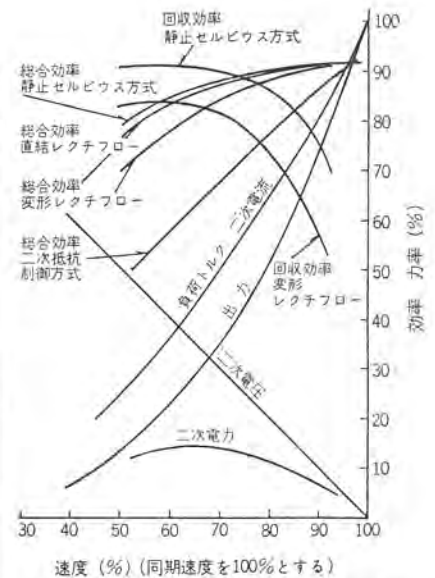


図 3.8 各種速度制御方式の効率曲線
(速度2乗トルクの場合)
Efficiency curves of various speed control systems.

面だけで18台と、それに必要なシーケンス制御用補助継電器を数十台収容することができて、さらにこれらに必要な外部引出端子台をも取付けることができる。また、量産のできるメーカーであれば、配線および組立作業の標準化ならびに合理化のできるコントロールセンタのほうが制御盤形式の盤より低価額で製作することができ。その他制御盤形式に比較してコントロールセンタは幾多の長所がある。

4.3 コントロールセンタの長所

(1) コントロールセンタでは始動装置単位ごとに、他ユニットと鉄板で隔絶された状態にある。したがって単位装置の回路に

短絡のような事故が発生し、器具を焼損したような場合は、その際発生するアークは他ユニットへ波及することなく、事故を一つのユニットに極限させることができる。通常事故の際発生したアークの移動により二次的短絡事故を誘発することがある。またビニール電線の被覆は大電流により急激に加熱されると、溶融蒸発し、黒い煙霧状となり周囲に飛散し、これをささぎるものがないとその周囲の機器はひどく汚損を受け使用に耐えない状態にまで至る。この点においてコントロールセンタ方式を採用することは、制御盤形式の使用に比較してきわめて有利である。

(2) 保守点検が容易であり、引出構造のユニットは万一故障を生じても、ユニットの交換は容易かつ迅速に処理できる。また標準寸法のユニットの採用により完全な互換性を持たせることができる。

(3) ユニットが標準化されているから監視器具・操作器具の取付規格が明確になり、監視制御・保守点検・計画等が容易になる。

(4) コントロールセンタは計画が容易である。コントロールセンタは十分に検討された規格をベースにして標準化を行なっているからプラントの計画が容易となり、かつ標準化により量産体制の採用と多数の部品および組立中間部品の科学的管理により経済的価額とすることができ。

4. 水プラント用コントロールセンタ

4.1 コントロールセンタの使用について

かつては電動機の始動装置は、電動機の近傍に個々に据付けられる形式のものが多く使用されていた。しかし近年電動機の始動装置はおおのこの電動機容量に適した基準のユニットに、必要な場合にはシーケンス制御用補助継電器とともに収容されるコントロールセンタを使用するのが普通である。

4.2 制御盤形式とコントロールセンタ

一方、いわゆる制御盤形式の集中電磁制御盤を使用する場合がある。この制御盤形式の盤を使用する理由は、盤一面に収容できる器具が多いと考えられることと、価額がコントロールセンタに比較してやすいであろうという二点にあるようである。しかるにこの二点についてもコントロールセンタよりも制御盤形式が有利であるとは必ずしも言えない。すなわちコントロールセンタでは合理的かつ標準化された部品配置と盤内結線を行なうことにより、むしろコントロールセンタのほうが器具収容数を多くすることができる。もちろんコントロールセンタでは両面形を使用することもできる。たとえば当社E形コントロールセンタでは幅1,200、奥行550、高さ2,300として電動機始動装置を片

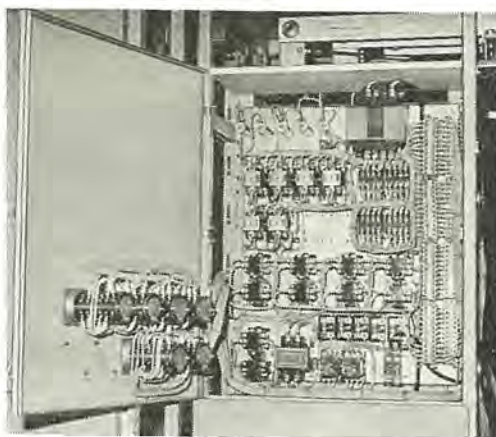


図 4.1 E 形コントロールセンタ
Auxiliary relay unit in control center.

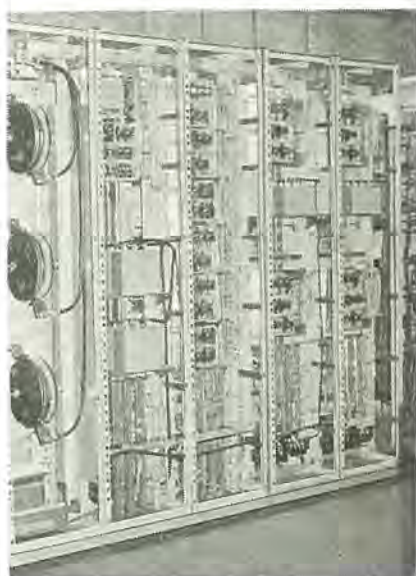


図 4.2 裏面に取りつけた補助リレー
Auxiliary relay mounted on back space of control center.

4.4 水処理プラントのコントロールセンタの防食

コントロールセンタを水処理プラントに摘要する場合、その周囲環境にも注意を払う必要がある。浄水プラントでは塩素ガスに対する防食を考慮しておかなければならないし、また汚水処理プラントでは H_2S ほか S 系の腐食性ガスに対する防食を考慮しなくてはならない。防食については、まず第一に箱構造関係であるが、一般にめっきよりも塗装のほうが耐食性にすぐれているといえる。箱構造物はビニル樹脂系の塗装をするのが一番よい。

(1) 箱関係

ビニル樹脂系塗装を施す。一般にめっきよりも塗装のほうが耐食性においてすぐれているといえる。鉄系部品でめっきを必要とするものは亜鉛亜鉛有色クロムめっきを施す。クロムめっきはピンホールができやすく、耐食性は非常に悪く、水処理プラント内におけるクロムめっきは短期間のうちにめっき層の浮き上がりを生じる。したがってクロムめっき部品を使用する場合は、透明塗料などによる保護が必要である。

(2) 器具関係

電磁開閉器やノーヒューズしゃ断器、補助リレー等の器具類は特に環境の悪い化学工場を除いて一般の水処理プラント内では標準品のままで問題ない。必要に応じて箱構造に合成ゴムパッキン、底板等を使用

して腐食性ガスの盤内浸入をできるだけ防ぐようにする。またスプレーヒータを使用して運転休止時における霧滴の付着を防止し、付着した霧滴に溶解した腐食ガスによる浸食を防止するよう配慮しなければならない場合もある。

盤面に取付けられる操作器具、たとえば信号灯や押しボタンスイッチ等の締付リングは通常クロムめっきのものが多く、これは腐食性ガスのある環境においては非常に弱いから合成樹脂系材料のものを使用する必要がある。

(3) 電線および母線

通常の水処理プラントにおいては使用する電線は普通のビニル電線で十分である。特に環境の悪い場所では耐硫化ビニル電線を使用する。耐硫化ビニル電線は電線被覆に使用するビニル樹脂の安定剤としてすずを使用するものであり、普通のビニル電線と比較して絶縁抵抗が低い。

母線のめっきの銀は、水処理プラントにおいてはきわめて不安定で使用するべきではない。一般的にはすずめっきを使用するのがよいようである。場合によっては塗装による保護あるいはマスキングワニス等の使用を考慮する必要がある。

4.5 電動機保護

一般に電動機始動装置の場合は、ノーヒューズしゃ断器と電磁開閉器を組合わせ、ノーヒューズしゃ断器は回路の短絡保護を行ない、電磁開閉器は電動機の運転停止と過負荷保護を行なう。この考え方は一般工業用コントロールセンタと同様である。水中電動機は許容拘束時間が短いから熱動過電流継電器の選定には注意する必要がある。浄水プラントにおける取水ポンプ、沈砂搬出コンベア、汚水処理プラントにおける汚泥かき寄せ機等は 3E リレーを使用する。3E リレーの第一の使用目的は逆相防止である。また汚水処理プラントにおいて沈砂搬出エレベータ、コンベア等のあるものは過負荷保護継電器として瞬時動作のものを使用し、起動時はこれを短絡して使用するという形式のものもある。

4.6 短絡保護

システムとしての短絡保護方式には次の三つがある。

- (1) 全定格方式
- (2) 選択しゃ断方式
- (3) 縦続接続方式

コントロールセンタに使用するノーヒューズしゃ断器を経済的に選定するに当たり、考慮する価値のある有要な方式は(3)である。一般にノーヒューズしゃ断器のアーク時間と開極時間は非常に短く、異なるフレームサイズのノーヒューズしゃ断器を縦続接続してそのしゃ断時間を重畳させることのできるものがある。この場合短絡電流を同時に動作するノーヒューズしゃ断器でしゃ断することになり、アークエネルギーは二つのしゃ断器に分担されることになり、ノーヒューズしゃ断器のみかけのしゃ断容量は増大することになる。コントロールセンタではグループに 1 台の主しゃ断器を設けることにより、この状態を主しゃ断器と分岐しゃ断器との関係において実現できる。

水処理プラントでは処理段階ごとに設備を収容する建屋が散在する場合が多く、電源ケーブルが比較的長いものが多い。このような場合には当然のことながら事故電流の推定に当たってケーブルのインピーダンスを考慮すべきである。

コントロールセンタユニットのしゃ断動作責務は、JEM-1195(1966)において三相交流しゃ断 1 回である。コントロールセンタ定格しゃ断容量を表 4.2 に示す。

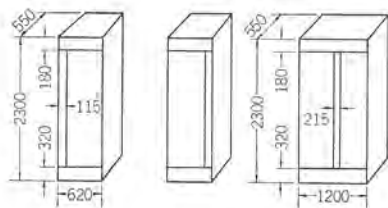


図 4.3 コントロールセンタ外形寸法
Outline dimensions of control center.

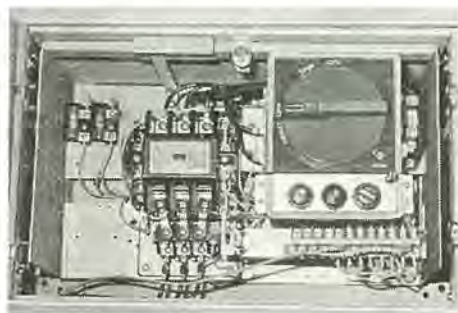


図 4.4 E形コントロールセンタユニット
Type E control center unit.

4.7 E形コントロールセンタの概要

E形コントロールセンタはNC形にかわって昭和43年より生産されている。E形コントロールセンタはNC形に比較して、デザイン、構造共に一新し、数多くの特長をもっている。大きな特長の一つは二面に共通の配線ダクトを設けたことであり、これによりJEM(NEMA) B配線方式が容易になり、ある特定の位置のユニットの保守、改造に際しても周囲の他のユニットに関係なく作業をすることができる。ユニットは最小200 mmで9段積となり100 mmピッチのユニットサイズは計画を容易にする。またユニットの脱着は水平動作により容易に行なうことができる。E形コントロールセンタの外形寸法を図4.3にE3ユニット一例を図4.4に、ユニット一覧表を表4.3に示す。定格しゃ断容量を表4.4に示す。

4.8 最近の動向

最近の水プラント用コントロールセンタの特長として、プラントの自動化、無人化への進展とともに、シーケンス制御用補助継電器が非常に多く使用されるようになっている。そこでコントロールセンタとしては前面を電動機始動装置ユニットとし、裏面をリレー盤として使用したものが多。

さらに最近は保守点検の容易さの増強という観点より、負荷側主回路および制御回路にも自動連結機構を採用した全自動引出形のコントロールセンタを要求される場合がある。

5. む す び

当社の誘導電動機、その制御装置、コントロールセンタにつき、特に水プラント適用の観点に立って説明した。

水プラントの重要な回転機である電動機には、高度な性能・信頼性、運転の経済性など数多くの事項が要求され、これらを満足するためには、機器の製作が正しく行なわれることはもちろん、ユーザ、メーカーが協同して適切なシステムを作ることも必要であろう。この論文が電動機の適用について参考となれば幸いである。なお今後も性能と

表 4.1 E形コントロールセンタユニット一覧表
Type E control center unit.

非可逆起動器ユニット寸法

ユニットの縦寸法		適用最大電動機容量 kW		NFしゃ断器
(標準)	(全自動)	200~220 V	400~440 V	
200	300	7.5	15	NF 100 E
300	400	19	37	NF 100 E
600	700	45	90	NF 225 F
1,000		90	150	NF 400 B
1,200		150	300	NF 600 B

可逆起動器ユニット寸法

ユニットの縦寸法		適用最大電動機容量 kW		NFしゃ断器
(標準)	(全自動)	200~220 V	400~440 V	
200	300	4	5.5	NF 100 E
300	300	4	5.5	NF 100 E
400	500	7.5	15	NF 100 B
600	700	22	37	NF 100 E
800	900	45	90	NF 225 F
1,400		90	150	NF 400 B

ノーヒューズしゃ断器ユニット寸法

ユニットの縦寸法		ノーヒューズしゃ断器	
(標準)	(全自動)	個数最大	形名
200	300	1	NF 50 B
200	400	2	
300	300	1	NF 100 E
300	400	2	
400	400	1	NF 225 F
600	500	1	NF 400 B
700	600	1	NF 800 B
1,000		1	NF 1000 B

表 4.2 コントロールセンタ定格しゃ断容量
Rated interrupting capacity of type E control center.

(JEM規格による)

適用 NFしゃ断器	コントロールセンタ 定格しゃ断容量 A		適用 NFしゃ断器	コントロールセンタ 定格しゃ断容量 A	
	200 V (0~1回)	460 V (0~1回)		200 V (0~1回)	460 V (0~1回)
NF-50 B	15,000	10,000	NF-400 B	75,000	40,000
NF-100 E	30,000	20,000	NF-600 B	75,000	40,000
NF-100 H	100,000	30,000	NF-800 B	75,000	40,000
NF-225 F	50,000	30,000	NF-1000 B	75,000	40,000

信頼性の向上に努め、ユーザ各位のご要望にこたえたい。

参 考 文 献

- (1) 八木, 梶谷, 篠原: 三菱電機技報 40, No. 6 (昭41)
- (2) 新良, 甘粕, 衛藤: 三菱電機技報 40, No. 6 (昭41)
- (3) 石井, 上田, 宇都宮: 三菱電機技報 42, No. 8 (昭43)
- (4) 古川: 三菱電機技報 42, No. 9 (昭43)
- (5) 武田, 新良, 九里: 三菱電機技報 35, No. 11 (昭36)
- (6) 中野・川畑・栗田: 三菱電機技報 42, No. 4 (昭43)
- (7) 山下, 栗田: 三菱電機技報 43, No. 7 (昭44)

水中モートル

和田 義彦*・佐藤 公夫*・山本 作衛*

Water Submersible Pump Motors

Nagoya Works

Yoshihiko WADA・Kimio SATO・Sakue YAMAMOTO

Utilization of submersible motors as equipment to be used for water plants are drawing attention of those concerned with the work. Employment of particular motor is on the steady increase. They have many distinctive features. The most conspicuous of them are: reduction of floor spaces of the installation results in because of their operation underwater, no consideration is needed to the suction head, and an overall efficiency of pumps and motors is high. On the contrary, however, anxiety in operating underwater is unavoidable. This article elucidates submersible motors produced by Mitsubishi to furnish information of how the worry is relived by ingenious design in addition to various advantages.

1. ま え が き

水中プラント用電動機としての水中モートルの利用は、その特長、利点が各界に認識されるに従い着実な増加を示している。その用途はポンプ駆動用であり、その場合次の利点が考えられる。

(1) 地上施設が不要である。

水中モートルは水中にあって使用されるものであるため、建家等の地上施設を必要最小限にとどめることができる。さらに洪水等の不慮の災害の影響をほとんど受けない。

(2) 運転が静かである。

水中で運転されるので、騒音が地上に伝わることがきわめて少なく、設置にあたって公害を憂慮する必要がない。

(3) 総合効率が高い。

水中で運転されるため水中での回転により生ずる摩擦損失により地上モートルに比べ若干効率は減少するが、ポンプ効率が向上するため総合効率は地上ポンプ使用より高くなる。

(4) 保守が不要である。

水中モートルは水中で運転されるため運転状況を直接観察することはできない。しかしその信頼性はきわめて高くなっており、長期間にわたりほとんど保守を必要としなくなった。したがって保守費の低減を行なうことができる。

このように水プラント用として水中モートルを使用した場合、地上モートルではみられない数々の利点があり、それらを総合した場合、建設費、運転経費の節減に効果が期待できる。

水中モートルの製作実績も増大し、出力において300~400kW程度まで、電圧では6,600V級まで実用化されるに至り、その運転実績も無保守で数万時間に達したものもある。これらの利点と実績の評価が高まり、材料の進歩、設計工作技術の改善等とあいまって、将来急激な需要の伸びが予想できると考える。

当社は、水中モートルについて、すでに十数年の製作実績をもち、先に業界に先がけ実用化に成功した3,300V級ではすでに数年の運転実績があり、最近では本邦最初であり、世界でも例をみない超高圧6,600V級水中モートルの実用化に成功し、常に業界をリードしつつある。ここに水プラント用を対象とした三菱水中モートルの概要を紹介する。

2. 概 要

(1) 水中モートルの種類



図 2.1 三菱水中モートルの種類
Kind of Mitsubishi submersible pump motors.

水中モートルは電動機内部に封入する流体の種類により、水封式、油封式および乾式の3種に分類される。またその他形状および用途によっても分類される。図2.1は水中モートルの種類を示したものである。水プラント用として主として使用されるものは、これらのうち水封式標準形式のものと水封式および油封式の河川形である。

(2) 水中モートルの適用

水封式は内部構造が耐水性をもったものであるから、外部の水の浸入があっても直接機能に影響を与えない。したがって水中でのあらゆる用途に適している。油封式および乾式は軸封機構を含めた電動機の水密構造に欠陥が生じたとき、電動機の機能は停止する。したがって軸封機構の寿命により電動機寿命が決定される。また電動機内の油の外部への漏れが問題になる用途には使用できないので、その用途は水封式に比べ限定される。油封式と乾式とは同質のものであり、熱伝導の観点から油封式は大形に、乾式は比較的温度上昇の問題にならない小形のものに適用される。

表2.1は河川形水中モートルにおける水封式と油封式の得失を比較したものである。

水中モートルの選定にあたっては、出力に対する電圧の適用を考慮する必要がある。水プラント用として水中モートルを選定する場合、単に水中モートルのみではなく、電源設備、電源より電動機据付場所までの距離を考慮して総合的に電圧の選定を行なわねばならない。過去に水中といえば、低圧にかぎられたため不経済な計画を余儀なくされていたが、6,600V級に至るまで選定の自由度が増したので、今後は総合的に経済的な計画ができるようになった。水中モートルの

表 2.1 水封式と油封式との比較
Comparison of water-sealed type and oil-sealed.

項 目	水 封 式	油 封 式
1. 構 造	完全シール構造	水封式と同一またはより嚴重にする必要あり
2. 一 般 特 性	効率……普通 83~90 % その他の特性は油封式または一般モートルと変化なし 耐熱性油封式よりおちるがA種程度まで使用可能である。	流体損失は増加するが、電気損失(一次側)は水封式より若干低くなるので効率は水封式とほぼ同等である。
3. モートル外形寸法	油封式より若干大形となる。	水封式より若干小形となる。
4. 付属設備	特に必要なし	一般に加圧機構が必要となる。
5. 安 定 性 (寿命)	構造全般が耐水性をもって安定性が高い。 環境条件の変化による突発的事故の発生する危険はまったくない。	水封式に比べ、安定性に欠け付属機構の欠陥がモートルの故障に結びつく。 環境条件の変化が事故に結びつくことあり。
6. 取扱流体に対する条件	いかなる湯水に対して使用可能である。油をまったく使用しないので、特に水道用として最適である。しかし低温の場合水温を調節する必要がある。	油の漏れによる汚染が問題となる用途には不適である。 モートル封油は多少もれる(0.05~0.1cc/min)ため水道用としては使用できない。
7. 保 守・点 検	モートル内の水位と電流の振れの検知のみで状況の確認が容易である。また封水の交換もまったく必要なく、比較的長期の定期点検でよく維持費がきわめて安い。	モートル内の油量、油の純度、巻線の絶縁抵抗等々に検知する必要がある。 検知も水封式よりひんばんに確実に行なう必要があり油の定期交換等維持費が高くなる。
8. 分 解・組 立	分解組立は比較的容易であるが現地での分解組立は軸受の組立調整が複雑のため比較的困難である。	水封式と同様である。
9. 価 格	油封式に比べやや高価となる。しかし加圧機構および保護装置等を含めた場合同等もしくは若干安価となる。	特殊設計のモートルのため、一般地上モートルに比べ大幅に高価となる。
10. 用 途	上水道の取水、配水および加圧用 工場給排水用 河川からの取水用 工業用水道設備の取水配水用 発電所の湯水排水用 農業用水の湯水排水用 海水の取水排水用等	下水道排水用 工場排水用 土木工事等の排水用 農業用水の湯水排水用等

出力と電圧との関係は、実際にはそれぞれの諸条件によって事情が著しく異なるため一概に決定づけることは困難であり、それぞれの実情において決定を行なわねばならない。次に水中モートル製作上支障のない範囲での出力と電圧との関係を示す。

200 V 級	約 75 kW 以下
400 V 級	約 22 kW 以上 300 kW 未満
3,000 V 級	約 55 kW 以上
6,000 V 級	約 200 kW 以上

(3) 信頼性

水中モートルにおける最も大きい問題点は水中で運転されるということである。水中で電気機器を使用する場合の常識的な不安と運転状況を直接観察できないということが重なって、まだ水プラント用としての採用は地上モートルに比べ少ないように思える。水中モートルは開発当初においては幾多の問題点があったが、当社では十数年の実績とたゆまぬ研究開発により非常に安定したものになっている。

耐水絶縁材料の水中架電状態における破壊現象の解明、接続個所の耐水絶縁方式の確立、それらを含めた総合的な寿命試験の実施、水潤滑軸受材料、潤滑方式および構造の研究、実機による耐荷重試験による寿命および安定性の確認、構造材料およびその防錆、水中における回転によって生ずる現象の解析、軸封材料の進歩等、信頼性向上のためのふだんの努力の積み重ねが現在における製品と結実している。機器の信頼性は、機器に採用されている各部品の信頼性の積で与えられる。したがって安定した運転と長寿命のためには電動機を構成する各部品の信頼度はほとんど 100 % でなければならない。このため設計面のみではなく、工作技術面での研さん(鑽)も要

求されるわけであるが、各構成材料の寿命評価を単に寿命試験で見きわめることは不可能であり、寿命試験にもとづいた寿命推定を基礎として機器が製作されるわけである。

したがって総合的に信頼性の評価を行なうのは実機における運転実績であり、これらをもとにして標準的に製作されたものの寿命を類推することになる。水中モートルにおける故障は電動機本体の故障のほか、取扱いその他の理由によって生ずる故障も数多くあるが、当社水中モートルの標準機種における実績では、事故率は製作メーカーの責任に帰すものはほとんど皆無であり、河川形水中モートルにおいては、低圧、高圧を含めた数多くの運転実績において皆無に近い事故率となっている。そして、その運転実績も無保守で 50,000 時間以上に達するものもあり、とくに 3,300 V 級においても 30,000 時間に達する実績を挙げている。

このことは、水中モートルの寿命が地上モートルに匹敵するものであることを示したもので、今後、地上モートルと同様な信頼性をもって取扱うことのできることを示したものと云えよう。

3. 設計上の諸問題

3.1 耐水絶縁

低圧水封式では特殊耐水電線を使用して巻線がなされる。これら耐水電線は、直接水に触れているので、絶縁物のわずかな欠陥は絶縁不良事故に結びつくもので、その選定にあたっては十分の基礎データにもとづく配慮が必要である。耐水電線に要求される特性としては、

- (1) 完全な耐水性を持ち、水中での絶縁抵抗が安定すること
- (2) 環境き(亀)裂性がまったくないこと
- (3) 耐熱性が良好であること
- (4) すぐれた機械強度をもち、巻線作業により損傷をうけないこと

があげられる。これらの諸特性を十分満足する電線を選定使用しているが、このうち環境き裂性についてはとくに意をもちている。そして使用温度、液質および電圧に対する環境き裂特性の検討を進め、特殊コーティング処理による耐水絶縁電線を開発し、低圧水封式水中モートル全般に採用している。また、電線とケーブルとの接続部の耐水絶縁は当社の研究開発による特殊の方式であり、すぐれた特性の耐水電線の使用とにより当社低圧水中モートルの絶縁はきわめて安定であり、長寿命が保証できる。

最近、低圧水封式の小容量機にはキャンド方式による耐水絶縁が採用されるようになった。これは固定子コイルをかんずめ状態にしたもので、小形多量生産機種には生産性向上と小形化を目的として生産量は増大している。この形式は薄板溶接構造体であり、溶接による耐水性が完全なこと、溶接により薄板に残留応力が残らないこと、運転中キャンドに発生する損失を最小にすること、および精度の高い構造体とすることなどが要求される。当社では材料の選定、溶接技術の確立に意をもち完全な耐水性固定子の製作に成功している。そして過酷な寿命試験によって、その成果をうらづけている。

高圧水封式は特に当社で開発した理想的な絶縁方式を採用している。当社の水中高圧絶縁方式は、わが国では最初に開発されたもので世界でも類をみない画期的なものであり耐水絶縁特性、耐熱特性および機械特性はきわめてすぐれており、長い寿命と高い安定性を誇りうるものである。

油封式では耐油性絶縁方式が乾式では一般の E 種絶縁方式が採用

されている。これらにおいても電動機内部へのある程度の水分の混入を予想した耐水絶縁ワニスで入念な処理を施している。

3.2 水潤滑軸受

水封式水中モートルの特色は水潤滑軸受をもつことであり、さらに高速、高荷重に耐えるスラスト軸受を備えることにある。

(1) スラスト軸受

水中モートルは揚水時に加えられるポンプスラスト荷重を全部電動機に設置されたスラスト軸受において支持せねばならない。水潤滑の場合、水の粘度が使用温度において油の1/20~1/30であるので、潤滑状態は境界または接触潤滑として取扱うのが实际的である。したがって、軸受材料には固体潤滑剤を適当な合成樹脂によって固着させたものを使用している。したがって周囲の水は潤滑剤というよりも、むしろ冷却剤として軸しゅう(摺)動面にはいり、発生熱量を運び去る役目に使用されると考えるべきである。一般に合成樹脂系軸受は、それ自身の熱伝導率が少ないため、軸受表面にいかにして多量の冷却水を与えるかにより、その特性が決定されるものである。したがって構造としては、ミッチェル式のものを主として使用している。

現在における水潤滑スラスト軸受の寿命は、不断の研究の結果として、油潤滑のすべり軸受のそれと同程度の保証ができる段階に至っていることが確信できるものである。

(2) ラジアル軸受

ラジアル軸受もスラスト軸受同様の考え方にたって検討した。水中モートルの場合は一般にラジアル荷重が少ないので、材質は合成樹脂系および合金軸受が採用せられる。軸受面に発生する熱量を急速に運び去るために、周囲の水を有効適切な方法で軸受面に導く構造が必要になる。合金軸受では熱伝導率が高いため、発生熱量のすべてを軸受面より放散する必要はないわけで、熱放散に関する限り合成樹脂に比べ有利となる。また、軸受の温度上昇にともなう膨張を考える場合も合成樹脂は金属の数倍の膨張係数をもつので、軸受クリアランスを大きくとらないと焼付きの危険がある。

一般に水潤滑の場合軸受クリアランスは油潤滑の場合の2~3倍にとられているが、これがあまり大きい振動等の原因となり好ましくない。したがってラジアル荷重が比較的小さいことを考えれば、実用上は合金軸受のほうが安定である。この考え方より当社では主として合金軸受を使用するが、用途に応じ両者を使い分けている。

ラジアル軸受の安定性は単に軸受単体の問題ではなく、軸強度に左右される場合が多い。水中モートルはその性格上、比較的軸受間長が一般に長くなるものである。そのため磁気吸引力に対する軸安定度が減少することになる。安定した軸強度を保証しうるための軸径および空けき(隙)長の選定には十分の意をもちいている。

3.3 円筒摩擦損失

水中モートルは水中で回転するから、空けき面において非常に大きい流体損失を生ずる。この損失は大形機で高速機ほど大きく、出力の10~15%に達するものもある。このため水中モートルの効率は地上モートルに比べ、約10%ほど低下する。回転子表面において生ずる円筒摩擦損失は、レイノルズ数が低い場合、次の式で与えられる。

$$P = C \cdot D^{1.45} \cdot N^{2.5} \cdot 3 \cdot L \cdot G^{-0.5} \quad (\text{kW})$$

ここで D は回転子外径、 N は回転数、 L は鉄心幅、 G は固定子回転子間の空けき長、 C は比例定数を与える。この多大な損失を減少させるため、できるだけ細長い形状とし固定子、回転子の表面を平滑とし、固定子内径との関連において空けき長を適切に選定している。

3.4 軸封機構

軸封装置は水中モートルの形式、用途等より選択決定する必要がある。水封式の場合、水中モートルが必ず水中に没して使用されるものでは、封水の漏れのおそれがないので単に外水に含まれる異物の浸入を防止し、多少外水と内部封水との間に水の流通があってもやむを得ないという考えで検討できる。したがってこの種の水中モートルでは、軸封機構は比較的簡単になる。しかし水中モートルが露出して運転され、封水の漏れのおそれのあるもの、すなわち河川形水中モートルでは水封式、油封式を問わずある程度厳重な軸封を考える必要がある。とくに油封式の場合は完全な軸封が要求される。

この場合一般にメカニカルシールの組み合わせ方式が採用され、要求寿命を考慮してその材質が決定される。組み合わせは電動機内外の圧力の関係、全体の構造を考慮して決定すべきであるが、河川形水中モートルの場合はタンデム組み合わせが理想的と考える。第1段目は土砂の影響を考慮した組み合わせを第2段目は漏れを考慮した組み合わせを使用している。メカニカルシールは軸封室に封入された水または油で潤滑および冷却を行なうようにする。なお、土砂の侵入を防止する意味でオイルシールを併用している。軸封機構の性能を左右するものは単に上記の選定組み合わせ以外に各部の精度、エンドプレイ等の影響もあり、構造全体を含めた総合的な考慮が必要である。

4. 標準形水中モートル

水プラント用としておもに使用される三菱標準形水中モートルは、水封式水中モートルである。種類は深井戸用および一般用に大別される。深井戸用は限られた内径の井戸径に適合するような外形であるため一般に細長い形状となる。一方、一般用は据付外径に制限がないため、一般電動機と同様な形状となっている。一般用は汚水処理用をはじめ清水タービン駆動用等種々の形状のポンプを駆動する関係上、立軸と横軸の種があり、立軸にも上軸形と下軸形の2系列がある。

深井戸用水中モートルは、三相400Wより150kWまでの2極お



図 4.1 深井戸用水中モートル
Water submersible pump motor for deep well



図 4.2 一般用 キャンド形水中モートル
Canned type water submersible pump motor for general use.

表 4.1 深井戸用水中モートル仕様一覧
Submersible motor for deep well.

形 式	わく番号	相対略寸法	出 力 (kW)		備 考
			2 極	4 極	
WSB-C	M 4	93.2φ×408	0.4	—	キャンド形
		93.2φ×448	0.75	—	
		93.2φ×493	1.1	—	
		93.2φ×538	1.5	—	
		93.2φ×618	2.2	—	
	M 6	138φ× 735	3.7	—	
		138φ× 795	5.5	—	
		138φ× 865	7.5	—	
		138φ×1015	11	—	
		138φ×1125	15	—	
WSB	M 6	138φ× 787	3.7	—	水 封 式
		138φ× 937	5.5	—	
		138φ×1067	7.5	—	
	M 8	174φ×1030	—	3.7	
		174φ×1160	11	5.5	
		174φ×1380	15	7.5	
		174φ×1450	18.5	—	
	M10	203φ×1410	22	11	
		203φ×1490	26	—	
		203φ×1610	30	15	
	M12	236φ×1554	37	18.5	
		236φ×1654	45	22	
		236φ×1814	55	26,30	
		236φ×1994	75	—	
	M14	270φ×1865	90	37,45	
		270φ×1985	110	55	
		270φ×2165	132	75	

表 4.2 一般用水中モートル仕様一覧
Submersible motor for general use.

形 式	わく番号	出 力			備 考
		2 極	4 極	6 極	
WSS-C	WS71	0.4	0.4	—	キャンド形
	WS71	0.75	0.75	—	
	WS90	1.5	1.5	—	
	WS90	2.2	2.2	—	
	WS112	3.7	3.7	—	
	WS112	5.5	5.5	—	
	WS132	7.5	7.5	—	
	WS132	11	11	—	
WSS	WS132S	7.5	—	—	水 封 式
	WS132L	11	—	—	
	WS160S	15	7.5	—	
	WS160L	18.5	11	7.5	
	WS180S	—	15	11	
	WS180L	22	18.5	15	
	WS200S	30	22	18.5 22	
	WS200L	37	30, 37	30	

よび4極がおもな機種でうち三相750Wより三相45kWまでは標準品として仕込生産されている。小容量機種、すなわち400Wから15kWまではキャンド形として製作されている。

一般用水中モートルは三相400Wより37kW程度の2極、4極が主力製品であり、うち三相400Wから3.7kW程度までは仕込生産されている。一般用も小容量機種、すなわち400Wから11kWまではキャンド形として製作されている。

表 4.1 および 4.2 に深井戸用および一般用水中モートルの仕様

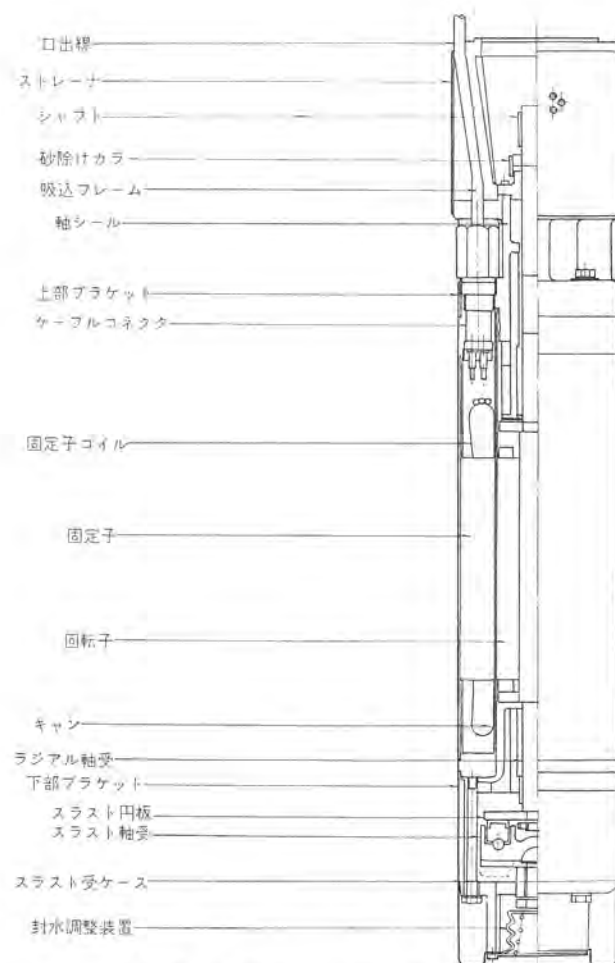


図 4.3 深井戸用 キャンド形水中モートル構造
Construction of canned type submersible motor for deep well.

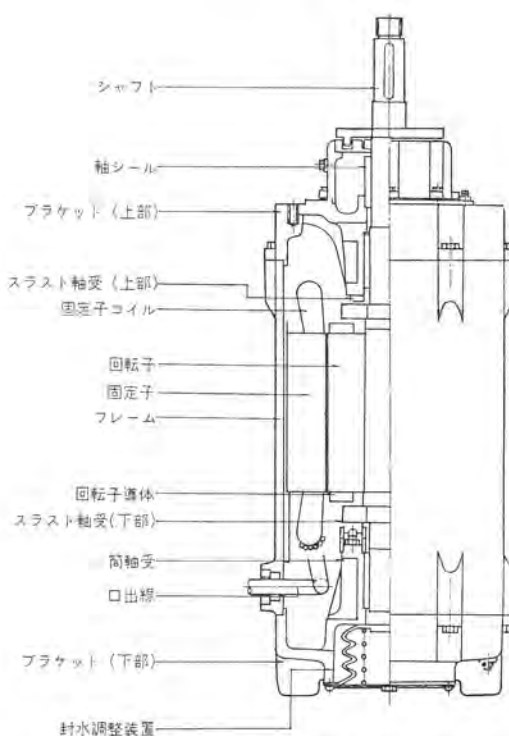


図 4.4 一般用水封式水中モートル構造
Construction of water-sealed type submersible motor for general use.



図 4.5 タンデム形深井戸水中モートル
Tandem type submersible motor for deep well, WSB M10
75 kW 2 P 200 V/220 V 50/60 Hz.

の概要を示す。

4.1 構造概要

図4.3および図4.4に深井戸用および一般用水中モートルの構造図を示す。

図に示されるように耐水絶縁を施した固定子と、回転子をささえるためのラジアル軸受およびポンプスラスト荷重をうけるためのスラスト軸受より成る。スラスト軸受は、深井戸用の場合最下部に、一般用の場合固定子と下部ブラケットの間に設けられ、容量に応じミッチェル式あるいは固定式を採用している。最下部には封水の膨張収縮を調整するためのベローズ機構が、軸貫通部には外水と封水との間の流通を防止するための軸封機構を設置している。水中モートルの各部分は下地処理の上、特殊塗料による焼付けを行ない、水中での腐食を防止するよう配慮している。

4.2 特殊水中モートル

標準仕様の中水中モートルのほか、海水用、化学液用および温水用等特殊用途、特殊形状の中水中モートルも多数製作している。これら水中モートルの仕様は標準形式に準じ、一部に用途に応じた材質的、構造的な配慮を持ったものである。また、細径で大出力を要求される深井戸用中水中モートルとして図4.5に示すようなM10 75 kW 2極 (M1037 kW 2極を2台タンデムに接続したもの) の製作実績がある。

5. 河川用中水中モートル

三菱河川用中水中モートルは主として河川に直接設置され、河川水の取水を目的として開発したもので、この名称でよばれるが、低揚程、大水量用ポンプ駆動の立軸下軸形を標準とする比較的大容量の電動機である。工業用水、農業かんがい、各種排水用および上下水道用等に使用されるもので15 kW程度から数百kWの4極より20極程度におよぶ広範囲の仕様をもつものである。河川用中水中モートルには水封式と油封式との2種があり、それぞれの用途に応じて選択使用される。

三菱河川用中水中モートルは低圧 (600 V 以下) のみならず、高圧3,300 V級および本邦最初で世界でも例をみない超高圧6,600 V級の製作実績と運転実績とをもち、広範囲な仕様に対して適応



図 5.1 河川用水封式水中モートル
Water-sealed type submersible pump motor, WSE-W
90 kW 14 P 3,000 V 50 Hz.

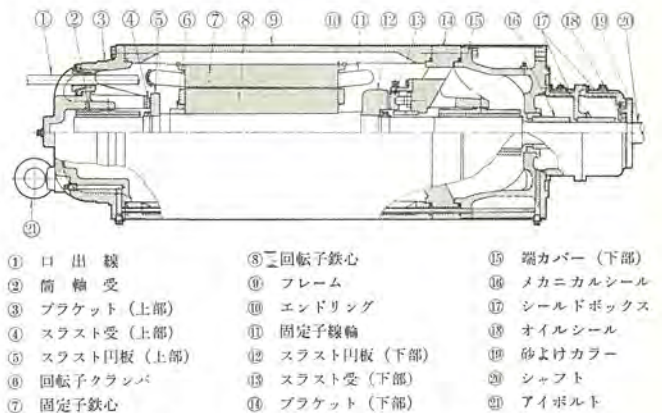


図 5.2 河川用水封式水中モートル構造
Construction of WSE-W water-sealed pump motor for river use.

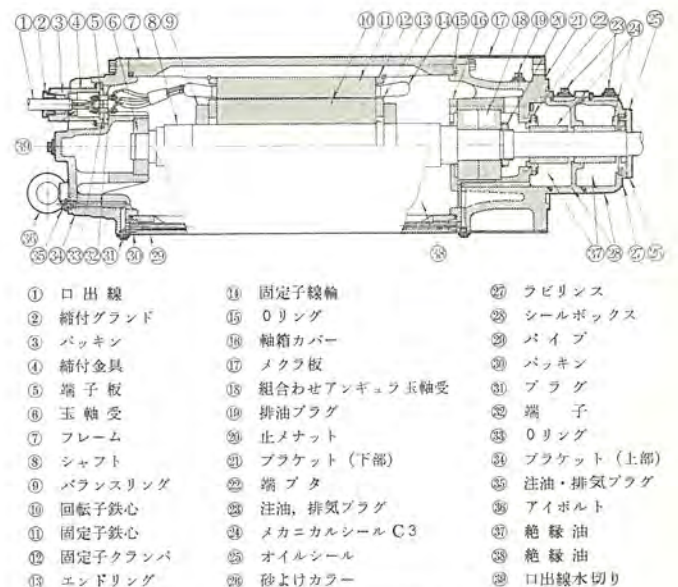


図 5.3 河川用油封式水中モートル構造
Construction of VSE-L oil-sealed type submersible pump motor for river use.

表 5.1 保護装置一覧
List of protective devices.

項目	名 称	検出し得る故障状況	変 化 の 状 況	動 作 特 性	検 出 表 示 装 置
1	過電流保護装置	○モートル過負荷運転 ○モートル拘束運転 ○モートル単相運転 ○モートル逆相運転	○過負荷・拘束および単相運転時の異常電流に対し瞬時に動作する ○逆相運転時は表示灯により瞬時に表示する	○拘束電流に対し5s以内に動作 ○125%以上の過負荷に対し1min以内に動作 ○5%以上の電圧・電圧の不平衡に対し20s以内に動作 ○単相運転その他に対し5s以内に動作	○モートル主回路のしゃ断……拘束・過負荷単相運転 ○表示灯……逆相運転
2	絶縁抵抗検出用保護装置	○モートルの地絡事故 ○モートルの絶縁不良	○モートルの絶縁抵抗が異常に低下し、地絡電流が数mAに達したとき零相継電器を動作させる	○絶縁抵抗が1MΩ以下となったとき検出する	○モートル主回路のしゃ断
3	異常振動検出装置	○負荷のアンバランス ○スラスト軸受の摩耗 ○ラジアルメタルの摩耗 ○その他構造部の異常	○軸端のポンプアンバランスにより急激な振動増加となる ○摩耗が促進し、しゅう動面に荒れおよび金属接触を生ずる場合顕著に検出する ○ラジアルメタルのクリアランスが正規以上となった場合急激な振動増となる	○定常振動値の約2～3倍以上に振動が変化したとき検出する	○メータ表示 ○信号表示 ○モートル主回路のしゃ断
4	スラスト軸受摩耗検出装置	○スラスト軸受の摩耗 ○スラスト軸受の焼付	○検出面とスラスト円板とのすき間が摩耗し規定値以下となった場合瞬時に動作 ○軸受が焼付き・しゅう動面が急激に温度上昇した場合検出	○スラスト軸受の摩耗が約2mmで検出する ○振動面温度が70℃以上となった場合検出する	○モートル主回路のしゃ断
5	封水漏れ検出装置	○モートル内部封水の減少	○ヘッドタンクまたはモートル最上部に設置したフロートレブスイッチの電極棒により水位を検出する	○ヘッドタンクの位置に対して調整水位を決定する	○信号表示 ○モートル主回路のしゃ断 ○表示の他、自動給水装置を併用
6	コイル焼損防止装置	○モートル内部封水(油)の温度検出	○過負荷運転および土砂・塵埃による異常温度上昇をサーマルプロテクタにより検出する	○サーマルプロテクタの動作温度は、水封式の場合55±5℃コイル温度70℃以下に保護する ○また油封式では90℃コイル温度105℃以下とする	○信号表示 ○モートル主回路しゃ断
7	浸水検出保護装置	○モートル封油への浸水	○浸水による封油の絶縁抵抗および破壊電圧の低下を検出し保護する	○シールボックス内に約5%の浸水を生じた場合検出する	○信号表示 ○モートル主回路のしゃ断 ○地上より封油の入れ換えができる機構を採用する

できる態勢をととのえている。

5.1 構造概要

図 5.2 および 5.3 に水封式および油封式河川用水中モートルの構造図を示す。

河川用水中モートルは河川を対象とした低水位揚水用として使用される関係上、電動機本体を上部に配置し、ポンプを下部に設置する構造となる。したがって電動機が水面に露出して運転されることを考慮して揚水が常に電動機の外周を通り、揚水と同時に電動機の冷却を行なう構造を採用している。水封式、油封式とも電動機の封水、または封油の状況を外部より観察するためのヘッドタンクを使用する方式を標準としている。なお水封式では、装置全体の構造を簡単にするため標準形同様ベローズ方式のものも製作している。

5.2 保護装置

水中モートルは運転状況を地上において直接観察できないので、地上において異常を検出できる保護装置の設置が望まれる。当社ではこのため表 5.1 に示すように水中モートル用保護装置を用意している。

しかし採用すべき保護装置は必要最小限にとどめるべきである。いたずらに多く使用することは制御装置を複雑にし、さらに誤動作のおそれもあるので注意を要する。必要最小限の保護装置は低圧機の場合過電流保護装置のみであり、高圧機ではこれに絶縁抵抗検出装置を設ければ十分であり、その他は使用場所における諸条件、ポンプ仕様等を考慮して決定することが望ましい。

6. 特 長

三菱水中モートルの特長を要約すれば次のようになる。

水封式においては、

- (1) 完全水封式の採用
- (2) 耐水絶縁がすぐれている。低圧のみならず3,300V級およ

びわが国最初の6,600V級という高圧に至るまで、数々の運転実績が示すように高い安定性がある。

(3) 水潤滑で高性能軸受をもっている。適切な材質、構造の選定により高速で高荷重に耐え高い安定性がある。

(4) すぐれた効率、回転部分の適切な設計により円筒摩擦損失を小さくしているので効率が高い。

(5) すぐれた防せい(錆)処理。十分な下地処理ととくに開発した防せい塗装とにより、水中での腐食に耐え長寿命が保証できる。等であり、油封式においては

(1) 完璧な密閉機構の採用。構造各部の密封は完全で外水が内部に浸入するおそれはまったくなく、特に厳選された軸封機構の採用により、長期にわたり安定運転が保証できる。

(2) 完全な耐水特性をもつ着脱可能な引出方式の採用、等があげられる。

7. む す び

以上、水プラント用としての三菱水中モートルの概要を説明した。

水中モートルは低圧にはじまり3,300V級を経て、世界でも類をみない6,600V級の実用化の域にはいつてきた。そして絶縁性能をはじめとし、各構造部分の信頼性も高くなり、現在では地上モートルに匹敵するところまで高まっている。今後ますます水プラント用として水中モートルの需要は高まることが予想されるが、われわれとしては材料面、設計、工作面でいつそその検討を続け、経済的な水中モートルの製作に努力してゆきたい。同時に需要家各位におかれても水中モートルの利点、信頼性をさらにご認識いただき、いつそ水プラント用として採用されるよう切望してやまない。

なおここで論じた水中モートルが当社での実績の一部であり、特殊形式、特殊用途系も多数製作しており、必要に応じてのご照会を期待您的ものである。

最近の水道プラント受電設備の傾向

田 和 穰*・川端 保男*・田中 久雄*
梁川 美孝**・吉光 己吉***・塚本 修平***

Modernization of Power Supplies to City Water Plants

Itami Works Yutaka TAWA・Yasuo KAWABATA・Hisao TANAKA
Kobe Works Yoshitaka YANAGAWA
Head Office Miyoshi YOSHIMITSU・Shuhei TSUKAMOTO

Trend of modernization has been extended over power receiving equipment. To cope with the increase in power receiving capacity and complication of the control more rational arrangement and more modernization of the installations have come into demand, thus cubicles housing vacuum circuit breakers, magnetic blow-out circuit breakers and gas circuit breakers have been put in general use for the appreciation of their compactness, high reliability and great safety as decisive features of them. Particularly marked is the employment of cubicles for extra high tension apparatus used for city water plants. Mitsubishi has built many 60/70 kV class cubicles, completing the standardization of those housing gas circuit breakers. Those ranging from 3 kV to 70 kV designed in conformity to new JEM 1114 are now ready to be designed and produced as ones covered by as standard series to meet diverse specification.

1. ま え が き

都市人口の集中化にともない最近の上・下水道設備はますます大規模化しており、したがって、電気設備容量も増大化の傾向が著しい。従来、この種受電設備は比較的ゆとりのある敷地の確保がなされており、たとえば特高受電設備の鉄構設備に見られるように設備の集約、縮小化ということにはあまり関心が払われていなかった。ところが、最近の地価の高騰により敷地面積の有効利用がせまられてきた。

その結果として3～6 kV 級受電設備はむしろのこと、20～30 kV

級から60～70 kV 級の特高電圧の受電設備に至るまでキュービクル化が行なわれ、非常にコンパクトなものとなってきている。キュービクル化することにより、占有面積の縮小化はもとより、設置環境（塩害、腐食性ガス等）に対する耐久性、設備の信頼度の向上、人蓄に対する安全性、維持・保守の簡便さ、据付が容易、屋外用では建屋不要等の数々の利点をあげることができる。

図1.1, 1.2は70 kV 2×7.5 MVA 特高屋外受変電設備における機器単独据付鉄構案と特高キュービクル案との受変電所占有面積を示す計画案の1例である。この例では、鉄構案とキュービクル案の比が155:100であるが、実際にはこれ以上の差がありキュービクル案の

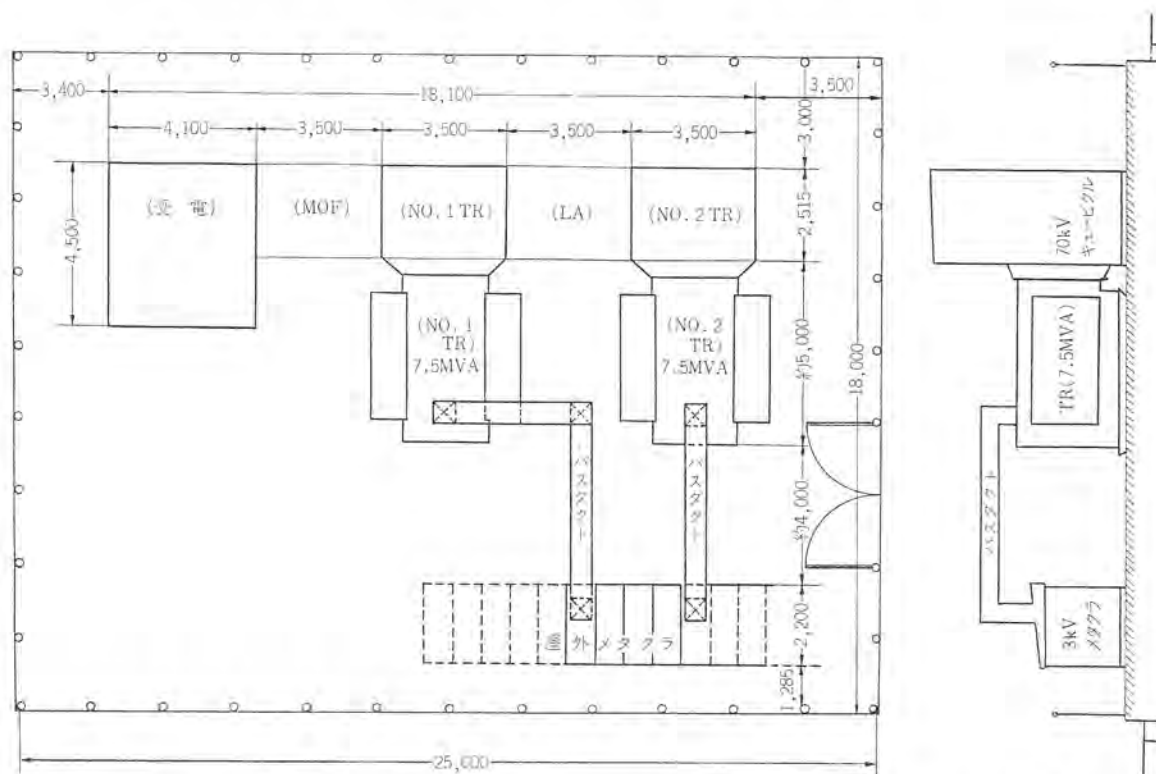


図 1.1 70 kV 屋外 キュービクル 形 受変電所計画案

Layout plan of 70 kV outdoor cubicle type substation.

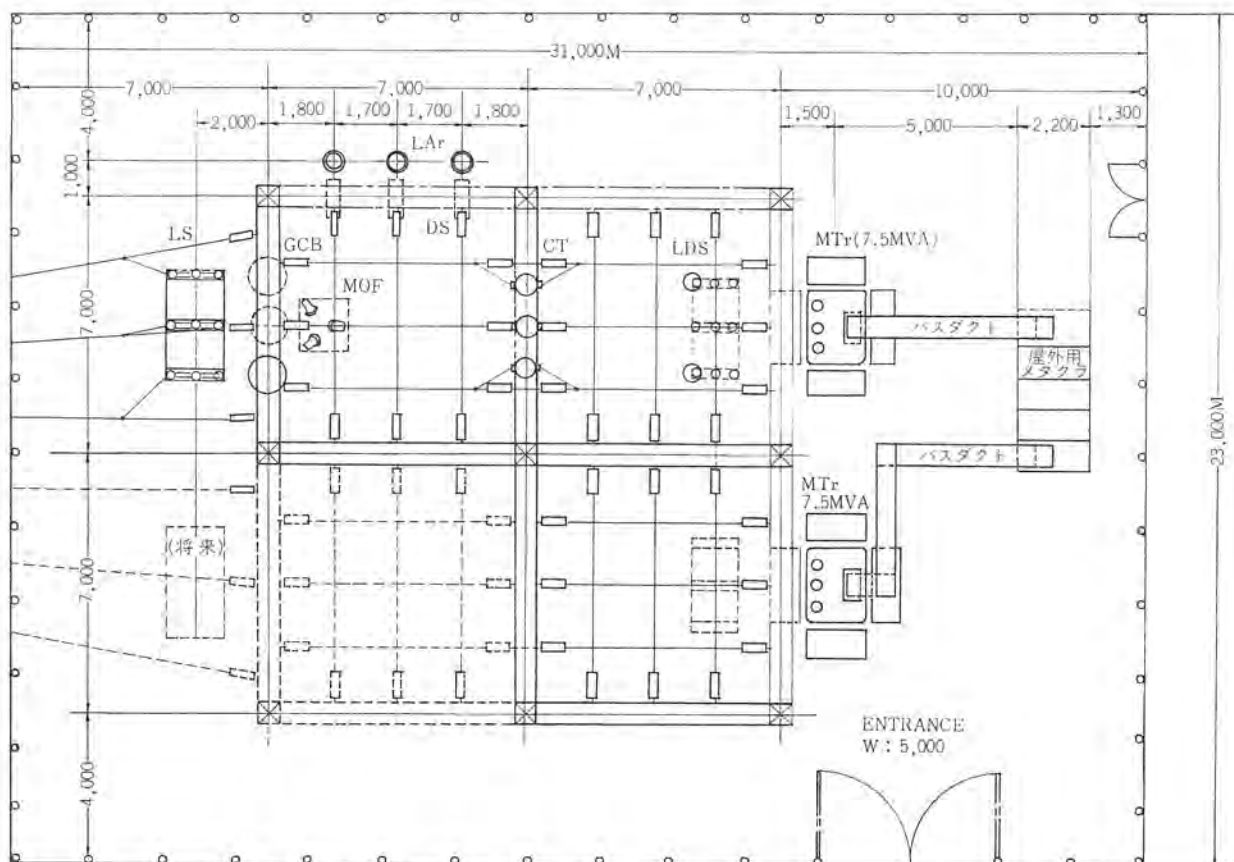


図 1.2 70 kV 屋外鉄構形 受変電所計画案

Layout plan of 70 kV outdoor structure type substation.

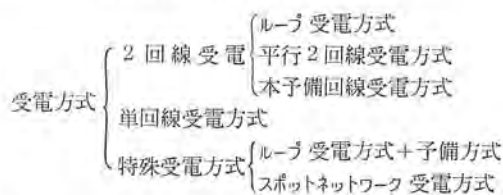
優位性の一面がうかがわれる。

2. 受電設備決定の要素

上水道設備においては各需要家に、常に所要量の所要圧の良質の水が供給できなければならない。また、下水道設備における排水処理工程についても、わずかの時間の停止も許されない。したがってこれら諸設備の動力源の確保は、設備の使命上、最も重要なことである。水道施設基準、下水道施設基準にはこの対策として受電線はやむを得ないとき以外は専用線とすることと、予備動力線を確保すること等を義務づけている。

2.1 受電回路方式

受電回路方式には次の方式がある。



通常、6 kV 1,000 kVA 受電では単回線受電方式が多く見かけられる。まれに平行 2 回線受電方式または本予備回線受電方式も見かける。

20 kV 以上の特高回線受電においては、本予備受電回線方式が一般には多く見かけるようである。しかしながら、これはそれぞれの施設の特長性（そのポンプ場または処理場の全系に対する重要度の軽重）および、電力会社の配電経路に対する地理的な立地条件等を考慮して需要家と電力会社の間で決定するものである。図 2.1 は 6 kV 単回線受電方式による設備例である。図 2.2 は 6 kV 2 回線本予備回線の設備例である。図 2.3 は 77 kV 2 回線本予備回線の

設備例である。

2.2 設備容量と受電電圧

表 2.2 は水道施設基準による契約電力と受電電圧の標準を示す。実際には表 2.2 に示すとおり各電力会社により幾分異なり、また配電経路による地理的条件によって、その都度電力会社と需要者との間で協議のうえ決定している。

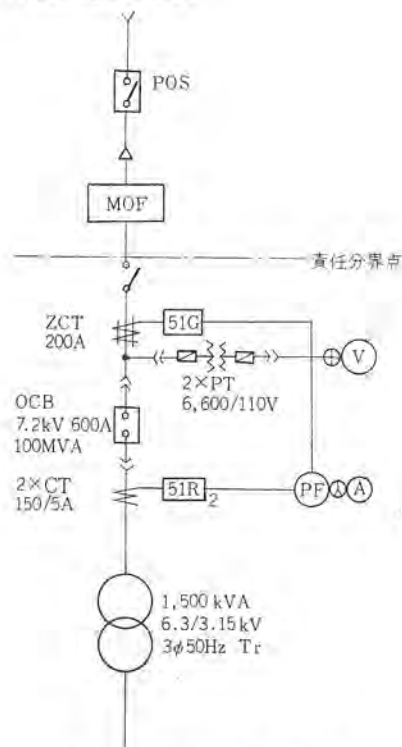


図 2.1 6 kV 1 回線 受電の例
Example of 6 kV one line incoming system.

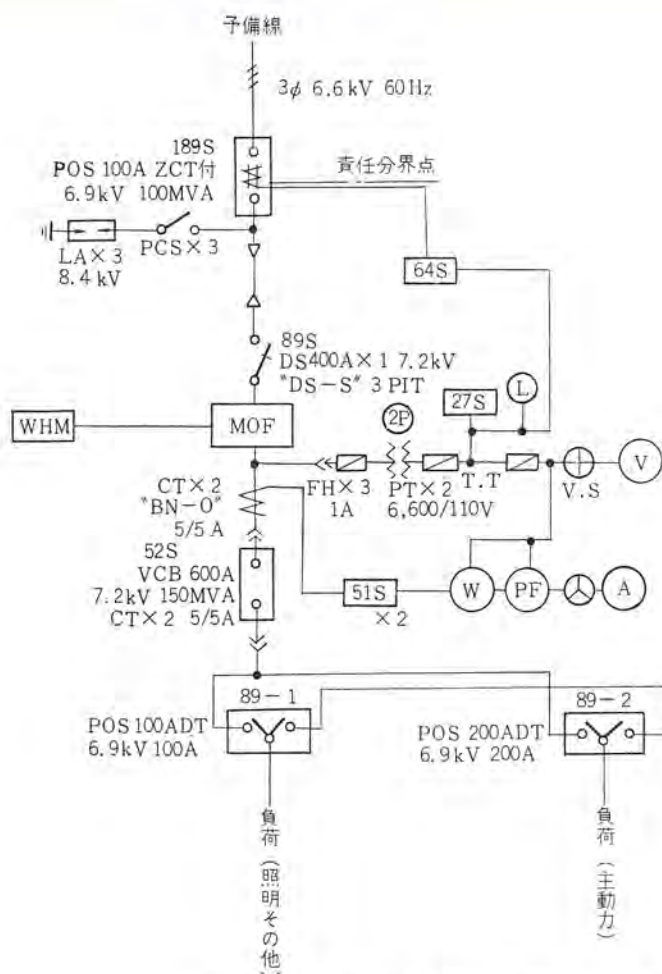
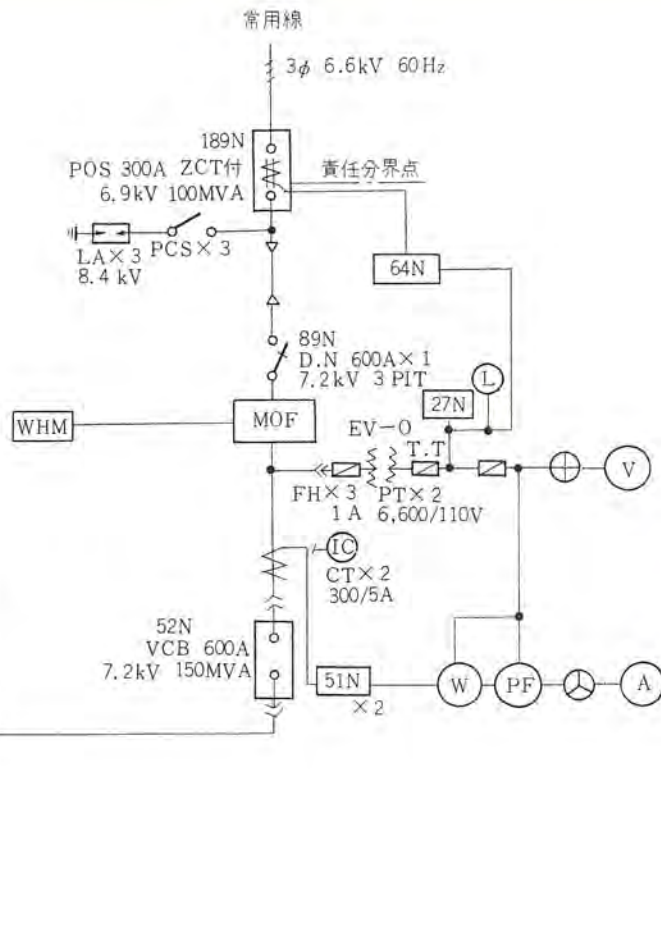


図 2.2 6 kV 2 回線 (常用—予備) 受電の例



Example of 6 kV two line incoming system.

表 2.1 契約電力と受電電圧
Contracted power and receiving voltage.

契約電力	受電電圧
50 kW 以下	低圧
50~1,000 kW	高圧
1,000~2,000 kW	高圧もしくは特別高圧
2,000 kW 以上	特別高圧

表 2.2 契約最大電力と供給電圧
Contracted maximum power and supply standard voltage.

契約電力	供給者			
	東京電力 kV	中部電力 kV	関西電力 kV	九州電力 kV
2,000 kVA 未満	6.6	3.3/6.6	3.3/6.6	3.3/6.6
2,000 kVA 以上	22	33	22/33	22/33
10,000 kVA 未満				
10,000 kVA 以上	66	77	66/77	66

表 2.3 JEM-1114 による単位閉鎖配電盤の形
Classes of metal enclosed switchgear according to JEM-1114.

単位閉鎖配電盤の形	具備すべき条件 記号の組合せ (表 2.4 による)	付 記
A	1 X	シャ断器を点検するためには、原則としてその主回路を停電させる必要がある。
B	2 X	
C	2 X (注)	
D	2 Y (注)	シャ断器を搬出するためには、原則として搬出前にその主回路を一時停電する必要がある。
E	2 Z (注)	
F ₁	3 Y (注)	主として 11 kV 以上 33 kV 以下の特別高圧電路用であって、シャ断器における主回路に自動連結式断路部を設けない場合に適用する。
F ₂	3 Z (注)	
G	4 Z (注)	シャ断器における制御回路に自動連結式断路部を設けるものとする。

注) C 形から G 形までの形の単位閉鎖配電盤にあっては、シャ断器と直列に接続された断路器の開閉能力以上の電流を断路器で開・閉しないようインターロックを備えていること。

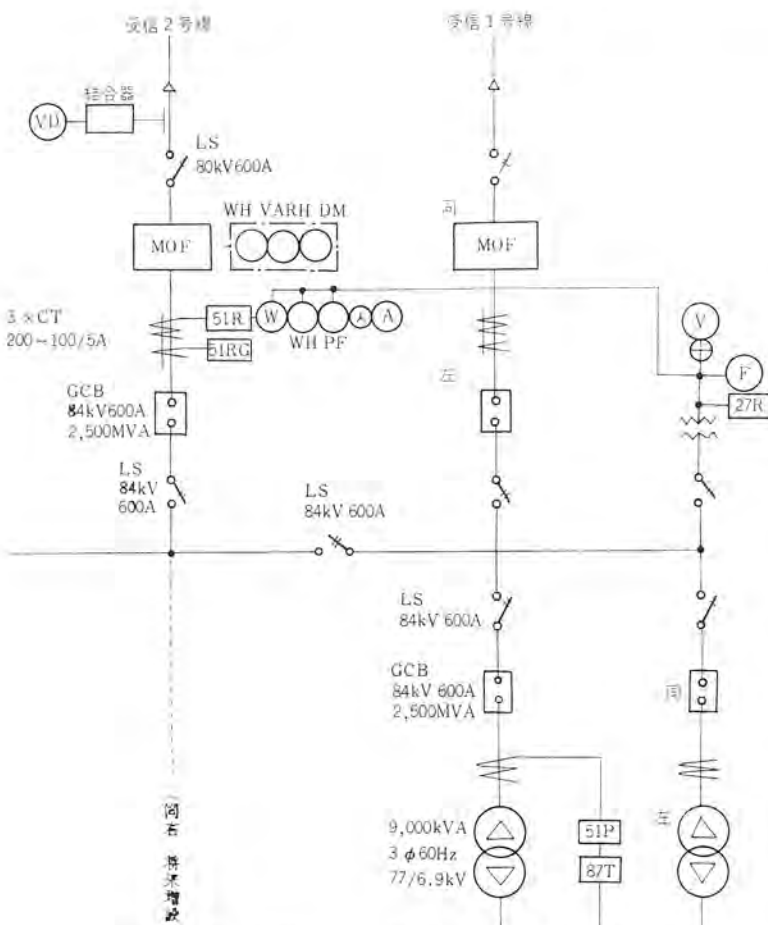


図 2.3 77 kV 2 回線 (常用—予備) 受電の例
Example of 77 kV two line incoming system.

2.3 キュービクルの形式

キュービクルの具備すべき条件を規定した JEM-1114 (1969) 単位閉鎖配電盤の形を表 2.3、表 2.4 に示す。この規格は 1958 年 5 月に改正されたものをこしの 4 月に再改正したもので、従来 1～7 ま

表 2.4 具備すべき条件

Terms of metal enclosed switchgear according to JEM-1114.
(隔壁の程度)

条件記号	具備すべき条件
1	単位回路区分ごとに、装置が一括して接地金属箱内に収納されていること。
2	さらに、監視制御盤を開いたとき、主回路充電部に誤って触れる危険のないよう考慮され、かつ監視制御盤裏面および引込端子台など保守を必要とする低圧制御回路を安全に点検できること。
3	さらに、主回路のおもな機器は、相互に接地金属隔壁または絶縁隔壁により、主回路側と監視制御盤側とは接地金属隔壁により、それぞれ隔離すること。
4	さらに、主回路の母線接続線および接続部は、絶縁すること。

(しゃ断器の取扱い)

条件記号	具備すべき条件
X	固定取付式の構造であること。
Y	搬出できる構造であること。
Z	その主回路には自動連結式断路器を、制御回路には手動連結式断路器を有する引出形であること。

での条件を累積させて A～G 級までの形としたものを、形の内容は改正前にほぼ適合させて、条件は「隔壁の程度」と「しゃ断器の取扱い」と区分し、その組み合わせで単位閉鎖配電盤の形を分類している。

また、今回の改正では適用範囲は電力用 33 kV 以下の特高・高圧と明確にしていると同時に適用範囲外の 66 kV 以上のものおよび 600 V ロードセンタ・パワーセンタ等についても準用することを要望している。当社で製作している特高および高圧の閉鎖形配電盤については、3 章以降にその代表的なものを紹介するが、表 2.3 は当社の製作機種一覧表である。

3. 最近の 60/70 kV 特高キュービクル

3.1 概要

三菱特高キュービクルは昭和 26 年にわが国最初の 23 kV 屋内用キュービクルを東京電力株式会社へ納入して以来、その製作納入実績や製作範囲⁽¹⁾⁽²⁾において常に業界をリードする立場を維持している。これらは、ビル用、上下水道プラント用、一般工業プラント用(とくに、重汚損地区)電鉄直流変電所用などに使用され、その高信頼度、保守点検の安全容易性などから非常に好評を得ている JEM 1114-準 F 級 (3X) 単位閉鎖配電盤である。水道関係においては最近の都市近代化計画の一環として巨大な浄水場、または汚水処理場などがあちこちに多く計画されている。これらの施設受変電設備に要求される事項としては

(1) 保守ひん度が少なく、高信頼度を有すること。(回路的にも予備を持つことが多い)

表 2.5 三菱特高・高圧閉鎖配電盤一覧

List of Mitsubishi extra high tension and high tension cubicles.

形名	JEM 1114 における閉鎖盤の形	定格電圧 V	定格電流 A	定格しゃ断容量 MVA	収納しゃ断器 (収納コンビネーションスイッチ)	おもな用途
LH 形	A, B, C, D	3,600 7,200	100 150 200 400 600 1,200	15 25 30 50 100 150 250	FK 形油しゃ断器 BLS 形油しゃ断器 DHE 形磁気しゃ断器 気中電磁接触器+電力ヒューズ	負荷回路用 (電動機・変圧器等)
アンズガード (MAG 形)	D	3,450	200	400 (非対称)	気中電磁接触器+電力ヒューズ	負荷回路用 (電動機・変圧器等)
ブロックパネル	E	3,450	200	250 MVA	VP 形真空接触器+電力ヒューズ	負荷回路用 (電動機・変圧器等)
EV 形	E	3,450 6,900	100 200	400 (非対称)	VP 形真空接触器+電力ヒューズ	負荷回路用 (電動機・変圧器等)
EK 形	E	3,600 7,200	600	100 150	FK 形油しゃ断器	負荷回路用 (電動機・変圧器等)
EH-N 形	E	3,600 7,200	100 200	400 (非対称) 800 (非対称)	SH 形磁気接触器+電力ヒューズ 6 CH 形電磁接触器+電力ヒューズ	負荷回路用 (電動機・変圧器等)
WV 形	G	3,600 7,200	600 1,200 2,000	100 150 250	VKG 形真空しゃ断器	受配電・負荷用
WN 形	G	3,600 7,200 12,000	600 1,200 2,000	100 150 250 500	DHE 形磁気しゃ断器	受配電・負荷用
WF 形	G	3,600 7,200	600 1,200	150 250	BLS 油しゃ断器	受配電・負荷用
WM 形	G	12,000	400	250	ML 形油しゃ断器	受配電・負荷用
特高キュービクル	F ₁ ・F ₂ ・3X	12,000 24,000 36,000	600 1,200 2,000 3,000	1,000 1,500 2,500	C 形空気しゃ断器	受配電用
特高キュービクル	3X	72,000 84,000	1,200 2,000	2,500 3,500	SFL 形ガスしゃ断器	受電用

(2) 設置場所が比較的人家に近く、人口密度の高い所に据付けられる例が多いため、低騒音形であること。

(3) 環境に調和して外観が体裁良く、据付面積も小さいこと。などが挙げられる。これらのすべてを考慮して設計製作された三菱特高キュービクルについて説明する。

3.2 特長

キュービクルはつぎのような特長を有し、標準品については10 kVより100 kV級までのすべての定格のものについて統一された思想で設計製作されており、運転の信頼性、保守作業の安全容易性について十分な実績を有している。特長としては、

(1) 特高回路側と低圧制御側間および主要内蔵機器相互間は、接地金属隔壁を設けて保守作業の安全と事故拡大波及の防止を図っている。

(2) キュービクル専用として設計された内蔵機器を用いてコンパクトな設計とし、据付面積、容積の縮小化を図っている。

(3) ブロック化された標準の組み合わせで種々のキュービクルが構成され、工場において総組立や厳重な試験を完全に実施したものを納入しているので、現地据付期間が短く、高信頼度を保持できる。

(4) 屋外用として完全密閉送気式を採用してキュービクル自身の呼吸作用を防止することにより汚損蓄積量を極度に減少させている。

(5) 外観は体裁よく、近代的な受変電設備として周囲環境によくマッチする。

(6) シャ断器はSF₆ガス密封式のガスシャ断器を使用しているため、操作音は低く、また空気を排出しないので密閉式キュービクルに最適である。

などが挙げられる。

また、キュービクルの閉鎖程度についてはJEM 1114「単位閉鎖配電盤の形」の進F級(3X)である。すなわち機器相互間の隔壁を有しているが、シャ断器は固定式となっているものである。

3.3 標準エアリングシステム

密閉式キュービクルにおいては汚損蓄積量が換気式にくらべて非常に少ないことは電気協同研究第24巻3号にも記載されているとおりであるが、さらにこれを完全なものとするために外気温の変化によりキュービクルが呼吸することを防止するために、清浄な空気を必要量だけキュービクル内へ送り込む方式を採用している。

これにより外気との間の空気の受授はなくなり、さらに送りこむ空気を低湿度にすることにより内部結露の問題も完全に解消し、長年月にわたり内部清掃などの保守点検作業は不要となって高信頼度を維持できる。エアリングの方法は単位キュービクルごとに一定本数のノズル(1種の減圧用しぼり弁)を設け、この一次側に5~7 kg/cm²-gの圧力で清浄な空気を一定量キュービクル内へ送り込むものである。

また、空気源としては

- (1) 工場計装用空気を使用する。
- (2) 工場雑用空気を除湿経路で使用する。
- (3) 専用のコンプレッサキュービクルを設置する。

などがある。

3.4 キュービクルの内蔵機器

3.4.1 シャ断器

60/70 kV級には消弧媒体に性能のすぐれたSF₆ガスを使用したパフファ式のガスシャ断器⁽³⁾を使用している。このシャ断器は動作時の操作音が油シャ断器なみに低く、またSF₆ガス中で消弧を行なうために接触子の寿命が長く、さらにガスは4 kg/cm²-gの低圧力

で密封されているため、長期にわたり無保守無点検で使用できるものである。このシャ断器の性能を表3.1に示す。図3.1にキュービクルへの組込状態を示す。

3.4.2 断路器

60/70 kV級には壁抜きプッシングを回転させる回転形2点切り断路器RDF形を使用する。これはキュービクル内の母線室と各内蔵機器間の接地金属隔壁を貫通するプッシングをそのまま回転させて断路するもので、この断路器を開路することによりそのコンパートメントを完全に充電部から隔離できるので完全に保守作業ができる。断路器の接触部は銀-銀接触とし、短時間電流によって接触圧力の高くなるリバースループコンタクトを採用している高信頼度のものである。この断路器の定格を表3.2に、構造概略を図3.2に示す。

3.4.3 変圧器励磁電流開閉断路器

変圧器が2バンク以上の場合に各変圧器の一次側にシャ断器を設けて変圧器事故時の選択シャ断および随時の負荷シャ断を行なうのが理想であるが、占有面積、保守点検の簡素化、および設備費節減等のために一次シャ断器は省略されることがほとんどである。バンクの過負荷シャ断は変圧器二次側シャ断器によって行ない、一次側には励磁電流開閉用断路器を設け、これによって全バンクを停止する

表 3.1 60/70 kV 級 SFL 形 ガス シャ断器
Specification of type SFL 60/70 kV class SF₆ gas circuit breaker.

形 式	70-SFL-350 形 パフファ式 SF ₆ ガス シャ断器
定 格 電 圧	72 kV, 84 kV
定 格 電 流	600/1,200 A, 2,000 A
定格シャ断容量	3,500 MVA
再 起 電 圧	JEC-145 II号
絶 縁 階 級	60号, 70号
備 考	圧縮空気投入 (15 kg/cm ²), 電磁引きはずし、投入時の空気消費量 150 l (大気圧)

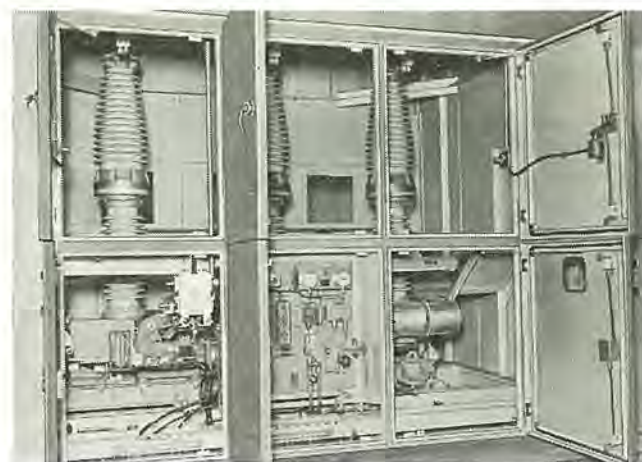


図 3.1 SFL 形 ガス シャ断器組込状態
Assembly condition of type "SFL" SF₆ gas circuit breaker in the cubicle.

表 3.2 回転形断路器の定格事項
Ratings of rotary type disconnecting switches.

形 式	RDF 形
定 格 電 圧	72 kV, 84 kV
定 格 電 流	600~2,000 A
絶 縁 階 級	60号, 70号
備 考	遠方手動操作または圧縮空気操作 (15 kg/cm ² -g)

ことなく主変圧器の切換えを行なう方式が採用されている。60/70 kV 級に使用される変圧器一次断路器は前記の RDF 形回転断路器の断路部と SF₆ ガス 消弧装置を直列に組み合わせたもので、それぞれを操作機構により連結する方式となっている。この負荷断路器の定格は表 3. 3 に、キュービクルへの組込状態を図 3. 3 に示す。

3. 5 キュービクルの標準例

キュービクルはその受電方式、回路構成などにより種々の組み合わせ

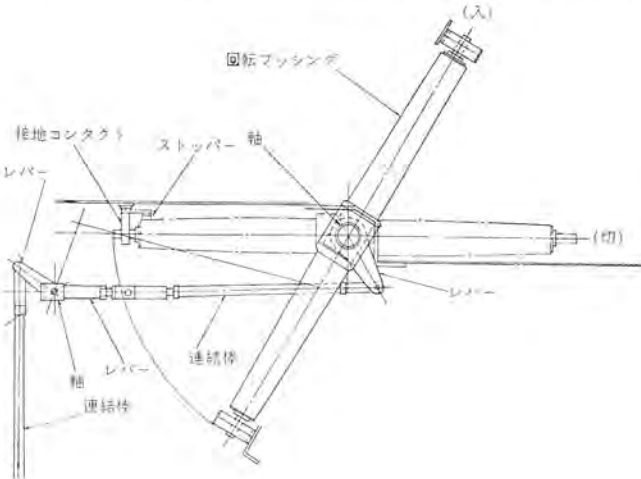


図 3. 2 RDF 形回転断路器構造図
Construction of type RDF rotary disconnecting switches.

表 3. 3 励磁電流開閉用断路器の定格事項
Ratings of disconnecting switches for exciting current of transformer.

形 式	VLB-EX 形	
定 格 電 圧	72 kV	84 kV
定 格 電 流	400 A	400 A
絶 縁 階 級	60 号	70 号
励磁電流開閉可能な変圧器容量	30,000 kVA	30,000 kVA
励磁電流開閉可能回数	5 A 1,000 回,	8 A 300 回
備 考	遠方手動または圧縮空気操作 (15 kg/cm ² -g)	

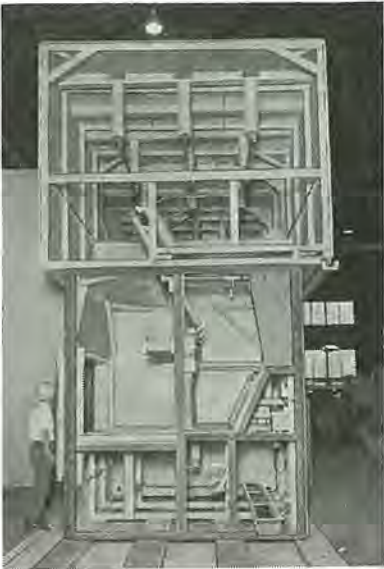


図 3. 3 VLB-EX 形励磁電流開閉断路器組込状態

Assembly condition of type "VLB-EX" disconnecting switch for exciting current of transformer in the cubicle.

があるが、これらの内の代表的なものについて簡単に説明する。すなわち、回路としては図 3. 4 のような 2 回線受電 2 バンク式を考える。この場合、キュービクルとしては 7 面構成となり、各キュービクルの断面を図 3. 5～3. 9 に示す。

各キュービクルは基礎ベース部分と天井部分に分かれる。基礎ベース部分はキュービクル据付より約 1 ヶ月先行して現地に据え付けられる。このベースのレベル調整を十分正確に行なうことにより、追ってこの上に据え付けられるキュービクル本体の据え付けを容易にするので、ベースの据え付けは非常にたいせつな作業である。

キュービクル本体は受電キュービクルでは前後、上下の 4 分割、他の 4 種類のものは上下 2 分割となっていて、各ユニットごとにブロック化されている。たとえば LA, PT, TR キュービクルの上部ブロックはまったく同一のものであり、また、LA と PT は下部ブロックも同じもので、PT と LA の取付台のみ異なるものである。

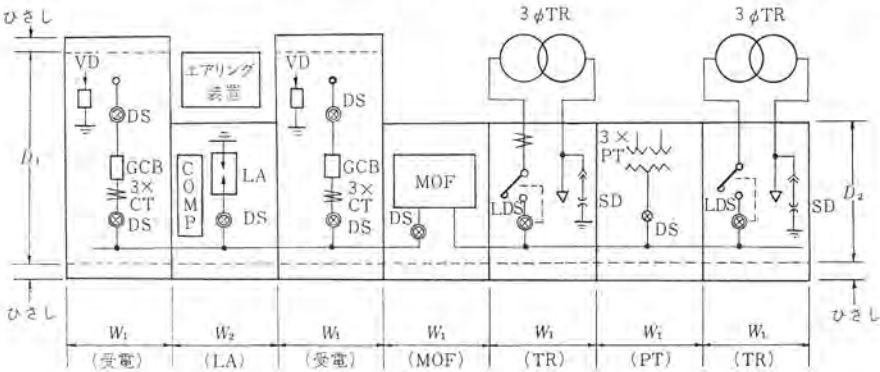
このようにキュービクルはブロック化して量産されるので、高い精度と信頼性を有し、現地据付後も工場組立のときの状態を簡単に復元できるのが最大の特長である。さらに各キュービクルとも、母線貫通部以外はすべて両側面に側板を取付けて輸送時などに内部が汚損することを防止している。天井はキュービクルの直射日光による影響を押えてエアリングの効果を上げるとともに、内蔵品の温度上昇による熱放散を助成するために設けたもので、キュービクル本体の上面と天井の間には自然対流を行なうように考慮してある。単位キュービクルのブロック間および各单位キュービクル間は、密閉度を向上させてエアリング効果をますためにくふうされた特殊なシール構造を採用している。

つぎに、各キュービクルの内部構成について簡単に説明する。

3. 6 キュービクルの内部構成

3. 1. 1 受電キュービクル

図 3. 5 に示すように前背面保守形で、前面にはしゃ断器、背面側は受電引込部（ケーブルまたは架空線）となっている。断路器で区分される各部は完全に接地金属で囲まれていて、保守作業の安全性を保障している。とびらはエアリングの効果増強のために必要最少限にしてあり、特高充電部と低圧制御部側とに分かれている。特高充



寸法 (mm)	W ₁	W ₂	D ₁	D ₂	H
電圧 (kV)					
60	3,700	3,100	4,330	2,515	(上) 3,000+350(天井) (下) 2,800+150(ベース)
70	4,100	3,500	4,530	2,515	(上) (中) (下) 2,800+150(ベース)

屋外用エアリング装置 W 1,800×D 1,350×H 2,150

図 3. 4 2 回線受電 2 バンク 単線結線図および寸法図
Single line diagram and outline dimensions of two line incoming and two transformer bank system.

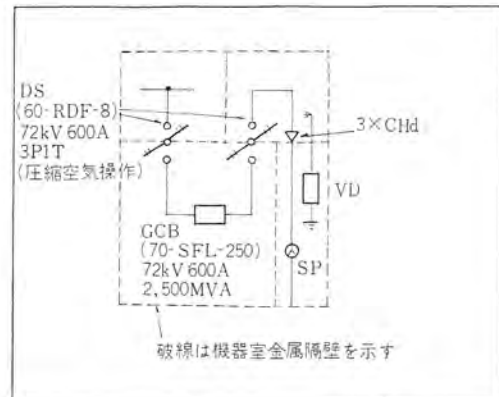
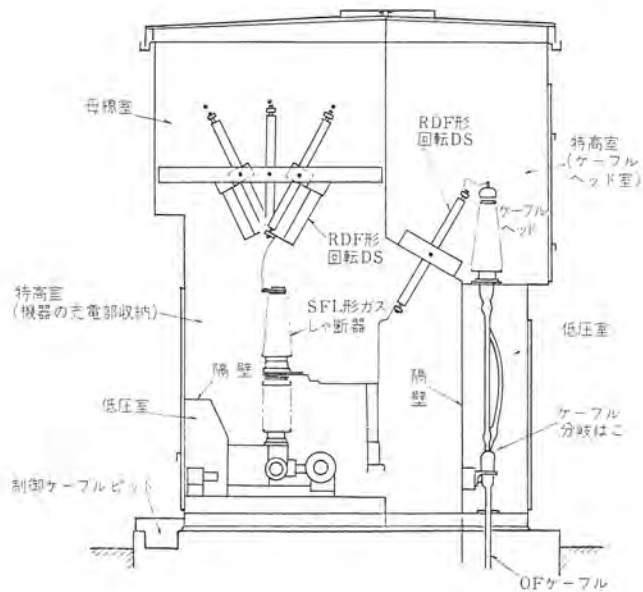


図 3.5 受電キュービクル断面図
Cross sectional view of incoming cubicle.

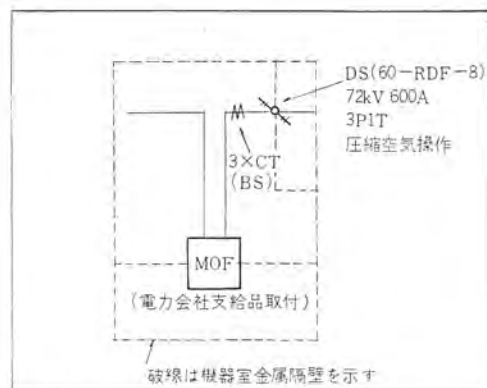
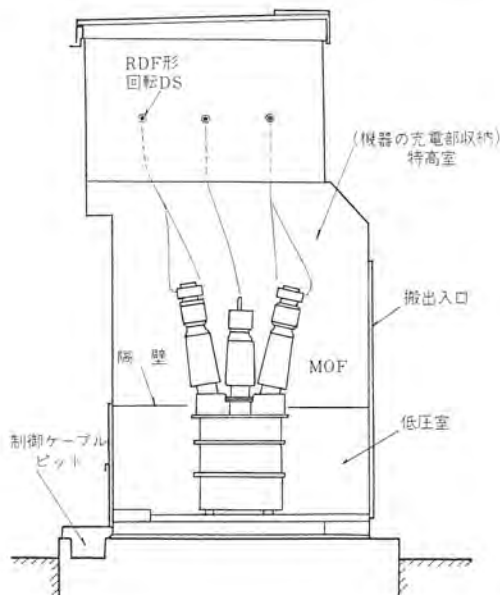


図 3.6 MOF キュービクル断面図
Cross sectional view of MOF cubicle.

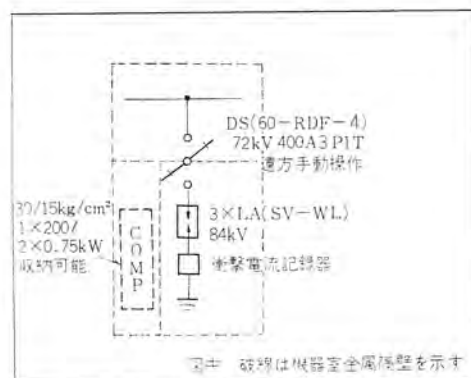
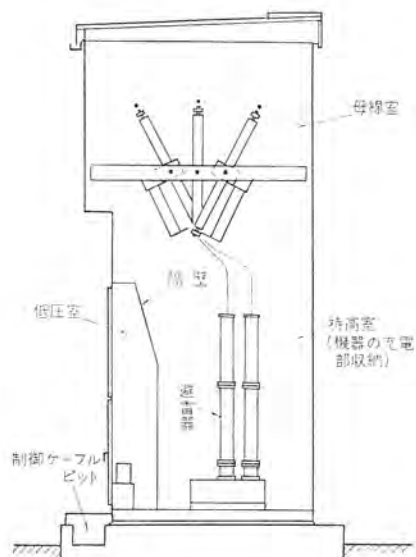


図 3.7 LA キュービクル断面図
Cross sectional view of lightning arrester cubicle.

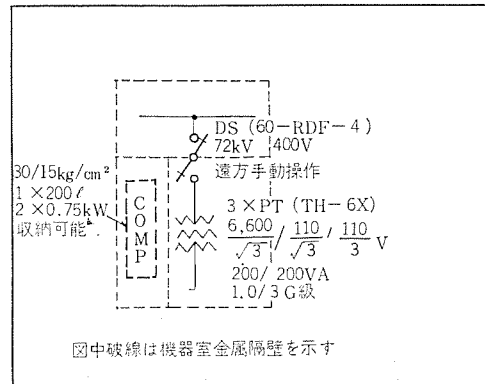
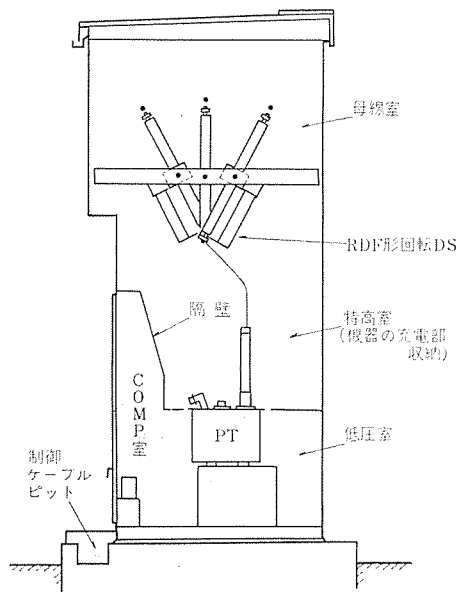


図 3.8 PTキュービクル断面図
Cross sectional view of potential transformer cubicle.

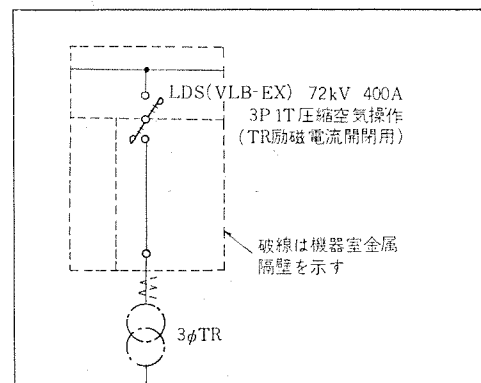
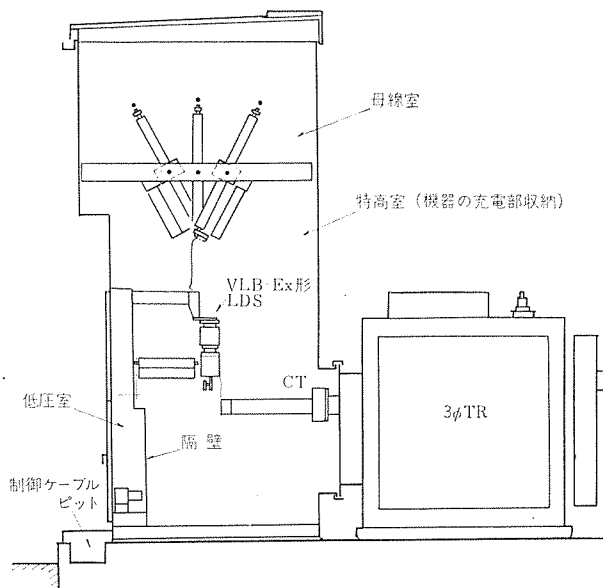


図 3.9 変圧器キュービクル断面図
Cross sectional view of transformer primary cubicle.

電部用とびらは外部にハンドルを設けず、キュービクル内部よりロックする方式を採用している。特高充電部へはいるときは高低圧間の隔壁に設けられた注意名板の指示により内部無電圧を確認した上、隔壁の一部を取りはずしてはいることができる。特高室とびらを開放するのは内部細密点検または、内蔵品搬出のときだけで通常開閉する必要はない。

低圧室用とびらは常時施錠し、必要に応じて合かぎで開放できる。キュービクルの保守についてはこのかぎの管理が非常に重要である。通常の監視はとびらを開かずのぞき窓より内部を点検するように考慮されている。のぞき窓より監視できるものは、GCB用ガス圧力計、空気圧力計、動作回数計および断路器の開閉状態、電圧検知器、ケーブルヘッド部等である。

3. 6. 2 LA, PT キュービクル

図 3. 6, 3. 7 に示すようにこのキュービクルは前面保守形で、背面は盲板張りとなっている。いずれのキュービクルでも1×200I, 2×0.75kWの小形コンプレッサを収納できるように考慮されている。その他は3. 6. 1項に記載と同様である。

3. 6. 3 MOF キュービクル

MOF キュービクルも図 3. 8 に示すように前面保守形であるが、MOFの搬出入だけ背面の大きなカバーをはずして行なう。その他は3. 6. 1項に記載のとおりである。

3. 6. 4 TR キュービクル

図 3. 9 に示すように前面保守形である。背面は変圧器のブッシングの差し込み口となっている。ブッシングは高低圧を変圧器端子の側面に取り付け、高圧側は励磁電流開閉用断路器端子と低圧側はケーブルにそれぞれ接続される。変圧器とキュービクルとはスポンジゴムを介して接続され、また高低圧接続導体もフレキシブルリードを使用して変圧器の振動が直接伝わらないように考慮されている。変圧器二次側がバスダクト接続の場合には、低圧側ブッシングは収納しないが、キュービクルは全然変わらない。その他は3. 6. 1項に記載と同様である。

4. 6/3 kV 高圧閉鎖配電盤

水道プラント向けの高圧閉鎖配電盤としては、従来より受電・配電用として磁気しゃ断器、油しゃ断器、またポンプ用電動機起動用と

して気中形の コンビネーションスイッチが多く使用され、その豊富な実績により現在も安定して採用されている。

他方機器の小形化による床面積の縮小、保守点検の項目・回数の低減による省力化の要求から最近では真空しゃ断器、真空 コンビネーションスイッチが各地の水道プラントで使用されはじめ漸増しつつあるが、そのすぐれた性能と実績の積重ねにより今後ますます多く採用されることが期待される。

閉鎖配電盤の特長は収納するしゃ断器によってほとんど決まってくるが、以下簡単に当社の代表的閉鎖配電盤についてその特長を比較する。

4.1 WF, EK 形メタルクラッド開閉装置

いずれも油入しゃ断器を収納した閉鎖配電盤である。WF 形は昭和26年より製作を開始した当社の代表的メタルクラッド開閉装置で、水道プラントにおいても最初に使用され、かつ最大の実績を有している。従来は油量の多い大形の油入しゃ断器を使用していたために外形寸法も大きく、1面に1台のしゃ断器しか収納できなかったが最近では油入しゃ断器も大幅に小形化されたので、後述のEK形と同様1面に2台のしゃ断器を収納できる。この形のものとしては現在では7.2kVで250MVA、3.6kVで150MVA、1,200Aまでを標準としている。

EK形は昭和40年より製作開始し定格は7.2kVで150MVA、3.6kVで100MVA、600Aであるが最も安価であり、水道プラント向けとしては上記のWF形の大部分がこれに代替されている。

このように油入しゃ断器も最近では小形化されてきたために床面積は少なく済むほか、安価であること、じょうぶで取扱いが簡単であること、実績も多く親しまれていることから今後も一部のプラントに継続して使用されることが予想されるが反面、油という可燃物を使用していること、油のろ過、取換えがわずらわしいということから省力化という意味では問題がある。

4.2 WH, WN 形メタルクラッド開閉装置

いずれも磁気しゃ断器を収納した閉鎖配電盤である。WH形は昭和32年より製作を開始した当社の代表的メタルクラッド開閉装置で、昭和41年度より小形化、高性能化されたWN形に代替されたが、当社の閉鎖配電盤の中では最大の実績を有するもので、水道プラントにおいても主として大容量プラントを中心にWF形に次いで多く使用されている。定格としては7.2kVで500MVA、3.6kVで250MVA、3,000Aまでの各種類を有し電力用から一般用まで多種にわたる業界に実績を有している。

磁気しゃ断器は油入しゃ断器に比べると高価ではあるが、油を使用せず保守のわずらわしさがなく、また信頼性のある不燃性材料を使用しているため火災の心配がないこと等の特長を有する優秀なしゃ断器ではあるが、本質的に外形が他のしゃ断器に比べて大きく1面に1台のしゃ断器しか収納できないために所要床面積が大きくなる。

4.3 EH 形キュービクル開閉装置

気中形電磁接触器を用いたコンビネーションスタータで昭和38年より製作開始し、1面に2段積として床面積の縮小を計ったものである。高ひん度、長寿命のスイッチを使用しているため、電動機用としてあらゆる場所に使用されているがまた電動機以外の負荷にも用いられる。

気中にてアークをしゃ断するために収納盤の小形化には限度があるが、安価であること、長寿命であること等の特長がある。

表 4.1 水道プラント向け WV 形 メタルクラッド, EV 形 キュービクル 開閉装置納入実績

List of type WV metalclad and type EV cubicle switchgear built for the city water pump plant.

設置場所	WV 形メタルクラッド			EV 形キュービクル			納入年度
	盤面数	C B数	備 考	盤面数	C S数	備 考	
川崎市	4	5	6kV 高圧引込	—	—		42
八王子市	5	7	6kV 高圧引込	—	—		42
佐世保市	1	1	6kV 高圧引込	—	—		43
大分市	7	8	6kV 高圧引込	—	—		43
京都市	4	1	6kV 高圧引込	—	—		43
大分市	4	1	6kV 高圧引込	—	—		44
宮崎市	1	1	6kV 高圧引込	4	7	3kV 1×変圧器 2×Y-Δ 起動	44
岐阜市	4	3	6kV 高圧引込	3	4	6kV 2×リアクトル起動	44
安城市	4	1	6kV 高圧引込	—	—		44
鹿児島市	4	2	6kV 高圧引込	—	—		44

4.4 真空スイッチ応用開閉装置

真空 コンビネーションスイッチを収納した EV 形 キュービクル を昭和40年度より、真空しゃ断器を収納した WV 形 メタルクラッド を昭和42年度より製作開始して以来、各界の好評を得て生産も漸増し現在 WN 形メタルクラッド, EH 形 キュービクル の相当部分が代替され今後もますます増加していくことが予測される。水道プラントにおいても同様の傾向がみられ、表 4.1 に示すようにとくに昭和44年より急速に増加している。

真空スイッチは本質的に小形軽量であり、またアークを密閉された真空容器中でしゃ断するため、そのための絶縁距離も不要であり在来のものに比べて比較的小さいスペースに収納でき、1面に2～4段積が可能で床面積は大幅に縮小される。また主接点は不燃性の密閉容器中に収容されているので火災の心配はなく、また外部ふんい気の影響を受けることはないので信頼性も向上し、主接点の保守はまったく不要になる。

このように縮小化、省力化の両面において真空スイッチの優位性が認識され将来のしゃ断器として脚光をあびているが、そのほか

- (1) 高速度、高ひん度開閉に適し、長寿命であり、また定格しゃ断電流を数十回以上開閉できる。
- (2) しゃ断性能がすぐれており電流値・回路条件に関係なくアーク時間は1サイクル以下であり、きわめて速いしゃ断が可能である。
- (3) アークしゃ断は真空容器中で行なわれるので、大電流しゃ断時の騒音はわずかである。

などの特長を有している。

また真空スイッチ特有の電流さい断による異常電圧については、当社は特殊な合金接点を使用し、特殊な回路条件以外には実用上問題



図 4.1 VKG 形 真空しゃ断器
Type VKG vacuum circuit breakers.

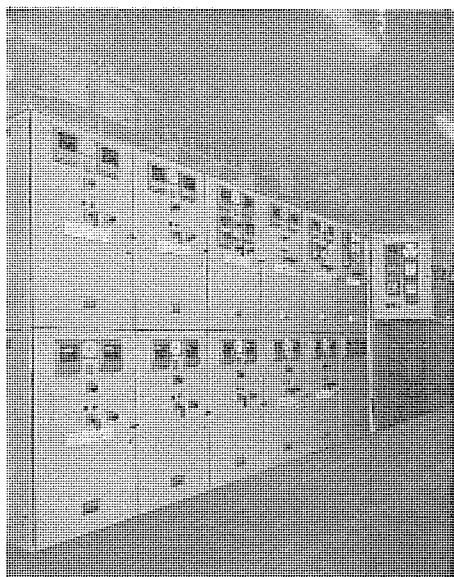


図 4.2 WV形 メタルクラッド 開閉装置
Type WV metalclad switchgear.

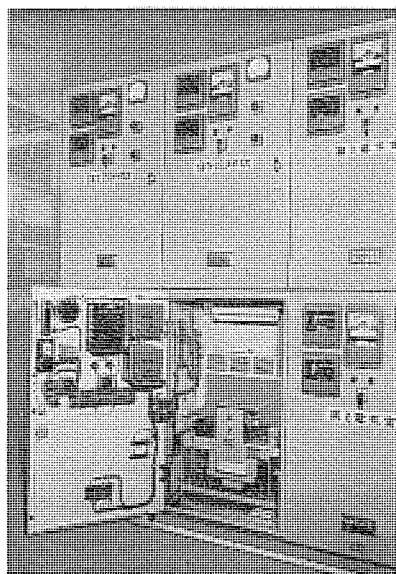


図 4.3 シャ断器ユニット詳細図
Detailed illustration of circuit breaker housing.

にならない程度まで抑制している。

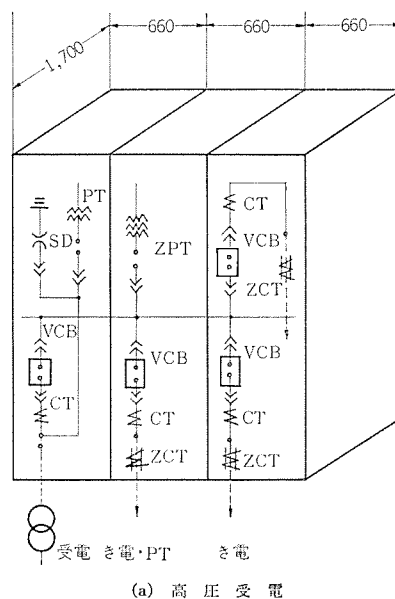
以下に真空スイッチを収納した WV 形 メタルクラッド EV 形 キュービクル 開閉装置について簡単に紹介する。

4.4.1 WV 形メタルクラッド開閉装置

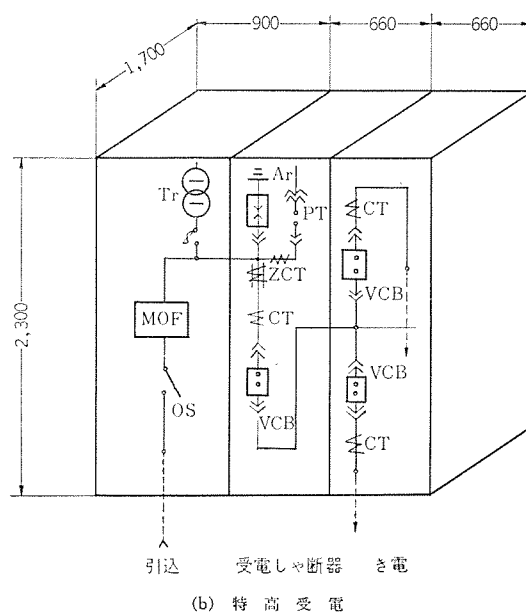
WV 形 メタルクラッド 開閉装置は図 4.1 に示す高圧大容量の VKG 形真空シャ断器を 1 面に 2 段積とした開閉装置で JEM-1114 の G 級に相当する。定格は現在のところ 7.2 kV で 250 MVA, 3.6 kV で 150 MVA, 2,000 A までであるが引き続き 7.2 kV で 350 MVA, 3.6 kV で 250 MVA のものも開発中であり本誌が発行される時点では引受けできる予定である。

標準形式としては、シャ断器、計器用変圧器、避雷器等を収納した標準ユニットを適宜組み合わせで一連の開閉装置を構成している。図 4.2 は 2 段積メタクラの一列の外観を、図 4.3 はシャ断器室の拡大図を示す。

また閉鎖配電盤の形としては JEM-1114 の G 項を満足しているためにシャ断器、計器用変圧器、避雷器等は引出形の自動連結式ま



(a) 高圧受電



(b) 特高受電

図 4.4 水道プラントにおける代表的メタルクラッド配列
Typical arrangement of metalclad switchgear for the city water pump plant.

たは引出形の断路部を有するほか、シャ断器室その他主回路の各主要機器は接地金属隔壁を有し、また母線その他導電部分は露出することのないように難燃性の絶縁材料によって十分に絶縁し、保守の容易さと安全さ、事故の拡大防止につとめている。このほか経済性の意味から E 級とする場合もあるが、この場合も少なくとも母線その他の充電部は絶縁し事故の拡大防止に留意している。

水道プラント用としては表 4.1 に示すように、主として 6 kV 高圧引出形式のものであって、受電用として真空シャ断器を使用し、その他回路の相異に応じた種々の盤構成となっている。図 4.4 は水道プラントにおける代表的な盤構成の一例を示したもので、図 4.5 にそのうちの標準的なものの断面を示す。なお後述する EV 形キュービクルと列盤構成をとるものもある。

4.4.2 EV 形キュービクル開閉装置

EV 形キュービクル開閉装置は、VP 形コンベクションスイッチを 1 面に 4 段積とした開閉装置で JEM-1114 の E 級に相当する。限流ヒューズのシャ断容量は 7.2 kV で 500 MVA, 3.6 kV で 250 MVA あり、

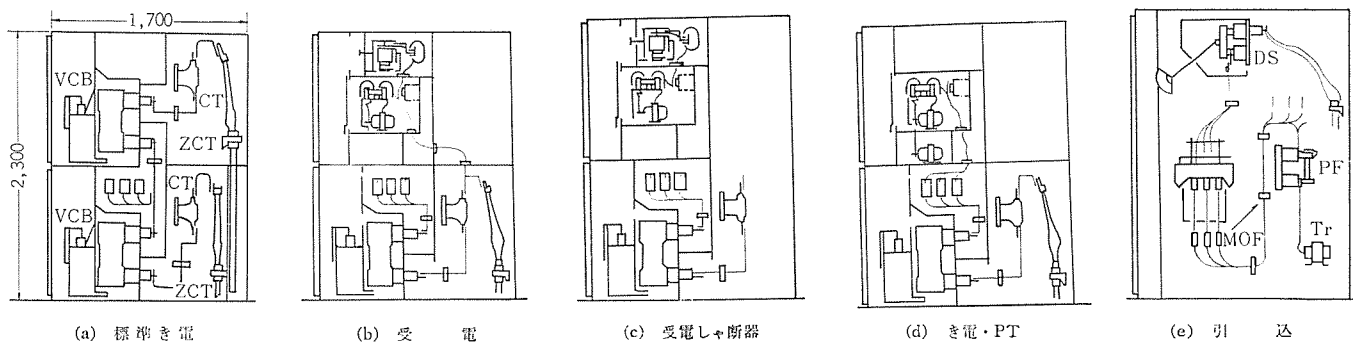


図 4.5 メタルクラッド 断面図

Cross sectional view of metalclad switchgear.

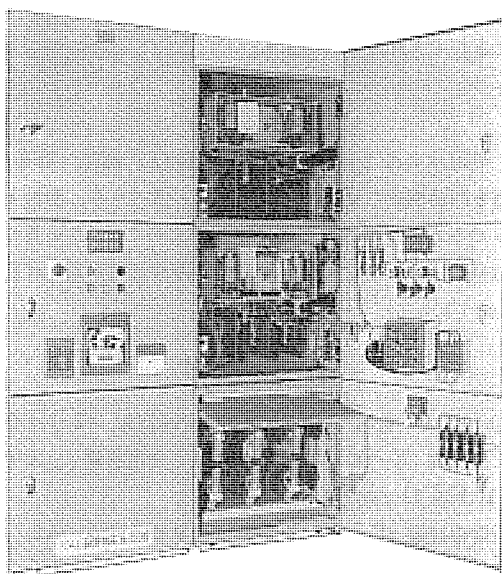


図 4.6 EV 形 キュービクル 開閉装置
Type EV cubicle switchgear.

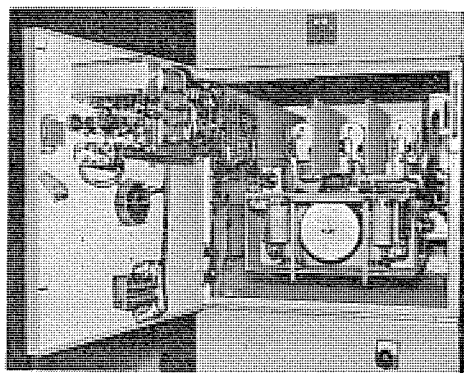


図 4.7 スイッチユニット 詳細図
Detailed illustration of vacuum switch housing.

また電流は最大 200 SA まで使用でき 6 kV 電動機の場合 1,500 kW, 3 kV 電動機の場合, 750 kW までに適用できる。変圧器, コンデンサ 負荷の場合はおのおの 2,000 kVA, 1,000 kVA まで適用できるので かなりの負荷範囲までこの経済的な開閉装置が使用できる。

標準形式としては, 真空 コンビネーションスイッチのほか計器用変圧器, 操作用変圧器を同一寸法の標準ユニット内に収納しこれらを適宜組み合わせ一連の開閉装置とするほか, 電動機起動盤として必要な補機をまとめて独立盤とすることもできる。図 4.6 は EV 形 キュービクルの一例の外観を, 図 4.7 はスイッチユニットの拡大図を示す。

また閉鎖配電盤の形としては JEM-1114 の E 級を満足しているためにスイッチ, 計器用変圧器, 操作用変圧器等は引出形の自動連結ま

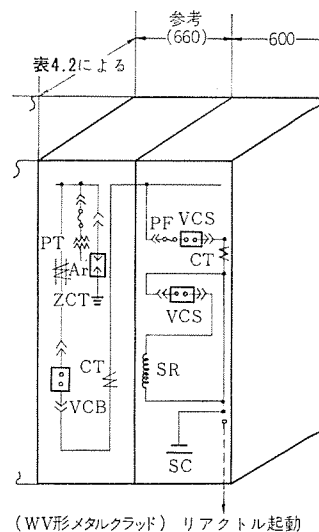
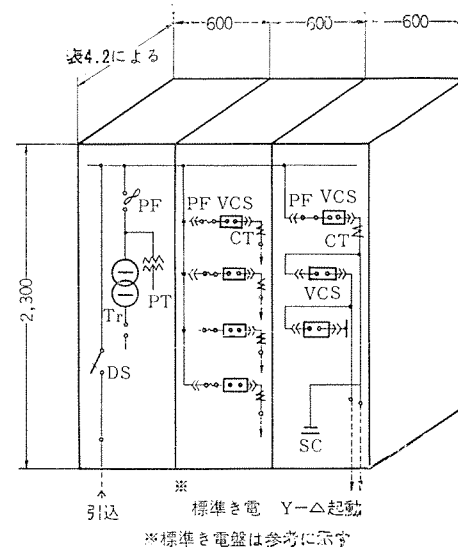


図 4.8 水道プラントにおける代表的キュービクル配列
Typical arrangement of cubicle switchgear for the city water pump plant.

たは引出形の断路部を有するほか, これらの標準ユニット間には接地金属の隔壁を有している。また E 級ではあるが 1 面に 4 段積として いるために, 母線その他の充電部分は露出することのないよう難燃性の絶縁材料によって十分に絶縁し事故の拡大防止につとめている。

水道プラント用としては, 表 4.1 のほか製作中のものも含めて主として電動機起動盤として使用されている。特色としては高圧引出のため減圧起動形式をとることが多く, また力率改善用のコンデンサを収納する場合が多い。図 4.8 に水道プラントにおける代表的なキュービクル構成の一例を, 図 4.9 にその内の標準的なものの断面図

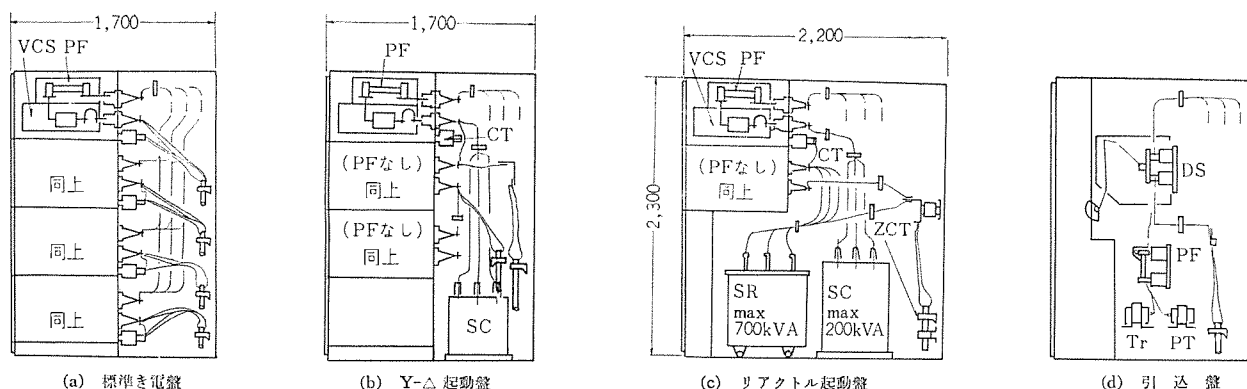


図 4.9 キュービクル 断面図

Cross sectional view of cubicle switchgear.

表 4.2 EV 形 キュービクル 外形寸法
Outline dimensions of EV cubicle switchgear.

種 別	適 用 負 荷	外形寸法(W×H×D)	参 考 図
標 準 き 電 盤	一 般	600×2,300×1,700	図 4.9-(a)
リアクトル起動盤	リアクトル700kVAまで コンデンサなし	600×2,300×1,700	図 4.9-(c)
	リアクトル700kVAまで コンデンサ150kVAまで	600×2,300×2,200	
Y-Δ 起 動 盤	コンデンサ75kVAまで	600×2,300×1,700	図 4.9-(b)
	コンデンサ100kVAまで	600×2,300×2,000	

注) 上表の値をこえると一般に盤幅が増加するかまたはリアクトル・コンデンサを別置となる。

を示す。なお起動用リアクトル、コンデンサ等は電動機容量によって異なってくるので表 4.2 に内部収納品の容量による外形寸法の推移を参考までに示す。

以上真空スイッチ 応用開閉装置を中心に 6/3 kV 級高圧閉鎖盤について紹介した。設備の縮小化、省力化の要求は今後ますます強まってくると考えられるが、これらの真空スイッチ 応用装置がその一翼を

になうことができれば幸いである。

5. む す び

以上、最近の水道 プラント 受電設備の傾向と、高圧、特高 キュービクルの特長を回路構成の具体例を示しながら述べたが、当社として水道 プラント のみならず多様の要求にこたえるべく、さらに新技術の開発に努力している。本文が受電設備の計画のご参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 10～100 kV 特高 キュービクル, 三菱電機技報, 42, No. 6(昭 43)
- (2) 三菱特高 (20, 30 kV) 不燃式閉鎖受変電設備, 三菱電機技報, 41, No. 11 (昭 42)
- (3) 新形中容量 SF₆ ガス しゃ断器, 三菱電機技報, 41, No. 11 (昭 42)
- (4) 工場配電設備の近代化, 三菱電機技報, 42, No. 6 (昭 43)
- (6) 水道施設基準解説, 日本水道協会

水道プラント制御装置

山田 米造*・荒木 義朝**・斎藤 心一**

Control Equipment of Water Works and Sewerage

Kobe Works Yonezo YAMADA

Head Office Yoshitomo ARAKI・Shinichi SAITO

With the expansion of cities of late demand for water has increased rapidly and also facilities of sewerage have been seriously called for as the improvement of living standard. This makes it inevitable to provide equipment of increasingly larger scale and more complicated. To overcome shortcoming resulting from the problem of human labor, automatic operation or unattended running of installations is taken up together with the development of protective system. That means automatic operation of pumps, automatic control of the flow, pressure and water level, instrumentation of arrangements, telemetering and tele-control are extensively coming into use.

This article describes the controls of waterwork and sewage equipment such as protective system of operation and starting of pumps, automatic control system of water level, pressure and flow.

1. ま え が き

最近都市の拡大にともない、水道水の需要が急激に増加しており、また生活水準の向上に伴い下水設備も急激に完備されてきているため、それらの設備はますます大規模複雑となる傾向がある。

このため運転の複雑化や保守人員の増加という障害を生じ、これを取除くため、保護方式の発達とあいまって設備の自動化・無人化が実施されている。すなわちポンプの自動運転、流量・圧力・水位の自動制御、設備の計装化、テレメータ、テレコントロールがさかんに行なわれている。

以下に上下水道設備の制御装置、すなわちポンプの運転・起動・保護方式、水位・圧力・流量の自動制御方式、その他の設備の制御方式について述べる。

2. ポンプ運転方式

2.1 ポンプ運転方式

ポンプ運転の一般的配管系統図は図 2.1 に示すとおりである。

運転停止は一般に次の順序で行なわれる。ブロックダイヤグラムは、図 2.2、図 2.3 のとおりである。

運転の場合

- (1) 満水操作
- (2) 電動機の起動操作

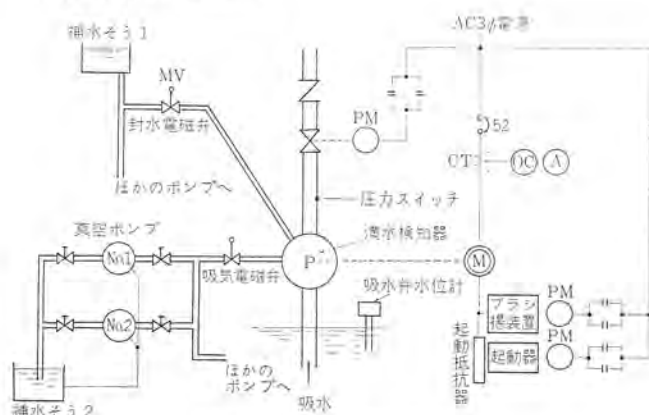


図 2.1 ポンプの配管系統図
Piping diagram of pump.

(3) 吐出弁の開操作

停止の場合

- (1) 吐出弁の開操作
- (2) 電動機の停止操作

これらを中央制御盤上の操作開閉器を 1 回操作することにより、順次自動的に連動させるのが一人制御方式（連動運転）であり、外部的条件たとえば配水池水位により自動的に連動させるのが自動運転であり、現場操作盤等から各機器を単独に操作するのが単独運転である。

起動条件はポンプの種類により表 2.1 のとおりとなる。なお表 2.1 の○印の条件がすべて満足されると監視盤上に起動準備の表示が出る。

表 2.1 ポンプの起動条件
Starting condition of pump.

起 動 条 件	横形ポンプ		立形ポンプ	
	吸込み	押込み	自給水	他給水
(1) ポンプ吸込井水位が規定以上あること	○	○	○	○
(2) 吐出弁が全閉していること	○	○	○	○
(3) 補水そう水位が規定値以上あること	○			
(4) 封水源が確保されていること			○	○
(5) 他のポンプが起動中でないこと ※1	○			
(6) 保護継電器が動作していないこと	○	○	○	○
(7) 吸水側仕切弁が全開していること		○		
(8) 起動器が起動位置にあること	○	○	○	○

注 ※1 真空ポンプの容量より制限される。このほか電源の容量が小さく、同時起動できないときは他の形式のポンプもインタロックが必要となる。

2.2 起動方式

2.2.1 かご形誘導電動機の起動法

かご形誘導電動機の起動法としては全電圧起動法と減圧起動法がある。減圧起動法としては一般にスターデルタ起動・リアクトル起動・単巻変圧器起動の 3 方式がある。各方式については表 2.2 に示す。

2.2.2 巻線形誘導電動機の起動法

巻線形誘導電動機は二次抵抗起動により起動され、

- (1) 金属抵抗器+起動器（電動または手動）
- (2) 液体抵抗器（電動または手動）+二次短絡装置

の 2 方式がある。一般には保守点検が容易な金属抵抗器+起動器が使用され、液体抵抗器は速度制御を行なう場合制御抵抗兼用で使用

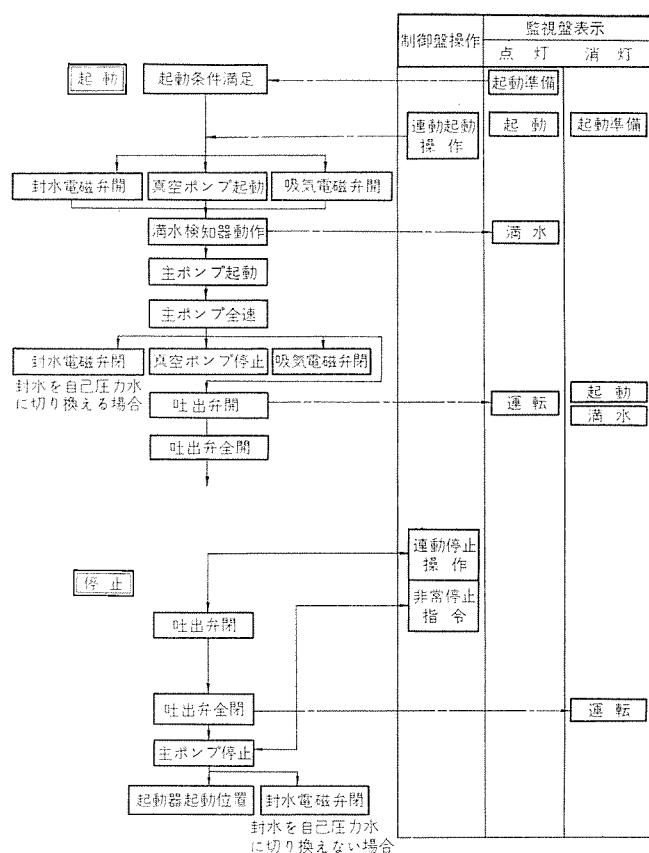


図 2.2 横形ポンプ（吸込み）一人制御ブロック線図
One man control block diagram of horizontal pump.

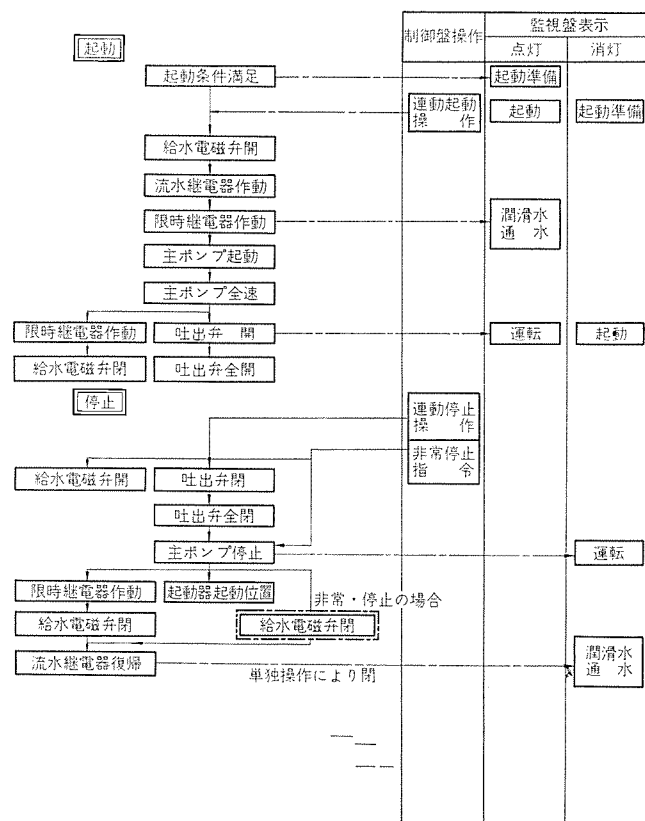


図 2.3 立形ポンプ（自給水）一人制御ブロック線図
One man control block diagram of vertical pump.

される。起動トルクは抵抗値により調整されるが定格トルク（100%トルク）起動を標準としている。

2.3 保護方式

2.3.1 重故障

ポンプ運転中に表 2.3 にあげる重故障が生じた場合には、警報表示とともに主電動機が停止し、同時に吐出弁が閉じる。上記のほかに特殊故障の検出装置としてキャビテーション保護装置・鉄管破裂検出装置がある。以下これらについて述べる。

2.3.2 キャビテーション保護装置

ポンプ運転上の注意事項の一つとしてキャビテーションの問題があげられる。キャビテーションは吸水井の水位低下により吸込揚程が過大となったり、過負荷によってケーシング内流速が増大したとき、または何らかの原因でケーシング内に空気がはいった場合などに生じ、ポンプ吸込側の低圧のところで発生した空気や水蒸気のあわが、ポンプ吐出側の高圧部にきたとき瞬間的につぶされるため、一種の衝撃波が発生することによるもので、機械的騒音、振動の発生およびポンプ羽根車の機械的腐食をとめない、ポンプ吐出圧は急激に減少するのでキャビテーション発生状態での運転はさけなければならない。ポンプの正常時の特性（吸込揚程を一定とした場合の）は、図 2.4 に示すように回転数をパラメータとした $Q-H$ 特性で表わされるが、各回転数の曲線上でそれ以上流量増大した場合キャビテーションを発生するという限界点 $d_1, d_2, d_3, \dots$ 等が定まる。この点を結ぶと DD' のように完全運転領域と危険領域の二つの領域に分ける分岐線をうることができる。したがってポンプ送水流量 Q とケーシング圧力 H をとらえ、このどちらの領域に運転点があるかをみつけて警報を行なうことができる。しかし、ポンプが複数台ある場合、そのおのの流量計を設けることは、設備費の面および取付けスペースの面から困難である。

そこで図 2.4 の DD' 曲線を吐出圧力とポンプ回転数の関係に、おきかえると図 2.5 のようになる。したがって、ポンプの吐出圧（ケーシング圧）と回転数の関係からキャビテーション警報装置を構成することができる（特許出願中）。図 2.6 はこの装置のブロック図である。危険領域内で一定時間以上運転が継続した場合、警報を行なうようにしている。一般にキャビテーション警報信号により、故障表示を行なうとともに自動的に次のような制御をしている。

- (1) ポンプ用電動機の増速信号をロックし増速しないようにする。
- (2) 吐出電動弁の閉信号をロックし、強制的に閉方向に動作させる。
- (3) キャビテーションがなくなれば、吐出弁はその位置で停止し、

表 2.2 かご形誘導電動機の起動方式
Starting system of squirrel cage induction motor.

起動方式	単線図	起動電流 (定格電流に対する%)	起動トルク (定格トルクに対する%)	コンタクトの数
全電圧起動		550	100	1
スターデルタ起動			33	3
リアクトル 起動		275 358 440	25 42 64	2
単巻変圧器 起動		138 231 353	25 42 64	3

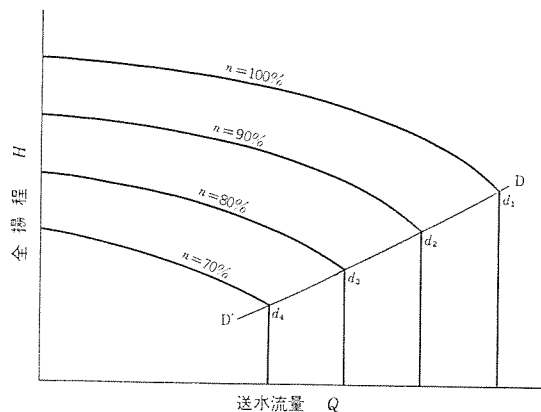


図 2.4 キャビテーション 限界曲線 (Q-H)
Threshold curves of the cavitation at Q-H stage.

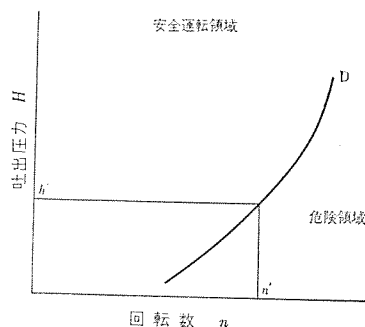


図 2.5 キャビテーション 限界曲線 (H-n)
Threshold curves of the cavitation at H-n stage.

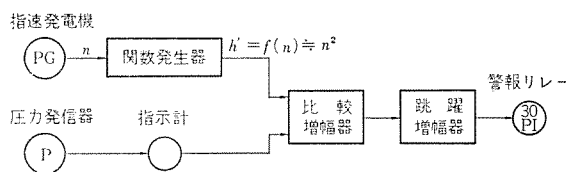


図 2.6 キャビテーション 警報装置
Alarming device for the cavitation of pumps.

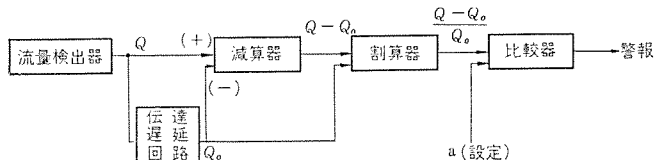


図 2.7 鉄管破裂検出装置
Detecting device for the bursting of the waterpipe.

表 2.3 重故障と軽故障
Heavy and light faults.

	故障原因	横形ポンプ		立形ポンプ		警報
		吸込み	押込み	自給水	他給水	
重故障	(1) 主電動機過負荷	○	○	○	○	ベ ル
	(2) 主電動機過電流	○	○	○	○	
	(3) 主電動機軸受温度上昇	○	○	○	○	
	(4) 低電圧および停電	○	○	○	○	
	(5) 起動渋滞 ※1	○	○	○	○	
	(6) 吸水井水位異常低下	○	○	○	○	
	(7) 無送水 ※2	○				
	(8) 軸受潤滑水異常減少			○	○	
軽故障	(1) 軸受潤滑水減少			○		ブ ザー
	(2) 真空ポンプ補水そう水位異常低下	○				

注 ※1 起動渋滞は主操作開閉器を起動に操作してから、吐出弁が開き始めるまでの時間が所定時間以上となったことを検出して行なう。

※2 接点付チェック弁のあるときのみ

発生原因を除去したのち警報復帰スイッチを操作すれば、もとの運転状態にもどる。

2.3.3 鉄管破裂検出装置

ポンプを自動運転している場合、管路破裂を起こすと、流量増加・ポンプ吐出圧力減少のため、自動制御系は負荷増加と判断し、ポンプ速度にしたがって吐出圧を上昇させるよう制御し、極限状態にいたり、その被害を拡大するおそれがある。そのため管路破裂を検出する必要が生ずるが、末端部分の破裂、本管部分の破裂、急に破裂するもの、徐々に破裂するものなど種々様々である。したがって、そのすべてをとらえることは困難なため、自動運転上障害となるような本管部分の大きな破裂の検出について考える。この場合に現われる現象として流量に着目すると、次の2点があげられる。

- (1) 流量の増加が急激である。
- (2) 流量の増加幅が大である。

簡単な計装では(2)項のみに着目し、ある極限值以上に流量が増加した場合警報を出すことが考えられる。また(1)(2)両項に着目した装置がある。すなわち、現在流量(Q)と微少時間前の流量(Q₀)を比較し、その増加幅が微少時間前の流量のα倍以上なら警報を出すという装置を構成すれば、(1)(2)の両条件を考慮したことになる。次式はこれを演算式として表わしたものである。

$$(Q - Q_0) / Q_0 \geq \alpha$$

ただし α : 定数

図 2.7 に装置のブロック図を示す(特許出願中)。

3. ポンプ自動制御方式

ポンプの自動制御をその目的から分類すると

- (1) 水位制御
- (2) 圧力制御
- (3) 流量制御

などに大別できる。

方法から分類すると

- (1) ON-OFF 制御 (ポンプ 1 台のとき)
- (2) 台数制御
- (3) 回転数制御
- (4) 弁開度制御

および、それらの組み合わせにより種々な方式がある。

3.1 水位制御

3.1.1 2 位置動作

2 位置動作は制御が簡単であり効率がよく経済的であるから、水位制御はできる限り 2 位置制御ですべきである。ただその場合、起動停止の周期が短いときは、2 位置動作は不適当である。2 位置動作の場合、水位の検出は電極式水位リレーを使用する場合が多い。

3.1.2 比例制御

ポンプの起動停止の周期が短い場合やポンプ井が小さく流入量の変動に対する応答が速い場合には、比例制御・比例積分制御(以下PI制御とよぶ)または比例積分微分制御(以下PID制御とよぶ)をする必要がある。

当社は比例制御を行なう場合は、PFM 形増幅器を用いる。PI または PID 制御を行なう場合は、AC-K-840R 形偏差指示調節計を使用する。以下に PFM 形増幅器および AC-K-840R 形偏差指示調節計について述べる。

(1) PFM 増幅器

一般に自動制御系においては制御対象を目標値に維持するために、制御対象の現在値との偏差を増幅し、操作部にパワーを供給する増幅器を必要とする。

この増幅器は普通は連続した出力を出すものでよいが、操作部の種類によっては（たとえば操作用電動機）いわゆる ON-OFF 制御を行なったほうが、精度の向上、動作の確実などを期待することができる。ところが、単なる ON-OFF 動作では良好な制御は行なえず、なんらかの方法で増幅器の ON-OFF 出力を偏差の大きさに関連づける必要が生じる。PFM 増幅器は双安定増幅器とトランジスタ NOR 回路からなり、連続した入力から偏差に応じてパルス間隔を変えるパルス周波数変調方式を採用している。

すなわち、PFM 増幅器のパルス幅は入力のいかにかわらず一定であるが、パルス間隔は入力の偏差が大きいたまには短く、偏差に応じた操作量を電動機に与えることができ、電動機（たとえば吐出弁の駆動用電動機）の制御に適している増幅器である。

PFM 増幅器のおもな性能は下記のとおりである。

入力 DC4~20mA または 0~±10V

出力 パルス幅: 0.1~1.0 秒可調整

パルス間隔: 0.1~1.0 秒可調整 (高ゲイン用)

3.0~20.0 秒可調整 (低ゲイン用)

(ただし上記数値は入力が 20mA または ±10V のときのパルス間隔であり、入力が小さくなればパルス間隔は長くなる)

図 3.1 に外観写真を示す。

(2) 偏差指示調節計

調節計とはプロセスの制御ループに設置され、偏差信号すなわち測定値と設定値の差に、ある演算をほどこし、制御量を設定値に保つように出力信号を出す一種の計算機である。PID 調節計は入力信号におおの比例 (P)、積分 (I)、微分 (D) といった三つの演算をほどこし出力をその合成として得るものである。入力 Q_i と出力 Q_o の関係を示す伝達関数は理想的 PID 調節計については

$$\frac{Q_o}{Q_i} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right)$$

ここに K_P 比例ゲイン

T_I 積分時間 (分) (逆数をリセット率という)

T_D 微分時間 (分)

で与えられる。

偏差指示調節計のおもな性能を表 3.1 に示す。図 3.2 はその写真である。

3.2 圧力制御

圧力制御は送水ポンプで送水圧を一定に保つ制御、または送配水管末端部の圧力をほぼ一定に保つ制御に使用される。制御方法としては

- (1) 弁制御
- (2) 速度制御
- (3) 台数制御

および (1), (2) 項の併用, (2), (3) 項の併用などがある。

3.2.1 送水圧力一定制御

加圧ポンプ場などのごとく管路損失が少なく、ポンプ揚程の大部分が実揚程のときに多く用いられる。

(1) 台数制御

ポンプ複数台の並列運転を行ない、その運転台数を送水流量に応じて選択を行ない送水圧力を制御する。

図 3.3 は 3 台並列運転の例で送水流量を検出し、これにより運転台数を切換える。

運転台数の増加、減少指令は図 3.3 に示すごとく、多少ヒステリシス特性を持たせて、ポンプ起動停止のひん度を小さくさせている。台数制御の場合の送水圧は図 3.3 の斜線の範囲で変化する。この方式では、圧力変化は弁制御・回転数制御に比べ大きくなるが、最も簡単であるため小容量のポンプ設備で大きな圧力制御でよい場合に適用される。並列運転を行なうポンプは、同一特性少なくとも締切圧が同一であることが要求される。

(2) 弁開度制御

図 3.4 に示すようにポンプの送水圧力を検出し、これを ON-OFF 調節装置で設定圧力と比較し、その偏差により制水弁開度を加減して送水圧を一定範囲に保つように制御する。

図 3.5 は弁開度と圧力の関係を示す。送水圧力 P より上の斜線

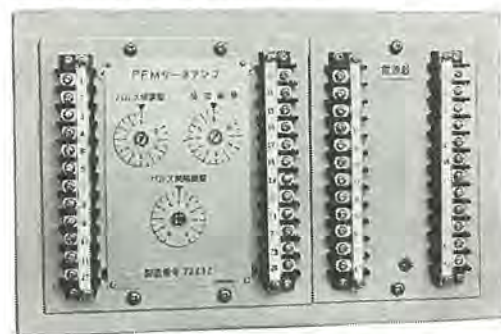


図 3.1 PFM 増幅器 PFM amplifier.

表 3.1 調節計仕様
Specification of regulator.

形式記号	AC-K-840R 形	
入力信号	1~5mA 10~50mA	4~20mA (標準) 0.25~1.25V DC
出力信号	4~20mA	DC
最大負荷	600Ω	
比例ゲイン (15段切換)	R×10 レンジで G×10 レンジで	0.04~25 0.4~250
リセット率 (15段切換)	R×10 レンジで G×10 レンジで	0.4~250repeats/min 0.04~25repeats/min
微分時間 (23段切換)	0 および 0.0016~24min	
設定精度	±0.5%	
使用電源	AC100V 50/60Hz または DC24V	
消費電力	19VA	



図 3.2 PID 調節計 PID controller.

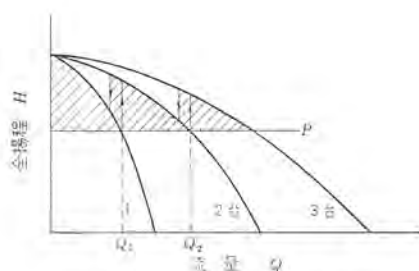


図 3.3 台数制御と $Q-H$ 特性
Characteristic curves of pumps change-over.

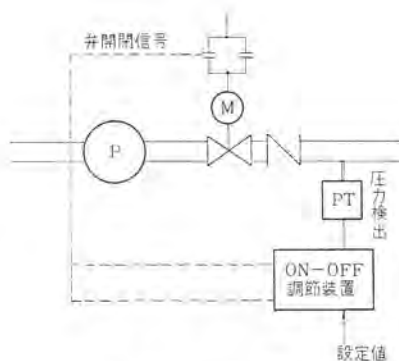


図 3.4 弁開度制御
Block diagram of valve opening control.

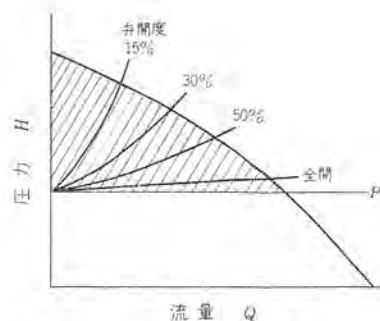


図 3.5 弁開度と $Q-H$ 特性
Characteristic curve for valve opening control.

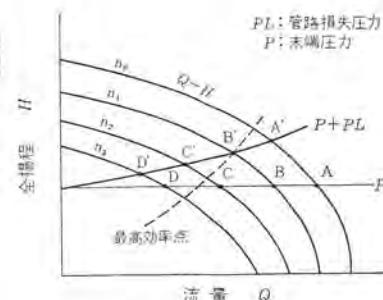
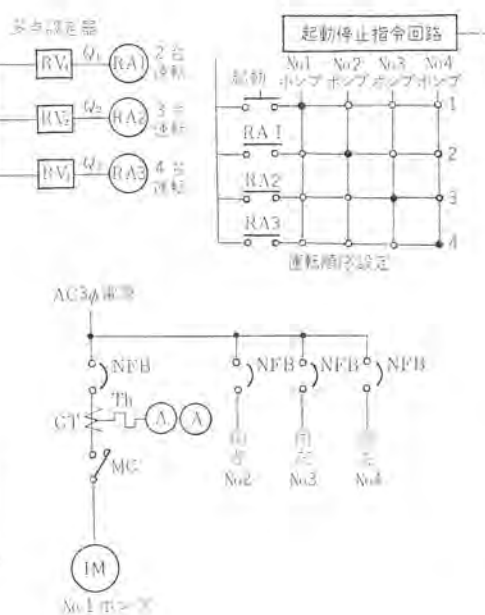
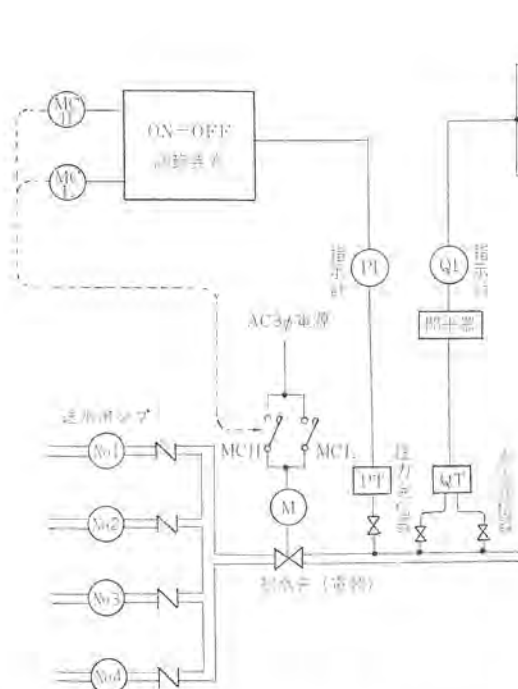


図 3.7 回転数制御と $Q-H$ 特性
Characteristic curve for speed control.

図 3.6 台数制御+弁制御方式制御
ブロック図
Block diagram for pump change-over and valve-opening control.

部の圧力は弁により吸収される損失圧力となる。

図 3.6 は送水ポンプの台数制御+弁開度制御の一例を示す。4 台の送水ポンプを並列運転し、送水圧力をたとえば $4 \text{ kg} \pm \alpha$ (α : 変動幅、不感帯) の範囲に保つよう、運転台数および制水弁開度を制御している。運転台数の制御は送水流量を検出し開平器により流量に比例した電気信号に変換し、多点設定器 ($RV_1 \sim RV_3$) を通しておのこの設定流量 Q_1, Q_2, Q_3 に対し、パワーリレー $RA_1 \sim RA_3$ を作動させ運転順序設定器に起動・停止の信号を送る。運転順序設定器は横軸に NO. 1~NO. 4 の運転ポンプ、たて軸に 1~4 の運転順序をとったマトリクスボードで、その交点をピンで電気的に接続することにより任意に運転順序がセットされる。たとえば NO. 1, 2, 3, 4 の順序で運転する場合は図 3.6 の順序設定器の黒丸の点にセットする。この場合は流量により

$Q < Q_1$ で NO. 1, ポンプ運転

$Q_1 < Q < Q_2$ で NO. 1, NO. 2 ポンプ 2 台運転

$Q_2 < Q < Q_3$ で NO. 1, NO. 2 NO. 3 ポンプ 3 台運転

$Q_3 < Q$ で全台運転となるように制御される。

なお、ポンプの起動と停止の指令流量には適当な幅を設け、動作を安定にしている。一方、送水圧力は圧力発信器により検出され、ON-OFF 調節装置で設定圧 (4 kg/cm^2) となるよう制水弁を制御する。

この方式は回転数制御に比べて装置は簡単となるが、弁による損失があるため比較的小容量のものに適する。

(3) 回転数制御

送水圧力を設定圧力と比較し、その偏差によりポンプの回転数を制御するもので、弁制御に比べて運転効率がよく、中容量以上のポンプで送水流量の変化が大きい場合は特に適した方法である。ポンプの回転数を変える場合は、流量-揚程 (以下 $Q-H$ 特性) は同一運転点に対し

$$Q \propto n, H \propto n^2, W \propto n^3$$

Q : 流量, H : 揚程, W : 軸馬力, n : 回転数

の関係で、図 3.7 のように変化する。ポンプの最高効率点は、上記の関係で回転数に比例して流量の少ないほうへ移動するから、運転効率は弁制御に比べて良好となるので中容量以上のポンプに適する。ポンプの回転数制御方式としては種々な方式があるが、主として

(a) 二次抵抗制御方式

(b) 変形レクチフロー方式 (M-G 式セルビウス)

(c) 静止セルビウス (サイリスタセルビウス)

が実用される。各方式の内容・特長については他編にゆずる。

3.2.2 末端圧力一定制御

送水管路において、送水端と受水端の距離が非常に離れている場合には、送水圧よりも受水末端部の圧力を一定とする制御が要求さ

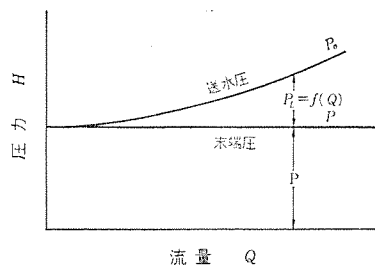


図 3.8 末端圧と送水圧関係
Receiving end pressure and pump pressure.

れる場合が多い。この場合の制御方式としては、末端部の圧力を検出して遠方伝送し、その信号により制御を行なう圧力伝送方式と、送水端にて流量・圧力を検出しこの間の関係から、末端圧力を予想して制御する流量-圧力制御方式がある。前者は制御方式としては簡単となるが、末端部の圧力を検出し伝送する必要がある。後者の方式は送水系統のように、系統が簡単となきときによく用いられる。

流量-圧力制御は、送水管路の損失圧力 P_L を送水流量の関数 $f(Q)$ として求め、送水端圧力 P_0 を末端圧力 P に対し

$$P_0 = P + P_L \\ = P + f(Q)$$

となるように制御する。図 3.8 はこの関係を示す。 $P_L = f(Q)$ は比較的単純な管路では、 $f(Q) = KQ^n$ ($n=1.5 \sim 2.0$) で近似されるが、途中に分岐のある複雑な管路ではこれを求めることが困難な場合が多い。このような場合は、末端圧力により直接制御する前者の方式がよい。

制御の方式としては送水圧一定制御の場合と同じように、弁開度制御、または回転数制御により行なわれる。

3.3 流量制御

流量制御は過流量一定制御、送水流量のプログラム制御などに適用される。流量制御は一般に応答が速いので ON, OFF 制御は適用されず、弁開度制御または回転数制御による比例制御により行なわれる。制御の方式は、水位制御・圧力制御の場合と同様である。

3.4 プログラム制御

上記は設定値が与えられたとき、その設定値になるよう制御方法について述べた。この設定値が時間に対して一定ならば、手動にて 1 回与えればよいが、時間とともに変化するような場合、しかも、その変化が 1 日を通じてほぼ決まっている場合には、プログラム設定器によって行なわせることができる。

本装置はポテンシオメータ式・折線近似式・カム追尾式・曲線追尾式等があり、いずれも時計装置との組み合わせにより成り立っている。

3.5 制御方式の決定

各種制御方式の特質については上記各項において述べた。

当社においてはこれら各種の制御方法を検討する際には、大型電子計算機 IBM-360 を用いて、制御系各機器の決定を行なっている。これにより最も適した機器の選定ができ、計画および実際設計での定数決定に非常に役立っている。

図 3.9, 図 3.10, 図 3.11 は Computer study の結果の一部

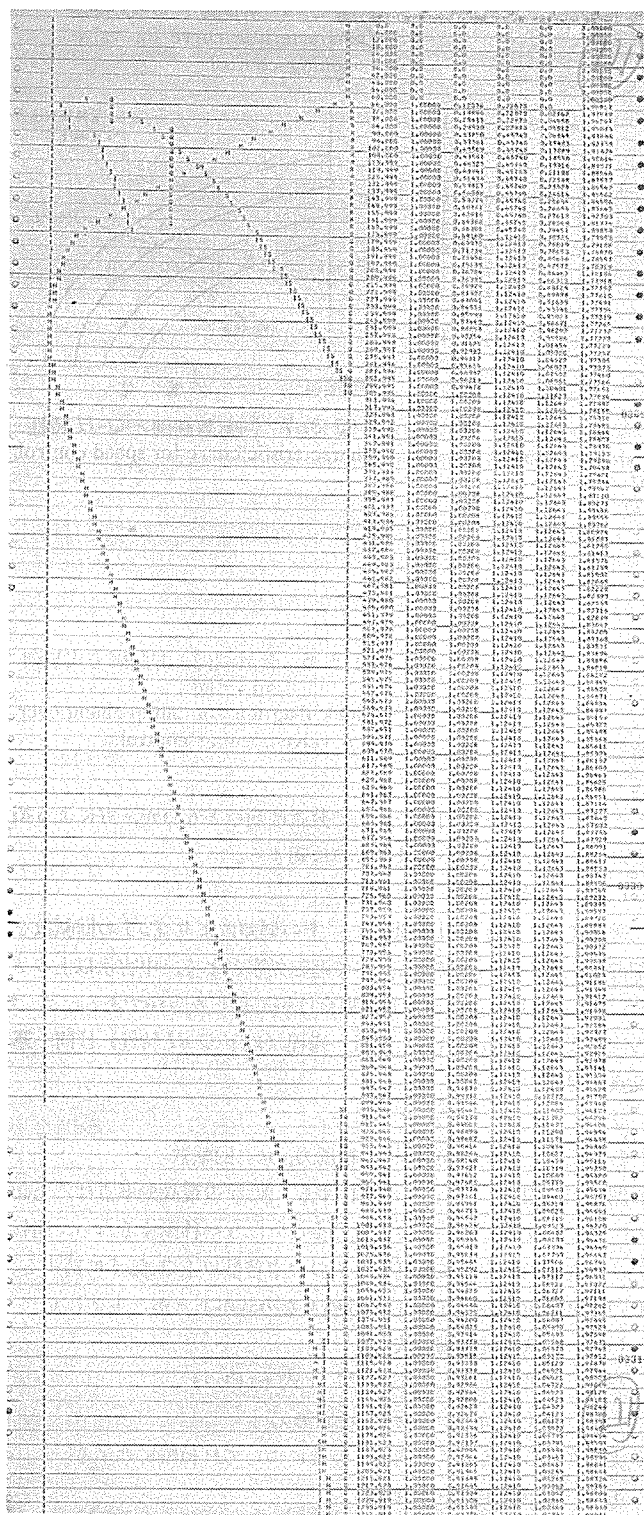


図 3.9 計算結果
Data obtained by study with computers.

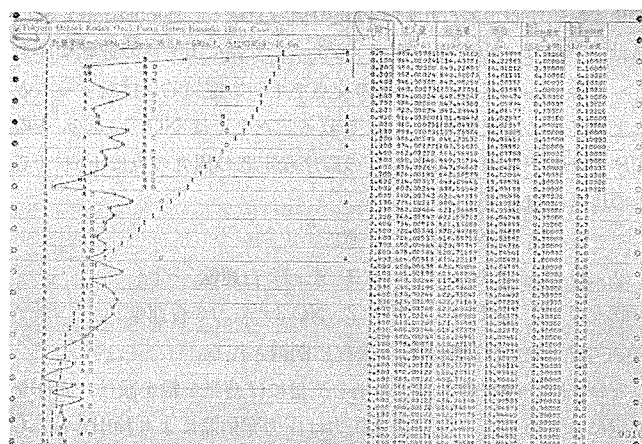


図 3.10 計算結果
Data obtained by study with computers.

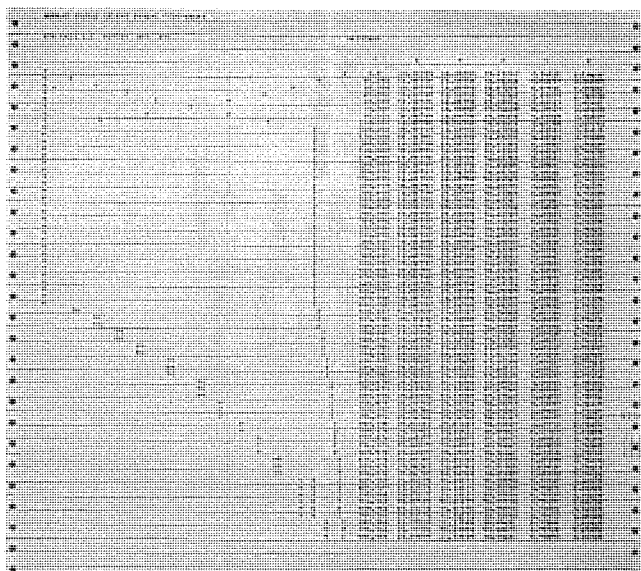


図 3.11 計算結果
Data obtained by study with computers.

を示す。図 3.9 は弁制御および台数制御による配水池水位について、図 3.10 は弁制御および台数制御によるポンプ井水位について、図 3.11 は弁制御による送水圧についてそれぞれ計算させた結果である。

4. 上下水道設備の制御

当社は浄水設備・下水処理設備の計測制御設備については数多くの納入実績をもつが、最近納入したもののうち、上水設備として佐世保市広田浄水場、下水処理設備として春日井市高蔵寺終末処理場のフローシートを図 4.1、図 4.2 に示す。

4.1 比例注入装置

原水中にコロイド状に含まれている粘土や色素のような物質を凝集・沈殿させるため凝集剤・凝集補助剤が使用される。これらの薬品の注入量は原水の温度、PH 値、アルカリ度、濁度等によって決定しなければならない。

注入薬品の形状は固形と液状の両方ある。液体薬品の注入方法は重力を利用した自然流下法と、ポンプのような定量ポンプを利用したポンプ注入法の2方式がある。

前者はポンプにより薬液をタンクに吸み上げ、落差を利用して原水に流し込むのであるが、結晶の析出を考慮して注入流量計測には電磁流量計が使われ、流量を加減する調節弁にはダイヤフラム弁（サンダース弁）が使われる。

後者は定量ポンプの回転数またはストロークを変えて注入量制御を行なう。定量ポンプはその構造上から吸入側の液圧、注入点の圧力に影響されることなく薬液を送ることができる。

固形液体品の注入はテーブルフィーダの回転数制御等により薬品投入量を制御する。

塩素の比例注入は浄水の工程上通常は2回に分けて行なっている。すなわち沈殿させる前に行なわせる前塩素注入、沈殿ろ過後に行なう後塩素注入である。前塩素の注入の目的は沈殿補助剤として有機性物質、細菌の除去、藻類の発生防止などがあるが、原水に含まれている鉄イオン、マンガニオン除去にもろ過砂を利用して効果がある。後塩素注入の目的は滅菌であり、飲料水としての安全度を確保し、配水系統の不測の汚染から防護しようとするものである。

塩素滅菌機の原理は、塩素を注入するさい圧力水を高速でベンチュリ状にした管のなかを通し、このとき生ずる負圧を利用して塩素ガスを引き込み、溶け込ませる。この塩素ガスの注入量は差圧調節弁および真空圧調節弁でV形可変オリフィス前後の差圧を一定に保ち、V形可変オリフィスの開度を比率設定器等の出力信号により調節し、注入量を制御する。

以上述べた凝集剤・凝集補助剤・塩素の注入を自動的に行なわせるためには比率設定器が必要である。

比率設定器は一種の掛算器であり、入力（原水流量）および比率設定値の積により出力（薬注量）を算出する。

演算式は式(4.1)による。

$$I_0 = K(I_1 - 4) + 4 \quad (mA) \dots\dots\dots (4.1)$$

ただし I_1 入力（原水流量）

I_0 出力（薬注量）

K 比例定数

出力 I_0 は式(4.1)より求められるが、右辺が4mA以下、20mA以上となった場合はそれぞれ4mA、20mAとなるようリミッタ回路が設けられている。本装置は電子回路より成り立っている。

4.2 ろ過設備

ろ過池関係の計測制御はろ過流量の計測および調節、損失水頭の計測、砂層の洗浄制御がおもなものである。

ろ過流量の制御はろ過持続中にろ過速度が変化すると、ろ水の水質に悪い影響を与えるため必要となる。ろ過池の水位を一定に保っておけば、ろ過池の損失水頭の増加とともにろ過流量が減少してくる。そのためろ過水頭を損失水頭が最大となった場合もなお十分な大きさとし、浄水管の途中に制御弁を設けて、これによって水頭調節を行なってろ過流量を一定に保つようにする。

図 4.1 で流量発信器はベンチュリ式で、絞機機構により差圧を検出することによって流量を検出するもので、その信号は開平演算器によって直線化されたのち、記録計に与えられると同時に調節計に与えられ、流量調節弁を制御し流量を調節する。

ろ過池でろ過を継続していると、砂層がよごれ損失水頭が増し、ある一定限度以上損失水頭が増すと砂層がかたく詰まり洗浄が困難となる。そこで損失水頭が2.0～2.5mH₂O程度となれば、ろ過操作を停止して、ろ層の洗浄を行なう必要がある。ろ層の洗浄は一般には水による表洗逆洗を行なうが、表洗・逆洗水はできるだけ流量・圧力が一定であることが望ましいので、必要に応じて図 4.3 のような流量調節装置を設ける。

また、洗浄操作を自動で行なうには図 4.4 のように各弁をシーケンス制御する。

このろ過池の洗浄工程シーケンスは浄水場設備の中では比較的使用頻度が高く、ろ過池の有効利用の観点より信頼性が要求されるので、当社ではろ過池洗浄シーケンスの無接点化も行なっている。本装置は NOR 回路を基本素子とするシリコントランジスタのプリントカードをおもな構成素子としている。

特長は

- (1) 信頼性の向上
- (2) 装置のコンパクト化と接点保守作業の削減。
- (3) 制御用電力消費量の節減。
- (4) 計算機制御など他の電子機器との信号の授受が容易。
- (5) 外部入力条件は1条件1a接点でよく現場機器に多くの条件スイッチを置く必要がなく、ひいてはケーブルの節減となる

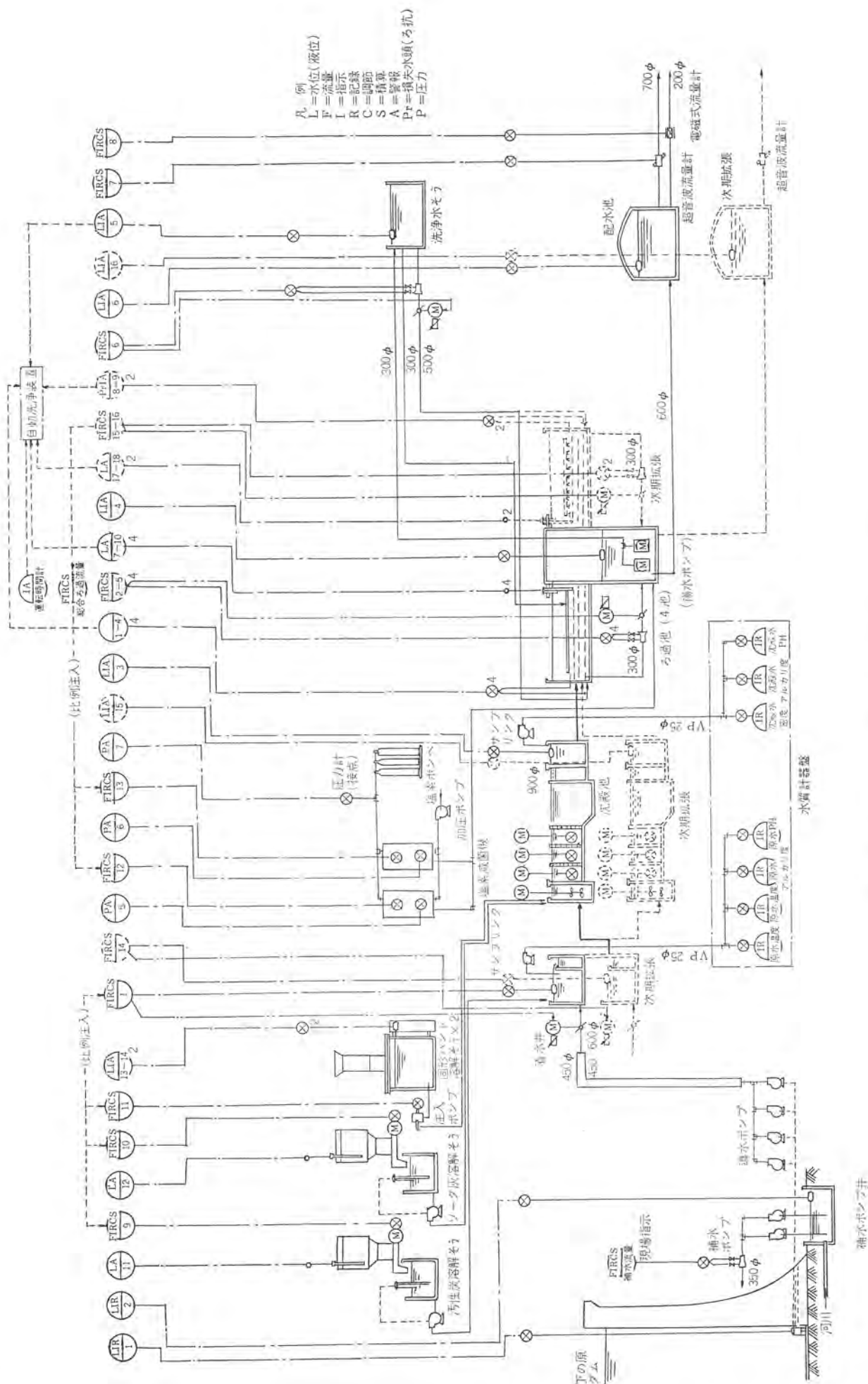
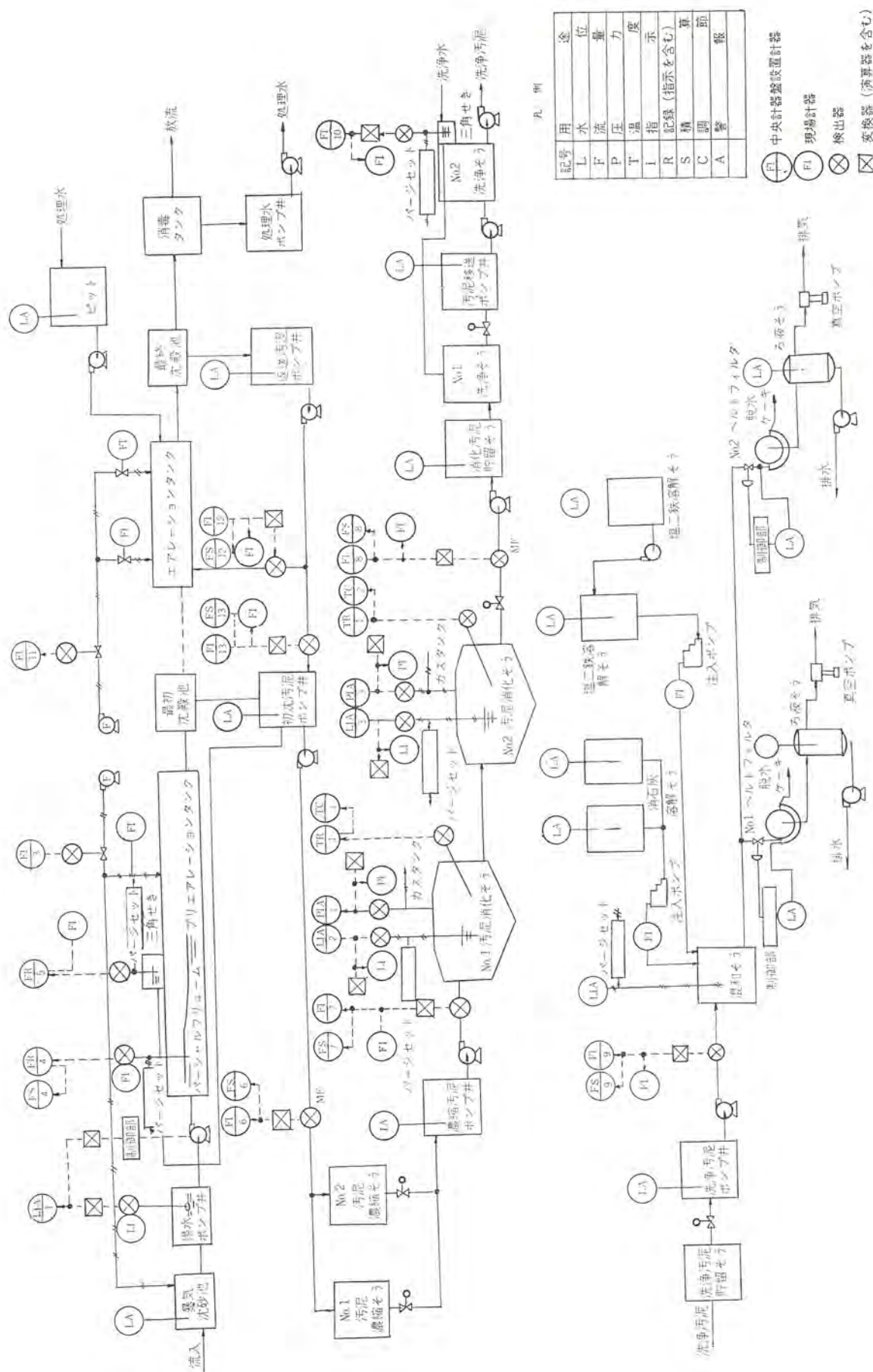


図 4.1 計装系統図 Instrumentation system diagram.



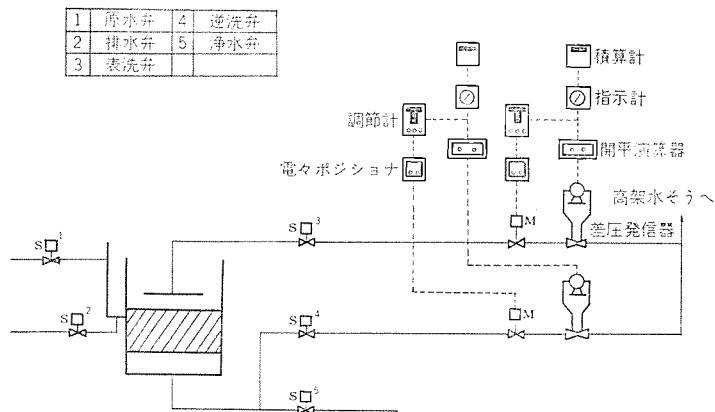


図 4.3 ろ過池洗浄操作
Washing operation diagram of filter bed.

等である。

本装置の写真を図 4.5 に示す。なお図 4.5 は単独装置として専用ケースに収納したものであるが、もちろん制御盤内に組み込むこともできる。

4.3 排泥設備

沈殿池に沈殿したフロックはそのまま放置すれば短期間で沈殿に支障をきたすので、一般に汚泥かき寄せ機を設けて常時排泥を行なう。

汚泥かき寄せ機の形式としては、走行式ミューダ形、リンクベルト式水中けん引式、回転式などがある。沈殿池の構造は長方形の横流式が最も基本的であるが、2階そう式・中間整流壁式・傾斜板式等がある。

これらの形式により汚泥かき寄せ機、および排泥弁の制御方式は異なってくる。

以下に当所が最近実施した2階そう沈殿池で水中けん引式の汚泥かき寄せ機、排泥弁の制御を一例として述べる。

1池あたりの汚泥かき寄せ機・排泥弁の台数は下記のとおりである。

汚泥かき寄せ機用電動機

上部そう用 4台 (1台当たり2個のかき寄せ機を付属)

下部そう用 2台 (1台当たり3個のかき寄せ機を付属)

排泥弁

上部そう用 4×2組 (1組当たり2個の弁を付属)

2×4組 (1組当たり2個の弁を付属)

汚泥かき寄せ機はタイマにより設定時間ごとに1回自動的に汚泥をかき寄せる。このタイマはかき寄せ機個々に用意されている。

2階そうの下部そう用かき寄せ機に関しては、中間位置と完了位置の間でのみ運転することもできる。

かき寄せ機の、かき始めの位置・中間位置・完了位置はかき寄せ機駆動用ドラムの回転を近接スイッチおよびパルスカウンタにより計測して検出している。

かき寄せ機が、かき寄せ完了位置にきたとき排泥弁を開いて、沈殿物を水とともに排出する。

排泥物を汚水池まで送る管路は、2階そう沈殿池2池に1本であるため、管路の容量より排泥弁は同時には1組 (2個) しか開くことができない。したがってかき寄せ機が完了位置に到着したことを記憶しておき、その到着順序に従って排泥弁を1組づつ開とする。

ある排泥弁が開のときはその弁が閉るまでは他の弁は開となるのを待っていないなければならない。

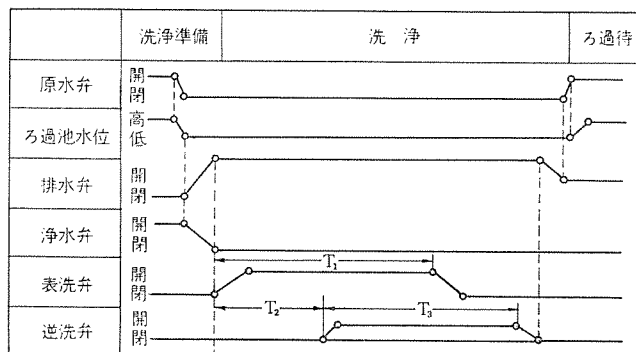


図 4.4 ろ過池の洗浄工程
Washing process of filter bed.

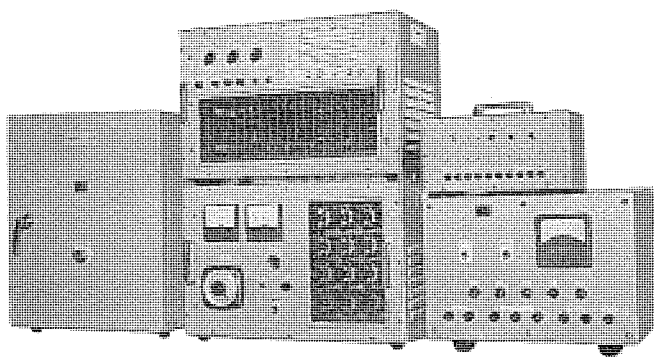


図 4.5 ろ過池洗浄装置
Equipment of washing operation of filter bed.

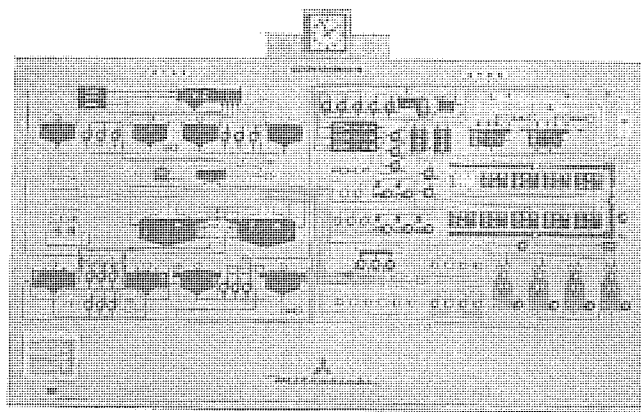


図 4.6 グラフィックパネル
Graphic panel.

上記制御方法に基づき、シリコントランジスタを基本素子とするカードにスキャン回路、フリップフロップによる記憶回路、シフトレジスタによるシフト回路を組み込み、このカードと排泥の順序を表示するための数字表示管により上記制御回路を作っている。

4.4 グラフィックパネル

水道設備においては制御対象が広く、制御内容も複雑化、高度化してゆく一方、省力化も最近の人手不足とあいまって進められてきている。

このような情勢において水道設備の制御も一人制御が多くとり入れられてきた。

中央管理室において運転状態を一目でわかるようにし、故障発生に対してもすみやかに処置できるよう制御対象をグラフィック化した、いわゆるグラフィックパネルが多く採用されてきている。

材質としては鉄板、アルミはく (箔)、プラスチック板等で模擬機器を形どり、盤にはりつける方法、大きなプラスチック板の裏面より各模

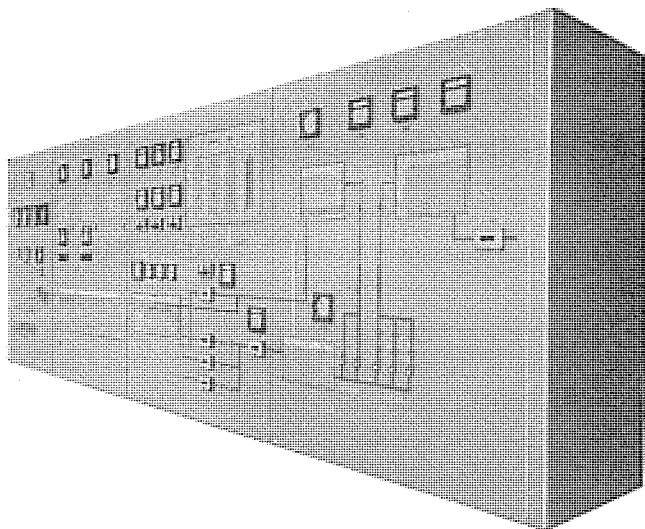


図 4.7 グラフィックパネル
Graphic panel.

擬機器を彫り込み、盤にとりつける方法等がある。

図 4.6, 図 4.7, 図 4.8 にグラフィックパネルの写真を示す。

5. む す び

以上おもに上水道設備についてふれたが、下水設備についてもポンプ運転・水位・圧力・流量制御等同様なことがいえる。

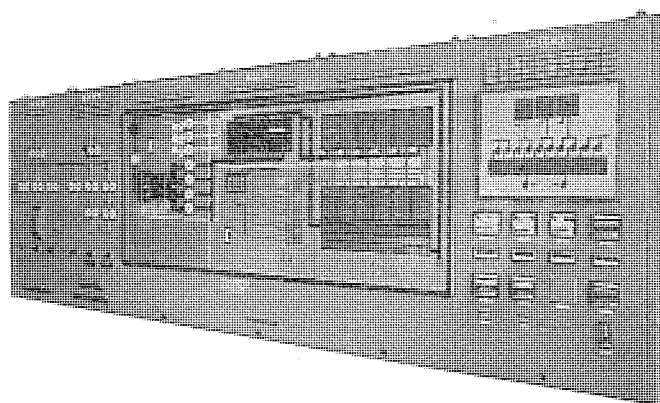


図 4.8 グラフィックパネル
Graphic panel.

ただ、下水設備については、スクリーン、ベルトコンベア、ブロワ、フローズンポンプ等の機械があり、それらは機械設備の関係で現在では単独運転が多く、一部連動運転しているのが現状である。

将来機械関係の発達にともない、連動運転・自動運転が採用されるであろう。

上下水道の制御装置を製作する際、大型電子計算機を使用して制御方式および各定数を決めていることは前述したが、最近では制御盤の結線図関係も大型電子計算機を使用して行っており、装置の信頼性を向上させ、よりよい物を製作していくよう努力している。

水道用遠方監視制御装置

島田政代士*・今泉 巽**

Supervisory Control Equipment for Waterworks

Kobe Works Masayoshi SHIMADA

Communication Equipment Works Tatsumi IMAIZUMI

Recently supervisory equipment has come into extensive use for rational operation of the equipment in waterworks. The operation mostly consists in the supervisory control of the equipment of water reservoirs, distribution ponds and pump stations from a control office. In manufacturing the supervisory control equipment there are a number of factors to be taken into consideration such as (1) the layout of water service installations to be controlled, (2) contents and itemized number of control, supervisory and measurement details, (3) operating methods of controlled equipment, (4) signal transmission circuits and (5) power supplies. Studying the above conditions, Mitsubishi has developed numerous kinds of system to suit best for the purposes. Herein are given examples of supervisory control equipment for city water and sewage put into practice.

1. ま え が き

最近都市の人口集中化、あるいは都市の近代化などに伴い上水の需要および下水の処理の必要性が激増し、それに対処するため、各地の公共企業体では上水用貯・配水場、ポンプ所の設置を盛んに行なうようになってきた。それら貯・配水場、ポンプ所が増加するにつれ、あるいはそれらが上水の配布上非常に広範囲に散在して設置されるにつれ、まず運転員の確保の問題が生じ、そのためそれらを常時無人とし、その運転は制御所より遠方監視制御装置を介して行なう方式とすることが検討され、採用されるようになった。

遠方監視制御装置の採用により、(1)浄水場などを無人にすることができ、その建設費・維持費を節減できる、(2)数個所の浄水場、貯・配水場、ポンプ所などを集中監視制御することにより、水系統の効果的利用、諸設備の運営能率を向上させることができる、などの多くの効果がある。そのためこの装置は経営合理化の手段として今後ますます採用される傾向にある。

遠方監視制御装置製作にあたっては(1)被制御所となる水道設備の配置、距離、(2)制御・監視・計測項目の内容および項目数の大小、(3)被制御所設備の運転方式、(4)信号伝送路、(5)電源、(6)温度などの周囲条件など検討すべき要因が多い。当社では従来より上記各条件を検討し最適の装置となるように多くの方式を開発しているが、以下特に水道用遠方監視制御装置および遠方計測装置を実施例にて説明する。

2. 遠方監視制御装置

遠方監視制御装置は大体次の2方式に大別される。

(1) ワイヤスプリングリレー形多段多重方式

(2) トランジスタ形サイクリック符号式

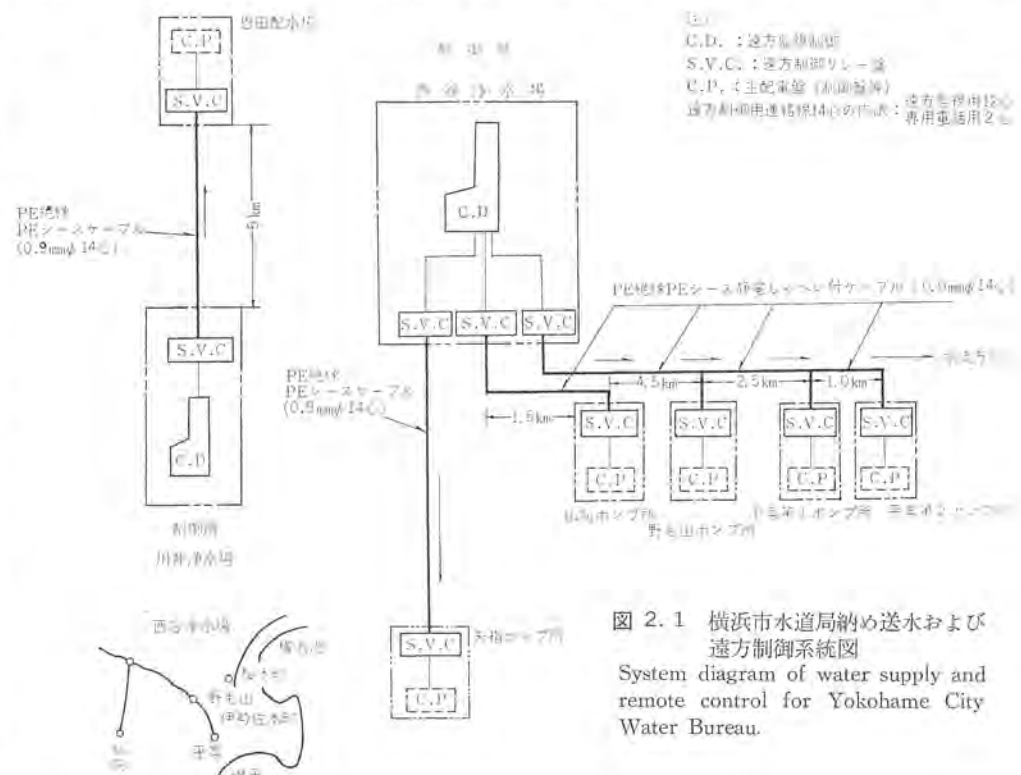
2.1 ワイヤスプリングリレー形多段多重式

本方式は装置を簡単にし、かつ連絡線の利用率を高めることを主眼としたもので、情報の伝送は符号化によらず直流信号伝送とし、12心の連絡線を常時任意の用途、たとえば常時指示の計測、電話などに使用し、必要ときのみきわめて短時間(約0.5秒)上記連絡線を機器の遠方制御、あるいは状態監視(警報表示)に切りかえて使用するようにした当社特自の方式である。本方式装置の特長・仕様詳細などについては別資料⁽¹⁾をご参照されたい。

2.1.1 横浜市水道局納め多段多重遠方監視制御装置

(1) ポンプ所設備概要

横浜市水道局ポンプ所・配水場向けに本方式装置を数セット納入し



ているが、それに関連した被制御所の配置および遠方制御系統図を図 2.1 に示す。すなわち現在西谷浄水場系と川井浄水場系の 2 系統があり、西谷浄水場からの上水は仏向・野毛山・平楽第 1・平楽第 2 の各ポンプ所を経て、横浜市内の中心地区に配水される一方、矢指ポンプ所を経て市内西南部地区に配水されている。川井浄水場からの上水は恩田配水池を経て西部地区に配水されている。

浄水場—ポンプ所間、ポンプ所同志間の距離は同図に示すとおりであり、これらポンプ所は常時無人であり、制御所 浄水場より遠方監視制御される。遠方制御系統は被制御所の配置・規模・制御所共通部の簡略を計って (1 : N) 方式を原則としている。すなわち現在、

- (a) 西谷浄水場—仏向ポンプ所 (現在 1 : 1 将来 1 : 3 に増設予定)
- (b) 西谷浄水場—野毛山ポンプ所・平楽第 1 ポンプ所・平楽第 2

ポンプ所 (1 : 3)

- (c) 西谷浄水場—矢指ポンプ所 (現在 1 : 1 将来 1 : 3 に増設可能)
- (d) 川井浄水場—恩田配水池 (現在 1 : 1 将来 1 : 3 に増設可能)

の 4 系統としている。制御所—被制御所間の連絡線の仕様 (種類・心線径・心線数) も同図中に記載しているが、一般に PE 絶縁 PE シース 静電しゃへい付 ケーブル (0.9 mmφ 12 心) を使用する。仏向方向の連絡線は実際は西谷浄水場—仏向間 24 心、仏向—野毛山間 12 心、野毛山—平楽第 1 間 12 心、平楽第 1—同第 2 間 12 心である。

各ポンプ所の配水および電気設備は野毛山・平楽第 1・平楽第 2 の 3 ポンプ所を図 2.2 に一例として記載する。

(2) 遠方監視制御装置

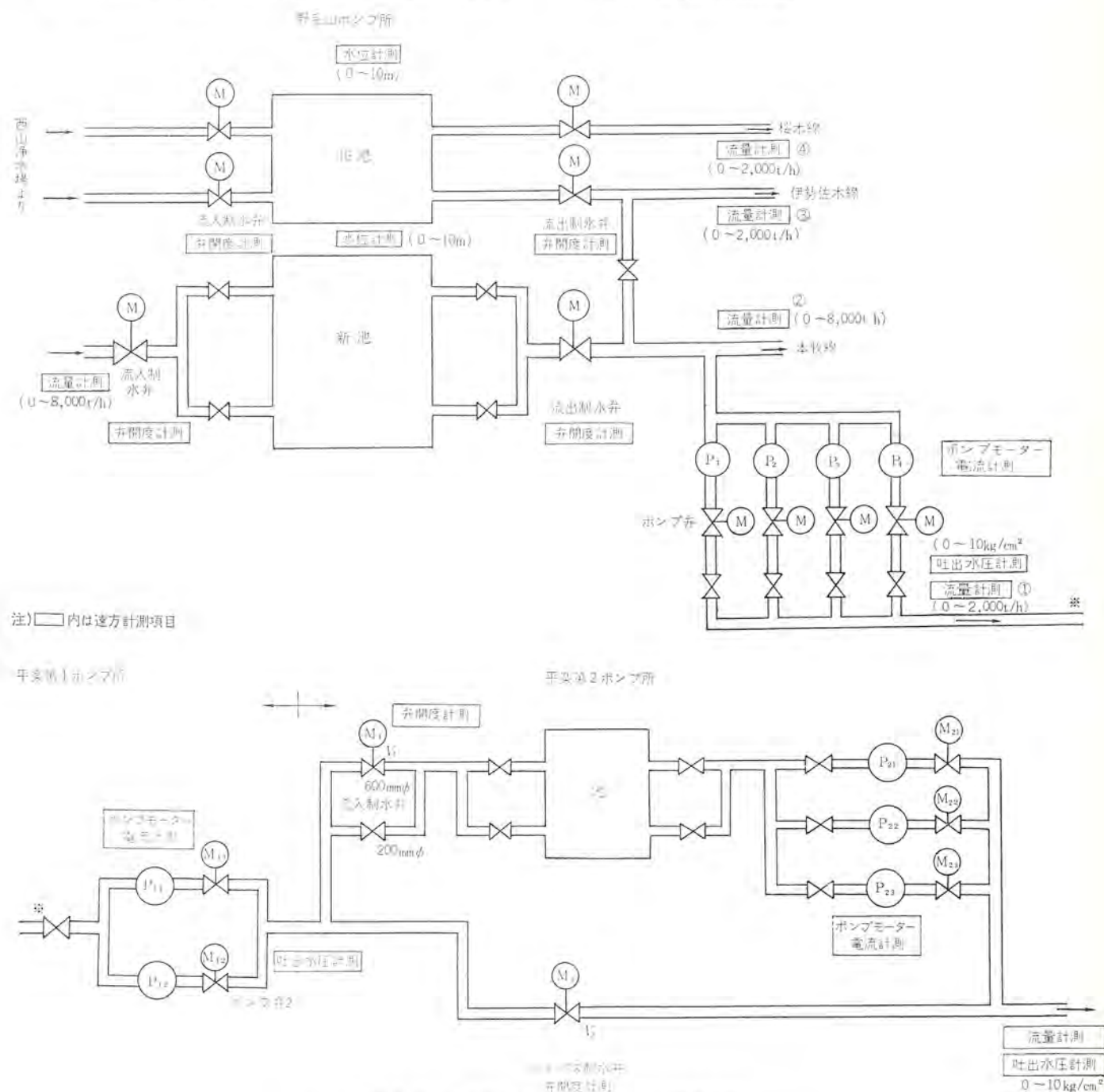


図 2.2 横浜市水道局納めポンプ所配水管系統図
Water distribution system in nogeyama and other pump station.

表 2.1 横浜市水道局納め遠方監視制御項目一覧 (その1)
List of supervisory control equipment supplied to the
Yokohama City water Bureau (1).

	項 目	野 毛 山	平 楽 第 1	平 楽 第 2
制 御	受電レリ断器 (52R) 入・切	1	1	1
	流入制水弁開・閉・停	2	0	1
	流出制水弁開・閉・停	2	0	1
	ポンプ弁開・閉・停	4	2	3
	ポンプレリ断器入・切	4	2	3
	復 試	1	1	1
小 計		15	7	11
選 択 計 測	吐出水圧計測選択	1	1	1
	受電電圧計測選択	1	1	1
	受電電流計測選択	1	1	1
	流入制水弁開度計測選択	3	0	2
	流出制水弁開度計測選択	3	0	0
	ポンプモータ電流計測選択	4	2	3
	水管流量計測選択	5	0	1
	積算電力量 (WHR)	1	1	1
	積算流量 (QH)	1	1	1
	水位計測 (選択時外常時計測)	2	0	2
表 示	受電レリ断器 (52R) 入・切	1	1	1
	流入制水弁全開・全閉	2	0	1
	流出制水弁全開・全閉	2	0	1
	ポンプ弁全開・全閉	4	2	3
	ポンプレリ断器入・切	4	2	3
	受 電 故 障	1	1	1
	受 電 停 電	1	1	1
	弁 故 障	1	1	1
	ポンプ放 障	4	2	3
	水 位 上 限	2	0	1
	水 位 下 限	2	0	1
	直 接・遠 方	1	1	1
	無 水 表 示	1	1	1
	吐 出 正 転	1	1	1
	自 動・手 動	1	1	1
	公 園 電 源 故 障	1	0	0
	と び ら 開	1	1	0
	80 B	1	1	0
	予 備	9	4	9
小 計		40	20	30

(a) 制御・監視項目

表 2.1 は 図 2.2 における野毛山・平楽第1・平楽第2の各ポンプ所の遠方監視制御および計測項目一覧表であり、表 2.2 は多段多重式の項目一覧表に作成し直したものである。

(b) 構造

構造は制御所・被制御所とも垂直自立形であり、特に制御所側では 図 2.3 に示すとおり遠方監視制御盤と遠方制御継電器盤とは前後盤としており、遠方制御盤は矢指・仏向各ポンプ所用に各1面、野毛山・平楽第1・同第2ポンプ所分は1面にまとめ計3面としている。

(c) 操作方式

機器の操作方式は1挙動式で通常のポンプ制御盤と変わらない。

(d) 信号伝送所要時間

制御あるいは表示に要する時間はいずれも約0.5秒以内ときわめて短時間である。なおテレメタは直流直送方式であり、指示に要する時間は選択計測で約0.8秒である。

(e) 電 源

DC 110 V (90~130 V)

なお本方式の特長・仕様詳細などについては別途資料⁽¹⁾を参照されたい。

2.1.2 鹿児島市水道局納め多段多重式遠方監視制御装置

(1) ポンプ所設備概要および遠方監視制御装置

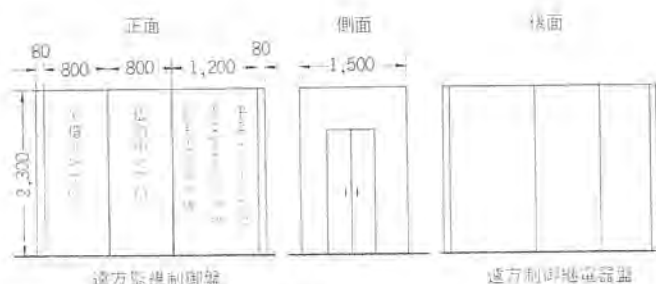


図 2.3 制御所遠方監視制御盤構造図
Construction of supervisory control of a control station.

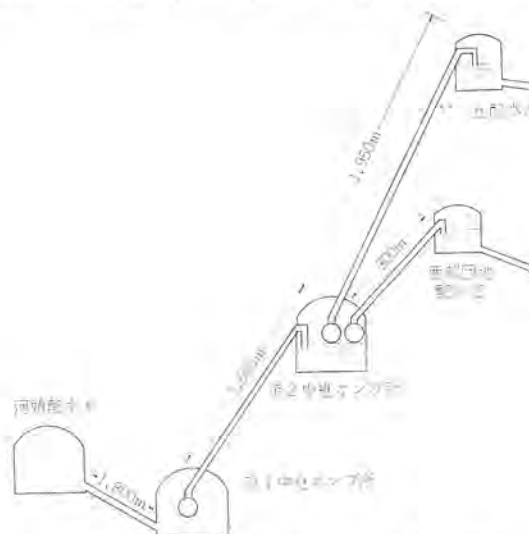


図 2.4 鹿児島市水道局送水系統図
Water supply system diagram of Kagoshima City
Water Bureau.

鹿児島市水道局で、このたび建設された緑ヶ丘団地・西部団地用の送水系統を図 2.4 に示す。この送水系統設備は河頭配水池を制御所として集中監視制御されている。それに採用されている遠方監視制御装置の系統図を図 2.5 に示す。同図は上記遠方監視制御装置をも含めたポンプ自動制御系統図であり、連絡線数も記入している。図 2.6 は本装置の遠方監視制御盤々面図である。操作方式は⁽¹⁾挙動式であり、扱いがきわめて簡単である。

2.2 トランジスタ形符号式 (サイクリック式)

この方式は制御・状態監視・計測などの各種情報を2進符号「1」および「0」の組み合わせで表わし、送信側では外部から入ってきた情報を符号化して送信し、受信側では受信した符号を復号し、所要の制御あるいは表示を行なう符号方式であるが、特に表示回線には常に全監視あるいは計測項目 (デジタル計測項目) の表示信号を、制御回線には常に制御回路の確認信号を繰り返し (サイクリックに) のせ、常時情報の伝送を行なっているところに特長がある。本装置はそのほか次の特長を有している。

(1) 信号伝送時間が短い。200ボ-伝送で制御は0.5秒以内、状態表示は3秒以内。

(2) 情報の伝送が確実である。すなわち

(a) 符号はFS変調されて伝送されるので雑音に対し安定。

(b) 符号検定として、連送照合・定マーク検定・パルス総数検定を併用。

(c) 常時サイクリックに符号伝送しているので、装置全体の監視をしており信頼度が高い。

(3) 半導体はすべてシリコン化しているので、周囲温度 -10°C ~ $+45^{\circ}\text{C}$ まで動作し、かつ高速・長寿命である。

表 2.2 横浜市水道局納め遠方監視制御項目一覧(その2)
List of supervisory control equipment supplied to the Yokohama City water Bureau (2).

連絡線	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	LR	LP	LN
選択時外用途	水位計測 野毛山 P/S 新池	同 左 (帰線)	水位計測 野毛山 P/S 旧池	同 左 (帰線)	水位計測 平楽第2 P/S	同 左 (帰線)						
野毛山 P/S 選 択 時 用 途	S1	S12	受電 CB 制	同 左 表	受電電圧 計	受電電流 計	同左計測 帰線	試験 制	復 帰 制			
		流入制水弁(新) 開 制	S13	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	同左開度 計	同 左			
		流出制水弁(新) 開 制	同 左 閉 制	S14	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	同左開度 計	同 左			
		流入制水弁(旧1)開制	同 左 閉 制	同 左 停 制	S15	同左全開 表	同左全開 表	同左開度 計	同 左			
		ポンプ弁1 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	S16	同左全開 表	本管流量(流出)1 計	同 左			
		ポンプ弁2 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	S17	本管流量(流出)2 計	同 左			
		ポンプ弁3 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	本管流量(流出)3 計	S18	同 左			
		ポンプ弁4 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	本管流量(流出)4 計	同 左	S19			
	S21	S2	ポンプ CB1 制	同 左 表	モータ電流1 計	同 左	弁故障 表	受電故障 表	ポンプ故障1 表			
	ポンプ CB2 制		S23	同 左 表	モータ電流2 計	同 左	火 災 表	直 接 表	水位上限(新) 表	連 格 線	制 御 所	制 御 所
	ポンプ CB3 制		同 左 表	S24	モータ電流3 計	同 左	水位上限(旧) 表	水位下限(新) 表	水位下限(旧) 表			
	ポンプ CB4 制		同 左 表	モータ電流4 計	S25	同 左	弁 開 表	80 B 表	受電停電 表			
	本管流量(流入) 計		同 左	無 水 表	ポンプ故障2 表	S26	ポンプ故障3 表	ポンプ故障4 表	公団電流故障 表			
	吐出水圧 計		同 左	自動・手動 制	同 左 表	吐出圧低下 表	S27					
	流入制水弁(旧2)開制		同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	同左開度 計	S28	同 左		DC	DC
								S29				
平楽第一 P/S 選 択 時 用 途	S31	受電 CB 制	S3	同 左 表	受電電圧 計	受電電流 計	同左計測 帰線	試験 制	復 帰 制			
	ポンプ弁1 開 制	S32		同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表					
	ポンプ弁2 開 制	同 左 閉 制		S34	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表					
	ポンプ CB1 制	同 左 表		モータ電流1 計	S35	同 左	弁故障 表	受電故障 表	ポンプ故障1 表			
	ポンプ CB2 制	同 左 表		モータ電流2 計	同 左	S36	火 災 表	直 接 表	弁 開 表			
	吐出水圧 計	同 左		80 B 表	受電停電 表	無 水 表	S37	ポンプ故障2 表				
				自動・手動 制	同 左 表	(ヨビ) 表	(ヨビ) 表	S38	(ヨビ) 表			
	WHR 計(指令)	同 左 (表1)		同 左 (表2)	同 左 (表3)	同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)	S39			
平楽第二 P/S 選 択 時 用 途	S41	受電 CB 制	同 左 表	S4	受電電圧 計	受電電流 計	同左計測 帰線	試験 制	復 帰 制			
	流入制水弁 開 制	S42	同 左 閉 制		同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表	同左開度 計	同 左			
	バイパス制水弁 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制		同左全開 表	同左全開 表	同左開度 計	同 左				
	ポンプ弁1 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制		S45	同左全開 表	同左全開 表					
	ポンプ弁2 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制		同左全開 表	S46	同左全開 表					
	ポンプ弁3 開 制	同 左 閉 制	同 左 停 制		同左全開 表	同左全開 表	S47					
	ポンプ CB1 制	同 左 表	モータ電流1 計		同 左	弁故障 表	受電故障 表	S48	ポンプ故障1 表			
	ポンプ CB2 制	同 左 表	モータ電流2 計		同 左	火 災 表	直 接 表	水位上限 表	S49			
平楽第三 P/S 選 択 時 用 途	S51	ポンプ CB3 制	同 左 表	モータ電流3 計	S5	同 左	水位下限 表	弁 開 表	80 B 表			
	本管流量(流出) 計	S52	同 左	受電停電 表		無 水 表	ポンプ故障2 表	ポンプ故障3 表	吐出圧低下 表			
	吐出水圧 計	同 左	S53	自動・手動 制		同 左 表						
	WHR 計(指令)	同 左 (表1)	同 左 (表2)	S54		同 左 (表3)	同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	HQ 計(指令)	同 左 (表1)	同 左 (表2)	同 左 (表3)		S56	同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
							S57					
								S58				
									S59			
野毛山 P/S 選 択 時 用 途	S61	WHR 計(指令)	同 左 (表1)	同 左 (表2)	同 左 (表3)	S6	同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	QH1 計(指令)	S62	同 左 (表1)	同 左 (表2)	同 左 (表3)		同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	QH2 計(指令)	同 左 (表1)	S63	同 左 (表2)	同 左 (表3)		同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	QH3 計(指令)	同 左 (表1)	同 左 (表2)	S64	同 左 (表3)		同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	QH4 計(指令)	同 左 (表1)	同 左 (表2)	同 左 (表3)	S65		同 左 (表4)	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	QH5 計(指令)	同 左 (表1)	同 左 (表2)	同 左 (表3)	同 左 (表4)		S67	同 左 (表5)	同 左 (自動復帰)			
	流出制水弁(旧1)開制	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表		同左開度 計	S68	同 左			
	流出制水弁(旧2)開制	同 左 閉 制	同 左 停 制	同左全開 表	同左全開 表		同左開度 計	同 左	S69			

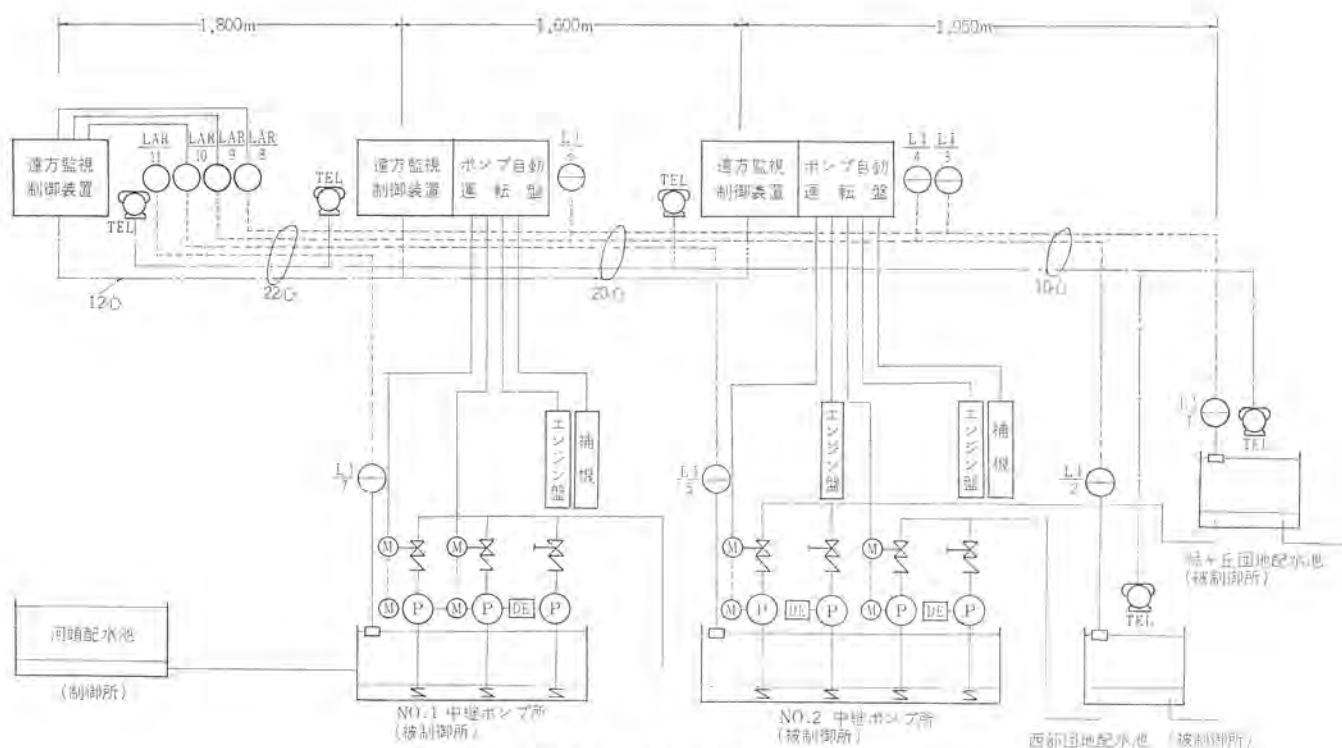


図 2.5 ポンプ自動制御系統図
System diagram of automatic control of pumps.

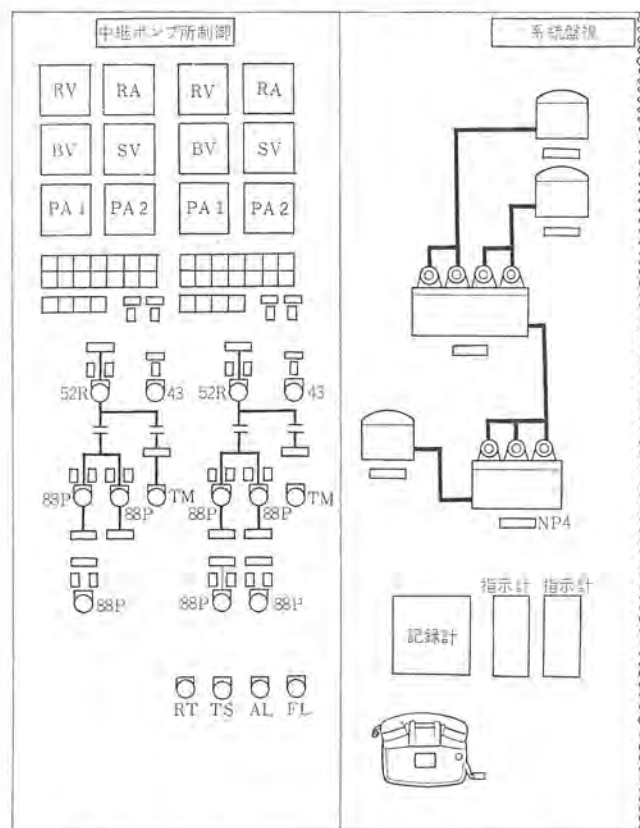


図 2.6 鹿児島市水道局納め遠方監視制御盤々面図
Supervisory control boards supplied to Kagoshima City Water Bureau.

- (4) 制御と表示信号伝送路が独立しているので保守が容易。
- (5) 装置容量は制御・表示併せて100量、アナログ計測2～3量まで収容できる。
- (6) 連絡線は2～4心で足りる。したがって電々公社線を借用

できる。

つぎに信号伝送路として電々公社線を借用した例を説明する。

2. 2. 1 東京都下水道局納めトランジスタ形符号式(サイクリック式)

- (1) ポンプ所設備概要
 - (a) 制御所： 浮間浄水場
被制御所： 志村ポンプ所
 - (b) 制一被間距離： 約2km
被制御所設備概要： 受電 2回線、ポンプ 5台、電動弁
- (2) 遠方監視制御装置
 - (a) 方式： トランジスタ形符号式(サイクリック式)
 - (b) 遠方監視制御項目： 表 2. 4 遠方監視制御項目一覧記載のとおり。
 - (c) 信号伝送路： 電々公社線市内専用1回線借用 (0.9mmφ 2心)
 - (d) 設備概要は 図 2. 7 遠方監視制御装置系統図を参照されたい。
 - (e) 信号伝送速度： 50ポ-
 - (f) 機器選択所要時間： 1秒以内
表示所要時間： 最大 6秒以内 150ポ-
 - (g) 遠方計測方式： アナログテレメータ(衡流信号方式)
 - (h) 電話： 専用別回線
 - (i) 装置構造： (制)・(被)とも垂直自立閉鎖形、構造を 図 2. 8～2. 10 に示す。

(3) 本装置の動作

本装置の構成を 図 2. 11 装置ブロック線図で示す。

選択スイッチを押せば選択信号が符号化され、FS変調装置を経て被制御所に送信される。被制御所ではそれを受信し、定マーク検定・パルス総数検定・連送照合とも良であれば、復号されて所定の機器

表 2.3 東京都下水道局納め遠方監視制御項目一覧 (その1)
List of supervisory control equipment supplied to the
Tokyo Metropolitan Sewerage Bureau (1).

ボジション番号 群 点	遠方制御項目	選択スイッチ 記入文字	遠方操作	備 考
1	1 表 示 試 験	表示試験	入・復帰	
	2 (表 示 復 帰)			使用せず
	3 受 電 用 CB	52 R	入・切	
	4 自 家 発 CB	52 G	入・切	
	5 雨 水 ポンプ 1号	1 UP-1	起動・停止	
	6 雨 水 ポンプ 2号	1 UP-2	起動・停止	
	7 雨 水 ポンプ 3号	1 UP-3	起動・停止	
	8 雨 水 ポンプ 4号	1 UP-4	起動・停止	
	9 所 内 TV 用 CB	52 H	入・切	
	0 ポンプ電流計測	1 UP-1 電流	(一 挙 動)	ポンプ電流選択計測
2	1 ポンプ電流計測	1 UP-2 電流	(一 挙 動)	ポンプ電流選択計測
	2 ポンプ電流計測	1 UP-3 電流	(一 挙 動)	ポンプ電流選択計測
	3 ポンプ電流計測	1 UP-4 電流	(一 挙 動)	ポンプ電流選択計測
	4 阻 水 扉 一1号	阻水扉 1	開,閉,停止	停止制御は MCSの引換 作による。開度選択計測
	5 阻 水 扉 一2号	阻水扉 2	開,閉,停止	停止制御は MCSの引換 作による。開度選択計測
	6 阻 水 扉 一3号	阻水扉 3	開,閉,停止	停止制御は MCSの引換 作による。開度選択計測
	7 阻 水 扉 一4号	阻水扉 4	開,閉,停止	停止制御は MCSの引換 作による。開度選択計測
	8 89 UP-1 切 換	89 UP-1	買電・発電	
	9 所内 TV 用 89 H 切 換	89 H	買電・発電	
	0 自家発 Ge 起動停止	発 電	起動・停止	電流 (GA) 選択計測
3	1 自家発自動, 手動切換	43 G	自動・手動	
	2 43 H 連動, 手動切換	43 H	連動・手動	
	3 43 UP 自動, 手動切換	43 UP	自動・手動	
	4 雨水ポンプ1号速度制御	1 UP-1 速度	増 減	雨水ポンプ速度選択計測
	5 油圧異常時強制閉	強制閉		一挙動操作
	6 制 御 予 備			
	7 制 御 予 備			
	8 制 御 予 備			
	9 制 御 予 備			
	0 制 御 予 備			

が選択される。ついで制御スイッチを扱えば制御信号が同様にして送信される。

機器の状態は表示入力として接続されている各1a 接点を常に走査して監視しており、各表示項目の状態に対応したパルス符号を構成し、全表示項目を順次被制御所から制御所に送信し、監視する。

3. 遠方計測装置

3.1 横須賀市水道局納め配水池監視テレメータ装置

3.1.1 テレメータ装置概要

このシステムは配水池の水位をポンプ場において常時監視・記録を行なうと同時に、相互間の電話を行なうものである。伝送路には電々公社市内専用電話回線(2線式)を使用している。テレメータ信号はアナログテレメータ装置で衝流信号とし、さらにFS変調器により伝送路に与える。公社線使用においては種々の技術的制約があり、本テレメータシステムにおいては、テレメータ信号1CHと電話信号とを並列混合使用する方式とした。つまり、伝送帯域0.3kHz~2.7kHz(3.4kHz)の0.3kHz~2.0kHzを電話伝送に、テレメータ信号1CHを2,635Hz±35Hzとして混合使用している。図3.1に総合系統図を示す。電話は磁石式のものとし、相手側の呼出しは電鈴呼出しとし

表 2.4 東京都下水道局納め遠方監視制御項目一覧 (その2)
List of supervisory control equipment supplied to the
Tokyo Metropolitan Sewerage Bureau (2).

ボジション番号 群 点	遠方監視項目	表 示 灯	警 報			備 考
			Fl	Bl	Bz	
1	1 受 電 用 CB 52 R	②, ③				
	2 自 家 発 用 CB 58 G	②, ③				
	3 ポンプ用 CB 1 UP-1	②, ③				
	4 ポンプ用 CB 1 UP-2	②, ③				
	5 ポンプ用 CB 1 UP-3	②, ③				
	6 ポンプ用 CB 1 UP-4	②, ③				
	7 所内 TV 52 H	②, ③				
	8 断 路 器 89 UP-1	②, ③				買電側にて閉の接点
	9 断 路 器 89 UP-2	②, ③				買電側にて閉の接点
	0 断 路 器 89 UP-3	②, ③				買電側にて閉の接点
2	1 断 路 器 89 UP-4	②, ③				買電側にて閉の接点
	2 所内 TV 用 89 H	②, ③				買電側にて閉の接点
	3 自家発 Ge 起動停止表示	起 動・停 止				起動にて閉の接点
	4 自家発自動, 手動 43 G	43 G 40 G 自 動・手 動				自動にて閉の接点
	5 43 H 切 換	43 H 43 H 連 動・手 動				連動にて閉の接点
	6 43 UP 切 換	43 UP 43 UP 自 動・手 動				自動にて閉の接点
	7 43 R 切 換	直接志村遠方				直接にて閉の接点
	8 阻 水 扉 一1	阻 水 扉 一1				少しでも開いたら点灯
	9 阻 水 扉 一2	阻 水 扉 一2				少しでも開いたら点灯
	0 阻 水 扉 一3	阻 水 扉 一3				少しでも開いたら点灯
3	1 阻 水 扉 一4	阻 水 扉 一4				
	2 ベルコンスキップ	ベルコンスキップ				
	3 ろ格機運転中表示一1, 2	ろ 格 機 1, 2				
	4 ろ格機運転中表示一3, 4	ろ 格 機 3, 4				
	5 ろ格機運転中表示一5, 6	ろ 格 機 5, 6				
	6 ろ格機運転中表示一7, 8	ろ 格 機 7, 8				
	7 制 御 誤 差 制	制 御 誤 差 制	○	○		
	8 制 御 信 号 伝 送 異 常	制御停止伝送異常	○		○	
	9 火 災	火 災	○	○		
	0 ド ア 開	ド ア 用	○	○		
4	1 受 電 重 故 障	受 電 重 故 障	○	○		
	2 受 電 軽 故 障	受 電 軽 故 障	○		○	
	3 自 家 発 重 故 障	自家発電重故障	○	○		
	4 自 家 発 中 故 障	自家発電中故障	○	○		
	5 自 家 発 軽 故 障	自家発電軽故障	○		○	
	6 所 内 重 故 障	所内重故障	○	○		
	7 ろ格機故障 (8 台一括)	ろ 格 機 故 障	○		○	
	8 阻水扉故障 (4 台一括)	阻 水 扉 故 障	○		○	
	9 ポンプ非水位異常	ポンプ非水位異常	○		○	
	0 流入水位異常	流入水位異常	○		○	
5	1 液 体 抵 抗 器 異 常	液体抵抗器異常	○		○	
	2 雨水ポンプ重故障 一1	雨水 1号 故障	○	○		
	3 雨水ポンプ重故障 一2	雨水 2号 故障	○	○		
	4 雨水ポンプ重故障 一3	雨水 3号 故障	○	○		
	5 雨水ポンプ重故障 一4	雨水 4号 故障	○	○		
	6 阻 水 扉 油 圧 異 常	阻水扉油圧異常	○		○	
	7 高 架 水 そ う 異 常	高架水槽異常	○		○	
	8 炭 酸 ガ ス 放 出	炭酸ガス放出	○		○	
	9 表 示 予 備		○		○	
	0 表 示 予 備		○		○	
6	0 ○常時計測項目					
	1 ○ポンプ非水位計測					
	2 ○流入水位計測					
	3 ○受電電流計測					
	4 ○選択計測項目					
	5 ○受電々圧計測					
	6 ○発電々圧計測					
	7 ○発電機電流計測					
	8 ○制水弁開度計測	(1号~4号)				
	9 ○阻水扉開度計測	(1号~4号)				
	0 ○ポンプ電流計測					
	0 ○ポンプ速度計測					

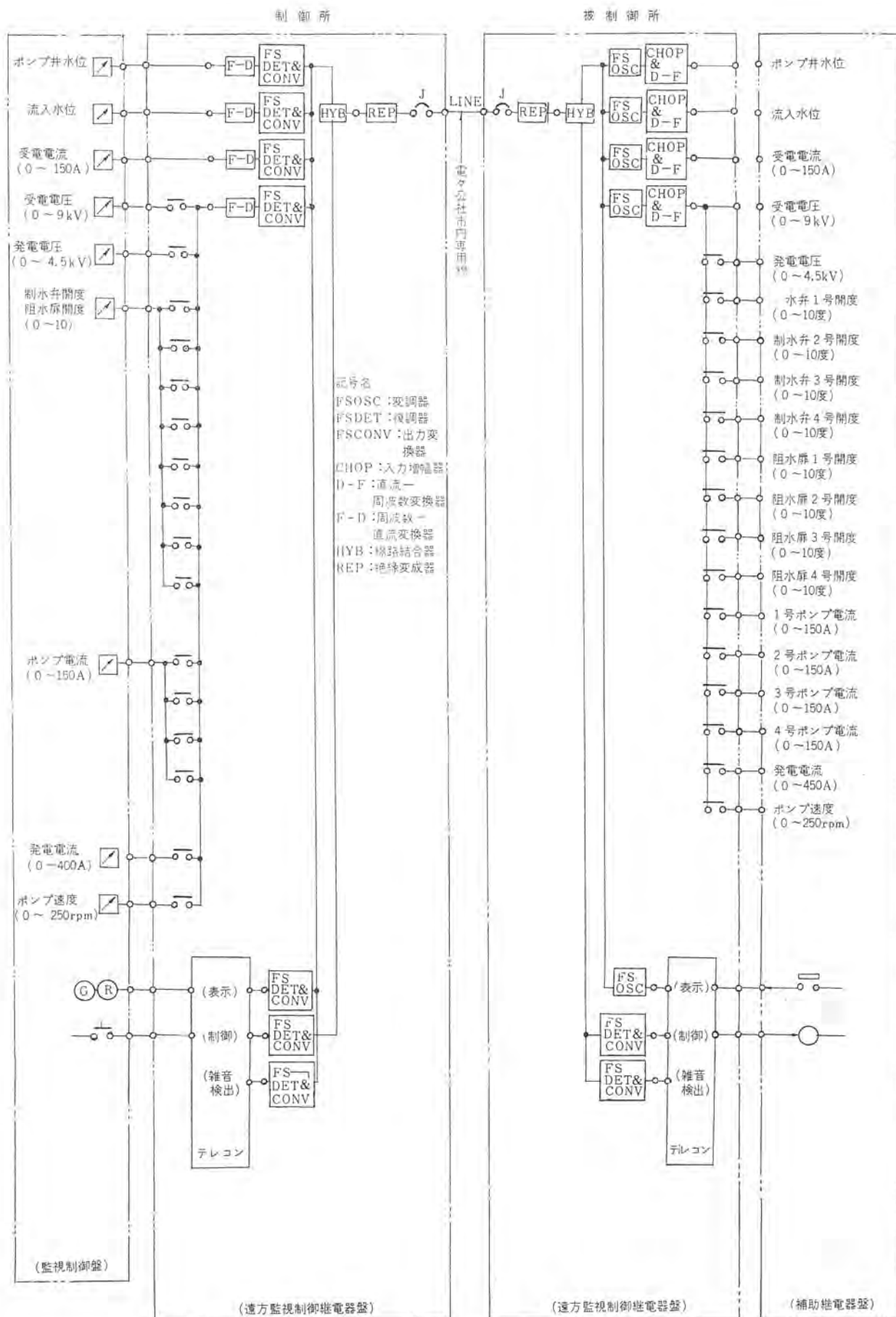


図 2.7 東京都下水道局納め遠方監視制御装置系統図
 System diagram of supervisory control equipment supplied to Tokyo Sewerage Bureau.

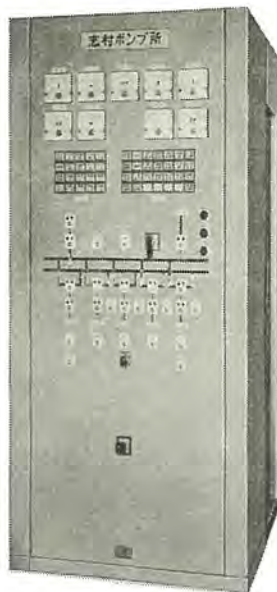


図 2.8 東京都下水道局納め遠方監視制御盤
Control board at the control station.

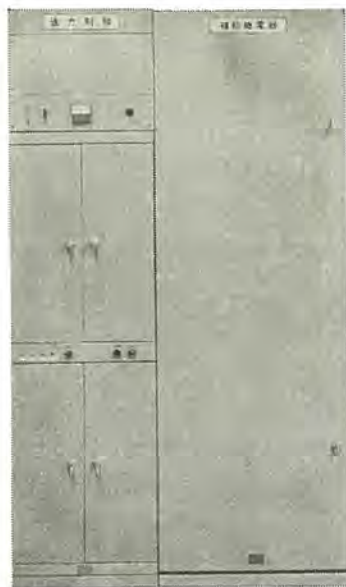


図 2.9 東京都下水道局納め遠方制御
リレー 盤
Supervisory control relay cabinet
and auxiliary board in the remote
control station.

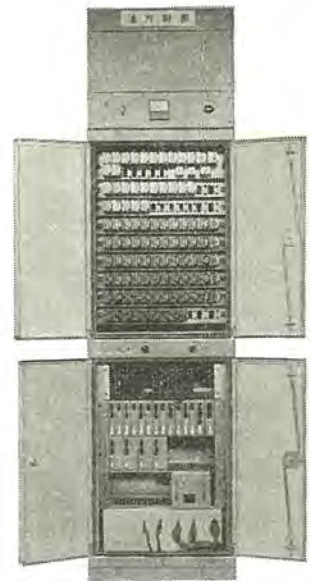


図 2.10 東京都下水道局納め遠方制御
リレー 盤
Supervisory control relay
board.

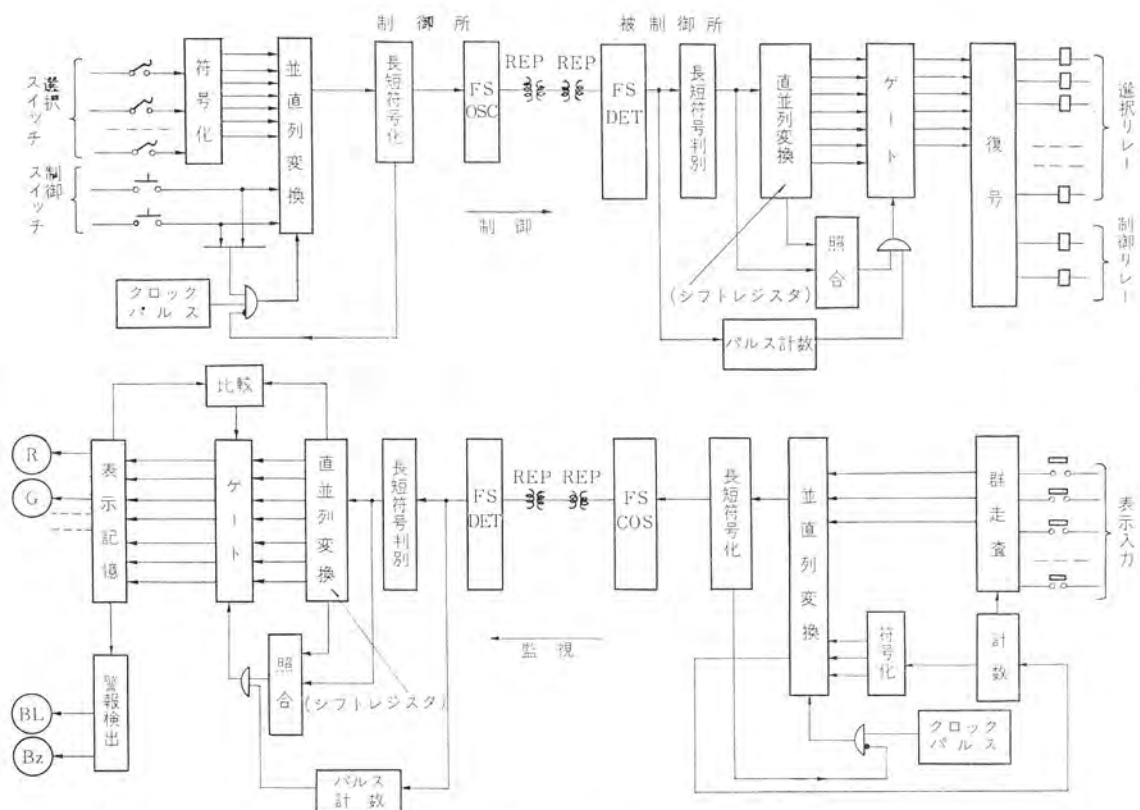


図 2.11 東京都下水道局納め装置 ブロック 線図

Block diagram of supervisory control equipment.

た。電鈴信号は、電話機のハンドルを回し、断続せる直流信号を相手側に送出するものである。したがって電話機と線路の接続は直流的接続とする必要がある。このため LPF (低域ろは器) を使用している。

3.1.2 装置の動作

(1) 送信装置の動作

送信装置は水位検出器 (レベルテル 155 W 形)・テレメータ送量器・電話装置より構成されている。水位検出器信号は、計測範囲 0 ~ 5 m に対し、0 ~ 3 mA の電流でテレメータ装置に与えられ、電流電圧変

換器により 0 ~ 10 mV の信号として、テレメータ送量器に与えられる。送量器は入力信号 0 ~ 10 mV を 12 ~ 24 Hz の衝流パルスに変換し、(周波数変調) FS 変調器に供給され、FS 変調波として線路側に送出される。さらに線路結合コイル (REP)、HPF (高域ろは器) を介して公社線に与える。一方電話器からの LINE は LPF を介して線路と接続される。LPF および HPF は線路と直接接続されるものであるため、高耐圧化し、さらに損失の小さいものを用いている。また HPF は電鈴信号の回り込みを防ぐ作用ももつ。

(2) 受信装置の動作

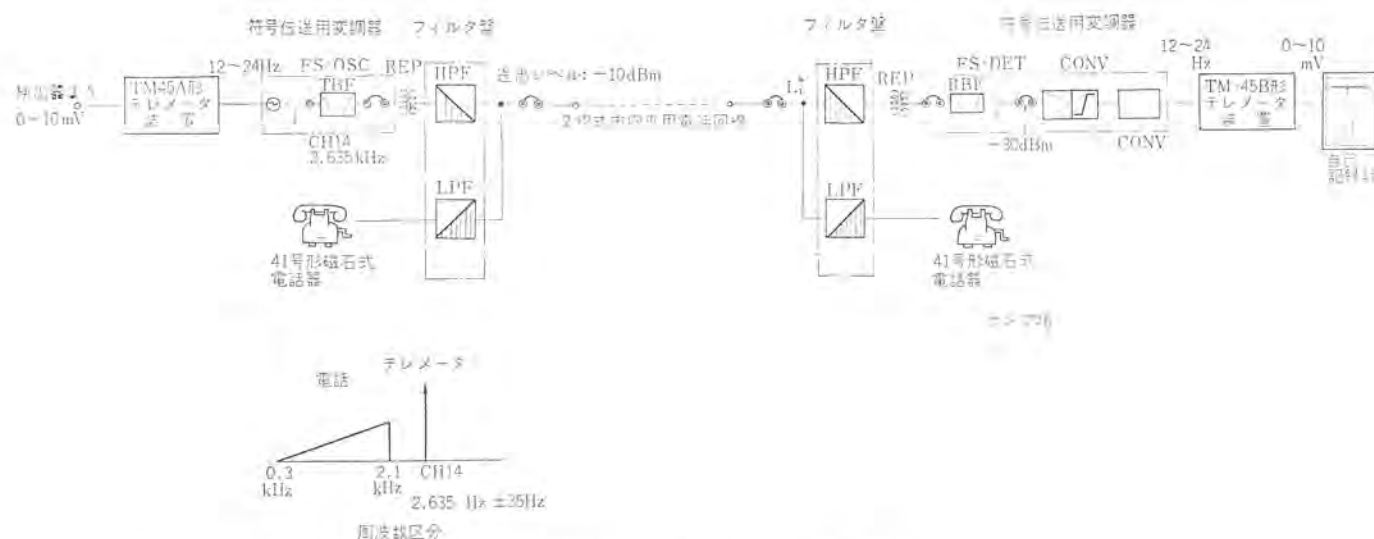


図 3.1 アナログテレメータ 総合系統図

Analog teletmeter.

受信装置は、受量器・自己記録計・電話器等より構成される。線路から与えられるテレメータ信号は HPF を通り FS 復調器に与えられ、FS 波を検波し、パルス信号列をとり出す。さらにこのパルス信号はテレメータ受量器 (FD) により、周波数-直流変換され、直流信号 0~10 mV、(または 500Ω 負荷に対し 0~1 mA) としてとり出され、自動平衡記録計により、記録紙上にペン書き記録を行なう。また電話信号は LPF を通り送受話機に与えられる。

装置は送・受信側とも高さ 1,550 mm、幅 520 mm、奥行 480 mm の鉄製自立架構造とし、試験盤・テレメータ盤・信号伝送盤・電源盤等を収容し、前面はとびら形式としている。図 3.2 に外観図を示す。

3.2 京都市水道局納め無線集中テレメータ設備

京都市は最近人口の増加、産業の発達の影響を受け、新山科浄水場の新設、山ノ内配水事務所の新設を契機として、集中監視用テレメータの導入が行なわれた。システムは山ノ内配水事務所を親局とし、現在子局 5、傍受局 1 局より構成されているが、親局は将来の増設を見込み、最大 50 局まで拡張可能とし、回線も無線・有線の両方を考慮した設計とした。ここではシステムの内容・特長、および第 1 期工事の範囲につき概要を報告する。

3.2.1 システム

このテレメータシステムの構成にあたっては主要要求条件をあげ、これを満足し円滑なシステムが組めるよう考慮した。

(1) システム構成上の条件

- (a) 対象子局が市内各所に散在する。
- (b) 各局の測定項目は 1~3 項目である。
- (c) 各局の ON-OFF 状態表示 (以下 SV と略称) 項目が最大 10 項目。
- (d) 測定項目は水位、流量、圧力が主でいずれもアナログ出力である。SV は 1 a 接点渡しとする。

(e) 処理系はアナログ指示とランプ表示とし、将来はタイプライタによる印字を考慮する。

などがあげられた。

(2) 決定されたシステム

上記のような条件に対し各方式を検討の結果、下記のようなシステムとした。

(a) 伝送回線



図 3.2 受信局外観図
Receiving station equipment.

子局の設置場所条件より 70 MHz 無線周波 1 波の呼出式を主体とし、大形鉄筋構造物のかげになる市街地中央や回線損失の多い場所でも考慮して有線回線の使用も考慮することとした。

(b) テレメータ方式

1 局当たりのテレメータ項目が 1~3 量で、検出器出力がアナログであり、処理系もアナログ指示であるため、アナログテレメータの並列伝送とした。このアナログテレメータ方式は FM-FS-FM 方式であるため、FM による S/N 改善度が 3 重にあり、伝送速度を 50 ボーとしているので、帯域 S/N 改善度も 15 dB 程度とれ、雑音に強い。

信頼性は機器構成が簡単なうえ、共通部分は回線部分だけで、他は独立ユニットになっているため高くとれるうえ、保守点検も簡便である。

SV 信号は 10 項目であるので、パルス符号化しテレメータとは別チャンネルの FS 信号として伝送する。符号は位相反転照合符号を逆符号連送して検定しているため、ビット誤り率 10^{-4} として誤字率 10^{-14} 程度が期待できる。

(c) 呼出方式

局容量最大 50 局としたので呼出時間の短縮、レベル安定度 (± 10

表 3.1 京都市水道局納め遠方測定, 表示項目一覧
Measurement and ON-OFF indication list.

機器名	機能区分	局番	工事期別						
			1	1	1	1	1	1	1
		局名	山ノ内	樫原	高雄	北山	洛北	山科	新山科
機能区分	親局	局	○						
	傍受局								○
	子局			○	○	○	○	○	
テレメータ測定項目		水位		2	3	1	2	1	1
局容		量		1	1	1	1	1	1
遠方表示項目 (SV)	送信局			1	1	1	1	1	1
	受信局		1						1
	監視ポンプ台数			2	2	2	2	3	6

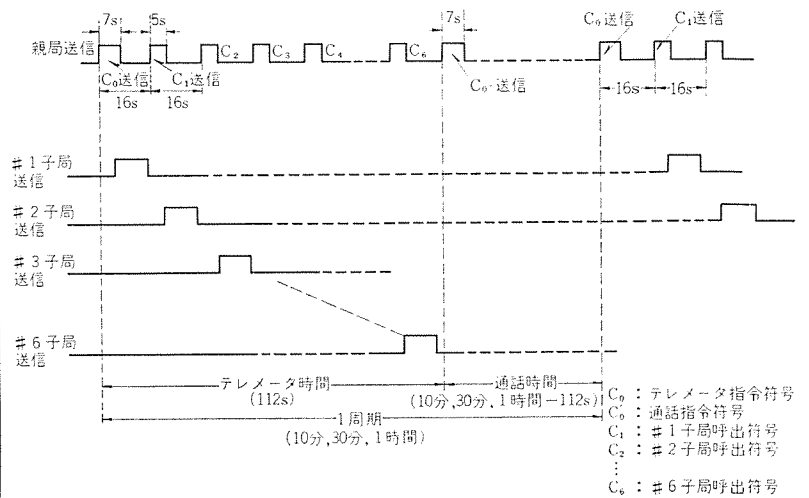


図 3.4 全局走査 タイムチャート
Scanning time chart of the system.

第1期工事の局内容およびテレメータ測定量, SV 項目を表 3.1 にあげる。

3.2.2 無線回線

第1期工事では, すべて 70 MHz 無線回線にて構成されており, 山ノ内配水事務所を中心として図 3.3 のような回線構成とした。山ノ内局と山科・新山科は伝送損失が大きいので, 山ノ内局のアンテナは山科方向と北山方向に2基取り付け, それぞれに指向性を持たせ, 電波割当上の限度である送信出力 10 W を山ノ内局・山科局に使用した。

無線周波数は 70.38 MHz を使用している。

3.2.3 機器の動作

(1) 親局の動作

親局は装置内に水晶時計を持ち, 設定された時間ごとに自動的にいっせいでテレメータ切換信号を発信し, 決められた局順に順次呼出しを行なって, 子局からの返送データを受信し処理する機能をもっている。動作時間シーケンスは図 3.4, 3.5 に示すとおりで, 次のような内容である。

(a) 呼出時間がきたとき 7 秒間いっせいでテレメータ指令を出す (呼出時間は 10 分, 30 分, 1 時間に設定可能)

(b) 16 秒後子局 No. 1 を呼出し, 5 秒間繰り返し呼出信号を出す。

(c) 子局からの返送データは親局で約 11 秒間かかってデータの確認, 検定を行ない, 計測値はサーボ指示計へ, SV はリレーメモリに与える。

子局からの信号がないか不良であると判定されれば, 再呼出しを行ない上記の動作を繰り返す。それでも不良の場合は警報を発して次位局呼出しに移る。

(d) 上記(b)(c)の動作を順次繰り返し, 最終位局までくればいっせいで通話指令信号により, 通話状態に戻してデータ収集動作を完了する。

(2) 子局の動作

親局からのいっせいで指令信号により, 通話またはテレメータ状態となり, テレメータ状態では, 親局よりの自局指定呼出しで, 自動的に返送を自局内タイマーで約 11 秒間行なうものである。

(3) 傍受局の動作

傍受局は子局と親局の一部の機能を兼ね備えており, 子局として

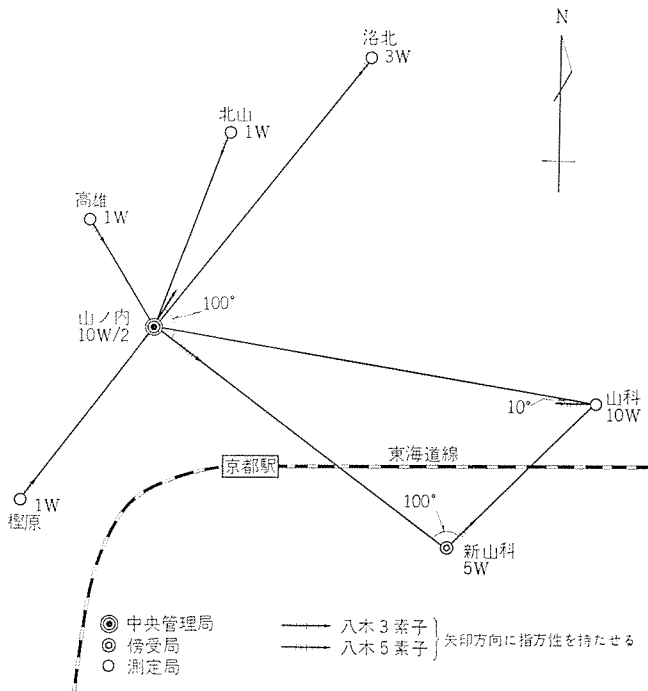


図 3.3 京都市水道局 テレメータ 回線系統図
Map of Kyoto City water supply telemetering system.

dB) がよいこと, 外来雑音に対し誤りチェックができることなどから, パルス符号伝送方式とした。これは将来テレコントロールを導入するときにも有利である。符号は互換性・統一保守を目的とし多少のアイドルビットはあっても, SV 伝送と同一方式とした。

(d) データ処理

測定データはサーボ指示計でアナログ指示させ, 直感的にデータのは握ができるようにし, 呼出時以外は機械的ロックで記憶指示しているため, 装置に不測の事故が発生しても故障寸前のデータが保持できる。

SV 表示は2灯式表示 (赤, 緑) を主体としており, 記憶部にはリレーメモリを採用している。

(e) 通話

テレメータ時間以外は打合わせプレストーク通話可能としている。

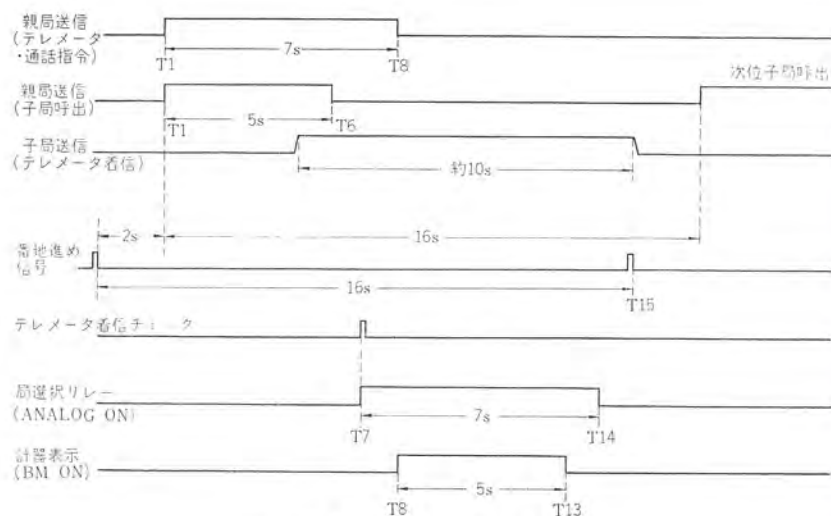


図 3.5 1局分走査 タイムチャート
Scanning time chart of a station.

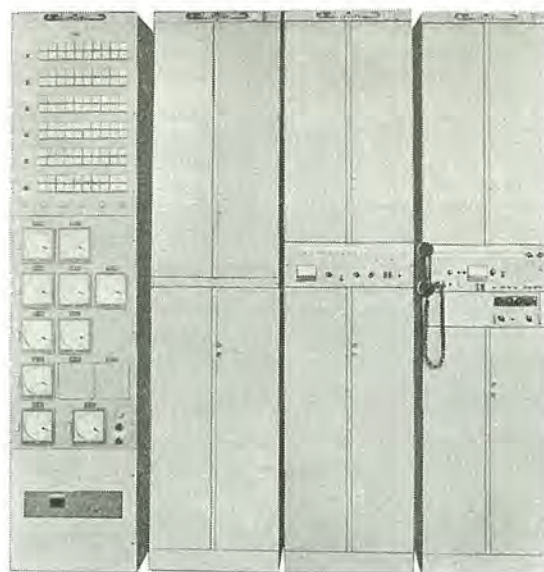


図 3.6 親局装置外観
Central station equipment.

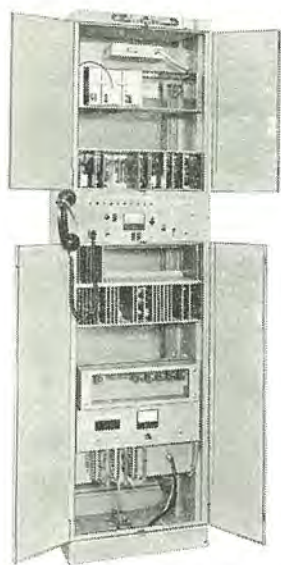


図 3.7 子局装置外観
Measuring station equipment.

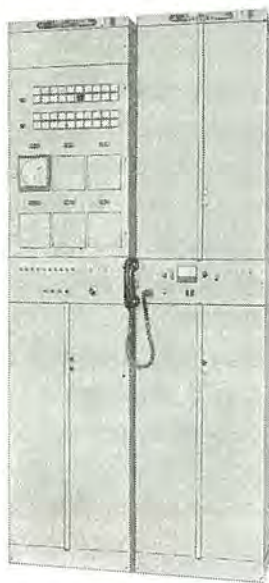


図 3.8 傍受局装置外観
Substation equipment.

の動作は普通の子局とまったく同じであり、監視機能としては傍受局管轄内の子局のデータを監視する。その方法は親局から送出される子局呼出信号を受信して当該子局のみのデータを傍受局で受信し、親局と同様に測定量はサーボ指示計、SV信号はランプにて表示するようにしている。

装置の外観は図 3.6 に親局、図 3.7 に子局、図 3.8 に傍受局の外観写真を示す。

3.2.4 機器仕様

伝送回線： 70 MHz 帯無線周波 1 波を主体とし有線回線も使用可能

伝送方式： 局時分割呼出方式

データ伝送方式

測定量： アナログテレメータ FM-FS-FM 方式

SV 項目： パルス符号

呼出方式： パルス符号方式

呼出時間： 10 分、30 分、1 時間の切換

容量

局容量： 最大 50 局

テレメータ： 3 量並列/1 局

SV： 10 項目/1 局

測定時間： 約 11 秒間連続/1 局

精度： $\pm 2\%$ (定常状態総合)

データ処理

測定量： サーボ指示計指示

4. むすび

上・下水道用遠方監視制御装置は、送・配水設備の合理的運用のため必要であることから、今後その採用はますます盛んとなり、集中制御化、計算機との結合による自動制御化に進むものと考えられるが、本文が大方のご参考になれば幸いである。

また本文に例としてとりあげた諸装置の計画・設計・製作にあたり種々ご指導・ご協力いただいたご使用者側各位に深謝するしだいである。

参考文献

- (1) 山中：三菱多段多重式遠方監視制御装置，三菱電機技報 43, No. 6 (昭 44)

大阪府村野浄水場計算機システム

江村 利雄*・坂口 功*

石川 欣央**・竹内 幸雄**・山本 潤二**

竜田 直紀***・深尾忠一郎***

Computer Control System for Murano Water Purification Plant of Osaka Prefecture

Osaka Prefecture, Water Works Bureau Toshio EMURA・Isao SAKAGUCHI

Mitsubishi Electric Corp, Head Office Yoshiteru ISHIKAWA・Yukio TAKEUCHI・Junji YAMAMOTO

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Naonori TATSUTA・Chûichirô FUKAO

The Water Works Bureau of Osaka Prefecture has introduced to Murano Water Purification Plant that is the center of water supply system including computers as one link of administration in effective and economical use of water. It is capable, by this system, of manual operation and computer control over major plants from a central room so as to ensure safe and smooth management of water purification processes as a whole. The computer (MELDAP-6000 H) in this system gathers process signals, scans process datas, logs daily reports, and is made so as to execute process control (chemicals feeding, filtering and water supply).

This article explains the consideration taken to the design, composition of the system and the function of system in the introduction the computer.

1. ま え が き

水道事業は健康で文化的な生活をささえるばかりでなく、各種の産業活動や都市機能を維持するうえで必要不可欠の業務である。

最近のわが国の産業界の発達・国民総生産の伸びにはめざましいものがあるが、これに伴い都市の急激過度の膨張、さらに都市周辺部にまで急激な人口の増加が生じてきた結果、その発展の根源をなすエネルギーと水の消費量は飛躍的な上昇の一路をたどっている。

この水需要の伸びは、さらに文化水準が高くなるに伴い増加をたどるものと考えられ、水道設備もこの急激な伸びに対して、その変化に対応しなければならない。

大阪府水道部では、以上の対策の一環として昭和23年に庭窪浄水場(200,000 m³/日)を、昭和35年に村野浄水場の設立が行なわれ、両浄水場から南北に伸びる送水幹線を通して大阪府周辺に広がる衛星都市25市9町に給水が行なわれる。

ここで述べる村野浄水場は、現在完成時の半分の姿で稼働しており、完成時における処理能力1,247,000 m³/日を有する画期的な大規模浄水場であり、大阪地方唯一の水源である淀川の表流水を枚方市磯島地先(磯島取水場)で取水し、約4 kmの導水管を通して送られてくる原水の浄水処理を行なう。

また、この村野浄水場は、規模・浄水施設面のみならず、次章で述べる各種の操作面にまで配慮した、他に類の少ない新鋭浄水場である。

以下に、この村野浄水場に適用した制御機器および計算機システムを紹介する。

2. 村野浄水場の概要

2.1 浄水場設備の概要

村野浄水場の構成は、浄水場平面(図2.1)、およびフローシート

(図2.2)に示すとおりであり、各設備の概略説明を次に行なう。

(1) 着水井

磯島取水場より送られてきた原水を、内径25 m、水深5.4 mの円形着水井で受け、前塩素処理のための塩素注入を行なうとともに、各沈でん池群に分水している。

(2) 急速かくはん(攪拌)池

着水井より沈でん池に至る導水きょ(渠)の間に設けられ、滞留時間は2分で、活性フーダ、硫酸バンドの注入がなされる。

1階層沈でん池のかくはん機は2台を直列に配し、30 rpmの回転を行なうサイクロ減速機を、また、2階層沈でん池のかくはん機は加圧ポンプによるジェットかくはんを使用する急速かくはんを行なっている。

(3) フロック形成池

沈でん池と連続して設けられ、フロック化した濁質は約6%の開孔部を有する整流壁を通して沈でん池に入る。また、この池は最大処理水量に対し約40分の容量を有し、平均流速は約40 cm/分となっている。

(4) 薬品沈でん池

現在完成している沈でん池は、W1、W2の2系統で、各系統とも4池より構成され、また各池は中央の隔壁により2分されている。沈でん池における滞留時間は両系統とも約4時間で、平均流速は約33 cm/分である。

沈でん池の構造は、W1系統には単層横流式沈でん池を、W2系統には2階層横流式沈でん池が採用されている。

2系統の沈でん池で処理された沈でん水は、沈でん池流出きょ(渠)に集結されて、ろ過池へ導かれる。

(5) ろ過池

W・Eの2系統よりなり、現在は前者のW系が完成していて、ろ過池管廊を挟んで片側に11池、両側計22池の急速ろ過池が設け

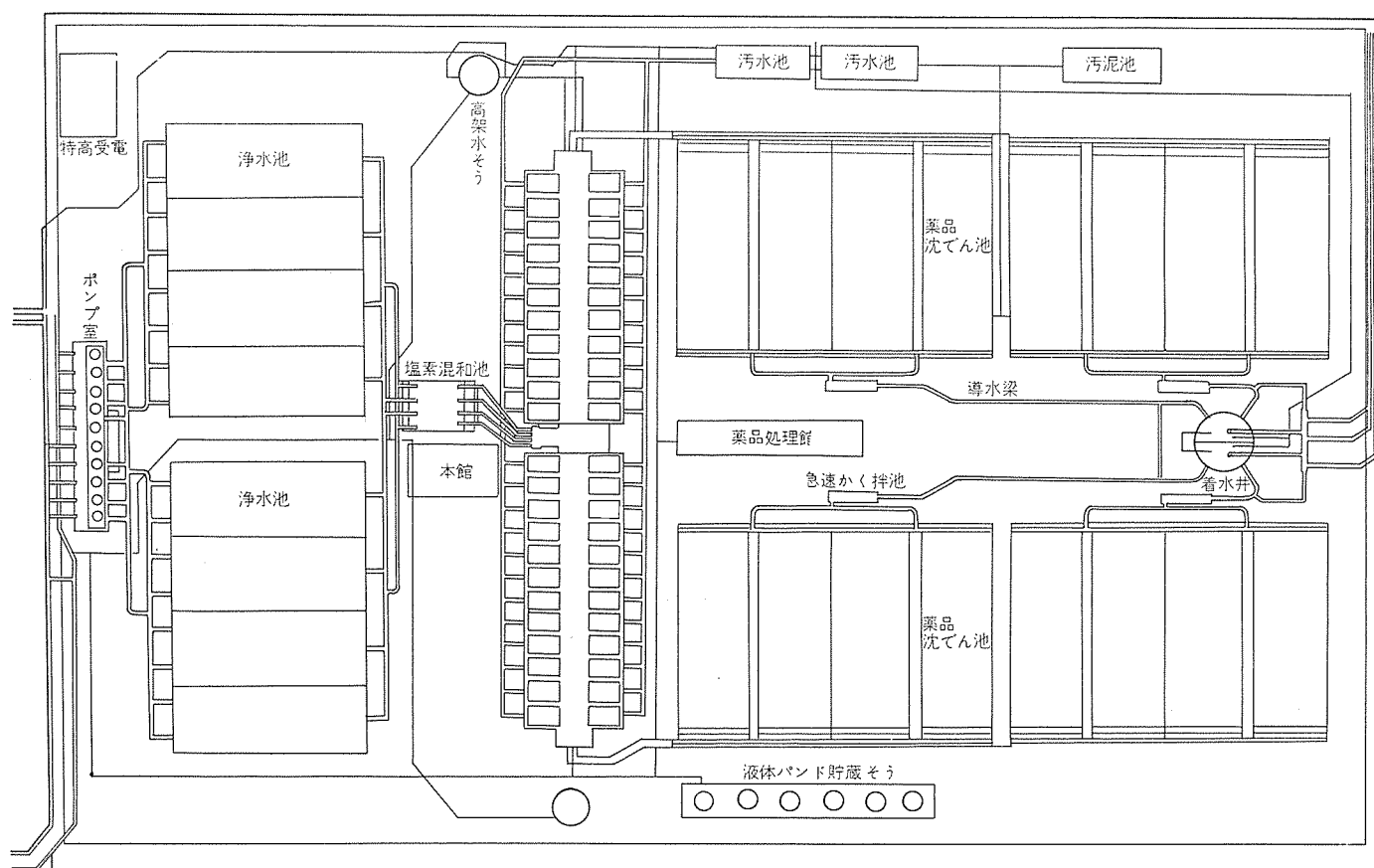


図 2.1 村野浄水場平面図

General plan of the Murano water purification plant.

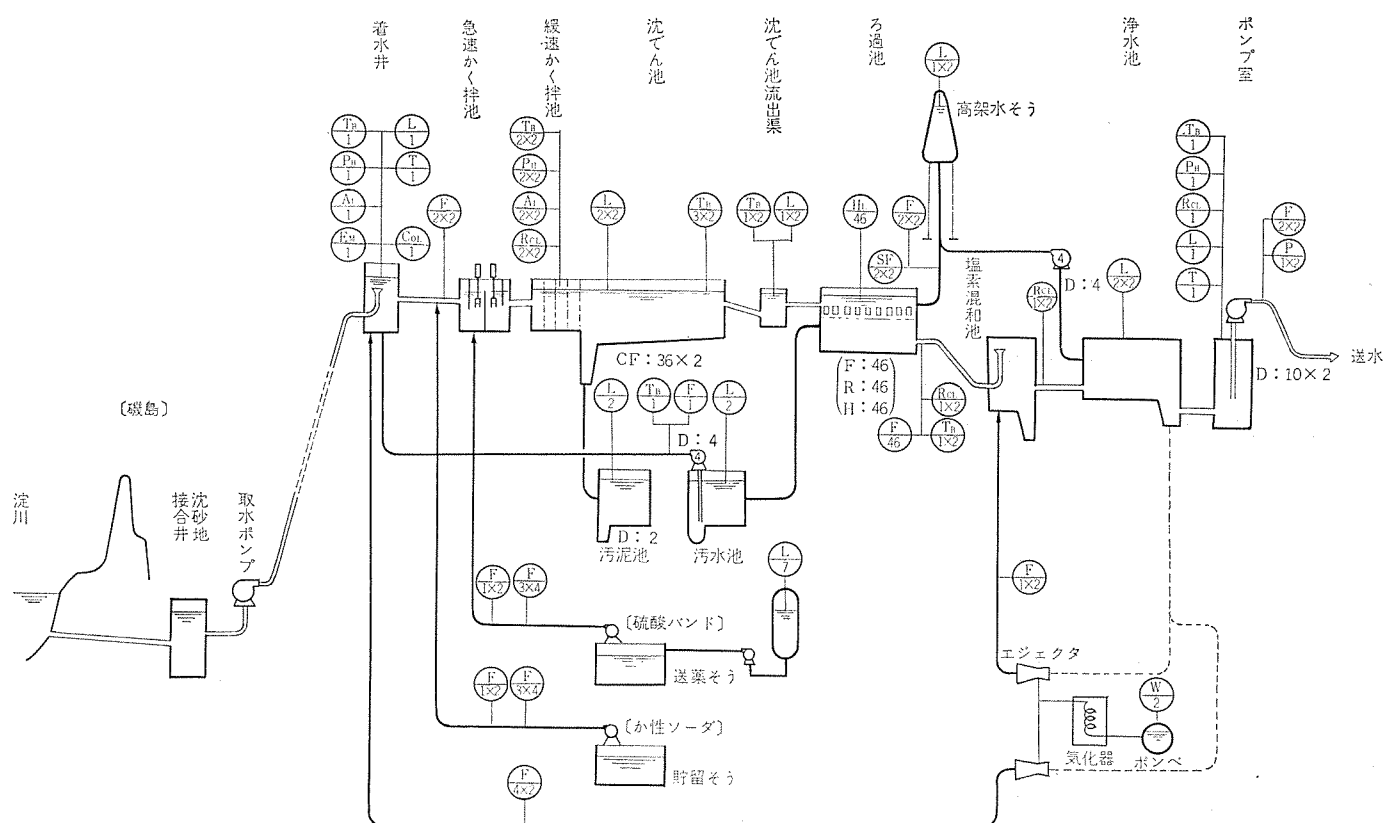


図 2.2 村野浄水場フローシート

Flow sheet of the Murano water purification plant.

られている。また後者のE系は、W系と同様管廊の両側に12池ずつ計24池が作られ、浄水場完成時には合計46池となる。

W系ろ過池は有効ろ過面積148 m²、重力開放形ホィラ式で、標

準ろ過速度は150 m/日である。次期建設のE系は有効ろ過面積188 m²、レオポルド式で、標準ろ過速度は178 m/日である。

また洗浄方式は、逆洗浄および回転式表面洗浄を併用している。

(6) 塩素混和池

ろ過池と浄水池の中間に設けられた池で、ろ過水に後塩素の注入・混和を行なうことを目的とした池である。

(7) 浄水池

浄水池は、幅 64.0 m、長さ 88.0 m、有効水深 3.25 m で、1 池容量は約 17,000 m³ である。

現在浄水池は 2 池がか動しており、増設予定の 2 池はほぼ完成しか動待ちの状態になっている。なお浄水場完成時における浄水池の貯留容量は、約 1 時間 20 分となる。

(8) 洗浄用高架水そう(槽)

ろ過池洗浄用水の W 系貯水そうとして、独立ラジアルコーン形高架水そうを設けている。この水そうは 1 池の逆洗浄用水 600 m³ に予備水を含めて有効容量 800 m³ を貯留することができる。

(9) 汚水池

ろ過池の洗浄汚水および場内雨水等を一時貯留し、原水の一部として着水井へ返送するための調整池である。

(10) 薬品処理館

原水の前処理、および塩素滅菌等の処理を円滑に行なうため、これら諸施設の機器類を一括し、集中管理を容易にするために設けられたものである。

(a) 硫酸バンド注入設備

硫酸バンドは液体硫酸バンドを使用し、貯蔵そうは年間平均注入率の約 1 個月分を貯蔵可能で、屋外に設けられている。硫酸バンドは貯蔵そうより送液ポンプで、処理館に設けられた送薬そうに一時貯留されて急速かくはん池注入口へ注入される。

(b) か性ソーダ注入設備

PH 調整用としてはか性ソーダを使用し、か性ソーダの溶解はパッチ式とし、1 そう 8 時間分の容量のものを 3 そう設け交互に使用する。か性ソーダは導水きょ注入口へ注入される。

(c) 塩素注入設備

塩素の原水および浄水への注入は、着水井および塩素混和池の注入口でなされる。また、塩素は塩素ポンプ 3 台を使用し、容量 1 個月分を貯留している。

(11) 送水設備

揚程 44 m の送水ポンプ(両吸込ポリュートポンプ) 7 台(完成時には増設して 10 台に)を設置し、南北に伸びる送水幹線に送水を行なう。

(12) 受電設備

浄水場全体の運転に必要な電力は関西電力より 70 kV 受電を行ない、6,000 kVA 容量の変圧器 3 台を設置している。

また、プロセスの主要点には変電室が設けられ、各制御機器に 100 V、200 V の給電を行なっている。

2.2 浄水場の制御

2.2.1 制御の基本思想

当浄水場における制御の基本思想は、浄水施設に含まれる主要機器は管理室(中央管理室、薬品注入管理室、送水管理室)より総合操作を可能にし、より重要な制御対象に対しては中央管理室からの操作が行なえるよう配慮され、また、各機器とも現場操作盤における単独操作も行なえるという、運用管理の合理化、浄水場の円滑運転とその安全性については十分考慮されている。

2.2.2 現場機器制御

本浄水場における主現場機器とその制御方法を、表 2.1 に示す。

当浄水場の特色の一つとしてあげられる現場機器制御につき、計算法制御の導入を考えあわせて、特に配慮した事項につき、次に述べる。

表 2.1 現場機器制御一覧
List of controls of local machines.

浄水施設	制 御 対 象	制 御 の 概 略 説 明	
		(1 階層沈でん池系統)	(2 階層沈でん池系統)
着 水 井			
急速かくはん池	急速かくはん機	フラッシュミキサ(2 台直列、立軸電動機 50Hp で 30 rpm で回転)	加圧ポンプによるジェットかくはん
フロック形成池	フロキュレータ	バイエル無段変速機サイクロ減速機を備えたものを 4 軸有し、1 段～4 段の回転数はそれぞれ変えている。	
薬品沈でん池	クラリフィア	池を選択することにより自動的に動作	中央管理室の時計信号をカウントし、それぞれのカウンタにより 12 台のクラリフィアはセット値に従って自動的に動作
	排 泥 弁	かき寄せ完了により自動的にホップ内の汚泥を順次排泥	かき寄せ完了順位を信号盤に記憶し、2 ホップ以上の排泥を同時に行なわないよう制御
ろ 過 池	ろ 過 池 操 作	現場盤からの各弁の単独操作 ローカル・コントローラ盤からのろ過池「洗浄」「ろ過開始」「ろ過停止」「洗浄待機」操作を総括的に操作するためのシーケンス制御	
	ろ過流量制御 洗浄水量制御	定速ろ過を行なうための、ろ過流量調整弁制御 設定洗浄水量による調整弁制御(表洗流量・逆洗流量)	
塩素混和池			
洗浄用高架水そう	揚 水 ポンプ	高架水そう中に設けられた圧力式水位計条件によりポンプ(4 台)の起動・停止をシーケンス制御で実行。ポンプの選択はシーケンスで運転状況・水位条件にて決定	
汚 水 池	汚 水 ポンプ	汚水池中に設けられた水位計の条件によりポンプ(4 台)の起動・停止をシーケンス制御で実行。ポンプ選択は揚水ポンプと同じ	
浄 水 池			
送水ポンプ室	ボ ン プ 制 御	現場盤によりポンプの単独操作 ローカル・コントローラ盤からの送水ポンプ一括操作(シーケンス制御)	
	送水圧力制御	現場盤からの送水弁の単独操作 ローカル・コントローラ盤からの圧力設定を行なうことにより、調節計制御を行なって、送水本弁を制御	
硫酸バンド注入設備	送液ポンプ制御	注入量にみあうポンプの自動運転を行なうもので、注入量の変化により自動的に台数変更がなされる。また、運転中ポンプに故障が生じると自動的に予備ポンプが起動する	
	注 入 量 制 御	注入率と原水流量の演算を行なって注入機を選択後、所定の注入量になるよう、注入機(電油弁)を制御する	
か性ソーダ注入設備	希 釈 制 御	45～48 %のか性ソーダを 20 % 溶液のか性ソーダにするために制御	
	送液ポンプ制御 注 入 量 制 御	硫酸バンドに同じ	
塩素注入設備	気 化 器 制 御	液体塩素を気化するための制御	
	注 入 量 制 御	硫酸バンドに同じ	

2.2.3 ろ過池操作

ろ過池の操作は、従来ろ過池管廊に設置されているろ過池現場操作盤（ろ過池と操作盤とは、1:1の対応がなされている）より、ろ過池の個々の弁（流入弁、流出弁、表洗弁、逆洗弁、汚水弁の5弁）に対し操作が行なえるよう配慮されている。

ろ過池現場操作盤よりろ過池の洗浄操作を行なう場合には、個々の弁の開閉は操作員の指令により、洗浄シーケンスどおり弁の開閉を行っていた。

このような操作においては、ろ過池のよごれ具合により洗浄の度合を変えうるという利点を備えている反面、操作員の技術・経験にもとづく個人差による操作面での差が入り込む。

以上の事柄に対処する意味で当浄水場では、ろ過池管廊の中央にろ過池ローカル・コントローラ盤を設け、このコントローラにはろ過池22池に対し「洗浄」「ろ過開始」「ろ過停止」「洗浄待機」の4指令が行なえるシーケンス回路、および中央管理室への指示信号の作成回路が含まれている。

シーケンス回路の動作は、図2.3に示すとおりであるが、回路設計上ではらった考慮のおもなものは

- (1) 確認表示と選択指令のキャンセル
- (2) 現場操作盤モードの確保
- (3) 洗浄水量による表洗弁・逆洗弁の開指令作成
- (4) 洗浄シーケンスの監視（洗浄渋滞）
- (5) 2指令の同時送出可能

「ろ過開始」「ろ過停止」「洗浄待機」指令は、「洗浄」指令と重複

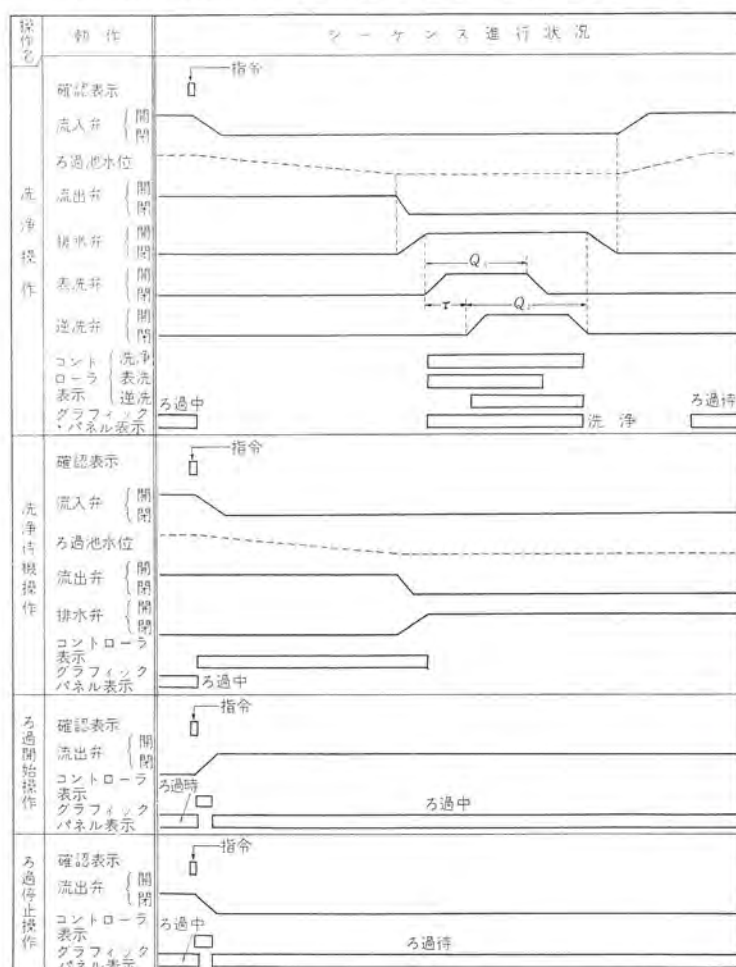


図 2.3 ろ過池シーケンスのタイムチャート
Time chart of filter sequence.

して送出することができる。

(6) 中央管理室における集中監視を行なうための信号の整理

(7) 日報作表、ろ過池制御を行なうための信号の整理

(8) 既設現場操作盤とローカルコントローラとの接続

である。

当浄水場に導入したろ過池ローカルコントローラ盤と、その設置状況を図2.4、および図2.5に示す。

2.2.4 ポンプ室操作

ポンプ室における操作には、ポンプの起動・停止操作、および吐出口の開・閉操作があり、当浄水場ではこれらの操作に対し、ポンプ・弁の周辺に現場盤を設けて単独操作と、ポンプ管理室にローカルコントローラ盤を設けて一括操作が行なえるよう考慮してある。

現場盤からの単独操作においては、ポンプ（容量は42, 84, 100 m³/分の3種類採用）1台ずつ操作するためにポンプ並列運転時の効率最良運転、また給水先の受水圧一定運転は、経験を要するものである。

これらの問題を解決するためにポンプ室ローカルコントローラ盤を設置して、ポンプ並列運転時の効率最良運転を、また末端管圧を一定にするために送水本管弁の制御を行なう。

制御のブロック図は図2.6に示すとおりであるが、回路設計上ではらった考慮のおもなものは

- (1) 並列運転時のポンプ効率
- (2) 本管弁の開閉ひん度
- (3) ポンプ切換時のハンティング
- (4) 受水圧の一定性



図 2.4 ろ過池ローカルコントローラ盤
Local controller panel for filter.



図 2.5 ろ過池ローカルコントローラ盤設置状況
View of the local controller for filter.

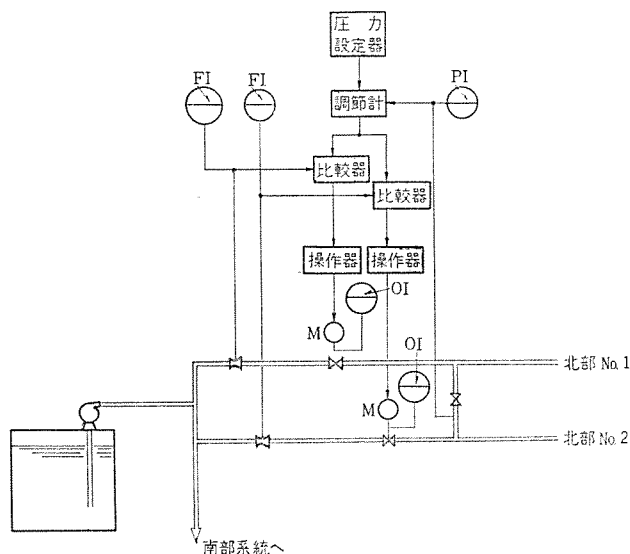


図 2.6 送水制御系ブロック図
Block diagram of distributing system.

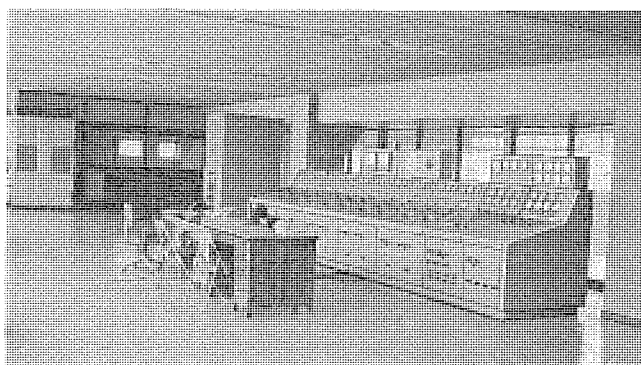


図 2.7 ポンプ管理室
Control room for pumps.

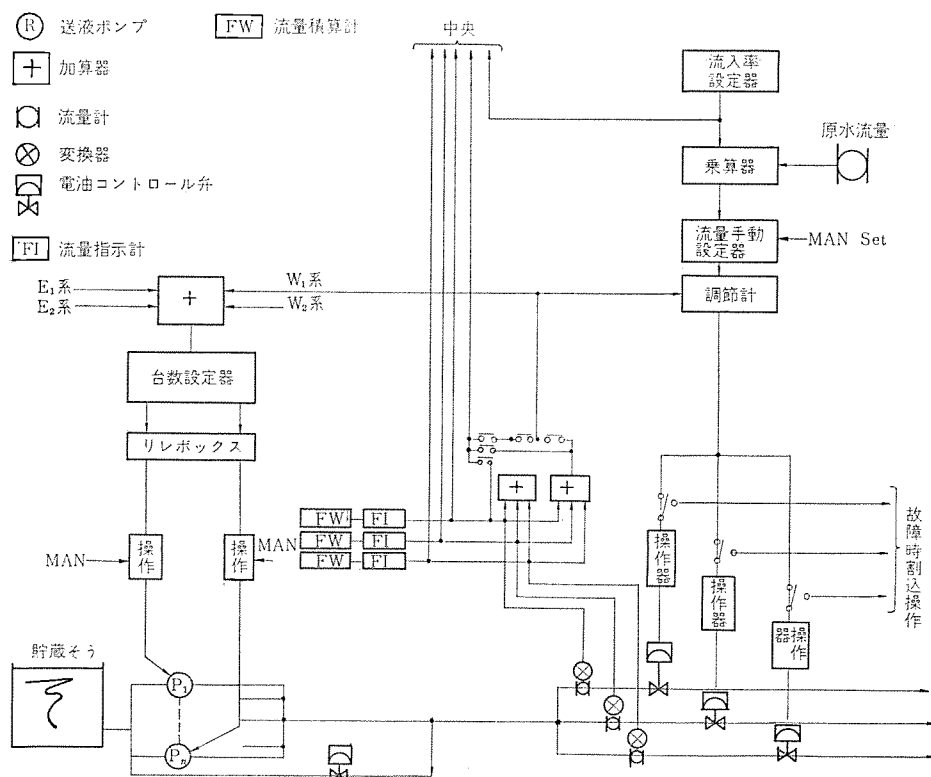


図 2.8 薬品注入制御系ブロック図
Block diagram of drugs system.

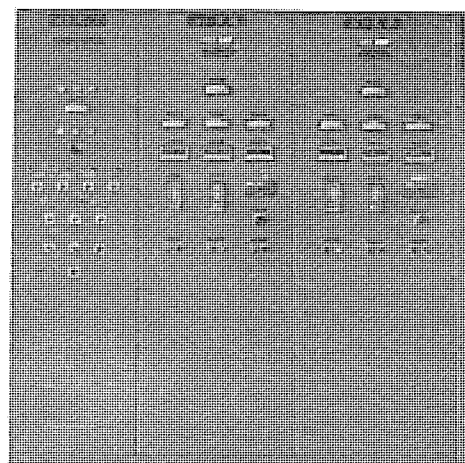


図 2.9 薬品注入 ローカルコントローラ
Local controller panel for drugs feed.

(5) 集中管理を行なうための信号整理である。

当浄水場のポンプ管理室に設置されたローカルコントローラ盤の設置状況を図 2.7 に示す。

2.2.5 薬品注入操作

薬品注入操作は、原水水质が悪く、かつその変動が大きいと注入率の変更が多くなり、最適注入率の決定が困難である。また、注入機の操作がむづかしく、薬品の経済的使用は困難のため、この問題を解決するために、薬品注入ローカルコントローラ盤を設けた。

注入制御は、原水水质に対応して決定される注入率と、原水流量との比例注入制御を行っており、注入量により送液ポンプの決定、および大、中、小とある注入機を自動選択して、上記の問題点解決をはかり操作の簡略化を行なっている。

制御のブロック図は図 2.8 に示すとおりであるが、回路設計上ではらった考慮のおもなものは

- (1) 操作上の安全性
- (2) 制御故障時の割込み操作
- (3) 自動制御故障の保護
- (4) 停電時の対策
- (5) 集中管理を行なうための信号整理

である。

当浄水場の薬品注入管理室に設置されたローカルコントローラ盤を図 2.9 に示す。

3. 計算機システム導入

3.1 導入目的

本府水道部では、先に記したように庭窪浄水場、村野浄水場の2浄水場より近郊都市への給水を行なっているが、水源は琵琶湖に源を発し大阪平野を貫流している淀川の水にたよらねばならず、また、その水は淀川上流の開発が進むにつれて水質の悪化が著るしく

なり、今後の水需要の伸びを考えると水の有効利用、および経済的運用の必要性が生じてきた。

この足掛かりとして浄水場の有機的な運転が必要となった。
当府水道部では、村野浄水場の水道部内におかれている位置とその役割をはたすため、浄水場の運転・管理の合理化に対する要望のもとに集中管理を行なって、

- (1) 浄水場プロセスの円滑運転
 - (2) 設備の保護と危険防止
 - (3) 材料（原水、薬品等）・エネルギー（電力）の節約
 - (4) データの収集
 - (5) 省力化
- を目的とした計算機システムの導入計画がなされ、その結果
- (a) 災害時における迅速かつ正確な処置
 - (b) 操作指令の不徹底の防止
 - (c) 誤確認による混乱の防止
 - (d) 管理データの収集（データの誤伝・紛失の防止）
 - (e) 次ステップへの解析データの収集
 - (f) 今後の事務量増大、作業量増加に対する人員増加の抑制が望めうる。

また、プロセスの実情調査の結果
(1) 村野浄水場では、処理すべき原水々質が悪く（常時50～200度）、水源である淀川は3河川（桂川、宇治川、木津川）が合流しているため、各河川の水質が異なるとともに変動も大きい。

(2) 浄水場の中心をなすろ過池は、既設（W 系統）のもので22池あり、水の有効利用を考えながらろ過池のか動池数の決定、およびろ過池指令（洗浄・ろ過開始・ろ過停止・洗浄待機）を出すべき池の決定等を行なうと操作にはまだまだ複雑な要素が残されている。また将来増設予定（E 系統）のろ過池数をも考慮すると総数46池となり、W、E 両系統の相互干渉も考慮して統一のとれた操作を行なうには限界がある。

(3) 村野浄水場からの送水は、南北に伸びる2本の送水管を通して行なわれ、浄水場完成時は1,247,000 m³/日の浄水が送り出される。送水の際に問題となる「水の質」には、“必要な水量”と“適切な水圧”があり、また水の有効利用および経済的運用から考えても送水プラントのはたす役割は非常に大きい。

また、送水流量の変動による適切なポンプ運転台数の組合わせ決定、ポンプ保守面から要求される総合運転時間の均一化を行なうことは容易でない。

(4) プロセスの異常状態をもれなく監視し、異常状態検出時にはただちに、プロセスの状態を調べ有効な浄水場運転を行なわせながら適切な処置を行なわせる必要がある。
の問題点があり、いずれも操作員の技術レベル・経験等による個人差のない運転を行なうことはむづかしい。このため

- (1) 薬品注入制御
- (2) ろ過池制御
- (3) 送水制御
- (4) Emergency の処置

を行なう必要があり、またこれらの制御を行なうことにより、計算機導入目的を満足させることになる。

3.2 設計方針
村野浄水場計算機システムの設計にあたり水道事業の公共性、つまり水道は、電気・ガスと同様に、自分で計画した量だけを処理すれ

ば良いというのではなく、時々刻々変化する需要に応ずる必要がある。このため、システム動作の安全性を十分に考慮する必要がある。

3.1 節に示した導入目的に従って、計算機システムの設計にあたり考慮した事項について次に説明を加える。

(1) 省力化、およびプロセスの円滑運転に対する処置として、中央管理室に浄水場平面図を模倣したグラフィックパネルを設置し、浄水施設および機器等の運転状態および故障状態の表示を行なって浄水場全体の動作確認が容易に行なえるようにし、また、パネル上にはすべての指示計器をなくすよう考慮した。グラフィックパネルに表示される機器とその表示内容は表3.1に示すとおりで、また、パネルは図3.1に示すとおりである。

グラフィックパネルで浄水場全体の運転状態が把握されても、異常発生を考慮すると、省力化および円滑運転を行なううえには十分とは言にくい。このため、オペレータコンソールを導入し、コンソール中にプラントの操作盤を設けて、ろ過池・薬品注入・送水・取水の各プラントに対して中央管理室からの遠隔制御が行なえる。

- (a) ろ過池操作盤
ろ過池ローカルコントロールろ過池指令を送出する盤で、指令送出後はコントロールにてすべての操作が行なわれる。

表 3.1 グラフィックパネル表示項目
Display item of graphic panel.

プラント名	表示項目	運転	準備	故障	開	閉	特殊故障内容
着水井	入口弁				○	○	
着水井	出口弁				○	○	
緩速かくはん池	フロキュレータ	○		○			
薬品沈でん池	クラリフィア	○		○			
薬品沈でん池	排泥弁	○		○			
ろ過池	運転状態【ろ過中】	○		○			ろ過時間オーバー
	運転状態【ろ過待】		○	○			運 休
	運転状態【洗 浄】	○		○			洗浄渋滞
	損失水頭			○			ろ抗到達
	表洗弁				○		
	逆洗弁				○		
送水ポンプ室	送水ポンプ	○		○			
送水ポンプ室	送 水 弁				○	○	
変 電 所	トランス	○					
高架水そう	揚水ポンプ	○					
汚 水 池	汚水ポンプ	○					
汚 泥 池	汚泥ポンプ	○					
薬 品 設 備	前塩素注入設備			○			
	硫酸バンド			○			
	か性ソーダ			○			
	後 塩 素			○			
	硫酸バント送液ポンプ	○					
	送水ポンプ場故障			○			

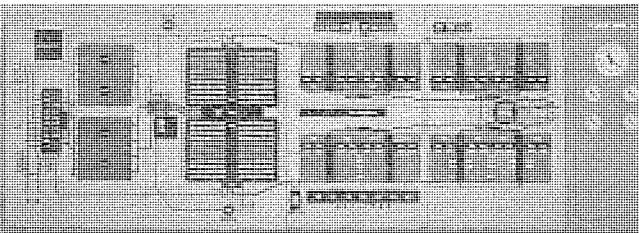


図 3.1 グラフィックパネル
Graphic panel.

この操作盤には、表示器を設置し

確認表示

指令実行中表示

を行ない、また、ろ過速度（ろ過流量設定値）の変更を中央管理室から行なえるよう設定器が設置されている。

（b）薬品注入操作盤

前塩素、硫酸バンド、か性ソーダ、後塩素とそれぞれの各系統ごとに薬品注入率の設定を行なうことを目的とした操作盤で、注入機設備の動作確認の意味も含み薬品注入量指示計が設置してある。この注入量指示は、流量・水質（濁度・アルカリ度等）により大幅に変わるが、ほぼ同一精度で指示されうよう配慮してある。

また、当浄水場では薬品注入設備の安全性を考慮して、注入設備の多重設置を行なっているが、この操作盤では仮りに注入設備が故障したときに予備機への切換え機能を有しているため、中央管理室より応急処置を施すことができる。

（c）送水関係操作盤

送水関係として、送水圧力の設定とポンプの起動・停止操作を行なうことを目的とした操作盤である。この盤には操作を容易にし、プラント動作の確認の意味で、送水圧力計測値、送水流量、バルブ開度の指示を行なっており、またポンプ操作用として“運転中”“準備完了中”表示を行なっている。

また、万一の処置として、送水弁の単独操作が可能のように考慮してある。

（d）取水場操作盤

当浄水場で処理する原水は約4km離れている磯島取水場で取水しており、この取水場は当浄水場の一部として操作を行なうための操作盤で、沈砂池水位、取水流量の設定が行なえ、ほかにプラント動作確認の意味で、沈砂池水位、取水流量の計測値およびそれぞれに関連するバルブ開度の指示を行なっている。

（2）データ収集とその省力化に対する処置として、中央管理室に電子計算機を導入し、浄水場全域に散在している計測器信号（流量、圧力、水位、水質等）、状態信号（ポンプ、ろ過池、クラリフィア等の動作状態）、およびパルス信号（電力量、流量等）を計算機の入力端子に接続し、計算機内の記憶装置中に記憶されているプログラムに従って信号の読み込み・計算等のデータ処理を行ない、その結果を用いて日報の作成（管理データ・解析データを含む）を行なっている。

（3）円滑運転、および設備保護と危険防止を目的として、計算機の各入力信号に対し計算機々能の一部に

計測器の確認 (Instrument scan)

プラントデータの確認 (Alarm scan)

主要機器の動作確認 (Digital scan)

を行なっている。以上の機能詳細説明は、5章中のアプリケーションプログラムにゆずるとして、この機能がプロセス運転の安全性確保の意味でどのような役割りを果たすかの説明を行なう。

（a）計測器の確認

計測器系統に異常がないかを確認し、異常を検出したら操作員にその旨の報知を行ない、その処置が容易にとりうよう考慮したものである。

（b）プラントデータの確認

計測器信号によるプラントの運転状態の確認で、各データごとに設定された上・下限値の間にデータが収まっているかを確認しながらプラントの円滑運転を行なわせようとするものである。

また、プラントに異常が発生しデータが上・下限値よりはずれると、その旨の情報を操作員へ提供して処置が容易に取りうよう考慮され、危険防止の役目を果たしている。

データの確認時に異常を検出すると、操作員への情報提供の一つとして先に紹介したグラフィックパネル上の異常発生場所に異常表示を行なう。

また、グラフィックパネルおよびオペレータコンソールには1組の数値表示器を具備しており、操作員による計算機への要求により、この数値表示器にデータ表示を行なうとともに、プロセスとの関連を示す意味でグラフィックパネル上に要求のあった場所の呼出し表示を行なう。なお、この機能を利用することにより中央管理室では、プロセスの指示計器は必要最小限の設置にとどめることができた。

（c）主要機器の動作確認

プラントが正常に動作しているかを確認するため、主要機器の動作確認を行なって、日報にその旨の印字を行なう。

これはグラフィックパネル表示における操作員による確認と同一であるが、計算機にこの機能をもたせることにより操作員は表示内容の変化を綿密に調べる必要はなく、変化を操作員が知る必要がある場合には計算機よりその旨の情報を提供する。

（4）標準化の一端として、プロセスの操作・保守等を勘案し、当浄水場では次に示すとおり標準化を行なった。

（a）計測器の標準化

計測器系統における異常（計測器故障、信号ケーブルの断線または短絡等）の早期発見を容易にし、プロセス安全性確保として計測器信号を電流信号に統一をとった。

このような計測器の統一は、計器の互換性および保守面から見て有効な処置であった。

（b）操作の標準化

一般にプロセスが高速化・大型化すると、操作は複雑化する。当浄水場においても同様の傾向が見られ、操作の標準化を行ない計算機制御の足掛りとして役立った。

（5）材料・エネルギーの節約を目的として、計算機で浄水場全体の運転状態を十分には握した結果にもとづき制御計算を行なっている。

この計算結果は、オペレーションガイドとして操作員に提供することができ、また計算結果にもとづいてプラントの計算機制御を行なうことができる。

（6）プラントの操作は、浄水場運転動作の安全を考慮して、

現場盤単独手動操作

ローカルコントローラ手動操作

中央管理室手動操作（オペレータコンソール）

計算機制御

の4操作モードがあり、それぞれの関連性は図3.2に示すとおりであり、操作の優先度は制御対象側より現場盤、ローカルコントローラ、オペレータコンソール、計算機となり、計算機からの制御は、プラントおよびその周辺等に異常のないときに行なわれる。異常発生を検出するとコネク信号（図3.2参照）を切り、操作員に報知して、以後の操作は一度操作員に戻し、異常の確認後再度計算機制御に移すことができる。

また、上記の各操作モード間には、プラントの安全運転に対し、次のような配慮がなされている。

当システムにおける最終目的は計算機制御である。したがって、通

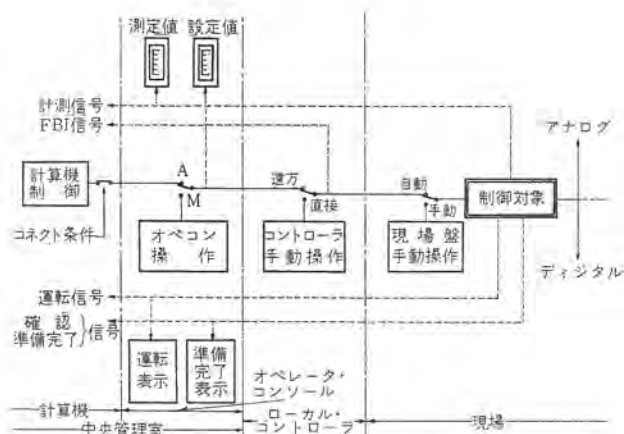


図 3.2 操作体系図
Schematic diagram of control system.

常は計算機による制御であるが、計算機の万一の異常等により計算機制御が行えない場合には、コンソールに設けられた設定器であるMDP (Motor driven potentiometer, ACサーボモータ形式のセットポイントステーションで以後 MDP と略称する) に制御量は保護されており、また以後の操作は設定値をMDPに設定する中央管理室手動操作が行なえ、制御の混乱をまねくことはない。

次に、コンソールのMDPに設定された制御量はローカルコントローラに送られるが、ケーブルの切断およびMDPの故障等に対する保護としてローカルコントローラ内にメモリーを設け、制御量信号がなくなったときでもそれ以前の値を保つことにより、制御の混乱を避けている。

(7) 計算機制御システムにおける安全性は、万一の計算機誤動作によりプラントへ誤信号を送り運転状態を混乱させてはならないため、

- 計算機本体
- 計算機電源系統
- 時計信号
- 計算機入出力信号
- オペレータコンソール
- 周辺機器

等につき詳細検討を行ない、十分な処置を施してある。

4. 計算機システムの紹介

4.1 計算機システムの概要

上記3.1節に示した設計方針に従ってシステムを構成した結果を図4.1に示す。

本計算機システムに含まれる機器は、

中央管理室

計算機 MELDAP-6000 H	プログラマーズコンソール
アナウンスメントタイプライタ	ロギングタイプライタ
トレンド記録計	オペレータコンソール
グラフィックパネル	時計盤

電源関係

シリコン整流器	蓄電池	M-G 電動発電機
---------	-----	-----------

現場機器

各種計測器	各種制御器
-------	-------

よりなる。

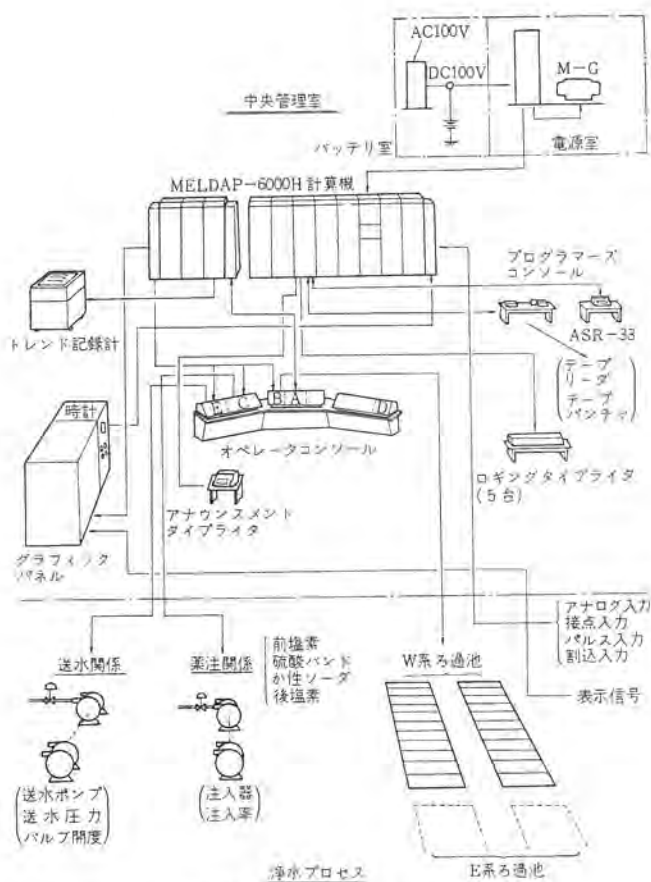


図 4.1 プロセス関連図
Process arrangement.

また、中央管理室に設置された各機器の配置は、図4.2に示すとおりである。

計算機は、通常時は商用電源を整流しM-G電動発電機を駆動して運転されている。また、停電時には停電検出を行ない、場内に設置されている非常用蓄電池電源に切換えられて、停電後一定時間計算機は正常に運転されるよう考慮してある。

4.2 計算機 MELDAP-6000 H

計算機システムの中核となるMELDAP-6000H制御用電子計算機につき、その概略説明を行なう。

計算機MELDAP-6000Hの構成は、図4.3に示すとおりである。

4.2.1 中央演算処理装置

中央演算処理装置は、16,000語の磁心記憶装置を中心とし、2進化10進コードを内部コードとして構成されている。また、相対番地方式を採用しプログラムのダイナミックリローディングを可能にしているほか、オンラインリアルタイム計算機として必要な割込み制御機構、各種エラー検出機構、緊急時リスタート機構等を備えている。

中央演算処理装置の主要諸元は、表4.1に示すとおりである。

4.2.2 磁気ディスク装置

補助記憶装置として固定ヘッド形式の磁気ディスク3台を採用している。磁気ディスクと磁心記憶装置との間の情報転送は、サイクルスチール制御装置を介して、中央演算処理装置の動作と並行して実行可能であり、1ブロック400語を単位とするブロック転送方式になっている。

磁気ディスク装置の主要諸元は、表4.2に示すとおりである。

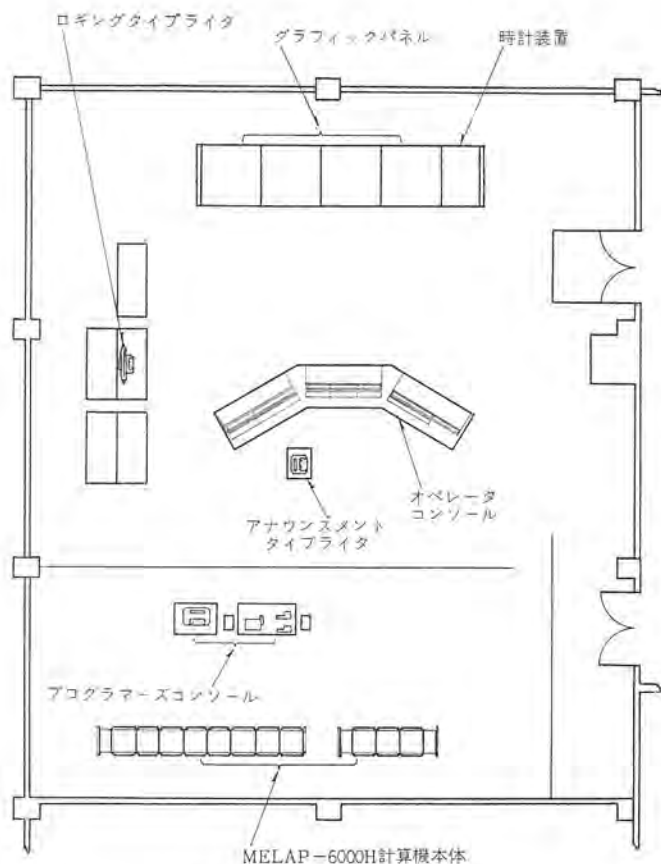


図 4.2 中央管理室機器配置
Layout of central control room.

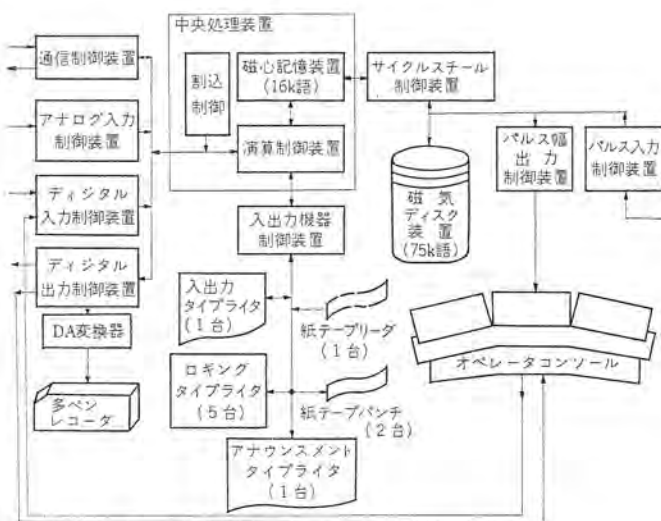


図 4.3 計算機 MELDAP-6000 H システム 構成
Computer system configuration (MELDAP-6000 H).

4.2.3 プロセス入出力装置

本計算機システムで取り扱っているプロセス入出力信号の種類と点数は次に示すとおりである。

アナログ入力	250 点
デジタル入力	672 点
デジタル出力	360 点
パルス入力	20 点
パルス幅出力	20 点

(1) アナログ入力

プロセス内に散在する計測器から送信されてくる電流信号 (2~10m

表 4.1 中央演算処理装置の主要諸元
Main spec. of central processing unit.

項	目	諸	元
記憶容量	語	16,000 語	
メモリスサイクル	μs	10	
語構成		2 進化 10 進コード 6 けた十符号 (25 ビット)	
命令		基本 32 種	
番地方式		直接, 相対, インデックス 修飾	
演算速度		加減算 70 μs , 乗除算 1.5 ms	
割込点数	点	30	

表 4.2 磁気ディスク装置の主要諸元
Main spec. of magnetic disk.

項	目	諸	元
回転数	rpm	1,800	
平均アクセスタイム	ms	16.7	
記憶容量		1 台当り 25,600 語	
記録方式		位相変調方式	

A, 4~20 mA) を計算機の入力端子部分で精密抵抗を用いて 20~100 mV の電圧信号に統一的に変換し, リードリレー スキャナにより切換えて, 直流増幅器, A/D 変換器に導く方式である。

(2) デジタル出力

デジタル出力信号には, ラッチ形出力と モーメンタリ形出力が混用されており, いずれも無電圧接点で計算機より出力される。

プラントを制御するデジタル出力信号については, すべてオペレータコンソール内のフェイルセーフ機構を介してプラントと結ばれており, 計算機故障等の異常時には, 3.2 節 (6) に記したように自動的にフリーズして, 手動モードにおとすよう配慮している。

(3) パルス幅出力

パルス幅出力は, オペレータコンソールに設置された MDP により, 2~10 mA の電流信号に変換し, プラントへの制御信号として送出される。このパルス幅出力信号も, プラント制御用デジタル出力信号と同様に計算機異常時の配慮がなされている。

4.3 周辺機器

4.3.1 プログラマーズコンソール

プログラマーズコンソールは, おもに

プログラムのそう入

プログラムの修正

計算機動作の単独チェック

等を行なうことを目的として, 次に示す機器

万能入出力装置 (10 字/秒) 1 台

(印字・打けん・読取り・さん孔)

紙テープパンチャ (35 字/秒) 2 台

紙テープリーダ (200 字/秒) 1 台

が設置されている。

4.3.2 アナウンスメントタイプライタ

アナウンスメントタイプライタ (15 字/秒) は, 操作員と計算機間の情報交換

プラント状態変化時の報知

プラント運転状態異常発生時の報知

操作員要求機能の確認印字・データ提供

計算機システム異常発生時の報告

等のために設けられたもので, 移動机上に設置してオペレータコンソール

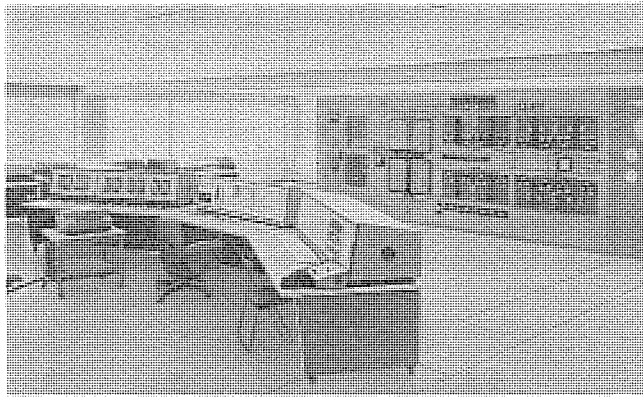


図 4.4 オペレータ コンソール と中央管理室
Operator console and central control room.

ル 周辺に置かれる。

4.3.3 ロギング タイプライタ

ロギングタイプライタ (10 字/秒) は、日報作業用として設置され、キャリア長は 30 インチ である。

このタイプライタには定刻印字のほかに、操作員から要求された DEMAND LOG の実行用としても用いられる。

4.3.4 トレンド記録計

トレンド記録計は、プラントの運転状態のトレンド記録を行なうもので、計算機からの出力を D/A 変換して加え、同時に 6 チャンネル までの記録が可能である。

4.3.5 オペレータ コンソール

オペレータ コンソールの外観は、図 4.4 に示すとおりである。

中央に位置する操作盤を コンソール A と称して、計算機と操作員の情報交換を目的とするもので、情報交換用の ファンクション リクエストキーやデータディスプレイ用の数値表示器等が実装されている。

また、コンソール A の両側には、3.2 節(1)で記した。

ろ過池操作盤	コンソール B
薬品注入操作盤	コンソール C
取水場操作盤	コンソール D
送水関係操作盤	コンソール E

が設置されている。

このコンソール B～E には、4.2.3 項(3)に述べたように、縦形指示計と AC サーボモータを組み合わせで特別に設計された MDP が前面に配置され、計算機からのパルス幅出力を直流電流信号に変換してプラントへ制御設定値を出力する。この MDP には各種の動作状態検出回路が内蔵され、計算機で監視できるようになっているほか、手動に切換えて、操作員が指示計の読みを見ながらマニュアルオーバーイドができるように配慮されている。

5. ソフトウェア システム

5.1 モニタ システム

モニタシステムはオンライン制御用計算機の各種プログラムを結び付けるもので、実時間システムに要求される種々の機能を満たすように作られている。

モニタシステムを構成するおもな機能は次のとおりである。

5.1.1 実時間制御ルーチン

機能プログラムの実時間制御は Executive Control Program (以下 ECP と略称する)で行なわれ、さらに優先順位、割込みおよびコアメモリの使用可能状態にもとづいてプログラムの実行を制御する。

機能プログラムは 3 レベルに分割され、ECP 自身も最優先レベルを有している。

Zero レベル	ECP
1st レベル	Scanning, Control 等
2nd レベル	Logging, Request 等
3rd レベル	ON-Line Utility, Self Check 等

同一レベルに属するプログラム間には優先順位はなく、上位レベルに属するプログラムは下位レベルに割込み実行することができる。また、プログラム実行中に割込信号が入力すると、信号に対応した割込処理ルーチンが実行され、実行終了後は元のプログラムに戻りその機能プログラムを実行する。(図 5.1 参照)

プログラムの実行に際しては、次の条件

プログラムがコアメモリにない

プログラムが転送中でない

コアメモリが使用可能である

を満足したときに、ECP により実行プログラムを磁気ディスクからコアメモリに転送して実行を開始する。

5.1.2 割込処理ルーチン

割込みが発生するとプログラムは割込レスポンスルーチンに移り、ここでどの種類の割込みが起こったかを判定し、各種割込処理ルーチンにプログラムを移行する。割込処理が終了すると、高レベルで割込まれた場合には割込みリターンルーチンを通じて元のプログラムに戻り、また低レベルで割込まれた場合には上位レベルの機能プログラムに実行すべきものがあるかを調べ、あるときにはそのプログラムを実行し、その後下位レベルの割込みリターンルーチンを通じて元のプログラムに戻る。

(1) 割込信号判別ルーチン

割込信号が入力されたときに動作し、各種レジスタの退避および割込信号の種類を判別して、どの割込処理を実行すべきかを決定する。

(2) 実時間更新ルーチン

2 秒周期の時計信号により実行し、実時間の更新を行なうとともに、30 秒の Stall Alarm Timer (SAT と略称する)および 24 時間タイマの故障検出を行なう。

(3) ディスク=コア転送ルーチン

ディスク=コア間の転送駆動ルーチンで、1トラック単位の転送完了信号で動作する。ディスク転送は 1トラック (400 語) 単位で行なうため、コア上のスクラッチパートに転送したのち、さらにスクラッチパートから所定領域への Core to Core 転送を行なうものである。ただし、転送ワード数が 1トラック以上の場合には、端数以外の 400 語に対し所定領域への直接転送を行なう。

(4) アナログスキャナドライブルーチン

アナログ入力信号に対応したスキャナの駆動、および信号の読み込みを行なうルーチンで、1点読み込みとグループ読み込みができる。

(5) デジタル入出力信号ドライブルーチン

デジタル入力、デジタル出力を制御するルーチンで、COMPLETE 要請と、NORMAL 要請の 2 動作が行なえる。

(6) 周辺機器制御ルーチン

周辺機器 (万能入出力装置、紙テープリーダー、紙テープパンチャ、アナウンスメントタイプライタ、ロギングタイプライタ) の選択および入出力を制御するルーチンで、各機器の READY 割込みで動作する。READY 割込みは DEVICE 4, 5 の 2 種類あり、READY 信号に対応したチャンネルを使って入出力動作を行なう。

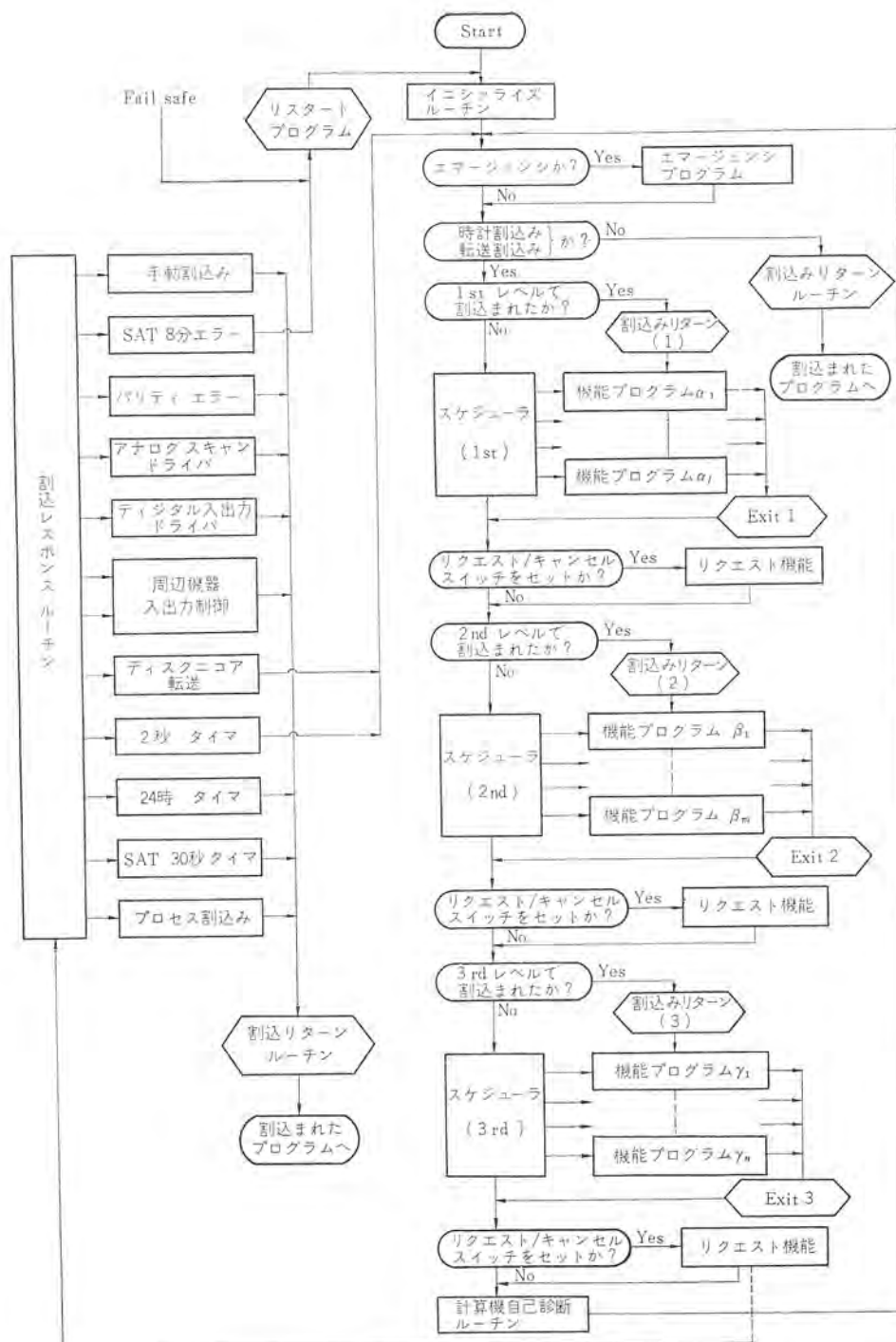


図 5.1 実時間制御フロー Real time control. flow.

5.1.3 MELDAP-6000 H マクロ命令

プログラムの起動・停止、およびプログラム中における入出力制御等の実行を簡易化するために、18種類のマクロ命令を MELDAP-6000 H では備えている。

5.1.4 FAIL SAFE システム

オペレータコンソールに内蔵する SAT、割込動作および周期的に動作する各種チェックルーチン等より、ハードウェアの故障を検出し、警報印字を行なうとともに必要があれば出力をフリーズして、計算機システムの再スタートを行なう。

FAIL SAFE システムは単独の 1 ルーチンから構成されるものではなく、モニタに直結する数個のプログラムとハードウェア機構より構成されている。

5.1.5 FREE TIME FUNCTION

オンラインジョブを妨げることなく空時間を利用して、

紙テープの LOAD/VERIFY
MEMORY DUMP
MEMORY CHECK SUM
ASSEMBLE

等の機能を行なうことができる。

5.2 アプリケーションプログラム

当計算機システムに要求される種々の機能を実現するために基本となるアプリケーションプログラムにつき説明する。

5.2.1 アナログ入力処理

2 分ごとにプロセスに散在するアナログデータを読み取り、電圧値を工

学単位に変換して日報作成のためのデータ準備を行なう。

データ読み込み時には、計器リミット、およびアラームリミットに対して監視を行なって入力データの異常検出を行なう。特に、水処理の中心となるろ過池に対してはろ抗到達確認が容易に行ないうよう配慮している。

また特殊データとしての水質データに対しては、データの性質を考慮して指数平滑計算を行なってデータの平滑化等の考慮を施してある。

5.2.2 デジタル入力処理

2分ごとに約300点のデジタル入力を読み取りその状態変化を監視する。監視項目とその処理内容は次に示すとおりである。

(1) 計算機自動条件監視

薬品注入、ろ過池、送水等の各制御項目の計算機自動条件を調べON-Line/OFF-Line 状態の確認を行なう。

(2) ポンプ動作監視

ポンプの起動・停止を検出してその時間を記憶する。また運転中のポンプに対しては運転時間の積算を行なって制御用データとしての整理をする。ポンプ関係の日報印字は、起動・停止状態または、ポンプの状態変化発生時刻の記録を行なう。

(3) ろ過池動作監視

池の状態変化、すなわちろ過中、ろ過待、洗浄中、運休等の各状態変化を監視し、日報にその内容を記録する。またろ過中の池に対してはろ過持続時間の積算をして、持続時間オーバーの確認を行なっている。

(4) クラリフィア動作監視

クラリフィアの動作確認を行なうもので、その結果を24時の日集計印字時に運転クラリフィアの印字を行なう。

(5) 濁度計レンジ切替監視

5個の原水濁度計に対し現在使用している計器レンジを知るためにレンジ信号を読み取って、計測器信号の変換式を決定する。アナログ入力処理ではこの結果指定された変換式を用いて工学単位に変換する。

5.2.3 ろ過池操作監視

オペレータコンソールまたはローカルコントロールからろ過池を操作した場合、または計算機制御を行なった場合に、ろ過池指令に従って池が正常に動作したか、いなかの確認と、池状態のは握を行なうものである。

5.2.4 日報作成

計算機で処理したデータを運転日報用紙に所定の様式で毎時・半日集計・日集計の印字を行なう。日報用紙には

沈でん池日報	原水々質・取水量等	50項目
薬注日報	各薬品注入量・水質等	46項目
ろ過池日報	池状態・損失水頭・洗浄状況等	62項目
ポンプ室日報	ポンプ動作・電力量・送水状況等	41項目

がある。

5.2.5 リクエスト機能

操作員がプロセスの状態に応じて必要な処置を取るのに便宜を与えるため、オペレータコンソールを操作することにより

ANALOG TREND, TREND LOG & DISPLAY, DEMAND LOG, PROCESS MEMORY PRINT & DISPLAY, MEMORY PRINT, ENTER DATA, ALARM SCAN FREEZE, ALARM SUMMARY, LIMIT PRINT, TIME DISPLAY, ENTER TIME, LAMP TEST, ON-LINE INITIALIZE, CONTROL CALCU-

LATION

の各機能を実行することができる。

5.3 コントロールプログラム

5.3.1 薬品注入制御

着水井へ導かれた原水を、水質基準を満足する浄水に処理するために薬品を注入し、沈でん・ろ過・滅菌の浄水処理を行なう必要がある。後続する浄水処理の運用に密接な関係のある薬品注入制御は薬品の種類により

(1) 前塩素注入制御 (2) 硫酸パッド注入制御

(3) 苛性ソーダ注入制御 (4) 後塩素注入制御

に分類され、各制御とも注入対象水々質に対応して適切な注入率を計算して制御する注入率制御を行なう。

(1) 前塩素注入制御

も(藻)類の駆除、バクテリアの発生防止、アンモニアの処理等を目的として注入される前塩素は着水井で加えられ、注入点より約15分流下した地点の注入効果を加味して補正を行ない、残留塩素が一定に保たれるよう制御する。

(2) 硫酸パッド注入制御

原水中に含まれる泥粒子をフロック状に凝集、沈でんさせるための凝集剤として注入される硫酸パッドは、急速かくはん池で加えられる。

制御は、原水々質に対応した基本注入率を計算し、さらに注入効果を加味して沈でん池濁度が一定に保たれるよう行なう。

(3) 苛性ソーダ注入制御

pH調整と、完全な凝集効果を発揮するための凝集補助剤として注入される苛性ソーダは、導水きよで加えられ、規定の注入率計算式を用いて基本注入率を計算し、注入効果を加味してpH値が一定に保たれるよう制御する。

(4) 後塩素制御

浄水の滅菌を目的として注入される後塩素は塩素混和池で注入され、ろ過水残留塩素で不足している塩素量を補なうことを基本とし、注入効果を加味して水質基準に規定された残留塩素値が保たれるよう制御する。

5.3.2 ろ過池制御

ろ過池制御に要求される事項は一般に、浄水の後処理であるため飲料水としてろ過するための個々のろ過池管理、公共性からくる給水態勢を整えるための水量管理、ろ過池の洗浄を水量に余裕のあるときに行なう洗浄管理があげられる。

当浄水場に採用した制御方式につき説明する。

(1) 洗浄制御

個々のろ過池管理データ(アプリケーションプログラムで整理)にもとづき、ろ抗到達の監視(2段階設けて)を行ない、プロセスの状態を確認して「洗浄」「洗浄待機」の適切な指令を行なう。

プロセスの状態確認は、洗浄条件(洗浄用水、汚水池の確認等)のほかに、浄水に余裕があるかも含まれる。

(2) ろ過流量制御

ろ過流量制御には、ろ過速度の変更と、か動ろ過池数の増減が考えられるが、後者を採用した。(HARD的には前者も実行できるよう考慮してある)。

制御方式は、水の有効利用・経済的運用をもとに浄水池貯留効果を利用し、また浄水場より送出される浄水量を考えあわせて適切なろ過水量を計算し、水量が不足気味であれば洗浄終了順位を調べて

「ろ過開始」指令を、また過剰気味であればプロセスの状態と個々のろ過池の損失水頭およびろ過持続時間を調べて「洗浄」「洗浄待機」指令を送出して、常に送水可能な状態に保つとともにろ過池の状態変化を少なくして一定運転が行なえるよう制御する。

5.3.3 送水制御

送水制御は、圧力・流量確保のため、送水圧力制御・送水ポンプ制御の2制御よりなり、送水圧調整弁・送水ポンプ台数(10台)の制御を行なう。

(1) 送水圧力制御

圧力制御は、送水端末目的圧力、および実送水流量により希望送水圧力を計算して行なう。一般に、送水管路の途中における分水状態の変化により送水端より見た管路の流水抵抗は激変することが予想され、本制御ではこのような現象が発生しても受水への影響が小さくなるよう考慮されている。

(2) 送水ポンプ制御

送水圧力制御で計算された希望送水圧力と、ポンプの運転状況より、ポンプQ-H特性曲線近似式にもとづきポンプ吐出可能流量を計算して運転ポンプ台数の増加・減少を判断する。なお、ポンプの起動・停止を行なう際には、ポンプの状態変化回数を減少して一定運転を行なわせるとともに、各ポンプの運転時間は一定になるよう考慮してある。

また、計算機からの制御信号によりプラントが正常に動作しているかを確認するためにポンプの状態変化を調べ、変化内容が計算機指令と一致しているかを調べて、不一致の場合は異常と判断し警報を発して操作員に知らせる。また、計算機から指令送出後一定時間経過しても変化がないときには、ポンプ制御不良の警報を発して送水ポンプ制御をフリーズする。

5.3.4 Emergency プログラム

浄水場プロセスの安全操業を行なうためには、プロセスの異常信号をすみやかに検知し、プロセス全体の運転状況をは握して、プロセスの運転上最適な方向付けを行なわせようとするものである。

プロセスの異常信号は5種類考え、各信号に対し、

水質の悪化を押える

浄水池に必要な水量を貯水する

浄水池のオーバー・フローを阻止する

を考慮して、操作員へ異常発生報知とともに、上記思想にもとづくプロセスへの制御信号を送出して、常に安全性・水道企業の公共性が満たされるよう配慮してある。

6. む す び

水の有効利用・経済的運用の一環として、村野浄水場に採用した浄水場計算機システムの概略説明を行なったが、このシステムは昭和42年1月に搬入し、以後順次拡張・改良を重ねながらより完全な計算機制御へと移行しつつある。

また、上記の目的を達成するため、マイクロ回線(12GHz)を導入して、大阪府水道部送水系に含まれる送水施設の集中管理を行なう「大阪府水道部集中管理システム」については、次号の「計算機特集号」に掲載する。

最後にこのシステムの計画・設計・工事にあたってご指導ご協力をいただいた関係各位、および設計・工事にご協力いただいた関係会社各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 森本：水道協会雑誌，No. 375，p 32，(昭40-12)
- (2) 江村：水道協会雑誌，No. 394，p 56，(昭42-7)
- (3) 大阪府営水道企業概要

トランジスタ化ろ過池洗浄制御装置

坂口 功*・松本 直巳**

Transistorized Washing Control Device for Filter Bed

Osaka Prefecture, Water Works Bureau Isao SAKAGUCHI
Mitsubishi Electric Corp., Head Office Naomi MATSUMOTO

In a cleaning bed of waterworks in recent years, the function of water treatment becomes of a great scale and automatic. With this trend various automatic control apparatus in use are rapidly increasing in number. To cope with it elevation of reliability on the equipment is acquiring importance a great deal from the viewpoints of the control and maintenance of the installation and also saving the trouble in the upkeep of contact. Washing control circuits of filter beds have resorted to sequential control with timers of contact type so far, but a new trial has been made to transistorize the control circuit. Experiments in the operation of new equipment have been made for about five months at Murano cleaning bed of the Osaka prefecture, resulting in success as outlined herein.

1. ま え が き

近年浄水処理設備においては、処理能力の増大、人手不足とともに自動化、計装化を行なうことが必要不可欠となり、大形電子計算機による水系全体の総括自動制御を行なおうとするところも少なくない。このように大形自動化が進み、使用機器の数量が増大すると、保守作業の省力化の面からも機器の信頼性向上が大きくクローズアップされ、最近の半導体技術の発達に伴い、従来補助リレーで構成されていたシーケンス回路の無接点化が考えられはじめている。

一方ろ過池の運転・洗浄制御は浄水処理工程上、その処理機能の大小を問わず必要な制御のひとつであり、またその制御方式はだいたいで標準化されており、特殊性の少ないものである。

われわれはこの点に着目して今回、コンパクトで取扱いも従来の制御機器と同様に容易なトランジスタ化ろ過池洗浄制御装置を試作し、大阪府水道部村野浄水場において約5ヵ月間にわたる現場運転試験を行ない、好結果を得たのでここにその概要を述べる。

2. ろ過池の洗浄システム

ろ過池は浄水場における最終浄化設備であり、沈殿処理された水を砂層、および砂層上にフロックによって生じたる過膜を通過させることにより浄化するものである。

ろ過池を長時間運転していると砂層がよごれ、損失水頭が増加してくるため、ろ過効率が悪くなる。したがって一定時間ごとに砂層を洗浄する必要がある。

ろ過池は一般に図2.1に示すごとく、5個ないしは6個の制御バルブ、すなわち、原水弁、浄水弁、表洗弁、逆洗弁、排水弁、(ろ過後排水弁)があり、そのおのおのの役目は表2.1のとおりである。

ろ過後排水弁は洗浄を完了してから、ふたたびろ過運転を開始する場合、砂層上にろ過膜が再生されるまでの間、ろ過された水は不完全な浄水として捨てるためのものであるが、最近の浄水場では、前処理沈殿設備の効率がよくなっているため、このろ過後排水は行なわれないことが多く、したがってこのろ過後排水弁もはぶかれることが多い。

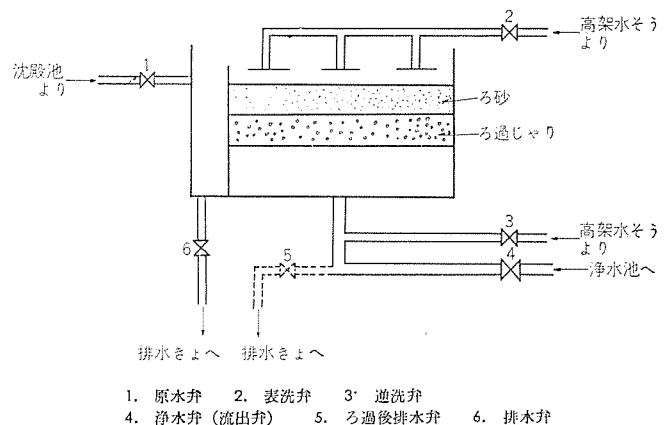
洗浄工程は、図2.2に示すとおりであるが、洗浄準備、洗浄、ろ過待の3工程に区分される。

(a) 洗浄準備工程

ろ過運転を一定時間行ない、損失水頭が上限に達すれば原水弁を

表 2.1 ろ過池のバルブ機能
Function of each valve for filter bed

原水弁	沈殿処理された水をろ過池に導入する。
表洗弁	高架水そうから供給される加圧浄水を砂層上面にふきかける表洗水を導入する。
逆洗弁	加圧浄水を砂層底面からふきあげて洗浄する逆洗水を導入する。
浄水弁	ろ過を完了した浄水を浄水池に導びく。
ろ過後排水弁	洗浄を完了した後、ろ過を開始したときろ過膜が再生されるまでにできた水を不完全な浄水として排水きよへ捨てる。
排水弁	砂層を洗浄したよごれた水を排水きよへ捨てる。

図 2.1 ろ過池の弁配置
Valve arrangement for filter bed

閉じてそのままろ過を続け水位の低下を待つ。

水位が設定値まで低下すれば、浄水弁を閉じ、排水弁を開ける。次の洗浄工程に移るためには、一般に洗浄水を供給する高架水そうおよび配管容量が一池分の容量しかないため、他の池が洗浄を行っていないことを条件とする。したがって他の池が洗浄中の場合は終了するまでこの状態で待期する。

(b) 洗浄工程

洗浄水は一般に前記したように高架水そう、またはポンプによって浄水を加圧したものを供給される。なお洗浄水流量は定流量制御されるのが普通である。(表洗・逆洗流量はおのおの $0.06\text{m}^3/\text{min}$, $0.7\text{m}^3/\text{min}$ が適当とされている。)

まず表洗弁を開き、ろ過池の砂層上に圧力水(ジェット水流)をふ

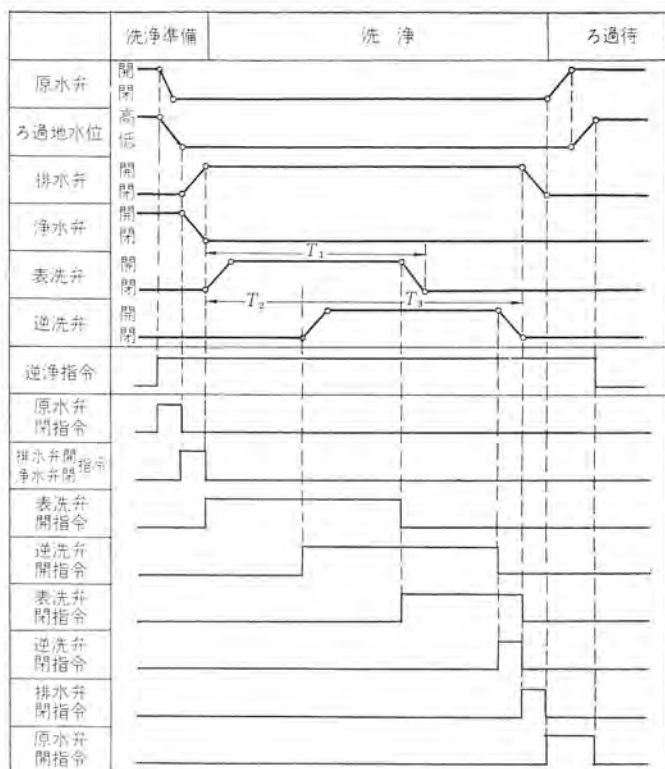


図 2.2 ろ過池の洗浄工程
Washing process of filter bed

きかけて砂層上にできたにかわ状の泥球を破壊し、さらに表洗を始めてから一定時間後（2～3分）に逆洗弁をあけて砂層の底より圧力水をふきあげて砂層を膨張させることにより洗浄する。表洗と逆洗の終了は、タイマーによる時限設定（5～6分）による場合と、洗浄流量積等値が一定値に達したことを条件とする場合とがある。

（c）ろ過待工程

表洗、逆洗が終了すれば排水弁を閉じて原水弁をあける。この場合、一度に原水が流れ込むとろ過膜が形成されにくいので弁をじょじょにあげるスロースタートが行なわれる。しかし電動バルブ等で操作機構そのものがかなりゆっくりした動作をするものはこれを行なわない場合もある。ろ過後排水を行なうのは水位が回復してからであるが、多くの場合これがはぶかれていることは、前記したとおりである。

3. トランジスタ化洗浄制御装置

最近の浄水場におけるろ過池の池数は、その浄水処理機能の増大とともに増加し、20池をうまわる所も少なくない。洗浄操作回路は従来接点式タイマーシーケンスによって組まれているが、池数が多くなるにしたがいその動作ひん度も増してくる。またその工程そのものは典型的なパッチプロセスであり、いずれの浄水場でもだいたい同様の形式で特殊性も少なく標準化が容易であるため、この回路をトランジスタ化して、ユニット機器として使用できる装置を試作してみた。

3.1 トランジスタ化の方針

ろ過池が複数池ある場合、洗浄は同時に1池しか行なわないので一般には洗浄シーケンス回路は1組とし、いずれの池を洗浄するかを選別する回路を別に設けている。今回トランジスタ化したのは、この中、洗浄シーケンス回路のみとし、池の選択回路は含んでいない。また接点シーケンス回路の中の1部の機器として使用できるよう、入力にはリミットスイッチ等の接点受渡しとし、出力もリレー接点出力とした。



図 3.1 トランジスタ化ろ過池洗浄制御装置
Transistorized washing control device for filter bed

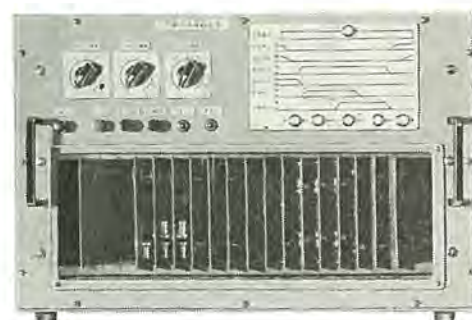


図 3.2 洗浄制御パネル
Washing control panel

装置の保護項目としては、制御電源異常、洗浄渋滞、外部故障による洗浄停止を考えた。これらの故障に対しては装置外に警報出力を出すと同時に、入力条件のいかにかわらず、浄水弁、表洗弁、逆洗弁に閉指令を出し、すべての工程記憶回路をリセットする。AC電源が停電したときは電動弁操作ができないため、工程を進めることはできない。そのため現在の工程を記憶するものとする。ただしAC電源が喪失したときはそのむね外部に知らせるとともに非常用電源のある所は浄水弁を閉じる出力を出すこともできる。本装置の全容は図3.1に示すとおりである。

3.2 トランジスタ化ろ過池洗浄装置の構成と仕様

本装置は設計頭初より大阪府水道部村野浄水場において既設接点シーケンスと並用して、フィールドテストを行なうことを目的として試作したため、できるだけコンパクトとし携帯の可能なものとした。本体は下記の3種の装置によって構成される。

(a) 洗浄制御パネル W500×H330×D280 (図3.2参照)

取付器具および収納品は次のとおりである。

- 制御用トランジスタカード
- 操作スイッチ
 - 洗浄指令用 (WA)
 - 急停止用 (3-5E)
 - 急停止リセット用 (3-5ER)
 - 洗浄渋滞リセット用 (3-WAFR)

- タイマー調整つまみ
 - 表洗時間設定用
 - 逆洗開始時間設定用
 - 逆洗時間設定用

- 工程表示ランプ

(b) 出力リレーおよび電源箱 W500×H330×D280

(図3.3参照)

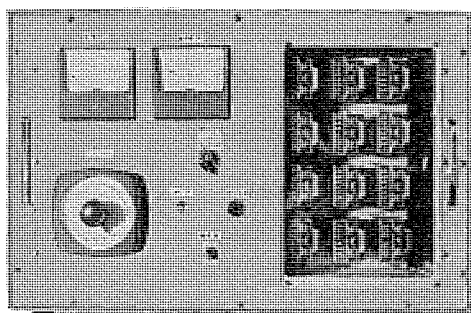


図 3.3 出力リレー および電源箱
Output relay and DC power source box

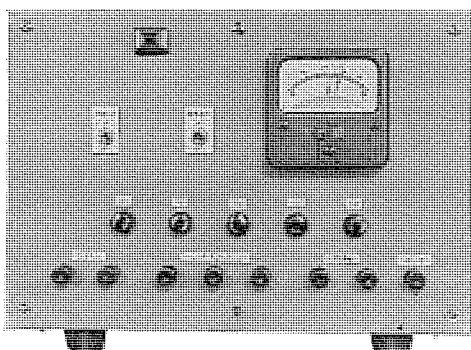


図 3.4 バッテリー電源箱 Battery box

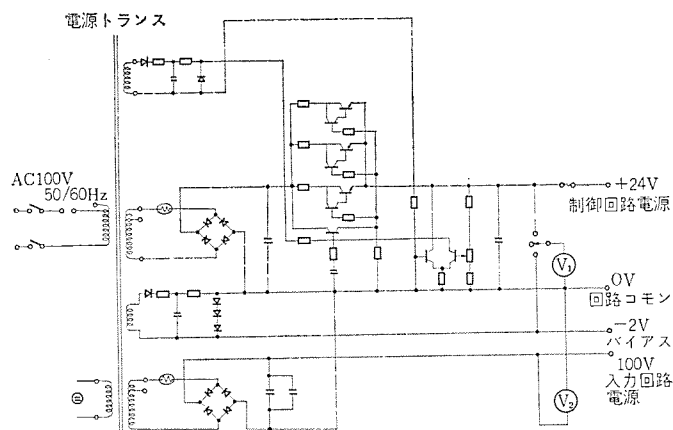


図 3.5 電源回路 Control power source circuit

取付品および収納品は次のとおりである。

- 制御用電源回路
- 出力ワイヤスプリングリレー
- 洗浄渋滞検出用タイマー
- 電源出力電圧監視メーター
- 電源電圧調整用つまみ

(c) バッテリー電源箱 W400×H310×D300 (図 3.4 参照)

メモリー回路電源用整流器、バッテリーを収納
共通仕様は次のとおりである。

使用温度範囲 0～50°C

電源 AC100V±10V 50/60Hz 40VA

入力 各 1a 接点

出力 ワイヤスプリングリレー 接点

1 出力 6a 接点

耐圧 電源一次対アース間 1500V 1分間

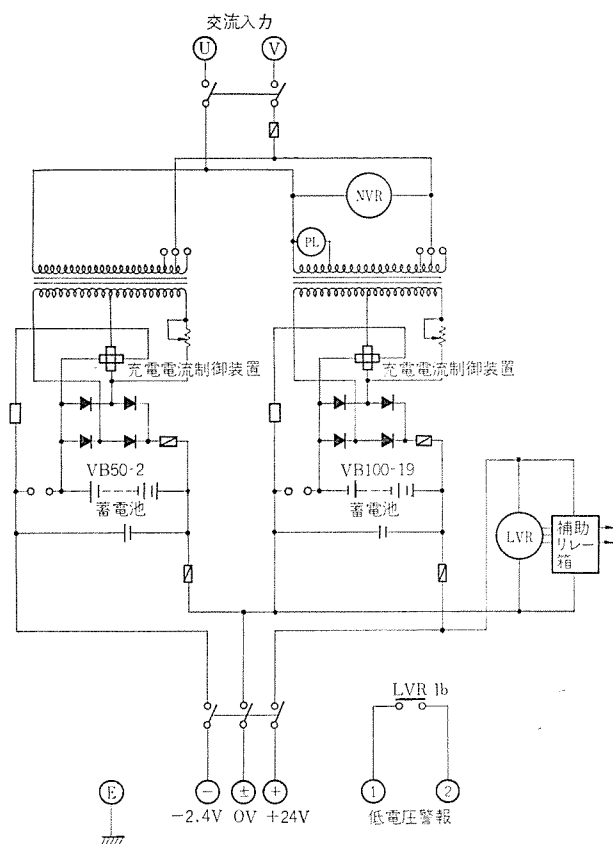


図 3.6 バッテリー電源回路
Battery power source circuit

AC 停電時工程記憶保証時間 2 時間

3.3 回路構成

(a) 電源回路

制御回路用電源電圧はコレクタ電圧 (+) 24V、バイアス (-) 2V を使用した。制御回路はスイッチング NOR 素子を主体としているので電源電圧の安定度はそれほど厳密には要求されないが、使用環境がノイズの多い現場機器に隣接するものと考えられるので、一応低出力インピーダンス電源にこしたことはなく、図 3.5 のような簡単な安定化電源回路を組んだ。入力回路用電源は特にノイズによる誤動作をきらうため、DC100V と高レベルとし、他の電磁リレー制御用電源とは別に専用電源とした。また AC 電源停電時の工程メモリー電源として別にバッテリー電源を用意した。本電源回路は浮遊充電方式の電源で、VB 形ボタン電池（焼結式ニッケルカドミウムアルカリ電池）を使用し、停電時間 2 時間を保証するものである。バッテリー電源回路は図 3.6 に示すとおりである。

(b) 入力回路

本装置は現場においては、通常の制御機器と同様の考え方で使用されることをたてまえとし、特殊シールドケーブルによる配線等を極力さけることにした。そのため入力回路電源としては、電磁機器雑音でよごされている所内バッテリー電源をさけ、前記した電源装置から専用の DC100V を供給するものとした。入力変換回路は図 3.7 に示すとおりである。トランジスタ回路への信号変換は抵抗分割で行ない、交流雑音は 2 段バイパスコンデンサでおさえ、さらにゼナーダイオードによって初段回路スイッチレベルを 12V と高レベルとしている。本回路については工場内テストで、この入力伝送線に 20m の平行線をはり、種々の電磁リレー、プザー等を動作させた場合にも出力端に誤信号が現われないことを確かめた。

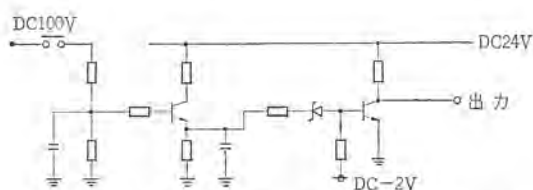


図 3.7 入力変換回路 Input transfer circuit

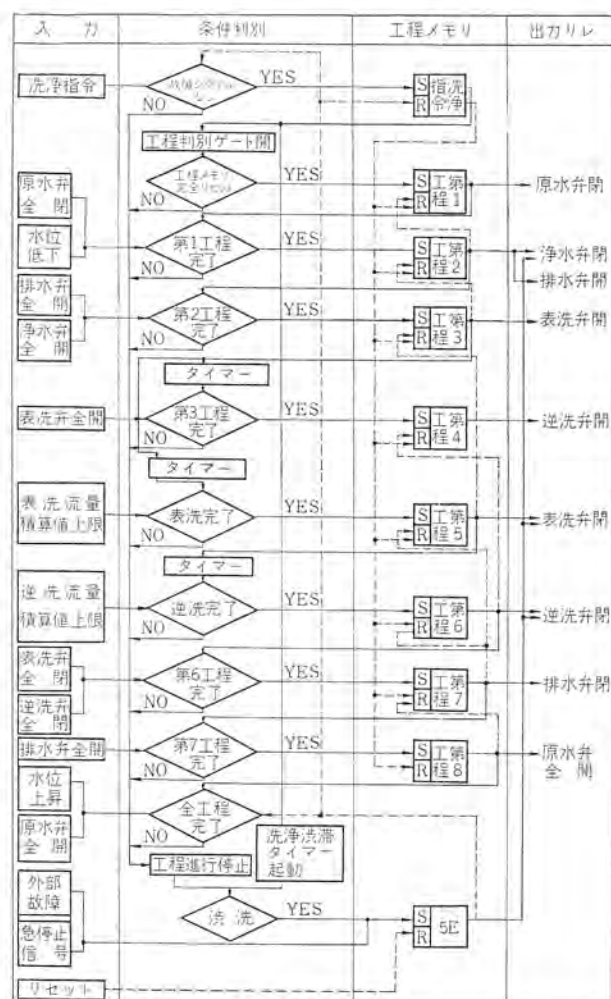


図 3.8 制御回路ブロック図
Block diagram of control sequence

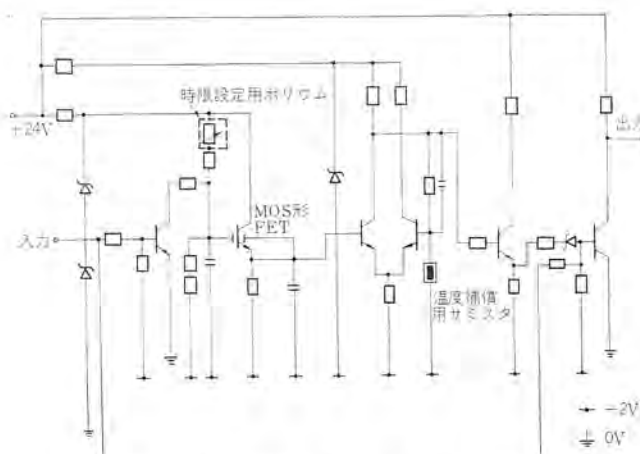


図 3.9 タイマー回路 Timer circuit

(c) 制御回路

制御回路はシリコントランジスタによる NOR 素子とその基本要素としているが、安定動作を期するため、ON レベルコレクタ電流を比較的大きくとり (約 10mA)、ノイズマージンを大きくとっている。またメモリー回路は 2 安定フリップフロップによって構成するが、本要素も高速動作は要求されないので、反転時間を極力遅らせている。制御回路構成は図 3.8 に示すとおりである。

AC 電源停電時にも現工程を記憶するため、前記したようにメモリー回路のみ専用バッテリー電源よりパワーを供給している。なお AC 停電時にはメモリー回路以外の回路素子、たとえば要素出力増幅用のエミッタフォロフ等の機能が失われるため、メモリー回路から信号ラインを通してパワーが漏れ、それによってメモリー回路自体の記憶動作ができなくなることがあるが、本回路では結合素子にダイオードを使用してその正方向抵抗を利用してこれを防いでいる。

(d) タイマー回路

本装置には、表洗時間、逆洗時間、表洗開始後逆洗を開始するまでの時限を設定するタイマー回路を必要とするが、これらはすべて 5 分～10 分という比較的大きい時限を要求される。そこで価格的にも安価で構成の容易な MOS 形電界効果形トランジスタを用いた CR タイマーを使用した。本回路は図 3.9 に示すように、CR 時限回路、シュミット回路によるレベル判別部、出力波形成回路で構成している。

MOS 形電界効果形トランジスタは当社製 3SK-15A を使用し、コンデンサは湿式タンタルコンデンサを使用した。温度変化に対する誤差は、CR 定数の温度による変化およびシュミット回路のスレッシュホールドレベル変化が大きく影響するが、これらを一括してサーミスタによりシュミット回路段で補正している。時限精度は周囲温度 0～50℃で最大安定時間の±5%と実用上問題のない値を得ている。なお洗浄洗滞はタイマー約 1 時間の長時限を要求されるので動作ひん度と価格の面から機械タイマーを使用した。

(e) 出力回路

出力回路は接点シーケンス回路への接続を考え、接点出力とするが、池数の多い場合は多回路の出力接点をとれることが望ましく、また半導体回路とのバランスをとるためにも、長寿命で多接点のとれるワイヤスプリングリレーとした。リレー付勢回路はトランジスタダーリントン回路による直接付勢とする。本来リレー付勢回路電源は、ノイズの影響をさけるため制御電源と区別されるべきものであるが、今回は電源端子数が多くなるため共通電源とした。そのためすべてのリレーコイルにはダイオードとコンデンサによるサージキラーを設けた。

(f) その他

洗浄指令、急停止等のシグナルはこの装置自身でも入れられるよう操作スイッチを、また現在の工程を監視するための工程表示灯を洗浄操作パネルに設けた。外部回路との接続はすべてマルチコネクタ接続とし、回路の動作状態のチェックは別にチェックパネルを設けて、模擬入力信号を入れ、出力状態はネオンランプで監視するものとした。

このチェックパネルは図 3.10 に示すとおりである。

(g) 試験

本装置は 22 池のろ過池を有する大阪府水道部村野浄水場において昭和 43 年 11 月 1 日より昭和 44 年 3 月 15 日までの約 5 カ月間実際に運転し、その動作状態と信頼性の確認を行なったが、その間における問題発生は皆無であった。



図 3.10 チェック パネル Check panel

4. む す び

近年、いろいろな制御装置、器具の無接点化がクローズアップされているが、従来補助リレーで構成していたシーケンス回路に対しては目がむけられていない一面がある。それには価格的な面、使用ひん度の多少、回路の重要性等いろいろ検討要素はあろうが、また使用される側においてもこのような半導体回路に対し、サージによる素子の破壊、ノイズによる誤動作、工事、使用環境の特殊性に対する危具の念が強く、このような装置の適用にブレーキがかけられている面があるように考えられる。ここに紹介した洗浄制御装置は全体的な見方をすればほんの一部の装置にすぎないが、今回の試作試験によって、このような装置も適当な配慮を行なうことにより従来の

制御器具と同様のとりあつかいができることが証明できたわけである。

このようにトランジスタ化された制御装置のメリットは次のようなものがあげられる。

(a) 回路素子として半永久的の寿命を有するトランジスタを使用しているので、日常の維持管理が容易となりかつ接点保守作業を大幅に削減できる。

(b) 制御用電力消費量の節減

(c) 装置がコンパクトになる

(d) 計算機制御など他の電子機器との信号の授受が容易となる。

(e) 外部入力条件が1条件1a接点でよく、現場機器に多くの条件スイッチを置く必要がなく、ひいてはケーブル節減にもなる。

また従来は制御シーケンスのみを無接点化しても、最終的な操作用力部にマグネットコンタクトを使用するため、結局は接点シグナルに変換せざるをえなかったが、大電力、高耐圧パワートランジスタやサイリスタが出現している昨今では、この問題も技術的には完全に解決されている。しかし価格的には現在のところまだ割高となっており、素子メーカーの奮起に待つとともに、使用量の増大に伴う価格の低減を期待したい。

最後に本装置の製作、試験にあたって多大のご協力を賜った大阪府水道部村野浄水場を初め、社内関係各位に深く感謝するものである。

水系ゲート制御

安田 宜弘*・渡辺 一弘*

Gate Control for River Regulation

Head Office Yoshihiro YASUDA・Kazuhiro WATANABE

Management of rivers has been consisting in the utilization for power generation and the flood control. Marked increase in the demand of industrial water, city water and irrigation water of late has come to pose a new problem of how to make effective use of river water in the overall development of land. In carrying out rational utilization of river water consideration shall be given not only to localized operation of dams at individual installations and waterways, but to composite development of river system from source to mouth of them. This article makes description on gate control as a nucleus of the discussion for the purpose of collective management of water system.

1. ま え が き

昔からいかにして水を得るか、いかにしたら水害から免れうるかということは、一国の政治、経済の中心課題となってきた。近代文化の発達に伴い、従来のかんがい用水に発電用水が加わることにより、河川の水利用は急速な進展を示したが、河水利用に関する競合は、人為的に流況を変化させる発電事業、自然条件に起因するかんがい用水にとどまらず、めざましい最近の工業の発達による工業用水の増加、都市人口の過密化による水道用水の需要などにより、局地的なものから漸次区域的なものへと拡大された。したがって多目的貯水池や湖沼などによって、水系一貫運用の立場から河川の流量を、効率のかつ有機的に調節し、治水、利水に総合的な効果を発揮させねばならなくなった。

このような水系管理を行なうために、水系の解析ゲート操作方式の検討ならびに計算機、集中管理装置の導入が盛んに行なわれてきている。本文では、河川管理上の基本的な考え方および水系の運用上からみた種々のゲート制御方式につき述べる。

2. 河 川 管 理

水系を一貫して運用するという観点から、河川管理を考えてみると、治水について言えば、上流から河口まで安定した河道を維持するものであるとともに、水理的にも、上流・下流を通じて矛盾なく、安全度においても調和のとれたものでなければならない。このため上流部においてはできるだけ、洪水の流出を遅滞せしめて、下流に対するピーク流量の緩和を計らねばならない。この意味で、ダムは、洪水・大洪水・異常洪水などに対処できるようにしなければならない。

利水の分野にあっては、関係分野が、かんがい、都市用水、発電と多岐にわたり水利権の利害が問題となることがしばしば生じる。ダムや頭首工を作って、新たに水を取水しようとする場合、下流の既得水利がいかに被害をこうむろうとも、上流で取水してしまうといったやり方を防止するよう管理する必要がある。すなわち、上下流調和のとれた適正な水配分を効果的に行なわねばならない。

治水、利水を総合した開発事業としては、多目的ダムがよく知られているが、湖沼の開発や河口(せき)堰の建設が、水源から河口に至る水系一貫開発の一部として、最近注目されるところとなった。

湖沼の開発は天然の貯水池である湖沼の流量調節機能をさらに増大させようとするものであるが、潮水位の変動に伴う、治水利水効果について上下流の対立がいちじるしい場合が多いので、利益を均分するような配慮が必要となってくる。河口せきは、従来の多目的ダムと異なり、河川維持用水の確保とその転換利用などの調和を計ろうとするもので、潮汐の干満による調整機能を利用し、河川に塩水の混入を防ぎ、貯水能力を増加させる。

これら一貫した水系を経済的に運用するためには、受益地の治水上、利水上の性格を正しくは握る必要がある。多目的貯水池について考えれば、洪水調節のためには、貯水池を空にし、洪水時の放流をできるだけ少なくして治水効果を発揮したいし、発電目的からは、満水位を維持し、高落差を利用して電力事情に応じた水の使用が望ましい。かんがいはいかんがい期間に所要の補給を、都市用水は年間を通じて所要の供給を望み、それぞれ所要量の貯留をダムに期待している。

このように種々の利害得失が共存する水系を有機的、総合的に運用する目的で、定放流制御・定貯水制御・定取水制御など種々のゲート制御方式が採用され、一貫した管理を行なうための計算機、遠方制御装置、雨量や水位を測定する計測装置などゲートの制御装置への導入が最近とくに盛んとなってきている。

3. ゲート制御

河川管理について、2章にて説明したが、これらのゲート制御の具体例につき、いくつかの計画実施例を述べる。

3.1 逆調整池の流量制御

河川の水のエネルギーは古くから水力発電に利用されているが、最近の傾向として、水力発電所はピークロードをまかなう場合が多い。そのような発電所の放流は急激な増減を伴うので、下流の農業用水、河川漁業に悪影響をおよぼす。このため、発電放流を元の自然放流に近い姿で再放流する目的で発電所下流に逆調整池が設けられる。

この逆調整池に設定されるゲートは、前記のように流入量の増減および逆調整池の水位にかかわらず、下流放流量を設定した定流量となるようにゲートの開度が調整制御されるが、少水量の季節時の調整を考慮して大小2門以上の調整ゲートを設ける。洪水時のような調整能力以上の出水時には、調整池水位の上昇を検出し、全ゲートを全開放放流する。水位が元に復せば、再び定流量制御を開始する。

3.2 ダム貯水量制御

河川をせき止めて貯水するダムは、特定多目的ダム法に定めるとく渇水期・農繁期、その他の要求にそなえて、下流の田畑に必要な水量をいつも貯えておかねばならない。また必要以上の貯水をみとときには洪水調節容量を確保するため、規定水量まで下げるようにダムにとりつけた放流ゲートを制御して放流する必要がある。ダムの貯水量は、ダムの地形が固定しているので水位からきまってくる。それゆえ雨が降ってダム水位が増加したときには、下流へ放流しなければならない流量がわかり、下流に対し悪影響を与えないようにその増加分を放流しなければならない。洪水時、満水位を越える場合にはダム流入量をそのまま放流する。渇水期には、田畑の要求する水量に従い放流するのであるが、貯水量と放流する時期、期間から放流すべき流量がきまり、その流量を流すのに必要なゲート開度が決定される。このようなゲート制御を行えば、洪水防止とともに下流の田畑に対するかんがい用水は常に確保されることとなる。

3.3 表面放流制御

ダムの貯水をかんがい用として利用する場合には、下流に存在する田畑への冷害を防ぐために、貯水の表面の温い水量のみを放流することが必要であり、放流期間、放流面積と貯水量から決まる一定水量を放流しなければならない。

このような制御を行なうには、ダムからの放流口に多段スルースゲートを設け、このゲートの上段を越流してダムの表面水のみ放流するようにする。そしてダムの水位変化に追従してゲートの高さ＝ダムの水位－ α (α : 設定表面水位) となるようにゲートを上下すれば、一定水量を下流に放流することができ、下流の田畑はこの水を取水することができる。またこの放流水をかんがい用としてのみ利用するのではなく、小さな発電用として利用し、その後かんがい用水とすることもある。

3.4 頭首工による取水制御

水量の豊富な河川からかんがい用水・飲料水などを取水する場合には単に河川の水位によってその水位に見合った最大取水量を取りきめておき、それを目標に取水する程度の運用方法でよいが、水量の少ない河川から取水する場合、下記のようなきめの細かい運用方法が必要となる。

下流へ責任放流量を放流するための微調ゲート、貯水ダムへ流域変更し取水するための取水ゲート、さらに多量の出水時に下流へ放流するための洪水吐および土砂ゲートを設ける。

(1) 頭首工流入量<責任放流量の場合

流入量をそのまま下流へ放流する。

(2) 責任放流量<頭首工流入量<最大取水量の場合

微調ゲートで下流へ責任放流量を放流しながら取水ゲートで貯水池の水位を一定に保つように取水する。

(3) 責任放流量+最大取水量<頭首工流入量の場合

微調ゲートにて責任放流量を放流し、取水ゲートにて最大取水量を取水しながら、洪水はけ、土砂はけにて貯水池水位を一定に保つよう下流へ放流する。

もともと水量の少ない河川からの取水であるので、1ヵ所の頭首工から取水できる水量はあまり多量ではない。したがって、この取水した水を別の河川の頭首工へ導入し、その頭首工では、前記と同様な考え方で、その河川より取水する水と、前記の河川からの導入量との和を取水し、別の貯水量の大きなダムへと導入する。または、前記のような頭首工数箇所を導水路を経て取水し、貯水ダムへと導

入する。

3.5 感潮河川浄化取水制御

大都会の中を流れる少流量の河川は、工場の廃液、各家庭よりの汚水等が流入し汚染され公害問題となる場合がある。この一つの解決方法として、近くに流量の豊富な川があればその川の水の一部を汚染された河川に流域変更のうえ、放流し浄化する方法がとられる。

この場合汚染河川が感潮河川の場合、一定量放流では満潮時には浄化効果が少なく、逆に干潮時には流速が大となり浄化効果が大きい。したがって、潮の干満に対応して放流量を変えれば、一定量放流に比し総合放流量が少なくても大きな効果が得られる。この目的で季節的な水量の多少に応じて1日平均流量を設定しておき、汚染河川水位の時間的変化から潮の干満を検出し、また汚染河川の水位から、設定平均放流量の水にて最大の浄化効果をあげ得るようにその時刻の最適放流量を算出する。一方、豊富な水量の河川の水位とその取水口に設けた取水ゲート開度から実放流量を計算し、実放流量が最適放流量となるように、取水ゲート開度を調節する。

放流量の決定は上記の水位変化によって自動的に決定する方法のほかに、手動設定されたプログラムにより自動調節を行なう方法が採用される。また、上記水位変化の算出も波による瞬間的変化の影響をなくするために数回の平均値をとる方法が採用される。

3.6 河口せきによる中池の制御

かんがい用水の確保、貯水のためにダム、ため池などがあるが、他の一方法として河口せきを利用した中池の利用が考えられる。河川の河口にゲートを設置し中池を形成し、海水が中池に流入せぬよう中池の淡水水位を常に海の水水位より高くしておけば、中池は淡水貯水池として使用できる。

このゲートの制御は下記を考慮して行なわれる。

(a) 中池の水位 $\geq$ 海の水位+ α (α =海水流入防止帯) となること、したがって、満潮時はゲートを全閉する。

(b) 海への放流量は小舟、魚群への影響なきよう、できるだけ定流量とする。

(c) 中池の水位をあるバンド帯にはいるよう定水位制御し、中池の水を海へ放流する。

海の水位は潮の干満により周期的に変化するので、(a)項を満足できる放流可能時間を前日の潮位曲線より決定し、中池の水位より放流必要量を算出し、

(放流必要量/放流可能時間)=平均必要放流量

として放流量を求める。いっぽう中池と海の水位差およびゲート開度から実放流量を算出し、実放流量が必要放流量に等しくなるようゲートの開度を操作する。

4. 制御と計測

前章では、一口にゲートによる水系制御と言っても、その目的、設置場所等によって種々の方法がとられることを記載したが、ゲート一門ずつの動きを眺めれば、そのゲートを動かす目標は終局的には、その時刻に必要な流量を放流または取水する(流量制御)、あるいは、貯水池の水位がある目標になるように放流または取水する(水位制御)の二つの制御方式に集約される。

水系制御の目的、規模によって、流量または水位の目標値が単に一定値であるもの、そのときの水位、ゲート開度、流量によって計算し決定されるもの、さらに他の水系、気象条件等の外部要因が加味されて複雑かつ高度な制御が行なわれるものもある。

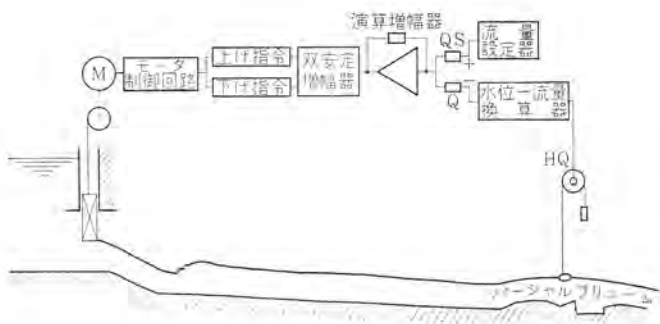


図 4.1 流量制御構成図
Schematic diagram of flow control.

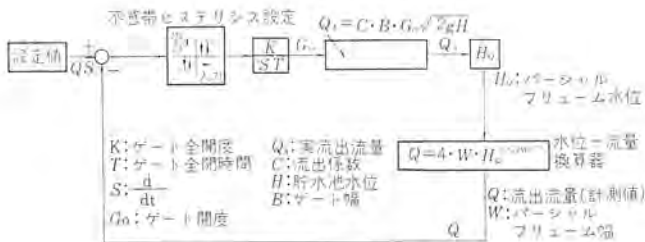


図 4.2 流量制御系ブロック図
Block diagram of flow control.

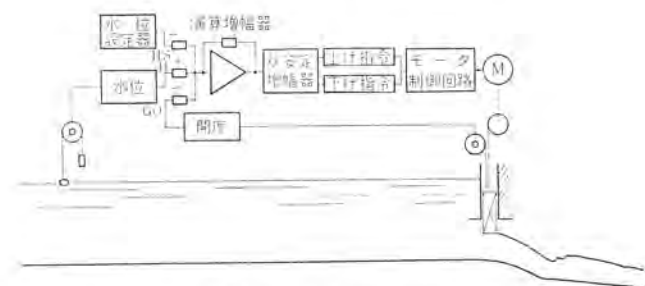


図 4.3 水位制御構成図
Schematic diagram of level control.

ここでは、基本である流量および水位制御を簡単な ON-OFF 制御で行なう場合、ならびに流量計測方法について述べる。

4.1 流量制御

構成機器を図 4.1 に、ブロックダイアグラムを図 4.2 に示す。ただし流量計測は 1~8(ft) の パーシャルフリュームを使用した場合を示す。

放流流量が簡単に検出できれば単に実流量と設定流量が等しくなるようゲート開度を調整すればよいので図のごとく簡単な系でよい。

しかし、開水路の流量検出方法としては、(1)パーシャルフリューム式、(2)せき式、(3)水路の水位による測定など、いずれも水位により流量を換算する方法がとられる。この水位の検出には波の影響を受けない安定した個所を選ぶ必要があり、そのために水位の検出点がゲートの設置場所からかなり離れる場合には、制御系はむだ時間を含むことになるので、図 4.1 の双安定増幅器の部分を実変換器に置き換えむだ時間を吸収できる制御系とする必要がある。パルス変換器のパルス間隔は水の制御の場合、ハンチング防止のために分単位の間隔とれるものが必要であり、このパルス間隔は制御系の応答性を増すために、入力の偏差に応じてパルス間隔またはパルス幅の変化するものが望ましい。すなわち偏差が大であれば、パルス間隔小(または、パルス幅大)とし制御速度を早め、偏差が小であれば、パルス間隔大(またはパルス幅小)とし、制御速度を遅くして安定化をはかるのがよい。

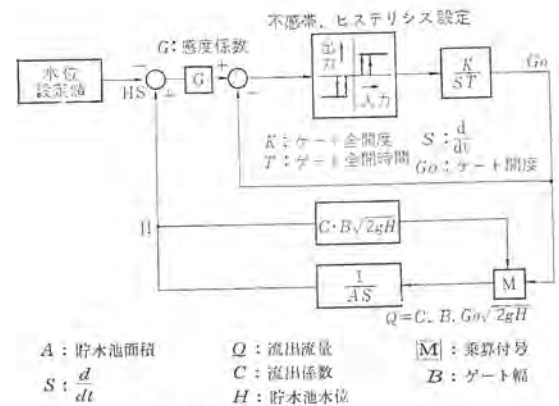


図 4.4 水位制御系ブロック図
Block diagram of level control.

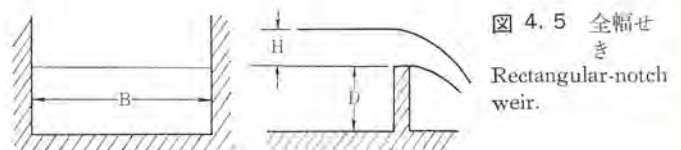


図 4.5 全幅せき
Rectangular-notch weir.

4.2 水位制御

構成機器を図 4.3 に、ブロックダイアグラムを図 4.4 に示す。

水位という積分要素を含む制御系を簡単な構成機器で制御するために、系の安定化を計る目的でゲート開度をフィードバックしている。このため、実水位はゲート開度に関連した偏差を持つことになる。この偏差を零とする目的で演算増幅器に積分要素を持たせる方法がとられるが、この値の選び方によってはハンチングの原因となるので注意を要する。

また、水位の検出も波の影響により振動すれば、系もハンチングするので、この影響を避けるために、流量制御の項にて述べたパルス変換器を使用するのが望ましい。

ON-OFF 制御により水位、または流量制御を行なう場合は、ゲート操作モータの操作用コンタクトは入切のひん度が大きくなるため、サイリスタコンタクト、アークレスコンタクトなど、長寿命のものを選ぶ必要がある。

4.3 流量の算出方式

河川、開水路の流量を直接測定することは困難で、一般には導水路の場合は水位から、貯水池よりの放流、取水の場合は水位(または水位差)とゲート開度から、また貯水池の流入量は下記のように間接的に求められるのにすぎない。

貯水池流入量 = 貯水池からの放流量 + (貯水池面積 × 貯水池の単位時間あたりの水位変化)

流量の計算式は種々の実験式があるが、一般に用いられている代表的なものを列記する。

4.3.1 開きよ(渠)導水路の流量測定方法

(1) 全幅せき(石原・井田公式による) 図 4.5 参照

$$Q = CBH^{\frac{3}{2}}$$

$$C = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{H} + 0.237 \frac{H}{D} \right) (1 + \epsilon)$$

Q : 越流量 (m³/s)

B : せきの幅 (m)

H : 越流水深 (m)

D : せき高さ (m)

ε : 補正項 $\begin{cases} D \leq 1m \text{ のとき } \epsilon = 0 \\ D > 1m \text{ のとき } \epsilon = 0.55 \times (D - 1) \end{cases}$

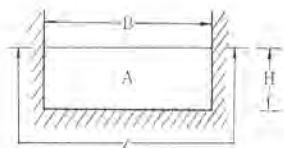


図 4.6 開水路
Open-channel.

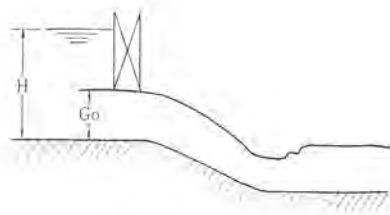


図 4.7 スルースゲート
Sluice gates.

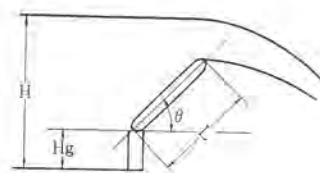


図 4.8 転倒ゲート
Hinged-leaf gates.

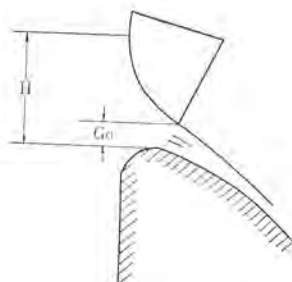


図 4.9 テンタゲート
Tainter gates.

(2) 開水路 (Mannig 公式による) 図 4.6 参照

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{3}{2}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Q : 流量 (m^3/s)

A : 通水断面積 (m^2)

n : 粗度係数

R : 径深 (流水断面積 A /潤辺長 l)

I : 水路こう配

上記中 A , R は水路の形状によって異なるが、水深 H の関数である。長方形開水路を例にとれば図 4.6 より

$$A = RI$$

$$R = \frac{A}{l} = \frac{BH}{(B+2H)}$$

4.3.2 ゲート開度と貯水池水位による流量測定

(1) スルースゲート (自由流出) の場合、図 4.7 参照

$$Q = CBG_0\sqrt{2gH}$$

Q : 流出流量 (m^3/s)

C : 流量係数

B : ゲート幅 (m)

G_0 : ゲート開度

H : 貯水池水位 (m)

(2) 転倒ゲートの場合、図 4.8 参照

$$Q = CB(H - H_g - L \sin \theta)^{\frac{3}{2}}$$

Q : 流出流量 (m^3/s)

C : 流量係数

B : ゲート幅 (m)

H : 貯水池水位

H_g : ゲート設置高さ (m)

θ : ゲート開度 (度)

L : ゲート長さ (m)

(3) テンタゲート (ダム上よりの放流) の場合、図 4.9 参照

$$Q = CB\{H^{\frac{3}{2}} - (H - G_0)^{\frac{3}{2}}\}$$

Q : 流出流量

B : ゲート幅 (m)

H : ダム頂上よりの水深 (m)

G_0 : ゲート開度 (m)

4.4 計算機の利用

4.1 節、4.2 節で流量および水位制御について述べたように、個々のゲートを単独にしかもあまり精度を必要とせずに制御する場合は制御装置は簡単なものでもよい。しかし、実際の水系の運用上、流域一帯の利害がからむ水の管理は単にゲート開度、水位のように実測値をそのまま使用できる数値よりも流量による運用記録が中心となる。流量の算出には 4.3 節で述べたように複雑な算式が必要であり、式中単に流量係数 C として常数のように表わした数値でさ

えも細かく言えば水深との関数であり、正確な流量の算出のためには現地での実測の結果によりはじめて定め得るものが多い。

したがって、流量で管理する場合には、流量算出のために係数可変の高度な演算装置が必要となる。さらに、ゲート数が増し、相互に関連して総合的に運用する場合には、規模の大きな演算制御装置が必要となり、計算機の適用が検討される。

制御に使用する計算式が少数多種で、単機能のあまり大形化しない制御装置としては、非線形の関数変更が容易で速応性の良いアナログ計算機が価格的にも適用されるであろうし、同一計算式を多量に処理する場合 (たとえば、同一形式のゲートが多くあり、単に常数、係数のみを変更して処理できる場合)、デジタルテレメータと直結する場合などは、時分割にて多量のデータを処理できるデジタル計算機が適用される。

また、洪水時などの予測制御、水系の最適制御を行なう場合など、計画時点から完全な理論計算式が決められず長期の運転結果を分析、考察しながら計算式を変更し完全なものとする必要のある場合には、あき時間を利用して科学技術計算が可能な大形計算機の適用が検討される。

5. 今後の課題

水系を総合的に運用する場合、一般のプラントの運用と最も異なる点は、制御対象への入力、すなわち、降水量が時間的に定まった形をとるのでなく、統計的にしかは握されない不規則性を有していることである。

また、水系のように、時間遅れの大きい特性を持つ制御対象を制御する場合には、結果をみてから操作量を定めるというフィードバック制御系では満足な結果は得られず、制御対象の将来の結果を予測して操作量を定めるフィードフォワード制御系を構成しなければならない。したがって、大形計算機が必然的に導入されることとなり次のような、自然科学の情報とあいまって、水系管理を行なうことが望ましい。

(1) 気象予測

気象学、予報設備の発達により、だんだんと正確な長期降水予報が行なわれるようになってきているが、これらの予報を水系管理に導入すると、大雨が降る前にダムは予備放流を行ない洪水貯水能力を増すことができるし、渇水期には放流流量を制御して、かんばつ

表 6.1 水系制御装置の納入実績
List of gate control and river regulation system.

納 入 場 所	装 置 名 称	概 要	納 入 年 月 日
東 北 地 方 建 設 局	北上川洪水計算用電子計算機	非線形偏微分方程式をアナログ計算機で雨量関数をデジタル的にそう入するハイブリッド計算機	昭和38年3月 昭和40年3月(増設)
国立防災科学技術センター	洪水シミュレータ	アナログ計算機(EA-7180形), デジタル計算機(MELCOM-1101形)とハイブリッドリンケージ(MEL-LINK-1101)よりなるハイブリッド計算システム	昭和40年4月
関西電力東海支社	三浦ダム出水流量計算機	雨量関数をデジタル的にそう入できるアナログ計算機	昭和40年7月
金沢市上寺津発電所	犀川ダムデータロガ	データロガー MELDAP-6000 H 形による発電量のプログラム制御および水位流量の日報作成, 洪水期のダムゲート開度予備制御	昭和40年12月
神奈川県企業局城山ダム	相模水系計算制御システム	デジタル計算機 MELCOM-1530 形による相模水系の洪水時および平常時の各ダムゲートの最適制御をおこなう	昭和41年10月 (1)
三重県三瀬谷発電所長ヶ逆調整池	長ヶ逆調整池ゲート制御装置	アナログ計算機による定放流ゲート制御(制御ゲート2門) デジタルメータ遠方監視制御による無人化こう(開)門式魚道自動制御	昭和42年2月 (2)
愛知用水公団大入, 振草頭首工	大入および振草頭首工ゲート制御装置	デジタル計算機(MELDAP-8000)による定放流, 定水位ゲート制御(制御ゲート大入4門, 振草6門) VHF デジタルテレメータ遠方監視制御による無人化	昭和43年3月 (3)
愛知用水公団駒場池	駒場池ダムゲート制御装置	ON-OFF 制御による定流量制御(制御ゲート1門) 直送式遠方制御による無人化	昭和43年3月 (4)
愛知用水公団大野頭首工	大野頭首工ゲート制御装置	ON-OFF 制御による定水位制御(制御ゲート1門)	昭和43年3月
関西電力寝覚発電所	寝覚発電所取水ゲート制御装置	P. I 調節計による定水位制御(制御ゲート1門)	昭和43年3月 (5)

に対する用意を行なうことができる。

(2) 全降水量の測定

ダム の放流制御, かんがい用取水制御など有効な水利用を行なうには, 降水量を正確に測定して, 河川流出量を予測することが必要である。しかし, 河川流出量となる水量は, 各観測点の降水量そのものでなく, 注目している河川の流域内の全降水量であるから, 各観測点の情報, 流域内の地形, 標高などから正確に全降水量を知る方法が必要となる。

(3) 流出特性の解析

水系の運用を考えた場合, なんらかの形で水系のモデル化を行ない定量的な水系をは握する必要がある。

降雨から河川流出量となる水文現象にともなう時間おくれ(流出特性)や, 上流地点から下流地点への流下にとともなう時間おくれ(流下特性)などを考慮した特性が明確には握されれば, 一貫した水系を最適に制御することができる。

以上, 述べたような問題を解決すべく, 多くの人達によって, 努力, 解析され, いろいろな方法も考案されているが, まだ完全な方式ではない。これらの研究とともに, ダムの制御, 水系制御には, アナログ・デジタル 計算機の導入がますます盛んとなり, 複雑な計算を行なわせて, 水系の解析を行ない, 雨量の水位の情報から河川流量, 洪水を予測し, 適切な処置をとらせる制御系が多くなろう。また, 降水量の情報伝達, 気象予報の連絡, 流域内に点在するダム, 頭首工の一貫したゲート制御のために遠方監視制御装置の導入が当然のこととなるであろう。

6. 水系制御, ゲート制御の実績

水系制御システム, ゲート制御装置は当社も数多くの実績を持ち, 個々についてその詳細はそのつど, 三菱電機技報・雑誌などに紹介されてきたので本文では表 6.1 に列挙するにとどめる。

7. む す び

最近の河川の有効利用に対しては, 従来のダム, 幹線用水などの局地的な運用から, 水源より河口までの一貫した水系を合理的に運用する方向へと変わってきた。そのため, 電子計算機, 遠方監視制御装置などが導入され, より合理的運用へと研究が進められている。

本文では, これら水系運用の一考察として, 水系ゲート制御について述べたが, 今後の水系制御の計画に対し, なんらかのご参考にできれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 城所ほか: 三菱電機技報, 41, No. 5 (昭 42)
- (2) 西島ほか: 三菱電機技報, 43, No. 3 (昭 44)
- (3) 松本ほか: 三菱電機技報, 43, No. 4 (昭 44)
- (4) 藤井ほか: 三菱電機技報, 43, No. 6 (昭 44)
- (5) 後藤, 渡辺: OHM, 55, No. 13 (昭 43)
- (6) 建設省河川局: 日本の多目的ダム(昭 38) 山海堂
- (7) 土木学会: 水理公式集(5版)(昭 40)

AF-210 形超音波流量計

吉山 裕二*・芥 和 弘*・田井 昌輝**・梶田 征也**・古木 寿人**

Type AF-210 Ultrasonic Flow-meter for Large Diameter Ducts

Central Research Laboratory Yuji YOSHIYAMA・Kazuhiro AKUTA

Kobe Works Masateru TAI・Yukiya MASUDA・Hisato KOGI

Type AF-210 ultrasonic flowmeters are devices to make continuous recording of fluid flow from outside of piping by using ultrasonic waves transmitted through it. Being of outer wall monitoring type, they do not hinder the flow, cause no loss on the pressure head and can be attached to existing piping with ease. The device is more suited in the measurement of large diameter and large capacity installations than other flowmeters. Because of the quick response, they are used not only for the flow measurement and control with water works, sewerage systems, industrial water supply and agricultural irrigation, but also for the efficiency measurement of water wheels and pumps and the transient flow measurement of their stopping and starting. They are applicable to the cases of pipe diameter 800~5,000 mm, a range of flow speed 0~10 m/s. (the minimum 0~1 m/s), accuracy $\pm 2\%$ and responding speed 1 sec.

1. ま え が き

大口径管内流体の瞬時流量を連続記録できる外壁透過形の超音波流量計を開発し、各水力発電所、上下水道、鉄鋼所等で実測を行なってその特長を確認し、製造販売を実施しているのでこの装置の概要を紹介する。

従来、この種流量計には上下流二方向に超音波パルスを交互に透過させ、それぞれの超音波伝ば(播)時間の逆数すなわち周波数として測定後、計算で流量に換算する装置があるが、この装置ではある時間内の平均流量を間欠的に得ることしかできない。また古くから用いられているカレントメータ、ベンチュー管、ピトー管等の機械的流量計ではパイプ加工が必要であり、根本的に流体の流れを乱すうえ圧力損失を引き起こす。電磁流量計は大口径になるにしたがい装置が大がかりとなり、価格が高く口径3mφにもなると存在しない。

本装置は後述する原理により、新設、既設のパイプ加工は不要であり流れの乱れも圧力損失も生じない。また口径の大小に関係なく同一測定器が適応でき、6mφの大口径にも適用できる。

また瞬時流量が連続記録できるので、偏流・旋回流などの流れの乱れや水車ランナ・ポンプ羽根等からでるキャビテーション、流体内の異物混入状況等も観測できる。したがって超音波パルス透過可能な流体なら上水・下水のみならず化学溶剤等にも適用でき、電力会社、揚水発電所および上下水道の恒久流量測定設備用として、また効率測定、動力設備の動特性と流量との相互関係測定用等の携帯試験計測器として、さらに耐食性を要求される化学溶剤の流量測定器として大きな効果が期待されよう。

2. 動作原理

装置は鉄管の外壁から上下流二方向に超音波パルスを同時に透過させ、それぞれの超音波伝ば時間を周期とする周波数に変換して、2方向の周波数の差を連続的に検出し、ディジタルおよびアナログで流量の瞬時値を連続表示記録する。

図2.1に構成ブロック図を示す。2対向の送受信子 T_1R_1 、 T_2R_2 を管壁に設置し、送信子 T_1 、 T_2 より上流側および下流側へ超音波パルスを放射すれば、各受信子 R_1 、 R_2 へ到達するまでの超音波伝ば時間が流速により変化し、たとえば下流方向の伝ば時間 t_d は次式で与えられる。

$$t_d = \int_0^d \frac{dy}{\{c + v(y) \cos \theta\} \sin \theta} \quad (2.1)$$

式(2.1)で軸の流れの方向と垂直に取り、流速を $v(y)$ で示し、 d を管径、 c を静止流体中の超音波速度、 θ を超音波ビームと管軸のなす傾斜角とした。

式(2.1)をマクローリン展開し、近似解として次式を得る。

$$t_d \div \frac{d}{c \sin \theta} \left\{ 1 - \frac{\cos \theta}{c_d} \int_0^d v(y) dy \right\} = \frac{d}{c \sin \theta} \left(1 - \frac{v_a}{c} \cos \theta \right) \quad (2.2)$$

ただし v_a は次式で与える。

$$v_a = \frac{1}{d} \int_0^d v(y) dy \quad (2.3)$$

式(2.3)を考慮すれば、流速分布に関係なく平均流速で伝ば時間を与えられることがわかる。受信信号を増幅して送信子へ帰かし、送信パルスを発生させれば、いわゆるシンガラウンド周波数を得て、下流側および上流側のおののシンガラウンド周波数 f_d 、 f_u は次式

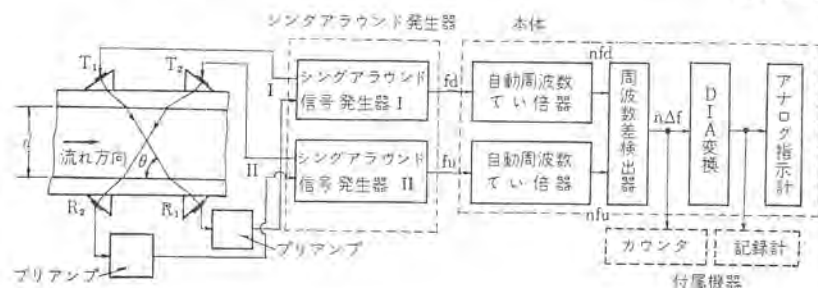


図 2.1 超音波流量計ブロック線図
Block diagram of ultrasonic flow meter.

で与えられる。

$$f_d = \left[\frac{d}{\sin \theta (c + v_a \cos \theta)} + \tau \right]^{-1}, \quad f_u = \left[\frac{d}{\sin \theta (c - v_a \cos \theta)} + \tau \right]^{-1} \quad (2.4)$$

ここで τ は管壁内、回路内等で発生する固定遅延時間の総和である。静止流体内音速 c は流速 v_a に比べはるかに大きく、 $c \gg v_a$ であるから、 f_d と f_u との差周波数 Δf は次式ようになる。

$$\Delta f = f_d - f_u \approx \frac{v_a \sin 2\theta}{d} \left(1 + \frac{\tau c}{d} \sin \theta \right)^{-2} \quad (2.5)$$

流速 v_a は次式で与えられる。

$$v_a = \left\{ \frac{d}{\sin 2\theta} \left(1 + \frac{\tau c}{d} \sin \theta \right)^2 \right\} \Delta f \quad (2.6)$$

式(2.6)から $\{ \}$ 内をスケールファクター k_p としてあらかじめ求めておけば、シグアラウンド周波数差 Δf より、ビーム経路上の平均流速 v_a を求め得る。大口径になるとシグアラウンド周波数差 Δf は1 Hz以下の低周波となるので、測定精度を上げ、速い応答速度とするために、上下流各シグアラウンド周波数を自動周波数で倍器で倍して後、各倍周波数を連続的に比較し、デジタル表示するか、あるいは特殊なD-A変換回路でアナログ表示し、記録計で瞬時流量の連続測定を行なう。自動周波数で倍回路は流速変化、水温変化などによって変動するシグアラウンド周期を瞬時々々自動的に正確に倍し、動作の安定と精度を確保するものである。

超音波流量計は超音波ビーム経路上の平均流速を求めているので、真の流量は管断面について、平均流速と断面積の積を求める必要があるが、この場合超音波ビーム経路上の平均流速 v_a と管断面上平均流速 v_A との比、いわゆる流量補正係数について考慮する必要がある。

円形導管の断面上平均流速 $v_A(R)$ は導管の軸を z 軸とする円筒座標で、導管内の流速分布を $v(r, \theta)$ で示すと、次式で与えられる。

$$v_A(R) = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^\pi d\theta \int_0^R r \{ v(r, \theta) + v(r, \theta + \pi) \} dr \quad (2.7)$$

また超音波ビーム経路上の線平均流速 $v_a(r, \theta)$ が角度 θ 方向の経路を進むものとすれば次式で与えられる。

$$v_a(r, \theta) = \frac{1}{2R} \int_0^R [v(r, \theta) + v(r, \theta + \pi)] dr \quad (2.8)$$

式(2.8)を用いて式(2.7)を変形すると次式で与えられる。

$$v_A(R) = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \{ v_a(R, \theta) - v_a(\eta R, \theta) \} d\theta \quad (2.9)$$

$$= 2 \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n v_a(R, \theta_k)}{n} - \frac{\sum_{k=1}^n v_a(\eta_k R, \theta_k)}{n} \right\} \quad (2.10)$$

ただし $0 \leq \eta \leq 1, 0 \leq \theta_k \leq \pi$

式(2.10)の近似式の第1項はビーム上平均流速の θ に関する n 回平均、第2項は $v_a(\eta R, \theta)$ の θ に関する n 回平均を示す。

式(2.10)右辺各項を $\overline{v_a(R, \theta)}$ 、 $\overline{v_a(\eta R, \theta)}$ で示すと次式を得る。

$$\overline{v_a(R, \theta)} / \overline{v_a(R, \theta)} \approx 1/2(1 - \lambda) \quad (2.11)$$

$$\lambda = \frac{\int_0^R v_a(r, \theta) dr}{R \cdot \overline{v_a(R, \theta)}}$$

軸対象でない流速分布の場合の流量補正係数を式(2.11)で定義する。式(2.8)で表わし得る $v_a(r, \theta)$ が θ に無関係な r のみの関数 $v_a(r)$ であれば、式(2.11)より次式を得る。

$$v_a(R) / v_A(R) = 1/2(1 - \lambda^*) \quad (2.12)$$

$$\lambda^* = \frac{\int_0^R v_a(r) dr}{R \cdot \overline{v_a(R)}}$$

式(2.11)、(2.12)で表現できる流量補正係数が決定されるならば、超音波流量計によりビーム経路上の平均流速を求め、流量補正係数で除して管断面上平均流速を得る。

実際には直管部を20D以上にすれば流速分布は軸対称の乱流状態になるので、対数法則を適用すると流量補正係数 k は

$$k = 1 + 0.625 \sqrt{0.0016 + \frac{0.221}{2R_e^{0.237}}} \quad (2.13)$$

を使用しうる。ここで R_e はレイノルズ数である。

3. 構 成

装置は図3.1に示すように、本体、シグアラウンド発生器、検出器、プリアンプおよび記録計、積算計などの付属機器から構成されている。シグアラウンド発生器は送受信検出器間に超音波をシグアラウンドさせるためのもので、ブロック線図中のシグアラウンド信号発生器I、IIが収容されている。本体にはシグアラウンド周波数 f_d 、 f_u をうけたあと流量指示させるまでのすなわち自動周波数で倍器以降の回路が包含されている。外部出力にはDC 0~1 mA、0~10 mVおよびパルス出力があり、それぞれ外部指示計、記録計および積算計を接続することができる。遠距離伝送する場合には、mV/I変換器を通して4~20 mAに変換して伝送すればよい。

装置は効率測定のような一時的用途用の可搬型と恒久設備用の設備型と2種類あり、設備型は防滴構造になっている。検出器にも2種類あり、可搬式の場合はマグネットチャックで鉄管に固着し、設備型はステンレスワイヤで締め付け、なお検出器の位置を微調整できるようにになっている。検出器とシグアラウンド発生器間は10 m、シグアラウンド発生器と本体は200 mまではなすことができる。回路はユニット化され大部分IC化されてプリント配線されているので非常にコンパクトであり、信頼性が高い。図3.2は設備型を盤内に収容したもので、上部は本体、下部はシグアラウンド発生器である。図3.3は浄水送水管における実測場面である。

超音波流量計の特長をあげると次のとおりである。

- (1) 外壁透過形であるので鉄管に特別な加工を施すことなく、検出器を簡単に取付けることができる。
- (2) 圧力損失がない。
- (3) 流体の導電性、非導電性の別なく測定可能。
- (4) 流量目盛は直線的で、パルス出力およびアナログ指示、記録積算ができる。
- (5) 超音波ビームは上・下流方向同時発射方式であるので、1ビーム切換式に比べ応答が早い。
- (6) 大口径に適しており、口径が大きくなるほど経済的に安価

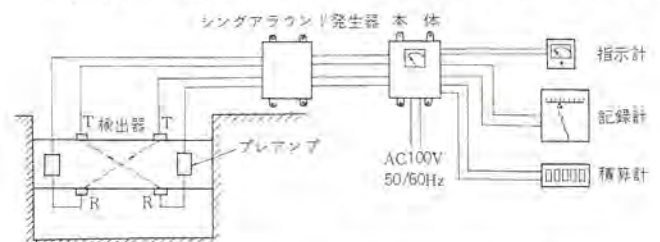


図 3.1 構成図

Composition diagram.

である。

(7) レンジの変更がきわめて容易である。

(8) 正逆方向の流れの測定が可能である。

AF-210 形超音波流量計の仕様を示せば表 3. 1 のようになる。

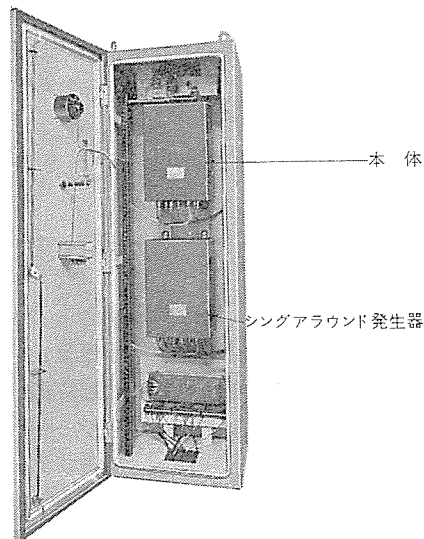


図 3. 2 装置外観 (盤内上部…本体, 下部…シグアラウンド発生器)
Exterior view of ultrasonic flow meter.

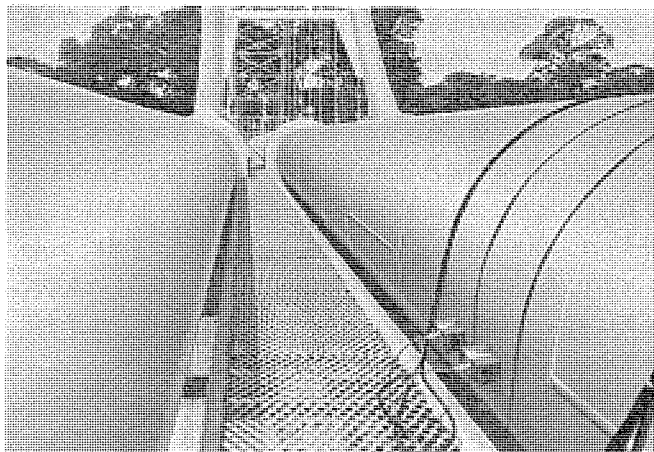


図 3. 3 実測の一例
Example of the flow measurements by ultrasonic flow meters.

表 3. 1 AF-210 形超音波流量計仕様
Type AF-210 ultrasonic flow meters specifications.

管 材	800~5,000 mm
管 材 質	銅管, ダクタイル鋳鉄管
管 肉 厚	30 mm 以下
測 定 流 速 範 囲	0~10 m/s, 最小レンジ 0~1 m/s
対 象 流 体	上水, 工業用水, 河川水など
精 度	フルスケールの ±2%
応 答 速 度	1 秒
周 囲 温 度	検出器, プレアンプ -10~50°C 上記以外 0~45°C
電 源	AC 100 V ±10%, 120 VA
出 力 信 号	外部指示針 DC 0~1 mA 記録針 DC 0~10 mV パルス出力
塗 装 色	標準マンセル 7.5 BG 4/1.5
外 形 寸 法	本体およびシグアラウンド発生器 300(W)×450(H)×250(D)

4. 適 用 例

以上超音波流量計の原理, 構成等について述べたが, 本章では各方式流量計と比較しながら適用例につきかんたんに述べることにする。

水道用流量計として一般的には超音波をはじめ差圧式流量計, 電磁流量計, せき式流量計などが多く用いられている。しかし, せき式の場合は開水路の流量を計測するのが目的であり, 前3者とは根本的に考え方が異なるのでここでは超音波流量計, ベンチュリー管使用の差圧式流量計, 電磁流量計を比較し, 表 4. 1 にまとめてみた。

図 4. 1 は各方式の価格比をグラフで示したものである。これは, メカにより多少考え方の相違があるので大体の傾向と考えていただきたい。

表 4. 1 でもわかるように超音波流量計は電磁流量計と類似した性能を有しているが, 価格, 製作範囲(とくに大口徑), 工事難易度等の面ですぐれており, 年々大規模化の傾向を示す水道設備に対する利用価値は大きなものがある。また, 過去測定可能流体は浄水主体と考えられ, 汚水流量計測では電磁流量計に大きくおくれをとり, 実用化の例もなく実験の域をでなかった。しかし当社はこれらの問題を解決すべく, 実験を含め開発, 研究を重ねて実用化に成功し,

表 4. 1 各種流量計比較表
Comparison of the flow meters.

	超音波流量計	差圧式 (ベンチュリー) 流量計	電 磁 流 量 計
原 理 式	$Q = \alpha V_b A$ α : 補正係数 V_b : 直径平均流速 A : 管の断面積 注) α はパイプ形状 検出器位置により 変わる	$Q = V_a A$ V_a : 面積平均流速 A : 管の断面積	$Q = \beta V_b A$ β : 補正係数 V_b : 直径平均流速 A : 管の断面積 注) β はパイプ形状 検出器位置により 変わる
測 定 対 象	通常の液体に適する (※)	通常の流体 (ただし 粗悪な液体は検出器 の構造上好ましくない)	導電性のある液体特 に粗悪な液体に効果 を発揮する
検 出 器 構 造	パイプ外周に送受波 器を取付ける	ベンチュリー管を使 用した単純な差圧取 出し形	パイプ全周に非磁性 パイプとコイルを持 つ。構造複雑
通常の使用管径	300~5,000 (mm)	100~1,000 (mm)	10~2,000 (mm)
圧 力 損 失	な し	有 り	な し
目 盛	直 線	2 乗目盛 (開平方を つけて直線目盛にで きる)	直 線
測 定 範 囲	20 : 1	3 : 1	20 : 1
精 度	±2%程度 (ただし パイプ形状, 検出器 位置により異なる)	±2%程度	±1.5%程度 (ただし パイプ形状, 検出器 位置により異なる)
逆 流 測 定	可	不 可	可
価 格	高価。ただし口径が 変わってもほぼ一定 のため大口徑で有利	安価。口径に比例す る。	高価。口径に比例す る。
耐 久 性	大	やや劣る	差圧式より大
工 事 難 易 度	易	難	難

注) ※超音波が透過できる流体であれば, 対象となりうる。

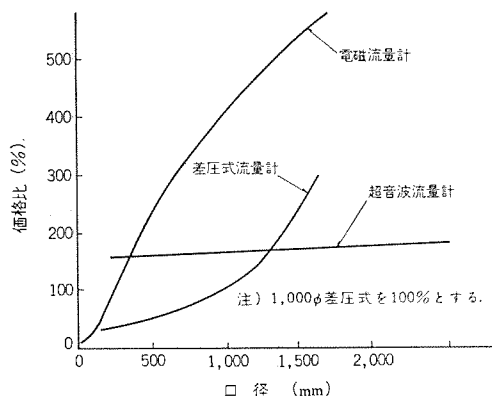


図 4.1 流量計価格比較一例
Example of the cost comparisons of flow meters.

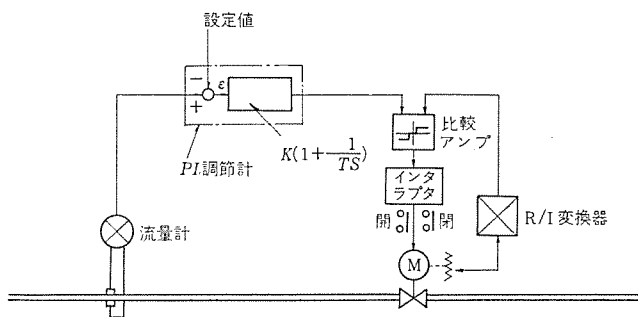


図 4.2 流量制御装置系統図 (例)
Flow control systems.

下水道部門にも納入実績をもつに至っている。このように汚水流量計測にも道が開けた超音波流量計は、今後、水道設備の流量計測に大きく貢献するものと考えられる。

次に適用例をもう少し具体的に述べる。単なる指示、記録、積算等は改めて説明する必要もないので、ここでは簡単な流量制御の例を示す。図 4.2 は流量制御系統図の一例である。

流量計で測定された信号は設定値と比較演算され操作信号に変換される。その信号は実際のバルブ開度と比較されて正負を判別し、接点信号となってバルブを操作し流量を目標値(設定値)に制御する。本図は電動バルブ方式の例について述べたのであるが、その他空気作動弁、油圧作動弁(水道設備での実用例はほとんどない)の場合でも操作信号を空気圧油圧等に変換する装置を設ければ原理的に大差はない。自動制御系において、制御の時間遅れを少なくするためには検出装置の応答速度が早いほど好ましく、このような点から考えても超音波流量計を使用すれば好結果が期待できる。前にも述べたように検出器による圧力損失がまったくないので、損失圧力を許容されない配管路の流量計測には好ましい。

その他、応用方法を考えればポンプ効率の測定をはじめ、各種の流量計応用製品としての使用が可能である。

5. む す び

以上超音波流量計の概要について述べたが、水道用流量計としては上水場の一部で使用されているにすぎなかった。現在多く使用されている差圧式流量計、電磁流量計に比べ歴史の浅いことが採用を少なくしている理由と思われるが、大口径流量計としては前2者を大きくしのぐ利点を有しており、今後計画される設備に対しては超音波流量計の採用を推進するのが得策と考える。また汚水の流量計測が可能となった現在では、電磁流量計に代わって超音波の採用を検討する時期に至っているのではなかろうか。本文が設備の計画に当たって何らかの参考になれば幸いである。

水位リレー

下 吉 正 人*・三田村 隆輝**

Water Level Relays

Head Office Masato SHIMOYOSHI
Nagoya Works Takateru MITAMURA

Recent development of water plants in connection with industrial water supply, water works, sewage systems is really remarkable. Their control becomes highly complicated with the advancement of automatization. In line with this trend water level relays, which play important parts at detecting sections of the automatic control system, are demanded to possess much higher reliability.

This article describes briefly water level relays to be used for such water plants as mentioned above and also type FS floatless switches now produced in Mitsubishi and also how to make proper application of them.

1. ま え が き

最近の工業用水、上下水設備などの水プラントの発展はめざましく、それに伴う制御も自動化が進むにつれて次第にその重要性和複雑性を増してきている。本章はこれらの自動制御系の検出端の一つである水位リレーについての概要と、それらの内で、もっとも数多く使用されている電極式水位リレー（フロートレススイッチ）について述べたものである。

2. 水プラントにおける水位リレーの重要性

水プラントでは一般に、その使用している液体の液面（水位）、圧力、質、量などを測定し、これらを総合して自動制御を行なっている。なかでも水位は検出箇所が多く、一つの水そうの中に揚水ポンプの起動、停止、増減水警報、非常停止など、数段階の水位を測定することも最近ではまれではない。したがってこれらの水位リレーの1台でも不具合をおこすと自動制御の機能が停止してしまったり、ポンプの空運転などでプラント設備が故障することも考えられ、こう言った面からも水位リレーがより重要になってきているといえよう。

3. 各種水位リレーの紹介とその特長

水位リレーはその方式により次のように分類できる。

- (1) 電極式水位リレー（フロートレススイッチ）
- (2) フロート式水位リレー

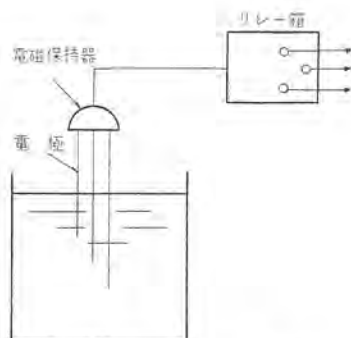


図 3.1 電極式水位リレー
Electrode type water level relay.

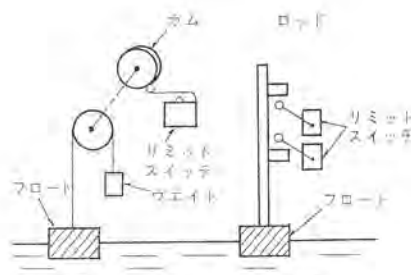


図 3.2 フロート式水位リレー
Float type water level relay.

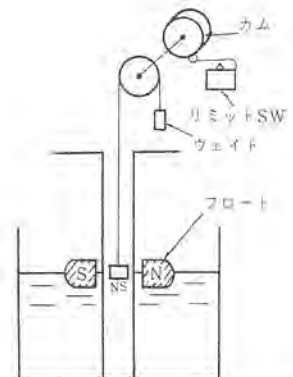


図 3.3 磁気結合フロート式
水位リレー
Magnetically coupled float type
water level relay.

- (3) 圧力式水位リレー
- (4) 気泡式水位リレー
- (5) 静電容量式水位リレー
- (6) 光電式水位リレー
- (7) 近接スイッチ式水位リレー
- (8) その他

以下に各種水位リレーの特長と概要を次に述べる。

3.1 電極式水位リレー

導体の電極間を液体が短絡することによってリレーを働かせるもので、次のような特長をもっている。

- (1) 開放、密閉、どちらのタンクにも使用できる。
- (2) 価格は安い。動作点の変更はめんどうである。
- (3) 検出部に可動部がないため、取付け、保守が簡単である。
- (4) 導電性のない液体には使用できない。
- (5) 流体の固有抵抗を知る必要がある。
- (6) 温度変化により誤差を生じたり、電極に付着するような流体には使用できない。

電極式水位リレーの構成は図 3.1 のとおりである。

3.2 フロート式水位リレー

液面に浮かべた浮子の変位により、リミットスイッチを動作させるもので、次のような特長をもっている。

- (1) 開放タンクのみで使用でき、密閉タンクにはそのままでは使

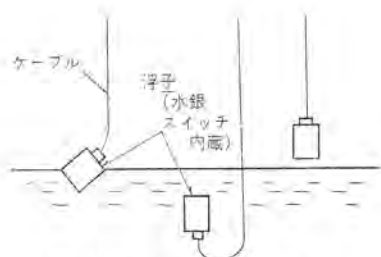


図 3.4 浮動水銀スイッチ
Floating type mercury switch.

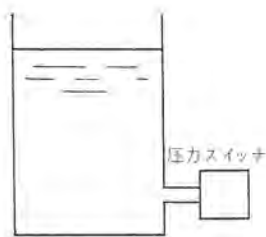


図 3.5 圧力式水位リレー
Pressure type water level relay.

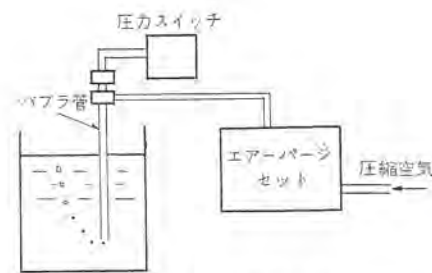


図 3.6 気泡式水位リレー
Air cell type water level relay.

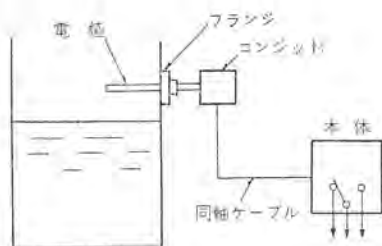


図 3.7 静電容量式水位リレー
Electrostatic type water level relay.

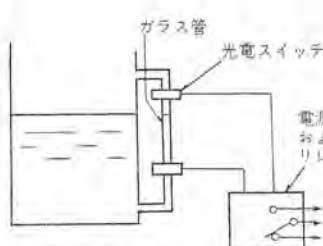


図 3.8 光電式水位リレー
Photoelectric type water level relay.

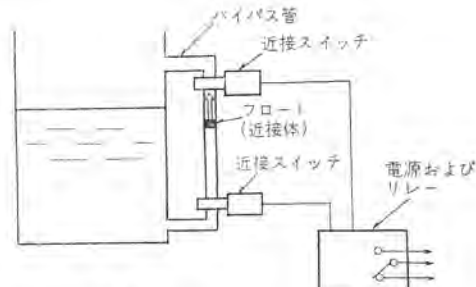


図 3.9 近接スイッチ式水位リレー
Proximity switch type water level relay.

用できない。

- (2) 液の波や流れのあるところでは防波管を設ける必要がある。
- (3) 浮子に付着するような液の測定には不適當である。
- (4) 原理が簡単であり、比較的安価である。

構成は図 3.2 のとおりである。また、フロート式と呼ばれるものは図 3.3 のようにフロートの動きを磁気結合で伝えるものや、図 3.4 のようにフロートの変位を直接水銀スイッチにより検出する構造のものもある。

3.3 圧力式水位リレー

池またはタンクの中の静圧は液の比重が一定ならば液面の高さに比例するので、その圧力を測定することによってレベルを知ることができる。すなわち圧力スイッチにより水位を検出するもので、次のような特長をもっている。

- (1) 液の比重を知る必要があり、温度により誤差を生じる。
- (2) 検出点に制約がある。
- (3) 安価ではあるが誤差が大きい。
- (4) 開放タンクにのみ使用できる。

圧力式水位リレーの構成を図 3.5 に示す。

3.4 気泡式水位リレー

液中に一定量の空気を放出させて液位を空気圧に変換し、その空気圧を測定するもので、圧力式水位リレーの一種である。水位リレー単独で設置されることは少なく、水位計と併用されるのが普通であり、次のような特長をもっている。

- (1) 腐食性流体とか汚水などの水位の測定に適する。
- (2) 動作点の範囲が大きいときに適する。たとえば上限動作 EL が 10 m で下限動作 EL が 2 m の場合。

(3) 測定点への掘付品はバブラ管 1 本であり、堅ろうで簡単であるがエアージェット、コンプレッサ等付属設備が多く、水位リレーのみとして使用するには高価となる。

気泡式水位リレーの構成は図 3.6 のとおりである。

3.5 静電容量式水位リレー

液位の変化に応じてプローブと金属壁との間の静電容量が変化し、この静電容量の変化を高周波ブリッジで不平衡高周波電流の変化として検出し、水位を得るもので、水位リレーとしての不連続検出に、また水位計としての連続計測にも使用できる。特長としては

- (1) 構造が堅ろう、検出部に可動部がなく保安が容易。
- (2) 導電性、非導電性の関係なく液体、粉体、粒体すべてに適用できる。
- (3) 異なった 2 液の界面測定も可能。
- (4) 対象物の誘電率の変化が誤差の原因となる。
- (5) 直線性があまりよくない。
- (6) 導電性の付着物も誤差の原因となる。
- (7) 精度はあまりよくない (5%程度)
- (8) 価格は高い。

静電容量式水位リレーの構成を図 3.7 に示す。

3.6 光電式水位リレー

コの字形の形状に片側に投光ランプが、その反対側に受光素子の太陽電池が取付けてあるもので、ガラス管内に液体があるかないかを検出するものである。特長としては

- (1) 化学薬品のレベル検出に適している。
- (2) 精度がよい。
- (3) 光を利用しているため、投受光器のガラス面は清浄に保つ必要あり。
- (4) 液体のかかる場所には使用できない。
- (5) 投受光器のリード線の長さを指定する必要がある。

光電式水位リレーの構成は図 3.8 のとおりである。

3.7 近接スイッチ式水位リレー

貫通形もしくは U 字形ヘッドの近接スイッチを 2 個使用し、通過するフロートを無接触で検出記憶するものである。フロートには検知用の金属 (鉄) を入れている。特長としては

- (1) 絶縁性、可燃性、腐食性、有毒性の液体のレベル検出可能

- (2) フロートに機械力が加わらないので精度がよい。
- (3) フロートに付着するような液の測定は不可である。
- (4) 磁性体が近づいているところや、強磁界中では使用できない。

近接スイッチ式水位リレーの構成は図 3.9 のとおりである。

3.8 その他

水位リレーとしては以上にあげたもののほかにも放射線式とか超音波式などがあるが、水プラント用としてはあまり用いられていないのでここでは説明を省く。

設計、計画に必要な仕様は浮子式と圧力式の場合は液体の種類と比重、電極式の場合は導電度、静電容量式の場合は誘電率を知る必要がある。また気泡式、光電式、近接スイッチ式の場合は液体の種類と比重を知る必要がある。その他共通して言えることは検出部の据付位置と動作点の関係が重要であり、これによって電極棒、ワイヤ、パプラ管、プローブ等の長さが決定される。

4. 三菱 FS 形フロートレススイッチについて

以下に、水プラントから家庭用井まで幅広く使用されている電極式水位リレー (FS 形フロートレススイッチ) について述べる。

4.1 適用方法

前述のようにこの方式は電極部と制御部を一組にして使用するものであり、液体の種類や制御用途に応じて、表 4.1 からおののを選定する。制御本体には、基本となるトランジスタリレーユニットが 1～5 個組み込まれている。図 4.2 は FS-GB 形の内部回路を示しており、鎖線内の部分がリレーユニットになっている。FS 形フロートレススイッチの全機種に共通な仕様を表 4.2 に、また給水の自動運転結線例を図 4.4 に示す。

ある範囲で水位を保つ自動運転の場合、図 4.4 のように、共通 (E_3)、下限 (E_2)、上限 (E_1) の 3 本の電極と制御本体を結ぶ電線が、やはり 3 本必要なわけだが、図 4.5 のように E_2 ～ E_1 間に 10 k Ω の抵抗器を接続することにより、(E_2) の結線のいらない 2 本配線式も最近多く使われるようになった。

表 4.1 FS 形フロートレススイッチと SP 形電極保持器の種類と用途

Kind and application of type FS floatless switches and type SP magnetic holders.

制 御 本 体	
形 名	用 途
FS-GB	一般的な給水・排水の自動運転
FS-AB	ポンプの空転防止を兼ねた給水の自動運転 異常湯(増)水警報を兼ねた給(排)水の自動運転 FS-GB 2 台分として給・排水その他の運転に応用 (FS-GB×2)
FS-IB	液面表示警報専用
FS-KB	ポンプ交互運転用 (他の機種と組み合わせて使用)
FS-2B	液面表示警報付給・排水の自動運転 (FS-GB+FS-1B)
FS-3B	給水源および高架水そうの液面表示を兼ねた空転防止付給水の自動運転
FS-GCB	FS-GB 形と EM 形電磁開閉器を内蔵したもの
電 極 保 持 器	
SP-3	清水の給・排水に使用、2 インチパイプねじ取付、3 本配線用
SP-3R	清水の給・排水に使用、2 インチパイプねじ取付 (2 本配線用 10 k Ω 抵抗付)
SP-1 SP-4 SP-5	汚水、海水等比較的導電性の良い液体に使用、がいし箱縁、フランジ取付
SP-1S	ボイラー用、150°C、15 kg/cm ² の高温、高压に耐える
SP-2	深井戸用 ケーブルの長さで制御範囲を決める。

4.2 使用上の注意

4.2.1 使用できない液体

- (1) 非電解性液体：純水、アルコールなど。
- (2) 油類：ガソリン、重油、絶縁油など油類のほとんど。
- (3) 腐食性液体：18.8 ステンレス電極棒が腐食される塩酸や硫酸、塩化第二鉄など。

4.2.2 FS 形の動作感度

標準品は表 4.2 に示したように動作抵抗=7 k Ω 、復帰抵抗=15

表 4.2 FS 形共通仕様
Common specification for type FS.

項 目	仕 様
電源電圧と周波数	AC 100/200 V 50/60 Hz 共用
電源電圧の許容変動範囲	定格電圧の +20 %～-15 %以内
使用周囲温度	連続 55°C 以下
電極電圧と動作電流	電極電圧=AC 5 V 動作電流=500 μ A、復帰電流=250 μ A
動作感度	動作抵抗=7 k Ω 、復帰抵抗=15 k Ω
寿命 (出力リレー接点)	電氣的 50 万回、機械的 1,000 万回
絶 縁 抵 抗	端子一括～ケース間 100 M Ω 以上
耐 電 圧	AC 1,500 V 60 Hz 1 分間に準ずる

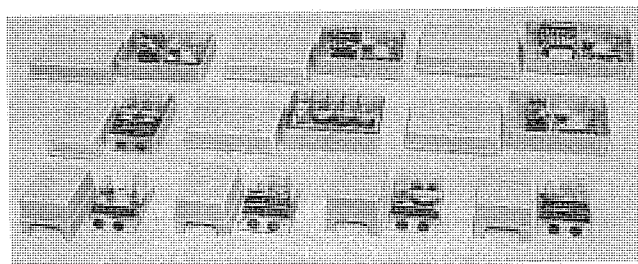


図 4.1 FS 形フロートレススイッチ 標準機種
Standard type of FS floatless switches.

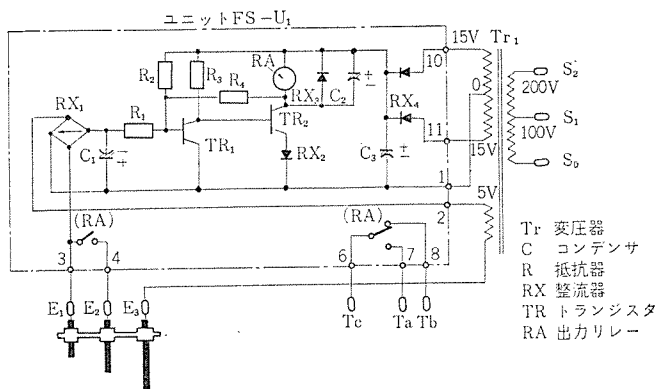


図 4.2 FS-GB 形内部接続図
Interior construction of type FS-GB.

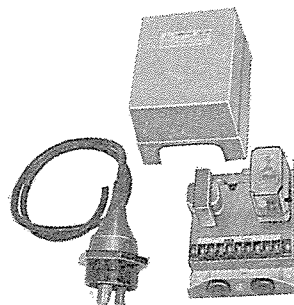


図 4.3 FS-GB 形と SP-3 形
Type FS-GB and type SP-3.

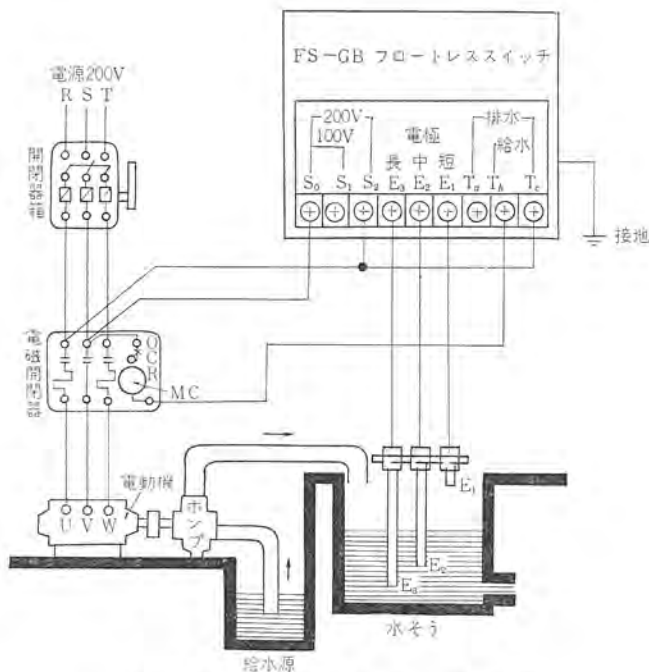


図 4.4 給水の自動運転接続図
Automatic operation connection diagram of feed water.

kΩ であるが、次のような場合は特殊な感度のものが必要である。

(1) 遠距離配線

電極～制御本体が 500 m 以上のときは、電線間の漏えい電流によって復帰しなくなるので低感度 リレーユニットを組み込んだ 遠距離用を使用する。

(2) ボイラー 水

純水に近いものが使用されるので、標準の 10 倍の感度を持つ高感度 リレーユニットを組み込んだ制御本体を使用する。

4.2.3 精密な水位制御

電極間の水抵抗は、電極棒の表面積、距離、水温によって著しく変化するので、制御精度を 2～3 cm 以下にすることは困難である。

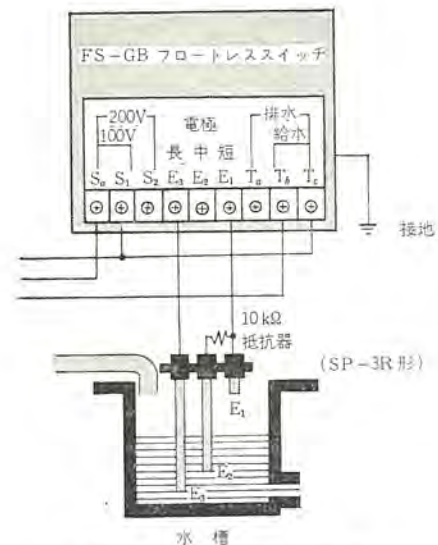


図 4.5 2 本配線方式
Two wire distribution wiring system.

(上水の温度による抵抗変化率≒250 Ω・cm/°C)

4.2.4 サージ電流

電極端子、電源端子とも JEC 106, 107, 110 に準じた全波衝撃電圧 3,000 V に耐える。しかし、雷などのとくに多い地域では三菱 BV 形避雷器を設け、また電極への配線は動力線など同一ダクト内に入れないような配慮が必要である。

5. む す び

水位 リレー は原理的に多種多様な方式が考えられ、それぞれ実用化されているのであるが、価格をはじめとして液体の種類、用途など、どのような条件も満足して使用できる水位 リレー は現在のところないといえる。しかし水という液体に限定すれば、三菱 FS 形フロートレススイッチは、大規模なプラントから、一般家庭用井まで非常に幅広い用途に使用できる水位 リレー といえよう。

三菱 MVA 形バルブアクチュエータ

深川 吉則*・盛口 全太**

Mitsubishi Type MVA Valve Actuators

Fukuoka Works Yoshinori FUKAGAWA
Head Office Zenta MORIGUCHI

Outstanding is the trend of automatic operation and minimizing power needed in the field of all the productive industries. In the undertaking of conveying liquid there are many kinds of valves to be put into operation and their automatization is going on actively. Mitsubishi has developed type MVA valve actuators to electrically operate these valves, putting them on regular production and supplying them to the market where the products are well commented. This article describes the brief information on a standard series of type MVA valve actuators for use in water plants and also of a few examples of practical application.

1. ま え が き

弁の駆動エネルギー源としては、油圧・空気圧・電動機などが使われている。これらはそれぞれ一長一短あって、どれが最良であるかはにわかに断定できない。適用条件に応じて選択さるべきであるが、電動機駆動を採用される向きが多くなってきた。

弁は劣悪な環境で、高い信頼性をもって運動することが要求される。上記の傾向は、電動アクチュエータが十分その責務を果たしていることの証拠であろう。これは、電気エネルギーが手軽に得られ、信頼性に富むなどの特長があるほか、最近における電動機およびその制御装置の発達に負うところがきわめて多いと考えられる。

本文では、当社 MVA 形バルブアクチュエータについて概説し、ユーザーご参考に供したい。図 1. 1 はこの MVA 形バルブアクチュエータとそれを装備した仕切弁の一例である。



図 1. 1 MVA 形バルブアクチュエータ (仕切弁付)
Type MVA valve actuator (with sluice valve).

2. バルブアクチュエータ (電動弁操作機) の必要機能

一般に弁の駆動装置として備えるべき機能は次のとおりである。

- (1) 全閉または全開などの規定位置で、弁を自動停止させるために位置リミットスイッチを装備すること。
- (2) 弁を規定押圧力でしめ込む場合、異物をかみみ込んだ場合、あるいは万一位置リミットスイッチが故障した場合、弁保護のためにトルクリミットスイッチを装備すること。
- (3) 停電時等の緊急時操作ができるように手動操作機構を装備

すること。

- (4) 弁の開閉状態を指示する機械的弁開度指示装置を設けること。

- (5) 高起動トルク特性のモータを使用するとともに衝撃起動作用機構を設けること。

さらに水プラント用として特に注意すべき事項として

- (6) 高湿度ふんい気で使用できること。
- (7) 流量調整用等については低慣性、応答速度が大であること。などがあげられる。

3. MVA 形バルブアクチュエータ

三菱 MVA 形バルブアクチュエータは前述の必要機能を完全に満足するとともに、数多くの特長を持った ON-OFF 制御用電動弁操作機として、きわめて広範囲の産業分野で使用されるものである。そのおもな特長をあげると次のとおりである。

- (a) 小形コンパクト
- (b) 単純な構造で分解組立が容易
- (c) 低慣性、高起動トルクモータを使用し、良好な制御特性を持っていること
- (d) 防湿性がすぐれている
- (e) 豊富な形式がある

3. 1 構造

MVA 形バルブアクチュエータは、モータを弁駆動に適した回転力・回転数を得るためにウォーム 1 段減速させて弁軸を駆動し、出力軸の回転を捕えてカム式位置リミットスイッチを作動させて、弁を規定位置で自動停止させている。トルクリミットスイッチは出力軸に規定以上のトルクが発生すると、一次側ウォーム軸推力の増加となり、さらバネの力とバランスするまでウォームが軸方向へ移動することを利用して、カムでリミットスイッチを作動させる方式を採用している。また弁棒ねじによる出力軸推力を、特殊ハウジング機構を採用し、スラスト玉軸受 1 個で受ける構造とし、歯車箱にはまったく無関係にしているため、きわめて軽量・小形化されている。

3. 2 標準仕様

MVA 形バルブアクチュエータの標準仕様は表 3. 1 に示すとおりである。

(1) 手動・電動切換方式

電動から手動への切換はレバー操作で行なうが、手動から電動への復帰には次の 2 方式がある。

図 3.1 MVA 形 バルブアクチュエータ 標準仕様
Standard specification of type MVA valve actuators.

形 番	最大出力トルク kgm					最大弁棒径 mm		許 容 スラスト kg	電動機 出力 kW	重量 kg
	12/14.5 rpm	18/22 rpm	23/28 rpm	29/35 rpm	36/44 rpm	外ねじ	内ねじ			
MVA-005	5.6/4.6	5.5/4.6	4.6/3.6	—	—	26	20	2,500	0.1 (0.075)	48
MVA-006	—	—	—	6.8/5.7	6.2/5.2	26	20	2,500	0.2	50
MVA-010	11/9.2	11/9.2	8.3/6.9	—	—	42	34	4,000	0.2 (0.15)	57
MVA-011	—	—	—	13/11	12/10	42	34	4,000	0.4	60
MVA-020	22/19.5	22/19.5	17/14	—	—	50	40	6,000	0.4 (0.27)	62
MVA-021	—	—	—	26/22	22/18.5	50	40	6,000	0.75	70
MVA-040	40/33	40/33	31/26	—	—	60	50	10,000	0.75 (0.55)	105
MVA-041	—	—	—	50/42	45/38	60	50	10,000	1.5	120
MVA-080	80/65	80/65	60/50	—	—	70	60	18,000	1.5 (1.1)	150
MVA-120	120/100	120/100	90/75	70/60	70/55	70	60	18,000	2.2 (1.5)	155
MVA-121	—	—	—	130/100	120/100	70	60	18,000	3.7	170
MVA-200	200/170	200/170	160/130	—	—	95	80	30,000	3.7 (2.5)	340
MVA-300	300/250	300/250	240/200	190/160	180/150	95	80	30,000	5.5 (3.7)	350
MVA-301	—	—	—	250/200	230/190	95	80	30,000	7.5	375
MVA-400	400/330	400/330	310/260	—	—	120	100	60,000	7.5 (5.5)	575
MVA-600	600/500	600/500	470/390	370/300	350/290	120	100	60,000	11 (7.5)	590

注) (1)最大出力トルクとはバルブが全閉状態より開側に起動する際にバルブアクチュエータが出力する起動トルクを示す。
(2)回転数および最大出力トルクは分子は 50Hz, 分母は 60Hz の値を示す。
(3)電動機出力の()内は 12/14.5 rpm 用 6 極の場合を示す。

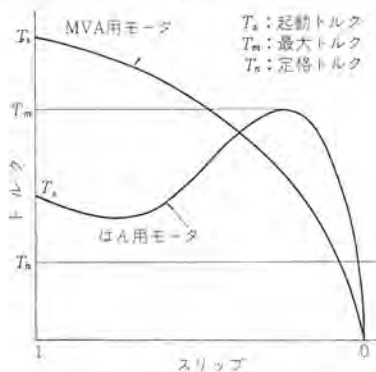


図 3.1 MVA 形 バルブアクチュエータ 用 モータ トルク 特性
Torque characteristics of type MVA valve actuator motor.

(a) 手動復帰形 (非自動形)

レバーを電動位置へ戻すことによって電動操作が可能になるもの。

(b) 電動自動復帰形

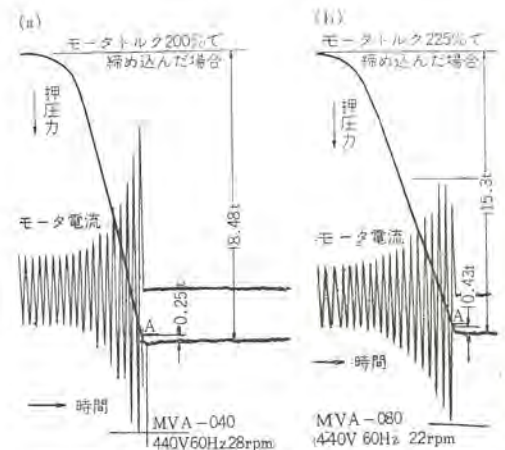
電動操作押しボタン等の操作スイッチを投入することによって、自動的に電動操作状態に復帰するもの。

(2) 保護形式

全閉屋外形を標準として防湿性に特別な考慮を払っているが、ろ過池まわりなどの高湿度ふんい気では、スパースヒータを装着し、呼吸作用による内部結露を防止している。また下水道などの腐食性ガスの存在するふんい気では、防食性に意を注がなければならない。

(3) モータ 定格および特性

E 種絶縁 15 分間定格・かご形誘導電動機を標準としているが、弁駆動用として高起動トルク、低慣性にし、良好な制御性を持たせている。トルク特性を図 3.1 に示す。またモータを特に低慣性に行っているため、リミットスイッチ作動後の回転慣性エネルギーによる惰行あるいは押圧力の増加はきわめて小さく、弁に与える影響を少なくしている。押圧力増加のオシログラフを図 3.2 に示す。



注) 押圧力曲線上の点はモータ電流が断された時点を示す。

図 3.2 慣性エネルギーによる弁軸押圧力の増加量
Increase of pressure working on valve shaft due to inertia.

(4) 適用弁形式

弁の形式を構造上大別すると、弁体が上下移動することによって流体を流通・遮断するリフト式弁と弁体が回転することによって流体を制御する回転式弁になる。MVA 形 バルブアクチュエータと直接結合し使用できるのは、リフト式弁 (仕切弁・玉形弁・アングル弁・ダイヤフラム弁など) である。回転式弁 (パタフライ弁・ボール弁など) に対しては MVA 形 バルブアクチュエータに、ウォーム式またはねじ式の二次減速機を組み合わせ使用している。

(5) 外形寸法

各形番ごとの外形寸法は、別途三菱 MVA 形 バルブアクチュエータ リフレッタ (L-32411) を参照されたい。

4. 応 用 例

ここで MVA 形 バルブアクチュエータ を水道プラントに実際に使用した例を示す。

図 4.3 (a) は大分市荏隈浄水場の急速ろ過池から浄水場までのフローシートである。本例では沈澱池から急速ろ過された水を集めて塩素混合し、浄水池に流入させているが、フローは自然流下で行ない、ろ過流量制御は各ろ過池流出側の電動弁開度を調節することにより行なっている。

図 4.2 (b) はバルブアクチュエータのブロック図であるが、説明を加えると、まず塩素混合ろ過の流出管に設けた超音波流量発信器からの信号 (統一直流電流) と、浄水池の水位発信器からの信号を総ろ過流量調節計 FC₁ で比較し、電動弁の開度設定信号を出す。ここでは、たとえば、浄水池水位が低く総ろ過流量が少なければ、大きい開度設定をし、また浄水池水位が高く総ろ過流量が多ければ、小さい開度設定を、というような動作をする。一方、各急速ろ過池の流出量をベンチュリー、開閉演算器によって検出し、ろ過流量調節計 FC₂ で前述の電動弁開度設定信号と比較し、弁開指令・弁閉指令を接点信号の形で出している。なお本例では、FC₁・FC₂、2 台の調節計を使用したカスケード方式で、電動弁開度制御を行なっている。

その他水道プラントへの応用例では、川口市神根浄水場納入分で、

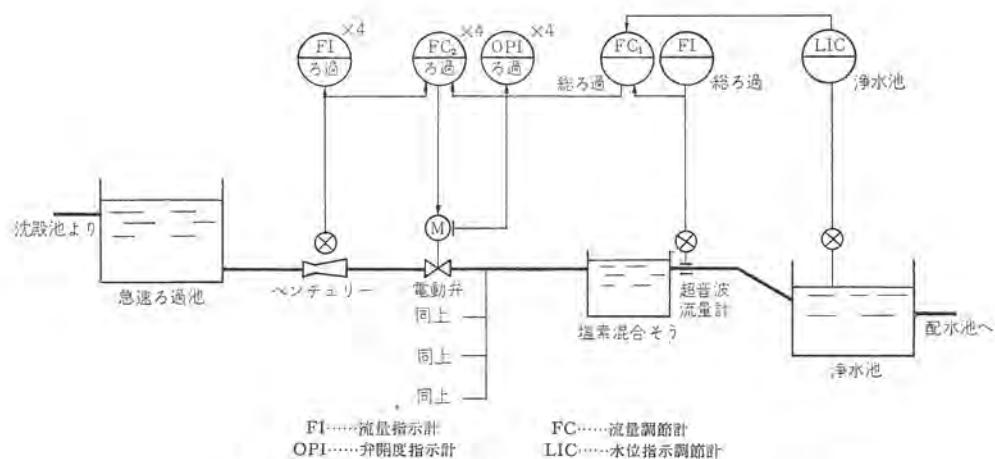


図 4.1 (a) 大分市沓隈浄水場ろ過流量制御フローシート
Flow sheet of filtering amount control at water cleaning bed

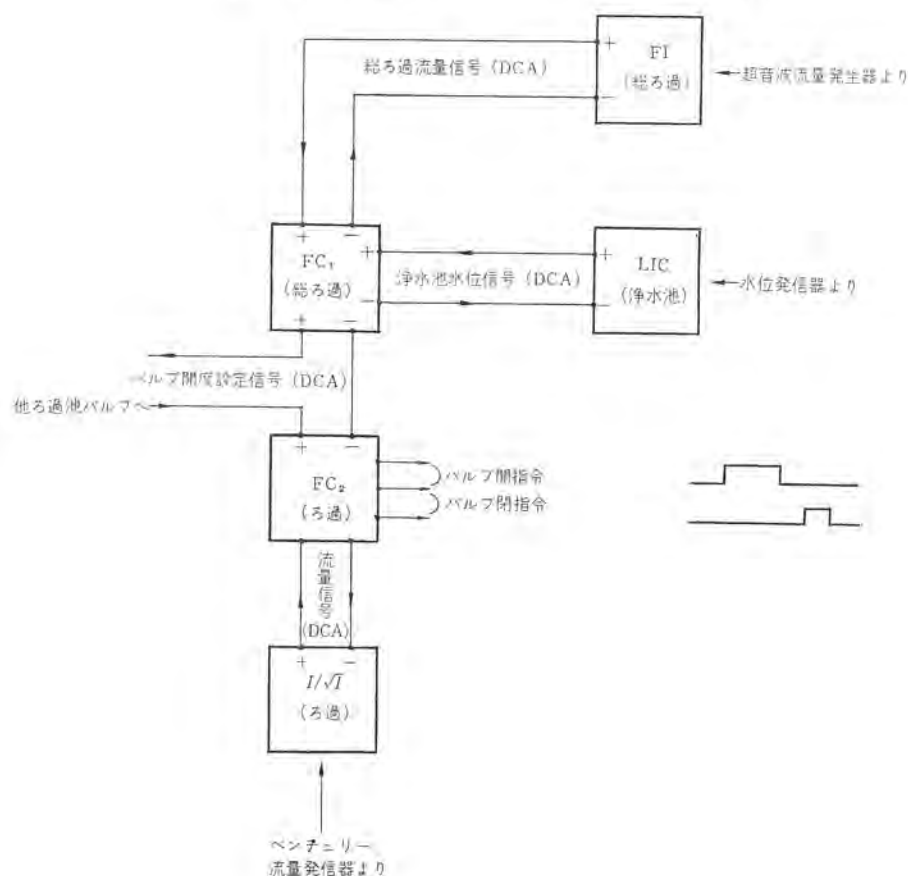


図 4.2 (b) バルブアクチュエータ回路ブロック図
Block diagram of valve actuator circuit

ろ水機流出，流入電動弁の全閉，全開制御によるろ水機の洗浄を行っているものなどがある。

5. む す び

以上，MVA 形 バルブアクチュエータの概要と応用例について述べたが，都市の近代化とともに上下水道設備の普及は，今後とも急速に伸長

し，これにつれて設備・装置の合理化，高度の自動化が推進されることが予想される。弁操作に対しても，電動化による省力化から，より進んだ自動化の方向へ発展するものと考え，さらにいっそうの研究を重ね，住みよい国づくりにいささかなりとも貢献したいと願する次第である。

放電加工機の完全無人運転を可能にする 世界で初めて実用化に成功した本格的最適制御装置!

三菱ダイアックス オプティマイザー

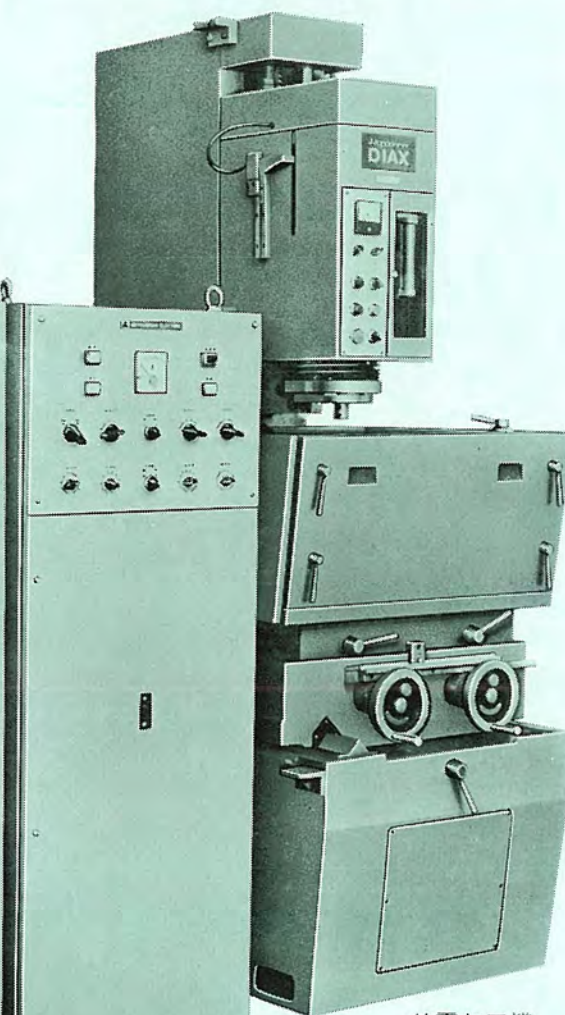
特許 世界数ヶ国に出願中



オプティマイザー
OP-1



トランジスタ電源
DE-90T



放電加工機
DM-300

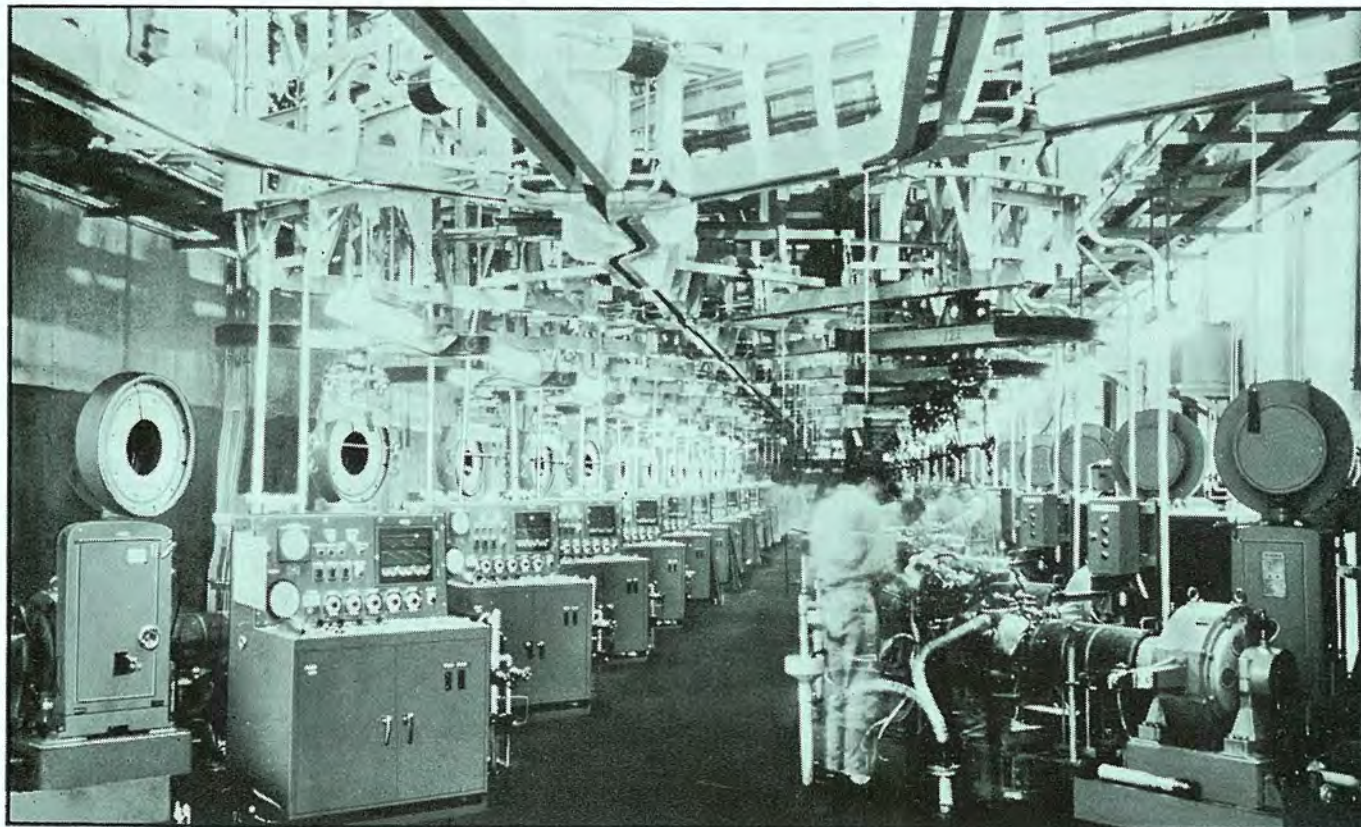
- オプティマイザーによって機械は人間に代る判断制御機能を持つようになり、最適加工条件を自動的に選定します。
- 画期的発明の定常アーク前駆現象検出装置によって、放電現象の一瞬一瞬をとらえて最適動作を行っていますから、定常アークに移行することがまったくありません。
- 加工能率にオペレータの個人差がなく、誰が操作しても熟練者と同等の結果がえられます。
- アダプティブコントロール(適応制御)も、プログラムコントロールも、同時に行うことができます。
- ダイアックストラジスタ電源シリーズと組合せて使用することができます。

未来を開発する



お問合せは……三菱電機株式会社電機第一部
東京都千代田区丸の内2-12<三菱電機ビル>☎100東京03<218>2111大代表

現在の人手でエンジン試験の能力を数倍にできる 三菱電気動力計



エンジンの自動制御に当社の誇る総合制御技術を徹底的に応用しました。高速、大出力、高精度の動力計が必要な際もご相談ください。

■標準定格

ED形うず電流式動力計

ED-3形	22kW	(30PS)
ED-7形	55kW	(75PS)
ED-10形	75kW	(100PS)
ED-15形	110kW	(150PS)
ED-20形	150kW	(200PS)
ED-30形	220kW	(300PS)
ED-50形	375kW	(500PS)
ED-100形	750kW	(1,000PS)

直流式電気動力計

3.7, 7.5, 15, 30, 55, 75, 110, 150, 220, 375, 550, 750, 1,000, 1,000kW以上

■製作例

- 立形直流動力計 750kW 900~1,200rpm
- 超高速直流動力計 460kW 50,000rpm
- 超高速うず電流式動力計 300kW 4,500~45,000rpm
- シャーシダイナモメータ 110kW 5t 200km/hなど各種
- プログラム制御自動運転装置 (ディーゼルエンジン、ガソリンエンジン、変速機、自動ギヤチェンジ)



プログラム制御装置
(ディーゼルエンジン、ガソリンエンジン共用)

未来を開発する



お問合せは…三菱電機〈株〉電機第一部/東京都千代田区丸の内2-12
東京〈218〉2111〈大代表〉
神戸製作所営業部/神戸市兵庫区和田崎町3丁目/神戸〈67〉5041
またはもよりの営業所へ
大阪・名古屋・福岡・札幌・仙台・富山・広島・高松・新潟

高圧水中モータルの絶縁方式

諸岡 廣*・早川 隆昭*

Insulation System of High Tension Submersible Pump Motors

Nagoya Works Hiroshi MOROOKA・Takaaki HAYAKAWA

Demands of submersible motors are ever increasing together with a trend of larger capacities and higher voltages. Anticipating this tendency, Mitsubishi has been making basic study of insulation system and has brought fruits of ideal technical achievements as a result of hard efforts. It was in the year of 1965 when 3,000 V high tension submersible motors, the first of the kind in this country, were delivered. Since then a good number of large capacity high tension products have been sent out to the world as a public appreciation of the motors. In April, 1969, 6,000 V class motors in this category were built and supplied to Gifu City Water Service Division. They are believed unrivalled by any of the kind in the world. This article reports on them of their epochal insulation system having reliability and steadiness and also of a part of the characteristics.

1. ま え が き

近年、工業、土木、農業用水および水道用などのポンプ駆動用としての水中モータポンプの需要は、その利点と経済性が一般的に認識されるにしたがって増加の一途をたどり、しだいに大容量機への利用が進みつつある。電圧階級としてもいままでは低圧級(440 V)が多く用いられていたが、高圧級(3,000 V、および6,000 V)の需要が、絶縁信頼性とあわせて急激に高まっているのが現在のさう勢である。

当社では古くから大容量化、高圧化を予想して、基礎的な高圧水中モータ用としての絶縁組織の研究に着手し、幾多の絶縁組織および工作方法を見い出したが、その中で最も実用的な高圧水中モータ用として適した今までにない新しい絶縁組織を開発し、需要者のご理解によって1965年4月、本邦では最初の3,000 V級150 kW 4極の実用機を納入(岐阜市水道部)した。それ以来真価が一般需要者

に認識され、数多くの高圧水中モータを製作し、各方面で好調に活動している。さらにその実績と技術は高く評価され、1969年4月世界的にも初めてと思われる、6,000 V級高圧水中モータを製作するにいたった。その外観を図1.1に示す。

高圧水中モータの絶縁組織は、当社独特の構造と工作方法によって完成されたもので、理想的、画期的なもので一般地上運転される高圧モータの絶縁信頼性と比較して同等のものであり、十分保証されるものである。このことは1965年以降納入された多数の大・小容量の高圧水中モータが、現在までまったくの無事故で運転されていることから実証される。今回、高圧水中モータ用として特別に開発したすぐれた絶縁方式を性能の一部を紹介し関係方面に対するご参考に供することにした。

2. 絶縁組織の基本的考察

モータを水中で用いるためには、構造面、機能面などから多角的に検討され、多くの方式が考えられ実用化されている。

これを基本的に分類すると、

- (1) 耐電圧特性と防水特性とを別々の機能として取扱い、これを組み合わせることにより完成されるもの
- (2) 耐電圧特性と防水特性とをコイルのみに依存して、これを同時に満足するような絶縁材料を用い絶縁組織として完成されるものに大別される。

このうち、前者では固定子鉄心を含めて、コイルを金属、あるいは樹脂など何らかのもので密閉防水するもの、コイル単独にて同様密閉防水するもの、単に構造物で密閉防水するものなどが考えられる。後者では低圧級においてはポリエチレン、ビニール、ゴムなど比較的耐電圧特性と防水特性を同時に満足する有機絶縁材料で導体上に薄膜に押出成形したものが一般に用いられるが、高圧級にあっては決定的なものとしては実用化されていなかった。

その理由は、低圧級が少数巻数であることから導体を個々に絶縁しているのに比べ、高圧級であるため必然的に巻数を増加する必要があり、またこれとは別に本質的に耐電圧特性、防水特性、高電圧現象からくる技術的解決策に障害があって、低圧級で用いられている絶縁方式を拡大延長することは実用性を欠き、きわめて実現性に



図 1.1 岐阜市水道部納め三菱高圧水中モータ (6,000 V)
High tension submersible motors (6,000 V) delivered
to Gifu City Water Service Division.

乏しい。これの解決策として抜本的な絶縁方式の開発に取り組んだ。
さて、一般地上で運転される高圧モータルの絶縁は、

(1) コロナの発生があっても実用に十分耐える耐コロナ絶縁材料
としてのマイカ材をベースとした絶縁組織

(2) 根本的に絶縁材料に有害となるコロナを発生させないように
した有機絶縁材料によるボイドレスな絶縁組織

を用いることによって絶縁性の長期安定と信頼性を確保し、多くの
実績をもっているのが一般的である。

水中においては、これら(1)、(2)、のいずれが容易に耐水特性
をもたせることができるかについて総合判断した結果、有機絶縁材
料によるボイドレスな絶縁組織を開発することが得策であると考えた。
これは、近代における高圧電力海底ケーブルが、同様な考え方におい
て多くの実績と信頼性をもっていることからもうなづけよう。

一方、この場合の問題点としては、高圧モータルにあってはケー
ブルのように単導体でなくモータルであるがゆえに、必然的に巻数が増
加するが、これを個々に絶縁強化することはみぞ占有性の問題から
きわめて不経済であるばかりか、機器をいたずらに大形化するのみ
となり、ここに一つの大きな開発要点がある。当社では長年の研究
の結果、独自の高圧水中モータル用の絶縁組織を確立するにいたった。

3. 絶縁構成

図3.1は、3,000 V級高圧水中モータル絶縁組織の基本的なコイル
の断面構造を一例として示す。コイルは導体絶縁被覆、特殊合成ゴム
層、特殊合成樹脂層、補強層などから構成されるもので、モータルと
しての必要な条件を備えるものである。これは単に、ケーブルのよう
に主絶縁材料が1種類で構成されているのに比べ、絶縁材料として
のはたらきをするのみでなく、総合的な組織としての機能を十分考
慮したものである。モータルの機能上必要な条件として

(1) 絶縁材料に有害となるようなコロナを発生させないことと
同時に、コロナ開始電圧が極力高く、少なくとも定格電圧以上である
こと

(2) 絶縁複合体では電位分担が個々の能力に応じて均一化され
ていること

(3) 絶縁耐力、絶縁抵抗が高く、容易に低下せず安定しており、
また温度に対しての傾斜もなめらかであること

(4) 耐熱性にとり、少なくとも90°C以上で常時使用でき、急
激な温度上昇にも十分耐える能力をもっていること

(5) 熱伝導性がよく、組織内での熱放散が均一なこと

(6) 導体の熱膨張、収縮による冷熱サイクルに十分順応するよう
な弾性構造をもって適当な応力を吸収しやすいこと

(7) 機械的な内外の応力によるせん断、圧縮などの変形力

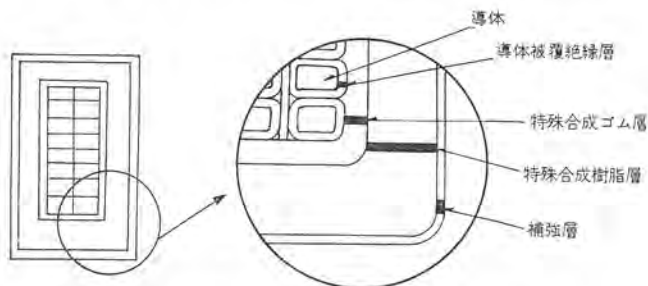


図3.1 三菱高圧水中コイルの絶縁構成 (3,000 V)
Insulating construction of Mitsubishi high tension
submersible coil.



図3.2 コイルを組み込んだ固定子
Assembly of coils for stator.

にも耐える構造であること

(8) 水中における高圧力による水の拡散浸水に十分なしゃ断能
力をもっていること

などを考えたものである。今回開発した6,000 V級の絶縁組織も
上記の各条件を同様に考慮し、さらに改良を加えた結果、より理想
的な絶縁組織を完成したものである。図3.2は6,000 V級高圧水
中モータルの巻線の外観を示す。

4. コイルの絶縁特性

高圧水中モータル用として特別に開発された絶縁組織は、地上で用
いられるマイカを主体とした絶縁方式に比べ、長期的に信頼性のあ
るすぐれた数々の特性をもっていることがモデルコイル、および試作機
によって詳細に多角的に試験され、確認されたので、以下その代表
的な特性の一部を述べることにする。

4.1 耐電圧特性

図4.1は、60°Cの温水中でコイルが長期にわたって電圧印加さ
れたときの破壊電圧を求め、外そう法により長期の耐電圧曲線を求
めたものである。耐電圧特性は、絶縁設計の基準となる重要な特性
の一つで十分な試験と検討がなされた。結果によれば、地上で用い
られるマイカを主体とする絶縁方式に比べ、電位傾度をやや低く考
えなければならないことを示している。したがって絶縁厚さと寿命
との対応によって十分な安全性を考え、適正な絶縁設計をすること
が大切である。

最適に絶縁設計された3,000 V級、および6,000 V級コイルの破
壊電圧(交流、60 Hz)は、それぞれ40 kV以上、80 kV以上で、
波形(1×40)μsの衝撃破壊電圧では、それぞれ80~100 kV、160~
210 kVの能力をもっていることが確認されている。

図4.2はコロナ発生ひん度とコロナ電荷の関係を示す。この図に
示されるように、3,000 V級コイルのコロナ開始電圧は6.5 kVで、使
用電圧に十分な余裕をもっている。同様に、6,000 V級では8.0~
11.0 kVであった。また、コロナ電荷の分布は 3×10^{-10} クーロン以下
で11.0 kVまで変化なく安定している。

4.2 絶縁抵抗特性

図4.3は長期の絶縁抵抗特性をモデルコイルにより、60°C温水中
において3,000 V級、および6,000 V級コイルにそれぞれ6,000 V、
11,000 Vの電圧(交流、60 Hz)を連続印加し変化を測定したもの
である。図4.4は3,000 V級100 kWの試作機によって実運転され、
各種の特性を確認したときの長期絶縁抵抗値の推移を測定したもの
である。この結果、約3年間にわたる長期間の使用においても、初

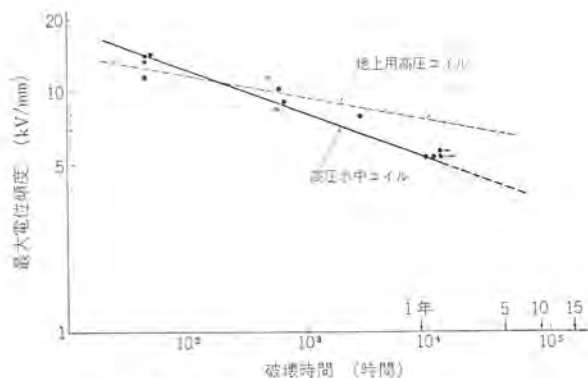


図 4.1 高圧水中コイルの耐電圧曲線
Voltage endurance of high tension submersible coil.

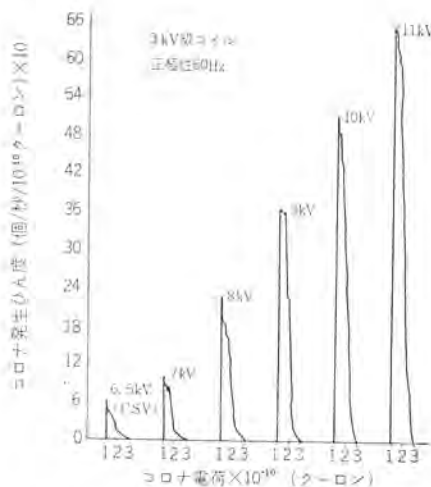


図 4.2 コロナ発生頻度とコロナ電荷の関係
Corona formation frequency vs. corona charge.

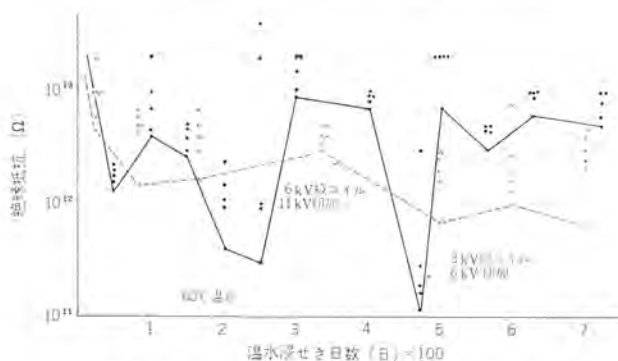


図 4.3 モデルコイルの絶縁抵抗特性
Insulation resistance of prototype high tension submersible coils.

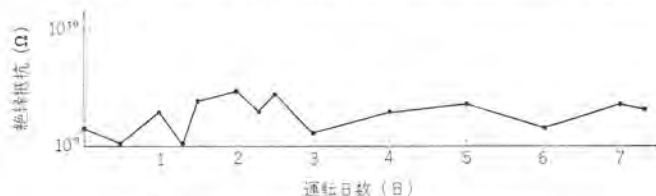


図 4.4 試作機による絶縁抵抗特性
Insulation resistance of high tension submersible prototype motors (100 kW).

期の値をそのまま保持し、低下の傾向はまったくみられず絶対値の高い安定した特性をもっていることが実証された。

図 4.5 および図 4.6 は絶縁抵抗値の温度に対する変化を示すもので、低下率はきわめて少なく、温度に対して耐熱性とは別な意味

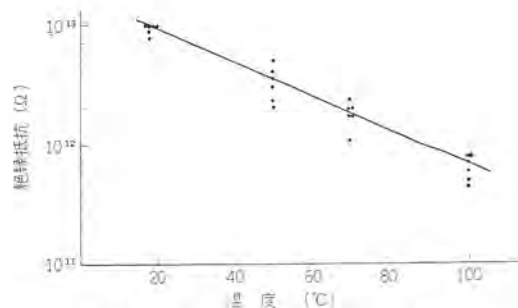


図 4.5 温度—絶縁抵抗特性
Insulation resistance and coil temperature.

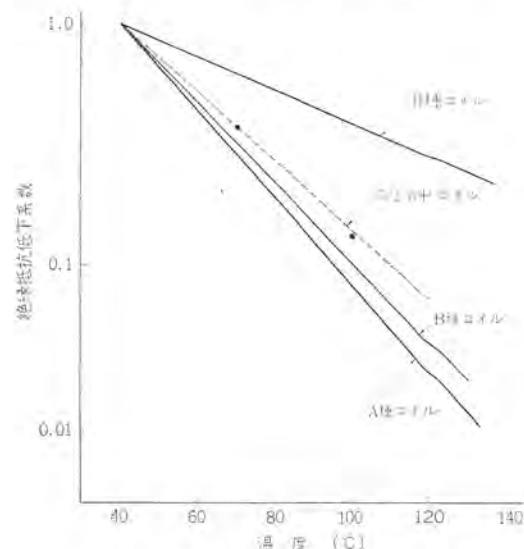


図 4.6 温度—絶縁抵抗低下特性
Relation between insulation resistance and coil temperature.

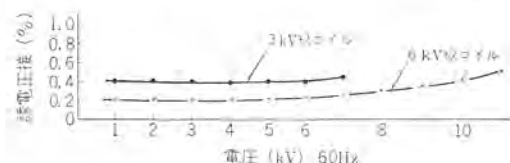


図 4.7 電圧—誘電正接特性
Relation between voltage and $\tan \delta$.

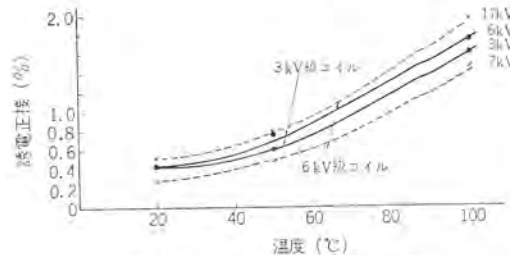


図 4.8 温度—誘電正接特性
Relation between temperature and $\tan \delta$.

での組織の安定性を示している。

4.3 誘電特性

絶縁組織を判定する尺度の一つとしての誘電特性を 図 4.7 および図 4.8 に示す。これによれば誘電正接の絶対値は非常に低く、また使用電圧をはるかにこえた約 2 倍の電圧においても 3,000 V 級ではまったく増加せず、6,000 V 級においても増加分は少なく、電圧に対してフラットな特性をもっている。とくに温度に敏感な誘電特性が連続使用の 70°C 付近においても 1.0 % 以内に保たれていることはきわめてすぐれた特性である。

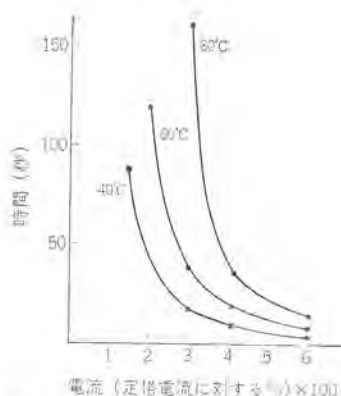


図 4.9 電流—許容時限特性

Current endurance characteristics of high tension submersible motors.

表 4.1 三菱高圧水中モートル絶縁特性表
Insulation characteristics of Mitsubishi high tension submersible motors.

項目		電圧階級	
		3,000 V 級	6,000 V 級
電 氣 的 特 性	啟動電圧 60 Hz (kV)	40 以上	80 以上
	衝撃波破壊電圧 (1×40) μs (kV)	80~100	160~210
	コロナ開始電圧 10 ⁻¹⁰ クーロン (kV)	6.5	8.0~11.0
	コロナ電荷の分布 11 kV まで (クーロン)	1×10 ⁻¹⁰ ~3×10 ⁻¹⁰	1×10 ⁻¹⁰ ~2×10 ⁻¹⁰
	絶縁抵抗 コイル単 体 (Ω)	初期値 5×10 ¹² ~1×10 ¹³	5×10 ¹² ~1×10 ¹³
		60°C 温水 700 日後 5×10 ¹² 以上一定	5×10 ¹¹ 以上一定
	絶縁抵抗 1 けた低下温度 (°C)	110	110
	誘電正接 (%)	定格電圧・20°C 0.4	0.26
		定格電圧・65°C 0.75	0.90
	絶縁組織温度とう配 (°C)	10	11
	過電流 600 % 許容時間 60°C (秒)	約 9	約 9

4.4 過電流と温度特性

定格電流連続通電時の導体温度とコイル表面温度との差は、約 10°C である。この種の絶縁組織としては非常に少ない値で、熱伝導性がよいことがわかった。また、コイルは異常な起動や限界をはるかに越えるような過負荷によって急激に導体温度が上昇し、コイルに異常な温度分布を与えるために、これを事前に防ぎ絶縁組織を保護するには、過電流に対する温度上昇の状態を十分は握しておく必要がある。図 4.9 に示すように過電流と上昇温度との関係を測定した。これによるとコイルの温度が 60°C に達するまでに許容される時間は、定格電流の 600 % では約 9 秒である。

以上のような絶縁特性は、当社独自の技術によって開発された絶縁組織によって発揮できるもので、基本的考察で述べた高圧水中モートルの機能を十分備えているといえよう。表 4.1 は高圧水中モートルの絶縁性能を一覧表にまとめたものである。6,000 V 級高圧水中絶縁組織が 3,000 V 級高圧水中絶縁組織に比べ、より高電圧であるにもかかわらず、その性能は一段とすぐれたものであることが示される。

5. 納入実績

1965 年、わが国最初の 3,000 V 級高圧水中モートルを納入して以来、年々需要は増加し、表 5.1 に示す納入実績をもつにいたったが、絶縁性能が示すように現在までまったくの無事故でその信頼性と安定性は、地上で運転される高圧モートルと同等であることを実証している。

表 5.1 三菱高圧水中モートル納入実績表
Users' list of Mitsubishi high tension submersible motors.

需 要 者	ポンプ納入 メーカー	納入年月	納入 台数	型 式	出 力 kW	極数	電 圧 V	周波数 Hz	用 途
岐阜市水道部	久保田鉄工	40-4	1	潜水式 (軸下)	100	4	3,300	60	
岐阜市水道部	久保田鉄工	40-4	1	潜水式 (軸下)	75	4	3,300	60	
三菱電機 長崎製作所	高砂鉄工	40-4	1	水封式 (軸上)	30	2	3,300	60	深井戸用
日置化学 富山工場	電 業 社	41-11	2	水封式 (軸下)	160	6	3,150	60	
王子製紙 春日井工場	荏原製作所	42-2	1	水封式 (軸下)	160	6	3,300	60	
千葉県利根川 土地改良区	荏原製作所	42-3	1	水封式 (軸下)	75	12	3,000	50	
栃木県那須 土地改良区	荏原製作所	42-3	1	水封式 (軸下)	240	4	3,000	50	
静岡県製 紙 問 製 紙	荏原製作所	42-5	1	水封式 (軸上)	100	2	3,300	60	深井戸用
清滝産産 K/K	荏原製作所	43-5	4	水封式 (軸上)	150	4	3,000	50	深井戸用
鹿児島水道局	久保田鉄工	43-4	1	水封式 (軸下)	220	4	3,300	60	
北陸農政局	荏原製作所	43-7	1	水封式 (軸下)	50	14	3,000	50	
大阪市水道局	電 業 社	43-8	1	水封式 (軸上)	30	4	3,300	60	
岐阜市水道部	久保田鉄工	44-4	2	潜水式 (軸下)	220	4	6,600	60	

6. む す び

以上、三菱高圧水中モートルの絶縁性能に関しての一部を紹介した。コイルが直接水中に浸漬されて用いられる絶縁方式としては、長年にわたった研究にもとづく当社独自の技術によって開発されたわが国最初の画期的なものであり、種々のデータが示すように水中であっても地上運転される高圧モートルと同等以上の特性をもっていることは、絶縁技術の新分野を開拓したものといえよう。

水中モートルは、技術的にみた場合低圧級よりも高圧級において設備建設費、運転効率、および小形化などの効果が認められ、6,000 V 級の大容量機の製作を希望する需要者は増加している。すでに高圧級を利用いただいた需要者からはご好評をいただいているところであるが、われわれは日進月歩の技術革新時代にさらに研究を重ね、よりいっそう特性の向上に努め、需要者各位の期待に添いたいと思う。

新形中容量 SF₆ ガスしゃ断器 SFL シリーズ

富永正太郎*・田辺 俊雄*・佐藤 邦彦*

New Medium Capacity SF₆ Gas Circuit Breakers,
Type SFL Series

Itami Works Shôtarô TOMINAGA・Toshio TANABE・Kunihiko SATO

Medium capacity SF₆ gas circuit breakers series aiming at interruption of 30 kA has been completed to cover the whole high and extra high voltage system of presentday Japan ranging from 72 kV to 300 kV. Puffer type interruption chambers of type SFL gas circuit breakers are made practicable by the use of SF₆ gas. Aside from excellent breaking performance, they are appreciated of their high reliability and easy maintenance and inspection derived from simple mechanism, claiming the best utilization of excellent characteristics of SF₆ gas. The completion of this series, together with large capacity SFH series ranging 40~50 kA capacity, has put the production and sales situation of the company in good order for all the ratings of gas circuit breakers.

1. ま え が き

油、空気につぐ第三の消弧媒体として世の注目を集めている六ふっ化いおうガス(SF₆)を使用したガスしゃ断器は、最近の電力系統容量の増大と近代化による要求に答えるしゃ断器として大きくクローズアップされ、わが国においても、昭和40年夏当社にて、その1号機が納入されて以来、その優秀性が各方面において認識され、急速に運転台数が増加しており、すでに数百台に達している⁽¹⁾。

さらにヨーロッパを中心に進められている都市変電所縮小化を目的とした、ガス絶縁変電所(GIS)の研究試作が進み、従来、空気しゃ断器を製作使用していたメーカー、電力会社でも製作使用されることによって、SF₆ガスおよびガスしゃ断器は一気に一般化され、時代の要求と相まって、今やガスしゃ断器は、しゃ断器界のホープとして、完全に実用化の時代にはいったといえる。このような電力界情勢の背景のもとに当社では、大容量SFHシリーズ、中容量SFLシリーズの2系列を完成させ、超々高圧に至る電力用しゃ断器の全定格をカバーし、あらゆる要求を合理的に満足できる量産受注体勢を整えた。

SFL形ガスしゃ断器は、50 kA級の故障電流をしゃ断する大容量SFHシリーズの開発および製造経験に基づき⁽⁴⁾、需要の多い中容量しゃ断器として要求される性能に対して、最も適切な構造をとるよう工夫されたものである。すなわち、しゃ断部は、コンタクトと同時に動くピストンによってガス流を発生させる、いわゆるパuffer方式によっており、SF₆ガスの優秀な特性を最も効率よく利用したものといえる。したがって、簡単な消弧方式で、JEC-145のII号、さらに脱調しゃ断、異相地絡などの非常に過酷な再起電圧、また従来の空気しゃ断器で問題となる近距離線路故障なども難なく処理できるきわめてすぐれたしゃ断性能を持っている。

操作機構には、当社の油しゃ断器で標準品として使用している圧縮空気操作機構を採用しているため、操作音も小さく、小形軽量無火災などの特長とあいまって、都市環境条件にも適合するものとして高く評価されている。

今回、先に発表、製品化されていた72/84 kV 3,500 MVAのもの⁽²⁾に加えて、昭和43年9月120 kV 5,000 MVA(1点切り)、昭和44年2月168 kV~300 kV 7,500 MVA~15,000 MVA(2点切り)のものについて各電力会社の形式試験を好評のうちに終了し、72

kVから300 kVまでの現在の日本の系統をすべてカバーするシリーズが完成した⁽³⁾。

2. シリーズの構成

しゃ断部は、72/84 kV用の84 kVユニットと、120 kVから300 kV用に使用する、120 kVユニットの2種類がある。72~120 kVまでは、1点しゃ断垂直形で、3相は機械的に連結されており、3相連結レバー操作機構の置き方によって架台据付式、床据付式、キュービクル用と、一般工業会社の受変電設置としての使用の便を考慮して、3種類の配置を設けた。

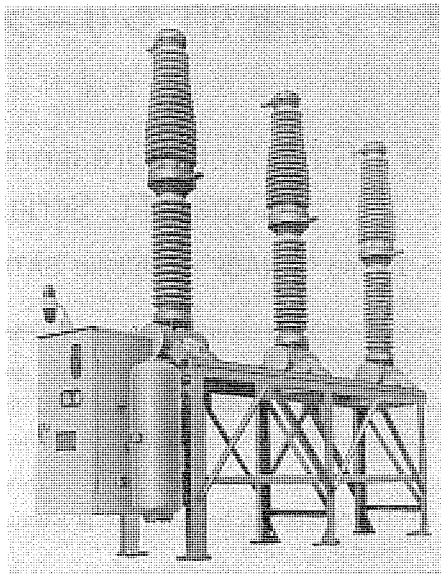
168 kV以上は2点しゃ断水平形で、各相に操作機構を持ち、しゃ断部は120 kV用と同じ120 kVユニットを使用している。また、300 kVを2点で処理する消弧室を使うことにより、168 kV、204 kV用では、しゃ断点に並列にコンデンサをそう入して、電圧分布を改善する必要がない。しかし、使用上の制約で、しゃ断器の幅を短くした方が有利な場合には、168 kV、204 kV用でもコンデンサを付けて、しゃ断部がい管を短かくすることができる。引きはずし装置は、5サイクル用、3サイクル用があり、3サイクル用には補助引きはずし機構をつけて、引きはずし機構の2重化を行なうこともできる。表2.1にシリーズの構成を示す。

表 2.1 SFL 形 シリーズ の 構成
Composition of type SFL series.

1 点 切 り		2 点 切 り			
70-SFL-350	100-SFL-500	140-SFL-750	170-SFL-1000	200-SFL-1000	250-SFL-1500
84 kV ユニッ ト		120 kV ユニッ ト			
☐ 架台据付式 ☐ 床据付式 ☐ キュービクル用		コンデンサなし			
		☐ (コンデンサをつけてしゃ断器外形寸法を縮小することができる。)			
		コンデンサ付き			

3. 定 格

図 3.1 に1点切り、図 3.2 に2点切りの外形写真を、また、それぞれの外形を図 3.3、3.4 に示し、その寸法を表 3.1、3.2 に



◀ 図 3.1 12 kV 5,000 MVA 100-SFL-500 形
ガスしゃ断器
Type 100-SFL-500 gas circuit breaker rated
120 kV, 5,000 MVA.

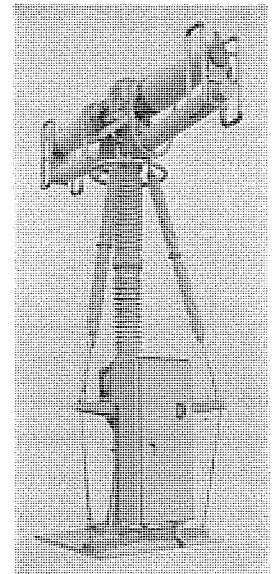


図 3.2 300 kV 15,000 MVA 250-SFL-1500 形▶
ガスしゃ断器の相
One phase of gas circuit breaker, type 250-SFL-
1500, rated 300 kV, 15,000 MVA.

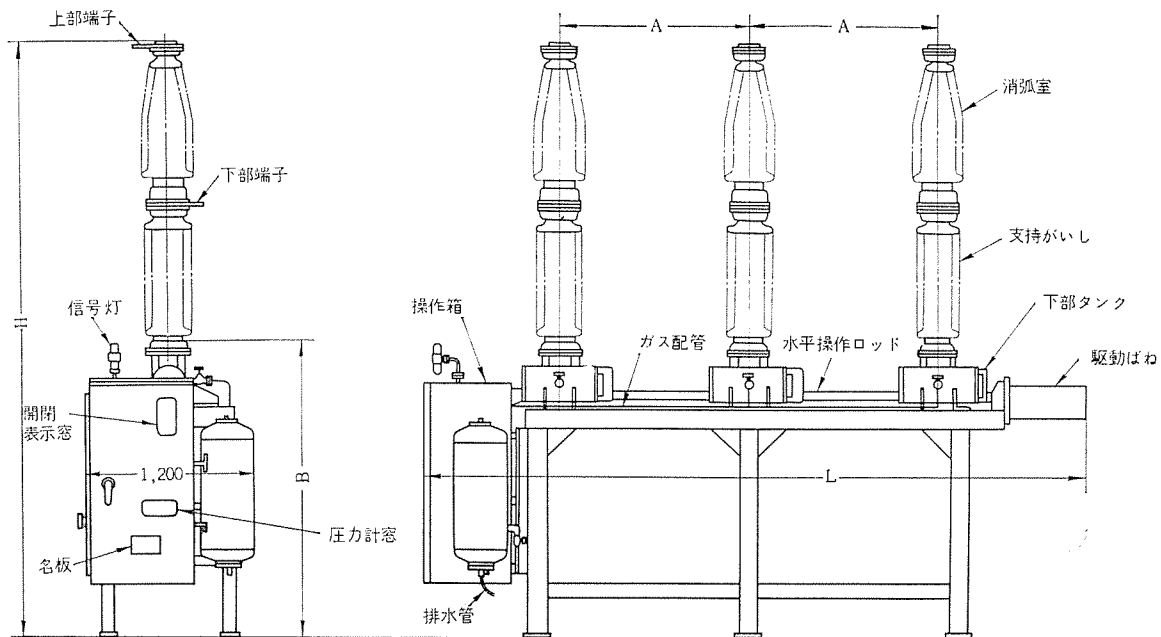


図 3.3 外形寸法 (1点切り消弧室)

Outline dimensions of one-break type.

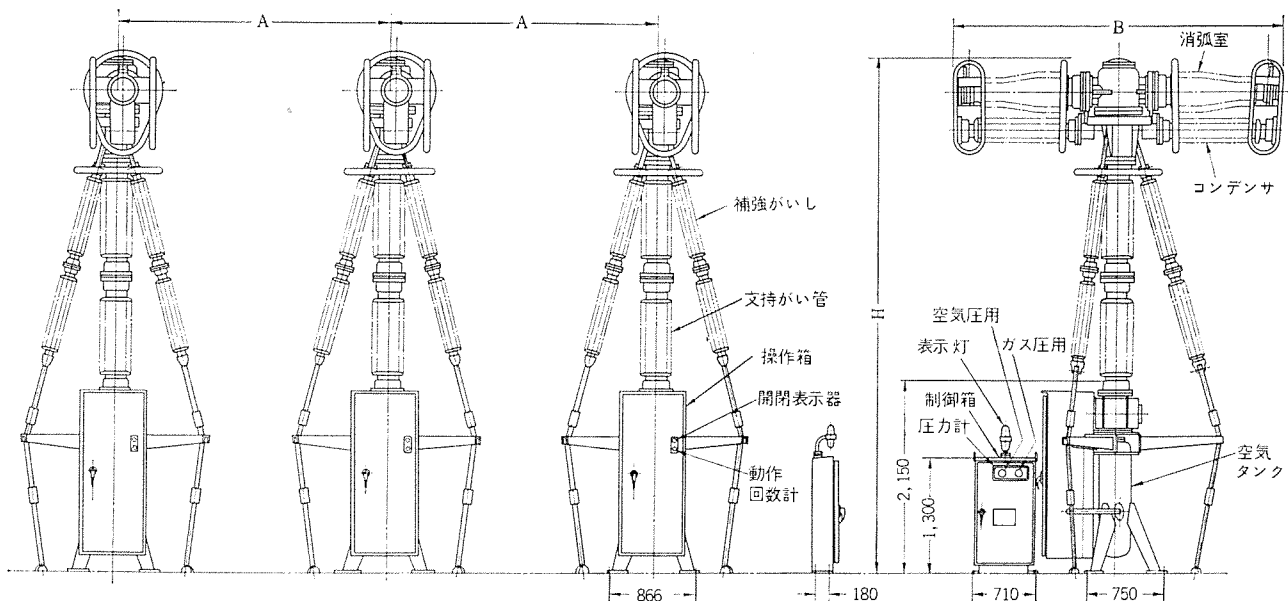


図 3.4 外形寸法 (2点切り消弧室)

Outline dimensions of two-break type.

表 3.1 外形寸法（1点切り消弧室）
Outline dimensions of one break type.

形 式 記 号		70-SFL-350	100-SFL-500
電 圧 kV		72/84	120
電 流 A		1,200	1,200
		2,000	2,000
		3,000	3,000
レ 断容量 MVA		3,500	5,000
外形寸法 mm	A	1,400	1,700
	B	2,205	2,205
	H	4,150	4,770
	L	4,960	5,560
重 量 kg		3,000	3,400

表 3.2 外形寸法（2点切り消弧室）
Outline dimensions of two-break type.

形式記号	電 圧 kV	電 流 A	しゃ断容量 MVA	外形寸法 mm			重 量 kg
				A	B	H	
140-SFL-750	168	1,200/2,000/3,000	7,500	2,800	3,720	5,290	7,600
170-SFL-1000	204		10,000	2,800	3,720	5,290	7,600
200-SFL-1000	240		10,000	4,000	3,520	5,530	8,300
250-SFL-1500	300		15,000	5,000	3,720	5,770	8,700

表 3.3 定格および特性一覧
Rating items.

形式記号		70-SFL-350	100-SFL-500	140-SFL-750	170-SFL-1000	200-SFL-1000	250-SFL-1500
電 圧	kV	72 84	120	168	204	240	300
しゃ断容量	MVA	3,500	5,000	7,500	10,000	10,000	15,000
定 電 流	A	1,200 2,000 3,000					
	再 起 電 圧 kHz	4.5 II 号	4.0 II 号	3.0 II 号	2.5 II 号	2.2 II 号	1.8 II 号
格	投 入 電 流 kA	76.5	65.5	65.5	70.3	78	65.5
	短時間電流 kA	28.1	24.1	24.1	25.8	28.3	24.1
	しゃ断時間 サイクル	5	3, 5	3	3	3	3
格	投 入 時 間 s	0.15					
	操 作 圧 力 kg/cm ² -g	15					
	ガ ス 圧 kg/cm ² -g	4	5				
	絶 縁 階 級 号	60 70	100	140	140	170	200
標 準 動 作 責 務		甲 号	高 速 再 閉 路				
空 気 消 費 量	入 l	150	240	450			
	切 l	0	10	30	30	30	30
しゃ断点数		1	1	2	2	2	2
分 圧 コ ン デ ン サ		な し	あ り				

示す。表 3.3 に、72 kV から 300 kV に至る各電圧階級の 定格と 主要性能を示す。

4. 構造、動作

消弧、引きはずし、投入および ガスシール などの しゃ断器を構成する各要素は、1 点切り、2 点切りの全シリーズを通して同一の原理を採用している。すなわち、消弧室は ガス 吹付用の弁機構を必要としない パッファ方式であり、引きはずしには、圧縮されたばねのエネルギーを使用し、投入時は、15 kg/cm² の圧縮空気で接触子を投入させるとともに、ばねを圧縮する。さらに、ガスのシールは固定部は O リング、しゅう（摺）動部は V パッキン を用いた回転 シャフトシール を採用している。

4.1 消弧室

しゃ断器には 4.5 kg/cm²-g の SF₆ ガスが封入されており、図 4.1 に示すように、接触子と一体の シリンダー が、空間 A の ガスを圧縮し、ノズルを通してアークに吹付けて消弧する。図 4.2、4.3 に消弧室を含むしゃ断柱の断面図を示す。

4.2 AL 形圧縮空気操作機構

SFL 形 ガス しゃ断器の操作機構は、当社の油しゃ断器に標準として用いられている AL 形圧縮空気操作機構であって、長年にわたるその実績によってその優秀性が高く評価されているものである。この機構は、電氣的引きはずし自由となっているが、高速度再閉路用はとくに操作 シリンダー に高压空気のあるときだけ機械的引きはずし自由になるように選択引きはずし装置が付いている。高速度再閉路

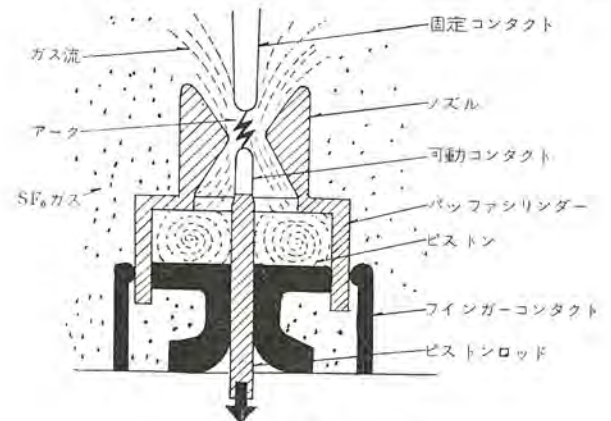


図 4.1 消弧原理
Principle of interrupting unit.

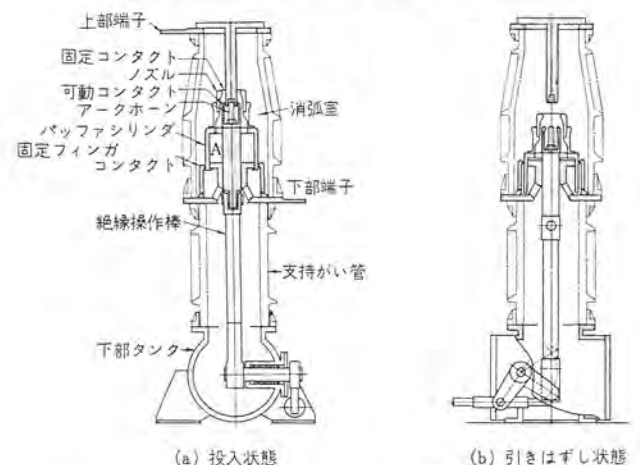


図 4.2 1点切りしゃ断器断面図
Cross section of one pole with one break.

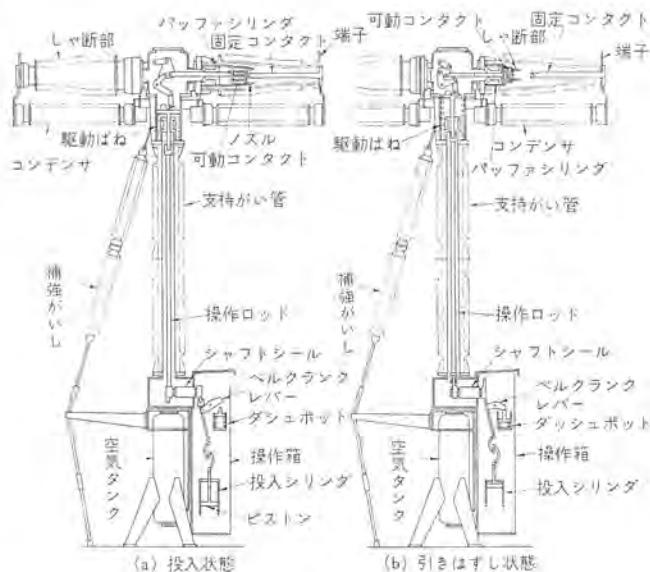


図 4.3 2点切りしゃ断器断面図
Cross section of one pole with two breaks.

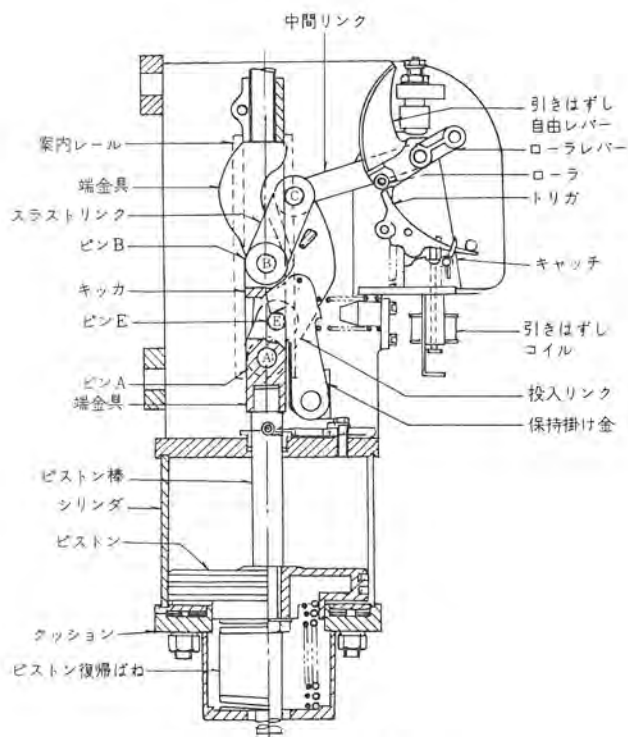


図 4.4 操作機構
Operating mechanism.

用と普通形の差は2, 3の部品が異なるだけで、ほとんど共通の機構となっている。図 4.4, 4.5 に普通形の操作機構部分および動作を示す。引きはずしは、接触子を機械的に投入状態に保持しているラッチを、電磁石によって落とすことにより圧縮されている駆動ばねで行なわれる。投入動作は、電磁弁により図 4.6~4.8 に示す制御弁を働かして、圧縮空気を投入シリンダーへ送り、これによってピストンが下へ移動して接触子を投入する。

4.3 引きはずし機構

(1) 電磁石式 (5サイクルしゃ断用)

5サイクルしゃ断用には、図 4.9 に示すような電磁石式引きはずし機構を使用する。空気系の故障時にも、引きはずし動作が可能で

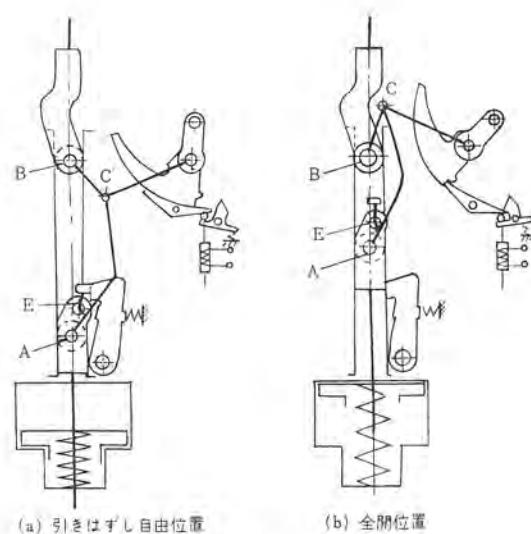


図 4.5 操作機構
Operating mechanism.

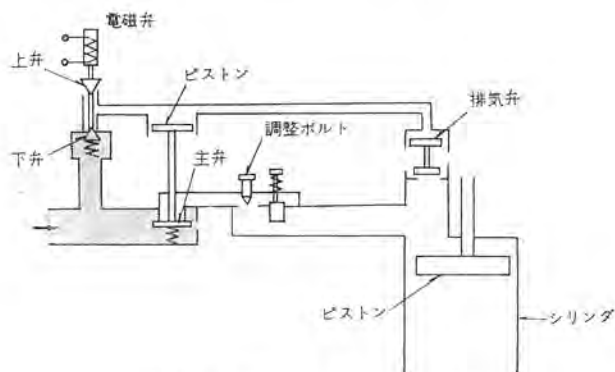


図 4.6 制御弁 Control valve.

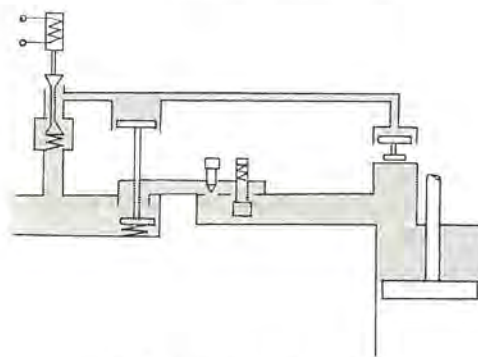


図 4.7 制御弁 Control valve

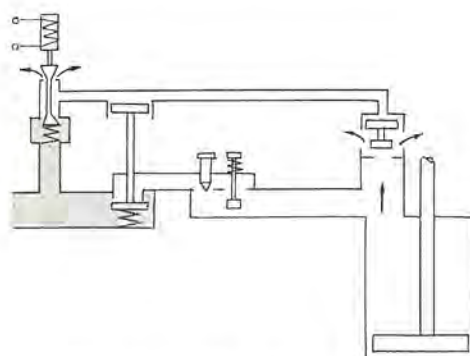


図 4.8 制御弁 Control valve.

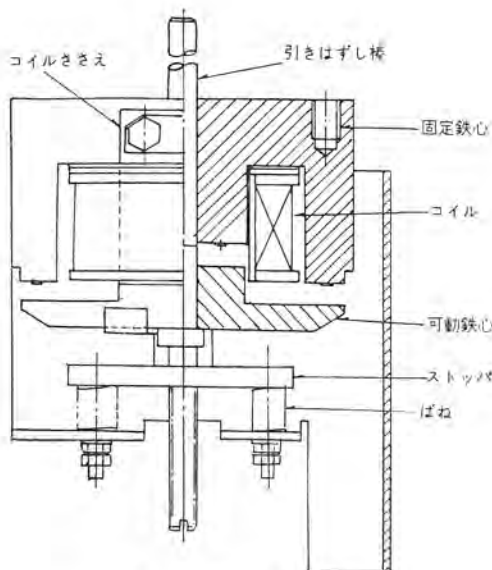


図 4.9 引きはずし電磁石
Tripping magnet.

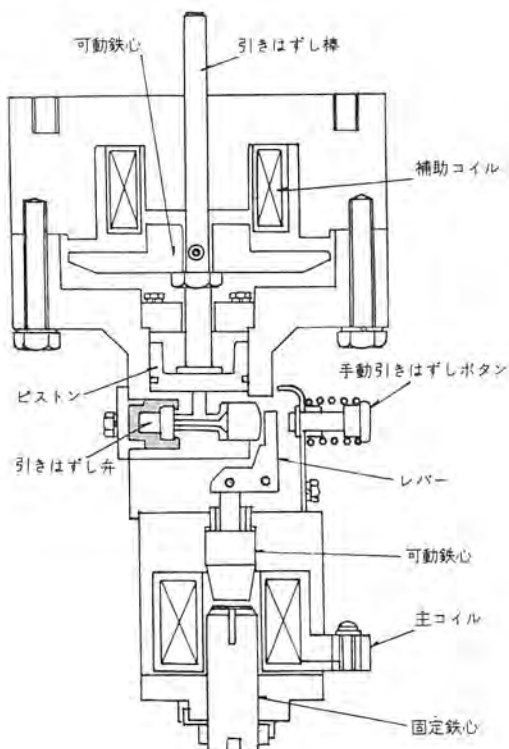


図 4.10 3サイクル引きはずし機構
Tripping mechanism for 3 cycle interruption.

あるという特長を持っている。可動鉄心と一体の引きはずし棒が操作機構のラッチをはずす。

(2) 空気式 (3サイクルシャ断用)

3サイクルシャ断用には、図 4.10 に示すように圧縮空気を使用する。可動鉄心は、レバーによって電磁弁の引きはずし弁を開き、ピストンによって力を増幅して、引きはずし棒を動かす。

また、空気式の場合、(1)の電磁石式の引きはずし機構を並置した構造とすることもでき、(1)の特長を生かすとともに、引きはずし機構の2重化を行なっている。

図 4.11 に標準結線図を示す。主コイル ($TC_1-A \sim C$) の故障または、空気系の故障時には、シャ断器が所定の時間で動作しないために時限リレー ($Tx-A \sim C$) が働き、補助コイル ($TC_2-A \sim C$) でしゃ

$TC_1 (A \sim C)$	主引きはずしコイル
$TC_2 (A \sim C)$	補助引きはずしコイル
$T_N (A \sim C)$	限時電磁器
3-52 (引きはずし)	押しボタンスイッチ
63-GLx	ガス低圧ロック補助電磁器
	引きはずし抵抗器
	引きはずしコンデンサ

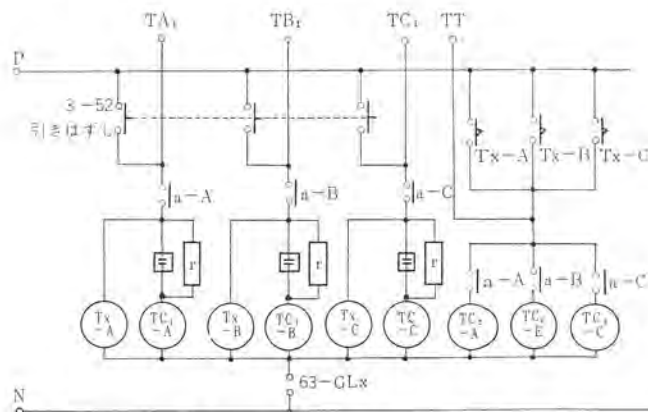


図 4.11 引きはずし制御回路図
Connection diagram of tripping coil.

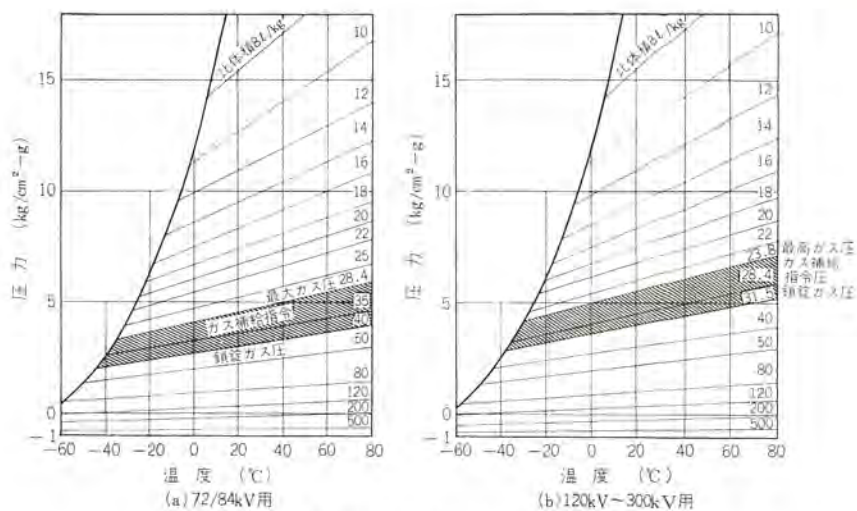


図 4.12 SF_6 ガスの圧力-温度特性
Pressure-temperature characteristics of SF_6 gas.

断器は引きはずし動作を行なう、と同時に配電盤へ ($Tx-A \sim C$) によって警報を出す。補助引きはずし信号を TT から送ることも可能であるが、この場合には主コイル故障を他の方法で検知する必要がある。

4.4 ガス密度制御

SF_6 ガスは、4.5 または、5.5 気圧 (20°C) に封じ切りされているので、温度の変化によってその圧力は図 4.12 に示すように変化するが、このシャ断器では斜線の範囲を使用する。万一、内部のガスが漏れた場合には、1 気圧ガス圧が下ったときに、ガス補給指令回路がセットされる。さらに、0.5 気圧下ったところで鎖錠回路がセットされる。普通、シャ断器破壊時以外はガス漏れは非常に緩慢なので、補給指令から鎖錠までは十分の時間があり、緊急補給の必要はない。なお、 SF_6 ガスは低い密度で使用しているので、寒冷時にも液化の心配はない。

4.5 吸着剤

ガスシャ断器では、事故シャ断時アーク熱によって生成する微量の

表 4.1 実用機における水分量測定結果
Result of moisture measurement in the field.

設 置 場 所	形 名	据 付 日	水分測定日	水 分 量
関西電力 豊崎 S/S	70-SFL-350	42年10月	42年10月	60 ppm
			43年10月	63 ppm
北海道電力 室蘭 S/S	70-SFL-350	43年 5 月	43年 5 月	80 ppm
中部電力 岩塚 S/S	70-SF-500	40年 7 月	40年 7 月	70 ppm
			42年 4 月	85 ppm

低位フッ化物の吸着と、ガス中の水分吸着のために活性アルミナなどの吸着剤を使用している。SFL形ガスしゃ断器では、1点切りでは下部タンク、2点切りでは上、下タンク内に配置し、ガスの強制的循環は行なわれていないが、ガス中の水分は自然拡散によって活性アルミナに有効に吸着され、初期ガス充填時の真空乾燥と相まって、しゃ断器内部は常に清浄で、低い水分量に管理されている。

表 4.1 に現地での水分測定値を示す。

5. 試験結果

JEC-145 および電気事業連合統一規格 (B-112) により規定された項目について、参考試験も含めて各種の試験を実施しているが、そのうち、おもなものを以下に記す。

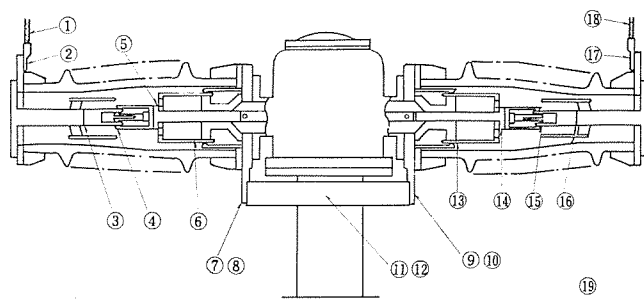
5.1 温度上昇試験

250-SFL-1500 による 2,000 A 通電時の試験結果および測定箇所を、表 5.1、図 5.1 に示す。SF₆ ガスのすぐれた伝熱特性により規格値 55°C に対して十分余裕のある値となっている。また、高温部である固定接触子側の部品を取換えることによって、3,000 A 用も可能であることを確認している。

なお、SF₆ ガスはかなり高温に至るまで安定であり、空気による酸化や油中のスラッジの発生のような現象がないため、本来接触部の温度を従来のしゃ断器に比べて非常に高くとることができるわけであるが、現用規格を満足するように設計されているので、ガスしゃ断器はさらに大きい過負荷能力を持っているといえる。

5.2 電圧分布測定試験

72/84 kV, 120 kV 用しゃ断器は、しゃ断点が1個なので問題ないが、168 kV, 204 kV, 240 kV, 300 kV 用のものはしゃ断点が2個直列となるので、対地浮遊容量の影響で開放側は接地側よりも多



- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1, 18 接 続 導 体 (端子より1m) | 6, 13 フィンガコンタクト |
| 2, 17 端 子 | 7, 8, 9, 10 外部導体, 接続部 |
| 3, 16 固定コンタクト | 11, 12 外 部 導 体 |
| 4, 15 接 触 部 | 19 周 圍 温 度 |
| 5, 14 ロッド鉤物 | |

図 5.1 温度測定箇所
Temperature measuring points.

表 5.1 温度上昇試験結果
Result of temperature rise test.

供 試 器 : 2,000 A 用 1 相 測 定 器 : 熱電対自動記録温度計
通電電流 : 2,000 A 接 続 導 体 : (80×13)mm² のものを使用。
周 波 数 : 60 Hz

測 定 個 所	連 続 開 閉 試 験 後 (°C)		温度上昇規格値 (deg°C)※
	測 定 値	上 昇 値	
1	46	41	30 以上
2	32	27	40
3	29	24	55
4	30	25	55
5	22	17	55
6	20	15	55
7	17	12	40
8	18	13	40
9	18	13	40
10	17	12	40
11	16	11	40
12	16	11	40
13	20	15	55
14	22	17	55
15	29	24	55
16	30	25	55
17	31	26	40
18	44	39	30 以上
19	5	—	—
通 電 時 間	12 h		
封 入 ガ ス 圧	5 kg/cm ² (at 20°C)		

※ アルミ接続部は、現在規定はないが、社内規格に準拠して 40°C を基準とした。

くの電圧を分担することになる。全しゃ断点で試験できる耐電圧試験は問題ないが、短絡試験設備の容量の関係でユニット試験を行なう際には回復電圧の分布を知っておく必要がある。この目的のために図 5.2 に見られるように、しゃ断器に特別製の空気コンデンサを取付け、電流しゃ断時の各しゃ断点での再起電圧、回復電圧を測定比較した。図 5.3 にそのオシログラムを示す。

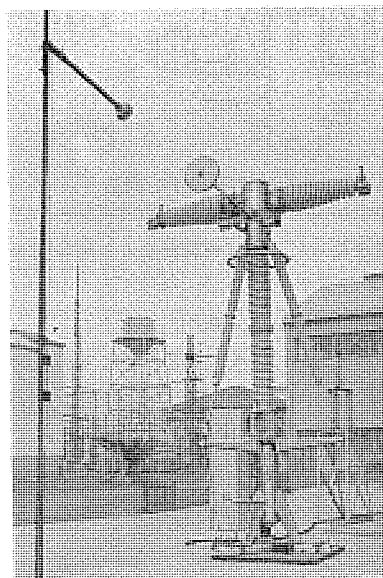


図 5.2 電圧分布測定中の 140-SFL-750 形ガスしゃ断器
Type 140-SFL-750 gas circuit breaker under measurement of voltage distribution.

その他、ミリアンペア計により直接各部の浮遊容量に流れる電流を測定し、その浮遊容量を測定する方法、シェーリングブリッジでの容量測定法などによって確認し、コンデンサの付かない 168 kV, 204 kV 用のしゃ断器、および、コンデンサ付き 240 kV, 300 kV しゃ断器それぞれのしゃ断点の電圧分布係数を決定した。

5.3 しゃ断試験

同一消弧室にて、シリーズを構成するためにユニットに要求される性能は、各系統のしゃ断電流、回復電圧の最もきびしい条件を取出した最小公倍数的な値を採用する必要がある。電圧的には、前記の電圧分布による係数および各系統の中性点接地方式によって決まる係数を考慮して決められる。電流は各系統のうちで最も大きいしゃ断

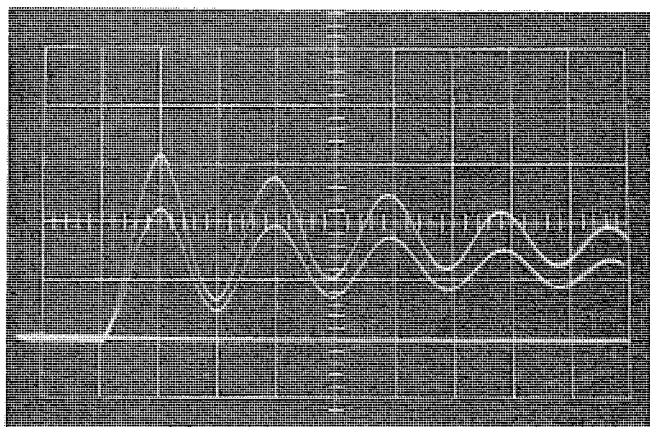


図 5.3 電圧分布測定 オシログラム の一例 (140-SFL-750)
Typical oscillogram showing the voltage distribution (140-SFL-750).

電流の値となる。84 kV ユニットの試験結果は、先に三菱電機技報 41 巻 11 号, p. 1445 で紹介済みなので、以下 120 kV ユニットの試験結果を述べる。

5.3.1 短絡しゃ断試験

当 SFL 形 ガス しゃ断器では、JEC-145 II 号、条件はもちろん、異相地絡条件、脱調条件をも同時に満足する。すなわち、脱調条件の回復電圧で、定格しゃ断電流の 110 % のしゃ断に成功しており、その優秀なしゃ断性能を示している。また、近距離線路故障 (S. L. F.) に対する性能は、各系統ごとにそれぞれの試験条件で検証しており、問題なくしゃ断成功している。表 5.2, 5.3 に定格しゃ断電流の 110 % での実負荷試験および等価試験結果を示し、O, CO 動作時のオシログラムを、図 5.4 に等価試験時の再起電圧波形を、図 5.5 に示す。表 5.4 に S. L. F. 条件しゃ断試験結果を示し、図 5.6 にその再起電圧波形を示す。これら各種試験後の接触子の状況を図 5.7 に示すが、いずれも損傷は軽微で、引き続き十分使用可

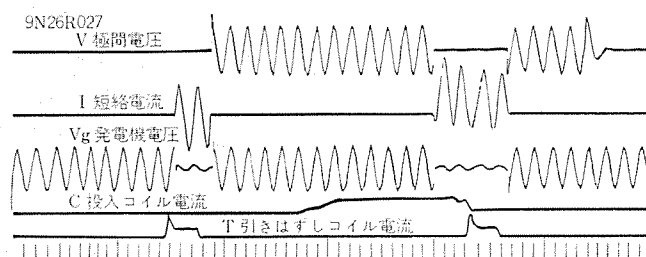


図 5.4 短絡しゃ断試験 オシログラム の一例 (O-CO 動作)
Oscillogram of short circuit interruption test.

表 5.2 定格しゃ断電流の 110 % 実負荷しゃ断試験
Short circuit interruption test.

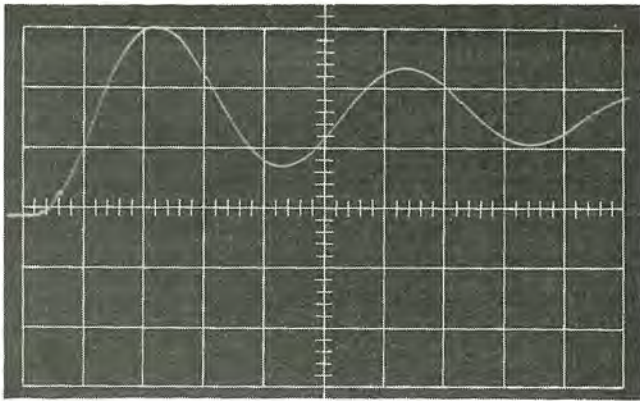
試験動作責務	試験操作電圧 %	試験操作圧力 %	試験相	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			投入電流 kA	アーク時間 サイクル	しゃ断時間 サイクル	封入ガス圧 kg/cm ² ・g
				対称分 kA	直流分 %			周波数 kHz	振幅率	上昇率 kV/μs				
O CO 1 min CO	100	100 85	$\frac{1}{2}$ P	33.1	0	97	27	2.5	1.6	0.20	—	0.8	2.5	3.7 (5°C)
				32.2	45	95	27				90	0.7	2.2	
				31.4	55	96	27				102	1.0	2.5	

表 5.3 過電圧 (脱調) 条件等価しゃ断試験 Out of phase interruption test.

試験動作責務	試験操作電圧 %	試験操作圧力 %	試験相	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			投入電流 kA	アーク時間 サイクル	しゃ断時間 サイクル	封入ガス圧 kg/cm ² ・g
				対称分 kA	直流分 %			周波数 kHz	振幅率	上昇率 kV/μs				
O	100	100	$\frac{1}{2}$ P	31.5	0	97	173	2.5	1.5	1.8	—	1.2	2.9	3.6 (2°C)
O				31.5	0	97	173				—	1.1	2.8	
O				31.5	0	97	173				—	1.0	2.7	

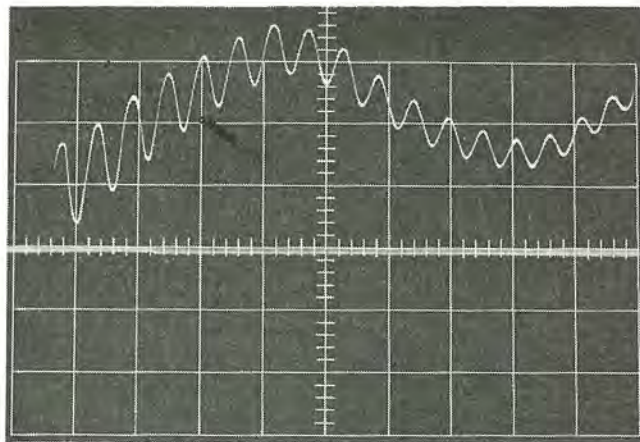
表 5.4 SLF 条件実負荷しゃ断試験 Short line fault interruption test.

試験動作責務	試験操作電圧 %	試験操作圧力 %	試験相	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			投入電流 kA	アーク時間 サイクル	しゃ断時間 サイクル	封入ガス圧 kg/cm ² ・g
				対称分 kA	直流分 %			周波数 kHz	振幅率	上昇率 kV/μs				
O	100	100	$\frac{1}{2}$ P	20	0	97	44	H : 3.0 L : 2.2	H : 1.7 L : 1.7	H : 2.8	—	1.0	2.7	3.7 (6°C)
O				20	0	97	44				—	1.1	2.8	
O				20	0	97	44				—	1.2	2.9	



$F=2.5\text{ kHz}$ $AF=1.5$ $3rV=1.8\text{ kV}/\mu\text{s}$

図 5.5 脱調条件, 再起電圧波形
Restriking-voltage wave form under out-of-phase condition.



$FH=30\text{ kHz}$ $FL=2.5\text{ kHz}$ $AFH=1.7$
 $AFL=1.7$ $3rVH=2.8\text{ kV}/\mu\text{s}$

図 5.6 近距離故障条件, 再起電圧波形
Restriking-voltage wave form under short-line fault condition.

表 5.5 進み電流しゃ断試験
Leading current interruption test.

試験電圧 kV	しゃ断電流 A	再点弧回数 回	再発弧回数 回	試験回数 回	しゃ断時の過渡電圧 倍 数	備 考
120	7.5	0	0	12	1 以下	しゃ断位相は, 各電流とも $\pi/6$ 間隔で位相制御した。
	30	0	0	12	1 以下	
	90	0	0	12	1 以下	

(注) (1) 試験周波数 60 Hz

表 5.6 変圧器励磁電流しゃ断試験
Transformer exciting current interruption test.

試験電圧 kV	しゃ断電流 A	動作責務	試験回数 回	しゃ断時の最高過渡電圧 倍 数	備 考
110	1.5	O	12	1.35	しゃ断位相は, 各電流とも $\pi/6$ 間隔で位相制御した。
110	40~290	CO	6	1.35	

(注) しゃ断時の過渡電圧倍率は, 試験電圧波高値に対する倍率で表示

能の状態にある。

5.3.2 小電流しゃ断試験

SF₆ ガスの高い絶縁耐力は進み電流しゃ断時有利となり, 表 5.5 に示すように最過酷条件である, 非接地系では線間電圧, 有効接地系では相電圧の 1.2 倍の電圧を無再点弧, 無再発弧でしゃ断し, 過電圧は発生していない。また, 変圧器励磁電流等のおくれ, 小電流しゃ断に対しては, SF₆ ガスの高温での特異な熱力学的特性により, きわめて小さな電流に至るまで, アークが安定に存在し, さい断電流が非常に小さいという, しゃ断器にとって有利な特性があり, SFL 形ガスしゃ断器も, その過電圧は, 表 5.6 に示すように他種しゃ断器に比べて格段に低い値となっており, 当社での測定結果ではその試験電圧に対する倍率は最大で 1.4 程度となっている。

5.4 耐震試験

当社では, 油圧サーボによる大形加振機によって実物に正弦波, 実地震波形を加振してその耐震強度を検証しているが, SFL 形ガスしゃ断器でも, 300 kV しゃ断器で耐震試験を実施した。1 点切のものについてはすでに紹介したが, 2 点切りの他のしゃ断器は, 300 kV のものと同形であり, 支持部が短くなり, かつ上部重量が軽減されることから, さらに安全率は増大する。

図 5.8 に振動試験の概略図を示し, 結果を表 5.7 に示す。



図 5.7 短絡試験後の接触子の状況
States of contacts of ter short circuit test.

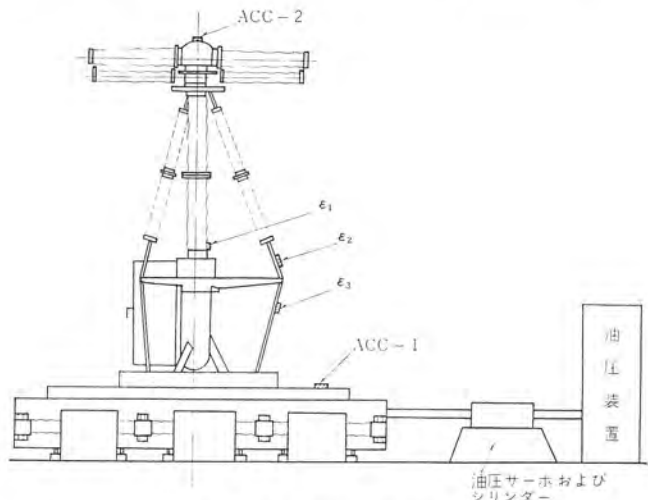


図 5.8 振動試験概略図
Vibration test arrangement.

表 5.7 振動試験結果
Result of vibration test.

加 振	ELCENTRO 地震波
台車加速度 (ACC-1)	0.33 g
先端加速度 (ACC-2)	1.51 g
がい子ひずみ (ε_1)	75×10^{-6}
ステイ荷重 (ε_2)	4.3 t
引張棒荷重 (ε_3)	3.8 t

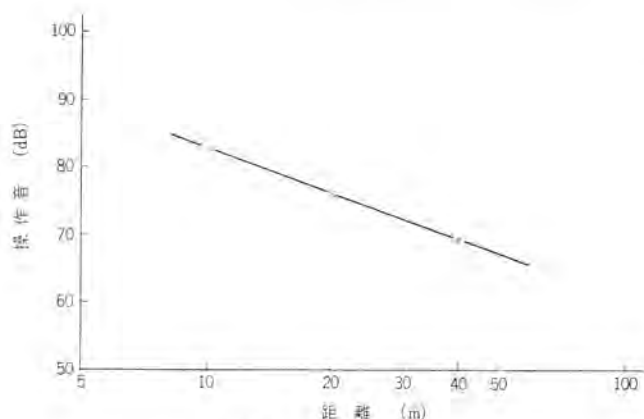


図 5.9 操作音測定結果
Result of operating noise measurement.

5.5 操作時騒音測定

このしゃ断器では、排気ガスを外部へ放出することがないため、騒音は金属音が主である。投入の際には、圧縮空気をを用い、投入完了時に排気するが、所要量が少なく排気も徐々に行なうので、騒音は非常に低い。試験は、300 kV 用一相で行なったものである。図 5.9 にその結果を示す。

6. 特 長

以上、述べてきた SFL 形ガスしゃ断器は、他のしゃ断器に比べて次のような特長を持っている。

6.1 すぐれたしゃ断性能

パuffer 方式の簡単な消弧室ではあるが、SF₆ ガスを使用しているために、再起電圧抑制用の並列抵抗器の必要なしに、他種しゃ断器には見られない高い消弧能力を持っている。

JEC-145 II 号はもちろん、急しゅんな再起電圧で空気しゃ断器で問題になっている近距離故障条件 (S. L. F.)、さらに、過電圧条件となる脱調時のしゃ断、異相地絡条件などどんな故障をも 3 サイクルの短時間でしゃ断する。また、しゃ断後の電極間の絶縁耐力回復が速く、他種しゃ断器で問題になっているしゃ断直後の雷撃(多重雷)

に対する性能は抜群である。

6.2 低い過電圧発生

小電流時に、有害な電流さい断を起こさない。また、進み小電流しゃ断時も、SF₆ の高い絶縁耐力により無再点弧である。

6.3 低い操作音

完全に密閉構造であるため、空気しゃ断器で問題となるような排気騒音がないので都市近郊の変電所に最適である。

6.4 簡単な構造と縮小された寸法

300 kV まで 2 しゃ断点、120 kV まで 1 しゃ断点とユニット電圧が高く、また並列抵抗器、断路部を必要とせず、さらに吹付弁機構のないパuffer 方式の消弧室のために構造が簡単で高い信頼性を持っている。

6.5 良好な耐震特性

支持がい子上部の消弧室が小形軽量であるために地震に対する安全性は十分高くできている。また、しゃ断器を実際に加振してその安全性を確認している。

6.6 長期間保守点検の必要がない

SF₆ ガス中では、接触子の消耗が非常に少なく、ほとんど永久的に接触子を換える必要がない。

6.7 高い安全性

SF₆ ガスは無害無臭で、化学的にきわめて安全、かつ不活性であるので、生理的安全性はもちろん、不燃性であって屋内用として用いられても火災の心配がない。

7. む す び

シンプル な構造で、SF₆ ガスの特性を最も有効に利用した中容量 SFL シリーズの構造、性能などを紹介した。

大容量 SFH、中容量 SFL の 2 シリーズが完成したことによって現在およびかなり将来の系統までのしゃ断器をガスしゃ断器によって供給できる態勢が整ったわけであるが、このガスしゃ断器がわが国の電力系統の近代化に新しい可能性を生み出し、電力界の発展に貢献できることを確信している。筆をおくに当たって、このしゃ断器の開発および製品化にあたってご尽力賜った関係各位に紙上をかりて心から謝意を表わす次第である。(昭和 44-5-22 受付)

参 考 文 献

- (1) 富永、森岡：三菱電機技報，39，971 (昭 40)
- (2) 潮、田辺：三菱電機技報，41，1,445 (昭 42)
- (3) 富永、田辺、佐藤：電学連大，756 (昭 44)
- (4) 富永、森岡、大野：電学連大，757 (昭 44)

小田急電鉄納め変電所集中監視制御装置

山中 彪生*

Centralized Supervisory Control System
for Odakyu Electric Railroad Company

Kobe Works Torao YAMANAKA

The Odakyu Electric Railroad Company has installed centralized supervisory control system in an electric power distribution control center at Sagami-Ôno, of which is made description herein. The system is for the purpose of having supervisory control over sixteen substations and one switching station for power reception of the railroad enterprise. It has the following features. (1) Mitsubishi multistage multiplex supervisory control system is used for the whole system. (2) The centralized control is made from Sagami-Ôno electric power distribution control center which is situated almost in the heart of the operation area by direct connection to controlled stations in Ôno group and by carrier system to those in Kyodo and Matsuda groups via relay stations. (3) Much study has been made on the hardware and unique devices are in use at various stations.

1. ま え が き

都市内および近郊区間の交通は年とともに高密度となり、この一端を荷なら電鉄の電気設備はますます高い信頼度と合理的かつ能率的運転を要求されるようになっていく。

このため従来いくつかの地域に分けて行なっていた変電所の遠方監視制御を1箇所から集中して行なうことにより電力系統全体を合

理的に運用しようとする傾向にあるが、当社では早くからこのための集中監視制御装置を手がけ多数の製作納入実績を有している。

小田急電鉄向け変電所集中監視制御装置は昭和43年3月から使用開始して現在順調に運転を行なっているが、三菱多段多重式遠方監視制御方式を採用しているほか、系統および装置構成に数々のユニークな点を有しているためその概要をここに紹介する。

変電所数	17箇所
変電所容量	80,300kW
電車線路延長	299km
送電線路延長	229km
配電線路延長	116km
送電線路延長	43km

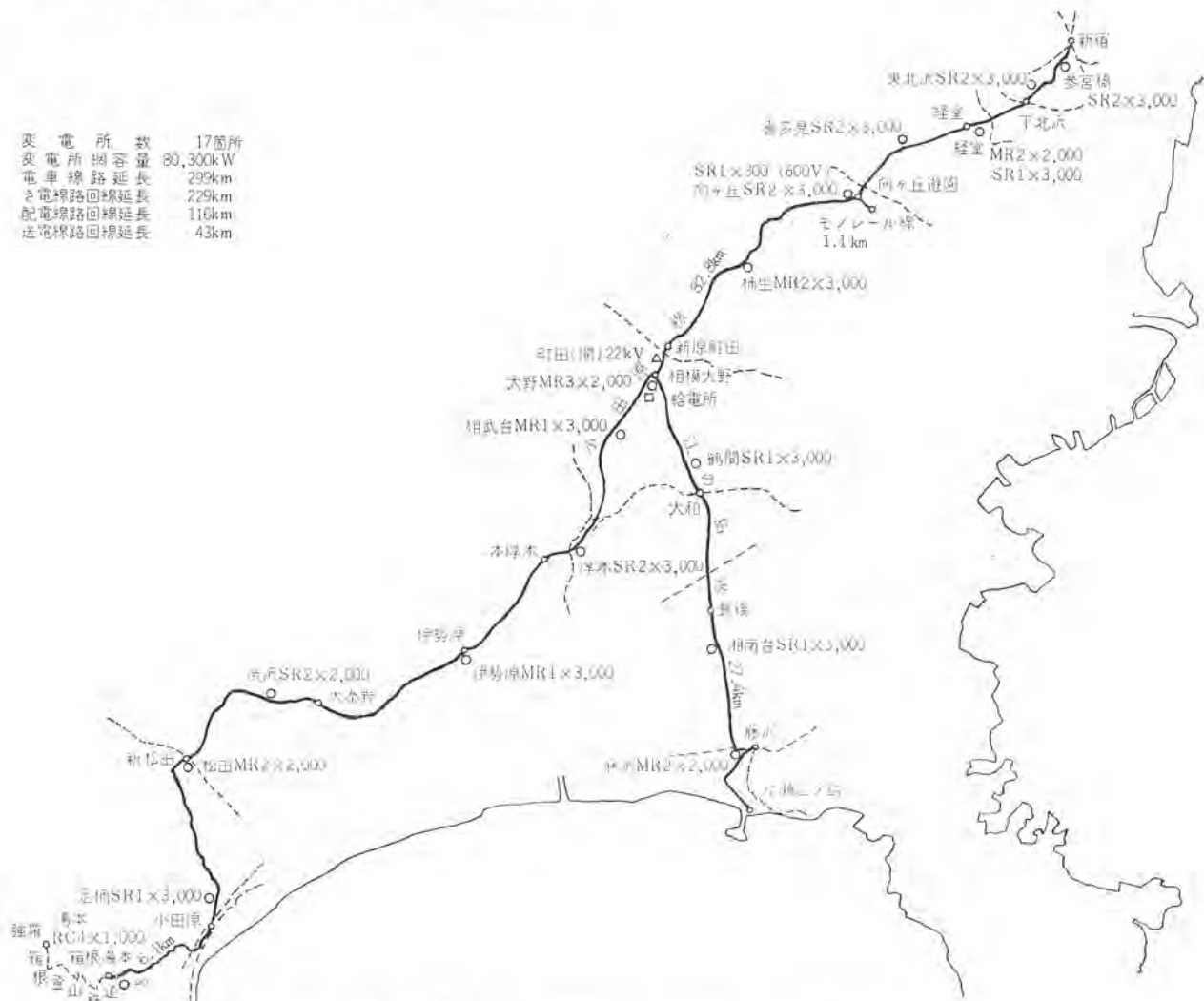


図 2.1 電気運転設備配置

Disposition of electric operating installations.

2. 設備概要

2.1 電気運転設備

小田急電鉄の電気運転設備は図 2.1 のように、小田原線、複線 82.8 km と江ノ島線、複線 27.4 km 計 110.2 km に対して DC 1,500 V、また向ヶ丘モノレール線、単線 1.1 km に対して DC 600 V の電車線路、き電線路および AC 3,300 V の配電線路を有し、これらに対する電源設備として変電所が 16 箇所のほか、箱根登山鉄道、小田原～箱根湯本間への乗入れ列車のため 1 箇所、計 17 箇所と、受電用開閉所 1 箇所ならびにこれらを結ぶ 22,000 V の送電線を一部有している。

また標準的な変電所の主回路構成を図 2.2 に示す。

受電は東京電力 (66 kV または 22 kV) あるいは小田急の送電線 (22 kV) より行ない、直流変換装置および高圧配電線に接続される。直流変換装置は標準 2 バックとし場所により一部増減している。

直流き電回路はとくに構内線や分岐のないところでは図 2.2 の形で複線両方向にき電し、54 F 自動しゃ断時には隣の変電所の対向 54 F に切指令を出す、いわゆる連絡しゃ断を行なう。89 F (13)、89 F (24) は連絡断路器でこれを閉じて変電所を休止させるときは、上記連絡しゃ断はこの変電所を飛び越して行なわれる。

高圧配電線は常に一方側より配電するが、これが停電したときは自動的に他方から配電するいわゆる配電自動切換えを採用している。

2.2 集中監視制御系統

上記電気運転設備を集中監視制御する系統はそのほぼ中心に位置する相模大野の給電所を中央制御所として構成されている。

図 2.3 にその系統を示す。

系統は大きく経堂系、大野系および松田系の三つに分れ、経堂系および松田系はそれぞれ A、B 2 群に、大野系は A、B、C 3 群に分れている。

大野系は各被制御所が給電所から直接監視制御されるのに対し、経堂系および松田系では既設の通信系統を利用し経堂および松田中

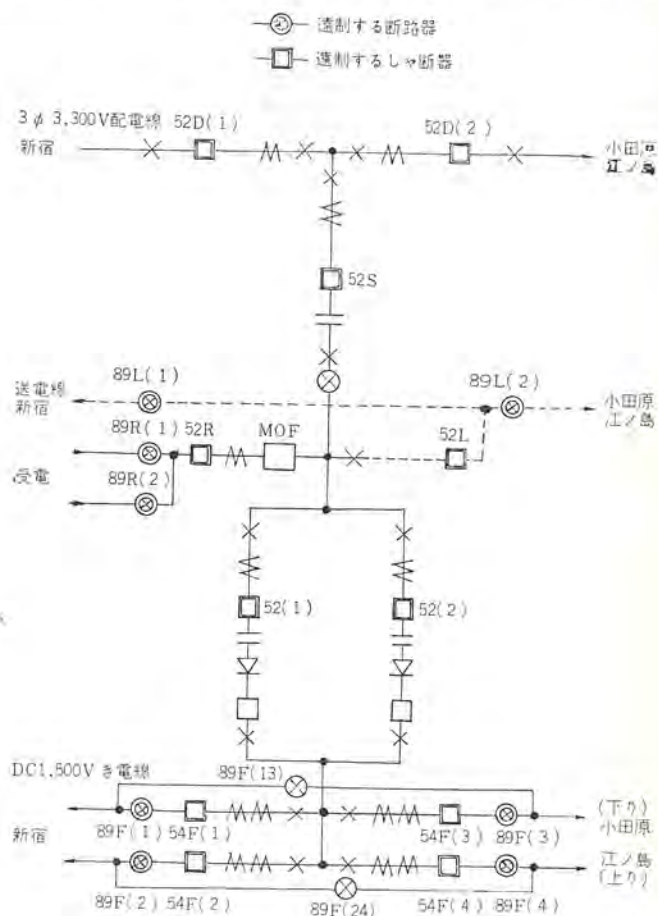


図 2.2 変電所標準主回路
Standard skeleton diagram of a substation.

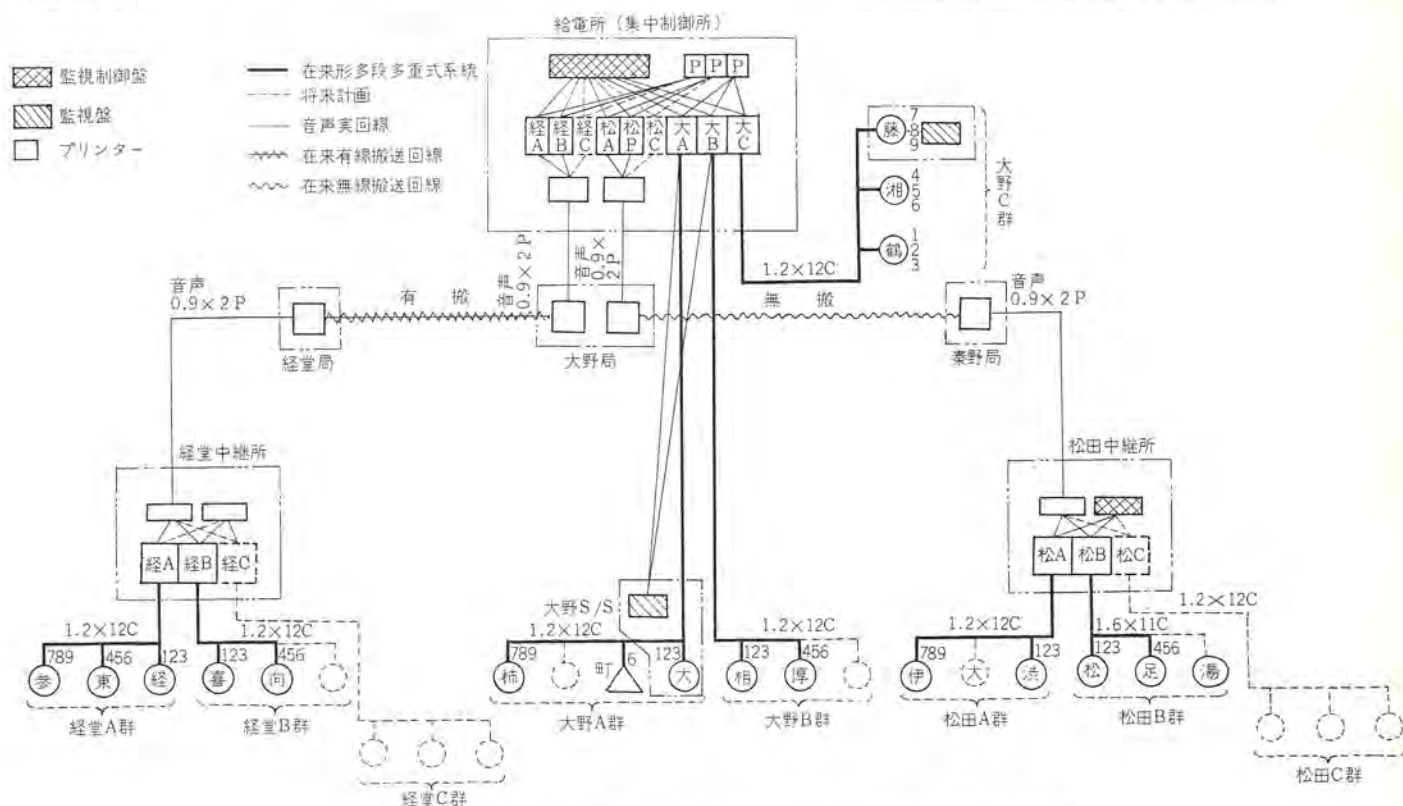


図 2.3 集中監視制御系統

Centralized supervisory control system.



図 2.4 給電所全景

Whole view of electric power distribution control center.

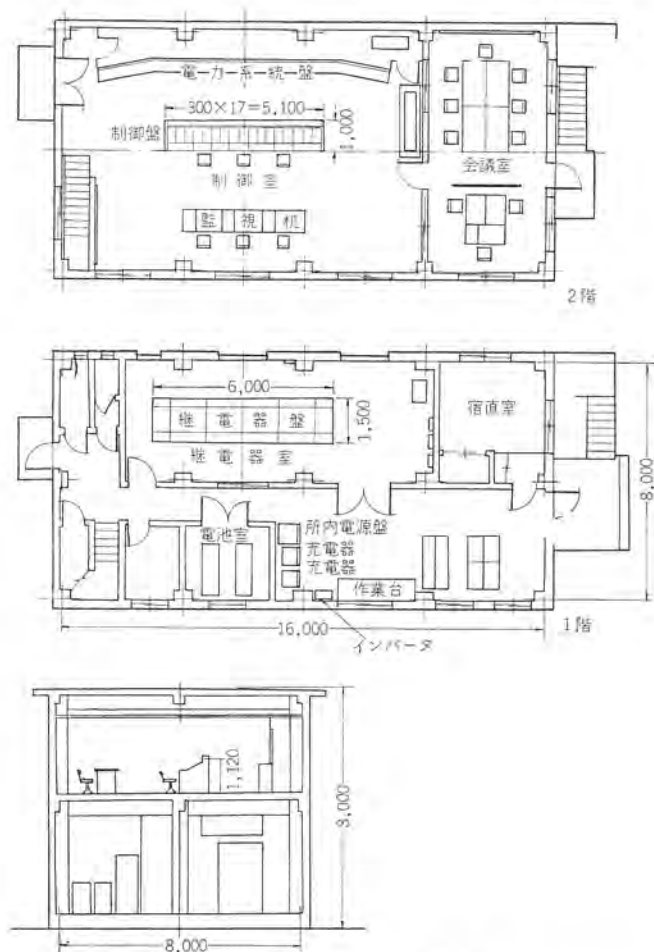


図 2.5 給電所機器配置

Equipment layout of electric power distribution control center.

継所を介して監視制御される。大野～経堂間是有線搬送，大野～松田間は無線搬送で信号伝送を行なっている。

経堂および松田中継所と各被制御所との関係は，大野系の給電所と各被制御所との関係と同じであり，中継所は保守作業の基地となっており，ここに系統内被制御所の監視制御盤があつて随時被制御所設備の監視を行なうことができ，給電所—中継所の切換スイッチを倒せば制御も行なえるようになっている。また大野系で保守作業の基地となる大野および藤沢変電所には監視盤があり，大野変電所では大野系 A, B 群の，藤沢変電所では大野系 C 群の各被制御所の

監視を行なうことができる。給電所には各系統ごとに被制御所機器の動作を記録する動作記録装置を備えている。その他作業現場用および電力会社の電話設備がすべて給電所に集中されている。

2.3 給電所設備

給電所の全景を図 2.4 に示す。建屋は 2 階建てで内部の配置は図 2.5 のとおりである。2 階の制御室に監視制御盤，動作記録装置，電力系統盤などを設け，1 階には継電器盤，電源装置などが配置されている。

3. 遠方監視制御装置仕様

3.1 設計条件

集中化以前は経堂，大野および松田の各変電所を制御所として 3 系統それぞれ独立に遠方監視制御を行なっていた。

このような地域別の監視制御では制御所相互間，作業現場または運転司令所などとの連絡が繁雑で時間を要し，円滑な運用が困難になってきたため，それらの業務を一括して行なう給電所が設置される運びとなった。集中監視制御装置の設計に当たってはつぎのような点を前提として検討を行なった。

- (1) 既設三菱多段多重式を基本とし，改造をできるだけ少なくして，増設分との統一をはかり，しかも経済的に工事ができること。
- (2) 万一の故障，連絡線の断線などの影響をできるだけ少なくするため，給電所の位置は中心地である相模大野とすること。
- (3) 将来の増容量に対して十分な余裕をもたせること。
- (4) 選択時間は既設の 0.8 秒の 2 倍程度以内のこと。
- (5) 操作および自動状態変化が自動記録されること。
- (6) 作業現場用および電力会社の電話設備の集中化が容易にできること。

3.2 遠方監視制御項目

遠方監視制御項目のうち主回路機器に関するものは，前掲図 2.2 に示したようなものであり，これに故障，状態表示項目を加えてポジション順に配列した標準選択項目一覧表を表 3.1 に示す。

この表は三菱多段多重式遠方装置の動作原理に基づいて配列された表で，L1, L2, ……，L9 は選択，接続用の連絡線，LC は連絡線用途切換および制御所，被制御所優先判別用連絡線，LP, LN は共通帰線を示す。S1, S2, ……，S9 は 1 次選択継電器，S12, S13, ……等は 2 次選択継電器で横の各段が選択の「場合」を示し，記入された項目の信号送受信回路が制御所および被制御所で連絡線に接続される。すなわち，たとえば連絡線 L1 に 1 次選択指令，続いて連絡線 L2 に二次選択指令が印加された場合には第 1 段目の場合となり連絡線 L3 に 52 R の制御回路，L4 に 52 R の表示回路，L5 および L6 に RV (受電々圧) 計測回路，L7 に受電停電の表示回路，L8 に復帰の制御回路が接続される。

なお本方式の動作原理の詳細については文献⁽¹⁾に記しているのここでは省略する。

集中化以前より被制御所自体の信頼度を向上させ，標準化を行なう方針で改良が進められており，遠方監視制御項目およびそのポジションも統一されていたため，集中化の場合にはこれをそのまま使用することができた。

3.3 方式，機能および特長

集中監視制御系統の形としては図 3.1 の (a) のように各被制御所を直接制御する形と，(b) のように途中にサブセンタをおく形がある。

List of standard selection items.

第 3 變 電 所							S 97	S 98	S 9	LC	LP	LN
						S 96						
					S 95							
				S 94								
	52 D (2) 制	52 D (2) 表	S 93	86 D (2) 制	86 D (2) 表		52 DZ (2) 表					
	52 D (1) 制	S 92	52 D (1) 表	86 D (1) 制	86 D (1) 表	配電地絡	52 DZ (1) 表					
	S 91	52 S 制	52 S 表	(SV 計)	(SV 計)							
	89 F (4) 制	89 F (4) 表				重 故 障	S 87	S 8	S 89			
	89 F (3) 制	89 F (3) 表				S 86						
	89 F (2) 制	89 F (2) 表	89 F (24)表		S 85	侵 入						
	89 F (1) 制	89 F (1) 表	89 F (13)表	S 84		直 接						
	89 R (2) 制	89 R (2) 表	S 83			86 R (2) 制	86 R (2) 表					
	89 R (1) 制	S 82	89 R (1) 表			86 R (1) 制	86 R (1) 表					
	S 81	5 E 制	5 E 表			火 災						
	54 F (4) 制	54 F (4) 表	FA (4) 計	FA (4) 計			S 7	S 78	S 79			
	54 F (3) 制	54 F (3) 表	FA (3) 計	FA (3) 計		S 76						
	54 F (2) 制	54 F (2) 表	FA (2) 計	FA (2) 計	S 75							
	54 F (1) 制	54 F (1) 表	FA (1) 計	S 74	FA (1) 計							
52 (2) 制	52 (2) 表	S 73	(FV 計)	(FV 計)	軋 故 障							
52 (1) 制	S 72	52 (1) 表	(FV 計)	(FV 計)	き電地絡	試 験 制						
S 71	52 R 制	52 R 表	(RV 計)	(RV 計)	受電停電	復 帰 制						
第 2 變 電 所						S 6		S 68	S 69			
							S 67					
					S 65							
				S 64								
	52 D (2) 制	52 D (2) 表	S 63	86 D (2) 制	86 D (2) 表			52 DZ (2) 表				
	52 D (1) 制	S 62	52 D (1) 表	86 D (1) 制	86 D (1) 表	配電地絡	52 DZ (1) 表					
	S 61	52 S 制	52 S 表	(SV 計)	(SV 計)							
	89 F (4) 制	89 F (4) 表				重 故 障	S 58	S 59				
	89 F (3) 制	89 F (3) 表				S 57						
	89 F (2) 制	89 F (2) 表	89 F (24)表		S 5	S 56	侵 入					
	89 F (1) 制	89 F (1) 表	89 F (13)表	S 54			直 接					
	89 R (2) 制	89 R (2) 表	S 53			86 R (2) 制	86 R (2) 表					
	89 R (1) 制	S 52	89 R (1) 表			86 R (1) 制	86 R (1) 表					
	S 51	5 E 制	5 E 表			火 災						
	54 F (4) 制	54 F (4) 表	FA (4) 計	S 4	FA (4) 計			S 48	S 49			
	54 F (3) 制	54 F (3) 表	FA (3) 計		FA (3) 計		S 47					
	54 F (2) 制	54 F (2) 表	FA (2) 計		FA (2) 計	S 46						
54 F (1) 制	54 F (1) 表	FA (1) 計	S 45		FA (1) 計							
52 (2) 制	52 (2) 表	S 43	(FV 計)		(FV 計)	軋 故 障						
52 (1) 制	S 42	52 (1) 表	(FV 計)		(FV 計)	き電地絡	試 験 制					
S 41	52 R 制	52 R 表	(RV 計)	(RV 計)	受電停電	復 帰 制						
第 1 變 電 所			S 3					S 38	S 39			
								S 37				
						S 36						
					S 35							
	52 D (2) 制	52 D (2) 表		S 34	86 D (2) 制	86 D (2) 表		52 DZ (2) 表				
	52 D (1) 制	S 32		52 D (1) 表	86 D (1) 制	86 D (1) 表	配電地絡	52 DZ (1) 表				
	S 31	52 S 制	52 S 表	(SV 計)	(SV 計)							
	89 F (4) 制		89 F (4) 表			重 故 障	S 28	S 29				
	89 F (3) 制		89 F (3) 表			S 27						
	89 F (2) 制	S 2	89 F (2) 表	89 F (24)表		S 26	侵 入					
	89 F (1) 制		89 F (1) 表	89 F (13)表	S 25		直 接					
	89 R (2) 制		89 R (2) 表	S 24	86 R (2) 制		86 R (2) 表					
	89 R (1) 制		S 23	89 R (1) 表	86 R (1) 制		86 R (1) 表					
	S 21	5 E 制	5 E 表			火 災						
	S 1	54 F (4) 制	54 F (4) 表	FA (4) 計	FA (4) 計			S 18	S 19			
		54 F (3) 制	54 F (3) 表	FA (3) 計	FA (3) 計		S 17					
		54 F (2) 制	54 F (2) 表	FA (2) 計	FA (2) 計	S 16						
		54 F (1) 制	54 F (1) 表	FA (1) 計	S 15	FA (1) 計						
52 (2) 制		52 (2) 表	S 14	(FV 計)	(FV 計)	軋 故 障						
52 (1) 制		S 13	52 (1) 表	(FV 計)	(FV 計)	き電地絡	試 験 制					
S 12	52 R 制	52 R 表	(RV 計)	(RV 計)	受電停電	復 帰 制						
変電所	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	LC	LP	LN

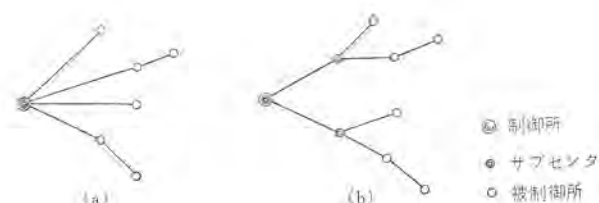


図 3.1 集中監視制御系統の形
Two types of centralized supervisory control system.

(a) の形は被制御所数が少なく比較的近距离にある場合には、系統および装置構成が簡単になる特長があるが、被制御所の数も多く、また広範囲にわたる場合には、すべての情報を全部制御所で処理する必要がある点や、信号伝送上の問題で不利となる。一方 (b) の形は (a) の形とは逆に系統は複雑になるが、制御所で不必要な情報はサブセンタで止めることや、非常時にはサブセンタから制御することも可能となる特長がある。

小田急電鉄変電所集中監視制御装置では、給電所に近い大野系では (a) の形、遠方の経堂系および松田系では (b) の形を採用することによりそれぞれの特長を發揮するように系統構成が行なわれている。(a) の形は上記のように比較的近距离の場合は系統および装置構成が簡単になり問題はないが、(b) の形は一般にサブセンタの装置がかさむという問題がある。

本装置ではこれに対し、三菱多段多重式の選択動作の特長を利用して、各項目個別の信号受渡しは行なわず、連絡線信号を中継する形とすることにより、サブセンタすなわち経堂および松田中継所の装置を小さくし経済化をはかっている。またこのためいったん受けた信号を改めて送りなおすという時間的なむだもなくなり、給電所は従来の制御所（現在の中継所）と被制御所間の信号連絡所要時間からわずかの時間遅れで信号の授受を行なうことができる。

中継所設置の監視制御盤には、給電所—中継所の操作切換えスイッチがあり、これを中継所側に倒せば中継所より制御が行なえる。表示については常に給電所、中継所並列に表示される。なお上記切換スイッチの状態は給電所にも表示されるようになっている。

計測については全項目の中継は行なわず、直流き電電流 (FA) のみ給電所へ送り、受電電圧 (RV)、直流き電電圧 (FV) および高圧配電線電圧 (SV) については中継所に指示させている。なお受電電力量 (WHR) および配電電力量 (WHS) は各被制御所で自動印字記録を行なう。

連絡しゃ断は平常時は給電所を介して行なっている。(連絡所要時間約 2.5 秒) 中継所の操作切換えスイッチを中継所側にすれば、連絡しゃ断も中継所を介して行なう。なお異系統間 (向ヶ丘—柿生間、厚木—伊勢原間) の連絡しゃ断は装置の電源を分離するため直接形の回路により行ない、結果を表示する (連絡しゃ断された方はフリッカしない) ようにしている。

その他の機能としては、とくに操作回数が多いき電しゃ断器 54 F については、き電開始および終了時いちいち選択スイッチを押してマスタスイッチをねん (捻) 回する動作を繰返すのは繁雑なので、いっせいに蓄積を行なって順次選択制御を行なう機能も付加している。また各系統ごとに動作記録装置を備え、被制御機器の状態変化、被制御所内および遠隔装置の故障発生、復旧を発生と同時に印字記録している。本装置のおもな仕様は次のとおりである。

(1) 装置方式

三菱多段多重式

(2) 信号伝送方式

(a) 大野系

給電所～各被制御所間 直送

(b) 経堂、松田系

給電所～中継所間 音声帯域 FS 変調波を有線 (経堂系)

あるいは無線 (松田系) 搬送

中継所～各被制御所間 直送

(3) 音声帯域変調方式

チャンネル数	18 (実装 15)
変調方式	FS 変調
周波数偏位	$f_0 \pm 35 \text{ Hz}$
伝送速度	50 ボー
中心周波数	$f_m = 425 + 170 (n-1)$ $n=1 \sim 18$
符号入出力	接点閉: $f_0 - 35 \text{ Hz}$ 接点開: $f_0 + 35 \text{ Hz}$

(4) 制御操作および表示方式

制御操作

機器選択の後、マスタスイッチにより制御する 2 挙動方式表示

機器は 1 個の表示灯を赤・緑に点灯させる。自動状態変化時フリッカー

故障、状態表示は 1 灯式、発生復旧時フリッカー

(5) テレメータ方式

(a) 大野系

方式	整流式
信号レベル	DC 0～5 mA

(b) 経堂、松田系

方式	整流式 (アナログテレメータ)
入力	0～10 mV
整流周波数	20～30 Hz
信号伝送	音声帯域 FS 変調し、有線 (経堂系) または無線 (松田系) 搬送
出力	0～1 mA (500 Ω)

(3) 装置容量

(a) 大野系

A, B, C 3 群

(b) 経堂、松田系

A, B (C) 2 群 (1 群) () 内将来

各群当たり 504 ポジション (3 変電所分) ただしここでいうポジションとは表 3.1 の一つの欄を意味する。したがってポジション数は、制御は 1 項目 1 ポジション、表示も同様に 1 項目 1 ポジション、選択計測は 1 項目 2 ポジションとして計算される。

(4) 選択所要時間

(a) 大野系	約 0.7 秒
(b) 経堂、松田系	約 1.7 秒

なお選択所要時間は全項目に対し均等である。

(5) 電源

(a) 給電所	DC 100 V (リレー用) AC 16 V (ランプ用)
(b) 中継所	DC 100 V
(c) 各被制御所	DC 100 V

(6) 連絡線

- (a) 直送区間
1.2 mm ϕ 制御 ケーブル 12 心
- (b) 給電所, 中継所~搬送端局間
0.9 mm ϕ 通信 ケーブル 2 P

(7) 装置構成

(a) 給電所

遠方監視制御盤 机 形

幅 75+300 $\times$ 17+75 mm

高 さ 1,120 mm

奥 行 1,000 mm

遠方監視制御継電器盤 架構造

幅 600+1,200 $\times$ 4+600 mm (前後面)

高 さ 2,350 mm

奥 行 1,500 mm

動作記録装置

経堂, 大野, 松田系各 1 台

幅 400 mm

高 さ 550 mm

奥 行 400 mm

時刻計数装置

動作記録装置と同一寸法

計器盤

動作記録装置と同一寸法

(b) 経堂中継所

遠方監視制御盤 壁掛形

幅 350 $\times$ 7 mm

高 さ 700 mm

奥 行 300 mm

遠方監視制御継電器盤 垂直自立形

幅 800 $\times$ 3 mm (前後面)

高 さ 2,060 mm

奥 行 1,200 mm

中継盤 垂直自立形

幅 700 mm (前後面)

高 さ 2,060 mm

奥 行 1,500 mm

(c) 松田中継所

遠方監視制御盤 壁掛形

幅 370 $\times$ 7 mm

高 さ 700 mm

奥 行 300 mm

遠方監視制御継電器盤 垂直自立形

幅 800 $\times$ 3 mm (前後面)

高 さ 2,060 mm

奥 行 1,500 mm

中継盤 垂直自立形

幅 700 mm (前後面)

高 さ 2,060 mm

奥 行 1,500 mm

(d) 各被制御所

遠方監視制御継電器盤 垂直自立形

幅 700 mm

高 さ 2,350 mm

奥 行 1,500 mm または 1,200 mm

なお大野および藤沢変電所には下記監視盤が設置されている。

監視盤

幅 350 $\times$ 4/3 mm (大野/藤沢)

高 さ 700 mm

奥 行 300 mm

4. 各装置の概要

4.1 給電所

4.1.1 遠方監視制御盤

給電所遠方監視制御盤は図 4.1 のような机形で、盤面は変電所ごとに幅 300 mm のユニットとなっている。この盤の構造および器具配置は製作にはいる前に長期にわたり人間工学的検討が加えられたものである。

盤面の器具配置は前掲図 2.2 変電所主回路と同じ形になっており、各機器の状態は 1 個で赤・緑に点灯する照光式押しボタンスイッチにより表示され、制御を行なう場合はその機器の照光式押しボタンスイッチを押せば選択が行なわれ、群ごとに設けたマスタスイッチを回して行なう。照光式押しボタンスイッチの表示方法を図 4.2 に示す。

故障、状態表示は被制御所名板の下に並べた表示灯により行なう。

機器の自動状態変化および故障その他の状態発生ときは警報とともに該当表示灯および被制御所名板がフリッカする。

直流き電の流計は将来取りはずす予定で盤上部に別に取付けている。盤面にはその他各変電所ごとにフリッカ停止用 (FS), 選択復帰用 (RT), 表示試験用 (TS) の押しボタンスイッチ, また机部分には捻回形マスタスイッチのほか警報停止用 (AS), 選択蓄積用 (AU), 保安鎖錠用 (LK) の押しボタンスイッチを設けており, 電話装置も取り付けられている。なお, 制御盤の構造は遠方方式と直接の関係はないので, いかなる方式にもこのような制御盤を結合することが可能で

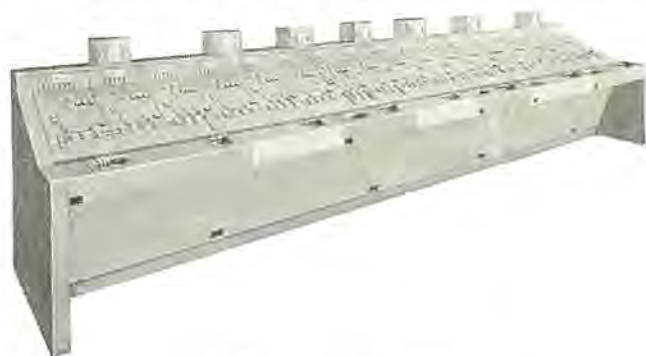


図 4.1 遠方監視制御盤
Control desk.

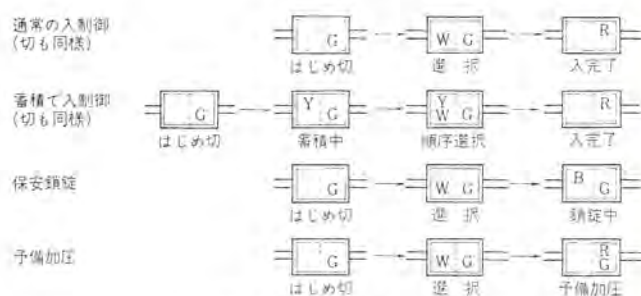


図 4.2 表示方法
Styles of indication.



図 4.3 遠方監視制御継電器盤
Relay panel (control station).



図 4.4 動作記録器
Performance recorder.

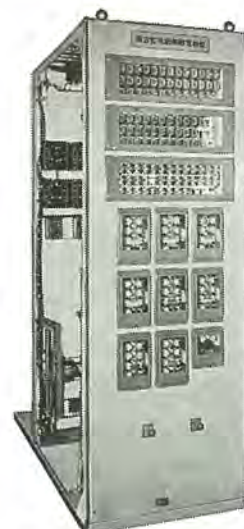


図 4.5 被制御所継電器盤
Relay panel (remote station).

ある。

4.1.2 遠方監視制御継電器盤

継電器盤は図 4.3 のような構造で共通部用と個別部用および動作記録用とがあり、つぎのようになっている。

(1) 共通部用は主として選択回路用継電器であり、大野系については各群個々に分かれ、経堂系、松田系については 2 群を一括し、さらに信号伝送装置を組んでいる。

(2) 個別部用は各項目ごとの選択予定用、状態監視用その他の個別的な機能をもつ継電器よりなり、群ごとに 1 面を構成している。

(3) 動作記録器用は上記個別部用継電器回路と結ばれ、状態変化信号を受けて記録器への出力を出すため、異群同時発信時の処理をする継電器よりになっている。

継電器はワイヤスプリングリレーを使用し、数種類の標準ユニットとして組立てられている。ユニット内はラッピング配線、ユニット間はコネクタを使用した束配線、盤間はコネクタと 32 心ケーブルによる配線とし、被制御所の増設などの変更を容易にしている。

4.1.3 動作記録器

動作記録器は図 4.4 に示すように被制御所内の状態変化および遠方監視装置の故障発生、復旧などの表示と同時に記録させるもので、制御の結果の場合は黒字、自動状態変化の場合は赤字で印字する。容量は 14 けた各 11 文字を印字できるもので、時刻、変電所名、機器名番号、群名、故障表示名などを印字する。装置は同時発信時の待時間の減少と電源分離のため各系統ごとに 1 台ずつ設けている。

4.2 中継所

4.2.1 遠方監視制御盤

中継所の遠方監視制御盤は、給電所と同じく変電所ごとのユニットで同様の器具配置になっている。平常時は監視のみを行なうが、非常時には操作切換スイッチによりこの盤から制御を行なうことができる。なお可揺形になっており、パネルを前に開いて内部の点検が行える構造となっている。

4.2.2 遠方監視制御継電器盤

中継所は集中化前の制御所であって、既設の継電器盤を利用し

れに中継用継電器回路と信号伝送装置を収納した中継盤を付加している。中継用継電器回路は、A、B 2 群（将来 3 群）を一つにまとめて信号伝送装置に接続する部分と、中継所に被制御所の状態を表示し、非常の際にここから地域別制御を行なうための部分からなっている。

信号伝送装置は 50 ボー用 FS 方式のものを使用している。変調は ± 35 Hz、中心周波数は $f_n = 425 + 170(n-1)$ Hz で f_1 から f_{12} まですを使用し、 f_{13} は将来用、 f_{14} は予備、 f_{15} を雑音検出用としている。

4.3 被制御所設備

被制御所継電器盤は大野系については図 4.6 のようなワイヤスプリングリレー形である。経堂および松田系は集中化前のテレホンリレー形のものであるが、集中化の際に新しく無人化された変電所、およびそれまで直接式で行っていたものを多段多重式にした個所には、大野系に使用していた盤を移設することにより系統内の統一がはかられた。

5. む す び

以上、本集中監視制御装置の概要を紹介したが、本装置は昭和 43 年 3 月から使用開始し、昭和 44 年 3 月には各変電所高圧配電線予備加圧関係の項目追加を行ない現在順調に運転を行なっている。昭和 41 年春以来約 2 年間系統構成から装置構造に至るまで、いろいろな点について小田急電鉄と当社共同で検討し、完成をみたものである。

今後、ますます大系統の集中監視制御が行なわれる傾向にあるが、この経験を基にさらに高度な装置の実現に向けて進みたい所存である。最後に本装置の設計、製作にあたり、始終ご指導をいただいた小田急電鉄の関係各位に、厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 山中：三菱電機技報 43, No.6 (昭 44)

真空スイッチ管の実用性能

岡田 武夫*・青木 伸一**・松山 清**

Practical Performance of Vacuum Switching Tubes

Communication Equipment Works Takeo OKADA・Shin-ichi AOKI・Kiyoshi MATSUYAMA

Vacuum switching tubes applied to various purposes have entered practical operation. Vacuum magnetic switches, vacuum circuit breakers and vacuum load current breakers have gone through a period of severe tests to prove their effectiveness. This article elucidates the present status of vacuum switching tubes produced by Mitsubishi and reports on their practical performance, which is summarized based on necessary information for actual operation made available through measured values. In addition to electrical characteristics, vacuum performance, mechanical performance, anticorrosive and contamination endurance performance are explained to furnish the users with practical information.

1. ま え が き

真空スイッチ管応用製品は播らん(鯨)期を脱して、完全に実用期にはいった観がある。すなわち真空電磁開閉器、真空しゃ断器、真空負荷開閉器などはここ数年間数々の模索を経た後、試験採用期間においてそのすぐれた実用性能が実証され、今後大いに需要が増大しようとしている。

顧みれば数年前にはようやく3 kV-200 A-25 MVAの真空電磁開閉器用のバルブが製品化されたのであるが⁽¹⁾、そのすぐれた性能は単なる宣伝文句ではないことが、その後の運転実績により立証されている。その後当社では3.6 kV-250 MVA, 7.2 kV-500 MVA, 24 kV-1,000 MVAなど大容量の真空スイッチ管が開発されて生産ラインにのり、また連続電流も3,000 Aまでのものが完成され、24 kV以下の電圧範囲ではほとんどの需要をまかない得るに至った。

今後の問題としては寿命などの信頼性のよりいっそうの向上と、価格の低減とが残されているが、これらの点についても非常に有望な見通しであり、数年後には真空スイッチ管の応用製品が全盛時代を迎えるものと確信している。本論文は真空スイッチ管の実用性能を主体にして、今後ご使用いただく方々の参考としてまとめたものである。

ある。

2. 最近の三菱真空スイッチ管の紹介

2.1 三菱真空スイッチ管の特長

三菱真空スイッチ管は一般に下記の特長を有している。

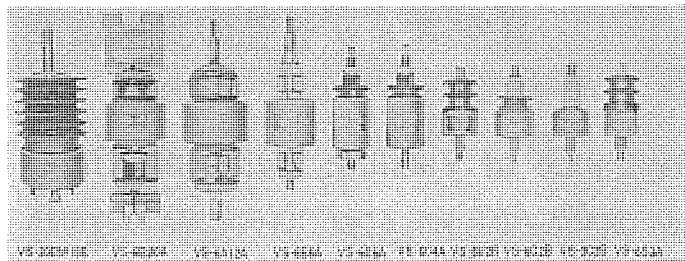
- (1) 消弧室と外囲器が一体に構成されており、小形である。
 - (2) 必要最小の絶縁物以外はすべて金属で構成され、機械的に堅ろうで信頼性が高く、かつ外部衝撃に対してじょうぶである。
 - (3) 量産に適し、特性を均一化しうるとともに低価格である。
 - (4) アークシールドは、耐電圧や電極材料の付着傾向などを考慮して配置されているので長寿命である。
 - (5) 金属構成であるから耐熱性が強く、高温排気が可能で、脱ガスを十分行ないうるから、容積の割合にしゃ断容量が大きい。
- 等の数々の特長があげられる。

2.2 製品一覧

当社の真空スイッチ管の定格表を表2.1に示し、それらの代表的な写真を図2.1に示す。当社の真空スイッチ管の名称は表2.2の例に示すような方法で命名されているので、その名称により大体の定格を知ることが可能である。

表 2.1 三菱真空スイッチ管定格
Standard rating of Mitsubishi vacuum switching tubes.

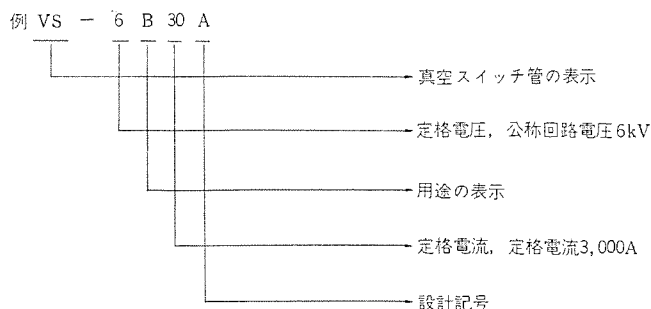
種 類	形 式	定 格					耐 電 圧 kV		開 閉 寿 命 $\times 10^4$		最大径寸法 mm	準 拠 規 格
		電 圧 kV	電 流 A	しゃ断容量 MVA	短時間容量 電 流 kA	Time s	商用周波数 1 min	インパルス 1 $\times 40 \mu s$	電 気 的	機 械 的		
電 磁 開 閉 器 用	1 C 6 A	0.6	600	6	3	20	2.5	10	100	500	60	JIS-C 8325
	3 C 2 B	3.3	200	25	4.4	2	10	30	25	25	90	JEM-1167
	6 C 2 B	6.6	200	50	4.4	2	17	45	25	25	90	JEM-1167
	6 C 4 A	6.6	400	100	8.8	0.5	17	45	10	10	90	JEM-1167
	6 C 6 A	6.6	600	100	8.8	0.5	17	45	5	10	90	JEM-1167
しゃ断器用	3 BM 6 A	3.6	600	150	26.2	2	16	45	1	5	130	JEC-145
	3 BM 20 A	3.6	2,000	250	43.7	2	16	45	1	5	155	JEC-145
	6 B 6 A	3.6/7.2	600	100/150	17.5	2	22	60	1	5	130	JEC-145
	6 B 12 A	3.6/7.2	1,200	150/250	26.2	2	22	60	1	5	167	JEC-145
	6 B 20 A	3.6/7.2	2,000	150/250	26.2	2	22	60	1	5	167	JEC-145
	6 B 30 A	7.2	3,000	350	30.6	2	22	60	1	5	167	JEC-145
	20 BM 15 B	12/24	1,500	500/1,000	26.2	2	50	125	1	5	167	JEC-145
は ん 用	6 U 2 B	7.2	200	50	4.4	2	22	60	25	25	90	JEC-145
	6 U 6 A	7.2	600	100	8.8	2	22	60	5	10	90	JEC-145
L T C 用	3 L 2 A	3.3	220	13	2.2	2	16	45	25	50	70	
開 閉 器 用	6 S 3 A	6.9	300	25	15	1	35	85	0.1	1	70	JIS-C 4502
	6 S 20 A	7.2	2,000	25	27	1	35	70	0.1	1	105	JEM-1219



左より VS-20 BM 15 B VS-6 B 20 A VS-6 A 12 A VS-6 B 6 A VS-6 C 6 A
VS-6 C 4 A VS-6 U 2 B VS-6 C 2 B VS-3 C 2 B VS-6 S 3 A

図 2.1 三菱真空スイッチ管
Mitsubishi vacuum switching tubes.

表 2.2 三菱真空スイッチ管命名法
Naming rule of Mitsubishi vacuum switching tube.



※ 用途記号の説明
 B : 交流しゃ断器用, JEC-145 規格に準拠
 C : 高圧交流電磁接触器用, JEM-1167 規格に準拠
 L : 負荷時タップ切換変圧器用
 S : 開閉器用, JIS-C4502 または JEM-1219 規格に準拠
 U : はん用 (高圧交流電磁接触器, および交流しゃ断器の共用)

2.3 電磁開閉器用真空スイッチ管

電磁開閉器用真空スイッチ管はとくに開閉サージが低く長寿命であり、電動機起動用、小容量変圧器の開閉、その他のサージインピーダンスの大きな回路の開閉に適し、またコンデンサ開閉にも適している。当社では連続電流 200~600 A 級がシリーズ化されており、200 A 級の VS-3 C 2 B, VS-6 C 2 B はセラミック化された。

2.4 しゃ断器用真空スイッチ管

しゃ断器用真空スイッチ管は、しゃ断容量が 3 kV 級では、250 MVA、6 kV 級は 350 MVA、20 kV 級は 1,000 MVA のものまで製品化され、連続電流については 3,000 A 級が完成しており、これらは真空スイッチ管としては世界的大容量を誇っている。

2.5 はん用真空スイッチ管

はん用真空スイッチ管は電磁開閉器用としゃ断器用と両方の特性を備えたもので、しゃ断器用としては非常に小形・長寿命な製品である。

2.6 開閉器用真空スイッチ管

開閉器用真空スイッチ管は他管種と異なり、投入容量、短時間電流容量がとくに大きく、また極間耐電圧が 1 段高く設計され、一般の開閉器用のほかに主として配電線区分開閉器用として使用される。

2.7 負荷時タップ切換変圧器用真空スイッチ管

LTC 用真空スイッチ管は変圧器の負荷時タップ切換器用としてとくに製品化された高信頼管である。なお、電磁開閉器用真空スイッチ管も LTC 用に使用可能である。

3. 真空限界試験および真空寿命

3.1 真空度の限界

真空スイッチ管は圧力 10^{-8} ~ 10^{-6} torr 程度の高真空度に製作され

ているが、 10^{-4} torr 以下の圧力範囲では真空度は電気的性能にまったく無関係である。真空スイッチ管の真空度限界値は 10^{-3} torr 程度と考えられる。管内圧力がこの限界値よりも増加した場合は次の諸影響が現われてくる。

3.1.1 耐電圧性能

ガス圧が 10^{-3} torr 程度よりも増加すると、いわゆる真空放電の領域からガス放電領域へ変化するので電極間耐電圧は低下する。電極間破壊電圧のガス圧依存性の代表例を図 3.1 に示した。破壊電圧は圧力 1 torr 程度でいったん数百 V の最低値を通過し、それ以上に圧力が増加すると破壊電圧はふたたび増加する。当社の真空スイッチ管は大気圧すなわち 760 torr における破壊電圧は定格電圧よりも十分高くなるように設計している。この考え方は定格電圧 24~36 kV 級の真空スイッチ管でも同様である。

ガス圧が 10^{-3} torr 程度よりも増加すると Impulse Ratio が低下する傾向も認められる。

3.1.2 しゃ断性能

真空度の限界値付近におけるしゃ断試験オシログラムを図 3.2 に示す。図 3.2 は VS-6 B 6 A のガス圧を 1×10^{-3} torr に調整しておき最大しゃ断電流をしゃ断したもので、アーク時間 0.5 サイクルでしゃ断成功している。しゃ断試験後のガス圧は 8×10^{-4} torr であり、電流しゃ断により真空度はむしろ向上することが実証された。

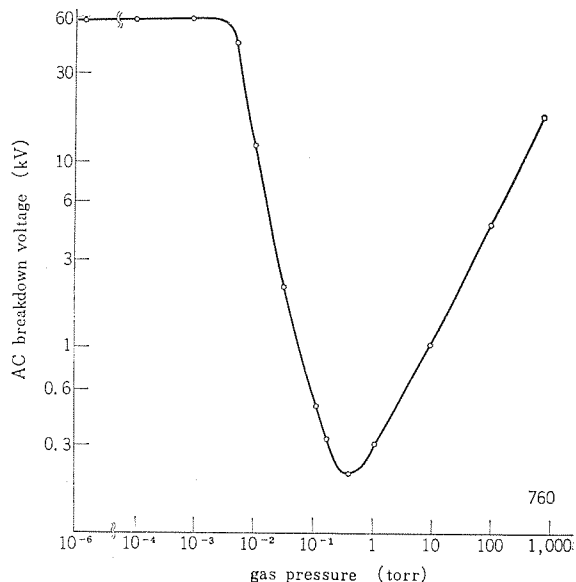


図 3.1 VS-6 B 6 A における管内ガス圧と絶縁破壊電圧の関係
Breakdown voltage vs. gas pressure in VS-6 B 6 A.

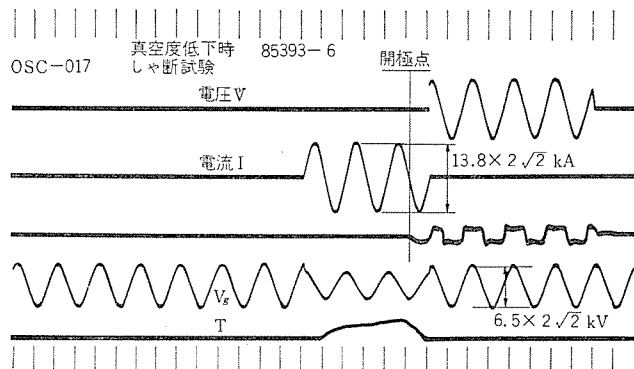


図 3.2 限界真空度におけるしゃ断試験結果
Short circuit test at permissible max. pressure of 1×10^{-3} torr, for VS-6 B 6 A.

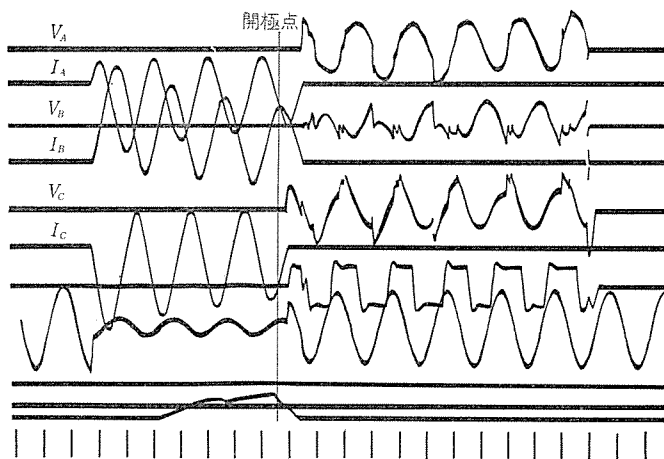


図 3.3 B 相大気圧の場合の三相短絡試験
Three phase short circuit test when phase B tube is at atmosphere pressure.

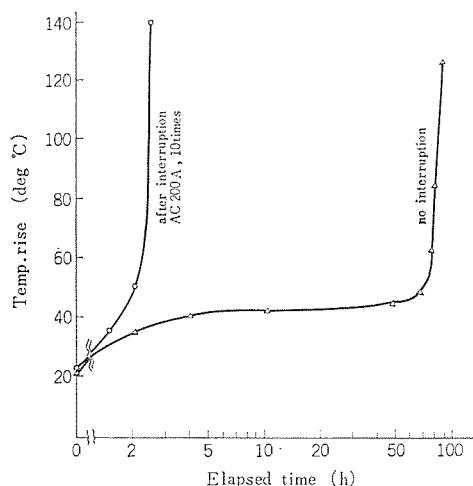


図 3.4 大気圧後の経過時間に対する端子温度上昇の変化
Terminal temp. rise at continuous current of 200 A vs elapsed time after vacuum broken.

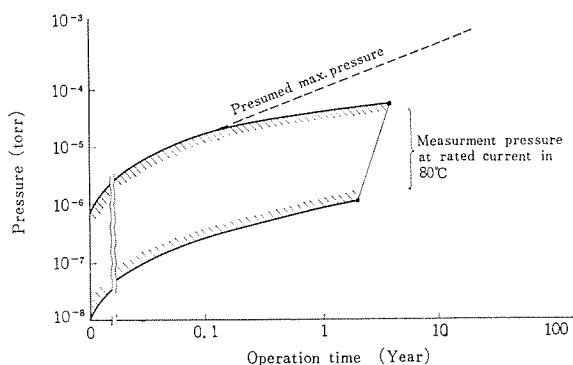


図 3.5 真空寿命曲線 Life test curve of vacuum.

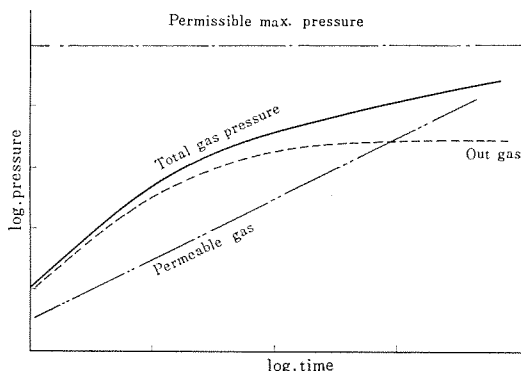


図 3.6 真空度時間曲線の理論的關係
Theoretical relationship of vacuum pressure with operation time.

ガス圧が限界値よりも増加すると、電極金属蒸気の拡散が妨げられて回復電圧に耐えられなくなるので、シャ断性能は明らかに低下する。極端な実験であるが 1 相のみ大気圧にした状態で三相短絡試験をおこなった結果を図 3.3 に示す。このオシロ写真から見られるように 1 相のみ大気圧にした場合はシャ断は可能であり、真空スイッチ管の損壊はなく、ガラスが飛散したり爆発したりする危険性は皆無である。消弧室を兼ねた金属ろう(槽)はアークエネルギーが相当大きくなった場合にも十分な熱的強度を有するように設計されている。

3.1.3 温度上昇

通常真空スイッチ管の発熱量は 10~100 W 程度であり、この熱量は電流端子から外部に引出されるので電流端子の温度上昇をもたらす。高真空中の電極表面はきわめて清浄であるが、管内ガス圧が増加すると電極表面が徐々に酸化されることから接触抵抗が増加し電流端子の温度上昇を高めることになる。真空劣化状態で負荷電流程度の電流をシャ断することによって電極表面の酸化がいつそう促進される結果、電流端子の温度上昇増加は比較的早期に起こる。この様子を図 3.4 に示す。図 3.4 は VS-3C2B に 200 A を通電しておき時間 $t=0$ で大気圧にした場合に、大気圧にしてからの経過時間が約 70 時間以上になると電流端子の温度上昇が急増することを示している。また大気圧にした直後に電流シャ断を 10 回おこなった場合は約 2 時間後に温度上昇が急増している。

当社製品では電流端子温度を監視することにより真空度をチェックする方法も採用している。

3.1.4 その他の性能

投入容量や短時間電流容量については、ガス圧が真空度限界を越えても電極溶着性能はあまり変わらず、むしろ前述の温度上昇のほうの問題になる。また、さい断電流値については、ガス圧が 1×10^{-3} torr よりも増加すると、さい断電流は減少する傾向にあるので問題にはならない。

3.2 真空寿命

金属ろう形真空スイッチ管は、当社の得意とする密封形イグナイトロ整流器の多年にわたる製造技術を駆使し、以下に述べる真空劣化機構を徹底的に究明したうえで設計され、諸種の厳格な製造管理・品質管理によって真空寿命はきわめて安定している。図 3.5 は加速真空寿命試験の結果を示す。寿命経過時間は約 3 年、長いものでは 5 年になるが、これらの実測曲線を外そう(搜)して真空寿命を推定すると製品のばらつきを考慮してもガス圧が 1×10^{-3} torr に到達するまでに短くとも 15 年を要し、長いものでは 50 年を要するであろう。一般に真空度を劣化させる機構として次の 3 種類が考えられる。

(1) ガス透過：きわめて微量ではあるが大気中の水素やヘリウムガスが真空容器内に透過する。通常の動作温度においては無視できる程度であるが、透過ガス量は動作時間に比例し、動作温度が約 100°C を越える場合は 10 年オーダで真空寿命に影響してくる。

(2) ガス放出：真空内壁、内部導体からも極微量のガスが放出される。放出ガス量は動作時間 t に対して $(1 - e^{-Bt})$ の関係があり、やはり動作温度が高い場合に真空寿命に影響してくる。

上記 (1), (2) の機構による真空寿命曲線を定性的に示すと図 3.6 のようになり、図 3.5 の実測曲線は図 3.6 と近似した傾向を示している。

(3) ガス漏れ：正常な使用状態では発生しないが、ベローズの機械的開閉寿命限界を越えて使用した場合とか、誤ってガラスを破損した場合は、短時間のうちに急激に真空劣化し大気圧になる。

表 3.1 真空スイッチ管の真空度判定方法

Judgement of vacuum degree.

	方 法	適用真空スイッチ	使 用 器 具	測 定	真 空 度 の 判 定		
					(A) 良 好	(B) 劣化 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ torr	(C) 大 気 圧
1	ゲ ッ タ 膜 法	ガラス形 開, 閉極	—	ゲッタ膜の色を目視	銀色または黒色	(ゲッタ膜の面積が さくなる)	乳白色
2	テスラーコイル法	ガラス形 開, 閉極	テスラーコイルをガ ラス壁に近付ける	真空管の内部放電の 色を目視	放電なし	放電あり 赤だいたい色	—
3	耐 電 圧 法	ガラス形 セラミック形 開極	ネオントランス 10~15 kV 100 VA	連続通電の有無	耐電圧良好	連続電流	連続電流
4	示 温 テ ー プ 法	ガラス形 セラミック形 開, 閉極	—	示温テープの色を目 視	変色なし	—	(変色あり)
5	ベ ロ ー ズ 法	ガラス形 セラミック形 閉極	ばねばかりテスター	ベローズ自閉力の測 定	自閉力規定値	—	自閉力が規定値より もはるかに小

注) () で示すものは判定に熟練と注意が必要。

3.3 真空度判定方法

真空スイッチ管を正常な使用状態で規定の寿命範囲内で使用する
かぎり真空度の点検は不要である。使用開始前とか寿命点検の際の
真空度判定方法は種々あるが、簡便な方法を表 3.1 にまとめた。

ゲッタ膜法は金属バリウム Ba の化学反応変化を利用したもので、 Ba が
大気中の水蒸気と反応して $\text{Ba}(\text{OH})_2$ になると乳白色に変化する。
テスラー法および耐電圧法はいずれも放電開始電圧がガス圧に応じて
変化することを利用する方法で、図 3.1 における最小放電開始電
圧値付近、すなわちガス圧が $10^{-1} \sim 10$ torr 程度の領域を簡単に知
ることができる。次に、示温テープ法は電流端子の温度上昇が真空
度によって変化することを利用するもので、図 3.4 の応用である。
最後にベローズ自閉力が大気圧になると失われるので、これをチェッ
クすれば大気圧か高真空度かが判定できる。

4. 真空スイッチ管用ベローズ

4.1 ベローズの寿命試験

真空スイッチ管の無負荷開閉寿命はベローズの寿命で決まると言っ
ても過言ではない。実際の使用においてベローズ寿命に係る因子
は、真空スイッチ管の全開閉ストロークと開閉時の衝撃力とである。
当社では各製造ロットから抜取寿命試験をおこなってベローズ寿命の
信頼性を確認している。図 4.1 は VS-6 B 12 A についての抜取寿
命試験結果を示す。図 4.1 の曲線 A から、全ストローク 16 mm の場
合は約 3 万回以上の寿命を有している。VS-6 B 12 A の規定開極距
離 12 mm、開極時オーパトラベル 2 mm、したがって全ストロークの規定
値は 14 mm であるが、この場合には 5 万回開閉も可能である。

ベローズ寿命 N と全ストローク δ との関係は実験的に $N \propto \delta^{-n}$ ($n=4$
~5) であるから、開極距離、開極時のオーパトラベルが規定値を越え
ないように使用することが望ましい。開閉時の衝撃力がほとんどな
い場合は図 4.1 の曲線 (B) に示すようにベローズ寿命は長くなる。
開閉時の衝撃力については開閉速度ばかりでなく、真空スイッチ管の
取付方法も関係するので注意が必要である。

4.2 成形ベローズと溶接ベローズとの比較

成形ベローズの製造工程は図 4.2 に示すとおりである。成形時の
加工度が大きく、材料の機械的強度は焼きなまし状態に比べては
るかに向上している。図 4.3 に成形ベローズの各部分の硬度測定例
を示す。ステンレス鋼の機械的性質から考えて、この例では谷部で約

95 kg/mm²、山部で約 105 kg/mm² の引張強度をもつことが推定で
きる。しかし谷部と山部の加工度が異なるために材料肉厚は図 4.
4 に示すように不均一になる欠点がある。

一方、溶接ベローズは金属薄板をドーナツ状に打抜き波形にプレス加
工し、重ね合わせて内・外周を精密に溶接して作られる。溶接ベロ
ーズの断面を図 4.5 に示す。溶接ベローズは溶接部調質の目的で溶体
化処理を施すので焼きなまし状態となり、成形ベローズに比べて応力
を小さく押えなければならない。しかし、スパンが大きくとれピッチ

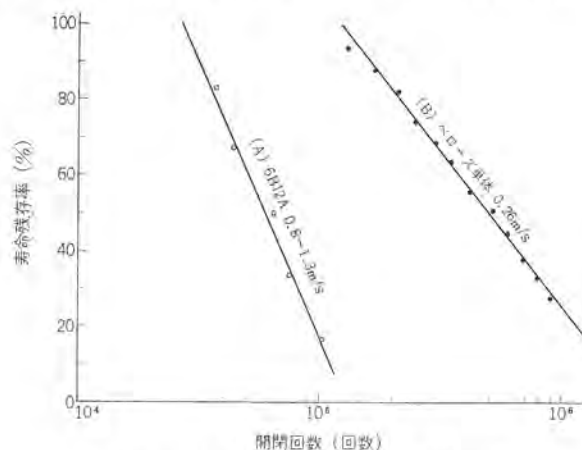


図 4.1 VS-6 B 12 A のベローズ寿命曲線
Bellows life test curve for type 6 B 12 A.
curve (A) : operation speed of 0.8~1.3m/s
curve (B) : operation speed of 0.26m/s

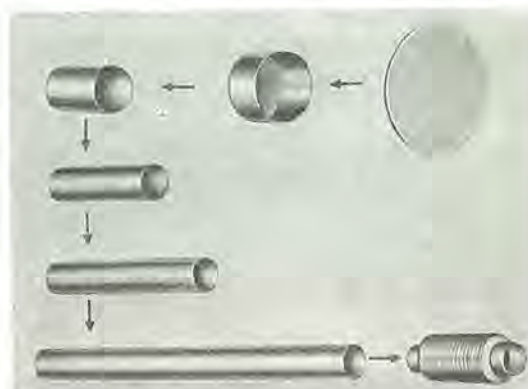


図 4.2 成形ベローズ製造工程
Manufacturing process of the formed bellows.

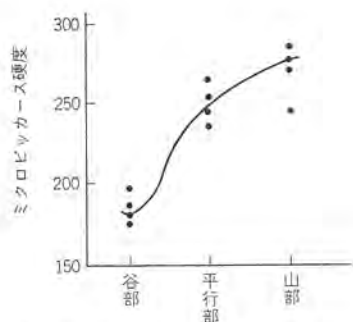


図 4.3 成形ベローズの硬度測定例
Example of measuring the stiffness of the formed bellows.

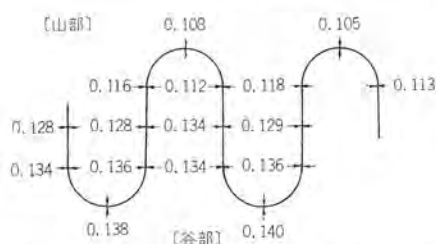


図 4.4 成形ベローズ肉厚測定例
Example of measuring the thickness of the formed bellows

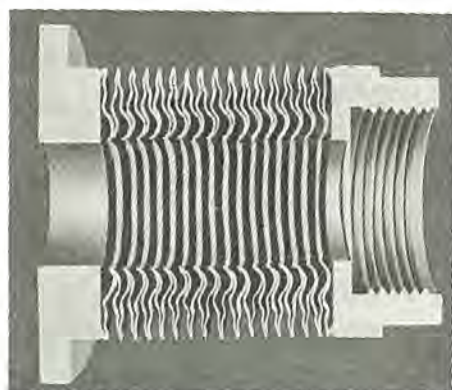


図 4.5 溶接ベローズ断面
Cross section of the welded bellows.

表 4.1 ベローズ設計例
Examples of the bellows design.

	外径	内径	有効長	山数	肉厚
成形ベローズ	67	50	72	16山	0.15
溶接ベローズ	68	42	72	46	0.127

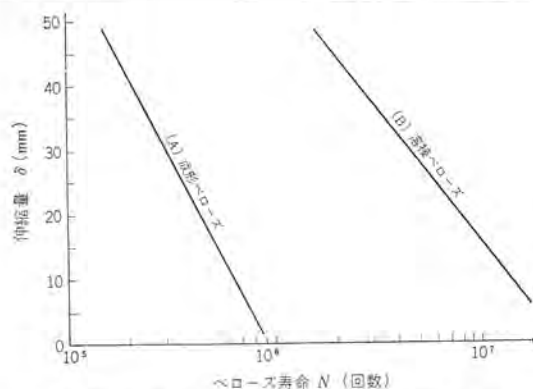


図 4.6 ベローズの伸縮量・寿命線図
Relationship of the stroke with bellows life, for non impact operation.

curve (A) : formed bellows
curve (B) : welded bellows

が小さいので山数が大きくとれ、また耐圧力もはるかに大きいので余裕のある設計ができる。

表 4.1 に外径と長さを同じにしたときの成形ベローズと溶接ベローズの設計例を示す。図 4.6 はこれらのベローズの伸縮量 δ - 寿命 N の推定線図である。図 4.6 の考察から、同一性能を比較の基準とすれば溶接ベローズは成形ベローズに比べて小さくできることがわかる。小形化は真空スイッチ最大のメリットであり、また設計上制約を受ける事項が少ないので容易に期待寿命を満足するベローズを得ることができる。

しかし溶接部に対する信頼度に不安を感じる向きもあること、まだまだ成形ベローズに比べて高価であることが大幅採用を遅らせているが、われわれが十分な試験を繰返した結果ではその性能は良好であり、すでに溶接ベローズを採用した管種もある。

5. 機械的強度試験

機械的な可動部分があってしかも衝撃荷重を受けて使用される点で、真空スイッチ管は一般の真空管や電力用真空管とは異なっている。当社の金属ろう形真空スイッチ管は機械的強度に対してすぐれた特長をもっており、以下にのべるように各種の強度試験により安全性が検証されている。

5.1 振動・落下試験

真空スイッチ管単体の振動試験結果を表 5.1 に示す。表 5.2 の (a), (b) はそれぞれ包装状態での振動、落下試験結果を示す。これらの結果から、通常のトラック輸送における衝撃加速度 (約 3 G max) に対して十分な強度をもっていることがわかる。操作機構に

表 5.1 単体振動試験結果
Result of single body vibration test.

振動方向	振動数 (cpm)	全振幅 (mm)	加速度 (g)	時間 (min)	試験結果			
					6S3A	6C2B	6B6A	6B12A
	1,500	3	3.6	30	○	○	○	○
	1,500	5	6.0	30	○	○	—	—
	2,000	2.5	5.5	30	○	○	○	○
	1,500	2	2.4	30	○	○	○	○
	1,500	5	6.0	30	○	○	—	—
	2,000	1	2.2	30	○	○	○	○

表 5.2 (a) 包装振動試験結果
Result of package vibration test.

振動方向	振動数 (cpm)	全振幅 (mm)	加速度 (g)	時間 (min)	試験結果			
					6S3A	6C2B	6B6A	6B12A
	2,000	2.0	4.4	30	○	○	○	○
	2,000	2.5	5.5	30	○	○	○	○
	3,000	1.0	5.0	30	○	○	—	—
	2,000	2.0	4.4	30	○	○	○	○
	2,000	2.5	5.5	30	○	○	○	○
	3,000	1.0	5.0	30	○	○	—	—

表 5.2 (b) 包装落下試験結果
Result of package drop test.

落下方向	床	落下路離	落下回数	試験結果			
				6S3A	6C2B	6B6A	6B12A
	コンクリート	50	10	○	○	○	○
		70	3	○	○	○	○
	コンクリート	30	10	○	○	○	○
		50	10	○	○	○	○

取付けた状態でも輸送試験を実施し、最大衝撃加速度 60 G においてもまったく異常は認められなかった。特殊な場合として、真空スイッチ管の取付作業の際スパナなどの工具を落下させたときの安全性を調べる目的でガラス衝撃試験をおこなった結果を表 5. 3 に示す。

表 5. 3 ガラス部衝撃試験結果
Result of impact test of glass section.

衝撃方法	角度 θ (deg)	衝撃 回数	VS-6B6A			VS-6B12A	
			固定側 ガラス	可動側 ガラス	グック バルブ	固定側 ガラス	可動側 ガラス
	30	10	○	○	○	○	○
	45	10	△	○	○	○	○
	60	10	—	△	○	○	○
	90	10	—	—	△	○	○
	135	10	×	×	×	△	△
	180	10	—	—	—	×	×

：試料数各10個、○印：全数良 ×印：全数ガラス割れ
△印：最初の1個がガラス割れ

5. 2 開閉動作試験

図 5. 1 に示すように VS-6 B 6 A の各部材にストレスストレインゲージを取付けて開閉動作時の衝撃荷重を測定した。測定結果から最も荷重の大きいのは可動側電極導体部で、最大衝撃力 600 kg を示した。固定側導体と真空容器との接手部品にも比較的大きな衝撃力が加わり、最大衝撃力は 280 kg を示した。

一方、真空スイッチ管に静荷重を加えて各部材が変形または破壊す

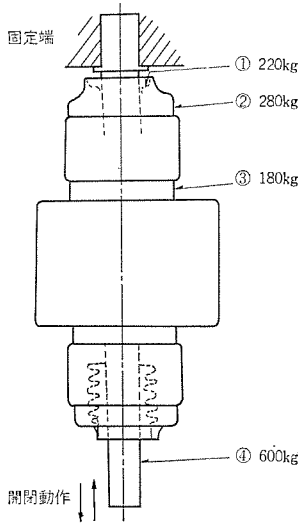


図 5. 1 VS-6 B 6 A 開閉動作時の最大衝撃荷重
The maximum impact test in switching operation
of VS-6 B 6 A.

表 5. 4 真空スイッチ管強度試験結果
Result of strong test of vacuum switch tube.

荷重方向	変形箇所	限界荷重 (kg)				備考
		6S3A	6C2B	6B6A	6B12A	
	電極導体	350~500	400~500	1,000~1,100	3,000~3,500	真空良
	金属紋り部品	350~600	350~500	1,200~1,500	1,500~1,800	真空良
	セラミックまたはガラス	1,700	1,500~1,700	2,000~2,500※	2,500~2,700※	真空不良※印ガラス割
	金属紋り部品	30	35~40	—	—	真空良

るときの限界荷重は表 5. 4 に示すとおりである。VS-6 B 6 A の可動側電極導体および固定側接手部品の静的弾性限界はそれぞれ 1,000kg および 1,200 kg であるから、上記の衝撃荷重によって変形することはなく、開閉寿命に対する各部材の疲労も考えられない。事実、寿命試験においてはベローズ以外の部材が破損することはまったくなかった。水平取付使用の際は特定の部材に重力による曲げ荷重が加わることになり、また操作機構の開閉速度調整の際は規定値よりも速い速度で操作される場合もあるが、これらの場合に対しても十分な確認試験をおこなっている。

6. 特殊試験

6. 1 耐食性試験

真空スイッチ管は消弧部が真空中に密閉されているため、有害腐食性ガス、爆発性ガス、潮風、じんあいなどの影響を受けない。この特長から真空スイッチ管の用途は特殊ガスの発生する石油、化学工場、塩害のひどい場所にも適している。

真空スイッチ管の耐食性上もっとも重要視される部品はベローズである。表 6. 1 はベローズの内部を真空にした試料を各種有害腐食性ガスふん囲気中に暴露した場合の加速耐食試験結果を示す。これらの結果はガス濃度がきわめて濃い場合を示しているが、実際に真空スイッチ管が使用されるふん囲気のガス濃度は、表 6. 1 のそれより相当希薄であると考えられる。比較のために、各種有害腐食性ガスの労働衛生上の許容濃度を同表に示す。

表 6. 2 は VS-6 B 6 A および VS-3 C 2 B について、JIS-Z 2371

表 6. 1 ベローズ真空組立品の加速耐食試験結果
Result of accelerated corrosion test of bellows
vacuum switch assembling.

ガス名称	ガス濃度 ppm	試験時間 day	試験結果		労働衛生上の 許容濃度 ppm
			外 観	真空漏れ試験	
沸化水素ガス HF	50,000	30	変わらず	良	3
		180	斑点状黒化	不良	
塩化水素ガス HCl	110,000	30	灰色	良	5
		180	黒化、穴あく	不良	
亜硝酸ガス HNO ₂	2,000	374	変わらず	良	10
亜硫酸ガス SO ₂	400,000	365	変わらず	良	5
硫化水素ガス H ₂ S	22,000	374	変わらず	良	10
アンモニアガス NH ₃	300,000	374	灰色	良	100
食塩水溶液 NaCl	食塩水 約 5%	224	変わらず	良	1

表 6. 2 真空スイッチ管の塩水ふん霧試験結果
Result of salt water spray test on vacuum switchtube.

真空スイッチ管	試験条件	試験時間 h	試験結果	
			外 観	真空漏れ試験
VS-6 B 6 A	塩水ふん霧試験 JIS-Z 2371 5%, 35°C	500	異常なし	良
VS-3 C 2 B	同 上	500	異常なし	良

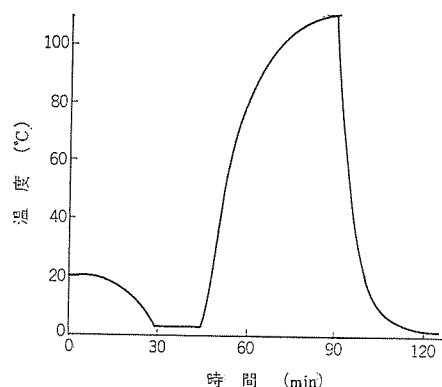


図 6.1 VS-6B12A の冷熱試験におけるガラス部の温度時間特性
Time-temperature characteristics of glass section in cooling and heating test of VS-6B12A.

表 6.3 等価霧中耐電圧特性
Equivalent withstanding voltage in mist.

管 種	VS-3C2B	VS-6C2B	VS-6B6A	VS-6B12A
定 格 電 圧 kV	3.3	6.6	7.2	7.2
等価塩分付着量 0.01 mg/cm ²	8.5	16.2	18.0	16.5
等価塩分付着量 0.02 mg/cm ²	6.1	13.1	12.7	13.0
等価塩分付着量 0.03 mg/cm ²	5.0	11.7	10.4	11.2

表 6.4 VS-6S3A の湿度試験結果
Result of humidity test on VS-6S3A.

試 料	VS-6S3A	同じ絶縁沿面長のセラミック
試 験 前	2,000 MΩ 以上	2,000 MΩ 以上
5 回 後	2,000 MΩ 以上	700 MΩ
10 回 後	1,800 MΩ	300 MΩ

表 6.5 VS-6S3A の耐食性試験結果
Result of anticorrosion characteristic test on VS-6S3A.

ガ ス	試 験 条 件			試 験 結 果			
	濃 度 ppm	条 件	時 間 day	ゴム外観	絶縁抵抗 MΩ	耐圧試験 35 kV 1 分間	せん絡試験
SO ₂	6,700	40°C 100% RH 8 h 試験 16 h 放置	60	変色なし 湿潤なし	2,000 以上	良	47 kV AC ゴム外沿面 でせん絡
Cl ₂	500	常 温 100% RH 連 続	60	やや灰色 湿潤なし	1,800 以上	良	50 kV AC ゴム外沿面 でせん絡

規格に基づいて塩水ふん霧試験 500 時間を実施した結果を示しているが、なんらの異常も認められない。真空しゃ断器、あるいは各種真空開閉器の据付作業が可能な限界ガス濃度を労働衛生上の許容ガス濃度の 10 倍と見積っても、このような有害腐食性ガス中において真空スイッチ管は十分な耐久性をもつことは明らかである。

6.2 冷熱試験

当社の真空スイッチ管は次の方法によって冷熱試験を行ない、その安全性を確認している。

約 2°C の冷却水そう（槽）と 100°C の沸騰水そうの中へ交互に真空スイッチ管を瞬時に浸せきする。この操作を 30 回くり返した後真空気密性その他異常を点検する。図 6.1 は VS-6B12A の場合のガラス部分の温度時間特性を示す。これらの試験の結果全管種ともまったく異常は認められず、したがって正常に使用されるかぎり当社真空スイッチ管は熱変化に対してはまったく安全であるといえる。

6.3 汚損試験

表 6.3 に等価霧中耐電圧特性を示す。一般使用においては、等価塩分付着量 0.03 mg/cm² 以下であり、この条件において当社真空スイッチ管は定格電圧のほぼ 1.5 倍以上の耐電圧値を有している。

6.4 ブチルゴムの湿度試験および耐トラッキング性試験

当社真空スイッチ管においては、絶縁部にブチルゴムを採用しているものがあるが、これは電気絶縁用として特別な配合を行なったものであり、その特性は非常にすぐれている。とくに湿度試験においてはすぐれた特性を示し柱上真空開閉器等屋外に使用するものに適している。表 6.4 は柱上開閉器用真空スイッチ管 VS-6S3A の湿度試験の結果を示す。比較のため、同じ絶縁沿面長を持つセラミックの結果を示している。試験方法は、真空スイッチ管を温度 44~46°C 湿度 95~98% の恒温、恒湿そうの中に 1 時間保持したのち常温の室内に取り出して 1 時間保持することを連続して 10 回おこない、常温室室内に取り出してから 1 分以内に 1,000 V メガーにて絶縁抵抗を測定したものである。

次に、VS-6S3A の絶縁ゴムの耐食試験結果を表 6.5 に示す。この結果から SO₂ ガスや Cl₂ ガスに暴露したあとでもゴムの絶縁劣化はほとんどなく、せん（閃）絡試験においてせん絡部はゴム外沿面であってゴム接着部の絶縁劣化はまったく認められない。なお、ブチルゴムの耐トラッキング性試験は、電気学会標準法に基づいて行ない C TI 600 以上、デッド法では 3 kV 以上であることを確認している。

7. む す び

以上当社の真空スイッチ管の最近の状況と、実用的な性能について報告した。これらの資料は実際に測定したデータの蓄積であり、使用者各位に安心してご使用願えるために参考になる資料となれば幸いである。

真空スイッチ管は世に出てまだ日が浅く、より信頼性の高い製品にもってゆくために、今後も不断の努力を重ねる決意である。

参 考 文 献

- (1) 岡田ほか：三菱真空スイッチ，三菱電機技報，41，No. 6，841（昭 42）
T. OKADA et al：Mitsubishi Vacuum Switches，M. D. Eng. No. 16，7（1968）
- (2) 伊藤ほか：真空しゃ断器の大電流しゃ断現象，三菱電機技報，41，No. 11，1,409（昭 42）
- (3) 嶋ほか：真空スイッチを用いた負荷時タツプ切換器，三菱電機技報，42，No. 3，510（昭 43）
- (4) 梁川：高圧真空スイッチ管応用開閉装置，三菱電機技報，42，No. 6，837（昭 43）
- (5) 杉尾：真空電磁接触器とその応用，三菱電機技報，42，No. 9，1211（昭 43）

プリント配線板の自動設計システム

三上 晃一*・田淵 謹也*・杉本 満信*

Design Automation System for Printed Circuit Boards

Kamakura Works Koichi MIKAMI・Kinya TABUCHI・Mitsunobu SUGIMOTO

A design automation program system has been completed and registered at Mitsubishi Computer Center. This is for designing printed circuit boards such as circuit cards or backpanel boards which give interconnection between integrated circuit packages and/or card connectors. The program accepts logical connections as input in the form of punched cards, places the components optimally, deciding the connection order and the conductor route automatically. Qualified design results can be obtained in a short computing time—about five minutes in ordinary cases. This is the fastest in so far as is reported. Especially, the line search algorithm developed for conductor routing has gained high international reputation. The design system made available is transformed to photographic films by an automatic drafting machine.

1. ま え が き

コンピュータを使ってコンピュータの設計を自動化する自動設計は、国内のコンピュータメーカー各社においても、程度の差はあるが実用されており、自動化の範囲は拡張・発展の段階にある。当社の自動設計システムは手法の独自性と高速性に特長があり、プリント配線関係の分野においても、アメリカの模倣によらずにすぐれた性能を実現し、内外から高い評価を受けている。

集積回路を積載するカード、およびカードコネクタ間の接続を与えるボードは、コンピュータ以外の当社製品にも数多く使用されている。これらのプリント配線板の設計量は増大する傾向にあるので、当社の誰もが必要に応じてこの自動設計システムを利用できるように、最近プログラムを整備し、三菱計算センタ(MCC)に登録した。本文は全社的に利用できるようにしたこのプログラムに関するもので、その機能と使い方、自動設計手法の原理、および実施例にもとづく性能について概説する。具体的な使用手続きについては別途発行されるマニュアル類を参照されたい。

2. 機能および使用法

プリント配線板の設計は、およそ図2.1の手順で行なわれる。論理設計の結果は、通常論理図か論理式またはその両方を用いて記述される。実装設計においては、まず論理の分割と割付けという作業がある。論理の分割(partitioning)というのは、論理を実装単位ごとに大きく区分することで、バックパネルのマザーボードに対する分割、およびカードに対する分割がその代表的なものである。ボードに対する分割では、入出力線を少なく、論理としてまとまったものは、できるだけ同じボードに収容されるようにくふうされる。

カードに対する分割も同様の考慮がなされるが、ボードと異なるところは、カードのはん用性(repeatability)を高めるため、割付け(assignment)の作業になることも多いことである。割付けはICに対してもっとも一般的に行なわれるもので、すでに標準のパッケージになっている数種または数十種のものの、どれを何個使って、論理をどのように割り付けるかということである。もちろんこの段階で新しいICのパッケージを考案することもあるが、割付けの場所は、パッケージは与えられているものを使うという制約に特長がある。



図 2.1 設計手順 Design procedure.

このような作業も自動化が可能であるが、いまのところ人手で行なってもたいしたことはないので、自動化は一般的でない。本文の自動設計システムは、これ以後の設計すなわち図2.1における点線内の設計作業を自動的にこなすものである。計算機を使う以上、入力データを作成する必要があるが、これはせん(穿)孔カードを用いる。入力形式には論理式を入力することもできるようになっているが、論理式を使って設計を記述することは計算機技術者以外には少ないので、以下に説明するような端子信号表を入力とする方法についてのみ述べることにする。

本システムのパターン設計は、信号配線層が2層しかない場合を前提としている。配線面は格子状に区分されていて、一方の面では原則としてX方向、他方の面にはY方向のパターンのみを許すものとしている。電源やグラウンドは同じ層でもよいが、多層基板のときは第3、第4の層を使えばそれだけ信号配線の設計は楽になる。

IC やコネクタ以外の部品、たとえば抵抗、コンデンサ、トランジスタ類も収容することができるが、この場合は取付穴の位置を手で指定するものとする。もちろん IC やコネクタも手で決めたいときはそのようにデータで指定することができる。入出力端子の信号割当や指定のパターンに対しても同様で、人手優先 (manual override) の機能が組み込んである。パターン間の間隔、基板の大きさ、IC やコネクタの取付位置と方向などはもちろん入力データで指定できる。

2.1 入力

本システムに必要な入力情報は下記のものである。

- (a) 表題カード
- (b) コントロールカード
- (c) 実装情報カード
- (d) 入出力端子実装情報
- (e) 接続情報
- (f) 個別部品取付穴登録
- (g) 配線ルートの指定
- (h) 優先順配線の指定

以上のデータのうち部品配置では b, c, d, e, f を用いて配置変え、入出力端子の選択などを行ない、c, d, e, f, g, h でプリント板上の配線ルートを決める。個々のデータについて以下に説明を行なう。

(a) 表題カード

設計すべきプリント板に関する記録を残すためのもので、名称、設計者名、日付、改訂番号などを記す。

(b) コントロールカード

部品の最適配置を求める過程に必要なもので、配置変えの試行の回数、配置変え可変の部品の指定などを行なう。

また最適配置を得るまでの過程をプリントアウトさせたり、磁気テープに書かせたりする機能の指定を行なう。

(c) 実装情報データ

座標軸の設定および基本格子間隔の決定

図 2.2 のように IC の横方向に X 軸をとり座標軸を設定する。基本格子間隔はパターン導体の中心間距離のことであり、規格化された IC の端子間隔、基板工作技術、電気的條件等で決まる。長さの指定はすべてこの基本格子間隔の整数倍で示す。

パターン領域の指定

プリント板上のパターンの走り得る領域を X, Y 両軸の上, 下限で示す。したがって、1 枚のプリント板でも、自動設計させる部分と人手で設計する部分に分けることができる。

IC 配置間隔、領域の指定

配線密度を考慮して隣接する IC の縦、横方向の間隔を、格子の整数倍で指定する。さらに IC 配置の原点として図 2.2 のように原点が一番近い IC の第 1 端子の座標を指定する。また部品の配置すべき領域を行、列で表わす。

(d) 入出力端子実装情報

前述のデータで設定した座標軸に対して、入出力端子の相対位置関係は、図 2.3 (a), (b) の二つの場合が考えられる。いずれの配置でも、パラメータを変えるだけで本システムを適用でき、自動的にコネクタの端子位置を x, y 座標に変換することを目的としている。ただし、コネクタの端子間隔が基本格子の整数にならない場合には、端子の位置をそのまま格子の上に表わすことができないので、格子点と実際の端子位置のずれが最も少なくなるように、端子の仮想位置

を設定する。

(e) 接続情報カード

本システムでは、プリント板上の ICP 端子、部品取付穴 (集中定数部品)、コネクタ端子 (仮想位置) の間をたがいに自由に指定することができる。このカードでは ICP の端子およびコネクタに接続されるべき信号を登録するためのものである。

図 2.4 のような論理接続の場合は、

ICO 1 (01) = A, (02) = B, (03) = C, (04) = G, ……

ICO 2 (01) = G, (02) = H,

のように指定すれば自動的に接続関係を定める。

(f) 部品取付穴の登録

集中定数部品の形状には種々のものがあり、画一的に取扱うのは不可能のため取付穴の x, y 座標値で表わす。これは e の接続情報カードと同様に、

(x, y) = Signal

の形式で表わす。

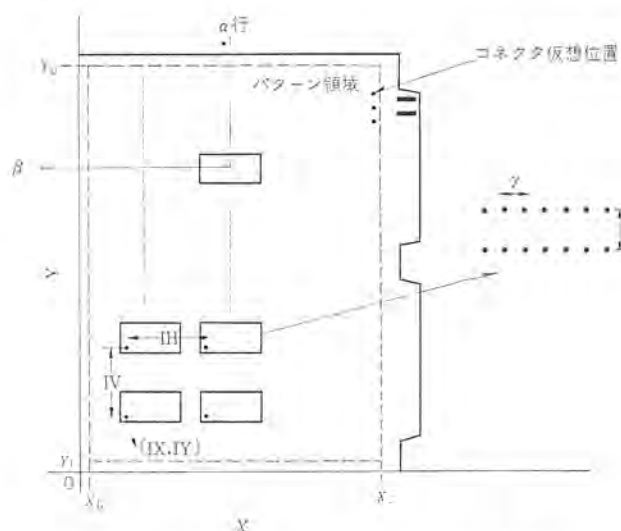


図 2.2 実装情報 Packaging parameters.

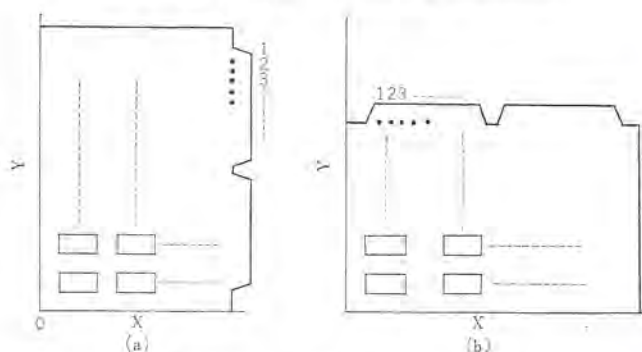


図 2.3 コネクタ位置 Connector positions.

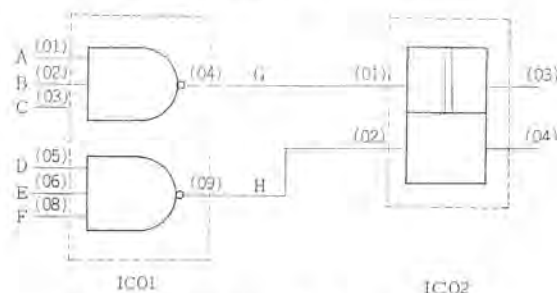


図 2.4 論理接続 Logical connections.

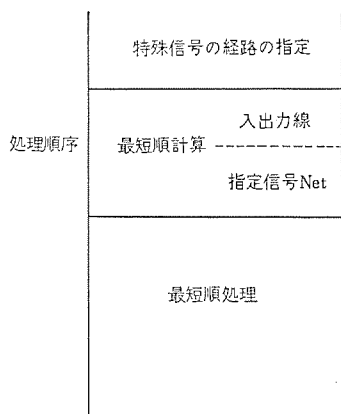


図 2.5 接続の処理順序
Connection processing flow.

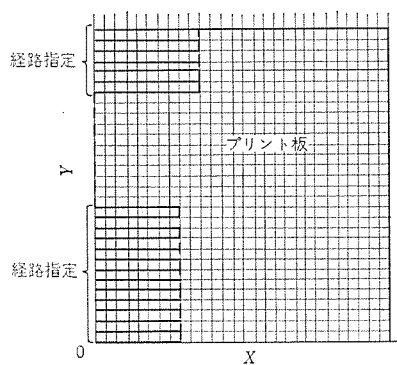


図 2.6 プリント板 Board.

(g) 電源、接地線などの配線 ルートの指定

電源、接地線を他の論理信号線を共存させたいとき、とくに他の論理信号線よりパターン幅を広く指定したい配線の場合、あらかじめ電気的特性を考慮して、設計者が指定できるもので (x, y) 座標値で登録する。

(h) 優先順配線の指定情報

パターン設計では、配線の配線率をいかに大きくするかが問題である。本システムでは配線率を上げるために、配線の順序に3段階のレベルを設けている。このレベルを次の図 2.7 に示す。

本システムの試行経験から入出力線について先に配線させ、残りを最短順に接続する方法が、配線率の向上のために最も効果があることがわかっている。入出力数 N を指定すると入出力線について解をもとめ、他を最短順に配線する。また、ある信号 Net についても同様のことができ、この場合には信号名を指定する。

2.2 出力

出力情報としては、部品配置に関するものとパターン設計に関するものがある。

配置に関するもの

初期配置情報：配置変えを行なう最初の部品の配置状態を示すもので、ある乱数を用いて発生させたものである。もちろん人手で初期の配置指定を行なうことができ、この場合には指定したとおりのものをアウトプットする。初期配置に関する予測線長もプリントされる。

最終配置結果：予測全線長が最小となる配置を最適なものとし、その解を得るまでの過程を線長で表現し、これより改善率を知ることができる。配置情報は、行、列および部品の中心座標値であらわされており部品配置図を作成することができ、入出力端子への信号割付表は布線設計への入力情報となる。

パターン設計に関するもの

接続指定情報：配線指定で求められた二点間の接続指定を配線する順序に従って表示されており、X, Y 座標値と二点間の直角距離がプリントアウトされる。

解の情報：生成された線分に関する種々の情報、たとえばその線分に接続されている全パターン長、スルーホール数、解を求めるのに要した試行回数、設計時間などがプリントされる。また不能解、時間切れの場合にはその旨表示される。

パターン結果：生成される経路はすべて座標で示し、X座標が共通（Y軸に平行）なものの、Y座標が共通（X軸に平行）なものをおのの独立にかつX, Y軸に対して昇順にプリントアウトされる。線分の両端の座標は曲がり個所またはICのピン、入出力端子に対応している。なおこの結果は指定により、磁気テープにもアウトプットすることができ、現在 MELCOM-3100 との互換性を考慮して BCD コード、800 BPI, NOLABEL で書き込むようになっているが、本システムを使用する際に用いる JOB CONTROL CARD を変えることにより、任意の形式で書き込むことができる。これは AUTO DRAFT のインプットデータとなる。

2.3 機能

本システムはIC用プリント配線板の設計を目的としているが、幅広く応用できるようにはん用性をもたせてあり、また種々のオプションを有している。

2.3.1 プリント配線板の形状、寸法

プリント配線板の形状は、前提として正方形または長方形であるが、前述の入力データの配線ルート指定データを応用することにより種々の形状とすることができる。これは図 2.6 に示すようにパターン領域内で配線ルート指定データを用いて、パターンが生成されないようにマスクしておくことにより可能である。寸法は、最大 500×500 (メッシュ) のものまで設計することができ、通常メッシュ間隔は 0.05' インチとしているので 635×635 (mm) の大きさとなる（なおこの大きさは容易に拡張できるが、現状の基板技術ではこれ以上のものを作ることができないので十分である）

2.3.2 部品数、端子数

本システムは、IC間の接続だけでなく全部品間のパターン設計を行なうことができる。たとえばIC以外のダイオード、抵抗、トランジスタなどの個別部品を共存させるときには、その部品の取付穴で表現すればよく、おのおの積載できる数はICが99個、個別部品200個、入出力端子99ピンのものまで設計できる。

2.3.3 パターン生成

1枚のプリント配線板上のXおよびY方向におのおの3,000本、計6,000本のパターンを作り出すことができる。本システムの設計では、同一面内では同一方向のパターンしか走らないということが前提となっておりかつ線分の両端の座標は、原則として曲がり個所に対応しスルーホールを介して他面に接続されるが、同一面内で方向が異なってもスルーホールを介さなくてよいものについては、同一面内で接続できるようになっている。

2.3.4 設計者の意図を反映させる

自動設計システムにおいては、設計者とのコミュニケーションを円滑にさせるのが大きな問題である。本システムでは以下に述べるように設計者が介入できるような方式を採用している。

部品の配置に関しては、あらかじめ特定の部品について位置を固定させたり、入出力端子に接続される信号について固定させ、他の

部品についてのみ配置換えを行なわせることができる。また、パターンの経路決定に関しても、電源、接地線などの特殊信号線を他の論理信号線と共存させるとき、電気的な条件を考慮して幅を広くしたり経路の指定を自由に設定することができる。

2.3.5 優先機能

本システムでは配線の順序に各種の優先機能を有しており、配線率、設計能率などを向上させるようにしている。優先機能には、配線指定の最短順、最長順、入出力端子線を優先させたり、設計者が指定する信号線について優先的に接続することなどがあり、これらの機能を任意に指定できる。

3. 自動設計方式

本章では、2で述べたプリント配線板の自動設計過程で用いているプログラムの手法について解説する。自動化の手法は、手法そのものが設計品質や設計コストを決定するという性質上、適用される開発プロジェクトの要求(Requirements)に大きく左右されることは避けられない。また設計自動化にあたっては、使いやすさや設計コストなどの経済的側面も重視されるので、自動化の手法も単に理論的に望ましいものであるだけでなく、実用的見地からみて経済的に妥当なものでなければならない。計算機を長時間使用するものは望ましくない。

ここで考えている開発プロジェクトとしては、デジタル電子計算機を中心とする高速デジタル論理装置を対象としており、次のようなプリント配線板の設計過程を自動化するプログラムの手法について述べる。

- (1) 部品の最適配置設計
(MAPS……Module Allocation Program System)
- (2) 接続指定の設計
(CLWL……Connector List to Wire List Conversion)
- (3) プリントパターン設計
(APE-2……Automatic Pattern Explorer Version 2)
- (4) 自動製図機 (MELOGRAPH-2000 システム) 用紙テープ自動作成 (AUTO-DRAFT)

3.1 MAPS (部品の最適配置設計)⁽³⁾⁽⁷⁾

部品の配置を決める段階では、同一の信号 (Conductor) によって結合される部品の集合 (Signal Nets) が与えられるが、どういう順序で部品が結合される (Actual Connection) か決まっていなかったのが普通である。もちろん、配線経路 (Routing) は定まっていなかった。

このような条件のもとで、プリント配線板上の部品配置を決定する方式は、大別して二つの立場に分けることができる。

第一は部品間の接続線長を予測し、その総和が最小になるように部品の配置を定めるもので、線長を短くすることによって、信号の遅延を少なくし、同時に線間誘導雑音を減少させることにより、装置の高速性能と余裕度を増大させて設計品質の向上をはかろうとする立場である。

第二の方法は、部品の配置を決める段階で配線経路を予測し、プリント配線が“容易なように”部品の配置を決めようとする立場である。“容易なように”という表現は非常に主観的であるが、考え方のひとつは、あらかじめ配線経路を想定することにより配線の粗密を少なくし、できるだけ一様に配線が分配されるように部品を配列する方式がある。

問題を一般的に拡張した本格的なものとしては、多層基板上の配線においての部品の配置決定を、各層に対する配線の割当および各

層の配線経路の決定と同時にこなす方式などがある。この最後の方式は、層間接続に pin 位置以外の導通孔 (Via Hole) を用いないという制約をつけて解かれることが多い。そうすれば、穴明け工数の削減、コストダウン、信頼性の向上にもつながり、超高密度実装の LSI、航空機積載用電子機器に対し適用性がある。しかしながら、まだ研究段階⁽¹⁾にあり、計算時間がかかりすぎて小規模の問題しか扱えず実用的ではない。

したがって、部品配置設計方式としては、前者の第一、あるいは第二の方式が考えられる。

いずれの方式も、あらかじめ生成されるプリント配線経路を何らかの方法で想定して配置を求める以上、近似はまぬがれないが、ここでは次のような理由から全線長を最短化するような部品配置を求める手法 (前述の第一の手法) を採用した。その理由は、

(1) 全線長という評価関数の物理的イメージが明白で、評価関数の改善が信号遅延の減少、線間誘導の削減、配線スペースを少なくすることによるプリント化率の向上などの設計目的につながる。

(2) 手法が数学的にほぼ確立されており、プログラミングをうまくやれば計算時間を短くできると予想される。

3.1.1 部品最適配置の近似解法—Steinberg's Algorithm⁽³⁾

接続線長を最短にするような部品の配置を求める問題は、厳密には2元配置の問題 (Quadratic Assignment Problem) として定式化できる⁽²⁾。しかし厳密にこれを解こうとするとばく大な計算時間を必要とし、いまだに実用的サイズのものについて解かれたことはない。近似解法はいくつか知られているが、ここでは2元配置の問題を割当問題の繰返しに帰着させて近似解を求める Steinberg のアルゴリズムについて述べる。

今 n 個の部品の中から、互いに共通の信号に接続されていない部品の集合 U を選び出したとき、 U を未接続集合 (Unconnected Set) とよぶ。どの未接続集合にも含まれない未接続集合を、最大未接続集合とよぶ。最大未接続集合は、その選び方により幾つもあり得るので、それらを $U_1, U_2, \dots, U_m$ とし、 n 個の部品が $U_1 \sim U_m$ のどれかに少なくとも1回は含まれるように $U_1 \sim U_m$ を選ぶものとする。

さらに、 n 個の部品の初期配置が何らかの方法で決められているものとし、最大未接続集合 $U_i = \{M_1, M_2, \dots, M_p\}$ の再配列を行なって、全線長を短縮することを考える。 $(M_j, j=1 \sim p$ は U_i に属す部品を表わす。)再配列できる $p+q$ 個の位置を、 $l_1, l_2, \dots, l_{p+q}$ ($q \geq 0$) とする。 q は再配列直前の空位置の個数をあらわす。

以上の前提のもとで、図 3.1 に示すように、再配置の評価基準を与える行列 (A-行列とよぶ) を作成する。A-行列は、 U_i に属する p 個の部品 $M_j (j=1 \sim p)$ を行方向にとり、列方向には $p+q$ 個の位置 $l_k (k=1 \sim p+q)$ をとり、 j 行 k 列の要素として、 M_j を l_k

		位置									
		l_1	l_2	l_3	l_4	-----					l_{p+q}
部品	M_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	-----					$a_{1, p+q}$
	M_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	-----					$a_{2, p+q}$
	M_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	-----					$a_{3, p+q}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$					$\vdots$
	M_p	a_{p1}	a_{p2}	a_{p3}	a_{p4}	-----					$a_{p, p+q}$

図 3.1 A-行列 A-Matrix.

に配置した場合の予測線長をとるものとする。なお、線長の予測については 3.1.2 項で述べる。したがって、未接続集合 U_i の最適再配置とは、A 行列において p 個の部品おののを、 $p+q$ 個の位置のうちの異なる p 個の位置に配置し、その配置に対応した A 行列の p 個の要素の和を最小化すればよいことになる。

この問題は割当問題といわれているもので、いくつかの計算時間の短いアルゴリズム⁽⁴⁾が知られている。

上記では一つの最大未接続集合 U_i に注目し、部分的再配置(Partial Placement)を行なって線長の改善を行なうことを述べたが、順次異なる最大未接続集合をとりだして部分的再配置を繰返すことにより、単調に予測全線長を減少させる手順を作ることができる。図 3.2 は、上記の手順をフローチャートの形で示したものである。

3.1.2 線長の予測

配置設計プログラムの入力情報として、同一信号に接続される部品の集合 (signal net) 群が与えられる。この signal net から、でき上がりのプリント配線長を予測するために、式 (3.1) を用いる。すなわち、ある部品 i を位置 n に配置した場合に、部品 i に接続されるプリント配線の予測線長 $L(i, n)$ を、

$$L(i, n) = \sum_{j \in S_i} \frac{1}{C(j)-1} \sum_{k \in P_j} l_{nk} \dots\dots\dots (3.1)$$

であらわす。

- ここで j : 部品 i に含まれる信号の集合 S_i の要素
- $C(j)$: 信号 j に接続される部品の数
- k : 信号 j に接続される部品の集合 M_j の要素
- l_{nk} : 部品 k の位置と部品 i の位置 n との直角距離

この式は、まず部品 i の全 P_{in} に関する信号 Nets に注目し、ある信号に対しその Net 中の i と異なる部品すべてについて i との直角距離の総和をとり、その総和を単位配線あたりに平均化する。この操作をすべての信号について行ない、その和を求め、部品 i を位置 n に配置する場合の予測線長とすることを意味する。

(1) 式 (3.1) の計算例

最も簡単な計算例として、部品 i に一つの信号が接続される場合を考える。図 3.3 において、部品 B, C, D, E は位置が固定され、 A はある限られた位置 (たとえば n) を占めるものとすれば、 A を n に配置した場合の $L(A, n)$ は、

$$L(A, n) = \frac{1}{4} (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) \dots\dots\dots (3.2)$$

であらわすことができる。

ここで、 $l_i (i=1 \sim 4)$ は直角距離で計算するものとする。

(2) 式 (3.1) の妥当性について

表 3.1 に配置設計 (MAPS) 時に式 (3.1) によって予測した全線長と、その配置にもとづいて実際にパターン設計 (APE-2) を行なった結果の全線長を四つの例について示している。表 3.1 からわかるように式 (3.1) で予測した全線長は四つの例すべてについて、実際に基板上に作られた全パターン線長のほぼ 7 割にあたり、式 (3.1) を用いれば相対的に実線長を正しく予測できることがわかる。

3.1.3 配置設計の実験結果

図 3.4 にカード上の IC 配置設計の実験例として、初期配置をランダムに指定した場合 (a) と設計者が指定した場合 (b) について、3.1.1 項で述べた部分的再配置 (試行) を行なって、予測全線長が改善される様子を示す。また、この実験に使用したカードの設計パラメータを表 3.2 に示す。



図 3.2 MAPS フローチャート
MAPS flow chart.

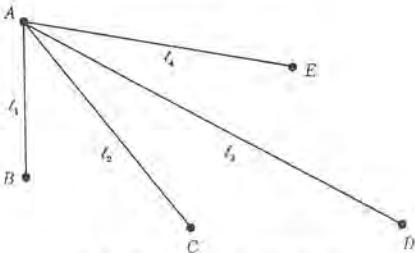


図 3.3 線長の予測法
Estimation of pseudo wire length

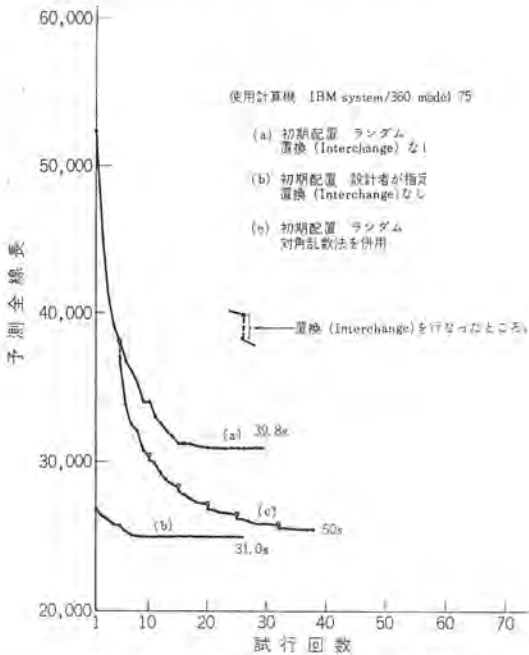


図 3.4 カード上の IC 自動配置設計例
Design example of automatic IC placement on a card.

表 3.1 予測線長と実線長との比
Comparison between estimated and actual wire length.

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
予測全線長 L_1	4,609	4,576	26,467	24,219
実全線長 L_2	3,409	3,412	18,230	17,271
比 L_2/L_1	0.74	0.75	0.69	0.71

表 3.2 実験カード諸元
Experimental card specification.

寸 法 (mm)	190×280
IC 実 装 数	75
信 号 数	77
入 力 デ ー タ 数	276

表 3.3 そう入した置換手法の比較実験結果
Comparison among experimental results of inserted interchange methods.

	計 算 時 間 s	最 終 線 長	試 行 回 数	置換試行回数
対 角 法	50	27,170	38	4
総 当 たり 法	202	24,884	53	2
単 一 置 換 法	302*	28,291	73	17
対 角 乱 数 法	50	26,985	36	7

(注) * 計算打ち切を示す。

初期配置は、ランダム

図 3.4 からわかるように、初期配置の指定の仕方が計算結果に大きく影響する。とくにランダム配置から出発した場合は、予測線長の改善が必ずしも十分ではない。この理由として、次のような手法上の改良が考えられる。Steinberg の手法は、部品の集合の中から互いに同一の信号によって接続されていない未接続集合を抽出し、この部品集合だけについて配置の最適化を繰返して、予測線長を短くする方法である。したがって、同じ信号に接続されている部品同志は同時には配置の移動は行なわれない。ところが、実際には結合されている部品同志の置換 (Interchange) を行なうことによって線長が減少する場合も多い。

3.1.4 配置の置換過程の併用

本項では、上に述べた置換過程 (Interchange Process) を併用して、解の最適性を改良することを考える。置換の方法は、置換の組合わせのとり方によってさまざまな方法が考えられるが、ここでは次のような方法について、比較実験を行なった。

(1) 対角法

n 個の部品のうちで、 $i, i+1 (i=1 \sim n-1)$ を置換の組合わせとしてとり、置換によって線長が改善される組合わせは置換を行なってゆく方法である。線長が改善されない場合は配置を変えない。1 回の試行で最大 $(n-1)$ 回の置換が行なわれる。

(2) 総当たり法

n 個の部品のうちで $i, j (i=1 \sim n, j=1 \sim n, i \neq j)$ を置換の組合わせとしてとり、置換によって線長が改善されれば逐次置換を行なってゆく方法である。線長が改善されなければ、配置は変わらない。1 回の試行で最大 $n(n-1)$ 回の置換が行なわれる。

(3) 単一置換法

n 個の部品のうちから置換によって最も線長の改善できる部品対 (i, j) を選び出し、1 度の試行でこの置換だけを行なう方法である。

(4) 対角乱数法

n 個の部品のうちで $i, j (i=1 \sim n, j \text{ は } [1, n] \text{ の一様乱数で指定})$ を置換の組合わせとしてとり、置換によって線長が改善されれば逐次置換を行なってゆく方法である。線長が改善されない場合は配置を変えない。1 回の試行で最大 $(n-1)$ 回の置換が行なわれる。

表 3.3 に表 3.2 で示したカードを用いて、上記 4 種類の置換過程を Steinberg の方法と併用した場合の実験結果を示す。この結果、置換過程を併用することにより、併用しない場合に比べてさらに線長を 13~22 % 改善できたことがわかる。線長の最も短い解は総当

たり法で得られているが、計算時間のかかるのが欠点である。一方対角法と対角乱数法は、比較的短い計算時間内に線長を 13 % さらに改善している。

以上の実験から、部品配置方式の strategy について、次のような判断を下すことができる。

(1) Steinberg の方法は収束が早く、計算時間が短い点に特長があるが、ある試行以上ではあまり線長は改善されない。

(2) 置換過程を併用してさらに線長を短くできる。また、部品配置方式に試行錯誤的に近似解を求める方法をとる以上、置換の組合わせの決め方も対角法または対角乱数法のような試行錯誤的な決め方が実用的である。表 3.3 で、置換の組合わせの決め方が最も厳密である単一置換法は、あまりにも計算時間がかかりすぎて実用的ではない。

(3) 置換過程を併用することによって、Steinberg の方法による部品集合の部分的再配置の線長改善効果を高めることができる。

図 3.4 (c) は初期配置をランダムに指定し、置換過程には対角乱数法を用いて未接続集合の部分的配置の繰返しと併用することによって、線長をさらに改善した場合を示している。

置換過程に対角乱数法を用いて Steinberg の方式と併用するように、方式上の改良を行えば人手の設計と比較して平均 10~15 % 全線長の短い配置結果を求めることができると考えられる。

3.2 CLWL (接続指定の設計)

パターン設計結果の一つの評価を与える プリント 配線率 α を、

$$\alpha = \frac{M-N}{M} \dots \dots \dots (3.3)$$

ここで、 M : 所要接続数

N : 不能解の数

と定義する。

α は一般に、基板の構造、部品の配置、接続指定、接続指定順序、パターン設計のアルゴリズムなどの関数であるが、 α との関係は非常に複雑で定量的には定められないのが現状である。

したがって、実用的には各設計段階で定性的な設計評価基準を定め、実際にパターン設計を行なわせて実験的にその基準を検証することが行なわれる。ここでは部品の配置が定まり、同じ信号に接続される部品端子の集合 (Signal Net) が与えられたとき、パターン設計プログラムの入力となる接続端子対 (Wire List) を、線長が短くなるように指定する方法についてのべる。この方法は、パターン設計の実験を繰り返して妥当であることを確かめため採用したものである⁽⁵⁾。

3.2.1 最短接続指定法⁽⁶⁾⁽¹¹⁾

n 個の電氣的に接続すべき端子があり、端子間相互の距離は計算できるものとする。 n 個の端子の中から 2 端子を接続するすべての組合わせは $nC_2 = \frac{n(n-1)}{2}$ 個あり、この端子対 a_i を距離の増大する順に並べた次のような順序集合 E を考える。

$$E = \{a_1, a_2, \dots, a_{\frac{n(n-1)}{2}}\} \dots \dots \dots (3.4)$$

ここで、 $ai \neq aj (i \neq j)$

$$l(a_i) \leq l(a_j) \quad (i < j)$$

$l(a_i)$: 端子対 a_i の距離

E 中の要素 $a_1, a_2, \dots$ をとり出し、順次結線してゆく。ただし、 $a_j (j \geq 3)$ を結線すると $a_1 \sim a_{j-1}$ のすでに接続されている線群とループを作る場合は、 a_j の結線指定は無視する。以上の操作を $a_{\frac{n(n-1)}{2}}$ まで繰り返せば、次のような最短接続指定の Tree S をつくること

ができる。

$$S = \{b_1, b_2, \dots, b_{n-1}\} \dots \dots \dots (3.5)$$

ここで、

$$b_j (j=1 \sim n-1) \in E$$

各種の接続指定法がプリント配線率 α におよぼす影響については次章で実験例を示す。

3.3 APE-2 (プリントパターン設計)

電子計算機のIC化やMSI化に伴い、高密度実装、設計時間とコストの削減、設計誤りの除去などの要請から、プリント配線設計の自動化が内外のメカによって試みられ実用化されつつある。当社においても43年4月に運用を開始して以来、電子計算機のみならず、数値制御機器などの電子応用機のプリント基板の設計にも使用されている。ここでは、まずプリントパターン設計を自動化する場合に考慮しなければならない各種の要因について述べ、次に現在使用しているAPE-2プログラムの方式、特長について述べる。

3.3.1 プリント配線設計自動化の問題点

プリント配線設計の目標としては、許された電氣的制限条件と実現可能な工作上の制約のもとで、式(3.3)で示した配線率 α を最大にし、実装設計や製造コストが最小になるような設計を行なうことであると言える。ところが、この配線率 α は3.2節でものべたように、部品配置間隔、基板上に実装される論理ブロック、部品配置、接続指定法、接続順序などのほかに、パターン設計(Routing)のアルゴリズムにも依存する。とくに、電氣的配線条件の定式化と設計技術に見合った基板製造技術の進歩とは重要な要因になる。

3.3.2 線分探索法 (Line Search Algorithm)⁽⁸⁾⁽⁹⁾

(1) 問題の定義

基板の信号配線層は表と裏の2層に限定し、その配線パターンはおのおの量子化された平面上のX軸、Y軸に平行なもののみを許し、層間配線はスルーホールによることを原則とする。基板上の部品配置と接続情報は、第1章で述べたようにCLWLの出力から与える。接続の指定は2点で指定するが、その点がすでに他の数点と接続されているときは既存の線分からプリント配線特有の枝分れ(Multi-ended Connection)による配線も許すものとする。

(2) アルゴリズム

ここで、「線分探索法」と名付ける方法は、以上の条件のもとで電氣的に接続すべき2点(2線分群)間の可能な配線経路のうちで、スルーホール個数(経路の曲がりの数)が最小になる解の中から、距離が最短になる経路を選び出す手順であると言える。

今接続すべき2点A、Bが与えられると、A、Bにすでに接続されている線分を選び出し、A線分群、B線分群とする。A、B線分群間に交差があればそれが解であり、スルーホールを生成する。交差がない場合には、両線分群から、0、1、2、……個の屈折を許して既存のパターンとは接触しない仮想線分群を交互に順次生成し、交差が発見されるか、または仮想線分が引けなくなるまで探索を繰り返す。屈折数が同一の解が2個以上ある場合には追加線分長が最短のものを選ぶ。

図3.5に2点A、Bを接続する場合の仮想線分の作られるもようを示す。ここで仮想線分のレベルを次のように定義している。

レベル0：既存の線分群のうち、接続すべき2点のいずれかを含むもの

レベル1：レベル0の線分からスルーホールを新たに作らないで引ける線分群

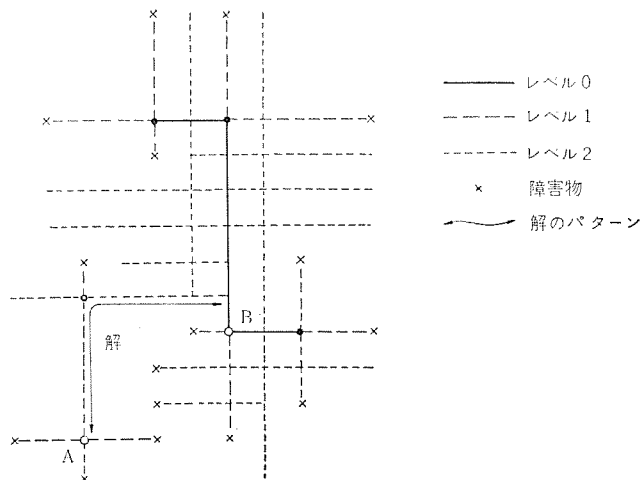


図 3.5 線分探索過程
Line search procedure.

レベル $i (i \geq 2)$ ：レベル $(i-1)$ の線分より、スルーホール1個を追加して作ることのできる線分群

したがって、レベル i の線分とレベル j の線分が交差して解が求められるときは、スルーホールの個数は $(i+j-1)$ 個で最小となる。

3.3.3 線分探索法の特長

(1) 配線パターンの任意の点での枝分かれを取扱うことができ、高密度実装をはかることができる。

(2) 生成される配線パターンをまずスルーホールの数によって類別しているため、解の経路は単純なものから順に求められていき、はじめから一貫してこの方法を適用しても配線率は下らないことが予想される。

(3) スルーホール個数は最小であることが保証されている。

(4) 線分単位に探索するので計算機内のデータエリアが少なく、計算時間はLEE氏の手法⁽¹⁰⁾などに比べて格段に短い。

計算時間、スルーホール個数、配線率などの設計パラメータについては次章のプリント配線設計の実施例の中で示す。

3.4 AUTO-DRAFT (自動製図機用紙テープの作成)

自動製図機の入力紙テープ作成手順は、次のように分けることができる。

(1) APE-2の出力パターンファイルから特定のデータを抽出すること。これらのデータには、プリント基板の各層におけるXおよびY方向のパターン情報、ディスクリット部品の取付穴、IC端子取付穴、導通孔などの穴明情報が含まれる。この穴明情報はプリント基板の穴明け工程を自動化するN/Cボール盤の入力情報としても使用される。

(2) 作画時間を短くするためのデータの再配列

これは、自動製図機のHeadの切換回数を少なくし、Headの動線が短くなるように、作図手順を決めることである。

(3) 座標変換

パターンを計算する過程で使用した座標は抽象的なもので、この段階で具体的な値を与えることにより、図面の拡大、縮小や座標間隔の可変長指定などが自由に行なえる。

(4) N/C言語のそう入

N/C制御装置の駆動指令を作図データとともに組込んで紙テープを作成する過程である。

自動製図システムには、当社と武藤工業とで共同開発したMELO GRAPH-2000システムを使用している。

4. 実施例および性能

4.1 実施例

プリント配線板の自動設計においては、配線順序および接続指定法により設計結果の質に影響を及ぼす。本システムのアルゴリズムに対して最適の接続順序指定を得るため、以下に述べる項目について実験を行なった。

4.1.1 配線順序 (Ordering)

- (a) 入出力優先他を最短順
- (b) 最短順
- (c) 小ネット順
- (d) 最長順
- (e) 大ネット順

以上の(a)~(e)の Ordering について行なった。(a), (b), (c)は短い線を阻害しないよう回り道のとりやすい長い線は後まわしにするという考え方, (d), (e)は長い線を先に配線させ、それに付随する線は短い線分で結線できるであろうという考え方から行なったもので、表 4.1 にその結果を示す。これから(a)の Ordering が最適であり、前者の仮説が妥当であることがわかる。

4.1.2 接続指定法

接続指定法については次の三種について試行を行なった。

- A: 布線設計プログラムとして確立されている最短経路法
- B: 人手でデータを作成する場合に有利である星型法
- C: 一般によく用いられている最長中心法

結果を表 4.2 に示す。これより初期指定長の短いものほど設計時間、配線性、スルーホール等が最適に近くなり、比較的長線分が多い最長中心法では、不能解、時間切れとなる場合が多く、線分探索法に対しては、初期指定長が短くなる最短経路法が最適であるということになり、本システムの接続指定にこの方式を採用した。線分探索法によるルーティングに対しては Ordering は入出力優先他を最短順、接続指定は最短経路法が最適であるが、両者とも他の方法でも決して悪い結果ではなく、線分探索法によるルーティングの余裕度の大きいことを示している。

4.1.3 設計例

本システムを用いて設計した二種のプリント配線板についてその結果を表 4.3 に示す。A, Bともにレジスタブロックを実装する機能化されたもので、実装効率、パターン密度の非常に高いものである。両者とも基本格子は 1.27 mm に設定し、電源線、接地線は幅広くするためあらかじめルートを指定した。部品の配置の初期値はランダムである。Ordering は入出力線を優先配線させ、その他の信号線については最短順に行なうように指定した。Bのプリント配線板の設計結果を手で作画したものを図 4.2 に示す。

4.2 性能

設計時間: IBM 360/75 を用いて数種のプリント配線板を設計した結果、IC 積載数、論理、プリント配線板の形状などにより異なるが、ほとんどのものを 100~300 秒程度の時間で設計することができる。

配線率: パターン設計システムの性能を計るものとして配線率があげられる。本システムでは 99 %以上の配線率を得ることができ、この種のシステムでは最良のものである。

線質

生成されるパターンは、可能な配線経路の中からスルーホール数が少なくかつ線長の最短のものを選択するので、電気的な特性もよく、

スルーホールが少ないことから信頼性の高いものを得ることができる。また互いに直交する X, Y 面で構成されているのでパターンが非常に単純化されており作画、工作などにも好影響を及ぼす。

人手設計との比較

表 4.3 の B の場合、人手で設計するのに約 2 週間を要しかつ設計ミスが生じたが、本システムを用いればデータ作成に 1 日を費すのみで熟練者でなくとも容易に使用でき、かつ誤りのないものを設計することができることなどからみても、いかに性能がよく有利であるかがわかる。

本文に述べた自動設計プログラムを用いて、これまでに 100 種類以上のプリント配線板が設計された。データが残っているカード設計、34 種について、IC 積載数、配線率および計算時間の分布を図 4.3~4.5 に示す。これによると、IC 数 50 個余のカードを 5~6 分で設計し、多くの場合 100 %近い設計ができていていることがわかる。

表 4.1 Ordering の影響
Ordering effects.

接 続 順 序	入出力優先 他は最短順	最 短 順	最 長 順	大ネット順	小ネット順
計 算 時 間 (s)	223	353	482	267	318
不 能 解 (時間切)	2	(5)	13+(9)+(115)	12+(5)	4+(4)
ス ル ー ホ ー ル	389	345	(718)	375	370
最長ネット(メッシュ)	542	625	521	906	487
配 線 率	99.8	99.4	74.9	97.0	98.5

設計条件: IC 75 個, 接続数 545, パターン領域 124×208

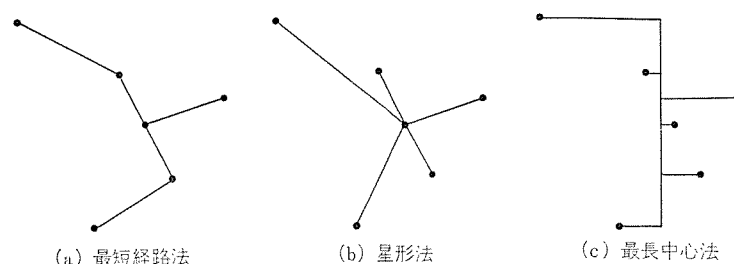


図 4.1 接続指定法 Connection methods.

表 4.2 接続順序指定の影響
Effects of connection methods.

接 続 指 定 法	最短経路法	星 型 法	最長中心法
設 計 時 間 (s)	253	182	343
スルーホール (ドッグレグ)	430	456	(921)
不 能 解+(時間切)	(5)	11+(8)	2+(12)
配 線 率 (%)	99.5	96.8	97.6

設計条件は表 4.1 と同じ, Ordering は入出力優先他を最短順

表 4.3 設計例 Design examples.

カ ー ド 名	A	B
IC 実 装 数	19	75
信 号 数	52	77
パ タ ー ン 領 域	60×110	124×208
接 続 数	143	593
入 出 力 線	51	75
計 算 時 間	62s	263s
不能解 (計算打切)	0	(2)
パ タ ー ン 線 長 和	3,412	17,271
配 線 率	100	99.7

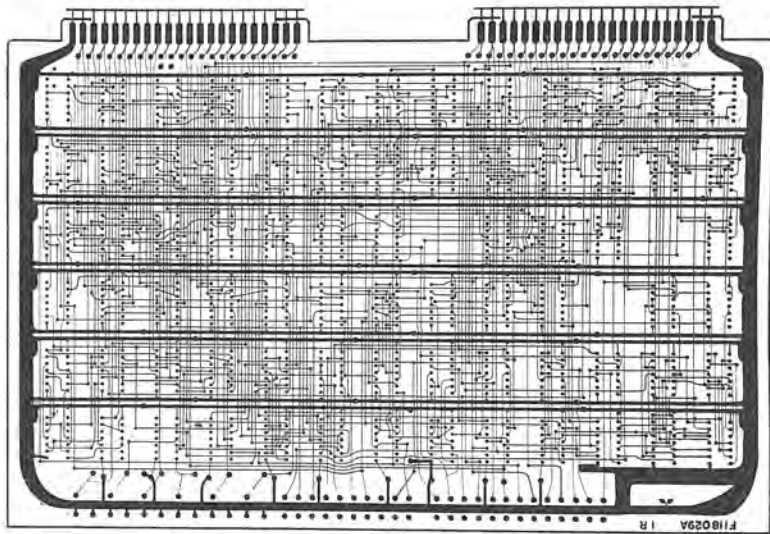


図 4.2 大形機能カード（自動設計，人作画）
A functional large card (drawn by hand after automated design).

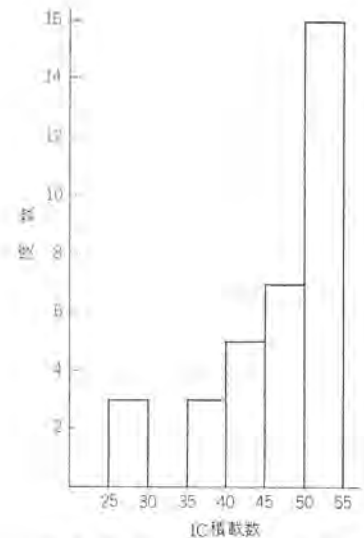


図 4.3 カード設計統計—IC 積載数
Card design statistics—number of ICP's per card.

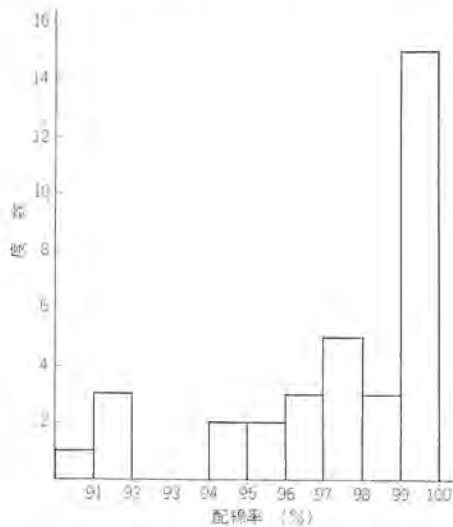


図 4.4 カード設計統計—配線率
Card design statistics—wirability.

配線が混んでいると配線率は当然低くなるが、ICP 1 個当たりの配線指定数に対して配線率が低下する様子を図 4.6 に示す。34 種のカードの配線領域はほぼ同じであると考えられる。横軸が 5 と 6 の中間位から急に配線率が下降しているが、14 本の端子をもつ dual-in-line の ICP に対して、電源とグラウンドを除いた信号線が、多目に考えて平均 10~12 本接続される場合に相当する。このように配線数が多いカードに対しては、その形状や IC 間隔が適当でないことがあるから、基板標準の設定にあたってはプリントパターンの配線率ということも十分に考慮する必要がある。

5. む す び

プリント配線板の自動設計システムとして現在 MCC に登録してあるもののうち、部品最適配置 (MAPS) および接続 (CLWL) のプログラムの作成ならびにプログラムの結合は、本社機械計算部システム技術課の加藤礼二氏の力によるものである。

通信機製作所多重伝送技術課の松永亮氏は、カード設計用であった APE-II プログラムを、バックパネルのボード設計にも適用できるように拡

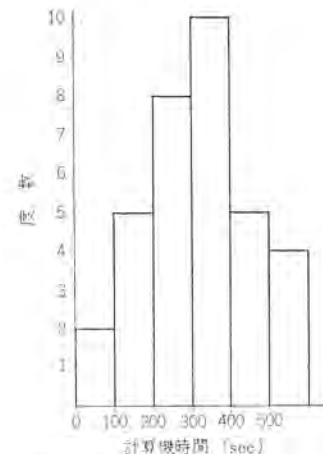


図 4.5 カード設計統計—計算機時間
Card design statistics—computer time.

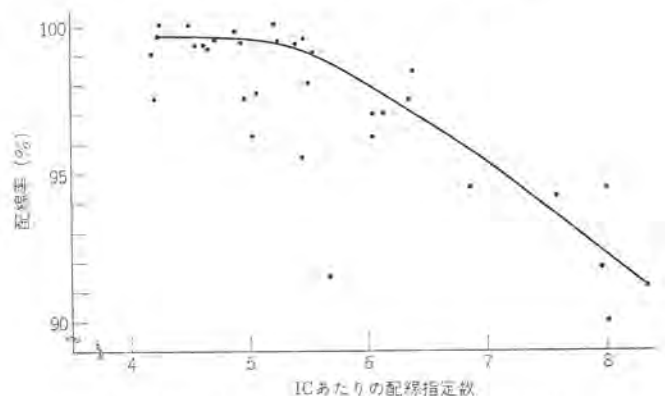


図 4.6 IC 当たり配線指定数に対する配線率
Wirability vs. connection per IC.

張したプログラムに改良された。

パターン設計の結果を自動製図機に適したデータ構造に変換するプログラム (AUTO DRAFT) は鎌倉製作所整備課の水上喜一氏により具体化された。同所計算機設計課の嶋田弘氏、整備課の野田為蔵氏は、100 種以上のカードの設計に自動設計プログラムを実用して、運用上不可欠な資料および組織の実現に努力された。

自動設計は、人間の頭脳活動と組織活動の分野に計算機を導入す

るものであるから、その着想から運用に至るまでには多くの部門の人々の力を結合して企業としての成果が確かなものとなる。これまでお力添えをいただいた上記の方々およびその管理者の方々に謝意を表するとともに、今後の技術革新に伴ってますます必要となる拡張と改良によりいっそうのご援助をお願いしたい。

参 考 文 献

- (1) H. Hanan : J. SIAM, 14, pp. 255~265, March (1966)
- (2) T. C. Koopmans, et al : Econometrica, 25, pp. 52~76 (1957)
- (3) L. Steinberg : SIAM Rev., 3, pp. 37~50 Jan. (1961)
- (4) J. Munkres : J. SIAM, 5, pp. 32~38 (1957)
- (5) 三上, 田淵, 杉本 : IC 計算機用 プリント 板の自動設計方式, 昭 43 信学全大 S2-4
- (6) 三上, 田淵, 杉本 : プリントパターン 自動設計における接続および順序の指定法の影響, 昭 44 電 4 学全大 3236
- (7) 三上, 田淵, 加藤 : 計算機による 部品の配置設計, 昭 44 電 4 学全大 3,229
- (8) 三上, 田淵 : A Computer Program For Optimal Routing of Printed Circuit Conductors, Proc. IFIP Congress, 68 (1968)
- (9) 三上, 田淵 : 計算機による プリント 配線経路の決定, 昭 42 信学全大 974
- (10) C. Y. Lee : IRE Trans., EC-10, pp. 346~365, September (1961)
- (11) 小島, 三上ほか : 電子計算機布線設計の自動化, 電気通信学会雑誌 第 50 巻 4 号 (昭和 42)



技術講座

システム理論 (III) —統計的決定理論とその応用—

山田 敬吾*

1. ま え が き

John von Neumann がゲームの理論における minimax 定理の証明を与えたのは、1927 年で、経済学者 Oskar Morgenstein との共著「Theory of Games and Economic Behavior」をあらわしたのは、1944 年であった。同じころ J. Neyman や Egor Pearson は、従来の統計学に不満を感じ、より厳密な数学的構成に力を注いでいた。

この二つの理論、すなわち、ゲームの理論と Neyman, Pearson の統計理論とを結びつけ、統計理論をゲームの理論のうえにきざき上げようとしたのが Abraham Wald で、飛行機事故による悲劇的死をとげた 1950 年に、彼の理論は、「Statistical Decision Functions」となってあらわれた。以後、彼の理論は、その重要性を認められて、工学・社会科学等の分野に広く、応用されるにいたった。その理由は、Wald の統計的決定理論が、不確定性の下における決定というわれわれが常に直面する問題を、最も、はっきりした形で基礎的にあつかっている点にあるだろう。従来の統計学も、このような問題を扱っていないというわけではないが、検定論や、推定論がその中心であって、decision making の本質を、はっきりした形で追求していないところ不満があった。

本文の目的は、Wald の創作になる統計的決定理論の基礎を説明し、その応用について述べるものである。限られた紙面であるので、数学的証明の多くは省くことにし、さらに、その応用の面についても限られている（これは、むしろ筆者の知識が限られていることによる）。

2. 統計的決定理論における一般の問題

統計的決定理論が扱う問題は、一般的には、次のようになる。「 $X_1, X_2, \dots, X_m, Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ は、ある $(m+n)$ 次元の結合分布をする。 $X_1, X_2, \dots, X_m$ を観測した後で、 $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ を観測する前に、ある人間がある決定なり、行動なりをしなければならない。どう決定し、行動したらよいだろうか。」ここで、上にのべた結合分布については、その形は、正確にはわかっていない。わかっていれば、もはや、これは統計的問題ではない。われわれの決定としては、われわれのとった決定と $X_1, X_2, \dots, X_m, Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ の実現値から定まる利得なり、損失なりを極大または極小にするように、選択すべきである。決定理論における基本的要素は、次の三つからなる。

(1) Θ : 自然の可能な状態からなる空でない集合、ときにパラメータ空間といわれる。

Θ は、自然の状態（結合分布）として、どのようなものが可能を示すものであって、 $\Theta \ni \theta$ なる θ に対して、一つの既知の結合分

布が対応している。したがって、 Θ がただ一つの θ からなるような場合は結合分布が既知となって、上に述べたように、このような場合は、統計的問題とはなり得ない。

(2) τ : 利用可能な行動 (action) の集合

(3) 損失関数 $L(\theta, a) : \Theta \times \tau$ のうで定義された実数値関数

(1), (2), (3) を簡単に、ゲーム (Θ, τ, L) という。統計的決定問題では、観察結果 $X_1, X_2, \dots, X_m$ をみた後、行動 $a \in \tau$ をとるのであるが、 $X_1, X_2, \dots, X_m$ の結合分布は、ある $\theta \in \Theta$ に対応した、 P_θ に従い、損失 L は、 $L(\theta, a)$ によって決まる。行動 a は、一般に X (以後、簡単に、 $X_1, X_2, \dots, X_m$ を X であらわす) によって決まるので、 a は X の関数として、 $a = d(X)$ とあらわしう。 θ が自然の状態をさすとき、 $L(\theta, d(X))$ の期待値

$$R(\theta, d) = E_\theta L(\theta, d(X)) \dots \dots \dots (2.1)$$

を、危険関数 (risk function) という。 x を X のサンプル空間とするとき、 d は x から τ への関数であるが、式 (2.1) がすべての $\theta \in \Theta$ に対し、存在しかつ有限のとき、 d を決定ルールまたは、決定関数という。(正確には、非確率化された決定関数 decision function という)。以後、この決定問題を (Θ, D, R) であらわす。

(例 1) ある品物を 500 ドルで買うべきか、1,000 ドルで買うべきかを決定しようとする。500 ドルの場合は、保証つきでなく、買って破損していれば 1,000 ドルで保証つきのものを買わなくてはならない。1,000 ドルの場合は、保証つきである。決定をする前に、その品物と同一の破損率をもつ品物を 2 個だけ観測するとする。破損率は未知である。ただし破損率は θ_1 または θ_2 のいずれかとする。

この問題に対して、上で述べた決定関数および危険関数を決定しよう。 $\Theta = \{\theta_1, \theta_2\}$, $\tau = \{a_1, a_2\}$, a_1 : 500 ドルで買う。 a_2 : 1,000 ドルで買う。 $L(\theta, a)$ は表 2.1 のようになる。

2 個の品物の観測結果を X_1, X_2 であらわす。 $X_1=1$ は破損している場合、 $X_1=0$ は破損していない場合を示し、 X_2 についても同様とする。決定関数 d は、サンプル空間 $x = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)\}$ から τ への関数で全部で $16=2^4$ 個ある。たとえば

$$\begin{aligned} d_1 : (0, 0) &\rightarrow a_1 \\ (0, 1) &\rightarrow a_1 \\ (1, 0) &\rightarrow a_1 \\ (1, 1) &\rightarrow a_1 \end{aligned}$$

は、どのような観測結果にもかかわらず、行動 $a_1 \equiv \{500 \text{ ドルで買}$

表 2.1 $L(\theta, a)$

$\theta \backslash a$	a_1	a_2
θ_1	$500(1-\theta_1)+1,500\theta_1$	1,000
θ_2	$500(1-\theta_2)+1,500\theta_2$	1,000

う}をとる決定ルールである。危険関数 $R(\theta, d)$ については、たとえば $R(\theta_1, d_1) = EL(\theta_1, d_1(X))$ は次のように計算される。

$$\begin{aligned} R(\theta_1, d_1) &= EL(\theta_1, d_1(X)) \\ &= \sum_{X=(X_1, X_2)} L(\theta_1, d_1(X)) P_r(X) \\ &= L(\theta_1, a_1) \sum_{X=(X_1, X_2)} P_r(X) \\ &= L(\theta_1, a_1) = 500(1-\theta_1) + 1,500\theta_1 \end{aligned}$$

3. 決定の確率化

上の例1で、決定関数は16個あった。ところで次のような確率化された決定をルール考える。すなわち、任意の $P_1, P_2, \dots, P_{16} \geq 0, \sum_{i=1}^{16} P_i = 1$ をみたす $P_1, P_2, \dots, P_{16}$ を考え、確率 P_i で、先の決定関数 i をえらぶような決定ルールを考える。このような決定ルールは非現実的であるが、決定の確率化は、決定理論により多くの成果をもたらす点で、重要であり、ゲームの理論における戦略の確率化と同様の意義をもつ。(もっとも決定問題 (Θ, τ, L) または (Θ, D, R) がゲームであるから、これは当然である) δ を D (決定関数の全体からなる集合) 上の確率分布とすれば、期待損失 $R(\theta, \delta)$ は、

$$R(\theta, \delta) = ER(\theta, Z)$$

ただし、 Z は D 上に値をとる確率変数で、その分布は δ によって与えられる。以後、確率化された決定ルールの全体を D^* であらわす。

4. 最適決定ルール

良い(または最適な)決定ルールとは、どんなルールか考える(定義する)。

定義1 決定問題 (Θ, D^*, R) において、決定ルール δ_1, δ_2 について、

(1) $R(\theta, \delta_1) \leq R(\theta, \delta_2)$ がすべての $\theta \in \Theta$ について成立するとき、 δ_1 は δ_2 と同程度に良い (as good as) ルールといわれる。

(2) (1)において、少なくとも一つの $\theta \in \Theta$ に対して、 $R(\theta, \delta_1) < R(\theta, \delta_2)$ のとき、 δ_1 は δ_2 より良い決定ルールという。(better than)

(3) すべての $\theta \in \Theta$ について $R(\theta, \delta_1) = R(\theta, \delta_2)$ のとき、 δ_1 と δ_2 は同等 (equivalent) なルールといわれる。

定義2 ある決定ルール δ が許容できる (admissible) とは、 δ より良いルールがないときをいう。

許容できるルールとは、きわめて弱い意味において、最適ルールといえよう。決定理論における問題は、最適ルールすなわち許容できるルールを求めることにほかならない。ところで、許容できるルールを求めることは、一般には、必ずしも容易でないが、以下に定義するベイズ解・ミニマックス解は、許容できるルールをさがすうえで、重要な役割をはたす。

パラメータ空間 Θ 上の確率分布 τ について決定ルール δ のベイズ危険 (Bayes risk) は

$$\gamma(\tau, \delta) = ER(T, \delta)$$

によって定義される。ただし T は、 Θ 上の確率変数で確率分布 τ をもつ。このとき確率分布 τ を先験的確率分布という。先験的確率分布の全体を Θ^* であらわす。

定義3 決定ルール δ_0 が、先験的確率分布 $\tau \in \Theta^*$ に関して

$$\gamma(\tau, \delta_0) = \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta)$$

をみたすとき、 δ_0 を先験的確率分布 (a prior distribution) τ についてのベイズ解という。

(例) 例1において、 θ_1, θ_2 についての先験的確率分布 $\tau = (q_1, q_2)$ ($q_1, q_2 \geq 0, q_1 + q_2 = 1$) についての、ある決定ルール δ についてのベイズ危険は、

$$\gamma(\tau, \delta) = q_1 R(\theta_1, \delta) + q_2 R(\theta_2, \delta)$$

決定ルール $\delta \in D^*$ が $(P_1, \dots, P_{16})$ なる確率分布によってあらわされるときは

$$R(\theta_i, \delta) = \sum_{j=1}^{16} P_j R(\theta_i, d_j), \quad i=1, 2$$

$\tau = (q_1, q_2)$ についてのベイズ解は $\gamma(\tau, \delta)$ の最小値をもたらす δ である。

次にミニマックス解についてのべる。

定義4 決定ルール δ_0 がミニマックス解 (minimax) であるとは、

$$\sup_{\theta \in \Theta} R(\theta, \delta_0) = \inf_{\delta \in D^*} \sup_{\theta \in \Theta} R(\theta, \delta)$$

であるときにいう。 $\sup_{\theta \in \Theta} R(\theta, \delta)$ は決定ルール δ を採用したときに、期待損失の最も大きい値であり、決定者にとって最悪の場合である。すなわち、ミニマックス解は、危険関数の最大値 $\sup_{\theta} R(\theta, \delta)$ をなるべく小さくするような決定ルール δ にほかならない。

以下、われわれの目的は、上にのべた許容解や、ベイズ解、ミニマックス解との関係のべ、ベイズ解や、ミニマックス解の重要性を認識することである。

定義5 決定ルールの集合 CCD^* が完全類 (complete class) であるとは、 C に属さない任意のルール $\delta \in D^*$ に対して、 C の中に δ より良いあるルール δ_0 が存在するときをいう。 C が本質的に完全類 (essentially complete) であるとは、 C に属さない任意のルール δ に対して、 C の中に δ と同程度の (as good as) ルール δ_0 が存在するときをいう。

定義6 決定ルールの集合 C が最小完全類 (minimal complete class) であるとは、 C が完全類であって、かつ C のいかなる部分集合も完全類でないときをいう。

完全類のもつ意味は明らかである。すなわち、決定者は完全類があれば、その中でのみ良い(最適)ルールをさがせばよいのであり、しかもできるかぎり小さい完全類(最小完全類)の中でさがせばよい。この最小完全類と許容解の集合との関係は次の定理によって与えられる。

定理1 最小完全類は、もし存在すれば、それは許容解全体の集合と一致する。

ベイズ解やミニマックス解の性質は、 Θ が有限のとき幾何学的解釈が可能になる。

$\Theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k]$ のとき危険集合 (risk set) S は k 次元 Euclid 空間 E_k の部分集合として、次のように定義される。

$S = \{(y_1, \dots, y_k) ; \text{ある } \delta \in D^* \text{ に対して } y_j = R(\theta_j, \delta), j=1, 2, \dots, k\}$

S の性質として

(補題 1) S はとつ(凸)集合である。

$S \ni y, y'$ に対応する決定ルールを δ, δ' とする。 $0 \leq \alpha \leq 1$ に対して $y_\alpha = \alpha y + (1-\alpha)y' \in D^*$ であり、 δ_α は $\alpha y + (1-\alpha)y'$ に対応し、したがって $\alpha y + (1-\alpha)y' \in S$ 、すなわち S はとつである。

S は、さらに次のように特長づけられる。すなわち非確率化された決定ルールに対する危険集合を S_0 ;

$S_0 = \{(y_1, \dots, y_k) ; \text{ある } d \in D \text{ に対し } y_j = R(\theta_j, d), j=1, 2, \dots, k\}$

とするとき

定理 2 危険集合 S は S_0 を含む最小のとつ集合である。

先験確率分布 $(P_1, P_2, \dots, P_k)$ に対するベイズ解は

$$\sum P_j R(\theta_j, \delta) = \sum P_j y_j$$

を最小にする δ であるから、 $k=2$ の場合は、図 4. 1 によって示される点がベイズ解である。

ミニマックス解は、 $\max_j R(\theta_j, \delta)$ を最小にするような δ であるので、図 4. 2 のように示される。

(注) ベイズ解や、ミニマックス解が存在しないときがある。たとえ

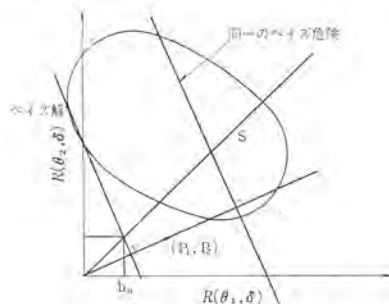


図 4. 1 危険集合とベイズ解

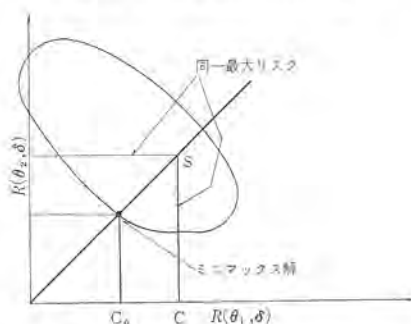


図 4. 2 危険集合とミニマックス解

ば危険集合 S がその境界点を含んでいるときは、ベイズ解や、ミニマックス解は存在しない。

ベイズ解の重要性は、まず次の三つの定理によって示される。

定理 4 Θ が有限、すなわち $\Theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k]$ で、ある先験的確率分布 $(P_1, P_2, \dots, P_k)$ に関して、ベイズ解 δ_0 が存在するとする。このとき、すべての $j(j=1, 2, \dots, k)$ について $P_j > 0$ ならば δ_0 は許容解である。

(証明) δ_0 が許容解でないとする。 $D^* \ni \delta'$ で、 δ_0 より良いルールが存在する。すなわち

$$R(\theta_j, \delta') \leq R(\theta_j, \delta_0), j=1, 2, \dots, k$$

かつ、ある j について

定理 3 与えられた先験確率分布 π に対して、ベイズ解が同等の意味でただ一つのものならば、このベイズ解は許容解である。

$$R(\theta_j, \delta) < R(\theta_j, \delta_0)$$

すべての $P_j > 0$ ゆえ

$$\sum_{j=1}^k P_j R(\theta_j, \delta') < \sum_{j=1}^k P_j R(\theta_j, \delta_0)$$

これは、 δ_0 が $(P_1, \dots, P_k)$ についてのベイズ解であることに反する。よって δ_0 は許容解である。

Θ が無限の場合の場合にも同様の定理が成立つ。たとえば

定理 5 $\Theta = E_1$ (全実数) で、 $R(\theta, \delta)$ が θ の関数としてすべての $\delta \in D^*$ について連続であるとする。もし δ_0 がある先験的確率分布 π に関しベイズ解であり、かつ π の台 (support) が E_1 ならば、 δ_0 は許容解である。

(注) θ_0 が π の台 (support) の中にあるとは、任意の $\varepsilon > 0$ に対して、 $\pi(\theta_0 - \varepsilon, \theta_0 + \varepsilon) > 0$ のときをいい、このような θ_0 の集合を π の台 (support) という。

以上の定理 3, 4 からわかるように、ベイズ解の多くは、許容解である。

次に最小完全類の幾何学的解釈を与える。そのための定義として、

定義 7 $E_k \supset S$ が下に有界 (bounded from below) は、ある有限な数 M が存在して、 S のすべての点 $y = (y_1, \dots, y_k)$ について

$$y_j > -M, j=1, 2, \dots, k$$

のときをいう。

定義 8 $E_k \ni x$ に対して、 Q_x を

$$Q_x = \{y \in E_k ; y_j \leq x_j, j=1, 2, \dots, k\}$$

によって定義する。

定義 9 とつ集合 $S \subset E_k$ に対して、 $\lambda(S)$ を次のように定義する。

$$\lambda(S) = \{x \in E_k : Q_x \cap S = [x]\}$$

(注) $\bar{S}$ は S の閉ほうをさす。

定義 10 とつ集合 $S \subset E_k$ が下に閉じている (closed from below) とは、 $\lambda(S) \subset S$ のときをいう。

$\lambda(S)$ は、図 4. 3 の太線によって示される。

$\lambda(S)$ と最小完全数との関係については次の定理が成立つ。

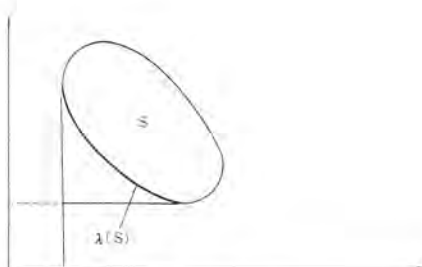


図 4.3 $\lambda(S)$

定理 6 $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_k\}$ として、危険集合 S が下に有界かつ下に閉じているならば、

$$D_0 = \{\delta \in D^* : (R(\theta_1, \delta), \dots, R(\theta_k, \delta)) \in \lambda(S)\}$$

は最小完全類である。

この定理と定理 1 から

(系 1) D_0 は、すべての許容解からなる。

Θ が有限のとき、ベイズ解の許容性 (定理 3, 4, 5) の逆として次の定理が成立する。

定理 7 δ が許容解であってかつ Θ が有限ならば、 δ はベイズ解である。

(証明) δ が許容解ならば、 $Q_x \cap S = \{x\}$ 、ただし

$$x = (R(\theta_1, \delta), \dots, R(\theta_k, \delta))$$

$Q_x - \{x\}$, S は共通部分のない二つ集合であるから、超平面分離定理により、適当な $P \neq 0$ が存在して

$$P^T y \leq P^T x, \quad \forall y \in Q_x - \{x\}, \quad \forall x \in S$$

が成立する。ある $P_j < 0$ とすれば y_j を十分大きな負の値にすれば上の不等式が成り立たなくなる。よってすべての $j (j=1, 2, \dots, k)$ について $P_j \geq 0$, P_j を $\sum_{j=1}^k P_j = 1$ なるようにできるから P_j は、ある先験確率分布とみなせ、 $P^T x \leq P^T z$ ゆえ、 δ に P についてのベイズ解にほかならない。

定理 7 と系 1 から次の完全類定理が成立する。

定理 8 (完全類定理) 決定問題 (Θ, D^*, R) において、 Θ が有限で、危険集合 S が下に有界かつ下に閉じているとき、すべてのベイズ解の集合は完全であり、許容できるベイズ解の全体は最小完全類である。

以上、 Θ が有限のときは、上の定理群によって、ベイズ解と許容解、最小完全類との関係が明らかにされた。 Θ が無限の場合、許容解は必ずしもベイズ解にならない。これらの点については、さらに多くの議論が必要なのでここでは省略する。

次にミニマックス解と許容解、ベイズ解との関係についてのべる。

定理 9 (ミニマックス定理) 決定問題 (Θ, D^*, R) において、 Θ が有限とする。危険集合 S が下に有界ならば

$$\inf_{\delta \in D^*} \sup_{\tau \in \Theta^*} \gamma(\tau, \delta) = \sup_{\tau \in \Theta^*} \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta)$$

かつ

$$\sup_{\tau \in \Theta^*} \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta) = \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau_0, \delta) \quad (4.1)$$

なる $\tau_0 \in \Theta^*$ が存在する (この τ_0 を least favorable な確率分布という)。さらに S が下に閉じていれば、許容できるミニマックス解 δ_0 が存在し、 δ_0 は τ_0 に関してベイズ解である。

(注) 式 (4.1) からわかるように、least favorable な確率分布 τ_0 は、決定者にとってもっとも望ましくない先験的確率分布であり、ミニマックス解は、この分布 τ_0 についてのベイズ解にほかならないことが上の定理からわかる。

(例 2) 例 1 において $\theta_1 = \frac{1}{4}$, $\theta_2 = \frac{3}{4}$ として危険集合・ベイズ解・ミニマックス解等を図示してみよう。例 1 で示されるように 16 個の決定ルール (非確率化された) $d_i, i=1, \dots, 16$ があり、一般に

$$\begin{aligned} R(\theta_i, d_j) &= EL(\theta_i, d_j(X)) \\ &= \sum L(\theta_i, d_j(X)) P_r(X) \\ P_r(X) &= (1-\theta_1)^2(1-X_1)(1-X_2) \\ &\quad + (1-\theta_1)\theta_1(1-X_1)X_2 + \theta_1(1-\theta_1)X_1(1-X_2) \\ &\quad + \theta_1^2 X_1 X_2 \end{aligned}$$

$R(\theta_1, d_1)$ はすでに計算したとおりであるが、たとえば

$$\begin{aligned} d_2 : (0, 0) &\rightarrow a_1 \\ (0, 1) &\rightarrow a_2 \\ (1, 0) &\rightarrow a_2 \\ (1, 1) &\rightarrow a_2 \end{aligned}$$

に対しては

$$\begin{aligned} R(\theta_1, d_2) &= L(\theta_1, d_2(0, 0)) P_r(0, 0) + L(\theta_1, d_2(0, 1)) P_r(0, 1) \\ &\quad + L(\theta_1, d_2(1, 0)) P_r(1, 0) + L(\theta_1, d_2(1, 1)) P_r(1, 1) \\ &= L(\theta_1, a_1) (1-\theta_1)^2 + L(\theta_1, a_2) (1-\theta_1)\theta_1 + L(\theta_1, a_2)\theta_1(1-\theta_1) \\ &\quad + L(\theta_1, a_2)\theta_1^2 \\ &= (500(1-\theta_1) + 1,500\theta_1) (1-\theta_1)^2 + 1,000(1-\theta_1)\theta_1 + 1,000\theta_1(1-\theta_1) \\ &\quad + 1,000\theta_1^2 \\ &= 55,000/64 \end{aligned}$$

16 個の点 $P_j = (R(\theta_1, d_j), R(\theta_2, d_j))$, $j=1, 2, \dots, 16$ を図 4.4 に示す。危険集合 S は $S_0 = \{P_1, \dots, P_{16}\}$ を含む最小の凸集合ゆえ (定理 2), 図 4.4 で示された多角形 (内部も含む) になる。定義 8 における $\lambda(S)$ は太線で示され、定理 6, 定理 1 から、最小



図 4.4 例 2 の危険集合とベイズ解、ミニマックス解

完全類であり、かつそれは、許容できるルール全体の全体からなる。
また定理7から、それはベイズ解になっている。

5. ベイズ解の求め方

以下、具体的にベイズ解を求めることを考える。ベイズ解がミニマックス解に対してもつ、計算上の有利性は、ベイズ解では、一般に非確率化された決定ルールのみで解を限定してよいということである。このことはおおざっぱに次のように証明される。今 $\delta_0 \in D^*$ が先験確率分布に関するベイズ解とする。このとき

$$\gamma(\tau, \delta_0) = E\gamma(\gamma, z) \dots \dots \dots (5.1)$$

ただし $z \in D$ でその分布が δ_0 によって与えられる。一方、 δ_0 がベイズ解ゆえ

$$\gamma(\tau, \delta_0) \leq \gamma(\tau, d), \quad \forall d \in D$$

よって少なくとも一つの $d \in D$ に対して、確率1で $\gamma(\tau, \delta_0) = \gamma(\tau, d)$ でなければならない。厳密には式(5.1)における積分の可換性の妥当性を考慮しなければならない。

$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k\}$ で X も離散量をとる場合にベイズ解を求めてみよう。上に述べたところから非確率化された決定ルールのみさがせばよい。先験的確率分布 $\tau = (P_1, P_2, \dots, P_k)$ について、決定ルール d のベイズ危険 $\gamma(\tau, d)$ は

$$\begin{aligned} \gamma(\tau, d) &= \sum_{i=1}^k P_i R(\theta_i, d) \\ &= \sum P_i \sum_X R(\theta_i, d(X)) P_\tau(X|\theta_i) \\ &= \sum_X \left(\sum_{i=1}^k P_i P_\tau(X|\theta_i) R(\theta_i, d(X)) \right) \end{aligned}$$

条件付確率に関するベイズ法則により

$$P_\tau(X|\theta_i) = \frac{P_\tau(\theta_i|X) P_\tau(X)}{P_\tau(\theta_i)} \dots \dots \dots (5.2)$$

よって

$$\gamma(\tau, d) = \sum_X \left(\sum_{i=1}^k P_\tau(\theta_i|X) R(\theta_i, d(X)) \right) P_\tau(X)$$

ゆえに $\gamma(\tau, d)$ を最小にする τ についてのベイズ解 d は、各 X について

$$\sum_{i=1}^k P_\tau(\theta_i|X) R(\theta_i, d(X)) \dots \dots \dots (5.3)$$

を最小にするように d を決めることによって得られる。 $P_\tau(\theta_i|X)$ は X を観測した後の θ_i の条件付確率分布で、事後確率分布 (a posterior distribution) と呼ばれ、式(5.3)は、 X を観測した後の τ の事後確率分布についてのベイズ危険であり、それを最小にするよう決定ルール d をえらぶことによって、 τ についてのベイズ解が得られる。

Θ が無限で d も無限の場合も同様で、先験的確率分布 τ についての、非確率化されたベイズ決定ルール $d \in D$ は

$$\gamma(\tau, d) = \int R(\theta, d) d\tau(\theta)$$

を最小にすることによって得られるが、前と同様

$$\gamma(\tau, d) = \int \left[\int L(\theta, d(X)) d\tau(\theta|x) \right] dF_X(x)$$

となつて、

$$\int L(\theta, d(X)) d\tau(\theta|x)$$

を最小にする $d(X)$ を求めることによって、ベイズ解が得られる。

(例3) $\Theta = \tau = (0, \infty)$, $L(\theta, d) = c(\theta - a)^2$ として、真のパラメータ θ を確定する問題を考える。決定者は、 $(0, \theta)$ 上の一様分布 X を観測するとする。先験確率 τ の確率密度が

$$g(\theta) = \begin{cases} \theta e^{-\theta} & : \theta \geq 0 \\ 0 & : \theta < 0 \end{cases}$$

で与えられたとき、この τ についてのベイズ解を求めてみる。 $X=x$ であったときの事後確率分布 $\tau(\theta|x)$ の確率密度を $g(\theta|x)$ とすれば上にのべたベイズ解の求め方から

$$c \int (\theta - a)^2 g(\theta|x) d\theta \dots \dots \dots (5.5)$$

を最小にするよう a を決めればよい。

$$\begin{aligned} g(\theta|x) &= \frac{h(x, \theta)}{f(x)} = \frac{h(x, \theta)}{\int h(x, \theta) d\theta} \\ h(x, \theta) &= g(\theta) f(x|\theta) \\ f(x|\theta) &= \begin{cases} 1/\theta & : 0 < x < \theta \\ 0 & : \text{その他} \end{cases} \end{aligned}$$

から

$$g(\theta|x) = \begin{cases} e^{x-\theta} & : \theta > x \\ 0 & : \theta < x \end{cases}$$

ゆえに式(5.5)は

$$ce^x \int_x^\infty (\theta - a)^2 e^{-\theta} d\theta$$

これより、 a について微分することによって

$$d(x) = a = x + 1$$

となる。これがベイズ解にほかならない。

(注1) 式(5.5)を最小にするような a は

$$a = \int \theta g(\theta|x) d\theta$$

によって与えられる。すなわち $d(x)$ は x についての事後確率分布の平均値である。

6. ミニマックス解の求め方

ミニマックス解を求めることは、ベイズ解を求めるほどに簡単ではない。ここでは二つの方法を示す。

第1の方法は定理9からもわかるように、ミニマックス解は least favorable な先験的確率分布 τ_0 についてのベイズ解であるから、この τ_0 を推定し、これについてのベイズ解を求めることによってミニ

マックス解を求めるものである。この推定した τ_0 についてのベイズ解がミニマックス解になっているかどうかを調べる手順として、次の定理がある。

定理 10 δ_0 が τ_0 についてのベイズ解であり、かつすべての $\theta \in \Theta$ について

$$R(\theta, \delta_0) \leq \gamma(\tau_0, \delta_0)$$

ならば、 δ_0 はミニマックス解であり、 τ_0 は least favorable である。

(証明) まず常に

$$\inf_{\delta \in D^*} \sup_{\tau \in \Theta^*} \gamma(\tau, \delta) \geq \sup_{\tau \in \Theta^*} \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta) \dots \dots \dots (5.6)$$

が成立することに注意する。一方定理の仮定から

$$\begin{aligned} \inf_{\delta \in D^*} \sup_{\tau \in \Theta^*} \gamma(\tau, \delta) &\leq \sup_{\tau \in \Theta^*} \gamma(\tau, \delta_0) \leq \sup_{\theta} R(\theta, \delta_0) \\ &\leq \gamma(\tau_0, \delta_0) \leq \inf_{\theta} \gamma(\tau_0, \delta) \leq \sup_{\tau \in \Theta^*} \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta) \end{aligned}$$

よって定理 9 から δ_0 はミニマックス解であり、 τ_0 は least favorable である。

least favorable な先験的確率分布 τ_0 が推定できない場合は、上の定理 10 は適用できない。このときは次のような等価決定ルール (equilizer decision rule) という考え方をもちいるとよい。

定義 11 決定ルール δ_0 がすべての $\theta \in \Theta$ について、 $R(\theta, \delta_0) = c$ (一定) のとき、 δ_0 は等価決定ルールという。

定義 12 決定ルール δ_0 は、 $\Theta^* \ni \tau$ について、すべての $\varepsilon > 0$ に対して、

$$\gamma(\tau, \delta_0) \leq \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta) + \varepsilon$$

が成り立ったとき、 τ についての拡張されたベイズ解という。

定理 11 ある等価決定ルール δ_0 が拡張されたベイズ解ならば、それはミニマックス解である。

(証明) $R(\theta, \delta_0) = c$ (すべての $\theta \in \Theta$) ゆえ

$$\inf_{\delta \in D^*} \sup_{\tau \in D^*} \gamma(\tau, \delta) \leq \sup_{\tau \in \Theta^*} \gamma(\tau, \delta_0) = c$$

一方、 δ_0 が拡張されたベイズ解ゆえ、適当な $\tau^* \in \Theta^*$ が存在して、

$$c \leq \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau^*, \delta) + \varepsilon$$

が任意の $\varepsilon > 0$ に対して成立。ゆえに

$$c \leq \sup_{\tau \in \Theta^*} \inf_{\delta \in D^*} \gamma(\tau, \delta)$$

定理 10、式 (5.6) から δ_0 はミニマックス解である。

(例 4) 定理 11 を利用して次の問題のミニマックス解を求める。

問題：次のような動的システムを考える。

$$x_{j+1} = Ax_j + \xi v_j$$

x_j : 状態変数

v_j : 制御変数

ξ : 未知パラメータ、ただし $\xi = \theta_1$ または θ_2 とする。

目的は、 $x_1^2 = (Ax_0 + \xi v_0)^2$ を最小にするような v_0 を求めること、ここでは、 $\Theta = \{\theta_1, \theta_2\}$ であって、ミニマックス解を定理 11 によって求める。 $\tau = (P_1, P_2)$ についてのベイズ解 $\bar{v}_{P_1}$ は

$$R(\tau, v_0) = P_1(Ax_0 + \theta_1 v_0)^2 + P_2(Ax_0 + \theta_2 v_0)^2$$

を最小にする v_0 によって求められる。すなわち

$$\bar{v}_{P_1} = -Ax_0 \frac{P_1 \theta_1 + P_2 \theta_2}{P_1 \theta_1^2 + P_2 \theta_2^2}$$

これが等価決定ルールであるためには、

$$\left(Ax_0 - Ax_0 \theta_i \frac{P_1 \theta_1 + P_2 \theta_2}{P_1 \theta_1^2 + P_2 \theta_2^2} \right)^2 = c, \quad i=1, 2$$

これから

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{|\theta_1^2 - \theta_1 \theta_2|}{|\theta_2^2 - \theta_1 \theta_2|}$$

$\sum_{i=1}^2 P_i = 1$ から P_1, P_2 を定めれば、これに対するベイズ解は、等価決定ルールゆえ、定理 11 によってミニマックス解となる。すなわちミニマックス解 $\bar{v}_m$ は、

$$\begin{aligned} \bar{v}_m &= 0 \quad \text{sgn } \theta_1 \neq \text{sgn } \theta_2 \text{ のとき} \\ &= -2 \frac{Ax_0}{\theta_1 + \theta_2} \quad \text{sgn } \theta_1 = \text{sgn } \theta_2 \text{ のとき} \end{aligned}$$

7. 応用

決定理論の応用はきわめて広い。それは、まえがきにも述べたとおり決定理論が不確実性のもとにおける決定という問題をもっとも基本的な形で扱っていることに起因すると思われる。しかし、ここではいくつかの例を説明するにとどめる。

7.1 判別解析 (discriminant analysis)

判別の問題は、たとえばある個体についていくつかの観測をおこなって、その結果をもとにして、その個体がいくつかあるカテゴリのどれに属するかを決定するとき起こる。ここではカテゴリが二つあるとして、この問題を決定理論の立場から扱ってみよう。

観測値 $x = (x_1, \dots, x_p)$ を得たときにそのカテゴリを決める決定ルールとして、 P 次元空間を R_1, R_2 に分割し、 $x \in R_1$ ならば x はカテゴリ π_1 に属し、 $x \in R_2$ ならば x はカテゴリ π_2 に属するとする。さらに $c(i|j)$ を π_j から出たサンプルを π_i に属すると決定したときの費用とする。 $i=j$ のとき $c(i|j)=0$ とする。また $P_i(x)$ を π_i の確率密度関数とする。このとき損失関数を

$$L(\theta_i, R) = c(j|i) \int_{R_j} P_i(x) dx \quad (i=1, 2)$$

とする。ただし $R = (R_1, R_2)$ である。 q_1, q_2 を π_1, π_2 についての先験的確率分布とすれば、これについてのベイズ危険は

$$L(\tau, R) = q_1 L(\theta_1, R) + q_2 L(\theta_2, R) \dots \dots \dots (5.7)$$

ただし $\tau = (q_1, q_2)$ 。 τ についてのベイズ解 R_0 は

$$L(\tau, R_0) = \inf_R L(\tau, R)$$

$q_1 > 0, q_2 > 0$ ならば、このベイズ解は許容解である (定理 4) さらに次のことがいえる。

定理 12 $P_1(P_2(x)|\pi_1)=0, P_2(P_1(x)|\pi_2)=0$ ならば、すべてのベイズ解は許容解である。

$\tau = (q_1, q_2)$ のベイズ解 R_0 は次のようになる。

$$R_1 = \{x : P_1(x)/P_2(x) \geq c(1|2)q_2/(c(2|1)q_1)\}$$

$$R_2 = \left\{ x : \frac{P_1(x)}{P_2(x)} < \frac{c(1|2)q_2}{c(2|1)q_1} \right\}$$

$c(j|i) = 1 (i \neq j)$ とし、さらに $P_i(x)$ が正規分布 $N(\mu^{(i)}, \Sigma)$ ($i = 1, 2$) をするときのベイズ解およびミニマックス解を求めてみよう。

$$P_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu^{(i)})' \Sigma^{-1} (x - \mu^{(i)}) \right\} \quad (i=1, 2)$$

であるから

$$\frac{P_1(x)}{P_2(x)} = \exp \left\{ x' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) - \frac{1}{2} (\mu^{(1)} + \mu^{(2)})' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) \right\}$$

よって $k = q_2/q_1$ とすれば、 $\tau = (q_1, q_2)$ についてのベイズ解は

$$\begin{aligned} R_1 &= \left\{ x : x' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) - \frac{1}{2} (\mu^{(1)} + \mu^{(2)})' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) \geq \log k \right\} \\ R_2 &= \left\{ x : x' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) - \frac{1}{2} (\mu^{(1)} + \mu^{(2)})' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) < \log k \right\} \end{aligned} \quad (5.8)$$

次にミニマックス解を求めてみる。上で求めたベイズ解 R_0 が等価決定ルールとなるためには、 $L(\theta_1, R_0) = L(\theta_2, R_0)$ 、すなわち

$$\int_{R_1} P_1(x) dx = \int_{R_2} P_2(x) dx$$

ところで

$$\begin{aligned} \int_{R_1} P_1(x) dx &= P_\tau(x \in R_1 | \pi_1) \\ &= P_\tau(U(x) \geq c | \pi_1) \end{aligned} \quad (5.9)$$

ただし

$$U(x) = x' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) - \frac{1}{2} (\mu^{(1)} + \mu^{(2)})' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)})$$

$$c = \log k$$

式 (5.9) を計算するために $U(x)$ の分布を計算する。 $U(x)$ は x の線形式ゆえ、 $U(x)$ は正規分布となり、

$$(\mu^{(1)} - \mu^{(2)})' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)}) = \alpha$$

とすれば

$$\begin{aligned} x \in \pi_1 \text{ のとき} : U(x) &\approx N\left(\frac{1}{2}\alpha, \alpha\right) \\ x \in \pi_2 \text{ のとき} : U(x) &\approx N\left(-\frac{1}{2}\alpha, \alpha\right) \end{aligned}$$

ゆえに式 (5.8) は、

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(y - \frac{1}{2}\alpha \right)^2 / \alpha \right\} dy$$

同様に

$$P_\tau(U(x) < c | \pi_2) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(y + \frac{1}{2}\alpha \right)^2 / \alpha \right\} dy$$

よって

$$\int_{(c+\frac{1}{2}\alpha)/\sqrt{\alpha}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{1}{2} y^2 \right) dy = \int_{-\infty}^{(c-\frac{1}{2}\alpha)/\sqrt{\alpha}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} y^2} dy$$

をみたす c を求めることにより、等価決定ルールが得られ、定理 11 によってミニマックス解が得られる。すなわちミニマックス解は式 (5.8) において $\log k = c$ とおいてえられる。

以上は π_1, π_2 の分散行列が等しいものとしたが、それが異なる場合には $U(x)$ は x の二次式になり、 $U(x)$ の分布を求めるには複雑な計算を要する⁽⁷⁾。

なお

$$D(x) = x' \Sigma^{-1} (\mu^{(1)} - \mu^{(2)})$$

を線形判別関数という。

7.2 線形システムの状態推定

次のような線形システムを考える。

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= A_i x_i + c_i \xi_i \\ y_i &= H_i x_i + \eta_i, \quad i=0, 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

ただし ξ_i, η_i は独立な正規分布で、

$$E(\xi_i) = E(\eta_i) = 0$$

$$\text{cov}(\xi_i, \xi_j) = Q_i \delta_{ij}$$

$$\text{cov}(\eta_i, \eta_j) = R_i \delta_{ij}$$

$$\text{cov}(\xi_i, \eta_j) = 0$$

さらに

x_i : 時刻 i における P 次元状態ベクトル

ξ_i : s 次元正規分布

y_i : q 次元観測ベクトル

われわれの目的は、観測ベクトル $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ から状態ベクトル x_n を推定することである。ただし初期値 x_0 は未知とする。 x_n を x と推定することによる損失を

$$L(x_n, x) = (x_n - x)^2$$

とすれば、5 章 (注 1) により、

$$\hat{x}_n = \int x_n P(x_n | y_0, y_1, \dots, y_n) dx_n$$

がベイズ推定となる。ただし $P(x_n | y_0, \dots, y_n)$ は $y_0, \dots, y_n$ を観測したのちの、 x_n の条件付確率密度関数である。以下これを求めてみる。まず

$$P(x_0 | y_0) = \frac{P(y_0 | x_0) P(x_0)}{P(y_0)}$$

x_0 についての先験的確率分布として正規分布 $N(a, \Sigma_0)$ を仮定すれば、上の式を計算した後

$$P(x_0 | y_0) \approx N(\mu_0, \Gamma_0)$$

ただし

$$\Gamma_0^{-1} = \Sigma_0^{-1} + H_0' R_0^{-1} H_0$$

$$\mu_0 = \Gamma_0 \Sigma_0^{-1} a + \Gamma_0 H_0' R_0^{-1} y_0$$

一般に、

$$\begin{aligned} P(x_n | y_0, y_1, \dots, y_n) &= \frac{\int P(x_{n-1} | y_0, \dots, y_{n-1}) P(x_n | x_{n-1}) P(y_n | x_n) dx_{n-1}}{P(y_n | y_0, \dots, y_{n-1})} \end{aligned}$$

より, $P(x_{n-1}|y_0, \dots, y_{n-1}) \approx N(\mu_{n-1}, \Gamma_{n-1})$

とすれば,

$$P(x_n|y_0, \dots, y_n) \approx N(\mu_n, \Gamma_n)$$

ただし

$$\mu_n = A_{n-1}\mu_{n-1} + \Gamma_n H_n' R_n^{-1} [y_n - H_n A_{n-1} \mu_{n-1}] \dots \dots \dots (5.11)$$

$$\Gamma_n^{-1} = H_n' R_n^{-1} H_n + (A_{n-1} \Gamma_{n-1} A_{n-1}' + C_{n-1} Q_{n-1} C_{n-1}')^{-1}$$

ゆえに $P_0(x_0)$ に関するベイズ推定 $\hat{x}_n$ は式 (5.11) によって与えられる。式 (5.11) は、いわゆる Kalman フィルターである。

7.3 十分総計量による決定関数

決定関数 d は観測ベクトル $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ の関数としてきまる。しかしながら、 n がふえるにつれ、 X の次元もふえ、たとえば工学的に制御機構 $d(X)$ を設計しようとする場合に、記憶容量という問題が出てくる。しかしながら、多くの場合、 X に含まれるすべての情報が必要というようなことはない。このような場合、 X の次元よりも少ない次元の情報 T の関数として決定関数を構成することが可能であろう。ところで、上のような情報 T を得るのに統計学における十分統計量なる概念が重要である。

定義 13 X を、その確率分布がパラメータ θ に依存する確率変数とする。 X の実数値関数 T が θ に対して十分であるとは、 $T=t$ が与えられたときの X の条件付分布が θ に無関係のときをいう。

T は、 θ に関して X と等値な情報なのである。ところで決定問題 (Θ, D^*, R) において、 $d^*(X) \in D^*$ は X の関数であり、 X は、 $\theta \in \Theta$ に依存する確率変数ゆえ、 θ について X と等価な十分統計量 T の関数として、決定関数を構成すれば十分であると考えられる。事実次の定理が成り立つ。

定理 13 決定問題 (Θ, D^*, R) において、 $D^* \ni d^*$ は、 $\Theta \ni \theta$ に確率分布が依存する X の関数とする。もし、 T が θ に対して十分統計量ならば、 T に基づいた決定ルール $I^* \subset D^*$ は基本的に完全である。

(証明) $D^* \ni d^*(X)$ とする。 I^* が基本的に完全であることを証明するには、ある $d_0^*(T) \in I^*$ が存在して、 $d_0^*(T)$ が $d^*(X)$ と同程度によいことをいう必要がある。 X のある実現値 x に対して、 X_0 を $P(X|T=T(x))$ なる分布に従う確率変数とする。このとき $d_0^*(T) = d^*(X_0)$ とすればよい。なぜなら

$$R(\theta, d_0^*(T)) = E_{X_0}(R(\theta, d^*(X_0)) | T)$$

$$E_{X_0}(R(\theta, d^*(X_0) | T)) = E_X(R(\theta, d^*(X)) | T)$$

ゆえに、 T が X だけの関数であるから

$$E_T E_X(R(\theta, d^*(X)) | T) = E_X E_T(R(\theta, d^*(X)) | T)$$

$$= E_X R(\theta, d^*(X))$$

$$= R(\theta, d^*)$$

ゆえに、 $R(\theta, d_0^*) = R(\theta, d^*)$

さらに次の定理が成り立つ。

定理 14 もし、 $r(\tau, d^*)$ が d^* についてとつ関数ならば、十分統計量 T のみ依存する非確率化された決定ルール Γ は基本的

に完全である。

この定理によって、われわれは、十分統計量のみ依存する、非確率化された決定ルールだけを考えればよいことになる。また

定理 15 (Rao-Blackwell) T を θ に対しての十分統計量とする。 $d \in D$ とし、 $R(\theta, d)$ が d についてとつならば、

$$\hat{d}_0(T) = E_X(d(X) | T)$$

は、 d と同程度によい決定ルールである。

(証明) $R(\theta, d) = E_X R(\theta, d(X))$

$$= E_X E_T(R(\theta, d(X)) | T)$$

$$\geq E_X R(\theta, E(d(X) | T))$$

(*)

$$= E_X R(\theta, \hat{d}_0(T))$$

$$= R(\theta, \hat{d}_0)$$

(注) (*) をみちびくのに、次の Jensen の補題を用いた。

(Jensen の補題) $f(x)$ を $E_k \supset S$ (とつ集合) の上で定義されたとつ関数とする。 X を k 次元確率変数で $P_r(X \in S) = 1$ かつ $E(X) < \infty$ とする。

このとき $E(X) \in S$ かつ $f(E(X)) \leq E f(X)$

θ に対して、十分統計量 T をみつけるには、次の定理が有用である。

定理 16 X の密度関数を $f(x|\theta)$ とする。 $T=t(X)$ が θ に対して十分統計量であるための条件は、 $f(x|\theta)$ が

$$f(x|\theta) = g(t(x), \theta) h(x)$$

の形にあらわされることである。

7.4 逐次決定問題

今まで扱ってきた問題は、観測データ X が与えられたとき、これをもとに決定ルールをきめたが、一方、さらに観測をおこなってから決めることもできる。そこで次のような問題がおこってくる。一般に観測データが多いほど、未知パラメータ θ についての情報は多くなり、よりよい決定がおこなえるが、観測にともなう費用も増大してくる。そこで、いつ観測をやめて、どの決定をすべきかということになる。このような問題を一般に逐次決定問題という。次のように定式化する。

ストップルール: $\psi = (\psi_0, \psi_1(x_1), \psi_2(x_1, x_2), \dots)$

ただし $\psi_j(x_1, \dots, x_j)$ は $X_1 = x_1, \dots, X_j = x_j$ するとき以後観測しない確率をあらわす。

最終決定ルール: $\delta = (\delta_0, \delta_1(x_1), \delta_2(x_1, x_2), \dots)$

ただし $\delta_j(x_1, x_2, \dots, x_j)$ は $X_1 = x_1, \dots, X_j = x_j$ のとき、決定空間 τ 上の確率を分布をさす。

逐次決定問題においては、決定ルールは (ψ, δ) によってあらわされる。危険関数は

$$R(\theta, (\psi, \delta)) = \sum_{j=0}^{\infty} E_{\theta}[\psi_j(X_1, \dots, X_j) R(\theta, \delta_j(X_1, \dots, X_j)) + c_j(\theta, X_1, \dots, X_n)]$$

となる。

ただし、 $c_j(\theta, X_1, \dots, X_n)$ は θ が真の状態のとき、 $X_1, \dots, X_n$ を観測したときの費用をあらわす。 $c_j(\theta, X_1, \dots, X_n) = cn$ とすれば

$$R(\theta, (\psi, \delta)) = R(\theta, (\psi, \delta)) + cE(n)$$

となる。

$\Theta = \{\theta_1, \theta_2\}$, $\tau = (d_1, d_2)$, $\psi_j(x_1, x_2, \dots, x_j) = 0$ なるストップルールを d_3 とする。今 $X = (x_1, \dots, x_j)$ が得られたとして、この段階における $\tau = (\xi_1, \xi_2)$ に対するベイズ解を求めてみる。ベイズ解ゆえ、非随率化された決定ルールだけを考えればよい。

$d = (d_1, d_2, d_3)$, $L(\theta, d_3) = R(\theta, \bar{d}) + c$, ただし $R(\theta, \bar{d})$ は、以後最適決定ルール $\bar{d}$ が用いられたときの平均損失をあらわす。

$$\begin{aligned} \gamma(\tau, d_i) &= \xi_1 R(\theta_1, d_i) + \xi_2 R(\theta_2, d_i) \\ &= \xi_1 \sum_X L(\theta_1, d_i(X)) P_r(X) + \xi_2 \sum_X L(\theta_2, d_i(X)) P_r(X) \end{aligned}$$

5章で示したように、これは

$$= \sum_X \left(\sum_{k=1}^2 P_r(\theta_k | X) R(\theta_k, d_i(X)) \right) P_r(X)$$

一般に $R(\theta_1, d_1) \leq R(\theta_1, \bar{d}) \leq R(\theta_1, d_2)$

$$R(\theta_2, d_2) \leq R(\theta_2, \bar{d}) \leq R(\theta_2, d_1)$$

ゆえ、ベイズ解は、次のような形になる。

$$0 \leq \xi_1' \leq \alpha \text{ のとき } d_2$$

$$\alpha \leq \xi_1' \leq \beta \text{ のとき } d_3$$

$$\beta \leq \xi_1' \leq 1 \text{ のとき } d_1$$

ただし、 $\xi_1' = P_r(\theta_1 | X)$ また α, β は $\tau = (\xi_1, \xi_2)$ に関係しない。一般に α, β を具体的に計算することはかなりむずかしい。

8. む す び

以上、統計的決定理論について概略をのべた。紙数の関係で十分な説明ができなかった点が多い。特に定理の証明の多くは省略し、また証明そのものも不十分な点がある。さらに、重要な項目でふれ

ていないものも多数ある。これら不十分な点については、以下の文献等によって補っていただきたい。

参 考 文 献

- (1) Blackwell, D., and M. A. Girshick : Theory of Games and Statistical Decisions, Wiley, New York (1954)
- (2) Chernoff, H., and Moses, L. E. : Elementary Decision Theory, Wiley, New York (1959)
- (3) Furgson, T. S. : Mathematical Statistics-A Decision Theoretic Approach, Academic Press, New York (1967)
- (4) Sworder, D. : Optimal Adaptive Control Systems, Academic Press, New York (1966)
- (5) Wald, A. : Statistical Decision Functions, Wiley, New York (1950)
- (6) Anderson, T. W. : Introduction to Multivariate Statistical Analysis, Wiley, New York (1958)
- (7) Fukunaga, K., and T. S. Krile : Calculation of Bayes' Recognition Error for Two Multivariate Gaussian Distributions, IEEE, C-18, No. 3, March (1969)
- (8) Kalman, R., and R. Bucy : New Results in Linear Filtering and Prediction Theory, Jour. of Basic Engineering, Trans. ASME, Series D, 83, No. 1, pp. 95~108 (March, 1961)
- (9) Cox, H. : On the Estimation of State Variables and Parameters for Noisy Dynamic Systems, IEEE, on AC, AC-9, pp. 5~12 (January, 1964)
- (10) Wald, A. : Sequential Analysis, Wiley, New York (1947)
- (11) Raiffa, H., and R. Schlaifer : Applied Statistical Decision Theory, Graduate School of Business Administration, Harvard (1961)



新製品紹介

精密直流パイロット発電機

最近の電動力応用における速度制御精度の向上に対処するため、画期的な超精密直流パイロット発電機を完成した。

(1) 仕様

5 W, 100 V (または 200 V), 1,000 rpm, 4 極

(2) 精度

低周波電圧リップル $\pm 0.05 \%$

電圧ドリフト (周囲温度 20 deg 差) $\pm 0.02 \%$

電圧直線性 $\pm 0.1 \%$

(3) 特長

(a) 永久磁石励磁

励磁電源が不要となるばかりか、励磁電流の変動による電圧変動がなく、さらに万一の断線、レバーショートなどの事故の恐れがない。

(b) 着磁コイルの内蔵

直流電源があれば簡単に着磁、脱磁が可能である。さらにこのコイルを使って減磁の量を加減することにより任意の電圧を得ることもできる。

(c) 電圧調整ボルト (特許昭 39-30194)

ヨークの外に出ている調整ボルトを出し入れすることにより、完全に所定の電圧に調整できる。

(d) 堅固な構造と太い軸端

駆動機の影響を受けにくく、外部からの衝撃に強く、寿命が長い。

(e) 取扱いの便利なレバー押え式ブラシホルダの採用

(4) 用途例

(a) 製紙工業の抄紙機

(b) 線材圧延機

(c) その他精密な速度制御を必要とするプラント



精密直流パイロット発電機

[神戸製作所]

改良形携帯用電気かん

現在販売中の電気かん (PN-130 A-1 形) を、刃幅を広くし、刃の取付け・取りはずしがワンタッチできるように改良し、形名も PN-140 B-1 形と改めた。

(1) 用途

あらゆる木材の平面加工・斜加工と、手かんになんて変って能率よく、正確に加工できる。
(本体を手で押すだけで2枚の回転刃により切削ができる)

(2) 特長

(a) 切削幅が広い

刃幅が 140 mm と広いので 4 寸 5 分の角材が加工できる。

(b) 刃の調整が簡単 (実用新案出願中)

新製品紹介

刃の取付け、取りはずしをワンタッチ方式にし、刃の調整も必要なく取付けができるので能率よく正確である。

- (c) 相 ジャクリ が可能
相 ジャクリ 作業を9mm まで可能とした。
 - (d) 切削面が美しい
裏刃をつけているので、さか(逆)目の心配がなく加工できるので切削面が美しく仕上がる。
 - (e) 作業性のよい意匠
重心の位置にハンドルを設けているので、作業性がよく疲れが少ない。
- (3) 仕様

形 名	容 量 mm	電 源			出 力 W	全負荷電 流 A	無負荷回 転数 rpm	重 量 kg	付 属 品			
		種 類	電 圧 V	周波数 Hz								
PN-140 B-1	刃幅 140	単相交流	100	50/60	600	10	16,000	7.5	ドライバー	1個	といし	1個
	刃調整用定規								1個	刃	2枚	
	ボックススパナ								1個	刃とき器	1個	
	道具箱								1個	予備炭素		
	組製品箱								1個	ブラシ	1組	



携帯用電気かんな (PN-140 B-1 形)

[福岡製作所]

クラッシャーモートル

最近の土木建築、道路舗装の急速な普及にともない、クラッシャー 駆動用 モートル の要求が増大しつつある。

三菱 クラッシャー 専用 モートル は、各地の碎石現場を巡回して、クラッシャー を駆動する モートル として必要な条件の調査、および試作機の実地試験結果に基づいて開発されたものである。

■特 長

- (a) 強化された E 種絶縁
電線はじめ各種の絶縁には ポリエステル 樹脂系の絶縁材料を用い、耐熱・耐湿・耐薬品性にすぐれたワニスで入念な処理を施したうえ、さらに当社で開発した特殊な上塗りワニスを 用い、飛散する碎石粉や湿気などから コイルエンド を保護している。
- (b) 合理的な防滴保護構造
ブラケット 通風窓には ブラインド を設けて、斜め上 15 度はもちろん 60 度までの角度の水滴や碎石が、直接 モートル 内には入らないように 考慮されている。
- (c) 効果的な冷却方式
通風路の抵抗をきわめて小さくし、冷却風も十分得られるよう設計されている。またモートルカバー によってモートル 本体に直接碎石粉 が蓄積しないように保護しているのも、効果的に巻線部や鉄心部を冷却し、かつフレーム 表面からの熱放散も妨げないので、瞬時的な過負荷に対しても標準 モートル と同程度の低い温度を保つことができる。

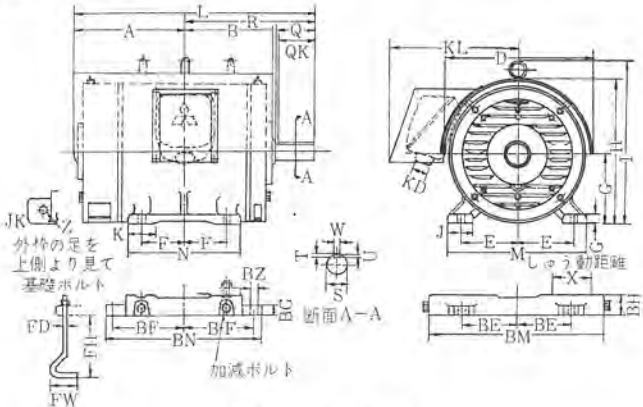


図 1 外形寸法

キロワット			わく番号	電										動										機									
4 極	6 極	8 極		A	B	※C	D	E	F	G	H	I	J	JK	K	KD	KL	L	M	N	Z												
55	37	30	225 M	345	291.5	225	481	178	155.5	28	465	576	85	8	90	55	400	789.5	440	390	19												
75	45	37	250 S	381	308.5	250	541	203	155.5	30	520	631	90	8	100	55	430	844.5	506	398	24												
90	55	45	250 M	400	327.5	250	541	203	174.5	30	520	631	90	8	100	55	430	882.5	506	436	24												
110	75	55	280 S	442	359	280	610	228.5	184	32	585	696	95	10	105	75	558	986	570	460	24												
132	90	75	280 M	467.5	384.5	280	610	228.5	209.5	32	585	696	95	10	105	75	558	1,037	570	511	24												
160	100	90	315 S	495	404	315	690	254	203	35	660	791	105	12	110	75	593	1,084	636	508	28												
200	132	110	315 M	520.5	429.5	315	690	254	228.5	35	660	791	105	12	110	75	593	1,135	636	559	28												

キロワット			わく番号	軸 端								ベ ー ス								基 礎 ボ ル ト		
4 極	6 極	8 極		Q	QK	R	◎S	T	U	W	BE	BF	BG	H	BM	BN	BZ	X	FD	FH	FW	
55	37	30	225 M	140	112	444.5	65	12	6	18	180	230	30	65	570	510	20	120	16	146	80	
75	45	37	250 S	140	112	463.5	75	13	7	20	210	240	35	70	660	540	22	140	19	248	95	
90	55	45	250 M	140	112	482.5	75	13	7	20	210	260	35	70	660	580	22	140	19	248	95	
110	75	55	280 S	170	140	544	85	16	8	24	235	270	35	75	740	610	22	160	19	248	95	
132	90	75	280 M	170	140	569.5	85	16	8	24	235	295	35	75	740	660	22	160	19	248	95	
160	110	90	315 S	170	140	589	95	16	8	24	255	300	40	80	825	660	22	180	19	243	95	
200	132	110	315 M	170	140	614.5	95	16	8	24	255	325	40	80	825	710	22	180	19	243	95	

- 注) (1) ※軸中心高の上下寸法差は 250 は $\begin{smallmatrix} 0. \\ -0.500 \end{smallmatrix}$ 280, 315 は $\begin{smallmatrix} 0. \\ -1.000 \end{smallmatrix}$ である。
(2) ◎軸径の上下寸法差は、日本工業規格 (JIS) B 0401 はめあい方式 “m 6” による。
(3) アイボルトの数は 225, 250 は 1 個, 280, 315 は 2 個である。
(4) ベアリングは、ローフベアリングを使用している。

(d) 小形軽量

IEC 寸法に準拠した防滴保護、かご形三相誘導電動機で、わく番適用も標準モートルと全く同一である。

[名古屋製作所]



図 2 三菱クラッシャー専用モートル (端子側)



(名板側)



8,700 kW ブラシレス励磁ソリッドポール同期電動機完成

このほど、当社長崎製作所では、某製鉄所向けとして鋭意製作中であつた 8,700 kW ソリッドポール 同期電動機を完成した。本機は焼結機の主排風機駆動用で、負荷の GD^2 が非常に大きいため、その回転子には当社独特の構造を有するソリッドポールを採用した。さらにまた、機器の保守点検を容易ならしめるためスリップリング、ブラシを有しないブラシレス励磁方式を採用している。

ブラシレス励磁回路にはシリコン、サイリスタなどの半導体素子を駆使し電動機の起動特性、運転特性を一段と向上させるとともに、構造的にも簡潔で強固な構造とし、高速運転にも十分耐えるよう考慮している。

この電動機は、納入後現地での過酷な試運転にも十分耐え、現在好調に実動中であるが、ソリッドポール 同期電動機としては、わが国における記録品であるばかりでなく、ブラシレス 同期電動機としてもその記録を大きく更新した。

仕様

8,700 kW, 11,000 V 8 極, 60 Hz, 900 rpm

全閉内冷形空気冷却器付、負荷 GD^2 150 ton-m²



8,700 kW ブラシレス 励磁 ソリッドポール 同期電動機

[長崎製作所]

日本国有鉄道向け EF 81 形交直流電気機関車完成

北陸本線用、量産形 EF 81 形交直流電気機関車が、昭和 44 年 7 月完成した。おもな特長は下記のとおりである。

(1) 直流 1,500 V 交流 20 kV-50 Hz および 交流 20 kV-60 Hz の 3 種の電化区間に使用できる。

(2) 油冷式シリコン整流装置を使用している。

(3) 電暖用の電源として、主変圧器を出力変圧器とする、静止形のサイリスタインバータを使用している。

(4) 主電動機の制御は、EF 65 形直流電気機関車なみの直列一直並列、直並列一並列の切換制御、および抵抗バーニヤ式の超多段制御を行なっている。

EF 81 形電気機関車の仕様要目は次のとおりである。

(1) 機関車仕様要目

機関車方式：シリコン整流器式交直流電気機関車

用途：客貨両用

運転整備重量：100.8 t

軸配置：B₀-B₀-B₀

機関車形状：箱形両運転台

機関車寸法(長さ×幅×高さ)：17,800×2,900×3,570 mm

動輪径：1,120 mm (計算用 1,080 mm)

動力伝達方式：1 段歯車減速つりかけ式、弾性歯車使用



EF 81 形交直流電気機関車

歯車比:	18:69=1:3.83	
電気方式:	直流 1,500 V, 単相交流 50/60 Hz, 20 kV (変動範囲 22~16 kV)	
機関車性能	(交流)	(直流)
1時間定格引張力:	18.3 t	19.8 t
1時間定格速度:	53.0 km/h	42.5 km/h
1時間定格出力:	2,850 kW	2,550 kW
最高運転速度:	115 km/h	
制御方式:	直列・直並列・並列渡り制御, 抵抗制御, 界磁率制御, パーセンタ制御, 軸重補償, 自動ノッチ止め, 再粘着ブレーキ	
補機方式:	電動発電機, 90 kVA, DC 1,500 V/AC 440 V 60 Hz, 三相かご形誘導電動機駆動	
ブレーキ装置:	EL 14 AS 空気ブレーキおよびねじ手ブレーキ	

(2) 主要電気品要目

(a) 主電動機 (6 台/両)

形式:	MT 52 形
1時間定格:	475 kW 900 V 570 A

(b) 主シリコン整流装置 (1 台/両)

連続定格:	容量 2,520 kW, 直流電圧 1,500 V, 直流電流 1,680 A
冷却方式:	送油風冷式
素子構成:	主回路用 4S-2P-4A (メッシュ結線), 逆流阻止用 2S-1P-1A

(c) 列車暖房用インバータ

連続定格:	容量 320 kVA, 直流電圧 1,500 V, 出力電圧 1,440 V, 出力電流 222 A
周波数:	67 Hz
素子構成:	4S×1P×4A

(d) 主変圧器 (1 台/両)

方式:	外鉄形送油風冷式, フォームフィット形, 低圧非分割式
連続定格:	
容量:	2,430/2,430 kVA, 2,810 kVA/2,430 kVA/380 kVA (冬期)
電圧:	20 kV/1,840 V, (中間タップ付)/1,485 V

(e) 主平滑リアクトル (2 台/両)

方式:	内鉄形, F 種乾式, 風冷式, オーブンコア形
連続定格:	
インダクタンス:	13 mH (at 810 A), 20 mH 以上 (at 540 A)
電流:	810 A

[伊丹製作所]

わが国最小の高圧ディーゼル発電機盤完成

かねて開発中であったわが国最小の 3/6 kV 級高圧ディーゼル発電機盤（ペットネーム DG VACTH-E）が完成し、1号機を札幌冬期オリンピック組織委員会（恵庭岳滑降場）へ納入した。

これは、従来の油入しゃ断器の代わりに真空スイッチを使用し、エンジンおよび発電機に必要な制御装置をすべて一面に収納し、JEM-1114-E 級に準じて製作したもので、据付面積が従来の 1/2 以下となり、次のような多くの特長を持っている。

(1) 一面に、真空スイッチ・発電機励磁装置・エンジン制御装置・保護装置・計測器・補機モーター起動装置など、高圧ディーゼル発電セットに必要なすべての制御装置がコンパクトに収納されている。

(2) 盤構造は JEM-1114-E 級に準じ、盤内は制御室・真空スイッチ室・励磁装置室に完全分離し、真空スイッチは自動連結のため、保守点検が容易である。

(3) 盤寸法は、幅 800、高さ 2,300+50、奥行 1,500、一面で従来の盤（OCB 使用）に比べ 1/2 以下のスペースである。

(4) 真空スイッチを用いているため、従来のしゃ断器に比べ、火花の発生がない、騒音がないなど多くの特長を持っている。

(5) 発電機励磁装置に、最新式サイリスタ励磁方式、または、ブラシレス方式を採用している。

仕様は、次のとおりである。

- (1) 適応発電機容量
直接サイリスタ励磁方式の場合.....3/6 kV, 50/60 Hz, 750 kVA 以下
ブラシレス方式の場合.....3/6 kV, 50/60 Hz, 1,000 kVA 以下
- (2) 真空スイッチ 定格

定 格 電 圧 V		3,300	6,600
定 格 電 流 A		200	250
定 格 し ゃ 断 容 量 MVA		25	50
性 能	開 閉 容 量	A 級 (定格電流の 10 倍以上)	
	開 閉 ひ ん 度	2 号 (600 回/時)	
	寿 命	電 気 的	機 械 的 25 万回
操 作 方 式		電 磁 式	AC 200 V DC 110 V

[長崎製作所]



高圧ディーゼル発電機盤

LBC 1.5 重方式母線地絡保護継電装置

本装置は、高抵抗接地系発電所の母線の地絡保護を行なうもので、各引出端子1組のCTの残留回路を用いて複母線の一括 プラス 分割保護が可能である。

したがって、既設のCT1組を使用してあらゆる母線運用に対して簡単に複母線地絡保護を行なうことができる。

特 長

- (1) 既設CTを利用できるのでCTを新設する必要がない。
- (2) リレー側は、2重化されることになるので信頼度を向上させることができる。
- (3) 分割リレーは整流形、一括リレーはトランジスタ形とし、特に低負担としている。
- (4) 母線断路器切換時、母連しゃ断器が断路器により側路されたばあい(ブリッジ状態)でも、一括保護リレーにより正しく保護が可能である。
- (5) 本装置とともに、LBB 1.5 重方式母線短絡保護断電装置を使用すれば、母線内のあらゆる故障を除去することが可能である。

[神戸製作所]

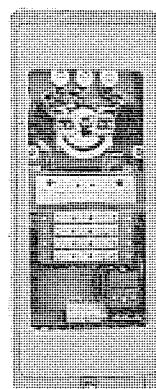


図 1 LBC-1-D 形
母線継電器

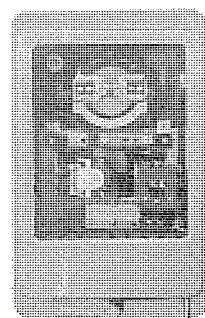


図 2 LBC-2-D 形
母線継電器

九州地区における初のスポットネットワーク受電設備完成・納入

都心のビル街への配電は、電力流通機構の一環として

供給信頼度のいっそうの向上

需要増加に対する速応性

需給システムの合理化・省力化

都市美化への協力

などの特性を有することが、ますます必要となっており、低圧スポットネットワーク方式がこの要求を満たし得るものとしてその重要性を徐々に認識され、国内の主要都市において本格的に実施されつつある。

スポットネットワーク方式は、繁華街等への配電に適したレギュラネットワーク方式とともに、いわゆる(低圧)ネットワーク方式の範囲に属するもので、両者には技術的な共通部分が多い。当社は昭和34年、わが国最初のレギュラネットワーク用機器を開発して以来、現在までに100台以上の最大の製作実績を有するに至ったが、その間ネットワーク方式の研究、開発ならびに技術の蓄積をはかり、スポットネットワーク方式の実施も可能となっていた。

このような状況のもとで、このたび完成し福岡朝日ビル(竹中工務店経由)に納入したスポットネットワーク受電設備は、九州地区における第1号機であり、博多駅前の高層ビル化にも貢献するものである。

(1) 概略仕様

(a) 特高キュービクル 3面

(i) ネットワーク変圧器

H種絶縁、乾式風冷式

3φ 1,500 kVA (過負荷130%8時間可能)

22 kV/460/265 V

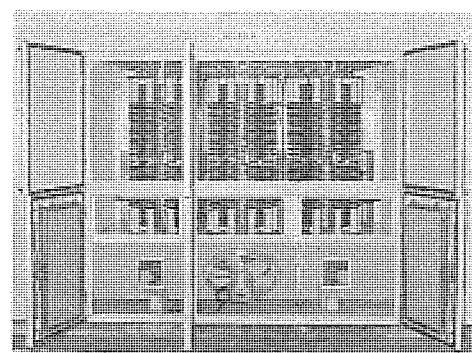


図 1 特高キュービクル
(1,500 kVA 乾式ネットワーク変圧器)

(ii) 一次断路器

真空スイッチ管使用, 3位置構造

22 kV 連続 200 A シャ断 5 A 短時間 24 kA 2秒

(b) ネットワークキュービクル 3面

(i) プロテクタユニット 3面

460/265 V, 3,000 A

DB-75 形気中しゃ断器, FLK-3,000 A ネットワークヒューズ, CNM-1 および CNP-

1 形 ネットワーク 継電器収納

(ii) テイクオフユニット 1面

460/265 V, 3,000 A 引出幹線 3 回路

FLK-3,000 A ネットワークヒューズ, MOF (取引用変成器収納)

(c) バスダクト

絶縁バスダクト, 三相 4 線式

500 V, 3,000 A

(2) 特長

(1) に記したように, スポットネットワーク受電設備は, 特高キュービクル, 変圧器, 真空スイッチ, 断路器, 低圧キュービクル, 気中しゃ断器, ヒューズ, 継電器, バスダクト等の機器の技術にこれらをシステムにまとめる総合技術力が加味されて実現できるものであり, 当社のスポットネットワーク受電設備はつぎのような特長を有している。

(a) 国内最大の製作実績を有する特高キュービクルの技術が生かされている。

(b) 搬入・搬出の便をはかるため, 特高キュービクルは4分割可能としている。

(c) 一次断路器には真空スイッチ管を使用し, 消弧部分の長寿命化, ならびに安全かつ軽快な操作を実現している。

(d) 変圧器はH種絶縁, 乾式風冷式で不燃性, 非爆発性である。また, コイルには, はっ(撥)水性の良いシリコンワニス を十分に含浸させているほか, マイカ等の接着には高温特性の最も良いドリルワニスを使用することにより, スポットネットワークに不可欠な過負荷使用に耐えるようにしている。

(e) 国内最大の製作実績を有するネットワーク継電器の技術が生かされている。

(f) プロテクタしゃ断器はキュービクル最下段に配置することにより, 常時充電側を固定極側として保守・点検時の安全を確保するとともに, キュービクルの重量バランスをとっている。

(g) プロテクタユニットの日常の監視, 保守はすべて前面で行なえるよう, 継電器, 計器等の取付を考慮しているので, 取扱いが便利でかつ保守スペースが少なくすむ。

(h) 3,000 A および 4,000 A フレームのプロテクタユニット, テイクオフユニットには排熱ファンを取付けているが, 当社独特のライフロファン(かご形扇)を天井に埋込むことにより, 外観上従来のキュービクルと違和感の生じないようにしている。

[神戸製作所]



図2 ネットワークキュービクル
(3,000 A プロテクタユニット3面および3,000 A
テイクオフユニット1面)

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社	東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル)	(電) 100	(電) 東京 (03) 218局 2111番
大 阪 営 業 所	大 阪 市 北 区 梅 田 町 8 番 地 (西 阪 神 ビ ル)	(電) 530	(電) 大 阪 (06) 312局1231番
名 古 屋 営 業 所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地 (大名古屋ビル)	(電) 450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
福 岡 営 業 所	福岡市天神2丁目12番1号 (天神ビル)	(電) 810	(電) 福岡 (092) 75局6231番
長 崎 出 張 所	長 崎 市 丸 尾 町 6 番 14 号	(電) 852	(電) 長 崎 (0958) 23局6101番
札 幌 営 業 所	札幌市北2条西4丁目1番地 (北海道ビル)	(電) 060-91	(電) 札 幌 (0122) 26局9111番
札 幌 工 場	札幌市北2条東12丁目98番地	(電) 060	(電) 札 幌 (0122) 23局5544番
仙 台 営 業 所	仙台市大町4丁目175番地 (新仙台ビル)	(電) 980	(電) 仙 台 (0222) 21局1211番
富 山 営 業 所	富 山 市 桜 木 町 1 番 29 号	(電) 930	(電) 富 山 (0764) 31局8211番
広 島 営 業 所	広 島 市 中 町 7 番 32 号 (日本生命ビル)	(電) 730	(電) 広 島 (0822) 47局5111番
岡 山 出 張 所	岡山市西長瀬字村北122番地の1 (三菱電機岡山ビル)	(電) 700	(電) 岡 山 (0862) 24局0331番
高 松 営 業 所	高 松 市 鶴 屋 町 5 番 地 の 1	(電) 760	(電) 高 松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル)	(電) 100	(電) 東 京 (03) 218局2111番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(電) 530	(電) 大 阪 (06) 344局1231番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル)	(電) 100	(電) 東 京 (03) 218局2111番
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻3丁目10番3号 (三菱電機世田谷ビル)	(電) 154	(電) 東 京 (03) 411局8181番
城西家電営業所	国分寺市南町2丁目16番14号 (秀美ビル)	(電) 185	(電) 国分寺 (0423) 22局1881番
城北家電営業所	東京都文京区大塚3丁目3番1号 (新茗溪ビル)	(電) 112	(電) 東 京 (03) 944局6311番
千葉家電営業所	千葉市新宿町2丁目49番地 (三菱電機千葉ビル)	(電) 280	(電) 千 葉 (0472) 42局5486番
横浜家電営業所	横浜市中区富士見町3番地 4	(電) 232	(電) 横 浜 (045) 251局2226番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(電) 530	(電) 大 阪 (06) 344局1231番
洲 本 出 張 所	洲本市上物部2丁目6番33号	(電) 656	(電) 洲 本 (07992) 2局0631番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地 (大名古屋ビル)	(電) 450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
静 岡 出 張 所	静岡市七間町9番地の10 (池田ビル)	(電) 420	(電) 静 岡 (0542) 53局9186番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号 (天神ビル)	(電) 810	(電) 福岡 (092) 75局6231番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地 (北海道ビル)	(電) 060-91	(電) 札 幌 (0122) 26局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町4丁目175番地 (新仙台ビル)	(電) 980	(電) 仙 台 (0222) 21局1211番
富山商品営業所	富 山 市 桜 木 町 1 番 29 号	(電) 930	(電) 富 山 (0764) 31局8211番
広島商品営業所	広 島 市 中 町 7 番 32 号 (日本生命ビル)	(電) 730	(電) 広 島 (0822) 47局5111番
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北122番地の1 (三菱電機岡山ビル)	(電) 700	(電) 岡 山 (0862) 24局0331番
高松商品営業所	高 松 市 鶴 屋 町 5 番 地 の 1	(電) 760	(電) 高 松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目12番地 (北陸ビル)	(電) 950	(電) 新 潟 (0252) 45局2151番
関東商品営業所	与 野 市 上 落 合 後 原 8 4 2	(電) 338	(電) 与 野 (0488) 33局3181番
中 央 研 究 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(電) 661	(電) 大 阪 (06) 491局8021番
商 品 研 究 所	鎌 倉 市 大 船 2 丁 目 14 番 40 号	(電) 247	(電) 鎌 倉 (0467) 46局6111番
神 戸 製 作 所	神 戸 市 兵 庫 区 和 田 崎 町 3 丁 目 10 番 地 の 1	(電) 652	(電) 神 戸 (078) 67局5041番
伊 丹 製 作 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(電) 661	(電) 大 阪 (06) 491局8021番
三 田 工 場	三 田 市 三 輪 町 父 々 部 85 番 地	(電) 669-13	(電) 三 田 (07956) 局 4371~5番
長 崎 製 作 所	長 崎 市 丸 尾 町 6 番 14 号	(電) 850-91	(電) 長 崎 (0958) 23局6211番
稲 沢 製 作 所	稲 沢 市 井 之 口 町 1100 番 地	(電) 492	(電) 稲 沢 (0587) 32局8111番
和 歌 山 製 作 所	和 歌 山 市 岡 町 91 番 地	(電) 640-91	(電) 和歌山 (0734) 23局7231番
鎌 倉 製 作 所	鎌 倉 市 上 町 屋 325 番 地	(電) 247	(電) 鎌 倉 (0467) 46局1111番
通 信 機 製 作 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(電) 661	(電) 大 阪 (06) 491局8021番
北 伊 丹 製 作 所	伊 丹 市 大 鹿 字 主 ヶ 池 1 番 地	(電) 664	(電) 伊 丹 (0727) 82局5131番
熊 本 工 場	熊 本 市 竜 田 町 弓 削 720 番 地	(電) 862	(電) 熊 本 (0963) 62局7211番
名 古 屋 製 作 所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地	(電) 461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
福 岡 製 作 所	福岡市今宿青木690番地	(電) 819-01	(電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番
福 山 製 作 所	福 山 市 緑 町 1 番 8 号	(電) 720	(電) 福 山 (0849) 21局3211番
姫 路 製 作 所	姫 路 市 千 代 田 町 840 番 地	(電) 670	(電) 姫 路 (0792) 23局1251番
相 模 製 作 所	相 模 原 市 宮 下 1 丁 目 1 番 57 号	(電) 229	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
世 田 谷 工 場	東京都世田谷区池尻3丁目1番15号	(電) 154	(電) 東 京 (03) 414局8111番
静 岡 製 作 所	静 岡 市 小 鹿 110 番 地	(電) 420	(電) 静 岡 (0542) 85局1111番
中 津 川 製 作 所	中 津 川 市 駒 場 町 1 番 3 号	(電) 508	(電) 中津川 (05736) 5局7151番
大 船 製 作 所	鎌 倉 市 大 船 5 丁 目 1 番 1 号	(電) 247	(電) 鎌 倉 (0467) 46局6111番
郡 山 製 作 所	郡 山 市 栄 町 2 番 25 号	(電) 963	(電) 郡 山 (02492) 2局1220番
群 馬 製 作 所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地	(電) 370-04	(電) 尾 島 (02765) 2局1111番
藤 岡 工 場	藤 岡 市 本 郷 字 別 所 1173 番 地	(電) 375	(電) 藤 岡 (02742) 2局1185番
京 都 製 作 所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所1番地	(電) 617	(電) 京都西山 (075) 921局4111番
ラ ジ オ 工 場	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(電) 661	(電) 大 阪 (06) 491局8021番

計 算 機 制 御 特 集

《特殊論文》

- 自動車工業における生産管理システム
- MELCOM-9100 ガスクロマトグラフ データ収集システム
- 電力系統状態監視システム
- 電源開発(株)高砂火力発電所納め計算機システム
- 衛星追尾用指令制御システム
- MELCOM 350-5 制御用電子計算機システム
- 富士製鉄(株)名古屋製鉄所向け厚板圧延機計算機制御システム
- 日新製鋼(株)呉製鉄所における転炉製鋼工程の計算機制御システム
- 火力発電所計算機制御の動向

- 大阪市水道部集中管理システム
- 小形計算機による電車総合回路試験装置
- 計算機(MELCOM 350-5)による位置制御装置

《普通論文》

- 電力流通コンピュータ
- 国鉄向け EF-71 形電力回生制動付交流電気機関車
- MELCOM-3100 ディスクオペレーションシステム(1)—FOS (モデル 40 基本システム)—
- 蒸発式冷却器の電力変圧器への適用
- パルス光ホール効果測定装置の試作

《技術講座》

- システム理論
- (IV)ダイナミカルシステムの理論—

三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

委員長 仙 石 廉
副委員長 神 崎 遼
常任委員 明 石 精
" 石 川 理 一
" 上 田 重 夫
" 宇 佐 見 重 夫
" 大 野 寛 孝
" 北 川 和 人
" 小 堀 富 次 雄
" 鈴 木 正 材

常任委員 祖 父 江 晴 秋
" 湊 武 雄
" 山 田 栄 一
委 員 尾 畑 喜 行
" 北 垣 成 一
" 南 日 達 郎
" 林 昇 寿
" 松 元 雄 蔵
" 和 田 義 勝
(以上 50 音順)

昭和 44 年 10 月 22 日印刷 昭和 44 年 10 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部金 100 円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地

仙 石 廉

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地(郵便番号 100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

(電) (03) 218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151) 株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 10018