

# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol. 47 September 1973

交通システム特集

9

帝都高速度交通営団8号線車両構想図とAVFチョッパ装置







## 交通システム特集

### 目次

#### 《特集論文》

(特別寄稿) 8号線用新方式自動可変界磁(AVF)チョップ制御システムの開発によせて	柳沢忠男	917
帝都高速度交通営団向け8号線車両用AVFチョップ制御装置		
.....芦谷正裕・鉄野治雄・成戸昌司・忍正寿・甲木莞爾		918
帝都高速度交通営団向け8号線車両用主電動機・駆動装置および車両性能	古田俊久・重浦淳一	924
車両冷房用電動発電機	東捷敏・田原先・高橋啓一	928
計算機による列車運行制御システム	牧野正夫・河原伸吉・祖父江幸男・土井弘志・村木一己・石井金次郎	934
立体駐車場制御システム	篠原宇一・佐竹幸雄・伊藤善文・和田精二	941
鉄道の操車場無線制御システム		
.....杉岡昇・北沢實・北垣亨・横山保憲・田中智・久我晃二・安達長生		948
最近の電鉄用直流変電所	新名昭吉・冬広力	956

#### 《普通論文》

ガス絶縁開閉装置(GIS)の特高受電設備への適用	林幸平	967
電解加工——硝酸ソーダ水溶液による加工——	荒井伸治・葉石雄一郎・高鷲民生	974
計器用変圧器 保護用高圧限流ヒューズ	岩崎行夫・野田肇	981
茨城県深芝下水処理場向け汚泥処理設備用電機品(MELCAPによる制御)	北村幹郎・吉川英夫・盛口全太	989

#### 《技術講座》

超音波探傷試験法(3)——規格——	松山宏	996
-------------------	-----	-----

#### 《新製品紹介》

三菱溶接ヒューム吸引装置・冷凍機、クーリングユニット新製品発売		1002
---------------------------------	--	------

#### 《ニュースフラッシュ》

揚水発電所 発電電動機サイリスタ起動 開発試験に成功・大阪市交通局納め20系試作電車用チョップ制御装置		1007
---	--	------

#### 《特許と新案》

物体の表面検査装置・機関点火時期調整装置・直流電源回路装置		965
-------------------------------	--	-----

#### 《表紙》

表紙1 帝都高速度交通営団8号線車両構想図とAVFチョップ装置

現在、建設中である帝都高速度交通営団8号線に投入される7000系新車の構想図と、この新鋭車両に積載される新方式AVFチョップ装置である。

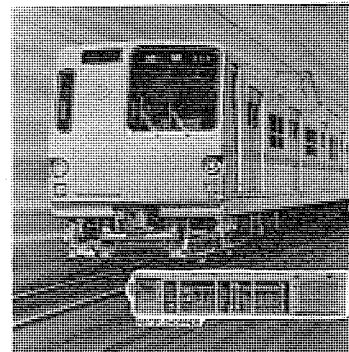
チョップ制御電車は、営団千代田線6000系などで実用化されており、当社は世界に先がけてこれら多数の量産形チョップ制御装置を製作・納入し、ここ数年來貴重な実績を積み重ねている。

今回開発したAVFチョップ方式は、これら豊富な経験をもとに、さらにその実用性を高めるために再生能力の増大、効率の向上などをねらったもので、先行現車試験においても非常に良好な結果が得られている。また、このチョップ装置にはチョップ用として世界最大級の2,500V 400Aの高耐圧逆導通サイリスタを使用しているのも、大きな特長の一つである。

表紙2 三菱駐車場管理装置 MELPARK

表紙3 三菱エレベーター

表紙4 三菱カラーテレビ





## SPECIAL EDITION FOR TRANSPORTATION SYSTEM

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS

AVF (Automatic Variable Field) Chopper Control Equipment for Line No. 8 of Teito Rapid Transit Authority	
.....M. Ashiya • H. Tetsuno • M. Naruto • M. Shinobu • K. Katsuki	918
Traction Motors, Driving Equipment and Train Performance of AVF Chopper Car for TRTA Line No. 8	
.....Y. Furuta • J. Shigeura	924
Motor-Generators for Air Conditioning of Cars	
.....K. Higashi • S. Tahara • K. Takahashi	928
Computerized PTC (Programmed Traffic Control) System	
.....M. Makino • N. Kawahara • Y. Sobue • H. Doi • K. Muraki • K. Ishii	934
Mechanical Parking Control System	
.....U. Shinohara • Y. Satake • Y. Itô • S. Wada	941
Yard Wireless Remote Control System	
.....N. Sugioka • M. Kitazawa • T. Kitagaki • Y. Yokoyama • S. Tanaka • K. Kuga • H. Adachi	948
Recent DC Railway Substation	
.....S. Niina • T. Fuyuhiko	956

#### TECHNICAL PAPERS

Application of GIS to High Voltage Switchgear of Industrial Plants	
.....K. Hayashi	967
Electro-chemical Machining with $\text{NaNO}_3$ Solution	
.....S. Arai • Y. Haishi • T. Takawashi	974
High Voltage Current-Limiting Fuses for Potential Transformers	
.....Y. Iwasaki • H. Noda	981
Electrical Equipment of Fukushima Sewage Mud Treatment Plant in Ibaragi Prefecture	
(Sequence control by MELCAP).....M. Kitamura • H. Yoshikawa • Z. Moriguchi	989

#### TECHNICAL LECTURE

Ultrasonic Testing (3)	
.....H. Matsuyama	996

#### NEW PRODUCTS

1002

#### NEWS FLASH

1007

#### PATENT AND UTILITY MODEL

965

#### COVER :

##### Conceptional Sketch of Cars on Teito Rapid Transit Authority Line No. 8 and AVF Chopper Equipment

The illustration shows a conceptional sketch of 7000 series new cars to run on the line No. 8 of the Teito Rapid Transit Authority now under construction, and also new type AVF chopper equipment to be mounted on the new vehicles. Chopper controlled electric cars are now in practical operation on the 6000 series cars of Chiyoda line of the Transit Authority and others. Mitsubishi has supplied a good number of the equipment of this kind ahead of other world manufacturers, thus accumulating valuable experiences for these years.

The newly developed AVF chopper system is based on the rich experiences and added with higher performance of increased regenerating power and elevated efficiency for the purpose of improving practicability. The field test conducted on the model has proved very successful. The employment of 2,500 V 400 A high voltage reverse conducting thyristor of the world largest class for chopper use is one of the outstanding features.

UDC 621.314.571:621.337

## 帝都高速度交通営団向け 8号線車両用

### AVFチョッパ制御装置

芦谷正裕・鉄野治雄・成戸昌司・忍 正寿・甲木莞爾

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P918～923

直流電気車のチョッパ制御は地下鉄車両などに実用化されており、当社は多数の量産形装置を世界に先駆けて製作・納入し、約3年の営業運転実績を持っている。今回、さらにその実用性を向上させるため、チョッパの通流率によって自動的に主電動機の界磁率に変化する新しいチョッパ制御方式を開発し、帝都高速度交通営団 8号線車両用として、多数の量産形装置を製作中である。この方式によれば、高速回生ブレーキ能力が大幅に増大し、回路の簡素化や効率の向上も図ることができる。ここでは、この方式の内容と、2,500V 400A,  $t_{off} = 30 \mu s$  の高耐圧逆導通サイリスタを用いた量産形装置による現車試験結果について紹介する。

UDC 621.333:621.314.571

## 帝都高速度交通営団向け 8号線車両用

### 主電動機・駆動装置および車両性能

古田俊久・重浦淳一

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P924～927

帝都高速度交通営団 8号線のチョッパ車用として、狭軌用としては最大容量の150kW主電動機および新方式WN駆動装置を製作した。主電動機は2種類の界磁コイルを持ち、「AVFチョッパ」と組み合わせて用いられた場合、力行および回生の状態において速度が高くなるにつれて連続的に可変界磁電流が減少して弱界磁となりステップレスでスムーズな加減(AVF Field)速度が得られる。また、弱界磁ブレーキによって高速回生能力が増大する。新方式のWN駆動装置は、狭軌用台車内にこのような大容量主電動機を収容するために特に開発されたもので、薄形WNカッターリングを使用して軸方向寸法を10%短縮したものである。

UDC 625.2:628.82:621.314.52

## 車両冷房用電動発電機

東 捷敏・田原 先・高橋啓一

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P928～933

近年の鉄道車両における乗客へのサービスの向上から、遠距離特急車や食堂車などの特定車両のみならず、通勤車両においても広く車両冷房が採用されるようになってきた。通勤車両の冷房はその車体構造や運用から、1両あたりの冷房容量が大きく、一般に1両あたり30～40kVAの電力を要する。当社では、冷房装置のほかに、照明や制御電源も電動発電機に負荷されることを考慮して、75kVA, 120kVA, 160kVAを標準機種として準備している。

車両用電動発電機は小形軽量化やメンテナンスフリー、高信頼性などに対する要求が強く、これらに答え得るように設計・製作がなされている。

UDC 681.323:656.22:62-519

## 計算機による列車運行制御システム

牧野正夫・河原伸吉・祖父江幸男

土井弘志・村木一己・石井金次郎

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P934～940

大都市周辺の人口増加に伴って近郊鉄道路線の輸送需要はますます増大し、高速度かつ短時間で行く列車群を効率的に運用するために、運行管理業務の重要性が高まっている。そこで、信号扱業務の省力化と運行管理業務の効率化を目的として、昭和46年阪神電鉄線に導入され逐次拡張を続けている列車運行制御システムに関して、全般的な概要を紹介する。このシステムは、制御用電子計算機MELCOM 350-5の二重系システムと伝送系を中心にして構成され、進路制御・案内制御の自動化、手動ダイヤ変更、運転整理判断および運行状況の監視・記録等の機能を備えている。

UDC 656.01:621-52

## 立体駐車場制御システム

篠原宇一・佐竹幸雄・伊藤善文・和田精二

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P941～947

最近の自動車の増加はめざましく、排気ガスによる公害問題とともに、都心部での駐車場不足は深刻な問題となっており、かぎられたスペースを有効に利用できる機械式立体駐車場が増加しつつある。

当社では、そのような立体駐車場用管理制御装置として、あらゆる角度からシステムの機能仕様を検討したMELPARKを開発したので紹介する。

UDC 656.212.5:654.93

## 鉄道の操車場無線制御システム

久我晃二・安達長生・杉岡 昇・北沢 賢

北垣 享・横山保憲・田中 智

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P948～955

国土再開発時代を迎え、効率的な輸送に対する要望が高まってくる勢にある。このため国鉄では新時代にふさわしい輸送方式への転換を計るべく重点投資を行ない、郡山ヤードをはじめ、一連のヤード自動化を行なってきたが、これらはいずれもハンプ仕訳の自動化にとどまった。今回の武蔵野ヤードは、ヤード管理にも計算機を導入するとともに、ヤード作業の自動化、無線制御等も大幅に進められ自動ヤードに近づいている。

本文では武蔵野ヤードにおいて、今回実施された複数の機関車の同時無線制御、多数の操車グループによる構内入換進路の同時無線制御等について、そのシステム、装置の概要等について述べる。

UDC 621.311.4:621.33

## 最近の電鉄用直流変電所

新名昭吉・冬広 力

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P956～963

電鉄用直流変電所の計画は、国鉄および私鉄において増強・新設が相ついでいる。特に最近においては都市交通として地下鉄が時代の脚光を浴びているが、これの電源としても直流変電所が必要でこれらに使用する機器については、無公害、縮小化、安全性、信頼度の向上等がいつそう問題となっている。また多数の変電所を制御する技術においても、小人数で効率的な運用を考慮しなければならなかった。本文ではこれらに対する最近の機器・システムについて述べている。

UDC 621.311.4.027.7/8:546.226

## ガス絶縁開閉装置(GIS)の特高受電設備への適用

林 幸平

三菱電機技報 Vol.47・No.9・P967～973

当社は、工場・ビルなどの特高受電設備として、ガス絶縁開閉装置(GIS)の適用に端緒をひらいた。本文では、これらの設備の具体例を紹介するとともに、今後さらに増加するであろうこの設備について、その配置と接続構造、M.O.Fとの関係など、GISの特質に関する要点を述べた。

## 8号線用新方式自動可変界磁 (AVF) チョップパ制御システムの開発によせて

帝都高速度交通営団理事 柳 沢 忠 男



### 1. ま え が き

来秋、新しく開通を予定している池袋～銀座一丁目間 10.2km の 8 号線の部分営業に使用する車両の設計に際し、三菱電機から新方式 チョップパ制御 システムの提案があった。このシステムは、チョップパ制御の持つ特長を十分に発揮したもので、非常に卓越したものであると思う。その詳細については本号に解説が載るそうであるから、ここではこのシステムの母体となった千代田線チョップパ車の使用実績と、新方式 チョップパ制御 システムの開発について簡単に述べてみたい。

### 2. 千代田線チョップパ車の使用実績

量産チョップパ車を千代田線に投入して既に2年半を経過したが、順調に運行し所期の成果をあげている。すなわち、チョップパ装置の故障は初期故障的なものを除くと皆無であり、また、車両の経常費は従来の抵抗車にくらべ保守費において約 11 %、電力費においては約 39 % もそれぞれ節減を見ている。

思えば、数年前、将来の直流電車の制御方式はどうあるべきかという観点に立って、チョップパ制御の研究をはじめから2度にわたる試作車での試験を経て量産車の完成を見、しかも直流直巻電動機による回生ブレーキの実用化に成功するなど、顧みれば感慨深いものがある。

チョップパ制御による直巻電動機での回生ブレーキは停止まぎわまで有効に作用し大幅な電力消費量の節減をもたらすが、反面、架線電圧にさからって電力回生作用を行なうので技術的に非常に難しい諸問題を含んでいた。幸いにして我々は三菱電機および日立製作所との緊密な協力によってこれらの問題を解決し得たが、この間にあって、半導体素子、特にサイリスタの急速な技術的進歩によることも見のがせない。ちなみに、主電動機容量 100 kW 当たりの素子数をくらべると、昭和 40 年における最初の装置では 25.4 個であったものが昭和 46 年の量産車ではなんと 2.8 個に、また 8 号線用の新方式 チョップパ制御 システムでは 1.3 個と減少している。

### 3. 8号線用新方式自動可変界磁 (AVF) チョップパ制御システムの開発

千代田線チョップパ車の使用実績からみて、チョップパ制御の実用化は一応達成されたものと思われるが、8 号線車両の設計に当たってはこの実績をもとにチョップパ制御の特長を十分に発揮させ、さらに車両性能の向上をはかることにした。このため、機器の容積を増すことなく性能向上がはかれる制御 システムの開発が必要となった。

これに対し、三菱電機から提案のあった新方式 チョップパ制御システムは、主電動機の界磁を 2 分割し通流率に比例して界磁の状態を連続的に制御するもので、これはチョップパ制御の持つ制御の自由度を十分に発揮したものである。

これによって、主回路構成の単純化はもとより、機器の容積を増すことなく回生範囲を従来の 53 km/h から 65 km/h に拡大することができ、電力消費量がさらに 15 %、すなわち従来の抵抗車にくらべ約 47 % も節減される見通しが得られ、しかも路線条件によって主電動機の使用率が 15 % 程度増加するにもかかわらず、主電動機の容量は従来の 145 kW に対し 150 kW ですませることができた。

また、従来より 2 倍の耐圧を有する 2,500 V 400 A の逆導通サイリスタの採用とあいまって、装置の小形軽量化と信頼度の向上も得られるなど、従来のものに比べ、格段の進歩を見たものである。

### 4. む す び

新方式 チョップパシステムの量産化に先立って行なった三菱・日立両社による現車試験の結果はすこぶる良好であった。千代田線のシステムをチョップパ制御実用化の第 1 段階のものとすれば、このシステムは第 2 段階のものといえよう。

今後はさらに研究開発を重ね、電力消費量の大幅節減に寄与し、エネルギーの有効利用の面からも、これらチョップパ制御システムが近郊電鉄の標準形式となるものと期待している。

# 帝都高速度交通営団向け 8 号線車両用 AVF チョップ制御装置

芦谷 正裕\*・鉄野 治雄\*・成戸 昌司\*

忍 正寿\*・甲木 莞爾\*

## AVF[(Automatic Variable Field) Chopper Control Equipment for Line No. 8 of Teito Rapid Transit Authority

Itami Works

Masahiro Ashiya・Haruo Tetsuno・Masashi Naruto

Masatoshi Shinobu・Kanji Katsuki

Chopper control of DC electric cars is in practical use in the underground railways. Mitsubishi has delivered a good number of the devices produced on the quantity production basis ahead of other manufactures in the world, having three years' experience of commercial operation. Further improvement of its practicability being aimed at, there has been developed a new chopper control system in which the field of traction motor changes automatically according to the change of the conducting ratio of the chopper. Many devices of the kind are being produced for the cars on the line No. 8 of the Teito Rapid Transit Authority. By using this system high speed regenerative braking performance sharply increases together with simplification of the circuits and the elevation of efficiency.

This article introduces the contents of the system and the results of field tests on the equipment of production type using 2500 V 400 A,  $t_{off}=30\mu s$ , high voltage reverse conducting thyristors.

### 1. ま え が き

大容量半導体素子の著しい性能向上と制御技術との協調的進歩により、直流電車のチョップ制御方式も実用化され、当社はここ数年に多数の量産形チョップ制御装置を世界に先駆けて製作・納入した。回生ブレーキ付きチョップ制御装置<sup>(1)</sup>についてはすでに2年半近くの営業運転実績を持ち、力行専用チョップ制御装置<sup>(2)</sup>についても3年以上の営業運転を続けている。

従来より、カム式制御装置と比較して不利とされていた外形・重量面についても、高耐圧逆導通サイリスタを開発することによって大幅に改善されたが、さらにその実用性をよりいっそう向上させるものとして、帝都高速度交通営団8号線車両を対象に、

- (1) 回生能力の増大
- (2) 装置の高信頼度化

を目的とした、新しいAVF(自動可変界磁)チョップ方式を営団のご指導により開発した。

この新方式チョップについては、今までのチョップ技術を基礎にして、計算機による特性解析や、数回にわたる基礎試験を行ない、さらに2,500 V 400 Aの高耐圧逆導通サイリスタを使用した量産形装置による現車試験も完了し、所期の目的を十分に満足する高性能が得られたので、ここにその内容と現車試験結果について報告する。

### 2. AVF チョップ方式

#### 2.1 原理と特長

図2.1、図2.2の主回路簡略つなぎに示すように、従来の直流直巻電動機の界磁巻線を2分割し、一方を従来と同様に電機子と直列に接続し、他方を二相二重に接続されたチョップの断続回路にそう入し、二つの界磁  $F_1$  と  $F_2$  を磁束が加算されるように巻いておく。

図2.1の力行回路では、 $F_2$ 界磁がフリーホイリングダイオードDFと直列

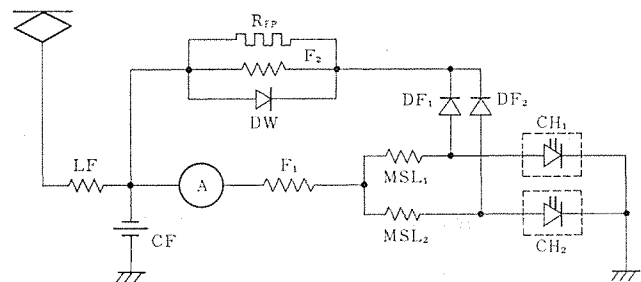


図 2.1 力行主回路  
Power circuit in powering.

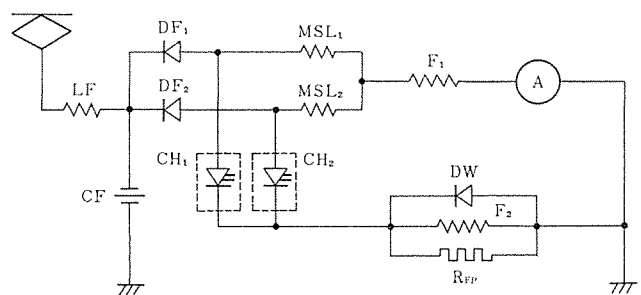


図 2.2 回生ブレーキ主回路  
Power circuit of regenerative braking.

に接続されるので、速度上昇すなわち通流率が增大するにしたがって  $F_2$  界磁が連続的に弱まる。一方の  $F_1$  界磁は定電流制御で一定であるため、力行では自動的に弱界磁制御になり、最大通流率に達すると、 $F_1$  界磁のみの最弱界磁状態になる。図2.2の回生回路では、 $F_2$  界磁がチョップCHと直列に接続されるので、通流率の小さい高速域ではほぼ  $F_1$  界磁のみの弱界磁状態であり、速度降下とともに通流率が大きくなると、 $F_2$  界磁の磁束がふえ、自動的に強め界磁制御になる。この場合、定ブレーキ力制御を行なうために限流値を速度とともに下げるので、従来の弱界磁ブレーキ方式と違って回路

の電流容量を上げることなく、高速回生能力を増大させることができる。

この AVF 方式のおもな特長としては、

(1) 高速回生能力が増大する。

(2) 界磁制御が自動的に行なわれるので、従来のような界磁制御用機器（スイッチ・分路抵抗器・誘導分路器）が不要になり、回路が簡素化される。

(3) 完全な連続制御であるので、簡素で安定な制御系が使用できる。

があげられ、一方、問題点としては、一般的に考えれば、

(1) サイリスタ印加電圧が上昇する。

(2) 主電動機界磁巻線の変圧器起電力が大きくなる。

があげられるが、われわれは、 $F_2$  界磁を二相二重の回路にそう入するとともに、分路抵抗を  $F_2$  界磁と並列に接続して、これらを解決している。

## 2.2 界磁特性の解析

この AVF 方式を車両に応用するうえにおいて、車両性能および機器仕様決定上から界磁率が通流率とともにどのように変わるかという界磁特性をは(把)握することが重要である。図 2.1、図 2.2 に示すように、AVF 界磁  $F_2$  は、周期的に断続する電流源に直列に接続されるので、この AVF 界磁特性について解析を行なった<sup>(3)</sup>。

### 2.2.1 AVF 回路特性

周期的に断続する電流源に直列に接続される AVF 回路および動作状態を図 2.3、図 2.4 に示す。この AVF 回路においては、一般に次の式 (2.1)、(2.2)、(2.3) が成立する。

$D_w$  が OFF の期間 ( $\tau$  の期間)

$$L_f \frac{di_f}{dt} + R_f i_f = v_{FP} \quad (2.1)$$

$$v_{FP} = R_{FP}(i_{MP} - i_f) \quad (2.2)$$

$D_w$  が ON の期間 ( $T - \tau$  の期間)

$$L_f \frac{di_f}{dt} + R_f i_f = 0 \quad (2.3)$$

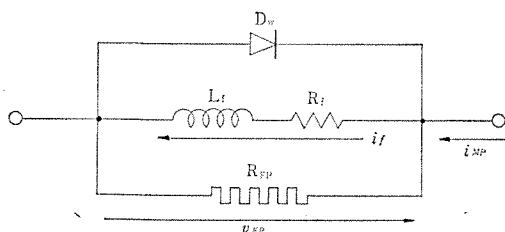


図 2.3 AVF 回路  
AVF circuit.

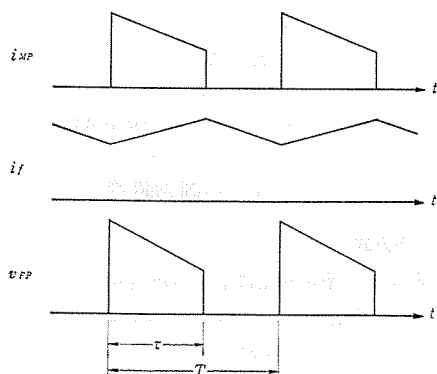


図 2.4 AVF 回路の各部波形  
Wave form of each voltage and current in the AVF circuit.

ここに、 $i_f$ : AVF 界磁巻線電流

$v_{FP}$ : AVF 回路端子電圧

$R_f$ : AVF 界磁巻線抵抗

$L_f$ : AVF 界磁巻線 インダクタンス

$i_{MP}$ : AVF 回路に流入する電流

$R_{FP}$ : AVF 界磁巻線分路抵抗

これらの式から、AVF 回路で常に成立する重要な次の関係式、式 (2.4) が導かれる。

$$\int_0^{\tau} v_{FP} dt = \int_0^{\tau} R_f i_f dt \quad (2.4)$$

### 2.2.2 二相二重 AVF 回路の動作

図 2.1 の力行回路において、二相二重 AVF 回路の動作状態を三つの動作モードに分けることができる。これを図 2.5 (A), (B), (C) に示す。ここで、 $i_{MSL1}$ ,  $i_{MSL2}$  はおのおの MSL1, MSL2 の電流、 $i_M$  は電機子電流である。モード1 とモード2 とは通流率が 0.5 以下で起こり、モード3 は 0.5 以上で起こる。モード2 の  $v_{FP}$  波形を図 2.6 に示す。このモード1 とモード2 について、2.2.1 項の式 (2.4) を用いて示せば、モード1 では式 (2.5)、モード2 では式 (2.6) が成立する。

$$\int_0^{(T/2-\tau)} v_{FP} dt = \int_0^{T/2} R_f i_f dt \quad (2.5)$$

$$\int_0^{\tau_a} v_{FP} dt = \int_0^{T/2} R_f i_f dt \quad (2.6)$$

モード3 では同様に式 (2.7) が成立する。

$$\int_0^{(T-\tau)} v_{FP} dt = \int_0^{T/2} R_f i_f dt \quad (2.7)$$

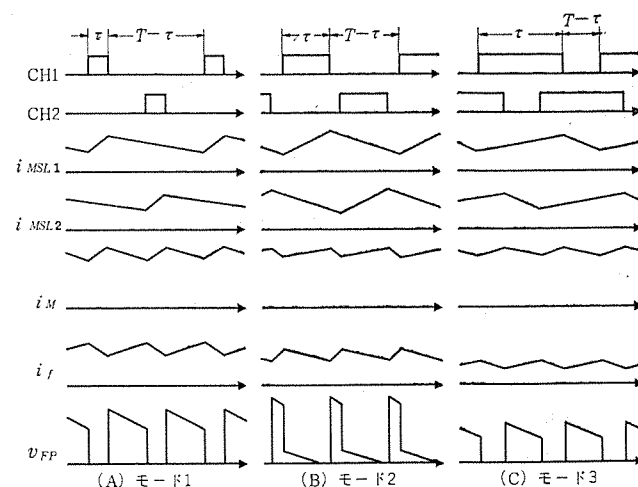


図 2.5 動作モード  
Operating mode.

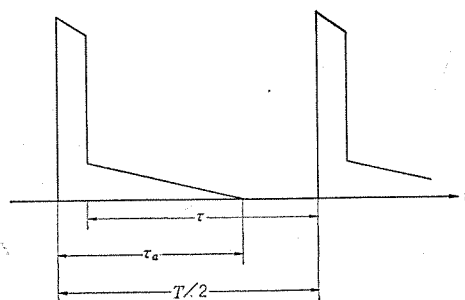


図 2.6  $v_{FP}$  の波形 (モード2)  
Wave form of  $v_{FP}$  (mode 2).

### 2. 2. 3 二相二重 AVF 界磁特性

界磁特性の理論解析を行なううえで次のような仮定を設けた。

仮定 1 : チョップ周期は回路の時定数と比べて十分に短い

仮定 2 : ダイオード等の順方向電圧降下およびインダクタンス・抵抗等の非線形性は無視し、線形とみなす

仮定 3 : モード 2 では、インダクタンス成分が十分に大きくて電流の脈流分が無視できる

理論式においては、 $i_f$ ,  $i_M$  の平均値をそれぞれ  $I_f$ ,  $I_M$  で表わし、また、式のパラメータとして式 (2. 8) で定義される分路率  $\gamma$  を使用する。

$$\gamma = \{R_f / (R_f + R_{FP})\} \times 100 (\%) \quad (2. 8)$$

(a) モード 1 の場合 (図 2. 5 (A))

式 (2. 5) より、

$$(T/2 - \tau)R_{FP}(I_M - I_f) = (T/2)R_f I_f$$

$$I_f / I_M = \left\{ \left( 1 - \frac{2\tau}{T} \right) (1 - \gamma) \right\} / \left\{ 1 - \frac{2\tau}{T} (1 - \gamma) \right\} \quad (2. 9)$$

(b) モード 2 の場合 (図 2. 5 (B))

式 (2. 6) より、

$$(T/2 - \tau)R_{FP}(I_M - I_f) + \tau(I_M/2 - I_f)R_{FP} = (T/2)R_f I_f$$

$$I_f / I_M = (1 - \gamma)(1 - \tau/T) \quad (2. 10)$$

(c) モード 3 の場合 (図 2. 5 (C))

式 (2. 7) より、

$$(T - \tau)R_{FP}(I_M/2 - I_f) = (T/2)R_f I_f$$

$$I_f / I_M = \{ (1 - \tau/T)(1 - \gamma) \} / \{ \gamma + 2(1 - \tau/T)(1 - \gamma) \} \quad (2. 11)$$

(d) モード 1 とモード 2 の境界の通流率

式 (2. 9) と式 (2. 10) を等しいとおくことにより、モード 1 とモード 2 の境界の通流率  $(\tau/T)_c$  が求められる。

$$(\tau/T)_c = (1 - 2\gamma) / \{ 2(1 - \gamma) \} \quad (2. 12)$$

以上のようにして求められた式 (2. 9), (2. 10), (2. 11), (2. 12) を用い、力行運転 ( $\gamma = 20\%$ ) と回生運転 ( $\gamma = 40\%$ ) での計算例を 6 章の図 6. 3 に示す。

### 3. 車両への適用

この AVF チョップ方式を採用した営団 8 号線車両の主な仕様は、次のとおりである。

架線電圧	DC 1,500 V
編 成	6 M 4 T
加速度	3.3 km/h/s
減速度	3.7 km/h/s
主電動機	150 kW

車両性能の詳細については別文の主電動機関係で説明することとし、図 3. 1, 3. 2 に力行・回生のノッチ曲線を示す。図 3. 2 からわかるように、回生ブレーキがフルに作用する初速は、満車状態のブレーキステップ最大で 65 km/h になり、千代田線車両の 53 km/h と比較して 12 km/h 上昇し、表定速度上昇にしたがって高速回生能力を増大させている。また、力行性能も向上しており、特に界磁制御が連続であるので、力行・回生ともに非常に円滑な運転特性が得られることになる。なお、車両性能を決定する、AVF 界磁分路率の最適値としては、力行 20%, 回生 40% を選定している。

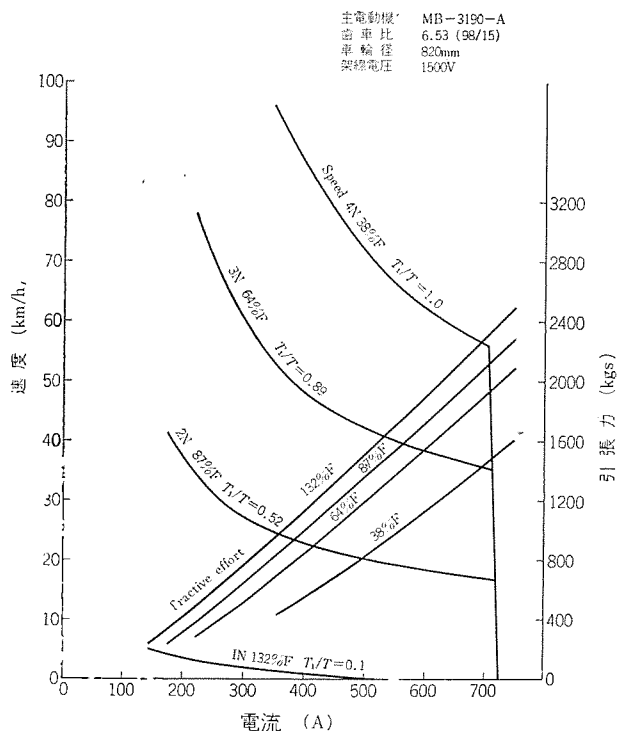


図 3. 1 ノッチ曲線 (力行)  
Notching curves (powering).

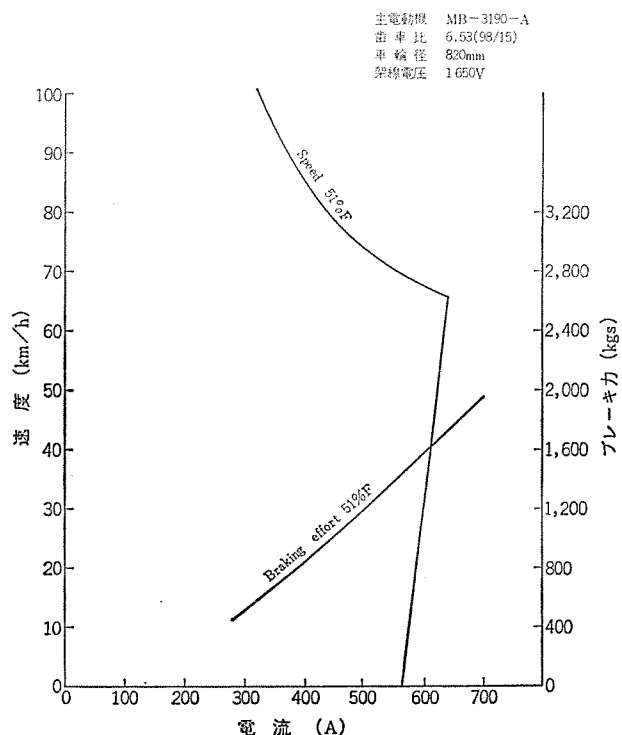


図 3. 2 ノッチ曲線 (回生ブレーキ)  
Notching curves (regenerative braking).

### 4. チョップ制御装置

#### 4. 1 主回路方式

図 2. 1, 図 2. 2 の基本回路に基づいた主回路つなぎを図 4. 1 に示す。この装置は営団千代田線量産車で実績のある結合リアクトル式二相二重チョップ方式にし、AVF 界磁巻線は変圧器起電力の影響を押えるために二相二重効果の出る回路位置にそう入して 8 個直列接続にしている。そして、AVF 界磁分路抵抗は、サイリスタ印加電圧や



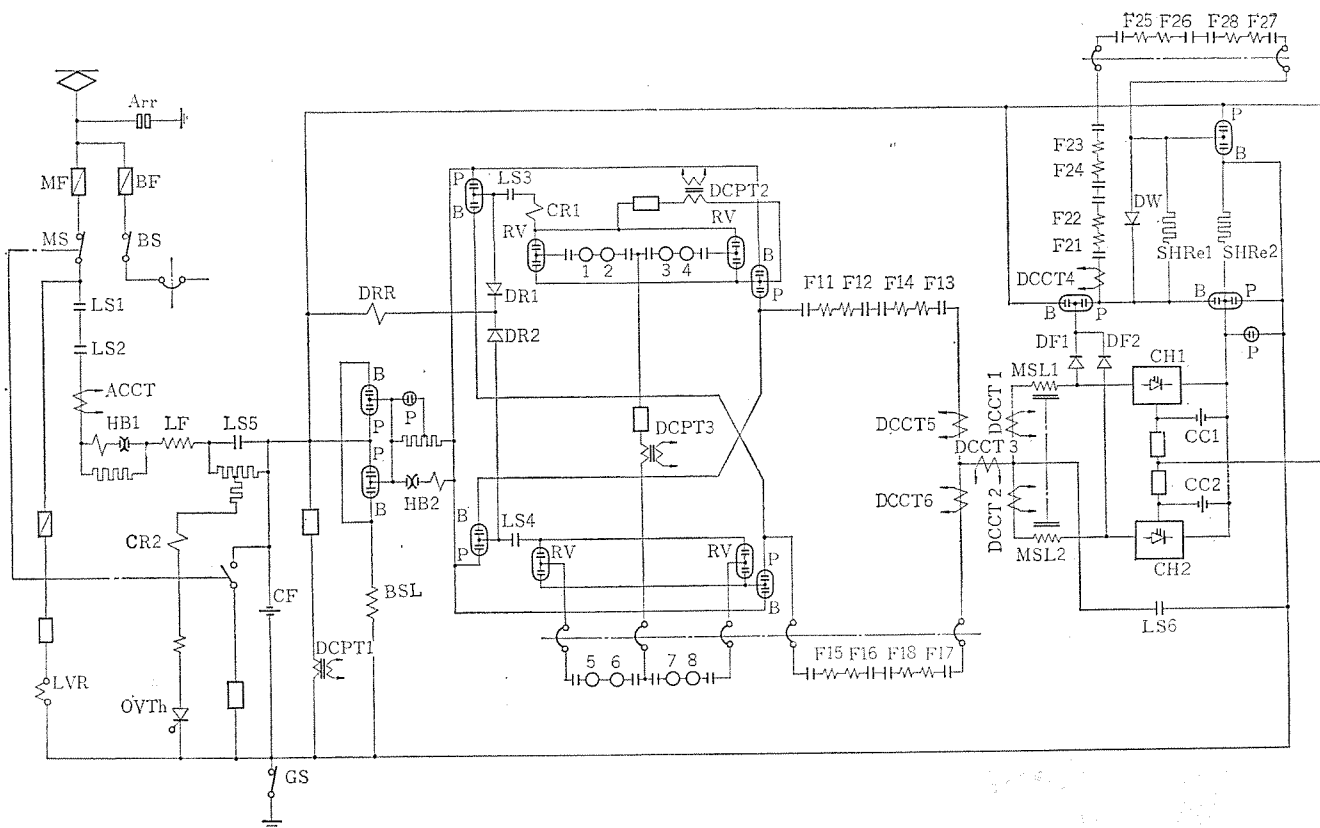


図 4.1 主回路つなぎ Schematic diagram of the power circuit.

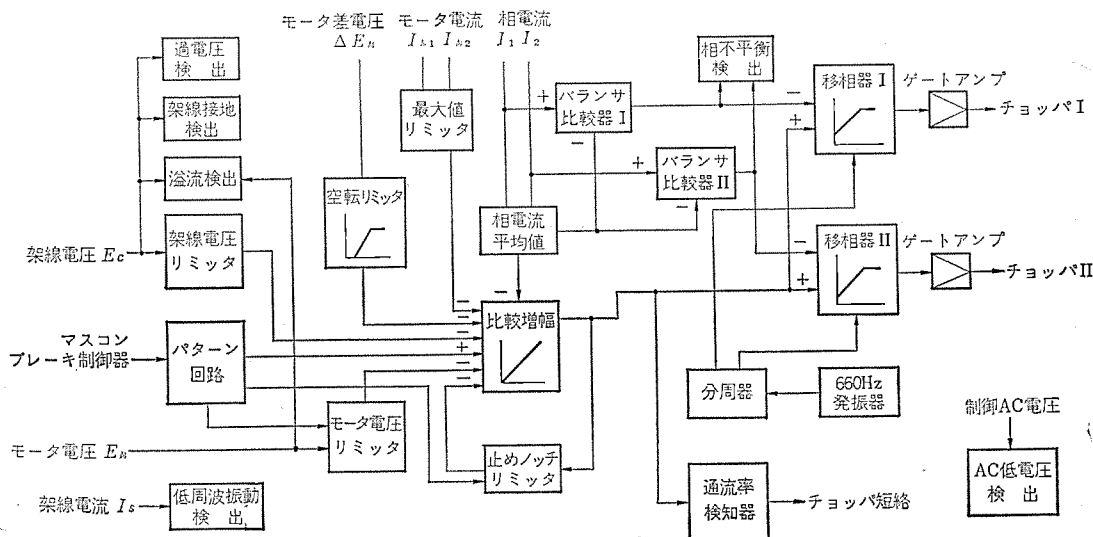


図 4.2 チョップガート制御回路ブロック図 Block diagram of the chopper control circuit.

主電動機変圧器起電力の抑制と、要求される車両性能から最適な分路率を決定しているのは前述のとおりで、その他、過電圧抑制装置などの保護機器は千代田線量産車に準じている。

#### 4.2 制御方式

チョップの合成周波数は660 Hzにし、他の制御方式もほぼ千代田線量産車に準じている。ただし、回生時には自動的に強め界磁制御になるので、定ブレーキ力制御になるように回生電流制御系で限流値を速度とともに低下させている。制御ブロック図を図4.2に示す。

#### 4.3 チョップ装置

主要要目を表4.1に示す。この装置では、チョップ用としては世界最大級の2,500 V 400 A、 $t_{off}=30 \mu s$ の逆導通サイリスタを使用しており、素子数・補助部品数の低減を図るとともに、装置の信頼度

を大幅に向上させている。また、素子数低減により、チョップ装置は大幅に小形・軽量になっている。構造については、さらに保守・点検の簡易化を図るため、次のような改良を行なって実用性を向上している。

- (1) エアフィルタの元素が短時間に交換できる構造にした。
- (2) サイリスタ・ダイオードスタックは、素子が簡単に交換できる一括締付構造を採用した。
- (3) サイリスタおよびダイオードのサージ吸収用コンデンサ・抵抗器は、同一部品を使用して予備品との交換を容易にした。
- (4) サイリスタ・ダイオードユニットは、千代田線と同様、4本のボルトで取付けと主回路接続ができる構造であるので、ユニットの着脱が容易である。

表 4.1 チョップ装置要目  
Particulars of chopper control device.

				8号線車両用	千代田線車両用 (二次量産車)
定 格	電 圧	電 流	方 式	DC 1,500 V 1,500 A (最大) 定周波平均値	DC 1,500 V 1,600 A (最大) 定周波平均値
相 素	周 波 数				二相二重 330 Hz
サイ リス タ 定 格	定 格 順 止 電 圧				2,500 V
	平 均 順 電 流				400 A/150 A
	臨 界 順 電 流 上 昇 率				300 A/ $\mu$ s
	臨 界 順 止 電 圧 上 昇 率				700 V/ $\mu$ s
タ ー ン オ フ 時 間				30 $\mu$ s	30 $\mu$ s
OVTh サイリスタ定格				2,500 V 400 A	2,500 V 400 A
ダイオード定格				3,000 V 800 A	3,000 V 800 A
素 子 構 成	主 サ イ リ ス タ				2S2P2A
	補 助 サ イ リ ス タ				2S2P2A
	フリーホイリングダイオード				2S1P2A
	A V F ダ イ オ ード				1S1P1A
	クランピングダイオード				2S1P2A
	OVTh サイリスタ				2S1P1A
冷 却 方 式				強制風冷式	
素 子 故 障 検 出				電圧比較式故障表示ランプ付き	
ゲ ー ト 制 御 部				IC演算増幅器式	

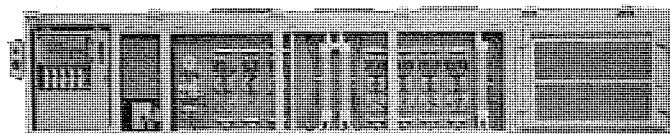


図 4.3 チョップ装置箱  
Chopper control box.

(5) ゲート制御回路箱は、本体より分離できる構造にし、さらに、電源回路部とゲート回路部とをユニット化して保守点検を容易にした。

(6) ゲート制御回路箱には試験専用の接栓を設け、自動試験装置で試験を行なうことができる。

(7) ゲート制御部は、高精度・高信頼性部品を使用して無調整化を図るとともに、各回路を標準化したので、予備品との交換が容易に行なえる。

(8) 風速リレーは点検容易な位置に設置した。

## 5. その他の主要機器

### 5.1 結合リアクトル

この AVF チョップ方式も二相二重方式であり、主平滑リアクトルとして千代田線車両と同様に二相結合リアクトルを採用した。千代田線車両ではオープンコア形にしたが、今回は空心形にし、チョップにとって適切なインダクタンスと結合率を得るように設計した。構造などについては、千代田線用と大差はない。結合リアクトルの要目は次のとおりである。

形 名	RT-2102-2
形 式	二相結合リアクトル (空心形)
冷却方式	乾式風冷式
定 格	5.5 mH 440 A (相当り)
重 量	230 kg

### 5.2 フィルタリアクトル・限流リアクトル

フィルタリアクトルは、チョップによる高調波電流成分が架線に流出するのを阻止するためにそう入されており、千代田線用と同様の性能・特性で、特に変わった点はない。

限流リアクトルは、回生ブレーキ中のチョップ転流失敗に対して事故

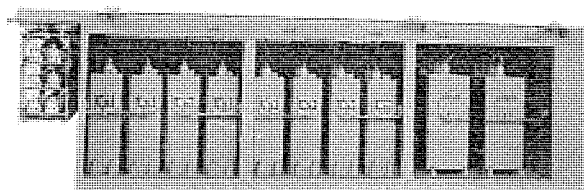


図 5.1 主コンデンサ箱  
Main condenser box.

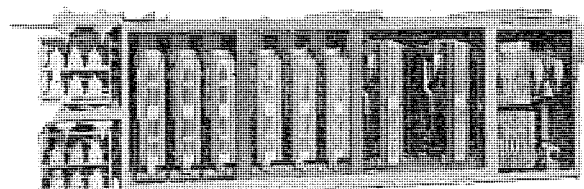


図 5.2 断流器箱  
Line switch box.



図 5.3 転換器箱  
Change-over switch box.

電流を抑制し、主電動機や他の機器を保護するためのものであり、仕様の上ではフィルタリアクトルとほとんど変わらず、今回は同一のものをを使用することにした。

フィルタリアクトル・限流リアクトルの要目は次のとおりである。

形 名	RT-2101
形 式	空心形リアクトル
冷却方式	乾式風冷式
定 格	8 mH 680 A
重 量	230 kg

### 5.3 制御機器

チョップ装置箱以外の制御機器としては、主コンデンサ箱・断流器箱・転換器箱があるが、AVF 方式による回路の簡素化、および 2,500 V サイリスタ使用による素子数低減などにより、リアクトル類を含む制御装置総重量は、制御容量増大にもかかわらず、千代田線一次量産車の 90% になり、10両1編成当りで 8M2T 編成カム式制御装置と同等以下にすることができた。

## 6. 試験結果

この AVF チョップ方式を開発するに当たっては、モデルセットおよび現車と等価な容量を持った装置で工場基礎試験を行ない、その特性を確認するとともに、8号線量産形装置一式を先行製作し、千代田線において現車試験を行なった結果、満足すべき性能が得られた。

### 6.1 定常運転特性

図 6.1 に力行、図 6.2 に回生ブレーキの走行試験オシログラムを示すように、力行・回生ともに各運転扱いに対して非常に円滑な加・減速特性が得られている。特に、回生では、弱界磁回生から連続的に界磁を制御できるので、従来方式以上に安定な制御特性が得られており、高速回生性能も所期の仕様を満足することが確認された。また、起動時にも、AVF 回路があるので、従来方式より起動突入電流が小さくなり、非常に円滑な起動特性が得られている。

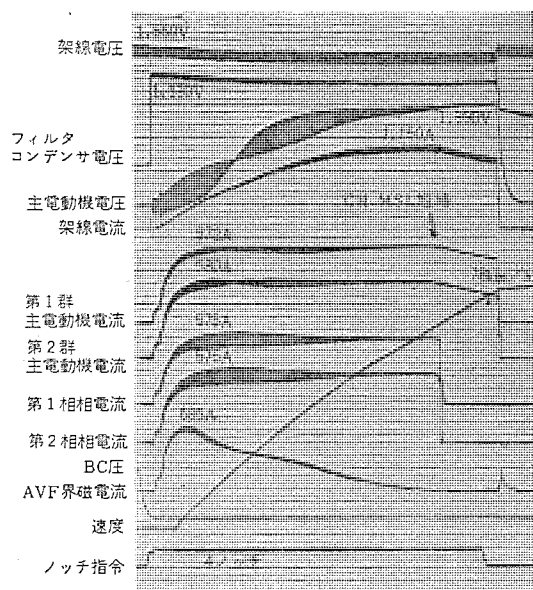


図 6.1 現車走行試験 オシログラム (力行)  
Oscillogram of the chopper controlled car at trial run (powering).

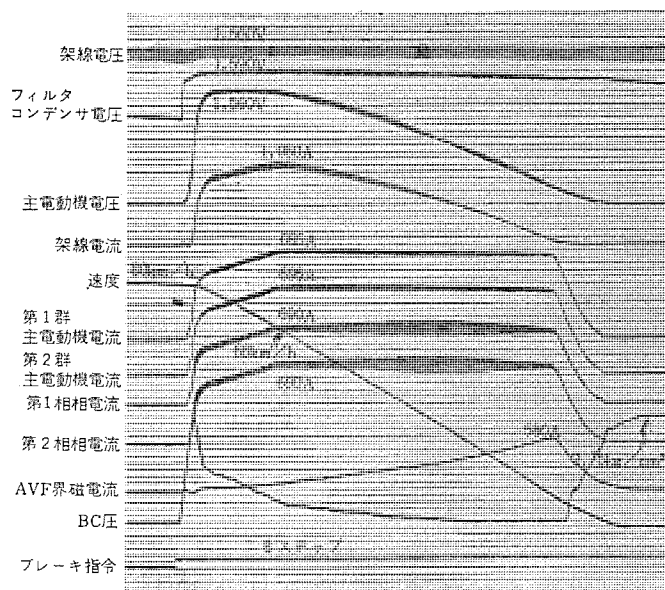


図 6.2 現車走行試験 オシログラム (回生ブレーキ)  
Oscillogram of the chopper controlled car at trial run (regenerative braking).

## 6.2 特殊試験

従来のチョップ車と同様に、空転・無負荷回生・回生負荷変動・回生負荷シャ断・停電などの特殊試験を実施したが、いずれも良好な結果が得られている。さらに、この AVF 方式に対して、サイリスタ印加電圧測定や主電動機変圧器起電力測定および整流状態観測を行なったが、すべて実用上まったく問題のない値であった。

## 6.3 界磁特性

車両性能を決定する通流率—界磁率特性は、図 6.3 に示すように、

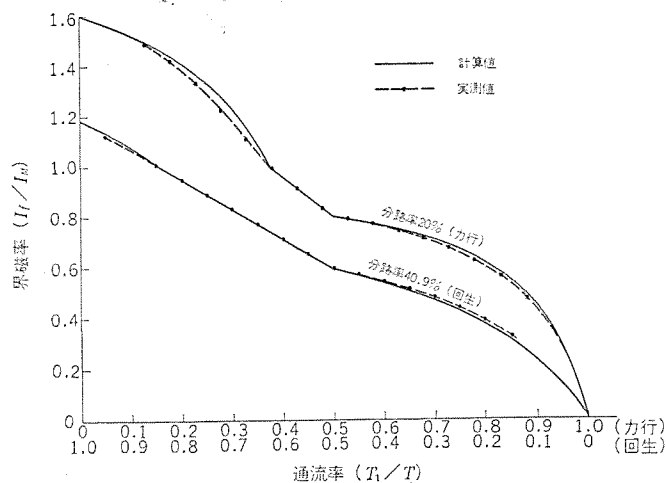


図 6.3 通流率—界磁率特性  
Characteristics of field intensity to chopper conduction ratio.

2.2 節で述べた、計算機による解析計算値と実測値とがよく一致しており、車両性能も所期の仕様を十分に満足しているのはもちろん、今後の車両計画にもこの AVF 方式を容易に応用できることが確認された。

## 7. む す び

以上に述べた AVF チョップ方式は、現車試験において所期の車両性能を満足することが確認され、現在、8号線量産車用装置を多数製作中である。

この量産形実用機を製作するに当たり、千代田線量産車の実績を基に、実用性をさらに高めるように配慮し、特にゲート制御回路内の無調整化を行なって、試験の合理化と信頼度向上を図っている。さらに、各機器については、従来の A-A 基準による不燃化対策をいっそう強化し、材質の選定や不燃化構造の設計に考慮をはらっている。

また、この AVF 方式は、自動的に界磁率が変わられて歯車比が連続的に変わるような特性を持っているので、地下区間で必要な高加減速特性と、地上区間で要求される高速特性を兼ね備えたチョップ制御電車として、その高い性能と信頼性が期待される。そして、この実用結果を見守り、今までのフィールドデータとともに、今後のよりいっそうの実用化研究に役立てたいと考えている。

最後に、この AVF チョップ制御装置を開発ならびに設計・製作および試験するに当たり、終始多大なご指導をいただいた帝都高速度交通営団関係者のかたがたに深く感謝するしだいである。

(昭和 48-7-6 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 北岡ほか：三菱電機技報，45，No. 8，1,028 (昭 46)
- (2) 北岡ほか：三菱電機技報，45，No. 2，237 (昭 46)
- (3) 甲木ほか：電気学会電気鉄道研究会資料，RT-72-6 (昭 47)

# 帝都高速度交通営団向け 8 号線車両用 主電動機・駆動装置および車両性能

古田 俊久\*・重浦 淳一\*

## Traction Motors, Driving Equipment and Train Performance of AVF Chopper Car for TRTA Line No. 8

Itami Works Yasuhisa Furuta・Junichi Shigeura

For use on chopper cars to run on the line No. 8 of the Teito Rapid Transit Authority, Mitsubishi has built 150 kW traction motors of the largest capacity for a narrow gauge track and new type WN driving equipment for them. Having two kinds of field coils, the traction motor operates in such a manner that, when combined with "AVF chopper", it runs with gradually reduced field current as the speed rises during the power running and regenerating condition, and effecting stepless, smooth acceleration and deceleration. Also its high speed regenerative ability increases by means of weak field braking. The new type WN driving equipment has been developed specially to mount such large capacity traction motors on narrow gauge trucks. With a WN coupling of their type in use, the axial dimension is reduced by 10%.

### 1. ま え が き

直流チョップ制御電車は、ここ数年来実用化が進み、営団千代田線ではすでに2年以上、量産車の営業運転が行なわれている。チョップ車の持っている電力消費の節減、発熱量が小さい、主抵抗器のような大きな発熱体がなく火災の危険性が小さい、メンテナンスフリー等の特長は、トンネル内で各駅停止運転を行なうことを常とする地下鉄に特に適合しており、現在、新設路線で計画されている車両はほとんどチョップ車になっている。また、地下鉄以外の路線でも一部ではチョップ車が採用され、チョップ化の検討が行なわれている。

このような時期にあたり、今回、営団8号線車両を対象にして

- (1) 回生能力の増大
- (2) 電力消費の節減
- (3) 力行性能・表定速度の向上
- (4) 装置の高信頼度化

を目的とした AVF (自動可変界磁) チョップ装置、直流直巻分割界磁制御式主電動機および新方式 WN 駆動装置を営団のご指導によって開発した。これらのうちの車両性能、主電動機および駆動装置についてその内容と試験結果を報告する。

### 2. AVF チョップ方式

#### 2.1 AVF チョップ方式開発のいきさつ

チョップ制御の原理的な特長として、一般に次のような点をあげることができる。

- (1) 主電動機に印加される電圧を無接点の回路で自在に制御できる。
- (2) したがって抵抗器損失がない。
- (3) 回生能力がある。

このような特長を生かすために従来のチョップ車、たとえば、千代田線のチョップ車では定格速度の高い大容量の主電動機を用い、加減速電流を大きくとって力行・回生性能を実用上に十分なものとして弱界磁制御は力行1段 (52% F) のみにとどめている。ここで、

「まえがき」で述べたような車両性能向上を計画する場合、従来のシステムを踏襲してさらに容量を増大することも可能ではあるが、次のような問題点がでてくる。

(1) 千代田線のチョップ車では 400 A の標準サイリスタ素子を相当り 2P に接続した二相チョップ制御装置を使用している。この場合、制御電流は 700 A/相を大幅に越えないようにする必要があり、現在以上に容量を増大すると、素子数を1ランク多くしなければならない。

(2) 電流容量を増大すると、リアクトル等の機器の所要スペースが大きくなり、1車に装備することが困難になる。

このような問題点を一挙に解決するため、電圧制御だけでなく弱界磁制御をも自動的に行なうことができるチョップ制御方式——AVF チョップ方式——が開発された。

#### 2.2 原理と車両性能上の特長

AVF チョップ方式の原理の詳細については、別稿のチョップ制御装置編に譲り、ここでは力行回路 (図 2. 1) と車両性能 (図 2. 2, 3. 1) との関係について述べる。

図 2. 1 に示すように主電動機界磁コイルは、直巻 ( $F_{11} \sim F_{18}$ ) および可変界磁 ( $F_{21} \sim F_{28}$ ) に分割され、和動的に結合されている。可変界磁コイル電流は速度上昇、すなわち通流率の増大にしたがって自動的に減少して弱界磁になり、最終界磁では直巻のみになる。可変界磁コイルは二相二重のチョップ回路にそう入し、また、並列に

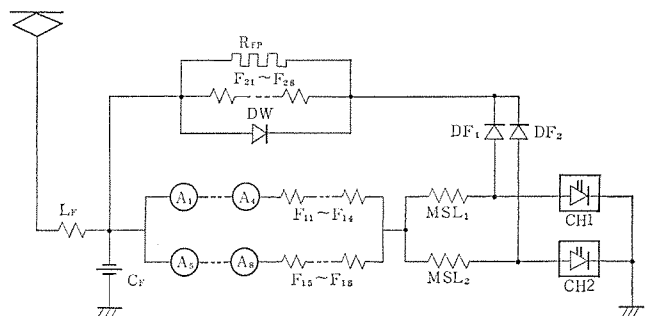


図 2. 1 力行主回路  
Power circuit of powering.



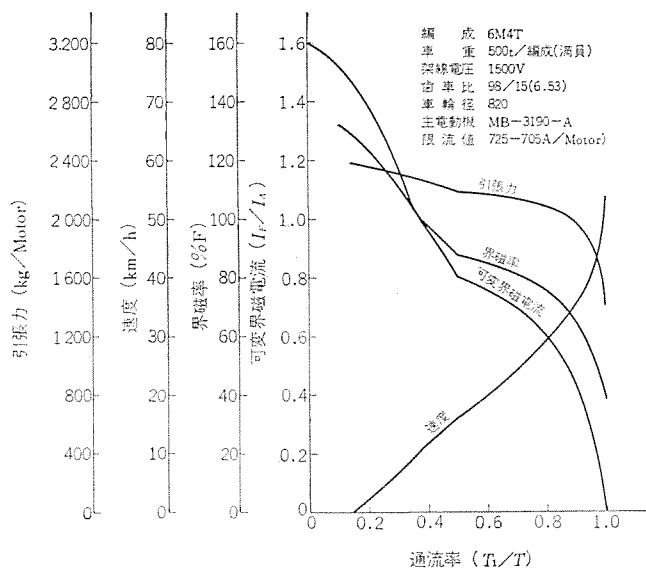


図 2.2 通流率—力行特性曲線  
 Characteristics of tractive effort vs. chopper conduction ratio

抵抗分路を行なって電圧・電流の脈動を従来のチョップ回路の場合と同程度の値に押え、変圧器起電力等による問題のないものにしていく。なお、界磁コイルを分割しないで直巻をやめ、可変界磁コイルだけにすることも考えられるが、この場合には最弱界磁でも通流率を100%にできない、すなわち電圧の利用率が悪いことや、並列回路間の電流バランスがとりにくいことなどの問題点があり、鉄道車両用としては今回の方式が最適と思われる。

図 2.2 は、通流率と可変界磁コイル電流・弱界磁率・速度・引張力の関係を示す。これらの値は、分路率と関連し、分路率を小さくするほど引張力は大きくなるが、反面、電圧・電流の脈動が増加するので、適当な値として力行時に20%の分路率を選んでいる。なお、界磁率は、通常の直巻機と同様に、界磁コイル電流が電機子コイル電流と等しい状態を100%Fにし、界磁コイルの全起磁力の値によって界磁率を定義している。

図 3.1 は力行パフォーマンスを示す。

### 2.3 回生能力の向上、主電動機負荷

AVF チョップ方式では、力行の場合と同様に、回生でも容易に弱界磁ブレーキを利用することができ、回生能力を向上し、全回生初速を高くすることができる。もちろん、従来方式でも弱界磁ブレーキにすることは可能であるが、回生初速を高くしただけブレーキ限流値を大きくしなければならないことは当然のこととしても、途中での界磁率切換が困難なため、低速に至るまで同一電流を保つことになり、主電動機等の機器の負荷が増加する傾向があった。この点、AVF チョップ方式では、低速になるに従って自動的に界磁が強まり、主電動機トルクが増加するので、減速度一定の場合に限流値を下げることでできて機器容量の面で有利なものになっている。

## 3. 車両性能

### 3.1 諸元

8号線 チョップ制御電車の諸元は次のとおりである。

編 成	6M4T
自 重	300 t/編成
荷 重	定員：80 t/編成，満員：200 t/編成
軌 間	1,067 mm

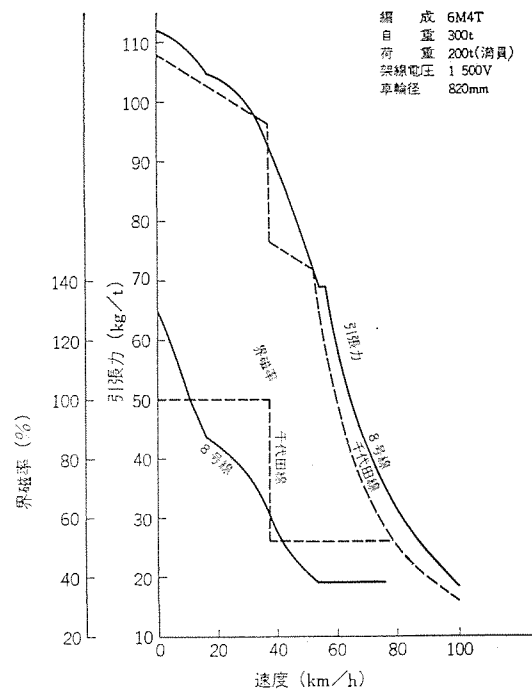


図 3.1 電車性能曲線(力行)  
 Performance curves.

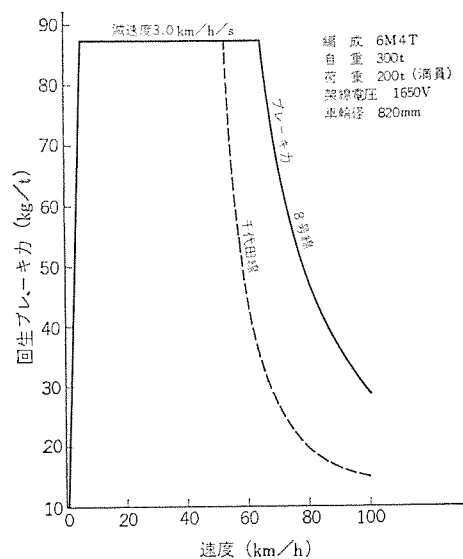


図 3.2 回生ブレーキ特性  
 Regenerative braking performance curves

車輪径	860 mm (新製)
架線電圧	1,500 V DC
最高速度	100 km/h
出 力	1 時間定格 3,600 kW (150 kW 主電動機×24台)
加速度	3.3 km/h/s
減速度	3.7 km/h/s (常用最大)

### 3.2 力行

速度—引張力・界磁率曲線(満員)を図 3.1 に示す。可変界磁コイルの分路率は20%である。引張力曲線は連続的で、なめらかな加速を示す。力行限流値は、電動機ごとに715 Aで、千代田線車両より小さな値であるが、加速力はいっそうすぐれている。また、界磁弱め率が大きいので、特に高速性能が良い。

### 3.3 回生

速度—回生ブレーキ力曲線(満員)を図 3.2 に示す。可変界磁コ

イル分路率が40%，全回生初速が65 km/hである。限流値は、最大640 A/電動機で、低速ではより小さな値になる。

### 3. 4 電力消費

8号線では表定速度が高く、ブレーキ初速も高いので、3.3節のような回生初速の向上が有効であり回生電力量が大幅に増加する。また主電動機、リアクトル等機器電力損失の小さい設計とし、全体として消費の小さい車両とした。

## 4. 主電動機および駆動装置

8号線車両の諸条件は、千代田線の場合とほぼ同一であるが、スピードアップ、回生能力の向上を図っているので、従来の狭軌用主電動機では負荷能力が不足することが判明した。このため、主電動機と駆動装置の協調開発を行ない、薄形カップリングを採用して主電動機スペースを拡大し、主電動機絶縁システムを改良して負荷能力の大きな新シリーズの駆動ユニットを開発した。

### 4. 1 主電動機

#### 4. 1. 1 要 目

形 名	MB-3190-A
方 式	直流直巻補極付き分割界磁制御式
1時間定格	150 kW, 375 V, 440 A, 2,100 rpm, 80 % F
最弱界磁率	38 %
高速試験速度	5,300 rpm
主極巻線	可変界磁巻線 13ターン、永久分路付き 直巻巻線 8ターン
重 量	750 kg
外観写真	図 4. 1
特性曲線	図 4. 2
断面図	図 4. 3

#### 4. 1. 2 特 長

##### (1) 狭軌用主電動機の負荷能力の向上

新形式駆動装置を採用したので、電機子鉄心の軸方向寸法を16 %大きくすることが可能になり、これによって主電動機負荷能力が向上した。

##### (2) 新絶縁システム

ポリイミドフィルム（デュポン社商品名 KAPTON）を主体とした絶縁システムにし、容量の増大、耐熱性・信頼性の向上を図った。

##### (3) 自動可変界磁チョップ制御車電動機

架線電圧1,500 Vのチョップ制御電車用として狭軌用では最大の能力を持ち、自動可変界磁チョップ制御装置と協調してすぐれた車両性能を発揮する。

##### (4) 電力消費の低減

新絶縁システムを採用したので、導体寸法を増して抵抗損失をできるだけ小さく押えた。このような機器損失の減少、および回生能力の増大によって車両の電力消費を小さくした。

### 4. 2 駆動装置

WN駆動装置は、昭和28年に営団地下鉄丸の内線に採用いただいて以来すでに20年を経過した。この間、当社では各種の改良を加え、性能向上・メンテナンスフリーへの努力を続けており、全くいってもよいほどメンテナンスに手間がかからないものになっている。しかし、これも取扱いなどの面から互換性を保った範囲内での改良であったが、今回、8号線車両用電機品の製作にあたり営団のご協力によって当社の持てる技術を結集した新形式WN駆動装置を製

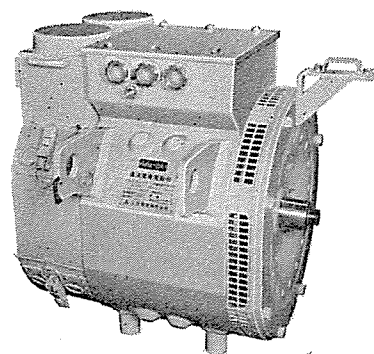


図 4. 1 MB-3190-A<sup>3</sup>形 主電動機  
Type MB-3190-A traction motor.

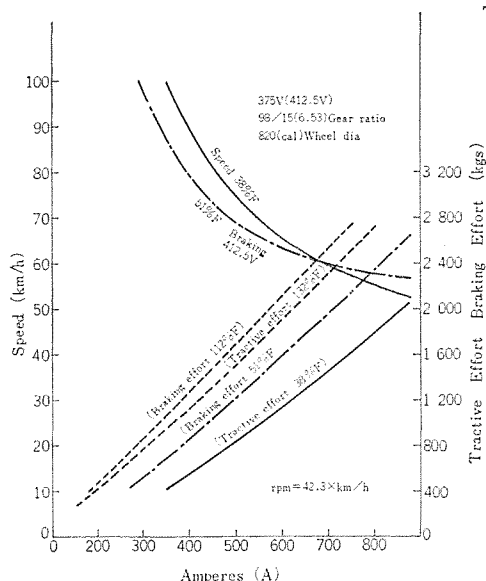


図 4. 2 主電動機特性曲線  
Characteristic curves of traction motor.

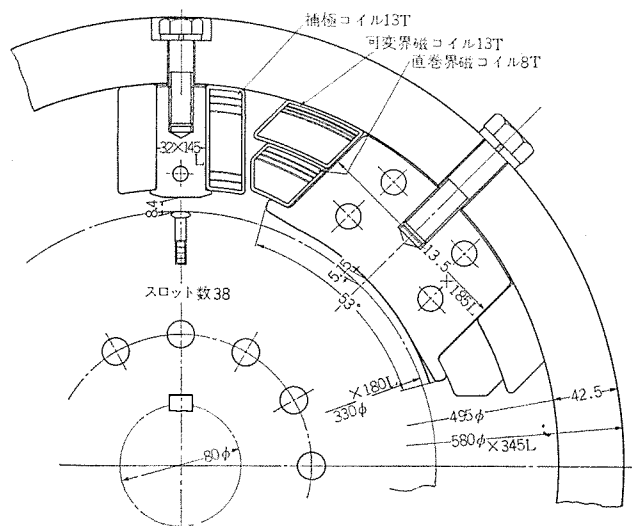


図 4. 3 主電動機縦断面図  
Longitudinal section of traction motor.

作することができた。

本駆動装置は、従来の同クラスの駆動装置と比較して全幅を約10 %短縮でき、これが、電動機の軸方向寸法を増すことに結びついて狭軌電車用としては記録的な大出力主電動機を積載することが可能になった。

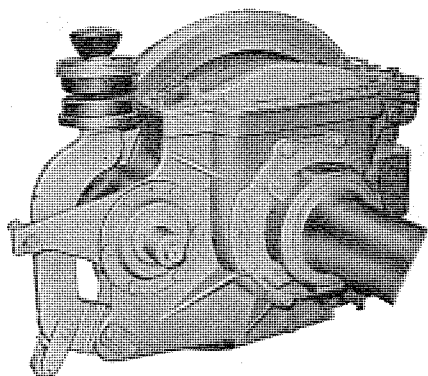


図 4.4 WN-1300-AM 形 ギヤユニット  
Type WN-1300-AM gear unit.

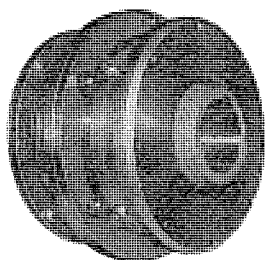


図 4.5 WN-2300-FR<sub>3</sub> 形 ギヤカプリング  
Type WN-2300-FR<sub>3</sub> gear coupling.

#### 4.2.1 要 目

ギヤユニット 形名	WN-1300-AM
歯車比	98/15=6.53
ギヤカプリング 形名	WN-2300-FR <sub>3</sub>
外観写真	図 4.4, 4.5

#### 4.2.2 特 長

##### (1) 薄形 カプリング

2 段 クラウニングの採用, ギヤケースつり装置の改良によって変位が減少し, 軸方向寸法を小さくすることができた。

##### (2) 垂直つり アーム 形 ギヤケースつり装置

球面 プッシュ と ゴムクッション とを併用した, 当社独特の垂直つりアーム 形 ギヤケースつり装置を開発したので, ギヤカプリングの上下方向の変位が小さくなった。

##### (3) メンテナンスフリー

油密構造を改良したので, 途中で給油する必要がなくなった。また, センタリング用に軸端ナット埋込式 ゴムクッションを使用していることは, 千代田線の場合と同じで, 高回転時でもきわめて静しゅくで, 振動の少ないものになっている。

### 5. 試 験 結 果

温度試験の結果は表 5.1 のとおりである。可変界磁コイルの脈流

表 5.1 主電動機温度試験結果  
Temperature test result of traction motor.

試 験 条 件	375 V, 440 A, 80 % F 1 時間	375 V, 425 A, 80 % F 連続
電機子コイル	98	101.5
直 巻 コ イ ル	70	76.5
可変界磁コイル	56	62
補 極 コ イ ル	74	85.5
整 流 子	74	80.5
周 囲 温 度	13	16

単位 deg. C (°C)

率は最大 5 % 程度であり, 変圧器起電力の値も従来方式の場合と比較して大差のない値であった。また現車試験による整流観測・振動測定でも良好な結果を得た。

### 6. む す び

最近のチョッパ車は地下鉄相互乗り入れ, 地上運転を行なうことが多く,

- (1) 高速度性能 (地上運転), 高加減速性能 (地下運転)
- (2) 高回生能力
- (3) 定速運転, その他の自動運転

等の性能が要求される。AVF チョッパ方式は電圧制御性能だけでなく, 弱界磁制御性能も合わせ持つ新しいチョッパ制御方式であり, この特性を十分に利用して上記目的に適合した性能を発揮し, かつ機器容量の増大を最小限にとどめることができる。また弱界磁スイッチを使用しないので定速運転など速度制御を行なう場合も有利であり, すぐれた性能と実用性を兼ね備えた AVF チョッパ方式は今後多くの用途を持つものと期待される。従来の技術に今回のデータを加え, 各方面の要望にこたえるようチョッパ技術, 主電動機, 駆動装置のよりいっそうのレベルアップ, 信頼性の向上, 実用化に努力をはらいたい。

最後にこの AVF チョッパ制御車用電機品を開発, 設計, 製作, 試験するにあたって多大なご指導, ご協力をいただいた帝都高速度交通営団をはじめとする関係各位のかたがたに厚く感謝の意を表する次第である。

(昭和 48-7-10 受付)

### 参 考 文 献

- (1) 北岡ほか: 三菱電機技報, 45, No. 8, 1,028 (昭 46)
- (2) 甲木ほか: 電気学会電気鉄道研究会資料, RT-72-6
- (3) 浅越, 久山: 三菱電機技報, 42, No. 11, 1,416 (昭 43)
- (4) 重浦, 古田: 三菱電機技報, 44, No. 2, 232 (昭 45)

# 車両冷房用電動発電機

東 捷敏\*・田 原 先\*・高橋 啓一\*

## Motor-Generators for Air Conditioning of Cars

Itami Works Katsutoshi Higashi・Susumu Tahara・Keiichi Takahashi

For the improvement of service to railroad passengers, it has become a general trend to air-condition commuters coaches as well as special vehicles such as long distance express and dining cars. The cooling of the commuter's train needs a large working capacity for each coach from the viewpoint of the carbody construction and operation. In general about 30~40 kVA is required for one car. Taking into consideration on the source for lighting and control, Mitsubishi supplies standard motor-generators ranging 75 kVA, 120 kVA and 160 kVA in capacity. The machines for the purposes are demanded to be of lightweight, maintenance free and high reliability. Those developed by Mitsubishi meet these requisites successfully.

### 1. ま え が き

近年の鉄道車両における乗客サービスの向上から、遠距離特急車や食堂車などの特定車両のみならず、通勤車両においても広く車両冷房が採用されるようになってきた。

通勤車両の冷房は、その車体構造や運用から一両当りの冷房容量が大きく、さらに保全の面から電源としての電動発電機は集中化され、大容量化されてきた。当社では、大容量車両冷房用電動発電機の小形・軽量化を図る一方、照明電源や制御電源としても十分に、

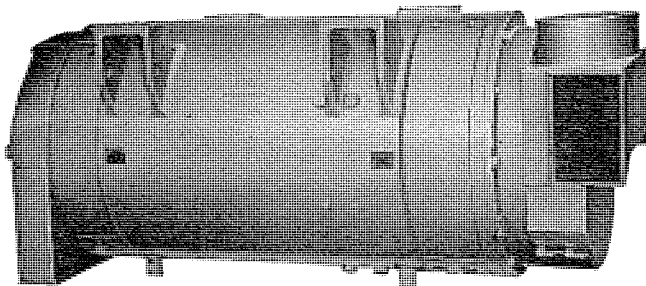


図 1.1 MG-119 A-S 形電動発電機  
Type MG-119 A-S motor-generator.

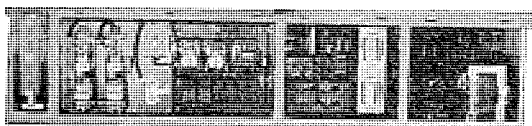


図 1.2 制御器箱  
Controller box.

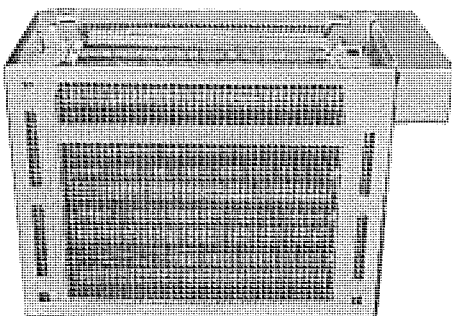


図 1.3 抵抗器箱  
Resistor box.

安定な信頼性の高いものにし、標準シリーズ化して客先の要求に答えている。ここにその概要を紹介する。

### 2. 標準電動発電機

#### 2.1 電動発電機の容量の考え方

##### (1) 発電機の容量

車両冷房用電動発電機に負荷されるものは、クーラ用圧縮電動機（誘導電動機）が主なものになるが、その他に照明電源・制御電源・バッテリー充電などがある。発電機容量を決定するときに考慮すべきことは、主な負荷であるクーラの効率が周囲温度によって影響されることであり、超過負荷状態（炎天下に車両がさらされているときに冷房を開始するような場合）では、通常状態よりも 20% 程度多くの電力を要する。発電機容量は、超過負荷におけるユニットクーラの必要電力に他の負荷（照明や制御電源など）を考慮して計算される。発電機の容量で、いま一つ考慮すべきは、一度に投入される負荷が発電機容量に対して大きいことである。低力率で、しかも定常時の数倍にも及ぶクーラ負荷の突入電流により、瞬時ではあるが、発電機出力電圧が落ち込み、制御器に悪影響を与えることもありうる。この対策としては、ユニットクーラの投入を、いくつかのグループに分けて順次投入を行なうようにしている。

##### (2) 電動機の容量

電動機の容量は、発電機出力に効率を考慮して決定されるが、広範囲の架線電圧変動に対しても十分な、熱的容量を有しなければならない。電動機の入力電圧（V）と電流（I）との関係は、次の式で示される。

$$VI = I^2 R + W + P$$

ただし、R……電動機電機子回路抵抗

W…… $I^2 R$  以外の損失

P……発電機出力

この式は、入力電圧が小さいと、電流は増大することを示しており、架線電圧の低いところで長時間運転を行なうときには、電動機にとって熱的にシビアな条件になることを示している。この点も考慮して電動機は 1,250 V~1,650 V では連続運転が可能ないように設計されている。

#### 2.2 標準電動発電機仕様

表 2.1 に標準電動発電機の仕様を示す。



表 2.1 車両冷房用電動発電機の仕様  
Principal data of motor-generator for air conditioning of cars.

形 名	電 動 機 側					発 電 機 側				
	入力 kW	電 圧 V	電 流 A	回転数 rpm	界磁方式	出力 kVA	電 圧 V	電 流 A	周波数 Hz	相 数
MG-111-S	85	1,500	56.7	1,800	複 巻	75	200	216	60	3 φ
MG-123-S	105	1,500	70	1,800	複 巻	100	200	288	60	3 φ
MG-114 A-S	125	1,500	84	1,800	複 巻	120	200	346	60	3 φ
MG-124-S	145	1,500	97	1,800	複 巻	140	200	404	60	3 φ
MG-119 A-S	165	1,500	110	1,800	複 巻	160	200	462	60	3 φ

注) 1: 発電機出力電圧は 440 V も標準である。  
2: MG-123-S, MG-124-S は標準機種である。

### 3. 電動発電機の制御方式と特性

#### 3.1 周波数(回転数)制御

周波数を一定に保つためには、電動機の回転数を一定に制御しなければならない。電動機の速度は、負荷の大きさ、入力電圧によって変化するので、複巻式電動機を標準にしている当社の電動発電機では、電動機の主極コイルは分巻コイル・直巻コイルのほかに調整コイルを有して、調整コイルの起磁力を加減して速度を制御している。分巻コイルと直巻コイルとで作られる起磁力に対して調整コイル起磁力を順方向に働かせるか、逆方向に働かせるか、それとも両方あわせもったものにするかによって、和動式・差動式・プッシュプル式の3種類の方式がある。図 3.1 は、プッシュプル式の例であるが、図において全負荷では  $V_1$  以上で、無負荷では  $V_2$  以上では調整コイルを和動にし、逆に入力電圧が低いときには調整コイルを差動にする。大容量電動発電機では、調整コイルは、和動コイル・差動コイルを別個に有している。

#### 3.2 電圧制御

図 3.2 は負荷状態における発電機界磁の起磁力 (AT) をベクトルで示したものである。一定電圧を得るためには、無負荷 AT (空けき(隙)に要する AT と磁路に要する AT の和)と電機子反作用 AT (減磁 AT)とのベクトル和、すなわち図では  $\overline{OB}$  の大きさの AT を界磁に与えなければならない。 $\overline{OB}$  は負荷の大きさと力率角によって変動するから、一定電圧を得るためには、 $\overline{OB}$  が、要求される大きさになるように、発電機界磁電流を制御する。

#### 3.3 電動発電機の特 性

##### (a) 出力特性

図 3.3 に出力特性を示す。出力電圧、周波数ともに入力電圧変動および負荷変動に対して変動が若干認められる。

##### (b) 起動特性

図 3.4 (a) に起動特性を示す。電動発電機は、無負荷起動または軽負荷起動であるが、架線電圧による直接起動では電動機に過大な突入電流が流れるので、電動機の電機子回路に起動抵抗をそう入し、起動後にはそれを順次短絡する限時3段起動を採用している。

起動時の周波数・電圧の立ちあがりにはスムーズであり、オーバシュート (over shoot) もほとんど見られない。

##### (c) 架線電圧急昇

図 3.4 (b) に架線電圧急昇時の過渡特性を示す。架線電圧急昇時には電動機に突入電流が流れるが、これを小さくするために電機子回路には永久直列抵抗をそう入している。電圧急昇時には若干の周波数変動はあるが、出力電圧はほとんど変化しない。

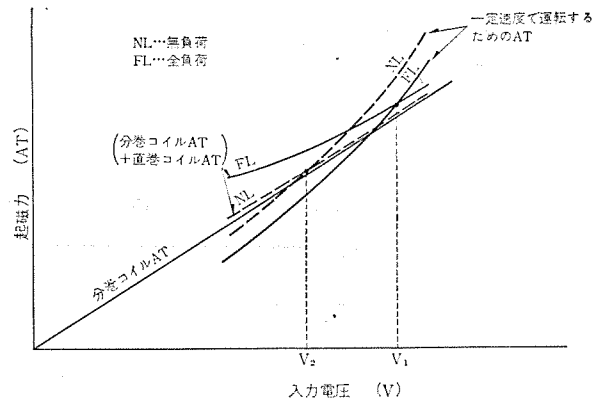


図 3.1 電動機の入力電圧と起磁力  
Electro-magnetic force vs. input voltage of motor.

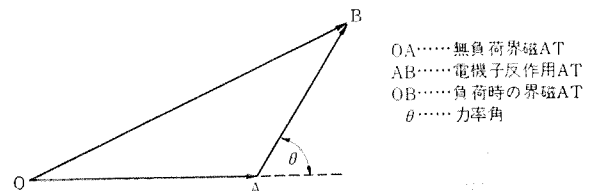


図 3.2 発電機起磁力のベクトル図  
Vector diagram of electro-magnetic force of generator.

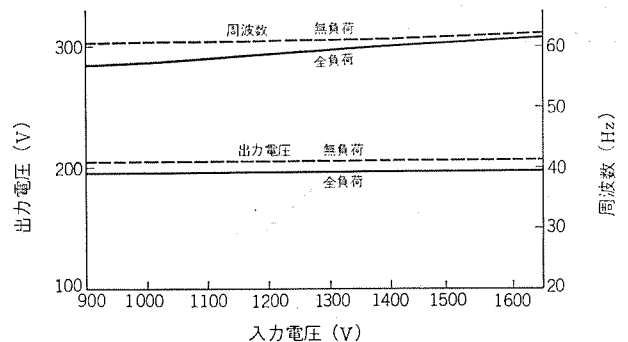


図 3.3 160 kVA 電動発電機の出力特性  
Output characteristics of 160 kVA motor-generator.

##### (d) 負荷急変

図 3.4 (c) は、現車において、実際にユニットクーラと組み合わせたとときの特性を示す。実際のユニットクーラは、いくつかのグループに分けて投入され、圧縮電動機も短時間で定常運転になるので、出力電圧降下も小さい。

### 4. 電動発電機本体

#### 4.1 特 長

##### (1) 小形・軽量

F 種絶縁を採用し、耐熱性合成絶縁材料を基材にした絶縁構成に

160 kVA 電動発電機 1,500 V 無負荷起動

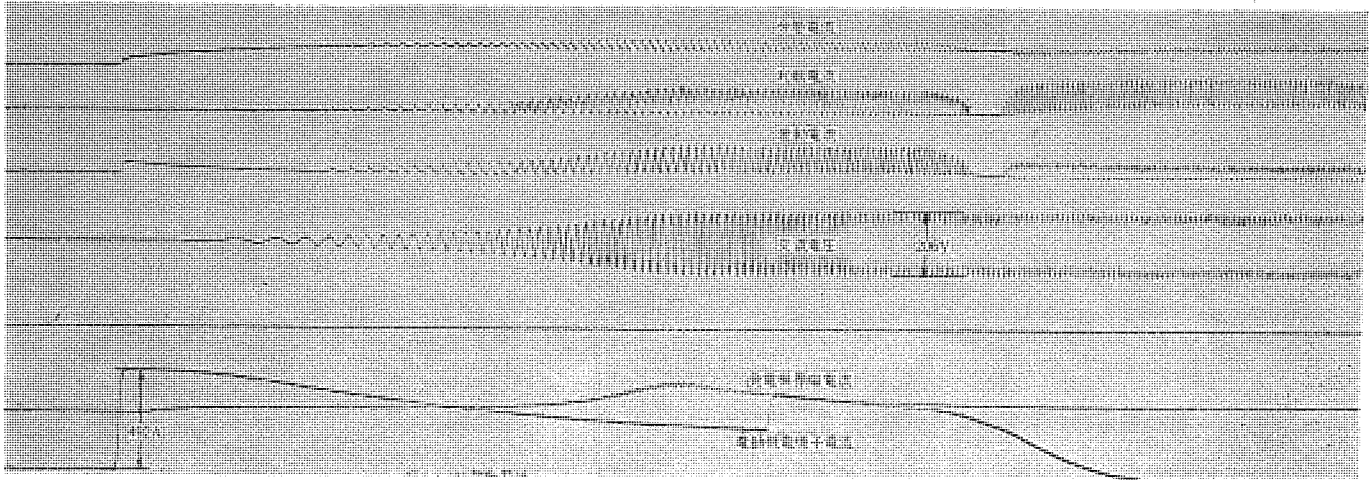


図 3.4 (a) 起 動 特 性 Starting characteristics.

160 kVA 電動発電機 900 V から 1,650 V への電圧急変

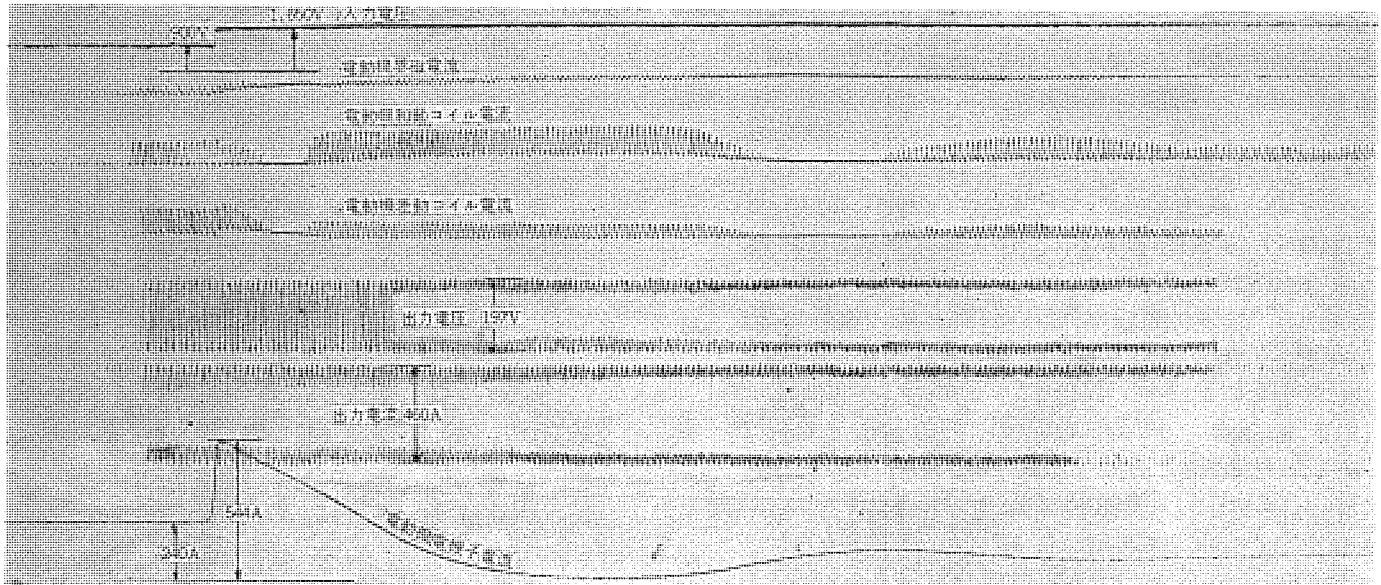


図 3.4 (b) 電圧急変時の特性 Characteristics on sudden change of supply voltage.



図 3.4 (c) 負荷急変時の特性 Characteristics on sudden load change.

よって導体の占積率を高くし、小形化を図っている。

(2) すぐれた出力波形

発電機側界磁は、円筒形回転界磁で分布巻きとしているので、磁束分布が正弦波に近く、すぐれた出力波形が得られる。

(3) 無保全化と保全復帰の延長

密封構造軸受箱、目づまりの少ないエアストレーナ、ブラシの長尺化、

ライザ部への TIG 溶接の採用、ガラスバインドの採用、エポキシワニスによる真空含浸処理などの諸技術が採用されている。

(4) 低騒音

ファン音や磁気音に対する考慮をはらい、騒音を極力小さくしている。

## 4.2 絶縁

車両用電動発電機に関する規格は、JEC（電気学会）および JRS（日本国有鉄道）が車両用補助回転機として規定しているが、絶縁種別および温度上昇限度については、JEC には A, B, H 種の規定しかない。したがって、F 種絶縁を採用している最近の車両冷房用電動発電機では、主として JEC-132（電気鉄道車両用 補助回転機）に準拠し、温度上昇は、JRS によって固定子巻線 155 deg, 回転子巻線 140 deg を採用している。

車両用回転機の諸技術は、最も過酷な使用と小形化の要求の強い主電動機によってリードされてきたが、車両冷房用電動発電機においても例外ではなく、主電動機の設計・製作技術が広範囲に取り入れられている。

耐熱性高分子材料が多く出現しているが、当社では ノメックス（NO MEX：デュポン社商品名）と ガラステープ とによる絶縁構成を業界にさがけて確立し、現在では主電動機における F 種絶縁のスタンダードになっているが、この絶縁構成は電動発電機にも採用されて、小形化と高い信頼性を得ることに成功している。

図 4.1 は、単位出力当りの重量を示したものであるが、大容量機では大幅に小形化されてきていることがわかる。新しい絶縁技術が、この小形化に大きく寄与している。

## 4.3 回転子関係の構造

### (1) 電動機側電機子

整流子関係の点検を少なくするために、単整流子式を標準にしている。架線電圧が 3,000 V のときや、ぎ装寸法の制限があって外径寸法を小さくしたいときには、複整流子式にしている。ライザ部の電機子コイルと整流子片との接続には TIG 溶接を採用し、ライザ部のメンテナンスはほとんど不要になった。ブラシは長尺にし、保全回帰の延長を図っている。

電機子コイルは、ノメックスとガラステープとを基材に絶縁し、エポキシワニスで真空含浸処理している。コイルエンド部の外周には、ガラスバインドを施してコイルを固定している。

### (2) 発電機側界磁

発電機は、円筒形回転界磁式で、コイルは分布重ね巻きを標準にしている。この特長は

(a) 磁束分布が正弦波に近いので、出力波形がすぐれる。

(b) 構造的にがん(頭)丈であり、信頼性の高い絶縁が可能。

(c) コイルが円周上に均等に配置されるので、コイルの熱放散がよく、熱分布も均等になる。

などである。(a) 項について補足すれば、図 4.2 は、75 kVA 電動発電機の出力波形を示したものであるが、サイリスタによる位相制御によって電力を供給されている負荷があるにもかかわらず、波形ひずみ率は 2% で、高調波の少ない波形である。

界磁コイルは、亀甲形に整形して絶縁が施され、これを分布重ね巻きにしている。

## 4.4 固定子関係

### (1) 電動機側電機子

界磁は、複巻式を標準にしている。したがって、主極は、同一鉄心に分巻コイル・直巻コイル・速度調整コイルが混在するので、各コイル間の絶縁には注意を要するところである。界磁コイルは、真空含浸されて鉄心に一体固化されている。

わく(枠)は、一部を積層して過渡整流の改善を行なっている。

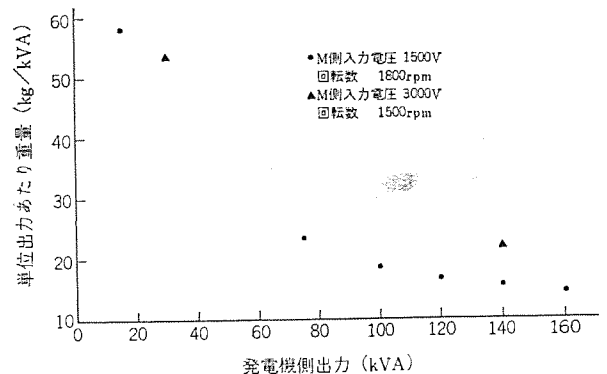


図 4.1 kVA あたりの重量  
Weight per kVA of motor-generator.

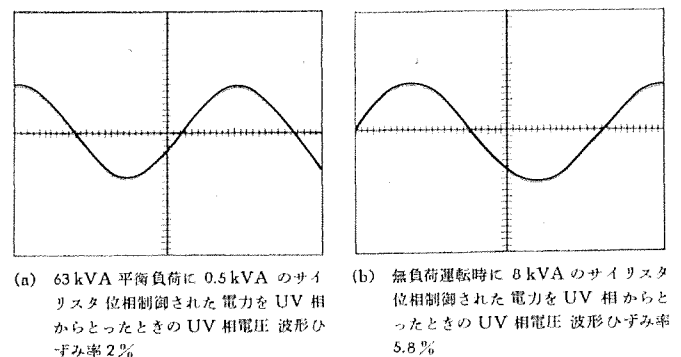


図 4.2 75 kVA 電動発電機 出力電圧波形  
Output voltage wave form of 75 kVA motor-generator.

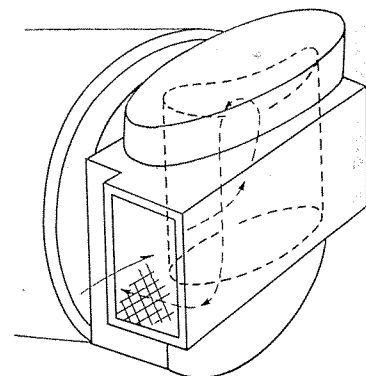


図 4.3 エアストレーナ  
Air strainer for motor-generator.

### (2) 発電機側電機子

積層された電機子鉄心が、スポークを介して外わくに固定される。固定子背面とわく間の空間は、冷却風の通路になる。

整形・絶縁された電機子コイルを固定子内面のスロットに埋めてウェッジで固定する。エポキシワニスによる真空含浸処理を行なっているのは、他の部分のコイルと同様である。

## 4.5 その他

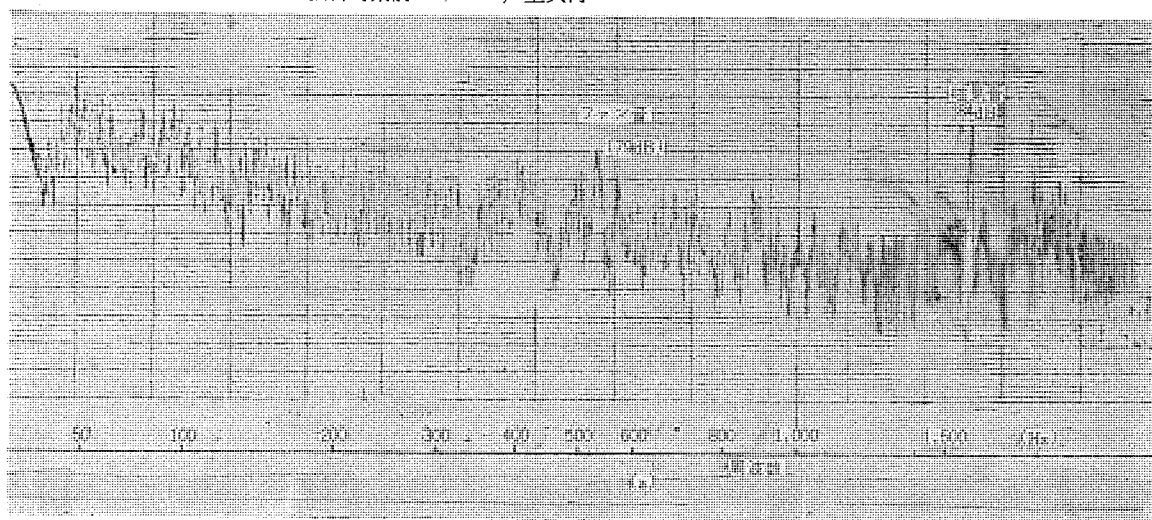
### (1) エアストレーナ

エアストレーナは、電動機側ヨークエンドに取り付け、整流子の温度ができるだけ低くなるようにしている。絶縁技術の進歩は、多少の水滴やゴミの内部への侵入を問題にシなくなっている。このため、エアストレーナは目づまりの少ない構造にし、保全周期の延長を図る方向にある。図 4.3 は、主電動機に広く採用されている遠心分離式エアストレーナを電動発電機に採用した例である。

### (2) 軸受

軸受は、電動発電機の重要部分であるが、その給油周期について

騒音対策前 1,500 V, 全負荷



騒音対策後 1,500 V, 全負荷

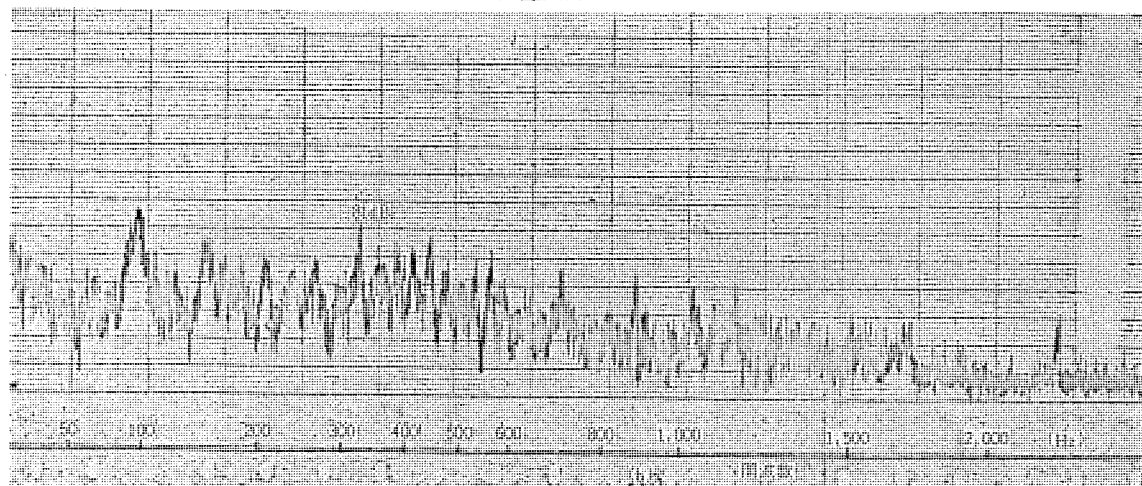


図 4.4 160 kVA 電動発電機 騒音分析

Spectra of 160 kVA motor-generator noise.

は、主電動機などの他の回転機と合わせることが要求される。したがって、中間給油なしに1.5年ないしは3年間無給油運転を行なう場合が多い。このような運転に対する軸受の考え方として二つの方向がある。一つは、シールド軸受を採用する方法であり、いま一つは、密封軸受箱とする方法である。当社では、この両者とも使用実績を有し、良好な成績を得ている。

### (3) 騒音対策

近年の公害意識の高まりは、車両用回転機においては騒音という問題を提起している。しかし、回転機についてはその規準を与える規格がなく、ようやく一部でその規格化についての動きが始まっている状況である。

車両用電動発電機は、ほぼ連続して使用されるので、ホームに停車中での騒音が特に問題になる。電動発電機は、絶えず一定回転数に制御されているので、そこから連続して発せられる一定周波数の音が不快音になる。この場合、音源はギャップにおける磁気音とファン音とがその主なものである。前者においては、カーター係数を小さくし、構造による磁束脈動を抑える設計を行なって良い結果を得ている。後者においては、ファン背面のケースをインボリュート曲線の形状にして排風を導き、さらにファンは羽根を不等ピッチに配置して一定周波数のファン音が発生するのを防いでいる。図4.4は、同一容量機における騒音対策機と対策前との騒音を周波数分析したものであ

る。騒音は本体の中央部で1m離れた位置で測定したとき89 phonから84 phonにまで下げることができたが、特定周波数音が除かれたため、感覚的には騒音計の数値以上の効果が得られた。

## 5. 制御装置

### 5.1 特長

電動発電機用制御装置の機能は、電動発電機の起動および停止をスムーズに行なうとともに、その出力を一定周波数・一定電圧に制御することはもちろん、過渡変動に対しても安定した特性が得られることであり、次のような特長を有している。

(1) 電動機の回転数(周波数)制御方式に差動方式あるいはプッシュプル方式を採用しており、和動方式と比べて起動トルクが大きいので、起動がスムーズに行なえる。

(2) 起動方式は、限時3段起動方式であり、(1)とあわせて起動時の電動機の整流が良好であると同時に、限流方式・限速方式と比べて小形・軽量化が可能である。

(3) 起動用抵抗器とダイオードとを組み合わせ、架線電圧急変時の逆流電流を抑制し、過渡時の整流悪化を防止している。

(4) 図5.1に示すとおり、永久直列抵抗器を並列に分割し、その片方を起動用抵抗器の一部として使用することにより、逆流電流抑制用ダイオードおよび接触器の電流容量を小さくすると同時に、



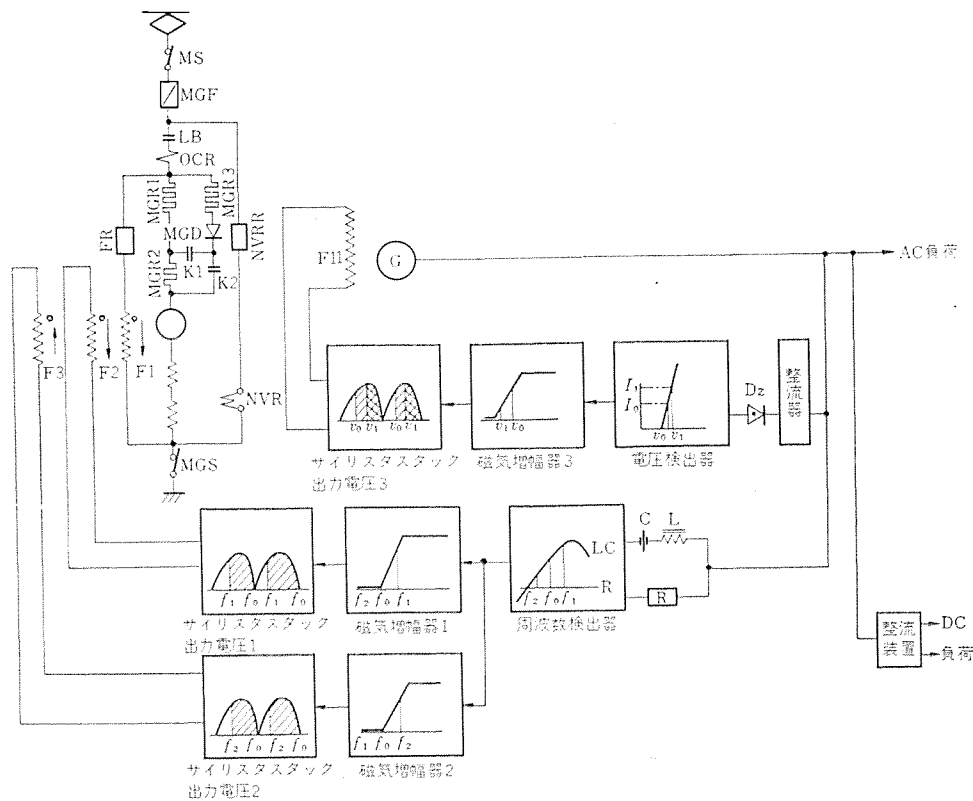


図 5.1 制御回路ブロック図 Block diagram of the control circuit.

抵抗器容量も減少させてそれぞれ小形・軽量化を図っている。

(5) AFR・AVR は、すべて無接点回路で構成されているので、応答が速いだけでなく、保守が容易である。

(6) 装置は、起動装置・AFR・AVR および整流装置を収納する制御器箱(図 1. 2)と抵抗器箱(図 1. 3)の 2 箱で構成されており、従来の 4 箱あるいは 5 箱の分割式と比較してぎ装スペースの有効利用が図れる。同時に、ぎ装配線の簡素化も行なえるので、誤結線あるいは接続不良の面からも信頼度の向上が図れる。

(7) 防じん(塵)・耐振・耐水構造であり、しかも、小形・軽量化に主眼がおかれている。

## 5.2 制御回路の動作

電動発電機出力の周波数および電圧を定格状態に保つため、制御装置は下記のように動作する。プッシュプル方式の制御回路ブロック図を図 5.1 に示す。

### 5.2.1 周波数(回転数)制御回路

一定周波数の出力を得るためには、電動機の回転数を一定になるように制御すればよい。電動機は速度変化は、LC 共振回路によって発電機出力の周波数で検出する。すなわち、LC の共振周波数を発電機の定格周波数に対して十分に高く選んでおけば、回転数(周波数)の増加は、LC 回路電流の増加として現われる。一方、発電機の出力電圧に変動があるので、周波数には無関係な R 回路も設けて LC 回路と R 回路の電流差の大小で回転数(周波数)変動の大小を検出している。

この差電流が、磁気増幅器 1, 2 の制御コイルに与えられる。定格周波数  $f_0$  のときには、磁気増幅器の出力は両方とも 0 となり、和動調整コイル  $F_2$  および差動調整コイル  $F_3$  の両方ともに電流は流れない。架線電圧の変動などによって回転数が上がり、周波数が  $f_1$  になると、磁気増幅器 1 が出力して  $F_2$  に規定の電流が流れ、界磁を強めて回転数を下げる。このとき、 $F_1$  の電流は 0 のままである。

逆に、周波数(回転数)が  $f_2$  に下がると、 $F_2$  の電流は 0 になり、磁気増幅器 2 が出力して  $F_3$  に電流を流す。したがって、電動機は弱め界磁になり、回転数(周波数)は上がる。

この動作が連続的に行なわれて、回転数、すなわち周波数は一定に保たれる。

### 5.2.2 電圧制御回路

発電機出力を整流した後、ゼナード

イオードとの突合せによって、検出ゲインを高めている。すなわち、発電機出力のわずかな変化が、検出器出力の大きな電流変化になって現われる。

この検出器の出力は、磁気増幅器 3 の制御コイルに接続されている。したがって、発電機出力電圧が負荷変動などによって定格電圧  $v_0$  から  $v_1$  に上がると、磁気増幅器 3 の出力は、それに応じて減少し、サイリスタスタック 3 の位相を  $v_0$  から  $v_1$  までしぼる。その結果、発電機界磁コイル  $F_{11}$  の電流が減少して電圧は下がる。

逆に、発電機出力電圧が下がった場合には、 $F_{11}$  の電流を増加させて発電機出力電圧を上げる。

$F_{11}$  の電流を、上記のように、連続的に制御して発電機出力電圧を一定に保つ。

## 6. む す び

以上、車両冷房用電動発電機の概略を述べたが、近年はメンテナンスを少なくする要求が強く、無整流子電動機や回転整流器付き発電機などが検討されている。当社では、従来形式の電動発電機を、総合車両機器におけるすぐれた設計・製作実績の中でとらえ、いっそうの改良をすすめているほか、新形式の電動発電機についてもその実用化に対する努力を続けている。

## 参 考 文 献

- (1) 河村, 久山: 三菱電機技報 44, 225 (昭 45)

# 計算機による列車運行制御システム

牧野 正夫\*・河原 伸吉\*\*

祖父江 幸男<sup>+</sup>・土井 弘志<sup>+</sup>・村木 一巳<sup>+</sup>・石井 金次郎<sup>++</sup>

## Computerized PTC (Programmed Traffic Control) System

Hanshin Electric Railway Co., Ltd. Masao Makino

Hanshin Engineering Co. Nobuyoshi Kawahara

Mitsubishi Electric Corp., Head Office Yukio Sobue・Hiroshi Doi・Kazumi Muraki

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Kinjiro Ishii

With the increase of population in urban and suburban districts of large cities, the traffic demand for suburban railways enlarges more and more. To operate a group of running trains with high efficiency at high speed and short headway, importance is emphasized of operation control. Under the circumstances, a programmed traffic control system was introduced by Mitsubishi to the Hanshin Railway in 1971 with the object of saving labor in signal handling and improving traffic control efficiency. It has been kept expanding in succession since then. This article describes the outlines of the whole arrangements. The system is composed of two MELCOM 350-5 computer system coupled as a dual system and data communication devices, and its functions are as follows; automatic route control, change of train schedule by manual operation, rearrangement of train schedule, processing of train operation data.

### 1. ま え が き

大都市周辺の人口増加に伴って大都市近郊鉄道路線の輸送需要はますます増大し、高速度かつ短時隔で走行する列車群を効率的に運用するために、運行管理業務の重要性が高まっている。しかも、産業界全般の傾向として省力化の要請も強く、これは列車の運転操作とともに列車運行を支える信号扱業務においても例外ではない。

このような情勢に対処するため、阪神電鉄(株)では信号扱業務の省力化と運行管理業務の効率化を目的として、昭和46年に制御用電子計算機 MELCOM 350-5 による列車運行制御システムが導入された<sup>(1)</sup>。このシステムは逐次制御対象線区などの拡張を続けながら順調にか(稼)動し、所期の成果を得たのでここにその概要を紹介する。

このシステムの特長は、1) 進路・案内制御の自動化のみならず、ダイヤ乱れ対策として豊富なダイヤ変更・判断機能をもつ、2) 現場機器等との適度の機能分担により、計算機負荷の軽減を図るとともに計算機異常時のバックアップを容易にしている点にある。

### 2. 概 要

#### 2.1 全体計画

従来の運行管理形態では、ダイヤどおりの進路設定は各連動駅の信号扱所で行ない、ダイヤが乱れたときには運転指令所の指令員が電話で情報収集や指令をすることによって運転整理が行なわれていた。しかし、輸送需要の増大の中で、多数の列車を円滑に運行するためには、全線にわたる制御の一元化が必要となってきた。

(注) 連動駅とは、列車の追越・待避または折返しなどが行なわれる駅をさす。連動駅では各列車のダイヤに合わせて、ポイントを転換して信号機を制御することが必要であり、これを進路制御または信号扱業務と呼ぶ。本システムの制御対象とするのは連動駅のみである。

そこで、阪神電鉄(株)では、CTC (Centralized Traffic Control Device 遠隔制御装置) の採用によって進路制御、案内制御を集中化するとともに、正確・じん速な制御、ダイヤ乱れ時の適切な判断、信号扱要員の削減などを図るため、電子計算機を用いた列車運行制御 (Programmed Traffic Control, 略称 PTC) システムの導入が計画された。

工事は次のように3段階に分けて、運用経験による改良を加えながら逐次拡張され、現在は石屋川信号所を集中制御所として元町～青木間 (図2.1) の制御を行なっている。

第1次: 元町、三宮を対象に新設、46年10月より運転、計算機は当初1重系、47年3月より2重系で運転

第2次: 元町～青木間に拡張、47年11月より運転

第3次: 全線に拡張、50年完成の予定

#### 2.2 システム導入の効果

##### (1) じん速な指令

オンライン電子計算機に他の列車の状態などすべての情報が入っており、電子計算機の判断に基づいて処置の指令を発するので、電話などを使って情報を収集し、それを人間が判断するのに比べて、はるかにじん速な指令を出し、事態が悪化しないうちに処置できる。

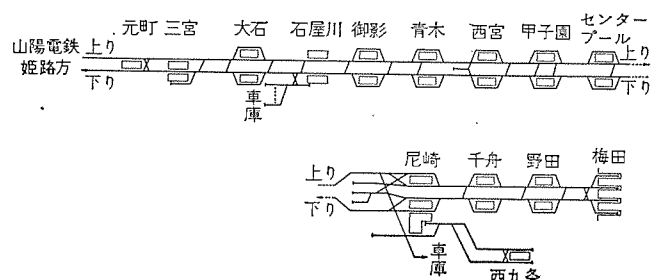


図 2.1 阪神電鉄線路図  
Rough plan of railway.

## (2) 適切な処置

列車密度が高く、列車種別の多いラッシュ時などのとき、一度事故が発生すると影響範囲が広がり、情報の収集、総合判断、処置の決定、さらに指令と、すべてを人間が適確に行なうことは大変困難であるが、電子計算機の助けによって容易にできるようになる。

## (3) 信頼度の向上

情報量が多く、迅速な判断を要求され、さらに操作が複雑になると、人間の信頼度は相当低下する。このシステムでは信頼度の高い電子計算機を二重系として用いているので、十分な信頼度が期待できる。

## (4) 要員の減少

全線のシステムが完成したときには、運行管理業務には中央制御所と車庫信号所の要員のみが残ればよいので、信号扱員などかなりの要員が減少する。

## 2.3 対象線区および運行形態

対象とする線路図を図2.1に示す。線路長は本線(元町～梅田)32.1kmと、西大阪線(尼崎～西九条)6.3kmの計38.4kmである。また対象とする連動駅は14駅である。

この路線を運行する列車は下記のとおりである。

列車種別： 本線特急・西大阪線特急・急行・区間急行・準急・普通・山陽電鉄列車・回送・不定期・特発

1日の列車本数： 本線上り・下り950本、西大阪線(本線以外のもの)200本

最大列車本数： 梅田～甲子園間50本/時(上り・下り)

同時在線列車数： 50本(午前ラッシュ時)

ダイヤ種別： 平日・休日1・休日2

## 2.4 システム機能

### (1) 進路制御の自動化

磁気ドラムに記憶された列車ダイヤと列車の進行状態から、とるべき進路を決定し、CTCおよび各駅の連動装置(3.2節参照)を通じてポイントおよび信号機を制御する。

### (2) 旅客案内制御の自動化

主要各駅に設置されている行先表示器、自動案内放送の制御情報を出力する。

### (3) 手動操作によるダイヤ変更

運転指令員は、操作盤を通じて簡単な操作で列車のダイヤを生成したり変更したりすることができる。その場合には関連する列車のダイヤも自動的に変更される。

### (4) 運転整理判断

列車遅延の回復、進路競合の際の意志決定(4.5節にて後述)などのために、数種類の運転整理判断機能を持ち、最良の方策を運転指令員に勧告する。

### (5) 運行監視

全列車の各駅出発状況を一定周期で監視し、各列車に関して遅延警報・出発抑止勧告などによって、運行異常を早期に指令員に伝え、列車ダイヤの乱れを防止する。

(注) 出発抑止とは、列車が局部に異常に集中する、いわゆる“タグ運転”を防止するために、次駅までの駅間列車数が一定値以上になったら列車の出発を抑止する機能をさし、駅間の最大許容列車数を出発抑止数と呼ぶ。

### (6) 各種の記録

列車の運行記録、運転整理勧告の内容、運転指令員の操作内容、

装置の故障などが、タイプライタによって記録される。

## 3. システム構成

本システムは図3.1に示す各装置から構成されており、当社では電子計算機のハードウェアおよびソフトウェアを担当した。

### 3.1 伝送系(CTC)

中央制御所と各制御対象駅(二連動駅)間の情報伝送を行なうために設けられた1対1の遠隔制御装置(RCH-5/600形、伝送速度600ボ-)である。表3.1の計算機入出力信号(CTC経由と注記のもの)の伝送を行なうほか、現場から軌道回路、転てつ器等の定位・反位状態を中央に伝送し、照明軌道盤に表示される。

### 3.2 本システムに関連する現場機器

(1) 継電連動装置： 列車の追跡や現場機器の動作確認に必要な情報を中央制御所に伝送し、また、中央制御所から送られた進路制御命令に対して連動条件のチェックを行なった後、転てつ器や信号機の制御を行なう装置である。

(注) 連動条件とは、ポイントの転換や信号機の制御を行なう際に、列車の安全な走行のため、軌道回路、ポイントおよび他の信号機の状態とのインタロックを行なう条件である。

(2) 案内制御装置： 中央制御所から送られた案内制御命令を記憶し、駅のホームや改札口に表示するとともに、列車の進行に合わせて接近・到着・出発などの自動案内放送を行なう装置である。

(3) 列車種類選別装置(列選)： 踏切制御用列選では中央制御

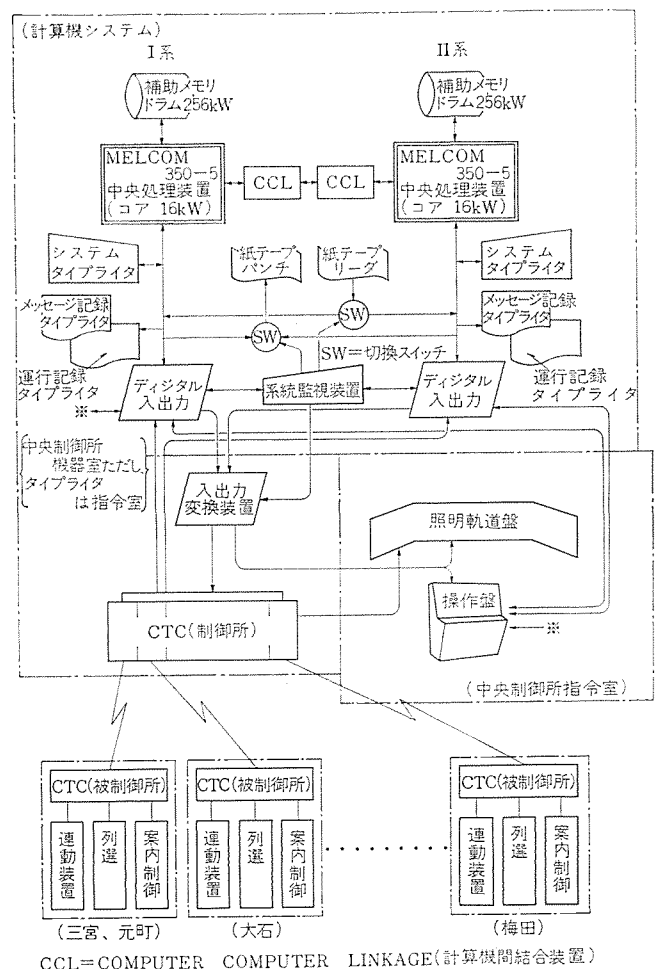


図3.1 列車運行制御システム構成図  
System configuration of PTC system.

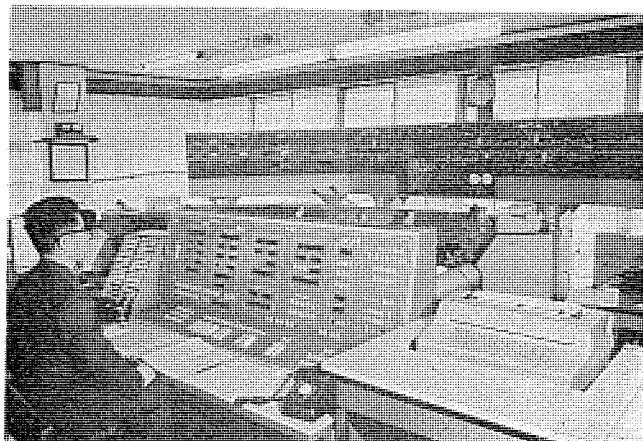


図 3.2 運転指令室  
Operation control room.

表 3.1 計算機入出力信号 (除操作盤)  
Input and output signals.

名 称	対象機器	内 容	用 途
(入力信号) 完了信号	継電連動装置 (CTC 経由)	列車が信号機を通過(入場, 出発等)または主要地点に到着(接近, 停車等)したことを示す信号(図 4.4 参照)	列車追跡
信号現示		信号機の反位/定位現示状態(注1)	信号現示確認
軌道回路		ホーム番線, 折返番線等の主要軌道回路のこう上/落下状態(注2)	列車追跡状況の 妥当性確認
扱 方 式	CTC中央装置	計算機扱/CTC 扱/現場扱の区別	制御モード選択
列車種別	列 選 (CTC 経由)	制御対象線区の手前の駅から出発する列車の列車種別	制御対象外から 進入する列車の 確認
(出力信号) 進路制御命令	継電連動装置 (CTC 経由)	反位制御命令, 定位制御命令(注3) (制御対象各信号機)	進路制御 手動介入
案内制御命令	案内制御装置 (CTC 経由)	列車種別, 行先および先発/次発等の区別(各駅各番線)	案内制御
車種表示命令	照明軌道	駅間および各番線の列車種別	車種表示

- 注 1. 信号機は通常停止現示を定位, 進行または警戒現示を反位とする。  
転てつ器の場合は各てつ器ごとに定位, 反位方向が定められている。  
2. 軌道回路は該当区間に列車が存在するとき落下, 列車が存在しないとき  
こう(上)する。  
3. 進路制御命令にて反位制御命令とは該当進路を進行(または警戒)に, 定  
位制御命令とは停止にすることをさす。

所からの車種情報と車上から受取った情報との照合を行なう。また、  
制御対象外線区との境界駅に設置して進入列車の確認にも使用する。

### 3.3 運転指令室マンマシンインタフェース機器(図 3.2)

(1) 照明軌道盤: 通常どおり線路図の上に軌道回路や進路の  
状態などの現場情報を表示するほか, 駅間および各駅の番線ごとに  
列車種別表示窓を設けたものである。列車種別は計算機からの設定  
とともに, 計算機停止時にもハードウェアによって正常に更新される。

(2) 操作盤: 運転指令員と計算機との対話を行なうもので,

(a) ダイアの読出および変更などの手動操作

(b) 運転整理勧告や列車遅延などの警報出力, および運転整理  
勧告に対する指令員の応答操作

(c) ダイアによらない手動進路制御

(d) そのほか機器故障状態・計算機運転状態等の表示, CTC  
扱/計算機扱等の取扱モード切換など  
に使用する。

### 3.4 計算機システムの概略構成

小形制御用計算機として高い信頼性を示している MELCOM 350

-5<sup>(2)</sup>を2重系にて使用し, 図 3.1 に示されるように, プログラムや運  
行ダイヤ等を記憶する補助メモリ, CTC などの機器と接続するための  
デジタル入出力装置, ダイアの読込および各種記録を行なうための周  
辺機器等から構成される。タイプライタは運転指令室に設置され, 1 台  
は運行記録専用とし, 他の1台で運転指令員の操作や計算機から出  
力される運転整理勧告その他の警報を記録する。

### 3.5 計算機入出力信号および接続方式

計算機入出力信号内容は表 3.1 に示すとおりである。

計算機から CTC, 照明軌道盤, 操作盤への出力は 32 ビットの統一  
されたコードで“入出力変換装置”に出力する。入出力変換装置は,  
計算機出力をデコードして各機器に振り分ける機能と, 進路制御に関  
しては進路ごとに制御情報を記憶する機能を持っている。各進路の  
反位制御命令のリセットは計算機を経由しなくても, 列車の信号機通  
過完了信号を受けると自動的にできるようになっている。

## 4. 計算機ソフトウェア

### 4.1 ソフトウェアの構成

本システムは下記ソフトウェアによって構成される。

(1) ベーシックソフトウェア

MELCOM 350-5 ディスクオペレーティングシステム<sup>(3)</sup>を2重系(デュアル)シ  
ステム用に拡張し, 障害解析および障害処理機能の充実を図ったもの  
で, 下記プログラムから構成される。

(a) スーパーバイザ

(b) ユーティリティプログラム

(c) 運転管理プログラム

運転管理プログラムは 4.6 節に述べるような方式で2台の計算機  
システムの運転状態の制御を行なうプログラムである。

(2) PTC 基本ソフトウェア

PTC 固有ではあるが, ファイル, 入出力のように各種機能に共通す  
る基本的なソフトウェアをさす。

(a) ダイア関係処理プログラム: 運行ダイヤの読出および追加,  
削除, 順序変更, 内容の変更などの更新を行なうサブルーチンで, 手  
動操作関係プログラム等に広く使用されている。

(b) 入出力処理プログラム: CTC への出力, 操作盤との入出力,  
メッセージタイプライタへの印字などに関して次のような処理をまとめて  
行なう。

(i) 入出力シーケンスの制御, 誤り制御

(ii) データのコード変換, フォーマット作成など

(iii) 待ち処理

(iv) 2重系運転に関する処理

(3) PTC 機能ソフトウェア

列車運行制御システムを構成する各機能を遂行するソフトウェアであ  
り, プログラム相互間およびプログラムとファイルの間の関連は図 4.1  
に示すようになっている。

以下の各節にて主要な機能プログラムの内容を述べる。

### 4.2 ダイアの記憶形式

ダイヤは列車運行制御システムのすべての業務で参照される重要な  
データである。本システムでは待避・追越や折返のひん(頻)度がきわ  
めて高い路線において記憶領域を有効に使用し, かつ, 進路制御時  
のアクセスを容易にするため, 図 4.2 に示すように列車別ダイヤと  
駅別ダイヤに分類して全ダイヤを磁気ドラムに記憶している。



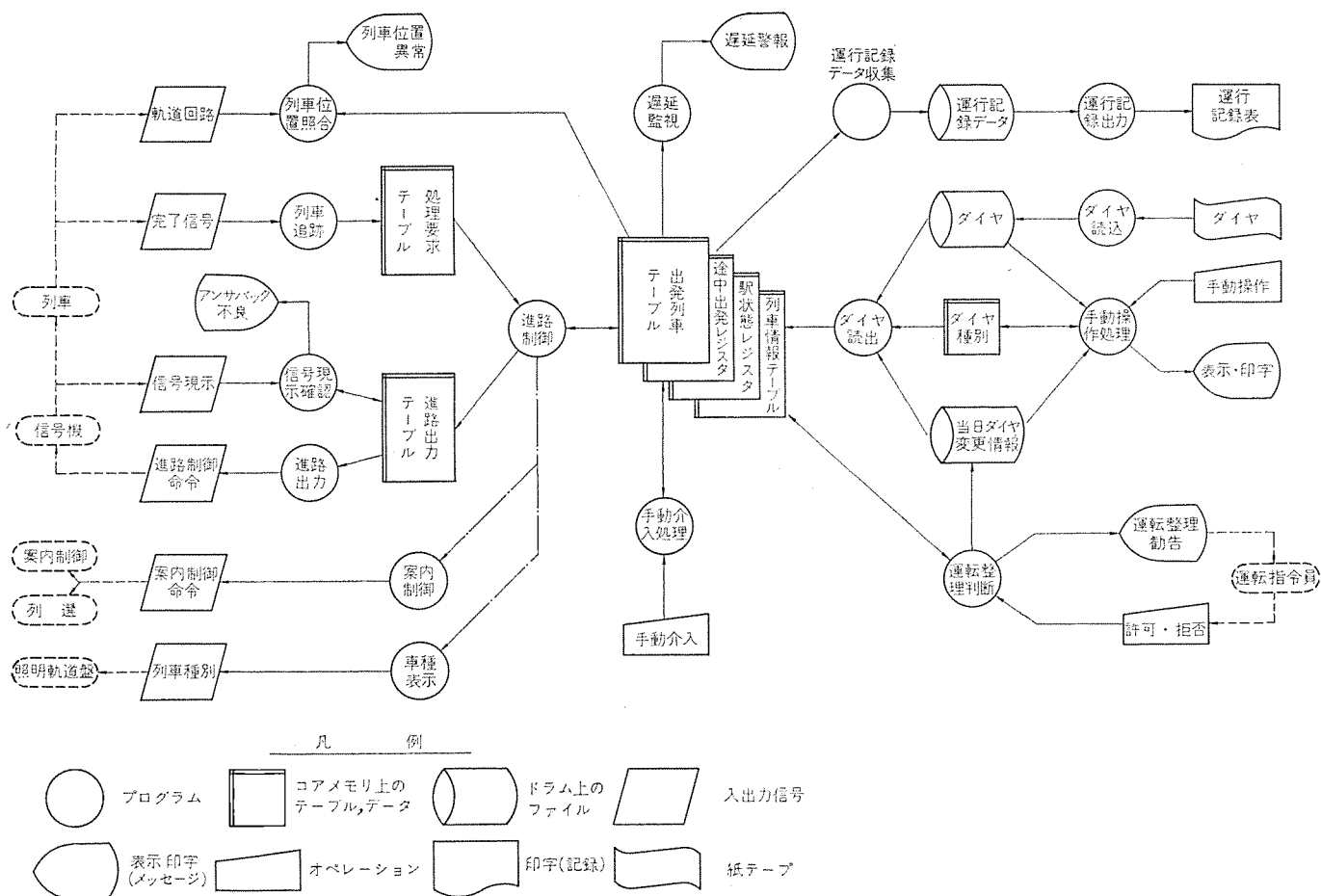


図 4.1 列車運行制御システムプログラム構成図  
Program structure of PTC system.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
自運用列車番号															
次運用列車番号															
前運用列車番号															
案内制御条件				終着駅				始発駅							
ダイヤ種別		終着時刻													

列車番号の記憶の内容

		列車種別	時間帯	通し番号
——特発、臨時、通常の例				
——回送列車、営業列車の別				

(a) 列車別ダイヤ

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
運転列車番号															
A <sub>1</sub>		出発時刻													
C				発番線				A <sub>2</sub>				B			

A<sub>1</sub> } 発進区分 A<sub>1</sub> 通過/停車の区別  
A<sub>2</sub> } A<sub>2</sub> 入換等に関する情報  
B 待避回数  
C 連結解放その他に関する情報

(b) 駅別ダイヤ (1 駅、1 列車のダイヤ)

図 4.2 運転ダイヤの記憶形式  
Format of train schedule in computer.

#### (1) 列車別ダイヤ

図 4.2 (a) に示されるように、列車ごとに決まる情報をまとめて記憶するものである。

#### (2) 駅別ダイヤ

図 4.2 (b) に示されるように、各列車のダイヤの中で駅ごとに異なる情報を記憶するものである。各駅ごとに、上り/下り別、出発順に配列して記憶する。

以上のほかに各駅の停車時分、駅間走行時分、出発抑止数なども駅固有情報としてダイヤと同様の取扱いで記憶可能としている。

#### 4.3 進路制御

計算機に記憶されているダイヤに従って各駅入場、出発等の進路を自動的に設定する機能で、プログラムでは以下のように処理される。

##### (1) 進路制御に関する主要レジスタ

進路制御に必要な運行ダイヤおよび列車、進路などの状態を記憶するため、各駅ごとに図 4.3 のようなレジスタ群を持つ。ここで、出発列車テーブル、途中出発レジスタはおののホーム番線、折返し番線 (または車庫) の列車に関して、駅別ダイヤの全内容、進路制御・案内制御状態および列車追跡に関する情報を一括して記憶する。また、この両レジスタのレコード様式は一部を除いて統一し、制御に必要な情報を容易に参照できるようにしている。駅状態レジスタは各駅各方向の駅の状態、出発列車テーブルの記憶状態等を総括的に記憶するものである。

##### (2) 列車の追跡

列車が特定の地点に達すると (例えば場内信号機を通過すると)、

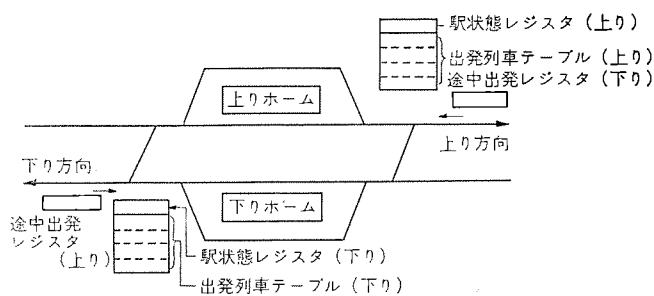


図 4.3 進路制御に関するレジスタ  
Train and station status.

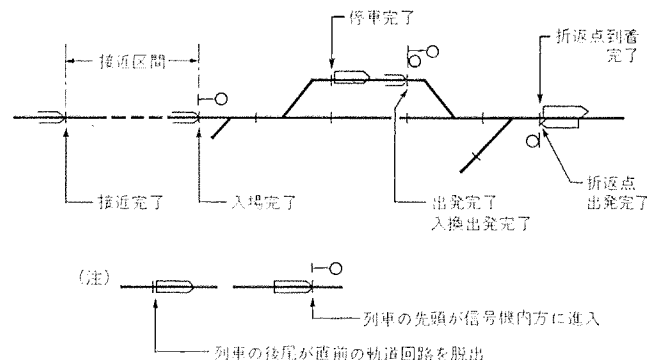


図 4.4 列車追跡のための入力信号 (完了信号)  
Input signals for train tracking

継電連動装置から図 4.4 に示す完了信号 (この場合は入場完了信号) が入力される。列車追跡プログラムはこの信号によって列車の移動を検知し、列車状態更新や進路制御処理の要求を処理要求テーブルに登録する。

### (3) 進路制御

処理要求テーブルに登録された列車に関して、出発列車テーブルの内容などから下記条件をチェックした後、設定すべき進路を進路出力テーブルに登録する。

- (a) 入場または出発順序、出発時刻
- (b) 駅間列車数 (出発進路制御時に出発抑止数と比較する)
- (c) 他列車との進路競合有無 (あれば優先判断を行なう)
- (d) 進路支障状態 (他の列車の位置、他の進路の状態によって連動条件のチェックを行なう) など

### (4) 進路出力および現示確認

進路出力プログラムによって、進路出力テーブルの登録内容を所要の出力コードに変換して出力する。さらに、信号現示確認プログラムによって、現場の進路が構成されたことを確認した後に進路出力テーブルの登録を消去する。信号現示が所定時間内に確認されない場合には再出力を行ない、それでも確認されなければアンサーバック不良の警報を出力する。

### 4.4 手動操作

運転指令員が刻々の列車の運行状態を迅速には(把)握し、かつ、運転ダイヤを自由に変更できるようにするため、表 4.1 に示される各種の手動操作機能を備えている。また、緊急な制御または特殊な制御を要する場合には、ダイヤを変更しないで、計算機制御に割込んで手動で進路を制御することも可能としている。(手動介入)

以下に手動操作機能に関する主な特長を述べる。

- (a) 操作盤設定データに関して計算機で合理性チェックを行ない、実際の列車運行と矛盾するような操作は受け付けずにしている。
- (b) 変更操作に関連する事項もできるだけ自動的に変更する

表 4.1 手動操作機能  
Manual operations.

機能項目		内容
読出	ダイヤ読出	運番、駅名を指定して該当ダイヤを読出す
	列車位置読出	運番を指定してその列車の現在位置を読出す
	運番読出	指定箇所に存在する列車の運番を読出す
ダイヤ変更	駅別ダイヤ変更	番線変更
		出発時刻変更
		運行条件 (通過/停車、本線/入換等) の変更
	運行区間の変更	始発駅変更
		終着駅変更
列車の休活	運休	
	運用 (不定期列車、運休列車の運行)	
順序変更	列車走行順序の変更	
ダイヤ生成	運行図表にスジの無い特発列車を運転するためのダイヤを生成する	
ダイヤ切換	当日運用するダイヤの種別を指定する	
運用開始	列車運転中に計算機制御を開始するとき、計算機制御に移す最初の列車を指定する	
運番指定	同上のとき、システム起動時の在線列車の指定等を行う	
手動介入	手動で進路の設定を行う	

(例; ダイヤ変更に伴う案内制御命令の変更、終着駅着番線変更に伴う次運用列車の番線変更)

(c) 使用目的に適した操作を選択できる多様性を持っている。

(例; 順序変更では1駅ずつの変更も一括変更も可能。また、指定データによって入場順序変更、出発順序変更、連結解放時の解放方向の変更などができる)

### 4.5 運転整理判断

阪神本線のように高密度の列車運行がなされている線区では、制御すべき進路が他列車の進路と競合することがひん(頻)繁に発生するので、この場合には列車運行上の支障が少なくなるように制御順序を決定する。また、列車の遅延が発生した場合には、遅延の影響を他列車に波及させないように一部ダイヤの変更を行なう。これらの優先判断、ダイヤ変更判断を総称して運転整理判断と呼ぶことにする。

#### (1) 判断の種類

運転整理判断関係のプログラムは(2)に示す判断基準に基づいて判断の過程を一般化し、各適用箇所ごとの判断論理はテーブルで指定することによって任意に追加・変更できるようにしている。

以下に実施中の数例を示す。

(a) 入場出発優先判断: 三宮・元町における上り出発進路と下り入場進路 (交差している) など

(b) 着番線変更判断: 元町下り折返し列車など

(c) 本線入換優先判断: 大石など

全線完成時には、ほかに待避駅変更判断なども実施の予定である。

#### (2) 判断基準

##### (a) 優先判断、変更判断の原則

列車の運行状態から判断して採り得る進路制御順序またはダイヤ変更結果に関して、進路が競合する相手列車や後続列車などの関連列車を含めた総遅延時分を比較し、原則としてこの値が最小となるようにする。

##### (b) 判断条件の例 (元町着線変更判断)

これは元町の入場列車と出発列車の進路が競合する場合に、着番線の変更によって遅延を最小限にとどめるためのものである。

図 4.5 において元町折返し列車Aのダイヤ上の着番線が1番線で、

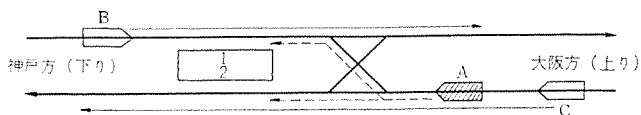


図 4.5 着番線変更判断 (元町)  
Example of route-change. (Motomachi)

これを 2 番線に変更する場合の判断論理を示す。

(i) 上り 1 番線接近列車 B があるときは、下り 1 番線がすでに構成されていない限り上り進路を優先する。

(ii) 下り 1 番線接近列車 A については、上り 1 番線進路がとられていないときは、A を 1 番線にとった場合と 2 番線にとった場合とで、接近列車 A・対向列車 B・後続列車 C についてその影響の大小を比較して判断する。

(iii) すでに上り 1 番線進路がとられているときは、A を 1 番線に入れるために場内待ちしたときと 2 番線にとったときとで影響を比較する。

折返列車 A のダイヤ上の進路が 2 番線で、これを 1 番線に変更する場合も同様な判断を行なう。

### (3) 運転整理に関する マンマシン インタフェース

乗客や乗務員にもほとんど影響の無い信号機制御順序の優先判断のみの場合には原則として計算機が自動的に決定する。しかし、判断の結果が着番線の変更や列車走行順序の変更を伴う場合には、図 4.1 にも示されるように計算機の判断結果を、関係列車の運行に関する予想値およびダイヤ変更内容とともに、運転整理報告として操作盤に表示する。この報告に対して、運転指令員が許可または拒否の指令を与えることによって最終的に処置が決定される。

このように列車運行に関する判断は人間が行ない、そのための情報は計算機が収集して提供する、というようにおのおのの利点を生かした人間～機械系を構成している。

### 4.6 計算機運転方式

列車運行というきわめて公共性の高い業務を対象とする本システムは非常に高い信頼性を要求される。そのため、本システムでは 2 台の計算機の並列運転 (デュアル) システムとし、並列運転中に主系に重大な誤りまたは異常が発生した場合には自動的に計算機系の切り換えを行なうようにして、業務の中断を防止している。

#### (1) 計算機システムの運転状態および関連機器

基本的には並列運転 (1 系主系または 2 系主系)、単独運転 (1 系または 2 系)、システム停止の 3 種の状態があり、図 4.6 のように過渡的に単独開始、並列開始、切り換を経て運転状態の切り換えが行なわれる。

これらの計算機運転状態の表示および計算機運転状態の手動切り換えを行なうためには図 3.1 に示されるように系統監視装置が設けられている。また、2 台の計算機間のデータ授受は CCL (計算機間結合装置) によって行なう。(5 章参照)

#### (2) 並列運転中の処理

計算機に記憶している列車運行状態などを常に一致させておくため、CTC からの入力データについては、実際の入力主系のみが行なって従系には主系から CCL を通して転送し、計算機内部では両系とも同じ処理を実行する。出力も主系のみから行ない、両系の処理結果の照合は行なわないが、両系のエラーメッセージを照合することによって両系の不一致を検出するようにしている。(2 台の計算機のうち実際に制御を行なう系を主系、他を従系と呼ぶ)

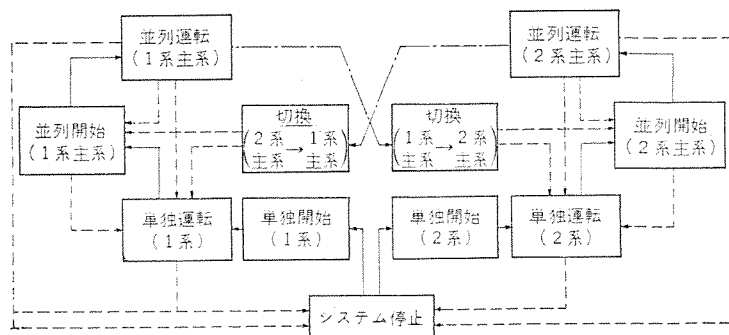


図 4.6 計算機システム運転状態遷移図  
Block diagram of state transition.

### (3) 計算機系切り換え時の動作

主系に異常が発生して系の切り換えを行なうときには、制御の脱落が無いように、たとえば進路制御では信号現示が確認されていないものは再出力する。また、旧主系の異常か一時的な誤動作の場合には、切り換後ただちに新従系としての回復処理を行なう。このための処理中断時間は進路・案内制御では 10 秒以下、操作盤による手動操作に対しては約 30 秒であり、運用上無視し得る時間である。

## 5. 計算機ハードウェア

前述のごとく、列車運行という非常に公共性が強く、高い信頼度が要求される当システムでは、当計算機システムの誤動作に対する十分な対策と万一のシステムダウン時の混乱防止を考慮して入出力装置を含めた MELCOM 350-5 制御用電子計算機の 2 重系を採用し、さらにこれを第 3 のハードウェア系統監視装置が監視、系統の自動切り換えを行なうようになっている。図 5.1 に、当計算機システムの外観を示す。

### 5.1 計算機本体および入力機器

計算機本体は MELCOM 350-5 中央処理装置、入出力制御装置、外部記憶装置各 2 セットから成り、これを CCL で結合して並列運転立上り時のファイル回復等両系間のデータ交換が行なわれる。

以下に、計算機本体および周辺機器の概略仕様を示す。

#### (1) 計算機本体

主メモリ:	磁気コア 16k 語
語長:	16 ビット/語

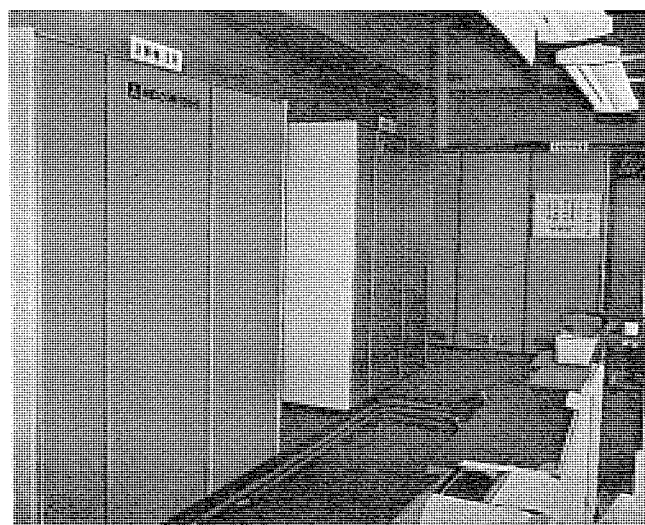


図 5.1 計算機室  
Computer room.

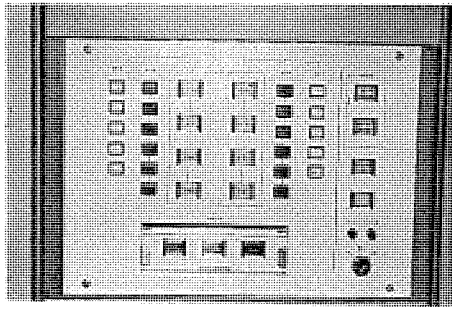


図 5.2 系統監視装置 操作パネル  
Operation panel of system console.

命令数： 27  
演算速度： 加減算 10  $\mu$ s  
外部メモリ： 磁気ドラム 256k 語  
CCL： 約 1k 語/秒

## (2) 入出力機器

システムタイプライタ： ASR, 10 字/秒, 2 台  
紙テープリーダー： 200 字/秒, 1 台  
紙テープパンチ： 35 字/秒, 1 台  
入出力タイプライタ： FCT, 15 字/秒, 4 台

## 5.2 プロセス入出力装置

プロセス入出力装置は、割込入力・デジタル入力・デジタル出力の各装置と外部接続用端子盤からなり、プロセスとの接続は次のごとく行なわれる。

(a) 入力信号： 各信号とも電気的に独立した二つの接点から両系の入力装置に接続される。

(b) 出力信号： 各信号とも電気的に独立した接点で両系から接続されているが、相手機器側では、系統監視装置の指令に基づき主系からの出力のみが接続される。

プロセス入出力の構成は次のとおりである。

外部割込入力： 16 点 $\times$ 2  
デジタル入力： 832 $\times$ 2  
デジタル出力： 104 $\times$ 2

## 5.3 系統監視装置

系統監視装置は計算機 2 重系における第三のハードウェアとして系統の監視および切換を自動的に行なうもので、操作を簡潔にして、誤操作に伴う事故を回避すること、および系統監視装置自体に電源 2 重切換方式の採用をはじめ、厳選された使用部品、高度の保守性

を確保するための実装等によって、システムの要求する信頼度を十分満足し、システム全体の高い稼働率を確保している。図 5.2 は系統監視装置の操作パネルを示したものであるが、当装置の機能を大別すると次のごとくである。

(a) 両系の計算機自身で検出される計算機および関連機器の故障、表示、警報

(b) 両系の計算機自身で検出されない計算機の故障の検出、表示、警報

(c) 計算機運転モード記憶、表示および系統切換条件の判定、出力

(d) 計算機運転モードの手動切換

(e) 計算機のオフラインテスト

## 6. む す び

本システムは 2.1 節に述べられた拡張工事のための制御中断時期は有ったが、オンライン運転時間は、昭和 48 年 5 月末現在 7,677 時間 (329 日)、計算機 2 重化後の平均稼働率は 99.94 % に達している。この値には、使用開始初期のソフトウェアトラブルによるものも含まれているので、最近ではこの値よりはるかに向上している。

列車の運行は鉄道輸送事業においてはいわば生産というべき重要な業務であるが、列車の運行に直接関係する業務への計算機適用例はまだ数少ない。しかも、本システムのように既設の大都市近郊路線を対象とする場合には、各駅の線形や運用方法の多様性に加えて列車種別も多いためきわめて複雑な運行がなされており、対象路線の規模の割には複雑なシステムになるという問題がある。同時に、列車運行の複雑さゆえに、その運行管理の効率化を目的として導入された本システムの意義は大きいと考える。

終わりに、本システムの計画、設計、製作に関して種々指導ご協力いただいた関係各位に深く感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 牧野, 河原, 祖父江, 市橋: PRC-電子計算機を使用した列車運行制御システム, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 第 8 回, 336~343
- (2) 中尾, 仁田, 松本, 龍田, 深尾, 蒲生: MELCOM 350-5 制御用電子計算機システム, 三菱電機技報, 43, No. 11, 1,470~1,479 (昭 44)
- (3) 田原, 北原, 松本: MELCOM 9100-5 のソフトウェア, 三菱電機技報, 44, No. 3, 432~438 (昭 45)

# 立体駐車場制御システム

篠原 宇一\*・佐竹 幸雄\*・伊藤 善文\*  
和田 精二\*\*

## Mechanical Parking Control System

Nagoya Works Uichi Shinohara・Yukio Satake・Yoshifumi Itô  
Consumer Products Research Laboratory Seiji Wada

Remarkable is the latest increase of motor cars which poses serious problems of insufficient parking spaces in the heart of city as well as of public hazard due to the exhaust gases. To cope with the situation mechanical parking to make effective use of limited spaces is now increasing here and there.

Mitsubishi has developed MELPARK after making thorough studies on the functional specification of the control equipment to be used for the mechanical park.

### 1. ま え が き

最近わが国における自動車交通の発展はめざましく、交通量の激増によって都市交通の混雑、渋滞は深刻な問題をひき起こし、都市交通システムを、いかに処理するかが1970年代における都市交通行政の最大の課題の一つとなっている。

これはモータリゼーションの急激な伸展に、道路や駐車場の整備が追従できないことによるもので、都市高速道路の建設と駐車場の設置が都市交通問題解決の有力なかぎとなっている。特に都心では銀行、会社事務所はもちろんのこと、デパート、ショッピング、レジャーセンタ、レストラン、喫茶店にいたるまで、駐車場がなければ顧客を集められない現状では、駐車場の有無が、営業、業務に及ぼす影響は大きく、ひいてはその町の繁栄にも関係することになる。

駐車場は、従来いろいろな方式が採用されているが、大別すると自走式と機械式に分けられる。地価が高く、面積として余裕の少ない都心の駐車場としては、今後ますます機械式立体駐車場による期待が大きくなっている。機械式駐車場は一般に次のように分類される。

- (1) 垂直循環方式
- (2) 多層循環方式
- (3) エレベータスライド方式
- (4) 水平循環方式

特に(4)項の代表的なものとして、後述するロートパークは機械式大容量地下駐車場であるが、我が国では東郷神社(東京)の境内に設置される予定である。またスイスのジュネーブ空港にも同一形式のものが建設中である。いずれが世界最初の実用機になるか注目の駐車場である。

当社ではロートパークのような規模の大きい機械式駐車場に結合できる管理制御システムを完成したので、ここに報告する次第である。

### 2. 機械式駐車場システムの概要

この章では、一般に実施されている種々の機械式駐車場システムについて、これらを管理制御する立場から概説する。

#### 2.1 機械装置の形式

機械装置の形式の選定は、それが設置される立地条件、使用目的、

格納容量等により決定される。これらの選定条件については、当社は管理制御装置のメーカーであるため、その機械装置の形式については、当社の主たる制御装置の納入先である三菱重工(株)の形式名を借用して簡単に紹介する。

#### (1) 垂直循環方式(三菱タワーパーク)

図2.1にその構造図を示す。この方式は地上に設置されるもので1基1基の単位で設置される。比較的建设費が安価で、ユニット的であるので、スペースをとっておけば、必要に応じて増設していくことができるので有利である。しかし複数基設置される場合の各基の入口への車の誘導、出庫時のお客の誘導のシステム構成が、むずかし

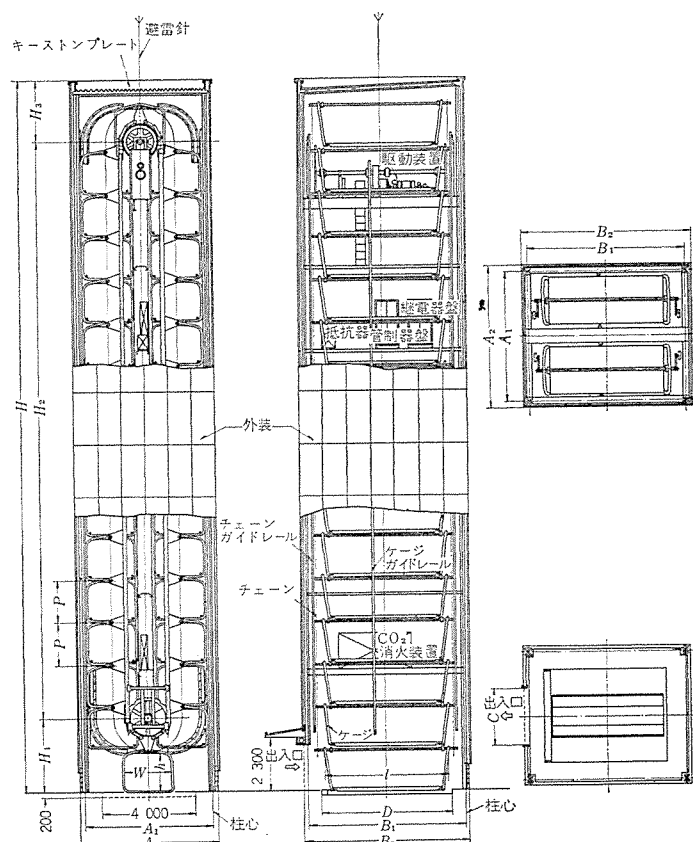


図 2.1 三菱タワーパーク全体図  
Configuration of Mitsubishi tower park.







図 2.4 ロートパークの模型図  
Miniature model of Roto park.

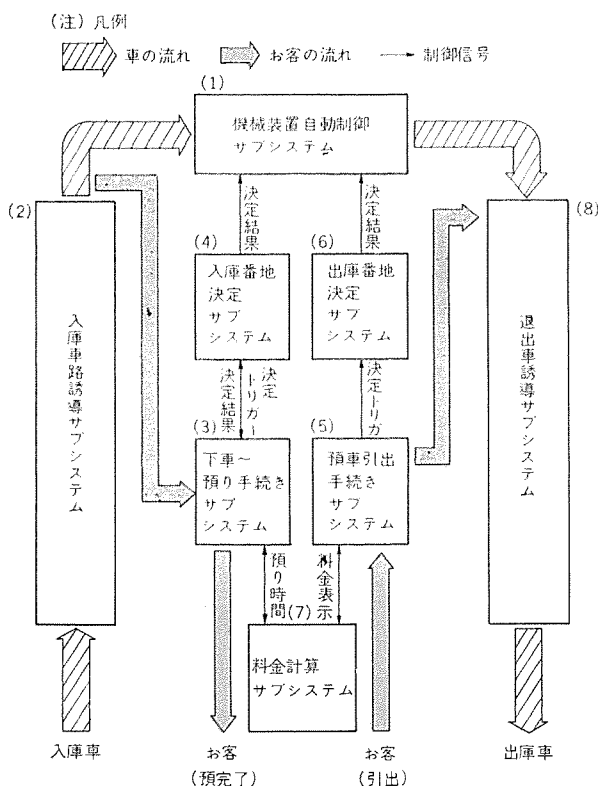


図 2.5 機械式駐車場システムの構成  
System configuration of mechanical parking.

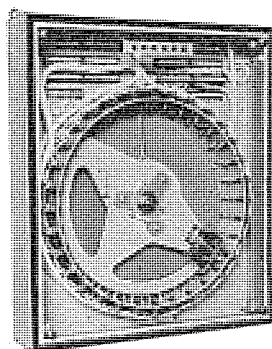


図 2.6 ドラム式駆動制御装置  
Drum switch for mechanical parking control.

入出庫口が固定個所になるので(3)と同様自動化されたシステムをレイアウトするのに有利である。

## 2.2 駐車場システム

機械式駐車場のシステムを構成する場合、その用途から見ると、

- (a) 営業用： 預り料金をとるもの。
- (b) サービス用： 無料でサービスして一般公開するもの。
- (c) 自家用： 使用者が固定されているもの。

とに分けられるが(a)は部分的に(b)(c)が含まれている場合もある。例えばデパートの駐車場のようにお客の買物金額によって無料とするものも含まれる。(b)はいいさい無料とし、お客の便宜をはかるもので、銀行の駐車場のようなものが該当し、(a)に比べて一般には小規模である。また(c)は社内用とか一定期間固定した人に賃貸するような場合で、(b)と同様一般には小規模である。

上記のように用途により、システムを構成するサブシステムは異なるが、(a)はすべてを包含しているので、(a)の場合の構成サブシステムを考えてみると、図 2.5 のようになる。

### (1) 機械装置自動制御サブシステム

車を出入れする目的番地が与えられたとき、その番地へ車の出入れを自動的に行なう制御である。この制御の方法は機械装置的方式、および他のサブシステムの制御方法によって異なる。

すなわち、タワーパーク、スライドパーク、ロートパークのように格納だな自体が回転循環する場合は、対象とする番地を呼び出すのに短いほうの回転方向を起動前に決定し、その方向に起動させ自動的に機械を位置決め制御する。一方ミニットパークのように格納だなが動かないものはエレベータタワーとケージの自動位置決め制御とエレベータと格納だな間の車の出入制御が必要である。

これらの制御を行なうハードウェアとしては、在庫メモリ、料金計算等を連携して行なう場合は IC 化したロジック装置を使ったほうが構成しやすいし、一方規模の小さいもので、料金計算等も独立して行なうものは、簡単な電磁リレー回路で構成できる、図 2.6 に示すようなドラムスイッチが用いられる。このスイッチはタワーパーク、スライドパークのような循環式の駆動軸に直結され、カムの位置により、回転方向が決められ、さらにドラム円周上に配置されたスイッチに車の有無が記憶されている。

### (2) 入庫車路誘導サブシステム

車を預けようとして車を運転しているお客に対し、誘導してお客に運転して入ってもらい、どこで下車してもらい、(3)の預り手続きにお客をどうつなげ、あわせて下車した車を(1)の機械にどう渡すかという部分である。

ここで注意すべきことは、退出車との干渉をどのようにさけるかということと、今一つは下車したお客の誘導ルートであり、レイアウト上非常に重要である。

### (3) 下車～預り手続きサブシステム

これは(2)とオーバラップするレイアウトの問題で、お客に預り書をどう渡し、どのように退出してもらうか、また預り書には車の引出時格納番地を呼び出すのと、料金計算を行なうのに便利なような情報を付加しておかなければならない。また格納番地を決定するための始動信号を(4)のサブシステムに与えなければならない。

すなわち、オペレータとお客の Man to Man Interface とオペレータと制御装置との Man-Machine Interface の部分である。

### (4) 入庫番地決定サブシステム

前項(3)より決定要求が与えられると、何らかの方法で入庫すべ

表 2.1 機械式立体駐車場の管理制御方式  
Control system of mechanical parking.

機能 レベル	機械の自動車出入制御	入庫番地の記憶	入庫時刻の管理	在車状況の管理	料 金 計 算	領収書の発行	入出庫台数の集計	料 金 集 計
A <sub>1</sub> 方式	該当番地 押しボタン操作	—	—	記憶装置による	—	—	—	—
A <sub>2</sub> 方式	該当番地 押しボタン操作	チケットに手書き	タイムレコーダにより印字	記憶装置による	手 計 算	—	—	—
B <sub>1</sub> 方式	番地 カードリーダー	専用アクリルカードを預証として渡す	タイムレコーダにより印字	専用カードの在り(無)状況による	手 計 算	—	—	—
B <sub>2</sub> 方式	該当番地 押しボタン(ディシSW)で設定	チケットに手書き	駐車カードを自動発行	記憶装置による	駐車カードをリーダーで読取り自動計算	自動発行	—	自動計算
C 方式	入庫は自動検索、出庫は預証をリーダーで読む	預証として自動発行	駐車カードを自動発行	記憶装置による	駐車カードをリーダーで読取り自動計算	自動発行	自動集計	自動計算

き番地を決定し、その結果を(1)の機械装置に指令データとして与え、さらに車を引出すときにそのキーとなる情報を付加するために(3)へフィードバックする役目をもつサブシステムである。

空ストールを決定するためには、このシステム内に在庫、空ストールをメモリしていることが必要である。その選択については空ストール表示をオペレータが目視で選択する場合と、そのメモリから自動的に検索する場合とがある。前者の例としては前述したタワーパーク等のドラムスイッチを用いている。

#### (5) 預り車引出手続きサブシステム

お客が車を引出すために、どのルートを通してオペレータのところへ来て、預り書を提示するか、次いでオペレータはお客とどのように応対し、該当車の出庫操作および預り料金を計算し、料金を徴収し、領収書を発行する部分である。

また料金計算サブシステム(7)に対しては預り書に記載されている内容を伝達し、その計算結果を受取り、さらに(6)の出庫番地決定サブシステムに対して必要な情報を与える役目がある。

#### (6) 出庫番地決定サブシステム

前項(5)から与えられた情報により、出庫番地を決定し、(1)に対して指令を与える部分である。自動的に行なう場合は収納されている番地を預り書にパンチしておき、カードリーダーにより読み取った内容を(1)に伝達するのが一般的である。手動の場合はオペレータが預り書に記載されている番地を手で(1)の指令ボタンを操作している。

#### (7) 料金計算サブシステム

預り書の情報により、料金を算出し、その結果を返す部分である。料金の計算条件としては預り時間をベースに算出するほかに、大形小形による計算基準を異にしたり、自家用、月決め契約等の料金を徴収しない対象や、割引料金とする対象等を考慮しなければならない場合がある。この計算システムは手計算、オペレータが必要なデータを入れて行なうオフライン、および他の操作と連動して行なうオンラインの方法がある。

#### (8) 退出車誘導サブシステム

料金を払い終えたお客はどこで引出されてくる車を待つか、出てきた車に乗り、車を運転するお客を場外へどのように誘導するかという部分である。

出てきた車を間違いなくお客に渡す方法、(2)の入庫車と干渉しないように場外へ導く方法等、レイアウトに密接に関連する部分である。

以上のように駐車場システムを構成する場合、お客、オペレータ機械装置とその周辺車路のレイアウト、および制御装置との有機的な関連

のもとに考える必要がある。したがって管理制御装置を製作する場合、その機能の決定はあらゆる角度から検討されなければならない。

### 2.3 管理制御システム

2.2節において駐車場システムを考える場合の留意点に関して記した。そこで本項において、管理制御のみに着目し、種々構成されるシステムに対し、どのようなレベルの制御システムがあるかを整理してみると表2.1のようになる。

#### (1) A<sub>1</sub> 方式

営業を目的としない用途で、キーを呼び出す制御と在車記憶を行なう制御装置を備えているものである。

#### (2) A<sub>2</sub> 方式

A<sub>1</sub>方式を営業用として用いるために、必要な事務処理を人間がすべて手で行なうものである。料金計算を人間が行なうので不明りょう(隙)になるのであまり規模の大きなものには採用されない。

#### (3) B<sub>1</sub> 方式

番地カードをいわゆる“下足札”的に用いる方法で、格納した番地のカードをお客に預り書として持たせ、引出しにきたときそのカードをリーダーで読ませて、車を引出す方法で、機械の操作については自動的になるが、料金処理についてはA<sub>2</sub>方式と同レベルである。

#### (4) B<sub>2</sub> 方式

自走式駐車場の料金計算装置を利用し、機械装置の自動制御と連動して人間が操作する方式で操作性はやや煩雑である。

#### (5) C方式

料金計算と機械制御とを完全に結合して操作するもので、入出庫ともワンボタン方式にした機械式駐車場の専用管理制御装置である。

以上のように管理制御方式の種々のレベルが考えられるが、当社では機械式駐車場の管理制御装置をオペレータの操作性、お客との応待、ビル内設置場所での美観および機械の安全性等あらゆる角度か

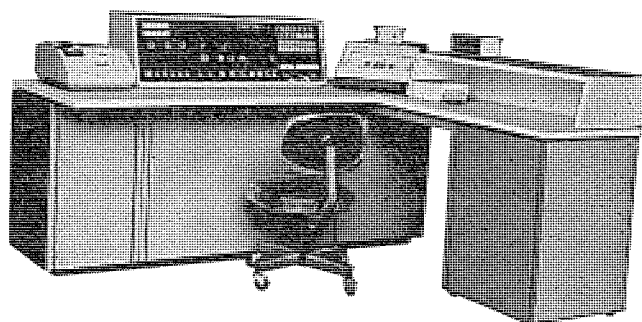


図 2.7 MELPARK M-10 駐車場管理装置  
MELPARK M-10 parking control system.

らシステム面、および意匠面について検討し、図 2. 7 のように ME LPARK を製品化したので、次項において紹介する。

### 3. 三菱駐車場管理システム

当社では、現在、立体駐車場管理システム用として、ロートパーク用（Rタイプ）とミニットパーク用（Mタイプ）の2タイプの管理装置（ME LPARK）が開発されているが、以下、ミニットパーク用管理装置（ME LPARK M-10）を用いた図 3. 1、3. 2 のような駐車場の管理システムについて記述する。

#### 3. 1 入庫フロー

図 3. 3 に示したように、まず車が入口に到着したときオペレータが車 No と種別（大形車、中形車、契約車、一般車）を操作卓よりキーインすると図 3. 5、3. 6 のような駐車カード、預り書が自動発行される。

お客は入庫位置に車を停車させた後入庫受付にて駐車カード、預り書を受けとり退出する。

なお預り書は2枚発行され1枚は控としてプリンタ巻取装置により巻取られ、預り書をお客が紛失したときにそなえている。

一方機械装置により格納作業を完了し待機状態になったとき次の入庫番地指令（格納番地指令）が与えられ、車の自動入庫が行なわれる。

#### 3. 2 出庫フロー

図 3. 4 に示したように、お客が出庫受付に到着したとき、オペレータはお客より駐車カードを受けとり、それをカードリーダにかけると駐車料金が自動計算され、駐車料金を料金表示器に表示するとともに図 3. 7 の領収書が2枚発行される。その1枚は料金を徴収した後お客に渡され、残り1枚は控として巻取装置に巻取られる。

一方出庫番地指令が、機械装置に与えられ車の自動出庫が行なわれる。その後、車はターンテーブルにより方向転換され、お客が車に乗

って退出する。

以上の説明を補足すると、

(1) 入庫時の入庫番地（入庫ストール番号）は空番地（空ストール）より能率順に自動選択される。

(2) 機械装置から入出庫口へ車を受渡する場合はオペレータが安全確認して操作卓の押しボタンを押すことにより実行される。

(3) 在車状況は記憶装置（コメモリ）に記憶され、記憶装置の更新は実際に車格納装置が各ストールへ車の出し入れを行なったときに同期して行なわれる。

(4) 操作卓には在車状況のほか、図 3. 8 のように空ストール数、機械装置の運転状態等が表示され、オペレータにより監視される。

(5) 図 3. 4 に示したようにお客が駐車カードを破損した場合には預り書を見て、また、駐車カード、預り書を紛失させた場合には、車 No により控の預り書を探して、手動設定器（デジタルスイッチ）により入庫データを入力する。

以上に記述した管理システムに必要な管理装置の機能を表 3. 1 に整理する。

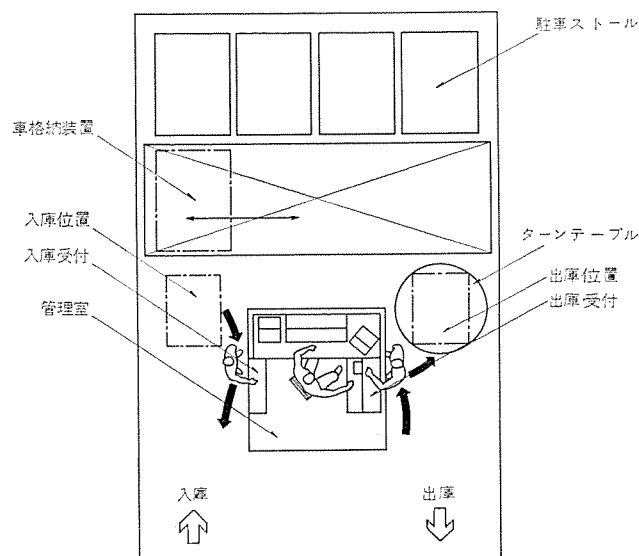


図 3. 2 1階平面図  
Plan of first floor.

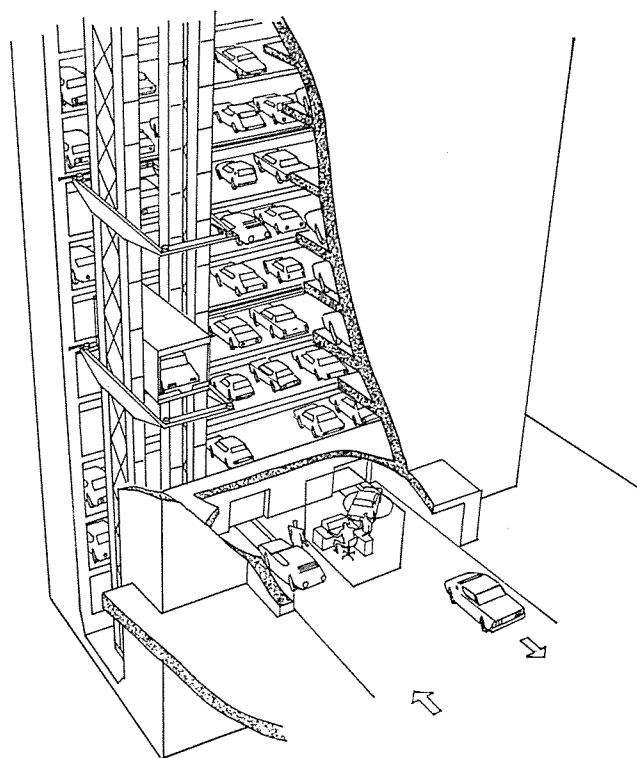


図 3. 1 ミニットパーク 駐車場全体図  
Configuration of MINIT park.

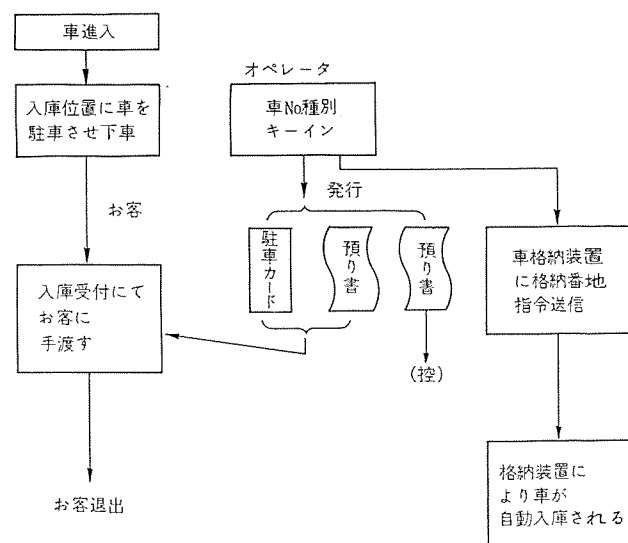


図 3. 3 入庫フローチャート  
Store flow chart.

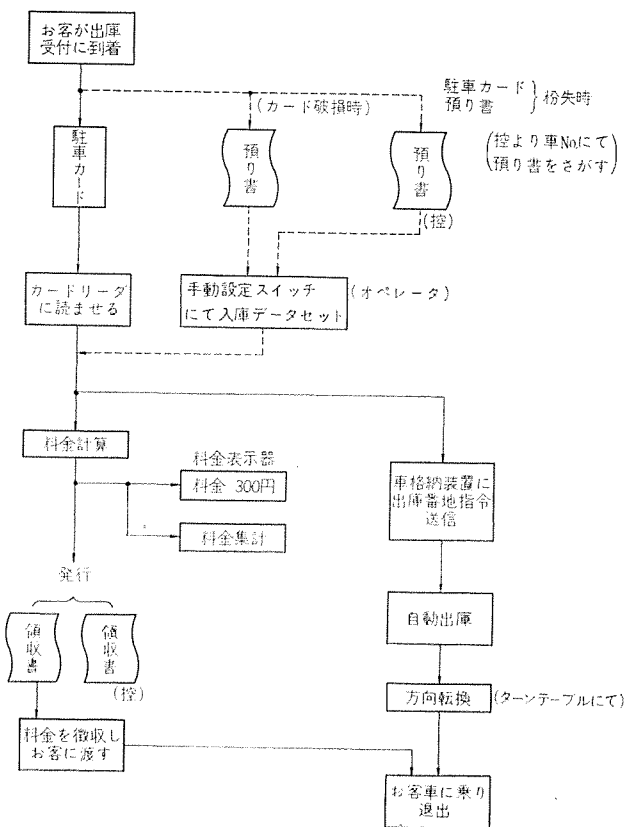


図 3.4 出庫フローチャート  
Retrieve flow chart.

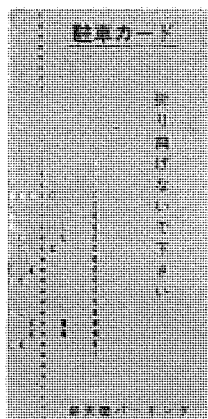


図 3.5 駐車カード  
Punched deposit tag.

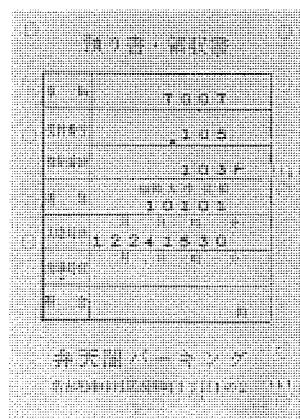


図 3.6 預り書  
Printed deposit tag.

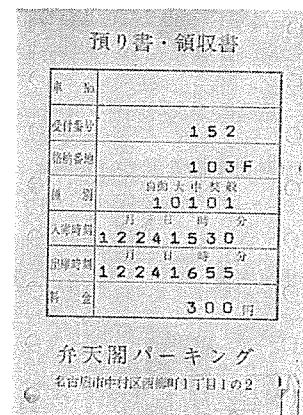


図 3.7 領収書 Receipt.

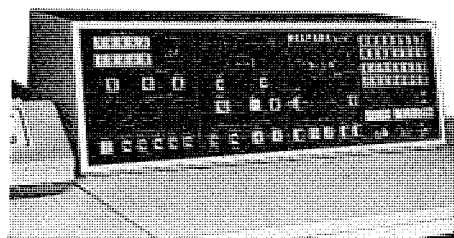


図 3.8 操作盤  
Operator console.

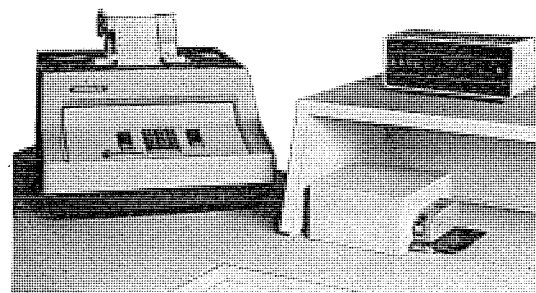


図 3.9 プリンタ・リーダーおよび料金表示器  
Printer, Reader & cash indicator.

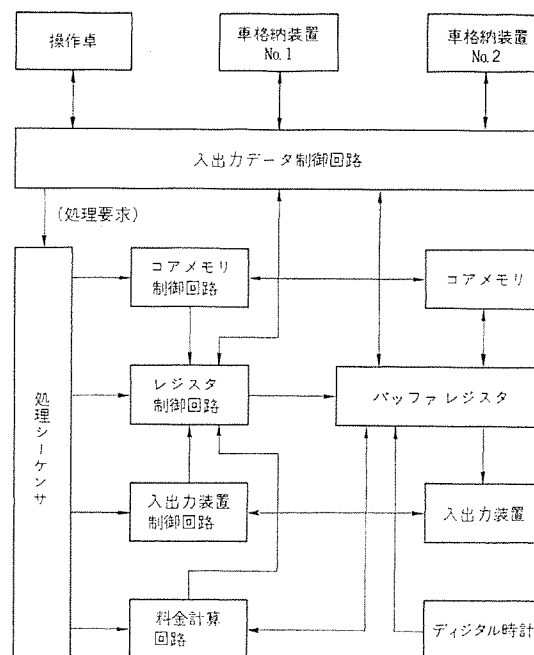


図 3.10 制御ブロック図  
Control block diagram.



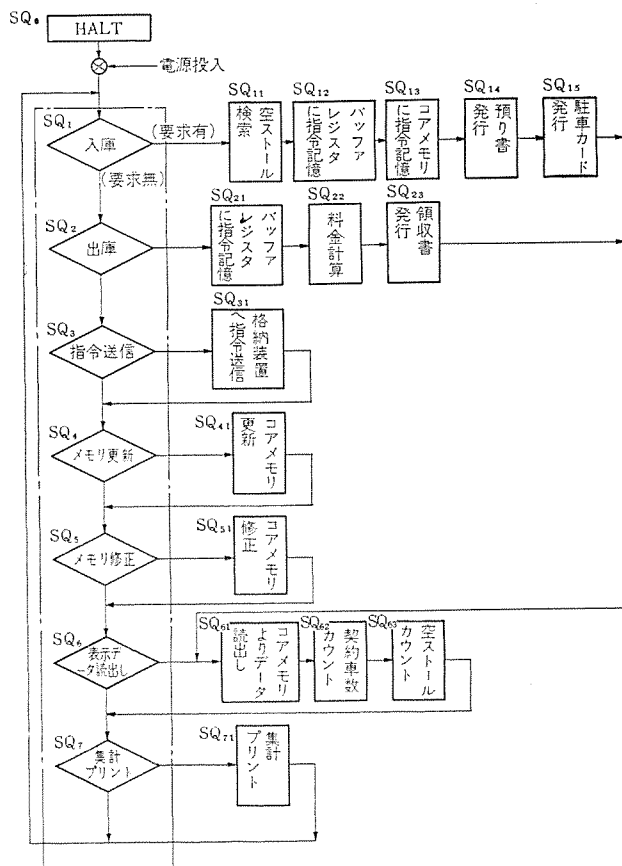


図 3.11 処理シーケンスチャート  
Process sequence chart.

表 3.1 MELPARK の機能  
Function of MELPARK.

機 能	仕 様	用 途
在 車 状 況 記 憶	記憶素子 コアメモリ 容 量 1k 語	車の在車状況を記憶用 1000 台まで記憶可能
空ストール 検 索	入出庫時間の短い空ストールを 優先	入庫ストール自動選択用
料 金 計 算	基準料金 $\times \times \times \text{円}$ 加算料金 基準分を越えたと $\times \times \text{円}$ 車種別に設定可能 サービス時間設定可能	駐車料金計算用 サービス時間は 出庫時の待時間減算用
カードパンチャ	最大 14 データ 所要時間 2.5 秒	入庫時の駐車カード発行用
プ リ ン タ	最大 10 けた 印字速度 1 行/1 秒	預り書、領収書発行用 車 NO は手動タイプイン
カードリーダー	所要時間 0.3 秒	出庫時の駐車カード読み取り用
料 金 表 示 器	卓 上 形 図 3.9 外 形 寸 法 高 さ 80 mm 幅 200 mm 奥 行 100 mm 表示けた 5 けた	お客への料金表示用
集 計	一般車入庫数 (車種別) 契約車入庫数 (車種別) 一般車料金集計 契約車料金集計	日計、週計、月計 業務委託時の審査用
デジタル時計	$\times \times \text{時} \times \times \text{分} \text{AM(PM)}$ 時刻修正つまみ付	料金計算用
手動データ設定器	入庫時刻 入出庫番地 メモリ修正番地 etc	バックアップ用 駐車カード紛失時 カードリーダー故障時
車格納装置との インタフェース	入出庫指令データ コアメモリ更新データ 動作、異常表示用データ	車の自動入出庫用 車格納装置の運転状況監視用

### 3.3 制御方式

図 3.10 の制御ブロック図および図 3.11 の処理シーケンスチャートに示したように、操作卓よりの入庫、出庫要求や、機械装置よりの指令送信、メモリ更新要求等の各処理要求は処理シーケンスの監視シーケンス (SQ<sub>1</sub>……SQ<sub>7</sub>) によりサイクリックに監視されており処理要求が発生したとき、SQ<sub>11</sub>……SQ<sub>15</sub> の各処理シーケンスが起動され各ステップにて図 3.11 に示したような処理が順次行なわれる。

たとえば、操作卓より入庫要求があったとき、シーケンスは SQ<sub>1</sub> から SQ<sub>11</sub> にジャンプし、SQ<sub>11</sub>, SQ<sub>12</sub>……SQ<sub>15</sub>, SQ<sub>61</sub>, SQ<sub>62</sub>, SQ<sub>63</sub> の各処理を実行して、またもとの監視シーケンスにもどる。

上記各ステップでの処理内容を記述すると

SQ<sub>11</sub>: コアメモリより空ストールを探し入庫番地 (入庫ストール) を決定する。

SQ<sub>12</sub>: 入庫番地指令を指令レジスタに記憶する。

SQ<sub>13</sub>: 入庫番地指令をコアメモリに記憶する。

SQ<sub>14</sub>: 預り書をプリンタにより発行する。

SQ<sub>15</sub>: 駐車カードをカードパンチャにより発行する。

SQ<sub>61</sub>: 表示レジスタにコアメモリの内容を読み出す。

SQ<sub>62</sub>: 契約車数をカウントし表示する。

SQ<sub>63</sub>: 空ストール数をカウントし表示する。

上記 SQ<sub>61</sub> から SQ<sub>63</sub> は SQ<sub>13</sub> によりコアメモリの内容が変更されるので再読み出し、再カウントを行ない表示内容を変更するためである。

また、SQ<sub>12</sub> にて指令レジスタに記憶された指令データは車格納装置が前の作業を完了し、次の指令の送信要求があったとき SQ<sub>31</sub> にて車格納装置に送信される。

その他の処理についても同様であるので省略する。

### 4. む す び

以上、駐車システム構成上の諸問題を整理し、システムから要求される機能をもり込んで、製作された当社の MELPARK 管理制御装置について紹介した。

機械式駐車場システムの現状を見ると、無人化、省力化の方向に進展しようとしているのは否めない事実であるが、まだ緒についたばかりという感じである。単に制御装置のみ自動化できる能力をもたせても、機械構造、レイアウトがそれに適していなければ実現できるものではなく、システム全体からみて各部に要求される機能を考察されなければならない点が多々ある。

また駐車場は一種のサービス業であり、無人化というのが最終目的ではなく、お客に満足のいくものでなければならない。したがって少ない人員でいかにサービスするか、人員をいかに有効的に使うかという点も見過してはならない。

したがって今後、ユーザ・機械装置メーカー・制御装置メーカーが一体となって、よりよいシステム作りの協力がますます必要になってくるものと思われる。

最後に MELPARK 制御装置開発にご協力賜った、三菱重工 (株) 関連部門および社内関連部門の各位に感謝の意を表します。

# 鉄道の操車場無線制御システム

杉 岡 昇\*・北 沢 實\*

北 垣 亨\*\*・横山 保憲\*\*・田 中 智\*\*

久 我 晃二\*\*・安 達 長 生\*\*

## Yard Wireless Remote Control System

Japanese National Railways Noboru Sugioka・Minoru Kitazawa

Mitsubishi Electric Corp., Communication Equipment Works Tôru Kitagaki・Yasunori Yokoyama・Satoshi Tanaka

Kôji Kuga・Hisashi Adachi

To cope with the age of re-developing the land, it is a trend to demand traffic facilities of high efficiency. The Japanese National Railways, in an attempt of converting the transport arrangements to meet the up-to-date requirement, have spent much money on weighty equipment and worked out automatic operation of a series of yards including the one in Koriyama. Those installation, however, are no more than automatic starting of cars at hump yards.

In Musashino yard a computer has been taken up in the control so as to change the whole system next to an automated yard by wireless remote operation.

This article describes the outlines of the system and equipment with which simultaneous wireless control of plural number of locomotives and also change of the routes in the yard for switching many groups at the same time.

### 1. ま え が き

経済の発展に伴い、物資輸送形態にも幾多の変遷があったが、自動車の激増による公害、道路建設による国土破壊、エネルギー消費の効率化、人口の大都市集中の弊害防止策としての列島改造論等、効率的な鉄道輸送に対する要望は、日ごとに高まっている。

国鉄としても財政再建のきびしい使命を負った今日、この機会を捕えて、鉄道貨物輸送に対する評価を高くし、コストを低減して、物流革新時代にふさわしい輸送方式へ転換をはかるべく、ヤード自動化の方向について検討を進め、このたび総合自動ヤード武蔵野操車場を完成した。

この操車場は、総武・常磐両線区の貨車操配基地であるほか、地域間急行貨物輸送ネットワークの基地としての機能を有し、貨車の行先方向別の仕訳用としてのハンプ仕訳線、貨車を駅順に組成するためのS形矢羽線等を有し、南北約6km、東西約0.4kmの大きさで、昭和49年度には、ハンプ分解能力4,400両/日を予定している。

武蔵野操車場の自動化システムは、転送貨車の制御、ヤード構内の進路制御を行なう制御システムと、作業計画・作業確認・ヤード管理等を行なう情報管理システムにより構成され、電子計算機・継電連動装置・カーリターダ・レーダスピードメータ・フレネル貨車検知装置・SLCおよび構内無線・機関車番号受信装置・操車用携帯無線・ATO等も導入されており、今後の自動ヤードのモデルになると考えられるが、本文ではこれらの中で広大な操車場の作業の高能率化に役立っている操車場無線制御システムについて紹介する。

### 2. 武蔵野操車場無線制御システム

武蔵野操車場の制御システムの中、今回導入された無線制御システムは、表2.1のとおりである。

#### 2.1 入換機関車の速度制御システム (SLC)

SLCは、従来人手により、定速度で行なわれたハンプでの貨車押

表 2.1 武蔵野操車場制御システム  
Musashino yard control system.

制 御 項 目	内 容	無線制御
貨 車 制 御	入換機関車の速度制御	分解能力向上のため押上速度、あるいは、突放速度を最適に制御する
	転送貨車の時隔制御	ハンプ分解能力を向上するため、ハンプ付近で貨車の速度を微調整し、貨車間隔を適正とする
	転送貨車の速度制御	貨車の連結地点における速度が適正になるよう自動制御する
	転送貨車の進路制御	分解表で決められた行先に貨車を自動仕訳する
進 路 制 御	到着、出発の進路制御	到着列車の情報、または出発列車の準備完了の情報により進路を自動的に構成する
	構内入換の進路制御	構内入換作業に伴う進路設定を操車掛の信号で自動的にこなす

上、あるいは人間のカンにたよっていたS形矢羽根線での突放入換制御を、分解車両の行先番線、両数に応じて、最適な速度となるように無線によって制御するもので、制御指示は電子計算機から出される。

武蔵野操車場ではSLCにより、下記の制御を行なうことができる。

#### (1) 第一押上制御

ハンプで列車を散転中、次の散転列車をハンプ付近に接近して待機させ、列車散転間合を短縮する。

#### (2) 第二押上制御

最適速度で押上げることにより、ハンプ散転時間を短縮する。

#### (3) 機回り制御

第二押上終了後、押上機関車をすみやかに退行させ、列車散転間合を短縮する。

#### (4) S形突放制御

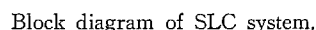
突放速度、突放間合を最適にして、分解作業時間を短縮する。

従来、操車掛と打合せながら、信号掛が行ってきた構内入換作業に必要な進路設定を、操車掛が作業開始情報を電子計算機に入力することにより、直接設定するもので、構内入換作業手順は、事前に電子計算機に記憶されており、操車掛は制御用携帯無線機の作業開始 ボタンを押すだけで、作業手順の第 1 進路が設定され、以後、軌道回路と車軸検知器の情報により、入換機関車と貨車の移動を追跡して、順次自動進路設定を繰返すものである。

### 3.1 システム

車上無線受信機は電波を受信し、誤りチェックおよび機関車番号の照合を行ない、正しい情報を続いて2回受信したことにより、これをATOに出力する。

車上には機関車番号を地上に送信する無線機があり、400 MHz 帯の微弱電波で、機関車番号に対応する  ${}^6\text{C}_2$  の 2 周波 トーン 信号を連続送信しており、線路上のチェック地点に布設された漏えい（洩）同軸ケーブルで受信し、機関車番号を検知することにより、仕業中の被制御機関車を識別することができる。



### 3.2 SLC 基地局

SLC 基地局は SLC システム の中において、計算機 (PCC : Process Control Computer)、機関車番号受信装置等から入換機関車の制御情報を受信して、これを伝送用符号に変換し、150 MHz 帯の無線波を介して車上局に伝える機能を有している。次項以降に本装置について説明する。

#### 3.2.1 方式・規格

- (1) 同時制御台数： 同時に 4 台の入換機関車を制御
- (2) 通信回線： 150 MHz 帯単一无線回線
- (3) 送信出力： 10 W
- (4) 通信方式： 単向式 デジタル サイクリック 伝送方式
- (5) 通信速度： 200 ビット/秒
- (6) 変調方式： FS-FM 変調
- (7) 符号誤り検出方式： 隣接反転 2 回照合、パリティ 検定、同期 パターン 検定の併用

#### (8) 多重系運用方式

- (a) 符号送信部： 並列二重運転出力一致方式
- (b) 変調部： 待期予備自動切換方式
- (c) 電源部： 待期予備手動切換方式

#### (9) 使用条件

- (a) 温度： 0~40°C
- (b) 湿度： 40~80 %
- (c) 電源： DC 24±2.4 V 非接地

#### 3.2.2 装置の概要

##### (1) 機能

本装置は、15 台までの入換機関車を同時に 4 台まで (第一押上用、第二押上用、機回り用、S 形矢羽根用各 1 台) 無線遠隔操縦するもので、その制御方法は大別して定速度運転と定距離運転である。

これらの入換機関車の無線遠隔操縦を行なうために、PCC から 4 台分の速度 (あるいは距離) 情報を、また機関車番号受信装置から同じく 4 台分の被制御機関車番号を同時に並列受信し、これを伝送用符号に符号変換する。この 4 台分の符号変換された情報は本装置内のブロックで 1 台ごとに走査され、走査された 1 台分の情報が更に符号送信部で隣接反転符号化、パリティビット 付加等の誤り検出可能な符号に変換され直列符号として無線機を介して送出される。即ち 4 台の入換機関車は 1 つの回線で時分割にて同時制御される。この送出様式を図 3.2 に示す。

なお非常事態発生時あるいは計算機異常時等、強制的に手動介入を可能とするために、HCC (Hump Control Console)、SCC (S 形 Control Console) からの信号を取り込み、上記同様送出することができる。

##### (2) 伝送時間

図 3.2 に示すごとく、複数台の機関車を時分割同時制御するために、1 台の機関車からながめた伝送遅れ時間は、1 台分の伝送時間の  $n$  倍 ( $n$  は同時制御機関車台数) となり、この伝送遅れ時間は制御精度に直接影響を与える。このために定点停止精度が要求される第二押上については、1 サイクルに 2 回走査することによりその伝送遅れ時間を短縮している。

この結果、各入換機関車への伝送遅れ時間は最大下記のとおりとなる。

- 第一押上、機回り、S 矢用： 1.2 秒
- 第二押上用： 0.6 秒

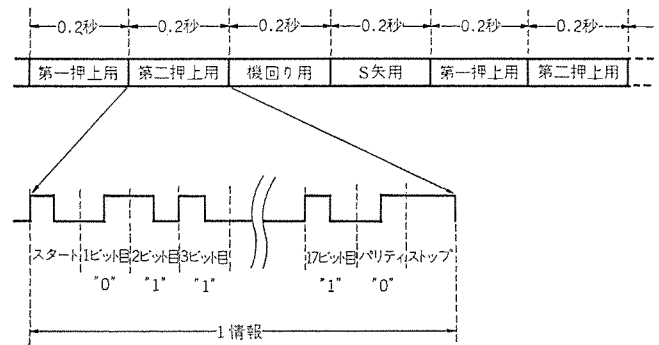


図 3.2 符号送出様式  
Format of transmission code.

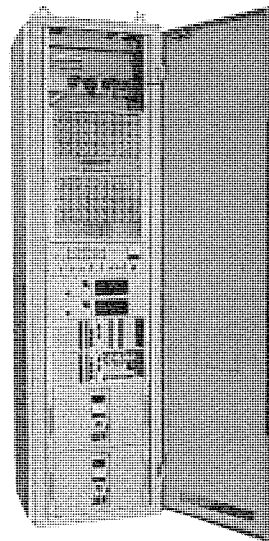


図 3.3 SLC 基地局装置外観図  
Exterior view of SLC base station.

##### (3) 装置信頼度

本システムにおいて、一番に要求されるのは保安度であり、同時に 24 時間連続運転となることより当然高稼働率が要求される。これを達成するために、基地局装置はすべて二重系とし、二重系の運用方法として、装置を電源部・変調部・符号送信部の三つのブロックに大別し、おのおので切換あるいは並列運転を可能としている。ここで前二者は待期予備の切換方式、後者は並列運転方式である。以上二重系にすることにより基地局装置の推定平均故障間隔 (MTBF)、稼働率は

$$MTBF = 3,700 \text{ 時間, 稼働率} = 99.98 \%$$

である。

##### (4) 試験機能

本装置内に特定パターン (17 点の情報すべて“1”とすべて“0”の二つのパターン) 発生回路と照合回路を有し、自動的に回路の良、不良を判断する機能を有している。ただしこの試験回路の起動は手動で行なう。

##### (5) 構造

基地局装置は、自立形きょう体 (高さ 2,300×幅 600×奥行 450) とし、保守の容易は前後全面とびらとした。なおブロック、ユニットについては極力プラグイン方式とし、すべて着脱できるようになっている。基地局装置の外観図を図 3.3 に示す。

### 3.3 SLC 車上局

SLC 車上局は、基地局より無線を介して送られてくる制御信号を受信して符号化し、自動操縦装置 (ATO) に制御情報を提供する無線受信機および符号受信装置と自車の番号を常時地上に送信する

機関車番号送信装置により構成されるが、本節では前者を以下に説明し、後者は次節“機関車番号受信装置”で説明する。

### 3.3.1 方式・規格

- (1) 通信回線： 150 MHz 帯単一无線回線
- (2) 受信感度： 20 dB 雑音抑圧感度は 6 dB $\mu$ V 以下
- (3) 通信速度： 200 ビット/秒
- (4) 誤り検出： 隣接反転 チェック、パリティチェック、同期パターンチェックの併用
- (5) 誤り訂正： サイクリック受信により、正しいデータ受信時のみ出力データを更新
- (6) 異常信号処理： 符号チェックアウト、回線断のいずれか 2 秒継続で停止指令
- (7) 使用条件
  - (a) 温度： 0~40°C
  - (b) 湿度： 50~90 %
  - (c) 振動： 振動数 1~30 Hz、振動加速度 1.4 G 以下
  - (d) 電源： DC 24 $\pm$ 2.4 V ー接地；  
DC 5 $\pm$ 0.25 V ー接地

### 3.3.2 装置の概要

#### (1) 機能

基地局から送信されてきた無線電波を機関車頂部に装備されたトッポロードアンテナで受信し、これを無線受信機で音声帯域内の FS 信号に復調して符号受信装置に与える。符号受信装置は、誤りチェック、機関車番号チェックを行ない正しい情報であれば、これをデータバッファ回路に一時記憶する。

データバッファ回路では、同一車番でかつ正しい情報が続いて 2 回以上入れば、これを出力リレー部で無電圧接点のオン、オフに変換して ATO に出力する。

#### (2) 装置信頼度

基地局装置の二重系に対し、車上局はフェールセーフ一重系とし、部分的に（符号受信、誤り検出回路部分）二重系としている。また故障時はユニット交換で修復するものとし、すべての予備ユニットを備えている。この車上局の推定 MTBF 並びにか動率は、

MTBF=7,000 時間、か動率=99.98 %

#### (3) 構造

本装置は、すべてプラグインユニットで構成され、ATO きょう体に取

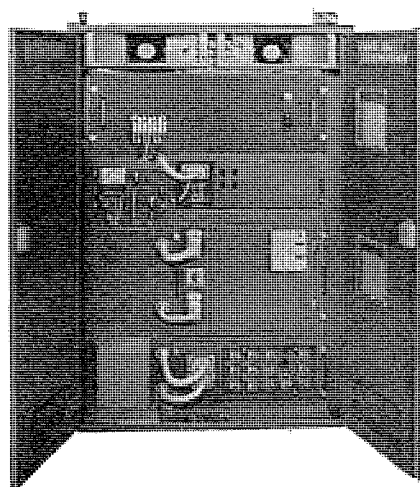


図 3.4 車上局装置外観図  
Exterior view of locomotive equipment.

付け、ATO との接続はコネクタ接続である。この ATO も含めた車上局全体の外観図を図 3.4 に示す。

### 3.4 機関車番号受信装置

この装置の特長は、電波法に制約されない微弱電波を使用し、複数の機関車に対して、無線周波数を一波割当てただけで、それぞれの機関車の在線を検知し、しかも漏えい同軸ケーブルアンテナの使用で、隣接線（4 m 離れ）にいる機関車との分離検出が可能なことである。図 3.5 に機関車番号受信装置系統図を示す。

入換機関車の制御プログラムは、事前にコンピュータ（PCC）に蓄積されている。しかしコンピュータが、複数の機関車の中から特定区間に在線する機関車を選択し、進路設定（継電連動によるポイント切換）を行ない、機関車をプログラムどおりに制御するためには、特定の機関車が、特定の地点を通過したことを検出する必要がある。

この装置はその目的に使用されるもので、機関車から送信された電波により番号検出を行ない、その情報を機関車番号判別ロジックに伝送している。

#### 3.4.1 装置の概要

車上送信機は、常時送信で周波数 412.35 MHz、出力は -42 dBm、0.3~3 kHz の  $\phi C_2$  による 2 周波の トーン変調をかけ、機関車の台車底面に取付けたダイポールアンテナによりふく（輻）射している。

地上設備は、特定地点の線路上に受信アンテナ（漏えい同軸ケーブルを約 10 m）を配置し、ケーブルの一端を FM 受信機に接続している。受信機復調出力は有線により機関車番号信号装置に接続され、ここで  $\phi C_2$  による 2 周波 トーン信号を 4 ビット出力に変換して制御機関車判別ロジックに渡す。 $\phi C_2$  による 2 周波 トーンの組合せにより 15 台の機関車番号を識別できる。

また、FM 受信機および機関車番号信号装置の信号器部は、それぞれ 2 重化を行ないシステム信頼度を高くしている。

#### 3.4.2 無免許波ふく射電力

電波法施行規則によれば、無免許波は 100 m 離れの電界強度は、15  $\mu$ V/m 以下と定められている。400 MHz で 100 m の自由空間損失を補正して無免許波許容ふく射電力を計算すると -42 dBm=71 dB $\mu$ V となり、この値が車上送信機出力となる。

#### 3.4.3 受信機入力レベル

機関車の台車底面にダイポールアンテナを取付けるが、アンテナとレールおよび LCX（漏えい同軸ケーブルの略称）との相対位置は図 3.6 のとおりである。ダイポールアンテナはアルミ地板付で図 3.7 にアンテナの

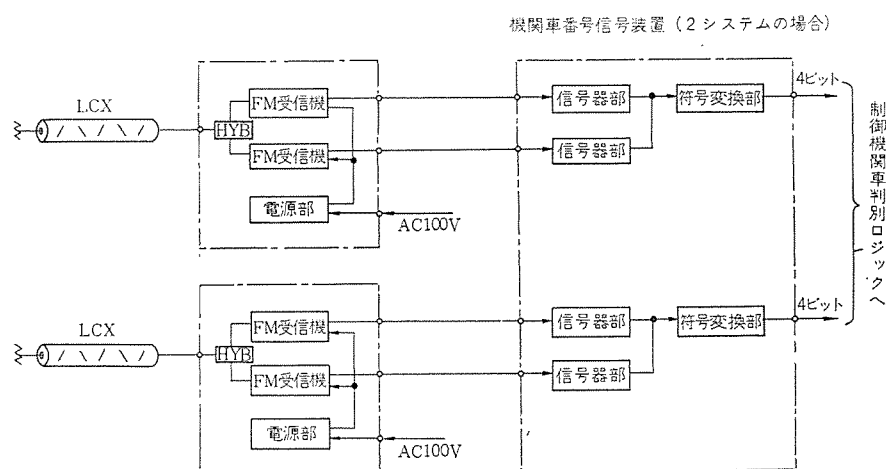


図 3.5 機関車番号受信装置系統図  
Block diagram of locomotive number receiving equipment.



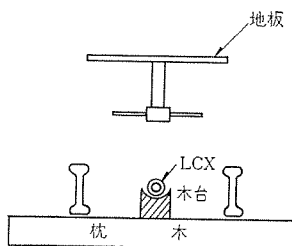


図 3.6 アンテナおよび LCX 配置  
Allocation of antenna and LCX.

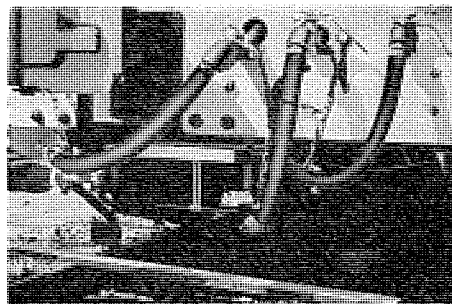


図 3.7 ダイポールアンテナ 取付  
Dipole antenna mounted on locomotive.

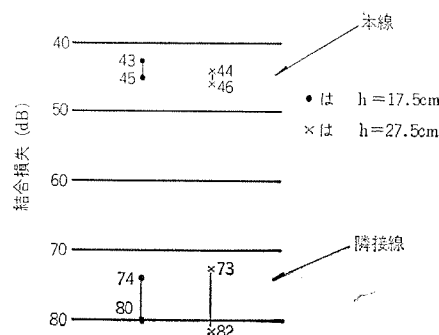


図 3.8 結合損失 (実測値)  
Coupling loss (measuring data).

取付状況を示す。

実測データの一例を図 3.8 に示すが、このデータよりケーブル真上での結合損失は約 45 dB であり、隣接線とのレベル差は約 30 dB とれることがわかる。

これらの数値を使用して受信機入力を計算すると次のようになる。

#### (1) 希望受信機入力

車上送信機出力 71 dBμV

LCX 結合損失 -45 dB

LCX 変動 -3 dB

LCX 伝送損失 -0.3 dB

+ 同軸ケーブル損 -1 dB

希望受信機入力 21.7 dBμV

#### (2) 隣接線受信機入力

車上送信機出力 71 dBμV

LCX 結合損失 -73 dB

LCX 伝送損失 -0.3 dB

+ 同軸ケーブル損 -1 dB

隣接線受信機入力 -3.3 dBμV

#### (3) スケルチ設定レベル

スケルチ設定レベルを、希望受信機入力と隣接線受信機入力の中間付近 10 dBμV に設定すれば希望受信機に対する動作マージンが約 12 dB とれ、隣接線受信機の誤動マージンは約 13 dB とれることになり、実用上は特に問題ない。

### 4. 構内入換の進路制御

#### 4.1 システム

本システムは、1) 操車掛、機関士で構成され、操車用携帯無線機を携行する作業グループ、2) センタに設置され、当日の入換作業の手順を記憶している計算機、3) 構内のポイントを制御する継電連動装置、4) 作業グループとセンタを媒介する構内無線、5) 計算機の応答を作業グループに伝達する音声応答装置から構成され、無線系は 400 MHz 帯電波を使用している。

無線周波数は 10 波を利用し、最大 10 作業グループの同時連絡通話と、7 作業グループの構内入換の進路制御を行なうことができる。

無線周波数は、相互変調、感度抑圧を考慮して、表 4.1 のごとく各作業グループに割り当てられているが、作業グループは移動するため、相互干渉の発生を避けることができないので、トンスケルチ方式を採用して相互変調による誤着信を防ぐほか、2 台の無線機を近接して使用しない等の運用上の制限により、感度抑圧を防止している。

構内無線基地局も前述せる理由により、送信基地局と受信基地局を分離するほか、隣接駅に対するオーバーチを防ぎ、周波数の有効

利用を計るため、アンテナの高さを制限するとともに、小出力、分散基地方式を採用し、操車場の組成ゾーンおよびハンパゾーンに送信基地局および受信基地局をそれぞれ 1 組ずつ配置している。

操車用携帯無線機は、センタ、機関士等との連絡通話のほか、制御タイミング信号により、計算機からの指令内容を引出す機能を有しており、操車掛の押しボタン操作で、トーン信号による制御タイミング信号を、無線基地局経由で、センタの計算機に送出する。制御タイミング信号は、無線回線の雑音、瞬断等の影響を避けるため、2 秒以上継続して送信することになっている。

無線基地局は、制御タイミング信号を受信すると、計算機に同信号を最低 1 秒出力すると同時に、操車掛に音声応答装置から応答信号として、800 Hz の 1 秒断続のアクトーン信号 (ACKTONE 信号) を 15 秒間送出させる。構内無線は緊急通話に備えるため、作業グループの通話を優先させており、アクトーン信号は無線受信機のキャリア断を検出して、回線のあきを確認してから送信するほか、アクトーン送信中といえども、作業グループから同一 CH で発信があれば、回線があくまでアクトーン信号送出を休止する。

計算機は制御タイミング信号により、あらかじめ蓄積された作業計画に従って、継電連動装置を制御し、進路設定が完了すると、音声応答装置に放送指示を与え、アクトーンを打ち切り、送信基地局を通じて操車掛に放送する。

武蔵野操車場では、進路標識が設置されているので、進路の開通は標識により確認され、放送は注意を喚起する役割にとどまっているが、作業変更、連動条件未成立、前作業未了、車両数の不一致等の理由で、操車掛からの信号が受信されたにもかかわらず、進路設定ができない場合には、音声応答装置はその情報を定形化された放送文で操車掛に伝達するのに役立っている。

武蔵野操車場の進路制御は、制御タイミング信号により、構内入換

表 4.1 周波数割当  
Frequency allocation.

作業グループ	周波数 MHz	基地局アンテナ方向
組成ゾーン	上り組成入換	両方向
	下り組成入換	両方向
	S 形入換	両方向
	D <sub>1</sub> 形入換	両方向
	D <sub>2</sub> 形入換	両方向
	上り着発線入換	両方向
	下り着発線入換	両方向
ゾーンプ	下り第 2 出發線入換	片方向
	特殊入換	両方向
	折返線入換	片方向
ハンパゾーン	特殊入換	両方向



- (5) トーン SQ 周波数: 88.5~203.5 Hz 内の 5 波  
 (6) 呼出周波数: 412.5 Hz  
 (7) 制御 タイミング 信号: (5), (6) 項の信号同時受信時にリレー接点を音声応答装置に渡す

- (8) 周波数偏差:  $\pm 1 \times 10^{-5}$  以内  
 (9) 高安定発振周波数偏差:  $\pm 5 \times 10^{-8}$  以内  
 (10) 送信周波数通倍数:  $12(2 \times 2 \times 3)$   
 (11) 送信 スプリアス ふく射: 60 dB 以上  
 (12) 音声最大周波数偏移:  $\pm 4.3$  kHz  
 (13) トーン SQ 信号:  $\pm 0.55$  kHz, 最大周波数偏移  
 (14) 受信通過帯域幅: 6 dB 低下にて 12 kHz 以上  
 (15) 受信減衰量: 70 dB 低下にて 25 kHz 以内  
 (16) 操作盤スピーカ出力: 0.5 W 以上

#### 4.3.2 装置の概要

(1) 置局は、隣接チャネル妨害軽減のため、送信架、受信架を分散するとともに、操車場構内特有の形状、作業性に適合させるためさらに送信架・受信架をそれぞれ 2 分した分散基地局方式で、送信架 2 か所、受信架 2 か所計 4 か所に分散している。

(2) 通話路数は 10 チャネルで、これをハンブゾーンに 1 チャネル、組成ゾーンに 8 チャネル割当て、残りの 1 チャネルを両ゾーン共用に割当てることにより、全線通話可能なチャネル 1 回線を保有している。

(3) 全線通話可能なチャネルの送信機は高安定発振器で動作させ、ビート障害を軽減している。

(4) 隣接チャネル妨害を実害のない程度にするために、トーンスケルチを採用するとともに、送信機にはアイソレータを実装し、混交調を低減している。

(5) 通話方式はプレストーク方式で、コントロールセンタに設置された 5 台の操作盤で行なう。各操作盤には作業種類に応じたチャネルが割

り当てられている。

(6) 送信起動は操作盤からの制御が優先するが、自動制御中の場合にはランプ表示ならびに制御内容のモニタにより緊急時における優先順位の判断ができる。

(7) 送信・受信パネルは現用予備実装で、現用パネル故障時に自動的に予備パネルに切換わる。

(8) 分散した送信架・受信架・操作盤はすべて有線にて監視制御御架に中継接続している。また、送受信架と音声応答装置の中継接続も監視制御御架で行なっている。

(9) 各架は電源  $-24 \text{ V} \pm 10\%$  で動作する。

(10) 装置の構成を表 4.2, 系統を図 4.4, 操作盤外観を図 4.5 に示す。

#### 4.4 操車掛用携帯局

本装置はアンテナとスピーカを内蔵したヘルメットを頭部に、各種制御機能と電気回路を備えた無線機本体を腹部に装着して使用する。

性能面では過酷な屋外の使用条件にも安定に動作するように、とくに環境性能を上げた。機械的強度も増大するためにきょう(筐)体はアルミダイキャストにより製作し、電気的にも高い信頼性を得るためアンテナ切換スイッチや 3 波実装の音声フィルタ等の可動部品は電子化した。各回路の IC 化も大幅に促進した。

操車掛用携帯無線機の外観図を図 4.6 に示す。

##### 4.4.1 装置の概要

###### (1) ヘルメット部

使用時における煩わしさを避けるため、種々の注意を払った。すなわち、アンテナはヘルメット内面に張り合わせて外部に突出することを避けた。スピーカとマイクは分離をしスピーカはヘルメットに取付け、マイクは操車場の環境条件を考慮し雑音除去用の差動マイクを使用した。

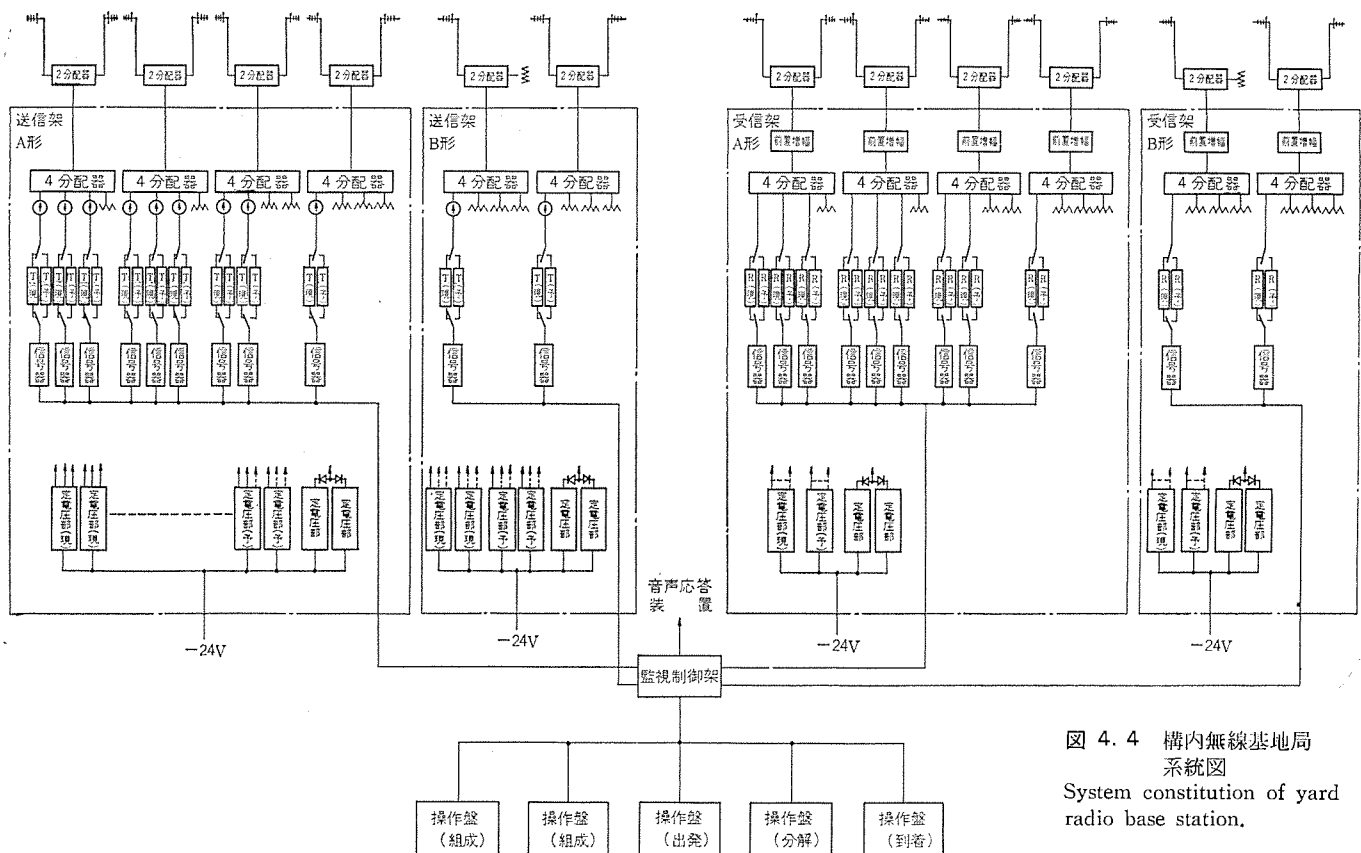


図 4.4 構内無線基地局  
系統図  
System constitution of yard  
radio base station.

表 4.2 構内無線基地局構成一覧表  
Constitution list of yard radio base station.

種 類	構 成 品 名	内 容	数 量	
			A形	B形
送信架A形 (3架構成) 送信架B形 (2架構成)	送 信 部	現用予備実装	9	2
	現用予備接続部	同軸リレー, アイソレータ	9	2
	空中線共用部	4分配器	4	2
	制 御 部	トーン SQOSC, リレー	1	1
	共通制御部	マイクアンプ	1	1
	高安定発振器部	現用予備実装	1	1
	定 電 圧 部	DC -19V, 4A	12	8
受信架A形 (3架構成) 受信架B形 (2架構成)	操 作 部	点検メータ, 局操スイッチ	1	1
	受 信 部	現用予備実装	9	2
	現用予備接続部	同軸リレー	9	2
	空中線共用部	前置増幅器, 4分配器	4	2
	制 御 部	トーン SQ 信号器, 基地呼信号器, リレー	1	1
	共通制御部	スピーカアンプ, S/N 比較用ノイズアンプ	1	1
	定 電 圧 部	DC -19V, 4A	4	4
監視制御架 (3架構成)	操 作 部	点検メータ, 局操スイッチ	1	1
	制 御 部	マイク, スピーカアンプ, S/N 比較, リレー群等で送受信架, 音声応答装置との接続をおこなう	1	
	操作盤制御部	マイク, スピーカアンプ, リレー群等で操作盤との接続をおこなう	1	
	定 電 圧 部	DC -19V, 4A	10	
操 作 盤	操 作 部	点検メータスイッチ, ランプ群で送受信架の遠隔制御, 監視をおこなう	1	
	スタンバイ	スタンバイマイク, スピーカ各種スイッチ, ランプ	5	
	5 素子 八 木	送受信架共通	8	3
空 中 線	2 分 配 器		4	2
	ダ ミ ー		—	1

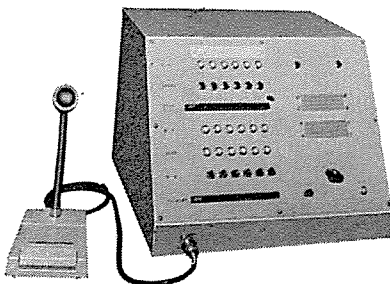


図 4.5 操作盤外観  
Exterior view of control panel.

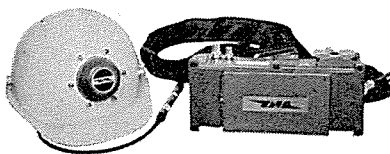


図 4.6 操車掛用携帯無線機  
Portable radio equipment.

## (2) 制御部

無線機本体の上面において次の制御を行なう。

(a) 電源の接断と 3 チャンネルの周波数選択

(b) 大, 中, 小, 3 段階の音量切換

(c) シーズスイッチによる音声通話と 800 Hz の変調波を 0.5 秒おきに間欠送信する合図信号の切換

(d) 2,700 Hz を連続送信する警報信号の送出

(e) トーン信号の重畳されない 412.5 Hz のセンタ呼出信号の送出

(f) 412.5 Hz と指定 トーン信号重畳による制御 タイミング 信号の送出

(g) 電池電圧のメータ指示

## (3) トーンスケルチ部

本システムでは電波の有効利用をはかるため トーン信号常時送出方式による トーンスケルチを採用している。

この方式を説明すると, 送信側では 300 Hz 以下の指定された トーン発振器を持ち, 音声とともに変調を掛けて送出する。この トーンの変調割合は多いほうが確実であるが音声の変調が浅くなり, また S/N の劣化にもつながるため 0.55 kHz に定めている。

受信側では復調回路のあとに トーンフィルタを設け, この トーン信号により動作する トーンスケルチ回路と通常の ノイズスケルチ回路とを音声回路に直列に入れ, キャリヤ周波数と トーン周波数の両波が存在したときのみ音声回路を開く回路としている。そのため, キャリヤ周波数が一致しても トーン周波数が不一致のときは音声回路が開かない。例えば隣接ヤードからの微弱な同一 キャリヤ妨害に対しては トーン周波数を変えることにより完全に除去でき, 混信防止に威力を発揮する方式である。

トーン発振器および トーンフィルタとして従来は機械的振動子を用いていたが, ここでは C・R および オペアンプによる アクティブフィルタを使用し振動・衝撃特性を上げた。

## 5. む す び

最近の進歩した無線および伝送技術と, 計算機を組合せたシステムを使用して, 操車場の生産性を高めた一例として, 武蔵野操車場の無線制御システムについて述べた。

このシステムは, 今後も鉄道輸送の近代化に対する必要性から, ますます拡大していくものと予想される。

最後に武蔵野操車場の無線制御システムの計画, 設計, 施工および調整にあたり, ご指導ご協力頂いた国鉄本社 東京第二電気工事局, 鉄道技術研究所の関係者各位に, 深く感謝する次第である。

## 最近の電鉄用直流変電所

新名 昭吉・冬 広 力\*\*

## Recent DC Railway Substations

Head Office Shokichi Niina  
Itami Works Tsutomu Fuyuhiro

The project of extending or newly building DC substations for electric railways has been drawn up one after another by the Japanese National Railways and private enterprises. In the recent trend of subways coming in the limelight for the facilities of city traffic, the DC substations to supply the power are considered indispensable equipment. The requisites increasingly asked for with it are: no public hazard, compactness, safety and high reliability in operation. In addition, in the technique of controlling a good many substations, efficient operation by a small number of attendants is to be taken into consideration. This article describes the most up-to-date apparatus and system for the purposes.

## 1. ま え が き

近時、輸送力の増強近代化のために、国鉄および私鉄における在来線の電化、新線計画が活発に行なわれているが、特に最近では都市交通として地下鉄が大きく脚光を浴び、多数計画されつつある。

この結果変電所の設置にあたっては、都心部の地上あるいは地下に設置されるものも数多くなってきたが、これらには現在まで以上に、無公害・高信頼度・縮小化・安全性が要求されることとなった。これに対応する機器としては例えば

(1) 不燃化対策……乾式変圧器、SF<sub>6</sub>ガス変圧器、フロンガスによ

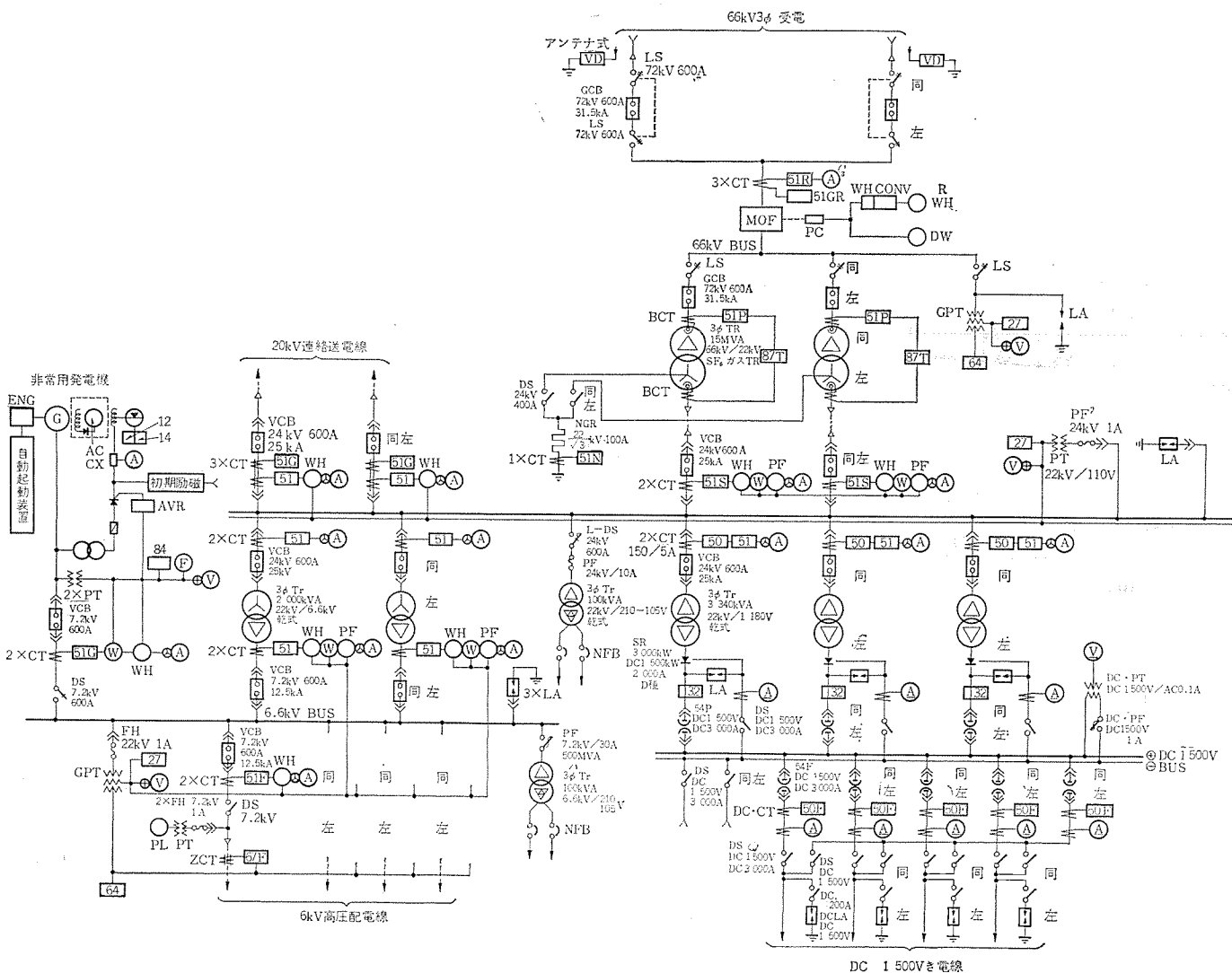


図 1 1 電鉄用直流変電所単線接続図例

Single line diagram of a typical DC traction substation.

る沸騰冷却式整流器

(2) 騒音対策……低騒音変圧器,  $SF_6$  ガスしゃ断器, 真空しゃ断器

(3) 縮小化, 安全性……GIS ( $SF_6$  Gas Insulated Substation) 60 kV 以上, ミニクラッド (固体絶縁開閉装置) 20 kV キューピクル (70 kV ~ 6 kV DC 1,500 V)

等の新技術も数多く開発され実用化されつつある。

また変電所の制御技術としては, トータルシステムの一環として, 電算機を導入した電力管理システムの採用を行なうことにより, 小人数のオペレーターによる合理的かつ高信頼度の設備とすることができる。

以下本文ではこれら最近の機器, システムについて述べている。

## 2. 電鉄変電所用整流器

最近の電鉄変電所用整流器は, 従来から要求されている無保守化・無騒音・小形化に加えて, 信頼性向上・無公害性が強く要求される。

当社ではこれら社会的要求に合致した方向で, 開発ならびに実用化が進められているが, それらの一端をここに紹介する。

### 2.1 整流素子

新冷却方式の導入と相まって, 大容量高耐圧素子の発展がみられる。当社の現在までの標準シリーズとして量産化されている大容量高耐圧素子は, スタッド形の SR 400 C シリーズと, 平形の FD 1000 シリーズであるが, 今回本文 2.3.2 項に紹介するフロン沸騰冷却に適合する FD 1600 シリーズが量産体制にはいった。

FD 1600 シリーズ, 図 2.1 は FD 1600 A 形大容量平形素子の外観を示す。これは現在わが国において使用されている最大の電力用整流素子である。定格容量の増大とともに FD 1000 シリーズ同様に圧接構造を採用しており, 電鉄負荷における熱サイクル動作に対して, 常に安定した信頼性が与えられている。

このような大容量素子と有効な冷却方式との組合せにより装置の

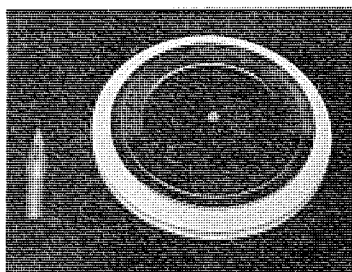


図 2.1 FD 1600 A シリコン整流素子  
FD 1600 A silicon rectifier element.

表 2.1 FD 1600 A 素子 定格表  
Ratings of FD 1600 A cells.

項 目	記 号	単 位	FD 1600 A -40 -50 -60
せん 頭 逆 電 圧	$V_{RRM}$	V	2,000 2,500 3,000
過渡せん頭逆電圧	$V_{RSM}$	V	2,300 2,800 3,300
平 均 順 電 流	$I_{T(AV)}$	A	1,600 (方形波 180° 通電, ケース温度 90°C)
サージ電流	$I_{TSM}$	A	30,000 (商用周波, 单相半波 1 サイクル, 波高値, 非繰り返し)
電流二乗時間積	$I^2t$	A <sup>2</sup> s	$3.75 \times 10^5$ (60 Hz 半波 1 サイクル)
動作接合部温度	$T_j$	°C	-40 ~ 150
保 存 温 度	$T_{stg}$	°C	-40 ~ 150
使 用 周 波 数	f	Hz	1,000
圧 接 力		kg	3,000
重 量		g	480

使用素子数は極端に少ないものとなる。たとえば, 1,500 V 3,000 kW, D 種定格の整流器において, FD 1600 A-50 形素子がわずか 36 個しか使用されない。(従来と同様直列に 1 個余裕を与えての数である) このように部品数の減少は素子個々の信頼性向上とともに装置の信頼性の大幅向上に貢献している。

### 2.2 回路構成

電鉄変電所用 シリコン 整流器の回路としては, 三相ブリッジ結線・六相半波相間リアクトル付き二重星形結線のいずれかを採用するのが標準であるが, 特殊な場合として二重三相ブリッジ結線で製作する場合がある。この回路特性について紹介する。

整流器用変圧器二次巻線をおよび△に分割し, 30° 位相差をもたせた回路を直流側で直列接続するもので, 十二相整流となり, 次のような特長がある。

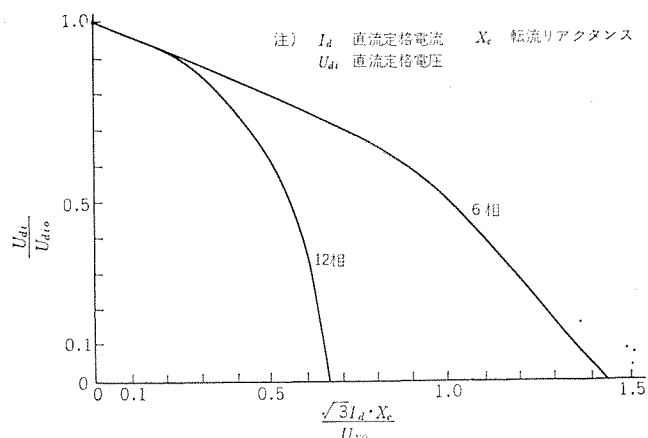


図 2.2 電圧変動率特性  
Regulation curves.

表 2.2 主回路結線の比較表  
Comparison of rectifier connections.

回 路 図	三相ブリッジ	六相二重星形	二重三相ブリッジ
$U_{d0}/U_{vo}$	1.35	1.17	1.35
$U_r/U_{d0}$	1.05	2.09	1.05
変圧器一次容量	1.05 Pd	1.05 Pd	1.015 Pd
変圧器二次容量	1.05 Pd	1.48 Pd	$2 \times 1.05 (U_{d0}/2 \cdot Id)$
平均容量	1.05 Pd	1.35 Pd (I.P.R. 含む)	1.033 Pd
DC ripple/ $U_{d0}$	6% (6th)	6% (6th)	2.25% (12th)
AC reaction	6 pulse	6 pulse	12 pulse
DC 調サージ電圧	1	$1 + \sqrt{2} U_{vo}/U_{surge}$	1
無負荷電圧	1	$1 + 0.154 (rise)$	1

注)  $U_r$ : 過電圧せん頭値 Pd: 直流出力 ripple: 実運転時における値 (BS4417 による)

表 2.3 高調波の比較表  
Comparison of higher harmonics.

高調波電流含有率

高調波含有次数	6 相	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31	35	37	……
	12 相	—	—	11	13	—	—	23	25	—	—	35	37	……
基本含有率 (% $X=0$ )		20	14	9.1	7.7	5.9	5.3	4.3	4.0	3.4	3.2	2.9	2.7	……
実 測 例 (% $X=10$ )		17.4	10.9	4.49	2.35	1.54	1.08	0.90	0.77	0.58	0.51	0.43	0.38	……

直流側高調波成分 (転流重なり角=0 格子率=0)

高調波含有次数	6 相	6	12	18	24	30
	12 相	—	12	—	24	—
DC ripple/ $U_{d0}$ (%)		5.71	1.40	0.62	0.35	0.22



(1) 電圧変動率を大きくすることなく、転流モードの変化により短絡電流を抑えることができる。

(2) 1素子にかかる電圧を低くできるので、素子の保護をヒューズで行ないやすい。

(3) 電源高調波を低減することができる。

(4) 直流出力波形が六相比べ平滑となる。

以上のような特長から、万一の直流側短絡事故に対して、短絡電流を抑えられること、あるいはヒューズを採用している場合、短時間にしゃ断できることから電源系統に与えるショックが小さく、信頼性向上につながる。電源側・き電側ともに誘導障害の少ない装置として無公害性といえる。

### 2.3 冷却方式

ここ数年来新設される整流器のほとんどは油冷式であるといえる。各種油冷式があり、それぞれ特長があり今後も引続き製作されるであろうが、油冷式整流器の共通した問題として、一般鉱油を使用することによる火災問題がある。一方PCB公害の問題点より不燃油を使用することは不可能である。防災といった問題点より、従来中・小容量にしか適用されなかった気中自冷式が、大容量整流器にも適用が考えられるようになった。また当社が最近開発に成功した、フロン沸騰冷却整流器は、大容量整流器に適した冷却方式で完全自冷・不燃性・無公害という特長がある。以下この二つの冷却方式の製作例について紹介する。

#### 2.3.1 気中自冷式整流器

これは自然対流の空気によって放熱させる完全自冷式である。中・小容量のものについては、従来から数多く製作例があるが、これらはスタッド形素子を使用されている。当社では大容量向として、平形素子の両面から冷却される放熱効果を考え、工夫をこらしたスタックの製作に成功、自冷ながら冷却効率のよい装置を完成した。

昭和47年8月に、オーストラリア(NSWR)に納入した1,500V 4,000kW 5セットは、多極水銀整流器の取換用で、図2.3に示す。1,000kW装置を水銀整流器用キュービクル内に納め、4組で4,000kWを構成している。整流器の過負荷定格は、150% 2時間、200% 30分、300% 1分、400% 10秒という過酷なものである。

また現在、同定格で1キュービクル4,000kWという大容量のものも同客向に2セット製作中である。なおこれは2.2節で紹介した十二相整流を行ないヒューズ保護を採用している。

#### 2.3.2 フロン沸騰冷却整流器

##### (1) 冷却原理

沸騰冷却方式は従来の冷却媒体の流れによる熱伝導を用いている

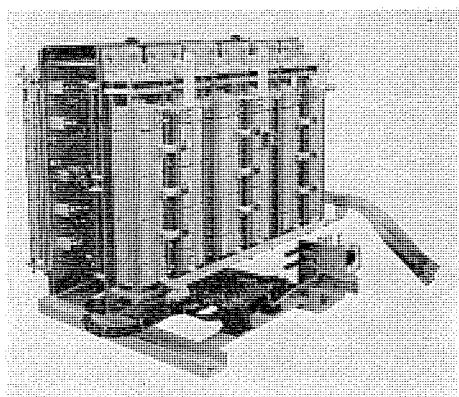


図 2.3 1,500V 1,000kW 気中自冷式整流器  
1,500V 1,000kW Natural air cooled type silicon rectifier.

ものと全く異なり、特殊な絶縁性の冷却媒体の液相から気相への相変化による蒸発潜熱を利用するもので、従来の相変化を伴わない冷却方式と異なり、自然冷却方式であっても従来とはけたはずれの高い冷却効率が得られる。ごく一般的に比較すると次のような値である。

- |                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| (a) 強制風冷 (5~6 m/s)   | 20~30 kcal/°Cm <sup>2</sup> h         |
| (b) 強制油冷 (約 1 m/s)   | 500~600 kcal/°Cm <sup>2</sup> h       |
| (c) 強制水冷 (1~2 m/s)   | 3,000~4,000 kcal/°Cm <sup>2</sup> h   |
| (d) 沸騰冷却 (自然 プール 沸騰) | 20,000~30,000 kcal/°Cm <sup>2</sup> h |

この沸騰作用は整流素子につける小さな放熱片の表面で行なわれる。気相に変化した冷却媒体は気体となって上部へ上り、上に設けられている凝縮器において熱を外部に放出して、再び液体となって下の整流器部分にもどる。循環させる力は冷却媒体が運ぶ熱自体で、負荷が増加すると冷却能力も増大して発熱体の温度上昇を抑えようとする理想的な特性を示す。

##### (2) 特長

この沸騰冷却は冷却媒体として、フロンを用いており冷却としては、究極の姿ともいえるもので高い冷却能力を有しているが、それ以外に次のような特長がある。

(a) 不燃性：フロンは不燃性であり、アークなどの電気事故に対しても安全な特性を示す。

(b) 無公害：フロンには毒性がなく、その取扱いにおいて、PCBのごとき問題はない。

(c) 高絶縁：フロンの電気的特性は、液相でほぼ鉱油に等しい絶縁能力がある。気相部分で2.5mm 平等電界でほぼ10kVの絶縁能力がある。

(充電部分は液相部分に浸されるので気相での絶縁能力は特に問題とはならない)

(d) 大容量素子：高い冷却能力があるので、従来使うことのできなかった大容量素子とその能力を十分に発揮することができる。

沸騰冷却そのものが、自然 プール 沸騰なので、整流器自身は完全な静止機器である。また外気としゃ断されているので長年月に対して、内部が保護される。沸騰した気相部分の熱の放散は大気に対して行なうが、このための放熱器(凝縮器)も完全自冷式のものの製品化を完了し全く回転する補機をもたない装置として完成している。

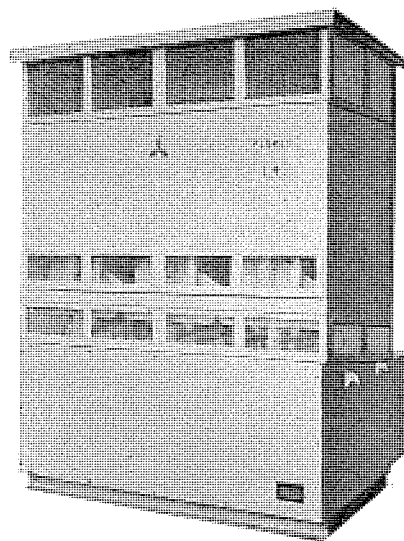


図 2.4 1,500V 3,000kW 沸騰冷却整流器  
1,500V 3,000kW Evaporation cooled type silicon rectifier.

表 2.4 標準バルブ定格表  
Standard valve ratings.

バルブ形名	電流 $I_d$ (A)	定格 逆電圧 (V)	内部接続	備 考
SH-011A	450	2500×3		3セットで 2000kW 3相ブリッジ
SH-021A	670			3セットで 3000kW 3相ブリッジ
SH-031A	1000			3セットで 4000kW 3相ブリッジ
SH-041A	670	3000×4		2セットで 2000kW ダブルスター
SH-051A	1000			2セットで 3000kW ダブルスター

(注) バルブの過負荷耐量は150%2時間300%1分

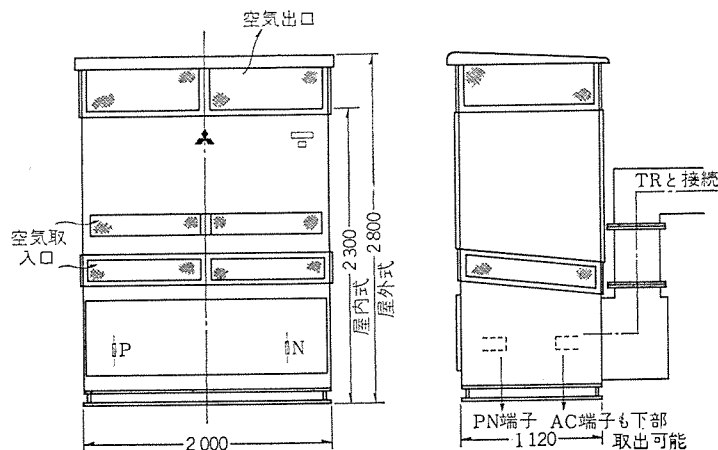


図 2.5 1,500 V 3,000 kW 沸騰冷却整流器外形寸法図  
1,500 V 3,000 kW Outline dimensions of evaporation cooled type silicon rectifier.

### (3) 構 成

標準化されたバルブが構成単位となり、整流器を形成している。この標準バルブには、1組の凝縮器が組合されている。従来のスタックに代わってこのバルブが回路構成の要素となるわけで、表 2.4 に示す標準バルブを組合せることにより各容量の変電設備に適合するように考えている。

このバルブ内の素子チェックも外部から容易に行なえ、万一の場合のバルブ取換、工場でのバルブ修理も容易に行なえるようになっている。

図 2.5 に示すのは、バルブ形名 SH-021 A 形 3 組を使用したもので、1,500 V 3,000 kW 定格で屋外使用のものである。

### 2.4 各種冷却方式の比較

各種油冷式整流器に加えて、フロン沸騰冷却という新しい冷却方式のものが完成されたが、表 2.5 に各冷却方式別整流器の比較を簡単に紹介する。

冷却方式の決定は、変電所の立地条件と使用者側の基本方針により最終的に選定されるべきものと考えられる。当社では多種の冷却方式に対する製作実績を有し、使用者側のいかなる要求にも応じて

いける体制を整えており、なかでもフロン沸騰冷却整流器は、今後の変電所の合理化に大きく貢献していくものと考えている。

## 3. 開 閉 装 置

開閉装置も従来はそれぞれの機器を変電所内に設置して、主回路を接続する方法が行なわれていたが、最近においては絶縁物の向上とともに閉鎖化が行なわれつつある。

### 3.1 ガス絶縁変電所 (GIS)

60 kV 級以上の地下変電所、屋内変電所等において据付面積の制限、高さ寸法制限等のある場合に最適であってその一般的な特長は、次のようなものがあり多数計画されつつある。

#### (a) 高い信頼性

主要な導電部・絶縁部・接続部などがすべてガス中に密閉されて、外部ふん囲気の影響から断されているので長期間劣化せず高信頼度を維持できる。

#### (b) 大きい容積縮小

従来例をみなかったほどの大きな縮小度が達成され容積が従来の変電所の数分の一から数十分の一に縮小される。電圧が高くなる程有利であって、地価の高いところでは大いにメリットがでる。

#### (c) 省力化

工場において組立、試験されたものが最少限度に分割輸送されて、現地に据付けられるので、据付工期、手間が省けるばかりでなく、密閉システムによる高信頼性によって運転・保守の省力化が達成される。

#### (d) 無公害および安全性

完全に密閉され、電氣的シールドがされているので電波障害が除去されるばかりでなく、空気シャ断器のように操作時、排気ガスによる騒音もない。

図 3.1 に設置例写真をまた図 3.2 にはレイアウト例を示す。

### 3.2 ミニクラッド

22 kV 固体絶縁開閉装置であって、22 kV 受電のユニットサブステーションとして最適のものである。シャ断器としては定格電圧 24 kV、短絡電流 25 kA の真空シャ断器を使用し、母線電流は 1,500 A、2,000 A となっている。製作実績としては昭和 44 年 3 月に東京電力(株)に納入してから以後多数の納入実績をもっており、特長としては下記のものがある。

#### (a) 小 形

従来のキュービクルの空気絶縁の部分に絶縁耐力の高いエポキシ樹脂および EPT ゴムを用いて絶縁容積を従来のキュービクルの 10 分の 1

表 2.5 電鉄変電所用 シリコン 整流器 冷却方式別特長比較  
Comparison of features on various types of cooling.

冷却方式	外形寸法 幅×奥行×高さ mm	重 量 kg	特 長			
			保 守	不 燃 性	寸 法	そ の 他
風 冷	2,000×1,000×2,350	2,000	要	○	小	騒音有, 屋外不適
レクチフォーム	2,000× 650×2,300	2,000	ほとんど不要	×	小	変圧器と組合せて極小寸法
油 浸 自 冷	2,920×1,650×3,200	6,900	不 要	×	大	
送 油 ヶ 浸	本体 1,450×1,450×3,000 放熱器 2,830×1,600×2,160	3,400 3,000	ほとんど不要	×	大	放熱器別置形
通 油 自 冷	2,500×2,150×2,800	5,100	不 要	×	大	
気 中 自 冷	4,000×1,000×2,350	4,000	不 要	○	大	素子数多い
フ ロ ン	2,000×1,200×2,300 (2,800)	1,800 (2,000)	不 要	○	小	特大容量素子も使える
						適 性
						地下 S/S
						屋外, せまい敷地に有利
						屋外
						屋外, 単器大容量向
						屋外
						屋内, 中容量向
						全条件に適合する

注) 1. 整流器仕様 1,500 V 3,000 kW D 種定格 3 相ブリッジ結線。

2. フロンの ( ) 内数値は屋外式のもの。

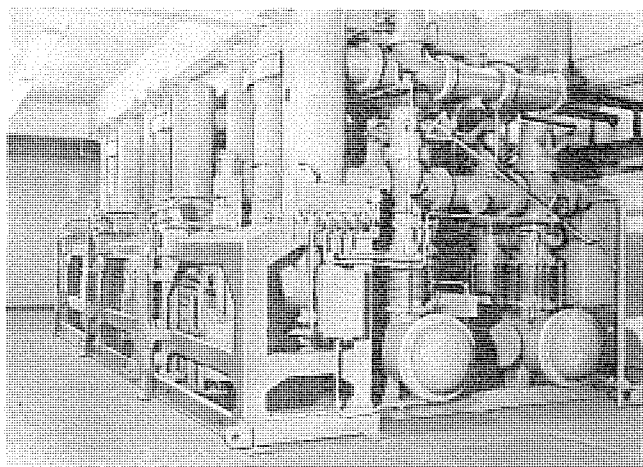


図 3.1 60 kV GIS.  
60 kV GIS.

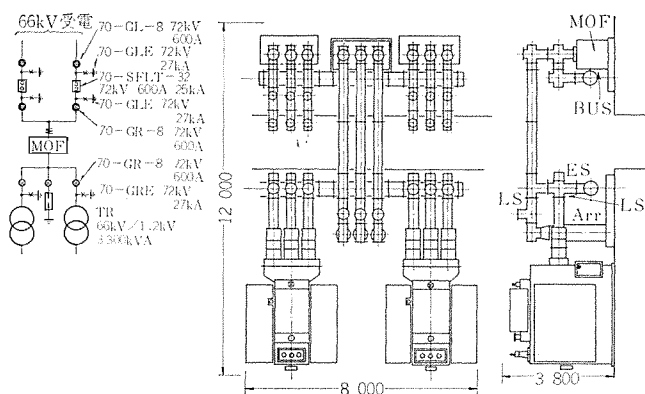


図 3.2 60 kV GIS 配置図例  
Layout of typical 60 kV GIS.

に縮小している。

#### (b) 安全

固体絶縁物の表面はすべて金属層により接地され、充電部分が露出していないので安全でかつ高信頼度である。

#### (c) 省力化

しゃ断器に真空しゃ断器を採用しているため、これの保守は容易となるが、さらに空気しゃ断器にくらべると必要な空気圧縮機等の付属品もないので保守がより容易となる。

また工場において完全に組立て試験された状態で納入し、かつケーブルの接続は作業性のよい方法としているので据付工期が短縮される。

図 3.3 はミニクラッドの写真を示している。

### 3.3 キュービクル

コンパクト化、安全性の向上の点から、開閉装置のキュービクル化が普及してきた。交流においては 6 kV, 20 kV, 30 kV, 60, 70 kV 級、直流においては 1,500 V 級が多数採用されている。

#### 3.3.1 60, 70 kV 級特高キュービクル

しゃ断器には、しゃ断性能がよく、保守点検が楽で操作音の低い SF<sub>6</sub> ガスしゃ断器を使用している。また回転形断路器・絶縁母線等を採用して安全性の向上、コンパクト化を計っている。キュービクルの高さは、引込みケーブルのセパレータをピット内におくことで 4,000 mm に押えており、階高を低くできるメリットを有している。



図 3.3 24 kV 1,500 A 25 kA ミニクラッド (前面)  
24 kV 1,500 A 25 kA Miniclad (front view).

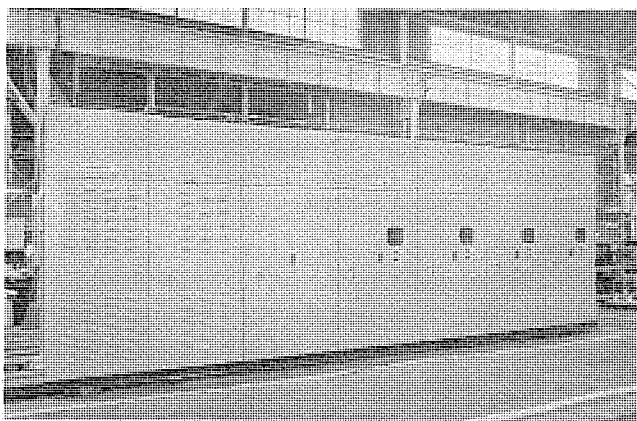


図 3.4 20 kV キュービクル  
20 kV Cubicle.

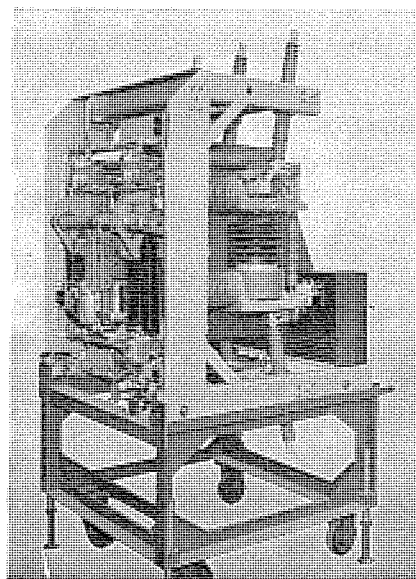


図 3.5 真空しゃ断器 24 kV, 600 A, 1,000 MVA  
Vacuum circuit breaker 24 kV, 600 A, 1,000 MVA.

#### 3.3.2 20, 30 kV 級特高キュービクル

しゃ断器は真空しゃ断器 (20 kV……24 kV, 1,000 MVA, 30 kV……36 kV, 1,500 MVA 1 点切り) を採用しており、都市交通においては最もよく使用される受電電圧であり多数の納入実績をもっている。真空しゃ断器の採用により、空気しゃ断器のように圧縮空気

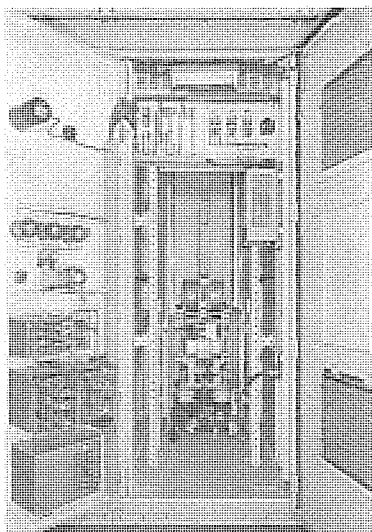


図 3.6 直流キュービクル  
DC Cubicle.

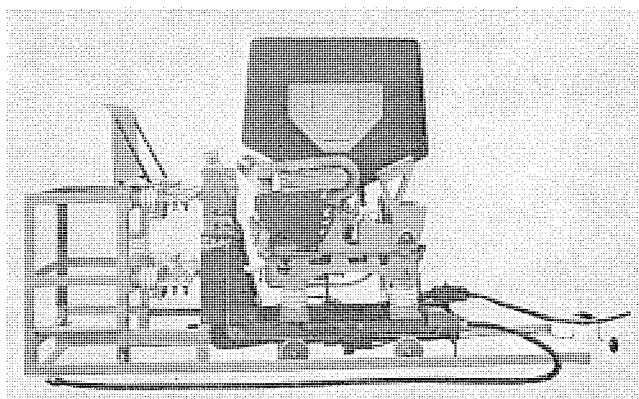


図 3.7 DC 1,500 V 3,000 A 直流高速度しゃ断器  
DC high speed circuit breaker.

発生装置等の付属品がないため、保守が容易となり、操作音も小さい。また外形寸法的にも従来のキュービクルより大幅な縮小化に成功している。図 3.4 にキュービクル外形を、図 3.5 に真空しゃ断器を示す。

### 3.3.3 DC 1,500 V キュービクル

直流高速度しゃ断器を収納している。直流高速度しゃ断器は従来コンクリートブロックの中に収納されていたが、これをキュービクル化したものである。収納機器は母線・断路器・DCCT・避雷器等いっさいで、屋内、外用とも製作できる。外形寸法的にはコンクリートブロックの約半分程度となっている。図 3.6 に屋外用直流キュービクルに内部を、図 3.7 には直流高速度しゃ断器の外形写真を示す。

## 4. 電力管理システム

### 4.1 電力管理システムの機能

変電所の増加、自動化、無人化が進められるにつれて、変電所の効率的な運用、事故時の迅速的確なる復旧処理、信頼度の向上、運転指令への連絡業務の一元化と系統の合理的な運営等がスムーズに行なわれるシステムが必要となってきた。そこで計算機の適要を考慮した変電所の集中管理機能を大きく分けると、変電機器のスケジュール運転、故障処理、表示・監視・記録の三つに分けて考えられる。

#### 4.1.1 変電所のスケジュール運転

変電機器の運転、停止は負荷による方法と、あらかじめダイヤにより決定する方法が考えられるが、電鉄の負荷は平均電力よりも瞬時電力に注意する必要がある。しかるに瞬時電力のピーク時間は短く整流器の定格もこれに対応しているため負荷によらず、ダイヤにより決定するほうが有利と考えられる。

運転スケジュールには平日用・休日用さらにはダイヤの乱れた後など何種類かを計算機に記憶させておき、適宜選択することにより指定されて変電機器の自動操作を行なう。また変電所の受電有効電力量を一定時間ごとにスキャンし、基準値と比較し運転スケジュールの補正を行なう。

#### 4.1.2 故障処理

故障処理としては次のものがある。

##### (a) 停電回復後の復旧

受電線が停電した場合、変電所の各機器は停止するが、これらの停電前の運転状態を記憶し、停電回復後に運転員にその状態を知らせる。

##### (b) 故障処理

事故により運転中の機器が停止した場合、あらかじめ定められた機器に運転指令を出す。また各回路において再閉路可能のときは再閉路指令を出す。図 4.1 にそのフローチャートの一例を示す。

#### 4.1.3 表示・監視・記録

変電所運営上必要な使用電力量の積算・集計・分類などをはじめ機器の運転記録、故障記録、および監視を行なうものである。

##### (a) 電力日報の作成

毎時間ごとの使用電力量を各変電所ごとに分類記録する。また 1 日 1 回各合計、最大、平均、負荷率などのほか、必要な電圧・電流等も記録する。

##### (b) 電圧、電流の計測

受電電圧・直流母線電圧・電流等の主要データを任意に呼出しデジタル表示する。

##### (c) 運転、故障記録

各機器の状態変化時に機器状態の記録をするとともに故障発生時にもデータの記録を行なう。

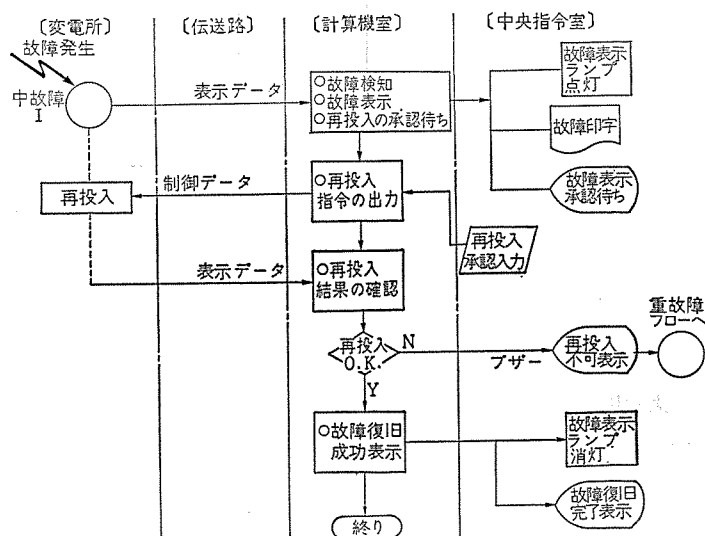


図 4.1 中故障復旧処理フローチャート  
Flow chart of fault restoration.

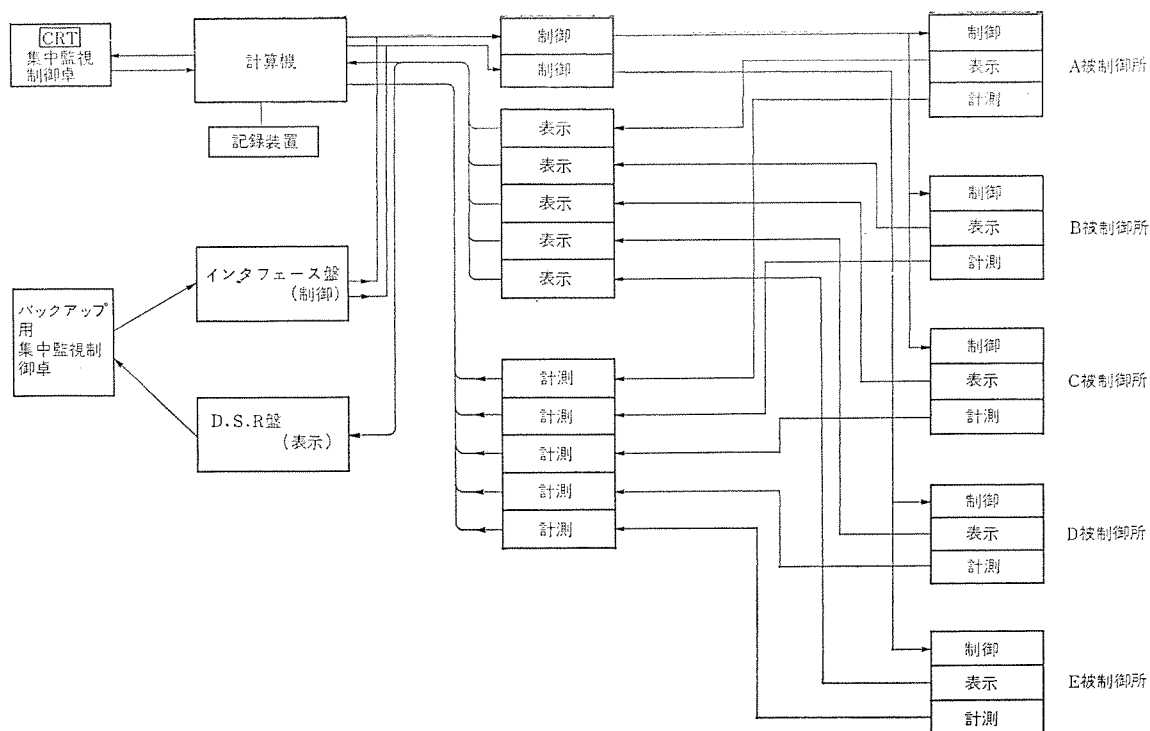


図 4.2 電力管理 システム 構成図 Block diagram of power control system.

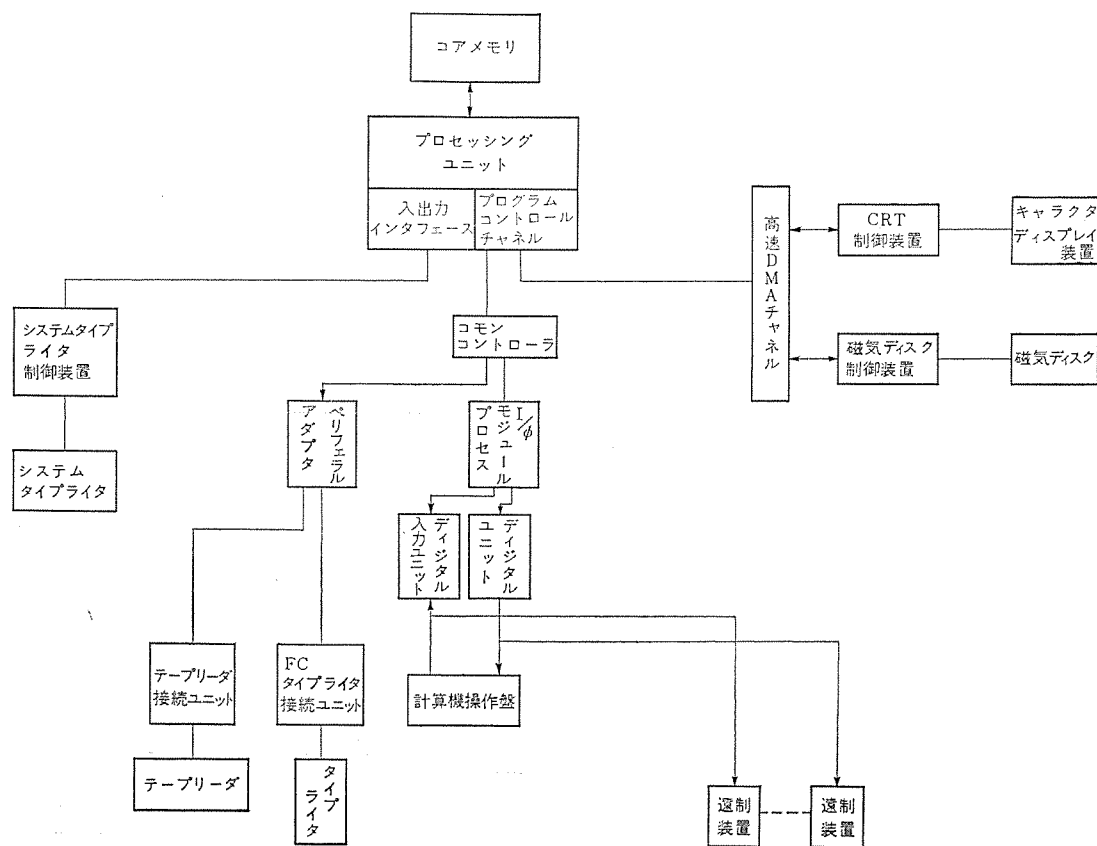


図 4.3 計算機 システム 構成図 Block diagram of computer system.

#### (d) 最大電力の監視

実使用電力を監視し、この値が契約電力を超過するおそれのある場合に警報を発し、使用電力の増加率などを運転員に知らせる。

#### 4.2 電力管理システムの構成

電力管理システムの構成は大きく分けて伝送システム・計算機システム・バックアップシステムの3サブシステムから構成される。図4.2に構成図の一例を示す。

#### 4.2.1 伝送システム

伝送システムとしては伝送チャネル数を少なくし、伝送線の節減を計る、信号伝送装置の数を減らす、スペースの縮小等を考えて、その構成を行なうことが必要で、これらから伝送系としては、1:N方式(TC(1:n)m, SV(1:1)N)が採用されている。

伝送方式は回線の常時監視ができる利点のあるサイクリック方式、符号方式は、数多くあるが符号の伝送効率が良く、回路の単純化が

計れる NRZ 等長符号を使用している。

伝送速度は、50 ビット/秒、200 ビット/秒、600 ビット/秒とあるが、同一伝送路の中にとれる チャンネル 数の多い 200 ビット/秒が有利である。以上をまとめてみると次のようになる。

制御…………… $(1:n) \times m$

表示…………… $(1:1) \times N$

伝送速度……200 ビット/秒

信号方式……周波数偏倚方式

監視……………サイクリック 方式 (定時連絡走査送出)

#### 4. 2. 2 計算機システム

構成図を図 4. 3 に示すが構成機器としては、

- (1) 中央処理装置 (CPU)
- (2) 磁気 ディスク 記憶装置
- (3) プロセス 入出力装置
- (4) 万能入出力装置、光電式紙 テープリダ
- (5) タイプライタ (電力日報作成用、警報・故障記録用)
- (6) オペレータコンソール

オペレータコンソール は、計算機、遠方監視制御装置などを中心とした制御機器と変電所機器と変電所群の運用監視の任に従事し、操作員との情報交換を目的とするものであり、その構成要素、機能、操作方式は次のようになっている。図 4. 4 にグラフィックディスプレイを示す。

##### (1) グラフィックディスプレイ

変電所の運転状態を、変電所単位、あるいは系統分割単位で画像 (単線接続図)、記号、文字、数字などで示すものである。

##### (2) キャラクタディスプレイ

機能としては計算機で決定した制御情報、制御シーケンスを表示し運転員の確認を得る。また複数の変電所の運転状態の情報を同時に表示し、系統の状況は (把握) を容易にするとともにその他計算機記憶装置内の状態を必要に応じて示すことができる。

##### (3) 操作部

計算機に入力を与えるための各種スイッチ、計算機の選択状況表示、その他表示灯等が取付けてある。

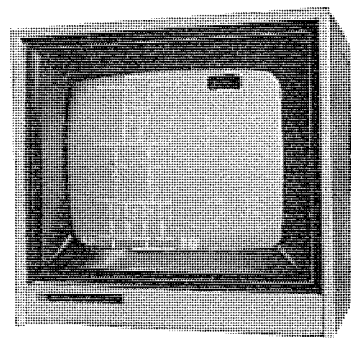


図 4. 4 グラフィックディスプレイ  
Graphic display.

#### 4. 2. 3 バックアップシステム

バックアップシステムとしてはいろいろな方式が考えられるが、一般には伝送システムは一重系とし計算機システムはバックアップを考慮する。常時は計算機と DSR 盤を並列に運転し計算機にて各種処理を行ない、計算機ダウンのときはバックアップ盤のランプ、操作スイッチにより監視、制御を行なう。

### 5. む す び

以上、最近の電鉄用変電所について述べたが、現在変電機器、システム技術ともなお多数の課題をかかえている。たとえば整流装置の大容量化、サイリスタ化、新冷却装置の開発、直流高速度しゃ断器のメンテナンスフリー化、小形高性能化、等まだまだ進歩の余地を残している。

またシステム面においても、電力管理システムのみでなく、トータルシステムの一環として、他のシステムとの協調がより必要となってくるが、これらも電算機およびそれら周辺機器の発展とあいまってさらに高信頼度で使いやすいシステムとするよう、需要家およびメーカーが一体となって研究することによりさらに技術の発展が期待されると思う。



登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
640070	タイムスイッチ	武田克己・神本明輝	646873	故障点表示装置	古谷昭雄・下迫賀生
640074	給茶機	大畑晃一	646873	ネットワークリレー	梅本隆司
640531	画像表示装置	{ 壺井芳昭・梅田義明 池端重樹・糸賀正己	646875	回転電機におけるグリス排出装置	久保 昇・村山 茂
642165	車輛用等の電動発電装置	猪崎国男・酒井正昭	646876	半導体装置	中田仗祐
642166	電圧あるいは無効電力の制御方式	長町恒資	646877	同調指示装置	{ 植竹勝人・岩村清志郎 西谷芳久
642168	増幅器	早水弘一	646878	同調指示装置	{ 植竹勝人・岩村清志郎 西谷芳久
642167	プラグイン形筐体装置	木村正一	646879	タップ切換器駆動モータ制御装置	堤 長之
644812	非常制動装置	津田栄一・尾崎博規	646880	負荷時タップ切換装置の途中停止検出装置	嶋 裕史
644813	非常制動装置	尾崎博規	646882	電磁流体発電装置の耐熱壁	萬雲史郎
944814	非常制動装置	尾崎博規・津田栄一	646884	無安定マルチバイブレータ	三好明好
644818	冷凍装置	酒井誠記	646890	ロール径補償装置	高柳正弘・大場宏一
644838	エンジン過回転警報制御装置	才田敏和・柴垣匡男	646889	ストリップラインサーキュレータ	中原昭次郎・折目晋啓
644824	中間冷却器	百崎俊郎	646891	水素ガス検出装置	正田茂雄・潮見尚暢
644825	連結装置	車戸秀男	646893	電磁コイル	蓬萊 勝
644819	衝撃加工方法およびその装置	斉藤長男・加藤 強	646862	赤色発光螢光体	{ 大田重吉・山崎清司 長川修平
644823	蓄冷式冷凍機	森川鉄也	646871	自走式電気掃除機	{ 奥田文一・武井久夫 加藤 悟・長領 元
644807	回路遮断器	松浦 清	646881	透視図変換装置	桑田 博
644809	バッテリーを電源とする電気車	赤松昌彦	646885	单相誘導電動機制御装置	{ 梶谷定之・柳沢公人 梶野幸男
644810	放電加工パルス電源装置	{ 斉藤長男・久慈陽一 小林和彦	646883	電気接点材料	{ 森田義男・中島陽三 播磨三弘
644815	トランジスタチョップ形コンバータ	民井精一	646888	シミュレータ	柳下和夫
644816	電子回路	早水弘一	649972	磁歪遅延線	上坂達生
644808	列車定位置停止装置	石田哲爾・鳥居健太	649974	吸収式冷暖房機	大場健司
644817	空中線装置	吉田 宏・高松泰男	649957	零交叉音声再生方式	太田 堯
644320	パラメトリック増幅器	{ 白幡 潔・武富大児 立山 茂	649958	搬送式遠方監視装置	島田政代士
644821	蒸溜水製造器	山口彰弘	649960	分圧装置	近藤博通・中田秋穂
644822	冷媒バイパス制御弁	佐藤喜一	649961	異常流量検出装置	松本直己・山部裕志
644811	位置決め制御装置	{ 吉田太郎・宮 幸助 山崎宜典・中野宜政	649962	論理電圧レベル変換器	壺井芳昭・松原 要
646886	光磁気共鳴磁力計	大川清人・久保高啓	649964	系統分離監視装置	宮田泰之
646887	光磁気共鳴磁力計	大川清人・久保高啓	649965	系統分離監視装置	宮田泰之
646892	加湿器兼用除湿器	大畑晃一	649966	パネルディスプレイ装置	伊吹順章・吉沢達夫
646894	湿度計	草川英昭・橋本 修	649967	自動進角装置	大西正義
646860	駐車場の管理装置	田辺富男・三浦允之	649968	連続式真空蒸着装置等の真空シール	鳥取 浩
646861	制動装置	浅野哲正	649981	追尾受信方式	糸原志津夫・笹田雅昭
646863	多回路タイムスイッチ装置	武田克己・佐藤安俊	649969	トリガー回路	{ 飯田隆彦・大島征一 喜多興一
646864	ビーム位置検出装置	戸田哲雄・入江浩一	649970	部品の固着方法	元木義明
646865	無接触探針装置	{ 安東 滋・谷口一郎 宮沢生行	649971	エミッタ結合形波形発生装置	大西良一
646866	電磁鋼板用断面積計	鈴木 裕	649973	避雷器	永井信夫・但田昭司
646867	位相測定方式	小林 茂	649963	電気車制御装置	永岡 栄・北岡 隆
646868	遠隔指示装置	林 正之			
646869	位相弁別装置	津川和夫			
646870	ガス検出装置	西岡 直			
646872	位相差測定装置	山崎英蔵			



# 特許と新案

物体の表面検査装置 (特許第 633710 号)

発明者 安東 滋・大野 才三

この発明は、大口径マイクロ波アンテナ等の表面状態を検査するのに適した物体の表面検査装置である。

図1はレーザー発生器(1)から発生されたレーザー(2)が望遠鏡(3)、反射鏡(4)を経てアンテナ(被検査物体)(5)の表面の一点Pで反射され受光器(6)に達する様子を示したものである。いま図1で示した装置内に座標系xyz軸を取り、この座標系をもとにした何らかの変数で上記P点の座標を定めれば、P点の位置を決定でき、これをアンテナ(5)の全表面について行なえば、アンテナ(5)の表面検査が行なえるわけである。この発明では、上記P点の座標決定の変数として( $l, \alpha, \theta, \phi$ )を取っている。

ここに

$l$ : 反射鏡(4)と受光器(6)との距離

$\alpha$ : z軸とレーザー(21)との角度

$\theta$ : z軸とレーザー(22)との角度

$\phi$ : x軸とP点からxy平面に下したレーザー(22)の投影線pとの角度

である。

実際の表面検査にあたっては、P点の( $l, \alpha, \theta, \phi$ )を測定するのであるが、精度上重要なことは、レーザー(22)の方向と受光器(6)の受光軸とを完全に一致させることである。

この発明では完全に一致させるた

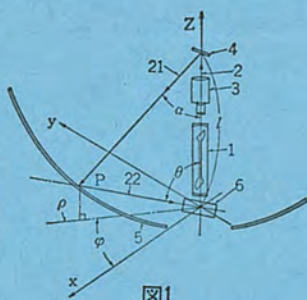


図1

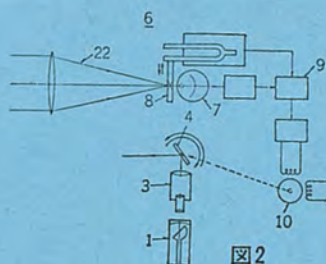


図2

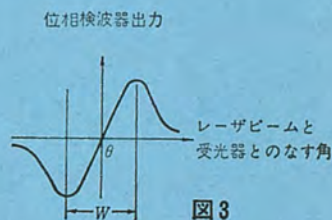


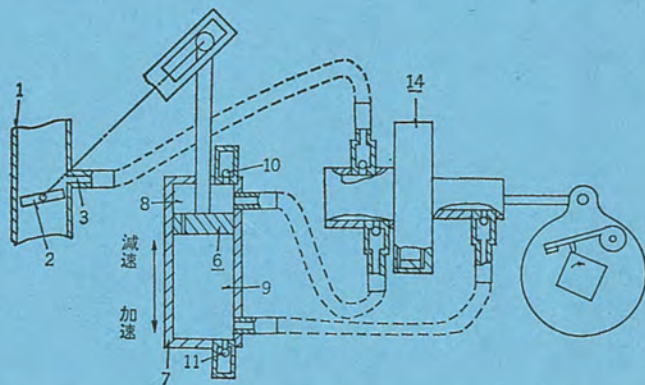
図3

機関点火時期調整装置 (実用新案第 955053 号)

考案者 辰 己 巧・高橋 一 智

この考案は機関の点火時期調整装置に関するものである。

図において、自動車ある状態から急加速する場合、バタフライ弁(2)が急全開しピストン(6)は急に下方に動く。したがって第1の部屋(8)の圧力は減少し、第2の部屋(9)の圧力は増大しようとするが弁(11)が開き空気が逃げるためほぼ大気圧に保持される。またこのとき、気化器(1)の圧力取出口(3)の圧力は衆知のごとく大気圧に近くなっているため、圧力応動装置(14)に第1の部屋(8)からの負圧が働き点火時期は進むこととなる。次にバタフライ弁(2)を所定の弁開度から多少急減速すると、ピストン(6)は急に上方に動き、第1の部屋(8)の圧力は増大しようとするが、弁(10)が開き空気が逃げるため部屋(8)は大気圧に保持される。一方第2の部屋





(9)の圧力は減少する。またこのとき気化器(1)の圧力取出口(3)の圧力は大気圧になっており、したがって圧力応動装置には第2の部屋(9)からの圧力が作用し、点火時期は遅れることとなる。したがって、点火時期は加速時に進角し、減速時に遅角することとなり、排気ガスの有害成分を著しく減少させることができる。

以上のようにこの考案によれば、シリンダ(7)内を第1の部屋(8)と第2の部屋(9)とに区画するピストン(6)を用い、上記各部屋の圧力に応動して点火時期を調整するようにしたので、簡単な構成で確実に排気ガスの浄化を計ることができる。

## 直 流 電 源 回 路 装 置 (特許第 626850 号)

発 明 者 飯 田 隆 彦

この発明は、交流電源より所要の直流電圧を得る直流電源回路に関し、特にテレビ用直流電源回路に適するように直流出力電圧に含まれるリップル電圧ならびに交流電源電圧の変動による直流出力電圧の変動がともに少ないものである。

図1はこの発明の回路を示し、今サイリスタ(7)が通電中であるとする。すると整流出力端(6)からの電流は抵抗(11)を通して平滑コンデンサ(8)に充電される。しかし整流出力端(6)の電圧は、図2(a)に示すように変化するため時間が経過すると平滑コンデンサ(8)の充電電圧より低くなって、サイリスタ(7)はオフとなる。サイリスタ(7)が逆バイアスされてオフとなつてから整流出力端(6)の電圧が零となる期間、トリガ位相制御用コンデンサ(12)は、ダイオード(13)および抵抗(15)を通して、平滑コンデンサ(8)の電圧により、この電圧の大きさに応じて図示の極性に充電される。続いて、整流出力端(6)の電圧が零より大きくなってくると、ダイオード(13)は逆バイアスされ、トリガ位相制御用コンデンサ(12)の電荷は抵抗(14)を通して放電される。所要の時間たつとトリガ位相制御用コンデンサ(12)の極性は反転され、抵抗(14)を流れていた電流の一部は、ダイオード(16)を通してサイリスタ(7)のゲートに流れ込み、サイリスタ(7)がトリガされる。そしてこのときの導通電流が平滑コンデンサ(8)を充電することになる。整流出力端(6)の電圧が上記平滑コンデンサ(8)の電圧より低くなるとサイリスタ(7)はオフし同様のことが繰返えされる。平滑コンデンサ(8)の端子(9)の電圧、すなわち負荷(10)への直流出力電圧を制御するためには抵抗(14)、(15)および位相制御用コンデンサ(12)の値を適当に選定すればよい。なお図1の各部の電圧電流波形を図2に示す。

この回路の抵抗(11)は重要な働きをしている。すなわちサイリスタ(7)がトリガされると、交流電源(1)のインピーダンスは普通十分小さいため、瞬時に充電が完了しようとする。そのためトリガ位相が少しでもずれると、平滑コンデンサ(8)の充電電圧は大幅に変動する。これを防止するための小さい抵抗(11)を挿入し、平滑コンデンサ(8)への充電がある時定数をもって行なわれるようにしているのである。

次に、この発明の回路が交流電源電圧変動に対して目的の直流出力電圧の変動が少ない良好な特性を有していることを説明する。今、交流電源(1)の電圧が規定値より高くなったとする。するとトリガ

位相制御用コンデンサ(12)の放電は、電源電圧が高くなったため速く放電し、サイリスタ(7)のトリガ位相がそれだけ速くなり、平滑コンデンサ(8)の充電電圧は高くなる。すると平滑コンデンサ(8)の充電電圧に相応して、トリガ位相制御用コンデンサ(12)は高い電圧に充電されるため、トリガ位相制御用コンデンサ(12)の放電に要する時間が長くなり、トリガ位相は遅れ、結局さほどトリガ位相はずれないことになる。またたとえトリガ位相がずれても上述した抵抗(11)のため平滑コンデンサ(8)は徐々に充電が行なわれ平滑コンデンサ(8)の電圧は大きく変動することがない。

以上のようにこの発明の回路は、リップル電圧ならびに交流電源電圧の変動による直流出力電圧の変動がともに少ないものである。

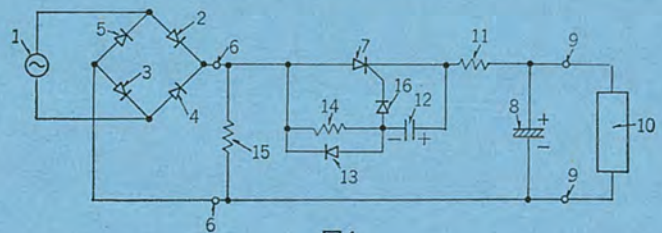


図1

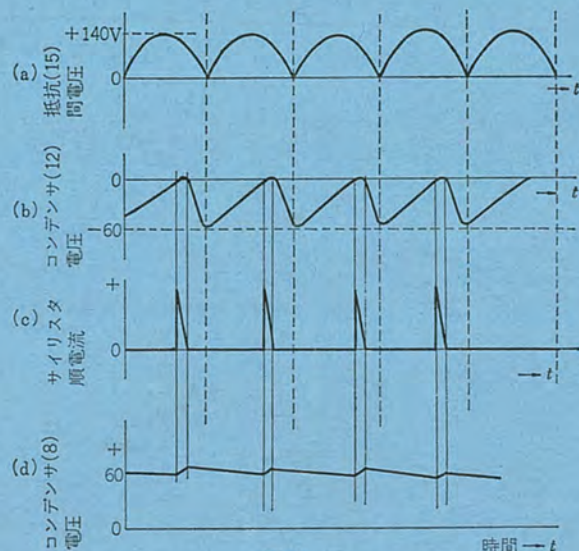


図2



# ガス絶縁開閉装置 (GIS) の特高受電設備への適用

林 幸 平\*

## Application of GIS to High Voltage Switchgear of Industrial Plants

Itami Works Kohei Hayashi

Since the first installation in August, 1972, Mitsubishi has paved the way for the application of gas insulated switchgear (GIS) to the extra high tension power receiving equipment in industrial plants and office buildings in this country.

This article introduces in the concrete the example of its installation. Also to provide for future increase in the demand of the device, description is made on the features of it which may pose problems in the layout, connecting structure and the relation with MOF.

### 1. ま え が き

近年、受変電設備の縮小化、高信頼性、保守の省力化、環境調和などの目的で開発されたガス絶縁開閉装置 (GIS: Gas Insulated Substation) は、現下の社会情勢のもとで都市およびその近郊の変電所建設の諸問題に対処する手段として、事業用変電設備に数多く採用されてきた。この間、GISの使用実績が増すにつれてその信頼性に対する認識が高められたことにより、在来機器の概念で規定されていた仕様は、GISの特質に合った合理的なものにされつつあり、さらに製造面での量産化・効率化とあいまって、これまでは難点と考えられていた経済性についても大きく改善された。

一方、最近の社会情勢のなかで用地ならびに労働力確保の困難さは、工場や一般のビルなどの受電設備の建設にあっても例外ではなく、これらの解決策としてのGISの卓越した性能が注目され、期待されるところとなった。当社では、事業用変電設備として積み重ねたGISの豊富な実績に基づき、昭和47年8月にわが国ではじめての工場受電設備用GISを納入して以来、すでに別表のように多数の設備を納入し、また製作中である。受電設備用GISとしては、電力事業用のそれと本質的に異なる点はないが、まだこの分野での普及度は比較的浅く、筆者らの経験も未熟であるうえ、関係するかたがたにもGISの特質に関して十分にご理解をいただくに至っていないと思われる。

そこで、この紙面では、受電設備としてのGISの具体例を報告

し、あわせてGISの構造および計画に際しての要点といったものを述べ、今後さらに増加するであろうと思われるこの分野でのGISの適用にあたり、これに関係される各位のご参考に供したい。

### 2. 特高受電設備用GISの構成と配置

#### 2.1 設備の具体例

本論について詳述する前に、特高受電設備としてのGISの実際の適用例を表2.1および図2.1(a)~2.1(h)に紹介する。これらは、当社がすでに納入したもの、あるいは現在製作中のものであるが、いずれもこの分野におけるGISの適用の端緒をひらくものであった。おのおのの設備の構成・配置は、それぞれ後述の各種要件について、綿密に検討を行なったうえで決定されたものであり、GISを構成する各要素の標準を維持しながら、それぞれ固有の条件に沿った最適性を意図したものである。

#### 2.2 GISの配置と接続構造

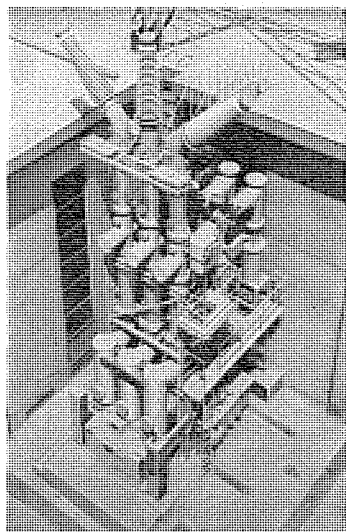
##### (1) GISの計画

さきの図2.1にもみられるとおり、特高受電設備としてのスケルトン仕様にはいくつかの類形はあるものの、電力事業用のそれと比べると、設備の立地条件、負荷の形態などはきわめて多種多様である。

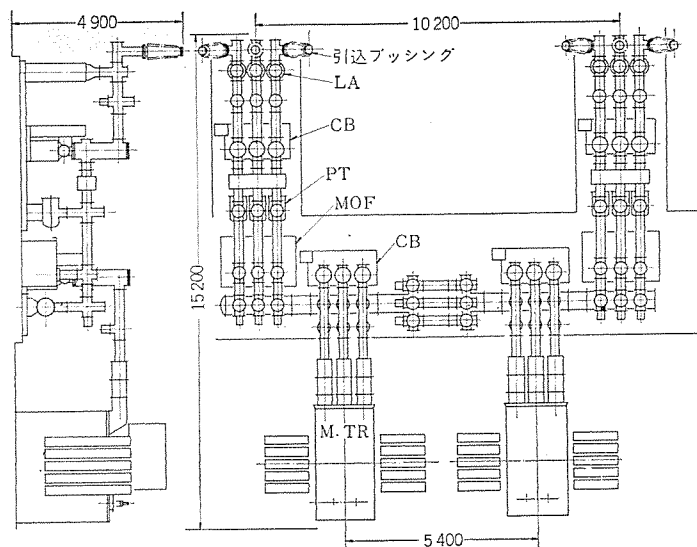
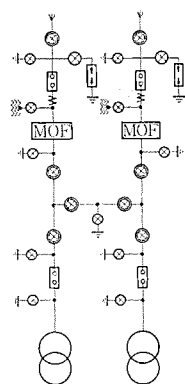
一方、GISは、しゃ断器・断路器などの個々の要素の集合体であると同時に、一種の単体総合装置であり、品質の安定、納期の短縮、コストの低減を達成するためには、システムとしての標準化を図

表 2.1 特高受電設備用GIS製作一覧  
Supply list of GIS for industrial plant.

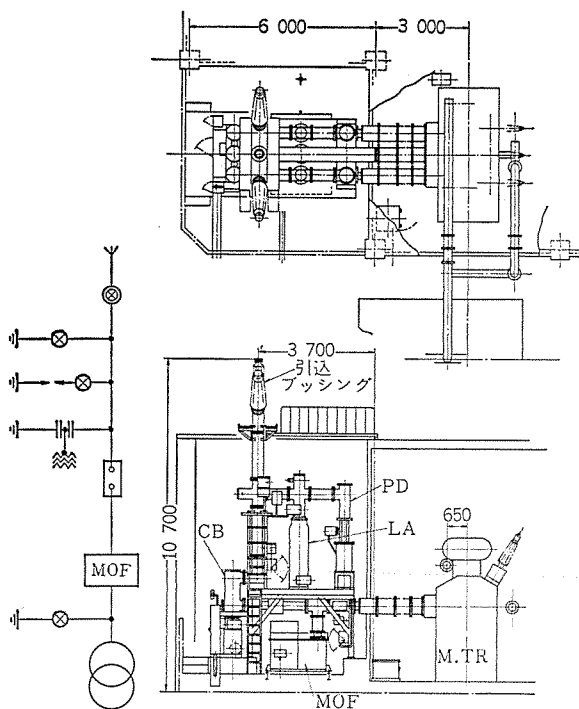
納入先	宇部興産(株) 伊佐セメント工場	名古屋市水道局 猪高浄水場	三菱石油(株) 水島製油所	三菱電機(株) 名古屋製作所	三菱電機(株) 新城工場	藤沢製鋼(株) 仙台工場
据 付 日	47年7月	48年5月	48年6月	48年11月	48年12月	48年11月
定 格 電 圧 kV	120	84	72	84	84	168
定 格 電 流 A	800	800	800	800	800	800
受 回 線 数	1	2	2	1	2	1
電 接 続 種 別	架空線	架空線	OFケーブル	OFケーブル	架空線	OFケーブル
しゃ断器 定格しゃ断電流 kA	25	25	31.5	25	25	40
主変圧器 容 量	75 MVA	9 MVA×2	30 MVA	7.5 MVA×2	7.5 MVA	20 MVA
電 接 続 種 別	直結	直結	直結	直結	直結	直結
M O F 種 別	直結	直結	直結	直結	直結	別置
外形および 主回路単線結線図	図2.1(a), 図2.1(b)	図2.1(c), 図2.1(d)	図2.1(e)	図2.1(f)	図2.1(g)	図2.1(h)
使用 状態	G I S	屋 外	屋 外	屋 内	屋 外	屋 外
主 変 圧 器	屋 内	屋 外	屋 外	屋 外	屋 外	屋 外



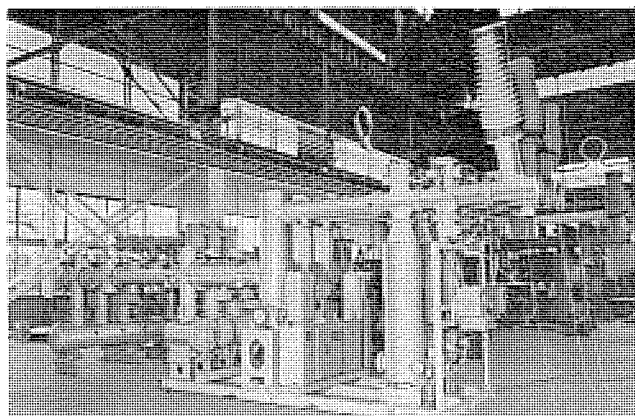
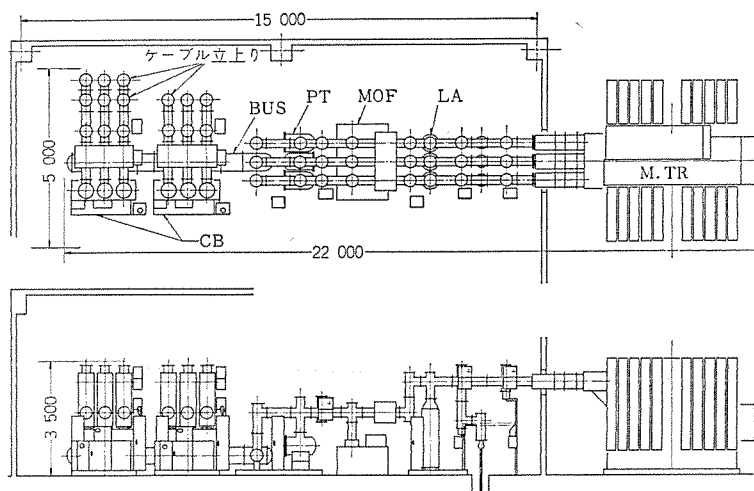
(a) 120 kV GIS.



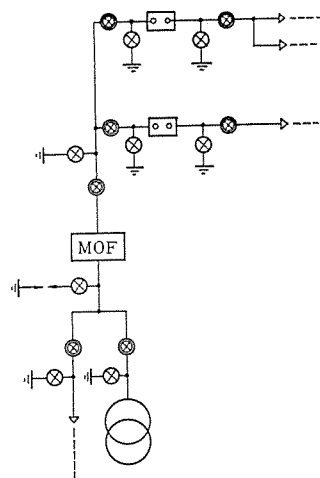
(d) 84 kV GIS.



(b) 120 kV GIS.

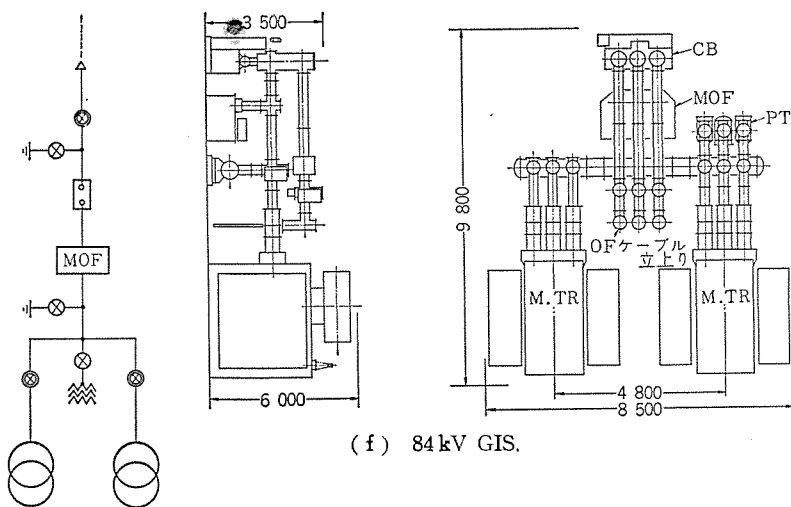


(c) 77 kV GIS.

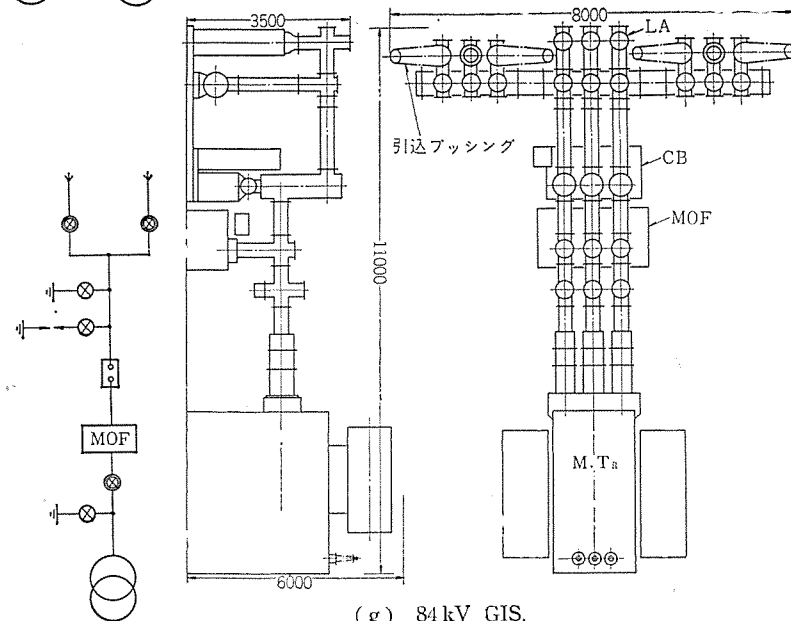


(e) 72 kV GIS.

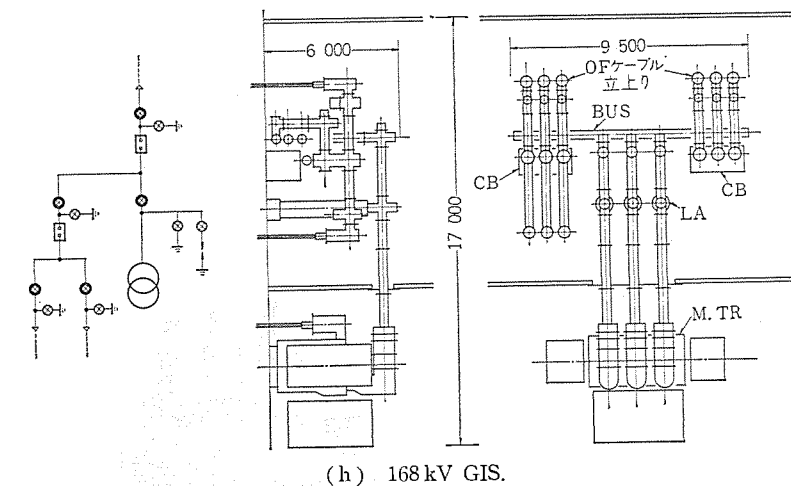
図 2.1 GIS の構成と配置  
Construction and arrangement of GIS.



(f) 84 kV GIS.



(g) 84 kV GIS.



(h) 168 kV GIS.

図 2.1 GIS の構成と配置  
Construction and arrangement of GIS.

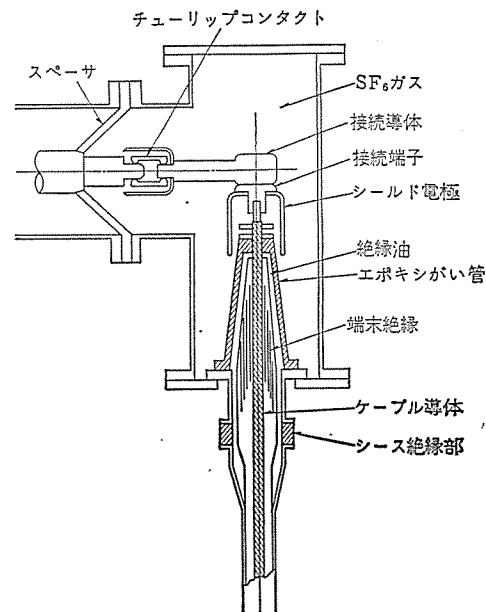


図 2.2 OF ケーブル 接続 構造  
Construction of cable sealing end.

を最も有効に発揮しうる場でもあろう。具体的に述べると、たとえ受電回路のスケルトンが一定であっても、設備の条件によっては、その配置形態・建設費などは千差万別になりうるものである。これらを左右する要因としては、主に次のものがあげられる。

(a) 受電方式： 架空線・地中線の種別。架空 2 回線以上による場合には特に考慮を要する。

(b) 主変圧器の設置位置と接続方式： 前項と同様、主変圧器 2 バック以上にわたる場合は特に重要な要素になる。

(c) 電力需給計測計器用 変圧変流器 (MOF) の形態と接続方式

(d) 建築関係の条件： 屋内式の場合、特に柱・はりの位置、搬入口の寸法など。

(e) 既設設備との関係、増設の条件など

うえに述べた要因のうち、あるものは絶対条件であり、あるものは相互に関連しあう変動要素であろう。いずれにせよ、これらを総合的に勘案しつつ、場合によっては試行錯誤を繰り返しながら、最終的には設備全体として協調のとれた合理性・経済性を満足させたものにするのが肝要である。次に、前述の要因のいくつかについて、少し詳しく述べる。

## (2) 受電線と GIS との接続

設備の立地条件によって架空線もしくは地中線による受電になるが、引込口としての GIS との接続は、いずれでも可能である。一般に、GIS による設備の縮小化・安全性、保守の省力化を達成するためには、地中線による

受電が最も理想的であることはいうまでもない。接続部の一般的な構造は、図 2.2 に示すとおり、従来のエレファント変圧器の接続に相当するもので、「絶縁油」が「SF<sub>6</sub>ガス」に置換されたものといえる。この部分は、ケーブル製造者・機器製造者のそれぞれの製作担当の接点であるので、その構造・寸法については、これまでは工事の都度、使用者・ケーブル製造者・機器製造者との間で協議して決定し

らねばならないが、在来機器と同一概念による標準化は無意味であり、これまでと異なった観点で対処することが必要である。いまだに残念ながら受電設備に適用する GIS として完全な系列化を行なうには至っていないが、個々の設備を計画するにあたっては、GIS の標準・原則をそれぞれの条件に沿って、いかに柔軟に適合させるかが最も重要な課題であり、換言すれば、これこそが GIS の特長



表 2.2 GIS と主変圧器との接続方式の比較  
Connection of GIS and main transformer.

方 式	長 所	短 所
ケーブル接続	(1) GIS と主変圧器との相互の配置関係が自由。それぞれの最適設計が可能。 (2) 現地工事が標準化された作業で可能。	ケーブル費用が加算される。
直 結	条件が整えば、最も経済的で、寸法も小さい。	(1) 2バンク以上の場合には、変圧器寸法によって全体配置が制約される。GIS 母線が長くなり、不経済になる可能性がある。 (2) 基礎寸法の精度が必要。特に、GIS と変圧器との床面が異なる場合に問題がある。
架空線接続	一般の変圧器と互換性あり。	(1) 気中絶縁距離を要す。 (2) 抵害対策が必要。 (3) 安全性がそこなわれる。

ていたが、最近、電気事業連合会 変電関係標準として、「SF<sub>6</sub>ガス絶縁開閉装置取合い部標準寸法」が制定され、構造・寸法の統一とともに、各製作担当部品が決定された。図は、その基準に沿ったものである。

一方、架空線による引込の場合には、GIS にブッシングを立てて、これを接続する。このブッシングは、一般に、がい管内部にも SF<sub>6</sub>ガスが封入されたガスブッシングが使用されることが多いが、受電線電圧値を測定する必要がある場合には計器用変圧器の接続が可能なコンデンサブッシングが使用される。架空線接続の場合の問題点としては、その部分の気中相間絶縁距離を確保するため、GIS 本体についてこの部分の相間寸法を拡大する必要があることで、特に2回線以上による受電の場合にはその回線間隔をも考慮し、設備の経済性と縮小化とをそこなないように GIS の配置を計画することが重要である。したがって、受電線が架空線であっても、構内でいったん地中線に接続し、これを GIS に接続するケースも多い。

なお、受電設備の特質として、受電線と機器との財産・責任分界点を設定する必要がある。GIS は、在来形の機器と異なり、断路器を含めてすべてが金属容器内に収納された構造であるので、従来の観点での分界点を明確に定めにくい。これまでに電力会社と需用家とで協議された結果、架空線引込による場合には GIS のブッシング気中端子を、地中線による場合には SF<sub>6</sub>ガス中のケーブル端末端子をそれぞれ分界点とすることが妥当と考えられている。

### (3) 主変圧器との接続

GIS の配置を計画するにあたり、中でも最も大きく影響を与える要素は、主変圧器との接続方式である。この接続方式についても、以下に述べる各種があり、用地や建物の条件のほかに主回路スケルトン、受電方式、バンク数、冷却器の形式などを総合的に検討し、全体が経済性・運用の面で最適になる方式を選択しなければならない。各方式の比較を表 2.2 に示す。

### (4) 電力需給計測計器用 変圧変流器 (MOF) との接続

受電設備にとって不可欠である MOF は、従来から電力会社の管理機器として支給されるものを設備の一部に接続して運転されている。このはん(汎)用の MOF を GIS による受電設備にも適用することは、もちろん可能ではあるが、この場合、気中接続部で裸電部が露出し、気中絶縁寸法を要するために、安全性・縮小化などの GIS の特長は半減する。そこで、MOF との接続部についても GIS のほかの部分と同様、ガス絶縁による密閉化が望まれ、当社では図

に示されるような接続部の構造を創案し、前述の設備に適用した(実用新案出願中)。この構造に関してとくに留意した点は次のとおりである。

(i) MOF 本体および接続部の信頼性を在来形以上に向上させること。

(ii) MOF の接続および取りはずしのための作業が簡便で、短時間にできること。

(iii) MOF を取りはずした状態でも、これをバイパスする回路が簡単に構成できること。

(iv) MOF の誤差試験および検定が簡便にできること。

この MOF の構造および上記の点について、少し詳しく説明する。

#### (a) 接続部の構造

MOF の変成部 (PT, CT) は、在来のもと同様に、共通の油タンクに収納される。GIS と接続される一次側ブッシングは、その端子構造ならびに相間寸法を変え、ガス絶縁による GIS との接続に適合しうものにした。ブッシング内の導体は、一般のものと同じように、往復二重導体構造にし、ブッシング端子に対応する GIS との接続導体も K, L 両導体を一組とする同心円筒二重構造のものにした。端子接続部はこれまでのものと異なり、常時目視による監視が不可能であるので、従来にもまして高い信頼性が要求される。しかも、この接続部で MOF と GIS との相互間の寸法誤差を吸収し、さらに接続作業が簡便に行なえることが必要である。これらの点を考慮し、接続導体の両側端子には従来からしゃ断器や GIS 機器の接続部に数多く使用されてその信頼性が実証されているフィンゴコンタクトを使用し、安定した接触状態を維持しう構造にした。

#### (b) 誤差試験および検定

MOF の誤差試験の際にはほぼ定格電圧に等しい電圧が一次側に印加される。このため、本来は SF<sub>6</sub>ガス中において所定の絶縁性能を満足する一次側ブッシングを、気中においても定格電圧の印加に耐えるように設計したので、一般のものと同様に誤差試験・検定を行なうことができた。しかし、BIL または商用周波耐電圧値までも気中で満足させることは現実的でないので、これら耐電圧試験の際には、一次ブッシングを正常な使用状態と等しく SF<sub>6</sub>ガス中に密閉し、別の試験用ブッシングから電圧を印加した。もちろん、封印処置などについてはこれまでと同様である。

#### (c) 据付作業

頭初の据付工事はいうまでもなく、将来の再検定を考慮し、その

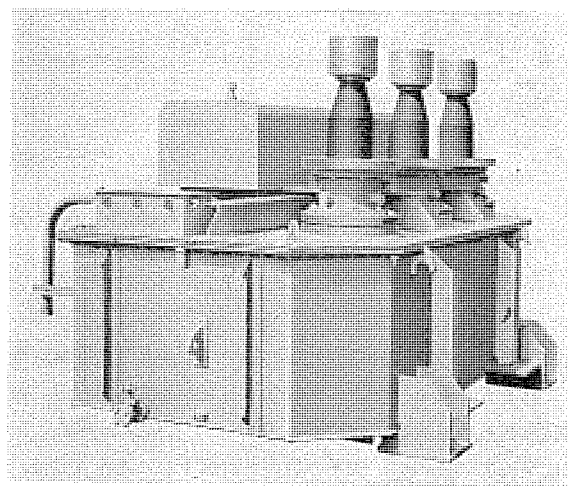


図 2.3 GIS 直結式 MOF 外観  
Outline of MOF for GIS connection.

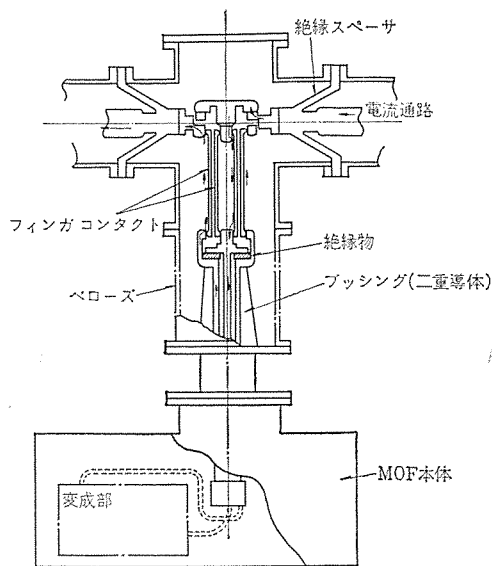


図 2.4 MOF-GIS 接続部構造図  
Connection of GIS and MOF.

取付け・取りはずし作業が短時間でこなえ、かつ安定したものでなければならない。このため、この作業に関連する GIS 本体の部品の取りはずし作業範囲を最小限にし、一方、MOF 本体には車輪を設けて搬入・搬出には基礎床面に敷設したガイドレールに沿って移動させるようにした。GIS 本体と MOF との据付寸法誤差を吸収するには、前述の接続導体と、外被に設けたフレキシブルベローズとによって行なわれる。

図 2.3、2.4 にそれぞれ MOF の外観および接続部の構造を示す。

### 3. GIS の 構 造

受電設備としての GIS を構成するしゃ断器・断路器などの各要素は、これまでに事業用としても数多くの実績をもち、すでにその性能が実証されているもので、前述の MOF との接続部を除いて特に新規なものはない。以下に述べる構造はこれまでに各種紙上で詳述されているので、ここでは簡単に触れるにとどめる。

#### 3.1 一般構造

図 3.1 は GIS のユニット構造の一例である。すなわち、母線を除くしゃ断器・断路器・接続部分などは原則としてそれぞれの相の課電部と接地金属容器による同心円筒形状として構成され、課電部は注型絶縁物（スペーサ）によって金属容器から支持されている。容器

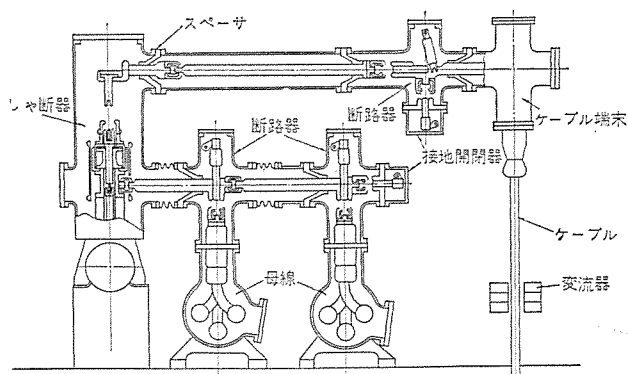


図 3.1 GIS の 一 般 構 造  
General construction of GIS.

内には所定の圧力に加圧された  $\text{SF}_6$  ガスが密封され、対地ならびに極間の絶縁をになっている。スペーサによって適当な単位に分割されているガスは、単位ごとに温度補償付き圧力スイッチによって密度監視を行ない、万一、ガス漏れが生じた場合には警報を発する。しゃ断器・断路器・接地装置などの各機器は、それぞれが標準の構造および定格系列をもち、相互間は主としてチュアリップコンタクトによって接続される。金属容器はガスケットとともにフランジ接続され、据付誤差および熱膨張を吸収するために所要位置にステンレスフレキシブルベローズが設けられている。

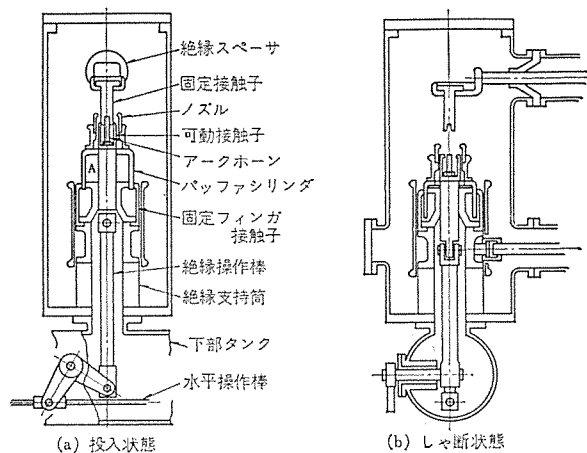


図 3.2 SFLT 形 ガス しゃ断器の構造図  
Type SFLT gas circuit breaker.

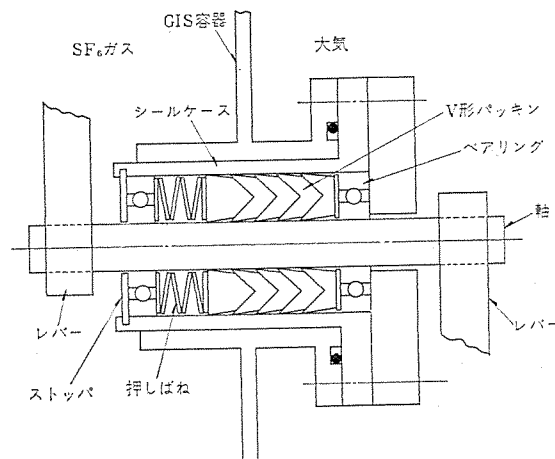


図 3.3 気密軸の 構 造  
Construction of sealed shaft.

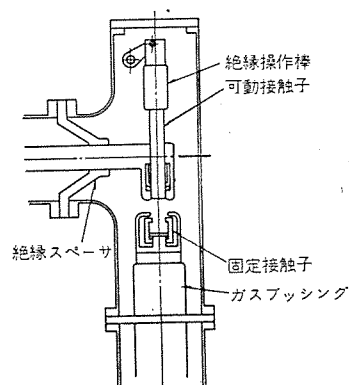


図 3.4 GR 形断路器の構造図  
Type GR isolating switch.

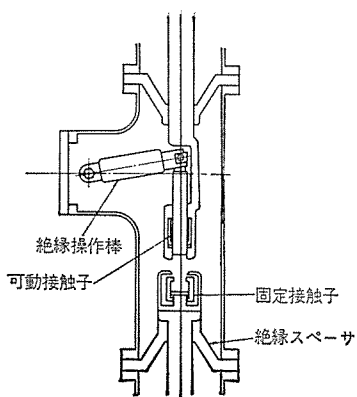


図 3.5 GL 形断路器の構造図  
Type GL isolating switch.

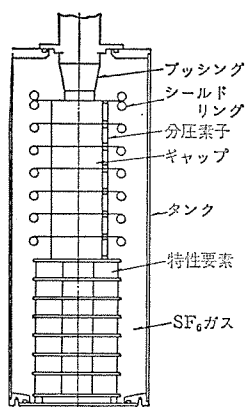


図 3.6 GIS 用 SV-F 形避雷器の構造図  
Type SV-F lightning arrester.

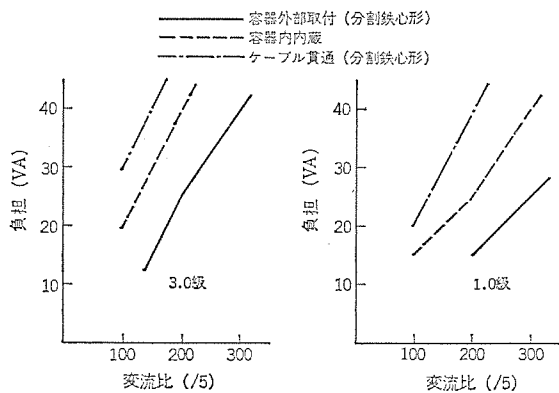


図 3.7 GIS 用ブッシング形変流器の製作限界  
Characteristics of bushing type current transformer.

表 3.1 GIS 用電圧変成器  
Potential transformer of GIS.

形 式	適 用 電 圧	許 容 負 担, 精 度
乾 式 巻 線 形 EV-XA	66~110 kV	500 VA, 1.0 級
コ ン デ ン サ 形 GY	154 kV 以上	500 VA, 1.0 級
ブ ッ シ ン グ 形 GY-B	66~187 kV	15 VA, 3.0 級
別 置 ブ ッ シ ン グ 形 GY-B	66~187 kV	50 VA, 3.0 級
増 幅 PA 形	66~187 kV	—

### 3.2 シャ断器

GIS に使用されるシャ断器には、在来形と同じく、単一圧力式（パフタイプ）と二重圧力式とがあるが、187 kV 以下の受電設備としては一般に定格シャ断電流 40 kA 以下であるので、単一圧力式が適用される。その消弧室の構造（单相）は図 3.2 に示すとおりであり、各相の絶縁操作棒は三相共通の下部タンク内で水平操作棒にリンクされ、レバーを介して回転運動として、気密軸によって外部の操作機構と連結されている。図 3.3 は、気密軸部の構造を示し、当社のガスシャ断器や GIS 用断路器・接地装置などの気密軸としてすべて同じ構造のものが使用されている。

### 3.3 断路器および接地装置

図 3.4 および図 3.5 に示されるとおり、導体の直角曲がり部を利用する GR 形、および直線導体の途中にそう入された形の GL 形の 2 種類があり、全体の構成に応じて適宜に使い分けられる。いずれも可動接触子は絶縁操作棒を介して単純な直線運動をするだけであり、機構および接触部の信頼性は非常に高い。接地装置は、多くの場合、断路器と組み合わせて設けられ、断路器を「開」にして装置の一部を点検する場合の作業安全の目的で使用される。一般に、断路器は圧縮空気による遠隔操作、接地装置は手動操作になる点は、在来のもとは変わらない。

### 3.4 避雷器

図 3.6 に示すとおり、放電ギャップと特性要素とが金属容器に収納された構造で、誤電部と容器との絶縁だけでなく、ギャップの放電特性および続流シャ断の機能は、ともに同一の  $\text{SF}_6$  ガスに依存している。したがって、 $\text{SF}_6$  ガスの圧力（密度）を監視するだけで、安定した避雷器としての特性を維持することができる。

### 3.5 変流器

GIS に使用される変流器はブッシング形であり、一般には分割鉄心形として容器の外周に取り付けられる。このため、定格電流の小さい高精度・高負担のものの製作は困難であり、その対策として変流器の内径を小さくして、これを GIS の容器に内蔵する場合や、ケーブル貫通形にする場合がある。図 3.7 は、それぞれの場合の変流器の特性の限界を示し、これを越えるものについては変流器の用途に応じておのおのを軽負担のものに分割して使用するなどの方策が必要である。

### 3.6 計器用変圧器

表 3.1 に示す各種の計器用変圧器が用途に応じて使用される。このうち、増幅式検電器は、電圧の有無を確認するための点灯表示式であり、継電器用または計器用として使用することはできないが、たとえば地中線による受電端の電圧検知用としては最適である。

## 4. 据付工事および現地試験

### 4.1 基礎工事

基礎は、一般の機器と別段に変わるところはなく、屋外設備の場合にはコンクリート箱抜き式、屋内の場合にはチャネルベース埋込式にすることが多いが、輸送のための分割の形態などによっても変わってくる。ただし、一般の個々の機器と比べると、GIS 全体の占有面積は大きいにもかかわらず、据付けのための寸法精度を確保し、また、地盤の不等沈下などを防ぐために、全体を一体基礎（変圧器と直結する場合には変圧器基礎をも含めて）にすることが必要である。

### 4.2 GIS の輸送・搬入

GIS は、工場で全体の組立・試験を行なった後に出荷される。現

作業内容 \ 日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
基礎ベース心出														
本体搬入、オンベース														
付属品搬入、オンベース														
母線連結														
変圧器接続														
基礎固定														
真空引・ガス封入														
リークテスト														
制御ケーブル接続														
空気配管接続														
電力ケーブル接続														
現地試験														
補修塗装														

図 4.1 GIS の現地作業と日程  
Schedule of installation of GIS in the field.

地での据付期間を短縮し、装置の信頼性をより向上させるためには、可能なかぎり分割部分を少なくして輸送されることが望ましい。66/77 kV 級では、原則としてしゃ断器 1 台を含む 1 ベイのユニットを単位にして輸送のできる寸法・重量にしておき、したがって、特に屋内設置の場合にはこれに対応した寸法の搬入口を設けることが効果的である。

#### 4.3 据付作業

最も望ましい形態で搬入された場合、GIS はきわめて短期間に据付けを行なうことができる。1 回線受電・2 バック程度の代表的な設備の現地作業内容と日程とを図 4.1 に示す。

#### 4.4 現地試験

現地試験のなかで特に注意を要するのは、電気設備技術基準に基づく絶縁耐力試験である。

##### (1) 電圧印加部

架空線引込みによる設備であれば、GIS に設けられたブッシングから試験電圧を印加できるので、なんら問題にはならないが、地中線受電による設備の場合には、電圧印加のための対策を講じなければならない。一般に、次のいずれかの方法が採用される。

##### (a) 試験用ブッシングによる方法

GIS の据付後、ケーブルを接続する前にこの部分に試験用ブッシングを取り付け、ここから試験電圧を印加する。試験完了後にこれを取りはずし、本来のケーブル接続工事を行なう。ケーブル自体の絶縁耐力試験は、その静電容量を考慮して交流または直流で相手端から印加する。この方法は、試験用としてブッシングを用意するだけで、作業

も簡単であるが、次のような難点もある。

(i) GIS の据付・試験・ケーブル接続などの一連の作業について、日程的に綿密な計画を要する

(ii) 特に、屋内設備の場合には、電圧印加線のための気中絶縁距離や、試験用変圧器設置のためのスペース確保がむづかしい。

(iii) なんらかの理由でケーブル相手端からの電圧印加が不可能な場合には、ケーブル接続後に再度、試験用ブッシングの取付けが必要になる。

##### (b) 移動用ケーブルによる方法

試験用ブッシングによる方法の難点を解決する手段として、移動用ケーブルによって電圧を印加する方法がある。ケーブルとしては端末構造の簡単な CV ケーブルが使用され、GIS とカートリッジ式に結合される。この結合部は、あらかじめ考慮して設計すれば、GIS の任意の部分に設けることができるが、一般には GIS の接地装置の位置、または受電用ケーブルの接続端子に設けられる。この方法によれば、GIS 周辺の気中絶縁距離などを心配する必要は全くなくなるが、移動用ケーブルの長さによっては、これ自体の充電電流が問題になる可能性があるため、注意を要する。

##### (2) 試験用変圧器の容量

GIS は、きわめて縮小された絶縁距離をもつ同心円筒状であるうえ、エポキシブッシングやスペーサなどの誘電率の高い固体絶縁材料が多く使用されているので、その対地静電容量は非常に大きく、場合によっては、1 メートルあたり 100 PF 以上にも達することがある。したがって、試験電圧印加時の充電電流も大きく、特にこの点を考慮して試験設備の計画を立てる必要がある。

## 5. む す び

以上に特高受電設備用 GIS の具体例、および計画に際しての二三の要点について述べた。実際の運用にあたっての制御・保守・点検などについては別に稿を改めたい。

現在、この分野で GIS の適用が検討されている例は非常に多く、将来、さらに増加するものと思われるが、GIS といえども、当然、その得失を持つものであり、これの適用の当否は当事者各位の判断にゆだねられるべきものと思われる。

終わりに、この装置、特に MOF の問題に関して深いご理解と、建設的な指導をいただいた中国電力(株)、中部電力(株)の関係各位に謝意を表する次第である。

## 電解加工—硝酸ソーダ水溶液による加工—

荒井 伸治\*・葉石 雄一郎\*・高鷲 民生\*

Electro-chemical Machining with  $\text{NaNO}_3$  Solution

Nagoya Works Shinji Arai・Yuichiro Haishi・Tamio Takawashi

In the electro-chemical machining in which sodium nitrate solution is used for the electrolyte, it has been made clear how the gap is formed in connection with electrolytic phenomena. As a result, the following facts have been found: both a side gap and an inclined surface gap fall within  $g_a$ , the integrated effect interruption gap and the shape of electrode becomes easier to be made because the correction is taken place in a definite small dimensions  $g_a$ ; the error in machining at that time becomes within a value ( $g_a - g_o$ ) when the bottom gap is taken as  $g_o$ . Also it is made known that the control of  $g_a$  value is possible by the control of the working voltage. In rough machining, both the efficiency and accuracy will be highest if higher voltage is applied and then it is gradually lowered. The feeding amount in the change over time is calculated from the relation between the working voltage and the  $g_a$  value.

When a solution mixed with sodium chlorate is used, machining is possible with small  $g_a - g_o$  at small  $g_a$ , resulting in high speed and high accuracy of the machining.

## 1. ま え が き

電解加工機は、1958年に国産第1号機が、当社より発表されて以来、種々の改良と応用の開拓が行なわれ、現在国内で、約100台程度稼働していると推定されている。これらのユーザに広くアンケートをとり、電解加工機の利点と問題点を、摘出した報告<sup>(1)</sup>によると、電解加工の加工速度が速いこと、異形状の加工ができること、工程の合理化ができることが、利点として認められているが、欠点として、次の点があげられている。

- (1) スラッジの処理が困難である。
- (2) 精度が出にくい。
- (3) 電極製作が困難である。
- (4) 機械が腐食しやすい。

スラッジの処理法については、この報告後、脱水率の高い処理とクロム除去の装置が開発され、解決の見通しがついてきた。機械の寿命に対しては、酸素酸塩水溶液の採用と、機械の構成材料の開拓によって改善されてきている。精度の向上について、硝酸ソーダ水溶液について、電解加工特性を実験により求め、積分効果しゃ断間げき(隙)が存在することによって、加工精度が、大幅に向上する結果を得ることをすでに報告<sup>(2)</sup>した。また、この種の電解液において、電極製作に反転法が、広く採用でき、電極製作が簡易になることも、報告<sup>(2)</sup>している。

このように、電解加工の欠点の改善が着々と進み、ますますその用途が広まると、より経済的、合理的に電解加工機を利用するために、完全無人化運転の要望が出てきた。

電解加工機の完全無人化を遂行するうえで、加工条件を、最適なプロセスで制御する方法が、一番問題になる。

一方、硝酸ソーダ水溶液や、その他の酸素酸塩水溶液について、溶出現象と、加工速度や、間げきを結びつけるデータは、2, 3見られる<sup>(3)(4)</sup>が、最適プロセスを求めべく、これを利用するには、不足な点が多い。

本論文では、積分効果しゃ断間げきが、電解加工精度を左右する因子になることを述べ、つぎに、この間げきの制御について、加工

電圧による制御および、電解液(硝酸ソーダ水溶液)に対する塩素酸の混入による影響について報告する。

## 2. 硝酸ソーダ水溶液における積分効果しゃ断間げき

## 2.1 間げきの形成

電解加工の精度は、電極送り方向に対し平行な面に対する側面間げき、および傾斜面に対する傾斜面間げきで評価され、これらの間げきは、電解溶出の現象と結びつけ論ぜられている<sup>(5)</sup>。

電解溶出現象において、電流密度  $J(\text{A}/\text{cm}^2)$  と、溶出速度  $f(\text{cm}/\text{s})$  の関係は、実験的にもとめることができる。この関係は一般的にファラデーの法則より、次式が成立する。

$$f = \alpha K_1 J \quad (2.1)$$

$\alpha$ : 電流効率

$K_1$ : 定数

食塩水の場合、 $\alpha=1$  で、 $f$  と  $J$  は比例関係となる。

硝酸ソーダ水溶液の場合、さきに報告<sup>(2)</sup>したごとく、次式で示される。

$$f = \frac{1}{\beta} (J - J_0) \quad (2.2)$$

$\beta, J_0$ : 材質に固有な定数

つぎに、電解液の電気伝導の理論より、電極と被加工物間の間げきを  $g(\text{cm})$  とすると、式(2.3)が導かれる。

$$g = \frac{E - E_0}{\rho J} \quad (2.3)$$

$E$ : 加工電圧 (V)

$E_0$ : 分解電圧 (V)

$\rho$ : 電解液の見かけの比抵抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

式(2.3)は、食塩水の場合には成立するが、硝酸ソーダ水溶液の場合には、被加工物表面の酸化膜抵抗などのために、式(2.3)は成立せず、実験および実験式として、前報<sup>(2)</sup>で求めた関係となる。

$f-J$ ,  $g-J$  の両関係が明らかになると、 $J$  を消去して、 $g-f$  関係を求めることができる。 $F$  を関数として、

$$f = F(g) \quad (2.4)$$

$$g=F^{-1}(f) \dots\dots\dots(2.5)$$

以上の、理論や実験より求められる  $g-f$  関係が、実際の加工の間げきに対して、どのような意味をもつか考察してみる。

まず、電極を一定の送り速度  $f_0$  で送る場合の底面間げき(図 2. 1 参照)は、送り速度  $f_0$  と溶出速度が一致する間げき  $g_0$  において定常状態となる。

$$g_0=F^{-1}(f_0) \dots\dots\dots(2.6)$$

つぎに、電極送り方向に平行な電極面における間げき  $g_s$  を考えると、これも定常状態に達し、そのときの間げき値は、電極に固定し、底面を 0 とし、上方に  $x$  軸をとった座標軸に対し(図 2. 2 参照)次のように求められる<sup>(6)</sup>。

$$\frac{dx}{dt}=f_0 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\frac{dg_s}{dt}=f \dots\dots\dots(2.8)$$

ゆえに

$$\frac{dg_s}{dx}=\frac{f}{f_0} \dots\dots\dots(2.9)$$

式(2.5)より

$$\frac{dg_s}{F(g_s)}=\frac{dx}{f_0} \dots\dots\dots(2.10)$$

これを積分して

$$\frac{x}{f_0}-\frac{g_0}{f_0}=\int_{g_0}^{g_s} \frac{1}{F(g_s)} dg_s \dots\dots\dots(2.11)$$

初期条件  $x=0$  にて、 $g=g_0$

これより  $x$  と  $g$  の関係が求められる。

食塩水の場合、式(2.11)は、式(2.12)の関係となる。

$$x=\frac{g_s^2-g_0^2}{2K_2} \dots\dots\dots(2.12)$$

$K_2$ : 定数

また電極送り方向に対し、角度  $\alpha$  をなす傾斜面に対する間げき  $g_\alpha$  は、定常状態に達したのちは、次のように求められる(図 2. 3 参照)。座標軸は、電極に固定し、傾斜面に平行に  $x$  軸をとる。

$$\frac{dx}{dt}=f_0 \cos \alpha \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\frac{dg_\alpha}{dt}=f-f_0 \sin \alpha \dots\dots\dots(2.14)$$

ゆえに

$$\frac{dg_\alpha}{dx}=\frac{f-f_0 \sin \alpha}{f_0 \cos \alpha} \dots\dots\dots(2.15)$$

これを積分して

$$x=f_0 \cos \alpha \int_{g_0}^{g_\alpha} \frac{dg_\alpha}{F(g_0)-f_0 \sin \alpha} \dots\dots\dots(2.16)$$

式(2.16)より、 $x$  と  $g_s$  の関係が求められる。

式(2.11)、式(2.16)にみるように、 $g_s$ 、 $g_\alpha$  は、 $F(g)$  の関数の積分値より求められ、 $F(g)$  が求められれば、幾何学的に、 $g_s$ 、 $g_\alpha$  が決定することが示唆されている。

以上の  $f-J$  関係、 $g-J$  関係、底面間げき  $g_0$ 、側面間げき  $g_s$ 、傾斜面間げき  $g_\alpha$  を一覧表に図示したものを、表 2. 1 に示す。

側面間げきは、食塩水の場合、 $x \rightarrow \infty$  において、 $g \rightarrow \infty$  となるのに対し、硝酸ソーダ水溶液では、 $x \rightarrow \infty$  において、 $g_\alpha$  値に収れん(斂)する。したがって、 $g_0 \leq g_s \leq g_\alpha$  が成立する。

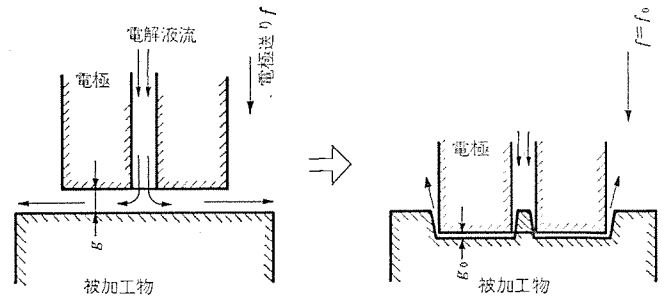


図 2. 1 底面間げき Front gap.

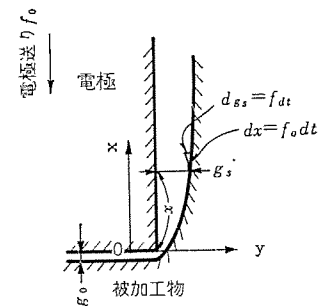


図 2. 2 側面間げき Side gap.

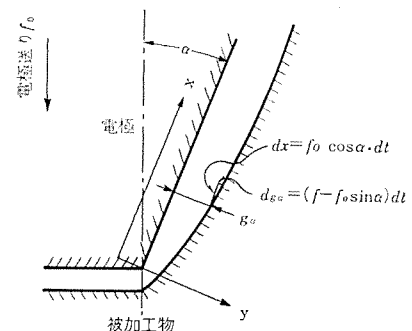


図 2. 3 傾斜面間げき Slope gap.

斜面間げき  $g_\alpha$  は、食塩水の場合、 $x \rightarrow \infty$  において  $g_\alpha \rightarrow g_{\alpha 0} = \frac{g_0}{\sin \alpha}$  となる。 $\alpha$  が小さく、 $\alpha \rightarrow 0$  においては、 $g_\alpha \rightarrow \infty$  となる。硝酸ソーダ水溶液の場合、同じように、 $x \rightarrow \infty$  において  $g_\alpha \rightarrow g_{\alpha 0}$  となるが、 $\alpha \rightarrow 0$  に対し、 $g_{\alpha 0} \rightarrow g_a$  である。なお  $g_{\alpha 0} = F^{-1}(f_0 \cos \alpha)$  であり、 $g_0 < g_{\alpha 0} < g_a$  である。

以上のように、食塩水の場合、側面間げき、傾斜面間げきともに、限定値がなく発散するのにに対し、硝酸ソーダ水溶液の場合、両方の間げきともに、 $g_0$  と  $g_a$  との間に限定される。したがって、硝酸ソーダ水溶液の場合、電極を、目標寸法より、 $g_a$  だけ小に補正して小とすれば  $(g_a - g_0)$  の誤差内の加工が保証できる。食塩水の場合は、このような定寸法補正では、精度の保証はできない。

他の酸素酸塩、あるいは、硝酸ソーダとの混合水溶液を使用した場合も、硝酸ソーダ水溶液と同様に  $g_a$  値が存在する。各種の被加工物材料に対し、 $g_a$  値が小で、しかも  $(g_a - g_0)$  値の小なる電解液を選定することも、精度を高く電解加工するために必要なことである。

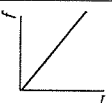
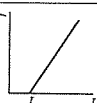
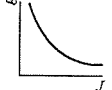

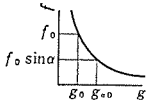
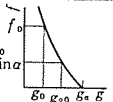

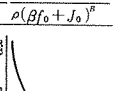
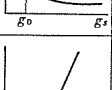
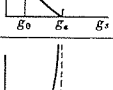
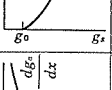
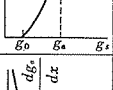
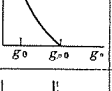
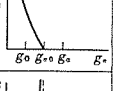
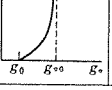
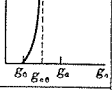
## 2.2 加工電圧と積分効果しゃ断間げき

### 2.2.1 目的

前報<sup>(2)</sup>にて、硝酸ソーダ水溶液を用いる場合、積分効果しゃ断間げきにおよぼす被加工物材料の影響、および電解液温度の影響について述べた。しかし、実際の型彫り加工の場合、被加工物材料は指定されることが多いし、液温をすみやかに制御することも困難である。したがって、積分効果しゃ断間げき  $g_a$  を、制御するもつとも



表 2.1 間げきの形式 (食塩水と硝酸ソーダ水溶液の比較)  
Formation of various gaps.

電 解 液	食 塩 水	硝酸ソーダ水溶液
$f$ - $J$ 関係	$f=K_1J$ 	$J=\beta f+J_0$ 
$g$ - $J$ 関係	$g=\frac{E-E_0}{\rho J}$ 	$g=\frac{E-E_0}{\rho J}-\frac{A}{\rho J^2}$ 
$g$ - $f$ 関係	$f_0 \sin \alpha$ 	$g=\frac{K_1(E-E_0)}{\rho(\beta f+J_0)}-\frac{A}{\rho(\beta f+J_0)^2}$ $f_0 \sin \alpha$ 
底面間げき	$g_0=\frac{K_1(E-E_0)}{\rho f_0}$ 	$g_0=\frac{K_1(E-E_0)}{\rho(\beta f_0+J_0)}-\frac{A}{\rho(\beta f_0+J_0)^2}$ 
側面間げき	$\frac{dg_z}{dx}=\frac{f}{f_0} \frac{dg}{dx}=\frac{K_1(E-E_0)}{f_0 \rho g}$ 	$\frac{dg_z}{dx}=\frac{f}{f_0} \frac{dg}{dx}$ $g_z=g_0$ にて $\frac{dg_z}{dx}=0$ 
	$x=\frac{f_0}{2K_2}(g^2-g_0^2)$ $x \rightarrow \infty$ にて $g \rightarrow \infty$ 	$x \rightarrow \infty$ にて $g \rightarrow g_0$ 
傾斜面間げき	$\frac{dg_\alpha}{dx}=\frac{f-f_0 \sin \alpha}{f_0 \cos \alpha}$ $f=f_0 \sin \alpha (g=g_0)$ にて $\frac{dg_\alpha}{dx}=0$ 	$\frac{dg_\alpha}{dx}=\frac{f-f_0 \sin \alpha}{f_0 \cos \alpha}$ $f=f_0 \sin \alpha (g=g_0)$ にて $\frac{dg_\alpha}{dx}=0$ 
	$x \rightarrow \infty$ にて $g \rightarrow g_0$ ただし $\alpha \rightarrow 0$ にて $g_0 \rightarrow \infty$ 	$x \rightarrow \infty$ にて $g \rightarrow g_0$ ただし $\alpha \rightarrow 0$ にて $g_0 \rightarrow g_0$ 

容易な、加工電圧に着目し、加工電圧と積分効果と断間げきの関係を、実験的に求めてみた。

## 2.2.2 実験

$g$ - $J$  の関係および  $f$ - $J$  関係をそれぞれ二つの実験にて求める。使用する電極は、薄肉円筒で、同形状の被加工物と中心を合わせて実験を行なう (図 2.4 参照)。

### (1) $g$ - $J$ 実験

まず送り速度 1 mm/min 程度で、気体混入を行ないながら加工を行ない、電極面と被加工物面を平行にしたのち、加工を止め、接触感知法によって間げき 0 の電極位置を設定する。この設定誤差は 0.01 mm 以内である。つぎに、所要間げきだけ電極を上昇させ、しかるのち、電極は静止させ液のみを、中央液供給口より噴出させながら、電源 (2,000 A 容量三相全波整流直流電源) を投入し、電流値をシャントを利用し電磁オシログラムにて計測する。

間げきを、設定しなおし各間げきにおける電流値の最大値を読むことにより、 $g$  と  $J$  の関係を得る。

加工電圧を種々にかえて、 $g$ - $J$  関係を計測した結果を図 2.5、2.6 の第 1 象限に示す。

### (2) $f$ - $J$ 実験

同じ電極、被加工物を用い、電極を送り、定常状態になったときの電流値を求める。送り速度を設定しなおすことによって、 $f$ - $J$  の関係を得る。加工電圧を種々にかえて得た実験結果を図 2.5、2.6 の第 2 象限に示す。

以上の各実験は、前報の実験<sup>(2)</sup>と同じである。他の加工条件は次のとおりである。

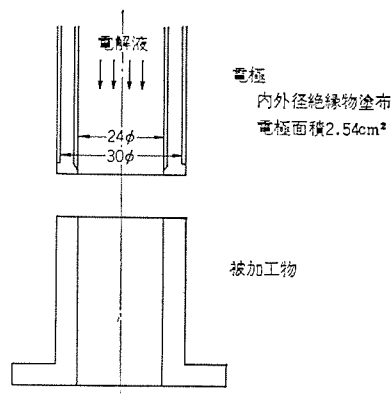


図 2.4 電極および被加工物の形状  
Shape of electrode and workpiece.

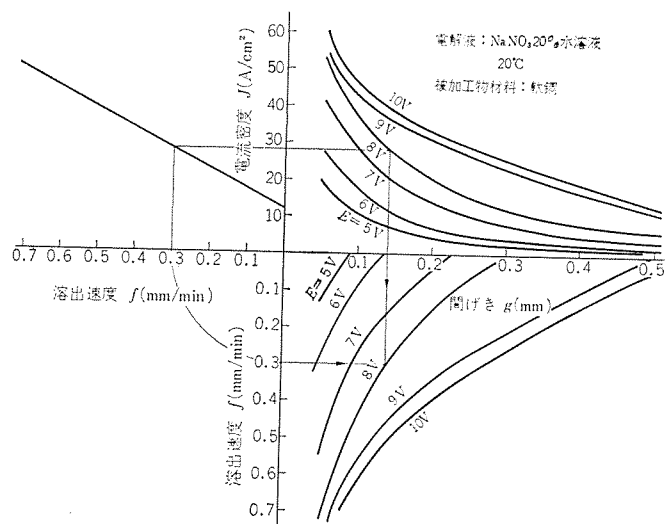


図 2.5 加工電圧による加工特性の変化 (被加工物材料: 軟鋼)  
Specific diagram of mild steel changing work voltage.

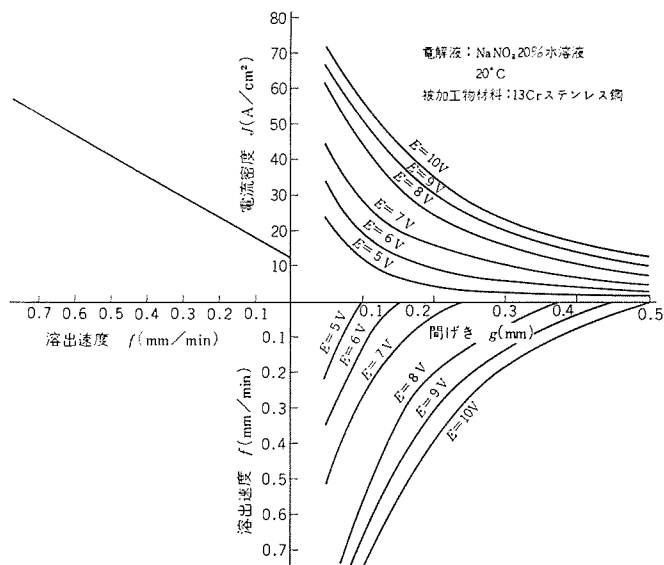


図 2.6 加工電圧による加工特性の変化  
(被加工物材料: 13Cr ステンレス鋼)  
Specific diagram of 13Cr stainless steel changing work voltage.

電解液 20% 硝酸ソーダ水溶液 温度 20°C  
電 極 24φ—30φ 円筒 材質 黄銅  
被加工物 24φ—30φ 円筒 材質 軟鋼および 13Cr 系 ステンレス鋼  
電解液圧力 14 kg/cm²

### 2.2.3 検 討

$f$ - $J$  の関係は、式 (2.17) で示される。

$$J = J_0 + \beta f \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

$\beta$ ,  $J_0$  は定数

この関係は、加工電圧を 5~10 V の間で変化させても、まったく変わらないことがわかった。これは、ファラデー法則における電流効率率は、加工電圧には無関係であることを意味する。すなわち間げきが異なっている、同じ溶出速度を得るには、同じ電流で良いということを示す。

$g$ - $J$  関係は、加工電圧の影響を大きく受ける。この関係は、基本的には、式 (2.3) が成立するのであるから、電圧値によってかわるのは当然と考えられるが、単純に  $(E-E_0)$  値で補正しても  $g$ - $J$  関係は一定とならない。前報に指摘したように、液抵抗以外の酸化膜などの影響によって、複雑な関係になるものと推定される。

$f$ - $J$ ,  $g$ - $J$  の両関係より、図 2.5, 2.6 に示すように、 $J$  を消去して、 $g$ - $f$  関係を図式的に得ることができる。すなわち、図 2.5 点線で示すやり方で、 $g$ - $f$  図 (第 4 象限) に、点をプロットすることができる。

加工電圧の変化によって、 $J_0$  は、不変であるのに対して、 $g$ - $J$  曲線が加工電圧によって変化するために、 $g$ - $f$  図における  $g$  軸との交点  $g_a$  (速度 0 における間げき、すなわち積分効果しゃ断間げき) の値は加工電圧とともに変化する。加工電圧と  $g_a$  の関係を図 2.7 に示す。加工電圧が低いほど、 $g_a$  の値は小となる。

しかし、加工電圧を低くすると、電極送り速度  $f_0$  は、あまり高くとれない。なぜならば、その送り速度に対応する底面間げき  $g_0$  が小さすぎて、短絡のひん(頻)発をまねきやすくなるためである。

底面間げきが、0.05 mm になる送り速度  $f_{0.05}$  を、加工電圧との関係で求めると、図 2.8 のようになり、加工電圧が高いほど、 $f_{0.05}$  の値は速いことがわかる。

### 2.2.4 加工電圧を制御する最適加工プロセス

前項に述べたごとく加工電圧で、 $g_a$  の制御ができ、しかも加工電圧が高いほど、速い加工ができるので、粗加工を高電圧で、仕上加工を低電圧で行なうのが、有利と考えられる。この粗加工、仕上加工を、いかに切換えてゆくかを検討する。

いま、電極送り方向に対し、 $\alpha$  の角をなす面を考える (図 2.8 参照)。この面に対する間げき  $g_\alpha$  は、2.1 節に述べたごとく、 $g_0 \leq g_\alpha \leq g_a$  である。この間げきを  $g_a$  とみなし、粗加工 (高加工電圧) の  $g_a$  を  $g_{ar}$ 、仕上加工 (低加工電圧) の  $g_a$  を  $g_{af}$ 、とすると、図 2.9 に示すように、最終仕上面に、粗加工による被加工物面が到達したときに切換えるものとする、次式が成立する。

$$D_f = f_f T_f = \frac{g_{ar} - g_{af}}{\sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

$f_f$ : 仕上加工の電極送り速度

$T_f$ : 仕上加工時間

$D_f$ : 仕上加工による送り量

全体の送り量を  $D$ 、全加工時間を  $T$ 、粗加工による送り量を  $D_r$ 、粗加工による送り速度を  $f_r$ 、粗加工の送り速度を  $f_r$  とすると、式 (2.18)、式 (2.19) が成立する。

$$D = D_r + D_f \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

$$T = T_r + T_f = \frac{D_r}{f_r} + \frac{D_f}{f_f} = \frac{D_r}{f_r} + \frac{g_{ar} - g_{af}}{f_f \sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

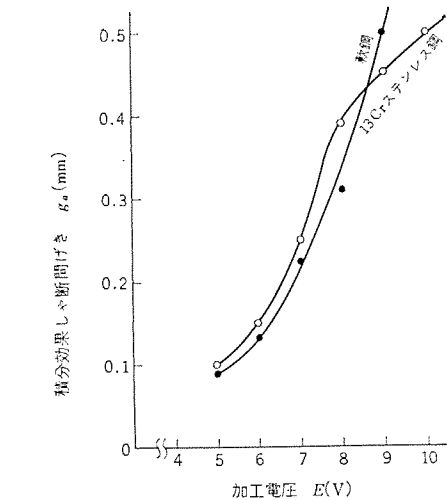


図 2.7 加工電圧と積分効果しゃ断間げき  
Gap cut off integration effect related to work voltage.

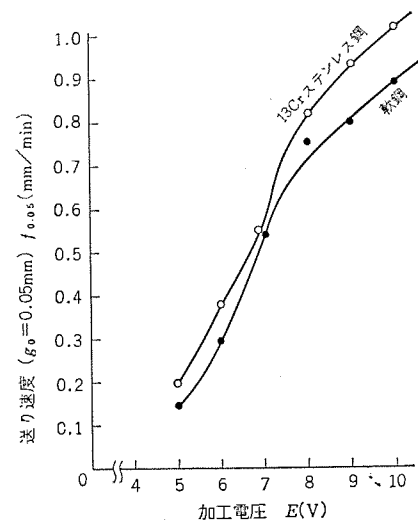


図 2.8 底面間げき 0.05 mm の送り速度  
Feed rate ( $g_0=0.05$  mm) related to work voltage.

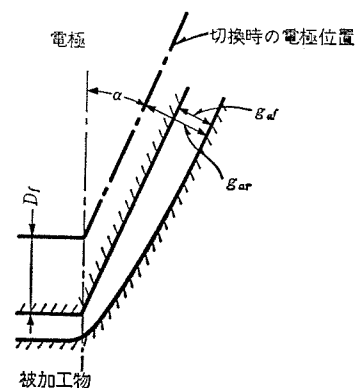


図 2.9 仕上げしろ  
Finishing allowance.

つぎに、仕上加工を数段に分けて、加工することを考える。すなわち、加工電圧を、粗加工電圧  $E_r$  より、 $E_{f1} \rightarrow E_{f2} \rightarrow \dots \rightarrow E_{fn}$  と切換える。

$$D_{fm} = f_{fm} \cdot T_{fm} = \frac{g_{af(m-1)} - g_{afm}}{\sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

ゆえに

表 2.2 仕上げしる  $D_f$  の計算  
Calculation of finishing allowance.

加工電圧 $E$ V	$g_a$ mm	$f_{0.05}$ mm/min	$D_f$		
			$\alpha=90^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=5^\circ$
10.0	0.50	1.02	0.40	2.30	4.59
9.5	0.47	0.99	0.37	2.13	4.24
9.0	0.45	0.94	0.35	2.02	4.02
8.5	0.42	0.88	0.32	1.84	3.67
8.0	0.39	0.83	0.29	1.67	3.33
7.5	0.33	0.74	0.23	1.32	2.64
7.0	0.25	0.55	0.15	0.86	1.72
6.5	0.19	0.47	0.09	0.52	1.03
6.0	0.15	0.38	0.05	0.29	0.57
5.5	0.12	0.29	0.02	0.12	0.23
5.0	0.10	0.20	0	0	0

$$\sum_{m=1}^n D_{fm} = \sum_{m=1}^n \frac{g_{af(m-1)} - g_{afm}}{\sin \alpha} = \frac{g_{ar} - g_{afn}}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (2.22)$$

よって、 $n$  段目の仕上加工電圧と、式 (2.18) の場合の仕上加工電圧が同じとすると、 $g_{af} = g_{afn}$  であるから、式 (2.22) は、式 (2.18) と一致する。すなわち、粗加工電圧と、仕上加工電圧が同じなら、仕上のために必要な送り量は、段数によらず同一である。

つぎに加工時間を考えると式 (2.22) が成立する。

$$T = T_r + \sum_{m=1}^n T_{fm} = T_r + \sum_{m=1}^n \frac{D_{fm}}{f_m} \dots \dots \dots (2.23)$$

$f_{m-1} \geq f_m$  を考慮し、最終段の  $f_n = f_f$  と考えると、段数が多いほど、全加工時間  $T$  が小になるという結果が、式 (2.23) より容易に導き出される。いま、送り量によって、加工電圧を切換えながら  $n$  段の仕上加工を行なうものとして、式 (2.21) より、各段の切換えるべき送り量が求められる。加工電圧 10 V で粗加工を行ない、0.5 V ずつ下げながら最終 5 V で仕上加工を行なうものとして、 $\alpha$  が  $5^\circ$  および  $10^\circ$  の場合について、図 2.7, 2.8 の値を利用し被加工物材料が、13 Cr 系ステンレス鋼について、切換えに必要な送り量を算出した結果を表 2.2 に示す。 $\alpha=5^\circ$  および  $10^\circ$  の場合について、各電圧で送りうる最小の  $D$  の値を示している。

実際の加工については、電極面形状のうちで、もっとも垂直に近い面の角度  $\alpha$  を用いて、各段の加工電圧と送り量の関係を、加工電圧と積分効果し断間げきの関係より求めることによって、加工プロセスを設定できる。

### 3. 塩素酸ソーダ混入による加工特性の変化

#### 3.1 目的

塩素酸ソーダ水溶液による加工<sup>(4)</sup>および硝酸ソーダ水溶液に対する塩素酸ソーダ<sup>(7)</sup>の混入は、すでに提案されているが、 $f-J$ 、 $g-J$ 、 $g-f$  の各関係より、混入の適否を検討するために、加工特性試験および検討を行なう。

#### 3.2 実験

塩素酸ソーダを 20 % 硝酸ソーダ水溶液に対し、10 % 混入した液を用いて、2.2.2 項と、同様に  $g-J$  実験、 $f-J$  実験を行ない、加工特性を求めた。被加工物材料は、次の各種とする。加工電圧は、10 V 一定とする。

- (1) 軟鋼-SS41
- (2) 構造用炭素鋼 ; S45C

- (3) 13 Cr ステンレス鋼 ; SUS420 J1
- (4) 合金工具鋼 ; SKT-4 (熱間加工用)
- (5) 炭素工具鋼 ; SK-5
- (6) 合金工具鋼 ; SKD-12 (耐摩不変形用)
- (7) オーステナイト系 ステンレス鋼 ; SUS304
- (8) 合金工具鋼 ; SKD-61 (耐衝撃用)

結果を、図 3.1 ~ 3.8 に示す。図 3.1 ~ 3.4 については、硝酸ソーダ 20 % 水溶液の結果を点線で比較のため同時に示す。

#### 3.3 検討

塩素酸ソーダを混入した硝酸ソーダ水溶液において、 $f-J$  関係は、直線関係とならず曲線となり、 $J_0$  の値は比較的大きく保たれている。また、同じ溶出速度に対し、硝酸ソーダ水溶液に対し電流密度が小さいのも特長であり、したがって、同一電流容量の電源でも、より大きな加工面積まで加工できる。

実用例で、送り速度 0.05 mm/min の最終送り速度で、10,000 A 電源を用い、約 600 cm<sup>2</sup> (250 mm $\phi$ ) の加工まで可能である。

$g-J$  関係についても、間げきの大きいほうで、電流密度がやや低く押えられている。

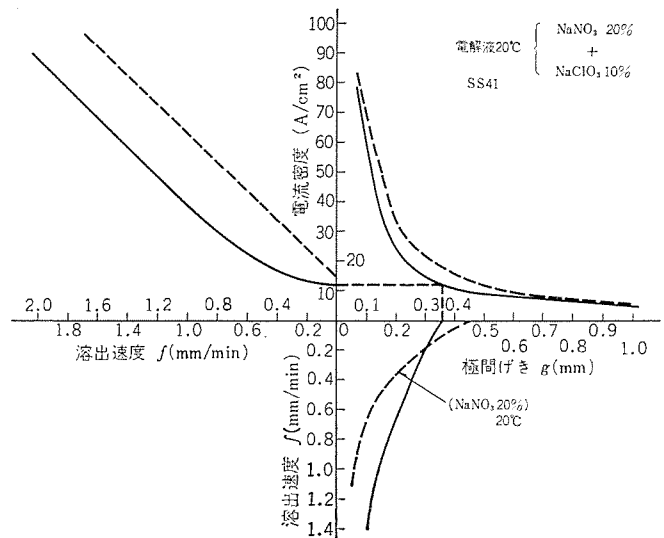


図 3.1 加工特性 (軟鋼 SS41)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in mild steel machining.

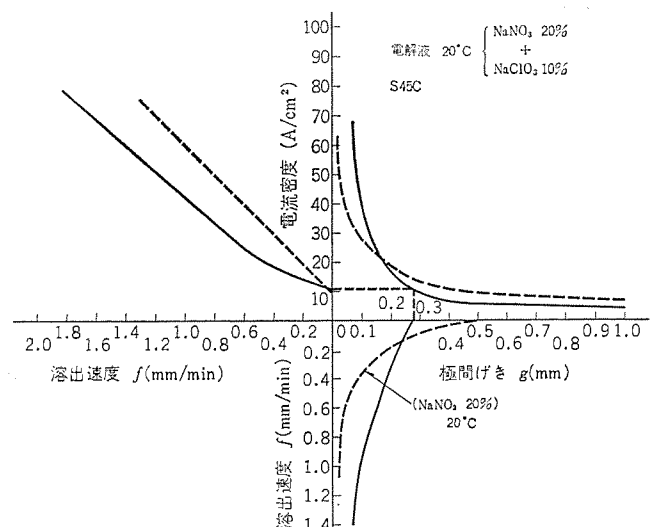


図 3.2 加工特性 (構造用炭素鋼 S45C)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in carbon steel machining.

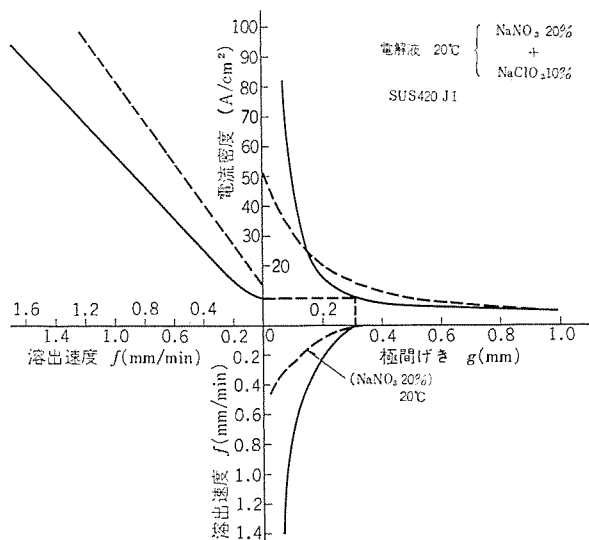


図 3.3 加工特性 (13Cr ステンレス 鋼)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in stainless steel machining.

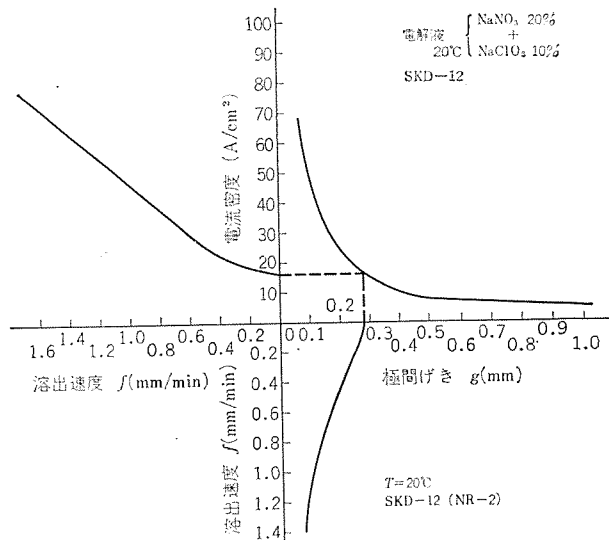


図 3.6 加工特性 (合金工具鋼 SKD-12)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in alloy tool steel SKD-12 machining.

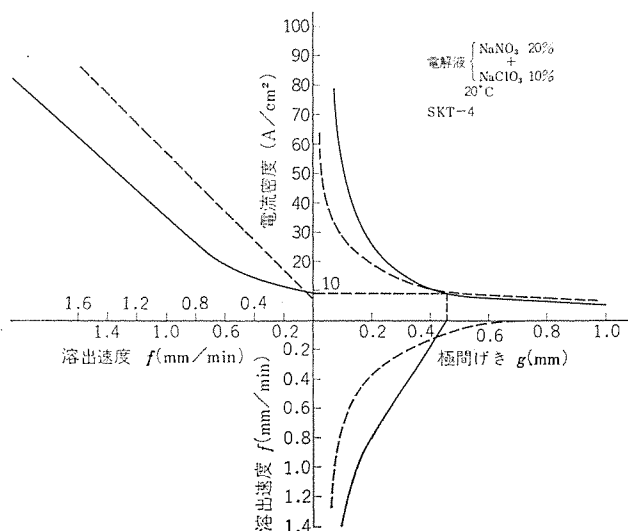


図 3.4 加工特性 (合金工具鋼 SKT-4)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in alloy tool steel SKT-4 machining.

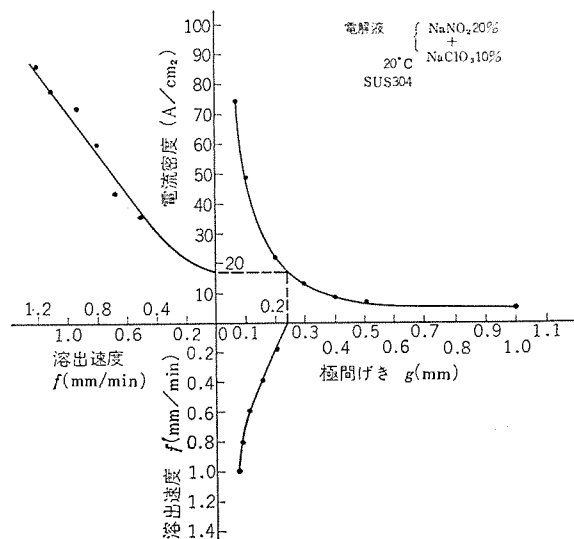


図 3.7 加工特性 (オーステナイト系 ステンレス 鋼)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in Austenitic stainless steel machining.

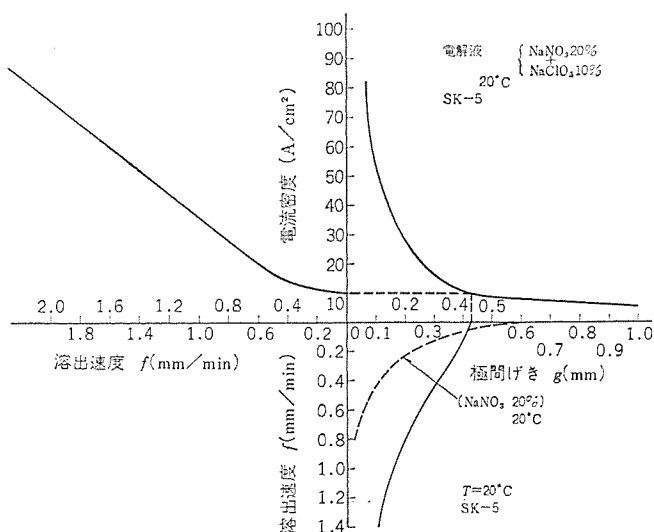


図 3.5 加工特性 (炭素工具鋼 SK-5)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in carbon tool steel machining.

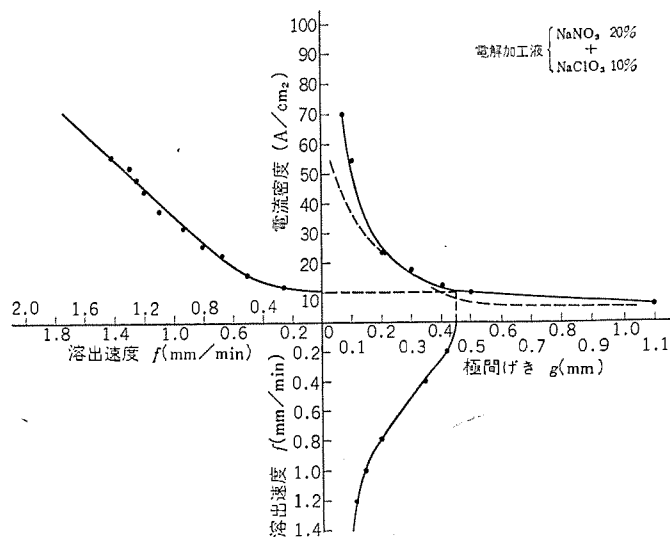


図 3.8 加工特性 (合金工具鋼 SKD-61)  
Specific diagram of mixing  $\text{NaClO}_3$  in alloy tool steel SKD-61 machining.

$g-f$  関係では、硝酸ソーダ水溶液に比べて、 $g_a$  値が小さく、しかも溶出速度が高くて、間げきが比較的大きく保たれているのが特長である。したがって、 $(g_a - g_0)$  値は、硝酸ソーダ水溶液よりも、塩素酸ソーダ混入溶液のほうが小となり、 $g_a$  値で電極を定寸補正した場合、その精度は、塩素酸ソーダを混入したほうが良くなる。

塩素酸ソーダ以外の各種の酸素酸塩についても、その単液や混合溶液について、被加工物材料との組合わせにおいて、種々の  $g-f$  特性が得られるので、それらの内で、適正なものを選択すると、より精度の高い電解加工が期待できる。

#### 4. む す び

本論文において、次の事項を記述した。

(1) 電解加工の間げきは、間げき  $g$  と溶出速度  $f$  の関係が求められると、幾何学的に形成される。したがって、精度を論ずる場合、電流密度を  $J$  として、 $g-J$ 、 $J-f$  の両関係を実験的に求め、 $g-f$  関係を求め、検討することができる。

(2) 硝酸ソーダ水溶液を電解液に用いる場合、積分効果しゃ断間げき  $g_a$  が存在する。側面間げき、傾斜面間げきは、いずれも、底面間げき  $g_0$  より大きく、 $g_a$  より小なる値になる。したがって電極形状は、一定間げき  $g_a$  で定寸法だけ小として製作した場合その誤差は、 $(g_a - g_0)$  以内になる。

(3) 加工電圧を変えることにより、 $g_a$  値を制御できることがわかった。加工電圧を変えると  $5V \sim 10V$  の範囲では、 $f-J$  関係は変化せず、 $g-J$  関係が変化し、したがって  $g-f$  関係が変化する。加工電圧が低いほど、 $g_a$  値は小となり、精度の高い加工ができる。しかし、加工電圧が低いと、底面間げきが小となりすぎ、短絡を招きやすいので、粗加工は、高電圧で行なう必要がある。

(4) 加工電圧を変化させて、仕上加工を行なう場合の切換え深

さ  $D$  は、粗加工の  $g_a$  値を  $g_{ar}$ 、最終仕上加工の  $g_a$  値を  $g_{af}$  とすると、 $D = \frac{g_{ar} - g_{af}}{\sin \alpha}$  で与えられる。 $(\alpha$  : 電極面の傾斜角)。また、粗加工は、段数を多段で加工するほど、加工時間は短い。

(5) 塩素酸ソーダを、硝酸ソーダ水溶液に混入すると、 $f-J$  関係がとくに大きく変化し、同じ溶出速度に対し電流密度は硝酸ソーダ水溶液に比べ低いにもかかわらず、低溶出速度では、電流密度が比較的高くなり、その関係は、曲線となる。この結果、 $g-f$  関係で、 $g_a$  は小となり、しかも、 $g_a - g_0$  は小となる。このような液では、精度は高く、高速の加工ができる。

#### 参 考 文 献

- (1) 電気加工学会：電解加工機使用状況調査報告（昭47-3）
- (2) 荒井、葉石：硝酸ソーダ水溶液による電解加工，三菱電機技報，45，1,280（昭46）
- (3) W. König and D. Pahl : Accuracy and Optimal Working Conditions in Electro-chemical Machining, Annals of the C. I. R. P.
- (4) James P. Haare et al. : An Investigation of the Difference between NaCl and NaClO<sub>3</sub> as Electrolytes in Electro-chemical Machining, Electrochemical Science, 116, No. 2 (1969)
- (5) H. Opitz, H. Heitmann und U. Becker-Barbrock : Grundlagen und Anwendung der elektrochemischen Bearbeitungsverfahren, C. I. R. P. (1966)
- (6) 古池：電解加工の加工技術，三菱電機技報 41，No. 10（昭42）
- (7) 機械試ニュース No. 8（昭45）

## 計器用変圧器 保護用高圧限流ヒューズ

岩崎 行夫\*・野田 肇\*

## High Voltage Current-Limiting Fuses for Potential Transformers

Itami Works Yukio Iwasaki・Hajime Noda

Type PL (style No. G/F) high voltage current-limiting fuses have been developed as protective fuses on the primary side of potential transformers. They have an interrupting capacity in a three phase symmetrical value of the highest class standard, while in the dimensions they are interchangeable with existing fuses for potential transformers available in the market, being the super-small sized and of high performance to operate on 6~3 kV lines in common.

This article describes the application of fuses to high voltage potential transformers as well as their features, construction and performance.

## 1. ま え が き

当社では、さきに高圧計器用変圧器（以後、PT と略称する）の一次側保護ヒューズとして、しゃ断容量は規格最高級の三相对称値 500 MVA をもち、寸法は従来の市販 PT 用ヒューズと互換性をもつ、超小形・高性能な 6~3 kV 共用の PL-G/F 形 高圧限流ヒューズを開発し、発表した<sup>(1)</sup>。

本年 2 月に施行された電気設備技術基準の改正で、PT 用ヒューズも必ず必要なしゃ断容量はもたなければならないことが、法規的に義務づけられたので、にわかにクローズアップされてきた。

ここに、PL-G/F 形 (PL 形の形番 G/F) ヒューズの特長・構造・性能などの詳細について紹介するとともに、「高圧 PT 用ヒューズの応用法」について若干の私見を述べ、使用者のご参考に供したい。

## 2. 新製品開発のいきさつ

従来、当社が高圧 PT 用ヒューズとして標準販売していた PL-E 形ヒューズは、性能・信頼性の点では認められていたが、寸法・価格の点で市販性に乏しく、重要プラントにしか使用されていなかった。

一方、一般に市販されている高圧 PT 用ヒューズは、小形・安価ではあるが、通電容量やしゃ断性能の点で問題が多い。PT 事故などでヒューズが動作してもしゃ断できず、電源側の主しゃ断器をトリップさせる広範囲な停電事故に拡大したり、また、常時に自然切れや、雷サージ等の過渡電流によるヒューズ切れがひん発するなどの非常に信頼性の低いものが多かった。

このため、一般高圧需要家用の受電設備には「信頼性の高い PT を使用して PT 一次側ヒューズは省略する」ことが提案され、最近ではその傾向が広く一般化しつつあった。

しかし、この傾向が定着するとともに、逆に PT 回路には、PT 自身の製品不良以外に、

- (1) 誤結線、負担の故障などによる二次側短絡の発生
- (2) 異常電圧侵入による破壊
- (3) 環境の不良による破壊

などと、相当発生確率の高い事故源をもっており、万一、事故が発生した場合に回路からすみやかに事故 PT を切り放すための信頼性の高い保護ヒューズが絶対に必要なことが、あらためて強く認識されるようになってきた。

特に、「ヒューズリンクのみの取換えて設備の弱点を解消できるよう、市販ヒューズと同一寸法で高性能な PT ヒューズの出現が望まれた」この市場の要請に答えるために、新形 PT 用ヒューズの開発に着手したのである。

## 3. 新形ヒューズの特長

## 3.1 すぐれたしゃ断性能保証

大電流はもとより、小電流についても、そのしゃ断性能は伊丹製作所の大電力しゃ断試験設備で実負荷短絡試験を行なって完全に実証されており、また、実際に PT との組合せしゃ断試験を行ない、PT の二次側短絡より波及する事故の保護性能も十分に実証されている。

## 3.2 規格最高級の大しゃ断容量

非常に小形化されているにもかかわらず、規格最高級の大しゃ断容量である 7.2 kV 500 MVA, 3.6 kV 250 MVA をもっている。

## 3.3 ヒューズリンク寸法は超小形で市販品と互換可能

ヒューズリンク寸法 (外径 15φ×長さ 110~130 mm) は、従来の市販 PT 用ヒューズと同一寸法であり、既設のヒューズリンクのみを交換して、簡単に信頼性の高いものに更改できる。

## 3.4 ヒューズホルダは小形・軽量で絶縁 6 号 A 保証

舟形支持がいしを使用しているので、取付面積・重量ともに旧品の PL-E 形の 15% と極端に小形化されているが、絶縁耐力は 6 号 A を保証している。

## 3.5 過電圧低く 6/3 kV 共用

ヒューズエレメントを特殊な形状にしてあるので、しゃ断時の過電圧が低く、6 kV, 3 kV 共用である。

## 3.6 自然切れがなく長寿命

ヒューズエレメントの材料および寸法に特別な考慮を払ってあるので、一般市販品のような自然切れや、落雷・投入時の異常共振電流による無用な溶断はなく、寿命が長い。

## 3.7 限流効果が大きく事故復旧容易

事故時に短絡電流を微小電流に限流し、半波以下で高速しゃ断するので、事故による損傷が極小に押さえられる。このため、事故 PT も外観上ではその損傷が判別できないほどで、事故の復旧が非常に容易に早くできる。

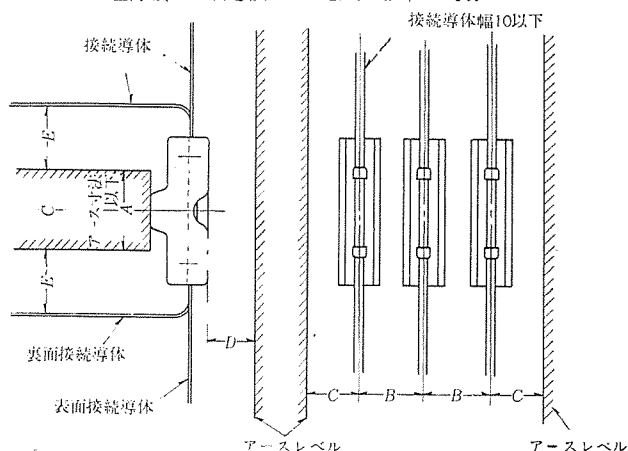


表 4.1 新形 PL 形限流ヒューズ 定格  
Ratings of new type current-limiting fuses "Type PL".

形 式		P			L		
形 番		G			F		
使 用 場 所・形 式		屋内用、固定形、限流形					
定 格 電 圧 kV		7.2/3.6	2.4	1.2	0.72/0.6	7.2	3.6
定 格 電 流 PA		1	1	2	2	1	1
定 格 し ゃ 断 容 量 (三相対称 MVA)		500/250	150	125	65	500	250
ヒューズ リンク	全 長 寸 法 mm	110				130	110
	内 部 抵 抗 (標準 Ω)	4.5	3.0	1.5	0.9	4.5	4.5

表 4.2 PL-G 形限流ヒューズ 最小据付寸法表  
Minimum mounting clearances "Type PL style G fuse".

屋内用、固定形、7.2/3.6kV、1PA



回路電圧 kV	絶縁階級 号	B. I. L. kV	寸 法 表 mm				
			A	B	C	D	E
3.3	3 A	45	120	70	60	55	50
	3 B	30	∞	50	40	35	30
6.6	6 A	60	80	90	80	75	70
	6 B	45	120	70	60	55	50

注 (1) 表面接続も可能であるが、その場合には E 寸法の絶縁距離をとること。  
(2) ヒューズの詳細外形寸法は図 4.2 (a) を参照。

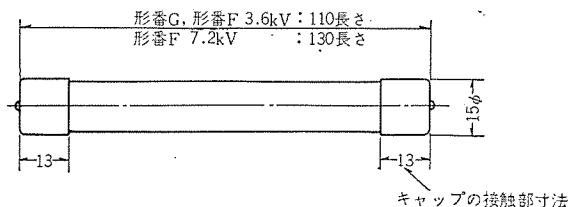


図 4.1 PL-G/F 形ヒューズリンク 外形寸法  
Outline dimensions of fuse link "Type PL style G/F".

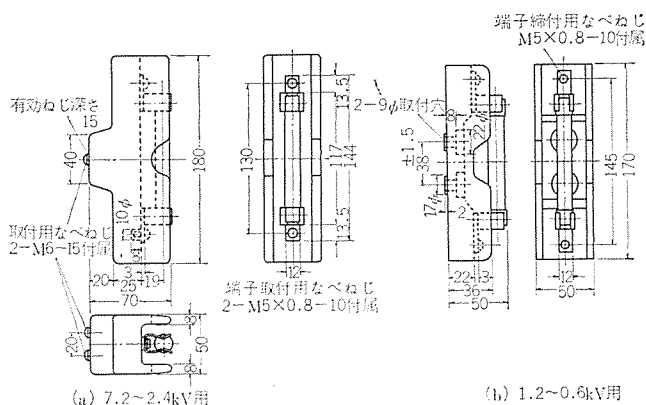


図 4.2 PL-G 形ヒューズホルダ 外形寸法  
Outline dimensions of fuse holder "Type PL style G".

#### 4. 新形ヒューズの定格・寸法

PL-G/F 形限流ヒューズの定格事項を表 4.1 に、外形寸法を図 4.1, 4.2 に、外觀を図 4.3 に示す。垂直・水平のいずれにも自由に取り付けられる。7.2/3.6kV ヒューズの絶縁階級 3 号 A~6 号 A を保証するために必要な最小据付寸法を表 4.2 に示す。

PL-F 形は、市販品の取換用として、特にヒューズリンクのみを製作しており、これ用のホルダは製作していない。ホルダが必要なときには、PL-G 形を使用しなければならない。

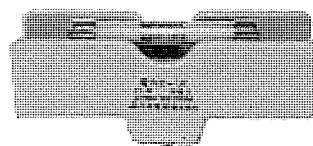


図 4.3 PL-G 形限流ヒューズ 外觀  
Type PL style G current-limiting fuse.

#### 5. 新形ヒューズの構造

##### 5.1 ヒューズリンク

##### (1) 構造の概要

ヒューズリンクの内部構造を図 5.1 に示すが、その構造は、耐熱性強化絶縁樹脂チューブの中心部に、スパイラルに巻いた銅ニッケル系抵抗線製のヒューズエレメントが無張力の状態で配置され、その周囲に消弧剤として均一で適当な粒度の高純度けい砂がすき間なく十分に充てんされ、両端にキャップが耐熱性のある強力な接着剤で接着されて完全密閉にされている。なお、ヒューズリンクの動作表示装置は、ヒューズリンクを極力小形化するために省略してある。

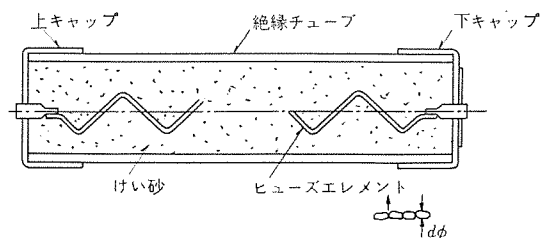


図 5.1 PL-G/F 形ヒューズリンク 内部構造  
Cut-away view of interior construction of type PL style G/F fuse link.

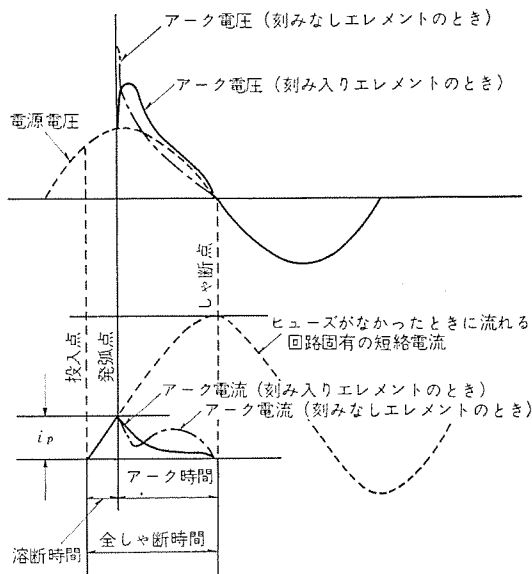


図 5.2 限流ヒューズしゃ断時の電圧・電流波形  
Current and voltage waves of current-limiting fuse.

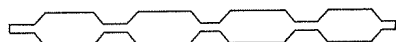
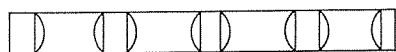


図 5.3 PL-G/F 形ヒューズの刻み入りヒューズエレメント形状  
Knotted fuse element of type PL style G/F fuse.

## (2) ヒューズエレメントの形状

限流ヒューズの最大特長である「事故電流の限流作用」は、さきに発表している<sup>(2)</sup>ように、ヒューズのアーク電圧が電源電圧よりも高くなって初めて発生するので、良好な限流効果を保証するためには、アーク時間中に絶えず電源電圧より高いアーク電圧を維持しなければならない。一方、アーク電圧は、ヒューズエレメントの発弧長に比例した大きさの瞬時値を発生した後、急速に減衰する特性をもっている。一定断面のエレメントを採用すれば、発弧時には一度に全長にわたって発弧して急しゅん高いアーク電圧を発生するが、以後には急速に減衰するだけであるので、図 5.2 に示すように、アーク時間の後半で電源電圧より低くなる。このため、いったん限流された電流が再度増大する現象が発生しやすい。それを防ぐためには、発弧時に余分に相当高いアーク電圧を発生させる必要がある。この場合には発弧時のアーク電圧が回路の絶縁を脅かす危険がある。

新形ヒューズでは、これを避けるため、ヒューズエレメントに図 5.3 に示すような「刻み入り複断面形状」を全長にわたって採用し、時差発弧させてアーク電圧のピーク値を低く押えながら長く維持するように工夫されている。参考までに図 5.2 に刻み入りエレメントの大電流しゃ断時のモデル電圧・電流波形を単一断面エレメントのそれと重ねて示す。

PL-G/F 形ヒューズが誇る特長は、すべてこの刻み入りエレメントの採用で可能になったもので、上に説明した点

(a) 過電圧の低下で 6/3 kV 共用を成功させた。

以外に、

(b) しゃ断に必要なエレメントが短くなり、小形化を成功させた。

(c) 発弧点が多数になり、小電流しゃ断性能が向上した。

(d) 速動性にすぐれ、大電流しゃ断時の限流効果が大きくなった。

など、多くの効果が刻み入りエレメントの採用で発揮されている。

## (3) 消弧剤 (けい砂 $\text{SiO}_2$ )

しゃ断性能、すなわちアーク電圧波形におよぼすけい砂の純度・粒度の影響は大きく、粒度によってはエレメント単位長さ当たりのアーク電圧値が倍も異なったりする。したがって、この PL-G/F 形ヒューズでは、多数回の消弧剤比較試験結果をもとにして、小形化に最適な粒度の高純度けい砂を採用した。

## (4) 絶縁チューブ

耐熱性・耐アーク性を有して機械的強度の高い有機樹脂絶縁チューブを採用し、小形ヒューズリンクでのしゃ断容量の増大に成功した。無機質系チューブも耐熱性の点に注目して検討し、試験したが、ハンドリング上の機械的強度に難点があり、実用上、現使用チューブのほうがすぐれていたため、採用しなかった。

## 5.2 ヒューズホルダ (支持台)

PL-G 形 7.2 kV/3.6 kV 用ホルダは、小形・軽量化を図るため、従来の多ひだ形支持がいしを改めて磁器製の舟形がいし台を使用し、これにクリップと端子を取り付けている。クリップにはヒューズリンクが

ずり落ちないように打出して出っ張りを設け、ヒューズリンク ストップを兼用させている。

非常に小形であるが、絶縁階級は 6 号 A を保証している。

## 6. 新形ヒューズの性能

### 6.1 準拠規格

規格は、電気学会 電気規格調査会 標準規格 JEC-175 (1968)「電力ヒューズ」に従った。

### 6.2 温度試験結果

表 6.1 に代表的データとして最大定格の PL-G 形 7.2/3.6 kV 1 PA ヒューズを垂直に取り付けた場合の温度上昇試験結果を示す。ほかのヒューズは、これよりすべて低い。

### 6.3 電流—時間特性

#### (1) 短時間許容電流—時間特性

これは、ヒューズエレメントの変質特性を表わすもので、代表例として 7.2/3.6 kV 1 PA ヒューズの本特性を図 6.1 の左側曲線で示す。この

表 6.1 PL-G 形 7.2/3.6 kV ヒューズ 温度試験結果  
Results of temperature test.

定格電流 PA	通電電流 A	温度 上 昇 値 deg					周囲温度 °C	結 果
		内 容	①	②	③	④	⑤	
1	1	実測値	15	19.5	41	12.5	7	16
		規格値	50	35	115	35	50	40 以下

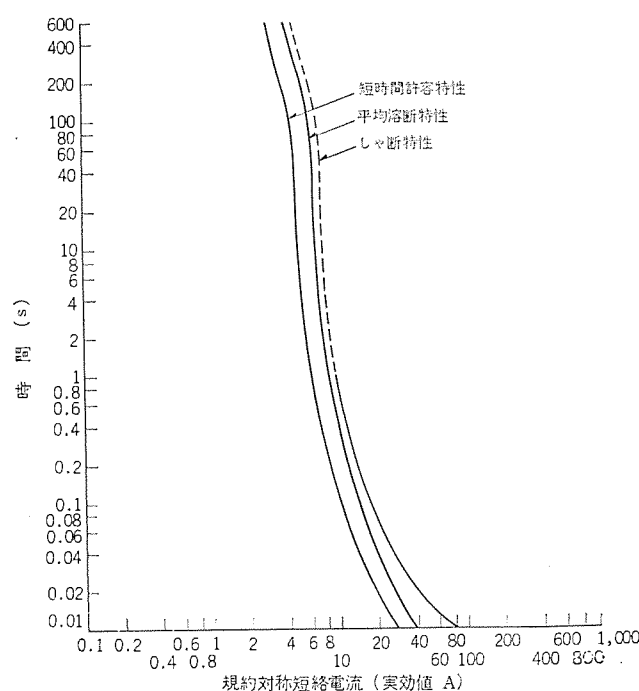
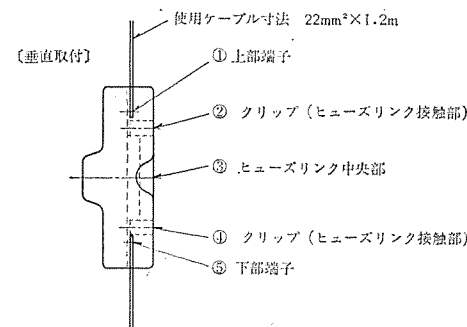


図 6.1 PL-G/F 形 7.2/3.6 kV 1 PA 電流—時間特性  
Time-current characteristics.

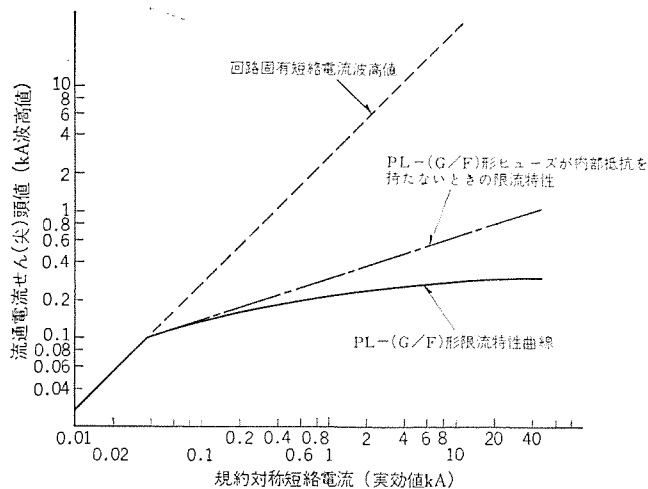


図 6.2 PL-G/F 形 7.2/3.6 kV 1 PA 限流特性  
Cut-off characteristics.

曲線の電流一時間値以下では、ヒューズエレメントは損傷劣化しないで安全に使用できることを保証している。なお雷サージや L-C の異常共振電流等でヒューズエレメントが絶対に損傷しないように過去の実験や経験、回路計算をベースにして十分に余裕をとってこの特性を定めた。

#### (2) 平均溶断電流一時間特性

これは、ヒューズが溶断する電流一時間特性の平均値で、上記(1)と同じように代表例を図 6.1 の中央曲線で示す。そのばらつきが ±10% の範囲内にあるように製作管理されている。

なお、この特性は、上記の短時間許容特性をベースにして定めたので、従来の市販ヒューズより相当溶断しにくいものになっており、また、1 A 定格ヒューズとしては JEC-175 の I 種にも適合しないので、II 種特性を称し、定格電流に“P”なる符号を付けてその旨を明示している。

#### (3) 全しゃ断電流一時間特性

これは、事故発生からヒューズがしゃ断完了するまでの最大しゃ断時間を表すもので、一般に最小しゃ断電流から全しゃ断時間が 0.01 s になる電流値までを示す。図 6.1 の右側曲線がそれである。他の機器との動作協調上から、これより電流が大きいときの特性が必要なときには、以下に述べる限流特性と  $I^2t$  特性を検討する必要がある。

### 6.4 限流特性

限流ヒューズ特有の限流効果を量的に表わす特性曲線で、しゃ断試験における実測データの最大値をプロットして示されている。

この特性から、ヒューズが事故電流をしゃ断したときに回路に実際に流通する電流の波高値を求めることができ、この数値を使用すれば、短絡故障時の機械的電磁力が計算できる。

なお、参考までに限流効果のないときの回路固有の短絡電流波高値を 45° の破線で併記した PL-G/F 形 7.2/3.6 kV 1 PA の本特性を図 6.2 に示す。事故電流が 40 A 以上になると、限流作用がはじまり、44 kA の事故電流（規約短絡電流波高値は  $44 \text{ kA} \times 2.828 = 124 \text{ kA}$ ）をしゃ断しても、ヒューズの大きい限流作用で 350 A 以下の波高値に限流される（限流率  $= 0.35/124 \approx 1/350$  と非常に大きい）ことがわかる。

### 6.5 $I^2t$ 特性

(1) 大電流短時間域でのヒューズの熱的特性を表わすもので、電流一時間特性と同じように後述する 3 種がある。

表 6.2 PL-G 形 ヒューズホルダ せん(閃)絡試験結果表  
Results of flash-over voltage tests on type PL style G fuse holder.

試験ケース	せん絡部と印加条件	衝撃波 50%せん絡値(kV)
1		46.0
2		50.3
3		55.3
4		58.3
5		84.8
6		65.8

試験条件

- 1) 17°C, 757 mmHg
- 2) 供試ホルダー数 3 個

#### (2) 短時間許容 $I^2t$ 特性

大電流通電時のヒューズ自身の熱的無劣化限度を示すもので、PL-G/F 形では  $8 \text{ A}^2\text{s}$  の値で、ヒューズに流入する実電流エネルギーが下式を満足する間は熱的には劣化しないことを保証している。

$$(\text{回路流入電流実効値})^2 \times \text{流通時間} \leq 8 \text{ A}^2\text{s} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

#### (3) 平均溶断 $I^2t$

これは、大電流通電時にヒューズが溶断する熱エネルギーの平均値を示し、PL-G/F 形では  $17.5 \text{ A}^2\text{s}$  であり、ヒューズに流入する電流が下式を越えると、溶断を開始すると考えなければならない。

$$(\text{回路流入電流実効値})^2 \times \text{流通時間} \geq 17.5 \times 0.9^2 \text{ A}^2\text{-sec} \approx 14 \text{ A}^2\text{s} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

#### (4) しゃ断 $I^2t$

これは、ヒューズが大電流動作時に事故発生からしゃ断完了までの間に回路に流入させる熱エネルギーの最大値で、PL-G/F 形では、しゃ断試験データより算出して 7.2/3.6 kV の場合に  $85/40 \text{ A}^2\text{s}$  を称している。

これを使用すれば、回路が短絡時に焼損されない最小ケーブル寸法が決められる。すなわち、式 (6.3) を満足する最小ケーブル寸法を選定すればよい。ただし、回路電圧を 6.6 kV とすると、

$$(\text{ケーブルの短時間許容電流})^2 \times \text{許容時間} \leq 85 \text{ A}^2\text{s} \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

今、これからケーブルの 1 秒電流を算出すると、

$$\text{必要短時間許容電流} \geq \sqrt{8.5/I} = 9.2 (\text{A})$$

になり、非常に細いケーブルでも安全に使用できる。これは、PL-G/F 形の限流作用の効果の一つである。

### 6.6 耐電圧性能

各種の取付位置で行なった衝撃せん(閃)絡試験結果を表 6.2 に示すが、この結果をベースにして表 4.2 の最小据付寸法を算出し、その寸法で 6 号 A の衝撃波耐電圧試験を行なったが、すべて合格した。

ただし、固定形であるので、ヒューズリンクを抜いた場合の極間耐圧

表 6.3 PL-G 形 ヒューズ シャ断試験結果の一例  
Examples of the results of breaking tests on type PL style G fuse.

供試ヒューズ: PL-G 形 定格: 7.2/3.6 kV 1 PA シャ断容量: 500/250 MVA

列試験 番号系	試験番号	給与電圧 kV	回復電圧 kV	短絡力率 cos φ	規約シャ 断電流対 称実効値 A	短絡位相 α deg	発弧位相 β deg	動作時間			シャ断 $I^2t$ A <sup>2</sup> s	発弧時電 流波高値 A	過電圧波 高 kV	回復電圧 継続時間 s	試験後 絶縁抵抗 MΩ	結果
								溶断 ms	アーク ms	シャ断 ms						
I	1-11	6.3	6.3	0.15 以下	44,000	40	41	約 0.3	5.0	5.3	30 以下	230	12.1	15	∞	良好
	1-12					75	76	約 0.3	2.9	3.2	30 以下	266	13.2		∞	良好
	1-13					70	71	約 0.3	3.7	4.0	30 以下	236	13.0		∞	良好
II	4-11	6.3	6.3	0.15 以下	194	0	70	3.3	6.7	10.0	80	158	12.6	60	∞	良好
	4-12					0	70	3.3	6.7	10.0	57	161	13.8		∞	良好
	4-13					0	70	3.3	6.7	10.0	67	160	13.6		∞	良好
III	10-11	7.2	7.2	0.5 以下	10	—	—	0.43 s	0.06 s	0.49 s	—	—	—	60	∞	良好
	10-12					—	—	0.54 s	0.08 s	0.62 s	—	—	—		∞	良好
	10-13					—	—	0.36 s	0.08 s	0.44 s	—	—	—		∞	良好
I	5-21	3.15	3.15	0.15 以下	44,000	40	41	約 0.3	約 0.7	1.0	30 以下	260	6.2	15	∞	良好
	5-22					70	71	約 0.3	約 0.7	1.0	30 以下	285	8.6		∞	良好
	5-23					70	71	約 0.3	約 0.7	1.0	30 以下	285	8.5		∞	良好
II	8-21	3.15	3.15	0.15 以下	190	0	75	3.5	2.5	6.0	35	164	11.5	60	∞	良好
	8-22					0	75	3.5	2.5	6.0	40	169	11.8		∞	良好
	8-23					0	75	3.5	2.5	6.0	38	160	11.1		∞	良好
III	10-21	3.6	3.6	0.5 以下	10	—	—	0.40 s	0.03 s	0.43 s	—	—	—	60	∞	良好
	10-22					—	—	0.45 s	0.03 s	0.48 s	—	—	—		∞	良好
	10-23					—	—	0.53 s	0.04 s	0.57 s	—	—	—		∞	良好

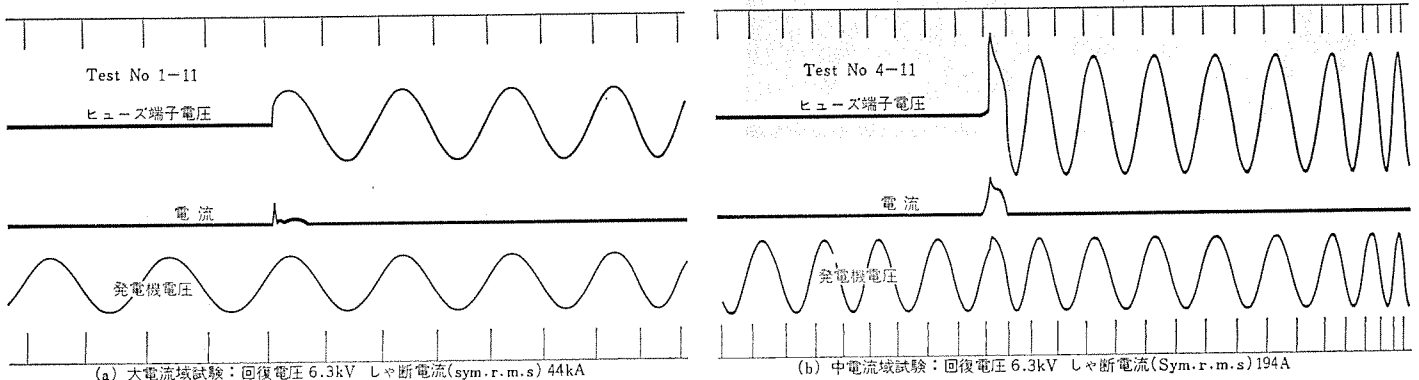


図 6.3 PL-G 形 7.2/3.6 kV 1 PA ヒューズ シャ断オシログラム  
Oscillograms of current in and voltage across "type PL style G fuse" breaking tests.

を保証していないので、注意を要する。

## 6.7 ヒューズ単独のシャ断試験結果

### 6.7.1 概要

大電流から小電流に至るまで種々の電流値でシャ断試験を実施したが、その代表的な試験結果例として PL-G 形 7.2/3.6 kV 1 PA ヒューズについての一部を表 6.3 および図 6.3 に示す。

試験条件は、試験系列番号 I においては定格シャ断容量を保証するため、回復電圧  $\geq 0.87 \times$  定格電圧において最大シャ断電流 4,000 kA のシャ断性能を検証した。

試験系列番号 II においては最大アークエネルギー電流でのシャ断性能を検証するため、回復電圧  $\geq 0.87 \times$  定格電圧において半波溶断電流の約 4 倍の電流値で試験した。また、試験系列番号 III においては最小シャ断電流でのシャ断性能を検証した。

### 6.7.2 PL-G/F 形 ヒューズ シャ断性能における特異現象

#### (1) 高抵抗線 エLEMENT を使用したヒューズの限流特性

PL-G/F 形ヒューズは、ヒューズELEMENT に高抵抗線を使用している。ヒューズリンク自身が数オームの抵抗値をもつので、ヒューズリンクを短絡したときにシャ断電流が 10 kA 以上の大電流になるような低力率回

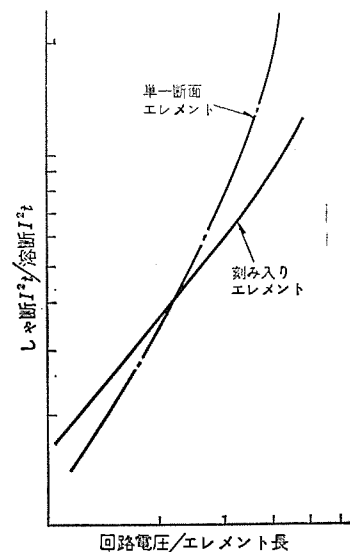


図 6.4 シャ断  $I^2t$ -電圧特性  
Operating joule-integral-voltage characteristics.

路でも、このヒューズリンクが回路にはいった実負荷シャ断試験では、ヒューズリンク自身の抵抗の影響で力率も改善されて短絡電流が減少し、

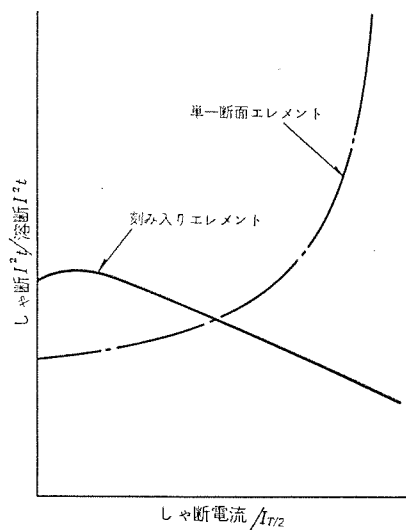


図 6.5 シャ断  $I^2t$ —電流特性  
Operating joule-integral—current characteristics.

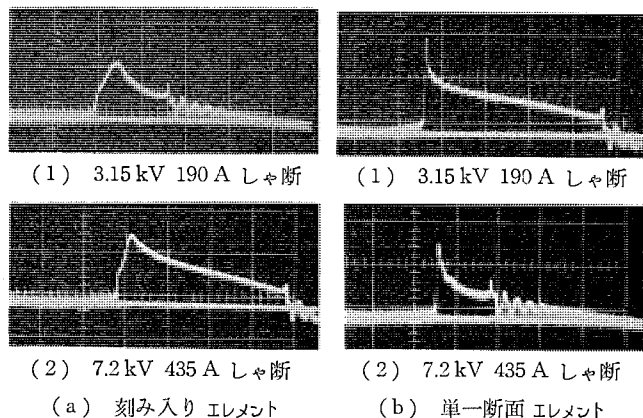


図 6.6 ブラウン管オシログラムによるアーク電圧波形  
Arc voltage waves on cathode-ray oscillogram.

最大値でも

$$7.2 \text{ kV} / \text{ヒューズ抵抗値} \approx 1,600 \text{ A} \\ (4.5 \Omega \text{ とすると})$$

程度に押えられる。シャ断時の回路流通電流値は、普通一般の銀エレメントヒューズ用に使われている限流開始電流よりの計算直線（図 6.2 における一点鎖線）より著しく小さくなり、見掛上に限流効果を大きく向上させる。

(2) 刻み入りエレメントのシャ断性能への効果

(単一断面エレメントとの比較)

(a) シャ断  $I^2t$ —回路電圧/エレメント長さ特性

図 6.4 に試験結果を示すが、単一断面エレメントは刻み入り複断面エレメントより約 15% 低い回路電圧でシャ断  $I^2t$  が急騰する傾向をもち、適正設計を行なうと刻み入りエレメントのほうが単一断面エレメントより約 15% 長さを短くできることが判明した。

(b) シャ断  $I^2t$ —シャ断電流特性

図 6.5 に示すが、単一断面と刻み入りとのエレメントとは全く対称的傾向をもつ。単一エレメントは、大電流域でシャ断  $I^2t$  が大きく、刻み入りエレメントは中電流領域で大きなシャ断  $I^2t$  を示して、それより電流が増すにつれて  $I^2t$  は減少する傾向を示す。すなわち、刻み入りのほうが安定した特性をもつといえるであろう。

(c) 過電圧特性

図 6.6 に中電流領域での代表的なブラウン管オシログラムの電圧波形を示すが、刻み入りエレメントの波形上の特長をはっきりと表わして

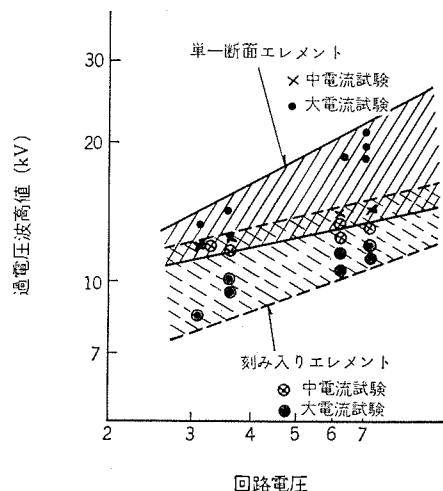


図 6.7 過電圧特性  
Peak arc voltage characteristics.

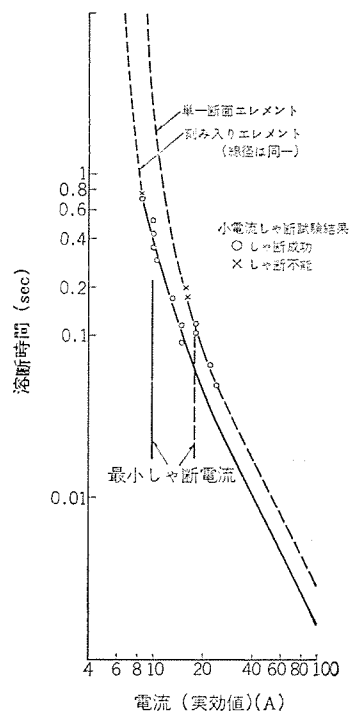


図 6.8 小電流シャ断特性  
Minimum breaking current characteristics.

いる。

図 6.7 に過電圧—回路電圧特性を示すが、大電流域と中電流域とで両者は全く正反対の傾向をとり、単一断面エレメントでは大電流域のほうが高く、刻み入りエレメントでは中電流域のほうが高い。また、単一エレメントのほうが相対的に過電圧値が高く、回路電圧 3.15 kV では規格値をこえるので、これを下げるためにエレメント長を短くすると、6.3 kV でシャ断不能になり、7.2/3.6 kV 共用は不可能である。刻み入りエレメントのほうは、3.15 kV で規格値に合格するように下げても、そのアーク電圧がく(矩)形に近くなるという特長から、十分な余裕をもって 6.3 kV でシャ断に成功した。

これが、PL-G 形ヒューズが 7.2/3.6 kV 共用にできる技術的根拠である。

(d) 小電流シャ断性能

図 6.8 に小電流シャ断試験結果を示すが、最小シャ断電流で両者を比較すると、刻み入りエレメントは単一エレメントの約 1/2 の小さい電流域までもシャ断に成功している。

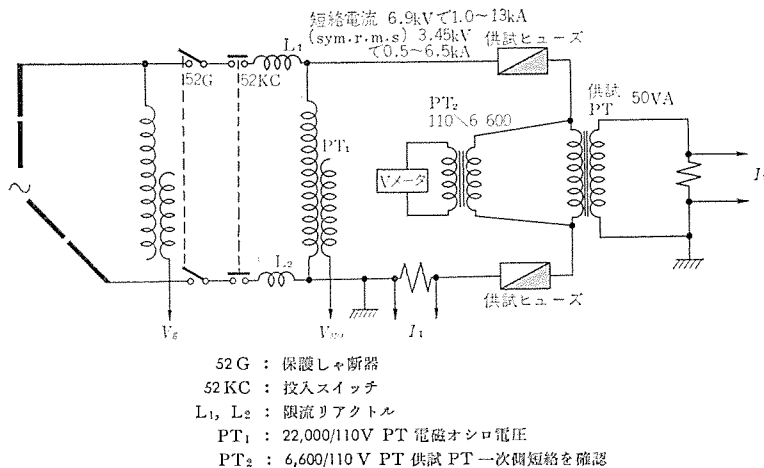


図 6.9 PT と ヒューズ との組合せしゃ断試験回路  
Circuit of breaking tests on the combination of PT and fuse.

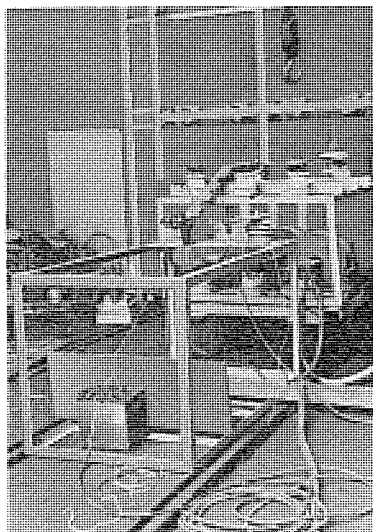


図 6.10 PT と ヒューズ との組合せしゃ断試験状況  
Breaking tests on the combination of PT and fuse.

これは、同一線径 エLEMENT で刻みの有無による小電流しゃ断性能の違い、および溶断特性の違いを表わしており、刻み入り ELEMENT のほうが小電流しゃ断性能にもすぐれていることを示す。

## 6.8 PT との組合せ短絡しゃ断試験とその結果

### 6.8.1 試験目的

(1) 実際の PT 事故は、ヒューズ単独試験のような事故電流一定の場合は少なく、微小電流の層間短絡からはじまり、徐々に進展して大短絡電流事故になることのほうが多い。

(2) ところが、ヒューズの動作特性は、継電器のように電流の大小に無関係に一定であるのではなく、大電流では早くて信頼性が高いが、小電流では遅くて信頼性が低い。

(3) そのため、ヒューズの保護効果について心配される向きもあったので、伊丹製作所の大電力しゃ断試験設備で実地に PT と一次側ヒューズを組み合わせて保護能力検証試験を実施した。

### 6.8.2 試験回路、方法とその結果

(1) 試験回路・試験状況を図 6.9、6.10 に示す。試験には、エポキシモールド製 PT の二次側を短絡して PT の内部絶縁破壊を発生させ、一次側に接続された PL-G 形で故障電流をしゃ断させた。

(2) 試験結果の一例を図 6.11 に示すが、すべて、PT の二次側短絡後数分にして温度上昇による内部絶縁破壊が生じ、直ちに一

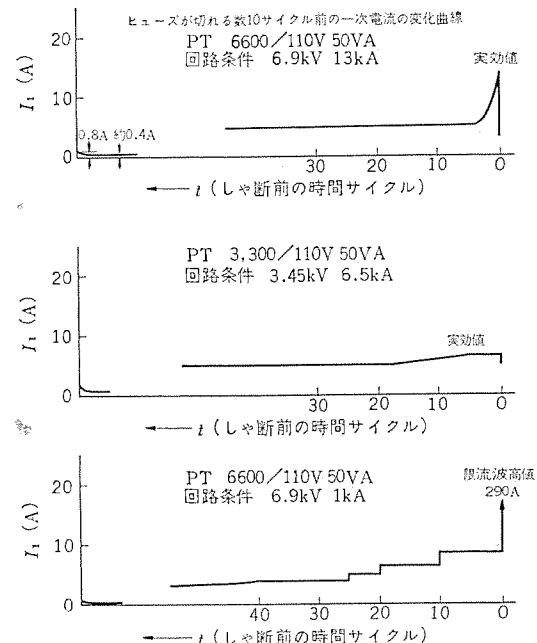


図 6.11 PT と ヒューズ との組合せしゃ断試験結果  
Results of breaking tests on the combination of PT and fuse.

次側短絡に発展してヒューズが動作し、限流しゃ断している。

このヒューズの高速度限流しゃ断効果で、PT の損傷は極微に食い止められており、外観からはその破損が判別できないほどで、ヒューズ保護の有効性が明白に実証された。

## 7. PT 用ヒューズの応用について

### 7.1 PT 用ヒューズの最適電流一時間特性の検討

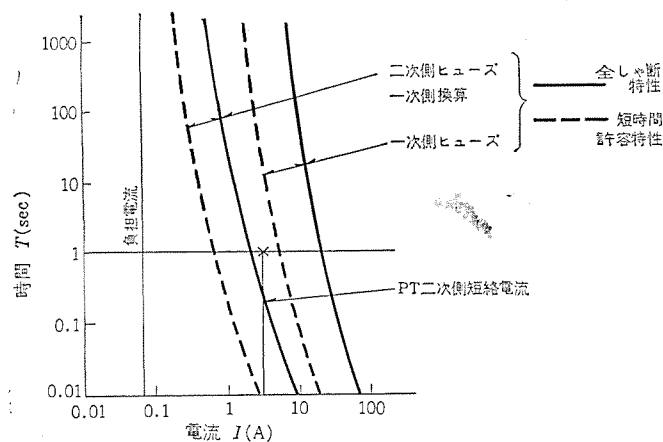
#### (1) PT 用ヒューズに要求される特性

(a) 負担電流および過渡電流を安全に通電し、常時電流で寿命劣化を起こさないような、十分に大きな通電容量をもつことが一番重要

(b) 二次側・一次側の両ヒューズの良好な動作協調

(c) 最後に、事故時の高速度しゃ断

(2) 二次側ヒューズを省略して一次側ヒューズだけで PT の焼損を防止することは、一般に不可能であり、推奨できない。必ず二次側にヒューズを入れること。



(例) PT6600/110V 500VA

図 7.1 PT 用一次側・二次側ヒューズ特性  
Characteristics of PT fuses.

(3) 以上の条件を完全に満たすものを図 7.1 に示すが、PL-G/F 形ヒューズはこの特性を満足している。

#### 7.2 電気設備技術基準 第 38 条の規定との関係

(1) 電気設備基準 第 38 条では、高圧ヒューズについて次のことを規定している。

(a) 必要なしゃ断容量をもつこと

(b) 他の機器と組み合わせないヒューズでは、溶断特性が 1 種規定に合格すること

(c) 他の機器と組み合わせるものでは、動作協調がとれていること

(2) PL-G/F 形ヒューズの適合性

(a) しゃ断容量は、規格の最高級に相当するので、問題なく合格する

(b) PL-G/F 形の溶断特性は 2 種であるが、二次側ヒューズと組み合わせて使用するので、組合せしゃ断装置の解釈が適用され、38 条の除外例に合格する

(c) 二次側との動作協調も、二次側ヒューズが図 7.1 のような動作特性をもてば合格する

#### 7.3 PT 用ヒューズとしての広域しゃ断性能の要否

(1) PT 用ヒューズにも広域しゃ断（最小溶断電流からしゃ断できる）性能が必要ではないかとの質問を受けるが、次に述べる理由から「広域であるほうが好ましいとはいえるが、ここに説明した PL-G/F 形ヒューズ程度のしゃ断性能があれば、PT 保護用としては十分である」

(2) PL-G/F 形のしゃ断性能でよいとする理由

(a) 長い間の現地使用実績、および当社での「ヒューズ-PT の組合せしゃ断試験」の結果から実証されているように、PT の焼損は直ちに高圧側短絡に発展するので、最小溶断電流までしゃ断する必要はなく、要は PT 事故を実用的にしゃ断する能力があればよい。

(b) 一次側と動作協調のよくとれた二次側ヒューズを設置して二次側事故はすべて二次側ヒューズでしゃ断すれば、一次側ヒューズには広域性が要求される長時間動作の小電流の事故電流は流れない。

(3) また、「広域性能」については現在のところ、その試験評価方法が定められておらず、具体的にどのような特性であるかを数量的に明示し得ない事情もあるので、まず、その点が明確にされてから進めるほうがよいであろうと結論される。

#### 7.4 直列抵抗付きヒューズの検討

(1) PT 用ヒューズには、しゃ断容量の小さなヒューズに直列抵抗器を付属させ、見かけ上、しゃ断容量を上げて使用する方法が昔から利用されている。

(2) しかし、この方式については次のことについて注意しなければならない。

(a) 測定誤差を押さえるために抵抗値をむやみに大きくしてはならない。

(b) 抵抗器にはヒューズの動作特性とマッチした過電流強度が必要で、必ず抵抗器とヒューズとを組合せて実負荷しゃ断試験を行ない、その性能を検証しなければならない。

(3) BS 規格<sup>(3)</sup>では、このために次のことを規定している。

(a) ヒューズの直列抵抗器の抵抗値 ( $\Omega$ ) は、ヒューズ定格電圧 (kV 値) の 10 倍以下であること。

(b) しゃ断試験は、試験回路のインピーダンスがその 1/100 以下になる電流まで必ず試験すること。

(4) 一般に、十分な過電流強度をもった抵抗器は、相当に大形・高価になるので、PL-G/F 形のようなヒューズ単体でしゃ断容量をもつもののほうが経済的で、かつ性能的にも信頼をおけることが多い。

#### 7.5 異相接地短絡への考慮

(1) JEC-175 では「しゃ断器」に合わせ、高圧ヒューズは、異相接地短絡事故は特殊条件であるとしてその保護は免責されている。PL-G/F 形ヒューズも同様である。

(2) よって、重要プラントなどでその事故の保護までが必要ときには、「そのしゃ断を保証している当社 BAL-PT 形ヒューズ」が使用される。

### 8. む す び

PT 回路の事故は、その処置を誤ると、大きな損失を生ずる重大事故に発展する可能性があり、電気設備上の一つの盲点になっているが、この一文がその改善の一助ともなれば幸である。

なお、最後に本文を草するにあたり、助言や資料を提供された福山製作所・三田工場の変成器関係者と、本ヒューズの開発にあたってご協力をいただいたヒューズ関係者各位に厚くお礼申し上げる。

#### 参 考 文 献

- (1) 岩崎ほか：「超小形 PT 用電力ヒューズ」電気学会関西連合大会 予稿 4-26 (昭 43)
- (2) 岩崎、太田：「7.2 kV CL 形限流ヒューズ」三菱電機技報 41, 1,177~1,184 (昭 42)
- (3) JEC-175 (1968)「電力ヒューズ」規格
- (4) JIS C 4620 (1968) キュービクル式高圧受電設備
- (5) BS-2692 (1956)



# 茨城県深芝下水処理場向け 汚泥処理設備用電機品 (MELCAP による制御)

北村 幹郎\*・吉川 英夫\*\*・盛口 全太\*\*\*

## Electrical Equipment of Fukushima Sewage Mud Treatment Plant in Ibaragi Prefecture (Sequence Control by MELCAP)

Ibaragi Prefecture, Civil Engineer Bureau      Mikio Kitamura  
Tokyo Engineering Consultant Co., Ltd.      Hideo Yoshikawa  
Mitsubishi Electric Corp., Head Office      Zenta Moriguchi

Nowadays the public pollution has been regarded as serious menace to mankind. Being one of it, the waste water of manufacturing plant is regarded as threatening the humanbeing to bring forth eventual extinction. To control it is a crucial problem.

This article describes a mud dehydration device newly added to the Fukushima sewage treatment plant in a seaside city project of Ibaragi Prefecture, where a primary installation has been completed and in operation. Among the electric equipment set up there, sequence control MELCAP applied to the control of a filter press is taken up and its outlines are described for the reference to those who may have interest in it.

### 1. ま え が き

近年叫ばれている公害防止対策の中で、特に重要な課題は工場排水処理であろう。

これについては世論の高まりもあり工場地帯を中心に急速に処理場建設が開始されているが、ここに茨城県鹿島臨海工場地区にすでに建設されて現在着々とその成果をあげてきている深芝処理場をとりあげてみる。

当処理場は昭和44年に茨城県がわが国初めての本格的な工場排水処理場として建設に着手、昭和45年9月より運転を開始している。処理能力は最終 330,000 m<sup>3</sup>/D で鹿島臨海工場地区の約75%にあたる地域の工場廃水を処理する予定であるが、その詳細内容については三菱電機技報 第45巻12号(昭和46年12月号)を参照いただくとして、ここでは昭和47年度に増設し現在順調にか(稼)動している汚泥脱水設備について述べる。

本脱水設備は大きくわけて、処理前段階である消石灰等の薬品注入設備と脱水処理設備である加圧ろ(濾)過装置(脱水プレス装置)とで構成されるが、特にプレスの制御には当社の誇るべきシーケンスコントローラ MELCAP を採用し、その最大の特長であるプログラムを容易に変更できることを利用して、機械側の要求を完全に満足することができ非常に成果をあげている。

ここで、これらの設備を中心にその意義や問題点等について以下に述べる。

### 2. 本汚泥処理設備の概要

#### 2.1 設備の必要性

下水プロセスとは、習慣的に下水処理と汚泥処理とに系統づけられ、今なおそのブロック的な歩みは続けられている。これは機構の本質的なものからは当然の議論かもしれないが、公共下水道の本来の意義からは下水処理・汚泥処理共に一体であろう。しかしながら、せっかくの下水処理施設が整って着々とその成果を収めても、汚泥処

分が決まらないまま 今日を過ごし明日を迎える という繰り返しを送っている所も少なくない。これは、ただ単に機構的なもの、資金的なものでなく、民意的(汚泥処理からの臭気・煙害等の反対から)な理由からでもある。

茨城県鹿島臨海都市計画下水道(特定公共下水道)の深芝処理場は、主として石油系化学排水と一部都市排水的なものを処理する施設として、昭和44年に事業決定即着手という急速完成を目ざしわずか1年足らずで45年9月に運転を開始するに至った。

当時処理水量 約 20,000 t/D (現在約 40,000 t/D)、水質も不安定で、とにかく誘致企業十数社(将来40社)の営業開始時にタイミングを合わせるという県としての絶対的立場から、とにかく下水処理施設のみを一部(33,000 t/D)完成させたわけであるが、処理プロセスから発生する余剰汚泥の処分については、流入廃水の性質、特に一般都市の処理場に比べ油分が多く、また無機質固形物質が多いなどのかなり特異性を有することから、従来の他の既設の脱水設備等を踏襲するだけという簡単なものでもなく、一応下水処理の結果を観察し、その結果決定することとし、当面は濃縮そう(槽)により濃縮された汚泥(平均含水率約97%)を近郊に廃棄処分することで踏み切った。

#### 2.2 設備計画および決定

まず下水処理の結果について述べると、各誘致企業については各社とも前処理施設を設置し、当処理場にはある程度安定された状態で流入させるという契約であったが、かなり荒れた状態が多く、県管理者との協力態勢から、開始後約半年ぐらいの時間経過で、まずまずの流入水質になった。(PH 8.5~9.5 BOD 250~300 COD 200~250 SS 250~300 油分 8.0~9.0 いずれも ppm)。そこで汚泥処理施設についての要求がでてくるわけであるが、手始めに「汚泥処理実験成績の調査委員会」を設置し、委員には東京都の下水道専門の権威者をはじめ、6社からの学識経験者を選任した。また県側では、わが国の下水道施設、特に汚泥処理設備にすぐれた技術を有するメーカ8社が、本実験に参加するとの協議に基づき実験調査要項

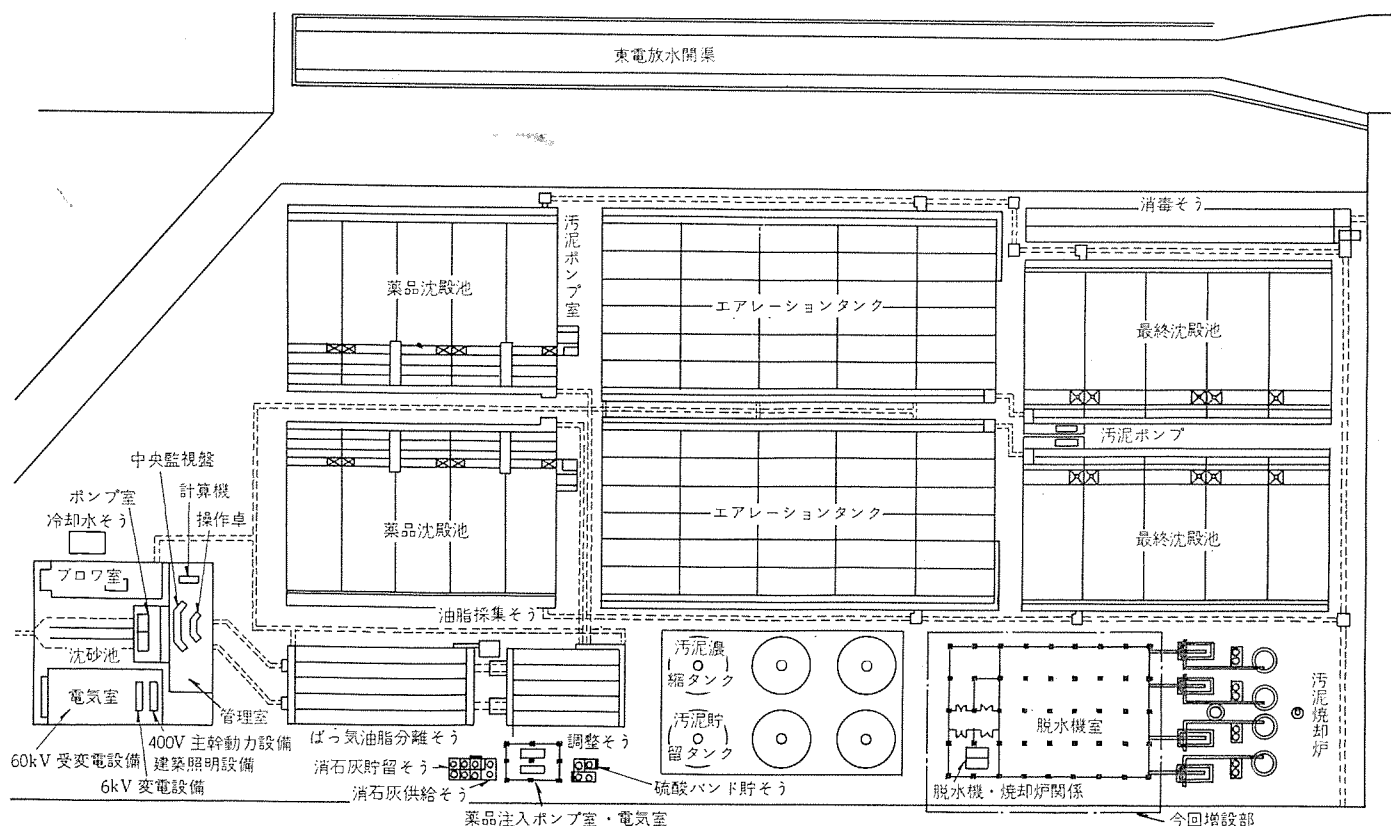


図 2.1 深芝処理場平面図 General plan of Fukushima sewage treatment plant.

を作成，供試体は濃縮そうから直接引き抜いたものとした。

実験結果からは一応加圧脱水法と遠心脱水法がより効果的であると議論がとりかわされたが，調査委員会からは汚泥の性状変化等を考慮し脱水の安定性を考えると，現状からは加圧脱水法が適応性が高く選定するプロセスと判断される。しかしこの脱水法はあくまでも（汙）布によるろ過法であり，能率・耐久性にはまだ問題があり，機構の選定については十分な配慮が必要であるとの検討結果であった。最終的には加圧脱水を選定，フィルタプレス（ダイヤフラム入り）を決定，昨46年12月発注，本47年9月に完成，運転を開始するに至った。しかしまだ焼却処分についての決定には至らず，引き続き下水処理施設としての研究は休むことなく進まなければならない。

### 2.3 設備の概要

本処理場の完成時には，発生汚泥量は含水率97%とした場合に1日当り約99tが想定される。

沈殿池よりポンプ圧送された汚泥は汚泥集合同様に投入され，遠隔制御で3組の濃縮そうへ分配されて上記のように含水率97~96%に濃縮が行なわれたのち，各そうに付属している貯留そうへ移される。

濃縮・貯留そうの中間部には2棟の地下式送泥ポンプ室が設けられ，汚泥は汚泥処理棟へ自動制御でポンプ圧送される。このさい弁操作で濃縮そう，または貯留そうのいずれからでも汚泥の引拔ができる。また貯留そうは濃縮そうの予備そうとしての使用もできる。各そうには汚泥掻寄機が備えられ常時中央の汚泥ピットに集泥し，またスクラムスキムでそう表面のスクラムを排除している。

汚泥処理棟には高性能の汚泥脱水設備が設置され，自動運転によって薬注，混合，加圧ろ過，脱水ケーキの搬出の各行程がスムーズかつ確実にこなされる。計画では薬品として消石灰を汚泥固形物質に対し約15%~30%程度添加して含水率約60%~65%の脱水ケーキ

が得られ，将来は焼却処理を行なうことにしている。汚泥処理機器の運転は各現場ではもちろん，脱水棟3階の操作・監視盤室においてもすべての監視および制御が行なえる。

汚泥脱水設備は，薬注・給泥装置と加圧ろ過装置（脱水プレス装置）に大別されるが，つぎに各装置の概略をのべる。

#### （a）薬注・給泥装置

本処理場では添加薬品としては実験上消石灰が最も良好であったので，装置は消石灰を10%乳液に溶解したうえ混合そうで汚泥とかくはん（攪拌）したものを，加圧ろ過機に付属の分配そうへ送る方式としている。

消石灰は約3日分の貯留とし，30m<sup>3</sup>および60m<sup>3</sup>入のサイロ各1基，10m<sup>3</sup>入のホッパ3基がある。サイロへの搬入はタンクローリより空気圧送式で，サイロよりホッパへは粉面計による自動搬送をフロコンベヤにより行なう。

ホッパの下部には消石灰溶解そうがあり，水位が下ると定量フィードを介して消石灰を投入し，同時に希釈水流入を行ないかくはんして一定濃度の石灰乳液を作る。

各装置はそれぞれ現場操作以外に全自動運転が行なえ警報やインタロックも備えてある。またサイロへの空気圧送中およびフロコンベヤ運転中は集じん（塵）装置が連動し環境汚染を防止している。

混合そうの液位が下がると自動的に，前述の送泥ポンプからの濃縮汚泥と消石灰溶解そう付属の石灰乳液注入ポンプよりの石灰乳液とが送られる。石灰乳管には電磁流量計が，汚泥管には電磁流量計のほか超音波濃度計が設置されており，適正な比率設定および制御が行なえる。また将来はデータ収集のうえコンピュータ制御も計画されている。

混合そうは制御上から完成時に2そうとしてあり，分配そうは5そうを備えている。分配そうの液位が下がると混合そうの混合汚泥

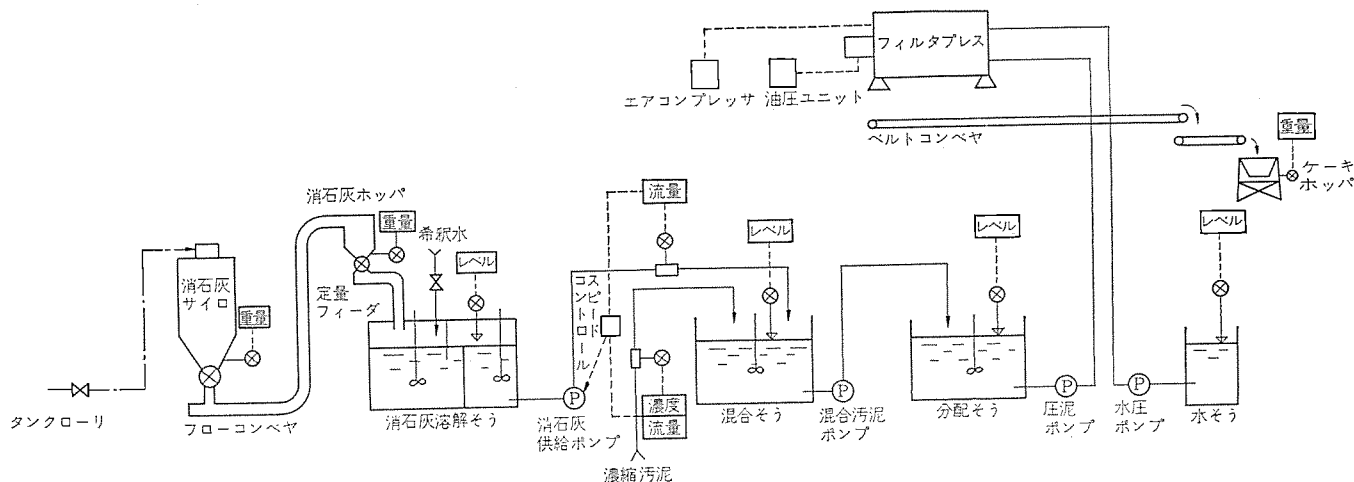


図 2.2 汚泥脱水フローシート (1 系統分)

Flow sheet of filter press system.

供給ポンプより自動的に給泥される。そうはともにかくはん機をもち警報およびインタロックも備えている。

### (b) 加圧ろ過装置

横形の全自動式ダイヤフラム入加圧ろ過機を完成時には約 40 台備える予定である。運転サイクルは約 25 分であるが、自動制御装置を備えてあり、最適の開閉、汚泥圧入、圧搾、開閉、ケーキ除去、洗浄の工程時間が設定でき、また付属機器の自動連動運転を行なう。すなわち圧泥ポンプでの(分配そうより)汚泥圧入、油圧ポンプユニットによるろわくの開閉、水圧ポンプによるダイヤフラムの圧搾、高圧エアによるケーキはく(剝)離および管内清掃、洗浄ポンプによるろ布洗浄などの各操作がすべて一貫して行なわれる。

脱水ケーキはコンベヤによりケーキホッパへ集積しトラック搬出しているが、満積警報のさいはクロスコンベヤにより手動切換えて屋外集積場に移送できる。なおクロスコンベヤは将来焼却炉が設置された場合は常用コンベヤとなる。

## 3. 電気設備

### 3.1 電源および盤

本設備の動力電源としては、既設の受電設備のうち汚泥脱水フィーダより 6 kV で受け、2,000 kVA × 2 台 (内 1 台は将来) の TR で 400 V に降圧してコントロールセンタより各負荷に分岐している。また電灯電源は 200 kVA TR にて 200 V/100 V に降圧して各負荷へ分岐している。制御電源は受電関係および故障表示関係は DC 100 V として 80 Ah、アルカリ焼結式バッテリーを設置し、MELCAP および計装電源関係は AC 100 V として 30 kVA の制御電源 TR を設置した。その他、コントロールセンタの各ユニット内の電源はおののちに TR を設けて AC 100 V で制御している。

盤関係は以下のとおり

- (a) 受電盤  
WV 形 メタクラ 4 面 (7.2 kV, 600 A VCB 収納)
- (b) 配電盤  
ED 形 パワーセンタ 3 面 (600 V, 3,000 A ABB 収納)  
E 形 コントロールセンタ 13 面 (将来 100 面) (600 V NFB 収納)
- (c) トランス 盤  
2,000 kVA 収納 1 面 (将来 2 面)  
200 kVA 1 面
- (d) NFB 盤  
NFB 収納 5 面

(e) 脱水中央盤 自立デスク形 1 連

計器・計測器・コントロールスイッチ・アナシエータ等を収納し、監視操作の行ないやすいよう模擬母線・シンボルも設けてある。

(f) 現場盤 ポスト、壁掛、自立形 一式

主として計器・コントロールスイッチのみとし、一部に計装品や制御ボックスを収納。

(g) 中央グラフィック 盤 モザイク形 1 連

既設中央管理室の汚水処理用グラフィック 盤の右側に、脱水処理フローを追加した。(なお将来焼却炉関係の増設も予定されているので一部スペースをあけてある)

### 3.2 薬注給泥装置制御

本装置の電源および制御リレー類はすべてコントロールセンタに収納している。本来、制御リレー類は別盤とするのがすっきりするが、今回の場合スペースに余裕がないこととケーブルを節約するためにこの方式を採用した。

まず消石灰関係であるが、サイロに貯蔵された消石灰はフローコンベヤによってサイロのレベルスイッチによる自動運転を行なっている。また定量フィーダと希釈水バルブは消石灰溶解そうの濃度と液位が常に一定となるよう自動運転されている。

一方濃縮そうからは脱水すべき汚泥が送泥ポンプにより引抜かれ混合そうへレベル自動運転されているが、このとき汚泥濃度と流量から演算器(比率設定器+掛算器)によって消石灰溶液流量を設定し、消石灰溶液注入ポンプのスピードコントロール(AS 形うず流継手モ-

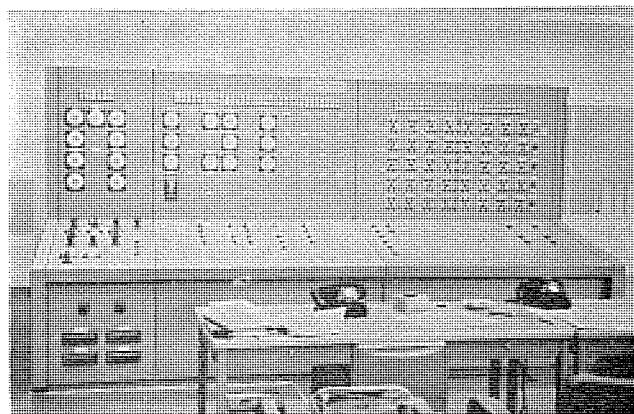


図 3.1 脱水中央盤

Center board of sewage mud treatment control.

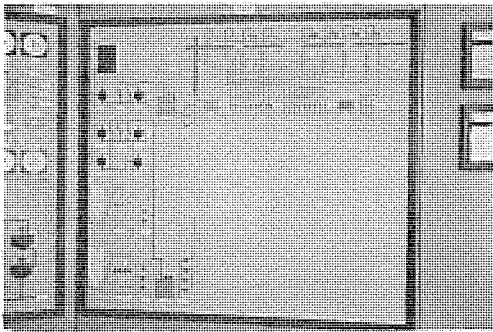


図 3.2 中央グラフィック盤 Center graphical board.

た)を行なっている。

このように汚泥に対して適当な消石灰の量を混合（汚泥の固形物換算に対して常に一定の消石灰を投入している）した溶液は、分配そうで一待機したのち圧泥ポンプにより脱水プレス装置へ送られる。この圧泥ポンプからは次項で述べるようにシーケンスコントローラで制御され、このプレスで固化された汚泥はベルトコンベヤにより屋外のケーキホップまで自動的に運搬される。また、将来はこのコンベヤは焼却炉へ伸び、完全な無機質の灰になって廃棄されることになっている。

### 3.3 加圧ろ（滲）過装置（脱水プレス）制御

本設備には石垣機工(株)製の IDP 形ダイヤフラムプレスを採用しているが、これについてその機構および動作原理を以下に述べてみる。

本プレスは、(1)ろ板、(2)ろわく、(3)ダイヤフラムで構成されるフィルタプレスである。各ろ板とろわくの間には、(4)ろ布がはさまれ、ろわく部にろ室を形成し、ろわくの下部の(5)原液送管より圧入された原液がろわく部に入り、原液中の固形分は(6)ケーキとしてろ布面のろ室に蓄積され、ろ布を通過した清澄な(7)ろ液はろ板よりろ板下部の(8)ろ液送管を通して排出される。このろ過工程が進行しケーキの蓄積を伴う過速度の低下を生じ、一定のろ過圧まで達すると自動的に原液の供給を停止する。それと同時にろわく内の加圧室に高圧水が導入されダイヤフラムは伸張し、ろ室内部のケーキをさらに圧搾脱水するので、ケーキ中の水分は最小となる。

以上のろ過ケーキ脱水工程が終了し、ろ板・ろわくを開わくするとろ板両面にはられたエンドレスろ布にケーキが付着し、ろ布の回転により下部ろわくに取り付けられたスクレーパでケーキをはく（剥）離する。またろ布抵抗を一定にすることによりろ過度が安定されるので、ろ布の目詰り防止のための洗浄は、原液の性状に応じて連続または断続的に行なえる。ろ布洗浄はケーキはく離後ろ布洗浄ノズルによって行なわれ、ろ布の両面が完全に洗浄された状態で再び最初のろ過工程に移る。また、ろわく内のダイヤフラム機構による圧搾工程があるため、ろ過特性曲線の中で最適ろ過時間を採用することができてケーキ厚さや含水率を適当に設定することが可能である。

ここで以上の動きを工程順に分けてみると下記ようになる。

- (a) 閉わく      ろわくをしめる
- (b) 汚泥圧入    混合汚泥をろ室に圧入
- (c) 圧搾      ダイヤフラムに水圧をかけて汚泥圧搾脱水
- (d) 残液戻し、ダイヤフラム排水    ろ室入口等の未処理分を返送し圧力水除去
- (e) 開わく、ろ液パン開      ろわくを後退させケーキを下のベルトコンベヤへ落とす

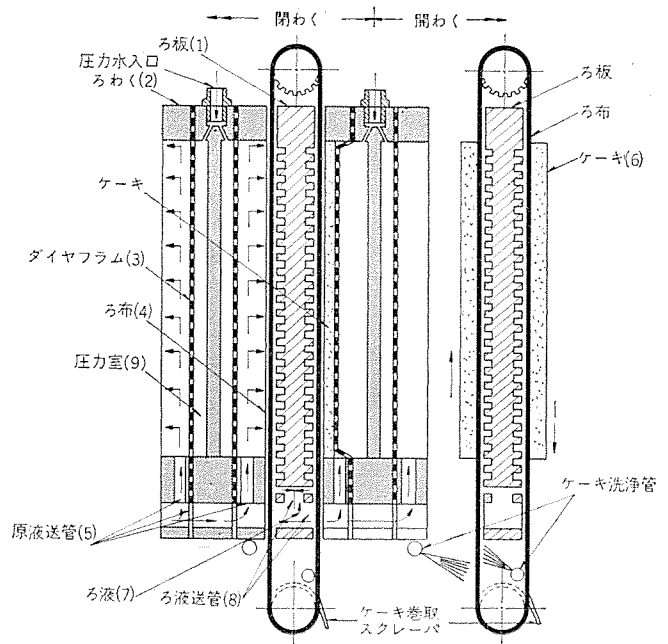


図 3.3 ダイヤフラムフィルタプレス 構造図  
Construction of diaphragm filter press.

- (f) ケーキ排出、ろ布回転      ろ布に付着したケーキをスクレーパではく離する
- (g) 汚液パン開、ろ布洗浄      ろ布を圧力水により洗浄する
- (h) (a) にもどる。

これらの制御の方式としては、各工程の単独運転および表示は現場盤において、また、1台の全体工程を連動させる運転および表示は現場盤および脱水棟中央盤において、そして将来をも含めた40台全体を順序起動させる自動運転は、脱水棟中央盤において操作可能とした。また、制御はすべてシーケンスコントローラからのみとし、各単体機器は動作の確認のみを行なうことのできる試験用スイッチのみを設けている。

### 3.4 シーケンスコントローラ (MELCAP)

#### 3.4.1 シーケンスコントローラ採用理由

本プレスの制御用としてシーケンスコントローラ (MELCAP) を採用したが、その理由としては下記のことがあげられる。

- (1) プレスの制御シーケンスそのものが非常に複雑であること。
- (2) 今回採用されたプレスが新機種のものであり、現地でのシーケンス変更が多く予想されること。
- (3) 同じシーケンスのプレスが複数台（最終的には40台）あり、今回採用した MELCAP の機能（後述するインクリメント）によく適合すること。
- (4) 今日据付ける脱水棟電気室のスペースがせまく、制御リレー盤を40台分置くことはできない。

これ以外にも MELCAP が従来のシーケンスコントローラに増して命令数の多い機能の高いものであることや、重電機器制御を対象としたノイズに強く、また過酷な環境条件に耐え得るものであることなどが採用決定の重要なポイントになっている。

#### 3.4.2 概要および仕様

MELCAP とは Mitsubishi Electric Logical Control Apparatus の略であり、もともと火力発電所などのバーナコントローラとして、当社で開発されたビット対応の処理のみを行なうシーケンスコントローラである。

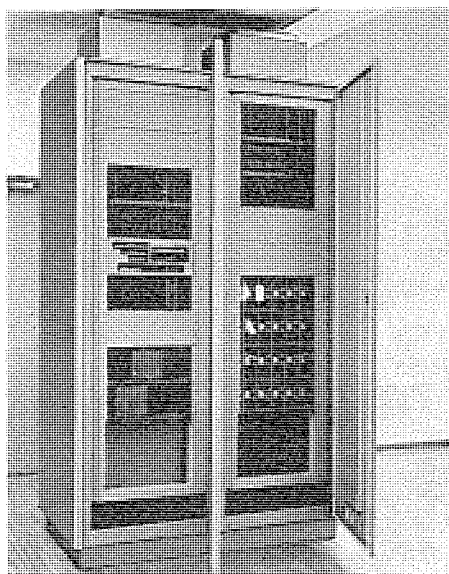


図 3.4 MELCAP 外観  
Outline of MELCAP.

仕様は下記のとおり（1セットあたりの最大仕様）

- |              |   |
|--------------|---|
| (1) サイクルタイム  | 1 命令を行なうに要する時間<br>10 $\mu$ 秒  |
| (2) プログラムメモリ | ダイオードリードオンリメモリ<br>最大 4 K ワード 16+1 ビット/ワード                           |
| (3) 装置容量     |   |
| 入力 (G)       | 最大 2,048 点 (デジタル)   |
| 出力 (O)       | 最大 2,048 点 (デジタル)   |
| ラッチメモリ (L)   | 最大 1,000 点  |
| 内部メモリ (M)    | 最大 512 点  |
| タイマ (T)      | 最大 512 点 (1 点 1 ~ 640 秒)  |
| (4) 割込レベル    | 2 レベル (8 点) オプションで 4 点ずつ増減可   |
| (5) 電源       | AC 100 V 50/60 Hz または DC 110 V                                      |
| (6) 主要素子     | DTL, TTL, IC, HTL, シリコントランジスタ, シリコンダイオード                            |
| (7) 環境条件     |   |
| 温度           | -10°C ~ +50°C   |
| 湿度           | 30 ~ 90 %   |
| (8) 特殊機能     |   |
| 割込動作         | 割込入力信号が入るとプログラムカウンタを強制的に割込処理プログラムの書かれた番地にセットし、割込処理動作を優先的に行なわせる。     |
| インクリメント      | 同一パターンのシーケンス制御が複数組ある場合、一組分のプログラムで複数組の処理を行なわせる。このとき番地修飾用各種レジスタを使用する。 |
| その他          | パリティチェック機能・渋滞監視機能を持つ  |
| (9) 収納盤      |   |
| COP 盤        | CPU, メモリ, 電源を収納   |
| IOP 盤        | 入出力カードユニット収納  |
| TP 盤         | プラントとの入出力受渡ターミナル収納  |

### 3.4.3 プログラムおよび主要素の説明

MELCAP の命令数としては 10 コあるが、判定動作の基本は次の三つの命令である。

- (a) LOAD 命令 所定の入力情報を入力レジスタに呼び込む。
- (b) DISCRIMINATE 命令 入力レジスタの情報を条件要求パターンと比較照合判定を行なう。
- (c) STORE 命令 条件判定の結果とともに所定の出力番地に出力信号を出す。

これらの命令に、JUMP 命令や INDEX 命令を加えながらプログラムを組むわけである。

これらアセンブラ語プログラムは、マシンコードによるプログラムよりは簡単でわかりやすいが、しかしまだめんどうである。

そこで MELCAP システムでは、プール代数を基本としたマクロ命令によるプログラム作成可能な大形計算機によるアセンブラを開発しており、非常にプログラムコーディングが簡単かつミスの少ない方式が採用されていることも大きな特長である。

ここで MELCAP の主要素の説明を以下に述べる。

#### (1) ラッチメモリ (L)

本装置でいうラッチメモリとは、リレーシーケンス上では接点が無数にある補助リレーに相当するものである（ラッチリレーのことではない）。

図 3.5 で (a) ロジックシーケンスは (b) であり、リレー L1, L2, L3 に対応してラッチメモリ L1, L2, L3 が必要となる。（すなわちアセンブラ語のストア命令を行なうときにラッチメモリが 1 コずつ必要となる）。(a) は (b) と同じ回路であるがリレー L1, L2 を省略している。したがって (d) のとおりロジックシーケンスそのものは同じであるがプログラム上ラッチメモリを使わず、ストアは L3 だけとなりラッチメモリは 1 コとなる。また、ラッチメモリ L1, L2 をとった場合、それを

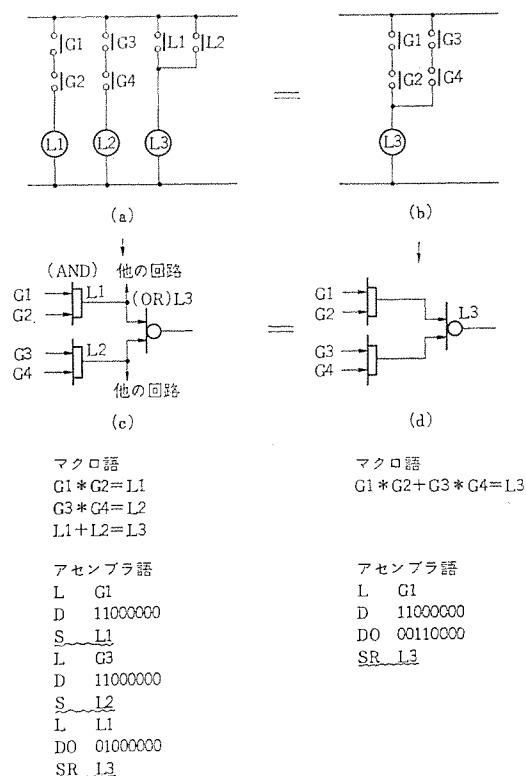


図 3.5 ラッチメモリ  
Latch memory.

他の回路へ使用することができるが、とらない場合はいちいち  $G1 * G2, G3 * G4$  をプログラムで作ってから他の回路へもっていく必要がある。

## (2) 内部メモリ (M)

これはリレーシーケンスでいうラッチリレー (メモリ) に相当するもので、セツト信号・リセツト信号によりおのの動作する。回路としてはハ-

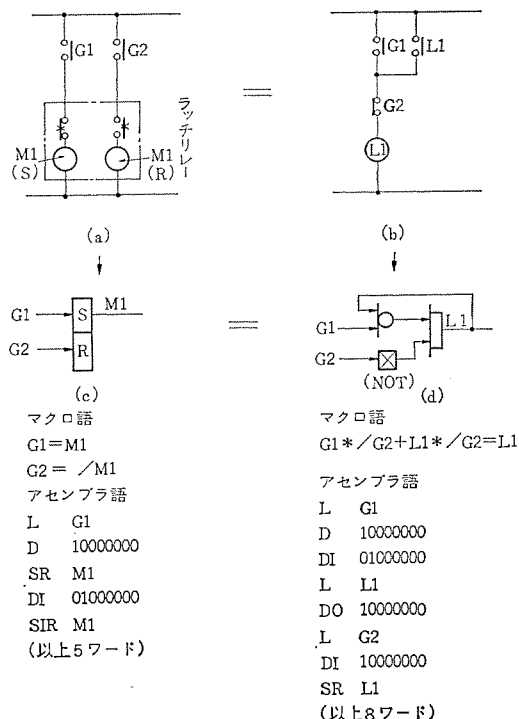


図 3.6 内部メモリ  
Internal memory.

ドでフリップフロップを組んでいるのであるが、(d)図のように(1)項のラッチメモリをプログラムで組み合わせて作ることもできる。

図 3.6 の (a) はラッチリレーを使用したシーケンス、(b) は普通の補助リレーで自己保持回路を組んだものであるが、おののに対応するロジックシーケンスは (c), (d) である。本例でわかるようにどちらも同じ回路ではあるが、内部メモリを使用した場合プログラムの命令語数は5ワード、ラッチメモリを使用した場合のそれは8ワードとなり、内部メモリを使用したほうが有利である。

## (3) タイマ (T)

装置本体の中にもっており、入出力を介さずに1コ当たり最大640秒まで (すなわちプログラムでシリーズに接続していけば  $640 \times n$  秒の設定が可能) であるが、1時間を越える場合は外部にタイマを置いたほうがよい。この場合、タイマ付属用出力1点、タイマ時限接点閉路用入力1点が必要となる。

## (4) 入力 (G)

外部より無電圧接点として1線共通で各1点につきケーブル1本渡す。

なお、MELCAP 側では DC 48V または 100V にて受ける。

## (5) 出力 (O)

外部の付勢リレー条件により、その都度打合せを行なって出力接点の仕様を決める。

ここでプログラム作成手順を以下に示す。

- ロジックシーケンスを作る。
- 入出力の番号を決める。
- 内部メモリ、ラッチメモリ、タイマ番号を決める。
- マクロ命令語 (ブール代数) にてコーディングする。
- 計算機または人がアセンブラ語およびマシンコードに翻訳する。
- テープリードまたは人がプログラムを CPU に書き込む。

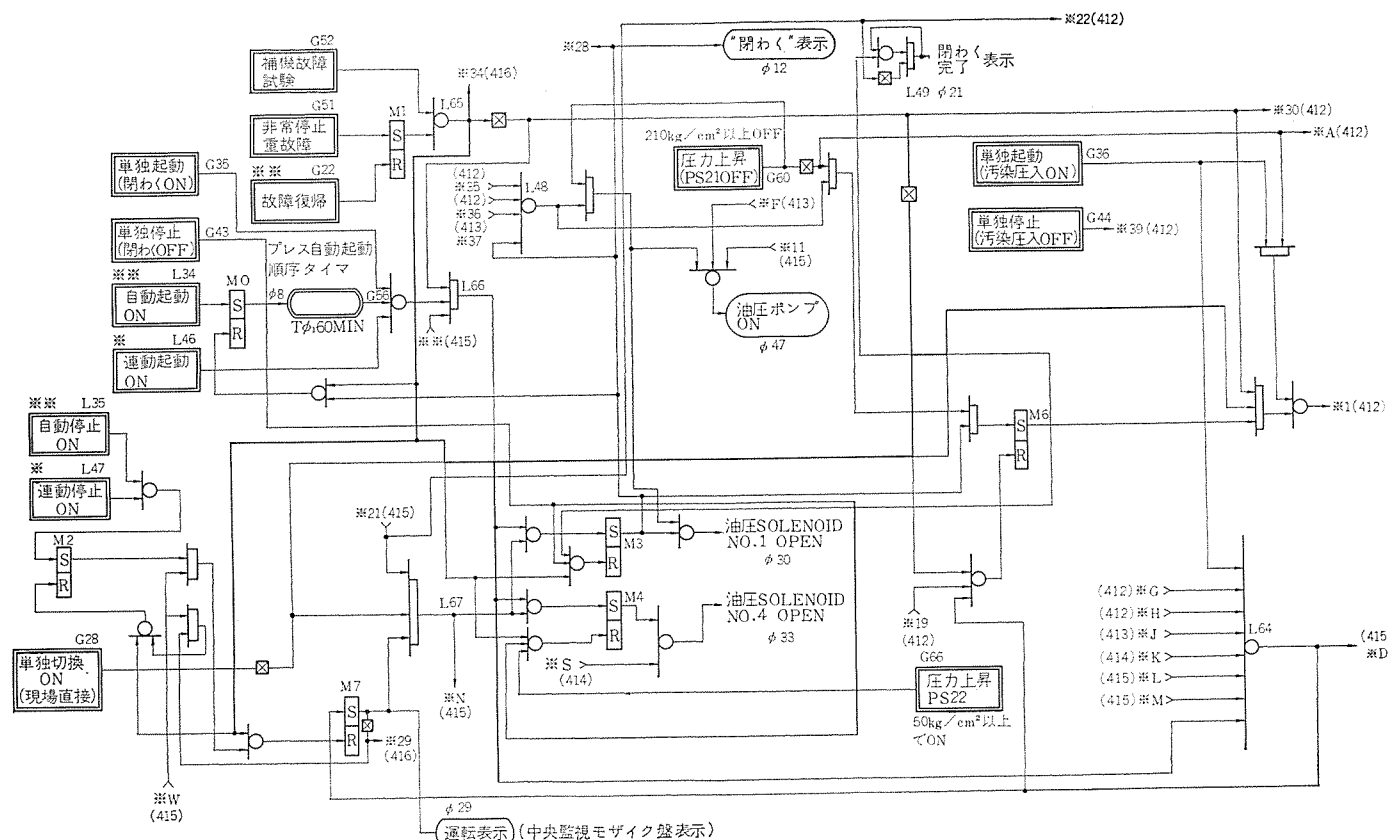


図 3.7 ロジックシーケンス例 (起動-閉る工程)

Example of logical sequence.

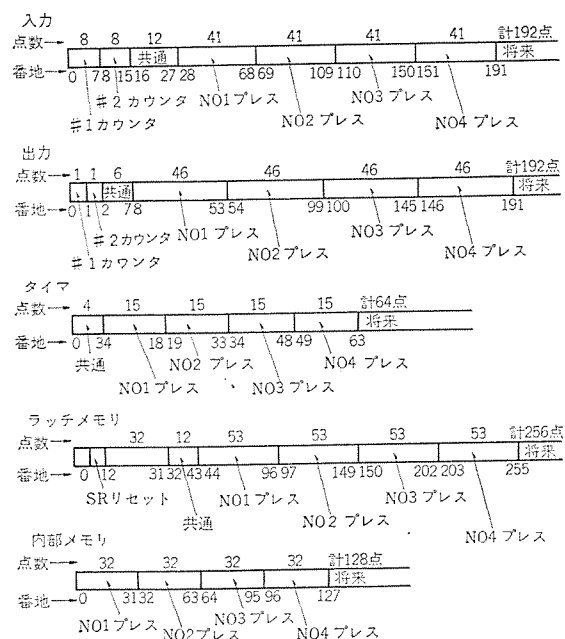


図 3.8 メモリマップ  
Memory map

#### 3.4.4 本設備の場合の詳細仕様

ここで本設備の場合の MELCAP 各要素の仕様について以下に述べる。なお図 3.7 は ロジックシーケンスの一例で起動一閉わく工程の部分を示す。

##### (1) 構成

COP 1面 (No. 1~No. 16 プレス 制御用 CPU+メモリ+電源)  
IOP (TP 含む) 1面 (No. 1~No. 4 プレス 入出力ユニット+端子)

##### (2) 仕様

図 3.7 に各要素の番地表 (メモリマップ) を示す。

##### (i) 入力 192 点

(No. 1 プレス 41 点の内訳)

外部リミットスイッチ	6 点	計 41 点
外部タイマ入力	4 点	
操作・回路入力	28 点	
予備	3 点	

##### (ii) 出力 192 点

(No. 1 プレス 46 点の内訳)

外部機器入切出力	23 点	計 46 点
外部タイマ付勢出力	3 点	
シーケンスランプ出力	18 点	
予備	2 点	

##### (iii) タイマ 64 点

(No. 1 プレス 15 点の内訳)

制御用	13 点	計 15 点
予備	2 点	

##### (iv) ラッチメモリ 256 点

(No. 1 プレス 53 点の内訳)

フリップフロップ用	17 点	計 53 点
その他プログラム用	33 点	
予備	3 点	

(v) 内部メモリ 128 点

(No. 1 プレス 32 点の内訳)

制御用	31 点	計 32 点
予備	1 点	

ここで本設備の場合の特殊性について述べてみると、脱水用プレスの運転シーケンスというものはプログラム運轉的であるため、プロセス機器からの入力点数に比較してメモリやタイマ点数が大きくなる傾向にある。また、同じ理由によりプログラム運轉進行中の各工程の監視を行なったり、その工程を単独に外部から運轉する必要があるため、モニタ用および制御用の入出力点数が増加する傾向にある。

#### 3.4.5 MELCAP 導入上の注意

各プラントに MELCAP を導入する際の注意事項としては、下記のようなものが掲げられるだろう。

(1) プログラムにインクリメント機能をかけて同じシーケンスを制御対象機器何台にも適用する場合、1 台分で済むのはプログラムメモリであり、ラッチメモリ・内部メモリ共に各台数ごとに必要である。すなわち 3 台あれば×3 必要となる。入・出力点数も当然台数ごとに必要である。

(2) 入力点数については単に外部機器の運轉条件やリミットスイッチの数だけでなく、操作スイッチや外部タイマについても必要となるゆえ、当初の計画時には十分注意する必要がある。

(3) 出力点数についても単に外部機器の入切接点だけではなく、モニタ用のシーケンスランプの回路や外部タイマ用にもおのおの必要となるゆえ、十分に余裕をみておく必要がある。

(4) プログラムを作成するうえで内部メモリやラッチメモリを少なくするとプログラムメモリは増加する。また、内部メモリやラッチメモリを多くするとプログラムメモリは減少していくが、この両者の曲線の交った付近のいわゆる経済的な使用を考慮する必要がある。

#### 4. む す び

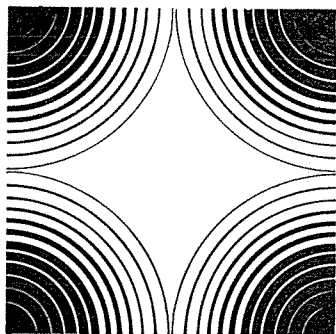
以上、深芝処理場における汚泥脱水設備のうち、機械設備の概要および電気設備について紹介した。

本処理場は、前述したようにわが国初の本格的な工場排水処理場であり、水質の比較的一定な一般家庭下水の処理場とは異なった特性にいろいろな苦労が多かったにもかかわらず、関係者の努力により無事汚泥処理第 1 期工事が完成し現在順調に運轉中である。また、脱水プレスの制御用として漸進的な思想からシーケンスコントローラを導入し非常に成果をあげたが、これを参考に処理場のみに限らずシーケンス制御の複雑なものや、現地でのやむを得ざるシーケンス変更が多い機器などに、今後おおいに採用されることを期待する。

なお今後、本設備の製作に際しての貴重な経験を基に、より良い電気設備をめざして業界各位の期待にそいたいと思っている。

最後に本設備工事にあたり、種々のご指導ご協力をいただいた石垣機工(株)、(株)弘電社、ほか関係者各位に深く感謝する次第である。





# 技術講座

## 超音波探傷試験法 (3) ——規格——

松 山 宏\*

### 1. ま え が き

超音波探傷できわめて重要な事柄の一つに、欠陥の判定基準の設定がある。

被検査物には、厳密に無欠陥はなく、また技術上、経済上、ある程度の欠陥を許容して使用することが多く、どの程度の欠陥があっても使用可能であるか問題となる。

また一方、超音波探傷法で、もっともよく用いられているパルス反射法において、Aスコープ図形から得られる情報は、欠陥の位置とその反射波の大きさに関するものだけであり、被検査物を評価する根拠となる欠陥の実体を十分に知ることができないこともある。

そのため、一定の探傷条件である基準を想定した場合でも欠陥の形状、位置、超音波ビームとの相対的角度によって、実用上無害と思われる微小な欠陥が基準以上に大きく指示されたり、また反対に当然廃却の対象となるような重大な欠陥が基準以下に指示されるという例外的不確定性が生ずることもある。

このようなことがあるので、一定基準における画一的判定はその信頼性に問題があり、原則的には、基準レベルによる判定は、十分な考慮に基づいて行なわなければならない。

しかしながら、超音波探傷検査の作業性を重視すれば、前述の画一的判定による場合が多く、特に発注者と受注者との間で両者間の危険分担（受注者が良品を廃却する危険度と発注者が不良品をうけとる危険度の振りあい）を、いちいち打合せにより決められないような素材関係においては、画一的判定はあたりまえである。

このような画一的判定基準が設けられると、超音波探傷法が、非破壊検査であり、良品と判定されたものを破壊検査にかけないために行なう検査であるが故に、欠陥の判定基準を設けるに際して、いくつかの条件を公に定めておくことがきわめてたいせつなことになる。このいくつかの条件とは、例えば、超音波探傷器の性能、探傷方法、超音波探傷器を取扱い、実際に探傷作業に従事する人の問題、すなわち、超音波探傷方法の手順の立案や検査結果を判定する人の資質、資格などである。

今日では、これらの内容を全部または一部を包含した公的規格、公的検査規程が数多く定められている。

本稿では、日本工業規格 JIS-Z-2344~2348「金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法」、および米軍規格 MIL-I-8950 B「Inspection, Ultrasonic Wrought Metals, Process for」についてその内容を紹介解説する。なおその他の主な国内、国外の規格類は表 1.1 のとおりであり、必要に応じて参考にしていきたい。

### 2. 日本工業規格 (JIS-Z-2344-1973) 金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法 (Ultrasonic Testing of Metals by the Pulse Echo Technique)

#### 2.1 概 要

日本工業規格 (JIS-Z-2344) は 1965 年に制定され、今回大幅に改訂されたものである。この改訂により、その内容は今日の超音波探傷試験分野のもっとも新しい状況を含んでおり、単なる規格にとどまらず、超音波探傷試験分野に従事する人々への指針ともいえる内容になっている。

#### 2.2 総 則

##### (a) 適用範囲

「この規格は、金属材料の内部または表面に存在する不健全部分を検出し、その程度を評価するためのパルス反射法による超音波探傷試験方法（以下超音波試験という）の一般的手法について規定する」「」内は規格の本文 以下同じ。

このようにこの規格は、一般的手法について規定しており、今後超音波試験分野において、きわめて大きな影響力をもつと思われる。

##### (b) 試験の適用

この試験方法を適用する場合、あらかじめつぎのいずれの場合に相当するかを明らかにしておかなければならないと規定されている。すなわち、次の三つの場合である。

(i) 「製造業者と注文者との間に試験の方法および判定について了解があって、超音波試験によって良否を判断する場合」

(ii) 「超音波試験の結果をさらに他の試験方法による結果と併用して良否を判断する資料とする場合」

(iii) 「研究、製品の開発、製品の製造方法、試験方法の改良などのために超音波試験を行なうものであって、その結果を直ちに良否の判断の資料にはしない場合」

先に述べたように超音波試験の結果による画一的判断による危険分担関係が製造業者と注文者の間に成立っている場合が (i) の場合であり、危険分担関係が成立っていない場合が (ii), (iii) の場合である。このように超音波試験の結果による良否を判断する場合 (いずれにしても超音波試験に限らず、他のすべての非破壊検査についてもいえることであろうが) 必ずその試験の前に危険分担関係を明確にしておかなければならない。

##### (c) 方 法

通常、周波数が 0.4~15 MHz の超音波パルス波を適当な接触媒質を介して、被検査物中へ、表面から垂直または適当な角度で入射させた場合、被検査物中に不健全部（以下欠陥という）があるときは、その部分から音波が反射してくる。この反射波（欠陥エコー）の有無、高さ、ひろがり、および場合によっては、音波の減衰の程度、など

表 1.1 国内、外国の主な規格類

規格名	対象	方法	判定	備考
日本工業規格JIS-Z-2344-1973 金属材料のバルス反射法による超音波探傷試験方法	一般	バルス反射		
通産省令第81号 電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令 第30条 第31条	火力発電所ボイラ、原子力発電所圧力容器ほか	バルス反射 斜角	反射波高さおよび反射波検出域	
通産省告示第501号 発電用原子力設備に関する技術基準の細目を定める告示 第7条第8条	同上の鋼板、溶接によるクラッド板、鍛造品、管	バルス反射 垂直、斜角	反射波高さおよび広がり	
ASME Sec III Rules for Nuclear Vessels	原子力用圧力容器の鋼板、溶接部	バルス反射 垂直、斜角	反射波の高さおよび反射波検出域	
日本高圧力技術協会 HPISF103(64) 圧力容器用鋼板の超音波探傷検査基準	圧力容器用鋼板 38~80mm	バルス反射 垂直	評点、欠陥密集度、欠陥反射波、占積率	3.2・25MHz 学振STB-III V15-4=50%
日本高圧力技術協会HPISF-105(68) 圧力容器用薄手厚鋼板の超音波探傷検査基準	圧力容器用鋼板 18~38mm	バルス反射 垂直	評点、欠陥密集度、欠陥反射波、占積率	5MHz 学振STB-III V15-2.8=50%
日本LPガスプラント協会JLPA NO.2(1963) LPガスプラント貯蔵タンク基準	LPガス貯蔵用定置式タンク用鋼板 19mm以上	バルス反射 垂直	反射波の高さおよび分布	2.25, 3MHz 学振STB-I H10=15%
ASTM A435-67 Standard Method and Specification for Longitudinal Wave Ultrasonic Inspection of Steel Plates for Pressure Vessels	3/4in以上の鋼板	バルス反射 垂直	反射波の高さおよび広がり	2.25MHz
ASTM E114-63 Recommended Practice for Ultrasonic Testing by the Reflection Method, Using Pulsed Longitudinal Waves Induced by Direct Contact	一般	バルス反射 垂直		表面あらさと探傷感度の関係
ASTM E213-68 Standard Method for Ultrasonic Inspection of Metal Pipe and Tubing for Longitudinal Discontinuities	金属管	バルス反射 斜角	反射波高さ	
日本造船関連工業会 (1960)	タービンロータその他の船用鋳鍛鋼材に対する暫定方法	バルス反射 垂直	反射波の高さによる○×表示	
日本国有鉄道 車軸超音波探傷検査基準(1957)	車軸	バルス反射 垂直、斜角	減衰度、欠陥反射波、欠陥の広がり	国鉄II形試験片および車軸の底面反射波で規正
ASTM A388-67 Recommended Practice for Ultrasonic Testing and Inspection of Heavy Steel Forgings	大形鍛鋼品	バルス反射 垂直	F/Bまたは底面反射波の高さの減少を記録	1, 2.25MHz ASTM E127 標準試験片を用いる
ASTM A418-64 Standard Method of Ultrasonic Testing and Inspection of Turbine and Generator Steel Rotor Forgings	ロータを回転しながら探傷	バルス反射 垂直	F/B%の値を四捨五入で記録	
東京都水道局 水道管溶接部検査基準	シールドトンネル内水道管溶接部	バルス反射 斜角	反射波高さ反射波連続長さ	4×4=16 区分中の5区分は不合格
川崎市、横浜市、名古屋水道局 セグメント鋼管溶接部判定基準	セグメント鋼管溶接部	バルス反射 斜角	反射波高さ反射波連続長さ	4×3=12 区分中の5区分は不合格
アメリカ海軍 NAVSHIPS 0900-006-3010 Ultrasonic Inspection Procedure and Acceptance Standards for Hull Structure, Production and Repair Weld	潜水艦など艦船の溶接部	バルス反射 垂直、斜角	反射波高さ80%以上不合格20~80%は反射波連続長さを考慮して合否判定20%以下は無条件で合格	
ASTM E164-65 Standard Method for Ultrasonic Contact Inspection of Weldments	溶接部	バルス反射 斜角	反射波高さ	
MIL-1-8950B Inspection, Ultrasonic Wrought Metals, Process For	鍛造品	バルス反射 垂直、斜角	等級分類	探傷法、作業者の条件など詳細に規定されている

から欠陥の程度を判断する。欠陥の程度の判断は、次の方法を単独に、または併用して行なう。

- (i) 「欠陥エコー高さと、欠陥のある部分の底面エコーの高さとの比較」
- (ii) 「欠陥エコー高さと、健全部の底面エコーの高さとの比較」
- (iii) 「欠陥のある部分の底面エコーの有無」
- (iv) 「欠陥エコーの高さと、対比試験片または、感度標準試験片の標準きずエコー高さととの比較」

(i), (ii)は一般的な判断方法であるが、(iii)は例えば欠陥が被検査物の表面近くに欠陥があって、そこから得られる欠陥エコーが、送信パルスによりマスクされている場合の判断方法である。(iv)は斜角探傷法や大きな被検査物で底面エコーを得ることができない場合である。

## (d) 用語の意味

32語にわたって用語の意味が定義されているが、本稿では省略する。

## (e) 仕様の指定

注文者が製造業者に対して、この規格による超音波試験の実施を要求するときは、あらかじめ製造業者と協議したうえで、つぎの事項についてのとりきめをしておかなければならない。すなわち、

- (i) 「超音波探傷装置の性能」
- (ii) 「試験周波数」
- (iii) 「探触子の種類および寸法」
- (iv) 「斜角の場合は屈折角」
- (v) 「感度標準試験片または対比試験片の種類および使用する標準きずと規定感度」

## (vi) 「探傷面の状態および接触媒質」

## (vii) 「探傷方法」

## (viii) 「適用規格または合否判定基準」

## (f) 技術者および作業者

前項において超音波試験を実施するにあたって、この試験が非破壊試験であるが故に、その試験の計画、実施にたずさわる従事者の技量の程度により、信用できる試験もあれば、信用し得ない試験にもなってしまうことは容易に予想される。そこでこの規格では、この試験の従事者に一定の技量を有することを要求している。「ここにいう技術者とは、超音波試験において試験作業を行なうだけでなく、試験方法の細目の選定および試験結果の判断を行なう者をいう。中略。作業者は超音波試験の知識を有し、かつ当該試験材について十分な経験があると認められる者でなければならない」とされ、技術者および作業者とも、必要によっては権威ある機関によって資格を与えられた者でなければならないとしている。

今日、一般にはこの権威ある機関としては、日本非破壊検査協会をさし、資格としては、同協会が実施している、一級、および二級技量認定試験を合格することによって与えられると解釈されている。

なお一級技量認定者は、この規格でいう技術者に、二級技量認定者は作業者とほぼ同等と解釈されている。他の規格、例えば「日本海事協会制定 船体内部材の検査基準」や「日本建築学会制定 鋼構造物 溶接部の検査基準」でもこの技術者と作業者をそれぞれ一級技量認定者、二級技量認定者としている。

## 2.3 装置

### (a) 装置の性能

この規格では超音波探傷装置の性能を次のように規定している。なおこの性能は超音波探傷器本体、高周波ケーブルおよび探触子を組合せたものである。規定する性能は次のとおりである。

### (i) ブラウン管と目盛

ブラウン管に現われる図形は鮮明で、エコーの頭部が見やすいことが必要である。目盛は縦軸、時間軸とも等間隔目盛りであって縦軸はエコーの高さを百分率(%)で容易によみとれ100%となる目盛りは増幅直線性がある値以内にある必要がある。

### (ii) 周波数

原則として、0.4(0.5), 1, 2(2.25), (3), (4), 5(6), 10(15), MHzであり( )内の周波数はなるべく使用しないようにとすめている。

### (iii) 探傷器の感度

探傷器の垂直の感度はJIS-Z-2345に規定する標準試験片のV15-5.6で測定し、この試験片のもつ標準人工きずから得られるエコー高さを目盛の50%に設定したときの、探傷器の減衰量をもって表わす。また斜角の感度は、JIS-Z-2347およびJIS-Z-2348の標準試験片のもつ標準人工きずから得られるエコー高さを目盛の50%に設定したときの探傷器の減衰量をもって表わす。いずれにしても実用感度に対し十分な余裕が要求されている。

### (iv) 増幅器の直線性と追込み特性

増幅器の直線性は、製造者と注文者の協定により製品の良否を判定する場合には、1級(フルスケールの6%以下)または2級(フルスケールの8%以下)であることがのぞましいとしている。なお、追込み特性は、できるだけ速やかに回復することが要求されている。

### (v) 時間軸

時間時の直線性はフルスケールの2%以内でなければならない。

### (vi) 遠距離分解能

垂直法における遠距離分解性は、JIS-Z-2347のSTB-A1標準試験片により測定し、少なくとも、2MHzの場合B級以上であることがのぞましい。なお、遠距離分解能の測定法については前講の、STB-A1標準試験片の説明のなかで触れているので省略する。

遠距離分解能の分類方法は、図2.1および表2.1のとおりである。

斜角法における分解能は、JIS-Z-2348のSTB-A2標準試験片で測定し、使用目的に適合したものでなければならない。斜角法における分解能の測定方法については前講のSTB-A2標準試験片の説

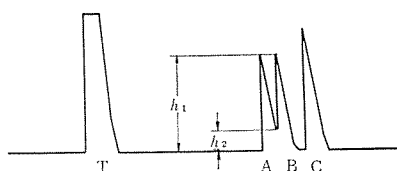


図 2.1(a) 遠距離分解能の測定 (Xの測定)



図 2.1(b) 遠距離分解能の測定 (Yの測定)

表 2.1 遠距離分解能の分類方法

分類	A 級	B 級	C 級	D 級
X または Y の値	$X \geq 30 \text{ dB}$	$Y \geq 30 \text{ dB}$	$Y \geq 10 \text{ dB}$	$Y < 10 \text{ dB}$

明のなかで触れているので省略する。

分解能は、超音波探傷器のパルス幅の調整により大きく変わりパルス幅が、分解能と探傷感度に与える効果は一般的に相反するので、使用目的によっては、分解能と感度を併記しておく必要がある。

#### (vii) 安定性

温度に対する安定性は、 $20^{\circ}\text{C}$  の環境温度における標準状態に対し、温度を  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  変化させた場合の感度変化を (dB) で、縦軸、横軸の移動量 (mm) により表示する。

「電圧に対する安定性は、基準電圧の  $+10\%$  から  $-15\%$  までの電圧変動に対し、感度変化は  $\pm 3\text{dB}$ 、縦軸、横軸の移動量は、それぞれフルスケールの  $3\%$  以内でなければならない」と規定されているが、これは、商用交流電源を使用するような外部から電力を供給される装置に対する規定であって、電池を内蔵している装置では、内蔵電池の新品または充電完了時の電圧から完全放電または製造者が使用不可能と定めた電圧までの範囲で、上記の変動がないことと解釈しておく必要がある。

#### (viii) 減衰器

1 ステップ  $2\text{dB}$  以下の細かさで、少なくとも合計の減衰量を  $50\text{dB}$  以上与えることができなければならない。

#### (ix) 距離振幅補償

距離による欠陥検出能力の低下を補償するため、補償の範囲、傾斜などを必要とする補償量に調整できることが望ましい。

#### (x) 繰返し周波数

繰返し周波数を変えられる装置では、繰返し周波数を変えても探傷感度などの探傷性能に影響がないこと。

#### (xi) 調整つまみ

#### 省略

#### (b) 探触子

この規格は、主として一般用途の垂直および斜角探傷子について

表 2.2 探触子の種類

区分	用途	形	式
垂直用	直接接合用	標準形	水晶露出形 保護膜付
		分割形	遅延材付 遅延材なし
	局部水浸用	膜付なし	
	水浸用 その他	タイヤ探触子	
斜角用	直接接合用	固定角形	
	局部水浸用	可変角形	
	その他	タイヤ探触子	固定角形 可変角形

表 2.3 垂直用探触子の振動子の寸法

周波数 (MHz)	有効直径 (mm)
0.5 以下	30 50
1.0	(20) 30 40
2~3	20 (25) 30
4~5	10 20 (30)
10	(5) 10 (20)

表 2.4 斜角用探触子の振動子の寸法

周波数 (MHz)	屈折角 (35°)	45°	60°	70°	(80°)
1.0	—	20×20(28×28)			
2~5	(7×7), 10×10, (14×14), 20×20				

表 2.5 探触子の表示方法および呼び方

表示の 順序	内 容	種 別 ・ 記 号
1	周 波 数	数値そのまま、単位 MHz
2	振 動 子 材 料	水 晶: Q, 硫酸リチウム: L チタン酸バリウム系磁器: B ジルコン・チタン酸鉛系磁器: Z 圧電磁器 (B または Z と確認できるものを除く): C
3	振動子の大きさ	円 板: 直径, 単位 mm 2 分割の場合は分割前の寸法で示す 角 板: 高さ×幅, 単位 mm
4	形 式	垂 直: N, 斜 角: A, 表面波: S 可変角: VA, 水 浸: I タイヤ: W, 2 分割: D を加える
5	屈 折 角	低炭素鋼中への屈折角, 単位度

規定しており、表面波、板波用またはレンズ材付などの探触子については、とくに定めた場合を除き、この規格は適用されない。

この規格は、探触子全般に言及しているが性能については、本体と組合せて測定することとしているため、探触子の種類、寸法および表示について規定しているといえる。

#### (i) 探触子の種類

探触子の種類は表 2.2 のとおりである。

#### (ii) 振動子の寸法

垂直用探触子の振動子の寸法は、表 2.3 のとおりであり、斜角用探触子の振動子の寸法は、表 2.4 のとおりである。なお、表中 ( ) を付した寸法はなるべく使用しないように勧告している。

#### (iii) 探触子の表示

探触子の表示方法および呼び方は表 2.5 のとおりとし、表示は見やすいところに明確になされること、また斜角探触子においては、探触子の両側面に、入射点を読みやすいように等間隔目盛を付ける

ことを規定している。

## (c) 探傷装置の保守点検

この規格では、経年変化や、使用中の損耗を考慮して、致命的な故障でなくとも、探傷結果に影響を与えることがあるから、次の点検および保守をするようにと勧告している。

### (i) 日常点検

(ア) 一般点検……探傷器と探触子および電源を接続して、動作状態にして、各コネクタの接触状態をしらべる。また、減衰器や切換スイッチなどを操作して異常のないことを調べる。次に探触子の接触面を指先で軽く押して、ブラウン管上の波形に以前と比較して大きな変化があるかどうか点検する。

(イ) 感度点検……単一レベルで合否を判定するような場合は、各調整つまみの位置が当初定めた条件に合致させた状態において感度が $\pm 3\text{dB}$ 以内にあるかどうか点検する。試験片としては、STB-G かまたはこれに代るもの、斜角探傷の場合は STB-A1 または A2 を用いる。

(ウ) 増幅直線性の点検……ブラウン管上の目盛板の任意の3点で測定し、当初使用条件により定めた直線性を維持しているかどうか点検する。

(エ) 分解能の点検……垂直法・斜角法とも所定の方法で測定し、当初定めた分解能を維持しているかどうかを点検する。分解能の測定については、前講を参照されたい。

(オ) 時間軸の直線性の点検……所定の方法で測定し当初定めた直線性を維持しているか否かを点検する。測定方法については、前講を参照されたい。

### (ii) 定期点検

定期点検は、少なくとも1年に1回、つぎの項目について所定の測定方法で測定し、当初の性能が維持されていることを確認しなければならない。

定期点検での確認項目は次のとおりである。1) 感度、2) 遠距離分解能、3) 増幅直線性、4) 不感帯、5) 減衰器

### (iii) 特別点検

特別点検は、つぎに示す場合に行なう。点検項目と測定方法は定期点検に準ずる。

(ア) 遠距離輸送を行なうなど機器に激しい機械的衝撃を与えたと思われる場合。

(イ) 修理を行なった場合。

(ウ) 高周波ケーブルまたは探触子を変換した場合であって、特に点検が必要であると思われる場合。

(エ) 高湿度中での使用など、特殊な環境条件で使用し、異常を感じた場合。

## (d) 標準試験片および対比試験片

標準試験片は、材質、形状および寸法が権威ある機関で規定および検定された試験片である。

今日では権威ある機関としては学術振興会、日本非破壊検査協会と解釈されている。

また、対比試験片は特定の試験材のための試験片で探傷器の感度設定などの標準として使用され、試験材と類似材質のものが用いられることが多く、つぎのような種類がある。すなわち、1) 試験材と同等の試料中に人工きずまたは性質の判明している自然きずのあるもの。2) 標準試験片の一部の人工きずに近似した人工きずを小形の試験片につけたもの。3) 減衰の標準として使用するもの。

## (e) その他(その他の特記参考事項)

### (i) エコー高さの表示について

目盛板を使用している場合は、その100%の目盛板の高さを100%と定義し、エコー高さを100%表示する。目盛板を使用しない場合には、エコー高さの飽和値、またはブラウン管の最大可読波高値(不飽和の場合)の0.8倍をこえない高さを100%と定義して、エコー高さをパーセントで表示する。探傷に際しては、100%をこえるエコー高さは、エコー表示として>100%の記号を使用する。

### (ii) 超音波探傷試験の報告書記載事項

試験結果の記録または報告書の作成にあたっては、つぎの事項を記載しなければならない。

① 試験材に関する事項で、種類、寸法、製造番号、熱処理状態などのほか表面状況なども記載する。

### ② 探傷条件

(ア) 探傷器(名称、形名、定期点検年月日)および付属装置

(イ) 試験周波数

(ウ) 探触子 表 2.5 のとおり JIS 表示で記載する。

(エ) 試験方法(1 探、2 探の別・垂直、斜角の別・直接、水浸の別を明確に記載する)

(オ) 探傷器の調整(パルス幅、リジェクション、ゲインなど)のつまみの位置を記載する

(カ) 使用標準試験片および、または総合感度

(キ) 探傷位置、入射方向および走査方法

(ク) 接触媒質の種類

### (iii) 探傷結果

(ア) 異常部の位置、寸法などの推定 スケッチ

(イ) 必要と思われる場合は、それらの探傷図形など

(iv) その他

(ア) 技術者名および作業者名

(イ) 仕様書で規定されている場合はその名称番号などを記載

(ウ) 要求があれば探傷装置の特性試験結果を提出できるようにしておく。

### 3. MIL 規格 MIL-I-8950 B 「Inspection, Ultrasonic Wrought Metals Process for」

#### 3.1 概要

MIL 規格は、種々の規格のなかでは、特に厳しい規格に属する。この規格のなかでは、超音波探傷全般、すなわち探傷装置（探傷器、探触子、記録器）探傷法、対比試験片、従事者、検査材料の等級分類、および品質保証規定などきわめて広範に規定されている。本稿では、このうち特に重要でかつ超音波探傷作業で参考となる項をまとめ、要約して記述する。

#### 3.2 適用範囲

この規格は、素材と部品の品質を害する恐れのある欠陥について超音波検査をする過程を規定する。また契約、購入時に技術的要求として、指定された鍛造品、圧延品の棒材、板材および管材の検査に適用される。

#### 3.3 探傷装置

探傷装置は、電子機器、機構部、校正用アクセサリを含み、この装置は、常にある基準を満足するように維持されている信頼性のあるものでなければならない。すなわち定期的に検査されていなければならない。

##### (a) 電子装置

この装置は、必要とする試験周波数と、あるエネルギーレベルの電気パルスの送信と受信、増幅および表示の能力を持つものでなければならない。

探傷感度は、水浸法、または直接接触法、または両方法で 3/64 インチ (1.19 mm) の平底穴からの信号が飽和値の 80 % のとき雑音レベルは 5 % 以下でなければならない。(今日の探傷器ではほとんどブラウン管内でエコーが飽和することがないから、飽和値をブラウン管のフルスケールと読みかえたほうがよいと思われる……筆者注)

エコー高さの識別、すなわち増幅直線性に関しては、対比試験片の 3/64 インチ (1.19 mm) と 5/64 インチ (1.98 mm) の平底穴からの信号、または、5/64 インチ (1.98 mm) と 8/64 インチ (3.18 mm) の平底穴からの信号 (エコー) の指示の高さの差は少なくとも 0.5 インチ (12.7 mm) になる能力を有していなければならない。

電圧調整器は、ライン電圧の変動が検査の結果に影響しないように、電源に設備しなければならない。なお、電池式の場合は、この限りではない。

##### (b) 探傷器と探触子との組合せ校正

装置の機能と特性をチェックするために、使用する探触子と、これに組合せる探傷器については、距離対振幅の特性曲線を書いておかなければならない。そうして、毎日、または、使用する日には、検査する材料の厚さについて、距離対エコー振幅特性が適当であるかをチェックしなければならない。普通少なくとも、最小、中間、最大の 3 個の試験片を用い、これらで校正した、距離対エコー振幅

特性と垂直軸 (ブラウン管の) の直線性は、前回のデータと比較してみなければならない。この距離対エコー振幅特性および垂直軸の直線性は、検査する材料、部品の厚さと同程度の金属距離をもつ適当な対比試験片で得なければならない。

##### (c) 対比試験片

対比試験片は、表示された欠陥と同じ深さで、標準直径の平底穴をもつものでなければならない。その位置は、欠陥が表面から 1/4 インチのときは、 $1/4 \pm 1/16$  インチのところに標準欠陥を 1/4 ~ 1 インチのときは  $\pm 1/8$  インチ以内の確度で、1 ~ 3 インチのときは  $\pm 1/4$  インチ以内、3 インチ以上の場合は  $\pm 1/2$  インチ以内でなければならない。

探傷面は、検査される材料と同等かそれ以上とするが、探傷面があらわい場合は、対比試験片で得たデータとの違いを補償するか、または探傷面と同じ面のあらさをもち対比試験を用意して校正しなければならない。

#### 3.4 従事者

超音波探傷の従事者は、探触子の取扱い方、探触子の被検査物への接触方法および探傷器の取扱い方を修得するために、超音波探傷手順について訓練されなければならない。この訓練によって、規定された標準試験片との比較により欠陥エコーの正しい判定が成し得るものでなければならない。訓練、試験、資格付与は、公認された代行者の責任で行なわれなければならない。

なお、従事者は、次の最低視力が要求されており、資格取得後毎年この要求条件の検査に合格しなければならない。すなわち、遠視力、近視力 (矯正されていてもよい)。

#### 3.5 検査材料の分類

超音波的品质レベルは、AAA, AA, A, B および C で分類される。

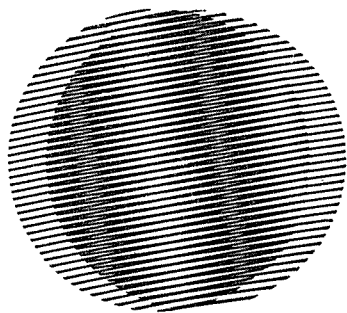
(a) AAA 級、欠陥と同一深さにある、直径 1/64 インチ (0.398 mm) の平底穴からの反射信号以上の信号の存在、3/64 インチ平底穴からのエコーの高さの 25 % 以上の信号の存在、標準信号の 10 % より大きい信号があつて、欠陥の中心が 1 インチより接近して存在する場合、同じく 5 % を超える音響的雑音が存在する場合、底面反射が、画面の飽和レベルより 20 % 下った場合は不合格とする。なお、この級はアルミ合金には適用されない。

(b) AA 級、欠陥と同一深さにある、直径 3/64 インチ (1.19 mm) からの反射信号以上の信号が存在する場合、この標準信号の 10 % より大きい欠陥信号がある場合は、欠陥中心が 1 インチより接近しているか、1/8 インチより大きな長さを示す場合、標準信号の 10 % 以上の音響的雑音がある場合、底面反射が画面の飽和レベルより 50 % 下った場合は不合格とする。

(c) A 級, B 級, C 級は省略した。

(昭和 48-6-27 受付)





# 新製品紹介

## 三菱溶接ヒューム吸引装置

溶接作業時に発生する白煙状の溶接ヒュームは、溶接熱によって溶接ワイヤ・溶接母材およびフラックスなどが溶融し、微細な粉じん(塵)となって大気中を浮遊するもので、その成分は溶接棒・母材・溶接条件によって異なるが、軟鋼溶接では主に酸化鉄が60~70%を占め、その他  $\text{SiO}_2$ ・ $\text{MnO}$ ・ $\text{TiO}_2$  などである。

この溶接ヒュームが溶接者の身体に及ぼすいろいろの害については早くから問題にされていたが、これによって発生する症状は個人差がはなはだしく、かつ普通にある病気の症状とも区別しがたい点もあって職業病として取り上げることが困難な点もあった。したがって従来溶接ヒュームは、大部分無処理で放置されていたり、工場全体の換気程度の対策であり十分な処置がなされていなかった。しかし溶接ヒュームの作業者への影響が放置できないことが医学的に実証され、じん肺法など法的に規制されつつある。

当社では、半自動溶接トーチの先端に吸引用チャンバを取り付けヒューム回収用に設計された2重フィルタ内蔵のクリーナにて、ガスシールド性を損なうことなく効率よく溶接ヒュームを吸引し清浄空気にろ過して大気中に放出する三菱溶接ヒューム吸引装置を、48年4月東京晴海のウェルディングショーに出品し好評を博し、このほどシリーズ化を完成し仕込み生産にはいった。

この装置によれば、 $\text{CO}_2$ ・MIG溶接で約70%、ノーガス溶接で約90%の溶接ヒュームの除去が可能で、溶接作業環境の改善にその活躍が期待されている。

### ■ 特 長

- (1) ヒューム吸引口の位置が調整でき、溶接姿勢に応じてフローホールが発生がなく効率良い吸引ができる。(特許申請中)
- (2) 吸引チャンバはアルミニウム製で軽量、トーチバランスが良い。
- (3) ノズルチップは吸引チャンバをはずすことなく交換できる。
- (4) ヒューム吸引口のチャンバアダプタは分離でき、標準以外の形状を持つ各種チャンバアダプタの取付けができる。
- (5) ウレタンとロシポーザの2重フィルタ構造により、 $0.1\mu$ 以下の微細な溶接ヒュームもろ過が可能。
- (6) クリーナは軽量で持運びが容易で、端子組立によりトーチとの連動運転ができる。

### ■ 仕 様

三菱溶接ヒューム吸引装置は、当社製各種半自動溶接トーチに適用できるヒューム吸引用チャンバと、ヒューム回収用クリーナユニットFT-90にて構成される。

ヒューム吸引用チャンバの形式を表1に、ヒューム回収用クリーナユニットFT-90の仕様を表2に示す。

表1 ヒューム吸引用チャンバ形式

形 式	適用トーチ形名	備 考
ET-401 T	MT-301 F 401 B	Fシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-501 T	MT-501 B	Fシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-501 W	MW-501 B	Fシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-502 W	MW-502 C	Fシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-401 GT	MT-401 G	Gシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-501 GT	MT-501 G	Gシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-501 GW	MW-501 G 501 GC	Gシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-502 GW	MW-502 G	Gシリーズ炭酸ガス半自動トーチ用
ET-501 V	MV-421 B 501 B	交流ノーガストーチ用
ET-531 V	MV-431 B 531 B	直流ノーガストーチ用

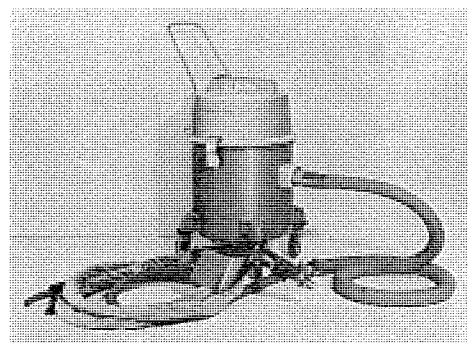


図1 ヒューム吸引用チャンバET-501 T付溶接トーチとヒューム回収用クリーナMC-90

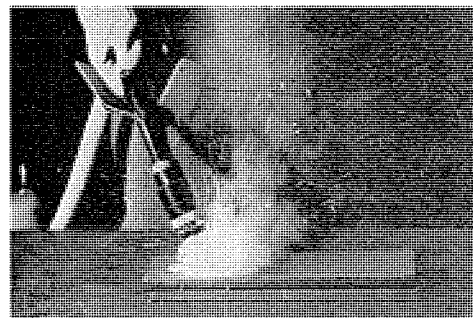


図2 通常のヒューム発生状態

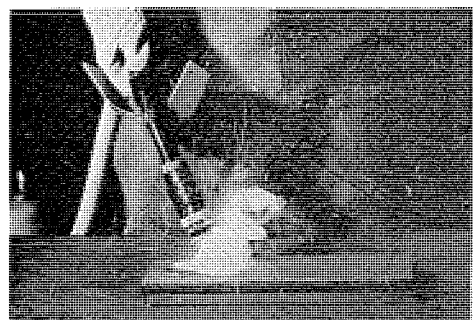


図3 ヒューム吸引時のヒューム発生状態

表 2 ヒューム回収用クリーンユニット FT-90 仕様

ヒューム回収用クリーナー	形 式	MC-90
	電 圧	単相 AC 100 V
	周 波 数	50/60 Hz
	消 費 電 力	950 W
	風 量	0.8~1.1 m <sup>3</sup> /min
	真 空 度	1,500 mm 水柱 (最大)
	定 格	連続定格
	本 体 重 量	15 kg
	大 き さ	360 φ×580 mm
ホース組立	フ ァ ン 形 式	2 段ターボファン
	フ ィ ル タ	2 重フィルタ (ロシボーク+耐熱ウレタン)
	全 長	3.5 m
端 子 組 立	電源取付式 (トーチ連動運転用)	
ケ ー ブ ル 類	10 m ケーブル, 5 m ケーブル	各 1 本

[名古屋製作所]

## 冷凍機、クーリングユニット新製品発売

当社では、早くからコールドチェーン関連機器の開発・充実・普及を図ってきたが、更に市場の要望に応え省力化・多様化の目的にそって冷凍機およびクーリングユニットを開発、48 年 10 月から発売する。

### ■ 今回発表新製品

- (1) 水冷式半密閉形冷凍機 SRW シリーズ 3.7~15 kW 5 機種
  - (2) スーパーマーケット用並列圧縮式半密閉形冷凍機 SS シリーズ 7.5~15 kW 3 機種
  - (3) 開放形リモート空冷式冷凍機 6 AR 3.7~5.5 kW 2 機種 (機種追加)
  - (4) 冷凍クーリングユニット ACS 5.5~11 kW 3 機種 (機種追加)
- (いずれも 48-10-1 発売予定)

### ■ 概 要

- (1) 水冷式半密閉形冷凍機

- (a) 開発のねらい

コールドチェーンの急伸張とともに冷蔵・冷凍食品の種類が多様化し、特に庫内温度 -18℃ 以下 (蒸発温度 -40℃ 前後) を必要とする冷凍食品から、庫内温度 0~+10℃ (蒸発温度 -10~+5℃) を必要とする青果物等まで、温度範囲が広く、これらの用途に適した冷凍機が必要となっている。

今回発表する水冷式半密閉形冷凍機は、これらの用途を十分考慮して「冷媒 R-12 (青果野菜用)」「R-22 (精肉乳製品用)」「R-502 (冷凍食品用)」の 3 種類の冷媒を使い分けることによりどの用途にもこたえられるようにし、かつ据付面積の縮小を図ったものである。

SRW-37 (圧縮機出力 3.7 kW)

SRW-55 (圧縮機出力 5.5 kW)

SRW-75 (圧縮機出力 7.5 kW)

SRW-110 (圧縮機出力 10.8 kW)

SRW-150 (圧縮機出力 15.0 kW)

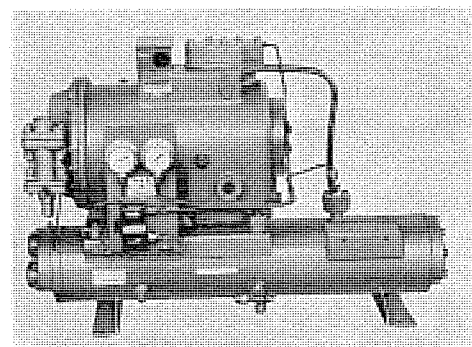


図 1 水冷式半密閉形冷凍機 SRW-55 形

## (b) 特 長

### (i) 冷媒の共用化

R-12, R-22, R-502 のどの冷媒も使えるようにしたので、用途に応じ同一冷凍機で使い分けることが可能になった。

### (ii) 小形化

工事店、ユーザの要求にこたえて、従来の機種より据付面積で 20~30 % も小形化（当社比）した。その結果据付けおよび多段積使用にも、便利となった。

### (iii) サービス性の向上

圧縮機の改良により、サービス面（給油せん（栓）、排油せん、のぞき窓、油圧調整弁）を一面にまとめ、サービス性が向上した。

### (iv) 制御箱の取付け（オプション）

オプションとして冷凍機に制御箱の取付けを可能にした。

## (2) スーパーマーケット用 並列圧縮式 半密閉形 冷凍機

### (a) 開発のねらい

近年、スーパーマーケットの発展と大形店舗化に伴い、冷凍・冷蔵ショーケースおよび付属冷蔵・冷凍庫の需要増大に対し、従来は標準仕様である開放形冷凍機、半密閉形冷凍機を使用して設備工事店で冷媒配管工事を行ない、スーパーマーケットの特性に適合するような制御、保護などのシステムをそれぞれ選択して冷凍装置にまとめてきた。

しかし、需要の急速な伸びに対し、工事技能員・保守要員の不足のため、十分に対処できないのが現状である。

これを解決するために、

### (i) 商品の品質保証のより一層の確実化

### (ii) 現地工事およびサービスの省力化

### (iii) 経済運転と安全性の向上

等々の市場からの要求にこたえて（次項の用途に適）、「2 台の半密閉形圧縮器を 1 台の水冷式凝縮器にとう載し、特別に設計した制御兼監視盤を付属した」省力化と高信頼を目指した冷凍機をフィールドテストの結果、好成績を取めたので発売することに踏みきったものである。

SSW-75（圧縮機出力 7.5 kW）

SSW-110（圧縮機出力 10.8 kW）

SSW-150（圧縮機出力 15.0 kW）

## (b) 用 途

### (i) スーパーマーケットなどの高額多量な食品を取り扱う冷凍機別置形オープンショーケースに

### (ii) 庫内温度管理の厳重な研究室、実験室に

### (iii) サービスに不便な地域に据付ける冷凍冷蔵装置に

## (c) 特 長

### (i) 品質維持の高信頼性確保

2 台の半密閉形圧縮機の冷媒回路を共通にしているため、万一 1 台が故障しても残りの 1 台で冷却運転を続け、商品の損傷を未然に防ぎ、サービスマンが来るまでショーケース内の品温をほとんど上昇させることがない。

### (ii) 経済運転

2 台の圧縮機を吸入圧力検出により、自動的に ON-OFF 運転する。いわゆる 50 %、100 % の容量制御運転により、負荷変動に効率よく対処できるため運転費用は安く、更に遅延リレーによる順次起動方式のため、同容量 1 台の冷凍機の起動電流の 50 % となり、受

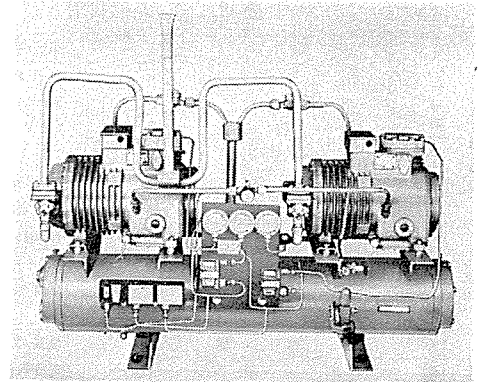


図 2 スーパーマーケット用並列圧縮式半密閉形冷凍機 SSW-75 形

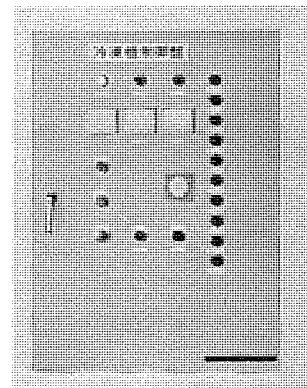


図 3 スーパーマーケット用並列圧縮式半密閉形冷凍機 SS シリーズ 用制御盤

電容量も小さくてよく経済的である。

(iii) 流通面、施工面で流動的に対処できる

青果物、酪農品用、肉類用、冷凍食品用等の各用途に対し、卦入する冷媒の変更により、同一冷凍機を使いわけることが可能（これも冷媒の共用化）であり、流通面、施工面で流動的に対処できる。

(iv) 小形化

従来の開放形1台よりも占有面積が小さくなり、圧縮機も容量の半分のものが2台から構成されているので、ユニット全体の高さが低く、多段積も可能である。

(v) 運転管理状態が一目でわかる

制御盤が付属しているので、配線作業が簡単になり、自動的に故障の監視、検出を行ない表示するので、人手がかからない。

(vi) 保護装置の完備

各圧縮機ごとに、インターナルサーモスタット、過電流継電器、各種圧力スイッチを備えており、安全性については十分配慮されている。

(vii) サービス性を考えた設計

このシリーズに使用している圧縮機的主要部品は、従来のWシリーズ圧縮機と共通互換性があるうえに、異常表示灯による故障原因点灯、ブザーによる警報、圧縮機1台ずつ独立して保守点検が可能な構造などにより、サービス性を考えた設計になっている。

(3) 開放形リモート空冷式冷凍機 (3.7, 5.5 kW の2機種追加)

(a) 発売のねらい

0.75, 1.5, 2.2 kW の発売 (48年2月) に引き続き広く要望にこたえて 3.7, 5.5 kW を開発したので発売する。設計的に特に留意した点は、

(i) 静粛運転

(ii) 外気温変化に応動できる

の2点で、今後の大気汚染、クーリングタワーのポンプ騒音、水エネルギーの有効利用に対処できる新製品である。

6 AR-37 L (圧縮機出力 3.7 kW) 価格未定

6 AR-55 L (圧縮機出力 5.5 kW) 価格未定

これで合計5機種となる。

(b) 特長

(i) 低騒音

リモートコンデンサは低速で大風量の低騒音送風機を使用することにより、低騒音運転を実現した。

(ii) 風量調節 (3.7, 5.5 kW 用)

外気温度の低下によりリモートコンデンサの送風機回転数を自動的に調節 (2スピード) するので冷凍機を効率よく運転できる。

(iii) 空気逃し弁 (3.7, 5.5 kW 用)

空気等が冷凍サイクルに入るのを防ぐためにコンデンサに空気逃し弁を取り付けた。

(4) 冷凍クーリングユニット (5.5, 7.5, 10.8 kW 小形3機種追加)

(a) 発売のねらい

コールドチェーンの発展とともに急増する集配用低温冷蔵庫 (庫内温度  $-20 \sim -40^{\circ}\text{C}$ ) の需要に対処するため、“冷凍サイクルをパッケージ化した”冷凍クーリングユニットにいち早く注目し、既に 15~107 kW について好評発売中であるが、最近では 3~20 坪程度の小規模冷蔵庫においても工事の省力化と冷凍ユニットの保証体制のため、メーカーサイドで“冷凍サイクルをパッケージ

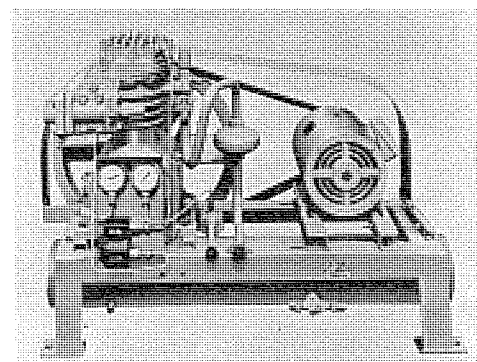


図 4 開放形リモート空冷式冷凍機 (圧縮ユニット)  
6 AR-55 L 形

“シ”化した”ユニット”の出現を期待する声が高く、この要望にこたえて、小形シリーズについても小形コンパウンド式二段圧縮機をとう載した 5.5, 7.5, 10.8 kW の 3 機種を開発を今般完了（フィールド運転中）した。

この発売で低温シリーズは幅広い用途向けに一段と充実される。

ACS-8（圧縮機出力 5.5 kW）

ACS-10（圧縮機出力 7.5 kW）

ACS-15（圧縮機出力 10.8 kW）

これで合計 9 機種となる。

（b）特長

（i）現地施工の省力化，工期短縮化

パッケージ形のため現地工事は冷蔵庫との接続，電気工事（主回路のみ）冷却水配管だけでよく，冷蔵庫組立工事を除けば 2 日程度で完成できる。

（ii）据付が容易

壁吸込・壁吹出式（一体形）のためダクト工事はほとんど不要，高さの低い（約 2.5 m）プレハブ冷蔵庫にも適している。

また，従来のユニットクーラによる方式に比較して，庫内スペースが有効に利用できる。

（iii）完全自動デフロスト

ホットガスバイパス方式による完全自動デフロスト機構を備えているため，霜取りのわずらわしさが無い。

（iv）運転操作は簡単

運転・停止は押しボタンスイッチで非常に簡単にできる。

（v）工場完全組立・試運転調整

条件の備った工場で作成され，厳しい品質管理をしているのでユニットの信頼性が高い。

（vi）低温における高性能

小形コンパウンド式二段圧縮機を採用しているため，単段に比べ能力は大きく，安定した低温運転が維持できる。

[和歌山製作所]

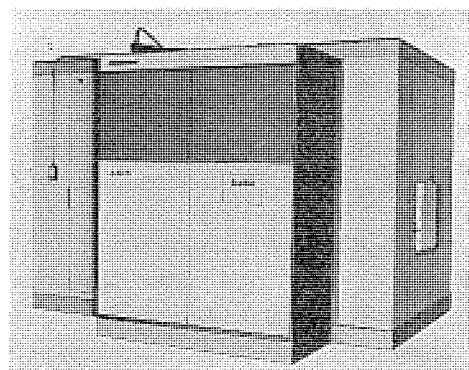


図 5 ACS-8 形 冷凍クーリングユニットの据付例

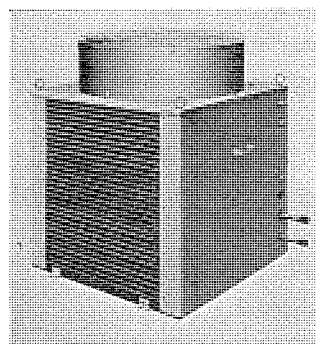
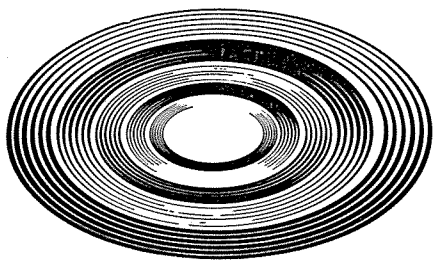


図 6 開放形リモート空冷式冷凍機（リモートコンデンサ）6AR-55L 形



# NEWS FLASH

## 揚水発電所 発電電動機

### サイリスタ起動 開発試験に成功

揚水発電所用 大容量発電電動機の起動法として、最新の方法であるサイリスタ 起動装置の開発試験に成功した。

可逆式ポンプ 水車直結の揚水用発電電動機のポンプ 運転時における起動法として、従来からよく用いられる方法として

- (a) ダンパ 巻線による自己起動 (全電圧または減電圧)
- (b) 通常の発電機による同期起動法または非同同期起動法
- (c) 直結誘導電動機による起動法

があり、それぞれ一長一短がある。

現在、200 MW 級以上の発電電動機では、上記の (c) 法または (b) (c) 法の併用が主流として使用されている。

しかしながら最近、半導体素子およびその整流器の制御装置の進歩により、サイリスタ 素子 (SCR) を応用した静止形周波数変換装置による、サイリスタ 起動法が脚光を浴びるにいった。

本試験は 13,500 kVA 11 kV 600 rpm の水車発電機を使用して、工場試験でサイリスタ 起動装置を利用し、サイリスタ 起動試験を行なったものである。

そして、起動—せん (揃) 速—同期—回生制動について一連の制御特性につき、有効な資料を数多く得ることができた。

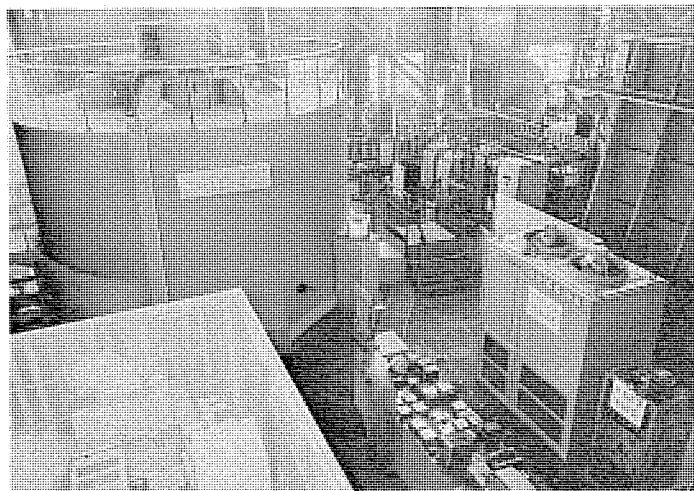
#### (a) 被駆動機

立軸水車発電機  
13,500 kVA  
11 kV 0.9 PF  
600 rpm  
60 Hz  
 $GD^2=120 \text{ t-m}^2$

#### (b) サイリスタ 起動装置

サイリスタパルプ  
445 kW  
762 V (AC)  
400 A (AC)  
使用素子 PT-500-50  
並列数 1 個/アーム  
直列数 1 個/アーム  
アーム 数 6 個/6 個 (コンバータ/インバータ)

[神戸製作所]



サイリスタ 起動開発試験



## 大阪市交通局納め 20 系試作電車用チョップ制御装置 —新鋭電車 好調に試運転中—

当社は、ここ数年来、多数の量産形チョップ制御装置を製作・納入し、その実用化に貢献してきたが、今回、DC 750 V の第三軌条方式用としては初めての大容量チョップ制御装置を、大阪市交通局20系試作電車用として製作・納入し、好調に試運転を続けている。

この装置を設計するに当たっての最大の難問は、機器のぎ装であった。電気方式が DC 750 V の第三軌条方式であり、さらに 18 m 車体であることから、大容量機器をいかにコンパクト化するかという点に最大限の努力が払われた。その結果、

(1) チョップ用としては世界最大級である 2,500 V 400 A の高耐圧逆導通サイリスタの実用化

(2) 結合リアクトル式二相一重チョップ方式の採用

(3) 路線条件の予備調査による機器定格の最適化

などにより、18 m 車へのぎ装を実現させた。これによって、従来の 1,500 V 用チョップとともに、チョップ実用化への大きな力になると期待されている。

この装置の主要諸元を次に示す。

電気方式	DC 750 V, 第三軌条方式
運転性能	加速度 3.0 km/h 減速度 3.5 km/h (最大) 最高速度 70 km/h (将来 100 km/h まで可能)
制御方式	チョップ制御による自動加減速制御, 回生ブレーキ付き, 弱界磁制御付き
制御容量	主電動機 130 kW×8 台 (2S4P 接続)
チョップ定格	DC 750 V 2,000 A (最大制御電流)
制御周波数	175 Hz×2 (二相一重)
サイリスタ定格	2,500 V 400 A $t_{off}=40 \mu s$
ダイオード定格	2,800 V 800 A
転流方式	直列消弧形 反発パルス方式

また、この新鋭試作電車用として、当社は、MB-3187-A 形主電動機・OEC-2 形新ブレーキ装置・ATC 装置なども設計・製作し、チョップ制御装置と協調のとれたシステムとしてその高い性能を発揮している。

[伊丹製作所]

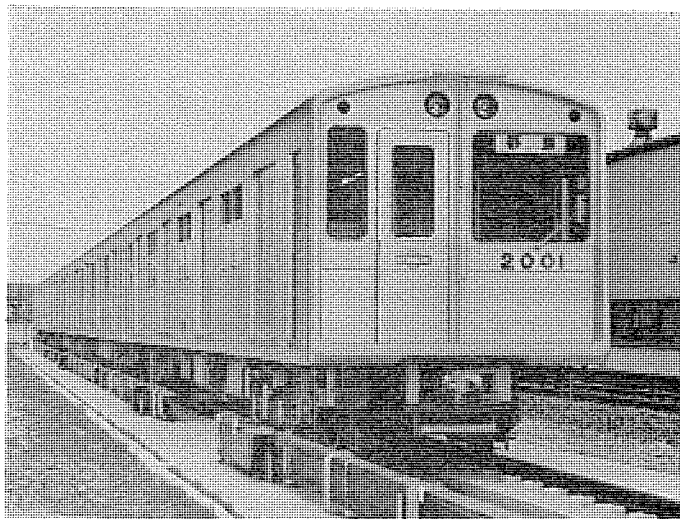


図 1 20 系試作電車外観

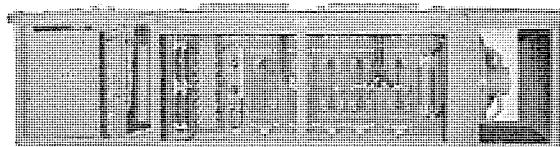


図 2 チョップ装置

# 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2番3号(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) 343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) 565局3111番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社) (電) 420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (電) 852	(電) 長崎 (0958) 61局6101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 212局3711番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(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) 48局5311番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館) (電) 700	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (電) 950	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	大宮市大成町4丁目298番地(三菱電機大宮ビル) (電) 330	(電) 大宮 (0486) 65局3211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
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) 565局3111番
福岡商品営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
札幌商品営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 212局3777番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地 (電) 920	(電) 金沢 (0762) 52局1151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) 48局5311番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル) (電) 107	(電) 東京 (03) 404局0336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
名古屋機器営業所	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) 565局3111番
静岡機器営業所	静岡市小島2丁目1番22号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
浜松機器営業所	浜松市海老塚町479の1 (電) 430	(電) 浜松 (0534) 54局4121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
生産技術研究所	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) 44局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町1丁目1番2号 (電) 652	(電) 神戸 (078) 652局2121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) 3局4371番
赤穂工場	赤穂市天和651番地 (電) 678-02	(電) 赤穂 (07914) 3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 850-91	(電) 長崎 (0958) 61局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1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) 36局2111番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44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	伊丹市瑞原4丁目1番地 (電) 664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地 (電) 862	(電) 熊本 (0963) 38局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997 (電) 861-11	(電) 熊本 (09624) 2局0151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
旭工場	尾張旭市下井町下井 (電) 488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市西区今宿青木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
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
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
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号 (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) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号 (電) 963	(電) 郡山 (0249) 32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図所1番地 (電) 617	(電) 京都 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前 (電) 380	(電) 長野 (0262) 43局1101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条東12丁目98番地 (電) 060	(電) 札幌 (011) 231局5544番

## 次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 47 No. 10

### 静 止 器 の 固 体 絶 縁 特 集

#### 《特集論文》

- 固体絶縁技術
- 注型絶縁物の製造技術
- 固体絶縁物の評価試験
- 縮小形変電所における固体絶縁技術
- 屋外用注型絶縁材料
- 耐熱性注型エポキシ樹脂ブッシング
- 低電圧用注型エポキシ樹脂支持がいし
- エポキシモールド形計器用変圧変流器
- 新しい可撓性硬化剤
- エポキシ樹脂の分子運動と導電性
- エポキシ樹脂の力学的性質に及ぼす充てん剤効

#### 果

- エポキシ樹脂注型品の内部応力
- エポキシ樹脂の部分放電劣化と耐トリッキング性

#### 《普通論文》

- コアメモリカードの自動検査システム
- プロセス制御用問題向き言語システム MDSS
- 工業用プログラミング言語 CONFORM IV

#### 《技術講座》

- 超音波探傷試験法(4)  
—超音波探傷器と探触子—

### 三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	堀 謙 二 郎
副委員長	神 崎 遼	"	湊 武 雄
常任委員	伊 藤 一 夫	"	武 藤 正
"	上 田 重 夫	"	吉 松 誠 一
"	宇 佐 見 重 夫	委 員	粕 谷 一 雄
"	大 田 重 吉	"	武 田 忠 夫
"	北 川 和 人	"	林 昇 寿
"	古 賀 亨	"	待 鳥 正
"	外 野 範 吾	"	吉 武 正 彦
"	塚 本 信 雄	"	若 宮 佐 三
"	藤 永 敦		

(以上 50 音順)

三菱電機技報 47 巻 9 号

昭和 48 年 9 月 22 日印刷 昭和 48 年 9 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 200 円(送料別)

#### 編 集 兼 発 行 人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

正 木 茂 雄

#### 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 2 番 3 号 (郵便番号 100)

三 菱 電 機 株 式 会 社 内

「三菱電機技報社」

(電話) (03) 218 局 2323 番

#### 発 売 元

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地(郵便番号 101)

株式会社 オーム社書店

(電話) (03) 291 局 0912 番 振替口座 東京 20018 番