

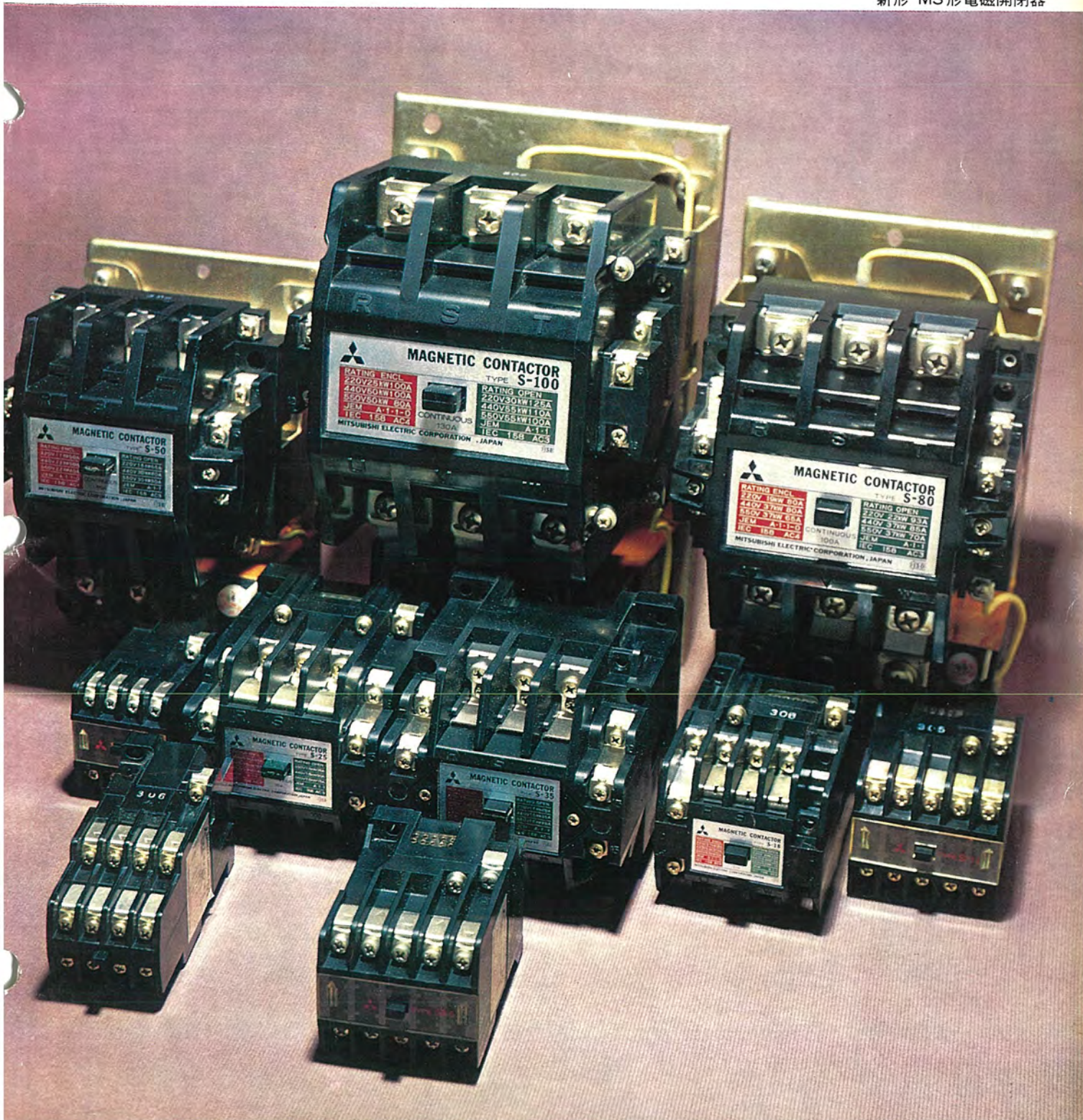
# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.42 September 1968

電磁制御器具特集

9

新形 MS形電磁開閉器





## 電磁制御器具特集

### 目次

#### 《特集論文》

|                              |                     |      |
|------------------------------|---------------------|------|
| 新形交流電磁開閉器・接触器                | 丸地謙二・岡戸弘行・長尾良章      | 1167 |
| 新形制御用継電器と信頼性の諸問題             | 丸地謙二・茂手木良夫・河村紀一     | 1182 |
| 新形交流電磁開閉器の応用                 | 堀田滋矩・有本智美・清水良之輔・遠藤譲 | 1193 |
| 直流電磁接触器・直流制御継電器              | 寺田光彦・石田秀樹           | 1202 |
| SH形高圧交流電磁接触器                 | 木村雅夫・中沢俊郎           | 1205 |
| 真空電磁接触器とその応用                 | 杉尾憲一                | 1211 |
| M形制御スイッチの紹介と一般操作スイッチの適用上の問題点 | 立石俊夫・松尾宏之           | 1221 |
| 半導体を応用した制御器具                 | 宮幸助・宮崎治・田原武・三田村隆輝   | 1228 |

#### 《普通論文》

|                                        |                   |      |
|----------------------------------------|-------------------|------|
| MELCOM 9100 システムシリーズ(4) —グループ30の主記憶装置— | 小島一男・蒲生容仁・布施明・浜田勝 | 1239 |
| 変圧器の乾燥とプレスボードの電気的性質                    | 白井万次郎・石井敏次        | 1245 |
| ドリル樹脂処理乾式変圧器                           | 福田信夫・稲村晴雄         | 1251 |
| マイクロ波によるプラズマ診断                         | 小村宏次              | 1254 |
| 台湾電力下達見発電所 100 MVA 水車発電機               | 三浦宏・石井明           | 1260 |
| UL-20 形ヘリウム液化装置                        | 相良泰一              | 1264 |
| フルフィットライン三相誘導電動機                       | 古川俊幸              | 1269 |

#### 《技術講座》

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| メーザ、レーザで代表される新しい技術分野 —量子エレクトロニクス(4)— |           |
| 量子エレクトロニクスの今後の方向                     | 安東 滋 1274 |

#### 《新製品紹介》

|                                                                                |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| 日曜大工道具“たくみ”・三菱電気角のみ・超耐熱形 205 mm 電気ジスクグラインダ (PA-205 A-1 形)・ZKB-CM 形三菱水冷式バウダクラッチ | 1279 |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|

#### 《ニュースフラッシュ》

|                                                                                                                                                                                            |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 気象レーダ RC-5 形大阪管区気象台に納入・エンジンおよびトランスミッション自動耐久試験装置・大形形鋼つり上げリフティングマダネット・カナダ BCHA 向け 125 MV 分路リアクトル完成・ブラジレス化進む—自家発タービン発電機—ブロックパネル高圧配電盤・スペイン国鉄向け直流電気機関車受注・ボリビア国鉄向けディーゼル電気機関車完成・国鉄向け EF 71 形交流機関車 | 1282 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|

#### 《特許と新案》

|                                                 |      |
|-------------------------------------------------|------|
| フレーム・タンク形回路しゃ断器・大電流用回路用しゃ断器・直流電力制御装置・ミシンの上糸案内装置 | 1237 |
|-------------------------------------------------|------|

#### 《表紙》

##### 新形 MS 形 電磁開閉器

機械装置の自動化・合理化用機器として電磁制御器具は近年質、量ともに急速な発展拡大をとげている。

写真は当社で新しく完成した新形 MS 形電磁開閉器シリーズで、11 A から 300 A まで12機種よりなり、高性能・高信頼性・使い易さをもち国際規格に準拠した国際商品であり、制御装置の中心器具として、工作機・自動機械・ビル設備・その他の幅広い用途に大きな役割を果たすことが期待される。





## SPECIAL EDITION OF ELECTRO MAGNETIC CONTROL APPARATUS

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS

|                                                                              |                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|
| New Type Magnetic Switches and Contactors.....                               | K. Maruchi • H. Okado • Y. Nagao...                | 1167 |
| New Type Magnetic Control Relays and Their Reliability Problems.....         | K. Maruchi • Y. Motegi • N. Kawamura...            | 1182 |
| Application of New Type AC Magnetic Switches.....                            | S. Hotta • S. Arimoto • R. Shimizu • Y. Endo...    | 1193 |
| DC Magnetic Contactors and DC Control Relays.....                            | M. Terada • H. Ishida...                           | 1202 |
| Type SH High Voltage Magnetic Contactors.....                                | M. Kimura • T. Nakazawa...                         | 1205 |
| Vacuum Contactors and their Application.....                                 | K. Sugio...                                        | 1211 |
| Type M Control Switches and Problem of Control Switches for General Use..... | T. Tateishi • H. Matsuo...                         | 1221 |
| Control Apparatus using Semiconductor Elements.....                          | K. Miya • O. Miyazaki • K. Tahara • T. Mitamura... | 1228 |

#### TECHNICAL PAPERS

|                                                                                                                  |                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|
| MELCOM 9100 System —Main Memory of Group 30—.....                                                                | K. Kojima • Y. Gamô • A. Fuse • M. Hamada... | 1239 |
| Drying of Transformer and Electrical Properties of Pressboard.....                                               | M. Shirai • T. Ishii...                      | 1245 |
| Doryl Varnish Treated Dry Type Transformers.....                                                                 | N. Fukuda • H. Inamura...                    | 1251 |
| Diagnosis of Plasma by the Microwave Technique.....                                                              | H. Komura...                                 | 1254 |
| 100,000 kVA Water Wheel Generators for Lower Tachien Power Station of the Taiwan Electric Power Company<br>..... | H. Miura • A. Ishii...                       | 1260 |
| Type UL-20 Helium Liquifiers.....                                                                                | T. Sagara...                                 | 1264 |
| Full Fit Line Three Phase Induction Motor.....                                                                   | T. Furukawa...                               | 1269 |

#### TECHNICAL LECTURE

|                                                                                                                         |            |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|
| New Frontier Represented by Maser and Laser —Quantum Electronics (4)—<br>Future Development in Quantum Electronics..... | S. Aodô... | 1274 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|

|                   |      |
|-------------------|------|
| NEW PRODUCTS..... | 1279 |
|-------------------|------|

|                 |      |
|-----------------|------|
| NEWS FLASH..... | 1282 |
|-----------------|------|

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| PATENT AND UTILITY MODEL..... | 1237 |
|-------------------------------|------|

#### COVER :

##### New Type MS Electromagnetic Switches

As a means to automatize and rationally the operation of machinery, electromagnetically controlled devices are making great strides in quantitative and qualitative development.

Illustrated here is a newly completed type MS electromagnetic series comprising 12 models from 11 A to 300 A units. They are of high performance, of high reliability and easy to operate, conforming to the international standards as products suitable for the world market. They are anticipated as main devices to discharge duties of working with machine tools, automatic apparatus, building equipment and other applications in a variety of uses.

UDC 621. 316. 53

## 新形交流電磁開閉器、接触器

丸地謙二・岡戸弘行・長尾良章

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1167～1181

産業界の設備、機械の自動化合理化、ビル設備等の普及発達にともない、電磁開閉器、接触器の需要の伸びにはいぢるしいものがあり、かつ性能の向上、長寿命化、信頼性および使いやすさが要求されている。一方開放経済下輸出用として国際規格に適合した国際製品としての必要性も増している。

この要求にこたえるためいっそうの高性能化、高信頼性、使いやすさおよび国際性を備えた新MS形電磁開閉器の開発を完了したので開発概要、特性寿命試験結果およびその検討、適用等について紹介する。



UDC 621. 316. 53

## SH形高圧交流電磁接触器

木村雅夫・中沢俊郎

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1205～1210

近年、工場・ビルなどの大規模化による受電容量の増大にともない3kV機器の普及はめざましい。ここに紹介のSH-Cシリーズは新しい高圧電磁接触器として開発したもので、SH-65C、105C、205C(AC 3,300V、60A、100A、200A定格)、しゃ断容量25MVAを基本形としてスター・デルタ起動用に用いるSH-105CYのほかラッチ式・可逆式などの応用品がある。本文では構造・特長・試験結果などを紹介。キュービクル用として電力ヒューズとの組合せ保護協調なども、十分可能なすぐれた性能を有していることを述べている。



UDC 621. 318. 56

## 新形制御用継電器と信頼性の諸問題

丸地謙二・茂手木良夫・河村紀一

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1182～1192

機械の自動化、自動制御装置の発達・普及につれて制御用電磁継電器は、質・量とも発達をとげ、高性能化・小形化が進み、かつ接触の信頼度を含めた高信頼性の問題が種々論議されている。

当社は接触・安定度の向上、高信頼性を目標に新SRシリーズ電磁継電器の開発を完了したので、信頼性の諸問題を中心にしてこれらシリーズの概要・性能・試験結果などについて紹介する。



UDC 621. 316. 5:533. 5

## 真空電磁接触器とその応用

杉尾憲一

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1211～1220

高真空を消弧媒質として利用した開閉器は、実用に供して以来数年の実績しかないが、その性能の優秀性が認められ応用範囲が拡大しつつある。すなわち無入化・縮小化を目標とする受配電設備、保守・信頼性・安全性から、従来の油にかかわろうとする区分開閉器等配電関係器具、効率改善を主とするコンデンサの開閉、一般誘導電動機の運転、変圧器の開閉用等無限に用途は拡大されている。今回は、これら真空スイッチ応用製品の中でも、最も使用範囲の広い小容量のVM形・VP形接触器の定格・性能・構造・試験結果ならびにその応用製品を紹介する。



UDC 621. 316. 545

## 新形交流電磁開閉器の応用

堀田滋矩・有本智美・清水良之輔・遠藤譲

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1193～1201

電磁開閉器・接触器の電動機制御およびその他における応用使用はきわめて広く種々の分野で適用される。

新形MS形電磁開閉器・接触器シリーズの応用品および特殊負荷に対する適用例としてSD形直流操作電磁接触器、スターデルタ起動器、抵抗、コンデンサおよび高周波回路への例を紹介した。



UDC 621. 316. 53

## M形制御スイッチの紹介と、一般用操作スイッチの適用上の問題点

立石俊夫・松尾宏之

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1221～1227

最近の発・変電所の電力系統の複雑化にともない制御スイッチに対してもその接点構成・操作方式・周囲環境による処理条件など、多くの複雑な条件が要求されるようになった。M形制御スイッチは多様な形式の制御スイッチを集約化し、部品の標準化をはかって開発したもので、この構造・特長・性能などを紹介する。

いっぽう、押しボタンスイッチなど電磁開閉器操作用のスイッチがひろく使用されているが、特殊負荷や環境の影響をうける場合などでは、適用上諸問題が存在する。こうした実用上の問題点に対し、実施した各種の試験結果を整理・検討し、需要家各位の参考として紹介する。



UDC 621. 316. 545 621. 318. 56

## 直流電磁接触器・直流制御継電器

寺田光彦・石田秀樹

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1202～1204

直流電動機やその他一般直流回路の制御に欠かすことのできないのが、直流電磁接触器および直流制御継電器である。

直流電磁接触器DF形および直流制御継電器の概要を述べるとともに、適用上の問題、とくに操作回路の電圧変動が与える影響について述べる。



UDC 621. 316. 53/ 56

## 半導体を応用した制御器具

宮 幸助・宮崎 治・田原 武・三田村隆輝

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P 1228～1236

近年の半導体素子の発達は、半導体を応用した制御器具の大幅な発展をうながし、それに従ってこう言った製品が、各メーカーから多数発売されるようになり、またその需要も広範囲にわたるようになってきた。

本文は、現在、当社で製作している半導体応用器具のうち、とくに電磁制御器具と関係の深い、FS形フロートレススイッチ、SS形タイマ、TC-L形無接点スイッチについてその概要、適用上の問題、用途例などについて、記載したものである。



UDC 681. 142. 04:159. 953

MELCOM 9100システム ―グループ30の主記憶装置―

小島一男・蒲生容仁・布施 明・浜田 勝

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1239～1244

MELCOM 9100-30主記憶装置の仕様は、概略：①容量：16kW語～64kW語、17ビット／語、②サイクルタイム：0.8μS、③周囲温度：0～55℃である。このような高速大容量かつ高信頼度のメモリを実現するため次のような新技術を使っている。①20ミル高速コア、②センス、インヒビット線をそれぞれ多分割した高S/Nコアアブレーション、③45℃恒温そうによる温度補償、④4 ダイオード方式マトリックスと改良されたタイミングによる駆動系、⑤センス線選択パルスを用いた多入力センスアンプ、⑥遅延線による安定したタイミング発生器、⑦電圧変動の小さい給電法、○ 本文においてはこれらの点に関し、やや詳細に述べる。

UDC 621. 314. 222. 048:621. 315. 614. 65

変圧器の乾燥とプレスボードの電気的性質

白井万次郎・石井敏次

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1245～1250

変圧器をどこまで乾燥したらよいか、乾燥程度をいかにして知るかのめやすとして、未油浸および油浸プレスボードの乾燥度と破壊電圧、体積抵抗率、誘電率および誘電正接の関係を検討した。交流破壊電圧はプレスボードの水分が約3%以下になるとあまり変化しない。交流破壊電圧が急激に低下し始める水分量は、プレスボードの吸湿機構上、多分子層吸着が始まる水分量とよく一致していることが見出された。その他の電気的性質ではこの関係が見られない。寒地用変圧器の資料として、プレスボードの0℃以下の電気的性質も測定したが、水分を含んだ試料でも○ とくに変った点は見られず、すぐれた電気的性質を示した。

UDC 621. 314. 222. 048:621. 315. 616

ドリル樹脂処理乾式変圧器

福田信夫・稲村晴雄

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1251～1253

ドリル樹脂は、従来乾式変圧器に使用されていたシリコン樹脂の短所を補うために、開発された新しい芳香族系有機高分子材料である。当社では、ドリル樹脂のすぐれた高温特性・耐熱性・耐薬品性・絶縁性をいかして、H種乾式変圧器に標準的に採用している。この変圧器の特長を述べ、乾式変圧器への適用方法、および適用箇所について簡単に紹介する。

UDC 538. 566:533. 9

マイクロ波によるプラズマ診断

小村 宏次

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1254～1259

50G%マイクロ波プラズマ診断装置を試作し、超音速プラズマ流の電子密度および電子-中性原子間の衝突周波数の測定を行った。アルゴンを用いた超音速プラズマ流において、超音速ノズルのスロートより下流のプラズマ流では、電子は凍結状態にあることおよび双極性拡散にしたがってノズル壁へ拡散し消滅することが明らかになった。筆者の実験条件ではノズルのスロート部分の約1%の電子が凍結状態にあり、残りはノズル壁へ拡散し消滅することがわかった。

UDC 621. 313. 322-82

台湾電力 下達見発電所 100,000kVA 水車発電機

三浦 宏・石井 明

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1260～1263

下達見発電所は、最終出力 400MVAの台湾最大の水力発電所で、第一期工事の 100MVA 2台が工場で完成した。発電機は出力 100,000kVA (過負荷 115,000kVA)、360rpmで、大容量高速機としてわが国の記録品である。設計にあたっては各部構造・通風・振動などにとくに考慮を払い、性能の向上をはかった。本文は構造・試験成績につき詳細のつてである。

UDC 621. 59

UL-20形ヘリウム液化装置

相良 泰一

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1264～1268

当社は昭和36年、ヘリウム液化装置国産第1号機以来、標準機UL-80形(液化速度8 l/h)としてすでに多数各方面の研究機関へ供してきた。

新たに開発したUL-20形は、液化速度2 l/hの小容量機ではあるが、液化装置全体をパッケージ化することによって、据付工事・運転操作などが著しく簡略化されたほか、UL-80形とは違った新機軸もいくつかある。

UDC 621. 313. 333

フルフィット・ライン三相誘導電動機

古川 俊幸

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1269～1273

新たに開発したフルフィットラインはセンチメートル400および450のIEC寸法に準拠した中容量の三相誘導電動機である。従来この程度の中容量電動機では、各保護形式ごとに外観構造の異なるシリーズが設けられるのが普通であったが、フルフィットラインでは各保護形式間の普通化と合理化を行ない開放防滴形や全閉外扇形はもとより開放屋外形、全閉内冷形、サイレンサー付等あらゆる保護形式の電動機を統一された角形の外観として製作できるようになっている。

本文では構造と特長について説明する。

UDC 538. 61

メーザ、レーザで代表される新しい技術分野

―量子エレクトロニクス(4)―

量子エレクトロニクスの今後の方向

安東 滋

三菱電機技報 Vol.42・No.9・P1274～1277

過去10年の間に量子エレクトロニクスはメーザ、レーザを中心としてめざましく発達した。今後の5年間を考えると、おそらくレーザは中心の座を非線形光学にゆずるであろう。過去において、エレクトロニクスの分野で非線形現象がはなばなしく利用されたように、今後光のてい(運)倍・混合・パラメトリック発振が脚光をあび、盛んに応用されるに違いない。この講座の最終回として非線形光学とその今後の発展を中心に紹介した。

# 新形交流電磁開閉器, 接触器

丸地 謙二\*・岡戸 弘行\*・長尾 良章\*

## New Type Magnetic Switches and Contactors

Nagoya Works

Kenji MARUCHI・Hiroyuki OKADO・Yoshiaki NAGAO

With the trend of automatization and rationalization of industrial facilities and the diffusion and development of equipment in buildings, the latest demand for magnetic switches and contactors has been increasing remarkably with the requirements for elevated performance, prolonged life, reliability and ease in operation. On the other hand requisites for export under free trade condition are called for in the design to meet international standards.

To satisfy these needs new type MS magnetic switches have been brought to completion with due consideration on better performance, higher reliability, easier handling and adaptability to the international market. The article describes outline of development, test results of characteristics and life expectancy and study on the applications.

### 1. ま え が き

産業界の設備, 機械の自動化, 合理化およびビル設備等の普及発達にともない, 最近の電磁開閉器・接触器の需要の伸びはいちじるしいものがあり, 昭和42年度の実績は500万台を越え, 当分の傾向は続くものと考えられる。

一方これら機械, 装置の複雑, 高度化にともない電磁開閉器類も当然高性能化, 高信頼性が強く要求される。

当社ではアメリカ系の設計EK形に代わって, 昭和38年にヨーロッパ系のEM形シリーズを開発・発売以来約5年経過し, 主として電動機制御に使用されてきたが, このたびいっそうの高性能化, 高信頼性, 使いやすさおよび国際性を加えた新シリーズをEM形の経験を生かし, さらに国内外の製品の検討試験を行ない, かつ十分なる試験を行ない開発を完了し, MS形電磁開閉器シリーズとして発表するので, その開発概要, 特性, 試験結果, 適用その他の問題について紹介し需要家各位の参考に供したい。

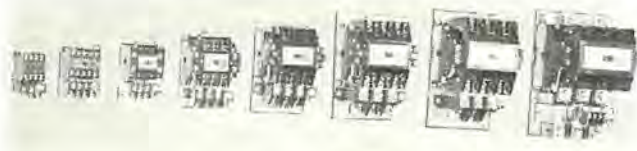


図 1.1 電磁開閉器 MSO シリーズ  
Magnetic across-the line starter, series MSO (open type).

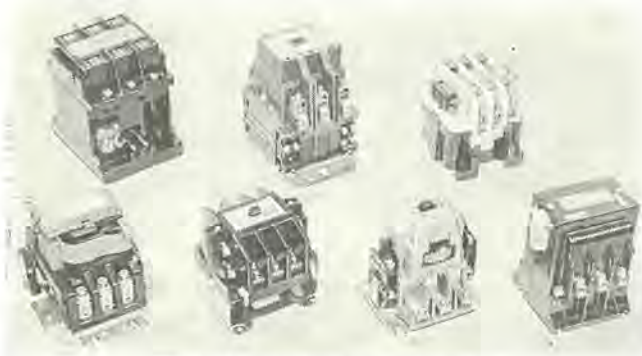


図 1.2 各国他社電磁接触器  
Magnetic contactors of foreign make.

### 2. MS 形 電磁開閉器の開発要旨

#### 2.1 概 要

新 MS 形シリーズ電磁開閉器は, 下記のような内容で, 従来の EM シリーズを全面的にモデルチェンジするとともに新しい改良を加えているが, 極力取付けの互換性をもたせ系列化したものである。

(1) 性能, 寿命の向上— 消弧機構・接点材料の研究改善による開閉容量の増大で 400 V 定格容量の向上と寿命の向上, すなわち電気的には 200 万回を達成した。

(2) 種類の増加— 需要増にともない電動機の標準容量にそれぞれ対応するフレームをもうける。すなわち 200, 400 V 2.2 kW 級の MS-10 から 200 V 75 kW, 400 V 150 kW の MS-300 まで 12 機種とした。その他直流操作等応用品シリーズの拡充も計画した。

(3) 信頼性の向上と寿命保証— 動作機構の単純化, 性能の向上と対環境性の強化により信頼性の向上を計り, かつ寿命は 90 % 信頼限界の寿命を保証寿命としている。

(4) 取付け互換性— M 形との互換性をもたせ, かつ小形機種 S-10, 18, 25 については他社品との互換性をもたせる。

(5) 使いやすさ— 配線の容易, 防じん構造その他 サーマルリレーの 1c 接点等の付属機能大。

(6) 適用基準を明確にする— 重負荷, 箱入り, 長寿命のレッド定格と, 開放標準負荷のグリーン定格の採用。

(7) 安全性の増大— 完全に動作保証する可逆式用機械的インターロックの採用, 絶縁バリヤの強化, 消弧室のアーカからの保護。

(8) 国際規格準拠

以上を目的にし, シリーズとしての統一設計を計った。

#### 2.2 準拠規格

新形電磁開閉器は国際規格準拠という方針で設計を行ない, 国内規格 JIS C 8325 電磁開閉器, JEM-1038 電磁接触器の A 級 1 号 1 種 (0 種) 以上とし, IEC (国際) 158-1 では AC<sub>3</sub> および AC<sub>4</sub>, IV 号 IV 種に相当する。

その他 NEMA IC-1 (アメリカ), BS-775 (イギリス), VDE 0660/4.62 (ドイツ) に適合し, CSA (カナダ) に対しても認定を受けている。

ここでは代表的な特性, 仕様について概要を比較する。

(1) 開閉容量— じか入れ開閉器の開路しゃ断電流容量について

表 2.1 閉路しゃ断容量 (かご形誘導電動機じか入れ起動)  
Making and breaking capacity (across-the line starting of squirrel cage motor).

| 規 格                   | 閉 路 電 流 容 量                   | 電 流                 | 電 圧                | 力 率     | 責 務    | 電 流                 | 電 圧                | 力 率     | 責 務    | 備 考       |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|---------|--------|---------------------|--------------------|---------|--------|-----------|
|                       |                               |                     |                    |         |        |                     |                    |         |        |           |
|                       |                               |                     |                    |         |        |                     |                    |         |        |           |
| JEM-1038<br>JIS C8325 | A 級                           | 10 I <sup>(1)</sup> | 1 E <sup>(2)</sup> | 0.3~0.4 | C      | 10 I <sup>(1)</sup> | 1 E <sup>(2)</sup> | 0.3~0.4 | CO     | 5         |
| IEC-158-1             | AC <sub>3</sub> 級<br>100 A 以下 | 10 I                | 1.1 E              | 0.35    | C      | 8 I                 | 1.1 E              | 0.35    | CO     | 5         |
|                       | 100 A 超過                      | 8 I                 | 1.1 E              | 0.35    | 100    | 6 I                 | 1.1 E              | 0.35    | 5      | 通常動作      |
|                       | AC <sub>4</sub> 級<br>100 A 以下 | 12 I                | 1.1 E              | 0.35    | C      | 10 I                | 1.1 E              | 0.35    | CO     | 20        |
|                       | 100 A 超過                      | 10 I                | 1.1 E              | 0.35    | 50     | 8 I                 | 1.1 E              | 0.35    | 20     | 寸動・逆相制動動作 |
| NEMA IC-1             | A 級                           | 10 I                | 1 E                |         |        | 10 I                | 1 E                |         |        |           |
| CSA 22.2              | 全電圧起動                         | 6 I                 | 1 E                | 0.4~0.5 | CO 50  | 6 I                 | 1 E                | 0.4~0.5 | CO 50  | 閉閉容量      |
| BS-775                | A <sub>4</sub> 級              | 8 I                 | 1 E                | 0.2~0.3 | CO 100 | 8 I                 | 1 E                | 0.3~0.4 | CO 100 | 閉閉容量      |
| VDE-0660              | 3 級<br>100 A 以下               | 12 I                | 1.1 E              | 0.4     | CO 100 | 8 I                 | 1.1 E              | 0.4     | CO     |           |
|                       | 4 級<br>100 A 以下               | 10 I                | 1.1 E              | 0.4     | CO 100 | 6 I                 | 1.1 E              | 0.4     | 20     |           |

注) (1) I は定格電流を表わす。  
(2) E は定格電圧を表わす。

表 2.2 寿命 Life.

| 規 格        | 電 気 的 寿 命  | 機 械 的 寿 命 |
|------------|------------|-----------|
|            |            |           |
| JEM<br>JIS | 0 種<br>1 種 | 100<br>50 |
| IEC        | IV         | 50        |
| BS         | IV         | —         |
| VDE        | E          | 50        |

表 2.3 MS 形電磁開閉器各国規格絶縁距離適用区分  
Insulation voltages of type MS magnetic starter according to various standards.

| 規 格       | JIS, JEM | JEC   | BS    | VDE   | NEMA CSA |
|-----------|----------|-------|-------|-------|----------|
| MS-10, 11 | 600 V    | 500 V | 440 V | 500 V | 300 V    |
| MS-18 以上  | 600      | 660   | 650   | 750   | 600      |

表 3.1 MS 形電磁開閉器の種類と構成  
Kinds and composition of type MS magnetic starter.

| 形 名                | 箱入電磁開閉器   | 非可逆 | MS-10  | MS-11    | MS-18    | MS-25    | MS-35    | MS-50    | MS-65    | MS-80    | MS-100    | MS-150    | MS-200    | MS-300    |
|--------------------|-----------|-----|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    |           |     | —      | MS-2×11  | MS-2×18  | MS-2×25  | MS-2×35  | MS-2×50  | MS-2×65  | MS-2×80  | MS-2×100  | MS-2×150  | MS-2×200  | MS-2×300  |
| 構 成                | 開放電磁開閉器   | 非可逆 | MSO-10 | MSO-11   | MSO-18   | MSO-25   | MSO-35   | MOS-50   | MSO-65   | MSO-80   | MSO-100   | MSO-150   | MSO-200   | MSO-300   |
|                    |           |     | —      | MSO-2×11 | MSO-2×18 | MSO-2×25 | MSO-2×35 | MSO-2×50 | MSO-2×65 | MSO-2×80 | MSO-2×100 | MSO-2×150 | MSO-2×200 | MSO-2×300 |
| 要 素                | 電 磁 接 触 器 | 非可逆 | S-10   | S-11     | S-18     | S-25     | S-35     | S-50     | S-65     | S-80     | S-100     | S-150     | S-200     | S-300     |
|                    |           |     | —      | S-2×11   | S-2×18   | S-2×25   | S-2×35   | S-2×50   | S-2×65   | S-2×80   | S-2×100   | S-2×150   | S-2×200   | S-2×300   |
| 機 械 インターロック (可逆のみ) | 熱動過電流継電器  | 可 逆 | TH-10  | TH-18    | TH-18    | TH-18 T  | TH-35    | TH-50    | TH-50    | TH-100   | TH-100    | TH-150+CT | TH-150+CT | TH-300+CT |
|                    |           |     | —      | —        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1         | 1         | 1         | 1         |

表 2.4 温度上昇限度 (deg)  
Temperature rise limit on each standard.

| 規 格  | 接 触 子<br>(銀, 銀合金) | コ イ ル |         |       |         | 端 子 |
|------|-------------------|-------|---------|-------|---------|-----|
|      |                   | A 種   |         | E 種   |         |     |
|      |                   | 抵 抗 法 | 温 度 計 法 | 抵 抗 法 | 温 度 計 法 |     |
| JEM  | 75                | 85    | 65      | 100   | 80      | 50  |
| IEC  | 損傷ない程度            | 75    | —       | 90    | —       | 50  |
| NEMA | 65                | 85    | 65      | —     | —       | 50  |
| CSA  | 65                | 85    | 65      | —     | —       | 50  |
| BS   | 80                | 90    | —       | 105   | —       | 65  |
| VDE  | 50                | 80    | —       | —     | —       | —   |

ては、各国規格 (表 2.1) のとおりであるが、MS 形はもっとも過酷な IEC-158 AC<sub>4</sub> および VDE 3, 4 級に合格する。

(2) 開閉ひんばん度— JIS 1 号 1,200 回/時準拠で IEC の IV 号 1,200 回/時に合致し、BS の IV 号 600 回/時、VDC の D 号 500 回/時以上である。VDE, E 号 3,000 回/時に対しても十分実用可能である。

(3) 寿命— 電氣的、機械的寿命については表 2.2 のとおりで各国の最高級のクラスに適應する。

(4) 絶縁距離と沿面距離— 絶縁距離、沿面距離についてはヨーロッパ系とアメリカ系の規格では、かなり数値が相異しており設計時間問題となるが MS シリーズの MS-18 以上は絶縁距離 10 mm、沿面距離 14 mm 以上とし、小形機種 MS-10, 11 も絶縁距離 6.4 mm、沿面距離 10 mm 以上とし、表 2.3 に示すような適用区分となっている。

(5) 温度上昇— 表 2.4 に各国の操作電磁コイルの温度上昇の比較を示した。MS シリーズはこれらの規格値を十分満足する設計を行なっている。

### 3. 種類と仕様

MS 形電磁開閉器は 12 機種の基本形からなり、各基本形ごとに標準の閉鎖箱入りのもの、盤用の開放形のもの、あるいは電磁接触器がある。これらをそれぞれ非可逆式、可逆式として、各種の用途により使いわけをすることができる。表 3.1 にその種類と構成を示す。電磁開閉器 MS シリーズは 300 A までに 12 機種で種類が豊富であり、ほとんど各モータ定格ごとに、専用のスイッチが選択でき、使用上、経済的に有利であるが、これに加えて、さらに定格表示をレッド定格、グリーン定格の二本立てとして (表 3.3)、電磁開閉器の選択を用途に応じて、より合理的にかつ経済的に行ないうるように配

表 3.2 MS および MSO 形電磁開閉器の定格  
Ratings of type MS and MSO magnetic starters.

| 形 名                   |            |               | MS(0)-10 | MS(0)-11 | MS(0)-18 | MS(0)-25 | MS(0)-35 | MS(0)-50 | MS(0)-65 | MS(0)-80 | MS(0)-100 | MS(0)-150 | MS(0)-200 | MS(0)-300 |
|-----------------------|------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| レ<br>ッド<br>定<br>格     | 定格電流<br>A  | 220 V         | 11       | 11       | 18       | 25       | 35       | 50       | 65       | 80       | 100       | 150       | 180       | 300       |
|                       |            | 440 V         | 6        | 6        | 13       | 18       | 25       | 50       | 60       | 80       | 100       | 150       | 180       | 300       |
|                       |            | 550 V         | 5        | 5        | 10       | 14       | 20       | 40       | 50       | 65       | 80        | 120       | 150       | 300       |
|                       | 定格容量<br>kW | 200-<br>220 V | 2.2      | 2.2      | 3.7      | 5.5      | 7.5      | 11       | 15       | 19       | 25        | 37        | 45        | 75        |
|                       |            | 380-<br>550 V | 2.2      | 2.2      | 5.5      | 7.5      | 11       | 22       | 30       | 37       | 50        | 75        | 90        | 150       |
| グ<br>リ<br>ン<br>定<br>格 | 定格電流<br>A  | 220 V         | 12       | 12       | 20       | 35       | 48※      | 65       | 70       | 93       | 125       | 180       | 200       | 330       |
|                       |            | 440 V         | 7        | 9        | 15       | 20       | 35       | 60       | 65       | 85       | 110       | 165       | 200       | 300       |
|                       |            | 550 V         | 6        | 7        | 11       | 15       | 28       | 50       | 55       | 70       | 100       | 150       | 180       | 300       |
|                       | 定格容量<br>kW | 200-<br>220 V | 2.5      | 2.5      | 4.0      | 7.5      | 11       | 15       | 15       | 22       | 30        | 45        | 50        | 90        |
|                       |            | 380-<br>550 V | 2.5      | 3.7      | 5.5      | 7.5      | 15       | 30       | 30       | 37       | 55        | 90        | 100       | 150       |
| 定 格 通 電 容 量 A         |            |               | 12       | 15       | 20       | 35       | 48※      | 65       | 70       | 100      | 130       | 200       | 220       | 330       |

注) (1) グリン定格は MSO 形のみに適用。(3) 定格通電容量は接触器単体の箱入り、開放に適用できる。  
(2) ※印は別端子付きを示す。

表 3.3 レッド定格とグリーン定格  
Red rating and green rating.

| 定 格 区 分 | 電気の寿命<br>(標準使用) | 適 用                       |
|---------|-----------------|---------------------------|
| レッド定格   | 200~150 万回      | 標準箱入りまたはインテングなどを含む重負荷用    |
| グリーン定格  | 190~50 万回       | 開放形使用、かご形モータ標準負荷用、巻線形モータ用 |

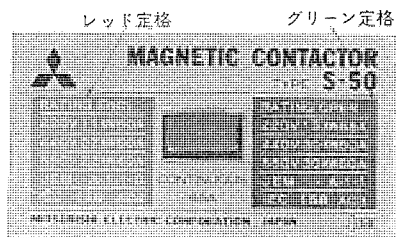


図 3.1 S-50 形電磁接触器の定格名板  
Nameplate of type S-50 contactor.

慮されている。

電磁開閉器 MS シリーズは、優秀な銀合金接点の採用、接点バウンスの防止、すぐれた消弧機構によるアーク時間の短縮により、電気の寿命が大幅に改善されて、非常に長寿命であり、標準閉鎖箱入りのレッド定格では電気の寿命が 150~200 万回にも達する。しかしながら用途によっては必ずしもこのような長寿命を必要としないばあいもあり、また温度的な制約がある程度緩和されれば、さらに定格を上げて使用することも可能となる。このような意味でグリーン定格を設けた。これをまとめると表 3.2 のようになる。

なおレッド定格、グリーン定格は名板にも赤および緑で色分けして表示されている。

#### 4. 構造と特長

##### 4.1 S 形電磁接触器の構造

水平動作の機構を採用し、簡単でコンパクトな構造にまとめられている。図 4.1~4.3 にその構造の一例を示す。構成部品は固定接触子と端子を取り付けたベース部分、可動鉄心と可動接触子をもつクロスバー部分および固定鉄心、操作電磁コイル、取付台部分からなっている。

S-18、25 は防じんを兼ねた簡易消弧板を、S-35~65 形には簡易消弧装置付 アークボックスを、S-80 形以上には デायオングリッド付 アーク

ボックスを備えている。

##### 4.1.1 接触子まわりの構造

S 形電磁接触器の接触子まわりは、固定接触子、アークバリヤ、アークボックスを利用して、全機種に一貫して閉鎖する構造を採用した。これは、(1)盤内で配線されるばあい、配線くずの開閉部への侵入に

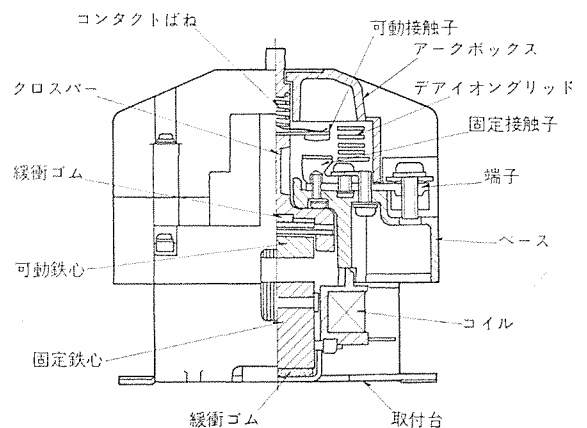


図 4.1 S-100 形電磁接触器の断面  
Cross sectional sketch of type S-100 contactor.

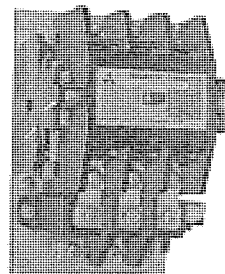


図 4.2 MSO-80 形電磁開閉器の外観  
Exterior view of type MSO-80 magnetic line starter.



図 4.3 S-80 形電磁接触器の部品  
Components of type S-80 contactor.

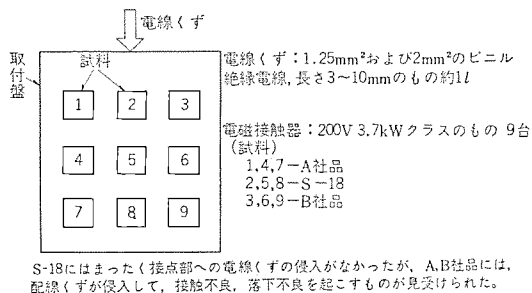


図 4.4 電線くずの散布試験  
Scattering test of wire scraps.

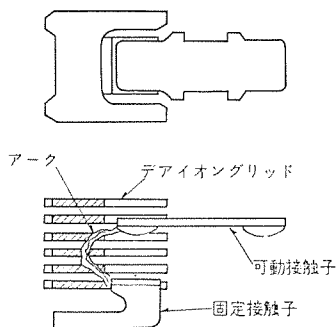


図 4.5 S 形電磁接触器 デアイオングリッドの構造  
Construction of De-iongrid in type S contactor.

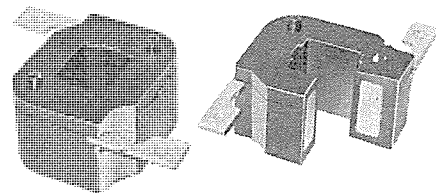


図 4.6 S-10 形電磁接触器のモールドコイル  
Molded coil of type S-10 contactor.

よる動作不良、接触不良などの事故の発生を防止し配線作業を容易にするためと、(2)電流しゃ断時にアークが外部に噴出することを極力おさえ、制御盤の取付けスペースをより縮小することを可能にし、また同時に取扱い上の安全性をも期待する意味がある。

配線くずに対する保護状況を他社品と比較して図 4.4 に示す。

また消弧装置はしゃ断する電流の大きさに合わせて変化させ、合理的な設計とした。S-80 形以上に採用しているデアイオングリッドは特に消弧性能にすぐれアーク時間短い。このグリッドの形状はグリッドを取り囲む形(図 4.5)となっており、接点間に発生したアークを短時間のうちに強制的に引き出して冷却し消弧するが、接点とグリッド間のギャップは多くの実験から割り出された寸法でアーク時間を最も短くおさえ、接点消耗に好影響を与えている。またこれら消弧板はモールドのバリヤをアークから保護している。

#### 4.1.2 電磁石部分

電磁石の鉄心の形状は EE 形および EI 形を主体として採用した。EI 形の鉄心形状では電磁石の効率は若干悪くなるが、(1)電磁石の投入時間を長くすること、(2)二段投入(電磁石の吸引力特性と、引きはずしばね、コンタクトばねによる反力特性のバランスが悪いと、ある電圧領域で、接点は閉路されるが電磁石が完全に吸引されないため、接触圧力 0 の状態を発生することがある。このようなばあいは接点の溶着事故に結びつく。)を防止すること、および(3)投入時の衝撃をできるだけ小さくし、盤面への影響を少なくすることなどの利点があり、あえて、この形状を採用した。電磁石の投入時間を長くすることは、可逆式のばあいに切換余裕時間が得られるのでアーク短絡を防止して、安全に切換動作ができ、実用上有利である。

また二段投入の防止は、電源側の事故やその他の原因による電圧降下が直接電磁接触器の事故に波及することを防止し、電磁接触器の信頼性を高いものとしている。

うなりの発生防止のためには、固定鉄心を若干動きうるように自由度をもたせ完全なフット構造として、鉄心の接極面が完全に密着するよう配慮している。

また操作コイルは S-80 形以上は 50 c/s, 60 c/s の周波数によりタップを切り換える方式とした。接触器が大形になると、どうしても投入時の衝撃が大きくなり、不利であるのでタップを設けたが、タップの切換方式は、ファストン端子により、コイルわくの部分で差し換える方法を採用し、コイルのリード線は 2 本で、配線上の統一性は三定格共用の小形のものから一貫している。

また大形機種については、投入落下時の繰返し、衝撃振動の電線に対する影響をなくするためサーモセットワックスによる真空含浸を採用

している。

さらに使用環境条件により特に信頼性を要求されるころではモールドコイルを準備し、要求に対して万全を期している。

#### 4.1.3 可逆式の構造

MS シリーズの可逆式電磁開閉器・接触器は、補助接点による電気的インターロックと、機械的インターロック(11 形は除く)を併用している。

可逆式電磁開閉器・接触器は電動機の正逆運転、逆相制動、その他の用途に使用されるが、いずれのばあいでも、正逆両方の接触器が同時に投入されることは、短絡事故となるので絶対に許されない。インターロックはこれの防止のために使用される。このインターロックに要求される性能をまとめるとつぎのようになる。

(1) 片側の接触器が吸引されているとき、または接点溶着などの事故発生時、他方の接触器が誤投入されることを防止する。

(2) 正逆切換時間の確保。

(3) 正逆両接触器が同時に誤投入されたばあいの接点同時接触による短絡の防止。

可逆式電磁開閉器・接触器は通常、電気的インターロックのみでも問題があるわけではないが、他の要因が重なると短絡事故を発生する可能性をもっている。たとえば、ホイスの操作の誤りで、ストップに衝突されたばあい、開放側の接触器も衝撃で接点が閉じ、短絡事故を発生した事例が報告されている。また両方の接触器が開放状態で、誤って正逆両方の起動押しボタンを同時に押したばあいには、電気的インターロックがあっても、慣性で接点が同時接触し、短絡事故に至るばあいがある。あるいはまたシーケンス上の事故などにより発生するばあいもあり、可逆式のもので、機械的インターロックの併用は、工場の保守関係者によりその必要性が望まれている。

MS シリーズに使用されている機械的インターロックは、いかなるばあいでも完全に正逆接触器の同時投入を防止する非常に信頼性の高いものである。その構造の概略を図 4.7 に示す。図からわかるようにきわめて簡単な構造である。これは、複雑な構造のものは動作不良の原因となりやすく、信頼性を高めるべき機械的インターロックが故障の原因となってしまう意味がなくなるからである。図の機械的インターロックは正逆両接触器を電気的インターロックを取りはずして同時に励磁しても、可動部の動きうる距離は 1~2 mm 程度であり、また一方の接触器が投入されているときは、他方の可動部はほとんど動かず、したがって正逆両接触器の接点が同時接触をおこすことはまったくなく、インターロックとして、完全にその性能を発揮する。またインターロックのレバーにはナイロン樹脂を使用しており、摩耗は低

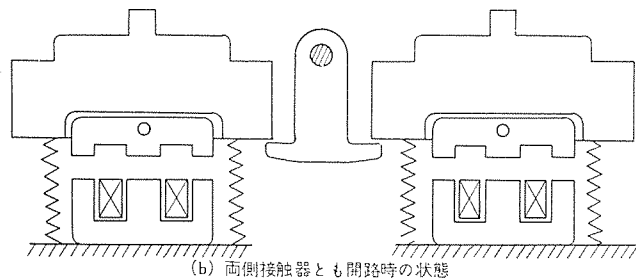
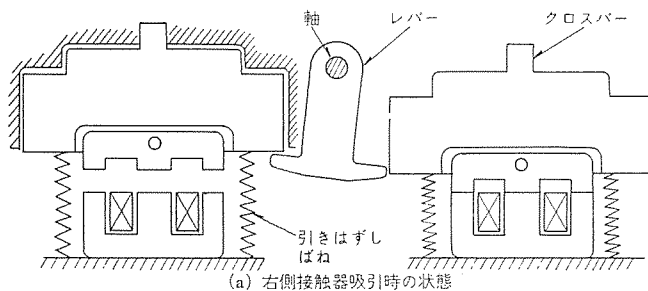


図 4.7 機械的インタロックの構造  
Operating mechanism of mechanical interlock.

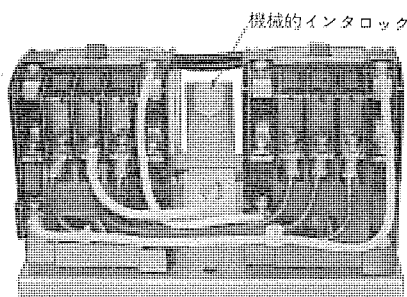


図 4.8 S-2×18 形電磁接触器  
Type S-2×18 reversing contactor.

とどなく、接触器の全開閉寿命を通じて、その性能を完全に維持している。

## 4.2 特長の要約

- (1) 高性能……400 V 適用容量の増大
- (2) 長寿命……電氣的にレッド 定格 200~150 万回，グリーン 定格 100~50 万回
- (3) 安全性……電流しゃ断時のアークの閉鎖，可逆式の機械的インタロック 併用
- (4) 小形軽量
- (5) 豊富な種類
- (6) 使いやすさ
- (7) 国内外の各種の規格に準拠

## 5. 特性試験

### 5.1 動作特性

MS シリーズ 各機種の動作電圧・操作電磁 コイルの特性をまとめて、表 5.1 に、また動作時間を表 5.2 に示す。電磁接触器の動作時間は操作電磁 コイルへの印加電圧の大きさ および印加される電圧の投入位相により相当に変化する。印加電圧の大きさによる影響は電磁石の吸引力がほぼ電圧の 2 乗に比例するので、これにしたがって動作時間が増減する。この変化の様子を図 5.1 に一例として示す。また投入位相を変えたばあいの動作時間の変化の一例を図 5.2 に示す。投入位相の変化により動作時間が変わる原因は、投入時の過渡電流に含まれる直流分の大きさが変わるためで、直流分の含まれ

表 5.1 S 形電磁接触器の動作電圧，操作電磁 コイル 特性  
Operating voltage and characteristics of operating magnetic coil of type S contactors.

| 形 名   | 補助接点    | 吸引電圧 V  |         | 落下電圧 V  |         | 操作電磁コイル特性   |           |     |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|-----------|-----|
|       |         | 60 c/s  | 50 c/s  | 60 c/s  | 50 c/s  | 入 力<br>VA W | 電 流<br>mA |     |
| S-10  | 1 a     | 130~152 | 115~183 | 89~122  | 74~114  | 9.5         | 2.3       | 43  |
| S-11  | 1 a 1 b | 144~152 | 124~132 | 98~108  | 82~62   | 9.5         | 2.8       | 43  |
| S-18  | 1 a 1 b | 148~156 | 134~142 | 110~120 | 92~100  | 15          | 4.3       | 68  |
|       | 2 a 2 b | 142~148 | 124~130 | 112~126 | 98~108  |             |           |     |
| S-25  | 1 a 1 b | 152~160 | 136~146 | 120~130 | 94~105  | 26.5        | 6.5       | 120 |
|       | 2 a 2 b | 140~150 | 124~133 | 124~130 | 100~112 |             |           |     |
| S-35  | 2 a 2 b | 142~152 | 130~140 | 125~135 | 115~130 | 26.5        | 6.5       | 120 |
| S-50  | 2 a 2 b | 153~162 | 130~138 | 125~137 | 108~120 | 44          | 9.5       | 200 |
| S-65  | 2 a 2 b | 153~162 | 130~138 | 125~137 | 108~120 | 44          | 9.5       | 200 |
| S-80  | 2 a 2 b | 156~166 | 146~158 | 130~146 | 120~136 | 66          | 13        | 300 |
| S-100 | 2 a 2 b | 158~165 | 148~158 | 128~140 | 122~134 | 92          | 23        | 420 |
| S-150 | 2 a 2 b | 152~160 | 144~150 | 106~120 | 96~110  | 150         | 33        | 680 |
| S-200 | 2 a 2 b | 152~160 | 144~150 | 106~120 | 96~110  | 150         | 33        | 680 |

注) 操作電磁コイルの特性は 200 V 50 c/s, 200~220 V 60 c/s 3 定格コイルで 200 V 60 c/s での平均値で示す。

表 5.2 S 形電磁接触器の動作時間  
Operating time of type S contactor.

単位 ms

| 形 名      | コイル ON から<br>主接点 ON まで | コイル OFF から<br>主接点 OFF まで |
|----------|------------------------|--------------------------|
| S-10     | 11                     | 8.5                      |
| S-11     | 14                     | 9                        |
| S-18     | 13                     | 8                        |
| S-25     | 16                     | 9                        |
| S-35     | 19                     | 10                       |
| S-50, 65 | 20                     | 11                       |
| S-80     | 22                     | 12                       |
| S-100    | 23                     | 13                       |
| S-150    | 25                     | 15                       |

注) 200 V 50 c/s 200~220 V 60 c/s コイルで 220 V 60 c/s の投入位相 0°, 90° の平均値で示す。

る割合が大きいくほど動作時間は短くなる傾向がある。

直流分が最も多くなるのは電圧の投入位相が 0° のときで、動作時間の傾向は直流分に大きく影響されることが図 5.2 から判断できる。

電磁接触器の動作時間は、このように印加電圧およびその投入位相により変化するため、動作時間を重視する用途では、電圧変動をなくし、さらに重要な場合は投入位相をも制御する必要がある。

また 4.1.2 項で若干のべたが、いわゆる二段投入動作については、設計上大きな考慮をはらっている。この現象を図 5.3 で説明すると吸引(1)および落下(1)の特性をもつ操作電磁石では、可動部は最終吸引状態または最終落下状態まで動き、途中で止まることはないが、吸引(2), 落下(2)の特性をもつような操作電磁石では、ある電圧範囲で、引きはずしばねおよびコンタクトばねによる反

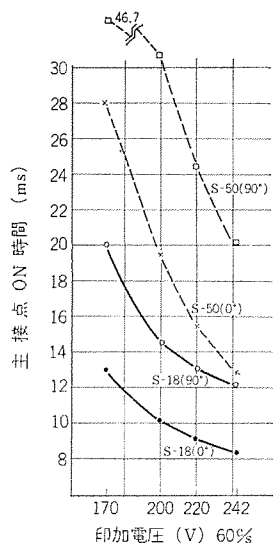


図 5.1 印加電圧と動作時間の関係  
Relations between applied voltage and making time of main contacts (type S-18 and S-50).

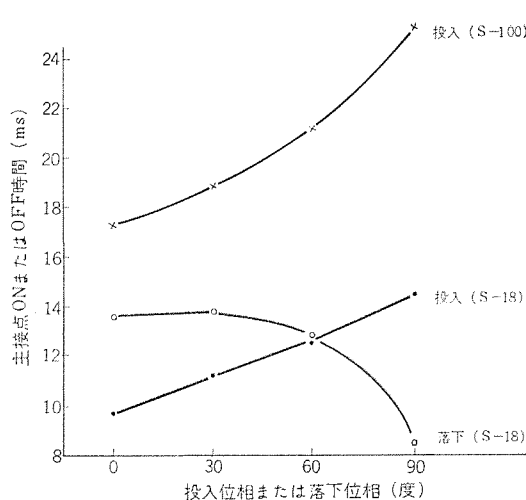


図 5.2 投入位相 (または落下位相) と主接点 ON (または OFF) 時間の関係  
Relations between energizing (or deenergizing) phase and making (or breaking) time of main contacts.

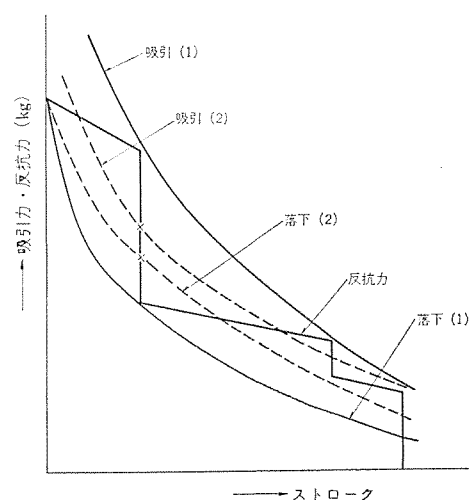


図 5.3 電磁接触器の吸引力、反抵抗力特性  
Force-displacement diagram of magnetic contactor.

表 5.3 MS 形電磁開閉器の温度上昇 Temperature rise of type MS magnetic starter.

|       |                      | JIS 規格                       | MS-10 | MS-11 | MS-18 | MS-25 | MS-35 | MS-50 | MS-65 | MS-80 | MS-100 | MS-150 | MS-200 | MS-300 |
|-------|----------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| コイル   | 抵抗法                  | $\frac{A}{E} \frac{85}{100}$ | 50.9  | 63.4  | 70.4  | 70    | 66.2  | 71.8  | 72.3  | 72.5  | 68.4   | 68.0   | 70.2   | 76     |
|       | 温度計法                 | $\frac{A}{E} \frac{65}{80}$  | 47.3  | 55    | 58.4  | 65    | 61.9  | 60.3  | 64.0  | 61.5  | 59.1   | 58.6   | 61.5   | 70     |
| 可動接触子 |                      | 75                           | 35    | 37    | 57    | 51    | 45    | 45.3  | 59.1  | 56    | 51     | 56     | 60     | 51     |
| 電源側端子 |                      | 50                           | 30.4  | 33.5  | 40    | 41    | 42.2  | 37.2  | 45.0  | 48.0  | 45     | 48     | 47     | 46     |
| 負荷側端子 |                      | 50                           | 30.2  | 43.1  | 48    | 41    | 47.3  | 43.3  | 46.4  | 47.0  | 46     | 37     | 40     | 34     |
| 試験条件  | 主回路電流 A              | 定格                           | 11    | 11    | 18    | 26    | 35    | 50    | 65    | 80    | 100    | 150    | 180    | 300    |
|       | コイル電圧 V              | 定格                           | 200   | 200   | 200   | 220   | 200   | 200   | 200   | 220   | 220    | 220    | 220    | 220    |
|       | 周波数 c/s              | 定格                           | 50    | 50    | 50    | 60    | 50    | 50    | 50    | 60    | 60     | 60     | 60     | 60     |
|       | ヒータ定格 A              | —                            | 11    | 11    | 18    | 26    | 34    | 56    | 67    | 80    | 107    | 160    | 190    | 330    |
|       | 接線電線 mm <sup>2</sup> | (主回路)                        | 2     | 2     | 3.5   | 5.5   | 8     | 14    | 22    | 30    | 38     | 60     | 100    | 150    |

表 5.4 MSO 形電磁開閉器の温度上昇 Temperature rise of type MSO magnetic starter.

|       |                      | JIS 規格                       | MSO-10 | MSO-11 | MSO-18 | MSO-25 | MSO-35 | MSO-50 | MSO-65 | MSO-80 | MSO-100 | MSO-150 | MSO-200 | MSO-300 |
|-------|----------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| コイル   | 抵抗法                  | $\frac{A}{E} \frac{85}{100}$ | 45.0   | 56.0   | 62.4   | 61.8   | 58.3   | 65.2   | 65.8   | 64.9   | 61.5    | 62.0    | 63.8    | 68      |
|       | 温度計法                 | $\frac{A}{E} \frac{65}{80}$  | 42.1   | 48.3   | 53.6   | 58     | 52.5   | 55.3   | 56.1   | 53.2   | 53.4    | 51.7    | 52.1    | 61      |
| 可動接触子 |                      | 75                           | 24     | 27.0   | 43.0   | 40     | 48     | 55.0   | 58.0   | 50.0   | 47      | 49.2    | 50.6    | 47      |
| 電源側端子 |                      | 50                           | 20.5   | 22.0   | 29.0   | 35     | 38.7   | 35.2   | 37.3   | 38.5   | 33.6    | 37.8    | 38.0    | 39      |
| 負荷側端子 |                      | 50                           | 26.4   | 40.0   | 31.0   | 26     | 39.0   | 37.4   | 39.0   | 39.1   | 37.5    | 35.4    | 37.3    | 32      |
| 試験条件  | 主回路電流 A              | 定格                           | 11     | 12     | 20     | 35     | 48     | 65     | 70     | 93     | 125     | 180     | 200     | 330     |
|       | コイル電圧 V              | 定格                           | 200    | 200    | 200    | 220    | 200    | 200    | 200    | 220    | 220     | 220     | 220     | 220     |
|       | 周波数 c/s              | 定格                           | 50     | 50     | 50     | 60     | 50     | 50     | 50     | 60     | 60      | 60      | 60      | 60      |
|       | ヒータ定格 A              | —                            | 11     | 11     | 22     | 34     | 48     | 67     | 67     | 80     | 130     | 190     | 190     | 330     |
|       | 接線電線 mm <sup>2</sup> | (主回路)                        | 2      | 2      | 3.5    | 8      | 14     | 22     | 22     | 38     | 50      | 100     | 100     | 200     |

抗力と電磁石の吸引力とがバランスして、接点は接触しているが、接触圧力が加わらない状態 (図 5.3 では ×印 で示す) が発生する。二段投入、二段落下現象は、通常の使用状態では、特に問題となる現象ではないが、何らかの原因で、ゆるやかであるが大きい電圧降下とか、あるいは電圧降下後のゆるやかな電圧回復があったばいなどにおいて発生し、これが接点の溶着に結びつくことに問題がある。MS シリーズではこれらの点を考慮し、二段投入、二段落下現象が発生しないよう、特性的なバランスを計った。

## 5.2 温度上昇

### 5.2.1 各部の温度上昇

電磁開閉器各部の温度上昇は主回路に最大適用電動機の全負荷電流に相当する電流を通電し、操作電磁コイルには定格電圧を印加して行なわれる。

標準閉鎖箱入形 (MS 形) および開放形 (MSO 形) における各部の温度上昇の一例を表 5.3 および表 5.4 に示す。また各部の温度上昇曲線の一例を図 5.4 に示す。

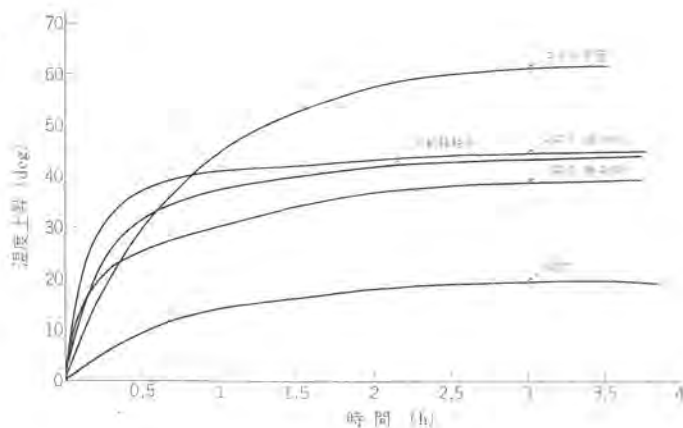


図 5.4 MS-35 形電磁開閉器の温度上昇曲線  
Temperature rise curves of type MS-35 magnetic starter.

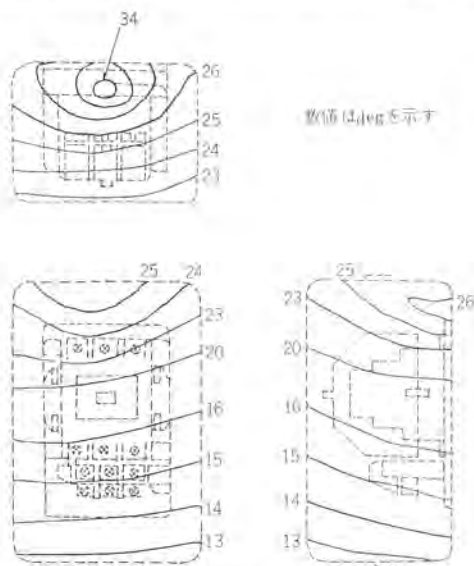


図 5.5 MS-100 形電磁開閉器箱内の温度分布  
Temperature rise distribution in the enclosure of type MS-100 magnetic starter.

表 5.5 端子部およびその周囲の温度上昇  
Temperature rise of the terminals and their surroundings.

| 形 名    | 端 子   |       | 端 子 の 周 囲 |       |
|--------|-------|-------|-----------|-------|
|        | 電 源 側 | 負 荷 側 | 電 源 側     | 負 荷 側 |
| MS-10  | 30.4  | 30.2  | 22.6      | 22.6  |
| MS-11  | 33.5  | 43.1  | 27.1      | 26.8  |
| MS-18  | 40.4  | 48.0  | 26.0      | 21.6  |
| MS-35  | 42.2  | 47.3  | 27.5      | 19.5  |
| MS-65  | 45.0  | 46.4  | 28.4      | 19.6  |
| MS-80  | 49.1  | 39.7  | 32.5      | 24.3  |
| MS-100 | 45.0  | 43.0  | 28.2      | 16.5  |
| MS-150 | 48.0  | 37.0  | 30.4      | 24.0  |

## 5.2.2 箱内およびコイル内部の温度分布

MS シリーズの各部の温度上昇は標準閉鎖箱入りで確認されるが、箱内の温度上昇は位置により相当の差がある。箱内の温度上昇の分布の一例を図 5.5 に示す。また端子まわりのみの各機種についての温度上昇の結果を表 5.5 に示す。

端子の周囲の温度上昇は、電磁開閉器をレッド定格で使用したばかりの程度の温度上昇まで許容されるかを知るためであるが、結果からみて、盤内の温度上昇は 15~25 deg (盤内温度で 55~65°C) 程度まで使用可能となる。なおグリーン定格のときは、盤内温度 50°C

表 5.6 コイルの温度上昇  
Temperature rise of operating coil.

| 形 名    | コイル表面温度上昇 | 抵抗法温度上昇 | コイル内部最高温度上昇 |
|--------|-----------|---------|-------------|
| MS-10  | 47.3      | 50.9    | 58.8        |
| MS-11  | 55.0      | 63.4    | 70.2        |
| MS-18  | 58.4      | 70.4    | 73.7        |
| MS-35  | 61.9      | 66.2    | 69.9        |
| MS-50  | 60.3      | 71.8    | 75.7        |
| MS-80  | 61.5      | 72.5    | 79.0        |
| MS-100 | 59.1      | 68.4    | 77.4        |
| MS-150 | 58.6      | 68.0    | 78.5        |

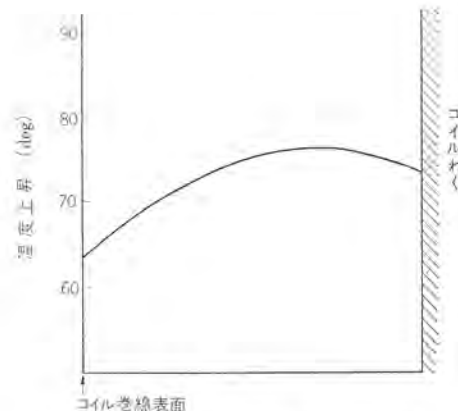


図 5.6 S-50 形コイル内部の温度分布  
Temperature rise distribution of operating coil interior (type S-50 contactor).

(最大 55°C) 以下を基準としている。

コイルの温度上昇は、JIS 規格の抵抗法では A 種 85 deg 以下、E 種 100 deg 以下、温度計法では A 種 65 deg 以下、E 種 8.0 deg 以下と規定されている。また外国の規格値を表 2.4 に示したが抵抗法で A 種 75~90 deg と大差はない。

しかしこれらはコイルが取換消耗部品であるとの考え方にたっているため、問題なしとはいえない。したがって MS シリーズでは、コイルの温度上昇の設計はつぎの考え方を採用した。すなわち

(1) 温度計法による温度上昇 (コイル表面の温度上昇) は A 種絶縁の限界 65 deg 以下におさえる。

(2) コイル巻線には絶縁階級 E 種に相当する PEW 線を使用するが、巻線内部の温度上昇も、80 deg 以下 (周囲温度 40°C とし E 種の最高許容温度 120°C 以下) におさえる。

(3) 抵抗法による温度上昇は、コイル内部の温度上昇を勘案して、75 deg 以下におさえる。

これらの条件を満足すればコイルの寿命は熱的に半永久的とすることができる。

コイル内部の温度上昇の分布はコイルの形状により変わるので、抵抗法による温度上昇の測定だけでは推定できない。したがって MS 形については全機種について、コイル内部の温度分布を測定した。結果を表 5.6 に示す。またコイル内部の温度分布の一例を図 5.6 に示す。コイル内部の最高温度はおよそのめやすとして、5~10 deg 程度抵抗法より高めている。

## 5.2.3 短時間温度上昇

電磁開閉器は電動機の制御に使用され、主接点には当然電動機の起動電流が流れる。かご形電動機の起動電流はじか入れ起動のときは全負荷電流の約 6 倍、スターデルタ起動のときは約 2 倍であるが、電

表 5.7 S 形電磁接触器の過電流許容通電時間  
Allowable time in over current of type S contactor.

| 電磁接触器<br>形 名 | 基準電流<br>(A) | 許 容 通 電 時 間 (s) <sup>(1)</sup> |       |       | 温度上昇<br>飽和値 deg |
|--------------|-------------|--------------------------------|-------|-------|-----------------|
|              |             | 4 倍電流                          | 5 倍電流 | 6 倍電流 |                 |
| S- 10        | 11          | 180                            | 65    | 28    | 約 40            |
| S- 11        | 12          | 120                            | 40    | 20    | 約 45            |
|              | 11          | 180                            | 64    | 28    | 約 40            |
| S- 18        | 20          | 190                            | 65    | 28    | 約 50            |
|              | 18          | 320                            | 110   | 54    | 約 45            |
| S- 25        | 35          | 75                             | 25    | 14    | 約 80            |
|              | 26          | 300                            | 100   | 45    | 約 60            |
| S- 35        | 48          | 70                             | 23    | 11    | 約 85            |
|              | 35          | 200                            | 68    | 30    | 約 60            |
| S- 50        | 65          | 75                             | 30    | 15    | 約 75            |
|              | 50          | 250                            | 80    | 35    | 約 50            |
| S- 65        | 70          | 80                             | 25    | 13    | 約 80            |
|              | 65          | 100                            | 38    | 19    | 約 70            |
| S- 80        | 93          | 140                            | 45    | 23    | 約 80            |
|              | 80          | 280                            | 95    | 42    | 約 60            |
| S-100        | 125         | 115                            | 40    | 23    | 約 70            |
|              | 100         | 350                            | 120   | 55    | 約 50            |
| S-150        | 180         | 100                            | 35    | 15    | 約 75            |
|              | 150         | 220                            | 75    | 35    | 約 50            |
| S-200        | 200         | 80                             | 30    | 15    | 約 75            |
|              | 180         | 120                            | 40    | 21    | 約 70            |
| S-300        | 350         | 85                             | 32    | 17    | 約 80            |
|              | 300         | 160                            | 50    | 28    | 約 60            |

注) (1) 常温から出発して接点の温度上昇が 110 deg に達するまでの時間を示す。

電磁接触器の接点はある一定時間以上これに耐えるものでなければならない。この時間については規格で規定したものはないが、S 形電磁接触器の過電流許容時間は表 5.7 に示すとおりのもつ。

表中の数値は、一応のめやすを示すもので、温度上昇も 110 deg の点でおさええているが、これを越えても短時間ならば実用上異常が起きるというものではなく、通常の使用状態では十分な許容時間をもっているため、特に問題とはならない。

### 5.3 閉路しゃ断特性

#### 5.3.1 閉路しゃ断電流量

電磁接触器のしゃ断電流量は JIS 規格には、最高級の A 級として、電動機の全負荷電流に相当する電流の 10 倍電流の CO 責務 5 回実施を規定しているが、S 形電磁接触器では CO 責務を 20 回以上実施し、性能を確認している。表 5.8 に S 形接触器の閉路しゃ断電流量を示す。また図 5.7 にしゃ断電流量試験のオシログラムの一例を示す。

また閉路電流量試験は、かご形電動機の起動時に閉路する起動電流の最大を想定して、JIS 規格には接点を許容消耗量の 3/4 を削った状態で、やはり定格電流の 10 倍を異常なく 100 回以上投入できることを規定している。S 形においては、消耗限界まで接点を削って、レッド定格では 12 倍、グリーン定格では 10 倍の電流で 200 回（操作コイル電圧 100 % E で 100 回と、85 %、110 % E で各 50 回）の閉路試験を実施し、溶着のないことを確認している。

#### 5.3.2 消弧室の構造と電流しゃ断特性

電磁接触器の電流しゃ断性能は、電流電圧条件および消弧室の構造により相当の影響を受ける。S 形電磁接触器の電流しゃ断時におけるアーク時間につきつぎにのべる。

電磁接触器において交流電流のしゃ断はアーク発生後電流がほぼ 0 点を通過する際にしゃ断される。三相交流電流においては電流の

表 5.8 S 形電磁接触器の閉路しゃ断電流量 (A)  
Making and breaking capacity of type S contactor.

| 形名    | S-10 | S-11 | S-18 | S-25 | S-35 | S-50 | S-65 | S-80 | S-100 | S-150 | S-200 | S-300 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 220 V | 120  | 120  | 200  | 350  | 480  | 650  | 700  | 930  | 1,250 | 1,800 | 2,000 | 3,300 |
| 440 V | 70   | 90   | 150  | 200  | 350  | 600  | 650  | 850  | 1,100 | 1,650 | 2,000 | 3,000 |
| 550 V | 60   | 70   | 110  | 150  | 280  | 500  | 550  | 700  | 1,000 | 1,500 | 1,800 | 3,000 |

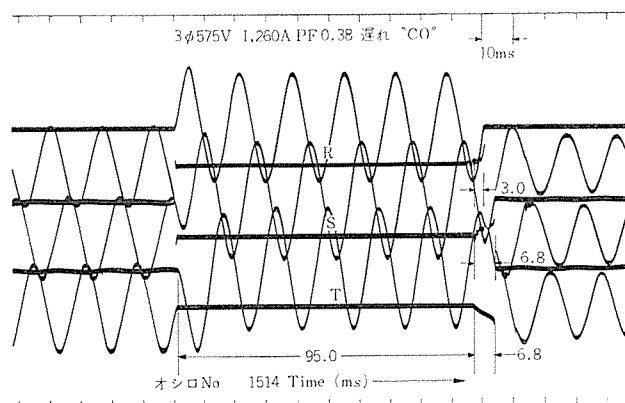


図 5.7 S-100 形電磁接触器のしゃ断電流量試験  
Interrupting capacity test oscillogram of type S-100 contactor.

しゃ断時間は、つぎの状態のどれかにあてはまる。

(1) アーク発生後、三相のうち最初に 0 点を通過する相が最初にしゃ断され、他の二相がこれに続いてしゃ断される。このばあいの最大アーク時間は、理論的に 60 c/s のとき 7 ms、50 c/s のとき 8.3 ms となる。

(2) 三相のうち 2 番目に 0 点を通過する相が最初にしゃ断され、他の二相がその後しゃ断される。これは最初の一相が 0 点を通過する時点では、回路電圧・電流条件に対して接点ギャップが小さく、再点弧するばあいに発生する [(3) 以下も同様]。このばあいの最大アーク時間は、60 c/s のとき 9.8 ms、50 c/s のとき 11.7 ms となる。

(3) 3 番目の 0 点を通過する相が最初にしゃ断されるばあい。アーク時間の最大は 60 c/s で 12.5 ms、50 c/s で 15 ms となる。

(4) 4 番目に 0 点を通る相が最初にしゃ断されるばあい。最大アーク時間は 60 c/s で 15.3 ms、50 c/s で 18.3 ms となる。

回路電圧 220 V における電流のしゃ断は、消弧室の形状にあまり影響されず、接点ギャップだけで (1) の状態でほとんど確実にしゃ断される。このことは S 形電磁接触器においても十分確認されている。しかし回路電圧が 440 V、550 V になると電流のしゃ断は 220 V 回路のように接点ギャップのみでしゃ断することは困難で、消弧室の形状が影響するようになる。S 形においては適確な消弧室の採用により、概念的に言って 440 V 回路では大部分 (1) または (2) の状態でしゃ断され、電流の大きさおよび位相によっては、(3) の状態となることがあるが、アーク時間の最大は 60 c/s で 12.5 ms 程度である。さらに 550 V 回路では消弧装置の構造が悪いと (4) の状態を越えるものがあるが、S 形電磁接触器では大容量のものには デイオングリッドを採用し、アーク時間の短縮を計る構造として、アーク時間は 1 サイクル以下でしゃ断できるよう配慮されている。図 5.8 に S-100 形の 440 V 各電流におけるアーク時間を示す。440 回路では電流はすべて (1) の状態でしゃ断されている。また単極しゃ断の状態を見ても、しゃ断性能が非常に安定していることがわかる。

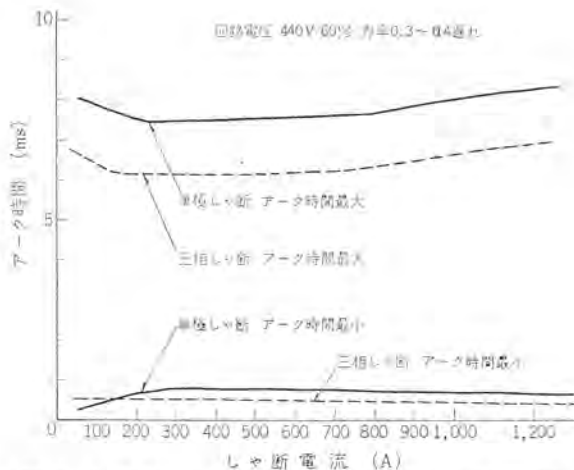


図 5.8 S-100 形電磁接触器しゃ断電流-アーク時間特性  
Interrupting current-arcing time curves of type S-100 contactor.

表 5.9 MS 形電磁開閉器の耐溶着性と耐溶断電流  
Permissible current of type MS magnetic starter in a short circuit.

耐溶着許容電流  
(通電時間 10 ms)

耐溶断許容電流  
(通電時間 10 ms)

| 形 名   | 許容電流 A | 形 名            | 許容電流 A |
|-------|--------|----------------|--------|
| S-10  | 1,000  | TH-10 (9 A)    | 2,200  |
| S-11  | 1,100  | TH-18 (15 A)   | 3,200  |
| S-18  | 1,300  | TH-35 (30 A)   | 6,500  |
| S-25  | 1,500  | TH-50 (56 A)   | 11,000 |
| S-35  | 1,800  | TH-100 (107 A) | 22,000 |
| S-50  | 2,100  |                |        |
| S-80  | 2,300  |                |        |
| S-100 | 2,900  |                |        |
| S-150 | 3,400  |                |        |

#### 5.4 短時間通電と耐溶着性

一般に電磁開閉器では、定格電流の10倍を越える電流に対しては、その性格上保証範囲外であり保証していない。したがってこれを越える電流に対しては、配線用しゃ断器あるいはヒューズを組み合わせ使用し、これにより保護を行なっている。しかしこれら自動しゃ断器を使用しても電磁開閉器にはそのしゃ断時間の間は大電流が流れるわけであり、これら大電流が短時間流れたばあいの影響を、電磁開閉器 MS シリーズにつき検討した。結果を表 5.9 に示す。大電流の短時間通電により電磁開閉器に発生する問題は、電磁接触器の接点溶着とサマルレーのヒータ溶断である。接点の溶着は通電時間 1/2 サイクルとして、電磁接触器の大きさによるが定格の20倍から100倍の電流が流れる時点から発生し始め、容量の小さいものほど、溶着し始める電流の定格に対する倍率が高い傾向にある。

#### 5.5 可逆式電磁開閉器、接触器の切換動作

可逆式電磁開閉器・接触器は通常電氣的または機械的インターロックをつけて事故防止を計っているが、S-2X 形電磁接触器、MSO-2X 形電磁開閉器では、前述したような目的で、電氣的および機械的インターロックを併用して、事故防止に万全を期している。

b 接点で相互に電氣的インターロックをとり、スナップスイッチで瞬時切換操作をしたばあいの動作説明図を図 5.9 に示す。また実際に瞬時切換しゃ断試験を実施したオシログラムの一例を図 5.10 に示す。これらの図の時間 E を無通電余裕時間と称し、一方の電磁接触器の電流をしゃ断してから、他の電磁接触器の接点に電流が流れるまでの時間を表わしている。S-2X、MSO-2X 形では、定格の10倍の

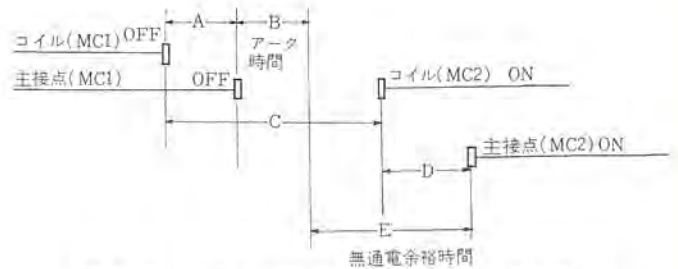


図 5.9 可逆形電磁接触器の切換時間の説明  
Schematic diagram of change-over time of reversing contactors.

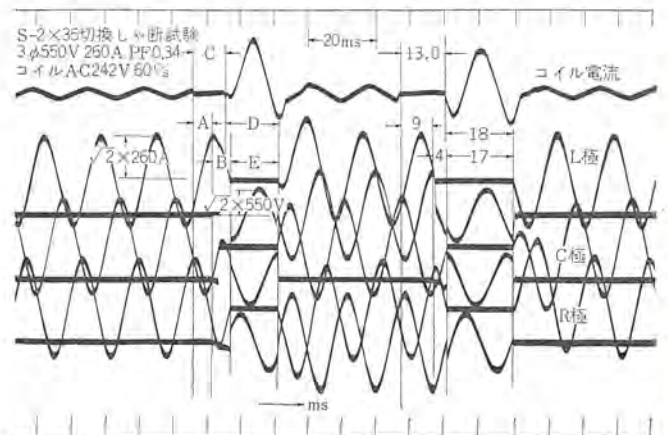


図 5.10 S-2×35 可逆形電磁接触器切換しゃ断試験 オシログラム  
Oscillogram of change-over interrupting test at type S-2×35.

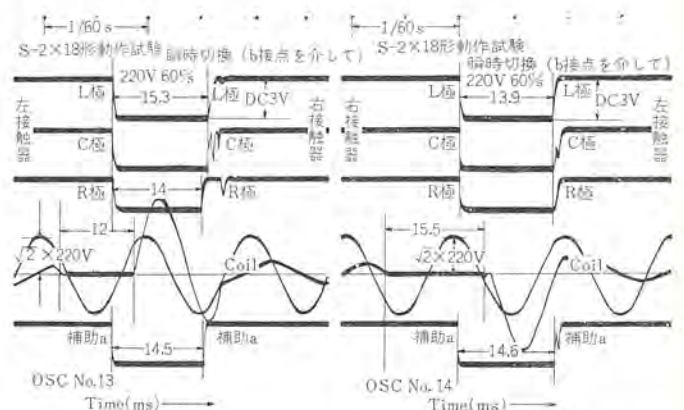


図 5.11 S-2×18 可逆形電磁接触器瞬時切換動作 オシログラム  
Oscillogram of momentary change-over operations at type S-2×18.

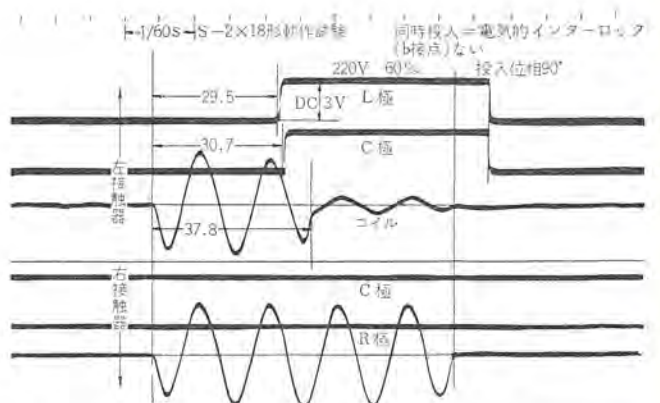


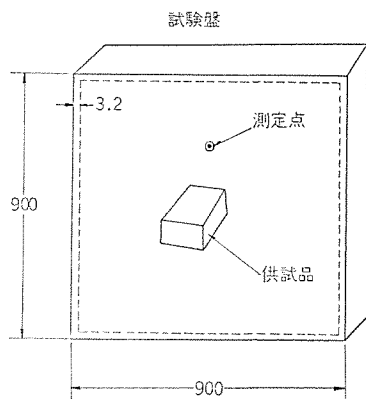
図 5.12 S-2×18 可逆形電磁接触器同時励磁動作 オシログラム  
Oscillogram of simultaneous operations at type S-2×18.

表 5.10 MSO 形電磁開閉器振動試験条件  
Vibration test condition of type MSO magnetic starter.

| 試験項目      | 試験条件              |
|-----------|-------------------|
| 共振点調査試験   | 10~50 c/s 1 G     |
| 定振動耐久試験   | 16.7 c/s 複振幅 4 mm |
| 可変振動数耐久試験 | 5~30 c/s 複振幅 2 mm |

表 5.11 S 形電磁接触器の投入落下衝撃値  
Shock value of type S contactor in the case of picking up or dropping out.

| 形名    | 投入   | 落下  |
|-------|------|-----|
| S-10  | 2.7  | 2.0 |
| S-11  | 2.7  | 2.0 |
| S-18  | 3.0  | 3.0 |
| S-25  | 3.3  | 3.7 |
| S-35  | 3.3  | 4.0 |
| S-50  | 4.0  | 4.5 |
| S-65  | 4.5  | 4.5 |
| S-80  | 5.0  | 5.1 |
| S-100 | 7.5  | 5.5 |
| S-150 | 8.5  | 5.7 |
| S-200 | 8.5  | 5.7 |
| S-300 | 10.0 | 9.0 |



しゃ断試験でもこの余裕時間が十分あることを確認している。

図 5.11 および図 5.12 は、可逆式の瞬時切換動作試験および b 接点で電気的インターロックをとらなければいけぬの同時励磁動作試験のオシログラムを示す。

## 5.6 振動、衝撃試験

### 5.6.1 振動試験

振動試験は⑨艦船用電気機器振動試験 NDSXF 8017 を参考にし、表 5.10 に示す条件で各機種試験を実施し、誤動作および異常のないことを確認した。

### 5.6.2 衝撃試験

衝撃試験は、一般的な制御盤に取り付け、他の大形の電磁接触器の投入落下時の衝撃 (12 G 程度) を受けるものと想定してこの衝撃を加え、0.1 ms 以上の接点開離のないことを確認した。また各機種を制御盤に取り付けたばあい、どの程度の衝撃を制御盤に与えるかを測定した。結果を表 5.11 に示す。

## 5.7 環境特性

電磁開閉器が使用される周囲条件は千差万別であり、この周囲条件により、とくにモールド形電磁開閉器の特性、性能はかなりの影響を受ける。一般に標準使用条件とは、

周囲温度  $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$

相対湿度 RH 70 % 以下

標高 1,000 m 以下

を言うが、これらの条件範囲内でも電磁開閉器に使用されている合成樹脂は、経年変化、吸湿および乾燥を繰り返し、寸法変化を起こす。フィールドにおいて長期間使用されたばあいのモールドの変形による特性、性能の変化を、工場試験でいかに等価的、かつ短期間に実施するかは課題は、旧 EM 形電磁開閉器以来研究を重ねた結果、その試験条件を確立し、これを MS 形電磁開閉器に適用して、特性・性能に変化のないことを試験確認した。その条件をつぎにあげる。

- (a) 加熱乾燥試験……周囲温度  $120^{\circ}\text{C}$ 、RH 15 % 以下、16 時間  
間之常温、常湿、8 時間
- (b) 吸湿試験……周囲温度  $50^{\circ}\text{C}$ 、RH 95~100 %、16 時間  
間之常温、常湿、8 時間
- (c) 高温高湿中の寿命試験……周囲温度  $50^{\circ}\text{C}$ 、RH 95~100 %  
32 時間または 8 時間運転之周囲温度  $50^{\circ}\text{C}$ 、RH 95~100 %  
16 時間休止

## 6. 寿命

### 6.1 電気的寿命

#### 6.1.1 試験基準と結果

電磁接触器の電気的寿命は、開閉回数何万回と称呼されるが、これは実際の電動機負荷で実施されるのではなく、抵抗とリアクトルを組み合わせた等価負荷で、定格電流の 5 倍 (おくれ力率 0.3~0.4) を投入し、定格電流 (おくれ力率 0.6~0.7) をしゃ断するという JIS 規格に規定されている責務で通常確認されている。(図 6.1 参照)

また寸動責務のときは定格電流の 5 倍 (おくれ力率 0.3~0.4) を投入、しゃ断するという責務で確認される。

寿命の限界をどこに置くかは、規格にはなんら示されていないが、S 形においてはつぎのような基準を設けて実施している。

- (1) 接点の許容消耗量を接点重量の 40 % とする  
オーバトラベルの減少は 50 % 程度
- (2) 試験後の耐電圧は、200 V 回路で 2,000 V、400~550 V 回

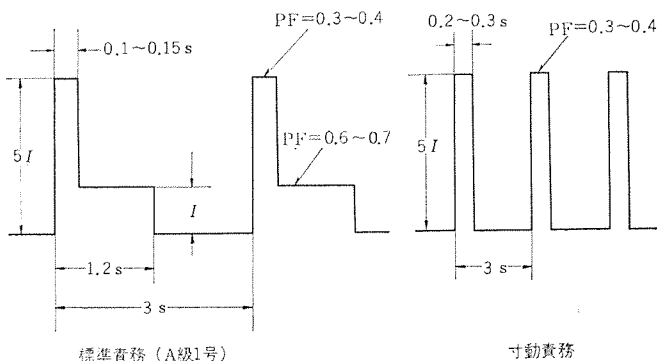


図 6.1 電気的寿命試験責務の例  
Example of electrical endurance test duty.

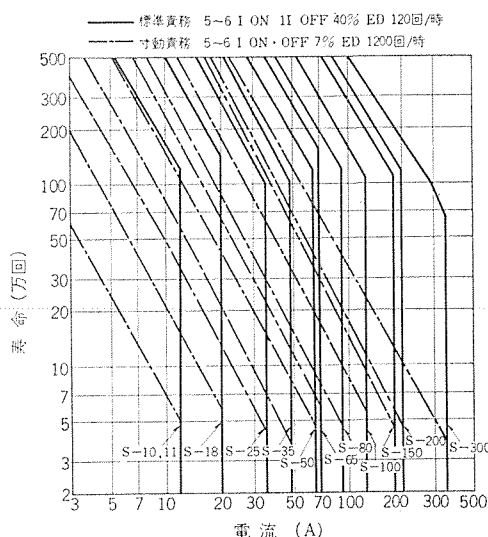


図 6.2 S 形電磁接触器 3φ 200~220 V における寿命  
Electrical life of type S contactor in 3 phase 200~220 volts circuit.



図 6.3 S-18 および S-80 形電氣的寿命試験後の接点  
Contacts of types S-18 and S-80 contactors after electrical endurance test.

表 6.1 S-50 形の電氣的寿命のばらつき  
Irregularity of the electric life of type S-50 contactor.

| 電 氣 的 寿 命     | 台 数 (試料 10 台) |
|---------------|---------------|
| 170 万 回 の も の | 1             |
| 180 万 回 の も の | 1             |
| 190 万 回 の も の | 3             |
| 200 万 回 の も の | 3             |
| 210 万 回 の も の | 2             |

路で 2,500 V に 1 分以上耐えること

### (3) 試験後の各部の絶縁抵抗は 1MΩ 以上のこと

上記のような基準で電氣的寿命試験を実施した結果を図 6.2 に示す。試験後の耐電圧は S 形についてはもちろん十分耐える。また各部の絶縁抵抗も 100MΩ 未満ものは皆無であり、良好な結果を得ている。

### 6.1.2 接点寿命に対する考察

接点の電氣的寿命は、接点のオーパトラベルの大きさ、コンタクトばねの圧力、操作コイルの印加電圧、湿度その他によりある程度の影響を受ける。したがって接点の開閉寿命は製品間にある程度のばらつきをもつものであるが、S 形電磁接触器においては、接点のオーパトラベル、コンタクトばねの荷重を管理し、基準値内におさめて電氣的寿命のばらつきを極力おさえるよう努めている。S-50 形について、このばらつきの大きさの検討を行なった結果を一例としてつぎに記載する。

電氣的寿命のばらつきは、その性質上正規分布にしたがうと考えられる。試料 10 台につき試験した結果は表 6.1 のとおりであった。これから平均寿命  $\mu$  を求めると、

$$\mu = 194 \text{ (万回)}$$

また標準偏差  $\sigma$  は

$$\sigma = 13 \text{ (万回)}$$

以上の結果から試料の 85% 程度のは、180 万回以上の寿命をもつと言える。電氣的寿命は主観で判定すると、相当の個人差が出てきて、これがばらつきの原因となるが、当社としては 6.1.1 項で記したように、基準を明確にして電氣的寿命の管理を行なっている。

電磁開閉器の電氣的寿命はほぼ正規分布であり、また寿命のばらつきもさほど大きくないので、S 形では試験結果による平均寿命で表現されている。

### 6.2 機械的寿命

機械的寿命は主回路には無通電で開閉を繰り返す試験であるが、500~1,000 万回の寿命があるので、JIS 規格 1 号 (1,200 回/時) の開閉ひんばん度では長期間を要するため、一般には開閉ひん度を上げて実施される。S 形電磁接触器については、7,200 回/時、5% アップ電圧の 50 c/s で実施し、さらに一部の機種については、14,400 回/時の開閉ひんばん度でも寿命を確認している。1,200 回/時と 7,200 回/時の、開閉ひんばん度による寿命の差は、過去の実績で、ほとんどないことが判明しており、S 形においても一部の機種でこれを確認し、実証済みであるが、一般に開閉ひん度の高いほうが責務として過酷であるばあいが多い。

S 形電磁接触器は機械的寿命 500 万回~1,000 万回を称呼しているが、寿命試験は破壊試験であるので、もちろんすべての製品に対して実施して確認するわけではない。したがって確認は製品のサンプリングによって実施するのであるが、その寿命保証のために統計的管理を実施している。電磁接触器の機械的寿命はほぼワイブル分布となっており、管理方法としてはワイブル確率紙を利用している。寿命に対する考え方は、平均寿命を称呼するのではなく、90%信頼限界の開閉寿命をもって称呼するたてまとしている。

したがって平均寿命より数百万も長いために、称呼寿命が 500 万回でも、1,000 万回を越える開閉寿命をもつものも存在する。図 6.4 にワイブル確率紙の一例を示す。

電磁接触器の機械的寿命は、コイルの印加電圧に大きく影響される。

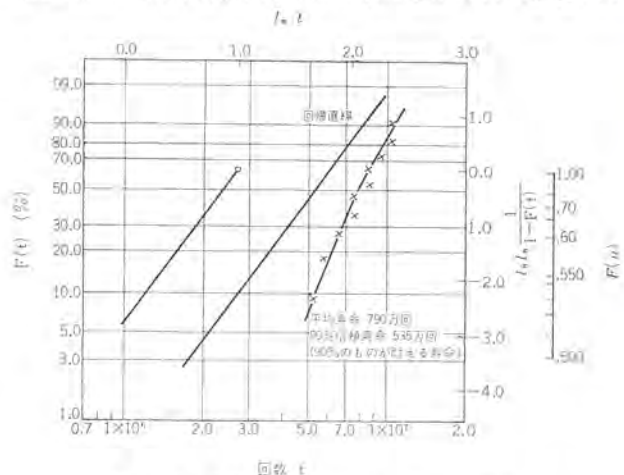


図 6.4 S-50 形電磁接触器の機械的寿命  
Mechanical life of type S-50 contactor.

表 6.2 MS 形電磁開閉器機械的寿命試験  
Mechanical endurance test results of type MS magnetic starter.

| 試 験 条 件          | MS-10       | MS-11 | MS-18 | MS-25 | MS-35 | MS-50 | MS-65 | MS-80 | MS-100 | MS-150 | MS-200 |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 試 験 電 圧 V        | 210         | 210   | 210   | 210   | 210   | 210   | 210   | 210   | 210    | 210    | 210    |
| 周 波 数 c/s        | 50          | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50     | 50     | 50     |
| 開 閉 ひん ば ん 度 回/時 | 7,200       | 7,200 | 7,200 | 7,200 | 7,200 | 7,200 | 7,200 | 7,200 | 7,200  | 7,200  | 7,200  |
| 吸 引 電 圧 V        | 開 始 前       | 130   | 130   | 140   | 147   | 150   | 134   | 137   | 150    | 153    | 150    |
|                  | 500 万 回 後   | 129   | 129   | 130   | 143   | 148   | 136   | 135   | 152    | 154    | 147    |
|                  | 1,000 万 回 後 | 130   | 124   | —     | —     | —     | —     | —     | —      | —      | —      |
| 助 磁 電 流 A        | 開 始 前       | 55    | 49    | 74    | 98    | 126   | 230   | 228   | 261    | 340    | 593    |
|                  | 500 万 回 後   | 50    | 41.5  | 67    | 85    | 102   | 160   | 161   | 180    | 220    | 374    |
|                  | 1,000 万 回 後 | 47    | 40    | —     | —     | —     | —     | —     | —      | —      | —      |

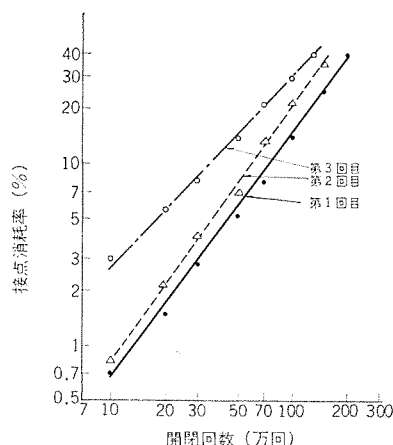


図 6.5 S-50 形電磁接触器の電気的寿命（接点のみ取換えを繰り返したばあいの接点消耗）  
Wearing of contacts at electrical endurance test when contacts are replaced.

表 6.3 S 形電磁接触器の性能  
Performance of type S contactors.

| 形 名                    | 電圧<br>V    | シャ断および<br>開路電流容量 |                 | 開閉ひん繁度     |             | 寿 命 (万回)   |             | 機 械 的 |
|------------------------|------------|------------------|-----------------|------------|-------------|------------|-------------|-------|
|                        |            | レッド<br>定 格       | グリーン<br>定 格     | レッド<br>定 格 | グリーン<br>定 格 | レッド<br>定 格 | グリーン<br>定 格 |       |
| S-10<br>S-11           | 220<br>440 | 定格電流の<br>12 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,800 回/時  | 1,200 回/時   | 150        | 120         | 1,000 |
| S-18                   | 220<br>440 | 定格電流の<br>12 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,800 回/時  | 1,200 回/時   | 170<br>200 | 140<br>150  | 500   |
| S-25<br>S-35           | 220<br>440 | 定格電流の<br>12 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,800 回/時  | 1,200 回/時   | 200        | 100<br>150  | 500   |
| S-50                   | 220<br>440 | 定格電流の<br>12 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,200 回/時  | 1,200 回/時   | 200<br>150 | 120<br>100  | 500   |
| S-65                   | 220<br>440 | 定格電流の<br>10 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,200 回/時  | 1,200 回/時   | 170<br>150 | 150<br>120  | 500   |
| S-80<br>S-100<br>S-150 | 220<br>440 | 定格電流の<br>12 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,200 回/時  | 1,200 回/時   | 150<br>150 | 120<br>120  | 500   |
| S-200                  | 220<br>440 | 定格電流の<br>10 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,200 回/時  | 1,200 回/時   | 150<br>120 | 120<br>100  | 500   |
| S-300                  | 220<br>440 | 定格電流の<br>10 倍以上  | 定格電流の<br>10 倍以上 | 1,200 回/時  | 1,200 回/時   | 100<br>60  | 60<br>60    | 500   |

注) 電気的寿命試験は使用率 40% で定格電流の 5 倍電流 (力率 0.3~0.4) を投入し、ただちに定格電流に低減して、定格電流 (力率 0.6~0.7) をシャ断するという責務 (JIS 規格) で実施する。

称呼寿命は本来 コイル に定格電圧を印加したばあいのものであるが、一般に電圧と機械的寿命の関係は、電圧が 10% アップすると寿命が半減するといわれている。したがってコイルの印加電圧はできるだけ定格値であるよう留意することが望ましい。ただし S 形電磁開閉器は、あえて 5% アップ電圧で試験しているの、定格電圧のもとでの開閉寿命の信頼度は、さらに高いものである。

表 6.2 に S 形電磁接触器の機械的寿命試験結果の一例を示す。

### 6.3 機械的寿命と電気的寿命の関連

電磁接触器の JEM 規格では、機械的寿命が電気的寿命の 10 倍であるものが同じ寿命のランクとして規定されている。これには (1) 電気的消耗部品を取り換えて使用するばあいと、(2) 定格より小容量で長期間使用するばあいとが考えられる。

S 形電磁接触器について定格より小容量で使用するばあいの寿命は図 6.2 に示されているが、接点を定格容量で使用し、取り換え

るばあいの経過の一例を図 6.5 に示す。接点を取り換えて使用するばあい、電気的開閉寿命は種々の要因のために若干短くなる傾向にある。一応基本的考えとして、標準責務による電気的寿命では、接点の取換え可能回数は、レッド定格の場合で 3~4 回と考えている。

## 7. 熱動過電流継電器

### 7.1 TH 形熱動過電流継電器の種類と特長

TH 形熱動過電流継電器は、MS または MSO 形電磁開閉器用として設計したものである。動作特性は E 種電動機を対象としており、これに最も適した特性を得よう留意されている。また構造的にも性能的にも一貫した思想のもとに設計されており、多くの特長をもっている。

#### 特 長

(1) 全機種にわたり、1c 接点を採用し、動作表示などに a 接点の使用を可能にした。

(2) ヒータのそう(挿)入相は、2 素子のときはすべて R-U 相、T-W 相に統一し、配線上の思想を一貫させた。

(3) RC (電動機の全負荷電流……定格電流) 目盛を採用した。

(4) 上面の調整つまみで、定格電流を 80~120% の範囲に調整可能。

(5) リセットバーによる手動引きはずしが可能で、配線チェックを容易にした。

(6) ヒータは 2 素子付きが標準であるが、TH-10 を除き、3 素子付きも可能。

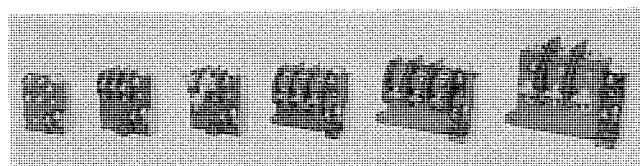


図 7.1 TH 形熱動過電流継電器  
Type TH thermal overload relays.

表 7.1 電磁開閉器に取り付けられる熱動過電流継電器  
Magnetic starters and thermal overload relays to be attached.

| 電 磁 開 閉 器<br>形 名  | 熱 動 過 電 流 継 電 器 |          |
|-------------------|-----------------|----------|
|                   | 形 名             | ヒータの範囲 A |
| MS(0)-10          | TH-10           | 0.32~11  |
| MS(0)-11          | TH-18           | 0.32~11  |
| MS(0)-18          | TH-18           | 0.32~18  |
| MS(0)-25          | TH-18 T         | 22~34    |
|                   | TH-18           | 0.32~18  |
| MS(0)-35          | TH-35           | 11~48    |
|                   | TH-18           | 0.32~9   |
| MS(0)-50          | TH-50           | 26~56    |
|                   | TH-35           | 11~22    |
| MS(0)-65          | TH-50           | 26~67    |
|                   | TH-35           | 11~22    |
| MS(0)-80          | TH-100          | 34~80    |
|                   | TH-50           | 26, 30   |
| MS(0)-100         | TH-100          | 34~107   |
|                   | TH-50           | 26, 30   |
| MS(0)-150<br>-200 | TH-150+CT       | 80~190   |
|                   | TH-100          | 34~67    |
| MS(0)-300         | TH-300+CT       | 80~330   |

- (7) 周囲温度補償付き。  
 (8) 飽和リアクトルを付加すれば遅動特性の継電器が容易に得られる。

## 7.2 構造

TH形過電流継電器は、たんざく形のバイメタルとヒータを素子にも

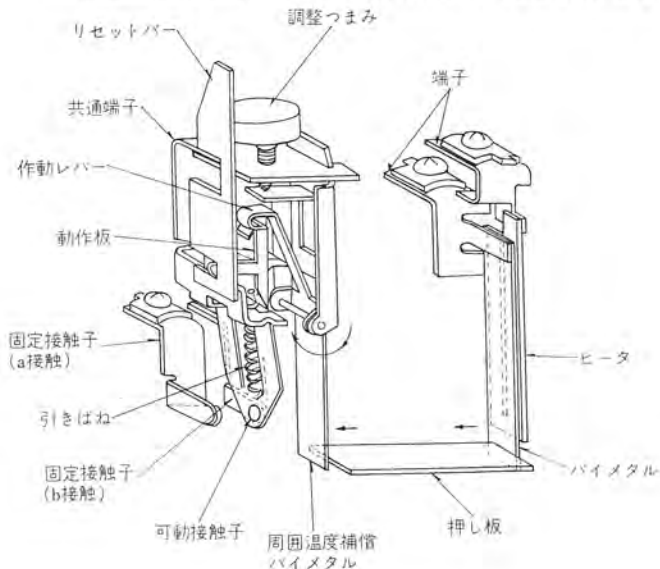


図 7.2 TH形熱動過電流継電器構造  
 Mechanism of type TH thermal overload relay.

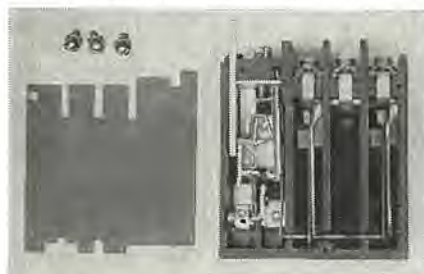


図 7.3 TH形熱動過電流継電器の内部  
 Interior of type TH thermal overload relay.

つ熱動式で、動作機構にはトグル式の速入速切接点機構を採用している。図 7.2 に構造の概略を示し、また図 7.3 に内部構造の写真を示す。トグル式の機構は動作が円滑であり、動作のばらつきが非常に少なく、動作の確実性の点ですぐれた機構である。また耐衝撃性の点でも設計上特に考慮し、機構中に特殊なくふうを加えて、ホット状態でも 10 G 程度の衝撃に対し誤動作せず、優秀な性能を備えている。

## 7.3 特性

過電流継電器の動作特性は、保護すべき電動機の熱特性に近似し、しかも短時間側にある必要がある。TH形過電流継電器はE種電動機を対象に設計されており、動作時限もこれに最も適した値に設定

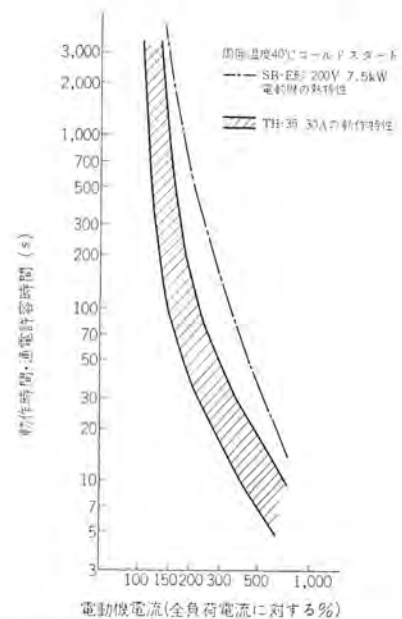
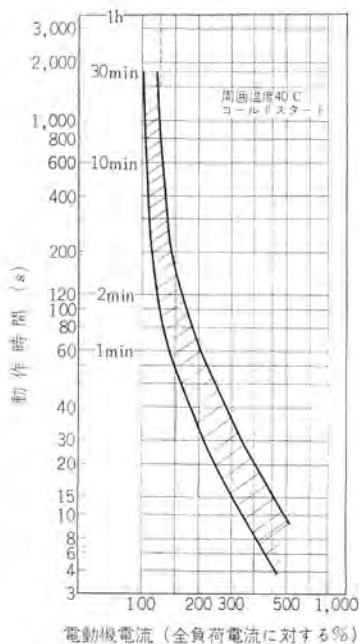
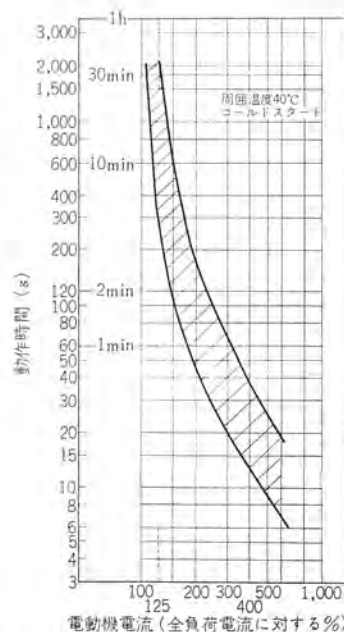


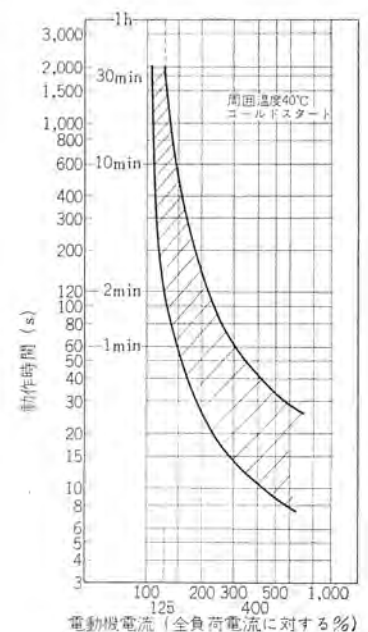
図 7.4 TH形過電流継電器による電動機の保護特性  
 Motor protection by means of type TH thermal overload relay.



(a) TH-10 および TH-18  
 (ヒータ 0.32~7.5 A)



(b) TH-18(ヒータ 9~18 A), TH-18 T,  
 TH-35, TH-50 および TH-100



(c) TH-150 および TH-300

図 7.5 TH形過電流継電器の動作特性曲線  
 Time-current characteristic curves of type TH thermal overload relay.

されているので、ヒータの選定を適確に行ないさえすれば、電動機の保護はほとんど問題なく行なえる。当社のSB-E形電動機の熱特性とTH形過電流継電器の動作特性の関係の一例を図7.4に示す。また図7.5にTH形過電流継電器の動作特性を示す。

#### 7.4 選定

TH形過電流継電器はRC目盛で表示されているので、電動機全負荷電流と同じヒータを選定すればよい。同じヒータがない場合は最も近いヒータを選び、調整つまみにより電動機的全負荷電流と同じ値にセツトして使用する。TH形継電器の動作電流はヒータ定格の115%電流を基準にセツトされているので、電動機全負荷電流の100%で不動作、125%で動作というJIS規格に対しほぼ中心値となっている。したがって用途によっては、若干高め、あるいは若干低めの選定で使用することも可能である。

#### 7.5 飽和リアクトル付きTH形過電流継電器

TH形過電流継電器はE種電動機を保護するために比較的早い動作特性をもっている。したがって起動時間の特に長い電動機を起動する場合には、起動時にトリップして起動できないばあいがあるが、このようなばあいの対策として当社では飽和リアクトル付きを用意している。飽和リアクトル付きの動作時間は500%過電流で20~30秒にセツトしたものを標準としているが、特殊設計とすれば、40秒程度のものまで製作可能である。また飽和リアクトル付きTH形過電流継電器は、間欠運転される電動機の保護として、また継電器ヒータの溶断防止用として使用しても非常に有効で、各種の特殊用途においてすぐれた性能を発揮する。

#### 7.6 ヒータのそう入相の統一

熱動過電流継電器のヒータのそう入相はJIS規格では特に規定していないが、当社のTH形ではR-U相、T-W相にすべて統一している。電磁開閉器の接続方式は当社においては、基本的にアメリカのNEMA規格を採用しているが、NEMA規格にはヒータのそう入相はU相、W相と規定されている。また日本においても、JEM-R-2017(船用)にも、U相、W相との規定があるが、当社のものは一貫してこれに適合する。NEMA規格において、ヒータのそう入相が、U相、W相に規定されている理由は、三相3線式配電においてはS相が接地相になっているためで、日本でもこの配電方式が採用されるばあいが多く、接地事故に対する保護に対しても一貫した思想で進んできている。

また最近しだいに増加してきた三相4線式400V配電においては、ほとんどが中性点接地を行なっているため、接地事故に対する保護のため、3素子付きの過電流継電器を使用することが望ましい。TH形過電流継電器では、TH-10形以外はすべて3素子付きのものを用意して、三相4線式配電の要望に応じることができる。

### 8. 適用

#### 8.1 定格容量の選定

電磁開閉器の大きさは、負荷の種類、容量、電圧に適したものを選定しなければならないことは当然である。特に電動機負荷のばあいには、使用条件についても十分な検討を加えて選定しなければならない。電動機の容量に対する選定は、標準使用のばあいは表3.2によればよいが、寸動運転や逆相制動を含む使用条件のばあいには、電磁接触器は電動機の起動電流をしゃ断することになるので適用容量が大幅に減少する。

標準責務のみ、および寸動責務のみのときの、電流と寿命の関係

表 8.1 寸動・逆転・逆相制動を含む場合の適用  
(電圧 200-220 V の場合)  
Maximum ratings in a jogging or plugging operation.

| 形 名   | 寸動運転の場合の容量 kW |           |            |            |            | 逆相制動の場合の容量 kW |           |
|-------|---------------|-----------|------------|------------|------------|---------------|-----------|
|       | 寸動 5~10%      | 寸動 30~60% |            | 寸動 70~100% |            |               |           |
|       | 50~100 万 回    | 15~30 万 回 | 50~100 万 回 | 15~30 万 回  | 50~100 万 回 | 10~20 万 回     | 40~80 万 回 |
| S-10  | 2.2           | 1.5       | 0.6        | 1.0        | 0.4        | —             | —         |
| S-11  | 2.2           | 1.5       | 0.75       | 1.1        | 0.6        | 0.75          | 0.4       |
| S-18  | 3.7           | 3.7       | 2.2        | 3.0        | 1.5        | 3             | 1.5       |
| S-25  | 5.5           | 5.5       | 3.0        | 3.7        | 2.2        | 3.7           | 2.2       |
| S-35  | 7.5           | 7.5       | 3.7        | 5.5        | 3.0        | 5.5           | 3         |
| S-50  | 11            | 11        | 5.5        | 7.5        | 3.7        | 7.5           | 3.7       |
| S-65  | 15            | 15        | 7.5        | 11         | 5.5        | 10            | 5.5       |
| S-80  | 19            | 19        | 11         | 13         | 7.0        | 13            | 7.5       |
| S-100 | 25            | 22        | 15         | 19         | 11         | 19            | 11        |
| S-150 | 35            | 30        | 19         | 22         | 15         | 22            | 15        |
| S-200 | 45            | 37        | 22         | 30         | 19         | 25            | 19        |
| S-300 | 75            | 60        | 37         | 40         | 25         | 40            | 25        |

- 備考 1. 寸動の%とは、寸動運転の回数×100/全運転回数をいう。  
たとえば50%は1,200回/時運転のうち600回が寸動運転であることを示す。  
2. 閉閉ひんばん度は平均1,200回/時であるが、短時間に極端に寸動動作をするときは、さらに容量を下げる必要があることもある。  
3. 上記の予想寿命回数は、寸動運転の%や起動電流に幅があるので、大略のめやすである。

表 8.2 MS形電磁開閉器端子締付トルク一覧  
Screwing torque of the terminals of type MS magnetic starter.

| 形 名            | 端子ねじサイズ (M) |         | 締付トルク (kg・cm) |         |
|----------------|-------------|---------|---------------|---------|
|                | 主 回 路       | 操 作 回 路 | 主 回 路         | 操 作 回 路 |
| MS(0)-10       | 3.5         | 3.5     | 10            | 10      |
| MS(0)-11       | 4           | 4       | 15            | 15      |
| MS(0)-18       | 4           | 4       | 15            | 15      |
| MS(0)-25       | 5           | 4       | 22            | 15      |
| MS(0)-35       | 5           | 4       | 22            | 15      |
| MS(0)-50, 65   | 6           | 4       | 45            | 15      |
| MS(0)-80       | 8           | 4       | 80            | 15      |
| MS(0)-100      | 8           | 4       | 100           | 15      |
| MS(0)-150, 200 | 10          | 4       | 150           | 15      |
| MS(0)-300      | 12          | 4       | 250           | 15      |

は図6.2に示されているが、寸動運転や逆相制動が標準責務の中に、ある割合で含まれるばあいは、必要寿命を $n$ 日として、電磁接触器の選定を次式により行なうことができる。

$$n = \frac{n_s}{1 + \frac{p}{100} \left( \frac{n_s}{n_i} - 1 \right)}$$

$n_s$  : 電磁接触器を標準責務だけで使用したときの寿命

$n_i$  : 電磁接触器を寸動責務だけで使用したときの寿命

$p$  : 全開閉回数中における寸動運転の百分率

電動機の起動電流を5~6倍として求めた適用の一例を表8.1に示す。

#### 8.2 電線締付部の締付トルク

運転中の振動その他による電線のゆるみは、思わぬ事故につながる事が多い。電線の端子への締付接続には種々の方法がとられるが、ゆるみを防止するため保守上の問題も考慮して適正な締付けをすることが必要である。常に端子ねじに適合したドライバまたはボックススパナを用いて、表8.2に示す締付けトルクを基準にして、適正に締め付けられていることが望ましい。

## 9. 保守点検

保守点検を行わなくとも機械が異常なく働いてくれれば、これに越したことはない。メンテナンスフリーは電磁開閉器のメーカーの大きな目標の一つであり、これに向かって歩一歩前進を続け、信頼性の向上に努力しているが、用途によっては必要に応じて保守点検することが望ましい。しかし保守点検は使用環境、使用条件に対して適確な適用選定がなされれば、かなり減らしうるものと確信している。

近年諸生産設備がオートメーション化されることが多くなってきているが、このような設備においては、一部分の故障で設備全体を止めると大きな損失を招くことになるので、設備の性能をできるだけ高水準に維持するため、保守点検にかなりの費用がかけられる。このばあいには電磁開閉器類についても、当然予防保全の問題が採り上げられるが、この予防保全は機器の保証寿命がある程度はつきりしていないと実施することは困難であろう。電磁開閉器 MS シリーズの寿命（電氣的寿命、機械的寿命）については、6 章寿命の項目で一部の機種につき、統計手法を用いて寿命に対する考え方を明らかにしてきた。そしてこの考え方は他の機種にほぼ共通するものである。電磁開閉器の寿命は、ばらつきをもつものであるので、予防保全を行なおうとすれば、若干余裕のある使い方をしなければならないが、

これは故障時発生する損失と比較して十分検討されるべき事項である。

## 10. むすび

新 MS 形電磁開閉器シリーズの開発目的である高性能化、高信頼性、使いやすさおよび国際性の内容について準拠規格、種類と仕様、構造、特性、寿命試験結果とその解析、保証寿命と信頼性の問題等について紹介したが、これらが MS 形電磁開閉器の機械、装置、設備その他制御装置への適用についての参考になれば幸いと考えている。

なお今後品質の保証、広い使用実績による信頼度の確認・積重ねによるいっそうの向上を計り、需要家各位に満足いただけるすぐれた電磁開閉器にしていきたいと願っている。

終わりにあたり開発に際して指導助言いただいた関係先の方々および長期にわたって協力願った試作、試験、工作の関係各位に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 島田：信頼性と寿命試験
- (2) 高見，丸地，岡戸：三菱電機技報，38，No. 7，2（昭39）

# 新形制御用継電器と信頼性の諸問題

丸 地 謙 二\*・茂 手 木 良 夫\*・河 村 紀 一\*

## New Type Magnetic Control Relays and Problems of Their Reliability

Nagoya Works

Kenji MARUCHI・Yoshio MOTEGI・Norikazu KAWAMURA

Automatic operation of machinery and development and diffusion of automatic control equipment have brought forth the advancement of magnetic control relays both in quality and quantity.

They are making a steady progress toward higher performance and smaller size. Various problems then arise as to the high reliability of operation including their contacts.

Under the circumstances a new series of magnetic control relay, type SR, has been developed by Mitsubishi with an aim of good contact and elevated stability so as to secure high reliability. The article describes the outline, performance and test results of the device with the reliability treated as the main topics.

### 1. ま え が き

機械の自動化、自動制御装置が発達・普及するにつれて、制御用電磁継電器も質・量とも発展をとげ、性能の向上・小形化が進みつつある。一方半導体を使用した無接点継電器もかなり普及し、電磁継電器と比較されるが、それぞれ特長を生かした個所に使用されているのが実情であり、制御用電磁継電器は接触信頼性を含めた高信頼性を実現することが最大の問題である。

当社はこの要望に沿うため、SR 形電磁継電器シリーズの開発を計画し、長期間にわたる性能・寿命試験および接触信頼度の検討および制御装置での実用試験を行ない、高信頼度 リレーの開発を完了したので、その基本方針・信頼性の諸問題を中心に構造および特長・性能・試験結果などについて紹介する。

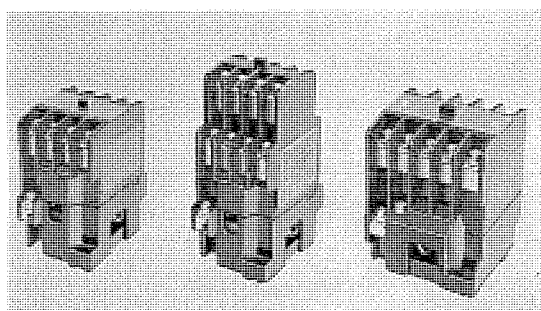


図 1.1 SR 形継電器 シリーズ (左から SR-4, SR-8, SR-5)  
Type SR magnetic control relays (SR-4, SR-8, SR-5)

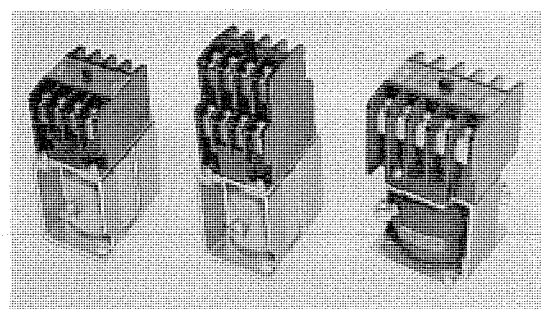


図 1.2 SRD 形直流操作継電器 (SRD-4, SRD-8, SRD-5)  
Type SRD DC operated magnetic control relays (SRD-4, SRD-8, SRD-5)

### 2. SR 形電磁継電器の開発

#### 2.1 開発方針

新 SR 形電磁継電器の開発にあたっては信頼性の向上と、使いや

すさを目的とし、かつ多数愛用願っている MR 形との互換性をもたせた。おもな項目をあげると

(1) 接触信頼性の向上……開閉時の接点のこがり動作による接触の安定。

(2) 寿命の保証……機械的・電氣的寿命とも長寿命化とともに保証寿命の考え方をとり、機械的には 90 %信頼限界で 1,000 万回、電氣的には各負荷条件による寿命保証とする。

(3) 使いやすさ……MR との取付互換性・動作表示・防じん構造をとり、かつ耐環境性の改善を行なう。

(4) シリーズ化と機種拡大……同一取付けで交流操作、直流操作、機械ラッチ付、磁気ラッチ付、双子接点付半導体回路用、モールドコイル付、ファストン端子付等広い用途に使用可能とする。

#### 2.2 準拠規格

電磁継電器に関する国内規格は今まで明確でなく、各メーカーによって異なった解釈をし、使用者の立場からみれば定格の選定および適用について問題があったが、今度 JEM で制御用継電器の規格が制定される予定で、定格事項・試験方法等新しい考えがとり入れられる。

SR 形電磁継電器は、全面的に新 JEM 規格によりさらに NEMA 規格・VDE 規格も一部参考とした。

SR 形電磁継電器のおもな規格面での仕様は下記のとおりである。

#### (1) 定格通電電流と定格電流

定格通電電流は温度的に定まる流しうる電流、定格電流は規定の条件（閉路しゃ断電流量・開閉ひん繁度・寿命試験）のもとで使用する電流であり、SR 形ではこの二者を明確に表示した。

#### (2) 閉路しゃ断電流量による級別

開閉部の特性として規定されるもので表 2.1 に示す。SR 形は、A<sub>1</sub> 級で交流電磁接触器・電磁石等のコイル突入電流開閉を考慮した定格を主体とし、直流用としても適用級別を明確にした。

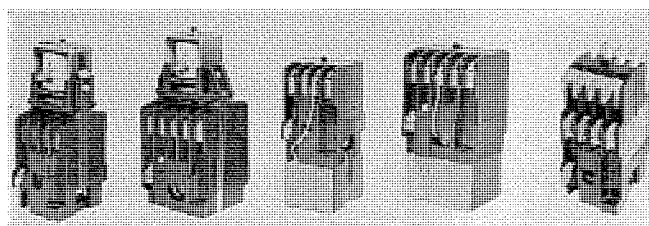


図 2.1 SR 形継電器応用品 シリーズ (SRL-4, SRL-5, SRM-4, SRM-5, SR-8 F)

Type SRL-4, 5, SRM-4, 5 and SR-8 F relays.

表 2.1 閉路しゃ断電流量による級別  
Classification of making and breaking current capacity.

| 級別  | 試験電圧           | 試験電流  |                    | 力率(交流)<br>時定数(直流)       | 用途                |
|-----|----------------|-------|--------------------|-------------------------|-------------------|
|     |                | 閉路    | しゃ断                |                         |                   |
| 交流用 | A <sub>1</sub> | 1.1 E | 10 I <sub>m</sub>  | 0.6~0.7                 | 交流電磁接触器操作用        |
|     | A <sub>2</sub> | 1.1 E | 2 I <sub>m</sub>   | 0.9~1.0                 | 交流抵抗回路            |
| 直流用 | D <sub>1</sub> | 1.1 E | 1.1 I <sub>m</sub> | 時定数 (L/R)<br>100 ± 15 % | 直流電磁接触器操作用        |
|     | D <sub>2</sub> | 1.1 E | 1.1 I <sub>m</sub> | 時定数 (L/R)<br>40 ± 15 %  | 小形直流電磁接触器, 継電器操作用 |
|     | D <sub>3</sub> | 1.1 E | 1.1 I <sub>m</sub> | 1 以下                    | 直流抵抗回路            |

注) E は定格電圧, I<sub>m</sub> は定格電流

### (3) 開閉ひん繁度

JEM 0 号の 1,800 回/時を基準としているが, 高ひん度開閉として VDE の 10,000 回/時程度まで開閉可能である。

### (4) 寿命

JEM 規格の 0 種 (電氣的 100 万回, 機械的 1,000 万回) を基準とした。

### (5) 接触抵抗

未使用で接点清浄の状態で 50 mΩ 以下と規定されている。

### (6) 接触信頼度試験

最近の使用者側の立場から新たに制定された項目で, 継電器の操作電磁石の励磁電流を試験電流として, 開閉試験したばあいの接触不良の有無・回数を確認するもので, 各国の規格に例をみない新しい考え方である。

### (7) 外国規格に対する適用

NEMA 規格基準では B1B に相当する。すなわちクラス B は 300 V, 1 は通電電流 10 A, 110 V で閉路 60 A しゃ断 6 A, 220 V で閉路 30 A しゃ断 3 A, B 種は接点が a ↔ b 組換え自由, その他絶縁

距離・温度上昇等も十分適応する。

## 3. 種類と仕様

表 3.1 に示すように 4 極の SR-4 形, 8 極の SR-8 形と, 5 極の SR-5 形の 3 種の交流操作用を基本形とし, 電磁石部分のみ直流専用 (連続定格) とした SRD 形, 機械的ラッチ付きの SRL 形, 高ひん度長寿命用の磁気ラッチ付きの SRM 形があり, それぞれの用途に応じて使用範囲を広げている。

また応用品として, 半導体回路用 ツイン 接点付き, 遅延釈放形, ファストン 端子用, 取付板付き, 透明防じんカバー 付きがある。このうち半導体回路用 ツイン 接点は, 最近進歩の著しい半導体回路の低電圧・小電流用として接触信頼度を要求される回路用に開発したものである。

## 4. 構造

モールド部品を主体とする水平動作式の機構をとり, 性能・寿命の向上とともに生産性の向上をねらった部品設計, 組立方式をとった。

その構造は図 4.1 の断面図および図 4.2 の分解図で示すように, 1) 可動接触子・押しばねなどが組み込まれたクロスバーと, E 形可動鉄心とがピンで連結された可動部分, 2) 固定接触子をそう入し, 可動部分を収容するベース部分, 3) 中央脚に操作電磁コイルをそう入する E 形固定鉄心と, これらを収納する取付台部分などから構成されている。

### 4.1 接触子部分

#### (1) ころがり接触

SR 形継電器の設計の第一主眼点は接触信頼度を上げることであり, 可動接点は純銀で図 4.3 のようにころがり接触をさせることで接触点を明確にし, 接触圧力を実質的に高め, 接点表面に付着す

表 3.1 SR 形継電器種類と仕様

Specification of type SR relay.

| 形 名                 |                 | SR-4                                                            | SR-8                       | SR-5                 | SRD-4, 8                   | SRD-5 | SRL-4     | SRL-5                     | SRM-4, 8  | SRM-5 |
|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------|-----------|---------------------------|-----------|-------|
| 操 作 回 路             |                 | 交 流 操 作                                                         |                            |                      | 直 流 操 作                    |       | 機 械 ラ ッ チ |                           | 磁 気 ラ ッ チ |       |
| 接 点 構 成             |                 | 4a, 3a1b, 2a2b, 1a3b, 4b                                        | 8a, 7a1b, 6a2b, 5a3b, 4a4b | 5a, 4a1b, 3a2b, 2a3b | SR と 同 一                   |       | SR と 同 一  |                           |           |       |
| 定 格 電 圧 V           |                 | 600                                                             |                            |                      |                            |       |           |                           |           |       |
| 定 格 通 電 電 流 A       |                 | 10                                                              |                            |                      |                            |       |           |                           |           |       |
| 交 流 定 格             | 級 別             | A <sub>1</sub> (コイル負荷)                                          |                            |                      | A <sub>2</sub> (抵抗負荷)      |       |           |                           |           |       |
|                     | 定 格 電 流 A       | 6<br>5<br>3                                                     |                            |                      | 10<br>10<br>5              |       |           |                           |           |       |
|                     | 閉 路 し 切 断 電 流 A | 60<br>50<br>30                                                  |                            |                      | —<br>—<br>—                |       |           |                           |           |       |
|                     | 級 別             | D <sub>1</sub> (大形コイル)                                          |                            |                      | D <sub>2</sub> (小形コイル)     |       |           | D <sub>3</sub> (抵 抗)      |           |       |
| ( ) 内 は 2 極 直 列 使 用 | 定 格 電 流 A       | 5<br>3<br>1 (2)<br>0.2 (0.8)                                    |                            |                      | 8<br>4<br>2 (4)<br>0.4 (1) |       |           | 10<br>7<br>5 (7)<br>1 (3) |           |       |
|                     | 閉 路 し 切 断 電 流 A | 10 (20)<br>2 (5)<br>0.4 (2)                                     |                            |                      | 8 (30)<br>4 (8)<br>0.8 (2) |       |           |                           |           |       |
|                     | 機 械 的           | 1,000 万回                                                        |                            | 1,000 万回             | 2,000 万回                   |       | 100 万回    |                           | 250 万回    |       |
|                     | 電 気 的           | AC 220 V<br>5 A 50 万回<br>3 A 100 万回<br>2 A 250 万回<br>1 A 500 万回 |                            |                      |                            |       |           |                           |           |       |



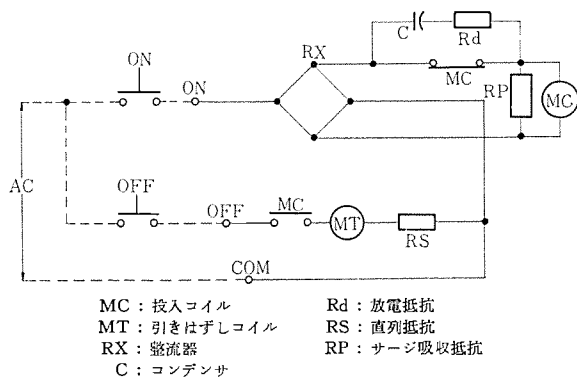


図 4.6 SRM 形磁気ラッチ付回路図  
Connection diagram of type SRM magnetic latch relay.

#### 4.7 SRL 形機械ラッチ付継電器

SR 形継電器は常時励磁式であるため、記憶回路用として使用する常時無励磁式の SRL 形機械ラッチ付継電器も開発した。

これは図 4.5 に示すように、SR 形本体に 2 個の取付金具で独立したラッチ機構を着脱自在に取り付け、標準 SR 形との互換性をもたせた。

#### 4.8 SRM 形磁気ラッチ付継電器

ラッチ付継電器としては、SRL の機械ラッチ式のほかに、永久磁石を用いた磁気ラッチ式の系列も備え、高ひん度長寿命を要求するところに供給することとした。これは、標準 SR 形の下部に整流器・コンデンサ・抵抗器を収納し、鉄心は永久磁石を使用し、投入後は永久磁石により保持し、落下は引きはずしコイルを励磁し消磁して落下させる構造で、回路は図 4.6 のとおりである。

### 5. 特 性

#### 5.1 動作特性

このタイプの継電器は、接点構成により反抗力が変わり、したがって動作特性が変わるので、電磁石の吸引力と反抗力特性をバランスさせ、電圧変動 +10, -15 % の範囲で完全な動作をし、かつ落下動作も一段落下であることが要求される。これは電圧変動が大きい使用のとき不完全接触・接点損傷等の誤動作や故障を防ぐためである。SR 形継電器では、鉄心形状・鉄心脚比・くまどりコイル部の寸法比等を十分検討し、電磁石の吸引力特性は図 5.1 に示すように接点構成が変わり、反抗力が変わっても、最低吸引電圧以上の電圧印加時には途中で反抗力とバランスすることなく投入し落下動作も一段である。

交流操作 SR 形の動作特性を表 5.1 に、直流操作 SRD 形を表 5.2 に示す。接点構成により若干変わるが、吸引電圧は定格の 50 ~ 80 %, 落下電圧は 35 ~ 65 % である。

取付位置や取付角度の変化による動作特性の影響はきわめて少なく、船用としても使用可能 (NK 規格合格) である。

SR 形継電器の動作時間を表 5.3, 5.4 に、その代表的オシログラムを図 5.2, 5.3 に示す。

動作時間が電磁石の吸引力に逆比例すると仮定すると、吸引力は印加電圧の二乗に比例するので、電圧が 85 ~ 110 %  $E$  の場合には約 1.7 倍の差になる。印加電圧 ( $V$ ) と動作時間 ( $T$ ) の関係は 170 ~ 200 V 間は、ほぼ理論どおり、 $V^2 T = \text{const}$  であるが 200 ~ 220 V 間は、 $VT = \text{const}$  となり、けっきょく約 1.6 倍の差である。これはしゅう動部の慣性と摩擦および鉄心飽和のためである。

投入位相と動作時間の関係は、投入位相により投入時の過渡電流

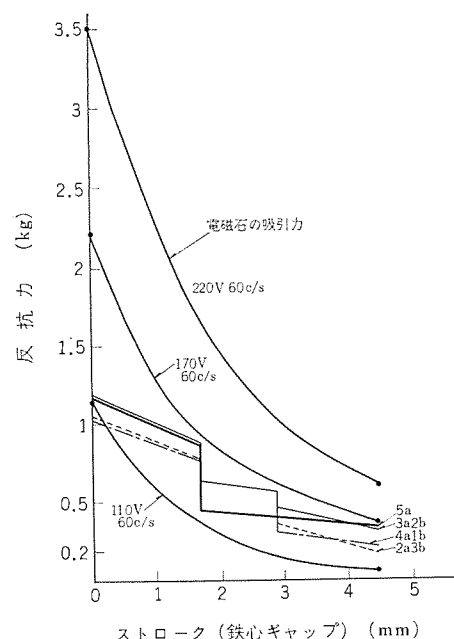


図 5.1 SR-5 形吸引力-反抗力曲線  
Force-displacement diagram for type SR-5 relay.

表 5.1 SR 形継電器動作特性  
Operating characteristics of type SR relays.

| 形 名  | 接点構成    | 吸 引 電 圧 V |         | 落 下 電 圧 V |         |
|------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|      |         | 60 c/s    | 50 c/s  | 60 c/s    | 50 c/s  |
| SR-4 | 4 a     | 130~155   | 115~140 | 85~125    | 75~115  |
|      | 2 a 2 b | 105~130   | 90~115  | 80~105    | 60~90   |
| SR-8 | 8 a     | 140~165   | 125~150 | 110~140   | 100~135 |
|      | 6 a 2 b | 125~150   | 110~135 | 105~130   | 90~125  |
|      | 4 a 4 b | 135~155   | 125~145 | 105~130   | 90~125  |
| SR-5 | 5 a     | 145~165   | 130~150 | 85~115    | 70~100  |
|      | 3 a 2 b | 140~160   | 125~145 | 85~115    | 75~105  |

注) 操作電磁コイル 200 V 3 定格のときを示す。

表 5.2 SRD 形継電器動作特性  
Operating characteristics of type SRD relays.

| 形 名   | 接点構成    | 吸 引 電 圧 V    |             | 落 下 電 圧 V    |             |
|-------|---------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|       |         | 40°C<br>コールド | 40°C<br>ホット | 40°C<br>コールド | 40°C<br>ホット |
| SRD-4 | 4 a     | 66           | 83          | 27           | 33          |
|       | 2 a 2 b | 58           | 73          | 20           | 26          |
| SRD-8 | 8 a     | 67           | 83          | 29           | 35          |
|       | 6 a 2 b | 58           | 73          | 20           | 26          |
|       | 4 a 4 b | 62           | 78          | 23           | 29          |
| SRD-5 | 5 a     | 65           | 82          | 25           | 31          |
|       | 3 a 2 b | 63           | 80          | 23           | 29          |

注) 操作電磁コイル DC 100 V のときを示す。

に含まれる直流分の大きさが変わり、直流分の多いほど電磁石の効率が良く吸引力が大きくなる。SR-5 形継電器の電圧と投入位相による動作時間および衝突寸前の鉄心速度は図 5.4 に示すとおりで、投入時間は 10 ~ 15 ms, 鉄心速度は 0.8 ~ 1.4 m/s である。

#### 5.2 温度上昇

継電器は盤に多数取りついたり、大容量の接触器等の放熱の影響をうけて使用する場合が多く、盤内温度上昇を考慮する必要がある。

温度上昇は継電器を MS 形箱入り開閉器の開鎖箱に入れ、連続通電電流を通電して測った結果は、表 5.5 のとおりである。これによると、箱内温度上昇は 15 ~ 20 deg で、盤内最高使用温度 60°C で

表 5.3 SR 形 継電器動作時間

Operating time of type SR relays.

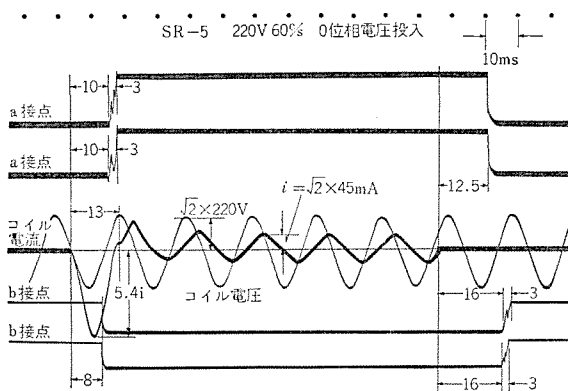
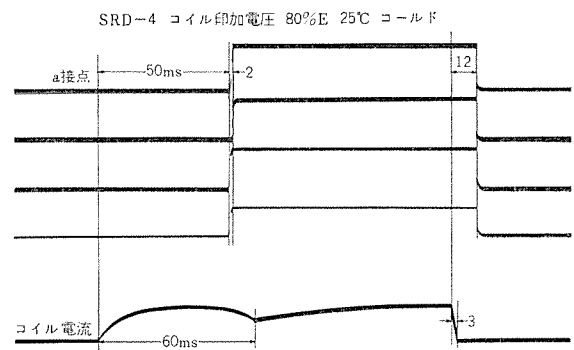
| 形 名  | 接 点 構 成 | 操作コイル電圧 V<br>周 波 数 c/s | 投 入 時 間 ms              |     |             |     |                          |     | 落 下 時 間 ms                |     |                          |     |
|------|---------|------------------------|-------------------------|-----|-------------|-----|--------------------------|-----|---------------------------|-----|--------------------------|-----|
|      |         |                        | コイル ON より<br>a 接点 ON まで |     | 鉄 心 投 入 時 間 |     | コイル ON から<br>b 接点 OFF まで |     | コイル OFF から<br>a 接点 OFF まで |     | コイル OFF から<br>b 接点 ON まで |     |
|      |         |                        | 0°                      | 90° | 0°          | 90° | 0°                       | 90° | 0°                        | 90° | 0°                       | 90° |
| SR-4 | 4 a     | 200 50                 | 10                      | 12  | 11          | 14  | —                        | —   |                           |     | —                        | —   |
|      |         | 220 60                 | 9                       | 12  | 10          | 14  | —                        | —   |                           |     | —                        | —   |
|      | 2 a 2 b | 200 50                 | 8                       | 11  | 10          | 13  | 7                        | 8.5 | 12                        | 7   | 13                       | 9   |
|      |         | 220 60                 | 7                       | 10  | 9           | 12  | 6                        | 9   | 11                        | 7   | 13                       | 9   |
|      |         | 200 60                 | 8                       | 11  | 11          | 15  | 7                        | 10  | 10                        | 6   | 12                       | 8   |
|      | 170 60  | 11                     | 14                      | 13  | 18          | 8   | 12                       | 10  | 6                         | 12  | 8                        |     |
| SR-8 | 8 a     | 200 50                 | 10                      | 16  | 14          | 21  | —                        | —   | 9                         | 6   | —                        | —   |
|      |         | 220 60                 | 9                       | 15  | 13          | 19  | —                        | —   | 8                         | 4   | —                        | —   |
|      | 4 a 4 b | 200 50                 | 10                      | 12  | 11          | 14  | 8                        | 10  | 9                         | 6   | 10                       | 7   |
|      |         | 220 60                 | 9                       | 11  | 10          | 12  | 7                        | 9   | 7                         | 4   | 8                        | 6   |
|      |         | 200 60                 | 11                      | 13  | 12          | 14  | 9                        | 11  | 6                         | 4   | 8                        | 5   |
|      | 170 60  | 13                     | 20                      | 15  | 22          | 11  | 17                       | 5   | 3                         | 7   | 4                        |     |
| SR-5 | 5 a     | 200 50                 | 9                       | 12  | 10          | 14  | —                        | —   | 7                         | 10  | —                        | —   |
|      |         | 220 60                 | 11                      | 13  | 11          | 14  | —                        | —   | 9                         | 11  | —                        | —   |
|      | 3 a 2 b | 200 50                 | 8                       | 11  | 9           | 13  | 7                        | 10  | 12                        | 8   | 13                       | 10  |
|      |         | 220 60                 | 10                      | 13  | 10          | 14  | 8                        | 10  | 10                        | 7   | 12                       | 9   |
|      |         | 200 60                 | 12                      | 17  | 13          | 19  | 10                       | 15  | 8                         | 6   | 9                        | 8   |
|      | 170 60  | 16                     | 24                      | 18  | 26          | 13  | 21                       | 8   | 6                         | 9   | 7                        |     |

表 5.4 SRD 形 継電器 動作時間  
Operating time of type SRD relays.表 5.5 SR 形および SRD 形 継電器温度上昇  
Temperature rise of type SR and SRD relays. (deg)

| 形 名   | 接 点 構 成 | 投 入 時 間 ms              |        |                          |        | 落 下 時 間 ms                |        |                          |        |
|-------|---------|-------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------------|--------|--------------------------|--------|
|       |         | コイル ON から<br>a 接点 ON まで |        | コイル ON から<br>b 接点 OFF まで |        | コイル OFF から<br>a 接点 OFF まで |        | コイル OFF から<br>b 接点 ON まで |        |
|       |         | 100 % E                 | 80 % E | 100 % E                  | 80 % E | 100 % E                   | 80 % E | 100 % E                  | 80 % E |
| SRD-4 | 4a      | 33                      | 50     | —                        | —      | 11                        | 10     | —                        | —      |
|       | 2a2b    | 21                      | 28     | 20                       | 27     | 12.5                      | 11     | 13                       | 12     |
| SRD-8 | 8a      | 35                      | 50     | —                        | —      | 7                         | 6      | —                        | —      |
|       | 6a2b    | 23                      | 32     | 20                       | 27     | 8                         | 7      | 10.5                     | 9.5    |
|       | 4a4b    | 21                      | 28     | 20                       | 26     | 9                         | 8      | 11.5                     | 10.5   |
| SRD-5 | 5a      | 35                      | 50     | —                        | —      | 11                        | 10     | —                        | —      |
|       | 3a2b    | 22                      | 30     | 20                       | 27     | 12                        | 11     | 14                       | 10     |

注) 40°C コールドスタートの値を示す。

| 形 名   | コ イ ル |         | 可 動 固 定<br>接 触 子 接 触 子 | ケ ー ス<br>内 温 度<br>上 昇 | 試 験 条 件           |              |                     |                |                |                            |
|-------|-------|---------|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|---------------------|----------------|----------------|----------------------------|
|       | 抵 抗 法 | 温 度 計 法 |                        |                       | コ イ ル<br>電 圧<br>V | 周 波 数<br>c/s | 接 点 通<br>電 電 流<br>A | 接 点 電<br>圧     | 統 統<br>電 電     | 周 周<br>温 温<br>度 度<br>°C °C |
| SR-4  | 54    | 50      | 24                     | 22                    | 14                | 200          | 50                  | 10             | 2 <sup>2</sup> | 40                         |
| SR-4  | 47    | 43      | 24                     | 21                    | 13                | 220          | 60                  | 10             | 2 <sup>2</sup> | 40                         |
| SR-8  | 53    | 49      | 24                     | 21                    | 16                | 200          | 50                  | 10             | 2 <sup>2</sup> | 40                         |
| SR-8  | 47    | 43      | 24                     | 21                    | 15                | 220          | 60                  | 10             | 2 <sup>2</sup> | 40                         |
| SR-5  | 53    | 47      | 23                     | 19                    | 13                | 200          | 50                  | 10             | 2 <sup>3</sup> | 40                         |
| SR-5  | 45    | 39      | 22                     | 19                    | 15                | 220          | 60                  | 10             | 2 <sup>2</sup> | 40                         |
| SRD-4 | 57    | 47      | 24                     | 23                    | 17                | DC 100 V     | 10                  | 2 <sup>2</sup> | 40             |                            |
| SRD-8 | 57    | 47      | 24                     | 23                    | 16                | DC 100 V     | 10                  | 2 <sup>2</sup> | 40             |                            |
| SRD-5 | 56    | 45      | 24                     | 22                    | 14                | DC 100 V     | 10                  | 2 <sup>2</sup> | 40             |                            |

図 5.2 SR-5 形 継電器 動作 オシログラム  
Operating test oscillogram of type SR-5 relay.図 5.3 SRD-4 形 継電器 動作 試験 オシログラム  
Operating test oscillogram of type SRD-4 relay.

も端子で 10 deg, コイルも規格値種に対し 15~25 deg の余裕を示している。

### 5.3 閉路しゃ断電流量

新 JEM 規格準拠で閉路しゃ断電流試験を実施し、表 5.6 に示すように、交流電磁接触器操作用 A<sub>1</sub> 責務を適用し、定格電流の 10 倍、操作回路電圧は定格電圧で CO 10 回、+10 % 電圧で CO 5 回、-15 % 電圧で CO 5 回、計 CO 20 回 (規格は 5 回) 実施し、それぞれ 1/2 サイクル以内でしゃ断している。また a 接点と b 接点は切換えしゃ断を行なって性能を確認し、独立で使用することを示している。代表的オシログラムを図 5.5 に示す。

直流しゃ断電流試験は誘導負荷 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 責務により実施し、結果

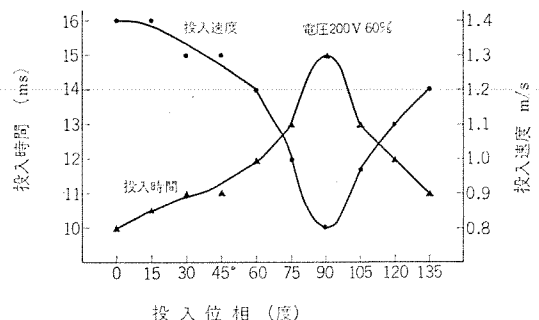
図 5.4 SR-5 形 継電器位相と投入時間・速度の関係  
Relation between energizing phase and making time and making speed of type SR-5 relay.

表 5.6 SR 形継電器閉路しゅ断電流試験  
Breaking current capacity of type SR relay.

| 形 名     | 試 験 条 件                           |         |            |      |      |              | アーク時間<br>ms | 判定 |
|---------|-----------------------------------|---------|------------|------|------|--------------|-------------|----|
|         | 級 別                               | 電圧 V    | 周波数<br>c/s | 電流 A | おくれ率 | CO 責務<br>(回) |             |    |
| SR(D)-4 | A <sub>1</sub><br>(交流接触器<br>器操作用) | 1 φ 240 | 60         | 50   | 0.64 | 20           | 0~8         | 合格 |
| SR(D)-8 |                                   | 480     | 60         | 30   | 0.66 | 20           | 0~8         | 合格 |
| SR(D)-5 |                                   | 600     | 60         | 30   | 0.66 | 20           | 0~8         | 合格 |

表 5.7 SR 形継電器直流しゅ断電流試験  
DC breaking capacity of type SR relay.

| 形 名     | 電 圧<br>DC (V) | D <sub>1</sub> 級 (Ts=100 ms) |     | D <sub>2</sub> 級 (Ts=40 ms) |     | D <sub>3</sub> 級 (Ts=1 ms) |     |
|---------|---------------|------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|
|         |               | 1 P                          | 2 P | 1 P                         | 2 P | 1 P                        | 2 P |
| SR(D)-4 | 24            | 30                           | —   | 40                          | —   | 50                         | —   |
| SR(D)-8 | 48            | 15                           | 30  | 20                          | 40  | 30                         | 50  |
| SR(D)-5 | 110           | 2                            | 5   | 5                           | 20  | 10                         | 30  |
|         | 220           | —                            | 2   | 1                           | 5   | 1.5                        | 10  |

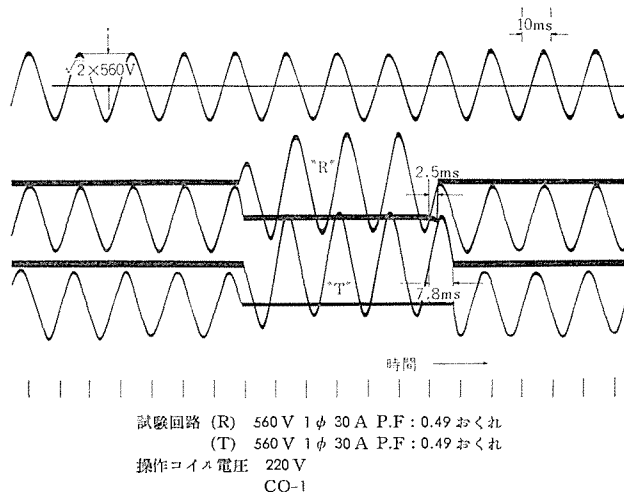


図 5.5 SR-4 形継電器閉路しゅ断試験オシログラム  
Making and breaking test oscillogram of type SR-4 relay.

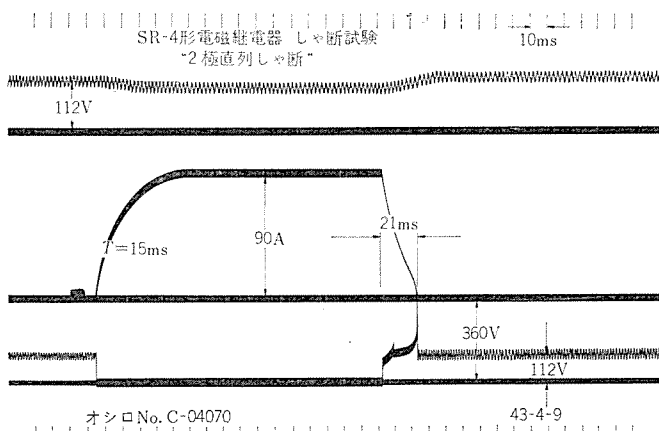


図 5.6 SR-4 形継電器直流しゅ断試験オシログラム  
DC breaking test oscillogram of type SR-4 relay.

は表 5.7 に示すとおりで、その一例のオシログラムを図 5.6 に示す。

#### 5.4 絶縁抵抗および耐電圧

JEM 規格による各極間、アース間および電源一負荷間の耐圧は AC 2,000 V 1 分間印加に耐え、絶縁抵抗も DC 500 V 絶縁抵抗計で 100 MΩ 以上である。

#### 5.5 振動・衝撃試験

振動・衝撃で問題になることは、1) b 接点の開離、2) a 接点の誤投入であるが、それぞれ次の試験により特性を確認したが、通常の使用ではまったく問題ない。

振動については、JIS CO 911 小形電気機器の振動試験方法により行ない、10~50 サイクル/秒で共振点なく、定振動耐久 16.7 サイクル/秒複振幅 4 mm 2 G に耐え、全機種全接点とも誤動作はない。

衝撃については、当社製大形接触器 N-605 形 (600 V 600 A 3 極) と列盤に取り付け、N-605 形の投入、落下衝撃 (12 G) に対し、全機種全接点とも誤動作はない。

#### 5.6 環境特性

環境特性はユーザの使用条件が千差万別で、一律に規定するのはむずかしい問題であるが、信頼性確認のため継電器の構造、主要材料から考え、高温多湿条件での寿命試験を行ない、モールド部品の加熱・吸湿による変形・寸法変化を確認し、動作に異常のないことを確認している。

加熱乾燥試験……周囲温度 120°C, RH 15 % 以下, 16 時間

常温, 常湿 8 時間

吸湿試験……周囲湿度 50°C, RH 95~100 %, 16 時間

常温, 常湿 8 時間

高温高湿中の寿命試験……周囲温度 50°C, RH 95~100 %, 32 時間運転

周囲温度 50°C, RH 95~100 %, 16 時間休止

#### 6. 寿 命

試験は JEM 規格によって実施しているが、その判定は JEM 規格よりもきびしい次のような基準によっている。

##### (1) 電気的寿命

(a) 接点の消耗……接点重量の最大消耗量は新品の 40 % 以下

(b) 耐電圧……電源一負荷および異極端子間は AC 2,000 V 1 分間

(c) 絶縁抵抗……電源一負荷および異極端子間は DC 500 V 絶縁抵抗計で 1 MΩ 以上

##### (2) 機械的寿命

(a) 機械的衝撃による構造物の破損……モールド・鉄心・くまどりコイルなど

(b) 機械的摩擦および疲労による動作不良……モールド・しゅう動部・ばね類の疲労など

(c) 機械的摩擦によるオーバトラベルの減少 30 % 以下

(d) 鉄心摩擦による中央脚間げき 0, うなりの発生

#### 6.1 電気的寿命試験

##### 6.1.1 試験責務と結果

新 JEM 規格に準拠し、誘導負荷 A<sub>1</sub> 級の責務で各電流条件における電気的寿命試験を行ない、表 6.1 の結果を得ている。負荷電流と寿命の関係、負荷電流と接点消耗量の関係を図 6.1, 6.2 に示す。

##### 6.1.2 電気的寿命の検討

(1) SR 形継電器の 220 V 3 A, A<sub>1</sub> 責務の平均寿命は 110 万回で、新 JEM 規格最高の 0 種 100 万回以上であり、90 % 信頼限界は 86 万回である。寿命限界は主として接点消耗でばらつきはきわめて少ない。

SR 形はモールドしゅう動部の規制・可動接触子の重量軽減・接触圧力・オーバトラベルの確保で接点のおどりを減少させたので、ばらつきの少ない良好な寿命結果を得ている。

(2) 負荷電流と寿命の関係は、図 6.1, 6.2 のとおりほぼ負荷電流の二乗に反比例している。これから一般に最も多い適用負荷

表 6.1 SR 形継電器 A 級電氣的寿命試験  
Electrical life of type SR relays (A<sub>1</sub> class).

| 試験責務    |             |         |             | 寿命 (万回) |       |       | 試験後                   |            |
|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------|-------|-----------------------|------------|
| 閉路      |             | しゃ断     |             | 220 V   | 440 V | 550 V | 絶縁<br>耐力              | 絶縁<br>抵抗   |
| 電流<br>A | 力率<br>おくれ   | 電流<br>A | 力率<br>おくれ   |         |       |       |                       |            |
| 50      | 0.6<br>~0.7 | 5       | 0.3<br>~0.4 | 50      | —     | —     | AC<br>2,000V<br>1分 OK | 1 MΩ<br>以上 |
| 30      | 0.6<br>~0.7 | 3       | 0.3<br>~0.4 | 100     | 50    | 40    |                       |            |
| 20      | 0.6<br>~0.7 | 2       | 0.3<br>~0.4 | 250     | 100   | 100   |                       |            |
| 10      | 0.6<br>~0.7 | 1       | 0.3<br>~0.4 | 500     | 250   | 250   |                       |            |

表 6.2 SR 形および SRD 形継電器機械的寿命試験  
Mechanical life of type SR and SRD relay.

| 形名    | コイル定格                               | 台数 | 試験条件    |            |            | 開閉<br>回数<br>万回 | 1,000<br>万回<br>無故障<br>台 | 推定<br>寿命<br>MTBF<br>万回 | 90%信頼<br>限界<br>万回 | 標準<br>偏差<br>万回 |
|-------|-------------------------------------|----|---------|------------|------------|----------------|-------------------------|------------------------|-------------------|----------------|
|       |                                     |    | 電圧<br>V | 周波数<br>c/s | ひん度<br>回/時 |                |                         |                        |                   |                |
| SR-4  | 220 V 50 c/s<br>200~220 V<br>60 c/s | 20 | 210     | 50         | 7,200      | 1,800          | 19                      | 1,350                  | 940               | 350            |
| SR-8  | 220 V 50 c/s<br>200~220 V<br>60 c/s | 20 | 210     | 50         | 7,200      | 1,800          | 17                      | 1,250                  | 730               | 320            |
| SR-5  | 220 V 50 c/s<br>200~220 V<br>60 c/s | 20 | 210     | 50         | 7,200      | 1,600          | 18                      | 1,300                  | 830               | 370            |
| SRD-4 | DC 100 V                            | 10 | 110     | DC         | 7,200      | 2,300          | 全数 2,300 万回異常なし         |                        |                   |                |
| SRD-5 | DC 100 V                            | 10 | 110     | DC         | 7,200      | 2,300          |                         |                        |                   |                |

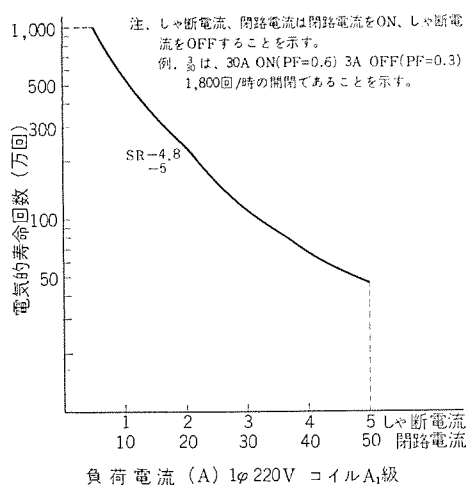


図 6.1 SR 形継電器 負荷—電氣的寿命  
曲線  
Electrical life of type SR magnetic  
control relays.

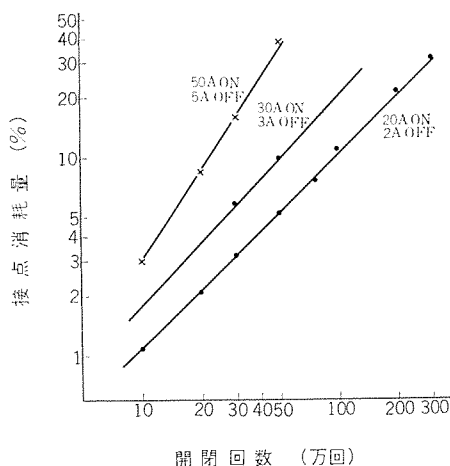


図 6.2 寿命試験における負荷—接点消  
耗量  
Contact wear during electrical life test.

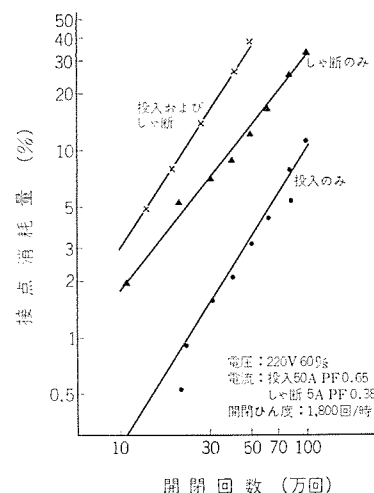


図 6.3 寿命試験における投入時および  
しゃ断時の接点消耗量の比較  
Comparison of contact wear between  
closing and interrupting operation.

(200 V 0.5 A 以下) では電氣的寿命は機械的寿命と同じになり、消耗が問題となるのは、1 A 以上の負荷に限られる。

(3) A<sub>1</sub> 責務は 10 倍の投入電流で寿命的には過酷な条件であるが、投入としゃ断の接点消耗比較は図 6.3 のように、投入消耗量はしゃ断時のその 1/2 以下で、機構が改善された継電器では投入時のおどりがなく、消耗は大部分しゃ断時に生ずる。

(4) 継電器用接点はその用途から接触抵抗が低く、物理的・化学的に安定な銀が使用されるが、開閉が進むにつれ銀接点の微粒子がアークで飛散し、モールドの絶縁劣化をおこすことがある。しかし SR 形継電器では接点周囲のモールド形状で絶縁距離を十分とっているため、200 V 5 A の場合でも、25 万回前後から若干の絶縁抵抗の低下をみるが、寿命試験完了時点でも 1 MΩ 以上確保されている。銀粒子の飛散は負荷電流により変わり、1 A 以下では少なく絶縁抵抗は低下しない。1 A 以上では接点寿命時点での接点交換とともに、接点周辺のモールド清掃が望ましい。

(5) A<sub>1</sub> 責務と接触器コイル実負荷試験の関連については、新形接触器 S-150 形の機械的寿命試験時に確認した。S-150 形コイルの入力は 210 V 50 c/s では 0.7 A 力率 0.25 突入電流約 10 倍 力率 0.6 であり、この実負荷に 1,000 万回耐えて、A<sub>1</sub> 責務とほぼ一致して結果を得た。

## 6.2 機械的寿命

試験電圧は定格の 105 %、周波数は電磁コイルが 50・60 c/s 共用のため、シビアサイドの 50 c/s で実施し、表 6.2 のとおりの結果を得

た。

SR 形継電器の推定寿命は、SR-4 形で約 1,350 万回 (90 %信頼限界 940 万回)、SR-8 形で約 1,250 万回 (90 %信頼限界 730 万回)、SR-5 形で約 1,300 万回 (90 %信頼限界 830 万回) である。寿命限界は主として鉄心摩擦による中央脚間げき 0 である。

これは規格面では修正が許されていること、および電圧条件が 105 %であることから考えると、定格電圧使用において 90 %信頼限界の寿命は優に 1,000 万回をこえていると判断される。

## 6.3 機械的寿命に与える要因

機械的寿命に与える要因は、継電器自体の内的要因 (固有信頼度) として

- (1) モールドしゅう動部の摩擦・変形
- (2) 可動連結部……連結部破損・変形
- (3) 鉄心関係……変形・中央脚間げき・くまどりコイル・破損
- (4) コイル関係……焼損・断線・過熱
- (5) バネ関係……破損・荷重変化

継電器の外的要因 (使用信頼度) として

- (1) 操作回路電圧・周波数の電源関係
- (2) 開閉ひん繁度
- (3) 使用条件……温度・湿度・ふんい気・じんあい・取付け・振動・衝撃
- (4) 保守条件……保守点検の有無・時期と内容

継電器自体の内的要因は、いわば継電器の固有信頼度に関するも

ので、メカにおいて十分信頼度を上げるべきものであるが、外的要因（使用信頼度）の影響がきわめて大きく、かなり高水準である固有信頼度を相殺することもありうるので注意を要する。この外的要因のうち操作回路電圧、周波数の電源関係について述べる。

電磁石の吸引力と電圧周波数の関係は次式で表わされる。

$$F = K \cdot \frac{E^2}{f^2}$$

$F$  : 吸引力

$K$  : 定数

$E$  : 電圧

$f$  : 周波数

すなわち吸引力は 50 c/s が 60 c/s に比べ同じ電圧なら 44 % 大きい。吸引力と投入時の衝撃が比例するとすれば 50 c/s の寿命は、60 c/s の 70 % になる。鉄心中央脚間げきについて測定した結果は、50 c/s は 60 c/s のほぼ 20 % 減となった。

電圧の影響については、前項の式から電磁石の吸引力は電圧の二乗に比例するので、10 % 過電圧では吸引力は約 20 % 増となる。鉄心中央脚間げきについて測定した結果は、10 % 過電圧では約 30 % 減となった。したがって 50 c/s 地域における過電圧はかなり機械的寿命の低下をもたらす。

## 7. 接触信頼度

### 7.1 各負荷電流と接触抵抗

接触抵抗については、継電器固有の接点材料、接点圧力また開閉電圧・電流、ふんい気等の影響を大きく受ける。また接触抵抗と接触不良の発生の相関性等問題がある。ここでは SR 形についての基礎試験データとその解析について述べる。

SR-4 形継電器について小電流 10 VA 程度のコイル負荷開閉と、負荷電流と接触抵抗の傾向を図 7.1、7.2 に示す。また突合せ接触とところがり動作をもった接触方式の違いによる接触抵抗の変化を図 7.3 に、さらに半導体回路用リレーの 6V 10 mA 負荷での接触抵抗を図 7.4 に示す。これらを検討の結果

(1) 使用電圧と接触抵抗の関係……電圧が高いほど接触抵抗は低く、100 V と 200 V は大差はないが、24 V では 700 mΩ とかなり大きくなり、かつばらつきも大となる。

(2) 負荷電流と接触抵抗の関係……電流が大きいほど接触抵抗は低く、電流 ( $x$ ) と接触抵抗 ( $y$ ) はほぼ次式で表わされる。

$$y = 45x^{-1.2} \text{ (単位 } x: A \text{ } y: m\Omega \text{)}$$

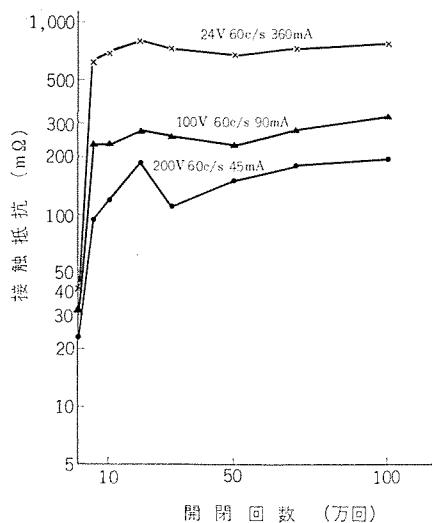


図 7.1 SR形継電器操作コイルを負荷にした場合の電圧—接触抵抗  
Comparison of contact resistance when type SR operating coil is used for load.

(3) 接触方式による接触抵抗の変化……一般的である突合せ接触よりも、SR 形継電器で採用したところがり接触のほうが低く安

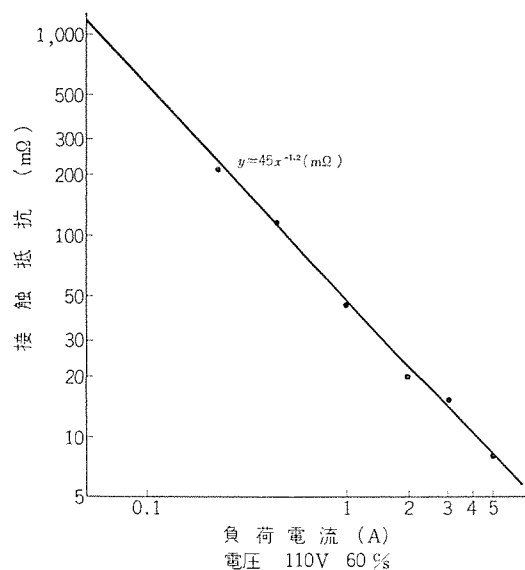


図 7.2 負荷電流と接触抵抗 10~100 万回開閉後の平均値  
Relation between contact resistance and load current.

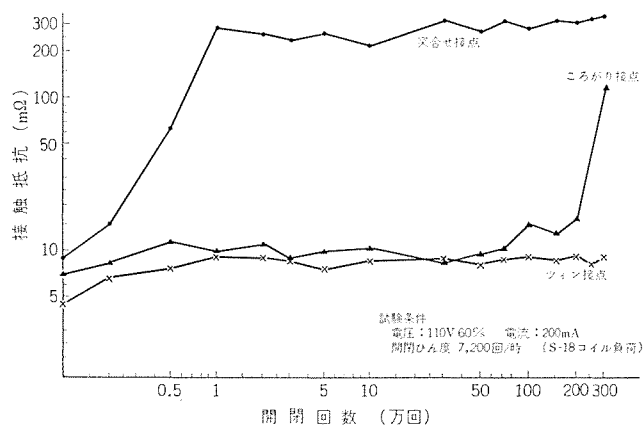


図 7.3 接触方式と接触抵抗  
Relation between contact method and contact resistance.

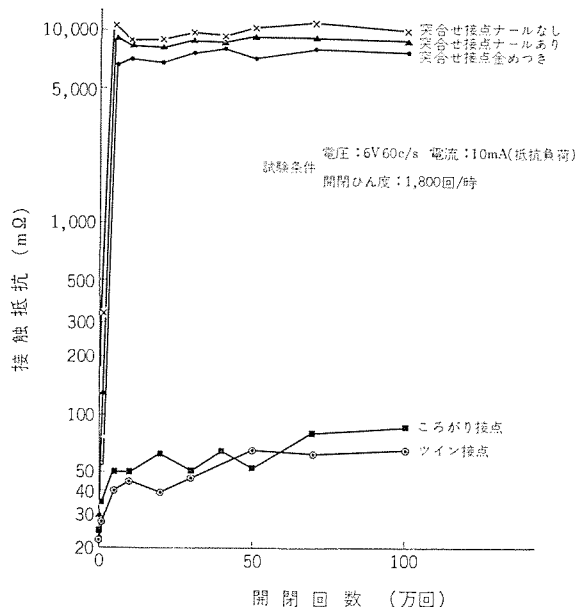


図 7.4 低電圧・小電流の接触抵抗  
Contact resistance at 6 V 10 mA.

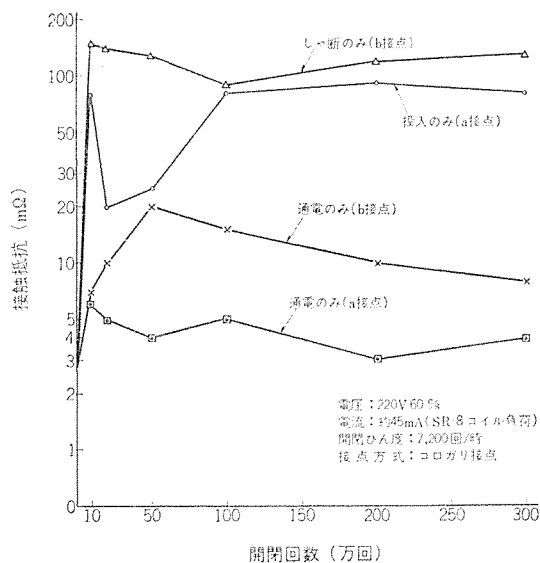


図 7.5 開閉条件と接触抵抗  
Difference of contact resistance due to operating duty.

定している。ころがり接触の効果は突起形状の摩耗により決まるがおよそ 200 万回以上までである。ツイン 接点は並列接触と 接触子のワイピング効果により安定している。

(4) 低電圧小電流での接触抵抗……6 V 10 mA 程度の弱電流回路では、通常の突合わせ接触では接触面の改良(ナール)や防食処理(金めっき)でも効果なく、ころがり接点で若干改善され、さらにツイン 接点または並列使用でないと安定した接触は期待できない。

(5) 開閉回数と接触抵抗…1,000 ~ 10,000 回まで接触抵抗は増大するが、その後はほぼ安定する。しかし低電圧・小電流では徐々にばらつきが多くなり、またやや増大の傾向にある。

## 7.2 接触不良と接触抵抗

次項で述べるように、接触不良の発生原因には種々の条件が存在し再現性が比較的小ないため、接触不良と接触の相関関係は明らかでないが、ここでは接触信頼度試験と関連し、接触不良と接触抵抗について簡単に述べる。

開閉条件と接触抵抗は図 7.5 のとおりで、しゃ断用(b)接点が、接触抵抗最大で、投入用(b)接点は低く、通電のみの接点が一番低く安定している。接触不良はしゃ断用(b)接点であると断定(詳細は 7.3 節参照)すると、200 V 回路では接触抵抗 100~200 mΩ で接触不良率は  $10^{-8}$ 、24 V 回路では接触抵抗 600~700 mΩ で接触不良率は  $10^{-6}$  となる。

## 7.3 接触信頼度

### 7.3.1 接触不良の原因

信頼度とは「定められた条件のもとで、定められた範囲内の特性をもって所定の機能を遂行する確率」をいう。接触信頼度は与えられた回路の開閉および通電を正しく行なう確率をいうことになる。接点の定められた動作は、1) 回路電流を投入すること。2) 投入された回路電流を保持すること。3) 回路電流を切ること。である。一般に 3) 項の回路を切ことは、継電器の定格内での使用であれば短絡等の事故でもない限り、接点摩耗故障すなわち保証寿命までは起こることはない。また 2) 項の回路の保持も、外部からの異常な振動衝撃や電圧変動でもない限り発生しない。したがって問題となるのは 1) の投入不良である。この原因の一つは電源電圧の不足または接触抵抗累積による回路電圧降下であって、電圧不足でリレー

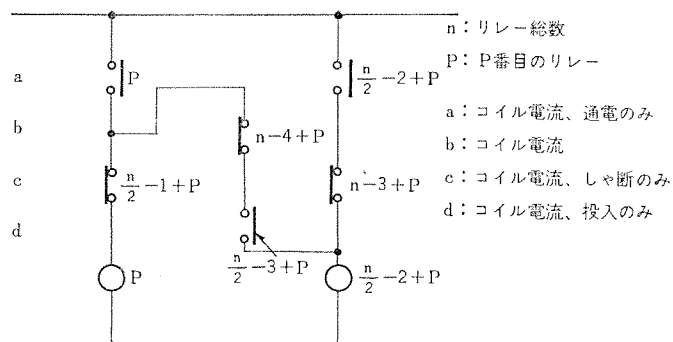


図 7.6 接触信頼度基本ユニット  
Fundamental diagram of reliability test.

を動作できないものであり、他の一つは接点の接触不良によるものである。

接触不良の発生原因は、銀接点を空気中で使用したとき接点表面に不導通被膜の生成、じんあいなどが接点間にはさみ込まれて発生するとされている。不導通被膜は、1) 空気中の硫化ガスによる硫化、2) 空気中の有機ガスがアークにより炭化した炭化被膜(ブラックパウダ)、3) 空気中に浮遊するじんあい、4) 継電器自身の摩耗により発生する異物の粉末が主である。これらは低電圧・小電流の開閉また低ひん度開閉時に接触不良発生率が多くなる。この対策として、a) 用途により接点部を適当な封入構造とする。b) 接点部の圧力・衝突・ワイピング作用を改良し、接点表面を機械的に清浄にする。d) 並列接点回路を形成する。使用電圧を高くし不導通被膜を電気的に破壊する。などの方法がとられる。

### 7.3.2 接触信頼度試験

試験回路は新 JEM 規格の推奨案によるにチェーンサーキットによった。この回路は図 7.6 の基本ユニット回路から成るもので、負荷が実際と同じ継電器のコイルであること、投入のみ、しゃ断のみ、通電のみの三つの開閉条件に分けてあること。接触不良を起こすとそのままの状態でも自動停止し不良接点を確認できること。および開閉ひん度が高く、短時間に試験でき機械的寿命試験を兼ねることができなどの特長をもっている。ただし巡回速度は供試品の動作時間により決まり、また a 接点と b 接点の切換時間も影響するので、実際のシーケンスと多少評価が違う点があるが、一般的な点で広く使用されている。

試験結果は表 7.1、図 7.7 に示す。

### 7.3.3 開閉条件と接触不良

接触不良の停止パターンから予期したとおり、二、三の複雑な停止パターンを除き、投入不良(約 10%)と自己保持不良[しゃ断用(b)接点の投入不良約 90%]であった。停止後はいずれも再起動可能であり、接点不良は軽度で再現性はなく、また接点の状態は目視では良好で、他の接点と区別できなかった。

### 7.3.4 接触不良の MTBF の推定

接触不良残有率から指数形の分布をするものとみなされる。ツイン接点のものは一定回数まで不良にならず、ある回数以後指数分布に従って不良が発生する。

いま、一定個数方式で  $N$  個の試料について試験し、接触不良をおこしたら再起動し常に被試験個数は  $N$  に保つ。 $n$  番目に不良になったユニットの寿命を  $t_n$  とすれば、推定平均寿命(MTBF)  $\hat{L}$  は、

$$\hat{L} = \frac{N \cdot t_n}{n} \dots \dots \dots (7.1)$$

また一定回数  $A$  まで不良がなく以後指数分布で不良が発生する

表 7.1 SR 形継電器接触信頼度  
Contact reliability of type SR relays.

| 形 名   | 接点    | 接触方式<br>接点形状   | 試 験 条 件 |    |           |            |               | 開閉<br>回数<br>(万回) | 接触<br>不良<br>回数 | 1 接点あたりの<br>接触不良×10 <sup>-8</sup> |       |             |
|-------|-------|----------------|---------|----|-----------|------------|---------------|------------------|----------------|-----------------------------------|-------|-------------|
|       |       |                | 環境      | 台数 | 電圧<br>(V) | 電流<br>(mA) | ひん度<br>(回/kg) |                  |                | A                                 | MTBF  | 95%信<br>頼限界 |
| MR-44 | 4a 4b | 点接触<br>突合せ     | 良好      | 20 | 100       | 90         | 18,000        | 300              | 10             | —                                 | 2.0   | 30          |
| SR-8  | 4a 4b | 線 接 触<br>ころがり  | 良好      | 20 | 100       | 90         | 18,000        | 300              | 2              | —                                 | 0.45  | 10          |
| SR-8S | 4a 4b | ツイン            | 良好      | 20 | 100       | 90         | 18,000        | 500              | 1              | ?                                 | 0.245 | 7           |
| SR-8  | 4a 4a | 線 接 触<br>ころがり  | 良好      | 10 | 200       | 45         | 18,000        | 300              | 2              | ?                                 | 0.88  | 20          |
| MR-44 | 4a 4b | 点接触<br>突合せ     | 良好      | 10 | 200       | 45         | 18,000        | 300              | 8              | —                                 | 3.3   | 53          |
| MR-44 | 4a 4b | 点接触<br>突合せ     | 良好      | 10 | 24        | 400        | 7,200         | 100              | 54             | —                                 | 67.5  | 795         |
| SR-8  | 4a 4b | 線 接 触<br>ころがり  | 良好      | 10 | 24        | 400        | 7,200         | 100              | 20             | —                                 | 25.0  | 330         |
| SR-8  | 4a 4b | 線 接 触<br>2P 並列 | 良好      | 10 | 24        | 400        | 7,200         | 300              | 6              | —                                 | 2.7   | 45          |
| SR-8S | 4a 4b | ツイン            | 良好      | 10 | 24        | 400        | 7,200         | 300              | 2              | —                                 | 0.9   | 20          |

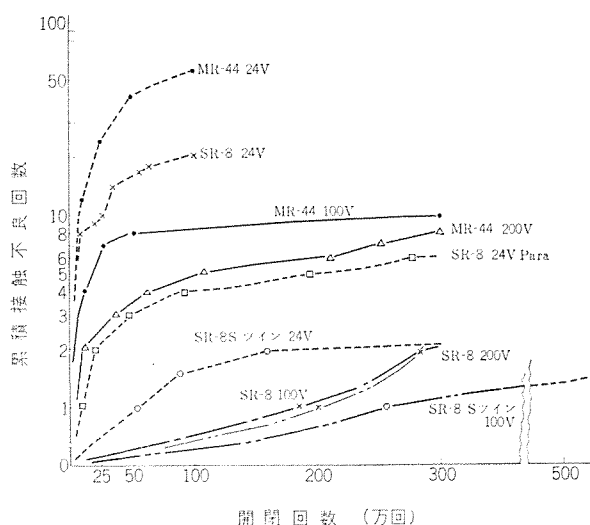


図 7.7 接触信頼度試験結果 (普通環境)  
Reliability test (normal condition).

場合の A の推定は

$$\hat{A} = \frac{t}{n-1} - \frac{1}{N(n-1)} \{t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1} + (N-n+1)t_n\} \dots (7.2)$$

$$\text{Var}(\hat{A}) = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{L^2}{N^2} \dots (7.3)$$

A+L の推定

$$\hat{A+L} = \frac{n-N}{n-1} t_1 + \frac{N-1}{N(n-1)} \{t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1} + (N-n+1)t_n\} \dots (7.4)$$

$$\text{Var}(\hat{A+L}) = \left(1 + \frac{(N-1)^2}{(n-1)^2}\right) \frac{L^2}{N^2} \dots (7.5)$$

上式から計算すると表 7.1 のようになる。

#### 7.4 SR 形電磁継電器の信頼度・寿命

まとめとして次のことがいえる。

(1) 機械的寿命は約 1,200~1,400 万回で、90%信頼限界は約 1,000 万回である。

(2) 電気的寿命は定格電流により変わるが、単相 220 V 誘導負荷 5 A で 50 万回、3 A で 100 万回、2 A で 250 万回である。

(3) 接触信頼度は 1 接点あたり、100 V 200 V 回路では  $10^{-8}$ ~ $10^{-9}$  24 V 回路では  $10^{-6}$ 、24 V 回路で 2 極並列使用では  $10^{-8}$ 、ツイン

接点の 24 V 回路では  $10^{-8}$  である。

## 8. 適 用

SR 形電磁継電器は信頼度向上を目的として、種々の改良を加え個々の信頼性を向上させたが、回路の信頼性を決めるのは、器具と適用である。したがって、適用にあたりとくに問題となる点を簡単に述べる。

### 8.1 信頼性向上のための適用策

(1) 回路電圧—なるべく高い電圧すなわち 100, 200 V 回路を使用する。100 V 以下の回路では接触不良は多くなり、ころがり接触の接点をもつ SR 形の 200 V での 1 接点あたりの不良率が  $10^{-8}$ ~ $10^{-9}$  のものが、24 V では  $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$  にも低下する。したがって低電圧低電流の回路（たとえば、半導体回路用）では、ツインの接点をもった SR-S 形の使用を推奨する。

(2) 並列使用—1 個の接点の接触不良率を  $P$  とすれば、 $n$  個並列に使用すると理論上は  $P^n$  となる。今 24 V 回路で考えると、ころがり接触の不良率は 1 個使用では  $10^{-6}$  であるが、理論的には 2 個並列使用では  $10^{-12}$  となり、200 V 級の不良率まで回復する。低電圧回路または重要回路には並列使用を推奨する。

(3) 電圧変動—制御用継電器は定格電圧の 85~110% の範囲で完全な動作を行なうように製作されているが、使用に際しては 95~100% 電圧での使用が望ましい。これは、不足電圧では動作不能または接触不良の発生原因となり、過電圧では寿命に影響がある。また、コイル 定格については、同じ容量の操作電磁石 VA 一定のため、低電圧ほど回路抵抗による電圧降下の影響を受けやすく、この点からも 200 V が望ましく、不完全投入によるトラブルもさけやすい。

(4) ふんい気—硫化水素や有機ガスが接点に悪影響を及ぼすことは周知のことであるが、一般には外被を防食構造として外気とのシャ断を図る。また、じんあいの多い場所では外被を防じん構造とするとともに、防じんカバー付きを推奨する。とくに悪いふんい気では、盤の内圧を上げて、常に清浄な空気中に継電器を置くようにする必要がある。

(5) 接触抵抗—接触抵抗は低いほど接触が安定し、接触不良が少ないといえるが、抵抗値自体よりも、電圧降下と接触抵抗の変化のないことにより、操作コイルの許容動作電圧範囲に電圧を保つことが必要である。

(6) 適用定格—適用負荷の性質によって適正な使用を計る必要がある。これには、継電器の適用基準の明確であることが必要であるが、この点 SR 形は新 JEM 規格により、交流コイルの突入電流の存在する誘導負荷の適用に、はっきり明示している定格使用電流以下の適用を行なう。直流負荷の適用では、アーク時間が長く、消耗が大きく、適用にあたってはとくに注意し、2P あるいは 3P 直列使用等の指針によって選定する。また、SR 形定格使用容量をこえる大容量に対しては、銀合金接点付きの S-10, 11 等の接触器を使用することを推奨する。

### 8.2 接続電線のゆるみと切損

継電器の電線接続部のゆるみや破損は、制御系の信頼性に大きな影響を与える。SR 形継電器の電線締付けによるゆるみを振動・衝撃を有する制御盤で試験した。図 8.1 にその制御盤を示し、結果を表 8.1 に示す。

この結果、1) より線・単線とも、電線をそのまま端子に締めつけた場合、開閉による締付けトルクの低下はみられない。2) 圧着

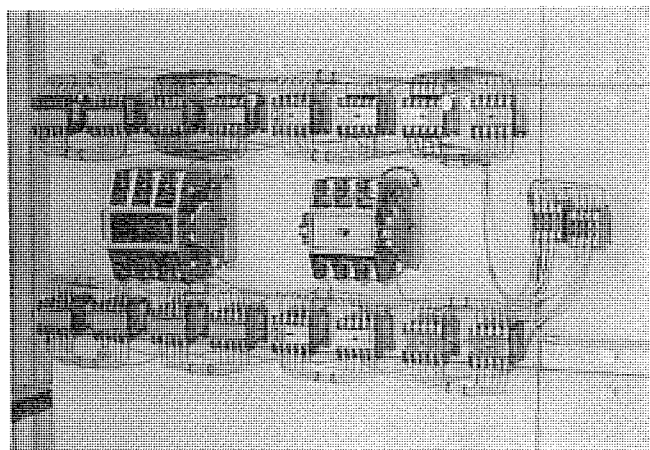


図 8.1 SR 形継電器端子ゆるみ試験用制御盤  
Control panel to check connected wire loosening test.

表 8.1 接続電線のゆるみと切損  
Connected wire loosening test of type SR-5 relays.

| 形 名                      | 接続電線     | 電 線<br>サイズ        | 締付<br>本数 | ゆるみ率 (%) |       |       |       | 切 損 率 (%) |       |       |       |
|--------------------------|----------|-------------------|----------|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
|                          |          |                   |          | 50万回     | 100万回 | 200万回 | 300万回 | 50万回      | 100万回 | 200万回 | 300万回 |
| SR-5<br>(締 付)<br>10kg·cm | 接続電線そのまゝ | 2 <sup>2</sup>    | 1        | 0        | 0     | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          |          | 2 <sup>2</sup>    | 2        | 0        | 0     | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          |          | 1.25 <sup>2</sup> | 1        | 0        | 0     | 0     | 5     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          |          | 1.25 <sup>2</sup> | 2        | 0        | 0     | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          |          | 1.6φ              | 1        | 0        | 0     | 0     | 5     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          |          | 1.6φ              | 2        | 0        | 0     | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          | 丸圧端子     | 2 <sup>2</sup>    | 1        | 0        | 0     | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0     |
|                          | 先開端子     | 2 <sup>2</sup>    | 1        | 0        | 0     | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0     |

端子・先開端子の締付けでも締付けトルクの低下はない。したがってセルフアップスーパーロックワッシャー付き端子は、接続に対し十分な信頼性を有するといえる。

なお新しい接続方式として結線が容易で、作業能率の向上も兼ねたファストン端子付きの使用も推奨する。

## 9. む す び

新形 SR 形継電器シリーズについて、信頼性向上の主題を中心として、開発方針・構造・特長・特性試験・接触信頼度試験結果を述べたが、信頼度は単に継電器の個有信頼度のみでなく、ユーザ各位の適用使用信頼度が大きく影響するので、今後さらに実用面・応用面で得られた種々の成績と実績により、より信頼性のすぐれた継電器として改善を計り、ユーザ各位の期待に十分そいたいと考えている。

最後に、新形 SR 形継電器の開発に際して、長期間にわたって協力された工作・試験の各位に深甚の謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 丸地：新形電磁継電器，三菱電機技報，38，No. 7，(昭38)
- (2) 補助継電器の選び方・使い方，オートメーション，13，No. 2，(昭43)
- (3) 島田：信頼性と寿命試験，日科技連

# 新形交流電磁開閉器の応用

堀田 滋矩\*・有本 智美\*・清水良之輔\*・遠藤 譲\*

## Application of New Type AC Magnetic Switches

Nagoya Works Shigenori HOTTA・Satomi ARIMOTO・Ryonosuke SHIMIZU・Yuzuru ENDO

The expansion of industrial field has brought forth a large quantity production of magnetic switches and contactors chiefly employed for the control of motor operation. Their performance has been improved and becomes steady. The products are now available at reasonable price, widening their scope of application. However, if carefully selected models of general purpose are built and applied, it is more economical to manufacture special apparatus for particular use every time. Thorough studies have been made on newly developed MS magnetic switches, and a number of new applications have been worked out. For example, herein are described such applications as to type SD DC operated magnetic contactors, star-delta starters, resistors, condensers and high frequency circuits.

### 1. ま え が き

工業分野の発展拡大につれて電磁開閉器、接触器は主として電動機の運転制御用として大量生産され、性能の向上安定とともに、手軽にかつ経済的に入手できるようになった。これとともに電磁開閉器の応用分野は広がり種々の分野、用途への適用も多くなりつつある。

特殊用途として特殊用電磁開閉器を製作使用するよりも、はん用のものを適正に選定すれば性能的にも十分使用可能であり、かつ経済的でもある。

今度、開発した MS シリーズ電磁開閉器も応用品シリーズの拡充と種々の特殊用途に対する確認試験を行ない、需要家各位の適用指針として推奨発表していきたいと考えている。ここでは MS 形電磁開閉器の主要応用品として、SD 形直流操作電磁接触器の概要および適用例として、スターデルタ起動器への適用、その他抵抗、コンデンサ開閉および高周波用への適用について述べる。

### 2. 直流操作電磁接触器

#### 2.1 種類と仕様

SD 形直流操作電磁接触器は、S 形交流操作電磁接触器の操作電磁石部分を直流専用とし、高信頼性をねらったものである。種類は SD-10 形から SD-150 形までの 9 種類で、種類と仕様は表 2.1 に示す。

#### 2.2 構造と特長

基本構造は水平動作機構であり、電磁石部分はシリーズとしての特性向上、信頼性向上の目的で可動部の円滑なしゅう動(摺動)、磁気吸引力の効果的利用を計り、鉄心の寸法形状の検討および磁気材料と銅材料の経済計算と試験を慎重に行なった。操作電磁石は SD-10～35 は図 2.2 に示すフレノイドタイプの one-coil 方式、SD-50～150 は図 2.3 に示す固定鉄心が U 字形、可動鉄心が I 字形の two-coil 方式とした。SD-10～35 では鉄心の寸法的、構造的制約から吸引力の有効利用をねらったフレノイドタイプとし、ギャップとフレノイドの総合吸引力により良好な結果を得た。また SD-50～150 については鉄心形状配置の最適使用を計るため、U-I 形鉄心を採用しすぐれた効率と銅材料の大幅な低減を得た。図 2.4 に旧 MD 形と SD 形電

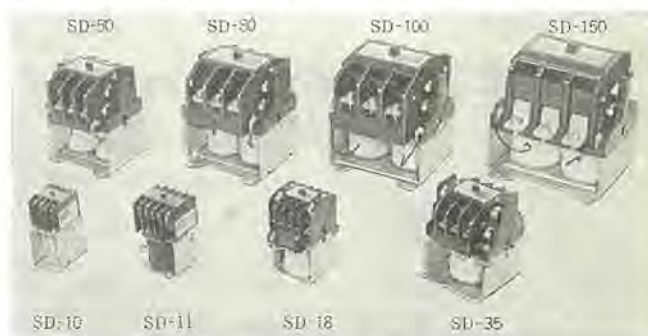


図 2.1 SD 形電磁接触器シリーズ  
Type SD magnetic contactor series.

表 2.1 SD 形直流操作電磁接触器の定格

Ratings of type SD contactor.

| 形 名                 |              |              | SD-10 | SD-11 | SD-18 | SD-25 | SD-35 | SD-50 | (SD-65) | SD-80 | SD-100 | SD-150 | (SD-200) |
|---------------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|----------|
| 定 格 電 圧 AC (V)      |              |              | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600     | 600   | 600    | 600    | 600      |
| 定 格 電 流 (A)         | レッド<br>規格    | AC 200-220 V | 11    | 11    | 18    | 25    | 35    | 50    | 65      | 80    | 100    | 150    | 180      |
|                     |              | AC 380-440 V | 6     | 6     | 13    | 18    | 25    | 50    | 60      | 80    | 100    | 150    | 180      |
|                     |              | AC 500-550 V | 5     | 5     | 10    | 14    | 20    | 40    | 50      | 65    | 80     | 120    | 150      |
|                     | グリーン<br>規格   | AC 200-220 V | 12    | 12    | 20    | 35    | 48※   | 65    | 70      | 93    | 125    | 180    | 200      |
|                     |              | AC 380-440 V | 7     | 9     | 15    | 20    | 35    | 60    | 65      | 85    | 110    | 165    | 200      |
|                     |              | AC 500-550 V | 6     | 7     | 11    | 15    | 28    | 50    | 55      | 70    | 100    | 150    | 180      |
| 定 格 通 電 電 流 (A)     |              |              | 12    | 15    | 20    | 35    | 48※   | 65    | 70      | 100   | 130    | 200    | 220      |
| 補助接点<br>定格電流<br>(A) | AC 200-220 V |              | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5       | 5     | 5      | 5      | 5        |
|                     | AC 380-440 V |              | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3       | 3     | 3      | 3      | 3        |
| 重 量 (kg)            |              |              | 0.66  | 0.82  | 1.25  | 1.7   | 2.0   | 3.2   | 3.2     | 4.65  | 6.4    | 9.2    | 9.2      |

注) ※別端子付

磁接触器の定格電流 フレーム に対する AT, および巻線重量の比較を示した。特長については直流操作としての利点のほかに、小形軽量

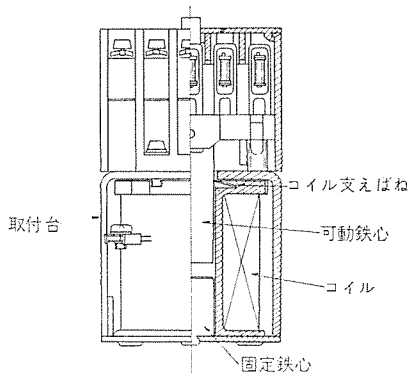


図 2.2 SD-11 形電磁接触器断面  
Cross sectional sketch of type SD-11 contactor.

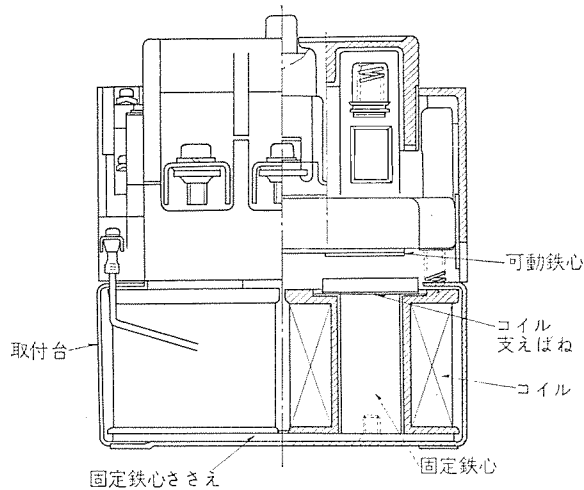


図 2.3 SD-80 形電磁接触器断面  
Cross sectional sketch of type SD-80 contactor.

な S 形の高しゃ断容量, 配線容易などの特長を有するが、要約すると次のようになる。

- (1) DC 操作専用連続定格の操作電磁 コイル は、きわめて信頼性が高い。
- (2) きわめて長寿命であり機械的 2,000 万回を完全に保証しうる。
- (3) 小形軽量であるが消弧室、2 点しゃ断としゃ断速度を利用し、AC, DC とも大しゃ断容量を有する。

2.3 特性一般

SD 形の動作特性は、動作電圧が周囲温度 40°C, コイルコールド 状態で約 60%, コイル温度上昇後でも 85% を完全に保証しうる設計とした。動作時間は直流操作としては、比較的早く ~ms であるが、投入時の接点おどり衝撃はきわめて小さくばらつきも小さい。表 2.2 は動作電圧と動作特性を示す。コイル温度上昇については 連続定格

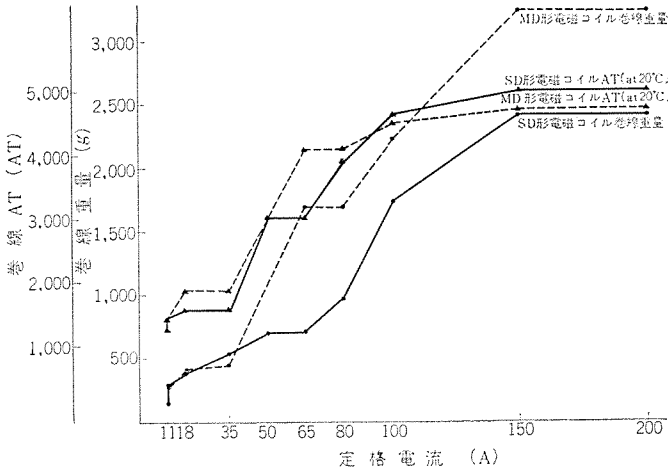


図 2.4 SD 形電磁接触器と MD 形電磁接触器の電磁コイル仕様比較  
Characteristic curves of magnetic coil of type SD and MD contactor.

表 2.2 SD 形電磁接触器動作特性一覧表

Operation test data of type SD contactor.

| 形 名           |                                           | SD-10                             | SD-11 | SD-18   | SD-25   | SD-35   | SD-50   | SD-80   | SD-100  | SD-150  |
|---------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 試 験 条 件       | 接 点 構 成                                   | 1 a                               | 2 a   | 2 a 2 b | 2 a 2 b | 2 a 2 b | 2 a 2 b | 2 a 2 b | 2 a 2 b | 2 a 2 b |
|               | そ の 他                                     | コイル定格: DC 100 V 電源: 純直流 周囲温度 40°C |       |         |         |         |         |         |         |         |
| コ イ ル 入 力 W   |                                           | 10.5                              | 11.0  | 15.4    | 16.0    | 18.7    | 33.0    | 39.7    | 50.0    | 55.0    |
| 最 小 吸 引 電 圧 V | コ ー ル ド 状 態                               | 69.0                              | 68.5  | 57.0    | 63.1    | 65.5    | 64.0    | 58.0    | 58.0    | 59.3    |
|               | ホ ッ ト 状 態                                 | 79.0                              | 79.5  | 72.2    | 76.4    | 79.2    | 77.5    | 73.5    | 63.0    | 74.2    |
| 釈 放 電 圧 V     | コ ー ル ド 状 態                               | 26.0                              | 24.7  | 19.0    | 20.2    | 21.0    | 17.0    | 17.5    | 13.5    | 18.8    |
|               | ホ ッ ト 状 態                                 | 31.0                              | 29.8  | 24.5    | 25.0    | 26.0    | 22.0    | 22.0    | 16.0    | 23.4    |
| 投 入 時 間 (ms)  | コイル ON から主接点 ON まで : t <sub>1</sub>       | 33                                | 35    | 28      | 40      | 46      | 99      | 123     | 120     | 192     |
|               | コイル ON から補助 b 接点 OFF まで : t <sub>2</sub>  | —                                 | —     | 22      | 20      | 20      | 85      | 109     | 124     | 163     |
|               | コイル ON から補助 a 接点 ON まで : t <sub>3</sub>   | 33                                | 35    | 29      | 42      | 48      | 99      | 122     | 106     | 191     |
|               | 全投入時間 : t <sub>4</sub>                    | 39                                | 41    | 34      | 48      | 53      | 105     | 127     | 131     | 210     |
| 釈 放 時 間 (ms)  | コイル OFF から主接点 OFF まで : t <sub>5</sub>     | 10.6                              | 10.7  | 14.1    | 16.0    | 17.1    | 26      | 21.3    | 37.3    | 29.7    |
|               | コイル OFF から補助 a 接点 OFF まで : t <sub>6</sub> | 10.7                              | 10.6  | 14.1    | 16.1    | 17.2    | 25      | 21.3    | 33.8    | 29.7    |
|               | コイル OFF から補助 b 接点 ON まで : t <sub>7</sub>  | —                                 | —     | 18.4    | 23.6    | 24.5    | 31.5    | 29.5    | 43.6    | 39.0    |
| コイル温度上昇 deg   | 抵 抗 法                                     | 57.0                              | 56.5  | 72.0    | 58.1    | 68.0    | 67.5    | 74.0    | 70.0    | 68.5    |
|               | 温 度 計 法                                   | 46.0                              | 48.8  | 60.3    | 46.5    | 47.5    | 56.0    | 62.5    | 58.5    | 57.0    |
| 衝 撃 値 g       | 投 入 時                                     | 3.33                              | 3.67  | 4.17    | 4.25    | 4.33    | 4.41    | 4.50    | 5.0     | 5.0     |
|               | 釈 放 時                                     | 2.22                              | 1.11  | 1.89    | 1.58    | 1.66    | 2.00    | 1.10    | 1.22    | 1.55    |

注) 1. 投入時間は印加電圧が定格の 100% コールド状態で値を示す。  
2. 投入釈放時間はオシロの平均時間を示す。  
3. 完全投入時間は操作電磁石が完全に吸着するまでを示す。  
4. 投入衝撃値は印加電圧が定格の 110% 時の値を示す。

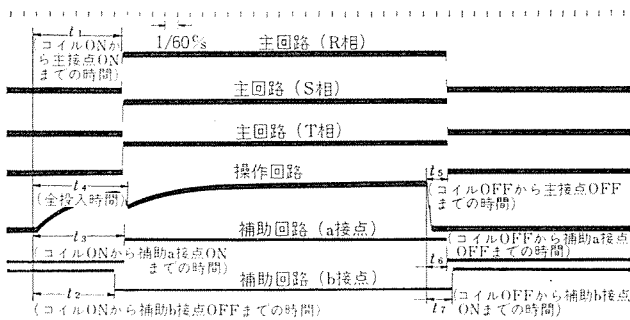


図 2.5 SD 形電磁接触器の動作試験 オシログラム (SD-80)  
Operation-test oscillogram of type SD-80 contactor.

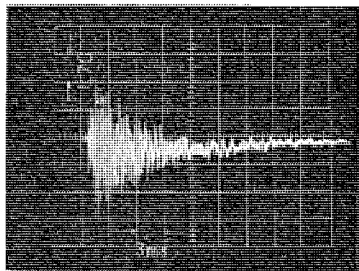


図 2.6 SD-100 形電磁接触器の投入衝撃波形  
Impact wave on panel of type SD-100 contactor.

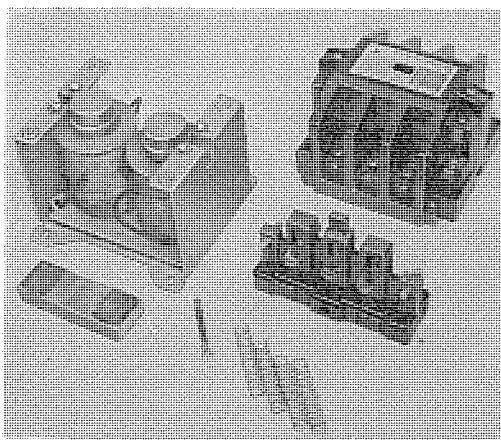


図 2.7 SD-50 形電磁接触器 2,000 万回開閉後の試料  
Type SD-50 contactor after mechanical life test.

表 2.3 各種直流電源に対する SD-50 形電磁接触器特性  
Characteristic of type SD-50 contactor for various DC sources.

| 特 性<br>種 類     | AC 入力<br>電圧 V | 直流出力<br>電圧 V | 最小吸引<br>電圧 V | コイル<br>入力 W | コイル温度<br>上昇 $\Delta$ deg | 直流出力波形 |
|----------------|---------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------|--------|
| 純 直 流          | —             | 100          | 77.5         | 26.5        | 67.5                     |        |
| 全波整流           | 100           | 83           | 80.5         | 22.0        | 56.1                     |        |
| 半波             | 100           | 18.5         | 吸引不能         | —           | —                        |        |
| C なし           |               |              |              |             |                          |        |
| 整 流            | 100           | 119          | 77.5         | 31.5        | 80.2                     |        |
| C 付<br>(100PF) |               |              |              |             |                          |        |

注) 1. コイルは DC 100V  
2. 各値は 40°C ホットでの値である  
3. 使用した整流器はセレン整流器 R30TC

表 2.4 SD 形電磁接触器のコイル時定数とサージ電圧  
Time-constant and surge voltage of type SD contactor.

|              | SD-10   | SD-11   | SD-18   | SD-25   | SD-35   | SD-50   | SD-80   | SD-100  | SD-150  |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| コイル時定数<br>ms | 18.5    | 24.1    | 33.5    | 42.3    | 52.6    | 84.5    | 85.7    | 120.7   | 125.0   |
| サージ電圧 V      | 約 1,200 | 約 1,200 | 約 1,300 | 約 1,300 | 約 1,300 | 約 1,400 | 約 1,500 | 約 1,500 | 約 1,600 |

であるにもかかわらず盤内使用を考え、表 2.2 のごとく A 種限界値に対し 10~15 deg の余裕を示している。

## 2.4 寿命

機械的寿命については、直流操作専用の特長から動作速度が適当で衝撃が小さく、摩耗部分が少ないためきわめて長寿命で、2,000 万回開閉後においても機構部分の破損はなく電磁石鉄心接極面の変形、摩耗も少なく安定した特性を示している。

一例として、SD-50 形電磁接触器の機械的寿命試験 2,000 万回前後における特性の変化は、最小吸引電圧 63V→71V、落下電圧 16V→9V、ストローク変化 6.4mm→6.0mm、オーバートラベル 2.9mm→2.4mm であり、試験後十分の機能を有している。電気的寿命についても接点のおどりが 2ms 以下ときわめて少なく、消弧装置の働きでしゃ断時アーク時間は短かく良好な開閉状態を示し、レッド定格 200 万回、グリーン定格 100 万回を完全に保証しうる。

## 2.5 操作回路に対する考案

### 2.5.1 操作電源

SD 形電磁接触器の操作電磁コイル付直流電源用専用に設計してあり、全波整流電源で、平滑回路なしで使用可能である。ただし、この場合にはコイルの定格値は、全波整流値の平均値を基準にした選定が必要である。半波整流電源の場合には、吸引不能やうなりを伴う動作不完全で平滑コンデンサを必要とする。

一例として、SD-50 形電磁接触器の純直流全波整流、および半波整流電源に対する吸引特性、電流波形、コイル入力、コイル温度上昇の比較を表 2.3 に示す。

### 2.5.2 サージ電圧

直流操作電磁接触器は、一般に交流操作電磁接触器に比べて、操作電磁コイルの巻数は多く、その電磁エネルギーが大きくなるので(開閉時)、アークによる開閉接点の消耗が大きく、あるいはしゃ断不

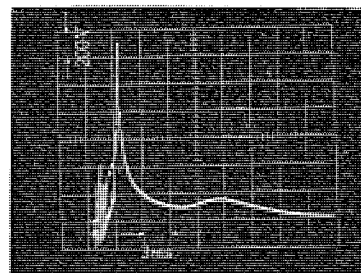


図 2.8 SD-100 形電磁接触器のサージ電圧波形  
Surge voltage wave form of SD-100 contactor.

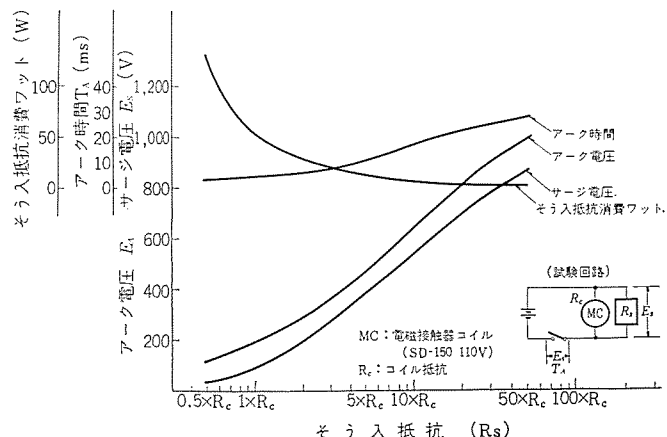


図 2.9 サージ吸収回路適用に対する特性 (SD-150)  
Characteristic curves of surge absorbing circuit.

表 2.5 SD 形直流操作電磁接触器の直流しゃ断電流量  
DC current breaking capacity of type SD contactor.

| 形 名    | 電 圧<br>V | 誘導負荷 (15 ms)<br>JEM-1138<br>(D 4 級準拠) |     | 誘導負荷 (100 ms)<br>制御用継電器 (D 1 級準拠) |     |     |
|--------|----------|---------------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|-----|
|        |          | 2 P                                   | 3 P | 1 P                               | 2 P | 3 P |
| SD-10  | 110      | 20                                    | 40  | 2                                 | 4   | 10  |
|        | 220      | 5                                     | 20  | 0.4                               | 1.5 | 4   |
| SD-11  | 110      | 30                                    | 50  | 2.5                               | 5   | 12  |
|        | 220      | 6                                     | 25  | 0.5                               | 2   | 6   |
| SD-18  | 110      | 40                                    | 80  | 3                                 | 6   | 20  |
|        | 220      | 10                                    | 40  | 0.5                               | 2.5 | 8   |
| SD-25  | 110      | 50                                    | 100 | 3                                 | 8   | 25  |
|        | 220      | 15                                    | 50  | 0.5                               | 2.5 | 8   |
| SD-35  | 110      | 60                                    | 150 | 4                                 | 10  | 50  |
|        | 220      | 18                                    | 60  | 0.6                               | 3   | 10  |
| SD-50  | 110      | 100                                   | 250 | 5                                 | 20  | 60  |
|        | 220      | 30                                    | 100 | 1                                 | 4   | 15  |
| SD-80  | 110      | 200                                   | 400 | 6                                 | 40  | 100 |
|        | 220      | 150                                   | 300 | 1.5                               | 10  | 30  |
| SD-100 | 110      | 400                                   | 500 | 10                                | 60  | 150 |
|        | 220      | 300                                   | 500 | 2                                 | 20  | 60  |
| SD-150 | 110      | 600                                   | 750 | —                                 | —   | —   |
|        | 220      | 500                                   | 600 | —                                 | —   | —   |

注) 1. 誘導負荷 (15ms) のしゃ断時のアーク時間は 0.05 s 以下  
2. 誘導負荷 (100 ms) のしゃ断時のアーク時間は 0.05 s 以下

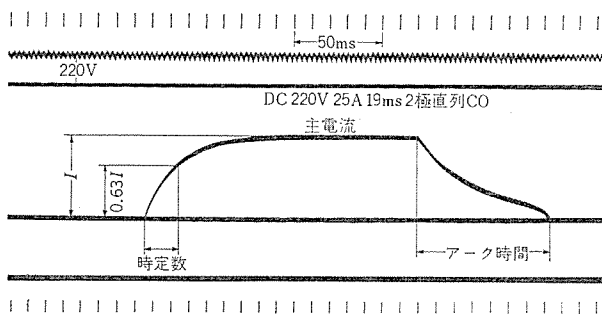


図 2.10 SD-50 形電磁接触器直流しゃ断試験 オシログラム  
Oscillogram of DC current breaking test.

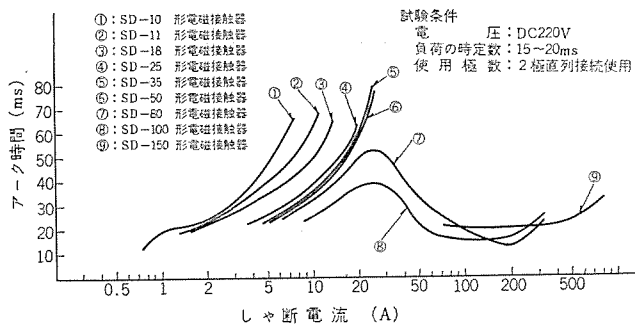


図 2.11 SD 形電磁接触器直流しゃ断電流-アーク時間の関係  
Relation of arcing time with current.

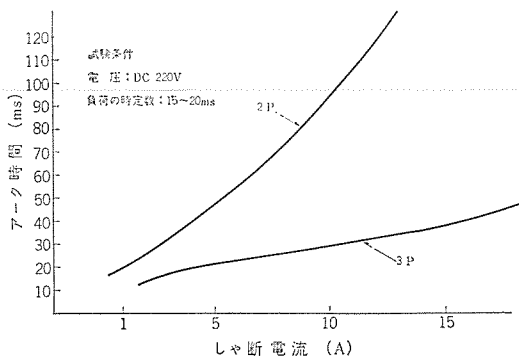


図 2.12 直列極数に対する直流しゃ断電流-アーク時間 (SD-10)  
Relation of arcing time with current for serial use of poles.

表 2.6 SD 形直流操作電磁接触器の直流定格  
DC current ratings of type SD contactor.

| 形 名    | 電 圧<br>V | 定 格 電 流 A |     |                          |     |            |     |     |
|--------|----------|-----------|-----|--------------------------|-----|------------|-----|-----|
|        |          | 抵 抗 負 荷   |     | 誘 導 負 荷<br>(直 流 モ ー タ ー) |     | 誘導負荷 (コイル) |     |     |
|        |          | 2 P       | 3 P | 2 P                      | 3 P | 1 P        | 2 P | 3 P |
| SD-10  | 110      | 10        | 12  | 4                        | 8   | 1.2        | 2.5 | 5   |
|        | 220      | 6         | 10  | 1.2                      | 4   | 0.25       | 1.0 | 3   |
| SD-11  | 110      | 10        | 12  | 6                        | 10  | 1.5        | 3   | 6   |
|        | 220      | 7         | 10  | 1.5                      | 5   | 0.3        | 1.2 | 3.5 |
| SD-18  | 110      | 15        | 20  | 8                        | 15  | 2.5        | 5   | 12  |
|        | 220      | 10        | 15  | 2                        | 8   | 0.4        | 2   | 6   |
| SD-25  | 110      | 25        | 30  | 10                       | 20  | 2.5        | 6   | 15  |
|        | 220      | 12        | 25  | 3                        | 10  | 0.4        | 2   | 6   |
| SD-35  | 110      | 35        | 40  | 15                       | 30  | 3          | 8   | 25  |
|        | 220      | 15        | 35  | 3.5                      | 12  | 0.5        | 2.5 | 8   |
| SD-50  | 110      | 50        | 65  | 20                       | 50  | 4          | 15  | 40  |
|        | 220      | 20        | 50  | 5                        | 20  | 0.6        | 3   | 10  |
| SD-80  | 110      | 80        | 100 | 40                       | 80  | 5          | 30  | 60  |
|        | 220      | 50        | 80  | 30                       | 50  | 0.8        | 6   | 20  |
| SD-100 | 110      | 100       | 120 | 80                       | 100 | 8          | 50  | 80  |
|        | 220      | 100       | 100 | 60                       | 80  | 1.0        | 15  | 50  |
| SD-200 | 110      | 150       | 180 | 120                      | 150 | —          | —   | —   |
|        | 220      | 150       | 150 | 80                       | 100 | —          | —   | —   |

能、過渡サージ電圧による回路の他の器具の絶縁が破壊されることがある。SD 形電磁接触器は、自己コイルのサージ電圧による絶縁破壊に対しては十分な絶縁をもたせている。

SD 形電磁接触器のコイル時定数、サージ電圧の値は表 2.4 に一例として、SD-100 形電磁接触器のサージ波形を図 2.8 に示す。一般に絶縁破壊を防止するため、電磁コイルと並列にサージ吸収用の抵抗器を使用し、サージをおさえる種々のそう入、抵抗値のサージ電圧、およびアーク時間の関係を図 2.9 に示す。一般には、コイル抵抗の 5~10 倍の抵抗でサージ電圧は約 1/2 に低減される。

## 2.6 直流回路での特性と適用

直流しゃ断特性は、動作速度としゃ断点数、および消弧室の効果により決定されるものであるため、SD 形の各適用について、十分のしゃ断容量を確認しなければならない。各条件におけるしゃ断試験結果により、まとめた数値を表 2.5 に示す。なお、しゃ断条件の時定数の決定は、JEM-1138 直流電磁接触器の DC 4 直巻電動機の起動、閉路用の 15 ms、および新 JEM 制御用電磁継電器の D 1 直流電磁接触器操作電磁コイルの開閉用 100 ms を準用実施し、電流の大きさとアーク時間の関係は図 2.11、2.12 に示すように、大容量のもののデアイオングリッドの効果、およびしゃ断点による、しゃ断性能がはっきりでている。

SD 形の直流定格 (表 2.6) の決定は、直流モータ用としては、JEM-1138、DC-4 によるしゃ断電流量が定格の 4 倍の規定から若干余裕をみて、しゃ断電流量の約 1/5 をとり、電磁コイル用は制御用継電器 JEM 案 D 1 のしゃ断電流量が、定格 1.1 倍から若干の余裕と寿命を考慮して約 1/1.5 として決定した。

交流電磁接触器を直流回路に使用する場合は、定格電流値は交流よりかなり小さくなるが、使用極の直列接続使用、すなわち 2 極あるいは 3 極直列により、しゃ断電流量が大きくなり定格電流値を上げて使用することができる。

## 2.7 適用

SD 形電磁接触器は、交流用および直流用として次のような要求使用に対して性能と特性が發揮される。

(1) 開閉ひん度が激しく、とくに長寿命を要求される ところ

—クレーン、ウインチ 等

(2) 投入衝撃が小さく、うなりを発生しないことをとくに要求されるところ——発電所、公共施設、ビル 設備用

(3) 安定した動作特性を要求し、直流電源を有するところ——車輦用 エレベータ

(4) ひん繁な開閉を要しない直流 モータとして

### 3. スターデルタ起動器えの適用

#### 3.1 スターデルタ起動法の必要性

かご形誘導電動機は構造簡単、安価なうえ、取扱いが容易なので、産業分野に広く使用されているが、特性と起動電流が6～8倍にもおよぶ欠点も有している。このため電源設備容量が小さいとき、起動時の皮相電力の急激な増加は線路に大きな電圧降下をもたらし、この線路に接続された他の機器に悪影響を与える。これを防止するために起動電流を抑制する最も簡単な方法として、スターデルタ起動法が広く活用されている。

スターデルタ起動法は、固定子巻線をスター接続して各相に電源電圧の $1/\sqrt{3}$ の電圧を加えて起動し、ほぼ全速に加速したのちデルタ接続に切換え、全電圧で運転にはいるものである。この方法によると

表 3.1 に示すように、じか入れ起動に対し $1/3$ の起動電流になり限流効果は大きい、起動トルクも同様に $1/3$ に減ずるので、適用にあたっては後述 3.4 節に注意する必要がある。

#### 3.2 種類と仕様

##### (1) EYD 形電磁 スターデルタ 起動器

3 個の電磁接触器を使用し、電氣的な安全度が高い。

##### (2) EY 形電磁 スターデルタ 起動器

2 個の電磁接触器を使用し、経済性に富む。

両者とも開放形（盤組み込み用）および箱入閉鎖形の 2 種類の構造を持つ。閉鎖形はさらに電流計、押しボタンスイッチおよび表示灯が

表 3.1 じか入れ起動法とスターデルタ起動法の比較  
Characteristic of line-starting and star-delta starting method.

| 起 動 法  | 起 動 時                                                           |                                          |                |                                      | 運 転 時         |                                      | 備 考             |
|--------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|        | 起電流<br>(起動電流)                                                   | トルク                                      | 線間電圧<br>(電源電圧) | 相電圧                                  | 線電流<br>(負荷電流) | 相電流                                  |                 |
| じか入れ   | ※600                                                            | ※150                                     | 100            | 100                                  | 100           | $100 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 58$ | 1. 表中の値はすべて%で示す |
| スターデルタ | $600 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 200$ | $150 \times (\frac{1}{\sqrt{3}})^2 = 50$ | 100            | $100 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 58$ | 100           | $100 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 58$ | 2. ※は一例である      |

図 3.1 EYD-O-S 65 形電磁 スターデルタ 起動器  
Type EYD-O-S 65 magnetic star-delta starter.



図 3.2 EY-O-S 18 A 形電磁 スターデルタ 起動器  
Type EY-O-S 18 A magnetic star-delta starter.

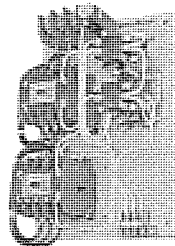


表 3.2 EYD 形電磁 スターデルタ 起動器の標準

Standard application table of type EYD magnetic star-delta starters.

| 形 名       | 適用電動機(kV) |          | 主 要 構 成 器 具 の 形 名 |       |       |       |       | S 形電磁接触器の開路しゃ断電流量 (A) |          |       |          |
|-----------|-----------|----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|----------|-------|----------|
|           | 200～220V  | 400～440V | COR               | MCs   | MCD   | MCM   | RT    | 250 V                 |          | 600 V |          |
|           |           |          |                   |       |       |       |       | MCs                   | MCD, MCM | MCs   | MCD, MCM |
| EYD-S 18  | 5.5       | 7.5      | TH-35             | S-18  | S-18  | S-18  | SM-22 | 180                   | 180      | 100   | 100      |
| EYD-S 25  | 7.5       | 11       | TH-35             | S-18  | S-25  | S-25  | SM-22 | 180                   | 250      | 100   | 140      |
| EYD-S 35  | 11        | 19       | TH-50             | S-25  | S-35  | S-35  | SM-22 | 250                   | 350      | 140   | 200      |
| EYD-S 50  | 19        | 33       | TH-50             | S-35  | S-50  | S-50  | SM-22 | 350                   | 500      | 200   | 400      |
| EYD-S 65  | 26        | 46       | TH-100            | S-50  | S-65  | S-65  | SM-22 | 500                   | 650      | 400   | 500      |
| EYD-S 80  | 33        | 65       | TH-100            | S-50  | S-80  | S-80  | SM-22 | 500                   | 800      | 400   | 650      |
| EYD-S 100 | 45        | 90       | TH-150+RH-1       | S-65  | S-100 | S-100 | SM-22 | 650                   | 1,000    | 500   | 800      |
| EYD-S 150 | 65        | 130      | TH-150+RH-2       | S-80  | S-150 | S-150 | SM-22 | 800                   | 1,500    | 650   | 1,200    |
| EYD-S 200 | 75        | 150      | TH-300+RH-2       | S-100 | S-200 | S-200 | SM-22 | 1,000                 | 2,000    | 800   | 1,200    |

注) OCR: 熱動過電流継電器

MCD: 運転用電磁接触器 (デルタ)

RT: 限時継電器

MCs: 起動用電磁接触器 (スター)

MCM: 主電磁接触器

表 3.3 EY 形電磁 スターデルタ 起動器の標準

Standard application table of type EY magnetic star-delta starters.

| 形 名        | 適用電動機 (kW) |           | 主 要 構 成 器 具 の 形 名 |       |       |       | S 形電磁接触器の開路しゃ断電流量 (A) |       |       |                  |
|------------|------------|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------|
|            | 200～220 V  | 400～440 V | OCR               | MCs   | MCD   | RT    | 250 V                 |       | 600 V |                  |
|            |            |           |                   |       |       |       | MCs                   | MCD   | MCs   | MCD              |
| EY-S 18 A  | 5.5        | 7.5       | TH-35             | S-18  | S-18  | SM-22 | 180                   | 180   | 100   | 100 <sub>n</sub> |
| EY-S 25 A  | 7.5        | 11        | TH-35             | S-18  | S-25  | SM-22 | 180                   | 250   | 100   | 140              |
| EY-S 35 B  | 11         | 15        | TH-50             | S-18  | S-35  | SM-22 | 180                   | 350   | 100   | 200              |
| EY-S 35 C  | —          | 19        | TH-50             | S-25  | S-35  | SM-22 | 250                   | 350   | 140   | 200              |
| EY-S 50 A  | 15         | 22        | TH-50             | S-25  | S-50  | SM-22 | 250                   | 500   | 140   | 400              |
| EY-S 50 B  | 19         | 33        | TH-50             | S-35  | S-50  | SM-22 | 350                   | 500   | 200   | 400              |
| EY-S 65 D  | 22         | —         | TH-100            | S-35  | S-65  | SM-22 | 350                   | 650   | 200   | 500              |
| EY-S 65 E  | 26         | 45        | TH-100            | S-50  | S-65  | SM-22 | 500                   | 650   | 400   | 500              |
| EY-S 80 A  | 33         | 65        | TH-100            | S-50  | S-80  | SM-22 | 500                   | 800   | 400   | 650              |
| EY-S 100 A | 45         | 90        | TH-150+RH-1       | S-65  | S-100 | SM-22 | 650                   | 1,000 | 500   | 800              |
| EY-S 150 A | 55         | 110       | TH-300+RH-2       | S-80  | S-150 | SM-22 | 800                   | 1,500 | 650   | 1,200            |
| EY-S 150 B | 65         | 130       | TH-300+RH-2       | S-100 | S-150 | SM-22 | 1,000                 | 1,500 | 800   | 1,200            |
| EY-S 200 A | 75         | 150       | TH-300+RH-2       | S-100 | S-200 | SM-22 | 1,000                 | 2,000 | 800   | 1,500            |

注) OCR: 熱動過電流継電器

MCD: 運転用電磁接触器 (デルタ)

MCs: 起動用電磁接触器 (スター)

RT: 限時継電器

簡単に追加取付けできる構造になっている。

### 3.3 EYD 形電磁スターデルタ起動器

S 形電磁接触器 3 個（開閉部）・TH 形熱動過電流継電器（電動機保護）および SM 形限時継電器（スター接続時間整定）を主要構成器具とし、電動機容量によるそれぞれのサイズ形名は表 3.2 に示すとおりである。

3 個の電磁接触器は停止中の電動機に電位を持たせず、点検・修理および保守を安全に行なわせることができる。

図 3.3 は従来形と動作を異にし、スター接続からデルタ接続に切換るとき、起動用電磁接触器の開路と同時にいったん主電磁接触器も開路する。つぎにデルタ運転用電磁接触器の投入と同時に再度主電磁接触器を投入させて運転にはいる。この過程は切換え過渡時の無通電余裕時間を長くすることができ、より安全になったと言える。またスター接続時の電流は起動用電磁接触器でしゃ断せず主電磁接触器でしゃ断するので、許容定格容量の限度で選定された起動用電磁接触器にとっては、最も好ましい使用方法と言える。

#### 3.3.1 起動用電磁接触器

起動用電磁接触器には表 3.1 で示したように、じか入れ起動の場合の 1/3 の閉路電流容量をもつ電磁接触器を使用することができる。図 3.3 で示したように、起動用電磁接触器はスター接続での電流はしゃ断することはないが、主電磁接触器が万一の故障で不動作のばあいでも、負荷選定の不適当なとき（トルク不足で起動不能などのばあい）や寸動運転時に考えられる電流をも支障なくしゃ断できるよう、閉路電流容量と同じしゃ断電流をもつ形電磁接触器を使用している。

#### 3.3.2 運転用電磁接触器

じか入れ起動器の開閉部は電動機の一次側にそう入されるため、全運転時間を通じて電動機負荷電流を開閉する必要があるが、EYD 形電磁スターデルタ起動器の運転用 S 形電磁接触器は、図 3.3 における  $MC_M$  および  $MC_D$  の 2 個でいずれも相回路にそう入される。このためこれらの電磁接触器は線電流の  $1/\sqrt{3}$  の電流を開閉することになり、同じ接触器で比較すればじか入れ起動の  $\sqrt{3}$  倍の容量まで使用できることになる。

運転中の電動機が停止するとき、 $MC_M$  と  $MC_D$  は同時にしゃ断することが好ましいが、電磁接触器の特性は厳密には個々に異なるので同時しゃ断を期待できない。しかしそれぞれの電磁接触器は表 3.2 に示すとおり十分な閉路しゃ断電流容量があり、この場合は同時しゃ断は問題にならない。

#### 3.3.3 切換時の過渡現象

スター接続からデルタ接続に切換えたときの過渡現象の一例を図 3.4 に示す。

(1) 無負荷で起動しほぼ全速まで加速されたのち、切換えを行なうばあいには、デルタ切換時の突入電流は曲線 A で示すように大きくなく問題にはならない。これは負荷の反抗トルクがないのでほぼ同期速度で回転し、切換中に電源電圧と電動機の機留電圧との位相差があまり生じないためと考えられる。正常なスターデルタ起動法においては、無負荷もしくは軽負荷で起動されるべきものであるから、ほとんどのばあい、過渡現象に起因するトラブルは心配しなくて良い。

(2) 電動機に負荷をかけて起動し全速付近まで加速されたのち、切換えを行なうばあいには、切換中に負荷の反抗トルクのために、電動機はすべりによる分だけ減速される。このため電動機残留電圧と電源電圧に位相差を生じ、曲線 B および C に示すように大きな過

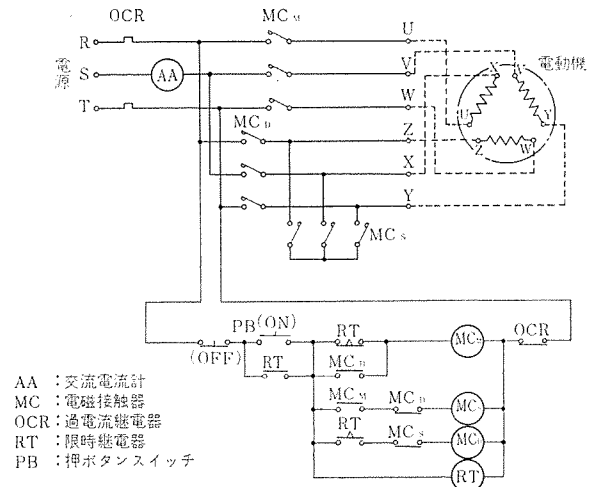


図 3.3 EYD 形電磁スターデルタ起動器展開接続図  
Elementary diagram of type EYD magnetic star-delta starter.

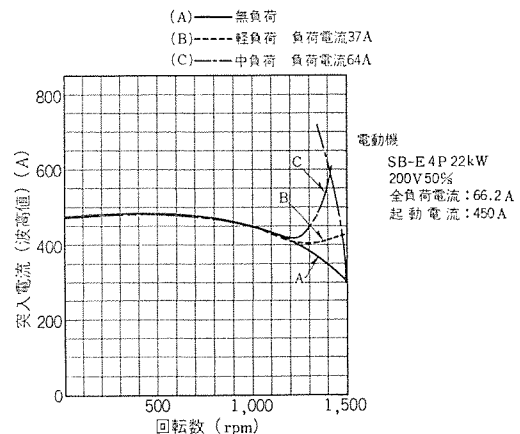


図 3.4 切換時の過渡現象の一例（その 1）  
Example of transient phenomena on star-delta changing over (No. 1).

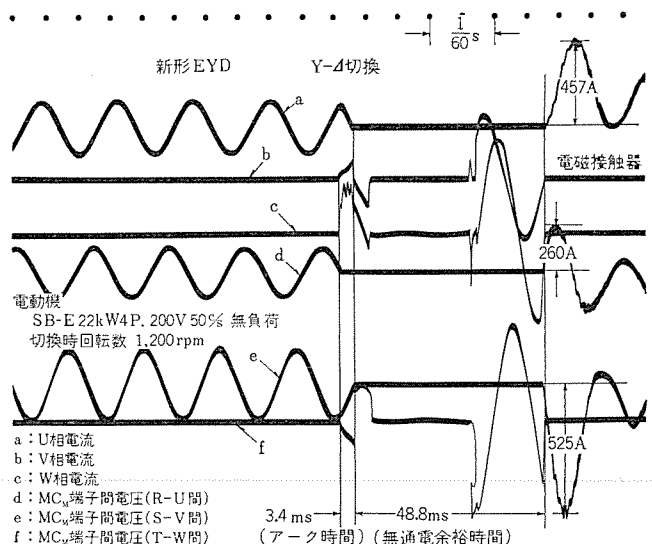


図 3.5 切換時の過渡現象の一例（その 2）  
Example of transient phenomena on star-delta changing over (No. 2).

渡突入電流が流れる。この突入電流は負荷の反抗トルク、電動機および負荷の  $GD^2$  ならびに切換時間に影響されるが、曲線 C ではじか入れ起動の起動電流の 1.25 倍になっている。

理論的には、生じる突入電流の値は、じか入れ起動電流からそ

の2倍の範囲であるが実際面では最悪でも1.7倍（実効値に対し波高値による倍数で示す）以下と考えて支障はない。

最近、切換時の無通電余裕時間を限要素によって大きくとる傾向が見られるが、電源電圧と電動機残留電圧の位相差を大きくすることになり、過渡電流に起因する故障を起こすばあいもありうる。図3.4なる実験における切換特性は、図3.5に示すとおりである。無通電余裕時間は平均45～70msであり、接点も溶着することなく良好な結果を得た。

使用中、接点の消耗が増したばあい、起動用電磁接触器を消磁してからその主接点が開き、あるいは補助接点（b）が閉じるまでの時間はいずれも増す傾向にあるが、運転用電磁接触器を励磁してから、その主接点が開くまでの時間もまた増すため、結局、無通電余裕時間は接点の消耗にはほとんど影響を受けない。

全負荷で起動したばあいなどは、電動機のトルク不足で加速されないためアーク時間が長く、主電磁接触器の寿命を縮めることになる。しかしこのばあいでも個々の電磁接触器のしゃ断性能は、表3.2に示すとおり十分であり、短絡事故を起こすことはない。過渡突入電流はじか入れ起動のばあいに等しくなる。

### 3.4 EY形電磁スターデルタ起動器

S形電磁接触器2個（開閉部）・TH形熱動過電流継電器（電動機保護）およびSM形限時継電器（スター接続時間整定）を主要構成器具とし、電動機容量によるそれぞれのサイズ形名は、表3.3に示すとおりである。

EYD形電磁スターデルタ起動器に対しては、主電磁接触器を持たないため、停止中の電動機にも電位を持たせるので、保守および点検時の取扱いには、注意を怠りなく徹底させるわずらわしさはあるが、その他についてはまったく同様の性能を発揮することができる。

動作形態は図3.6に示すごとく、器具構成の都合もあり若干異なるが、無通電余裕時間も十分とてある。使用器具は必要最小限にしたため、経済的には非常に有利である。

### 3.5 適用上の注意

EYD形およびEY形電磁スターデルタ起動器は、S形電磁接触器の性能を十分に生かし、過酷な使用や特殊な条件にも十分対応できる内容となっている。一般にかご形誘導電動機は、3.7kWまでスター結線3本リード式で、5.5kW以上がデルタ結線6本式リードであるため、電源電圧を常に安定させる必要のあるばあい、この起動法は

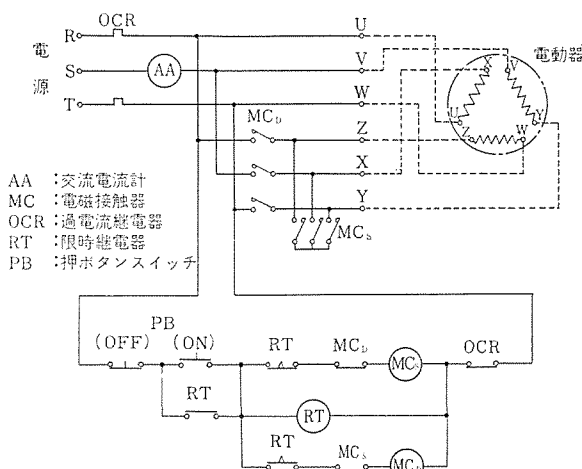


図 3.6 EY形電磁スターデルタ起動器展開接続  
Elementary diagram of type EY magnetic star-delta starter.

5.5 kW以上の電動機に適用できる。

前述のとおり、この起動法によると起動電流を1/3に抑制すると同時に、起動トルクも1/3に減ぜられるため無負荷または軽負荷で起動させる必要があり、負荷の選定には十分注意する必要がある。一般的にスターデルタ起動器が適用される用途にはつぎのようなものがある。

(1) 無負荷起動が可能なもの

○木工機械 ○グラインダ など

(2) 軽負荷起動が可能なもの

○ポンプ一般 ○小形コンベア ○小形コンプレッサ など

EY形電磁スターデルタ起動器は3.3.1節で述べたように、2個の電磁接触器しか使用していないため、電動機は停止中であっても電位をもっている。最近の電動機の絶縁仕様は向上しており、停止中の電圧印加が長期にわたっても絶縁劣化を起すことはまず考えられないが、消火せん(栓)用とか非常用ポンプなど、運転したいときにそれが原因で起動できず、大損害をこうむるおそれのある用途には3個の電磁接触器を用い、停止中の電動機を電源から完全に切り離れたEYD形電磁スターデルタ起動器を使用するのが望ましい。

EYD形およびEY形電磁スターデルタ起動器は、短絡保護装置を備えていないので、必ず電源側にナイフスイッチまたはノーヒューズしゃ断器を設けて回路保護を行なわなければならない。

## 4. 特殊負荷への適用

電磁接触器は、主として電動機の制御に用いられるのが一般的で、その性能も規格に決められている標準負荷（JEM・1038「交流電磁接触器」によれば、かご形電動機、巻線形電動機、抵抗回路、巻線形電動機2次側制御への適用）の開閉に対して、その特性が確認、保証されており、特殊負荷での特性に対しては規格上の規定はない。S形電磁接触器は標準負荷のほか、特殊負荷開閉に対しても十分その性能の確認試験を行ない、その適用定格を定めているが、ここでは各特殊負荷に対するS形電磁接触器の適用と概要を述べる。

### 4.1 抵抗負荷への適用

電磁接触器を電熱、抵抗短絡など抵抗負荷開閉用として使用する場合は、一般にC級およびD級として接触器の通電容量まで定格電流を上げ使用できるが、S形電磁接触器においては、導電部の温度上昇を低くおさえ、連続通電電流容量の増大を計っているため、適用負荷の容量が大きくなった。表4.1に抵抗負荷への適用を示す。この場合、特性はC級、1号、1-0種に相当する。

なお電熱、抵抗短絡、溶接機などで、単極として使用するとき、

表 4.1 S形電磁接触器の抵抗負荷に対する適用定格  
Application ratings for resistive load on type S contactor.

| 形 名   | 定格電流 (A)<br>(C級 1号 0種) | 三相定格容量 (kW) |           | 単相定格容量 (kW) |           |
|-------|------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|       |                        | 200～220 V   | 380～440 V | 100～110 V   | 200～220 V |
| S-10  | 12                     | 4           | 8         | 1.2         | 2.4       |
| S-11  | 15                     | 5           | 10        | 1.5         | 3         |
| S-18  | 20                     | 7           | 14        | 2           | 4         |
| S-25  | 35                     | 12          | 24        | 3.5         | 7         |
| S-35  | 48                     | 15          | 30        | 4.8         | 9.6       |
| S-50  | 65                     | 20          | 40        | 6.5         | 13        |
| S-65  | 70                     | 25          | 50        | 7.0         | 14        |
| S-80  | 100                    | 35          | 70        | 10          | 20        |
| S-100 | 130                    | 43          | 86        | 13          | 26        |
| S-150 | 200                    | 70          | 140       | 20          | 40        |
| S-200 | 220                    | 75          | 150       | 22          | 44        |
| S-300 | 330                    | 120         | 240       | 35          | 70        |

あるいは大容量で1極で通電容量不足のとき、3極の電磁接触器を並列接続で使用しうる。一例として、S-50形電磁接触器の試験結果を図4.1に示す。この結果からS-50形電磁接触器の各部温度上昇値は、通電電流が、1極通電容量(65A)の3倍近くでも余裕のある値を示している。理論的には、並列接点の通電容量 $I$ は、1極の通電容量を $I_0$ 、並列極数を $n$ とした場合、 $I=2\sqrt{n-1} \cdot I_0$ と考えられるが、配線その他適用上の条件を考えた安全係数を乗じ、3極並列時は極通電容量の2~2.5倍となるのが一般的である。

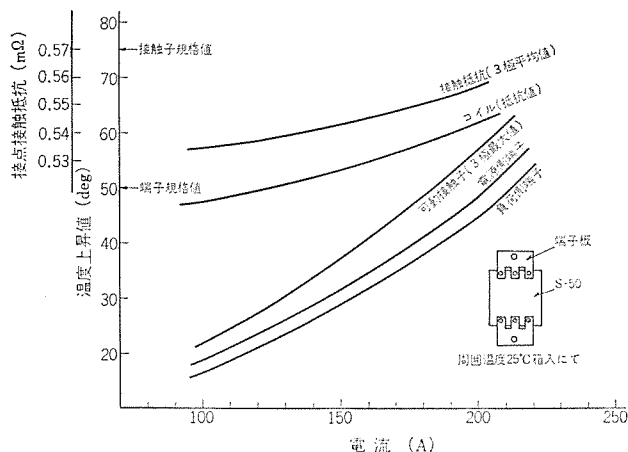


図 4.1 S-50形電磁接触器の3極並列使用時における電流-温度特性

Temperature rise curves of type S-50 contactor in parallel use.

表 4.2 S形電磁接触器3極並列時定格電流  
Ratings for parallel use of type S contactor.

| 形 名   | 定 格 電 流<br>A | 定 格 容 量 (kW) 1φ |           |
|-------|--------------|-----------------|-----------|
|       |              | 100~110 V       | 200~220 V |
| S-10  | 25           | 2.5             | 5         |
| S-11  | 30           | 3               | 6         |
| S-18  | 50           | 5               | 10        |
| S-25  | 70           | 7               | 14        |
| S-35  | 100          | 10              | 20        |
| S-50  | 160          | 16              | 32        |
| S-65  | 180          | 18              | 36        |
| S-80  | 250          | 25              | 50        |
| S-100 | 350          | 35              | 70        |
| S-150 | 500          | 50              | 100       |
| S-200 | 600          | 60              | 120       |
| S-300 | 800          | 80              | 160       |

表 4.3 S形電磁接触器のコンデンサ負荷に対する適用定格  
Application ratings for capacitive load on type S contactor.

| 形 名   | 標 準<br>(モータ負荷)<br>定格電流<br>A | 三 相         |             |             |            | 単 相         |             |             |             |
|-------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       |                             | kVA (A)     |             |             |            | kVA (A)     |             |             |             |
|       |                             | 200V        | 400V        | 500V        | 600V       | 200V        | 400V        | 500V        | 600V        |
| S-50  | 50                          | 13<br>(40)  | 20<br>(30)  | 25<br>(30)  | 25<br>(25) | 8<br>(40)   | 15<br>(40)  | 20<br>(45)  | 30<br>(35)  |
| S-65  | 65                          | 15<br>(50)  | 25<br>(40)  | 30<br>(35)  | 30<br>(30) | 10<br>(50)  | 20<br>(50)  | 25<br>(50)  | 40<br>(45)  |
| S-80  | 80                          | 20<br>(60)  | 40<br>(60)  | 45<br>(50)  | 45<br>(45) | 13<br>(60)  | 25<br>(60)  | 35<br>(60)  | 50<br>(60)  |
| S-100 | 100                         | 25<br>(80)  | 50<br>(70)  | 60<br>(70)  | 60<br>(60) | 15<br>(80)  | 30<br>(80)  | 40<br>(80)  | 60<br>(70)  |
| S-150 | 150                         | 40<br>(125) | 80<br>(110) | 90<br>(110) | 90<br>(90) | 25<br>(125) | 50<br>(125) | 60<br>(125) | 90<br>(110) |

注) 表中の周波数は商用周波数 50, 60 c/s の適用である。

しかし、S形電磁接触器においては、試験結果に示すように、接触部の抵抗抵抗が安定して低く、電流の不均衡分が少くないのと、標準使用(3極単投)時の定格通電容量を余裕をとった値としているため、S-50以上については、3極並列時の通電容量は安全係数を考慮しても、1極通電容量の2.5~3倍となり、性能の向上を計った。3極並列使用の定格は表4.2に示す。

#### 4.2 コンデンサ開閉用への適用

接触器の負荷として、単相電動機の起動用コンデンサや線路の力率調整用コンデンサを開閉する場合、S形電磁接触器は、接点おどりが小でかつ耐溶着電流が高いため、コンデンサ負荷投入時でも、突入電流による接点溶着はなく、シャ断時にもすぐれた消弧装置と適当な動作速度により、アーク時間がきわめて安定して短く、シャ断後の極間回復電圧も低いと、再点弧の心配がなく、十分コンデンサ開閉用として適用可能である。定格を表4.3に示す。一例としてS-50形電磁接触器をコンデンサ開閉用として使用した場合の特性値を図4.2に、投入、シャ断オシログラムを図4.3に示す。

#### 4.3 高周波用への適用

接触器を高周波回路に使用するケースとしては、高周波加熱装置の開閉用あるいは力率調整用が多く、適用上考慮する点は、

- (1) 主回路各部の温度上昇
- (2) 導電部付近における鉄系部品の漂遊損による発熱
- (3) シャ断時アーク時間

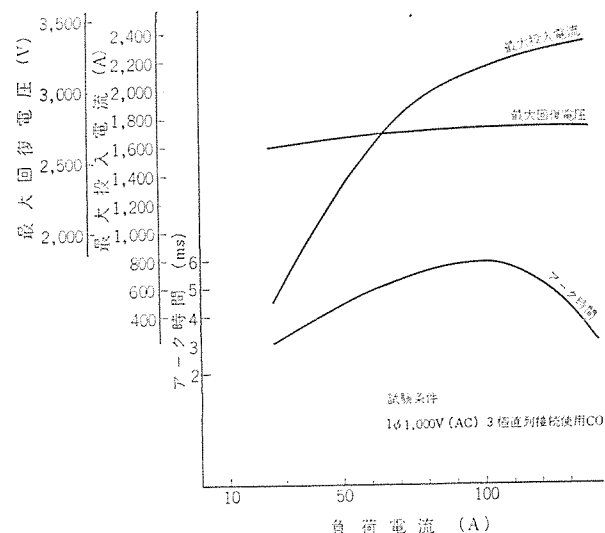


図 4.2 S-50形電磁接触器 コンデンサ負荷特性曲線  
Characteristic curve of type S-50 contactor for capacitive load.

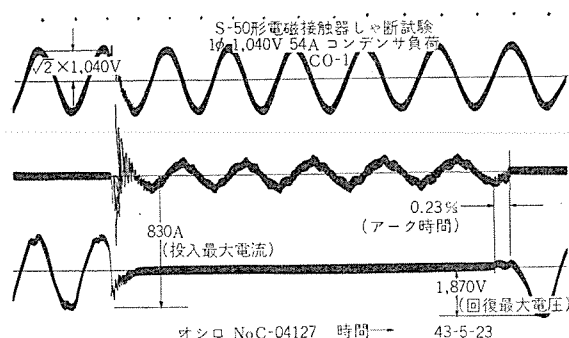
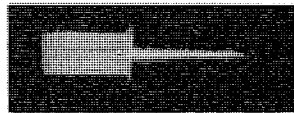


図 4.3 S形電磁接触器のコンデンサ負荷投入、シャ断オシログラム (S-50).

Oscillogram of current making and breaking test for capacitive load.



(投入時波形) 負荷電流 128 A



(しゃ断時波形) 負荷電流 128 A

図 4.4 S 形電磁接触器の高周波回路における投入、しゃ断波形 (S-150)

Making and breaking current wave on high frequency circuit.

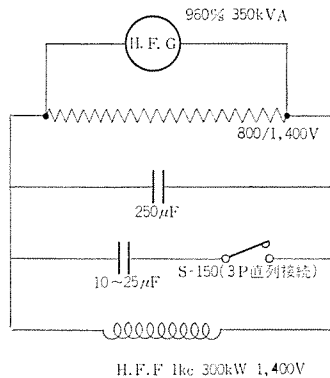


図 4.5 高周波電流投入しゃ断試験回路  
High frequency test circuit.

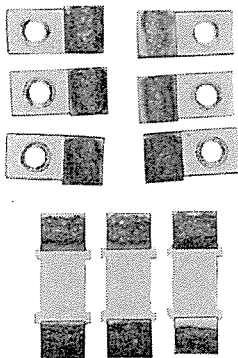


図 4.6 1 万回開閉後の可動および固定接点消耗状態 (S-150 ; 高周波、コデンサ 負荷にて)  
Contact part after electrical endurance test.

である。S 形電磁接触器は、(1) に対しては各部の温度上昇に余裕ある設計をし、(2) に対しては導電路各ねじに黄銅ねじを使用しているため、高周波回路に対する通電電流の低減率が小である。また (3) については、消弧装置、適当なしゃ断速度によりアーク時間の伸長、接点異常消耗がなく、安定した閉路、しゃ断容量を有する。

一例として、図 4.4 に S-150 形電磁接触器を図 4.5 に示す回路にて試験したときの電流投入、およびしゃ断波形を示す。図 4.6 は 1 万回開閉後の接点の表面状態を、表 4.4 は各開閉回数に対する接点消耗度を示す。高周波用 S-H 形としたときの適用定格は表

表 4.4 S 形電磁接触器の接点消耗度 (S-150 ; 高周波コデンサ 負荷)

Contact wear of type S-150 contactor for capacitive load on high frequency circuit.

(試験条件) 1,400 V 120 A

|         | 消 耗 重 量 g |                  |                  |
|---------|-----------|------------------|------------------|
|         | 0 回 目     | 6,000 回目         | 10,000 回目        |
| 可 動 接 点 | 0         | 0.0084~0.0504    | 0.0401~0.0624    |
| 固 定 接 点 | 0         | (+)0.0198~0.0072 | (+)0.0178~0.0095 |

注) (+)記号は重量が増加したことを示す。

表 4.5 S 形電磁接触器の高周波回路に対する適用定格  
Application ratings for high frequency circuit of type S contactor.

| 周波数<br>形名 | 電 圧 V<br>kc | コ ン デ ン サ 開 閉 用 |           |           | 電 源 開 閉 用 |           |           |
|-----------|-------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           |             | kVA (A)         |           |           | kVA (A)   |           |           |
|           |             | 400             | 800       | 1,400     | 400       | 800       | 1,400     |
| S-50      | 1           | 35 (85)         | 35 (45)   | 60 (45)   | 20 (45)   | 35 (45)   | 60 (45)   |
|           | 10          | 25 (60)         | 25 (30)   | 40 (30)   | 10 (30)   | 25 (30)   | 40 (30)   |
| S-65      | 1           | 45 (110)        | 45 (55)   | 75 (55)   | 25 (55)   | 45 (55)   | 75 (55)   |
|           | 10          | 30 (80)         | 30 (40)   | 55 (40)   | 15 (40)   | 30 (40)   | 55 (40)   |
| S-80      | 1           | 55 (140)        | 55 (65)   | 90 (65)   | 30 (65)   | 55 (65)   | 90 (65)   |
|           | 10          | 40 (100)        | 40 (50)   | 80 (55)   | 20 (50)   | 40 (50)   | 80 (50)   |
| S-100     | 1           | 70 (175)        | 65 (80)   | 110 (80)  | 35 (80)   | 65 (80)   | 110 (80)  |
|           | 10          | 50 (125)        | 50 (60)   | 90 (65)   | 25 (60)   | 50 (60)   | 85 (60)   |
| S-150     | 1           | 90 (225)        | 105 (130) | 180 (130) | 50 (130)  | 100 (130) | 180 (130) |
|           | 10          | 60 (150)        | 80 (100)  | 140 (100) | 40 (100)  | 80 (100)  | 140 (100) |
| 備 考       |             | 3 極 並 列         | 3 極 直 列   | 3 極 直 列   | 3 極 直 列   | 3 極 直 列   | 3 極 直 列   |

注) 操作回路は適用周波数の 50, 60 c/s である。

4.5 に代表例を示す。

## 5. む す び

新 MS 形電磁開閉器の応用品の一例、SD 形直流電磁接触器の紹介および直流回路への適用について述べ、また スターデルタ 起動器への適用、その他抵抗負荷、コデンサ 高周波用とその広い使用分野の例について説明した。

これら資料が応用分野の拡大の一助になれば幸いと考える、なお今後いっそう種々の応用例適用について試験データ実績を重ねていきたいと考えている。

終わりにあたり試作試験に協力願った関係各位に謝意を表する。

## 直流電磁接触器・直流制御継電器

寺田 光彦\*・石田 秀樹\*

## DC Magnetic Contactors and DC Control Relays

Kôbe Works Mitsuhiko TERADA・Hideki ISHIDA

In iron manufacturing plants, paper mills, rolling stock and cargo handling equipment, DC motors are mostly employed from the viewpoint of operational characteristics. Such being the case DC magnetic contactors and DC control relays are no less important for control of machines and the direct current circuits. The text describes outlines of DC magnetic contactors of DF series and DC control relays together with some problems in applying them to the installations. Mention is made particularly of the voltages changes on operational circuits and how to deal with these problems.

## 1. ま え が き

製鉄所・製紙工場・鉄道車両・荷役機械等には、その特性上、直流電動機が多く用いられている。こうした直流電動機やその他一般直流回路の制御に欠かすことのできないのが、直流電磁接触器および直流制御継電器である。

本文では、当社の直流電磁接触器（DF 形 シリーズ）と直流制御継電器の概要を紹介するとともに、適用上の問題点、とくに操作回路の電圧変動が与える影響について述べる。

## 2. 形式と仕様

## 2.1 DF 形直流電磁接触器の形式と仕様

DF 形 シリーズの形式と概略仕様を表 2.1 に示す。

## 2.2 直流制御継電器の形式と仕様

直流制御継電器の形式と概略仕様および用途を表 2.2 に示す。

## 2.3 仕様決定上の問題点

直流電磁接触器・直流制御継電器を使用する場合、その適用については次のことを考慮し、適正な製品を選ばなければならない。

## (1) 使用目的

## (2) 使用回路の条件

回路の電圧・電流はいくらか、回路の時定数 ( $L/R$ ) はどれ位か、

表 2.1 DF 形直流電磁接触器の形式と仕様  
Type and specification of type DF DC magnetic contactor.

|                             | 形 名     | 定格電圧<br>V | 定格電流<br>A | しゃ断電流 A  |        |       | 主接触子の構成         | 備 考 |
|-----------------------------|---------|-----------|-----------|----------|--------|-------|-----------------|-----|
|                             |         |           |           | L/R=15ms | R 回路   |       |                 |     |
| DF-25 A<br>フレーム             | DF-20   | 250       | 5         | 20       | 50     | 1 A   | 鉄板取付可能<br>表面接統形 |     |
|                             | DF-22   |           |           |          |        | 2 A   |                 |     |
|                             | DF-20S  |           | 25        | 100      | 150    | 1 B   |                 |     |
| DF-50 A<br>フレーム             | DF-50   | 250       |           | 電動機主回路   |        | 1 A   | 絶縁板取付           |     |
|                             | DF-51   |           |           | 250V     | 600V   | 1A・1B |                 |     |
|                             | DF-52   |           |           | 5        | 50     | 40    |                 |     |
|                             | DF-53   | 600       | 10        | 100      | 80     | 10    | 表面、裏面接統形両方あり    |     |
|                             | DF-54   |           | 25        | 250      | 200    | —     |                 |     |
|                             | DF-50S  |           | 50        | 400      | 320    | —     |                 |     |
| DF-100 A<br>~2500 A<br>フレーム | DF-100  | 600       | 100       |          | 1,000  | 1 A   | 絶縁板取付<br>表面接統形  |     |
|                             | DF-100S |           | 100       |          | 1,000  | 1 B   |                 |     |
|                             | DF-150  |           | 150       |          | 1,500  | 1 A   |                 |     |
|                             | DF-150S |           | 150       |          | 1,500  | 1 B   |                 |     |
|                             | DF-300  |           | 300       |          | 3,000  | 1 A   |                 |     |
|                             | DF-300S |           | 300       |          | 3,000  | 1 B   |                 |     |
|                             | DF-600  |           | 600       |          | 6,000  | 1 A   |                 |     |
|                             | DF-900L |           | 800       |          | 8,000  | 1 A   |                 |     |
|                             | DF-910  |           | 1,350     |          | 13,500 | 1 A   |                 |     |
|                             | DF-930  |           | 2,500     |          | 25,000 | 1 A   |                 |     |

あるいは負荷の種類は何かなど。

## (3) 使用開閉ひん度

1 時間当たりの開閉回数はいくらか、使用率は何 % か、(DF 形

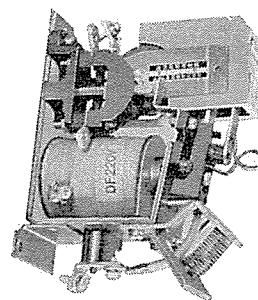


図 2.1 DF-20 形直流電磁接触器  
Type DF-20 DC magnetic contactor.

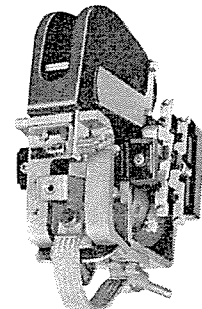


図 2.2 DF-150 形直流電磁接触器  
Type DF-150 DC magnetic contactor.

表 2.2 直流制御継電器の代表的な形式と仕様  
Representative type and specification of DC magnetic relay.

| 形 名          | 定 格    | 電 圧<br>V | 電 流<br>A              | しゃ断容量                                       | 仕 様 そ の 他                                | 用 途           |
|--------------|--------|----------|-----------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|---------------|
|              |        |          |                       |                                             |                                          |               |
| AQ 形直流限時接触器  | DC 600 | 50       | 150                   | しゃ断不可投入 400 A                               | 時限設定範囲 0.75~3 秒主接触子 1 B, 補助接触子 2 個まで取付可能 | 直流電動機の起動抵抗短絡用 |
| AT 形直流限時継電器  | DC 600 | 5        | 150 VA (ただし最大 0.65 A) | 時限設定範囲 0.75~3 秒接触子の構成は 1 A 1 B あるいは 2 A 2 B | 一般直流回路用 (限時復帰形)                          |               |
| AX 形直流多接触継電器 | DC 600 | 5        | 150 VA (ただし最大 0.65 A) | 接触子構成は 1 A 1 B, 2 A 2 B, 3 A 1 B, 4 A       | 一般直流回路の補助継電器用                            |               |
| BY 形直流多接触継電器 | DC 600 | 10       | 220 VA (ただし最大 1 A)    | 接触子構成は A+B が最大 14 個まで可能                     | 一般直流回路で多接点を必要とする場合                       |               |

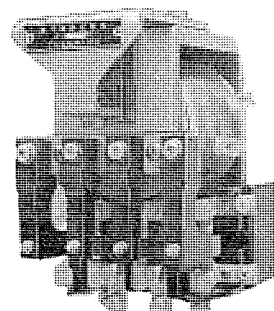


図 2.3 AT-22 形直流限時継電器  
Type AT-22 DC time relay.

直流電磁接触器は JEM-1138 の A 級条件で、毎時 1,200 回、使用率 40 % で使用できる。）

#### (4) 制御電源

制御電源として何を使用しているか（たとえば M-G、バッテリー、シリコンおよびセレン整流器等）、電源容量は十分か、電圧変動は何%位か。

#### (5) 設置場所

室温・湿度・有害ガスの有無・振動・衝撃等はどうか、保守・安全性に支障ないか。

(1) については、目的・用途が明確になれば、ある程度機種も限定されるので、(2)～(5) について検討を行なった後、形式を決定すればよい。(2)(3) については、温度上昇はもちろんのこと、接触器の生命である投入・シャ断・寿命・性能に対し、大きな影響を与えるので、よく検討を行ない、形式・定格電圧・定格電流を選定しなければならない。(4) については、3 章でその影響について詳しく述べるが、普通簡単に考えられる傾向があり、十分な検討がなされていない場合が多く見うけられる。(5) については、電磁接触器・制御継電器（以下総称して電磁接触器という。）のみならず、一般電気機器全体に、電氣的・機械的・化学的に影響を与えるので、特殊条件（たとえば船舶用・車両用・化学工場用・熱帯地方用等）の場合、とくに使用者とメーカーとの十分な打合わせが必要である。

### 3. 操作回路の電圧変動とその問題点

#### 3.1 制御電源と問題点

2.3 節でも少し述べたが、電磁接触器の動作面からみた制御電源の問題点をひろい上げれば、表 3.1 のようになる。

表 3.1 電源の種類、状態とその問題点  
Description of operational power source.

| 電源の種類あるいは状態     | 問題点                                 |
|-----------------|-------------------------------------|
| 1. MG 電源        | 比較的問題点なし                            |
| 2. バッテリー電源      | 充電直後と放電後において電圧に大きな開きがある             |
| 3. シリコン、セレン整流電源 | リップルが大きい場合、機種によっては特性に影響を受けることがある。   |
| 4. 電源容量が小さい場合   | どこかで大きな電流をとると全体的に電圧が低下し投入不良を起こしやすい。 |
| 5. 電源ラインが長い場合   | 電源近くでは定格電圧があってもライン末端では電圧が低下する例が多い。  |

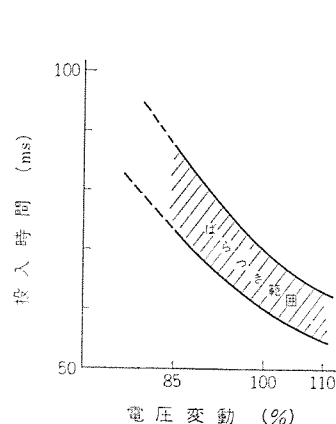


図 3.1 DF-20 形直流電磁接触器における電圧変動と投入時間  
Operational voltage-closing time characteristics of type DF-20 DC magnetic contactor.

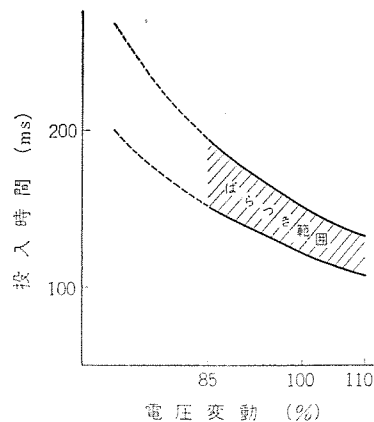


図 3.2 DF-300 形直流電磁接触器における電圧変動と投入時間  
Operational voltage-closing time characteristics of type DF-300 DC magnetic contactor.

その他、動作不良をさけるため、コイル定格電圧に対し操作回路の電圧を最初から高くして使用する場合があるが、特殊な場合（たとえば瞬時使用）を除き、これは誤りでコイルの焼損につながるおそれがある。なぜなら、コイルの定格は連続 100 % 電圧を印加した場合、温度上昇が規格値以内におさまるよう設計されており、85 %～110 % の電圧変動を許容しているのは動作についてのみである。すなわち、定格電圧で使用していて、何かの事情で一時的に電圧が 85 %～110 % の範囲で変動しても、開閉動作に支障をきたさないことを保障しているのである。

もちろん、100 % 電圧を連続印加した場合に規格値ぎりぎりという例は少なく、幾分裕度をもたせるのが普通であるが、いずれにせよ、操作回路の電圧とコイル定格電圧は同一になるよう選ぶのが妥当である。

#### 3.2 操作回路の電圧変動とその影響

操作回路の電圧変動はできるだけ小さいことが望ましく、とくに定格の 85 % 以下に下がることのないよう電源を準備しなければならない。

では、操作回路の電圧変動は、電磁接触器に対してどんな影響を与えるだろうか。

##### (1) 動作不良

前述のように操作回路の電圧がコイル定格電圧の 85 % 以下になれば、投入不能の原因になる。

##### (2) 温度上昇

同様に、定格の 100 % をこえる電圧で連続して長時間励磁すれば、コイルの温度上昇が規格値をこえて焼損、断線に至る場合がある。

##### (3) 寿命

操作電圧が高い場合、コイル自身の寿命に影響するばかりでなく、その投入時の衝撃が大きくなるため、各部の機械的寿命を短くする。

##### (4) 動作時間

操作電圧が変化すれば、それはそのまま動作時間（おもに投入時間）に影響を与える。操作回路の電圧と投入時間（コイルを励磁し始めてから接点閉合までの時間）の関係を、DF-20 形直流電磁接触器および DF-300 形直流電磁接触器の例（図 3.1, 3.2）で示す。

また、AQ 形直流限時接触器および AT 形直流限時継電器は、独特な動作原理を採用している。ため、振動・じんあい・周囲温度の

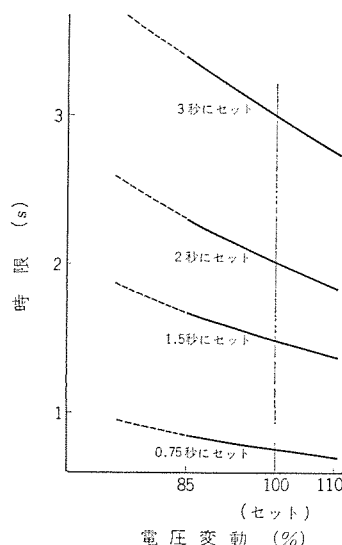


図 3.3 AT 形直流限時継電器における電圧変動と時限変化  
Operational voltage-working time characteristics of type AT time relay.

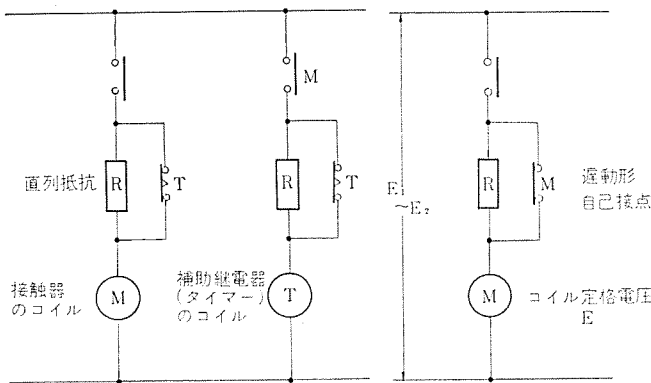


図 3.4 補助継電器を用いて抵抗  
そう入する場合  
Connection diagram of a series  
resistor with an auxiliary relay.

図 3.5 接触器の自己接点  
を用いて抵抗そう  
入する場合  
Connection diagram of a  
series resistor with an aux-  
iliary contact.

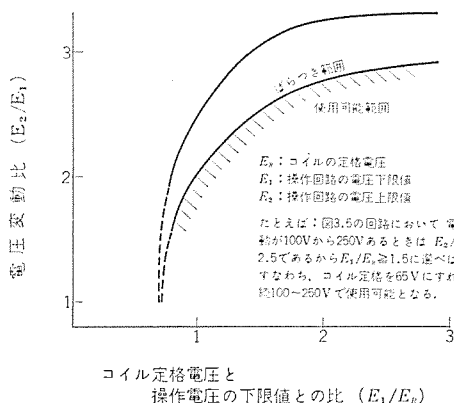


図 3.6 DF-52 形直流電磁接触器における実験結果  
Permissible operational voltage regulation of type  
DF-52 DC magnetic contactor.

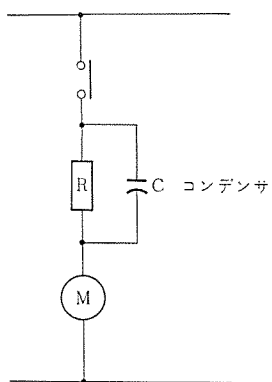


図 3.7 接点の代わりにコンデンサ  
を用いた場合  
Connection diagram of a series resi-  
stor with a capacitor.

変化等の悪条件に強く、操作電圧の変動に対しても、規定の 85 % ~ 110 % の範囲内であれば、時限の変化も図 3.3 に示すように小さい。

しかし、最長時限 3 秒に設定し、操作電圧 85 % 以下たとえば 75 % 程度に電圧が下がった状態で動作させると、時限は大幅に伸び、落下不能になる可能性がある。もし 3 秒をこえて設定したりすると、その傾向は著しいので絶対 3 秒をこえない範囲で使用しなければならない。

### 3.3 操作回路の電圧変動に対する対策

M-G 電源のように比較的電圧が安定している場合はよいが、バッテリー電源のように充電直後の電圧と放電後の電圧に相当大きな差が

ある場合や、電源容量が小さい、あるいは製鉄所のように非常に電源ラインが長い場合等では、電磁接触器の操作コイルに印加される電圧が大きく変化する。電源側で、85 % ~ 110 % の範囲内におさめることができない場合どうしたらよいか、考えられる対策としては

(1) 電磁接触器自身の動作範囲を広げる。

(2) 電磁接触器は標準品を使用し回路方式でカバーする。

の方法があるが、(1)については簡単にその範囲を広げることはむずかしい。あえて行なうとすれば、標準品を改造しなければならず、性能的にも大きな影響を与えるので望ましい方法とはいえない。(2)については種々方法があると考えられるが、一般的によく用いられている回路を図 3.4 に示す。

一般に、直流電磁接触器（直流制御継電器も含めて）は吸引電圧にくらべ釈放（落下）電圧が相当低い、これを利用して、投入時には連続使用電圧を上まわる電圧を印加し、投入後、連続使用電圧以下に電圧を落として使用電圧の拡大をはかるものである。図 3.4 に示す回路の場合、許容電圧変動範囲は大きくなるが、抵抗そう入に別の補助継電器（タイマ）が必要になる。

DF 形直流電磁接触器においては、図 3.5 に示すように自己接点で抵抗そう入を行なっても、相当大きな電圧変動に応じられる回路を組むことができる。（この回路で電圧変動範囲を広げないで操作コイル自身を小形化し、そう入抵抗を節約抵抗と呼ぶこともある。）

自己接点を用いて抵抗そう入する場合、図 3.4 と異なって電磁石が完全閉合する前に抵抗がそう入されるので、補助継電器（タイマ）を用いた場合より許容電圧変動範囲は小さくなる。しかし、DF-52 形を使って図 3.5 による実験をした結果は、図 3.6 に示すように電圧変動比を 3 程度（標準品をそのまま使用する場合、1, 2 程度）までとれる。これから、自己接点でも実用的になんらさしつかえないと考えられる。

その他、図 3.7 に示すように自己接点あるいは補助継電器の代わりに、コンデンサを用いる回路も考えられる。これはコンデンサの充電電流を利用して投入し、保持は並列抵抗を通して流れる電流で行なうもので、前例にくらべ投入時間が速くなる特長がある。

以上、電圧変動に対する対策をいくつか述べたが、これらはいずれも寿命についてあまりよい影響を与えない。したがって、3.2 節のはじめに述べたとおり、できるだけ電圧変動の小さい電源が望ましいのである。

## 4. む す び

以上、DF 形直流電磁接触器および直流制御継電器の大まかな仕様と、操作回路の電圧変動がおよぼす影響について述べた。

当社の DF 形直流電磁接触器および直流制御継電器は、長年にわたる研究あるいは経験から生れた技術により、高性能・高信頼度・保守の簡便さを誇り好評を博している。

また一般的に直流電磁接触器は、交流電磁接触器にくらべ動作時間（とくに投入時）の長いのが欠点といわれているが、この動作時間を短縮することも、今後の課題である。その一つの解決方法として図 3.7 の回路を使用することも考えられる。

なお、今般、直流電磁接触器の JEM 規格が改定されるが、目下新規格にもとづいた試験を実施中であり、しゃ断特性その他については簡単に記述した。

## SH 形高圧交流電磁接触器

木村 雅夫\*・中沢 俊郎\*

## Type SH High Voltage Magnetic Contactors

Nagoya Works Masao KIMURA・Toshiro NAKAZAWA

The latest trend of constructing large scale factories and huge office buildings has brought about the necessity of providing power receiving equipment of high capacities. To cope with it 3 kV electric apparatus have been markedly diffused. High voltage contactors of SH-C series are newly developed Mitsubishi products in this connection, involving units of SH-65 C, 105 C and 205 C rated at 3,300 V AC 60 A, 100 A and 200 A respectively. An interrupting capacity of 25 MVA is taken standard of the apparatus. Of their applications are latch type ones and reversible type ones besides SH-105 CY used for star-delta starting switches. The article describes their construction, advantages and test results. They have, among others, excellent performance to insure protective coordination in combination with power fuses.

## 1. ま え が き

近年、工場・ビルなどの大規模化による受電容量の増大にともない、3 kV 機器の普及はめざましいものがある。とくに 3 kV 級電動機は今後も増大の一途にあり、電力系統の性質上高品質かつ信頼性の高い高圧交流電磁接触器が強く要望されている。一方、相反するものとして機器の小形化と低価格が求められているが、設置面から当然の要求と言える。

当社は、これらの要求に沿うため過去の製作実績を活かし、新しい SH 形高圧交流電磁接触器の開発を計画し、長期にわたる試作試験および検討をすすめ、所期の目的を達成しここに新しい高圧交流電磁接触器のシリーズを製品化できた。以下その開発にあたっての考え方、高圧機器特有の問題点、試験結果などについて紹介する。

## 2. 仕様および定格

新形高圧電磁接触器の開発にあたっては、需要家の要望を重視し、「高性能と安全性の確保」「使い易さ」「小形化」を重点目標とした。準拠規格としては、主として高圧の閉鎖配電盤に使用される電磁接触器であることから、次に掲げるものなどにより、また種々の試験および検討を十分に加えた。

JEM-1167 高圧交流電磁接触器

JEM-1153 閉鎖配電盤

JEM-1103 制御器具の絶縁間引きおよび沿面距離

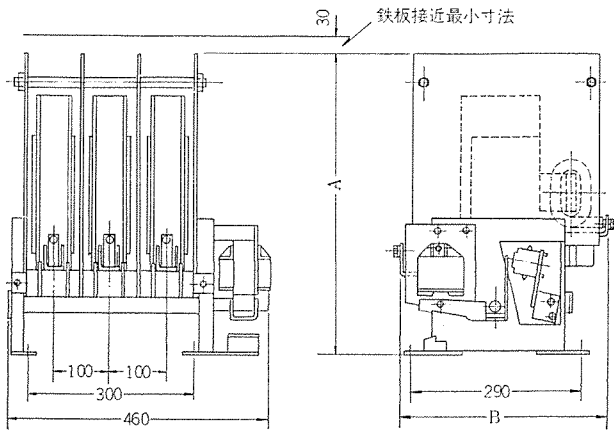
おもな問題点は、電動機回路の制御用であることから、定格の 10 倍電流を開閉でき、電氣的寿命 50 万回を保証できるように定格電流を定めた点と、しゃ断容量を 25 MVA (対称値) と定めた点である。製品のシリーズとしては、需要家の幅広い要求に応じられるよう表 2.1 に示す定格容量とし、さらにこれを基本形とした種々の機種を表 2.2 の如く包含している。とくに接触器 2 台分を 1 台におさめて、スターデルタ切換えのできる SH-105 CY 形、機械的機構に頼らず高信頼度・長寿命を誇る磁気ラッチ式などは、当社独自の機種として注目を受けている。SH 形の高さ寸法は最高 500 mm に統一し、高さ 2,300 mm の箱内に 4 段積み収納ができるようにしている。基本形およびラッチ式の外形寸法を図 2.1、各種の製品写真を図 2.2 に示す。

表 2.1 SH 形高圧交流電磁接触器定格一覧  
List of the ratings of type SH high voltage magnetic contactors.

| 形 名                     |           | SH-65 C                         | SH-105 C | SH-205 C | SH-105 CY |
|-------------------------|-----------|---------------------------------|----------|----------|-----------|
| 定 格 電 圧 V               |           | 3,300                           |          |          |           |
| 定 格 電 流 A               |           | 60                              | 100      | 200      | 100       |
| 定 格 し ゃ 断 容 量 MVA       |           | 15                              | 25       | 25       | 10        |
| 定 格 短 時 間 電 流 A         |           | 4,500 (0.5 s)                   |          |          |           |
| 性 能                     | 開 閉 容 量   | A 級                             |          |          |           |
|                         | 開閉ひんばん度   | 2 号                             |          |          | 3 号       |
|                         | 寿 命       | 1 E 種                           |          |          | 3 E 種     |
| 絶 縁 強 度                 |           | 3 号 B                           |          |          |           |
| 操 作 コ イ ル               | 定 格 電 圧   | AC 200 V 50c/s, 200~220 V 60c/s |          |          | DC 100 V  |
|                         | 入 力 (最大値) | 500 (VA) 75 (W)                 |          |          | 110 (VA)  |
| 補 助 接 点                 |           | 2 a 2 b                         |          |          | 1 a 1 b   |
| 適 用 電 線 mm <sup>2</sup> |           | 8~30                            | 22~60    | 50~125   | 22~60     |
| 最大適用容量                  | 電動機 kW    | 250                             | 370      | 750      | 650       |
|                         | 変圧器 kVA   | 300                             | 500      | 1,000    | —         |
|                         | コンデンサ kVA | 250                             | 450      | 750      | —         |
| 製 品 重 量 kg              |           | 52                              | 56       | 57       | 85        |

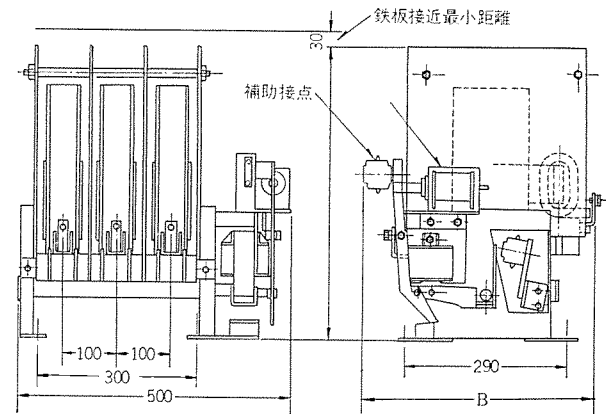
表 2.2 SH 形高圧交流電磁接触器製品一覧  
List of type SH high voltage magnetic contactor.

| 名 称         | 電 磁 接 触 器 | ラッチ式 電 磁 接 触 器 | 磁気ラッチ 式電磁接触器 | 可逆式 (縦配置) 電磁接触器 | 可逆式 (横配置) 電磁接触器 | スターデルタ 切換電磁接触器 |
|-------------|-----------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 形 名         | SH-65C    | SH-65CL        | SH-65CM      | SH-2×65CV       | SH-2×65C        | SH-105CY       |
|             | SH-105C   | SH-105CL       | SH-105CM     | SH-2×105CV      | SH-2×105C       |                |
|             | SH-205C   | SH-205CL       | SH-205CM     | SH-2×205CV      | SH-2×205C       |                |
| 性 能 (級-号-種) | A-2-1 E   | A-2-3          | A- - 1 E     | A-2-1 E         | A-2-1 E         | A-3-3 E        |



変化寸法表

| 形名       | 寸法 | A   | B   | H    |
|----------|----|-----|-----|------|
| SH-65 C  |    | 470 | —   | M 6  |
| SH-105 C |    | 500 | 375 | M 8  |
| SH-205 C |    | 500 | 379 | M 10 |



変化寸法表

| 形名        | 寸法 | A   | B   | H    |
|-----------|----|-----|-----|------|
| SH-65 CL  |    | 470 | —   | M 6  |
| SH-105 CL |    | 500 | 432 | M 8  |
| SH-205 CL |    | 500 | 433 | M 10 |

図 2.1 SH 形外形寸法  
Dimensions of type SH high voltage magnetic contactors.

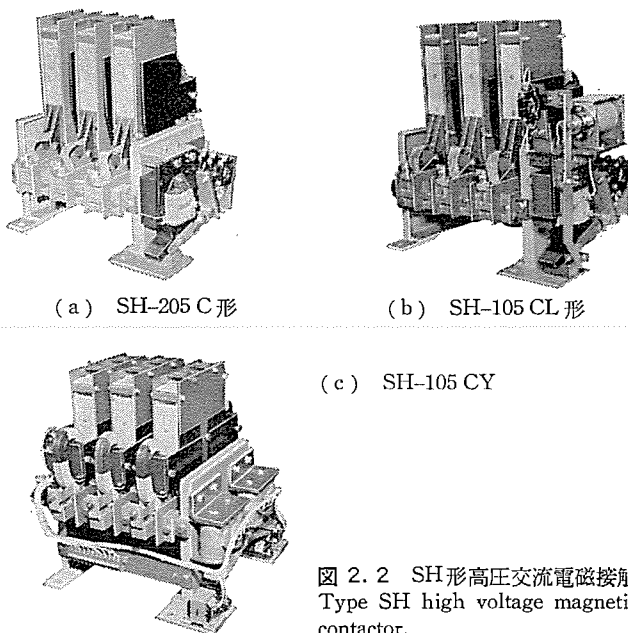


図 2.2 SH 形高圧交流電磁接触器  
Type SH high voltage magnetic contactor.

### 3. 構造および特長

SH 形は、左右に設けた鋼板製の側板にささえられた支持わくの上に、各相ごとに、ガラスポリエステル成形による絶縁台を採用し、対地、極間絶縁をもたせ、これに電源端子・負荷端子を取り付け、さらに接触部分・消弧室部分をまとめた構造となっている。

この種の機器の絶縁材料は、従来がいしによるものが一般的であったが、最近の合成樹脂材料の発展はめざましく、絶縁性能がすぐれ、機械的強度の高い成形材料が豊富に得られるので、このような革新材料を採用し、消弧室の小形化とともに SH の大幅な小形化に寄与できた。なお、新材料採用にあたっては十分なる考慮をはらうとともに、絶縁台成形時におけるボイドの除去、支持わくシャープコーナーの除去などの改良により、衝撃波電圧・コナ試験を十分満足できるものとなっている。

操作電磁石・接触子機構は、ともにクラッパタイプを採用し、動作の信頼性を高めている。

SH 形のおもな特長としては

- (1) 高いしゃ断性能
- (2) 高性能・高品質
- (3) 小形・軽量
- (4) 保守点検容易

などがある。

#### 3.1 消弧室

高圧電磁接触器における生命は消弧室であるが、小形でかつしゃ断性能にすぐれた性能とするため、当社では、当初の製品より一貫してジルコン磁気を採用している。このジルコン磁気は、耐アーク性がきわめて高く、融解点は  $1,300^{\circ}\text{C}$  に達するもので、図 3.1 に示す消弧板・シールド板・スプリッタを使用している。とくに消弧板は表面が多孔質である点と、熱容量が大きいと言う磁器特有の性質から、消弧性能・アークエネルギーの吸収に有利となっている。

この消弧板は、しゃ断時のアーク長を伸ばすため、アーク迷路が構成されるよう切りみぞを設けているが、切りみぞの形状、消弧板の枚数と厚さ、消弧板間の空けきなどは、所定のしゃ断容量を發揮す

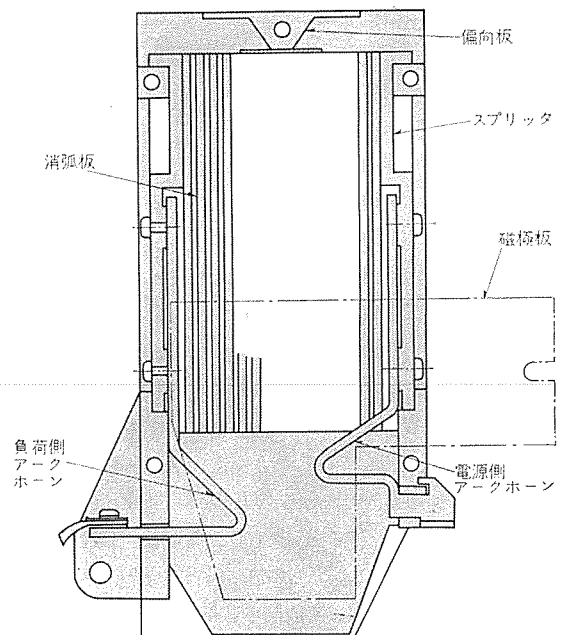


図 3.1 消弧室断面  
Cutaway view of arc extinguishing chamber.

る最適値となるよう数回にわたる試作・試験を繰り返し、最適設計をおこなっている。

おもな問題は、消弧板間の空けきをせばめるとしゃ断能力は向上するが、電磁吹消しを強力にする必要が生ずること。一定の大きさに設計するばあい、消弧板を薄くして枚数を増し、アーク迷路長を増大させたほうがしゃ断能力の点からは有利であるが、経済性・取扱いの面から制限を受けることなどである。

なお、アークホーンは黄銅製とすることにより、アークがアークホーンへ移行後に若干の限流効果をもたせ、かつ経済性の点で有利（銅に比べて）となっている。電源側アークホーンはクリップにより、電源側導体に刃形スイッチ式に接続しているが、りん青銅板の採用により、ばね性を確保し接触不良を完全に防いでいる。

### 3.2 ラッチ式

高圧電動機のばあい、低圧用に比べ、ひん繁な起動停止を繰り返すことは少ない。一方、電源を喪失したときも保持状態を保つか、瞬停保護をおこなうといった使用方法が多いなどから、ラッチ式は需要の多くを占めている。SH-105 CL 形では、図 3.2 に示す如く、投入用操作電磁石の上部に引きはずし電磁石を配置し、ラッチレバーを連結し、投入用操作電磁石の可動鉄心ささえに設けられたローを係合保持する構造となっている。きわめて機能的な構造で誤動作がなく、カバーされた部分がないので保守点検が容易である。引きはずし電磁石は2分定格と余裕があり、漏えい（洩）形を採用し、動作ストロークが長いにもかかわらず吸引初期から大きな吸引力であるため、トリップレバーの反抗力に対して十分大きく設計でき、信頼性が向上されている。

SH 形では、定格の65%電圧まで低下してもトリップ動作でき安全である。さらにユニークな製品として、機械的ラッチ機構にかわり、永久磁石により保持させる磁気ラッチ式（SH-105 CM 形として上述の機械的ラッチ式と区別する）があるので、図 3.3 にその構造を、図 3.4 に操作回路を示す。機械的ラッチ機構を持たないので、摩擦・衝撃による寿命限界が伸び、50万回と言う長寿命を保証できるうえ、次に示すように動作の信頼性も高いなどの利点がある。

磁気ラッチ式の信頼度＝操作回路信頼度

機械的ラッチ式の信頼度＝操作回路信頼度×ラッチ機構信頼度

磁気ラッチ式は、図 3.3 に示すように固定鉄心の中央脚に保持力の大きい磁石鋼を設けておき、投入の都度操作電磁コイルを瞬時的に励磁することにより着磁させ投入状態に保持するもので、落下は、逆方向に励磁することにより減磁させておこなわれる。図 3.4 に示す操作回路は、SH 形に内蔵しているので使いやすい。

### 3.3 スターデルタ切換接触器

通常スターデルタ起動をおこなうには、スター側接触器とデルタ側接触器との2台を使用するが、この2台分を1台にまとめたものが SH-105 CY 形で、接触子部分は3極双投である。消弧室・接触子・通電部分を組み込み側板の一方に操作電磁石・ニュートラルロック電磁石を、他方の側板には戻し金機構（ニュートラル位置へ戻すため）補助接点を、それぞれ取り付け付けた構造となっている。（図 2.2 参照）

戻し金機構により可動接触子は、中立状態に保たれているが、さらにニュートラルロック電磁石が吸引されぬ限り接触子は閉路されないようロックされている。SH-105 CY 形の内部結線は図 3.5 のとおりである。スター起動の信号がはいれば、MgS、MC<sub>S</sub>が励磁され、スター側へ閉路し、投入完了とともにMgSを開路し、MC<sub>S</sub>のみ励磁となり、スター起動の信号がOFFとなれば、可動接触子は中立状

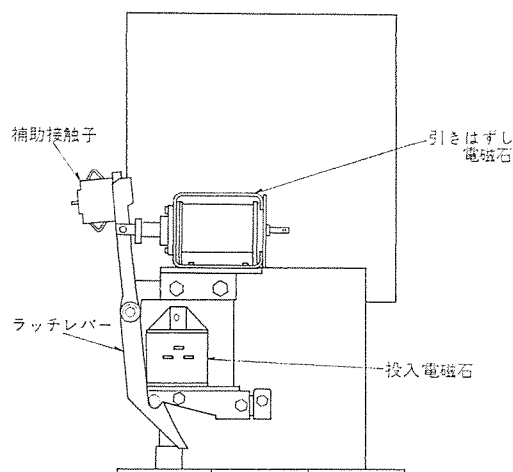


図 3.2 ラッチ式構造（投入状態を示す）  
Latching type mechanism.

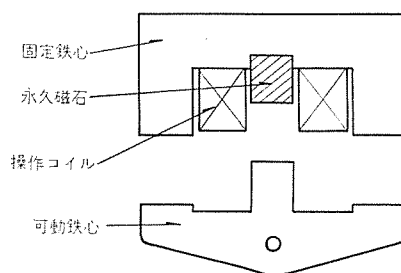


図 3.3 磁気ラッチ式構造  
Magnet latching type.

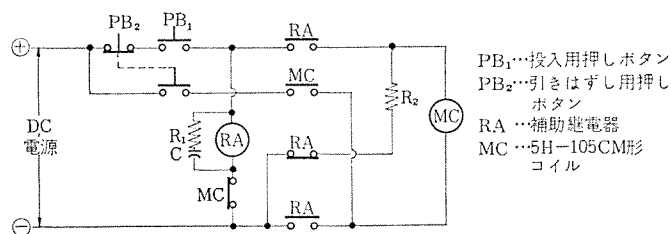


図 3.4 磁気ラッチ式操作回路  
Operation circuit for magnet latching.

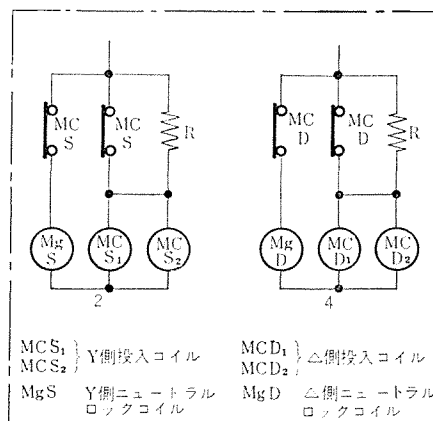


図 3.5 SH-105CY 形内部結線図  
Internal connection of type SH-105 CY.

態へ戻るが、慣性によりいき過ぎてデルタ側へはいろいろとしても、ニュートラルロック電磁石 MgD が励磁されていないので、確実に中立へ止めることができ、スター側のアークがしゃ断されるまで待機し、アークショートを防止する。操作電磁石 MC<sub>S</sub>、MC<sub>D</sub>は、節約抵抗付き直流電磁石であり連続励磁されるが、ニュートラルロック電磁石 Mg<sub>S</sub>、Mg<sub>D</sub>は、投入初期のみ瞬時的に励磁されるのみである。

### 3.4 可逆式

電動機の変逆運転、電源系統の切換えなどに、2台の接触器を使用して可逆運転をおこなうが、いずれか一方の接触器が投入されたとき、他方の接触器が絶対投入されないよう機械的なインタロックを

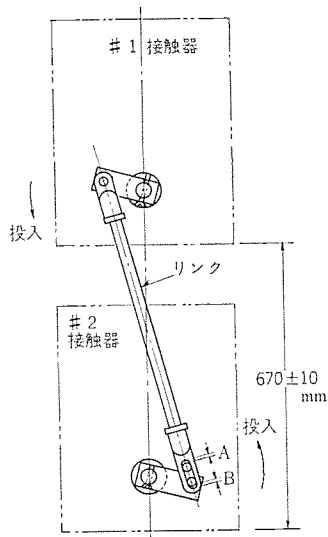


図 3.6 可逆式構造(縦形の側面図)  
Mechanical interlock mechanism.

設けたものである。図 3.6 に示すように各接触器の回転軸（可動接触子が直結されている）に取付金を設け、リンクに連結したもので、操作電磁石の吸着時吸引力が、投入動作初期の吸引力よりはるかに大である現象を利用して、いずれか一方の接触器が投入されていれば、他方は励磁されても投入できず、同時投入されることを防止している。リンクの長さは  $\pm 10$  mm 範囲内の微調整ができ、取付けによる吸引電圧の変化もほとんど無視できるほど小さい。

#### 4. 特性試験結果

##### 4.1 動作特性

SH 形の実作電磁石は交流操作を標準としているが、節約抵抗器を付け直流操作することも可能である。

なお、ラッチ式およびスターデルタ切換接触器は、直流操作電磁石であるので、交流操作するときは別にシリコン整流器(DS 10 BK-H 形)を使用する。表 4.1 に各機種の最小吸引電圧など動作特性試験結果を示す。いずれも操作回路電圧が定格の 85% に低下しても良好に動作する (JEM-1167 による)。

##### 4.2 温度特性

主要部分の温度上昇値と規格値を表 4.2 に示す。主回路には定格電流を、操作回路には定格電圧を加えたばあいの最終温度上昇値を示すもので、いずれも規定値に対し十分な余裕をもっている。

##### 4.3 耐電圧特性

JEM-1167 による耐電圧試験の規定値は、主回路 1,000 V 1 分間印加であるが、SH 形では 17,000 V 1 分間まで耐えることを確認している。(これは 6 kV 機器の規定値に相当する)。さらに JEM-1153 による衝撃波試験は、3 号 B (30 kV  $1 \times 40 \mu s$ ) を規定しているが、SH 形はこれにも十分な余裕をもって耐える。これらの試験結果を表 4.3 に示す。

##### 4.4 環境特性

最近、荷役機械の大容量化にともない、クレーン用電機品の一部に 3 kV 級高圧電磁接触器の採用が盛んであるが、SH 形では、振動・衝撃試験により、クレーン積載使用にも耐えることを確認し、多くの使用実績をもっている。磁気材料による消弧室を使っている関係上、クレーン運転による振動は消弧室の破損とか、接点のおどりなど悪い結果を招くことが懸念されるが、何ら特別な処置することなく使用に耐える。表 4.4 に振動試験結果を示す。衝撃試験 (MIL-S-901 による) は、開路・閉路状態として、100 G を X・Y・Z 各方向

表 4.1 動作試験結果  
Result of working test.

| 試験項目<br>形名                         | 操作<br>コイル              | 動作電圧 (%)<br>(定格電圧に対する<br>百分率にて示す) |       | 動作時間 (ms)<br>(定格電圧印加時)    |                                          |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|---------------------------|------------------------------------------|
|                                    |                        | 吸引電圧                              | 落下電圧  | コイル ON より<br>主接点の接<br>触まで | コイル OFF<br>より主接点開<br>離まで                 |
| SH-65 C<br>SH-105 C<br>SH-205 C    | AC                     | 69~78                             | 56~64 | 46~91                     | 13.7~18.5                                |
|                                    | DC                     | 60~75                             | 37~50 | 105~115                   | —                                        |
| SH-105 CY                          | DC                     | 50~58                             | 18~30 | 160~190                   | 20~26                                    |
| SH-65 CL<br>SH-105 CL<br>SH-205 CL | AC<br>操作<br>コイル        | 67~78                             | —     | 80~120                    | —                                        |
|                                    | DC<br>操作<br>コイル        | 60~75                             | —     | 150~160                   | —                                        |
|                                    | DC<br>引きは<br>ずし<br>コイル | 35~45                             | —     | —                         | 100~110<br>引きはずし<br>コイル ON より主<br>接点開離まで |

表 4.2 温度上昇試験結果  
Result of temperature rise test.

| 形 名              |                | CH-65C | SH-105C | SH-205C | SH-105CY | 規 格 値 |
|------------------|----------------|--------|---------|---------|----------|-------|
| 接触子(銀合金)         | 温度計法<br>(deg)  | —      | 23.0    | 29.0    | 29.0     | 75    |
| 接触子(銅合金)         | 温度計法<br>(deg)  | 20.5   | —       | —       | —        | 65    |
| 電源側接続導体          | 温度計法<br>(deg)  | 12.5   | 24.5    | 24.0    | 25.0     | 50    |
| 負荷側接続導体          | 温度計法<br>(deg)  | 10.5   | 12.0    | 13.0    | 13.0     | 50    |
| 操作電磁コイル<br>(A 種) | 抵 抗 法<br>(deg) | 56.0   | 56.0    | 56.0    | 57.0     | 85    |

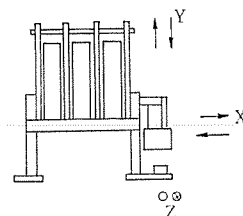
表 4.3 絶縁特性試験結果  
Insulation test result.

| 試験項目 (供試品)                                                                             | 各導電部と接地<br>された金属間                              | 接触子を開いた<br>状態で電源端子<br>と負荷端子間                   | 各相間                                            | 規格値             |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------|
| 耐電圧<br>試験<br>(SH-65 C<br>SH-105 C<br>SH-205 C<br>SH-105 CY)                            | 10,000 V 1 分間<br>異常なし<br>17,000 V 1 分間<br>異常なし | 10,000 V 1 分間<br>異常なし<br>17,000 V 1 分間<br>異常なし | 10,000 V 1 分間<br>異常なし<br>17,000 V 1 分間<br>異常なし | 10,000 V 1 分間   |
| 衝撃波<br>試験<br>( $1 \times 40 \mu s$ )<br>(SH-65 C<br>SH-105 C<br>SH-205 C<br>SH-105 CY) | 30,000 V<br>異常なし<br>40,000 V<br>異常なし           | 30,000 V<br>異常なし                               | 30,000 V<br>異常なし<br>40,000 V<br>異常なし           | 30,000 V        |
| 絶縁抵抗<br>試験<br>(SH-65 C<br>SH-105 C<br>SH-205 C<br>SH-105 CY)                           | 1,000 M $\Omega$ 以上                            | 1,000 M $\Omega$ 以上                            | 1,000 M $\Omega$ 以上                            | 5 M $\Omega$ 以上 |

表 4.4 振動衝撃試験結果  
Vibration test result.

| 複振幅<br>(mm) | 振動方向 | 共振振動数                | 共振した部分       | 接点などの異常            |
|-------------|------|----------------------|--------------|--------------------|
| 0.2         | 上下 A | 8.3~50c/s 中<br>共振点なし | なし           | 主接点、補助接点共に<br>跳躍なし |
|             | 左右 B | 26.5c/s<br>23.3c/s   | 消弧室<br>消弧コイル | 主接点、補助接点共に<br>跳躍なし |
|             | 前後 C | 8.3~50c/s 中<br>共振点なし | なし           | 主接点、補助接点共に<br>跳躍なし |

備考 1. この試験は主接点開路時と閉路時とについて実施した。  
2. 振動方向は右記の図を参照のこと。



に加え、接触子の誤動作・破損など異常のないことを確認した。さらに高圧機器として、不利な条件となる高温多湿ふんい気中における放置試験も実施したが、表 4.5 のように満足できるものである。SH 形は腐食性ガス中で使用されるばあい、防食処理を施した特殊品も製作でき、化学工場・食品工場にも安全に使用できる。

表 4.5 高温高湿試験結果  
High temperature high humidity test result.

| 供試品      | 試験条件                                       | 放置後の特性値  |                    |
|----------|--------------------------------------------|----------|--------------------|
|          |                                            | 絶縁抵抗     | 耐電圧試験              |
| SH-65 C  | 周囲温度 60°C<br>相対湿度 90~100% } 中に<br>168 時間放置 | 15~50 MΩ | 10 kV 1 分間<br>異常なし |
| SH-105 C |                                            |          |                    |
| SH-205 C |                                            |          |                    |

#### 4.5 寿命試験

電氣的寿命試験は、定格電流の 5 倍（力率 0.3~0.4）を投入し、ただちに定格電流に低減して 2.4 秒間通電、これを 6 秒ごとに繰り返し、40% 使用率となるよう設定、約 50 万回異常のないことを確認している。また、機械的寿命は約 150 万回確認しているが、操作電磁石の接極面に摩耗が見られる程度であった。

### 5. シャ断容量試験

#### 5.1 シャ断容量試験

おもな用途が電動機の起動用であるため、電動機の起動電流の開閉が十分できることとともに、短絡保護として使用する電力ヒューズとの保護協調を十分とりうるよう、定格シャ断容量は 25 MVA とした。高圧機器として称呼するシャ断性能の信頼性は重要である。規格上、動作責務としては O-2 分-CO であるが、本製品では CO 10 回のシャ断試験を実施、その後でも使用上支障のないものであることを判定基準としている。大電流シャ断試験オシログラムの一例を図 5.1 に、小電流シャ断特性を図 5.2 に示す。

#### 5.2 短時間通電容量試験

シャ断容量 25 MVA は、AC 3,300 V で 4,500 A のシャ断電流に相当し、JEM-1167 ではこの 4,500 A を 0.5 秒通電し異常がないことを要求しているが、SH 形では、十分余裕をもって満足している。

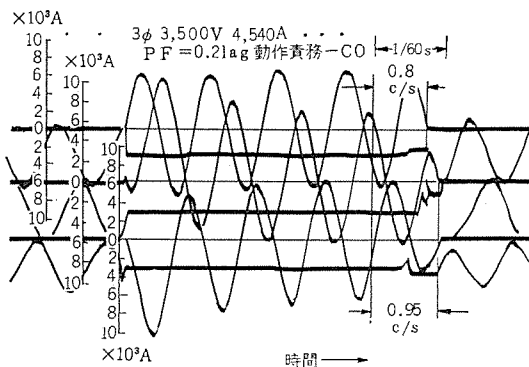


図 5.1 シャ断試験オシログラム  
Interruption test oscillogram.

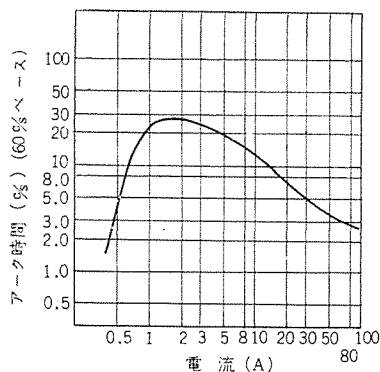


図 5.2 SH-105 C 形小電流シャ断特性曲線  
Small current interruption characteristics.

これは電力ヒューズとの協調をとりやすくするのに役だっている（後述）。大電流通電のばあい、電磁反発力による接触子の浮き上がり現象を発生しやすいが、接触圧力の増大や適切な接触子形状により浮き上がる限度を高めている。

#### 5.3 開閉容量試験

JEM-1167 により、開閉容量試験として、30 秒間隔で定格電流の 10 倍（力率 0.3~0.4）を 5 回開閉すること、閉路電流容量試験として、SH 接触子の許しうる消耗厚みの 3/4 を削り取った状態で、定格電流の 10 倍を 100 回開閉することを規定している。これらに対して、SH 形では閉路電流容量試験用の試料で、100 回（JEM-1167 の 5 回に対して）の開路および閉路を繰返しても、何ら異常なく性能上十分な余裕を備えていることを確認している。

### 6. 保護協調

#### 6.1 保護協調の重要性

SH 形を収容した閉鎖配電盤の代表例を図 6.1(a)(b)に示す。これらは電動機運転に使用されるものであり、保護装置としては、電動機過負荷保護用に熱動式過電流継電器、短絡保護用に瞬時動作する電磁式過電流継電器、大電流シャ断には電力ヒューズを使い、選択シャ断をおこなっているが、これらの動作時間関係と過電流強度は協調のとれたものでなければならない。ここではとくに保護継電器として、TR-7 形（熱動式）・KC-1 S 形（電磁式）・CLS 形電力ヒューズを使用したばあいの例を図 6.2 に示す。TR-7 形と KC-1 S 形は CT 二次電流により検出し、補助継電器を介して SH 形を解放させることが多いので、このばあい補助継電器の動作に要す時間も考慮する必要がある。協調をとる必要条件を列挙すると下記があげられる。

(1) 曲線 i と曲線 ii のクロスポイントは電動機起動電流より十分大であること、（通常定格電流の 8 倍以上に設定するが、低く過ぎると起動時にミストリップを発生する）。

(2) 曲線 ii（立ち上がり部分を除く）は  $\overline{ab}$  よりも下にあり、曲線 iii は必ず  $\overline{ab}$  にクロスすること。

長方形 0 abc は、定格シャ断容量 25 MVA によるシャ断電流 4,500 A (rms) のシャ断可能線、および 4,500 A 通電の許容時間 0.5 秒とを示す領域で、この範囲では、KC-1 S 形により SH 形を開路させても異常なく電力ヒューズを溶断させる必要はない。

(3) 曲線 i と曲線 ii のクロスポイントは、電力ヒューズの短時間許容電流—時間特性曲線よりも左側にあること。

この部分がクロスしていると、この電流が流れたとき、電力ヒューズ

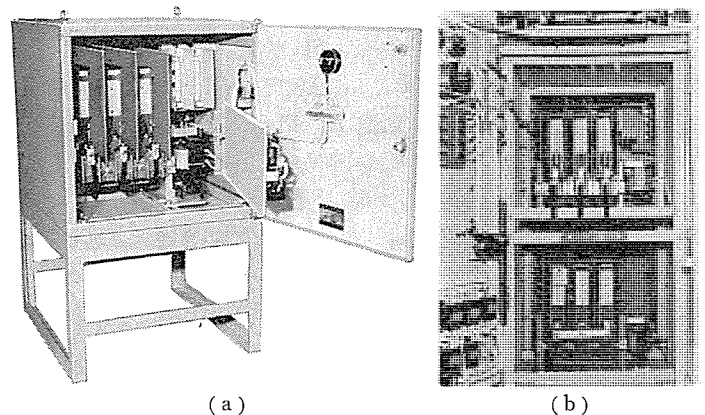


図 6.1 閉鎖配電盤への使用例  
Motor starters using type SH contactors.

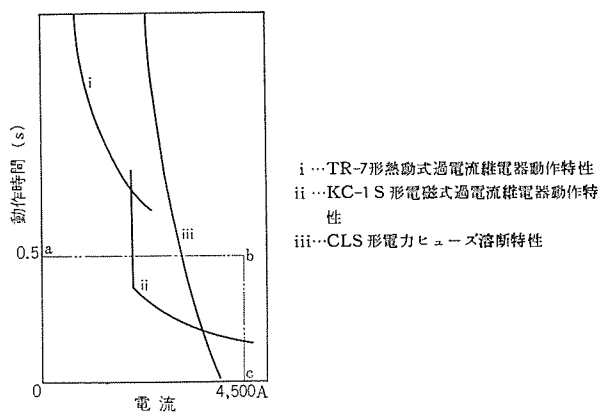


図 6.2 保護協調曲線  
Co-ordination between contactors and protectors.

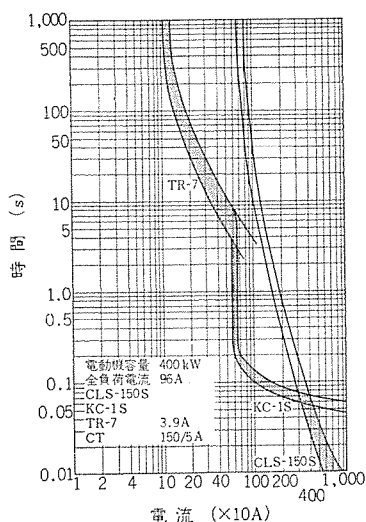


図 6.3 保護協調曲線  
Co-ordination characteristic curves.

ズは溶断しないが要素が劣化し、次に大電流が流れても電力ヒューズが所定の性能を発揮できないことになる。短時間許容電流—時間特性曲線は、最少溶断電流—時間特性曲線よりも短い時間で、これ以上の電流—時間が通電されると、電力ヒューズは劣化し、溶断しなくとも取換えを要する。

なお、これらの協調は、各種しゃ断器のカスケードにより配電系統を保護するにあいにも同じく適用できる。

## 6.2 組合わせ試験

6.1 節で述べた条件を満足するように、各保護装置の特性を知り、保護協調をとったばあい、電力ヒューズの溶断する大電流領域でも、支障がないか（熱動要素の溶断事故、SH形の接触子早期開離による発弧事故、損傷、異常電圧による絶縁破壊など）、LSH形高圧配電箱により、大電流しゃ断を実施した。図 6.3 は供試品の保護協調曲線である。一連の組合わせ試験結果を表 6.1 に示すが、電力ヒューズはしゃ断試験ごとにとりかえ、SH形試料は同一品 1 台で実施している。全項目試験後の供試品状態写真を図 6.4(a)(b)(c) に示す。O-CO-O-CO の動作責務であるが、いずれのばあいも、電力ヒューズにて確実にしゃ断保護、KC-1S 形電磁式過電流継電器動作、TR-7 形熱動過負荷継電器不動作となっている。KC-1S 形

表 6.1 組合わせ試験結果  
Interruption test of combined contactors.

| 動作責務 | 投入位相 | しゃ断電流 (A) |        | 全しゃ断時間 (ms) | 電力ヒューズ |           | KC-1S形 | TR-7 形              |
|------|------|-----------|--------|-------------|--------|-----------|--------|---------------------|
|      |      | 限流波高値     | 対称実効値  |             | 溶断の示   | 溶断後抵抗 (Ω) |        |                     |
| O    | 0°   | 17,000    | 8,500  | 12.5        | あり     | 20        | 動作     | 異常なし<br>ヒータ<br>溶断せず |
|      |      | 17,500    | 9,000  | 8.5         | あり     | 1,000以上   |        |                     |
|      |      | 21,500    | 11,500 | 12.5        | あり     | 1,000以上   |        |                     |
| C    | 任意   | 16,000    | 7,000  | 11.3        | あり     | 62        | 動作     | 異常なし<br>ヒータ<br>溶断せず |
|      |      | 10,300    | 4,500  | 11.3        | なし     | 溶断せず      |        |                     |
|      |      | 22,000    | 12,000 | 8.0         | あり     | 500       |        |                     |
| O    | 0°   | 29,300    | 22,000 | 2.2         | あり     | 1,000以上   | 動作     | 異常なし<br>ヒータ<br>溶断せず |
|      |      | 8,000     | 3,200  | 6.0         | なし     | 溶断せず      |        |                     |
|      |      | 33,600    | 26,000 | 6.0         | あり     | 100       |        |                     |
| CO   | 任意   | 31,200    | 24,000 | 6.7         | あり     | 40        | 動作     | 異常なし<br>ヒータ<br>溶断せず |
|      |      | 30,000    | 23,000 | 2.0         | あり     | 1,000以上   |        |                     |
|      |      | 5,800     | 2,400  | 6.0         | なし     | 溶断せず      |        |                     |

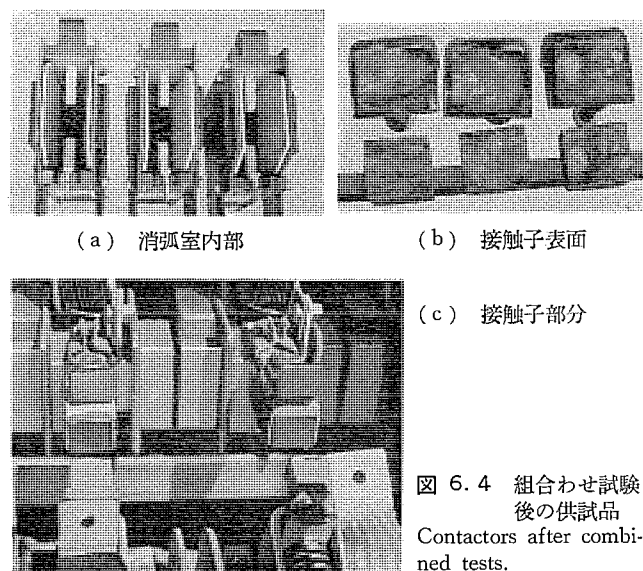


図 6.4 組合わせ試験後の供試品  
Contactors after combined tests.

も動作を始めているが、SH形がわずかに開離しようとした時点で、電力ヒューズがしゃ断を完了し、SH形は何ら損傷を受けていない。

SH形の接触子は 10,000 A 以上の通電により、電磁反力による浮き上がりを生じているが、この際若干のアークこん(痕)跡を生ずるのみで接点着着もなく、図 6.4 に示すように消弧板にはアークこん跡がない(黒変しているのみ)ことからみて、電弧が電弧迷路へ押込まれる以前に電力ヒューズ溶断に至っている。このとき、TR-7形の溶断事故も発生していない。以上の試験結果により、SH形は確実な保護協調が得られることを確認した。

## 7. む す び

SH 形高圧交流電磁接触器のシリーズについて、仕様・構造・試験結果・種々の問題点などについて述べたが、豊富な機種と小形化などすぐれた特長により広く使用されつつあり、とくに閉鎖配電盤の小形化、4 段階の製品化に貢献できたと信じている。今後はさらに実用面からフィードバックされる種々の結果と実績をもとに、需要家のご要望をは握し、使いやすく、信頼性の高い高圧電磁接触器として開発・改良に努力し、各位の期待に沿いたいと考えている。

各位のご批判をお願いして筆をおく。

(昭和 43-7-3 受付)

## 真空電磁接触器とその応用

杉 尾 憲 一\*

## Vacuum Contactors and Their Applications

Kôbe Works Keniti SUGIO

Switches making use of vacuum for arc interruption mediums have had merely a few years' history since they put into practice. Their superior performance, however, has been well recognized and the range of application is markedly enlarging. Representative users of them are for : power receiving and distributing equipment aiming at unattended operation or compactness in the size, distribution apparatus including section switches in which conventional oil is dispensed with for the viewpoint of maintenance, reliability and safety, switching on and off of condensers for power factor improvement, operation of ordinary induction motors, and closing and opening of transformers. Herein are introduced, among vacuum switch applications, type VM and type VP small capacity contactors having the most broad ranges of application, their ratings, performance, construction, test results and examples on practical operation being described.

## 1. ま え が き

近年一般工業関係ならびに電力会社の受配電設備に、真空スイッチ応用製品がその優秀性を認められ、非常な勢いで採用され、また運転中である。

とくに最近の工業関係では、制御方式の自動化など高度化・複雑化している。そのために受電用しゃ断器、その他電動機回路、力率改善用コンデンサなどの開閉に使用する開閉器類は、信頼性を要求されるとともに、保守・点検などのために停止することは極力避けなければならない。これらの要求に最も適合するのが、高真空を消弧媒質とする真空スイッチ応用製品である。

すなわち、真空中で電気を開閉するのは、最も理想的な開閉器として今世紀の初頭より各種の試みが行なわれていた。しかし、種々な技術的な問題でいきづまり今日まで実用化が遅れた。

技術的な問題として、三つの項目をあげることができる。

- (1) 高真空度の維持
- (2) さい断電流による異常電圧の発生
- (3) 耐溶着の問題

この3点が解決されたのは最近で、真空技術の向上、半導体製品の研究・開発による金属材料・合金技術の画期的な向上により、将来はますます改善されるであろうが、現在実用に供する製品を作ることが可能となった。

真空スイッチ応用製品は、真空中の高絶縁耐力と絶縁回復特性が他に類をみない優秀であることを利用した開閉器で、基本的に下記の特長を持つ。

- (1) しゃ断性能がすぐれている。

絶縁耐力・絶縁回復特性が非常にすぐれているので、小電流から大電流まで回路条件に関係なく、アーク時間は1サイクル以下でほとんど最初の電流零点通過でしゃ断が完了する。

とくにコンデンサの開閉には、従来の油開閉器・気中開閉器では絶縁回復特性に難点があり、再点弧等しゃ断不能の問題が生じていたが、真空開閉器では最も得意とするところである。

- (2) 長寿命で高速度・高ひん度開閉が可能である。

真空中のアーク電圧は、接点材料・しゃ断電流などで若干異なるが、実用に供している範囲では数十ボルトである。したがって従来のものと比較して約1/100~1/200程度となり、アーク時間の短い

のとあいまってアークエネルギーが非常に小さく、接点の消耗がわずかである。

また接点間げきが短かく、可動部重量も軽く機械的衝撃が少なく、高速度・高ひん度開閉が可能で長寿命である。

- (3) 画期的に小形軽量で火災の心配がない。

しゃ断部が完全密閉構造であるので、アークによる絶縁距離・消弧室等を考慮する必要がなく、従来の同定格の開閉器類と比較して重量・容積とも約1/2~1/5になるとともに、アーク距離が不要となるので、盤に収納した場合など応用品も小形・軽量化される。

またアークが外部に出ないので火災・爆発の危険がない。

- (4) 保守・点検・取扱いが簡単で無騒音である。

しゃ断部（主接点部）が完全密閉となっているので、最も保守点検を要する主接点部が保守不要で、有害ガス・じんあいなど外部環境の影響も受けない。しゃ断が真空中で行なわれるので、大電流をしゃ断してもしゃ断音がなく機構の操作音のみである。

以上のように真空スイッチ応用開閉器は、従来の油・気中開閉器と比較してすべての点ですぐれている。しかし、現時点では真空中のアーク現象など完全に究明されてなく、いまだ多くの研究課題は残されているし、操作機構も従来のものと同程度のものであり、将来真空スイッチ管を操作するのに最も合理的な機構も開発され、ますます充実した真空スイッチ応用製品が出現するであろう。

しかし、現時点でも電圧階級では数十kV、しゃ断容量数千MVAの大容量しゃ断器、6~3kV 50~25MVA程度の小容量接触器が各分野で好評運転中である。

とくに当社の真空スイッチ応用製品は、真空スイッチ管も含め、操作機構も特殊な構造を採用し、独特の特長を持つ製品である。

今回は真空中の消弧理論などは今までに多数発表されているので除き、当社の製作している6/3kV回路用の小容量電磁接触器である単独据付形のVM形と、EV形閉鎖配盤に収納するのを標準とし、電力用限流ヒューズと、コンビになっているVP形コンビネーションスイッチの定格・性能・構造・試験結果の概要を報告し、その適用と応用製品を紹介する。

## 2. 真空スイッチ応用製品の概要

## 2.1 当社の真空スイッチ管の特長

真空スイッチ管は前記のように特長と欠点を持っているが、欠点に

対しては当社独自の技術で解決すると同時に、唯一の鉄そう形真空スイッチ管で次の特長を持っている。

(1) 信頼性が高い。

金属消弧室であるので耐熱・耐真空性がよく、高温加熱排気による十分な脱ガス可能で、長期にわたり高真空を維持し、安定した特性を持つ。

(2) 小形である。

外そうが鉄（非磁性）であるので消弧室を必要としない一重構造であり、構造が簡単で小形である。

(3) さい断電流が小さい。

当社独特の特殊合金による電極材料を使用しているのので、さい断電流は平均2A以下であり、回路の絶縁をおびやかすことがない。

(4) 機械的に堅固である。

必要最小の絶縁部以外はすべて金属で構成してあるので、外部衝撃・振動などに対してじょうぶである。

(5) 量産に適し特性が均一化されている。

## 2.2 応用製品の特長

真空スイッチ管の特長を最大限に発揮させるためには、その特性を完全には握し、それを生かし、合理的な最も適した操作機構と組み合わせる必要がある。

ここに紹介する当社のVM形およびVP形真空電磁接触器は、この要求を満足する特殊な機構（出願中）を採用している。

電磁接触器の操作方式として、常に操作コイルに電圧を印加し、電磁的に投入状態を保持する常時励磁方式と、投入または引きはずしの際のみ操作コイルに電圧を印加し、機械的に投入状態を保持する瞬時励磁方式の種類がある。

瞬時励磁方式は、常時励磁方式に比較して下記の特長を持つ。

- (1) 運転中操作電力を必要としない。
- (2) 瞬停でも接触器が開く心配がない。
- (3) 運転中騒音を発生しない。
- (4) 操作コイルの温度上昇を考慮する必要がない。
- (5) コンデンサを電源にした投入・引きはずし操作が可能である。

上記の特長により、瞬時励磁方式は現在多数使用されている。

とくに自動運転・連続作業を実施している近代工業においては、他部間の影響により接触器が開き、運転が停止することは非常な損害となる。これは厳に防止しなければならない。

その意味からでも、将来はますます瞬時励磁方式の接触器が採用されるであろう。

しかし瞬時励磁方式にも難点がある。その一つは操作機構にラッチを使用するために機械的寿命が短い。他の一つは制御電源に主回路を利用した場合、短絡とかその他の原因で主回路電圧が喪失したとき、電気的に接触器を開くことができなくなる。

しかし、VM形は・VP形上記の欠点を完全に除去した瞬時励磁方式の操作機構を持つ。

VM形はトグルオーバ機構を採用し、投入・引きはずしの際で各コイルを励磁し操作力を与える。これにより真空スイッチ管の引きはずし力はばねによるのみならず、電磁力も同時に貢献するので強力な引きはずし力を与えることができ、耐着性を向上させることができる。

VP形は永久磁石を利用することにより、投入状態を維持する機構を採用し、1個のコイルで投入・引きはずしを行なう。操作機構にはリンクなどは使用せず、真空スイッチ管の可動部に直接電磁ソレノ

イドを直結しているのので、強力な操作力を簡単に得ることができ、強力な引きはずし力を与える開放ばねを使用することができる。このように、特殊な機構により真空スイッチの長寿命に適合し、また耐着性を向上させた真空スイッチ応用製品を提供できる。

また制御電源に関しても、VMはコンデンサ引きはずし装置を内蔵可能であるし、VPは投入も引きはずしもコンデンサを電源にするのを標準としているので、制御電源が喪失しても何ら電気的操作に対して支障はない。

## 3. VM形真空電磁接触器

### 3.1 定格と性能

表3.1にVM形真空電磁接触器シリーズの定格と性能を、図3.1に3-VM-2形、図3.2に6-VM-7形の外観を、図3.3に操作機

表 3.1 VP形・VM形電磁接触器定格一覧  
List of ratings of type VM and VP vacuum contactors.

| 形 式            | 6-VM-7                                   | 6-VM-5,<br>6-VP-5 | 3-VM-2,<br>3-VP-2 |
|----------------|------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 定 格 電 圧 kV     | 7.2/3.6                                  | 7.2               | 3.6               |
| 定 格 電 流 A      | 400 600                                  | 200               | 200               |
| 定格しゃ断容量 MVA    | 75/50                                    | 50                | 25                |
| 定 格 周 波 数 c/s  | 50/60                                    |                   |                   |
| ※1 定格短時電流 A    | 8,800                                    | 4,400             | 4,400             |
| ※2 絶 縁 級 級     | 6 号 B                                    | 6 号 B             | 3 号 B             |
| 開 閉 容 量 (級)    | A (定格電流の10倍)                             |                   |                   |
| 開閉ひんぱん度 (号)    | 2 (600回/時)                               |                   |                   |
| 電 気 的 寿 命 (万回) | 25万回                                     |                   |                   |
| 機 械 的 寿 命 (万回) | 25万回                                     |                   |                   |
| 定格しゃ断時間        | 2サイクル以下                                  |                   |                   |
| 制 御 電 圧        | AC 200/220 V (60サイクル), AC 200 V (50サイクル) |                   |                   |
| 規 格            | JEM-1167 (高圧交流電磁接触器)                     |                   |                   |
| 重 量 kg         | 35 37 33 70                              | 27 70             |                   |
| 最大適用容量         | 電 動 機 kW                                 | 3,000 4,500       | 1,500 750         |
|                | 変 圧 器 kVA                                | 4,000 6,000       | 2,000 1,000       |
|                | コンデンサ kVA                                | 4,000 6,000       | 2,000 1,000       |

※1 通電時間2秒

※2 3号Bは商用周波電圧10kV以上、インパルス30kV以上  
6号Bは商用周波電圧16kV以上、インパルス45kV以上

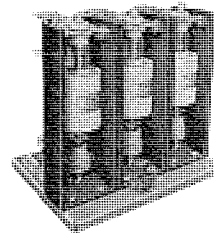


図 3.1 3-VM-2 形真空電磁接触器  
Type 3-VM-2 vacuum contactor.

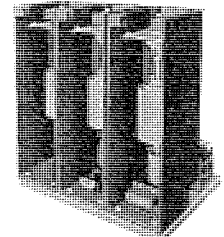


図 3.2 6-VM-7 形真空電磁接触器  
Type 6-VM-7 vacuum contactor.

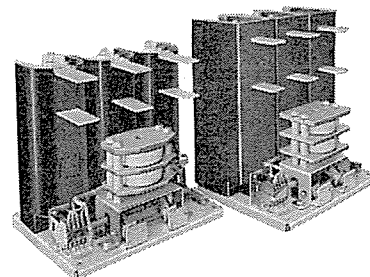


図 3.3 VM 形真空電磁接触器(操作機構)  
Type VM vacuum contactor.

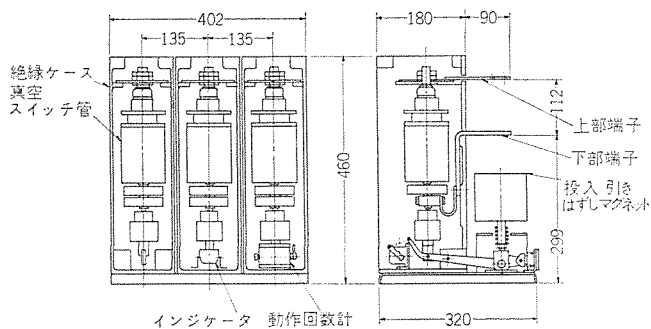


図 3.4 6-VM-7 形真空電磁接触器外形  
Outline of type 6-VM-7 vacuum contactor.

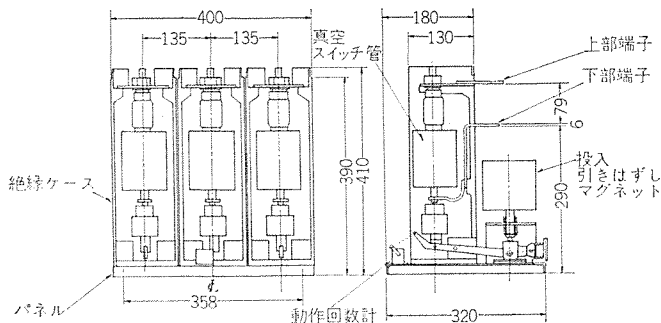


図 3.5 3-VM-2 形真空電磁接触器外形  
Outline of type 3-VM-2 vacuum contactor.

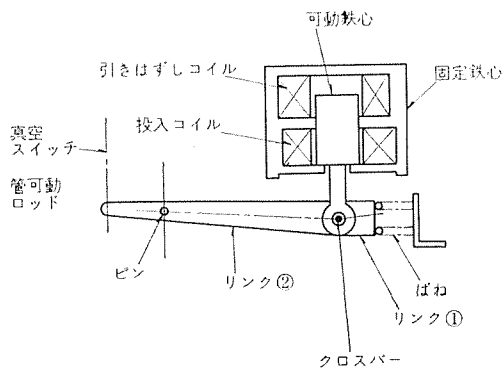


図 3.6 操作機構概要図  
Operating mechanism.

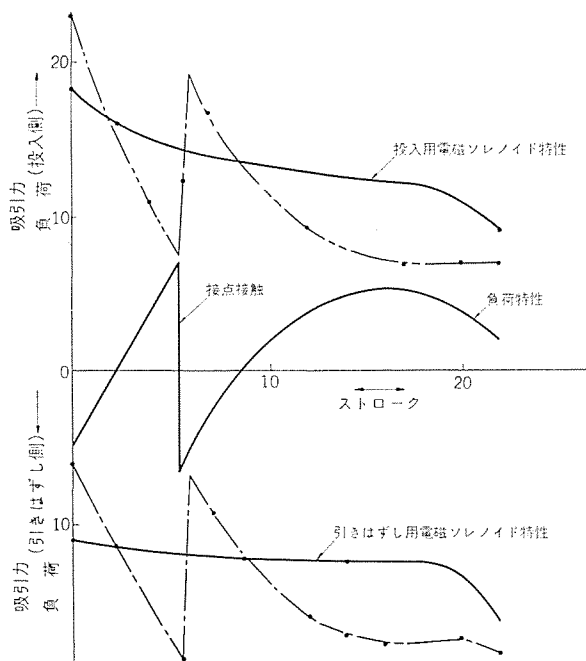


図 3.7 負荷特性曲線 Load curves.

構部を示す。

### 3.2 特長

- (1) 真空スイッチ管を開閉部に使用しているの、真空スイッチの特長をすべて具備している。(前記)
- (2) 鉄そう形真空スイッチ管を使用している。
- (3) しゃ断性能がすぐれ、さい断電流が非常に小さい。
- (4) 操作機構はトグルオーバ方式による高寿命の瞬時励磁方式である。

### 3.3 構造

絶縁物モールドに真空スイッチ管を組み込んだユニットを3個前面に取り付け、真空スイッチ管の点検を容易にしてある。

後部端子の下側に操作機構ならびに投入・引きはずし用コイルを配置し、スペースを有効に利用した合理的な構成となっている。

前面に動作回数計・接点消耗表示器を設けている。

図 3.4 に 6-VM-7 の外形を、図 3.5 に 3-VM-2 の外形を示す。6-VM-5 の外形寸法は 6-VM-7 と同寸法である。

#### 3.3.1 真空スイッチ管

真空スイッチ管は前記のように当社独得の鉄そう形を使用し、6-VM-7 の 400 A には VS-6 C 4 A, 600 A には VS-6 C 6 A を使用し、3-VM-2 の 200 A には VS-3 C 2 A, 6-VM-5 には VS-6 C 2 A を使用している。

これら真空スイッチ管の外形寸法はほとんど同じで、接点が若干異なるだけであるから、定格値により外形寸法がほとんど変わらないコンパクトな構造となっている。

#### 3.3.2 操作機構

真空スイッチ管は、常に気圧差により閉合状態を維持しようとする性質があるため、従来のものと比較して、所定の開極速度および開位置を保持するために開放ばねを必要とする。これにより、真空スイッチ応用製品は一般に大きな操作力を必要とする。

VM 形の操作機構は、瞬時励磁方式の要求ならびに耐溶着性を考慮した新しいアイデアによる最適な機構である。

図 3.6 に操作機構の概略図を、図 3.7 に負荷特性曲線を示す。

各極ごとにリンク二つを設け、ピンを中心に回転可能で、端は真空スイッチ管の可動ロッドに(絶縁リンクを介して)、他は3極を統合するクロスバーに結合してある。リンク1も端はクロスバーに、他端はばねの力を受けている。クロスバーには操作用電磁ソレノイドの可動鉄心を直結してある。

固定鉄心は二つの磁気回路を持ち、下側は投入用、上側は引きはずし用で各々コイルを内蔵してある。

ばねは投入位置や引きはずし位置(開位置)を保持すると同時に、必要に応じて操作力に貢献する。

図は投入状態を示すもので、クロスバーはピンとばねとの線上より下側に位置する。これにより、ばねはクロスバーを下方に付勢し投入位置を保持する。引きはずしコイルに電圧を印加すると、可動鉄心が上方に吸引され、クロスバーは線上より上側に移動する。これにより、ばねはクロスバーを上方に付勢し引きはずし位置を保つ。

このように単純なリンク構成により、摩擦部分の少ない瞬時励磁方式の長寿命な機構を構成することができるし、今までのラッチ方式であれば、引きはずしコイルはラッチをはずすに要するのみで、開極速度とか引きはずし力には貢献しなかった。しかし、トグル方式による場合は、電磁ソレノイドの電磁力により開放力を与えるため、投入条件に無関係に任意の力を選定することができるし、ばねの力

を保持のみでなく操作力としても利用できる。

VM形真空電磁接触器の機構は、1個の可動鉄心による両方向操作と、強力な引きはずし力、長寿命で信頼のあるユニークな機構であり、このトグルオーバ機構による瞬時励磁方式を標準としている。

### 3.3.3 制御装置

制御電圧の電圧変動範囲は、JEM-1167に85%~110%の範囲で支障なく動作することと規定されているので、最低動作電圧は80%程度が理想的な設計と考えられる。最低動作電圧をあまり低い値にすると、110%電圧では操作時の衝撃が大きく機械的寿命を短縮する。とくに機械的保持による瞬時励磁方式の場合は、保持電圧を考慮する必要がないので最低動作電圧に余裕を持つ必要がない。しかし、遠方操作等の場合回路抵抗等による電圧降下を考慮しなければならない。

制御方式としては、交流電源による投入・引きはずしを標準としているが、コンデンサを電源とした制御も標準としているので簡単に紹介しておく。

#### (1) コンデンサ電源による投入・引きはずし方式。

AC 220Vにより、投入用コンデンサと引きはずし用コンデンサを充電しておき、操作するときは各コイルにコンデンサの放電電流を流して操作するもので、投入用・引きはずし用と別々にコンデンサを持っているので、投入即引きはずしが可能であるし、交流入力喪失しても、10分以内であれば各操作が電氣的に可能である。また次のような種々の特長もある。

#### (a) 安定した高速開閉ができる。

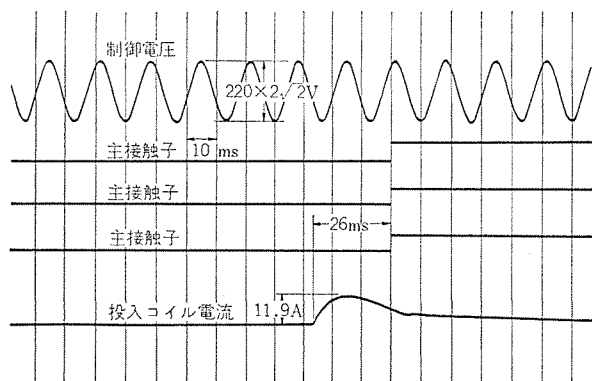


図 3.8 投入動作 オシログラム  
Oscillogram of closing operation.

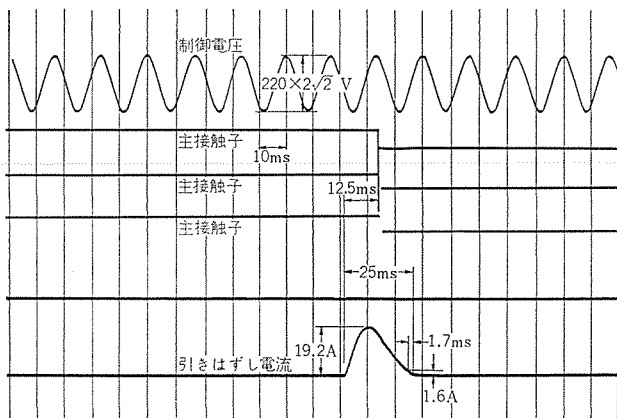


図 3.9 引きはずし動作 オシログラム  
Oscillogram of tripping operation.

交流操作の場合では、投入位相により操作時間・動作速度が異なるし、直流操作の場合では操作時間が長い。ところが、コンデンサの放電電流はほとんど一定であるから安定した高速開閉が可能である。

#### (b) 操作時に大きな電力を必要としない。

一般に交流操作の場合では、最低でも 500 VA 程度の操作容量を必要とするが、コンデンサを使用すれば、最大 200 VA 程度でもよく、実用上は 50 VA 程度でも支障なく動作する。

#### (c) コンデンサの放電をじょうずに利用すれば、大きなスイッチ容量を必要としない。

図 3.8 に投入動作動作 オシログラムを、図 3.9 に引きはずし動作 オシログラムを示す。オシロから明瞭なように最大電流値は 10 A 以上であるが、補助スイッチで切る電流は 1 A 強である。

#### (2) 交流電源による投入・コンデンサ引きはずし。

この方式は、しゃ断器等にも一般に使用している方式である。制御電源を主回路より使用する場合で、故障等により主回路電圧が喪失しても 10 分以内であれば操作可能である。VM 形は外形寸法を増すことなく内蔵できる。その他直流による操作も可能である。

## 4. VP 形コンビネーションスイッチ

高圧電動機回路の開閉器として最近では、限流形電力ヒューズと高圧電磁接触器を組み合わせたコンビネーションスイッチが多数採用されつつある。これは、回路の短絡容量が著しく増大し、接触器のしゃ断容量では短絡保護が不可能となり、短絡しゃ断容量の大きな限流ヒューズを使用し、短絡保護はヒューズで行ない、過負荷保護のみ接触器で行なうものである。また従来は接触器と限流ヒューズとは別置となっていたが、スペース・配置等の関係により、接触器に限流ヒューズを内蔵引き出し形とし、これら一体となったものをコンビネーションスイッチと称し、両者の利点を兼ね備えたすぐれた性能を持つものである。しかし適正な保護を行なうためにはヒューズの特性を握し、適用する系統各部に発生する短絡電流の値、過負荷継電器の動作特性等保護協調が完全に満足されなければならない。それに従って、コンビネーションスイッチもヒューズの限流波高値としゃ断時間に関する熱的・機械的にすべて協調をとる必要がある。

これらは電動機回路に限らず、変圧器・コンデンサ回路においても同様である。

### 4.1 定格と性能

表 3.1 に VP 形コンビネーションスイッチシリーズの定格と性能を、図 4.1 に外観を示す。

### 4.2 特長

(1) 真空スイッチを開閉部に使用しているので、真空スイッチの特長をすべて具備している。(前記)

(2) 鉄そう形真空スイッチ管を使用している。

(3) しゃ断性能がすぐれている。さい断電流が非常に小さい。

(4) 三菱 CLS 形高圧限流ヒューズをコンパクトに装備し、EV 形

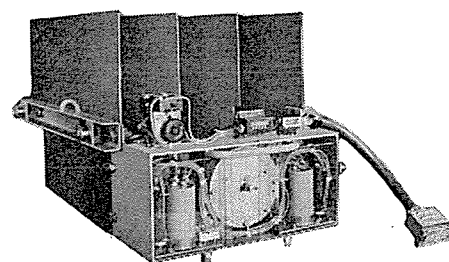


図 4.1 VP 形  
コンビネーション  
スイッチ  
Type VP combi-  
nation switch.

閉鎖配電盤に最大4台まで一面に収納できる。

(5) 操作機構は、永久磁石の保持力を利用した高寿命の瞬時励磁である。

#### 4.3 構造

絶縁物「モールド」に真空スイッチ管を組み込んだユニットを3個水平に取り付け、上部には限流ヒューズを具備している。操作機構は永久磁石を採用した特殊な構造で、電気による投入・引きはずしが可能で、緊急の場合等手動でも簡単に引きはずすことができる。電磁ソレノイドはコンデンサの放電電流を利用している。

一般に瞬時励磁方式の機械的保持機構にはラッチを使用しているが、本機構は、永久磁石の保持力で投入状態を維持しているの、構造がきわめて簡単で、摩擦部分が少なく長寿命で真空スイッチ等に適合した機構である。また電磁ソレノイド・操作コイルも1ユニットで目的を完全に逐行できる。

EV形キュービクルに納入するのを標準とする引き出し構造で、接触器が開でなければ盤にそう入または引き出しが不可能なインタロックレバーを装備し、このインタロックを操作することにより、制御用コンデンサを自動的に放電させる構造となっている。

前面に動作回数計・開閉表示器を設置してある。必要により限流ヒューズ溶断検出装置を簡単に取り付けることができる。図4.2に外形図を示す。

##### 4.3.1 真空スイッチ管

6-VP-5にはVS-6C2A、3-VP-2はVS-3C2Aの鉄ろう形真空スイッチ管を使用している。

##### 4.3.2 操作機構

本接触器は、真空中の高絶縁耐力によるためストロークが非常に小さいことを最大に利用した操作機構で、従来とは全く異なる原理による新形の機構である。

電磁ソレノイドを使用する瞬時励磁方式の機械的保持機構は、ラッチを使用しているが構造が複雑となり、また寿命も短い。しかし、本操作機構は電磁ソレノイドの磁気回路の一部に永久磁石を用い、永久磁石の残留磁束による吸引力を保持機構としているので、常時励磁方式の電磁保持と何ら変わるところのない簡単な構造である。

図4.3に操作機構の概略図を、図4.4に永久磁石の磁化曲線を示す。

固定鉄心・可動鉄心・操作コイルはすべて1個で、開放ばねは固定と可動鉄心の間に装着し、固定鉄心の一部に永久磁石（永久磁石材）を使用している。可動鉄心の端は、各極を結合するクロスバーを介して直接真空スイッチ管の可動ロッドに連結しているの、可動鉄心の移動量は小さく強力な力を容易にうることができる。したがって強力な引きはずし力を与えることが可能で、真空スイッチ管の耐溶着性を向上させることが可能である。

図4.4は普通一般の永久磁石の磁化曲線の一部を示したもので、周知のとおり永久磁石においては、それに加える磁界の強さと方向を変えれば、任意の値の残留磁束密度を得ることができる。たとえば永久磁石に $B_r$ なる残留磁束密度を与えることも、またこれを零にすることも、磁界の強さとその方向を $(H_1)$ にするか $(-H_1)$ にするかによって簡単にできる。このように磁化と無磁化の状態を交互に繰り返すことによって可動鉄心は動作する。

すなわち、接触器を投入するときは、永久磁石の残留磁束密度が $B_r$ になるような方向にコイルを励磁すると、可動鉄心は吸引されて接触器が投入される。コイルの励磁を除去しても、残留磁束密度 $B_r$

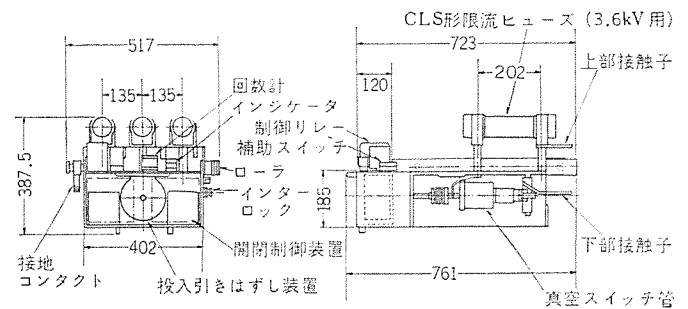


図 4.2 VP形コンビネーションスイッチ 外形  
Outline of type VP combination switch.

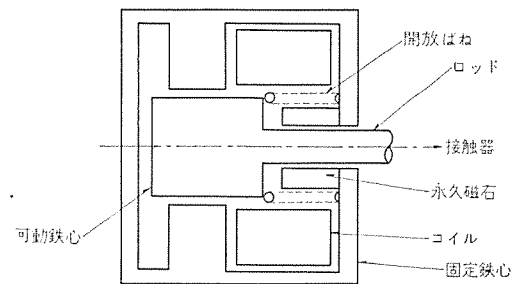


図 4.3 操作機構概略図  
Operating mechanism.

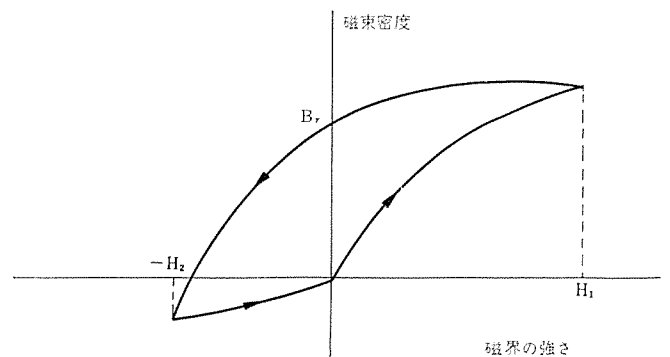


図 4.4 磁化曲線 B-H curve.

によって投入状態を維持する。このときの保持力は、50 kg 以上あり短絡電流等が主回路に流れても、磁気干渉により保持力が喪失し接触器が開くというような誤動作は絶対ない。

次に接触器を開にするときは、永久磁石の残留磁束密度がゼロとなるようにコイルを励磁すると、永久磁石の保持力がなくなり開放ばねの力により可動鉄心は移動し接触器は開となる。

この着磁と消磁の関係は、電圧変動に対しても誤動作することがないことを確認してある。

コイルにはコンデンサを電源にしたパルス的な電流を流すのが最も適当である。

##### 4.3.3 制御装置

制御電源は、交流 200~220 V を整流器で整流しコンデンサを充電する。コンデンサを電源にした場合、3.3.3 項の(1)の特長を持つと同時に電圧変動に対して有利となる。JEM-1167 には、85%~110%の電圧変動の範囲を規定しているが、実用上は100%電圧で使用するのが普通で、低電圧ならびに過電圧が長時間にわたることはほとんどないとすればコンデンサに充電される電圧はほとんどの場合100~110%である。なぜならば一度100%で充電された電圧は、交流側が85%電圧に低下してもコンデンサ電圧はコンデンサの漏えい(洩)とシリコンの漏えいが非常に微小であるため、85%電圧に低下

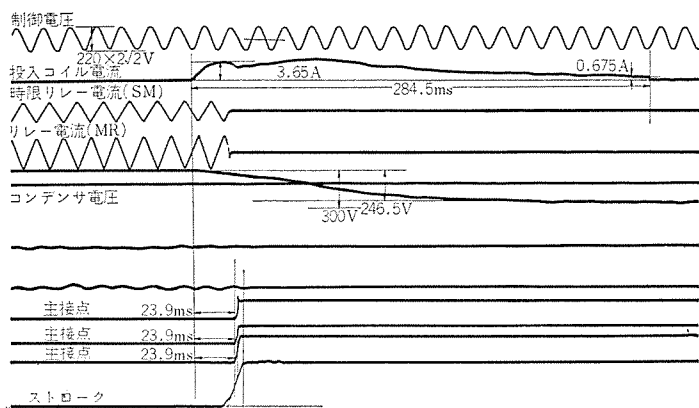


図 4.6 投入動作 オシログラム  
Oscillogram of closing operation.

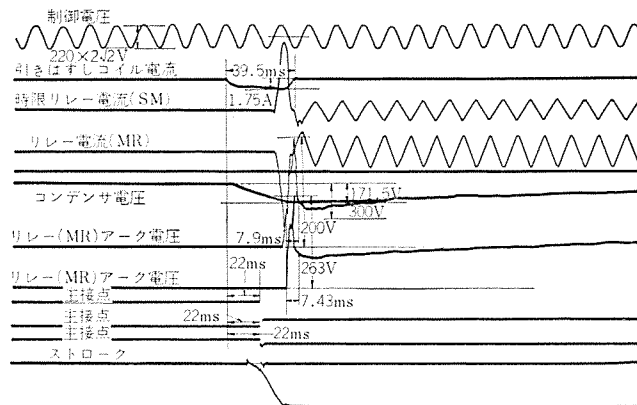


図 4.7 引きはずし動作 オシログラム  
Oscillogram of tripping operation.

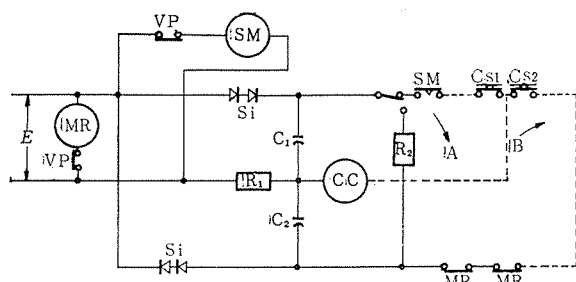


図 4.5 展開接続図  
Connection diagram of control device.

するには長時間要し、この間に電圧が回復することを十分に期待できるからである。

もちろん 85% 電圧で操作することも当然ありうることであり、本装置もこれを十分満足するが、一般的に最低動作電圧の裕度もあまり必要とせず、安定した制御が行なえることも事実である。

図 4.5 に標準展開接続図を示す。図 4.6、4.7 に投入動作 オシログラム・引きはずし動作 オシログラムを示す。

図 4.5 により簡単に動作を説明すると、

投入の場合……交流入力により時限 リレー SM は励磁されている。CS<sub>1</sub> を操作すると、投入用コンデンサ(C<sub>1</sub>)の放電電流が接点 SM, CS<sub>1</sub> コイルを通して A 方向に電流が流れ、接触器は投入される。リレー SM は消磁時限で 0.2~0.3 秒に整定してある。これは、永久磁石にある一定時間電流を流すことと、放電電流をほとんどゼロにしてから SM を動作させると SM の接点容量が小さくてよい。この 2 点から使用している。

引きはずしの場合……CS<sub>2</sub> を操作すると、引きはずし用コンデンサ(C<sub>2</sub>)の放電電流がコイル, CS<sub>2</sub>, MR を通して B 方向の反対の電流が流れ、永久磁石を消磁させて接触器を開く。この場合、交流入力があっても引きはずし回路は形成されるので、10 分以内であれば支障なく動作する。(実験上では 30 分以上でも動作可能である)

着磁したままで、手で接触器を開にしてもその後の操作には何ら支障を起こすことはない。

## 5. 試験結果

### 5.1 温度上昇試験

主回路に定格電流を連続に通電し、一定温度になったときの各部の温度上昇値を測定した結果を、6-VM-7 400 A、3-VM-2 200 A について表 5.1 に示す。JEM-1167 による温度上昇規格値は 50 度

表 5.1 VM 形電磁接触器温度上昇試験結果  
Temperature rise of type VM vacuum contactors.

| 測定部分       | 200 A | 400 A |
|------------|-------|-------|
| 上部端子       | 16    | 24    |
| 真空スイッチ管締付部 | 18    | 25    |
| 真空スイッチ管表面  | 5     | 10    |
| 可動ロッド      | 32    | 39    |
| 下部シャフト     | 31    | 38    |
| 下部端子       | 17    | 32    |

単位 deg

である。

### 5.2 励磁電流シャ断

真空スイッチは高絶縁耐力と絶縁回復特性が良いことから、電流がゼロになるまでアークが持続せず、さい断現象が生じ異常電圧を発生し、回路および機器の絶縁をおびやかすことは周知の事実である。このさい断電流の値は接点材料に最も起因するが、大電流よりも小電流のほうが、また誘導負荷よりも容量性負荷・純抵抗負荷の場合が大きな値を示す。これは大電流の場合は、空間に発生している陰電子・金属蒸気の量が多くアークが維持しやすいためである。また同じ電流値に対して容量性負荷や抵抗負荷に対して誘導負荷の場合は、回路の磁気エネルギー  $1/2 LI^2$  によってアークが持続しやすいためである。このように回路の負荷によっても若干影響される。しかし、実際異常電圧はさい断電流値よりも回路のサージインピーダンスの影響が大きい。すなわち、過電圧最大値  $V_p$  は

$$V_p = \eta \sqrt{L/C} \cdot i_c$$

$\eta$  : 損失係数 ( $0 < \eta < 1$ ) 渦流損, 抵抗損によるもの。

$L$  : 負荷側 インダクタンス

$C$  : 負荷側並列 キャパシタンス

$i_c$  : さい断電流値

で示される。同じ接点材料の場合、さい断電流値は回路条件によって何倍という値で変化することはない。しかし、 $\sqrt{L/C}$  のサージインピーダンスは、容量性負荷や抵抗負荷では零か数万オームであるが、誘導電動機の場合は数百オーム、変圧器の場合は数千オームに達する。

これらの点を考慮すれば、最も過酷なものは変圧器の無負荷励磁電流である。このような誘導負荷に対しても過電圧が発生しないようにしなければ実用性がない。前述のように当社の真空スイッチは、多年の研究と実試験によって開発された特殊合金接点によって、誘導負荷ではさい断電流は 2 A をこえることは絶対ない。したがっ

て変圧器無負荷励磁電流をしゃ断しても、過電圧は非常に小さく相電圧波高値の2倍をこえることはない。

したがって、かご形誘導電動機はいうまでもなく、巻線形誘導電動機の無負荷電流をしゃ断しても過電圧に対する心配は絶無である。

### 5.3 充電電流しゃ断

容量性負荷の代表的なものは力率改善用のコンデンサである。とくに大容量化した近代工業では電力消費量が増大したため、微細な力率改善を行なうことは膨大な利益をもたらす。

しかしコンデンサ開閉には、1)突入電流が大きい。2)接点間に倍電圧が加わる。3)開閉ひん度が激しい等の理由によって、従来の油とか磁気開閉器ではしゃ断不能とか、溶着または油の交換等保守・点検が大変で、もっと性能の良い開閉器の開発が要望されていた。

ここにコンデンサ開閉用として開発されたといっても過言でないと思われるのが、真空スイッチ応用製品である。真空スイッチ管は絶縁回復が早く、高ひん繁開閉に適し、長寿命であり、最も問題となる過電圧の発生を心配することもなく、ずばりコンデンサの開閉に適している。

図5.1に6-VP-5の単相による充電電流しゃ断試験のオシログラムを示す。単相試験の場合、給与電圧は $7.2 \times 1.3 / \sqrt{3} \text{ kV}$ で十分であるが、1線地絡健全相の7.2 kVの電圧を印加しても問題なくしゃ断に成功している。

また特殊な試験として、コンデンサ突入電流寿命試験を実施したので簡単に報告する。

3-VM-2形真空電磁接触器において、最大電流約25 kA 6 kcの交流減衰波が、数サイクル流れるコンデンサ回路を投入する試験を実施した。この場合最大突入電流が25 kAにもなるので、電磁力により接点が開離しアークが発生する。しかし溶着することなく、5,000～9,000回の寿命を持つ、このことは短時間電流の項でも説明するが、規格値の数倍の投入容量を持つ接触器であるといえる。

寿命が決まるのは投入時のアークによる接点消耗(約2 mm程度)と、接点材料のスパッタリングによる絶縁低下である。最大突入電流を10 kA程度に押えれば投入時のアークもなくなり、またアークが発生してもアークエネルギーによる接点消耗のみで、電磁力による接点消耗の拡大が防止でき寿命が格段に伸びるものと考えられる。

### 5.4 短絡しゃ断容量試験

電磁接触器はしゃ断器とは異なり回路保護に使用するのを目的にしたのではなく、負荷回路の開閉が目的であるのであまり大きなしゃ断容量は必要でないが、定格電流の10倍の開閉能力は具備しているのが望ましい。もちろん使用場所によりしゃ断器より安価な接触器を短絡保護用に使用する場合も当然考えられる。

当社真空電磁接触器(VM形・VP形)は、定格電流の約20倍の電流をしゃ断する能力を持つ優秀な接触器である(表3.1参照)。

しゃ断動作責務としてJEM-1167ではO-2分-COと規定されているが、本接触器はJEC-145の責務の甲号、乙号を同時に満足できるO-1分-CO-15秒-COの最も過酷な動作責務で実施した。

図5.2に3-VP-2による3.6 kV 25 MVAの回路を、図5.3に6-VM-5による7.2 kV 50 MVAの回路をしゃ断したオシログラムを示す。

### 5.5 短時間電流試験

接触器の短時間電流容量は、JEM-1167には定格しゃ断電流が0.5秒流れても異常がないことと規定されている。これは回路が短

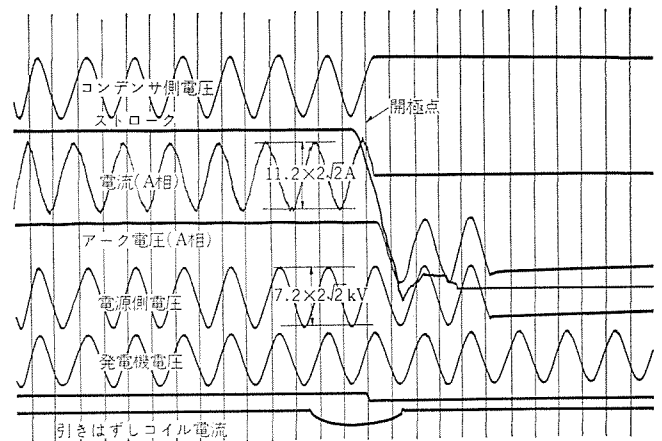


図 5.1 充電電流しゃ断試験 オシログラム (6-VP-5 形)  
Oscillogram of capacitive current breaking test (type 6-VP-5).

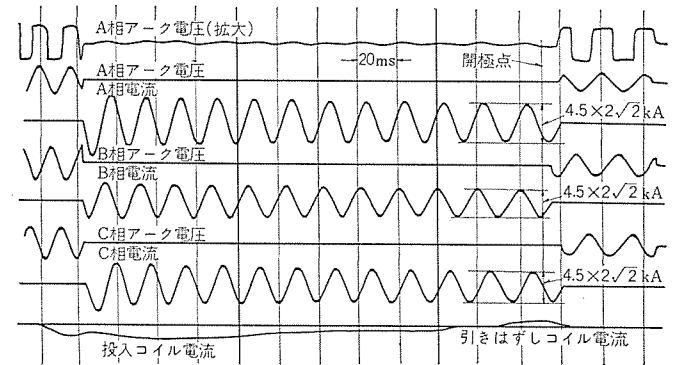


図 5.2 短絡しゃ断試験 オシログラム (3-VP-2 形)  
Oscillogram of short circuit interrupting test (type 3-VP-2).

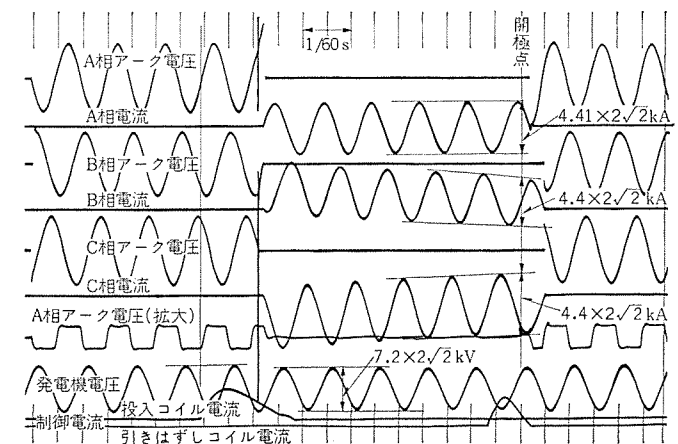


図 5.3 短絡しゃ断試験 オシログラム (6-VM-5 形)  
Oscillogram of short circuit interrupting test (type 6-VM-5).

絡事故を起こし、リレーが動作し接触器が開路するまでの時間が0.5秒でその間の過電流に耐えなければならないという思想からきたもので、もしその間に接触器が溶着した場合は回路を開くことができず、回路保護の意味がなくなるからである。だから定格しゃ断容量以下の短絡容量を持つ回路にしか使用できない。

短絡保護は別の短絡保護しゃ断器または限流ヒューズで行なう大容量回路に使用する場合もある。このときも短絡保護器が回路をしゃ断するまで、電気的(熱的)・機械的に協調性を持たなければならない。ここで短絡保護器としてしゃ断器と組合わせた場合と、限流ヒューズと組合わせた場合と、どちらが協調がとりやすいか比較してみると、

$$\text{機械的協調比} = (\text{短絡電流波高値})^2 / (\text{CLS 形 ヒューズ 限流値})^2$$

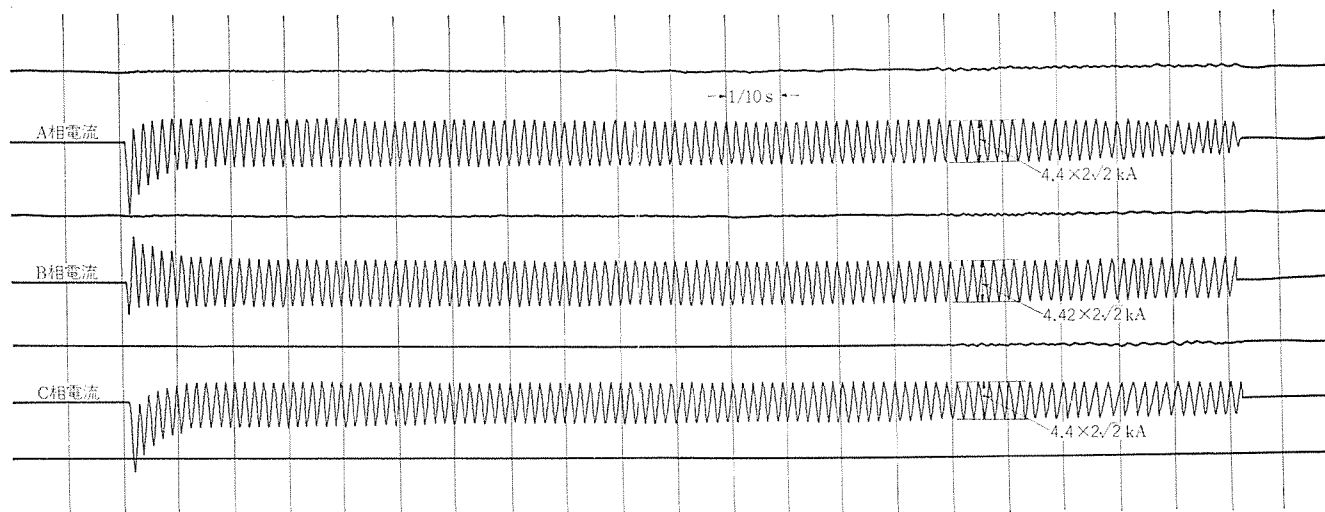


図 5.4 短時間電流試験 オシログラム

Oscillogram of short time current test.

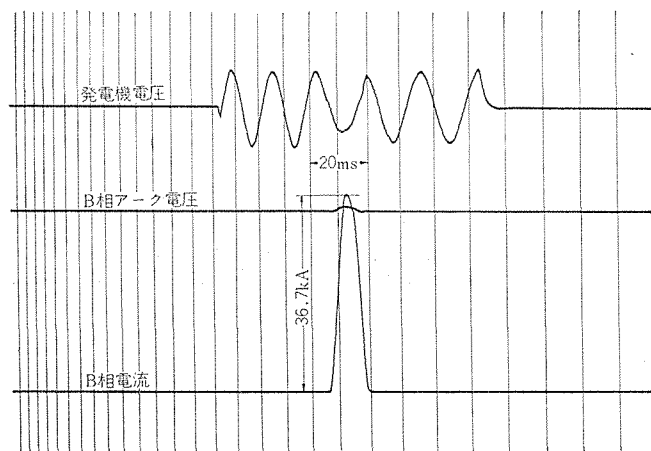


図 5.5 短時間電流試験 オシログラム  
Oscillogram of short time current test.

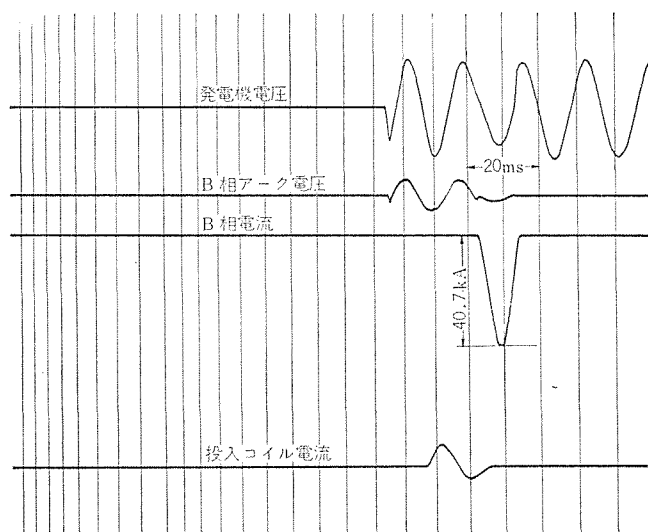


図 5.6 投入電流試験 オシログラム  
Oscillogram of making current test.

熱的協調比=シャ断器  $\int i^2 dt / \text{CLS 形 ヒューズ } \int i^2 dt$

いま 3 kV 級 250 MVA の短絡回路について考えると、三菱 CLS 形限流ヒューズの限流値は最も限流効果の少ない 200 SA 定格で 33 kA であり、シャ断時間は約 8 ms である。

上記で明らかなように限流ヒューズと組合わせた場合が、熱的・機械的に協調がとりやすく、同じ接触器であれば大容量短絡回路に使用できる。

本接触器は限流ヒューズと組合わせて使用できるように協調試験を実施し、熱的にも機械的にも十分に耐えることを確認してある。

図 5.4 に 4,400 A 2 秒通電の短時間電流試験 オシログラムを、図 5.5 に CLS 形限流ヒューズ 200 SA 定格の限流電流に担当する 33 kA 電流最大値、0.5 サイクル 通電した オシログラムを示す。

短時間電流試験の場合、試験設備の関係で、最大電流波高値が 21 kA 程度になったが電磁力による接点開離はない。しかし協調試験ではアークは見られるが接触器が溶着するとか、開く誤動作もなかった。

コンベネーションスイッチとして使用する場合、常時励磁方式の電磁保持が制御電圧が喪失し、限流シャ断するまでに接触器が開離すれば破損することがあるので注意を要する。

## 5.6 開閉容量、閉路電流容量

JEM-1167 規格によれば、開閉容量試験では 10 倍の電流を CO 30 秒間隔 5 回、閉路電流容量試験は C 100 回と規定しているが、真空スイッチ応用製品では全然問題なく近い将来別項として規格を制定する必要があるであろう。本接触器は限流ヒューズとの協調を考えて 33 kA 0.5 サイクルの投入容量を持っている。図 5.6 に投入試験のオシログラムを示す。

## 5.7 絶縁耐力試験

JEM-1167 にインパルス の規定がないが JEC-145 を参考にした。

- (1) 開の状態と同相極間
- (2) 閉の状態で各相間
- (3) 閉の状態で主回路一括と大地間

の各項に 3 kV 級は 3 号 B(商用周波電圧 10 kV、インパルス 30 kV) 保証であるが商用周波 16 kV、インパルス 45 kV に耐える。6 kV 級は 6 号 B(商用周波 16 kV、インパルス 45 kV) 保証であるが商用周波 22 kV に耐える。

## 5.8 寿命試験

寿命試験として電氣的寿命と機械的寿命試験がある。電氣的寿命は真空スイッチ管の電流開閉試験で定格電流の 5 倍を投入(力率 0.3 ~ 0.4) 1 倍の シャ断(力率 0.6 ~ 0.7) で 25 万回実施し接点消耗 1

mm 程度、定格短絡電流のしゃ断（力率 0.3）で 7,000 回で接点消耗 1~1.5 mm 程度の消耗である。機械的寿命は機構の寿命と真空スイッチ管の寿命がある とくにペロースの寿命であるが、これらを含めて 25 万回以上を確認している。

### 5.9 特殊試験

特殊試験として真空スイッチの機械的強度を確認する振動・衝撃試験、単相による三相回路しゃ断試験を実施した。

振動・衝撃試験は輸送を考慮して、振動数 2,000 cpm 全振幅 2.5 mm（約 5.5 g 相当）で前後・左右・上下・方向とも異常なく、衝撃試験も 3 方向 5 g を加えたが異常なし。

3 相中 何らかの原因で 1 相がしゃ断能力がなくなったと仮定して（真空不良とした）三相定格しゃ断容量試験を実施したが、3 相とも健全なものと比較して、アーク時間その他すべてに異常がなかった。

## 6. VM 形真空電磁接触器応用製品

### 6.1 LVM 形真空配電箱

LVM 形真空配電箱は、VM 形真空電磁接触器を内蔵した配電箱で CT・熱動形過電流継電器・電流計・操作押しボタン・接触器操作用トランスおよびコンデンサを装備したもので単独据付を標準としている。電動機回路またはコンデンサ回路に主回路を接続するだけで、運転可能な簡易箱で移動も簡単であるし非常に小形軽量で最も安易に使用できる。定格は表 3.1 の 3-VM-2 と同じである。

また必要によって足を取り除き本体箱部分のみ 4 段階にすることができ、リアクトル起動とか、限流ヒューズとの組み合わせ等簡単に用途に応じて使い分けのできる安価で便利な配電箱である。図 6.1 に単独据付形の外観を示す。

### 6.2 VM-W 形屋外開閉器

VM-W 形屋外開閉器は、VM 形真空電磁接触器を屋外用の箱に



図 6.1 LVM 真空配電箱  
Type LVM high tension switch box.



図 6.2 VM-W 形屋外開閉器  
Type VM-W enclosed vacuum switch.

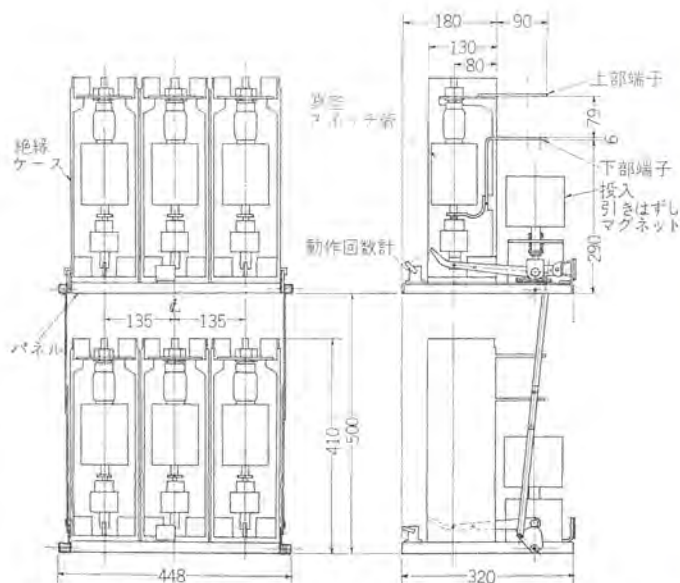


図 6.3 機械的インタロック式真空電磁接触器外形（3-VM-2 形）  
Outline of vacuum contactors with mechanical-interlock  
(type 3-VM-2).



図 6.4 VPC 形真空電磁接触器  
Type VPC vacuum contactor.

収納したもので柱上架設を標準としている。外部から容易に判別できる開閉表示を設けている。従来の屋外形柱上油開閉器に相当するもので、コンデンサ回路の開閉に最も適している。今後は油開閉器にかわって急速に需要が伸びるものと考えている。定格は 3-VM-2 と同じである。

図 6.2 に VM-W 形屋外開閉器の外観を示す。

### 6.3 可逆式電磁接触器

VM 形真空電磁接触器を 2 台使用し、機械的インタロックで結合したもので、電動機の正・逆回転用を使用するものである。2 台の配置は上下方向または前後方向とも可能である。この機械的インタロックは特殊な構造となっており、連結棒にはほとんど力が加わらないので、誤操作し操作力による力の不平衡で今まで投入していたものが開く心配もなく、連結棒が破損することもない。定格は表 3.1 の VM 形電磁接触器を適合する。

図 6.3 に 3-VM-2 を使用した上下配置の外形図を示す。

### 6.4 VPC 形真空電磁接触器

VPC 形は、単極ごとに操作機構を持つ特殊な真空スイッチ応用製品で誘導炉のコンデンサ開閉用に製作したもので、3 極を一つの取付フレームに取り付けているが、各極ごとに VP 形コンビネーションスイッチと同様の永久磁石を含んだ電磁ソレノイドを具備している。

今までであれば、単極の操作の電磁接触器がないために、他の 2 極を遊ばせるむだな使用方法であった。VPC の出現により、スパー

表 7.1 真空開閉器一覧 List of ratings of vacuum switches.

|                                      | 形 名      | 定 格 電 圧<br>kV | 定 格 電 流<br>A | 定 格 し ゃ 断 容 量<br>MVA      | 使 用 管 種  | 収 納 盤           | 備 考                                                                                                         |
|--------------------------------------|----------|---------------|--------------|---------------------------|----------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 真<br>空<br>し<br>ゃ<br>断<br>器           | 6-VKG-15 | 7.2/3.6       | 600          | 150/100                   | VS-6B6A  | WV (3 段積)       | JEC-145 規格に準拠<br>○甲号 (O-1 分-CO-3 分-CO) ならびに<br>乙号 (CO-15 秒-CO) を満足させる<br>○脱調しゃ断 (2.5 E 0.5 Is)<br>異相地絡しゃ断可能 |
|                                      | 6-VKG-25 | 7.2/3.6       | 600          | 250/150                   | VS-6B12A | WV (2 段積)       |                                                                                                             |
|                                      | 6-VKG-25 | 7.2/3.6       | 1,200        | 250/150                   | VS-6B12A | WV (2 段積)       |                                                                                                             |
|                                      | 6-VKG-25 | 7.2/6.6       | 2,000        | 250/150                   | VS-6B20A | WV (6 段積)       |                                                                                                             |
| 真<br>空<br>コ<br>ン<br>ビ<br>ン           | 6-VP-5   | 7.2/3.6       | 200          | 50/25<br>(限流ヒューズ 500/250) | VS-6C2A  | EV (4 段積)       | 限流ヒューズは三菱 CLS 形                                                                                             |
|                                      | 3-VP-2   | 3.6           | 200          | 25<br>(限流ヒューズ 250)        | VS-3C2A  | EV (4 段積)       |                                                                                                             |
| 真<br>コ<br>ン<br>タ<br>ク<br>タ<br>空<br>! | 6-VM-5   | 7.2           | 200          | 50                        | VS-6C2A  |                 | L. V. M 形真空配電箱に収納すること<br>もできる。                                                                              |
|                                      | 6-VM-7   | 7.2/3.6       | 400          | 75/50                     | VS-6C4A  |                 |                                                                                                             |
|                                      | 3-VM-2   | 3.6           | 200          | 25                        | VS-3C2A  |                 |                                                                                                             |
| 特<br>殊<br>品                          | VM-W     | 7.2/3.6       | 200          | 50/25                     | VS-6C2A  | 屋外用単独箱に収納<br>する | 屋外用開閉器                                                                                                      |
|                                      |          |               | 400          | 75/50                     | VS-3C2A  |                 |                                                                                                             |
|                                      | VD-W     | 6.9           | 300/400      |                           | VS-6C4A  | 屋外用単独箱に収納<br>する | 配電線用区分開閉器                                                                                                   |
|                                      |          |               |              |                           | VS-3C4A  |                 |                                                                                                             |

ス・価格等一段と有利となった。定格は 3 kV, 6 kV 用 200 A である。

図 6.4 に VPC 形真空電磁接触器の外観を示す。

## 7. む す び

高真空を消弧媒質とした真空スイッチ応用製品の内、小容量の電磁

接触器について定格・性能・構造・試験結果を報告し、最後に VM 形真空電磁接触器の応用製品を簡単に紹介した。

今後使用実績が増すにつれて真空スイッチの信頼性・特長等が正しく評価・認識され、ますます需要の増加と大容量化、応用製品の拡大等の要求により、とどまることなく発展していくことと思う。

最後に表 7.1 に当社の真空開閉器一覧表を示す。

# M形制御スイッチの紹介と、一般用操作スイッチの適用上の問題点

立石 俊夫\*  
松尾 宏之\*\*

## Type M Control Switches and Problems of Control Switches for General Use

Kôbe Works Toshio TATEISHI  
Nagoya Works Hiroyuki MATSUO

As the power systems of the recent power plants and substations became complex, control switches were subjected to many complicated requisitions such as the combination of contacts, operating methods and appropriate application depending on environmental conditions. Type M control switches are the development made by concentrating the essential elements of various control switches and standardizing the parts, the construction, features and performance being introduced herein.

On the other hand, switches for the control of electromagnetic switches including push button switches are now in wide use, but when they are subject to the influence of special load or environment many problems are posed in the application. Their various tests have been conducted and the results are described for the reference to potential users.

### 1. ま え が き

発・変電所の電力系統の複雑化に伴い、しゃ断器・断路器などの制御や、調整器・計器の切換えなどに使用される制御スイッチについては、その接点構成、操作方式、周囲環境による適切な処理など、多くの条件が要求されるようになっている。制御スイッチには従来からW形シリーズがあったが、価格的には高価で製作期間も長期を要していたので、これらの欠点を解消するために、さきごろM形シリーズを開発した。

一方、電磁開閉器操作用として、押しボタンスイッチや切換スイッチが、広く一般的に使用されているが、標準使用からはずれた直流用、小勢力回路用、特殊ふん囲気用などには、問題点が必ずしも解明されないで使われている現状である。

以上の観点から、M形制御スイッチについては、シリーズの中から、比較的新しい操作方式のものを中心に製品解説を主とし、一般用操作スイッチについては、ユーザ各位に、問題点解明の一助になることを願った参考データの紹介を主とした。

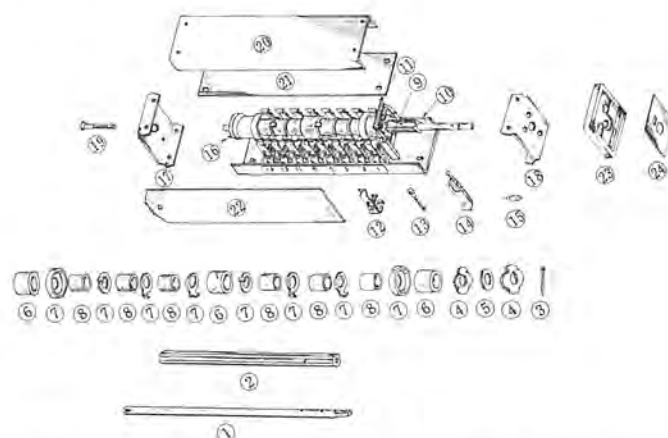
### 2. M形制御スイッチ

#### 2.1 概 要

M形制御スイッチは、しゃ断器・断路器などの入・切制御、調整抵抗器・調速器などのタップ切換え、あるいは計器その他諸回路の切換えなどに使用される配電盤取付形の制御スイッチである。比較的新しい操作方式には、誤操作防止用鎖錠付きや、一方向は自動復帰で他方向は手動復帰の複合形があり、前者は重要回路の制御・切換えに、後者は配電盤占有面積の縮少のために使用される。このほか、制御スイッチには、操作取っ手が照光して赤・緑の信号灯を兼ねる照光形、化学工場向けとしての耐食・防爆形があり、一般仕様として自動復帰形・多ノッチ形などが必要である。また制御スイッチには、その使用回路の条件により多種多様の接点構成が要請され、これが前記操作方式および周囲環境による処理条件などと組み合わせられたとき、制御スイッチの種類は非常に多くなり、数百種類におよぶもの

となる。一方、制御スイッチの仕様は、系統設計におくられて決定されるのが普通であり、このため、特殊仕様といえども一般に短納期が要請される。また、一度決定された仕様が途中で変更されることも少なくない。

これらの要請に応ずるために開発されたのが、M形制御スイッチであり、このスイッチは、以下に述べる多種類の形式に対して、標準化された共通部品が使用されているため、どの形式でも短納期で製作できるのみならず、のちの仕様変更に対しても、比較的簡単に応じられるよう考慮している。以下、M形制御スイッチについて、その構造・特長・種類などを説明する。



| 品番 | 部 品 名 称 | 品番 | 部 品 名 称 | 品番 | 部 品 名 称   |
|----|---------|----|---------|----|-----------|
| 1  | シャフト    | 9  | 絶縁ベース   | 17 | 後部エンドプレート |
| 2  | キー付チューブ | 10 | 支持ベース   | 18 | 前部エンドプレート |
| 3  | ピン      | 11 | つる巻きばね※ | 19 | なべねじ      |
| 4  | カム※     | 12 | 固定接触子   | 20 | 上部カバー     |
| 5  | リング※    | 13 | 端子      | 21 | 上部絶縁板     |
| 6  | 絶縁スベーク  | 14 | ささえ腕※   | 22 | 側面カバー     |
| 7  | 可動接触子   | 15 | ローラ※    | 23 | ダイヤルプレート  |
| 8  | 導管スベーク  | 16 | 止め金     | 24 | 名板        |

注) ※印 部品を交換することにより、種々な機種が構成できる。

図 2.1 M形制御スイッチの分解図  
Components of type M control switch.

## 2.2 構造および特長

図 2.1 に示す分解図のように、この M 形シリーズは、可動接触子が回転して、固定接触子に接触する回転形を採用している。この回転形は固定接触子をつくるようにして可動接触子が接触するため、接点間に付着したじんあいなどによる接触不良の心配がない。また、一本の操作シャフト上にキー付チューブ、絶縁スペーサなどの樹脂成形品からできた絶縁物を介して、可動接触子を固くシャフト上に固定させているので、操作シャフトの回転方向へはもちろん、軸方向へも可動接触子が移動して、2種類の異なった働きを1台の一連した操作で兼用できる。すなわち、取っ手を回して成立する接点と、取っ手を引いて成立する接点、または、切れる接点など、異なった操作ができる特長がある。また、固定接触子は可動接触子の回転、およびシャフトの軸方向の移動に対しても円滑に動作するよう、上下左右とも斜面を設けた接触子になっており、かつ、可動する接触子とこの接触子をささえる基台の間に、コイルばねを介して接触圧力を保持させるとともに、両者間を複数枚からなる可とう分路片で確実に接続し、電気的断線事故のないよう配慮している。また、可動接触子の組立は、四か所のキー山を設けた絶縁物からなるキー付チューブ上にはめこまれるので、安定がなく、かつ、激しい動作に対しても、キー山がつぶれる心配がない。また、各ノッチで止まるラチェット機構は、カムを両側をローおよびばねをもったささえ腕で強くささえている。すなわち、ささえ腕を内方にひっぱる力でローがカムの両側を強く押し、カムの山の頂点を越えたら自動的にローの圧力で、ロータが回り、カムの次の谷に落ち込むようになっているため、操作は円滑で確実である。また、操作後、自動的にロータが中点に復帰するスプリングリターン式にも、このロータ式ラチェット機構を取り除いた後のスペースにひねりばねが装着でき、組み換えることができる。このようにシャフト・絶縁ベース・支持ベース・側面カバー・キー付チューブなどの長尺な部品に至るまで、点数が同じであれば、いずれの形式にも流用できる互換性を有した部品となっている。また、この M 形シリーズでは、ロータの点検が、組み立てられたままの状態で行うことができる。すなわち、側面カバーをスイッチ後方に引き抜いて取りはずせば、内部の固定接触子・可動接触子が露出して、外部から目視だけで点検できる。また、名板の装着に対しては、はめ込み式を採用し、名板の止めねじが不要であり、操作の際、止めねじで指を損傷する心配がない。また弾性樹脂製のダイヤルプレートであるため、取付板のひずみに対しても、密着した状態となり安定がよい。そのほか、合成樹脂を使用した部品として、止め金があるが、後部エンドプレートに軸受として装着されて、耐摩耗性がよく、25万回の連続操

作試験において、穴・軸とも摩耗が認められない成績を得ている。また、取っ手の先端部分は、従来シャフトと連結して回すとき、この先端部に負荷が集中するため強度上、金属製埋め金を使用されていたが、この先端部も含めた樹脂成形品の軽量な取っ手となっている。この取っ手は、50万回の連続操作試験に対しても、割れ目・破損が認められない粘り強い弾性樹脂を使用しており、また、取っ手表面は取りはずせるようふたつきとしているため、表面に刻印する文字の変更もふただけ取り換えればよく、はなはだ簡単である。また従来この取っ手の先端と、ダイヤルプレートの切欠きとで、ロータの回止めを行っていたため、取り付けられるパネルの厚さが回止め機構に大きく影響していたが、このシリーズでは、ローラのラチェット部および後部エンドプレート部に回止め機構が設けてあるため、パネルの厚さが2.3~6mmであれば、厚さに関係なく、そのまま取り付けることができるとの特長がある。

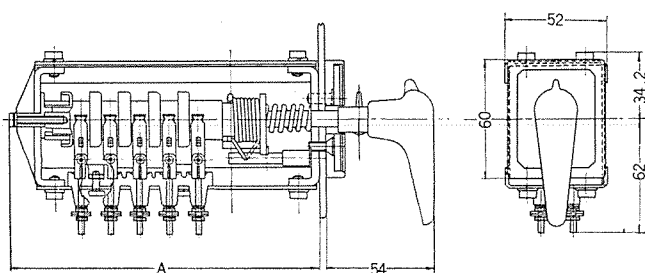
## 2.3 種類と特長

### 2.3.1 MPS 形 (鎖錠付)

図 2.2 に示す MPS 形は、そのままでは取っ手の回転操作ができない回止めつきとした鎖錠付の制御スイッチである。後部のエンドプレートに固定された2本のピンが、ロータを締め付ける止め金の左右のつばの両端に接して、そのままでは取っ手が左右に回せないよう鎖錠付きとしている。取っ手を手前に引き出すとロータも同時に引き出されて上記のピンと、止め金のつばとのかかわりがはずれ、初めて左右の回転操作ができる。取っ手をはなすと、ばねの復帰力で自動的に元に戻り、かつ、中点位置に復帰する。このように一連の操作で鎖錠および解錠ができるため、非常停止などの場合、処置が迅速に行なえて安全である。また、左右の回転で成立する接点以外に、たとえば、取っ手を引けば接点断、または、その反対の常時は接点断、取っ手を引けば接点通、押しボタンの代用も兼ねられる。この特長は、操作に先きだてて予告する回路に利用してはなはだ便利である。すなわち、取っ手を引き出すと接点となる回路に、ベルまたはフリッカ回路を接続しておき、取っ手を手前に引くことによって、ベルを鳴らし、または表示灯などを点滅させて予告し、そののち取っ手を回転させて所定の回路を接続させる。このように一連の操作で、あらかじめ予告してから操作するという二重の任務を果たすことができる。

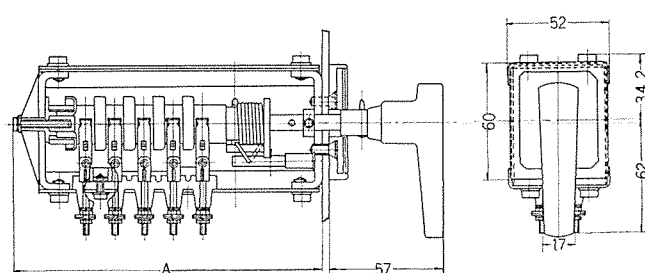
### 2.3.2 MPS-1 形 (鎖錠付)

MPS-1 形は、MPS 形とほぼ同じ機構であるが、取っ手を引き出したあと、復帰には手動で取っ手を押し込まなければならない機構となっている。すなわち、軸方向に復帰するばねのかわりに、軸方



| 点 数 (点)    | 8   | 12  | 16  | 20  |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| A の寸法 (mm) | 157 | 191 | 225 | 259 |

図 2.2 MPS 形 制御スイッチ  
Type MPS control switch.



| 点 数 (点)    | 8   | 12  | 16  | 20  |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| A の寸法 (mm) | 157 | 191 | 225 | 259 |

図 2.3 MPS-1 形 制御スイッチ  
Type MPS-1 control switch.

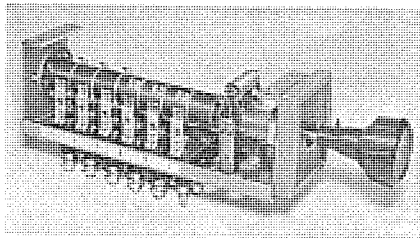


図 2.4 MPS-2 形 制御スイッチ  
Type MPS-2 control switch.

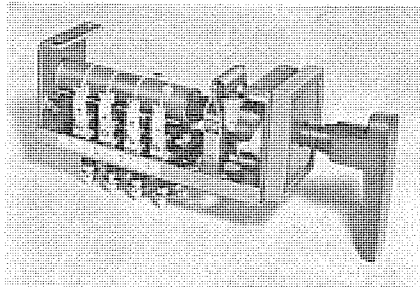


図 2.5 MPS-3 形 制御スイッチ  
Type MPS-3 control switch.

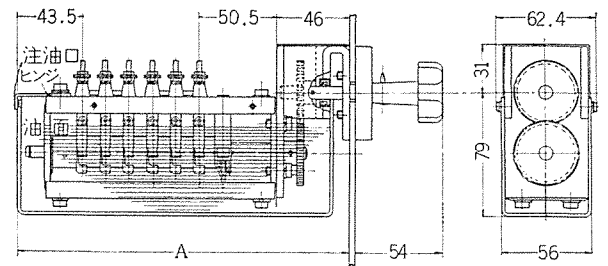
向でロータが停止するよう、前部エンドプレートに鎖錠装置が装着されている。この鎖錠装置はチールボールと、それを押すばねが内蔵されていて、シャフト側面の小穴にこのスチールボールがはまる機構となっている。したがって左右の中間復帰は自動的に行なえるが、引き出した位置で手をはなしても、取っ手は引き出された位置に停止する。このことは長く取っ手を引き続ける必要がある場合、取っ手の引出し操作の負担を軽くするのに適したものである。

### 2.3.3 MPS-2 形 (鎖錠付)

図 2.4 に示す MPS-2 形は、そのままでは操作ができない鎖錠付のスイッチである。取っ手を引き出して初めて回転操作ができて、名板に指示された各ノッチ位置で手をはなすとそのまま停止している。また、各ノッチ位置での取っ手の引出し、押込みは可能である。押し込んだ位置ではもちろん鎖錠されている。この鎖錠機構は、後部エンドプレートに固定されたピンが、ロータの左端に装着されている止め金の穴の中にはまって回転が止められている。したがって、この止め金の穴の位置を特定な位置とすれば、特定な位置でのみ鎖錠および取っ手の引出しができる機構とすることもできる。また、回路の構成も取っ手を引き出したとき、押し込んだときと異なった接点が構成できるため、たとえば、引き出して各ノッチに回したときに成立する接点、または、引き出して各ノッチに回したときには成立しないが、これが取っ手を押し込んだときに、初めて回路が成立する接点、または、その両者を混合した回路など、用途に応じて適切な回路が選択できる。さらに、上記の鎖錠用の穴の選択なども組み合わせればいっそう、幾重もの任務が一連の連続操作で行なえて非常に便利である。また各ノッチで止まるラチェット機構はロータの軸方向の移動に対しては、そのままの位置で停止しており、回転方向のみ可動する構造となっているので、取っ手の引出し操作は軽く、かつ、ラチェット機構は 2.2 節「構造および特長」で述べたように、各ノッチの操作は円滑で確実である。

### 2.3.4 MPS-3 形 (複合形)

図 2.5 に示す MPS-3 形は左に回したとき手をはなすと、ばねの復帰力で中点に復帰し、右に回すと、手をはなしてもその位置で停止している。また、その反対操作のものも可能で、いわゆるスプ



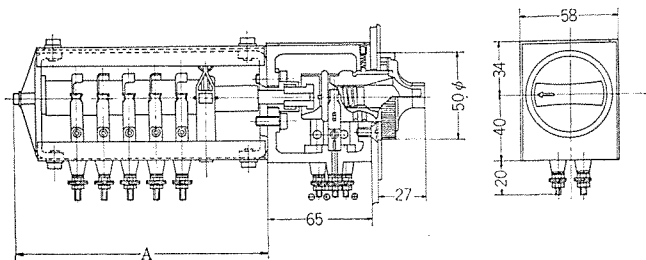
| 点 数 (点)    | 8   | 12  |
|------------|-----|-----|
| A の寸法 (mm) | 191 | 225 |

図 2.6 MOS-3 形 制御スイッチ  
Type MOS-3 control switch.

リングリターン式と切換式を兼用した複合形の制御スイッチである。ラチェット機構とスプリングリターン機構とは、図 2.5 のように一体に組み合わせ、角状のシャフト上に適当なすきまをもたせてはめこみ、かつ、その両端をばねを介したささえ腕で押すようにしてささええているため、回転方向にはラチェット機構は角状のシャフトに案内されて可動するが、軸方向へは、シャフトのみ遊動してラチェット機構は移動せず、そのままの位置で停止している。したがって左右の操作以外にロータを軸方向へ引き出すことも可能である。たとえば、全停の場合など、左に回して取っ手を引くと、図 2.5 に示す後部のエンドプレートに固定されたストップ用平鉄と、ロータの止め金のつばとがかわりあって、引き出された位置で回路は全停となったまま停止する。このように異なった機能動作が、一連の連続操作で行なえるため操作ははなはだ簡単で、かつ、2 台分を 1 台で兼用できるため、配電盤の占有面積が小さくてすみ、非常に便利である。

### 2.3.5 MOS 形 (油入)

図 2.6 に示す MOS 形は、接点部分を油つけとした、防食防爆用の制御スイッチである。透明な合成樹脂成形品からなる油そう内に、端子側を上方に、接点部分を下方にしてそう入して油つけとし、かつ、連結箱内の歯車を介して上方に装着された取っ手で回転操作ができる構造となっている。また、油もれのないよう、油密を必要とする箇所を少なくしている。すなわち、ロータに固定された m 字形の連結箱は、下段に油つけとなったロータを歯車と連結して、取っ手軸は油面から離れた連結箱の上段に位置させている。また、取っ手軸の軸受の左端は、連結箱の側壁を貫通しない穴と、右方は連結箱を貫通した中央穴に、オイルシールを介して油密とし、ささえられている。また、パネルへの取付けは上記のオイルシールから、さらに、距離をとった n 字形の取付板が連結箱に連結されているため、この取付板の中央穴やパネルに取り付けるねじ穴には油密の必要がなく、貫通したままの穴でよい。したがって、油密箇所は上記のオイルシールを装着している貫通穴 1 箇所よく、油密箇所が非常に少ない特長がある。このように簡単に油もれを防ぎ、軽量・小形として配電盤上に装着される構造となっている。また、透明な油そうであるため、外部から容易にロータの点検ができ、油面計は不要である。また、接点部分が油つけとなっているので、しゃ断時のアークは油中で消弧されて、空气中に露出することなく、簡単な防爆用として用いられる。また、従来、耐ガス用として、めっきにする対策も行なわれてきたが、接点部がしゅう動して摩耗するため、十分な対策といえなかった。この MOS 形では油で接点が保護されているため、ガスに侵されることがない。この MOS 形 スプリングリターン式および各ノッチ



|            |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| 点 数 (点)    | 8   | 12  | 16  | 22  |
| A の寸法 (mm) | 140 | 174 | 208 | 259 |

図 2.7 MLR 形 制 御 ス イ ッ チ  
Type MLR control switch.

で止まる切換式の機能のスイッチでも、容易に油そう内に収納できる構造となっている。

### 2.3.6 MLR, MLC 形 (照光式)

図 2.7 に示す MLR, MLC 形は、操作取手が照光する制御スイッチである。ランプ機構は樹脂製のわく組みと、ランプ回路を内蔵した筒状のロータ部とがあって、この筒状のロータ部の左端は本体ロータと連結し、右端は開放して電球の出入口となっている。この開放端に口金を有した照光取手が装着される。すなわち、口金を右に回すことにより筒の外周のねじに口金がねじこまれて、取手と筒とがかかりあって装着され、かつ、左に口金を回すと、筒と取手とのかかりがはずれる。電球の装着は、この取手を取り除くことによって行なう。またランプの接点は筒の外周にリング状となって露出しており、かつ、その両側を弾性を有した固定接触子で押しているから、どのような取手の回転にも常にランプ回路は接続し続けており、この回路は本体のロータ接点と接続したとき成立する。このランプ機構にスプリングリターン式のスイッチが連結された場合を MLC 形、各ノッチで止まる切換式が連結された場合を MLR 形と呼んでいる。この制御スイッチは、しゃ断器または断路器の入・切状態を、取手の照光部の点滅によって表示するものである。点灯の場合は入、減灯の場合は切を表示している。この場合、ランプの断線はただちに回路の判別に支障を及ぼすので、簡単に点検ができるよう、取手を引き出せば、ランプロータが移動して隣接した点検回路に接続するようになっている。点検が終わり、取手を元に押し込めば、点検回路が切となって元の所要回路へ接続される。このように操作中の本体のロータに関係なく、取手を引き出すだけで、ランプロータのみ移動して容易に点検ができるので、ランプの断線による誤った判断は防止され、取手の照光部の点・滅によるしゃ断器・断路器の入・切の表示が確認でき、したがって従来の赤・緑の信号灯を省略することができる特長を有する。

### 2.4 性 能

絶縁耐力は 600 V 回路に耐え、連続通電容量は 15 A である。しゃ断容量は制御される回路の電圧・時定数によって決まるが、誘導回路に用いられたときの定格電流は、つぎのとおりである。

| 定 格 電 流       |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|
| 交             | 流     | 直     | 流     |
| 110 V         | 10 A  | 110 V | 2 A   |
| 220 V         | 7.5 A | 220 V | 1.5 A |
| 450 V         | 4 A   |       |       |
| 力率 0.3~0.4 遅れ |       | 時定数   | 40 ms |

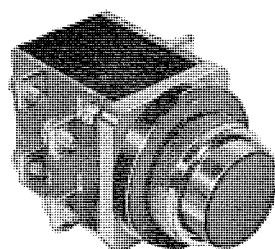


図 3.1 OU 形操作スイッチ  
Type OU control switch.

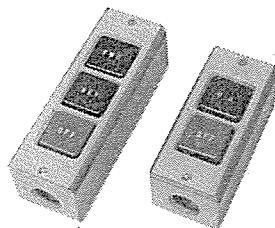


図 3.2 BT 形押しボタン  
スイッチ  
Type BT push button switch.

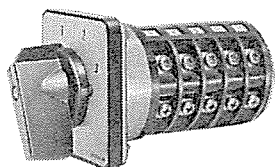


図 3.3 AK 形切換スイッチ  
Type AK change-over switch.

## 3. 一般用操作スイッチの適用上の問題点

### 3.1 概 要

制御盤・操作盤などに数多く使用されている押しボタンスイッチや切換スイッチは、主として電磁開閉器の操作作用であって、定格・寿命などは JIS C 4503 交流電磁開閉器操作作用スイッチにもとづいている。OU 形操作スイッチ、BT 形押しボタンスイッチおよび AK 形切換スイッチがそれで、それぞれ操作部の形状、色、接点数などに多くの種類がある。

これらのスイッチは、交流電磁開閉器操作作用以外に、直流とか低電圧小電流回路で使用されたり、あるいは振動・腐食性ガスなどの影響を受けたりするから、前記の規格による性能確認だけでは不十分である。カタログなどで明示されていないため、実際に使用するに当たって適否の判断に迷ったり、誤って事故を起こす場合も少なくない。

本文は、過去に実施した種々の試験の結果を整理し、十分とはいえないが実用上の参考データを提供し、それぞれの問題点について簡単に説明する。

### 3.2 直流回路への適用

交流では、電流値が半サイクルごとに 0 となるのに対して、直流ではそれがないため比較的小さな電流でもアークが切れにくい。

アークの持続する時間すなわちアーク時間は、電流が大きければ長くなり、回路の時定数  $L/R$  が大きくても長くなる。アークは、接点を消耗させるばかりでなく、周囲の絶縁物を侵して動作不良・絶縁不良が生じ、絶縁物がフェノール樹脂である場合にはアーク熱で遊離したアンモニア、空気中の窒素・酸素・水分により、硝酸が生じて金属が異常腐食現象を呈することが知られており、試験中しばしば体験する。

このアークを抑制する方法としては、

- (1) 磁気吹消磁石・グリッドなどの消弧装置をつける。

表 3.1 直流定格 DC rating of switches.

(a) OU 形操作スイッチ

| 電 圧<br>V | AC 定格電流<br>誘導負荷 A | DC 定 格 電 流 A |        |                   |       |        |
|----------|-------------------|--------------|--------|-------------------|-------|--------|
|          |                   | 抵 抗 負 荷      |        | 誘導負荷 (時定数 100 ms) |       |        |
|          |                   | 50 万回        | 100 万回 | しゃ断容量             | 50 万回 | 100 万回 |
| 24       |                   | 4            | 3      | 15                | 1.5   | 0.8    |
| 110      | 10                | 1.5          | 0.8    | 1.2               | 0.4   | 0.2    |
| 220      | 5                 | 1            | 0.6    | 0.4               | 0.25  | 0.15   |

注) シャ断容量は、アーク時間 100 ms 以下の値

(b) AK 形切換スイッチ

| 電 圧<br>V | AC 定格電流<br>誘導負荷 A | DC 定 格 電 流 A |       |                   |       |       |
|----------|-------------------|--------------|-------|-------------------|-------|-------|
|          |                   | 抵 抗 負 荷      |       | 誘導負荷 (時定数 100 ms) |       |       |
|          |                   | 25 万回        | 50 万回 | しゃ断容量             | 25 万回 | 50 万回 |
| 24       |                   | 15           | 12    | 15                | 4     | 2.5   |
| 110      | 15                | 4            | 2.5   | 0.9               | 0.6   | 0.4   |
| 220      | 10                | 1.5          | 1     | 0.5               | 0.35  | 0.2   |

注) シャ断容量は、アーク時間 100 ms 以下の値

表 3.2 直流しゃ断時のアーク時間  
Arcing time of breaking DC.

| 形  | 負 荷 条 件                   | アーク時間 ms |
|----|---------------------------|----------|
| OU | DC 110 V 0.4 A 時定数 100 ms | 22       |
|    | DC 110 V 0.8 A 抵抗         | 5.6      |
| AK | DC 110 V 0.2 A 時定数 100 ms | 22       |
|    | DC 110 V 2.5 A 抵抗         | 25       |

(2) 接点と並列に CR 回路を設ける。

(3) 多重しゃ断をさせる。

(4) 接点間けきを増大させる。

などが考えられる。交流用として設計された標準品をそのまま直流で使用するには、このうち(3)が最もてっとり早い、各接点がまったく同時に開路するわけではないから、あまり多くは期待できない。(220 V 1 A 100 ms で、1 P ではしゃ断不能のものが、2 P では 25 万回 OK というデータがある。)

表 3.1 は、OU 形および AK 形スイッチの直流定格であるが、けっきょく交流の 1/(10~20) 以下におさえなければならない。また表 3.2 は、しゃ断時のアーク時間を測定した結果で、表 3.1 のしゃ断容量はアーク時間が 80~100 ms となる値で示してある。これ以上に電流値を増すと、たとえば OU 形では 115 V 3 A 時定数 100 ms の投入しゃ断が 100 回可能ではあるが、アーク時間が 330 ms になって実用的ではない。OU 形では a→b, b→a 接点への切換時間がおよそ 20~80 ms であるから、アーク時間が長いと短絡する可能性が十分あり、回路構成上注意する必要がある。

また電磁接触器などとは異なり投入時のバウンスがなく、投入容量には十分余裕があるから、普通にはしゃ断時のアークによって定格や寿命が決まる。

### 3.3 交流実負荷時の寿命

JIS C 4503 にもとづくスイッチの定格電流は、10 倍の投入しゃ断を 5 回、および 5 倍投入 1 倍しゃ断の開閉を保証寿命回数以上可能な値としており、多くのものは 250 V 5 A となっている。負荷とする電磁接触器コイルの励磁電流は、一般に 2 A 以下であるから実負荷時の寿命は、定格電流での寿命より当然長くなる。

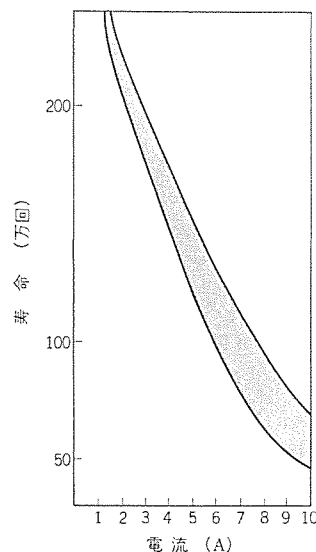


図 3.4 OU 形操作スイッチの電流と寿命の関係  
Relation between current and life of type OU control switch.

表 3.3 電動機負荷の試験結果 (供試品 OU 形)  
Test result by means of motor load.

| 電 動 機            | 電圧・全負荷電流  | 起 動 電 流      | 力率 (投入/しゃ断) | 開閉回数   | 状 態  |
|------------------|-----------|--------------|-------------|--------|------|
| 1 φ SP-R 形 200 W | 110 V 5 A | 38 A 18 サイクル | 0.68/0.52   | 196 万回 | 消耗限界 |
| 1 φ SC-R 形 400 W | 110 V 8 A | 50 A 18 サイクル | 0.68/0.86   | 90     | 焼 損  |
| 1 φ 1.5 kW       | 220 V 8 A | 40 A (等価回路)  | 0.35/0.62   | 73     | 消耗限界 |

OU 形スイッチにより、M-65 形と M-305 形電磁接触器を負荷として寿命試験をした結果、100 万回時点ではいずれも接点消耗量はきわめてわずかで、引続き 200 万回以上まで使用可能な状態であった。寿命は電流のほぼ 2 乗に反比例するといわれ、電流が微小ならば機械的寿命に近くなり、大きくなると寿命は短くなり、かつ電流値は通電容量や投入しゃ断容量によって制限される。

そこで電流値と寿命の関係を調べるため、OU 形スイッチにより 200 V 誘導負荷で 75 A 投入、7.5 A しゃ断、100 A 投入 10 A しゃ断で試験した結果、120 万回と 70 万回がそれぞれ接点消耗限界であった。さらに別な試験の結果を合わせて、電流と寿命の関係を推定すると、200 V 誘導負荷では図 3.4 のようになる。

また電磁接触器操作の場合、ON と OFF は別々の接点で行なうのが普通である。M-155 形を負荷として 100 万回開閉後、ON 用接点は変色さえしていないのに、OFF 用接点は 1 mg 程度の消耗があつて黒ずんだ。電流値が大きくなるとこの差はもっと顕著になるわけであるが、機能上からは ON 用接点は、OFF 用接点と同じ材質のものでなくともよいことになる。

### 3.4 電動機負荷の開閉能力と寿命

小容量の電動機は、押しボタンや切換スイッチで直接入切する場合も少なくない。電動機を負荷とする場合、起動電流は 5~8 倍であるが、起動時間が比較的長いと、投入時に接点の消耗や溶着の懸念がある。さらに、ひん繁なインチャングがあると接点消耗がふえるので、定格をさげて使わなければならない。しかし、あまりひん繁なインチャングをすると電動機をいためることにもなり、OU 形での試験結果からは実用上、寿命 50 万回で定格電流の 50~70 % 使用にすればよいと考える。表 3.3 は、OU 形スイッチでの試験結果で、1,200 回/時のひん度で行なったものである。

### 3.5 低電圧・小電流回路への適用

半導体回路のように、数 V、数 mA という低電圧小電流回路では、接点（銀）表面の皮膜のために、接触不良を起こしやすい。また微小なほこりによっても容易に接触不良となり、使用環境はもちろん、組立の段階から注意が必要である。

低電圧・小電流用としては、接点をワイピングさせる、接触点を多くする、接点材料に金やパラジウムを用いる、密閉構造にするなどの方法がとられているが、標準品がどこまで使えるかがここでの問題である。OU 形スイッチにより、標準の銀（固定側ナールング）、銀＋金めっき、銀ワイピングの3種類の接点について、DC 3 V 5mA、DC 12 V 0.3 mA（いずれも抵抗負荷）の回路で10万回操作した結果では、いずれも接触不良はなかった。まためっき工場の近くで、直接外気にふれる屋外に60日間放置して接触抵抗の変化を比較してみたが、図3.5のような結果で、銀は漸増の傾向にはあるが、問題になるほど大きくはない。

各試験ともまだ1台ずつしか結果を得ていないので、早急に結論づけるわけにはいかないが、接触圧力が70 g と比較的大きいこともあって、バットコンタクトの銀接点でもかなり低電圧・小電流まで使用できるようなのである。（AK 形スイッチの場合にも、接点材質・接触圧力からして同様である。）

しかし、絶対的に信頼性を向上させるには、無接点化することで、当社でも、押しボタンヘッドに差動トランス式、高周波発振式（近接スイッチのようなもの）などのユニットを取り付けて製作した実例がある。

### 3.6 耐振動・耐衝撃性能

車両・プレス機械などのように、振動や衝撃の高い場所に取り付けられると、接点がチャタリングして電磁接触器を落下させたり、ねじのゆるみ、構成部品の破損などを引き起こす場合がある。

振動衝撃の試験方法には、JIS C 0911・0912 に、小形電気機器に対する規定があり、鉄道車両用として JIS E 4031 がある。これに供試接点で RP 形制御用リレーを保持する回路を組み合わせて、どこまで耐えるかを試験した。

#### 3.6.1 振動

図3.6は、チャタリングにより、負荷の RP リレーが落下する振動数を各軸方向について求めたもので、図の斜線の範囲内が安全である。JIS E 4031 による試験では、OU 形・AK 形とも第2種～第5種（表3.4）に合格し、貨車用の車体に取り付けてもよいことになる。部品の破損、ねじのゆるみもない。

#### 3.6.2 衝撃

試験結果は、表3.5のとおりで、試験機的能力から88 G 以上は測定できなかったが、接点の移動方向（上下）以外は、非常に高い耐衝撃性をもっている。衝撃による接点のチャタリング状態は、表3.7のようになり、（a）は接点が開離する時間が短いために、RP リレーは落下せず、（b）のようにその時間が4 ms 以上になると落下する。部品の破損、ねじのゆるみはなかった。

負荷の種類によっては、図表の数値は若干変わると思うが、チャタリングによって回路上誤動作が生ずるとすれば、負荷として RP リレーは、非常に敏感なほうであるから、図表の値をスイッチの基本的な耐振動・耐衝撃性能と考えてよい。この性能を向上させるには、接触圧力を高くし、可動部分の質量を軽くする必要がある。しかしそれ以上に、取り付けの方法や取扱い方でカバーすべきである。

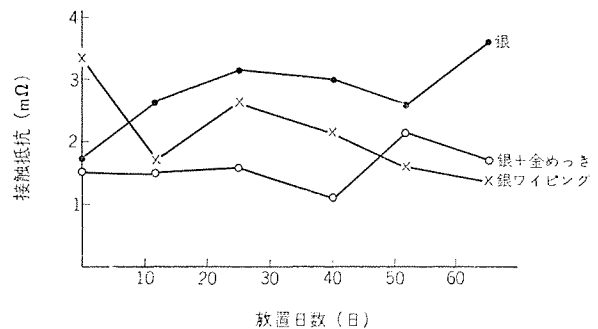


図 3.5 屋外放置による OU 形 a 接点の接触抵抗変化  
Change of contact resistance of the contact a owing to being left outdoor.

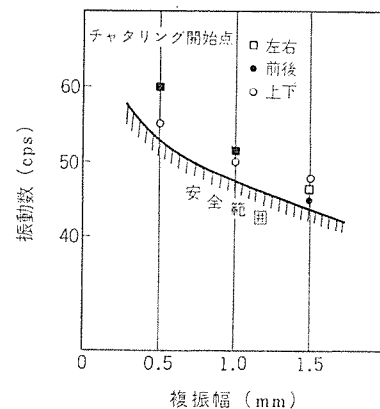


図 3.6 OU 形 b 接点の耐振性  
Vibration test of type OU control switch.

表 3.4 JIS E 4031 鉄道車両部品の振動試験方法…第2～5種 A  
Vibration test methods on the parts of railway rolling stock (JIS E 4031)

| 項目     | 振動数 cps | 全振幅 mm | 加速度全振幅 G | 時間 分 |    |    |
|--------|---------|--------|----------|------|----|----|
|        |         |        |          | 上下   | 左右 | 前後 |
| 共振試験   | 7~60    | 1.4    | 20.2     | 10   | 10 | 10 |
| 振動機能試験 | 7~60    | 1.4    | 20.2     | 10   | 10 | 10 |
| 振動耐久試験 | 40      | 3.1    | 19.8     | 24   | 12 | 12 |

表 3.5 耐衝撃性 Shock test.

| 形名 | 方向  | 耐衝撃値 G | チャタリング時間 ms |
|----|-----|--------|-------------|
| OU | 上 下 | 36     | 50 G-6.4    |
|    | 左 右 | >88    |             |
|    | 前 後 | >88    |             |
| AK | 上 下 | 50     | 69 G-5.2    |
|    | 左 右 | >86    |             |
|    | 前 後 | >86    |             |
| BT | 上 下 | 30     | 44 G-6.0    |
|    | 左 右 | >88    |             |
|    | 前 後 | >88    |             |



図 3.7 衝撃による接点のチャタリング状態  
Chattering of contacts by shock.

### 3.7 特殊環境下での問題点と対策

腐食性ガスの多い化学工場とか、海岸、低温、高温あるいは温度変化の激しいところ、水や油のかかるところなどでは、材料の腐食劣化または接触不良などに対して考慮を払う必要がある。

金属部品には、標準品でもめっきが施されているから、ある程度の耐食性があるが、さらに対塩素系・対硫黄系にわけて、特別な表面処理をすることになっている。しかしめっきだけでは不完全な場合があり、プラスチック製に変えたりする。ばねの折損は致命的になりやすく、耐食性その他の理由で最近ほとんどステンレスを使用している。

製品をゴムブーツなどで完全におおってしまうのも一つの方法で、普通、操作部以外は箱内には入っているから、箱の密閉構造をしっかりとすることも重要である。

接点については、亜硫酸ガス等のふん囲気では、銀が硫黄と結合しやすいため、硫化銀の表面皮膜による接触不良が生じるので、銀パラジウム合金や金めっきにする。

スイッチ類には、多くのプラスチックが使われていて、外観だけでは材質が何であるかわからないのであるが、耐薬品性・耐候性・耐熱性にそれぞれ違いがあるから、使用にあたって十分検討する必要がある。色があせる、シンナーに弱い、アーク近傍の可動部品に熱可塑性プラスチックが使われていて変形して動作不良を起こす、といった問題がある。化学工場用として納入したスイッチの部品で、1~2か月でぼろぼろになるほど侵されてしまい、けっきょく原因は硝酸ガスとわかったが、材料をアセタールからナイロンにかえてよかったという例もある。このように環境に応じて材質を自由に換えられる場合はよいが、金型とか、収縮率の違いなどで、不可能な場合もあり、それだけに、標準品の材質の選定はメカの側で重要な問題である。

温度に対しては、 $-40^{\circ}\text{C}$ ~ $100^{\circ}\text{C}$ の範囲でいろいろ試験をしている。ABSとかアクリルとかは $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ で変形するが、それ以外、OU形・AK形などに現在使用されている材料は、まったく異常はなかった。ただしグリースだけは、低温時固化して操作不能になるから、低温用のグリースにしなければならない。

## 4. む す び

M形制御スイッチは、形態の統一、標準化による部品の互換性、短納期化など、一応所期の目的を果たしたものと考える。M形には2章で述べたほかに、取っ手の抜取り式、取っ手1個で2台の制御スイッチを同時に操作する二連式、コイルが付勢されたときに動作する引きはずし継電器などがあるが、これらについては、いずれ稿をあらためて詳述したい。今後まだまだ複雑な条件の要求が出てくると推察するが、これらをいかにうまく現有シリーズの中に消化して標準化を推進していくかが、残された課題と考えている。

一般用操作スイッチについての、直流定格とか耐振動性能などは、各スイッチの基本的な設計条件には普通は含まれない二次的なもので、これまで機会もなくて公表されていなかった。3章は簡単にすぎるかも知れないが、これらのデータは多少なりとも参考になり、活用いただけるものと思う。このほかにも、実際には多くの問題があり、日々改善に努力しているが、さらにユーザ各位のいっそうのごべんたつを賜わり、より良いものにしていきたいと願っている。現在、貿易の自由化と関連して、ユーザ側から、メカ問での寸法や仕様の統一が要望されており、これは困難ではあるが解決しなければならないと考えている。最後に、長期間にわたって試験を遂行し、データ整理にご協力いただいた試験関係者に謝意を表する。

## 半 導 体 を 応 用 し た 制 御 器 具

宮 幸 助\*・宮 崎 治\*・田 原 武\*・三田村隆輝

## Control Apparatus Using Semiconductor Elements

Nagoya Works Kôusuke MIYA・Osamu MIYAZAKI・Takeshi TAHARA・Takateru MITAMURA

The latest development of semiconductor has opened the way to their extensive application to control apparatus. The trend has induced the sale of the products of the kind in quantities by a number of manufacturers with an enlarged sphere of the users. Their quality has been markedly improved by stabilized performance while their prices are becoming less costly.

From the users' side, the advantages of contactless magnetic control apparatus through the semiconductor elements are now commonplace and much higher performance is called for with them.

The article describes, among semiconductor applications produced by Mitsubishi, type FS float less switches, type SS timers and type TCL contactless switches about their outlines, problems in application and examples in use.

## 1. ま え が き

近年の半導体素子の発達は、半導体を応用した制御器具の大幅な発展をうながし、それに従って、こう言った製品が各メーカーより多数発売されるようになり、またその需要先も広範囲にわたるようになってきた。したがってこれらの製品も安定した性能で、しかも安価なものが出現するようになり、これによってさらにその市場が拡大されていくようになってきている。

一方、これに対し電磁制御器具のほうも、その性能が高まり、こう言った理由から、ユーザ側では従来の単に無接点化すればよいと言ったような安易さがなくなり、経済性・使用個所によってこれらの器具の選択が慎重に行なわれるようになってきており、こういった面からも、最近では、半導体を応用した制御器具の利点を十分生かして使用されるようになってきていると言うことができる。

本文は、これらの要望に答えられる製品として現在当社で製作している半導体応用器具のうち、とくに電磁制御器具と関係の深いFS形フロートレススイッチ、SS形タイマ、TCL形無接点スイッチについてそのあらましを述べたものである。

## 2. 半導体を応用した制御器具の最近の傾向と適用上の問題

半導体を応用した制御器具は、従来の電磁制御器具に比べて、その種類は、これからできる可能性のあるものまで含めて考えると非常に広範囲にわたり、一般的にこれらの器具の最近の傾向を述べることはむづかしい。また適用上の問題点についても、それぞれの機種によって大幅に異なり、いっしょに考えることは無意味である。

しかし一般的に、特殊なものを除いて、従来の電磁制御器具と結びついて使用される半導体応用制御器具について限定して考えてみると、最近の傾向としては、

- (1) 電磁リレー、コンタクタ等の出力と容易に組合わせて使用できるようになっている。
- (2) 従来の電磁制御器具と容易におき換えが、可能なように結線方法等がくふうされている。
- (3) 保守の面より考えてプラグインタイプでモールドケースを使用したものが多い。
- (4) 性能的には電磁式にくらべて、高ひん度使用可能・長寿命・高性能・設定容易、使用電力・検出入力減少などの特長をもた

せている。

- (5) シリコントランジスタの採用。

- (6) 小型・安価化

と言った点に重点がおかれている。

また適用上の問題点については前述のように機種ごとに異なるのは当然であるが、半導体応用制御器具については一般的に、

- (1) 仕様をオーバして使用することは絶対さけること。(一般には、これによってすぐ破壊するとは限らないが)。

- (2) 最も効果的な使用方法を取り入れるために、その製品の使用方法・特性をよく知ること。

- (3) 半導体を応用した制御器具は、一般的にまとまった規格がなく、従来の電磁制御器具の規格をそのまま流用することはむづかしいので、あまりこういったものにしばられないこと。

のとおりで個々については以下の各項目で述べよう。

## 3. 三菱FS形フロートレススイッチ

フロートレススイッチとは図3.1のように液体(主として水)の中に電極棒を入れ、電極棒に接触する液位によって、ポンプを自動的に運転させたり停止させて給水そうまたは排水そうの液面を制御するスイッチのことである。したがってその用途としては、ポンプと組合わせたあらゆる用途に従来のフロートスイッチに代わって使用することができ、非常に広範囲に使用されている。そのおもな使用例を示すと、

- (a) ビル・学校・アパート・病院などの建築物にとりつけた貯水そうへの自動給水。
- (b) 浄水場・汚水処理場・井戸・上下水道・農業用水・工業用冷却水などの自動給排水。
- (c) 下水だめや自然ゆう(湧)水の排水。
- (d) 液体原料の定量供給、液面の水位表示と警報。

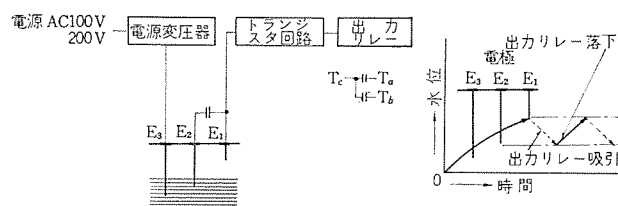


図 3.1 フロートレススイッチ 原理  
Diagram showing the principle of floatless switch.

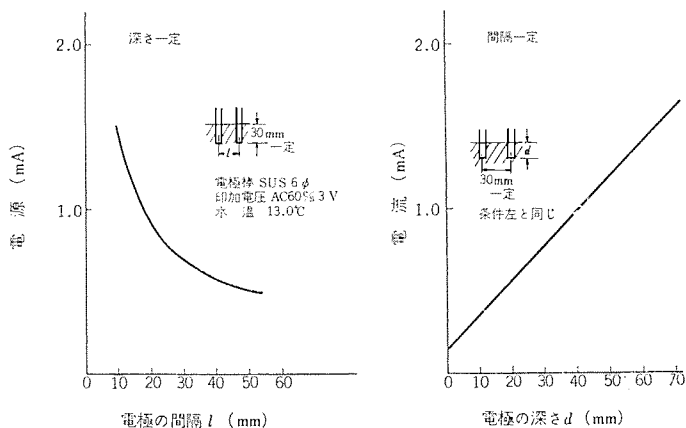


図 3.2 電極棒と印加電圧電流の関係  
Relation of voltage and current with electrodes.

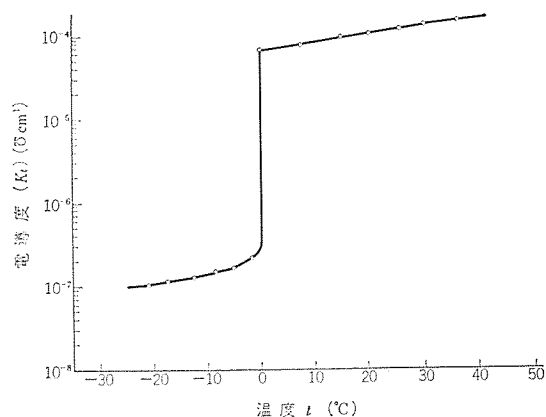


図 3.3 水抵抗の温度変化  
Temperature characteristics of water conductivity.

などがあげられる。

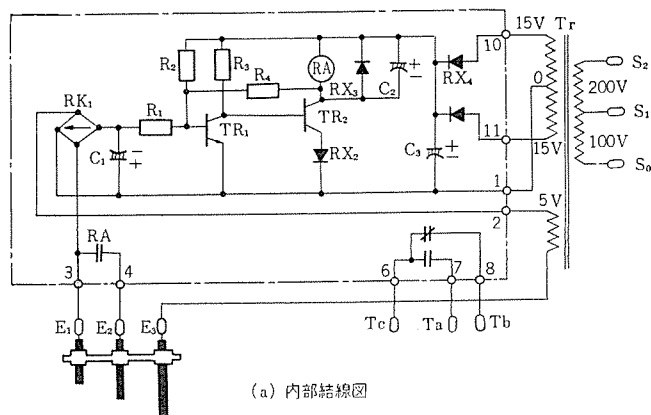
### 3.1 原理

フロートスイッチは前述のように各種の用途に使用されるため、それに応じていろいろな機種が必要となるが、本装置では、これらの各種の用途にいくつかの基本ユニットを作り、この組合わせによって各機種ができるようにしており、以下にその最も基本となる、FS-GB 型についてその動作原理を示そう。図 3.1 はそのブロック図を示したものである。これからわかるように本装置の基本原理は、電極間を通じて流れる電流の有無を検出することによって動作する微小電流検出装置であるということができる。

ところで、水道水の場合について、電極棒に流れる電流と電圧の関係を調べると図 3.2 のようになっている。これより一般的に水道水の場合の水抵抗は、 $l=30$ 、 $d=10$  mm で約  $10\text{ k}\Omega$  ぐらいと考えてよい。もちろん汚水の場合、井戸水等ではこの値と異なるが、一般的には  $d$  があまり大きく、または小さくならない範囲で考えると十数  $\text{k}\Omega$  ～数  $\text{k}\Omega$  ぐらいと考えられる。一方、温度による水抵抗の変化は図 3.3 のように一般的な使用状態ではその変化は少ない。(ただし水になった場合は、その冷却速度により抵抗値が急変する)。したがってその検出回路としては、特別な温度補償は不要で簡単な回路を採用している。図 3.4 は FS-GB 型の回路を示したもので、き線内が前述の基本ユニットを示しており、図 3.1 と対称すればわかるように、電極間の水位を検出するための検出回路とシュミット回路・出力リレー・電源回路から構成されている。

検出回路では、電極棒の腐食等をさけるため図 3.4 (a) のように整流器の交流側に電極棒を接続し、またその電圧も人体に対する危険防止などから AC 5 V の電圧を使用している。なお図 3.4 のように FS 形フロートスイッチでは、検出電極棒は標準的には 3 本使用する方式をとっており、その用途は  $E_3$  電極は共通電極、 $E_2$  電極は下限制御水位を決めるための電極、 $E_1$  は上限制御水位を決めるための電極である。

次にその動作を説明すると、まずたとえば、いま、水位が  $E_2$  以下にあり、自動給水運転を行なう場合を考えてみると、電極  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  間には電流が流れないため、 $TR_1$  は  $R_2$  を通じて導通し、 $RA$  が OFF となって、これにより  $RA$  の b 接点で給水ポンプが運転を行ない、給水が始まるようになる。それにより水位が上昇し、 $E_2$  電極まで水位が上がる。しかしこの場合  $RA$  は OFF のため検出電流は流れず、さらに水位が上昇し、 $E_1$  にまで達するとこれによって  $E_1$ — $E_3$  間に電流が流れ、 $TR_1$  を不導通にして  $RA$  が吸引され、ポンプを



(a) 内部結線図

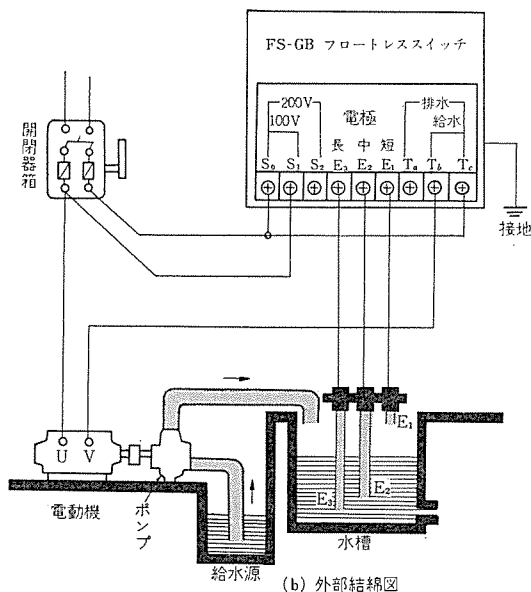


図 3.4 FS-GB 形回路図  
Circuit of FS-GB.

停止させると同時に  $E_2$  電極の  $RA$  の a 接点が閉じ、これによって水位が  $E_2$  以下がるまで、次のポンプの運転を行なわないようにする。このようにして水位は自動的に上限は  $E_1$  下限は  $E_2$  に制御されることになる。この場合、 $RA$  の出力接点として a 接点をポンプの運転に使用すると、上記の動作と逆になり自動排水運転を行なうことが可能となる。また  $E_1$ 、 $E_2$  間に並列に適当な値の抵抗を入れると、スイッチ本体と電極間の配線は 2 本ですむようになり、FS 形フロートスイッチでは、こういった用途にも使用できるように回路定数が選択してある。

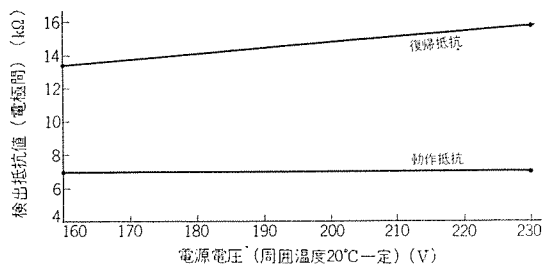


図 3.5 電源電圧特性  
Voltage regulation characteristics.

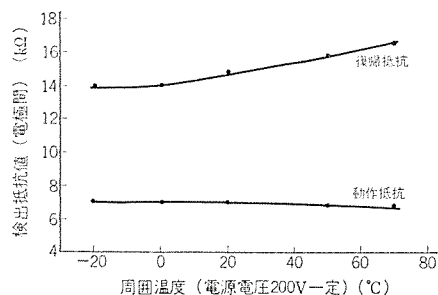


図 3.6 温度特性  
Temperature characteristics.

表 3.1 FS 形 フロートレススイッチ 共通仕様  
Common specification of type FS floatless switch.

|            |                                                                       |                                          |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 回路電圧       | AC 100 V (端子 $S_0$ - $S_1$ 間使用) と AC 200 V (端子 $S_0$ - $S_2$ 間使用) 共用式 |                                          |
| 接点容量       | AC 125 V 定格電流 3 A 閉路しゃ断電流量 30 A (力率 0.4)                              | AC 250 V 定格電流 2 A 閉路しゃ断電流量 20 A (力率 0.4) |
| 適用周囲温度     | 55°C 以下                                                               |                                          |
| 許容電圧変動     | +20% ~ -15%                                                           |                                          |
| 感 度        | 動作抵抗 7 kΩ                                                             | 復帰抵抗 15 kΩ                               |
| 2本配線時の追加抵抗 | 10 kΩ ± 10%                                                           | 1/4 W 以上                                 |

なお、電極  $E_1$  と  $E_2$  の間に並列にはいる RA の a 接点は低電圧・低電流を開閉するため、とくに双子接点を使用し接触不良の起こるのを防ぐようにしている。

### 3.2 特性、共通仕様

図 3.5 は、この基本形である FS-GB 形 フロートレススイッチの電源電圧特性、図 3.6 はその温度特性を示したものである。前述の水の特性より考えて十分満足すべき特性をもっていることがわかれると思う。また FS 形 フロートレススイッチの共通仕様は表 3.1 に示したとおりである。

### 3.3 構造、機種

前述のように本装置は量産にむくように、その用途に応じて、いくつかの基本ユニットを組合わせて構成するようにしているが、図 3.7 はその基本ユニットの回路を示したもので、おのの FS- $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  と呼称しており、いずれも図 3.8 のように サブマグナルソケットまたはオクタソケットに取付けられ、プラスチック製のケースをかぶせたプラグインタイプで構成され、スイッチ全体としては、これに電源部と外部接続端子を組合わせて構成するようにしている。図 3.9 はこれらのユニットによって構成された回路の例を示したもので、異常漏水警報付給水用に使用しているものである。

表 3.2 は、このようにして構成された FS 形 フロートレススイッチの標準機種を示したもので、いずれも標準品として販売されている。

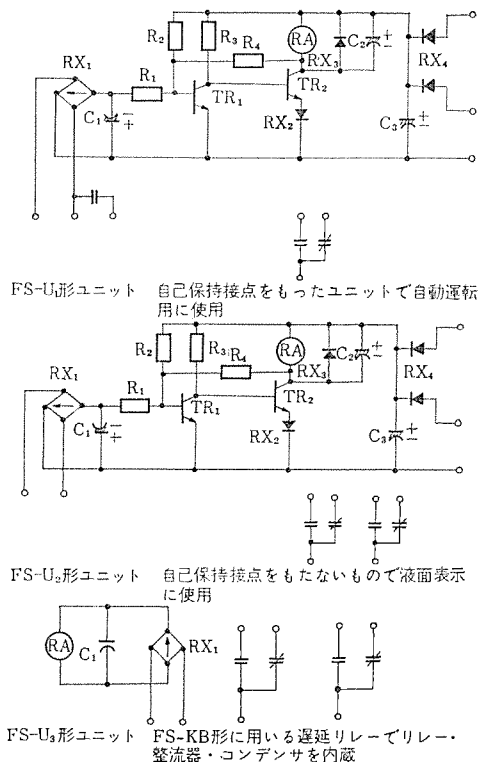


図 3.7 基本ユニット回路  
Circuit of elementary unit.

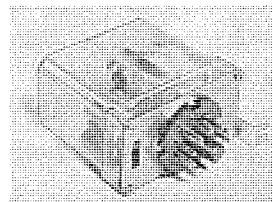


図 3.8 基本ユニット外観  
Appearance of elementary unit.

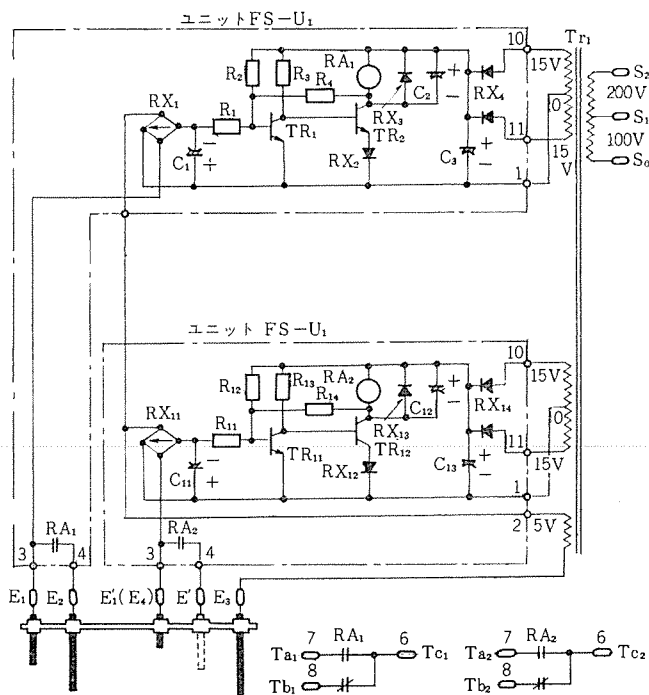


図 3.9 ユニット組合せ例  
Example of unit combination.

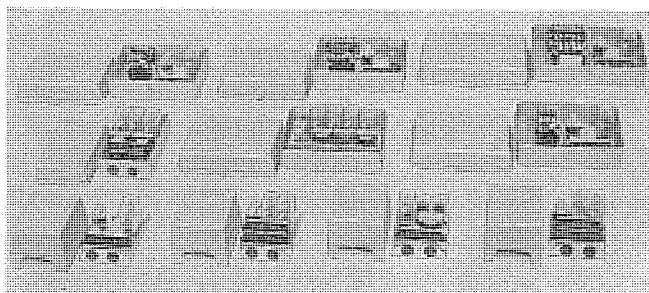


図 3.10 FS 形フロートレススイッチ 標準機種種  
Standard series of type FS floatless switch.

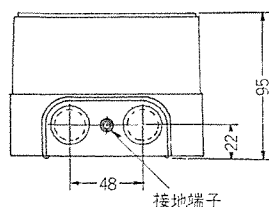
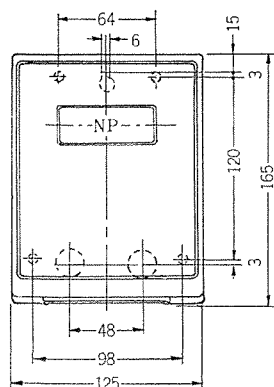


図 3.11 FS-GB 形外形寸法  
Outline dimensions of FS-GB.

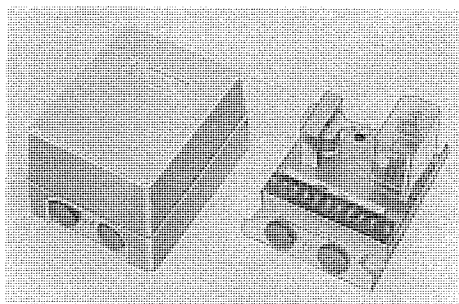


図 3.12 FS-GB 形外観  
Appearance of FS-GB.

図 3.10 はその外観を示したもので、FS-GB, AB, 1B, KB は図 3.11 のように同一外形寸法・形状をしており、いずれも前記のユニットとこれを取付けるシャーシ、電源トランス、端子から構成され、全体をポリプロピレン製のカバーでおおうようにしている。

一方 FS-2B, 3B 形の場合は、鉄製のケースにおさめられているが、内部の構成は GB 形と同じ方法をとっている。

また、これらに付属品として使用する電極棒・保持器なども、その用途に応じて各種製作しているが、その一覧表が表 3.3 に示してある。なお電極棒の使用にさいしては、用途により、選択を要すると誤動作の原因となるので注意が必要である。一般的には水道水などでは SP-3 形でよいが、電極棒は 1m 単位で製作されている

表 3.2 FS フロートレススイッチ 形機種一覧表  
Standard series of type FS floatless switches.

| 形 名       | 仕 様                  | 用 途                                                                                |
|-----------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| FS-GB     | 標 準                  | 給水の自動運転<br>排水の自動運転                                                                 |
| FS-AB     | 警 報 付                | 異常濁水（増水）警報付給水の自動運転<br>異常増水（濁水）警報付排水の自動運転<br>空転防止を兼ねた給水の自動運転<br>FS-GB 2 台分として使用する場合 |
| FS-GCB-4  | 電 磁 開 閉 器 内 蔵        | 給水、排水の自動<br>運転適用電動機<br>kW                                                          |
| FS-GCB-7  |                      | 1 φ 100 V 0.1<br>3 φ 200 V 0.1                                                     |
| FS-GCB-15 |                      | 0.2 0.2                                                                            |
| FS-GCB-35 |                      | 0.3 0.3                                                                            |
|           |                      | 0.4 0.4                                                                            |
|           |                      | 0.75 0.75                                                                          |
|           |                      | 1 1                                                                                |
|           |                      | 1.5 1.5                                                                            |
|           |                      | 2.2 2.2                                                                            |
|           |                      | 3.7 3.7                                                                            |
|           |                      | 5.5, 7.5 5.5, 7.5                                                                  |
| FS-2B     | 警 報 付                | 増濁水警報付給排水用                                                                         |
| FS-3B     | 警 報 付                | 増濁水警報付空転防止付給排水用                                                                    |
| FS-1B     | 警 報 付                | 液面表示警報用                                                                            |
| FS-KB     | リレーを組合わせた<br>2 進計数回路 | 2 台のポンプ交互運転用                                                                       |
| FS-GBH    | FS-GB と 同 仕 様        | 高感度用（10 倍の感度）                                                                      |

表 3.3 付属品一覧表  
Standard series of accessories.

| 器 具         | 形 名    | 用 途                                            |
|-------------|--------|------------------------------------------------|
| 電 極 保 持 器   | SP-3   | 一般給排水用（3 本電極用）                                 |
|             | SP-3 R | 一般二本配線用（3 本電極用）                                |
|             | SP-1   | 汚水用<br>フランジ取り付け形電極保持器（1 本電極）                   |
|             | SP-2   | 深井戸用（外内電極）                                     |
|             | SP-4   | 警報付給排水用（4 本電極）                                 |
|             | SP-5   | 警報付給排水用（5 本電極）                                 |
|             | SP-1 S | 高温高圧用（150°C 15 kg/cm <sup>2</sup> ）<br>（1 本電極） |
| 電 極 棒       |        | SUS 27 ステンレス製 1 m 単位                           |
| セ バ レ ー タ   |        | 同 上 用付属品                                       |
| ロ ッ ク ナ ッ ト |        | 同 上 用付属品                                       |
| 接 続 金 具     |        | 同 上 用付属品                                       |

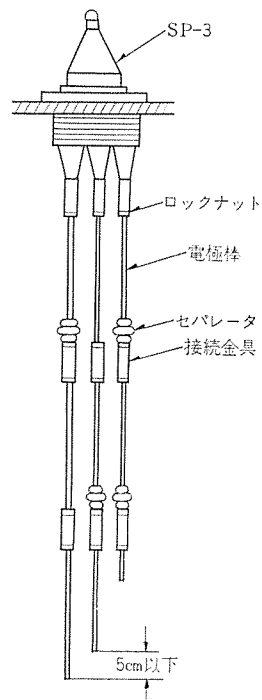


図 3.13 SP-3 接続方法  
Connection method of SP-3.

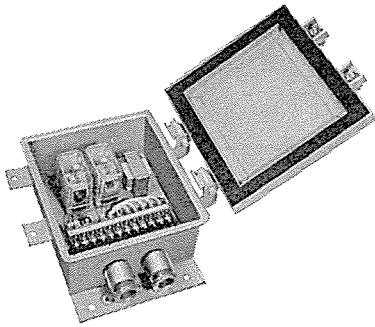


図 3.14 箱に組込まれた応用例  
Example of application.

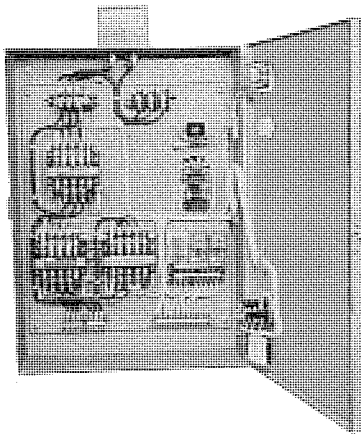


図 3.15 FS 形フロートスイッチ 応用例  
Example of application.

ため、それ以上必要な場合は、図 3.13 のようにセパレータと接続金具を使用して取付けることが必要である。

#### 3.4 適用上の問題点

FS 形フロートスイッチは、その取扱いがとくに簡単にできるようになっており、適用にあたっては、仕様で定められた範囲内で使用すれば大きな問題点はないが、以下にそのいくつかをあげると、

##### (1) 耐サージの問題

FS 形フロートスイッチは電源端子および電極間端子 ( $E_1-E_3$ ) は、3,000 V 全波電圧に耐えられるように設計されているが (JEC 106, 107, 110)、とくに雷などが懸念される場合は三菱 BV 型 アレスタを使用されたい。

##### (2) 二本配線で使用する場合

一般の上水には問題ないが、汚水の場合、長距離の場合には、標準品を使用した場合誤動作のおそれがあるので、メーカー側に仕様を十分連絡し問題ないことを確認することが必要である。

##### (3) 制御不可能な液体

FS 形フロートスイッチは、その動作原理からわかるとおり、使用できる液体は導電性でなければならないので、一般に油類は不可、また引火性の液体についても危険のため使用不可能である。

#### 3.5 特長

以上 FS 形フロートスイッチの概要を述べてきたが、そのまとめとして、その特長をあげると、

- (1) 動作が安定で確実。(シリコントランジスタを使用、シュミット回路によりチャタリング動作がない。)
- (2) 信頼度が高く長寿命。
- (3) 二本配線でも使用可能。

(4) プラグイン方式、取扱いが簡単。

(5) 電極間の印加電圧が低く、電解作用、感電の危険がない。

#### 3.6 用途例

フロートレススイッチの使用先については、最初に述べたように広範囲にわたっているが、前項に述べたとおり、ほとんどが標準機種で間に合い、しかも検出側は無接点でも出力側はリレー接点のため、単体として使用できるばかりでなく、制御盤等で電磁接触器と組合わせて容易に使用可能である。図 3.14 は防水箱に組込まれた例を、図 3.15 は水中モータ用スタータに組込まれた例を示したものである。

### 4. SS 形タイマ

シーケンス回路に使用する制御要素の中で重要なものの一つとしてタイマがあるが、最近の各種制御の自動化により、これらのタイマに要求される性能は次第にきびしくなっている。また同時にタイマの用途の拡大により、非常に安価なものの要求も強くなってきている。これに対してとくに自動化の要求に答えるべく登場したのが無接点式タイマで、主として今までは、トランジスタ CR 形時限回路と出力リレーを一体に組合わせたものが製作されてきた。しかし、この形態のものでは、その大きさより、内部に組入れられている出力リレーは小形のものがほとんどのため、トランジスタ部は高ひん度・高信頼であっても、全体としては、これらの要求に答えられるものではなかった。こういったことより完全無接点式のトランジスタタイマの要求が強くなり、それに答えるべく開発製品化したのが、SS 形タイマであり、以下にその概要を紹介しよう。

#### 4.1 原理

図 4.1 は SS 形タイマの外観を、図 4.2 はその回路を示したもので、本タイマ内部には図の一点き線の部分のみがはいっており、完全無接点式となっている。

その回路原理は、トランジスタ CR 時限回路で、(ON 時限)  $VR_1$ ,  $C_2$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  により構成されるブリッジ回路の検出側電圧を、トランジスタ  $TR_1$

図 4.1 SS 形タイマ外観  
Appearance of type SS timer.

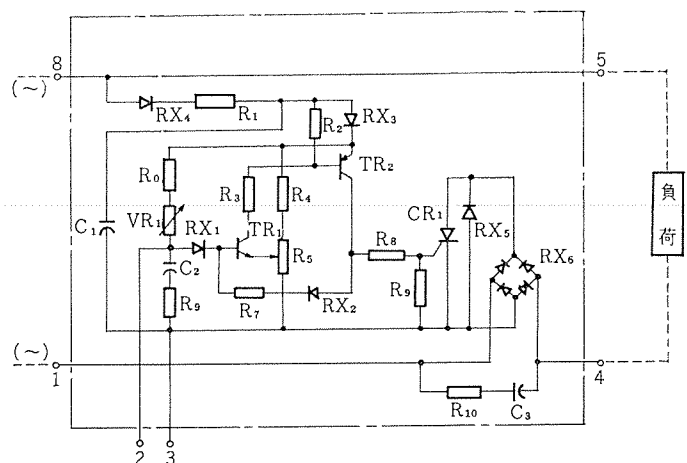
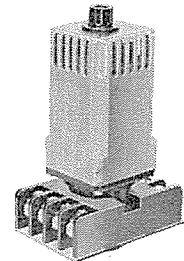


図 4.2 SS 形タイマ回路 (交流用)  
Circuit of SS timer.

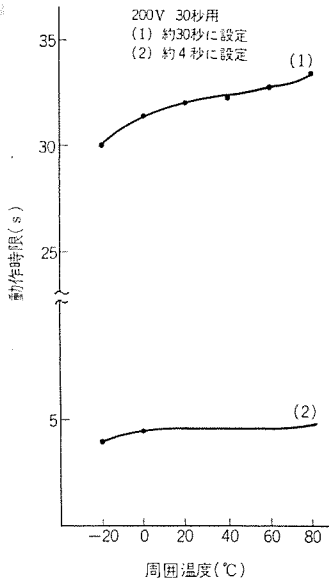


図 4.3 温度特性  
Temperature characteristics.

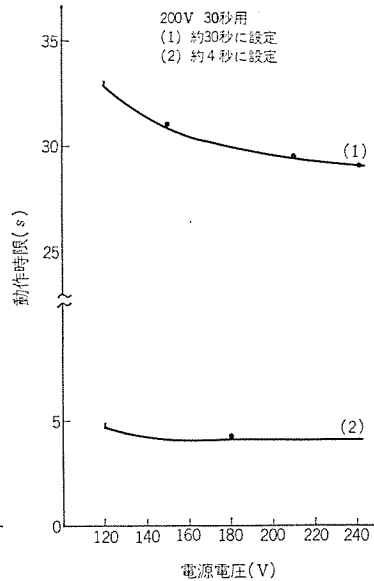


図 4.4 電源電圧特性  
Voltage regulation characteristics.

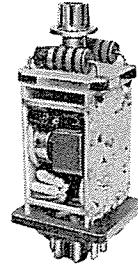


図 4.5 SS形タイマ内部  
Interior construction of SS timer.

表 4.1 SS形タイマ共通仕様  
Common specification of type SS timers.

| 項 目      | 仕 様                       |
|----------|---------------------------|
| 限 時 方 式  | ON DELAY                  |
| 使用温度範囲   | -10°C~50°C                |
| 精 度      | 電圧誤差 ±5%以下(使用電圧範囲内)       |
|          | 繰返し誤差 ±1%以下(同一休止時間で初回を除く) |
|          | 温度誤差 ±5%以下(使用温度範囲内)       |
| 定格繰返し過電流 | 定格出力電流の10倍(商用周波 1サイクル実効値) |
| 定格瞬時過電流  | 10 A (商用周波 1サイクル波高値非繰返し)  |
| 重 量      | 80 g                      |

表 4.2 SS形タイマ機種一覧

Standard series of type SS timers.

| 形 名      | 時 限 範 囲<br>s | 仕 用 電 圧<br>V                     | 定 格 出 力<br>A | 標準休止時間<br>s | 消費電力<br>W | 駆動可能な当社製リレーの一例                        |
|----------|--------------|----------------------------------|--------------|-------------|-----------|---------------------------------------|
| SS-P-A 1 | 0.2~1.2      | DC 24 (20~26 V)                  | 0.25         | 0.15        | 0.3       | RP-20 P, RP-30 P                      |
| SS-P-A 2 |              | DC 48 (41~53 V)                  | 0.25         |             | 0.5       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5               |
| SS-P-A 3 |              | DC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.0       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5, MD-35 C      |
| SS-P-A 5 |              | AC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.3       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5, MR-10, M-15 B |
| SS-P-A 6 |              | AC 200 (170~225 V)               | 0.20         |             | 2.4       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5                |
| SS-P-A 7 |              | AC 220 ( )                       | 0.20         |             | 2.4       |                                       |
| SS-P-B 1 | 0.5~3        | DC 24 (20~26 V)                  | 0.25         | 0.3         | 0.3       | RP-20 P, RP-30 P                      |
| SS-P-B 2 |              | DC 48 (41~53 V)                  | 0.25         |             | 0.5       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5               |
| SS-P-B 3 |              | DC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.0       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5, MD-35 C      |
| SS-P-B 5 |              | AC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.3       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5, MR-10, M-15 B |
| SS-P-B 6 |              | AC 200 (170~225 V)               | 0.20         |             | 2.4       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5                |
| SS-P-B 7 |              | AC 220 ( )                       | 0.20         |             | 2.4       |                                       |
| SS-P-C 1 | 2~12         | DC 24 (20~26 V)                  | 0.25         | 1.2         | 0.3       | RP-20 P, RP-30 P                      |
| SS-P-C 2 |              | DC 48 (41~53 V)                  | 0.25         |             | 0.5       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5               |
| SS-P-C 3 |              | DC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.0       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5, MD-35 C      |
| SS-P-C 5 |              | AC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.3       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5, MR-10, M-15 B |
| SS-P-C 6 |              | AC 200 (170~225 V)               | 0.20         |             | 2.4       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5                |
| SS-P-C 7 |              | AC 220 ( )                       | 0.20         |             | 2.4       |                                       |
| SS-P-D 1 | 5~30         | DC 24 (20~26 V)                  | 0.25         | 3.0         | 0.3       | RP-20 P, RP-30 P                      |
| SS-P-D 2 |              | DC 48 (41~53 V)                  | 0.25         |             | 0.5       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5               |
| SS-P-D 3 |              | DC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.0       | RP-20 P, RP-30 P, MRD-5, MD-35 C      |
| SS-P-D 5 |              | AC <sup>100/110</sup> (85~120 V) | 0.25         |             | 1.3       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5, MR-10, M-15 B |
| SS-P-D 6 |              | AC 200 (170~225 V)               | 0.20         |             | 2.4       | RP-20 P, RP-30 P, MR-5                |
| SS-P-D 7 |              | AC 220 ( )                       | 0.20         |             | 2.4       |                                       |

で検出するようにしたもので、その出力により、CR<sub>1</sub>, RX<sub>0</sub>で構成される交流スイッチを開閉し出力を駆動させるようにしている。ここでR<sub>7</sub>は正帰還用抵抗、RX<sub>0</sub>はCR保護用のアバランシェダイオード、VR<sub>1</sub>は時限設定用の可変抵抗器である。

この回路構成からわかるとおり、その回路は非常に簡素化しているが、電源変動に対してはブリッジ回路により、また温度変化に対しては、TR<sub>1</sub>をシリコントランジスタにすることにより良好な特性をうるようにしている。一方電源回路には、トランスレス方式を採用し、全体を大幅に小形軽量化するようにしている。

#### 4.2 特性、共通仕様

図 4.3 は SS 形 タイマ の 温度 特性、 図 4.4 は 電圧 特性 を 示 した も の で あ る。な お、時 限 用 の コ ン デ ン サ に は 標 準 的 に は、ア ル ミ 電 解 コ

ンデンスを使用しているが、特殊品としてタンタルコンデンサを使用したものも製作しており、この場合にはさらに温度特性がよくなるとともに長時限のものも作ることが可能である。

表 4.1 は その 共 通 仕 様 を 示 した も の で あ る。

#### 4.3 構造、機種

SS 形 タイマ は、その 回 路 の み ば か り で な く、その 構 造 に お い て も、コ ン パ ク ト 化 の た め、特 殊 な 構 造 が と り 入 れ ら れ て い る。図 4.5 は その 内 部 を 示 す も の で、2 枚 の プ リ ン ト 板 を 立 体 的 に 組 合 わ せ て 小 形 化 を は か っ て い る。ま た その 全 体 の 構 造 は プ ラ ギ ン タイ プ で、オ フ タ ル ベ ー ス を 使 用 し、ポ リ カ ー ボ ー ネ ー ト 製の カ バ ー を か ぶ せ て い る。こ こ で その ケ ー ス の 上 部 の 切 り 込 み は、放 熱 用 の も の で、こ の 部 分 か ら 内 部 に ご み 等 が 入 ら ない よ う に、シャ ー プ な 角 は い れ ら れ て い る。一 方、そ

の外形寸法は図 4. 6 に示すように当社製 RP 形プラグインリレーと同一取付面積をしており、並べて使用する場合、非常に好都合なようにしている。

表 4. 2 は、この SS 形タイマの標準機種の一覧表を示したもので、電圧定格として 6 種、時限定格として 4 種、計 24 種より構成されている。

#### 4. 4 適用上の問題点

SS 形タイマを使用した場合の適用上の問題点を以下にいくつか述べよう。

(1) SS 形タイマと共通に並列誘導負荷がはいる場合のサージ保護

SS 形タイマには、それと並列に小さな誘導負荷や、また SS タイマによって駆動される負荷の開閉にさいしては、十分保護できるようになっているが、150 VA 以上の  $L$  が図 4. 7 のように並列にはいる場合は、そのサージを十分吸収できないため、外部に  $L$  負荷と並列

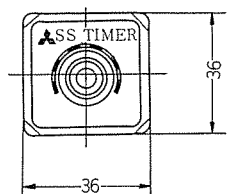


図 4. 6 外形寸法図  
Outline dimensions of SS timer.

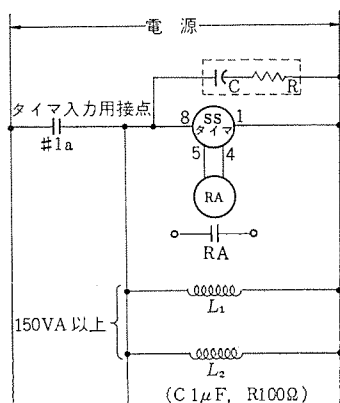


図 4. 7  $L$  負荷に対するサージ保護  
Surge protection for inductive load.

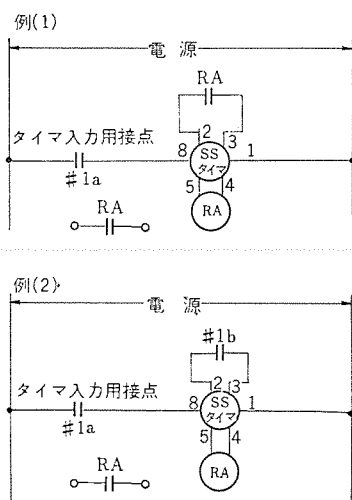


図 4. 8 外部リセット回路  
External reset circuit.

に  $R$ ,  $C$  を入れて使用することが必要である。

#### (2) 瞬時リセット方式

SS 形タイマは、その原理よりわかるとおり、時限用のコンデンサ  $C_0$  の放電が  $R_0$  を通じて行なわれるため、若干のリセット時間が必要で、瞬時リセット方式とするときには、図 4. 8 のような外部リセット方式をとる必要がある。図 4. 9 はこのリセット時間と時限との関係を示したもので、これよりこの外部リセット回路は、繰返し誤差 (時限の) をできるだけ少なくしたい場合にも応用すると有効であろう。

#### (3) 出力電流

SS 形タイマは、その出力素子として当社製 CR-05 A 型サイリスタを使用しており、これより図 4. 10 のように周囲温度により、その出力を低減して使用することが必要である。ただしこの低減は、 $40^{\circ}\text{C}$  以下では不要なので通常の用途では問題ないものと思う。

なお、定格電流以上 (突入電流も含め) で使用することは、破壊のおそれがあるので十分気をつけてほしい。

#### (4) ひん度

トランジスタタイマの一大特長であるひん度については、本装置の場合、リセット時間との関係が問題なければとくに考慮は不要である。

#### 4. 5 特長

以上述べてきた SS 形タイマの特長を最後にまとめて示すと次のようになる。

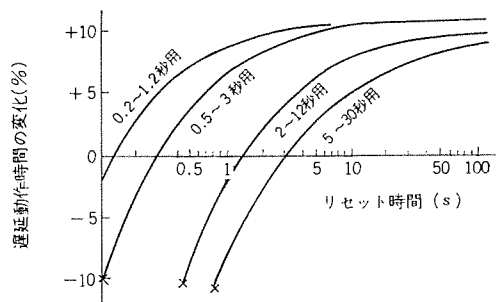


図 4. 9 リセット時間特性  
Reset interval-delay time characteristics.

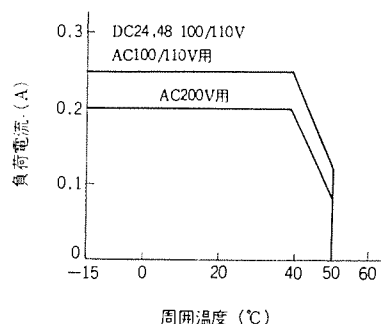


図 4. 10 出力電流特性  
Output current characteristics.

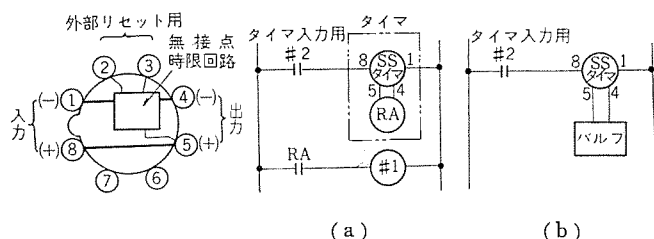


図 4. 11 SS タイマ回路  
Example of SS timer circuit.

| タイマ入力信号が数個の接点の場所 | タイマ入力信号により別のリレーも動作させる場合 | タイマ出力接点に直列に他の信号接点がある場合 | タイマ出力接点と並列に他の信号接点がある場合 |
|------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|                  |                         |                        |                        |
|                  |                         |                        |                        |

図 4.12 回路対応例

Example of SS timer circuit.

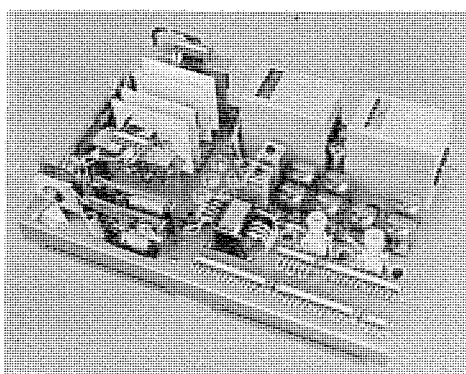


図 4.13 SS 形タイマ応用例  
Example of application.

- (1) 完全無接点型であり、長寿命、高信頼。
- (2) プラダインタイプ、小形で取扱いが簡単。
- (3) 広い応用範囲、駆動出力が客先で自由に選べる。
- (4) 時限設定が容易で高精度。
- (5) 高ひん度使用が可能。
- (6) 安価である。

#### 4.6 用途例

SS 形タイマは、現在、他のタイマが使用されている個所に、そのまま使用できることはもちろんであるが、その他に、SS 形タイマの特長を利用して、いろいろな新しい応用もなされている。これは SS 形タイマの出力が無接点で、しかも、使用電源に DC 以外の商用交流電源がそのまま使用でき、さらに、従来のタイマと類似した接続方法で使用できるとともに、客先で自由にその出力を利用してシーケンスを組むことが可能なためである。

図 4.11 はその例を示すもので、図 4.11(a) はシーケンス内で使用されている例、図 4.11(b) は SS 形タイマで直接バルブを駆動している例で、これはバルブのみでなく、直接電磁接触器の駆動も可能なことは言うまでもない。

その他にタイマの入力接点の信号により、SS 形タイマを使用した場合の対応を図 4.12 に示した。

なお、おもな用途先としては、工作機のシーケンスコントロール用、コンベア制御用、プラスチック成型機、食品機械、印刷機械、化学工場、交通信号機等あらゆる分野に使用されており、今後ますます拡大さ

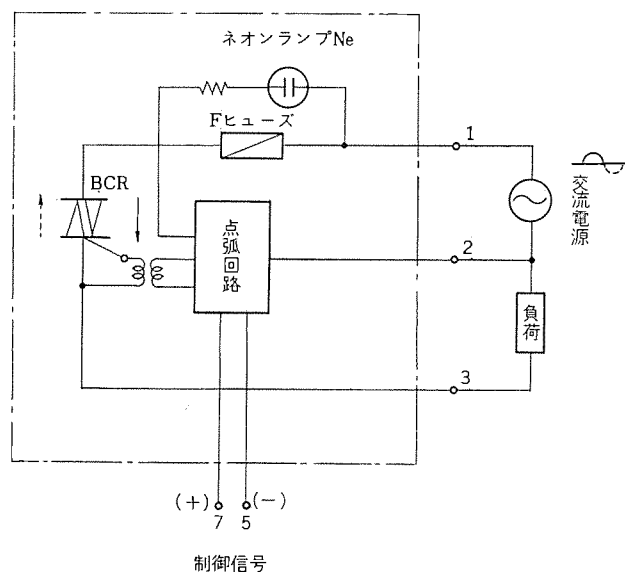


図 5.1 TCL 形無接点スイッチ原理  
Diagram showing principle of type TCL contactless switch.

れていくものと思う。図 4.13 は、その応用された制御盤の例を示したものである。

### 5. TCL 形無接点スイッチ

最近の各種機械の自動化は高ひん度動作と結びつき、これにともなって、駆動装置の無接点化が必要となってきている。一般的には、これらの駆動対象としては電動機と電磁弁、クラッチ類と考えられるが、電動機の場合は、これを高ひん度駆動することはまれで、また三相の場合が多いため、一般には高価なものになり、あまり使用されていない。これに対し、電磁弁のような場合には、ますます高ひん度化してきており、このような用途に使用できるものとして製品化されたのが、TCL 形無接点スイッチである。

#### 5.1 原理

TCL 形無接点スイッチはトライアックを使用したもので、その回路原理は図 5.1 のとおりである。図よりわかるように、トライアックへの入力には絶縁トランスを経て供給されるようになっており、制御信号を自由に与えることができるようになっている。

表 5.1 TCL 形無接点スイッチ仕様  
Specification of type TCL contactless switch.

|         |                                             |
|---------|---------------------------------------------|
| 電源定格    | 単相 100 V/110 V または 200 V/220 V 50/60 c/s    |
| 連続定格    | 1 A (周囲温度 50°C)                             |
| 投入時の電流  | 10 A 以下 (1 サイクル以下)                          |
| 制御信号    | DC 6 V 3 mA                                 |
| 最高開閉ひん度 | 600 回/時 (投入電流 10 A)<br>1,800 回/時 (投入電流 5 A) |
| 電圧変動    | ±10 % 以内                                    |
| 周囲温度    | -10 ~ +50 °C                                |

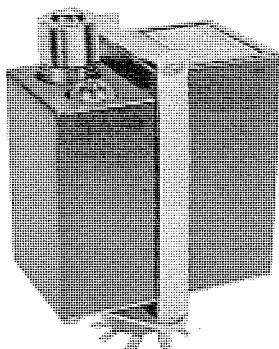


図 5.2 TCL 形無接点スイッチ外觀  
Appearance of TCL contactless switch.

| 負荷容費<br>VA | 100 V 回路          |                    | 200 V 回路          |                    |
|------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|            | R                 | C                  | R                 | C                  |
| 200        | 100 Ω<br>(2 W 以上) | 2 μF<br>(AC 150 V) | 200 Ω<br>(4 W 以上) | 2 μF<br>(AC 250 V) |
| 100        | 100 Ω<br>(2 W 以上) | 2 μF<br>(AC 150 V) | 200 Ω<br>(4 W 以上) | 1 μF<br>(AC 250 V) |
| 50         | 100 Ω<br>(2 W 以上) | 1 μF<br>(AC 150 V) | 200 Ω<br>(2 W 以上) | 1 μF<br>(AC 250 V) |

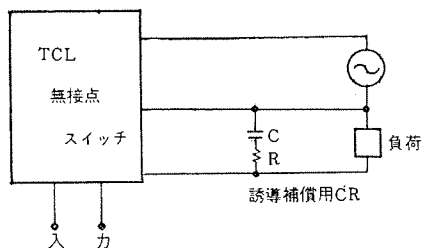


図 5.3 誘導補償  
Compensation for inductive load.

また、主回路と直列にフューズがつけられているが、これは、負荷短絡保護用で、もしフューズが溶断した場合はネオンランプが点灯するようになっている。

## 5.2 仕様、外觀

表 5.1 は本無接点スイッチの仕様を示したもので、図 5.2 はその外觀を示したものである。本体はプラスチック製のケースでおおわれ、またプラグインタイプで作られており、取扱いが便利になされている。

## 5.3 適用上の問題点

適用上の問題点としては、

### (1) 誘導負荷を駆動する場合

TCL 形無接点スイッチは、その点弧回路に UJT を使用している

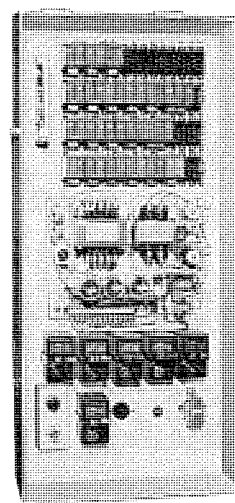


図 5.4 TCL 形無接点スイッチ応用例  
Example of application.

ため、図 5.3 のように誘導補償回路をうけて使用することが必要である。なお、この際のコンデンサとしては MP コンデンサ、ポリエステルフィルムコンデンサ、抵抗としてはカーボン抵抗等無誘導性のものを使用するのが好ましい。

### (2) 抵抗負荷の場合

抵抗負荷で使用する場合には、その出力電圧が、電源電圧の 95% ぐらいになるので、通常は問題ないと思われるが特殊な用途では注意されたい。

### (3) ひん度に対する負荷低減

表 5.1 のところに示してあるように、本装置は使用ひん度に対して負荷を低減する必要があるので注意が必要である。ただし機械的なものと異なり、ひん度と寿命は無関係であるので、必要以上に負荷低減する必要はない。

## 5.4 用途

本装置は、もちろん、これ単体で使用することも可能であるが、入力としてわずかな直流があればよいので、近接スイッチ、トランジスタサイパック出力等と組合わせて使用すれば、さらにその特長が発揮できるものと思う。図 5.4 はこのような組合わせで使われている例を示したものである。また前述の SS タイムとの組合わせも可能である。なお現在のおもな使用先としては、プラスチック成型機、食品機械、各種工作機用等で、さらに多くの需要が見込まれている。

## 6. むすび

以上述べてきた半導体応用制御器具は、標準的に製作されているものについて述べてきたものであるが、いづれも使用しやすさと高寿命・高性能・高信頼をもとに、無接点式の特長を十分生かした製品であるばかりでなく、安価・小形化を考慮に入れており、客先の要求に十分マッチするものであると確信している。もちろん、これ以外の機種についても製作しているが紙面の関係で省略した。

なお、これからは、さらに新しい半導体素子の導入や、新しい原理にもとづく新製品の出現がますますさかになるものと思われ、われわれとしても今後さらに研究開発を進め、新製品を作り出すことに努力していきたいと思う。



# 特許と新案

フ レ ー ム

考 案 者 黒 田 茂 樹

この考案は、たとえば印刷配線等によって部品を取り付けたパネルを装着する電気計算機・通信機等のフレームの改良構造に関するものである。

図1・図2・図3において、(1)はきょう(筐)体、(2)はこのきょう体(1)の上下面板を兼ねるパネル支持板、(3a)・(3b)・(3c)はこれら支持板(2)の上下相対する位置に並設された複数の通風用長孔、(4a)・(4b)・(4c)はこれら長孔(3a)・(3b)・(3c)の縁を上側の支持板は下向きに、下側の支持板は上向きにそれぞれ折り曲げ、上記長孔(3a)・(3b)・(3c)の長手部分において隣り合う長孔との間に、パネル案内みぞ(5a)・(5b)・(5c)を形成する折り曲げ縁である。なお(6)は上記パネル案内みぞ(5a)・(5b)・(5c)等

に沿ってそう入される部品を取り付けたパネル、(7)はその接せん(栓)である。

このような構造のフレームにおいては、パネル支持板の通風孔を利用してパネル案内みぞを形成するものであるから、従来のもののように、とくに案内みぞを設ける必要がなく工作をきわめて簡単にし、材料も節約しうるうえ、パネルの冷却をよくすることができる。

なおパネル案内みぞ(5a)・(5b)・(5c)を形成するには、長孔(3a)・(3b)・(3c)の縁を全周折り曲げる必要はなく、その長手辺において数箇所折り曲げておくだけでもよい。

(実用新案登録第732544号) (久保記)

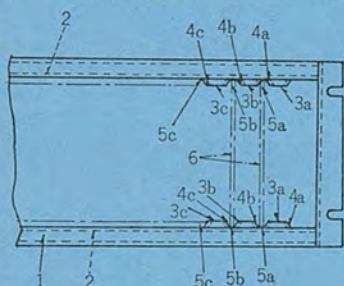


図 1

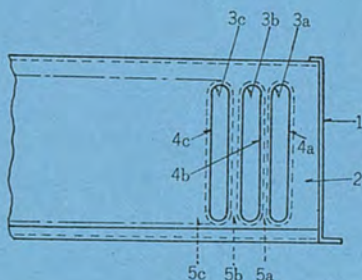


図 2

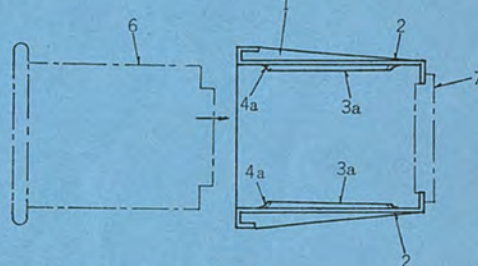


図 3

## 直 流 電 力 制 御 装 置

発 明 者 大 野 栄 一・赤 松 昌 彦

この発明はサイリスタを用い、直流電源から直流負荷に供給する電圧、または電流を変化させるチョップ式直流電力制御装置の改良に関する。

図1は従来のDCチョップ回路を示すもので、最初CR<sub>2</sub>を点弧回路F<sub>2</sub>で点弧してコンデンサC<sub>1</sub>を図示と逆極性にほぼEだけ充電しておく。次にCR<sub>1</sub>を点弧回路F<sub>1</sub>で点弧すれば、C<sub>1</sub>の充電電圧がCR<sub>1</sub>-L-D<sub>1</sub>を通じて印加し図示極性まで充電される。次にCR<sub>2</sub>を点弧すれば、C<sub>1</sub>の充電電圧がCR<sub>1</sub>に逆方向に印加してCR<sub>1</sub>をターンオフさせるとともに、C<sub>1</sub>の充電電圧とEとの和が負荷Z<sub>L</sub>に印加され、C<sub>1</sub>はふたたび逆極性に充電される。したがってCR<sub>1</sub>を点弧してからCR<sub>2</sub>を点弧するまでの間が、負荷に電源電圧が印加される期間にほぼ等しくなる。

この発明はこのような回路においてCR<sub>2</sub>を自動的かつ簡単に点弧して、CR<sub>1</sub>の消弧すなわち負荷電圧シャ断を自動的に行なわせたものである。図2はこの発明の実施例を示すもので、まず電源電圧

Eを印加すると長方形磁心上に巻線を施した可飽和リアクトルSRと負荷Z<sub>L</sub>を通じてコンデンサCが図示と反対極性に充電される。

次に点弧回路F<sub>1</sub>でCR<sub>1</sub>を点弧すれば負荷Z<sub>L</sub>に電圧Eが印加されると同時に、コンデンサCの充電電圧がリアクトルLと可飽和リアクトルSRに印加される。この時SRの磁心はヒステリシスループに沿って正の飽和から遠ざかって行く。Cが放電してLの作用で図示極性に充電され出すとSRの電圧の向きも反転し、磁束レベルはふたたび正

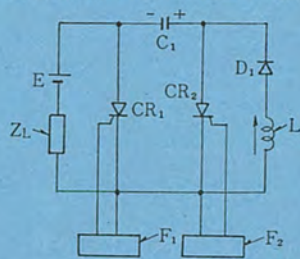


図 1

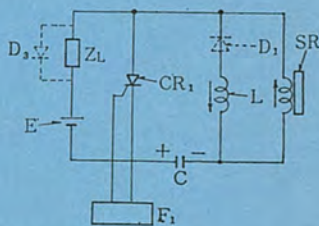


図 2

## 特許と新案

の飽和に向う。SR が飽和すると E と C の充電電圧との和が負荷  $Z_L$  に加わり、 $CR_1$  には C の充電電圧が逆方向に加わって消弧する。

したがってこの発明によれば簡単な回路で  $CR_1$  の導通期間の制御を行ない、負荷電力を制御することができる。

なお  $D_3$  は  $Z_L$  が誘導性の場合の  $CR_1$  のしゃ断時の負荷電流の還

流用であり、 $D_1$  はいつも  $CR_1$  が導通した後に SR を正の飽和に確実に持って行くためのもので、L を通じて C が充電されてしまうことを防ぐためにそう入されるものである。

(特許 第 495267 号) (山川記)

## タンク形回路しゃ断器

考案者 勝田久登・竹内孝治

従来、油入しゃ断器などのタンク形回路しゃ断器においては、流通電流による電磁力（反発力）の作用により可動接触子の固定接触子への閉合が完全に行ないにくく、とくに短絡故障発生時のような大電流通過時には接触子の閉合が不可能となり、所要の開閉動作を行なえないことがある。

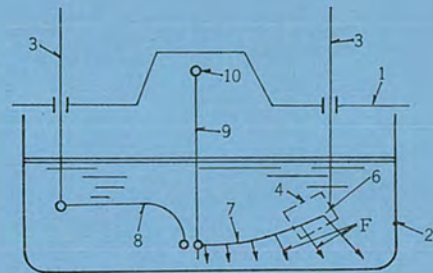
この考案はそのような事態をなくすため、図のように可動接触子(7)をその操作アーム(9)の枢動ピン(10)を中心とする円弧状に形成したものである。

このようにすると、通電中に可動接触子(7)に作用する電磁力  $F$  はピン(10)を中心として放射状に生じるため、可動接触子(7)および操作アーム(9)をピン(10)を中心として回転させる分力をほとんど生じなくなる。したがって可動接触子(7)は、開閉動作方向に電磁

力の影響を受けることなく、開閉動作を自由に行なうことができる。

なお図中、(1)はフレーム、(2)はタンク、(3)は端子ブッシング、(4)は消弧室、(6)は固定接触子、(8)は可動(撓)接続導体を表わしている。

(登録 実用新案 第 821137 号) (山川記)



## 大電流用回路しゃ断装置

発明者 潮恒郎・伊藤利朗・大倉敏幹

この発明は、とくに大電流の直流回路あるいは交流回路を真空スイッチを用いてしゃ断するしゃ断装置に関するものである。

一般に真空スイッチの交流回路しゃ断における電流傾斜、再起電圧上昇率に対する耐力はきわめて大きく、空気しゃ断器の100倍程度である。この発明はこの点に着目して、直流回路をも容易にしゃ断し得るようにしたものである。

図1はその実施例の回路図を示し、真空スイッチ  $S_p$  に並列にこの  $S_p$  の開極に同期して投入されるスイッチ  $S_s$ 、インダクタンス  $L$ 、コンデンサ  $C$  からなる回路を接続する。この  $C$ 、 $L$  で真空スイッチ  $S_p$  の直流しゃ断を可能にするための急しゅん(峻)な立ち上りを有する振動電流を供給する。なお真空スイッチ  $S_p$  の開極時に、この振動電流が負荷電流  $I$  以上になるようにコンデンサ  $C$  はあらかじめ充電される。

いま真空スイッチ  $S_p$  が予定のストロークだけ開極した時間位置でスイッチ  $S_p$  を投入すると、真空スイッチ  $S_p$  には負荷電流  $I$  が重畳される結果、図2に示すように非常に大きな電流傾斜で零値を通過するようになる。したがってこの電流の零点で真空スイッチ  $S_p$  が回路をしゃ断すれば、負荷電流  $I$  が容易にしゃ断される。そして電源  $E$  が交流

の場合には、交流の自然零点を待たずに回路をしゃ断することもできる。

(特許 第 486404 号) (山川記)

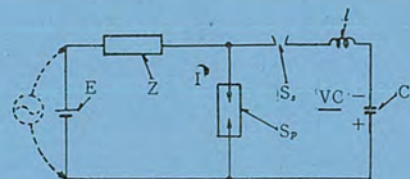


図 1

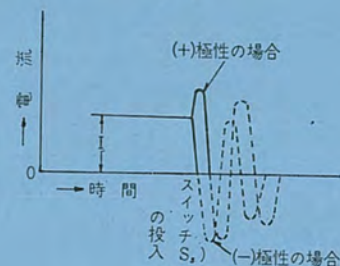


図 2

# MELCOM 9100 システム

## —グループ 30 の主記憶装置—

小島 一男\*・蒲生 容仁\*・布施 明\*・浜田 勝\*

### MELCOM 9100 System

#### —Main Memory of Group 30—

Kamakura Works Kazuo KOJIMA・Yoshimi GAMÔ・Akira FUSE・Masaru HAMADA

The main memory unit of MELCOM 9100-30 has specification given below in brief : (1) Capacity.....16~64 k words, 17 bits/word. (2) Cycle time.....0.8  $\mu$ s. (3) Ambient temperature.....0~55°C. To realize such a high speed, large capacity and highly reliable memory, the following new technique is in use : (1) 20 mil high speed core. (2) High S/N core plane made by dividing sense and inhibit lines into many parts respectively. (3) Temperature compensation by means of a 45°C constant temperature oven. (4) Drive system by the use of 4 diode matrix type and improved timing. (5) Multi-input sense amplifier using sense line select pulse. (6) Timing generator stabilized through a delay line. (7) Power supply method of small voltage variation. This article gives a full account on them.

## 1. ま え が き

制御用計算機 MELCOM 9100-30 の主記憶装置の仕様は、概略下記のとおりである。

容 量 : 16 k 語×17 ビット (パリティ 1 ビットを含む。64 k 語まで増設可能)

サイクルタイム : 0.8  $\mu$ s

周囲温度 : 0~55°C

このような高速大容量メモリを実現するうえには一般に次のような問題点がある。

- (1) コアのスイッチングタイム
- (2) 駆動電流の立上り
- (3) センス系の S/N
- (4) タイミングの安定化
- (5) コアの自己発熱

さらに上記のごとき広い周囲温度に対しては、何らかの温度補償が必要である。本メモリでは種々の新しい技術により、これらの問題を解決し上記の仕様を満たしている。

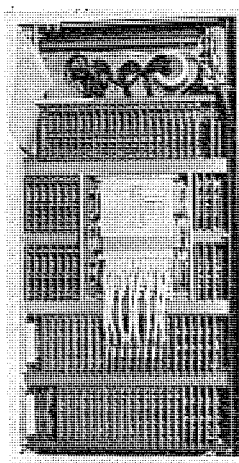


図 1.1 16 k 語 コアメモリモジュール  
16 kw core memory module.

本メモリはアドレスレジスタ、データレジスタ、タイミング発生器等を含む制御部とコスタックおよびその周辺回路を含むメモリモジュールとから構成されている。構成法の詳細については本誌前号「MELCOM 9100 システム(2)」を参照されたい。図 1.1 は 16 k 語のコアメモリモジュールである。

以下本文においてはメモリモジュールおよびタイミング発生器に関し、それらの特長、用いた新技術等を述べる。

## 2. コアスタック

### 2.1 コアの特性および温度補償

広い温度範囲をカバーするため Li 系広温度範囲用コア (WT コア) の使用が考えられるが、表 2.1 に示すように駆動電流が大きく、スイッチングタイムが長いので、ここでは高速性を重視し、Mn-Mg 系コアを採用している。

周囲温度変化に対してはコスタックを恒温そうに入れ、その温度を周囲温度が 40°C より低いときは 45°C 一定、40°C より高いときは周囲温度 +5°C に保つようにした。この結果実効的な温度変化は 15°C に抑えられ、この変化によるコアの特性の変化分は周辺回路の動作マージンで十分カバーされている。

またコアの集中アクセスによる自己発熱に対しては恒温そう内にファンを設け、温度上昇を防いでいる。

表 2.1 コアの特性  
Core characteristics.

| コ ア 名 称     | UR006-S2 | MC919 | 記 号    | 単 位 |
|-------------|----------|-------|--------|-----|
| メーカ         | 三菱       | IGC   |        |     |
| 材 質         | Mn-Mg 系  | Li 系  |        |     |
| サ イ ズ       | 23.5/14  | 23/14 | OD/ID  | mil |
| 駆 動 電 流     | 640      | 700   | $I_f$  | mA  |
| “1” 出 力 電 圧 | 35       | 35    | $UV_1$ | mV  |
| スイッチングタイム   | 240      | 350   | $T_s$  | ns  |

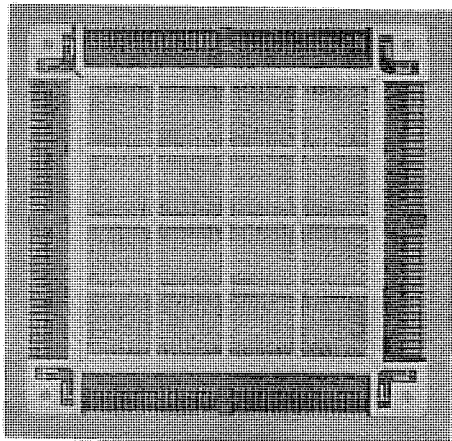


図 2.1 16k 語 コアメモリプレーン  
16 kw core memory plane.

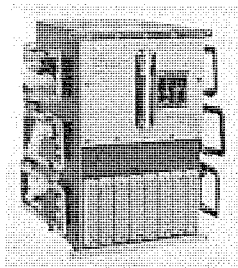


図 2.2 恒温そう(槽)入り  
16k 語 コアスタック  
16 kw core memory stack  
with oven.

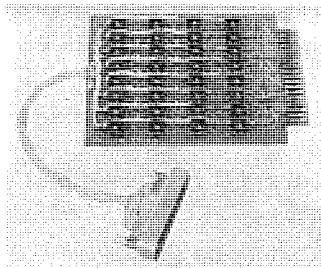


図 2.3 トランスダイオードマトリックス  
カード  
Transformer diode matrix card.

## 2.2 構成法

X, Y 線各 128 本の 16k 語 プレーン(図 2.1) 17 枚を積み重ねてスタックを構成し、これを恒温そうに入れている(図 2.2)。各プレーンは S/N を改善するため 16 個の 1k 語 ブロックに分割し、センス線は 2k 語ごと、インビット線は 4k 語ごとに出している。(詳細は図 4.1 参照)

周辺回路との接続は X, Y 線, Z 線, S 線それぞれに別のコネクタを用いて行なっている。トランスダイオードマトリックスもカード構造としているが、実装密度を高くし、かつコネクタを減らし、さらに配線長を短くするため、図 2.3 に示すように、カードの先端よりケーブルを出してコアスタックとの接続を行なっている。

## 3. 駆動系

### 3.1 高速化の問題点

コアメモリの容量が増し、かつ高速化が要求される場合、駆動系として下記のような問題点が出てくる。

#### (1) 大容量化に伴う負荷の増大

#### (2) 高速化に伴う高速大電流パルスの供給

まず最初に(1)についてみると、容量が増せばそれだけコアマトリックスの負荷は大きくなるが、最近のようにサイクルタイム短縮のためにスイッチングタイムの小さい小形コアを用いると、コアの容積の減少のほかに、コアピッチも小さくなるので、コアスタックのインピーダンスは同一容量のとき、大きいサイズのコアを用いていたときよりも減少する。たとえば、30 ミルコアを用いたものと、20 ミルコアを用いたものを比較すると、インダクタンス分はほぼ 2/3 になる。したがって(1)についてはとくに容量が大きくなりすぎないかぎり小形コアの採用により負

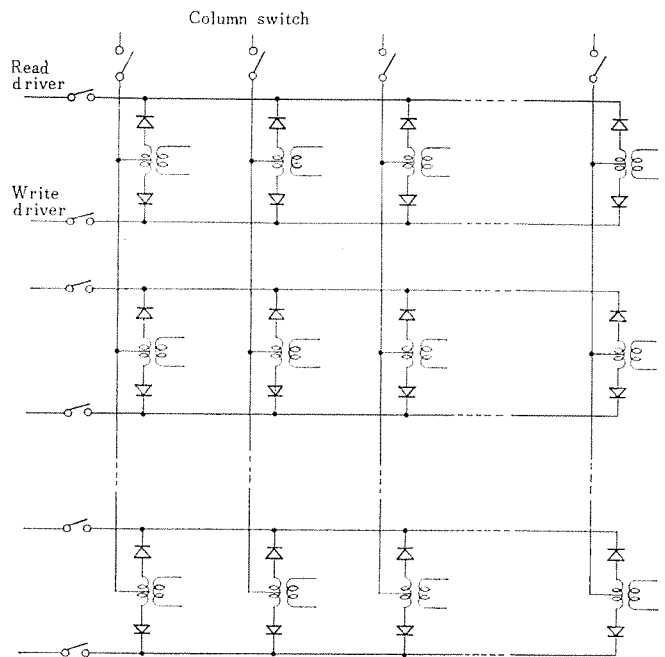


図 3.1 標準形 トランスダイオードマトリックス  
Typical transformer diode matrix card.

荷の増大という点は考えなくてよい。

次に(2)についてみると、高出力、小スイッチング時間を得るためには、今まで以上に速い立ち上りの電流パルスを供給する必要がある。たとえば、30 ミルコアのとき、立ち上り時間約 150 ns、電流値 280 mA のパルスであったものが、20 ミルコアの場合、立ち上り時間約 90 ns、電流値 320 mA のパルスが必要となる。つまり駆動器としてそれだけパワーの大きいものが必要となる。

### 3.2 マトリック系

主記憶装置の駆動法としては、駆動器の数の減少とか、電力負担の点から種々の方法が考えられてきたが、それらのうち高速という点で、現在ではほとんどトランスダイオードマトリックス方式(以下 TDM と略す)が採用されている。

#### 3.2.1 TDM について

最も広く用いられている TDM 方式を図 3.1 に示す。この構成の特長、従来採用しなかった理由、さらに今回採用した TDM とその改良点について述べる。

図 3.1 の構成から容易にわかるように、Read (以下 RD), Write (以下 WT) の駆動器(以下ドライバ)の耐圧は、電源電圧の 2 倍の値が必要となる。普通、立ち上りの速い電流を得るには高電圧を要する。たとえば、L と R の直列回路において、立ち上り時間: T, 振幅: I なる電流を得るためには、

$$3 \times \frac{L}{R} = 3 \times L \times \frac{I}{V} \leq T$$

したがって

$$V \geq \frac{3LI}{T}$$

なる電圧が必要となる。今一例として、 $T=100 \text{ ns}$ ,  $I=320 \text{ mA}$ ,  $L=5 \mu\text{H}$  とすれば、

$$V \geq \frac{3 \times 5 \times 10^{-6} \times 3.2 \times 10^{-1}}{100 \times 10^{-9}} = 48 \text{ V}$$

したがって、図 3.1 の方法によれば、ドライバの耐圧は約 100 V 必要となる。現在このような高耐圧・大電流のスイッチングトランジスタ

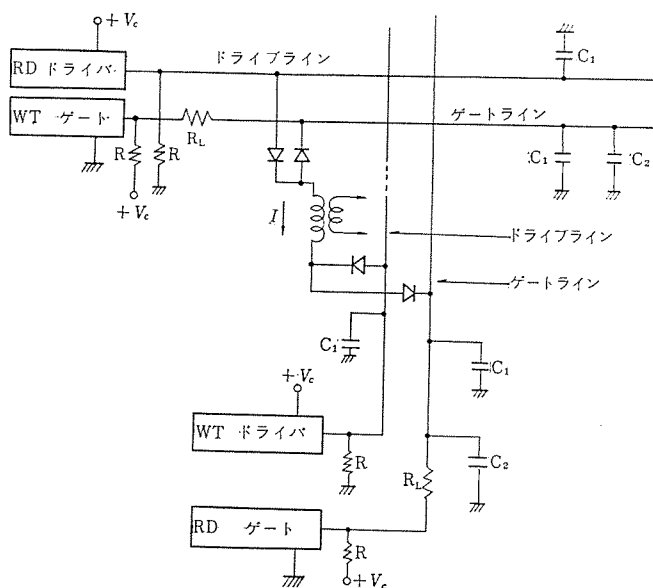


図 3.2 改良形トランスダイオードマトリックス  
Improved transformer diode matrix.

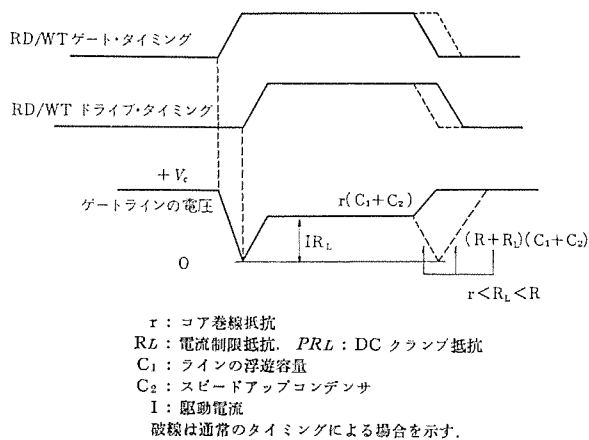


図 3.3 メモリタイミングおよびゲートライン電圧波形  
Memory timing and gate line voltage wave form.

は見あたらない。このマトリックスの特長は、ドライバ数の少ないことにあるが、耐電圧の点で難があり、本メモリには採用しなかった。

次に今回採用したマトリックスを図 3.2 に示す<sup>(1)(2)</sup>。

このマトリックスでは、ドライバの耐圧は電源電圧そのものでよいが、ドライバ数が若干増加する。われわれはこの方式に加え、電流の立上り、およびサイクルタイム減少のための改良を施した。この回路は定電圧方式であり、電流値はほぼ  $RL$  により決まる。図中で  $C_1$  はラインの浮遊容量であり、 $C_2$  は電流の立上りを速めるためのスピードアップコンデンサである。これにより、電源電圧 43 V で立上り時間が 90 ns となった。 $C_2$  は  $C_1$  に比べ小さく、数十 pF である。 $C_2$  を大きくすると電流の立上りはよくなるが、波形そのものはやや振動的になるので好ましくない。

サイクルタイムの短縮法として考えられたタイミングについて述べる。図 3.3 はタイミング、およびゲートライン電圧を表わしたものである。まず RD ゲートを開き、ゲートラインの浮遊容量に蓄えられた電荷を放電させ、ゲートライン電圧を十分低いレベルにしたあと、RD ドライバを開き駆動電流を流す。必要な時間幅だけ流れたら、まずゲートを閉じゲートラインをドライブ側より充電し、電源電圧レベルにする。この充電が終われば RD ドライバが閉じられる。普通行なわれるように、

適当な時間幅だけ電流を流したあと RD ドライバを閉じ、そのあとで RD ゲートを閉じる方法では、図 3.3 中の破線で示したように充電時間が長くなり、それだけサイクルタイムがのびる。

本方式では、 $r \times (C_1 + C_2)$  なる時定数で充電を行なうのに対し、通常のタイミングでは、 $(RL + R)(C_1 + C_2)$  なる時定数となる。ここで  $r$  はコアの巻線抵抗であり、 $RL$ ,  $R$  に比べ十分小さい。このマトリックスでは、一つのトランスに対し、RD, WT 用におおのドライバとゲートが必要であるが、図 3.1 の回路にサイクルタイム減少のため専用の充・放電回路をもうけた回路を考えると、ドライバ(ゲートを含む)数としては実質的に同じことになる。

### 3.3 電流制限抵抗の位置の決定

抵抗  $RL$  の位置としては、ドライバ側、負荷側、ゲート側などが考えられる。この抵抗器は、電力的にも相当大きいので、負荷側にもうけることは、本数、実装面で好ましくない。一方ドライブ側についてみると、マトリックスの浮遊容量そのものが無視できず、このため速い立上りの電流を得ることはむづかしい。結局負荷抵抗の位置としては、本数が少なくすみ、かつ電流の立上りを速めることができること、などの点でゲート側にもうけることにした。

### 3.4 マトリックス構成上の注意

駆動系が振動的にならないように、また各駆動線間のインピーダンスがばらつかないように注意した。駆動系そのものはアナコンでシミュレートされ、スピードアップコンデンサの位置、容量、配線法を種々検討し、振動的にならないようなものとした。駆動線間のばらつきに対しては、まづ線長をほぼ等長にし、マトリックス編組線の巻線抵抗のばらつきをおさえ、またマトリックスの二次側もほぼ 20 cm にそろえた。

ドライバ、ゲートともに最悪設計がなされ、使用温度範囲も  $0^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$  となっている。温度試験の結果では、駆動電流の時間遅れの差は約 4 ns で、これはほぼ設計時の予想値に近く、マージン的にもとくに支障はない。以上で駆動系についての概略を説明したが、結局サイクルタイムの減少には、コアの小形化のほか、タイミングを含めた改良された TDM 方式が大きく貢献している。電流の立上りは目下 90 ns となっているが、これはコアの S/N の点より決まっている。現方式のままではほぼ 70 ns 程度まで可能である。なおインビットドライバは、通常の定電圧駆動であるが、誘導性負荷のスイッチングのときに問題となるトランジスタの二次破壊を考え、特殊な Peak-Power 吸収回路を設け、トランジスタの安全を計り、回路の信頼度を上げている。

## 4. センス系

センスアンプを設計する際に、一般的に注意すべき点は種々述べられているのでここでは省略し、とくに問題となった多分割センス線の割付けならびに回路の簡単化および高速化について述べ、最後にセンスアンプの性能を表示する。

### 4.1 プレーンの分割とセンス線の割付け

16 kw メモリプレーンを  $0.8\mu\text{s}$  程度の高速度で動作させた場合、駆動電流の立上り・立下り時間をけわしくしなければならなくなる。さらに集中読み出し時の自己発熱が大きくなり、いずれも  $\Delta$  ノイズ(半選択雑音の相殺されずに残された雑音の総和)を大きくし、SN 比を悪くする方向に作用する。

$\Delta$  ノイズを小さくするためにはセンス線の多分割化が要求される。本メモリに使用した 16 kw メモリプレーンで、センス線を 4 分割および 8 分割した場合の特性を比較した結果、SN 比で約 1.8 倍、ストローブマージンで約 1.5 倍後者のほうがすぐれていることが明らかとなった。

プレーン間のばらつき、タイミングおよび周辺回路の種々の変動に対して必要とするストローブ時間マージンは30 ns以上におよぶため、今回は図4.1に示すようなセンス線8分割法を採用することにした。図から明らかなように16 kwプレーンを1kwのブロックに分け、センス線は大文字と添字1, 2で示された8本に、インビット線は小文字で示された4本にそれぞれ分割している。4本のセンス線とXYZ駆動線とのオーバーラップは1kwブロックのみにとどめた割付けになっている。

### 4.2 センスアンプの構成

センス線を8分割したことにより、センスアンプが複雑になるのを防ぐため、センス線選択ゲート法とトランス負荷によるプリアンプ部の足し込みとを併用した回路構成にした<sup>(3)</sup>。そのブロック図が図4.2である。8本のセンス線を同一のトランスへ接続することはカード基板の大きさおよびピン数から制約を受け、現在のところ図4.2に示されている部分が1枚の基板内に収められている。したがって2枚のセンスアンプカードで1ビットを構成している。なお同一ビットのストローブパルスおよびセンス選択パルスは共通に使い、出力端子もそれぞれワイヤリングして送り出される。

センス線選択ゲート段の前に現在はプリアンプを1段設けている。プ

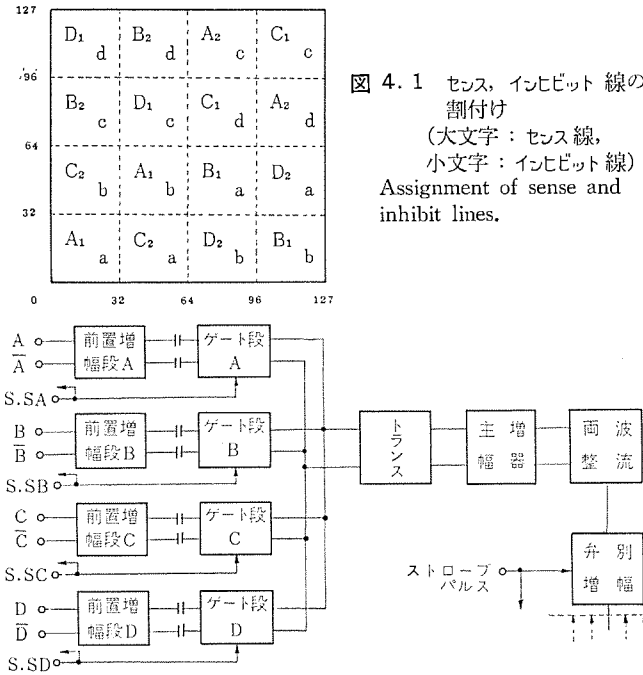


図 4.1 センス、インビット線の割付け  
(大文字：センス線，  
小文字：インビット線)  
Assignment of sense and  
inhibit lines.

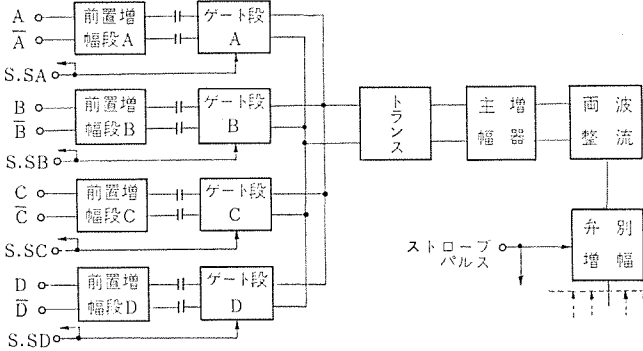


図 4.2 センスアンプブロック図  
Block diagram of sense amplifier.

表 4.1 センスアンプの特性  
Characteristics of sense amplifier.

| 項 目            | 特 性                               | 測 定 条 件                                |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 電 圧 利 得 (リニア部) | 43±0.3 dB                         | f=3.0 Mc                               |
| 周波数帯域 (リニア部)   | 0.8~6.0 Mc                        | -3 dB                                  |
| 直 線 性 (リニア部)   | P-P 11 V 以上                       | f=3.0 Mc                               |
| 同相電圧利得 (リニア部)  | -60 dB 以下                         | f=5.0 Mc, V <sub>IN</sub> =2 V         |
| 遅 延 時 間 (リニア部) | 30 ns 以下                          | t <sub>r</sub> , t <sub>f</sub> =30 ns |
| 遅延時間 (整流・増幅部)  | 10 ns 以下                          | t <sub>r</sub> , t <sub>f</sub> =30 ns |
| 回 復 時 間        | 600 ns                            |                                        |
| スレシホールドレベル     | "1": 17 mV 以上,<br>"0": 14.5 mV 以下 | (入力換算値)                                |
| センス選択雑音電圧      | ±1.5 mV 以下                        | (入力換算値)                                |
| 使用温度範囲         | 0~60°C                            |                                        |

リアンプ段なしの初段ゲート法も不可能ではないが、ゲート回路の入力オフセット電圧を3 mV以下にする必要が生じ、歩どまりが非常に悪くなる。これに対し、プリアンプを置くとゲートのオフセットは15 mVまで許容でき、ゲート回路の歩どまりは大幅に改善され、ゲート開閉時のノイズも小さくできる。このプリアンプ段と後方の主増幅段はハイブリッドICを用いているが、今後は全面的にIC化する予定である。

### 4.3 センスアンプの特長および特性

本センスアンプの特長を列挙すると下記ようになる。

- (1) センス選択ゲート法の採用
  - (a) "0"書込み時の雑音がゲート段以降に伝送されないため、主増幅段での飽和防止に役立っている。
  - (b) 簡単な回路で多分割センス線に対処できる。
  - (c) センス選択パルスを印加する時間を適当に制御することにより、駆動電流立上り時の誘導ノイズがはいらなくなり、かつΔノイズがアンプ内で減少し、SN比が改善される。
  - (d) 読み出し時のみゲートを開くため、トランスのフライバックが次の読み出しまでには回復し、レベルシフトがおこらない。
- (2) トランス負荷による足し込み
  - (a) ゲート段の足し込みが簡単であること。
  - (b) センス選択パルス開閉時のノイズが相殺される。
- (3) ハイブリッドICの採用
  - (a) 小形化およびコストダウンが実現されている。

表4.1にセンスアンプのおもな特性を示す。スレシホールドレベルの温度変動に関しては、前置および主増幅段のゲインと両波整流および弁別増幅部のスレシホールドレベルの温度変動が相補的になるようにし、全体として無視できる程度に押えている。

センスアンプの負荷抵抗は、データレジスタ側にモジュール間接続ケーブルの終端抵抗をかねて設けられている。このため、メモリモジュールを2個以上用いる場合には、同一ビットの出力端子を平づる式に接続するだけでよい。ツイストペア線を用いた場合、この部分の全配線長は5 mまで延長可能であり65 k (メモリモジュール4個)の場合も問題ない。

## 5. タイミング系

タイミング発生回路の構成法は種々あるが、MELCOM 9100-30では使用温度範囲(0~55°C)内での変動を少なくし、かつ指令パルスの間隔の影響を受けないタイミングを発生させるため、遅延線を用いた回路構成にした。タイミング発生回路は図5.1のブロック図に示されているようにタイミングソース部、発生部および制御・増幅部から構成されており、各部はそれぞれカード化されている。

このタイミング発生回路部分は、コアメモリモジュール(16 kw単位)とは独立のコアメモリコントローラ内に置かれているため記憶容量65 kw(4モジュール)までのタイミングパルスの制御ができるような構造になっている。遅延線は全遅延時間400 ns、40タップで10 ns/タップの集中定数形のものを用い、タイミング発生部と制御・増幅部には一部を除

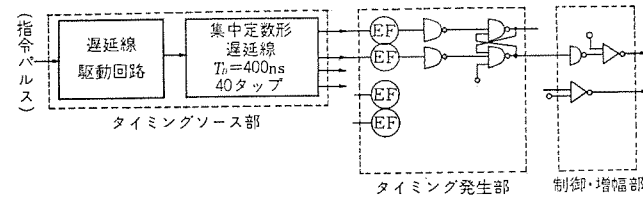


図 5.1 タイミング発生回路ブロック図  
Block diagram of timing generator.

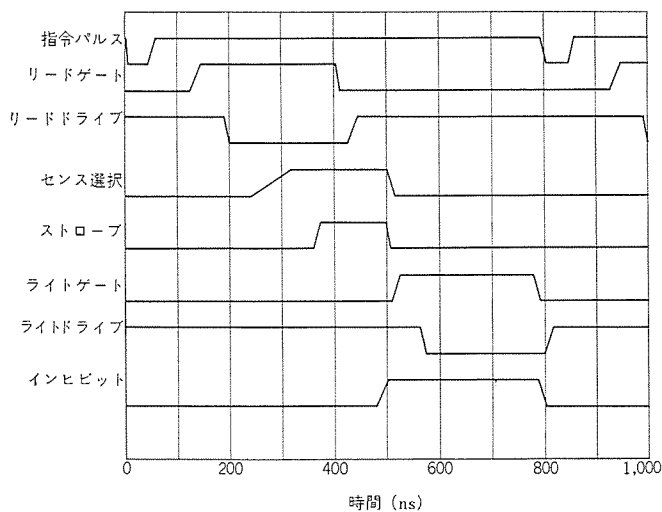


図 5.2 タイミングチャート  
Timing chart.

き当社製 TTLIC を使っている。

タイミングパルスは図 5.2 のタイミングチャートから明らかなように 7 種類ある。とくに センスに選択パルスのみ立ち上がり時間が約 80 ns と遅いのは、センスアンプ内に加えた際のノイズを小さくするためである。各タイミングパルスの Fan-out は約 48 mA で、IC ゲートなら 30 個まで駆動できる。なお正極性パルスで IC ゲート以外を駆動するときには、約 20 mA に制限している。

## 6. 電 源

本メモリでは定電圧駆動方式を採用しているため、駆動用電源電圧の変動は直接メモリの電流マージンを減らすことになる。したがってこの変動は一般の直流電源電圧変動より相当小さく、 $\pm 1\%$  程度に押えなければならない。電圧変動の原因としては電源装置自体の出力電圧の変動と給電系における電圧降下の変動とが考えられるが、一般には後者のほうが相当大きい。本メモリでは給電系における変動を  $\pm 0.5\%$  に押えることにより、全体としての変動を  $\pm 1\%$  以下に押えた。以下その給電系について述べる。

### 6.1 給電系の構成

駆動用電源の負荷電流はメモリアクセスのひん度により、ほとんど 0 から全負荷まで大幅に変動する。したがって給電系のインピーダンスは非常に小さくする必要がある。このためには電源とメモリモジュールを近接して設け、電源ラインを短くすることが考えられるが、本計算機では温度上昇その他の点から図 6.1 に示すように、これらは相当離れて置かれており、電源ラインも最大 7 m となっている。

この部分のインダクタンスによる電圧降下を緩和するため、メモリモジュールに大容量の電流ためコンデンサを設けている。メモリモジュール内は並行導体および通常のワイヤリングにより給電しており、各カード内にデカップリング用のコンデンサを入れている。

### 6.2 給電系の解析<sup>(4)</sup>

図 6.2 に略電系の等価回路を示す。電源ラインとモジュール内配線とで回路の時定数が 10 倍以上異なると考えられ、したがって負荷における電圧変動は各部における電圧変動の和と考えてよい。ここでは給電系を各部分ごとにアナコンでシミュレートし、負荷電流変動に対する電圧変動を、種々の配線法およびコンデンサ容量をパラメータとして求めた。

表 6.1 は電源ラインについて電圧変動の最大値を求めたものであ

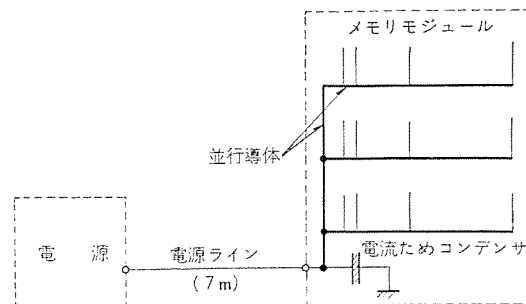
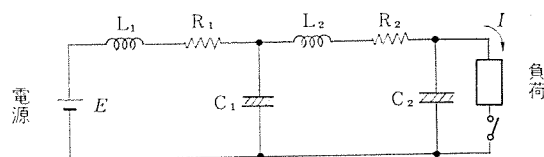


図 6.1 給電系の構成  
Structure of power lines.



電源ライン モジュール内配線

図 6.2 給電系等価回路  
Equivalent circuit of power lines.

表 6.1 電源ラインにおける電圧変動最大値  
Voltage drop of power line.

| 線 材                                                                              | A      |              | B         |              |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-----------|--------------|
|                                                                                  | 単 線    | ツイスト         | 単 線       | ツイスト         |
| $R_1$ ( $\Omega$ )                                                               | 0.0362 |              | 0.0236    |              |
| $L_1$ ( $\mu\text{H}$ )                                                          | 12.2   | 1.6          | 11.8      | 1.92         |
| 電<br>流<br>た<br>め<br>の<br>コ<br>ン<br>デ<br>ン<br>サ<br><br>$C_1$<br>( $\mu\text{F}$ ) | 1,000  | e(V)<br>0.34 | e(V)<br>— | e(V)<br>0.14 |
|                                                                                  | 2,000  | 0.25         | —         | 0.11         |
|                                                                                  | 5,000  | 0.17         | 0.16      | 0.08         |
|                                                                                  | 10,000 | 0.14         | 0.12      | —            |
|                                                                                  | 20,000 | 0.11         | 0.09      | —            |

注) 電源電圧  $E=40\text{ V}$   
負荷電流  $I=3\text{ A}$

る。この結果よりツイストペア線を用いれば、コンデンサ容量は単線を用いる場合の約 1/10 ですむことがわかる。実際の電源ラインとしては、線材 B のツイストペア線と 10,000  $\mu\text{F}$  のコンデンサを用い、給電系全体としての電圧変動を  $\pm 0.5\%$  以下に押えた。

## 7. 動作試験結果

コアメモリモジュール (CMM) 単体試験として、サイクルタイム 0.8  $\mu\text{s}$  での動作裕度試験、温度試験および直流電源電圧変動試験を行なった。その結果について簡単に述べる。

### (1) 動作裕度試験

図 7.1 はストロープ時間と XYZ 駆動電圧とを変えて測定した動作裕度図である。ストロープ時間裕度は約 35 ns、電圧裕度は約 6 V (X Y 駆動電流に換算すると 36 mA) が得られた。この結果は設計当初算出した必要裕度 (電圧裕度  $\pm 2.5\text{ V}$ , ストロープ裕度 30 ns) を十分満足している。

### (2) 温度試験

メモリスタックは  $45\pm 2^\circ\text{C}$  の恒温そうに入れられているので、周囲温度が  $40^\circ\text{C}$  以下のときには問題ない。室温がそう内温度以上になると多少 SN が悪くなり、とくに高電圧駆動時にストロープ時間の前のほうの裕度がけずられる。0~ $50^\circ\text{C}$  の温度試験の結果では、ストロープ時間と電圧の裕度がそれぞれ約 1/3 減少した程度でほぼ設計値に等しく、室温  $55^\circ\text{C}$  でも十分動作すると考えられる。

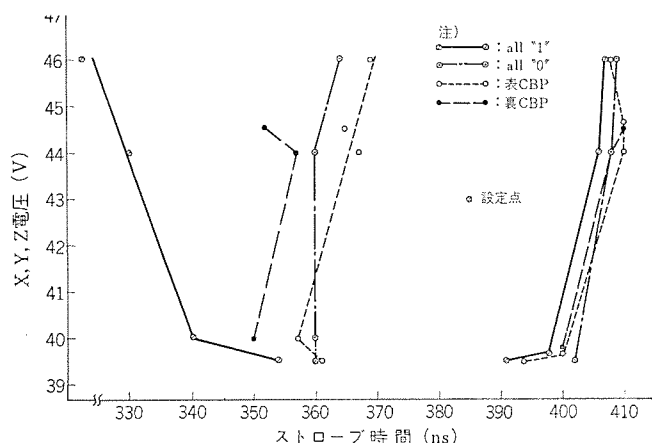


図 7.1 CMM 動作マージン試験結果  
Marginal curves of core memory module.

### (3) 直流電源電圧変動試験

ストロブ時間と駆動電圧を設定点に置き、メモリがチェッカボードパターンの読み書きをくり返している状態で、周辺回路に使用している直流電源4種類をそれぞれ独立に $\pm 10\%$ まで変動させる試験を行なったがエラーはまったく発生せず、電源電圧裕度も十分広いことが確認された。

## 8. む す び

以上 MELCOM 9100-30 主記憶装置に関し、その特長および概

要を述べた。主記憶装置はいわば計算機の心臓にあたり、高い信頼度が要求されるが、本文に述べた種々の技術によりその要求は十分満たされていると考えられる。しかし電子計算機の発展は一日も止むことなく、それにしたがって主記憶装置もさらに高速大容量、高信頼度のものが要求されると考えられる。

これに対しては、さらに小さいコアの実用化、 $2\frac{1}{2}$ 方式の採用、磁性薄膜メモリの実用、あるいは周辺回路のIC化等により、その要求が満たされてゆくものと考えられる。もちろん小形化、原価低減も重要な問題であり、同時に解決してゆかなければならないものである。しかしこれらの問題は決して記憶装置設計者の努力だけで解決されるものではなく、半導体技術、材料、部品、実装技術等広い範囲の技術の進歩に多く依存しているものである。各界のいっそうの進歩が期待されるゆえである。

最後に本記憶装置の開発に種々協力くださった各種部品メーカーおよび当所の関係各位、ならびにコアスタックの開発、製造を担当された当社相模製作所の関係各位に深謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) O. Landsnerk : A Fast Coincident Current Magnetic Core Memory, IEEE Trans. on EC EC-13, 581 (1964-10)
- (2) 蒲生, 浜田 : 昭42連大, No. 2728.
- (3) 蒲生, 布施, 熊谷 : 昭42連大, No. 2719.
- (4) 蒲生, 浜田, 南部 : 昭42信学全大, No. 966.

# 変圧器の乾燥とプレスボードの電気的性質

白井 万次郎\*・石井 敏次\*\*

## Drying of Transformers and Electrical Properties of Pressboard

Itami Works      Manjiro SHIRAI・Toshitsugu ISHII

To what extent transformers are to be dried? How the degree of driness is made known? As a criterion to observe these points, studies have been made to find the relation of the driness with breakdown voltage of pressboard of not impregnated with oil and one impregnated, the relation of the driness of the pressboard with volume resistivity, dielectric constant and dielectric loss tangent. The results have revealed that : AC breakdown voltage comes to make almost no change when the moisture falls below 3 % in the pressboard ; the quantity of moisture at which the AC breakdown voltage begins to show sharp decrease is identical to that where multilayer adsorption starts from the moisture adsorption mechanism of the pressboard. These relations are not observed with other electrical properties. For the information about transformers in a cold district, measurement has been made on electrical properties of the pressboard at below zero centigrade, but no special difference has been found even with moistened samples. This displays excellent electrical properties.

### 1. ま え が き

近年、電力用変圧器はますます高電圧、大容量化への傾向を高めつつあり、一方輸送上その他より変圧器はできるだけ小形に作ることが要求される。両者あいまってその絶縁構造はますます緻密化される傾向にあり、これは変圧器の主絶縁材料である絶縁紙、プレスボードの乾燥を困難にするものである。さらに経済上よりの原価の低減、納期の短縮の要求は乾燥時間の短縮を必要とし、また変圧器の大容量化はますます変圧器の信頼性に対する要求を高度のものとし、変圧器絶縁物の高度の乾燥度を要求する。

このため変圧器乾燥法のたえざる研究が続けられ、これまで普通行なわれている熱風乾燥に続く真空乾燥のほか、最近では溶剤蒸気乾燥が注目されている。

変圧器をどこまで乾燥したらよいか、乾燥程度をいかにして知るか。これらのめやすの一つとなるものは、おもな絶縁材料である絶縁紙、プレスボードなどが乾燥によりいかにその電気的性質を変化するかを知ることである。

この問題については筆者は十数年前に一度検討し、本誌に報告したことがある<sup>(1)</sup>。今回ふたたびこの問題を取りあげた理由は、一つには木綿ぼろの払底により、これまで使用していた第1種プレスボードの入手が困難になり、第2種の100%クラフトプレスボードが使用されることが多くなったこと、紙の水分の測定がカルフイシャー法により、少量の試料で迅速・正確に行なわれるようになったこと、これまでより高温で乾燥しようとする傾向が強くなったことなどによるものである。さらに乾燥問題をはなれて、寒地向け変圧器では油浸紙の低温特性の知識が必要とされるが、これが欠けていたためである。

したがって、今回の報告はプレスボードの水分と電気的性質に関して前報より広い温度範囲の資料を含んでおり、変圧器乾燥の基礎としての知見を一步進め得たものと考えている。なお本報に含まれるデータの大部分はすでに電気学会誌に発表したものである<sup>(2)</sup>。

### 2. プレスボードの乾燥度と破壊電圧

変圧器の絶縁物をどこまで乾燥したらよいか。そのめやすとなる

のは絶縁物の乾燥度と破壊電圧の関係であろう<sup>(3)(4)</sup>。よってまず乾燥度の異なるプレスボードの油中における交流破壊電圧について述べる。

試料に用いたプレスボードは厚さ0.5mmの第2種プレスボード(JIS C-2305)である。これは近年合成繊維を使用することが多くなり、純綿ぼろが払底し、第1種プレスボードの入手が困難となり、第2種プレスボードを用いることが多くなったのでこれを試料とした。

これを100×100mm<sup>2</sup>の大きさに切り、105°Cで30分間乾燥してから、硫酸水溶液で各種相対湿度に調節したデシケータ中に吸湿平衡に達するまで入れておく。吸湿平衡に達したプレスボードを吸湿処理を行なった同じデシケータ中に入れた2号絶縁油(JIS C-2320)の中に入れ、油浸平衡に達するまで浸しておいたものを試料として用いた。この油浸時間と交流短時間破壊電圧との関係は図2.1に示すごとくで、80時間ぐらいで破壊電圧は一定となるから平衡に達したものとみなすことができる。真空含浸を行なえば、この平衡に達するまでの時間はいちじるしく短縮する。

これらの試料について交流60c/sにおける短時間破壊電圧と1分間破壊電圧とを測定した。短時間破壊電圧の電圧上昇速度は3kV/sである。1分間破壊電圧は各段階での電圧印加時間を1分間とし、0Vから2.5kVずつ破壊を起こすまで電圧を上昇し、1分間以内で破壊する電圧を1分間破壊電圧とした。

あらかじめ所定の測定温度に保った絶縁油中に試料の油浸プレスボードを30分以上浸しておいてから、その油の中で破壊電圧を測定した。0°C以下の場合には冷却剤としてドライアイスを用いた。

プレスボードの水分量は破壊電圧測定後ただちに破壊点の周囲を切りとってカルフイシャー法(ASTM D-1348-58-58 T)で測定した。

水分の測定に際しては、すり合わせふたつきのよく乾燥したガラスびん中へ標準水メタノール50mlを入れておき、この中へ切りとったプレスボードを2~2.5gほど入れてふたをする。このような状態で40~50時間放置後、メタノール中に抽出された水分をカルフイシャー試薬を用い、±0.1mlの精度で電位差滴定により求める。このようにして求めた水分の精度は±0.3%である。参考のため未油浸プレスボードの水分をカルフイシャー法で求めた場合と、150°Cで2時間乾燥して

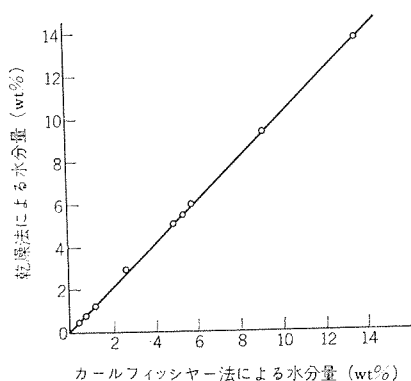


図 2.1 乾燥法とカルフィッシャー法によるプレスボード水分量の比較  
Comparison of water determination in pressboard between a drying method and the Karl Fisher method.

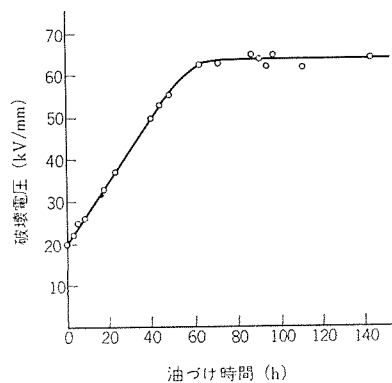


図 2.2 0.8 mm プレスボードの油浸時間と交流短時間破壊電圧  
Oil impregnation time vs. AC breakdown voltage of pressboard (0.8 mm)

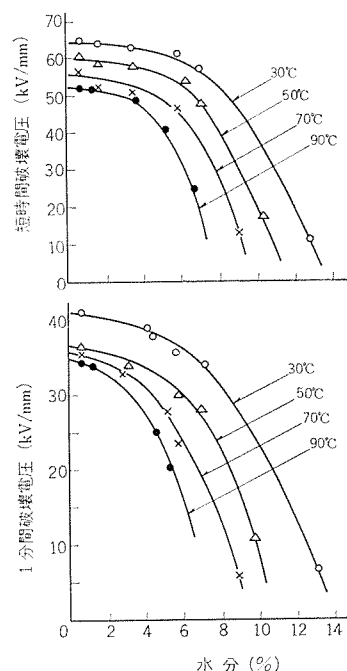


図 2.4 油浸プレスボードの破壊電圧と水分  
Effect of adsorbed water on breakdown voltages of oil impregnated pressboard.

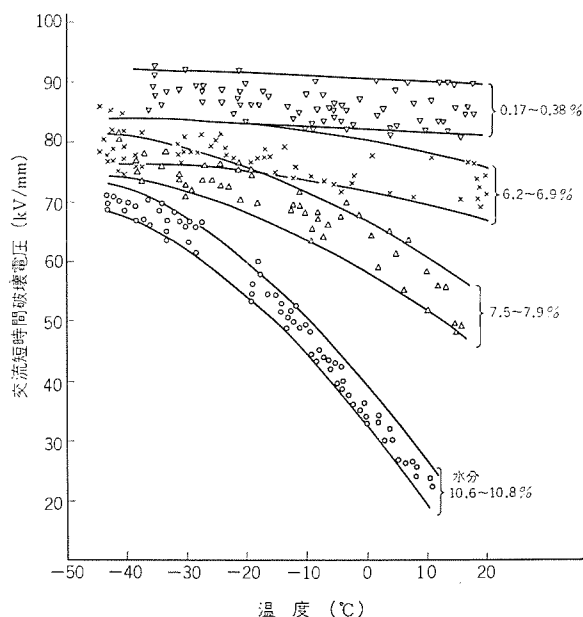


図 2.3 油浸プレスボードの交流短時間破壊電圧の温度特性  
Effect of temperature on short time AC breakdown voltages of oil impregnated pressboard.

から乾燥前後の重量差から求めた場合とを、比較したのが図 2.2 である。水分が 0.3~13.7% の範囲では両方法で求めた水分値は 0.26% 以内の差で一致した。乾燥法では油浸プレスボードの水分は測定できないので、この報告ではすべてカルフィッシャー法で水分を測定した。

-40~+20°C におけるプレスボードの短時間破壊電圧を温度に対してプロットしたのが図 2.3 である。各点はいずれも 1 回の破壊値を示しており、曲線の右側の数値は試料の水分を示す。電極はこの場合直径 25 mm の球電極を用いた。水分が少ない試料では温度が上がっても破壊電圧は低下しないが、水分の多い試料では温度が上昇すると破壊電圧は低下する。その程度は水分が大きいほどいちじるしい。水が氷になったり油が凝固するような低温では、破壊電圧の不連続な変化がおこるのではないかと考えていたが、この測定結果からはそのようなことは考えられない。

図 2.4 は油浸プレスボードの交流短時間破壊電圧および 1 分間破壊電圧と水分の関係を示している。電極は図 3.3 の場合と異なり、直径 25 mm の黄銅円柱の下端の縁に 2.5 mm の丸みをつけたものを

高圧電極とし、直径 60 mm、厚さ 10 mm の黄銅円板を低圧電極として測定した。紙の破壊電圧の測定にはこのような電極が普通用いられるのであるが、この電極では低温における測定が困難だったので、図 2.3 では球電極を用いたのである。

図中の各点は 10 点の平均値を示している。短時間破壊電圧・1 分間破壊電圧ともに水分の少ない範囲ではほとんど一定値を示しているが、ある一定の水分以上になるとともに急激に低下している。この破壊電圧が急激に低下するプレスボードの水分は温度が高くなるほど小さい。

鉱油系絶縁油の代わりに不燃性油 (JIS C-2321) をプレスボードに含浸した場合も、図 2.5 に示すように同様な傾向がある。

しかしインパルス破壊電圧は、図 2.5 に示すようにこの傾向が見られない。不燃性油含浸の場合は、インパルス破壊電圧が鉱油の場合より低く、プレスボードの水分の増加によりあまり低下しない。鉱油の場合は、かなりインパルス破壊電圧が低下するが、低水分で急激に増大するという事はない。

この場合、電極は図 2.5 の場合と同じ電極を用い、(1×40)μs の正パルスを 2~4 kV の割合で破壊に至るまで高めていき、破壊時の電圧をもってインパルス破壊電圧とした。破壊はすべて波尾でおこっており、電圧はシンクロスコープで測定した。

以上のデータより見ると、水分が約 3% 以下になると交流の場合もインパルスの場合も破壊電圧は水分によってあまり変わらなくなる。したがって破壊電圧に関する限り、プレスボードをあまり高度に乾燥する必要はないように見える。

けれども紙にのこる微量の水分が紙の熱劣化に大きな影響をもつことは F. M. Clark がその著書<sup>(6)</sup>において多くのデータをもって示すところであって、その一例を図 2.6 に示す。これはマニラ紙をテストコイル上に巻いて油中において 150°C で劣化させたとき、紙の抗張力がもとの値の 25% になるまでの時間を示したものである。機械的強度を尺度としてみた場合の紙の寿命を考えると、紙はできるだけ乾燥して使ったほうがよいということになるが、そのため

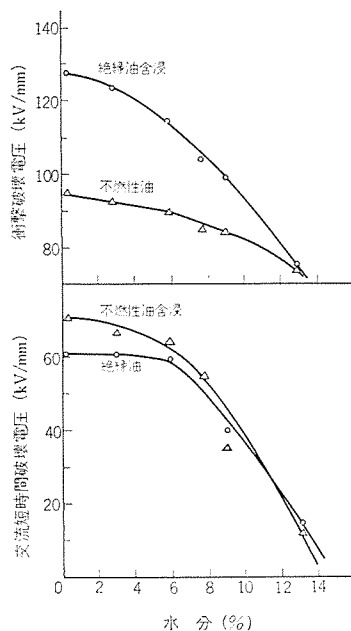


図 2.5 絶縁油および不燃性油含浸 プレスボードの衝撃および交流破壊電圧  
Impulses and AC breakdown voltages of pressboard impregnated with mineral oil and nonflammable oil.

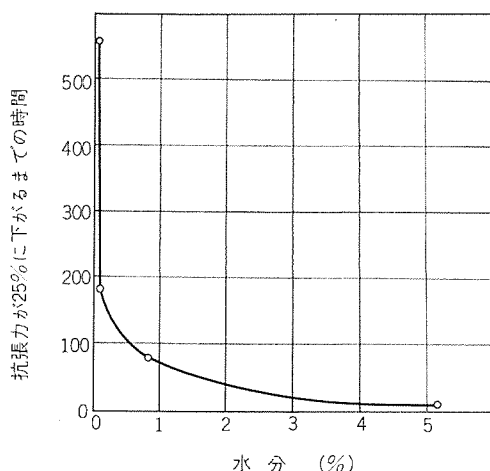


図 2.6 150°C で劣化した場合の紙の機械的強度に及ぼす水分の影響<sup>(9)</sup>  
Effect of adsorbed water on the mechanical strength of paper with aging period at 150°C.

乾燥時間が長くなるとすればこの期間の紙の劣化も考慮しなければならない。

### 3. プレスボードの乾燥度と体積抵抗率

変圧器の乾燥中、その絶縁物の乾燥度をいかに知るかは重要な問題である。試験的には変圧器内の各所に プレスボードの試片を入れておき、乾燥中にとりだしてその水分を測定してみたこともあるが、製作される変圧器ごとにこのような手段をとることはできない。乾燥中、熱風の入口・出口において露点を測定してみたこともあるが、乾燥完了近くの露点を正確に測ることは困難であり、熱風の露点が十分下がったとしても、風の通りにくい場所における絶縁物が完全に乾燥しているかどうかの不安が残る。

一般に行なわれる方法は、変圧器の絶縁抵抗あるいは誘電正接を測定して絶縁物の乾燥度を知る方法である。これにはあらかじめ、絶縁紙・プレスボードの乾燥度と体積抵抗率や誘電正接の関係を調べておく必要がある。よってこれらの関係を求めてみた。

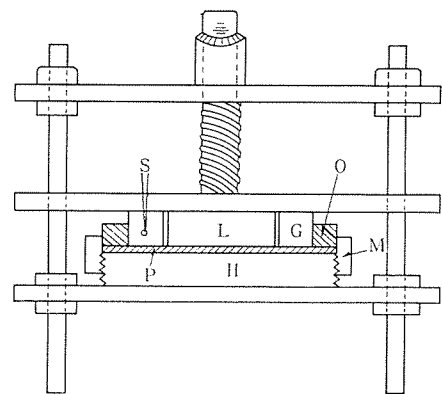


図 3.1 抵抗率、誘電率および誘電正接の測定電極の構造  
Construction of electrode for determination of resistivity, dielectric constant and  $\tan \delta$  of pressboard.

異なる水分をもつプレスボードの作製は破壊電圧測定の前でのべたのとどうようである。体積抵抗率の測定には直流電源を内蔵した電子管式電流計を使用した。電流計は  $0.02 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-5}$  A までの電流が測定でき、直流電源からは 0~1 kV の間の任意の電圧をとり出すことができる。

電極は、安藤電気製の SE-3 形電極を図 3.1 に示すように一部改造したものを使用した。G はガード電極、L は低圧電極、S はサーミスタ感熱部、M は絶縁油流出防止用金属性リング、H は高圧電極、P はプレスボード試料である。このままでは高温で測定する場合に、ガード電極 G と金属性リング M との間から試料の水分や油が蒸発してしまうおそれがあるので、ここにシリコンゴム製リング O をはめて蒸発を防止した。

測定に際しては一定量吸湿させた試料を電極間へそう入後、この電極を恒温そう(槽)の中へ入れ、所定の温度まで加熱する。つぎに恒温そうの油をぬきとって自然冷却をさせながら体積抵抗率の温度特性を測定した。抵抗値は電圧印加してから 1 分後の電流値から算出した。室温以下の温度で測定する場合には、冷却剤としてドライアイスを使用した。試料の温度は電極に埋めこまれたサーミスタで測定し、水分はカルフィシャー法で測定した。

電気試験中に試料の水分がどの程度変化するかをみるため、電気試験の前後の試料の水分を測定してみたが、0.5 % 以内の差で一致した。しかし一般的にいえば、水分の多い試料では電気試験中に乾燥し、水分の少ない試料では逆に吸湿する傾向がみられたので、以後のデータ中、水分値が示されている場合にはいずれも電気試験後の値である。電気試験後の値のほうが測定中の水分値に近いと考えたからである。

図 3.2 は未油浸および油浸 プレスボードの体積抵抗率の対数を絶対温度の逆数に対してプロットしたものである。かっこ内の数字はプレスボード試料の水分を示す。各試料ともほぼ平行な直線となる。0°C 以下の温度で体積抵抗率が不連続に変化するところは見られない。

この体積抵抗率を水分に対してプロットしてみると、図 3.3 のようにほぼ平行な直線として示される。破壊電圧のように水分に対して急激に変化するところはない。これらの直線を水分 0 の点まで延長し、乾燥 プレスボード の体積抵抗率を求め、これを絶対温度の逆数に対してプロットしてみると図 3.4 のような直線となる。乾燥状態における未油浸 プレスボード の体積抵抗率は、油浸 プレスボード のそれより約 1 けた大きい。温度変化は未油浸 プレスボード のほうが油浸 プレスボード より大きい。水分に対する変化はあまり差がないが、やはり未

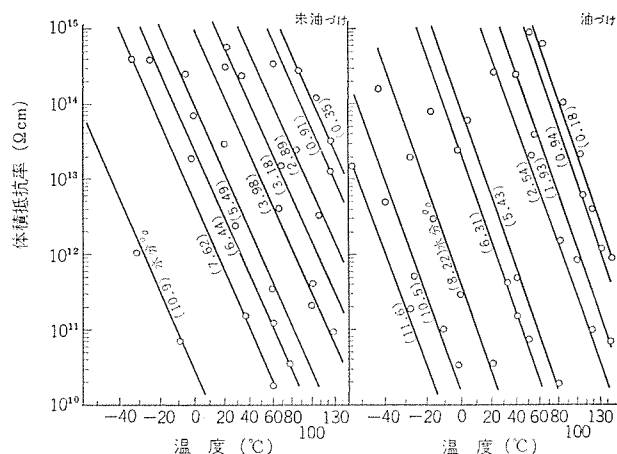


図 3.2 プレスボードの体積抵抗率と温度  
Effect of temperature on volume resistivity of pressboard.

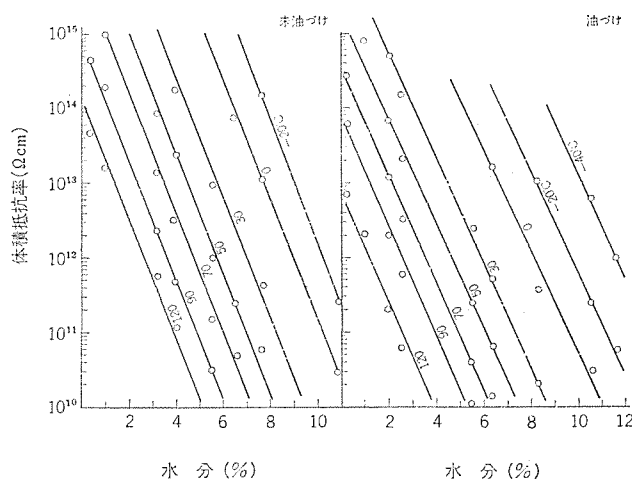


図 3.3 プレスボードの体積抵抗率と水分  
Effect of adsorbed water on volume resistivity of pressboard.

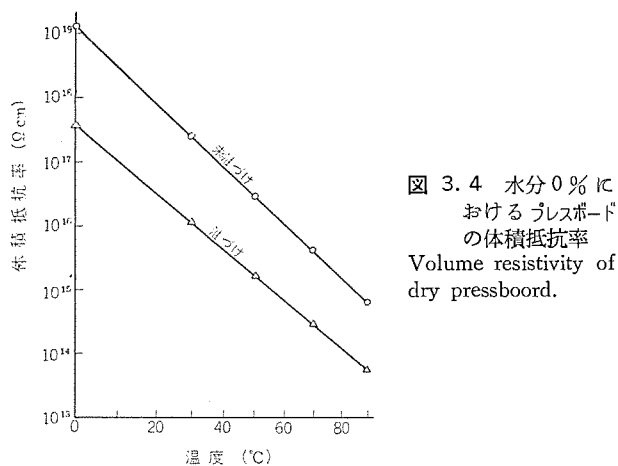


図 3.4 水分 0% に  
おける プレスボード  
の体積抵抗率  
Volume resistivity of  
dry pressboard.

油浸プレスボードのほうがやや大きい。

プラスチックの体積抵抗率の対数は、絶対温度の逆数に対しても、水分に対しても直線で示されるから、これらの測定範囲でこれをつぎのような簡単な式で表わすことができる。

$$\log p = A - BM + C/T \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで  $\rho$  は体積抵抗率,  $M$  は水分,  $T$  は絶対温度,  $A, B, C$  は定数である。

#### 4. プレスボードの乾燥度と誘電率および誘電正接

変圧器絶縁物の乾燥程度を知る手段として誘電正接の測定も一般に行なわれるところである。絶縁抵抗は変圧器絶縁物の寸法によって異なるが、誘電正接は一般に変圧器の物理的な寸法に無関係なものであるとして、乾燥度の判定に使用される。これにはやはりプラスチックボードの水分と誘電正接の関係を知っておく必要がある。

また蓄電器などでは物理的寸法に無関係な  $RC$  ( $R$  は絶縁抵抗,  $C$  は容量) の単位で絶縁状態を表わすことがあり, この場合には絶縁物の水分と誘電率の関係を覚えておく必要がある。よってここではプラスチックの水分と誘電率および誘電正接の関係についてのべる。

誘電率および誘電正接 ( $\tan \delta$ ) は変成器ブリッジ (安藤電気製 TR-10 形) を用いて測定した。このブリッジの静電容量測定範囲は 0~200 pF で精度は 0.1 pF である。コンダクタンスは  $3 \times 10^{-13} \Omega \sim 1 \mu \Omega$  まで測定できる。印加電圧は約 10 V である。電極は体積抵抗率の測定に用いた図 3.1 に示したものである。水分も抵抗率の場合と同様にカルフイシャー法によって測定した。

未油浸および油浸 プレスボードの誘電率の温度変化を図 4.1 に示す。油浸により プレスボードの誘電率は増加する。水分が少ない試料では温度によって誘電率はあまり変化しないが、水分の多い試料では誘電率の温度による変化が大きい。0°C 以下で誘電率が不連続に変化するところは見られない。

このデータを水分に対してプロットしてみると図 4.2 のようになる。誘電率に対する水分の影響は油浸プラスチックのほうが未油浸プラスチックよりやや大きい。水分に対して誘電率が不連続に変化する点は見当たらない。

プレスボートの誘電正接の測定結果は図 4. 3 に温度に対して示す。  
未油浸および油浸プレスボードともにある温度で極小値を示し、この  
極小値は乾燥が進むにしたがって高温側に移動するし、その値は小

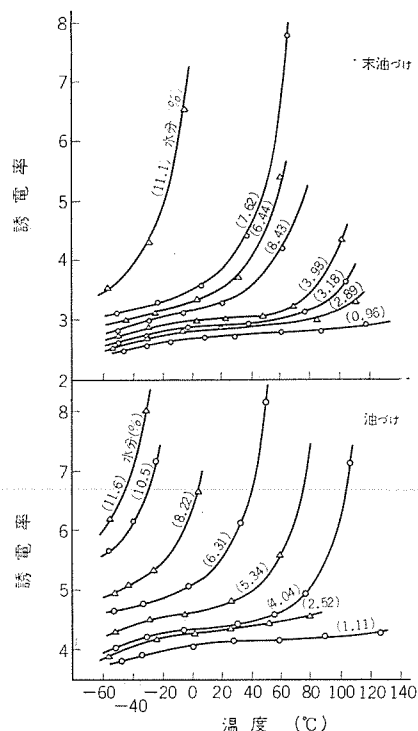


図 4.1 プレスボードの誘電率と温度  
Effect of temperature on dielectric constant of pressboard.

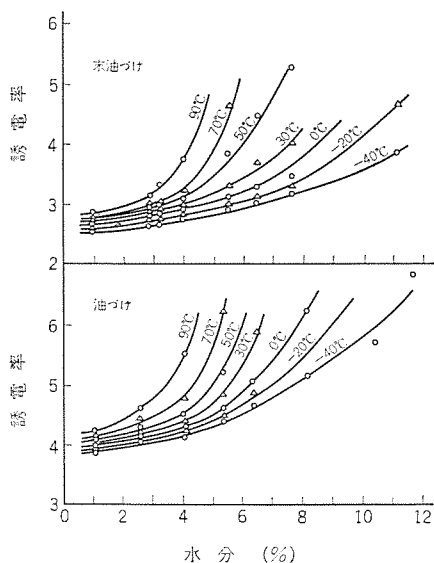


図 4.2 プレスボードの誘電率と水分  
Effect of adsorbed water on dielectric constant of pressboard.

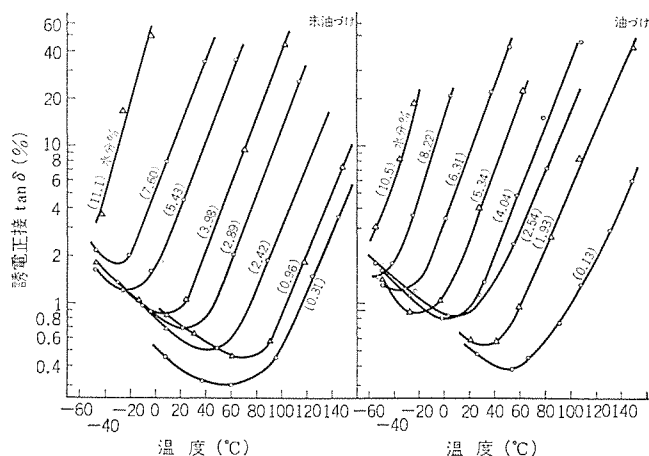


図 4.3 プレスボードの誘電正接と温度  
Effect of temperature on  $\tan \delta$  (%) of pressboard.

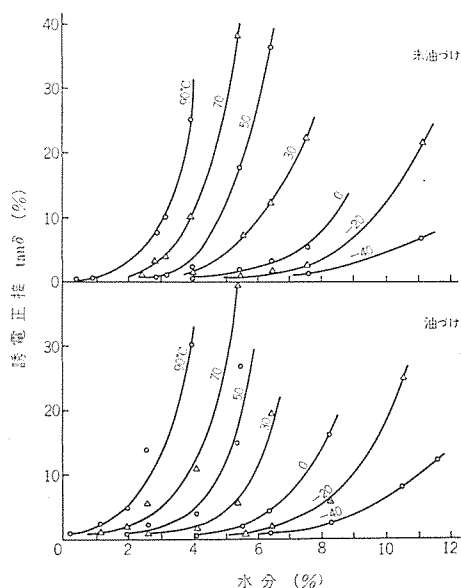


図 4.4 プレスボードの誘電正接と水分  
Effect of adsorbed water on  $\tan \delta$  of pressboard.

さくなる。0°C 以下で誘電正接が不連続な変化を示すところはない。

このデータを水分に対してプロットしてみると図 4.4 のようになる。この場合も水分に対しプレスボードの誘電正接が連続に変化する点は見当たらない。

## 5. プレスボードの吸湿機構と電気的性質

紙のようなセルロース質材料を一定温度で吸湿させると、その飽和吸湿量は、図 5.1 の曲線 I に示すような相対湿度に対し逆 S 字形となることはよく知られているところである。

これを説明する理論式として BET の多分子層吸着式がある。これは吸着機構をつぎのように考える。セルロース質材料に水が吸着される場合、セルロース中に一定数の吸着点があるとする。たとえばこの場合セルロース分子の非晶質部分における水酸基を吸着点と考えてもよいであろう。ここへ水が空間からやってきてまづ吸着されるのであるが、吸着された水分子はまた空間へ逃げだそうとするから、どの程度吸着点が満たされるかは試料がさらされている空間の相対湿度によってきまるのである。相対湿度が高くなると、吸着された水の上にさらに水分子が吸着される。これが多分子層吸着である。この多分子層吸着は、セルロース分子の吸着点がすべて満たされない前からおこる。逆 S 字形を描くのはこの多分子層吸着のためである。単分子層吸着だけがおこるとすると図 5.1 の曲線 II のようになる。直接セルロース分子に単分子層的に吸着される水の吸着熱は、この水の上にさらに多分子層的に吸着される水分子の吸着熱と異なると考えられている。吸着熱は吸着分子の結合エネルギーと考えられるから、単分子層的に吸着された水と多分子層的に吸着された水の結合エネルギーは異なる。これが吸湿した紙の電気的性質に何か関係がないか。

単分子層吸着は Langmuir の吸着式により次式で示される<sup>(6)</sup>。

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{a} \left\{ 1 + \frac{1}{P} \exp \left( \frac{\phi}{RT} \right) \right\} \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで  $x$  は単分子吸着量、 $P$  は吸着される物質の空間における濃度、 $\phi$  は吸着熱、 $R$  はガス恒数、 $T$  は絶対温度、 $a$  は材料に固有な定数である。

プレスボードの吸湿機構を考える場合、 $P$  は相対湿度をとってよいであろう。一定温度でプレスボードの飽和吸湿量と相対湿度の関係を求め、 $1/x$  と  $1/P$  を両軸にとってプロットし、直線関係がみられる範囲では単分子層吸着のみがおこっており、直線関係のはずれるところから多分子層吸着がはじまるとみることができる。

温度をかえてプレスボードの飽和吸湿量を測定してみると、図 5.2 のようになる。相対湿度が同じであっても温度が高くなると飽和吸湿量はやや減少するのである。

このデータを飽和吸湿量の逆数と相対湿度の逆数を両軸にとってプロットしてみると図 5.3 のようになる。温度に関係なく相対湿度 25% までは直線関係にあるから、この点までは単分子層吸着で吸湿され、これ以上の相対湿度になると多分子層的に吸着される水分が加わると考えられる。

これらのデータより、単分子層吸着が行なわれる図 5.3 の直線部分は次式で示される。

$$\frac{1}{x} = 0.153 + 147 e^{-\frac{2500}{RT}} \left( \frac{1}{RH\%} \right) \dots \dots \dots (5.2)$$

相対湿度 25% におけるプレスボードの飽和吸湿量は温度によって異なる。式 (5.2) より相対湿度 25% におけるプレスボードの飽和吸湿量

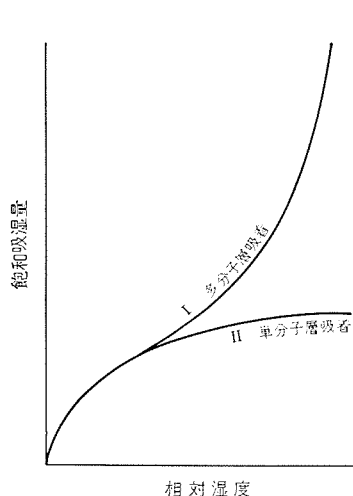


図 5.1 紙の吸湿機構  
Water adsorption of paper.

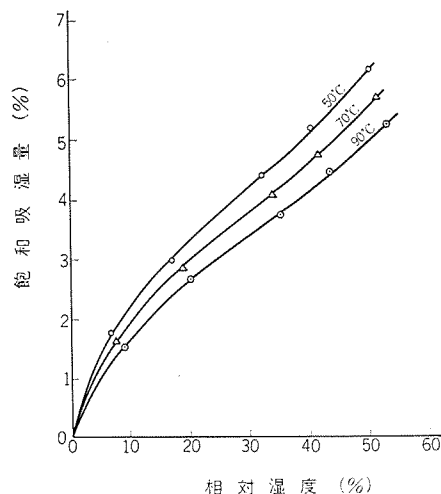


図 5.2 プレスボードの飽和吸湿度と相対湿度  
Water adsorption of pressboard.

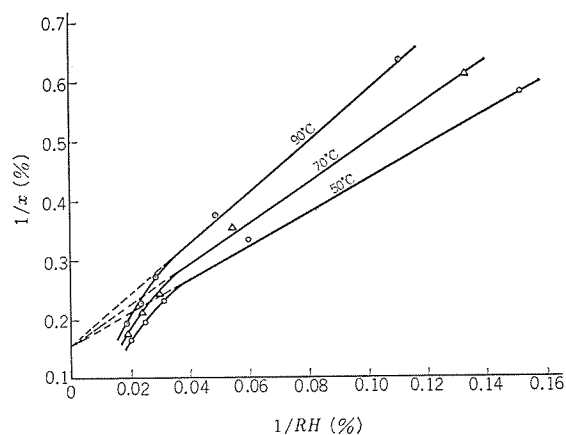


図 5.3 式 (5.2) における  $1/x$  と  $1/RH$  の関係  
Plotting of  $1/x$  vs.  $1/RH$  in equation (5.2).

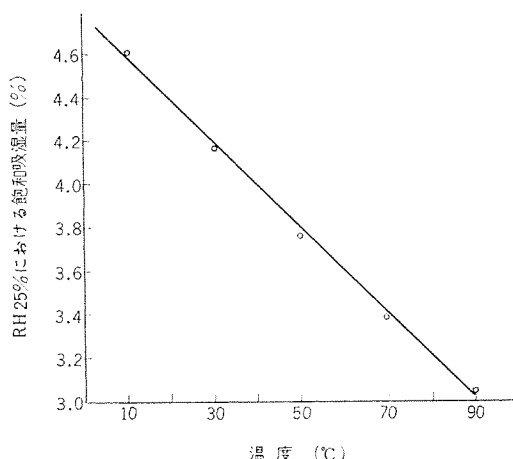


図 5.4 RH 25% における プレスボードの飽和吸湿度  
Water absorption of pressboard at RH 25%.

を求めてみると図 5.4 のようになる。温度が高くなるとプレスボードの多分子層吸着が吸湿度の少ないところから始まる。

図 2.4 に示したプレスボードの交流破壊電圧が急激に低下し始める水分量は、プレスボードが多分子層的に水分を吸着し始める吸湿度とよく一致している。温度が高くなると破壊電圧が急激に低下し始めるプレスボードの水分が小さくなるのは、多分子層吸着が始まる吸湿度が温度が上がるとともに小さくなるのによく対応しているのである。これらの点よりセルロース分子に直接結合している水は、あまり交流破壊電圧を下げず、多分子層的に吸着した水が破壊電圧に大きな影響をもつものと考えられる。しかしインパルス破壊電圧にはこの関係が見られない。電圧の印加時間が短いからかも知れない。またプレスボードの体積抵抗率、誘電率および誘電正接も多分子層吸着が始まる点とよく変化は見られなかった。

## 6. む す び

変圧器をどこまで乾燥したらよいか、乾燥程度をいかにして知るかのためやすとして、未油浸および油浸プレスボードの乾燥度と電気的性質の関係を検討した。

交流破壊電圧は、短時間破壊電圧も 1 分間破壊電圧もプレスボード

の水分が約 3% 以下になるとあまり変化しない。インパルス破壊電圧は、水分が少なくなればなるほど上昇するが、微量水分の除去により急激に上昇するということはない。これらの点よりみるとプレスボードを高度に乾燥する必要はないように見えるが、機械的強度よりみたプレスボードの熱劣化に対しては、微量の水分が大きな影響をもつことが知られている。

乾燥程度を知るには普通、変圧器の絶縁抵抗と誘電正接が測定されるが、これらの基礎試料としてプレスボードの乾燥度と体積抵抗率、誘電率および誘電正接の関係をもとめた。体積抵抗率は水分・温度の関数として比較的簡単な式で表わすことができる。

乾燥問題をなれて近ごろ、変圧器を寒地で使用する要求が多くなったため、プレスボードの 0°C 以下の電気的性質を測定したが、水分を含んだプレスボードでも 0°C 以下でとくに変わった点は見られず、すぐれた電気的性質を示した。

プレスボードの吸湿は吸着理論からみて、セルロース分子の吸着点に直接吸着される水分と、この水分の上にさらに吸着される水分にわけられる。低い相対湿度では、セルロースに直接吸着される水分のみであるが、相対湿度が 25% 以上になると、この上に多分子層的に吸着された水分が加わり始める。

プレスボードの交流破壊電圧が急激に低下し始める水分量は、この多分子層吸着が始まる水分とよく一致しているのが見られた。インパルス破壊電圧、体積抵抗率、誘電率および誘電正接といったような電気的性質では、このような関係が見られなかった。

## 参 考 文 献

- (1) 白井, 原: 三菱電機技報, 29, 464 (昭 30)
- (2) 石井, 白井: 電学誌, 87, 2, 184 (昭 42)
- (3) T. E. Constandinous: ERA Report Ref. V/T 148 (1962)
- (4) T. E. Constandinous: ERA Report No. 5008 (1963)
- (5) F. M. Clark: Insulating Materials, 268 (1962)  
John Wiley & Son, Inc.
- (6) 水島: 物理化学, 4, 1, 064 (昭 31)

# ドリル樹脂処理乾式変圧器

福田 信夫\*・稲村 晴雄\*

## Doryl Varnish Treated Dry Type Transformers

Itami Works Nobuo FUKUDA・Haruo INAMURA

The latest development of materials made from high molecular compound is really wonderful. Those used for dry type transformers have gone through bewildering changes. Doryl resin is aromatic organic high molecular material newly developed for making up for the drawback of silicone resin which has long been used for dry type transformers. Making the most of excellent high temperature performance, heat resistivity, resistance against chemicals and insulation of Doryl resin, Mitsubishi has been using varnish made from this resin to apply to class H dry type transformers as a standard practice. The article deals with advantages of transformer of this type and gives a brief introduction to the application of dry type transformers with several examples.

### 1. ま え が き

最近の高分子材料の発展にはめざましいものがあり、乾式変圧器に使用される材料もめまぐるしく変遷をたどっている。ドリル樹脂は、アメリカウエスチングハウス社で開発された耐熱性にすぐれた有機高分子であり、当社でも早くからその研究に着手し、すでにワニスの供給も安定し、乾式変圧器・乾式リアクトルその他電動機等に使用され、多くの実績をあげるに至った乾式変圧器を中心として、その概要を紹介する。

### 2. ドリル樹脂

ドリル樹脂は、主鎖骨格にジフェニルオキシドをメチレン架橋した芳香族系高分子で、別名ジフェニルオキシド樹脂あるいはジフェニルエーテル樹脂とも呼ばれる。耐熱性はH種絶縁に相当する。これまでH種器の絶縁ワニスは、実用的にはシリコン樹脂に限定されていたと表現しても過言でないと思われるが、ドリル樹脂の適用により、当社では、シリコン樹脂の代替品として数々の特長を生かした適用を行なっている。とくにH種乾式変圧器には、標準ワニスとして使用しているものである。

なお参考までにアメリカウエスチングハウス社では、乾式変圧器のほとんどは、シリコン樹脂からドリル樹脂に置きかえられている。ドリル樹脂が注目されるに至ったのは、雑誌 *Insulation* (1962年10月)にその概要が紹介されて以来であるが、国内においては、当社のほか、丸正産業等で Sample を入手して、その絶縁性・実用性について検討が進められたものである。ドリルワニスは、Dupon社で開発されたML樹脂(別名ポリイミド樹脂)などどのように、主鎖にベンゼン環を持つ耐熱性にすぐれた有機高分子であるが、原料が容易に入手できること、常温保管の条件でもシリコンと同程度の化学的安定性を有し、また、溶剤的にも安価なトルエンの使用が可能であるため、適用範囲が広く、電気機器用熱硬化性ワニスとしては比較的有利な条件を備えている。

### 3. ドリル樹脂処理乾式変圧器とその特長

H種乾式変圧器に使用される絶縁物としては、マイカ・アスベスト・ガラス積層板・ガラス積層管・ワニス処理ガラスクロス等があるが、ワニスの全材料コストに占める割合は、数パーセントであると推定される。ドリ

表 3.1 ドリル樹脂(a)の電気的性質  
Electrical properties of Doryl resin.

| 条 件                  | 体積固有抵抗<br>$\rho(\Omega\text{-cm})$ | 絶縁破壊電圧<br>(kV/0.1 mm) | $\tan \delta(b)$<br>(%) | $\epsilon(b)$ |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| 常 態                  | $3.2 \times 10^{15}$               | 11.4                  | 0.61                    | 1.81          |
| 熱 水 劣 化 100°C, 6 h   | $1.4 \times 10^{14}$               | 9.6                   | 1.85                    | 1.84          |
| 浸 水 25°C, 24 h       | $1.3 \times 10^{14}$               | 10.6                  | 1.45                    | 1.86          |
| 加 熱 劣 化 250°C, 300 h | $2.6 \times 10^{15}$               | 12.4                  | 0.4                     | 2.1           |

注) (a) 200°C, 4 h 硬化のもの  
(b) 60 c/s.

ル樹脂は、Bステージでも安定であるため、コイル含浸ワニス以外に、マイカ・アスベスト・Nomex・ガラス布等の積層ワニス、または、成形ワニスとしても使用できるので、乾式変圧器の構成絶縁物をすべてドリルワニスで処理することが可能である。乾式変圧器への適用方法を紹介しますと、つぎのようなものとなる。表 3.1 にドリル樹脂の電気的性質を示す。

#### 3.1 コイル含浸ワニス

乾式変圧器のワニス含浸は、コイルの吸湿による絶縁劣化を防止するためと、じんあいや腐食性ガスに対する保護被膜を形成すること、また樹脂の強固な接着力は、コイルの機械的強度を大とし、短絡時の熱的・機械的ショックに対しても強い耐久力を持たせる役目を果している。ドリル樹脂は、シリコン樹脂に比べて、耐薬品性にすぐれているので、腐食ガス性に対しても抵抗力が大である。表 3.2 に硬化したドリルと、シリコンとの耐溶剤性の比較を示す。H種機器は、常時高温にさらされるので、ドリル樹脂のすぐれた高温特性は、コイルの機械力向上に効果的であり、従来のシリコン樹脂処理乾式変圧器に比べて短絡機械力に対する強度の向上が期待できる。ドリルの耐熱評価はすでに多くの文献にも発表されており、当社でも実験的にモデルコイル・モデル変圧器を製作した結果では、H種ワニスとして満足すべきものであることを確認している。耐熱評価を行なうため加熱減量を測定する方法があるが、図 3.1 に示すごとくすぐれた耐熱性を持っている。耐水性については、化学的にもフェノール樹脂のように吸水性のフェノリック水酸基を有しないので、吸水により絶縁性を低下するおそれはない。また、高温下で水分が存在してもシリコンのように加水分解を生じない。シリコンおよびドリル樹脂により処理したモデルコイルを試作し、相対湿度 90%、常温にして長期間保管し、絶縁耐力を測定したが、絶縁破壊値には、処理ワニスの違いによる

破壊電圧の差異はみられなかった。一般的に シリコンワニス に比べて ワニスの付着がよく厚い被膜が形成できる。

### 3.2 ガラス巻線の焼付けワニス

ドリルワニス は可とう (撓) 性には若干欠けており、ML 樹脂のように裸銅線への直接焼付には適用できないが、適当な条件を与えることにより、H 種二重ガラス巻銅線の焼付ワニスとしては十分実用可能である。図 3.2 に、シリコン処理ガラス巻線との比較劣化試験結果を示すが、シリコン処理ガラス巻線との差異はみられない。一般にシリコン樹脂は、異種絶縁物に対してなじみが悪く、シリコン処理ガラス巻線に直接ドリル樹脂を含浸すると、ワニスをはじく性質もある

表 3.2 ドリルとシリコンの耐溶剤性の比較  
Comparison between chemical and solvent resistance of Doryl and silicone.

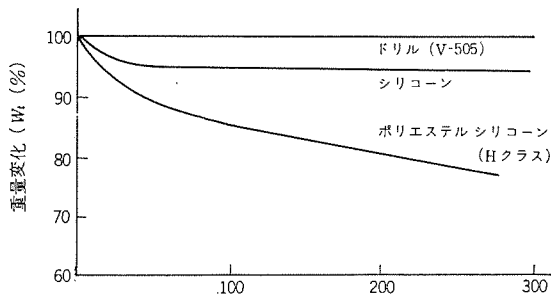
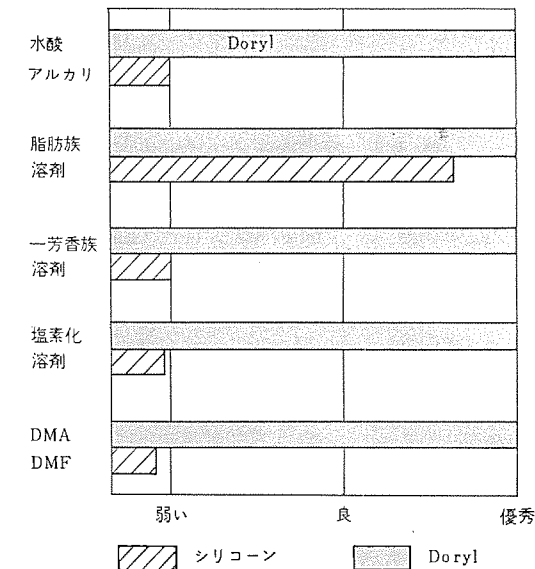


図 3.1 H クラス樹脂の加熱重量減少  
Weight decrease curves of class H resins.

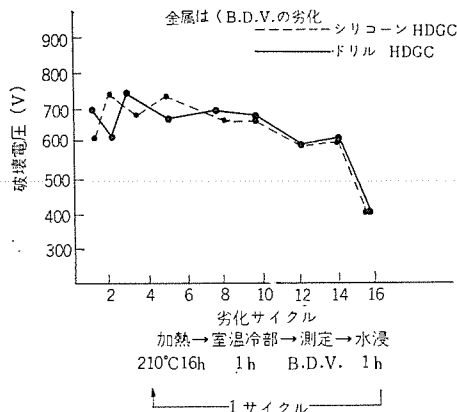


図 3.2 H クラス電線の劣化試験  
Change of B. D. V of class H doubleglass covered wire by heat cycle test.

ので、ドリルとシリコンとの混用はできるかぎりさけるのが望ましい。試験結果では、ドリルガラス巻線の上にはシリコン樹脂の付着は良好であり、ドリルガラス巻線は、含浸ワニスに左右されずに適用可能である。

### 3.3 ドリル積層品への応用

乾式変圧器には、絶縁筒・絶縁板・絶縁スパーサ等が構成材料として用いられるが、ドリル樹脂はとくに積層品としてすぐれた特性を持っており、三菱電機技報 Vol. 40, No. 7, 昭和 41 年に詳述されているので説明は省略する。とくに耐薬品性・耐ガス性にすぐれているので、ガス絶縁変圧器に適用する場合は、シリコン積層品より有利であり、機械的にも電気的にも安定な構成材料として推奨される。

### 3.4 ガラスマイカ、Nomex 等の接着樹脂

ドリル樹脂は、はがしマイカの接着ワニスとしても使用できる。これは前述のように B ステージでも安定であるため、その応用範囲が広いことを示すものである。ただし、ドリルワニスには若干の不均一触媒を含むので、マイカの製造工程上スプレーによる吹付けの際、目詰りを生じたこともあるが、製造工程の改善と不均一触媒を含まないクリアドリルが開発され、現在ではマイカ接着ワニスとして広く使用されている。Nomex は、マイカ代替品として、Dupon 社で開発されたポリアミド系絶縁物であるが、ドリルワニスとのなじみ性はよく、今後かなり広く適用される可能性を持つものである。

## 4. ドリル樹脂の取扱いについて

ドリル樹脂は、シリコン樹脂とどのようにその適用範囲は広く、当社では完全ドリル処理の乾式変圧器を多数製作している。図 4.1, 4.2 にその製品の一例を示す。国内での供給価格はまだ十分に安価とはいえないが、需要が大となれば、さらに乾式変圧器の cost 低減に効果のあるものと推定される。このワニスの短所としては、若干発泡性が大であるため、含浸ワニスの焼付条件を考慮する必要がある。含浸ワニスの焼付温度と時間を調整しなければならない。多少可とう性には欠けるが、試作変圧器による振動試験・冷熱試験でも、簡単にクラックのはいることもなく、良好な試験結果を得た。むしろそのすぐれた高温特性を高く評価するべきと思われる。ドリル樹脂は、化学的に安定であるが、保存タンクに鉄材を用いる場合はゲル化が早くなるので、タンク内面にエポキシコーティング、またはガラスコーティングを施すことが望ましい。現在では H 種クラス絶縁ワニスとして高く

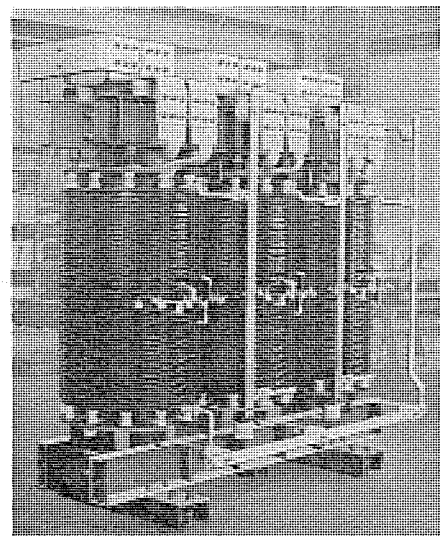


図 4.1 ドリル処理乾式変圧器  
Doryl vanish treated dry type transformer.

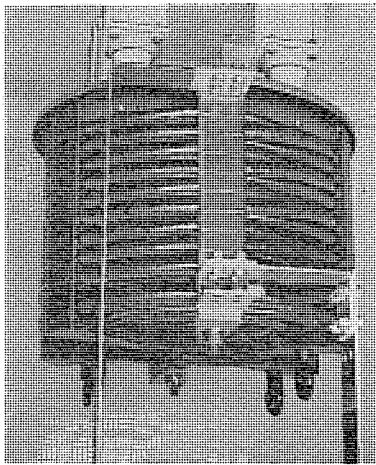


図 4.2 ドリル処理空心リアクトル  
Doryl vanish treated dry type coreless reactor.

評価されているが、各種の変成ドリル樹脂の製造も可能であり、乾式変圧器の構成材料でも単に構造的に用いられ温度の上らない個所には、耐熱性を若干犠牲にしても、可とう性にすぐれ、加工性のよい変成ドリル樹脂の使用が推奨される。これらの変成ドリル樹脂は従来のF種・B種樹脂と価格的にも十分対抗しうるものであり、最近のように都市の公害が問題になるような悪環境、化学工場のように腐食性ガスの存在する条件のもとでも、信頼度の高い乾式変圧器が供給できるものと思われる。真空含浸を行なう場合には、温度を50°C以下に保ち、あまりに真空度を下げすぎないほうが望ましい。むしろ加圧含浸を確実にこなうほうが、すぐれた電氣的性質のコイルが製作できるといえる。

## 5. ドリル樹脂の応用

ドリルワニス は、アルミ 導体とのなじみ性もよく、アルミ 変圧器を製作

する場合は、その強固な高温特性でもってアルミ 導体を接着するので、機械的強度のすぐれた変圧器の製作が可能である。アルミ二重ガラス巻銅線は現段階ではかなり高価であり、必ずしも銅変圧器より有利とはいえないが、アルミの欠点である機械的強度を補うのには好都合であるといえる。変圧器に使用される金具類には、一般にさびどめ塗装が施されるが、ドリル樹脂は塗料としても適用ができるので、当社ではシリコン系絶縁物をまったく使用しないドリル乾式変圧器の製作が可能である。

## 6. む す び

乾式変圧器の進歩は、ひとえに耐熱性にすぐれ、かつ安価な材料の開発にかかっている。ドリル樹脂は、従来のH種乾式変圧器に使用されたシリコン樹脂にかえて使用できるものであり、従来のシリコン樹脂の短所を補い、乾式変圧器のような静止機器への適用には多くの有利な特性をもっている。乾式変圧器・リアクトル等に適用して、すでに400台余の実績を上げているが、満足すべき結果を得ている。ただ、この樹脂を焼付けたコイルは、シリコン樹脂のようなあめ色にはならず、黒色を呈するので外観は若干趣をかえる。今後、需要家各位のご理解を得て、さらにその使用が拡大され、安価な乾式変圧器が市場に供給できるよう期待するものである。製作に携わるものとして以上簡単に紹介したが、この変圧器の製作にあたりご協力をいただいた当社中央研究所・工作関係技術者に感謝するものである。

## 参 考 文 献

- (1) 清水、福田：昭42連大，No. 733
- (2) 西崎、江藤、小山、坂井：三菱電機技報 40，No. 7 (昭41)
- (3) 西崎：プラスチック 15，No. 7

## マイクロ波によるプラズマ診断

小 村 宏 次\*

## Diagnosis of Plasma by the Microwave Technique

Central Research Laboratory

Hirotugu KOMURA

The electron density and gas temperature in a supersonic argon plasma flow have been measured by the microwave technique and also by using spectroscopically the relative line intensities.

It has been found from the experiment that the electron recombination process is in a frozen state in the fully developed expansion region, but electron diffuses out according to the ambipolar diffusion to the wall of the supersonic nozzle; on the expansion process of plasma, electron disappearance by the ambipolar diffusion is much more predominant than that by three body recombination.

## 1. ま え が き

高温電離気体を断熱的に膨張させ、超音速プラズマ流体を得る方法は、超音速、高エンタルピのプラズマ風洞(洞)を作るときに慣用の手段である。ところが、高温電離気体を断熱的に膨張させる過程では、プラズマ構成粒子が凍結している状態が考えられる。この凍結現象はプラズマ粒子の緩和過程において、通常の熱的平衡状態の仮定を否定するものである。

筆者らは、従来プラズマジェットを用いた超音速プラズマ流の発生および分光器によるその温度測定などの研究<sup>(1)</sup>を行ってきたが、今回さらに、50 Gc のマイクロ波プラズマ診断装置を試作し、これを用いて電子密度と電子—中性原子間の衝突周波数の測定を行なった。

すなわちアルゴンの超音速プラズマ流について、これらの診断装置を駆使してその電子密度、衝突周波数および温度を測定したところ、電子密度と温度との間には通常の Saha 平衡式が成立していないという非常に興味ある結果が得られた。

本論文では、電子の凍結状態の検証が主目的となっているが、マイクロ波によるプラズマ診断の一般的な理論にも考察が加えられている。

## 2. プラズマ診断の理論

本章では、マイクロ波による電子密度と衝突周波数の測定、分光器による平衡温度の測定についてのべる。

## 2.1 マイクロ波によるプラズマ診断

Margenan によって行なわれた次の仮定<sup>(2)</sup>のもとに議論を進める。

(1) 電子と中性原子との衝突は弾性衝突である。イオンの運動は無視する。

(2) 電子の平均自由行程はエネルギーによらず一定である。

(3) 静電波、電磁流体波とマイクロ波の相互作用は考えない。

(4) マイクロ波のエネルギーは摂動程度に小さい。

マイクロ波がプラズマ中を伝ば(播)するとき、電子は揺動を受けるが、これは

$$m \frac{dv}{dt} + m\nu_c v = -\frac{e}{c} (E + v \times B_0) \quad (2.1)$$

で与えられる。ここで  $m$ ,  $e$ ,  $v$  はそれぞれ電子の質量・電荷・速度であり、 $\nu_c$  は電子と中性原子との衝突周波数、 $E$  はマイクロ波の高周波電場、 $B_0$  は外部磁場である。また  $c$  は光速で、単位系として CGS 電磁単位をとっている。

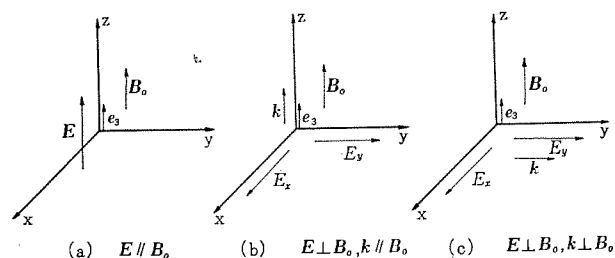


図 2.1 定常磁場  $B_0$ 、マイクロ波電場  $E$  および伝ばベクトル  $k$  の配位  
Configuration of applied magnetic field  $B_0$ , electric field of microwave  $E$  and propagation vector  $k$ .

式(2.1)の左辺の第2項は、電子が中性原子との衝突によりそのエネルギーを失うことを示している。式(2.1)を

$$j = -\frac{e}{c} n_e v \quad j: \text{電流密度}$$

$$\omega_P^2 = \frac{4\pi n_e e^2}{m} \quad \omega_P: \text{プラズマ周波数}$$

$$\omega_C e_3 = -\frac{e}{mc} B_0 \quad \omega_C: \text{サイクロトロン周波数}$$

$$e_3: B_0 \text{ 方向の単位ベクトル}$$

で置き変えると

$$\left( \frac{d}{dt} + \nu_c + \omega_C e_3 \times \right) j = \frac{\omega_P^2}{4\pi c^2} E \quad (2.2)$$

となる。一方 Maxwell の式はプラズマ中の電磁波に対して次の式を与える。

$$\nabla^2 E - 4\pi c^2 \nabla \rho = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + 4\pi \frac{\partial j}{\partial t} \quad (2.3)$$

ここで  $\rho$  は電荷密度であるがプラズマの中性が仮定できるので、通常この項は0として取扱ってよい。式(2.2)と式(2.3)からマイクロ波の伝ばベクトルに対する分散式が得られるが、これは外部定常磁場  $B_0$  の方向とマイクロ波の偏光方向との相互配位により異なり(図2.1), 次のようになる。

(a)  $B_0=0$  または  $E // B_0$  のとき

$E, j \sim e^{i(\omega t - k \cdot r)}$  とおき、図2.1(a)のベクトル配位にしたがってベクトル計算を行ない、 $E$  あるいは  $j$  のベクトル成分に関する代数計算を遂行すると次の分散式を得る。

$$k^2 = k_0^2 \left\{ 1 - \frac{\omega_P^2}{\omega^2} \frac{1}{1 - i \frac{\omega_C}{\omega}} \right\}$$

$$= k_0^2 \left\{ 1 - \frac{\eta}{1 - i\beta} \right\} \quad (2.4)$$

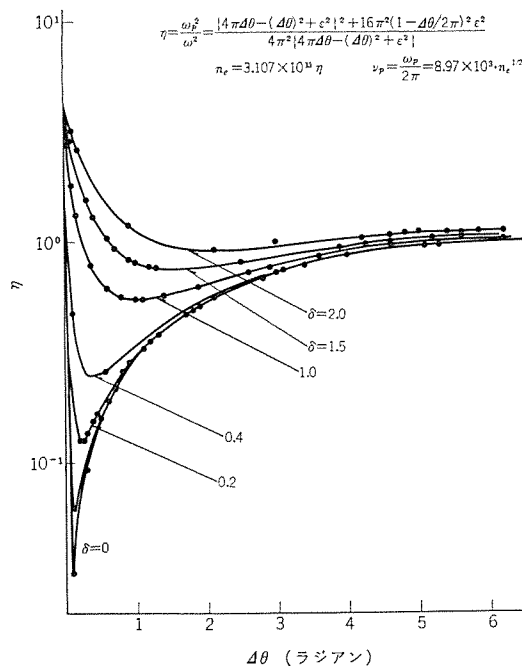


図 2.2  $\eta$  の計算  
Calculation of  $\eta$  as a function of  $\Delta\theta$  and  $\delta$ .

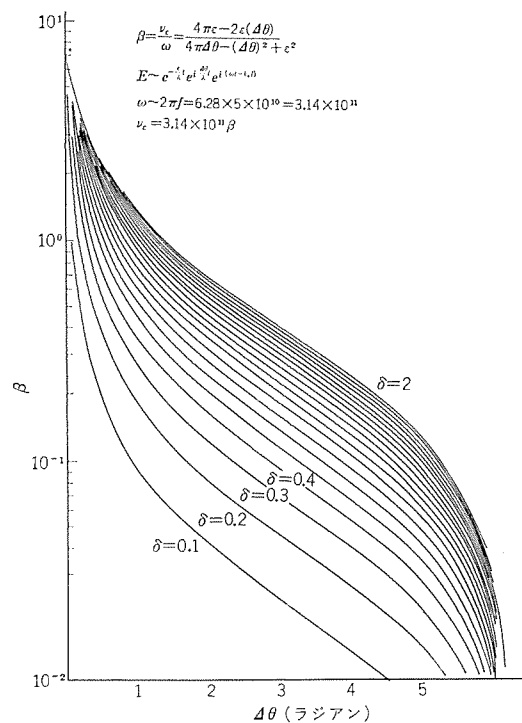


図 2.3  $\beta$  の計算  
Calculation of  $\beta$  as a function of  $\Delta\theta$  and  $\delta$ .

ここで  $k_0 = \omega/c$  は真空中での波数ベクトル  $\eta = \omega_p^2/\omega^2$ ,  $\beta = \nu_e/\omega$  であり,  $\omega$  はマイクロ波の角周波数である。

(b)  $E \perp B_0$ ,  $k \parallel B_0$  のとき

(a) の場合と同様な方法で代数計算を行なうと次の分散式を得る。

$$k^2 = k_0^2 \left\{ 1 - \frac{\eta}{1 \pm \gamma - i\beta} \right\} \dots \dots \dots (2.4)$$

ここで  $\gamma = \omega_c/\omega$  である。

この場合は、電磁波は円偏光を受けるが、 $\gamma$  の前の符号は円偏光の回転方向が電子のサイクロトロン運動の方向と逆(正常波)および同方向(異常波)に対応している。 $B_0 = 0$  すなわち  $\gamma = 0$  のときは式

(2.4) と一致する。

(c)  $E \perp B_0$ ,  $k \perp B_0$  のとき

この場合は図 2.1(c) に示すように  $E$  の  $k$  方向の成分が生じる。この成分は  $\nabla \times \nabla \times E = 0$  なるため、式 (2.3) の代わりに

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial E_k}{\partial t} + 4\pi j_k = 0$$

を用いるべきである。複雑な代数計算の結果

$$k^2 = k_0^2 \left\{ 1 - \frac{\eta(1 - \eta - i\beta)}{(1 - \eta - \gamma^2 - \beta^2) - i\beta(2 - \eta)} \right\} \dots \dots \dots (2.6)$$

を得る。ただしこのときは縦波が生じ、プラズマの中性の仮定が破られる可能性があり、 $\text{div } E = 0$  は検討を要する。

通常のプラズマ診断には、(c) のようなベクトル配位はさけられるので、(a) および (b) の場合について計算すれば十分である。

筆者は、 $\gamma = 0$  の場合、すなわち外部磁場がない場合、マイクロ波がプラズマを透過したときの位相のずれ  $\Delta\theta$  および減衰量  $\delta$  を与えて、電子密度と衝突周波数を求めるチャートを計算で求めたがこの結果を図 2.2 と図 2.3 とに示す。

## 2.2 分光器による温度測定

プラズマからふく(輻)射されるスペクトル線の相対強度を測定することによりプラズマの温度が決定される<sup>(3)</sup>。波長  $\lambda$  に対するスペクトル強度は Boltzmann の熱平衡分布を仮定すると

$$I_\lambda \propto A_n^m g_m \lambda Z_0^{(i)} e^{-\frac{E_m}{kT}} \dots \dots \dots (2.7)$$

で与えられる。ここで  $A_n^m$  は遷移確率、 $g_m$  は励起レベルの縮退度、 $Z_0^{(i)}$  は励起に対する状態和、 $E_m$  は励起状態のエネルギー、 $k$  は Boltzmann 定数である。 $Z_0^{(i)}$  の温度に対する依存度は弱いので式 (2.7) は

$$\ln \frac{\lambda I_\lambda}{A_n^m g_m} = \text{const.} - \frac{1}{kT} E_m \dots \dots \dots (2.8)$$

で表わされ、 $E_m$  に対する  $\ln I_\lambda / A_n^m g_m$  の直線関係が得られる。 $A_n^m g_m$  および  $E_m$  の知られているスペクトル線を用いれば式 (2.8) の直線のこう配からプラズマの温度が決定される。

筆者はアルゴンからふく射されるスペクトル線を用いてプラズマ温度の決定を行なっている。

## 3. 実験装置

筆者が実験に用いた装置の模式図を図 3.1 に示す。使用した気体はアルゴンである。図 3.1 において、プラズマジェットにより加熱されたアルゴンプラズマは、整流室にたくわえられ、ノズルを通して、低圧測定室に自由噴出されたのち(図 3.2) 熱交換器および真空ポンプを経て大気中に排出される。用いたノズルは、スロート直径 5 mmφ、出口直径 20 mmφ のものである。電源は短絡発電機の出力を三相グレッツ整流したもので、プラズマジェットへの投入電力は 400 A × 22 V に設定し以下の測定を行なった。

また排気装置にはロータリーポンプを用い、測定室圧力 30 mm Hg の連続使用で 12 l/min の排気速度をもつものである。装置は、プラズマジェット発生装置、整流室、ノズルなどすべて高圧冷却水で冷却している。アルゴンガス流量を 12 l/min に設定したときの測定室内での真空度は 30 mmHg、ノズルの上流側の整流室内の圧力はほぼ 300 mmHg であった。

このような条件のもとで、図 3.1 に示すような配置にマイクロ波診断装置および分光器をセットし、電子密度と温度の同時測定を行

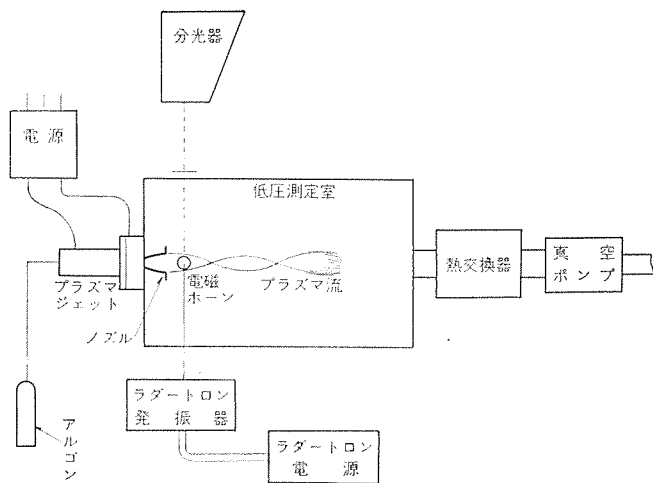


図 3.1 装置の系統  
Schematic diagram of setup.

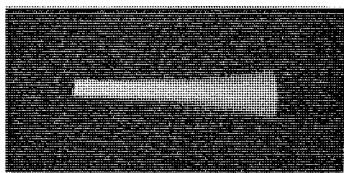


図 3.2 アルゴンプラズマの超音速流  
Supersonic flow of Argon plasma.

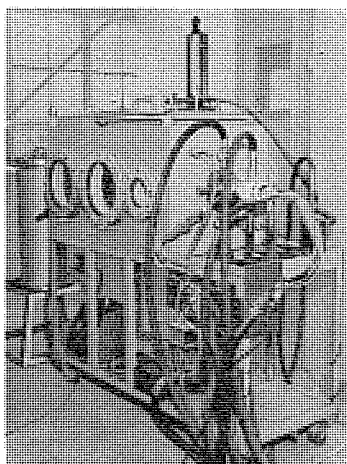


図 3.3 実験装置の外観  
Exterior view of experimental apparatus.

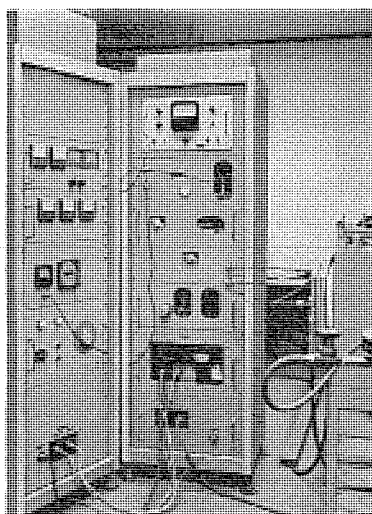


図 3.4 マイクロ波診断装置  
Diagnostic tool of 50 Gc microwave.

なった。測定位置はノズル開口面から3 cm 離れた部分である。実験装置の概観および50 Gcのマイクロ波診断装置を、それぞれ図3.3および図3.4の写真に示す。

マイクロ波診断装置による電子密度の測定に関して、通常行なわれる放電管などで境界壁からの反射波が生じることによる誤差をさけるため、電磁ホーンを測定室内にセットしている（ホーン間隔は約12 cm）。また50 Gcの発振管には当社の高出力ラダートロンを用いて1 W 程度の信号を与えているので、出力が20 mW のクライスロンを信号発生源として用いる場合に比べて、いわゆるS/N比がいちじるしく大きく、その結果測定精度が高くなっている。

またプラズマ温度の測定に用いた分光器はBeckmann & Whitly製で、ルーリングが150/mm、フィルム面上での分散度が164 Å/mm、分解能が約8 Å、中心波長が6,000 Å のグレイティングを内蔵している。プラズマの分光学的解析を行えば、温度以外に種々のプラズマパラメータを得ることができるが<sup>(4)</sup>、本論文では2.2節で述べた方法にしたがって、数本のスペクトル線の相対強度からプラズマ温度の測定を行なう目的のために分光器を使用している。

#### 4. 実験結果

電子密度および衝突周波数の測定には、マイクロ波ブリッジ回路を組み透過法を採用した（図4.1）。式（2.4）の分散式は、プラズマ中をマイクロ波が透過する際に、次のような位相のずれ $\Delta\theta$ および減衰量 $\delta$ を伴うことを示している。すなわち

$$k = k_0 \left( 1 - \frac{\Delta\theta}{2\pi} \right) - i \frac{\delta}{\lambda}$$

とおくと、厚さ $l$ のプラズマを透過したマイクロ波は

$$E \sim e^{i(\omega l - kx)} = e^{-\frac{\delta}{\lambda} l} e^{i \frac{\Delta\theta}{\lambda} l} e^{i(\omega l - k_0 x)}$$

のような変化を受ける。図4.1で、プラズマがあるときとないときの差が位相器および減衰器にあらわれるが、これらの読みから全位相のずれ $\Delta\theta \frac{l}{\lambda}$ 、全減衰量 $e^{-\frac{\delta}{\lambda} l}$ が測定できる。

筆者が行なった実験では $\lambda = 6$  mm、注意深く測定したプラズマ径は $l = 12$  mm $\phi$ であった。このようにして求めた $\Delta\theta$ と $\delta$ から図2.2の図表を使って電子密度と衝突周波数を算出すると、実験条件を一定にした多数回の測定の結果、図4.2に示すような値が得られた。これらの平均的な値を示すと

$$n_e \approx 1.3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$$

$$\nu_c \approx 1.5 \times 10^{11} / \text{s} \dots \dots \dots (4.1)$$

である。図4.2には窒素を少量混合したときの測定結果も示しているが、窒素の増加にしたがって電子密度がそれほど変化しないの

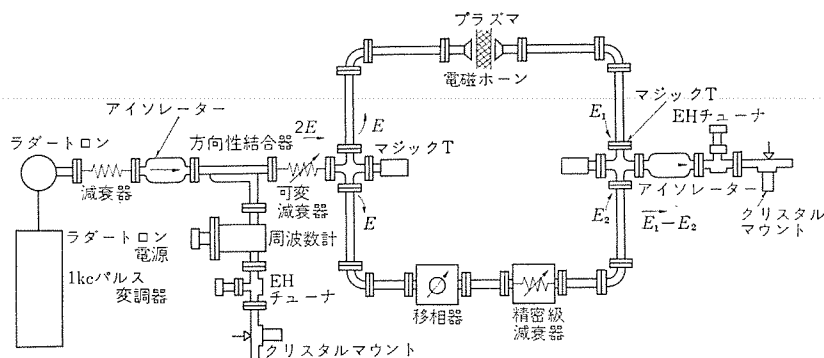


図 4.1 マイクロ波ブリッジ回路  
Bridge circuit of microwave (null method).

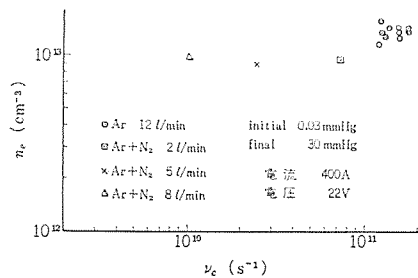


図 4.2 電子密度と衝突周波数の実測値  
Measured value of electron density and collision frequency.

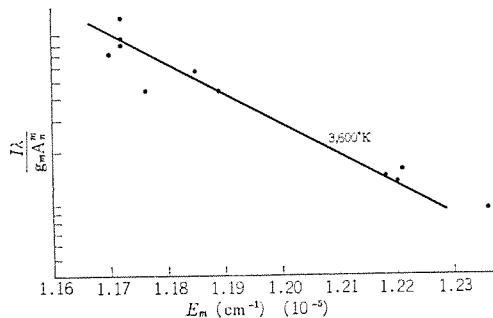


図 4.3 ArI のスペクトル線の励起エネルギーと対数強度図表  
Plotting of logarithmic intensity versus upper excitation potential of ArI line.

に対し、衝突周波数がいちじるしく減少することが明らかとなっている。

一方アルゴンプラズマからふく射される 4,300~5,000 Å の間の 13 本のスペクトル線を選出して、マイクロフォトメータによりその相対強度を測定した。相対強度の測定にあたって、用いたフィルム(超微粒子フィルム)の波長感度特性は上記の波長範囲内で一定であるとした。また  $g_m A_n^m$  の値は文献 Aeronautical Research Council-Current Paper #701 の値を用いた。このようにして得たスペクトル線の相対強度で式(2.8)の計算を行なうと図 4.3 に示すような直線関係が得られた。この直線のこう配から温度を求めると

$$T \approx 3,600^\circ\text{K} \dots\dots\dots (4.2)$$

という値が得られた。

筆者はまた、超音速プラズマ流の特性を定める重要なパラメータであるマッハ数の測定を行なった。マッハ数の値は頂角が 30° および 40° のくさび(楔)(材料はグラファイト)をプラズマ流にそう入し、くさびの先端から生じる衝撃波の傾き角をはかり、斜め衝撃波の理論式<sup>(5)</sup>

$$M^2 \sin^2 \beta - 1 = \frac{\mu + 1}{2} M^2 \frac{\sin \beta \sin \theta}{\cos(\beta - \theta)} \dots\dots\dots (4.3)$$

から求めた。ここで  $\mu = C_p/C_v$  であり、アルゴンでは  $\mu = 5/3$  である。また  $2\theta$  はくさびの頂角、 $\beta$  はくさびの中心軸から測った斜め衝撃波の角度である。数枚の写真データから求めたマッハ数の平均値は  $M \approx 1.95$  であった。

## 5. 検 討

アルゴンの超音速プラズマ流におけるプラズマ構成粒子の凍結現象について、前章の実験結果から興味ある結論が導き出せる。そのいくつかを本章において論じる。まず、プラズマジェットより発生されたプラズマ流が、整流室に貯えられ、超音速ノズルを経て低圧測定室に自

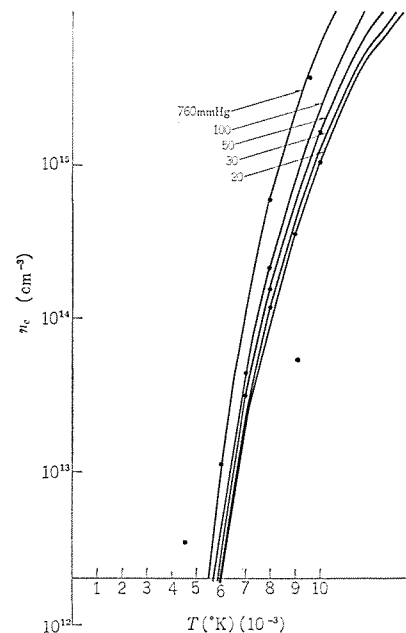


図 5.1 熱平衡状態における温度と電子密度との関係  
Electron density as a function of temperature in thermal equilibrium.

由噴出されるとき電子の消滅過程を流れの実質部分について考察する。

プラズマジェットのノズル電極出口近傍の電子密度は  $\sim 10^{17}/\text{cm}^3$ 、平衡温度は  $1.5 \times 10^4^\circ\text{K}$  であるが、整流室内では器壁による熱損失のため温度および電子密度が降下し、それぞれ  $1.2 \times 10^4^\circ\text{K}$  および  $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  となっていることが十分推測される<sup>(1)</sup>。超音速ノズルのスロート部分では  $M=1$  の音速点が実現し、温度は整流室温度の  $2/(\mu + 1)$  倍になる<sup>(5)</sup>。さて、ここまでのプラズマ流について熱平衡状態が実現しているものと仮定すると、以上の十分な根拠によりノズルのスロート部では、電子密度は  $1.4 \times 10^{15}/\text{cm}^3$  および平衡温度は  $9 \times 10^3^\circ\text{K}$  となっている。これより下流側では、プラズマは断熱膨張しその温度は下がる。前章で述べたように、筆者はノズルのスロート部より 7 cm 下流の電子密度、温度および流速の測定を行なっているが、次にプラズマ流の断熱膨張過程に議論を移す。

### 5.1 非平衡現象についての考察

低圧測定室での電子密度および温度[式(4.1)および式(4.2)の値]の間には通常の Saha 式と状態方程式

$$\left. \begin{aligned} \frac{n_e^2}{n_0} &= 2 \left( \frac{2\pi m k T}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_i}{kT}} & E_i: \text{電離電圧} \\ p &= (n_0 + 2n_e) k T & n_0: \text{中性原子の密度} \end{aligned} \right\} \dots\dots (5.1)$$

が満たされていないことがわかる。図 4.3 の直線性は Boltzmann の熱平衡仮定の妥当性を示しており、このこう配から求めた温度は、実はアルゴンの励起温度を与えるわけであるが、アルゴンのような単原子気体では励起温度は気体温度に等しいと考えてよい<sup>(6)</sup>。試みに、 $T = 4 \times 10^3^\circ\text{K}$  のときの電子密度を式(5.1)から求めると、 $p = 30 \text{ mm Hg}$  で  $n_e \approx 1.8 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  となり、(図 5.1 参照)、マイクロ波診断装置で測定した値と大きく異なっている。

この差異を説明するための一つに、プラズマ流が断熱膨張する際に気体温度は下がるが、電子温度は下りにくいとする一種の非平衡状態が実現しており、式(5.1)の温度としてこの電子温度をとるという考え方がある。Demetriades によれば<sup>(6)(7)</sup>、重い粒子との非弾性衝突により、単位時間、単位体積当りの電子が失うエネルギーは

$$R_{inel} = -\frac{3}{2}kn_e\delta\nu_c(T_e - T_g) \quad (5.2)$$

で与えられる。ここで  $T_e$  および  $T_g$  はそれぞれ電子温度および気体温度、 $\nu_c$  は衝突周波数、 $\delta$  は電子のエネルギー損失係数でアルゴンプラズマの場合、 $T_g = 4 \times 10^3 \text{ K}$  で  $\delta_A = 8.0 \times 10^{-5}$  である（実験値）。

$R_{inel} = 3kn_e/2 \cdot dT_e/dt$  として式 (5.2) から温度緩和式をもとめると

$$T_e - T_g = \text{const} \cdot e^{-\delta_A\nu_c t} \quad (5.3)$$

となる。測定点までの流れの実質部分の温度を  $4 \times 10^3 \text{ K}$  とすれば、電子の熱速度は  $v_e \approx 4.0 \times 10^7 \text{ cm/s}$ 、中性原子密度は  $n_0 \approx 7.2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  (圧力 30 mmHg)、および実質部分の流速は  $V = M\sqrt{\mu RT} \approx 2.3 \times 10^5 \text{ cm/s}$  となり、 $t = l/V \approx 3.0 \times 10^{-5} \text{ s}$ 、 $\nu_c \approx 1.5 \times 10^{11} / \text{s}$  [式 (4.1) の値] で評価すると、式 (5.3) で  $e^{-\delta_A\nu_c t} \approx 0$  となり、かりにノズルのスロート部分で非平衡状態が起こったとしても測定点までの間で十分緩和してしまうことがわかる。これに対して、 $\nu_c = v_e n_0 Q$  とし、Ar の衝突断面積について報告されている値  $Q \approx 2 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$  (8) をとると、 $\nu_c \approx 5.6 \times 10^7 / \text{s}$  となり、スロート部分での非平衡状態がそのまま測定点まで続くことになるが ( $e^{-\delta_A\nu_c t} \approx 1$ )、筆者の実験条件では不純物の存在による衝突断面積の増加があると考えられ、衝突周波数については式 (4.1) の測定値をとった前者の結果が実現しているものとされる。

McGregor と Brewer<sup>(9)</sup> は、プラズマジェットを用いた同様な実験で電子温度と気体温度とがよく一致していることを確かめている。

なお衝突周波数の測定値から逆算した実効的な衝突断面積は、 $Q_{eff} \approx 5.3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$  である。

非平衡現象が起こりうると思われるもう一つの根拠はマイクロ波による電子の選択的な加熱である。Bloch<sup>(10)</sup> は電子が高周波電場で加熱された場合、中性原子との衝突によるエネルギー交換も含めて、電子温度の上昇を理論的に求めている。彼の計算によると時間平均した温度上昇は

$$T_e - T_g = \frac{Me^2 E_0^2}{6m^2 \omega^2 k} \quad (5.4)$$

で与えられる。かりに  $1 \text{ W} = 10^7 [\text{V/cm}]^2 \cdot [\text{cm}^3/\text{s}]$  の高周波電場 ( $\omega = 3.14 \times 10^{11} / \text{s}$ ) がプラズマに与えられるとしても、式 (5.4) から得られる温度上昇は  $T_e - T_g \approx 2.2^\circ \text{ K}$  である。筆者らの装置では電磁ホーンからのマイクロ波出力はたかだか 0.1 W 程度である。

結局、プラズマ流の断熱膨張過程において、電子温度と気体温度は互いに平衡していると考えられる。したがって測定点で Saha 式が満たされていないことに対する説明は、他に求められなければならない。

## 5.2 電子凍結

超音速ノズルのスロアから下流のプラズマ流において、その実質部分内の電子が消滅する機構として、3体衝突による電子の再結合とノズル器壁への拡散とが考えられる。実質部分の電子に着目するとその消滅する割合は

$$\frac{Dn_e}{Dt} = \frac{\partial n_e}{\partial t} + V \nabla n_e = -\alpha n_e^2 + \nabla (D_{amb} \nabla n_e) \quad (5.5)$$

で与えられる。ここで  $\alpha$  は  $e + \text{Ar}^+ + \text{N} \rightarrow \text{Ar} + \text{N}$  なる3体衝突の反応割合 (反応の際その余剰エネルギーをもらう粒子 N としては、その数密度からいって Ar であると考えられる)、 $D_{amb}$  は双極性拡散係数および  $V$  は実質部分の流速ベクトルである。式 (5.5) は流れに関して、定常一次元流モデルを設定すると

$$V \frac{\partial n_e}{\partial x} = -\alpha n_e^2 + D_{amb} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} n_e \quad (5.6)$$

となる。残念ながら式 (5.6) は準線形方程式でその解を解析的に求めることはできない。そこで右辺を二つの項に分けて考察を加えることにする。

(a) 再結合による電子の消滅

式 (5.6) の

$$V \frac{\partial n_e}{\partial x} = -\alpha n_e^2$$

において、 $V$  および  $\alpha$  を一定とすれば、

$$n_e = \frac{V n_e^{(0)}}{\alpha n_e^{(0)} x + V} = \frac{n_e^{(0)}}{1 + \frac{\alpha n_e^{(0)} x}{V}} \quad (5.7)$$

となる。ここで  $n_e^{(0)}$  はスロート部での電子密度でほぼ  $1.4 \times 10^{15} / \text{cm}^3$  である。 $V \approx 2.3 \times 10^5 \text{ cm/s}$  とし、 $\alpha$  を Pitaevskii の理論式<sup>(11)</sup>

$$\alpha = \frac{32\sqrt{\pi}}{3} \cdot \frac{m^{1/2} e^6 n_0 Q_{eff}}{(kT)^{5/2} M} \approx 1.75 \times 10^{-12} (\text{cm}^3/\text{s}) \quad (5.8)$$

で評価すると、式 (5.7) から得られる観測点 ( $x = 7 \text{ cm}$ ) の電子密度は

$$n_e = \frac{n_e^{(0)}}{1 + 7.5 \times 10^{-2}} \approx 1.3 \times 10^{15} / \text{cm}^3$$

となり、測定値より2けたほど大きい値になっている。すなわち実質部分の流速が大きいと、再結合反応が十分行なわれず電子は凍結していることを示している。それでは電子がほとんど凍結するのに電子密度の測定値が2けたほど低い値を示すのは、どういうわけかという疑問が湧く。これに関して筆者は、ノズル器壁への電子の拡散消滅論を提案する。

(b) 双極性拡散による電子の消滅

式 (5.6) で  $lV/D_{amb} \gg \Delta n_e/n_e$  が成立するとき (後に求める  $D_{amb}$  を用いれば、上述のプラズマ流ではこの条件を満たしていることがわかる)、流れ方向への拡散項は無視してよい。すなわち拡散については

$$V \frac{\partial n_e}{\partial x} = D_{amb} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial n_e}{\partial r} \right) \quad (5.9)$$

で十分である。流れをモデル化し、 $r = R$  において  $n_e = 0$ 、 $x = 0$  で

$$n_e = n_e^{(0)} J_0(\lambda_m r)$$

なる電子の分布を仮定すると ( $J_0(\lambda_m r)$  は零次のベッセル関数)。

式 (5.9) の解として次の式を得る。

$$n_e = n_e^{(0)} J_0 \left( 2.4 \frac{r}{R} \right) \cdot \exp \left\{ -5.7 \frac{D_{amb}}{V} \frac{x}{R^2} \right\} \quad (5.10)$$

電子の拡散について、「電子はイオンにくらべてその熱速度が大きいとより速く拡散しようとするが、そのとき生じる電場のため拡散速度が鈍る」という双極性拡散の考えを、ここで適用する。Simon<sup>(12)</sup> によるとプラズマの双極性拡散は電子温度とイオン温度が等しいとき次式で与えられる。

$$D_{amb} \approx 2 D_{ion} = \frac{2}{3} \lambda_{ion} v_{ion} \quad (5.11)$$

ここで  $\lambda_{ion}$  はイオンの平均自由行程、 $v_{ion}$  はイオンの熱速度である。 $\lambda_{ion}$  に関してはイオン-原子間の衝突を重要視し、 $\lambda_{ion} = 1/\Pi n_0 r_{12}^2$  ( $r_{12}$  は原子半径の2倍で  $\sim 10^{-8} \text{ cm}$  程度である) および  $v_{ion} = (8kT/\Pi M)^{1/2}$  で評価すると、 $T = 4 \times 10^3 \text{ K}$  では、 $D_{amb} \approx 4.3 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$  となる。 $V \approx 2.3 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 、 $R \approx 0.5 \text{ cm}$  として測定点 ( $x = 7 \text{ cm}$ )

での電子密度を式 (5.10) から推定すると

$$n_e \simeq 4.77 \times 10^{-2} n_e^{(0)} J_0 \left( 2.4 \frac{r}{R} \right) \\ \simeq 6.7 \times 10^{13} J_0 \left( 2.4 \frac{r}{R} \right)$$

となり、少なくとも測定値とけた数は一致する。結局、ノズルのスロート部分の約1%の電子が凍結していることになり、大部分はノズル電極と同電位になっている超音速ノズルの器壁で再結合し、消滅する。

### 5.3 エネルギー収支

最後に、整流室から測定点に至るまでのエネルギー収支について考察を加えておく。整流室での流速を無視すると、エンタルピー保存式は、

$$h_0 = \frac{1}{2} V^2 + h + q \dots\dots\dots (5.12)$$

となる。ここで  $h_0$  および  $h$  はそれぞれ整流室および測定点での単位質量当たりのエンタルピー、 $q$  は器壁などによる熱損失を表わしている。これまでのデータを用いて式 (5.12) の各項の値を表記すると、

$$3.6 \times 10^3 = 0.7 \times 10^3 + 0.5 \times 10^3 + q \text{ (cal/g)}$$

となり、整流室エンタルピーの約2/3が熱損失となっていることがわかる。

式 (5.12) は流速の増加はエンタルピーの減少を伴って行なわれることを示しているが、これには低圧室の真空度をより上げなければならない。しかしながら得られる流速には上限があって、かりに  $h_0 = 3.6 \times 10^3$  cal/g の貯気そう(槽)エンタルピーがすべて流速に変わったとしても  $V \simeq 4 \times 10^3$  m/s である。さらに高速化を望むならば貯気そうエンタルピーのより高い熱源を用いなければならない。これにはプラズマジェットの効率の改善とともに、電場や磁場あるいはこれら双方を、プラズマジェットに効果的に組み合わせた種々の加熱および加速機構が考えられる。

## 6. む す び

本論文において筆者らは、マイクロ波によるプラズマ診断の原理を明らかにし、試作した50 Gcの診断装置および分光器を用いて、プラズマジェット発生装置により得られる高温アルゴンプラズマを断熱膨張させ、超音速化したプラズマ流の電子密度、衝突周波数および温度の測定を行なった。また超音速プラズマ流にグラファイトのくさびをそう入してマッハ数の測定も行なった。得られたこれらの実験データの解析から、筆者はプラズマ流の断熱膨張過程において、次に述べる非常に興味ある結論を得ることができた。すなわち、

(1) 衝撃波が十分発達した後まで電子は凍結している。すなわち電子とイオンの再結合は十分行なわれていない。

(2) 電子は双極性拡散によりノズル壁に拡散していく。筆者らの実験条件では、ノズルのスロート部の約1%の電子が測定点まで生

き残っており、理論と実験のかなり良い一致がみられる。流れのあるプラズマ中の電子消滅過程には、筆者は式 (5.5) の理論式を用いるべきであることを提案する。

(3) 断熱膨張過程において非平衡現象は実現していない。すなわち電子温度と気体温度は流れのいたるところで等しいと考えられる。実験結果はこれを裏書きしている。

(4) プラズマ流が超音速ノズルを通過する際に、貯気そうエンタルピーの約2/3が熱損失として失なわれていることがわかった。

最後に、本研究および論文作成に当たって数々の有意識など意見をいただいた中研第2研究部伊藤主任研究員、またラダーロン発振器について種々ご便宜を計っていただいた中研第1研究部野中研究員に深謝いたします次第です。

## 参 考 文 献

- (1) 野村, 小村, 伊藤: 大電力窒素プラズマジェットの諸特性, 三菱電機技報 41, No. 3, (昭42)
- (2) H. Margenau: Conduction and Dispersion of Ionized Gases at High Frequencies, Phys. Rev. 69, No. 9, 508 (1946)
- (3) 伊藤, 森川, 村井, 小村: アークプラズマの温度および電子密度の測定法, 三菱電機技報 38, No. 12, (昭39)
- (4) H. R. Griem: Plasma Spectroscopy, McGraw-Hill Book Company, Inc.
- (5) H. W. Liepmann & A. Roshko: Elements of Gasdynamics, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (6) S. T. Demetriades: Determination of Energy-Loss Factors for Slow Electrons in Hot Gases, Phys. Rev. 158, No. 2, 216 (1967)
- (7) S. T. Demetriades & G. S. Argyropoulos: Ohm's Law in Multicomponent Nonisothermal Plasmas with Temperature and Pressure Gradients, Phys. Fluids, 9, No. 11, 2,136 (1966)
- (8) E. E. Zukoski, T. A. Cool et al: AIAA J. 2, 1410 (1968)
- (9) W. K. McGregor & L. E. Brewer: Equivalence of Election and Excitation Temperatures in an Argon Plasma, Phys. Fluids, 9, 826 (1968)
- (10) S. C. Bloch: Nonlinear Microwave Conductivity of a Slightly Ionized Gas for Arbitrary Collision Cross Section, Phys. Rev. 144, No. 1, 181 (1968)
- (11) L. P. Pitaevskii: Electron Recombination in a Monatomic Gas, Soviet Physics JETP 15, No. 5, 919 (1962)
- (12) A. Simon: Ambipolar Diffusion in a Magnetic Field, Phys. Rev. 98, 317 (1955)

## 台湾電力下達見発電所 100,000 kVA 水車発電機

三浦 宏\*・石井 明\*

## 100,000 kVA Water Wheel Generators for Lower Tachien Power Station of the Taiwan Electric Power Company

Kôbe Works Hiroshi MIURA・Akira ISHII

The Tachien Project has been carried on at the lower stream of the Tachien Gorge on the Tachien River in the Central Taiwan. It undertakes the construction of a power station in which four-90,000 kW water wheel generators are to be installed upon completion of an upstream storage reservoir.

Two 100,000 kVA generators to be set up in the first section of the work were ordered from Mitsubishi and have been brought to completion recently. They are record high capacity, high speed machines, each rated at the above capacity (115,000 kVA under the overload) with a speed of 360 rpm.

This article deals with the details of their construction and test results.

## 1. ま え が き

下達見発電所は台湾中部を流れる大甲溪の達見峡谷下流の地下に、大甲溪開発プロジェクトの一環として建設される最終出力 400 MVA の台湾最大の水力発電所で、第一期工事 100 MVA 2 台を今回当社が製作納入することとなったものである。

100,000 kVA (過負荷 115,000 kVA) 360 rpm の発電機は、大容

表 1.1 三菱大容量水車発電機 (50,000 kVA 以上)  
List of Mitsubishi large water wheel-generators  
(over 50,000 kVA).

| Country           | P/S            | No. of Unit | kVA                | PF | kV   | c/s | rpm   | Remarks          |
|-------------------|----------------|-------------|--------------------|----|------|-----|-------|------------------|
| Australia         | Tumut No. 3*   | 6           | 278,000/263,000    | 95 | 15.4 | 50  | 187.5 | Vertical         |
| Japan             | Kiso           | 1           | 125,000            | 95 | 16.5 | 60  | 257   | Vertical         |
| Republic of China | Lower Tachien  | 2           | 115,000/100,000    | 90 | 13.8 | 60  | 360   | Vertical         |
| Japan             | Azumi*         | 2           | 111,000            | 95 | 15.4 | 50  | 200   | Vertical         |
| Japan             | Tagokura       | 4           | 105,000            | 90 | 13.2 | 50  | 167   | Vertical         |
| Japan             | Takane No. 1*  | 2           | 100,000/100,000 kW | 85 | 13.2 | 60  | 277   | Vertical Gen/Mot |
| Japan             | Nanairo        | 1           | 90,000             | 90 | 13.2 | 60  | 129   | Vertical         |
| Colombia          | Guatapé*       | 2           | 89,010/77,400      | 85 | 13.8 | 60  | 514.3 | Vertical         |
| Japan             | Yomikaki No. 2 | 1           | 80,000             | 90 | 13.2 | 60  | 200   | Vertical         |
| Colombia          | El Colegio*    | 3           | 72,000/62,500      | 80 | 13.8 | 60  | 514   | Horizontal       |
| Republic of China | Lungchen       | 1           | 62,000/54,000      | 90 | 13.8 | 60  | 514   | Horizontal       |
| Republic of China | Shiemen        | 2           | 57,500/50,000      | 90 | 13.8 | 60  | 200   | Vertical         |
| Republic of China | Kukkwan        | 4           | 57,500/50,000      | 90 | 13.8 | 60  | 300   | Vertical         |
| Colombia          | San Francisco  | 3           | 57,000/53,000      | 85 | 13.8 | 60  | 400   | Vertical         |
| Japan             | Amagase        | 2           | 55,000             | 85 | 13.2 | 60  | 180   | Vertical         |
| Japan             | Taki           | 2           | 50,000             | 90 | 11.0 | 50  | 150   | Vertical         |
| Japan             | Hatanagi 2     | 2           | 50,000             | 85 | 13.2 | 60  | 327   | Vertical         |

Generators marked with \* are under manufacturing.

量高速機としてわが国の記録品であり、また、表 1.1 に示すように、当社の製作経歴においても注目すべき存在である。設計・製作にあたっては、長年の製作経験に加え、最新の技術を慎重かつ大胆にとり入れ、細部に至るまで十分な検討を加えた。工場試験も良好な成績で終了することができたので、ここに、その内容を報告する次第である。

## 2. 発電機仕様

## (1) 発電機

形 式： 立て軸回転界磁全閉内冷形(空気冷却器付き)  
台 数： 2 台  
出 力： 100,000 kVA (温度上昇 60 deg)  
115,000 kVA (温度上昇 80 deg)  
電 圧： 13,800 V  
周波数： 60 c/s  
力 率： 90% (おくれ)  
回転速度： 360 rpm  
極 数： 20 極  
はずみ車効果： 1,800 t-m<sup>2</sup>  
無拘束速度： 630 rpm  
短絡比： 1.1

## (2) 励磁機

形 式： 立て軸開放保護形分巻補極付き  
出 力： 300 kW  
電 圧： 375 V  
電 流： 800 A

## (3) 電気ガバナ用永久磁石発電機

形 式： 立て軸開放保護形  
出 力： 0.35 kVA  
電 圧： 110 V  
電 流： 1.84 A

水車発電機の大容量化・高速化は、世界の大勢であるが、とくに、高速化の点は、水車発電機の場合、その設計が無拘束速度・はずみ車効果といった原動機側からの異質の要求によって、大きい制約を受けるだけに慎重な配慮がたいせつである。

本機の構造は図 2.1 に示すように、スラスト軸受を回転子上部に持つ普通形で、軸受は冷却水管を内蔵した油自蔵式を採用し、また、空気冷却器により機内温風を冷却する全閉形である。設計にあたっては、3分割シャフト、スプリングキーの使用、あるいは、リングキーに代わるクランプバーの採用などのほか、とくに高速機であること、および加重平均効率 97, 98 以上の高効率要求を考慮し、周速・各部強度・通風・振動などにつき、慎重な検討を行なった。図 2.2 は工場組立の発電機全景を示す。

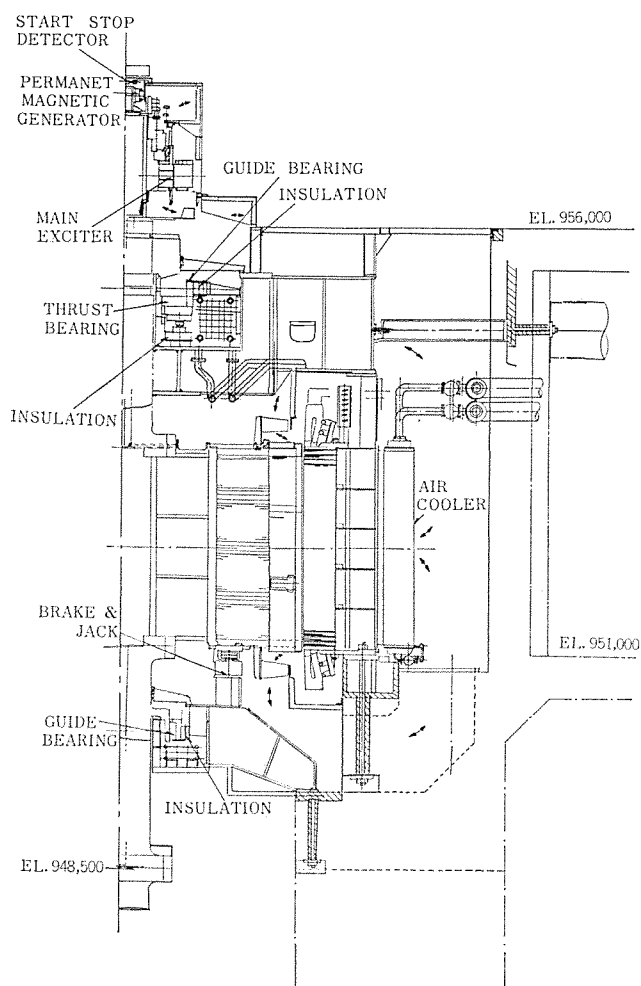


図 2.1 発電機組立図  
Sectional view of the generator.

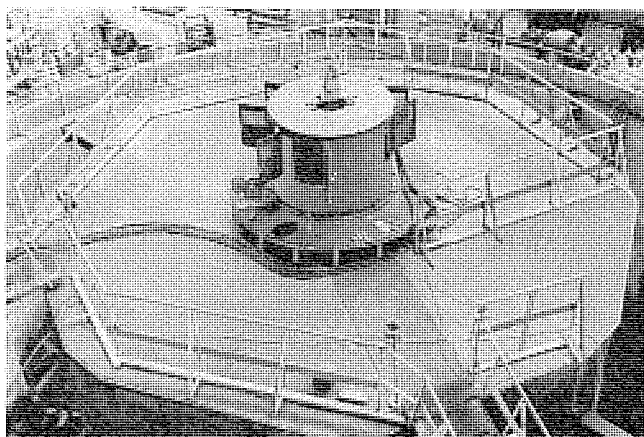


図 2.2 発電機外観  
Exterior view of the generator in construction.

## 2.1 固定子

固定子わくは内周に鉄心を保持し、上部からは上ブラケットを介して、水車および発電機の全回転部荷重が加わり、振動防止の点より縦および横方向に十分な剛性を保持せねばならない。本機の固定子わくは外径 6 m、高さ 3.3 m の四つ割鋼板溶接製で、その構造については、理論研究・模型実験による成果を十分に活用し、鋼板・鋼棒を適切に配列し、剛性の向上・耐振動特性の向上に大きい成果を納めることができた。

固定子鉄心は高級けい素鋼板を打抜き、両面を十分絶縁して、交互に半数ずつ重ねあわせて円形に積み、両端には非磁性金具をあてて十分に締め付け、振動および騒音の発生を防止するようにしている。

固定子巻線は二重星形波巻きで、コイルは 1 ターンハーフコイルである。素線に多数の二重ガラス巻き平角鋼線を使用し、スロット部分ではローレル転位を行ない、うず電流損の減少をはかっている。絶縁方式は当社標準のダイヤラスティック絶縁で、マイカテープを半重ね巻きし、その間にダイヤレجنを真空含浸した B 種絶縁である。口出線は接続銅帯によりコンクリート風道外部で相分離母線に接続されている。

## 2.2 回転子

図 2.3 は回転子を示す。

主軸部分は上部軸・回転子スパイダ・下部軸の三つにわかれ、上下軸はそれぞれ鍛鋼製、回転子スパイダは鋼板溶接構造を採用し、相互の接続はフランジとボルトで行なっている。この方式は輸送の点からも、また、回転子の臨界速度の点からも有利な構造である。つり上げ高さを減少させるため、特殊なつり上げ金具を使用できるように上部軸にはみぞを設けている。図 2.4 は水車軸を接続した全主軸部分を示す。

スパイダリムは厚鋼板を所要高さに積み重ねた積層式で、途中に通風間けきを設け、また、スパイダリムとスパイダームとの結合には、当社独特のスプリングキーを使用している（実用新案 700634）。回転上昇によりリムの膨張が生じても板ばねのスプリング作用により、アームとの間の結合は常に確実、かつ強固に保たれるとともに静止時においてスパイダームがうける圧縮応力も少なく、また、従来の焼きはめの方式のようにリムを加熱する必要もなく、すぐれた特色を有している。

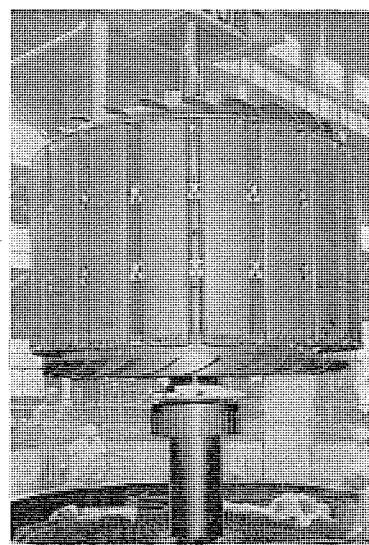


図 2.3 回転子  
Completed rotor.

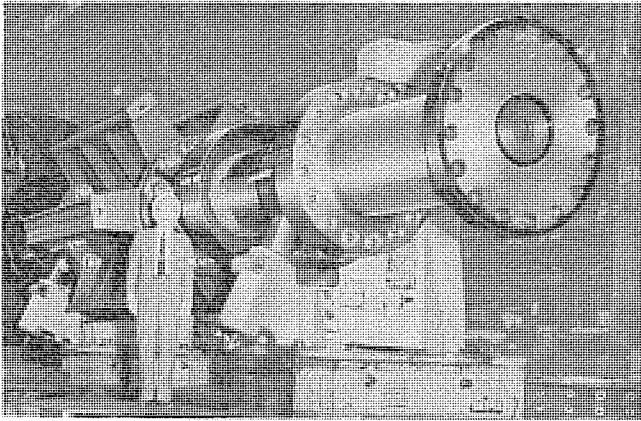


図 2.4 主 軸  
Main shaft.

なお、リム下面には分割形の制動輪を取付けている。

磁極鉄心は磁気特性のよい薄鋼板を打抜き、積層し、両端に鋳鋼製端板をあて圧縮後ボルト締めしたもので、磁極頭部には数本の制動巻線を埋込んでいる。制動巻線は磁極頭部両端面のエンドリングに銀ろう付けされ、さらにエンドリングは相互に可とう(撓)性の銅板で接続されて、全体として連続形の構造となっている。また、磁極は下面のダブルテールによりスパイダルリムのスロットにキーを用いて固定している。

界磁コイルは裸平角銅線をエッジワイズに曲げ、層間にアスベスト紙をはさみ、対地絶縁としてマイカとアスベスト紙を用いたB種絶縁で、高圧高温で成形したのち、上下に絶縁ワッシャをそえ、磁極鉄心にそう入している。

磁極とリムに固着後、コイルの遠心力による側面へのふくれ出しを防ぐため、軽合金製コイル締金を軸方向に2箇所設けている。このコイル間スペースは通風に利用するため、コイル締金の構造にはこの点をとくに考慮している。

通風には軸流形ファンを使用し、スパイダルリム上下にボルトで取付けている。

主軸上部にはスラスト軸受のためのスラスト受金を設けている。主軸との接合にはリングキーを用いるのが従来のプラクティスであったが、当社ではこれに代わり、ばね鋼板を用いたクランパー方式を新しい標準として使用している。スラスト受金はクランパーのスプリング作用により、水車および発電機が全荷重をうけた状態でも主軸に設けた胴付け部に固く密着する設計となっており、このため、主軸とスラスト受金の一体性は工場における機械加工の時点から現地据付運転に至るまで、まったく同一に保たれることとなり、軸振れ修正の労が少なく、また軸受点検のため、スラスト受金を抜き出したときの再現性にもすぐれた特色を発揮することができる構造である。

### 2.3 その他

上・下ブラケットは共に鋼板溶接構造で、中央部には油そう(槽)を有し、上ブラケットにはスラスト軸受および上部案内軸受を、また、下ブラケットには下部案内軸受をそなえ、油自蔵式の潤滑方式を採用している。

スラスト軸受は当社標準のキングスペリー形で、運転時、水車水圧推力を含む回転部全重量412トンをサポートする。扇形パッドの枚数は12枚で、表面にホワイトメタルを接着している。この接着は当社独自の製法によっており、密着強度は7~8 kg/cm<sup>2</sup>にもおよびきわめて強力で、信頼度の高いものである。油冷却器は同一油そう内におさめ、軸受

の外周に配置され、うずまき形に巻かれていて、曲率半径の小さい部分がなく、管内の水流、管外の油流ともに無理がなく、冷却能率を高めるようにくふうされている。

上部および下部案内軸受はセグメント形で、前者はスラスト受金の側面、後者は下部軸に設けた筒軸側面をしよう(摺)動面として、回転子を支持している。油そうのカバーには、ファンによる圧力風を導入した密封部を設け、油蒸気の機内への浸入を防止し、また、油そう主軸側の油ぜき特殊な構造により、油そう内の油面変動による油の主軸側への漏油を防ぐようになっている。

風道側面はコンクリートで、上面は鋼板でカバーし、固定子わく側面にとりつけた空気冷却器により、温風の冷却を行なっている。空気冷却器はUフィン管を用いた表面冷却形で、個数は8個である。

消火装置としては炭酸ガス消火装置を設け、また、風道内には照明、スペースヒーターおよびコンセントなどを設け、また、点検用はしご・てすりなどを適当に配慮し、日常の保守に便するように配慮している。

なお、発電機上部には励磁機、スリップリング、電気ガバナ用永久磁石発電機、および起動停止確認装置を設けている。

## 3. 工場試験

工場で仮組立のうえ、特性試験および無拘束速度試験を実施した。特性の概要は下記のとおりであるが、振動・騒音も少なく、いずれも好結果をうることができた。

無負荷飽和曲線および短絡曲線を図3.1に示す。短絡比は1.13、また電圧変動率は力率90%で24.5%、力率100%で16.7%であった。

図3.2は効率および損失曲線を示す。各負荷の効率・加重平均効率は共に保証値を十分上回っている。

リアクタンスの測定結果は表3.1に示すとおりである。温度上昇は固定子コイル46 deg、界磁コイル48 deg、また軸受温度は53°Cで、通風冷却にはとくに配慮を払った結果、電気装荷のかなり高い機械にもかかわらず十分低く押えることができた。

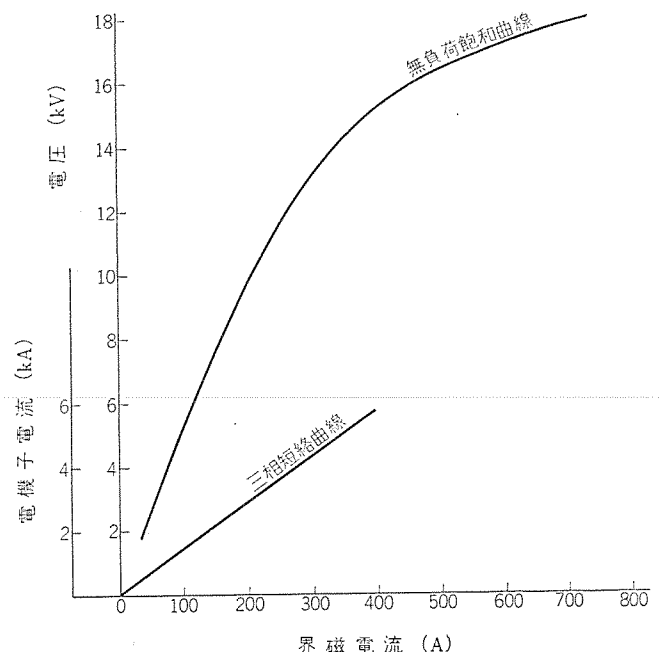


図 3.1 無負荷飽和曲線および三相短絡曲線  
No load saturation and three phase short circuit curves.

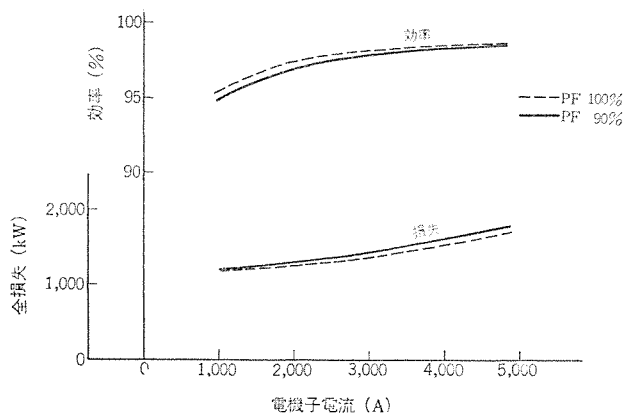


図 3.2 損失および効率曲線  
Loss and efficiency.

表 3.1 リアクトランスおよび時定数  
Reactance and time constant.

|                      | 実 測 値   | 試 験 法   |
|----------------------|---------|---------|
| 直軸同期リアクトランス $x_d$    | 107.0 % | IEEE    |
| 直軸過渡リアクトランス $x_d'$   | 28.2 %  | 突 発 短 絡 |
| 直軸次過渡リアクトランス $x_d''$ | 19.5 %  | Da-Ca 法 |
| 逆相リアクトランス $x_2$      | 21.0 %  | Da-Ca 法 |
| 零相リアクトランス $x_0$      | 16.0 %  | 単 相 短 絡 |
| 直軸開路過渡時定数 $T_{d0}'$  | 12.8 秒  | 界 磁 減 衰 |
| 直軸短絡過渡時定数 $T_d'$     | 2.6 秒   | 突 発 短 絡 |
| 直軸次過渡時定数 $T_d''$     | 0.02 秒  | 突 発 短 絡 |

その他  $\tan \delta$  特性・吸収電流特性・励磁機試験などを行ない、最後に 630 rpm、1 分間の無拘束速度試験を施行し、すべてに満足すべき成績をおさめることができた。

#### 4. む す び

台湾における当社の実績は、わが国最大の横軸機、滝潤発電所、54,000 kVA、1 台、台湾最大のかさ形機、石門発電所、50,000 kVA、2 台をはじめ、谷関発電所、50,000 kVA、4 台、天輪発電所、

28,500 kVA、1 台ときわめてめざましいものがあり、そのいずれもが関係各位の適切な保守・運転により好調な活動を行なっている。今回、これ等に加え、わが国における大容量高速機の記録品を送り出し、台湾電力業界にいささかの貢献をすることができるのは、われわれの望外の喜びとするところである。

終わりに、この発電機の製作にあたり、当初から完成まで理解あるご援助と貴重なお意見をいただいた台湾電力関係者のかたがたに厚くお礼申し上げる次第である。

## UL-20 形 ヘリウム 液化 装置

相 良 泰 一\*

## Type UL-20 Helium Liquefiers

Nagasaki Works      Taiichi SAGARA

Since the building of a mechanically operated helium liquefier No. 1 in 1961 as a successful home produced unit in this country Mitsubishi has standardized the machines as a type UL-80 unit, a good number of the products being supplied to the users. The liquefying speed of the apparatus is 8 l/h; they have been successfully operating in various laboratories.

Type UL-20 liquefiers are ones newly developed with a capacity smaller than the predecessors such that the speed is 2 l/h. However, they are designed by making the most of the experience besides being packaged into a housing; thus the troubles of erection work at the side is dispensed with and the operation is simplified. In addition, the new model has many new features other than those of the old design.

## 1. ま え が き

当社は昭和 36 年、機械式 ヘリウム 液化機国産第 1 号を開発以来、標準化を進めて UL-80 形としてすでに多数市場へ供してきたが、当初はヘリウム 液化装置に対する希少価値もあってか、装置の取扱・運転などがやや複雑であることに対しては、われわれ製作する側も、また使用する側でも比較的寛大であったことは認めなければならない。

UL-20 形 ヘリウム 液化装置は、UL-80 形の容量 8 l/h に対して 2 l/h の小容量機ではあるが、上記の経験を生かして液化機本体、圧縮機などヘリウムの液化に必要なすべての機器、部品を一つのキャビネットに収容したパッケージ形にすることによって、据付工事、運転操作などが著しく簡略化されているほか、UL-80 形とは違った新機軸もいくつかある。以下、本装置の液化方式、装置の構成、運転などについて述べる。

## 2. 液 化 方 式

一般にある系の温度を下げる場合、温度以外の条件（気体の場合は等温圧縮）によって、その系のエントロピーを減少させておいて、次に断熱的にその条件を元に戻すこと（気体の場合は断熱膨張）によって温度を下げる事ができる。ヘリウムの液化の場合、上記原理により、図 2.1 で  $a \rightarrow b \rightarrow c$  の過程を実現することは、b 点の圧力がきわめて高くなるため技術的には不可能で、通常は常温において圧縮機により  $16 \text{ kg/cm}^2$  程度まで圧縮しておいて（d 点）、再生熱交換器によってヘリウムの逆点温度以下の h 点まで温度を下げた後、Joule-Thomson 膨張（不完全ガスの等エントロピー膨張）による温度降下を利用し、i 点の液化温度に達する方法がとられる。

d 点より h 点までの冷却を行なうために、UL-20 形では液体窒素

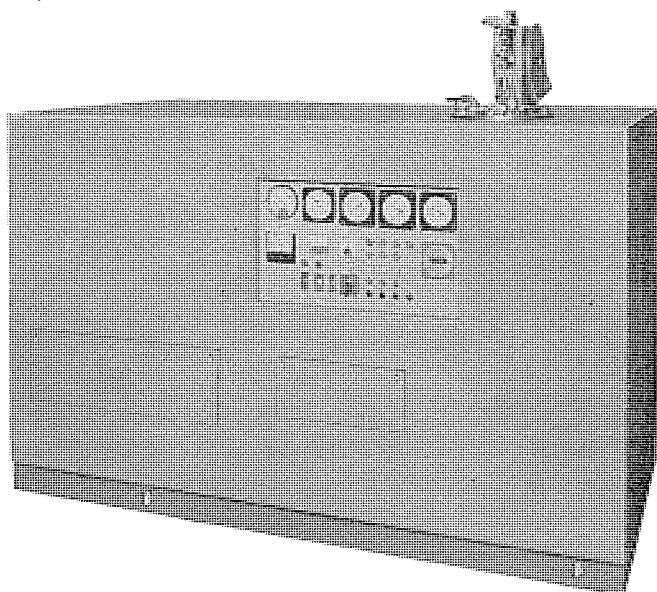


図 1.1 UL-20 形ヘリウム 液化装置  
Type UL-20 Helium liquefier.

表 1.1 おもな仕様  
Main specification.

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| ヘリウム 液化 速度                | 2 l/h    |
| 予冷開始から液化までの起動時間           | 1.5 h    |
| 内部 液化 そう 容 積              | 8 l      |
| 内部 液化 そう 実 験 穴            | 60 mmφ   |
| 必要な液体窒素 起動時               | 20 l     |
| 必要な液体窒素 定常時               | 8 l/h    |
| 必要な電力 200/220 V 50/60 c/s | 90/80 A  |
| 必要な電力 100/110 V 50/60 c/s | 6/5 A    |
| 必要な冷却水 32°C 以下            | 30 l/min |

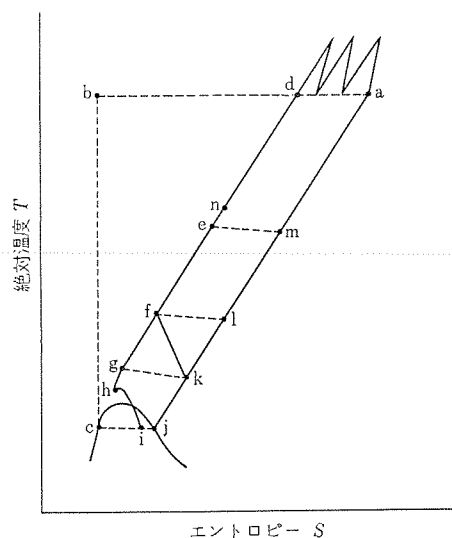


図 2.1 液化サイクル Liquefaction cycle.

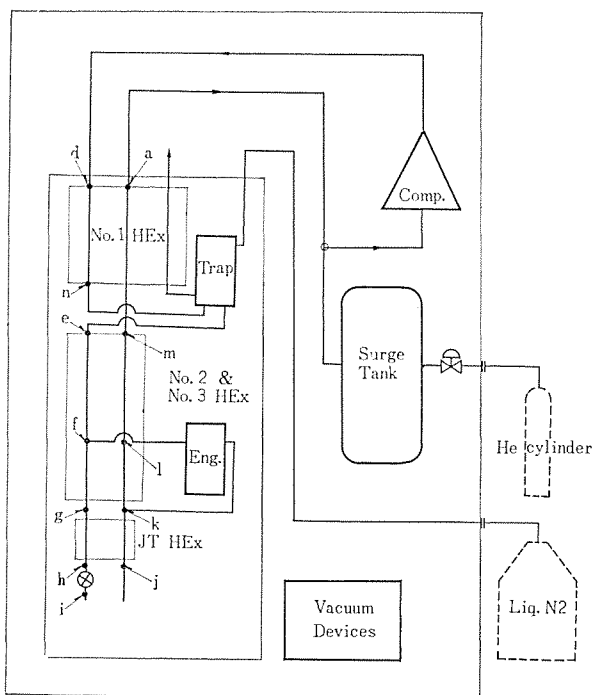


図 2.2 フローシート  
Flow sheet.

による予冷と膨張機関 1 基を用いている。すなわち図 2.1 および図 2.2 において、d 点の常温高圧 (16 kg/cm<sup>2</sup>) のヘリウムガスは、まず、第 1 熱交換器 (d~n) において、膨張機関排気 (k 点) と JT 弁排気 (j 点) からの低温低圧 (ほぼ大気圧) 帰還ガス、および液体窒素浴からの液体窒素 mist により、ほぼ 100°K 程度まで冷却される。さらにこの後、高圧ヘリウムガスは液体窒素浴に浸した冷却コイルに通されて液体窒素温度 (約 80°K) になったところで、同じく液体窒素浴に浸された活性炭トラップを通して、不純ガスを吸着除去してから第 2 熱交換器に流入する。

第 2 熱交換器 (e~f) では、高圧ガスは、さらに、j 点、k 点からの低温帰還ガスにより、ほぼ 25°K まで冷却され f 点に至る。

f 点においては、高圧ガスの約 70% が膨張機関に抽気されて低圧低温 (12°K) のガスとなり、k 点において、j 点からの低温帰還と合流して再生的に流入高圧ガスの冷却を行なうわけである。

残り 30% の高圧ガスは、これらの帰還ガスにより第 3 熱交換器 (f~g), および JT 熱交換器 (g~h) においてさらに冷却されてから、h 点の JT 膨張弁に至り、図 2.1 の h~i 線に沿って膨張を行ないヘリウム mist が生成される。ヘリウム mist 中の液相分は約 20% で、これは液化そう (槽) にためられるが、残り 80% の気相分は低圧帰還として膨張機関からの排気とともに流入高圧ガスを冷却して、ほぼ常温近くまで温度上昇して液化機をでる。したがって定常液化時は、液化機流入ガスの 6% 程度が常に系統に補給されなければならない。

### 3. 特 性

定常液化時の熱収支、起動してから液化温度に達するまでの温度降下加速性、およびこれに必要な熱交換器、膨張機関などについての基本的な考え方について述べる。

UL-20 の場合、液体窒素温度を境にして、すなわち、図 2.2 において、e 点、m 点より上の部分と下の部分 (第 2 熱交換器以下) に分けて考えるのが都合がよい。まず、第 2 熱交換器以下の熱収支

を考える。冷凍出力としては、膨張機関で生成する冷凍  $Q_0$  のみであり、これは膨張機関の温度降下加速途中の動作温度に関係なく一定と考えてよい。一方これに対して冷凍損失としては、シールドからのふく射、熱交換器高温部からの熱伝導などのすべての侵入熱量  $Q_{L1}$ 、および m 点からの冷凍持ち出し損失  $Q_{L2}$  がある。 $Q_{L2}$  の内容は、e 点、m 点のガス流量、エンタルピー、温度をそれぞれ、 $W_e$ ,  $W_m$ ,  $i_e$ ,  $i_m$ ,  $T_e$ ,  $T_m$  とし、ヘリウムガスの定圧比熱を  $C_p$  とすれば、

$$Q_{L2} = W_e i_e - W_m i_m \doteq C_p (W_e T_e - W_m T_m) \dots \dots \dots (3.1)$$

であるから、この値は温度降下が進むにつれて大きくなる。すなわち、液化開始までは、

$$W_e W_m \equiv W, \therefore Q_{L2} = C_p W (T_e - T_m) \dots \dots \dots (3.2)$$

であり、液化機流入ガス量  $W$  は温度降下とともに急速に大きくなり、さらにこの流量増加により、熱交換器の効率も下がり ( $T_e - T_m$ ) もまた大きくなるからである。したがって温度降下を加速する加速冷凍  $Q_A$  は、

$$Q_A = Q_0 - (Q_{L1} + Q_{L2}) \dots \dots \dots (3.3)$$

であるから、この値は温度降下とともに急激に小さくなる。しかるに、温度降下速度が図 3.1 の熱電対による温度記録カーブにみるように、飽和を示さずにほぼ一定となるのは、熱交換器・膨張機関・液化そうなどの低温部分を構成するステンレス鋼、銅などの比熱もまた温度降下とともに急激に小さくなるからである。

液化が定常に達したときは、上の式 (3.1), (3.3) において、

$$Q_A = 0 \quad W_e - W_m = \Delta W \dots \dots \dots (3.4)$$

となるから、液化開始までの加速冷凍  $Q_A$  は

$$Q_A = C_p \cdot T_m \cdot \Delta W = i_m \cdot \Delta W \dots \dots \dots (4.5)$$

となって、温度降下加速冷凍  $Q_A$  は定常液化速度  $\Delta W$  に比例することがわかる。したがって、UL-80 ( $\Delta W = 8 \text{ l/h}$ ) と UL-20 ( $\Delta W = 2 \text{ l/h}$ ) を比較した場合、両者の液体窒素温度からヘリウム液化温度までの冷却所要時間を同一にするためには、熱交換器・膨張機関などの質量を、後者は前者の 1/4 程度に軽くつくる必要がある。

しかし、設計の手順として、液化率  $\Delta W/W$  から圧縮機容量  $W$  を決めて膨張機関の大きさ  $Q_0$  を決定すると、熱交換器の出入口温度差 ( $T_e - T_m = \Delta T$ ) は、前記式 (3.1), (3.2), (3.3) で決まる値以下にする必要があり、それだけの熱交換器効率を発揮するための熱交換器の大きさは、前記の冷却起動時間から要求される質量をはるかに越えるのが普通である。これを実際の数値について比較すると表 3.1 のようになり、膨張機関出力に比べて被冷却質量はあま

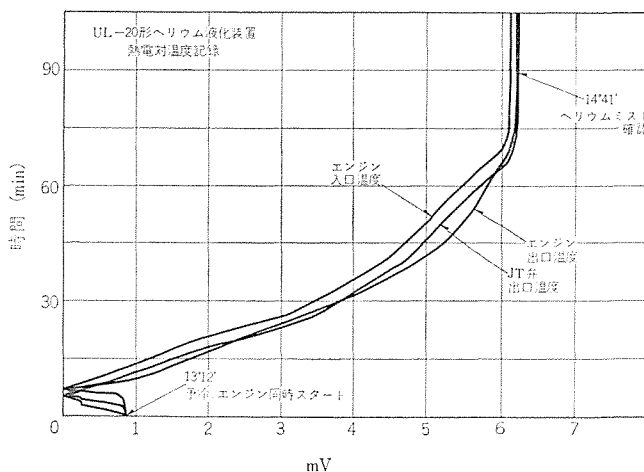


図 3.1 熱電対温度記録  
Temperature record by means of a thermocouple.

表 3.1 起 動 特 性  
Starting characteristics.

|                   | UL-80   | UL-20   |
|-------------------|---------|---------|
| 液 化 速 度           | 8 l/h   | 2 l/h   |
| 膨張機関の冷凍出力         | 250 W   | 70 W    |
| 液体窒素温度レベル以下の被冷却質量 | 23.7 kg | 14.6 kg |

り軽くなっていない。

したがって、小容量機ではどうしても膨張機関の冷却加速性は悪くなるので、常温から液化までの Total の起動時間を短縮するには、液体窒素を有効に利用して、常温から液体窒素温度までの起動を短縮する方法を考えなければならない。

UL-20 の常温から液化までの起動時間は、UL-80 のその 2 h に対して逆に 1.5 h に短縮されている。これは、液体窒素温度までの冷却を早くするために、特殊な第 1 熱交換器を使用している点にある。

図 2.2 において、e 点、m 点より上の部分（第 1 熱交換器、液体窒素浴）の熱収支を考える。高圧ガスを常温から液体窒素温度まで冷却する定常状態についてのみ考えれば、第 1 熱交換器では、低圧帰還ガスの液化分  $4W$  によるわずかの冷凍不足分と侵入熱を補償するだけの液体窒素を供給してやればよい。しかし、第 1 熱交換器の設計に際しては、入口温度 (300°K) と出口温度 (100°K) の温度スパンが大きいため、これを第 2 熱交換器と同程度の効率に設計しようとするれば、かなり寸法的に長大なものとなる。したがって第 1 熱交換器では、冷凍持出し損失（液体窒素消費量）を多少犠牲にしても、高圧流入ガスと低圧帰還ガスおよび液体窒素との温度差を大きくとって、伝熱面積は小さく設計してある。

とくに UL-20 では、液体窒素とヘリウムガスとの熱交換機構を、いままでの液化そう外周に液体窒素予冷コイルを巻く間接的予冷方法と併用して、液体窒素を液化そう内に導入して、第 1 熱交換器内筒および外筒にも液体窒素を接触させている。これによって、高圧流入ガスは低圧帰還ガスを介して液体窒素と直接熱交換を行なうという利点以外に、液体窒素と液化そう内のヘリウムガスとの対流伝熱面積がふえるため、起動時間が著しく短縮される。

#### 4. 構成、構造

図 2.2 のフローシートに従って、各機器の機能・構造を述べるが、UL-80 と類似の部分は省略することにする。

##### 4.1 サージタンク

系統へのヘリウムガスの供給は、二段の減圧弁を通してサージタンクに行なわれる。サージタンクは UL-80 のガスホルダーに相当するが、構造は単なる低圧タンクであるため、液化機低圧側圧力は減圧弁の二次調整圧力によって規制されている。この圧力は、ほぼ大気圧であるため、減圧弁の流量特性から液化開始時の急速なガス比体積の減少に応ずるだけの流量は得られない。このため、二段減圧の中間圧力を圧縮機の二段吸入圧に等しく調整して、ガス供給のピーク時には、中間圧で圧縮機にも供給を行なうようにしている。

液化機からの帰還ガス、あるいはサージタンクからの供給ガスは、いずれも圧縮機で圧縮されてから、液化機に流入して 2 章で述べたサイクルを行なうわけである。

##### 4.2 圧縮機 (図 4.1, 表 4.1)

圧縮機は、とくに UL-20 用として新しく開発したもので、次のような点が考慮されている。ヘリウムガスを  $16 \text{ kg/cm}^3$  まで圧縮するには三段圧縮を行なう必要があるが、これを 1 台の機械で行なう三段圧縮機とし、さらに電動機駆動方法を半密閉形として全体をコンパクト化するとともに、シフトシールからのヘリウムガスのリークの問題も解決している。

液化機へ流入するガスの純度がきびしく要求される以前の問題として、通常の給油式圧縮機を使用した装置では、圧縮機吐出ガスの油分離に相当の神経と高価な装置を使っている。UL-20 用圧縮機では、保守・運転の面を重視して、所要パワー、コストの面ではいくらか不利になるが、ピストンリング、ロッドシールリングにテフロンリングを使用したいわゆるオイルフリー式としている。したがって、油分離器、純化そうの類はいっさい使用していない。テフロンリングの耐用命数については、約 1,000 h の試験運転では測定できる摩耗量あるいは吐出ガス量の減少は認められていない。

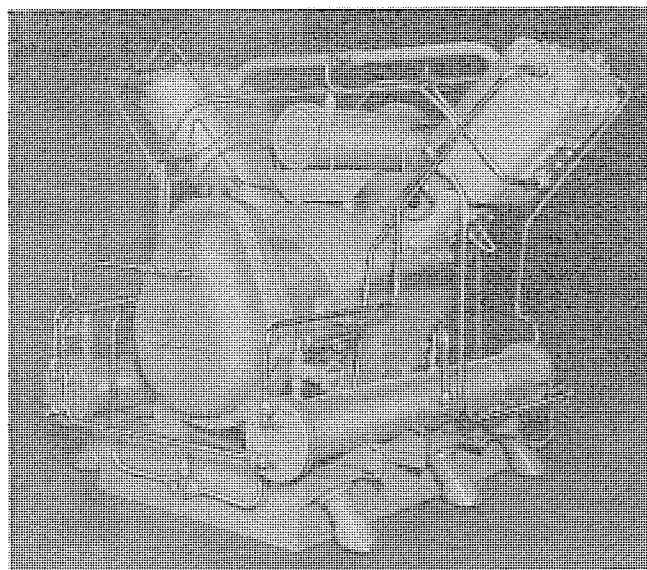


図 4.1 オイルフリー圧縮機  
Oil-free compressor.

表 4.1 オイルフリー圧縮機仕様  
Specification of the oil-free compressor.

|                 |                                                 |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| 形 式             | テフロンリング式無給油、半密閉形                                |
| シリンダー配列         | 90°V 形 4 気筒<br>(1 段 2 気筒、2 段 1 気筒、3 段 1 気筒)     |
| 吸入圧力/吐出圧力       | 0/16 Atg                                        |
| 吐 出 量 50/60 c/s | 50/60 Nm <sup>3</sup> /h                        |
| 電 動 機           | 200/220 V、50/60 c/s、4 P、22 kW<br>三相誘導電動機、冷却方式水冷 |

##### 4.3 液化機 (図 4.3)

UL-20 では、先に 3 章で述べたように、液体窒素を液化そう内に導入している。液体窒素は、まず液化そう内につ(吊)り下げられた液体窒素浴にはいり、蒸発潜熱により冷却コイル、活性炭トラップの冷却を行なう。この冷却コイルと活性炭トラップは、図 4.3 にみるように同心一体形で、活性炭トラップはカートリッジ式となっており、上部から容易に着脱交換が可能である。液体窒素は、この後ミストとなって第 1 熱交換器にはいり、潜熱・顕熱により流入高圧ガスの冷却を行なって大気に放出される。

第 1 熱交換器は、三流体が流れるため、まずステンレスの薄肉内筒にフィンチューブを 2 段に重ねて巻きつけたものを、同じくステンレスの

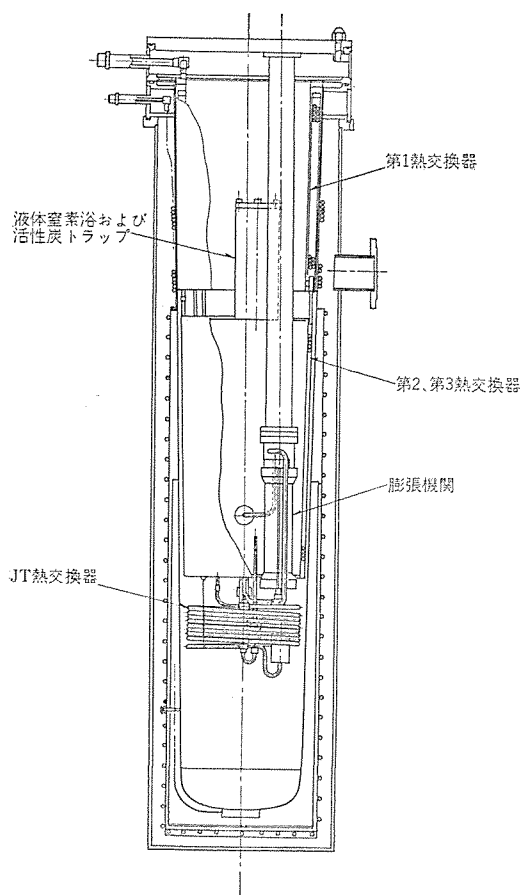


図 4.2 液化機本体断面  
Cross-section of the liquefier.

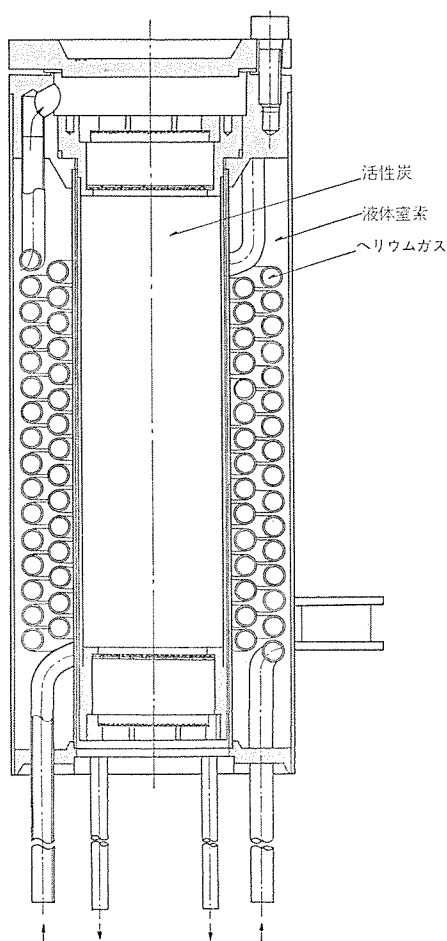


図 4.3 液体窒素浴および活性炭トラップ  
Liq. N<sub>2</sub> bath and charcoal trap.

外筒にそう入した従来の形式の熱交換器を製作しておいて、これをさらに、別の内外筒キャンの間にスパーサーを介してそう入した形式である。

液体窒素はスパイラルに巻いたスパーサーに沿って、二つの還状通路を高圧流入ガス、低圧帰還ガスが流れる内部のキャンを内と外から包むようにして流れ、同時に、液化そう内のヘリウムガスとも二つの円筒面で自然対流の伝熱面積を形成している。ただ、本形式の熱交換器では、各流体の通路の間でリークがあると、ヘリウム中に窒素が混入するという重大な危険があるため、液体窒素系統はすべてステンレス材を使用した溶接構造とし、厳重な気密試験、およびステンレス円筒の座屈強度耐圧試験を行なっている。

第2、第3熱交換器、JT熱交換器、膨張機関の構造については、ほぼUL-80と同じであるから詳細は略すが、本機のような小容量機になるほど、第2、第3熱交換器は熱交換効率98%以上といった高い性能と、起動性から構成質量は最小にするという相反する要求がきびしくなる。このため、高圧側・低圧側とも圧力損失の許す範囲で熱伝達率を上げねばならないから、この形式の熱交換器では、高圧チューブは径を小さくしてその分だけ並列に流し、低圧側も内外筒の径を小さくしてガス速度を上げるよう細長い形状になっている。

膨張機関については、ピストンボアが小さくなるため、給気量に対してピストンとシリンダーのクリアランスからの漏れ量の割合が小さくなって機関効率が良くなることや、さらにピストン円周方向の均圧が容易になるので、ピストンフローティングの点からもボアは小さいほど有利である。

また、膨張機関の動力吸収方式を、UL-20では従来の油圧ポンプ式から発電制動式とした。この方法は、膨張機関のクランク軸と三相誘導電動機を必要な回転数比で結合するだけでよいので、機構が簡単になるばかりでなく、機関速度微調整の必要もなくなる。クロスヘッドは油圧ポンプがないので、軸受部はすべてシールドボールベアリング、あるいはテフロンブッシュを用いたドライベアリングにしてある。

## 5. 据付運転

UL-20では、図5.1および図5.2に示すように、ヘリウムの液化に必要なすべての機器、部品を一つのキャビネット内にコンパクトに配置したパッケージ形になっている。したがってUL-80に比べて、現地での各機器の配置、据付基礎工事、および機器間の配管、配線工事が省略され、現地工事としては膨張機関など一部の組立調整作業と電源、冷却水のつなぎこみだけでよい。その他、設置スペースがわずかでよいこと、設置場所の移動が簡単に行なえることなどもパッケージ形の有利な点である。

通常の機械装置に比べて、ヘリウム液化装置の運転がやや複雑であることは、装置の性格上ある程度止むを得ないこととされてきた。これは、一言でいえば装置全体がガスホルダー、圧縮ユニット、ガス純化ユニット、液化機ユニットなどの機器から構成された小プラント的な性格を持つためで、おもな運転操作としては、

- (1) 運転始めに、系統をピュアなヘリウムガスに置換すること。これは、最初の空気をパージすることはもちろん、1回の運転ごとに液化機内に蓄積した不純ガスを追い出す操作である。
- (2) ガス純化ユニットと本体の予冷に使用する液体窒素の準備。
- (3) 動作圧力(主として機関供給圧力)と機関速度の微調整。
- (4) 運転停止後の処置。これは、停止後の温度上昇によるガス比体積の増大に対して、系統の圧力が過大とならないように処置す

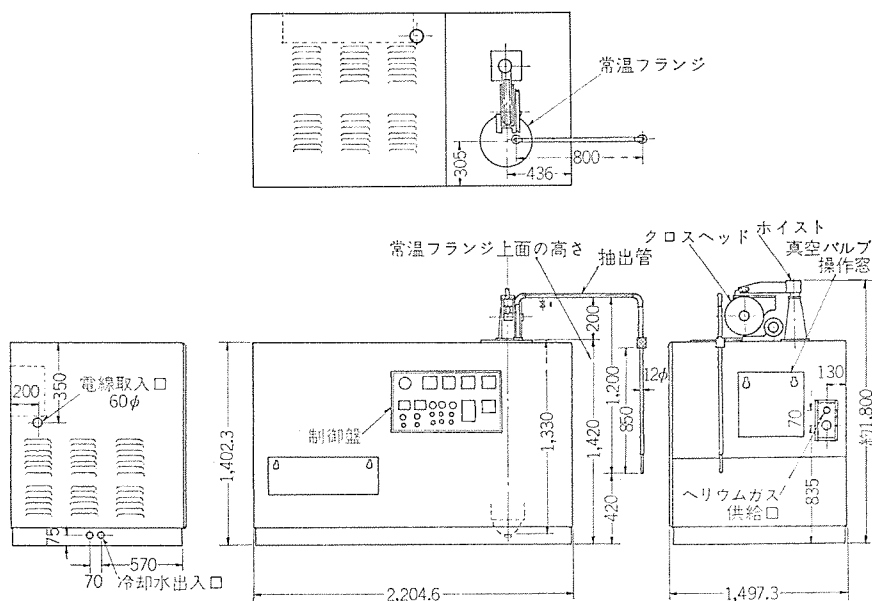


図 5.1 装置外形図  
Exterior view of the apparatus.

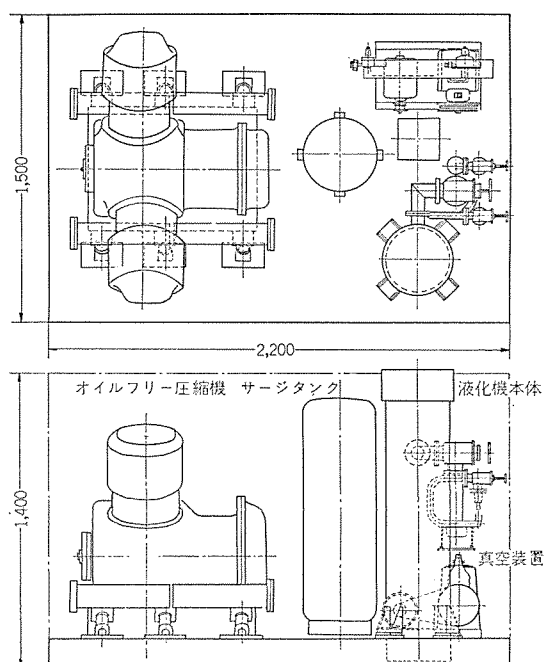


図 5.2 パネル内機器配図  
Interior layout of the apparatus.

ることである。

などがある。(1)の操作の内容は、系統の真空引き、ヘリウムガスの充てん(填)、ヘリウムガスの循環、およびパージの操作を2~3回くり返すことである。従来これを行なうためには、系統を圧縮機側と液化機側に仕切って、液化機側の真空引きは別置のポンプを用い、また

かなりの数のバルブは開閉順序を間違わないように慎重に操作する必要があった。これは液化機の主熱交換器がステンレス薄板の溶接構造であるため、上記操作によって生ずる内圧および外圧によって破壊しないための配慮からきている。

UL-20 ではこの点を考慮して、各熱交換器は内外圧に対して必要な強度を持たせてあるので、真空引き、循環、パージは全系統合わせて圧縮機を使って行なうことができる。また、必要なバルブの開閉は電磁弁を使用して圧縮機の運転と連動して行なわせるため、クリーニング操作は運転操作パネルの切換スイッチのみで行なうことができる。

上記(2)に対しては、UL-20 ではオイルフリー圧縮機の採用、および活性炭吸着純化そうを液化機に内蔵させたことによって、液体窒素を使用する純化そうの必要がない。

上記(3)に対しては、液化機流入ガス量にかかわらず常に機関供給圧力を一定にするため、圧縮機吐出ラインに自動調整弁をそう入している。また、従来の油圧ポンプによる動力吸収方式では、使用する油の粘度および温度によって機関速度を調整する必要があったが、UL-20 の発電制動方式ではこの必要がないので、運転中はまったく人手を要しない。

上記(4)に対しては、UL-20 では従来の定圧力式のガスホルダーの代わりにサージタンクを使用しているので、運転停止後は、全系統の圧力を上げることによってガスの比体積の増大を吸収することができる。また、液化そうに液をためたま停止したような場合、系統の圧力が許容圧力以上になると、ガス回収ラインに連絡する電磁弁を開けるようにして、そのほかに、バネ式リリーフ弁を設けている。

以上のように、UL-20 では、運転方法が著しく簡略化され、安全保護の面も十分考慮してあるので、本機に低温配管を追加すれば、大容量コンテナに連続的に液をためる外部JT方式として、液体ヘリウムの大量需要にも応ずることができる。

## 6. む す び

液体ヘリウム温度の利用については多言を要しないが、たとえば、宇宙通信における低雑音増幅器の冷却、MHD 発電への超電導マグネットの利用など、工学的規模での応用も進んでいる。こうしたさう勢に対して、ヘリウム液化装置自身まだ1,000 h 以上の長時間連続運転という点での信頼性については、残された課題として今後に待たねばならない面もある。今後ヘリウム液化装置がさらに広く普及することによって、極低温の新しい応用面が開発されるとともに、液化装置自身も新たな革新を迫られることになる。

## フルフィットライン三相誘導電動機

古川 俊幸\*

## Full-Fit Line Three Phase Induction Motors

Nagasaki Works

Toshiyuki FURUKAWA

A newly developed full-fit line covers medium capacity three phase induction motors which are built in conformity to the IEC dimensions of their center height being 400 and 450. In conventional motors to the extent of these medium capacities, it has been a usual practice to set up a series having different appearances and constructions for an every protection system. But in the full-fit line the protection system has been made common in the design, so that it has become possible to build all the motors with the protection system, not only the open dripproof and the totally enclosed fan cooled type but also the open outdoor, the totally enclosed inner cooled and the one with a silencer, into a unified rectangular appearance.

The article describes the construction and features.

## 1. ま え が き

誘導電動機の使用分野はますます広がり、用途、環境、使用条件等に対して最も適した性能と保護形式の電動機を要求されるようになった。また一方小形軽量化と価格の低廉化に対する需要家の要求もきびしさを増している。外形寸法については、国際的標準であるIEC寸法を採用するのが世界のすう勢である。

当社ではこれらの情勢にかんがみて試作研究を重ねた結果、新しい形のフルフィットライン (Full Fit Line) 三相誘導電動機を開発した。フルフィットラインは、センターハイト400および450の大ききでIEC寸法に準拠した中容量の電動機である。出力では開放防滴形4極の場合、400フレームで600kW、450フレームでは1,000kWまでが製作できる。

従来この程度の中容量電動機においては、各保護形式ごとに外觀、構造の異なるシリーズが設けられているのが普通であったが、フルフィットラインでは各保護形式間の共通化と合理化を行ない、開放防滴形や全閉外扇形はもとより、屋外開放形、全閉内冷形、サイレンサー付き等あらゆる保護形式の電動機を統一された角形の外觀として製作できるようになっている。以下フルフィットラインの特長、構造について説明する。

## 2. 特 長

図1.1～1.3に見られるように各保護形式の主要部を共通化したフルフィットラインには次の特長がある。

## 2.1 各種保護形式が製作できる

主要部構造の標準化を行ない保護形式によって異なる部分を、上部カバーに集中してあらゆる保護形式が容易に製作できるので、使用条件に最も適した形式を自由に選択することができる。

## 2.2 保守点検が容易

構造がシンプルであるので保守が簡単である。日常点検の最も行なわれる軸受で、スリーブ軸受は二つ割り構造を採用し、ころがり軸受では軸箱方式を採用しているので保守点検に便利である。

## 2.3 IEC寸法の採用

400フレームは、現在制定されている国際標準のIEC寸法を採用して国際的互換性をもたせている。まだIEC寸法の制定されていない450フレームは、IEC寸法を延長仮想して外形寸法を決めている。

## 2.4 騒音の減少

吸排気をフレームから行なわず、上部のカバーによって行なわせるので従来の開放防滴に比し騒音が低くなっている。

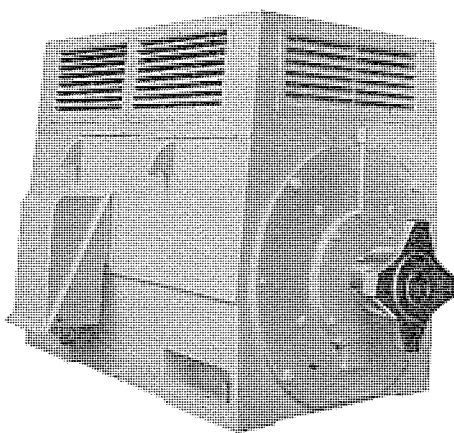


図 1.1 フルフィットライン 開放防滴形 三相誘導電動機  
Full fit line dripproof type 3 phase induction motor.

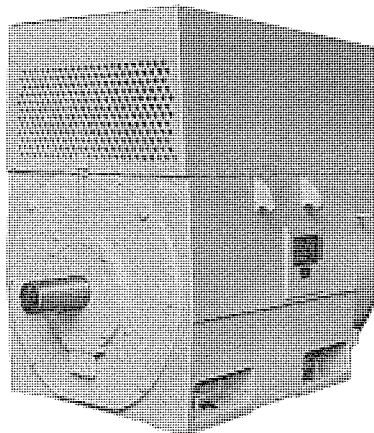


図 1.2 フルフィットライン 全閉外扇形 三相誘導電動機  
Full fit line totally enclosed fan-cooled type 3 phase induction motor.

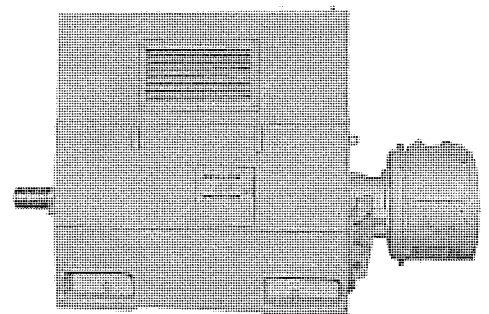


図 1.3 フルフィットライン 開放防滴形 三相誘導電動機  
Full fit line dripproof type 3 phase induction motor.

## 2.5 振動が少ない

がんじょうなフレーム構造なので、ギョウ等に狂いの生ずることもなく運転時の振動は非常に小さいものとなっている。

## 3. 構造

### 3.1 通風方式

各保護形式共通通風方式はふく(幅)流方式を採用しており、フレーム内の風の流れは同じである。図 3.1 は開放防滴の場合であるが冷却風は図に示されるように、回転子の両側に取付けられたファンによりフレーム上部両端の吸気口からモータ内に吸い込み、コイルエンドと鉄心内を通して熱風となった風は、コアバックを回って上部に排出される。各部を一樣に効果的な冷却をさせるためには、各部への冷却風の配分を合理的に行なわせる必要があるが、フルフィットラインではコイルエンドからコアバックに抜けるすき間の寸法を上部と下部を変化させる等のくふうがなされている。ふく流方式の場合軸受部は吸気の空気しかふれないので、軸受の温度上昇も低くなっている。

### 3.2 固定子

鉄心は丸抜きした冷間圧延のけい素鋼板を積層している。

コイルの絶縁は信頼性の高い当社のダイエポキシ絶縁(DF絶縁)を採用している。DF絶縁方式は所定のマイカテープを行なったコイルを鉄心に入れ、巻線を完成したあと含浸タンクに入れてエポキシ絶縁真空圧入含浸する方法で、コイルと鉄心が密着固定するため熱伝達の上でもすぐれている。

フレームは図 3.2 のようにがんじょうな角形構造とし、取付足は通常のつき出た形状にせずフレーム内に強みを付けて設けている。スペースヒータは、必要に応じてフレーム足間の空間を利用して取付けることができる。

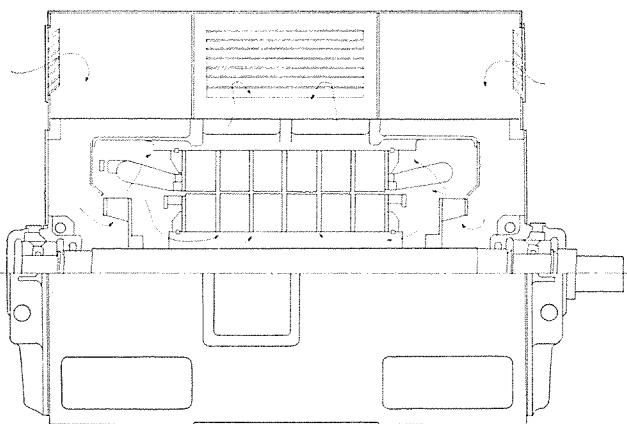


図 3.1 開放防滴形構造図  
Cross section of drip-proof type.

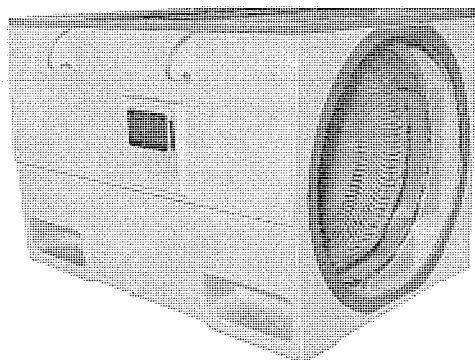


図 3.2 固定子 Stator.

### 3.3 回転子

鉄心長が長いものでは、リムを溶接した軸を用いて剛性を高め振動値を小さく押えるようにしている。

かご形の場合バーとエンドリングは高周波ロー付が行なわれるが、バーの軸方向移動が起こらないようにバーの全長にわたってスロット口からかしめを行ない、エンドリングとの接合部に無理な力が働かないようにしている。

巻線形の場合のコイルエンドは、ガラスエポキシバンドを採用し遠心力や衝撃に対して十分耐えるものとしている。

### 3.4 軸受およびブラケット

400フレームはころがり軸受とスリーブ軸受いずれも標準とし、450フレームはスリーブ軸受を標準としている。

#### (1) ころがり軸受

分解組立が容易に行なえるよう軸箱方式を採用し、軸受部分を密閉した状態でブラケットの分解組立が行なえる構造としている。図 3.4 に示すように軸受部の構造は、グリースの交換が確実に行なわれるように排グリース側にはねの付いたグリース駆除環を設け、グリース排出口を思いきって大きくとってある。グリース駆除環は過剰グリースによる軸受の異常過熱を防止する効果ももっている。ブラケットは円板状をなしフレームにインロー取付けされる。

#### (2) スリーブ軸受

給油方式はオイルリングによる自己給油方式である。構造を図 3.5

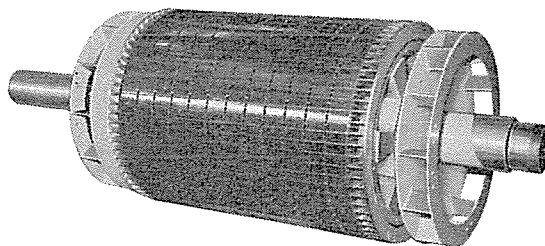


図 3.3 回転子 Rotor.

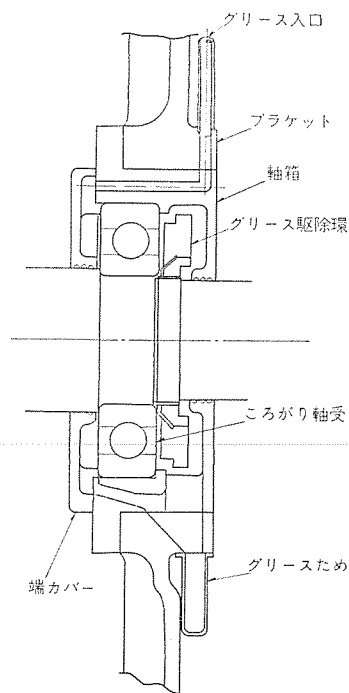


図 3.4 ころがり軸受部構造図  
Cross section of the ball bearing housing.

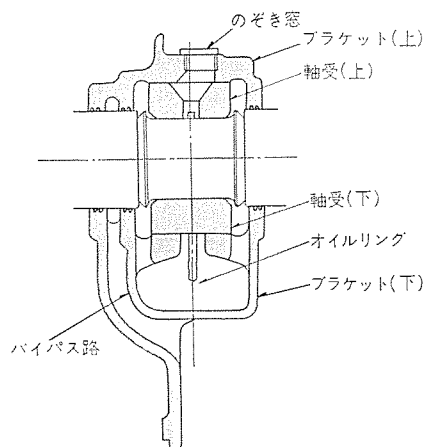
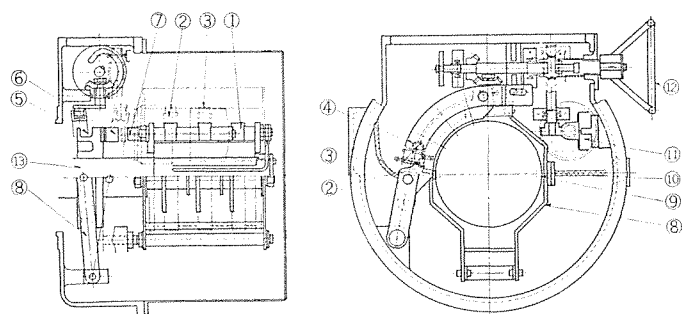


図 3.5 スリーブ軸受部構造図  
Cross section of the sleeve bearing housing.



| 番号 | 品 名       | 番号 | 品 名               | 番号 | 品 名       |
|----|-----------|----|-------------------|----|-----------|
| 1  | スリップリング   | 6  | 接 触 は さ み         | 11 | 操 作 電 動 機 |
| 2  | ブラシ保持箱    | 7  | 接 触 つ め           | 12 | ハ ン ド ル   |
| 3  | ブ ラ シ     | 8  | 短 絡 レ バ ー         | 13 | 軸         |
| 4  | ピ グ テ ー ル | 9  | ニ ー ド ル ベ ア リ ン グ | 14 |           |
| 5  | 短 絡 リ ン グ | 10 | グ リ ー ス 補 給 管     | 15 |           |

図 3.6 電動短絡ブラシ上げ構造図  
Short circuit device (motor driven)

に示している。

分解組立が容易なように軸受、ブラケットとも二つ割りとしてボルトで強固に一体に締付ける構造としている。また軸受部の内側には、外側に通ずるバイパス路を設けて軸受左右の圧力差をなくし油漏れの起こらない構造としている。オイルリングの回転の状況と油面の位置は、ブラケットに取付けられた上部ののぞきせん(栓)と両側面の油面計により確認できる。負荷側ブラケットの端には、マグネットセンタ指示針を取付けており、針と軸のマークを合わせればマグネチックセンタが一致していることを示し、このときローターの左右のエンドプレーは同じ値となる。

### 3.5 スリップリングおよび短絡装置

スリップリングは図 1.3 のようにすべて軸受の外側にオーバハングされ、コイルとの接続は軸にあげられた穴を通じて行なっている。軸受の取換えにスリップリングの取りはずしを行なう必要のないよう、巻線形の場合はスリーブ軸受を標準としている。短絡装置が付く場合もブラケットにオーバハングされたスリップリングカバーの中に装置は納められる。図 3.6 は電動式短絡、ブラシ上げ装置の構造を示している。

## 4. 各保護形式の構造

### 4.1 開放防滴形

図 3.1 に構造を示している。フレーム上部に取付けられたカバーの前面と後面に換気口が設けられ、両側面に排気口が設けられている。

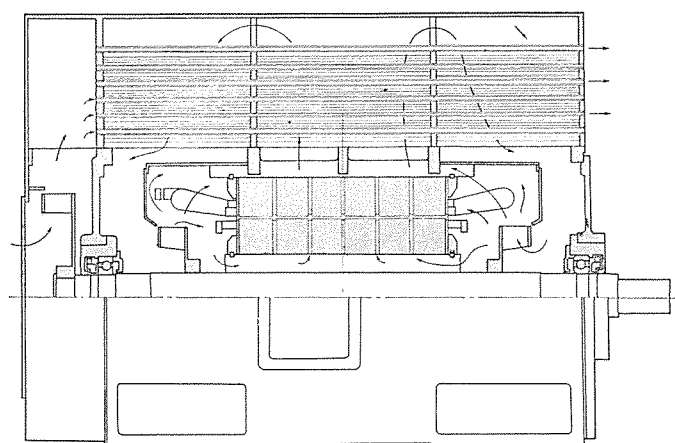


図 4.1 全閉外扇かご形(ころがり軸受付)構造図  
Cross section of totally enclosed fan cooled type motor equipped with ball and roller bearings.

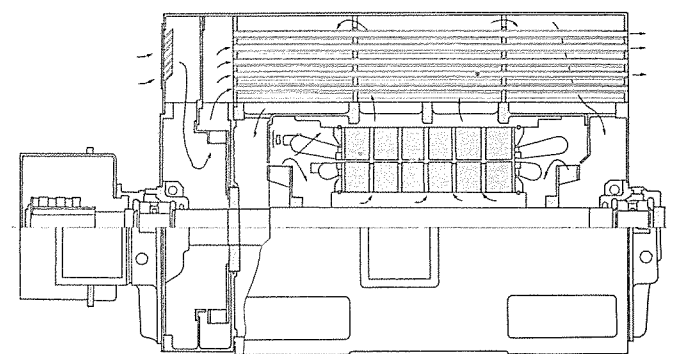


図 4.2 全閉外扇巻線形(スリーブ軸受付)構造図  
Cross section of totally enclosed fan cooled type motor equipped with sleeve bearing.

排気口には JEC 146 の防滴形に規定されたとおり、垂直から  $15^\circ$  の方向の落下物が電動機内部にはいれぬようよろいまどが設けられている。

### 4.2 全閉外扇形

図 4.1 と図 4.2 に全閉外扇形の構造を示している。

反負荷側に外部ファンが設けられ、フレーム上部には空気対空気の熱交換器が取付けられる。熱交換器には多数の冷却管が熱伝達率の高くとれるよう千鳥形に配してあり、両端部を固く拡管して固定している。図の矢印によって示すように、外部ファンにより冷却風は冷却管に導びかれ負荷側に排出される。内部の風は千鳥形に配してある冷却管の間を横切って流れながら冷却され内部を循環する。

図 4.1 はボールベアリング付かご形の場合を示しており、軸受の外側に外部ファンを設けている。

図 4.2 はスリーブ軸受付巻線形の場合を示している。スリーブ軸受の場合、オイルリングの回転の状況や油面の確認等点検のうえから軸受の外側に外部ファンを設けることは不可能である。フルフィットラインでは軸受の内側へ外部ファンを設けるために、接ぎフレームとでも称すべきスペーサを新たに取付けてこの問題を解決している。巻線形の場合は形式を問わずすべてスリーブ軸受を標準としている。屋外形の場合にはカバー合わせ目にパッキンが追加されるほか、軸貫通部には水切り用のラビリンスが取付けられる。

### 4.3 開放屋外形

外観は開放防滴形と似ているが、屋外形の場合屋外の空気を直接吸い込むので、空気中の雨滴やじんあい等が内部まではいらないよう、通風路には種々くふうがなされている。

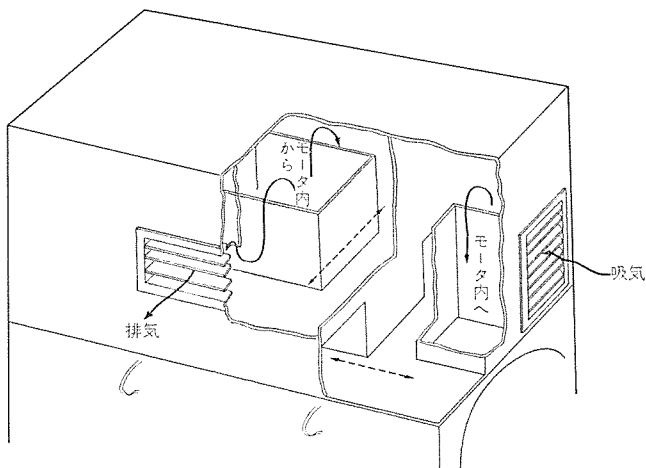


図 4.3 開放屋外形上部カバー構造図  
Cross section of weather protecting cover.

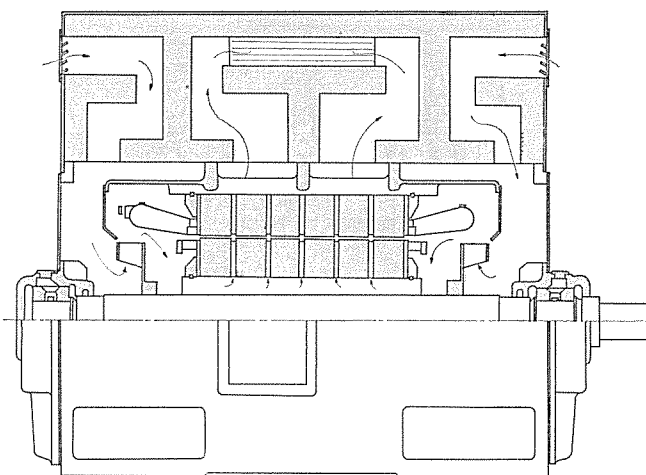


図 4.4 サイレンサー付き構造図  
Cross section of motor with silencer.

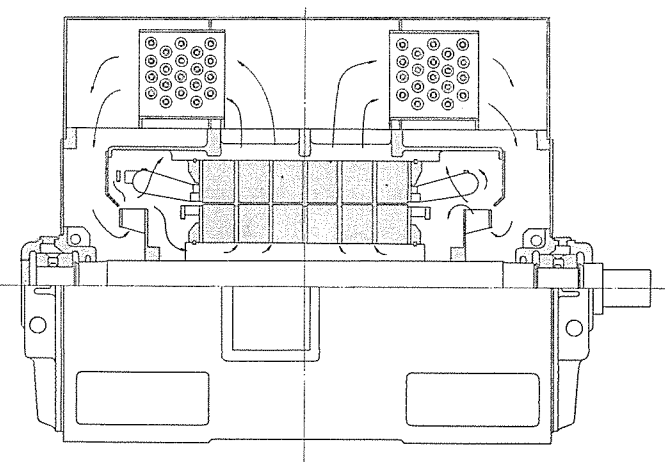


図 4.5 全閉内冷形構造図  
Cross section of totally enclosed water-air-cooled type.

フルフィットラインでは、開放屋外形の構造について最もきびしく規定された MEMA Weather Protected Machine Type II に相当する構造を採用している。図 4.3 に上部カバーの一部を断面して風の流がわかるように矢印によって示している。前面と後面の4個所の吸気口からはいった風は矢印のように上向きに方向を変え、通風面積の広くとられた部屋をきわめて低速で上昇し、上部でふたたび方向を急変する。この間に空気中に混じった雨滴やじんあいが落とされ、清浄となった空気が電動機内部へ吸い込まれる。一方排気も方

向を数回変えながら外部へ排出される。

電動機が台風や暴風にさらされた場合でも、雨滴やじんあいを含んだ空気が直接電動機内部へ押し込まれることのないよう、反対側の通気穴に吹き抜ける構造としている。図では点線で吹き抜け部を示している。このように通風路が複雑になっている開放屋外形は、通路の風損が開放防滴形に比較してやや大きくなり、同一わく番での出力がやや低くなるが、建家の建設費の節約から最近しだいに多く用いられるようになってきている。

#### 4.4 サイレンサー付き

図 4.4 に構造を示している。カバー内の通風路には数回の曲りが設けられ、壁は厚い吸音材によっておおわれている。サイレンサー付き電動機は、とくに騒音を低く押えたい時に用いられる。

#### 4.5 全閉内冷形

全閉内冷形は全閉外扇形と同様にじんあいの多い場所や腐食性ガスのあるふん囲気のある場所等に使用される。

図 4.5 に示すように、フレーム上部のカバー内に側面から水対空気の冷却器が納められている。冷却管は熱伝達率の高い U フィン管を用い、千鳥形に配置されている。矢印によって示すように、内部の空気は冷却管のフィンの間を横切って、流れながら冷却されて電動機内部を循環する。この全閉内冷形は冷却水のある場所でのみ使用できない欠点をもつが、全閉外扇形に比較して同一わく番で出力が高く出せ、また全閉であるため開放形や外扇形に比べて一段と騒音が低い特長を持っている。冷却水の使用量は 100kW あたり 毎時 2m<sup>3</sup> 程度である。

#### 4.6 管通風形

管通風形には次の三つの方式がある。

(1) 吸気、排気とも電動機から離れた場所からダクトによって行なう方式

(2) 吸気だけ他の場所からダクトによって行ない、排気は電動機から直接行なう方式

(3) 排気だけ他の場所にダクトによって行ない、吸気は電動機の周囲から直接行なう方式

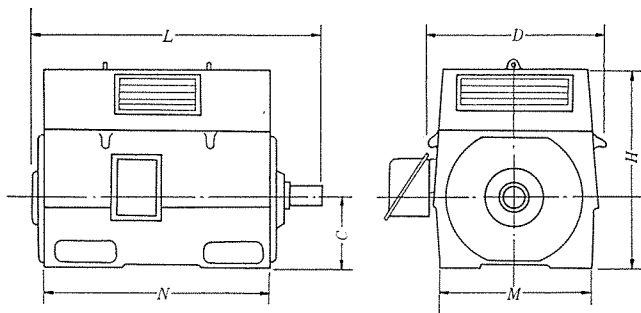
ダクトはフレーム上部に取り付けられるが、電動機設置場所の都合のよいように吸気排気のダクトの方向はいずれにも製作できる。管通風形の場合に注意しなければならないことは、ダクトの抵抗をできるだけ少なくすることである。抵抗が大きいと電動機の過熱の原因になる。

### 5. 形記号と外形寸法

形記号は表 5.1 に示すように、回転子形式、外被方式、通風保護方式の記号を組合わせて表示される。わく番号の称呼はセンターハイトを示す3けたの数字と、軸方向の長さの違いを示す S, M, L の符号によって行ない、IEC に準じているが、フルフィットラインでは IEC 寸法の S, M, L のほかに一段長い LL なるわく番を新設している。

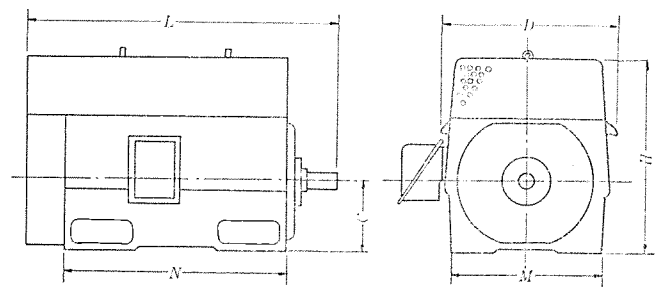
表 5.1 形記号説明  
Description of type symbols.

| 回転子形式    | 外被方式        | 通風保護方式        |
|----------|-------------|---------------|
| FK : かご形 | B : 開放防滴形   | -W : 屋外形      |
| FS : 巻線形 | E : 全閉形     | -H : サイレンサー付き |
|          | T : 冷却管付外扇形 | -D : 管通風形     |
|          |             | -G : 空気冷却器付き  |



| わく番号   | 外形寸法 |       |       |       |     |       |
|--------|------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | C    | D     | H     | L     | M   | N     |
| 400 S  | 400  | 980   | 1,160 | 1,280 | 830 | 970   |
| 400 M  | 400  | 980   | 1,160 | 1,350 | 830 | 1,040 |
| 400 L  | 400  | 980   | 1,160 | 1,430 | 830 | 1,120 |
| 400 LL | 400  | 980   | 1,160 | 1,520 | 830 | 1,210 |
| 450 S  | 450  | 1,100 | 1,350 | 1,600 | 920 | 1,140 |
| 450 M  | 450  | 1,100 | 1,350 | 1,700 | 920 | 1,240 |
| 450 L  | 450  | 1,100 | 1,350 | 1,800 | 920 | 1,340 |
| 450 LL | 450  | 1,100 | 1,350 | 1,900 | 920 | 1,440 |

図 5.1 開放防滴かご形外形図 (400 フレームはころがり軸受, 450 フレームはスリーブ軸受)  
Outline dimensions of open dripproof squirrel cage type motor.



| わく番号   | 外形寸法 |       |       |       |     |       |
|--------|------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | C    | D     | H     | L     | M   | N     |
| 400 S  | 400  | 980   | 1,270 | 1,450 | 830 | 970   |
| 400 M  | 400  | 980   | 1,270 | 1,520 | 830 | 1,040 |
| 400 L  | 400  | 980   | 1,270 | 1,600 | 830 | 1,120 |
| 400 LL | 400  | 980   | 1,270 | 1,690 | 830 | 1,210 |
| 450 S  | 450  | 1,100 | 1,400 | 1,870 | 920 | 1,140 |
| 450 M  | 450  | 1,100 | 1,400 | 1,970 | 920 | 1,240 |
| 450 L  | 450  | 1,100 | 1,400 | 2,070 | 920 | 1,340 |
| 450 LL | 450  | 1,100 | 1,400 | 2,170 | 920 | 1,440 |

図 5.2 全閉外扇かご形外形図 (400 フレームはころがり軸受, 450 フレームはスリーブ軸受)  
Outline dimensions of totally enclosed fan cooled squirrel cage type motor.

最も一般的な形式である開放防滴形と全閉外扇形の外形寸法を、図 5.2, 5.3 に示している。

## 6. む す び

これまでフルフィットラインの特長と構造について説明したが、各保護形式の特質をそこなうことなく各部の共通化の計られたフルフィ

ットラインは既述した特長のほか、生産性のうえでもすぐれてる。

フルフィットラインはきつと需要家に満足いただけるものと確信しているが、今後とも研究をかさね、性能面、取扱ううえからもよりすぐれた電動機にするよう改良を加えていくつもりである。

(昭 43-6-7 受付)

# 技術講座

## メーザ、レーザで代表される新しい技術分野 量子エレクトロニクス (4) —量子エレクトロニクスの今後の方向—

安 東 滋\*

### 1. ま え が き

量子エレクトロニクス研究の最近の動向を観察すると、レーザ自体の研究が高度の段階に達し、今後、その成果を他の分野に応用することが盛んになっていくように思われる。レーザ技術の中でも、最も高度化の著しいのは出力の伸びであろう。前々回に ジュアアントパルスレーザについて述べたが、ソ連の最近の報告によると、ルビーレーザでモード同期パルスを3段階増幅し、ピークパワーが、3,000 GW (時間幅  $10^{-10}$  秒以下、出力 300 J) という記録的な値が観測されたとのことである。ましてピークパワーが数十 MW の ジュアアントパルスレーザ光 (波長 0.6943  $\mu$  のルビーレーザまたは波長 1.06  $\mu$  の Nd<sup>3+</sup> レーザ) をうることは、今日の技術ではもはや困難ではない。

このような高いピークパワーの光が出現する以前、光と物質の相互作用は、重畳原理をもとにした線形理論で取扱われてきた。ある等方性物質が、電界または磁界中に置かれたときの電氣的または磁氣的感受率を一定常数値として計算するのがそれである。しかし光が強くなると電界・磁界に、電気分極・磁化が比例しない効果が大きくなり、いわゆる非線形現象が現われる。物質によって、このような非線形現象の現われやすいものと現われがたいものがあるが、一般論として、すべての物質が非線形効果を示すといっていよい。マイクロ波より低い周波数領域のエレクトロニクスにおいて、非線形現象は多彩な応用面をもっていることを思えば、光領域の非線形現象が、今後の重要なレーザの応用分野として期待されることも理解できる。事実、光のてい(通)倍、混合、差周波発生、パラメトリック増幅および発振が可能になり、一般化しつつある。これらの技術が完成の域に達したときこそ、レーザが通信・情報処理その他の分野に本格的な応用を見出すときであろう。量子エレクトロニクスのれい(黎)明期から10年間はレーザが立役者であったが、現在すでに非線形光学に地位を譲りつつある。この講座の最終回として、非線形光学とその今後の発展を中心に解説したい。

### 2. 非線形光学の原理

レーザの出現によって非線形光学が脚光をあびてきたが、それ以前には、光領域で非線形現象がまったく注目されていなかったかというとうそうではない。電波分光・磁気共鳴・マイクロ波メーザなどの分野で、原子・分子のディスクリートなエネルギー準位に起因する非線形現象が認められていた。これらは共鳴効果を伴った非線形現象であり、一般的な非線形現象とは一応区別すべきものではあるが、光領域の

非線形光学発展の素地を作ったことは否定できない。当然光領域の共鳴効果にもとづく非線形現象も早くから予見されていた。

光領域の非線形現象を説明する理論的取扱いについて、古典電磁気理論でよいか、量子力学によらねばならないかという問題がある。もとより場合に応じて考慮すべきことではあるが、次のような重要な考え方がある。不確定性原理の表現の中で、光の波動性と粒子性をつなぐものとして  $\Delta N \Delta \phi \gtrsim 1$  の関係がある ( $\Delta N$ ,  $\Delta \phi$  はそれぞれ光子数  $N$ , 波動関数の位相  $\phi$  の不確定さを表わす)。言葉で表わせば“光波の位相を正確に記述できる必要条件是、光子数の不確定さの増大である”ということになる。電磁波の一つのモード当たりの光子数  $N$  が非常に大きく、 $N \gg \Delta N \gg 1$  という関係が満足されれば、その光子の集団は位相が確定し、単一モードの電磁波として観測される。このようなことは、光領域ではレーザによって初めて実現され、たとえば、波長 1  $\mu$  でピークパワー 10 MW の光が、レンズにより波長程度に収め(絞)られたとすると、光子の密度は  $10^{22}/\text{cm}^3$ 、電場の強さは  $10^8 \text{V}/\text{cm}$  にも達する。ところで、量子力学は個々の光子の運動を記述するものではなく、種々の運動の状態の確率のみを与えるもので、このような  $N$  の大きい集団と物質系の相互作用に対しては、物質系は量子力学、光の波動は古典電磁気学というような半古典論的取扱いが可能であり、また非常に便利でもある。

うに述べたことから、非線形光学の出発点として Maxwell の方程式をとることができる。

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{1}{C} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} - \frac{1}{C} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \frac{4\pi}{C} \mathbf{J} \quad (2.2)$$

次に分極  $\mathbf{P}$ 、電流  $\mathbf{J}$  と電場  $\mathbf{E}$ 、磁化  $\mathbf{M}$  と磁場  $\mathbf{H}$  が比例関係であれば、物質によってきまるそれぞれの感受率をきわめることができるが、光が強くなって比例関係がくずれ、非線形関係が支配する場合には、

$$\mathbf{P} = x_1 \cdot \mathbf{E} + x_2 : \mathbf{E}^2 + x_3 : \mathbf{E}^3 + \dots \quad (2.3)$$

とおかねばならない。 $x_n$  は  $n$  次の分極率と呼ばれる  $(n+1)$  階のテンソルで、 $\mathbf{E}$  が角周波数  $\omega$  の振動電場であれば  $\omega$  の関数である。この場合  $\mathbf{E}$  の中に  $e^{\pm i\omega t}$  の項を含むから二次の分極項には  $1, e^{\pm 2i\omega t}$  が現われる。したがって二次の分極項は時間に無関係な分極  $P_0^{(2)}$  と  $2\omega$  の角周波数で変化する分極  $P_{2\omega}^{(2)}$  とからなり、波動方程式

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E}_{2\omega} - \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}_{2\omega}}{\partial t^2} = \frac{4\pi}{C^2} \frac{\partial^2 \mathbf{P}_{2\omega}^{(2)}}{\partial t^2} \quad (2.4)$$

によって二次高調波  $\mathbf{E}_{2\omega}$  が放出される。ただし反転対象性をもつ結

晶（ラウエ群の結晶，等方性物質）では偶数次の分極率がゼロになるから二次の高調波も出ない。このように結晶の対象性との関連も重要である。

数種類の角周波数  $\omega_1, \omega_2, \dots$  の振動電場が共存する場合は，それらの合成電場  $E$  に対して式 (2.3) が成り立つ。2種類の角周波数  $\omega_1, \omega_2$  があるときは式 (2.3) 第2項から  $2\omega_1, 2\omega_2$ ，（てい倍）， $\omega_1 \pm \omega_2$ （混合）の各分極成分を生じる。混合の特殊な場合として  $\omega_1$  が光領域の周波数， $\omega_2$  が0または低周波の場合がいわゆる Pockel's 効果として光の変調に利用される。また磁化  $M$  と磁場  $H$  に関し式 (2.3) に対応する式で上述と同じ関係にある場合が Faraday 効果に対応し，やはり光の変調に利用される。また式 (2.3) で  $\omega_1$  が可視，紫外領域， $\omega_2$  が分子の固有振動数（赤外領域）の場合が Raman 効果に相当する。

式 (2.3) 以降の考え方は，光と物質の電気的・磁気的相互作用だけを考えてのものである。しかし，混合，てい倍波の発生の場合を考えて見ると，主として電気的相互作用によるが，ごくわずかに磁気的相互作用，および4極子相互作用によっても発生している。このように光領域の非線形現象を厳密に考える場合には，磁気的相互作用および多極子相互作用も併せて考える必要がある。

光混合の一般的な場合，ある物質に  $\omega_1, \omega_2, \dots$  の光をあてて相互作用させた結果，新しく  $\omega'_1, \omega'_2, \dots$  の光を生じ， $\omega_1, \omega_2, \dots$  の光のエネルギーは低下したとすると  $\omega_1, \omega_2, \dots$  の光を吸収光， $\omega'_1, \omega'_2, \dots$  の光を放出光と呼ぶのが妥当であろう。無損失非線形媒質との相互作用の結果，とくに二次高調波発生の場合には吸収光がゼロとなり，そのエネルギーが全部放出光に移行することが理論的には可能であり，このような能率のよい状態に調整することを phase matching または index matching という。phase matching の条件は，吸収光  $\omega_i$  の進行ベクトルを  $R_i$ ，放出光  $\omega'_j$  の進行ベクトルを  $R'_j$  とすると

$$\Delta R = \sum_i R_i - \sum_j R'_j = 0 \quad (2.5)$$

ただし

$$|R_i| = \omega_i n_i / C, \quad |R'_j| = \omega'_j n_j / C \quad (2.6)$$

ここで  $n_i, n_j$  は  $\omega_i, \omega'_j$  の周波数における屈折率である。式 (2.5) は光子の運動量保存法則そのものである。一例として高調波発生の

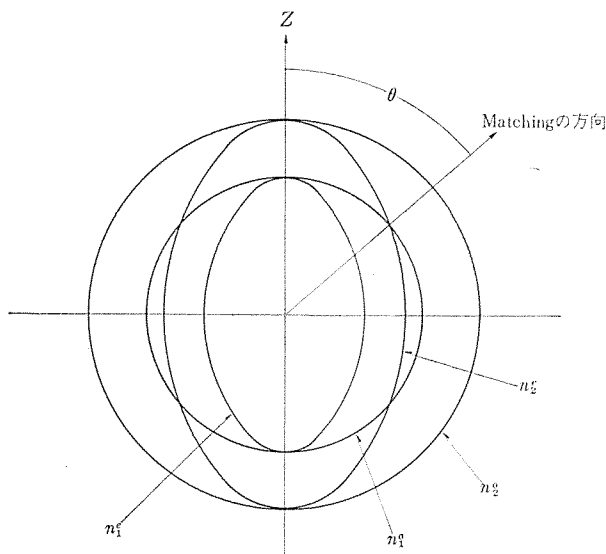


図 2.1 KDP 結晶の角度と屈折率

場合，基本波・二次高調波の進行ベクトルおよび屈折率をそれぞれ  $R_1, R_2; n_1, n_2$  とすると phase matching の条件は，

$$2R_1 = R_2 \quad (2.7)$$

$$|R_1| = \omega n_1 / C, \quad |R_2| = 2\omega n_2 / C \quad (2.8)$$

ここで式 (2.4) を考えると，波源となる分極成分  $P_{2\omega}^{(2)}$  は，

$$P_{2\omega}^{(2)} \propto E^2 \cos(2\omega t - 2R_1 \cdot y) \quad (2.9)$$

これは式 (2.7) により放出光  $E_{2\omega}$  の位相因子とまったく同じになり，各発生時空間点からの寄与を積分するとき位相がそろっているため，すべての寄与が最高に強め合うことになる。式 (2.7)，(2.8) から二次高調波放出の場合の phase matching の条件は， $n_1 = n_2$  によって満たされることがわかる。基本波と二次高調波の屈折率が等しいということは，通常の等方性物質の分散を考えれば無理であるが，屈折性結晶の場合の常光線 (ordinary ray ; o と略す。) と異常光線 (extraordinary ray ; e と略す。) の一方を基本波に他方を二次高調波に利用すれば可能な場合があり，可視・近赤外領域における KDP, ADP, LiNbO<sub>3</sub> などがその一例である。KDP の場合図 2.1 のように，波長  $1 \mu$  の基本波に対して常光線の屈折率  $n_1^o$ ，波長  $0.5 \mu$  の二次高調波に対して異常光線の屈折率  $n_2^e$  を対応させると  $n_1^o = n_2^e$  となる角度  $\theta$  が存在し，この方向を利用すれば phase matching の条件が満足される。

### 3. 高調波の発生

初めて光の二次高調波発生に成功したのは，ルビーレーザー光（波長  $0.6943 \mu$ ）を水晶にあてて  $0.347 \mu$  の高調波を観測した Franken の実験である<sup>(1)</sup>。その後，強力な光源として Nd<sup>3+</sup> イオンの固体レーザー（波長  $1.06 \mu$ ），CO<sub>2</sub> ガスレーザー（波長  $10.6 \mu$ ）を用い，ADP, KDP, LiNbO<sub>3</sub>, Te, Se のような複屈折による phase matching 可能な物質で，かなり能率のよい二次高調波の発生が次々と行なわれた。現在では二次高調波発生に成功した物質は 40 種に近く，三次高調波でも 10 種に近い。phase matching による高能率化についても，ガラス；Nd<sup>3+</sup> レーザーの波長  $1.06 \mu$  ジェットパルス光のピークパワー 100 MW に対し， $0.53 \mu$  光のピークパワー 30 MW が得られている<sup>(2)</sup>。またごく最近の発表<sup>(3)</sup>によると，Ba<sub>2</sub>NaNb<sub>5</sub>O<sub>15</sub> という新しい結晶が分極率の大きいこと，高いふく射密度に耐えることなどの点で非常にすぐれており，図 3.1 のような構成で連続動作が可能になり，波長  $0.53 \mu$  連続光の出力 2 W（波長  $1.06 \mu$  光の出力も 2 W）が得られたとのことである。Ar ガスレーザーは波長・出力・連続動作などの点で同等であるが，装置の大きさからみると図 3.1 の装置のほうがかなり小さく，その点応用上有望とみられる。

波長  $1.06 \mu$  光のてい倍ということは応用上次のような重要な意味をもっている。たとえばレーダー・測距装置（いずれも反射波を検知す

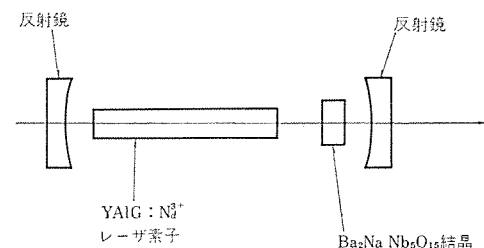


図 3.1 高調波の連続発生<sup>(3)</sup>

る)の場合,  $\text{Nd}^{3+}$  イオンのレーザは高能率・高出力でとくにパルスのかり返し周波数が高くとれるなどすぐれた光源ではあるが, 感度の高い理想的な光検知器はこの波長では得られにくい。得られたとしても極低温に冷却する必要があるなど不便な点が多い。一方  $0.53 \mu$  付近は, 大気・水の透過率も高いうえに光電子増倍管という理想的な光検知器の有利な領域である。したがって図 3.1 のような装置は応用上きわめて重要である。

#### 4. 光 混 合

光混合の中で最も発生が容易なのは和周波発生である。これは混合波の出力がその周波数の自乗に比例する関係上, 差周波発生より有利なためである。

和周波発生の実例としては, ルビレーザ光 ( $0.6943 \mu$ ) と  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$  レーザ光 ( $1.06 \mu$ )<sup>(4)</sup>, He-Ne レーザの  $1.15 \mu$  光と  $0.6328 \mu$  光<sup>(5)</sup>, ルビレーザ光と He-Ne レーザ光などのほか種々の報告があるが, 中でも注目すべきものは, ガラス;  $\text{Nd}^{3+}$  レーザ光 ( $1.06 \mu$ ) とそれを  $\text{Cs}_3$  液体に通じてスペクトルの広がった光とを KDP で混合し, phase matching によって必要な波長に整合して,  $0.482 \sim 0.579 \mu$  の範囲で出力数 kW の任意の和周波を発生した<sup>(6)</sup>ことである。和周波発生は光検知法としても重要で, 前章の波長  $1.06 \mu$  光のてい倍と同じように, 光検知器の感度の低い赤外領域の光を可視光に変換して検知するのにも用いられる。Midwinter らは図 4.1 の装置により水銀灯の波長  $1.7 \mu$  近赤外光とルビレーザのジャイアントパルス光を  $\text{LiNbO}_3$  結晶で混合し, 発生する青い光を光電子増倍管で検知して, 図 4.2 のような分光スペクトルを得た<sup>(7)</sup>。また高辻氏は, 検知の困難な超マイクロ波長の検知に和または差周波発生を利用する方法(図 4.3)を提案<sup>(8)</sup>したが, このような検知法は液体ヘリウムを必要とする従来の半導体検知器にくらべてはるかに便利であろう。

差周波発生は上述のように超マイクロ波の検知にも利用できるが,

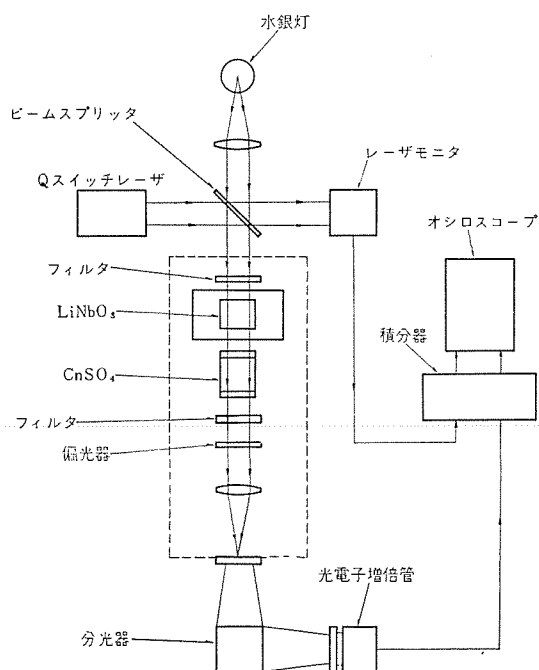


図 4.1 光混合による水銀灯近赤外線検知の実験装置<sup>(7)</sup>

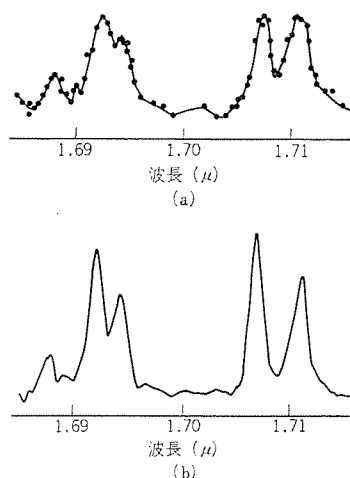


図 4.2 測定された水銀灯の分光スペクトル<sup>(7)</sup>  
(a)光混合によるもの,  
(b)分光器によるもの

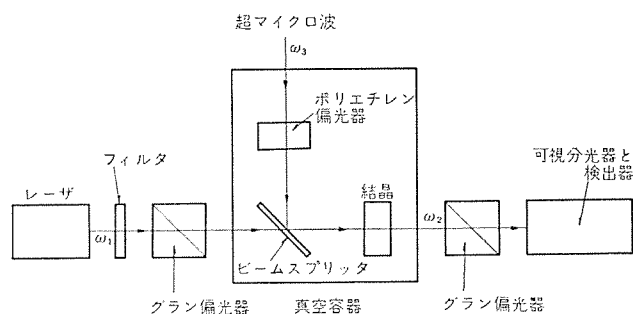


図 4.3 光混合による超マイクロ波検出の実験装置<sup>(8)</sup>

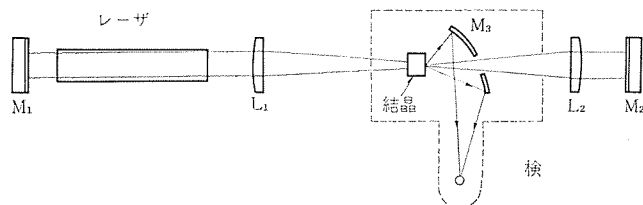


図 4.4 ガラスレーザ光 ( $1.06 \mu$ ) の光混合による超マイクロ波 ( $100 \mu$ ) の発生<sup>(9)</sup>

従来超マイクロ波のすぐれた光源がないことを思えば最も重要なのはむしろ発生であろう。初めて超マイクロ波の発生に成功したのは Zernike らで, 図 4.4 の装置によりガラスレーザの  $1.06 \mu$  付近の 2 本の発振線の差周波として波長  $100 \mu$  の超マイクロ波の発生に成功した<sup>(9)</sup>。また矢島氏は, ルビレーザの  $R_1, R_2$  線を同時発振させ,  $\text{ZnTe}$  で波長  $340 \mu$  の超マイクロ波を発生させた<sup>(10)</sup>。しかし現状ではまだいずれも超マイクロ波出力が弱く, さらによい非線形物質を探索するなどにより改善の必要がある。

#### 5. パラメトリック増幅・発振

非線形物質を角周波数  $\omega$  の電磁波で励振すると,  $\omega = \omega_1 + \omega_2$  を満たす  $\omega_1, \omega_2$  の周波数で増幅・発振が起こる現象をいう。発振には共振器が必要であるが,  $\omega_1, \omega_2$  は物質固有の周波数とは関係なく, 共振器や phase matching の条件によって定められるので, 周波数可変の同調発振器が得られる点が重要である。パラメトリック発振に初めて成功したのは Giordmaine らで,  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$  レーザ光 ( $1.06 \mu$ ) の二次高調波 ( $0.53 \mu$ ) で  $\text{LiNbO}_3$  結晶を励振し, 波長  $0.97 \sim 1.15 \mu$  の範囲で出力  $15 \text{ W}$  の出力を得た<sup>(11)</sup>。波長の同調は温度変

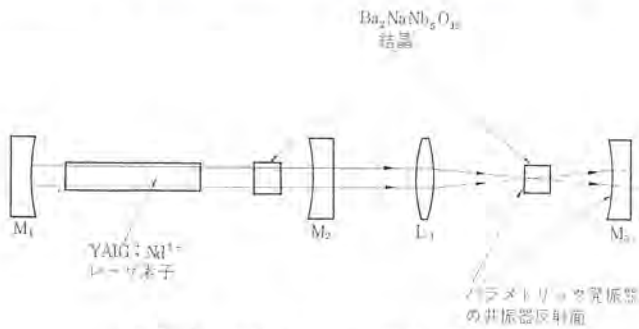


図 5.1 連続パラメトリック発振の実験装置

化により phase matching の条件を変えて行なった。またルビレーザ光による励振で KDP により出力 38 kW の出力が得られ<sup>(12)</sup>、Qスイッチ CO<sub>2</sub> レーザと Te 結晶により、He-Ne ガスレーザの 17.9 μm 光のパラメトリック増幅が行なわれる<sup>(13)</sup> などその進歩は著しいものがある。以上はすべてパルス動作であるが、ごく最近まだスパイクはあるが連続的なパラメトリック発振が図 5.1 の装置によって成功し、1% の効率で 0.65~4 μm の範囲で動作した<sup>(3)</sup> のことである。

## 6. 光ビームの自己集束効果

非線形効果により光が強くなると、一般に物質の屈折率が増加する効果がある。このため強い光ビームがその周辺に屈折率のこう配を起こさせ、光ビームは回折によって広がることなく集束状態で進行する効果をいう。応用上は光の伝送などに将来重要となってくるかもしれない。その一例として次のような microguide と呼ばれるものが提案<sup>(14)</sup>されている。

図 6.1 がその構造で、誘電体薄膜の帯の中央部ほど誘電率  $\epsilon$  が高くなっている。 $\epsilon_f/\epsilon \approx 0.01$ ,  $\epsilon(0) = 1.44$ , 波長  $\lambda = 1 \mu$ ,

$$\epsilon(y) = \epsilon_0 \left[ 1 + \epsilon_f \left( 1 - \left( \frac{y}{L} \right)^2 \right) \right] \dots \dots \dots (6.1)$$

$2d = 0.05 \mu$ ,  $\tan \delta = 10^{-8}$  とすると 99.9% のパワーは  $2y = 160 \mu$  の中央部に集中し、減衰は 1.8 db/km と非常に少ない。この誘電率のこう配の代わりに自己集束効果で同様の状態にするには、 $\lambda = 0.5 \mu$ ,  $2d = 0.0125 \mu$ ,  $\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 E^2 + \epsilon_3 E^4 \dots$  として  $\epsilon_1 = 1.43$ ,  $\epsilon_1/\epsilon_2 = 3 \times 10^{-10}$  で 99.9% のパワーが  $2g = 10.6 \text{ mm}$  に集中するための光の出力は 415 mW とのことである<sup>(15)</sup>。このような誘電体、薄膜の製作およびそれを図のような構造に支持することは、技術的に相当困難と思われるが、うえに述べた数値はこのような問題が解決した場合、光伝送路として非常に有望であることを示している。

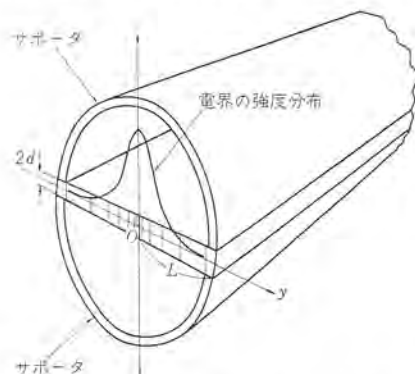


図 6.1 Microguide<sup>(14)(15)</sup>

## 7. む す び

以上、非線形光学のごくあらましについて説明したが何といってもまだ新しい分野であり、実用化が十分に進むまでに解決すべき技術的問題は非常に多い。しかし、すでにとびらは開きかけており、大いに期待の待てる新分野がひらけてゆく可能性は疑問の余地がないと思われる。

“量子エレクトロニクス の今後の方向” という題に対して、非線形光学のみを記述するのはやや適当でなく、たとえばレーザについても“モード同期”に関する技術のような今後に期待すべきものが少なくない。しかし、今後の方向の中で非線形光学の占める地位は他に比べて格段に高いと思われるので、あえて他を割愛してしまった。

終わりに、レーザ・非線形光学に関して米国帰朝直後の最新知識を授けて下さった、東京大学物性研究所 矢島達夫先生に謝意を表して稿を終えたい。

## 参 考 文 献

- (1) P. A. Franken et al : Phys. Rev. Lett., 7, 118 (1961)
- (2) S. A. Akhmanov et al : “Physics of Quantum Electronics”, p. 43, McGraw-Hill (1966)
- (3) R. G. Smith and J. E. Geusic et al : 1968 International Quantum Electronics Conference.
- (4) R. C. Miller and A. Savage : Phys. Rev., 128, 2, 175 (1962)
- (5) N. I. Adams and P. B. Schoeber : Proc. IEEE, 51, 1, 366 (1963)
- (6) R. L. Carman et al : Appl. Phys. Lett., 10, 133 (1967)
- (7) J. E. Midwinter and J. Warner : J. Appl. Phys., 38, 519 (1967)
- (8) M. Takatsuji : Japan J. Appl. Phys., 5, 389 (1966)  
高辻正基 : エレクトロニクス, p. 305, 43 年 3 月号
- (9) F. Zernike and P. R. Berman : Phys. Rev. Lett., 15, 999 (1965)
- (10) 矢島達夫, 井上久遠 : 日本物理学会 1967 年秋の分科会, 量子エレクトロニクス 部門講演
- (11) J. A. Giordmaine and R. C. Miller : Phys. Rev. Lett., 14, 973 (1965)
- (12) L. B. Krenzer : Appl. Phys. Lett., 10, 336 (1967)
- (13) C. K. N. Patel : Appl. Phys. Lett., 9, 332 (1966)
- (14) A. E. Karbowiak : Electronics Letters, 1, 2, 47 (April, 1965)
- (15) 熊谷信昭 : 42 年 10 月 30 日, 電気通信学会量子エレクトロニクス研究会講演  
(総合的なもの)  
矢島達夫 : 日本物理学会編 “量子エレクトロニクス”, p. 151 朝倉書店  
矢島達夫 : 電子通信学会誌, 51, 4, 465 (昭 43)  
豊沢豊ほか : 日本物理学会誌, 19, 191 (昭 39)

最近における社外講演一覧表

| 講演日      | 主 催       | 演 題                                                     | 講 演 者      | 所 属 場 所 |
|----------|-----------|---------------------------------------------------------|------------|---------|
| 42-10- 2 | 金 属 学 会   | Nb-Ti 系超電導材料の研究 (第4報)                                   | 田中光雄, ほか   | 中央研究所   |
| 42-10- 3 | I E E E   | Digital Simulation of Automatic Train Operation Systems | 山崎英藏       | 中央研究所   |
| 42-10- 7 | 電 気 学 会   | サイリスタモータ式リニアモータ (1)                                     | 大野栄一       | 中央研究所   |
| 42-10- 8 | 応用物理学会    | Ga Se 結晶の光電特性                                           | 吉沢達夫       | 中央研究所   |
| 42-10- 8 | 応用物理学会    | CdS 蒸着膜の熱処理効果                                           | 大西 勝       | 中央研究所   |
| 42-10- 8 | 応用物理学会    | Zn Se 結晶の Frang-Keldysh 効果                              | 安川 武       | 中央研究所   |
| 42-10- 8 | 応用物理学会    | Au 蒸着膜に及ぼす残留ガスの影響                                       | 近藤久雄・植松滋幸  | 中央研究所   |
| 42-10- 8 | 応用物理学会    | レーザ応用無接触ならい装置                                           | 岡田和夫       | 中央研究所   |
| 42-10-13 | 物 理 学 会   | Light-Modulation in the Optical Pumping Experiment      | 久保高啓       | 中央研究所   |
| 42-10-13 | 日 本 化 学 会 | アクリル酸系樹脂の熱分解                                            | 橋本 修       | 中央研究所   |
| 42-10-14 | 物 理 学 会   | Ti-Nb-Ta 系3元合金の超電導特性                                    | 平田郁之       | 中央研究所   |
| 42-10-14 | 物 理 学 会   | Zn Se : Er, P. のゼーマン効果                                  | 増井博光       | 中央研究所   |
| 42-10-14 | 計測自動制御学会  | 大口径超音波流量計                                               | 吉山裕二       | 中央研究所   |
| 42-10-15 | 日本物理学会    | Zn Se 中 Eu <sup>3+</sup> の ESR                          | 中田正矩       | 中央研究所   |
| 42-10-16 | 物 理 学 会   | Zn Se 中の不純物による遠赤外振動スペクトル                                | 伊吹順章, ほか   | 中央研究所   |
| 42-10-17 | 原 子 力 学 会 | 東北大ライナック                                                | 戸田哲雄       | 中央研究所   |
| 42-10-20 | 高 分 子 学 会 | 高分子の動的損失極大の温度と周波数依存性                                    | 児玉峯一       | 中央研究所   |
| 42-10-22 | 電子通信学会    | メタルシールドヘリックスにおける誘電体の影響                                  | 橋本 勉       | 中央研究所   |
| 42-10-22 | 電子通信学会    | IC 機能試験装置                                               | 松原 要       | 中央研究所   |
| 42-10-22 | 電子通信学会    | 波形比較形平均化装置                                              | 太田和年       | 中央研究所   |
| 42-10-23 | シエール石油    | 絶縁材料としての高分子                                             | 伊藤公男       | 中央研究所   |
| 42-10-25 | 物 理 学 会   | 球状のプラズマに閉じ込める場                                          | 岸本 浩       | 中央研究所   |
| 42-10-26 | 工 経 連     | 架橋高分子の構造と粘弾性                                            | 柴山恭一       | 中央研究所   |
| 42-10-30 | 溶 接 学 会   | めっき鋼板の点溶接                                               | 奥田滝夫       | 中央研究所   |
| 42-10-31 | 溶 接 学 会   | めっき鋼板の点溶接について                                           | 奥田滝夫       | 中央研究所   |
| 42-11- 2 | 低温工学協会    | 超電導線の冷却条件と安定化                                           | 平田郁之・小俣虎之助 | 中央研究所   |
| 42-11- 4 | 自動制御協会    | リニアモータ式戸閉装置                                             | 岸本 浩       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | 電鉄負荷のシミュレーションについて                                       | 今村純寿       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | リニアモータの端効果について                                          | 岸本 浩       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | 相間リアクトル付多相サイリスタ DC チョップ                                 | 赤松昌彦       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | サイリスタ高周波インバータの一方式                                       | 熊野昌義       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | 直列接続サイリスタのターンオン責務分担                                     | 光岡 宏       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | 回転励磁の静止化                                                | 近藤久雄       | 中央研究所   |
| 42-11- 5 | 電 気 学 会   | 水車発電機ダンパ巻線の電流分布計算                                       | 小倉新三       | 中央研究所   |
| 42-11- 9 | 電 気 学 会   | 薄けい素鋼の磁気特性                                              | 土屋英司       | 中央研究所   |
| 42-11-11 | 神 大 理     | Rare Earth の光学的性質                                       | 伊吹順章       | 中央研究所   |
| 42-11-13 | 真 空 協 会   | マスフィルタの実験 (IV)                                          | 花坂孝雄       | 中央研究所   |
| 42-11-13 | 真 空 協 会   | チャンネル形二次電子増倍管                                           | 西岡 直       | 中央研究所   |
| 42-11-14 | 真 空 協 会   | ML-100 リニアックの排気系                                        | 藤永 敦       | 中央研究所   |
| 42-11-14 | 日本自動制御協会  | サイリスタによる電動機制御の問題点                                       | 大野栄一       | 中央研究所   |
| 42-11-22 | 電 気 学 会   | 超電導線の安定化                                                | 田中光雄・小俣虎之助 | 中央研究所   |
| 42-11-22 | M A P     | 重油カロリメータ                                                | 宮下恭一       | 中央研究所   |
| 42-11-29 | 電 中 研     | ダイヤエポキシ絶縁の機能評価試験                                        | 坂田桂三       | 中央研究所   |
| 42-12- 7 | 溶 接 学 会   | 各種構造用鋼材の CO <sub>2</sub> アーク溶接に関する二、三の実験                | 島田 弥       | 中央研究所   |
| 42-12-14 | 電子通信学会    | ヘリックスにおける空間高調波のえいきょう                                    | 橋本 勉       | 中央研究所   |
| 42-12-14 | 電子通信学会    | H <sub>E</sub> M <sub>II</sub> サップレス遅延回路による電子ビーム加速実験    | 入江浩一       | 中央研究所   |
| 42-12-15 | 日 工 連     | 光電変換                                                    | 伊吹順章       | 中央研究所   |
| 42-12-15 | 学 振       | A-N <sub>2</sub> 混合ガス中におけるシリコンのスパッタリング                  | 植松滋幸       | 中央研究所   |

# 新製品紹介

三菱日曜大工“たくみ”

(DK-3C, DK-7C, DK-10C 形)

現在好評販売中のドリルキットをさらに使いやすく、めんどろであったアタッチメントの組換えが簡単にできるように、各アタッチメントとモートル本体の取付け、取りはずしをオールワンタッチ構造にし、モートル本体の外わくを樹脂にし、アースをとる必要がない電気的安全な2重絶縁構造にした。

格納箱兼用の作業台で、卓上丸のこ、卓上ジグソー、卓上サンダ、グラインダ、みぞ切り等、10種類の作業ができ、しかも作業台内に3種セットから10種セットまでの部品が格納できる新形日曜大工“たくみ”を開発したので紹介します。

## ■ 特 長

- (1) オールワンタッチ 構造で部品の取付け、取りはずしが容易
- (2) 2重絶縁のモートル本体 (電気的安全)
- (3) モートル出力が大きく、強力
- (4) 丸のこの切込み深さが大きく、切込み調節が容易
- (5) 平行調節が容易で、確実にできる定規付属
- (6) ツーガードの取付け、取りはずしが簡単
- (7) かんな作業での切り粉排出がよい
- (8) かんなの刃取付け、取りはずしが簡単
- (9) かんなの作業性が良い (専用として付き)
- (10) 卓上用ジグソーの作業が容易
- (11) 卓上用サンダの作業が容易

## ■ 仕 様

- (1) モートル 本体仕様

| 形 名         |           | DKM-6C  |
|-------------|-----------|---------|
| 電 源         | 種 類       | 単 相 交 流 |
|             | 電 圧 V     | 100     |
|             | 周 波 数 c/s | 50/60   |
| 出 力 W       |           | 160     |
| 全 負 荷 電 流 A | 無 負 荷 rpm | 3.2     |
|             | 全 負 荷 rpm | 2,800   |
| 重 量 kg      |           | 1.7     |

- (2) アタッチメント仕様

| 10 種 セット (DK-10C) |                            |                             |                                               |                                    |                               |                    |                                |       |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
| セット<br>(形名)       | 7 種 セット (DK-7C)            |                             |                                               |                                    |                               |                    |                                |       |
|                   | 3 種 セット (DK-3C)            |                             |                                               |                                    |                               |                    |                                |       |
|                   | 品 名                        | ドリル                         | 丸のこ                                           | かん                                 | ジグ                            | サン                 | グラ                             | ポリ    |
| 形 名               | DKM-6C                     | DKB-3                       | DKN-3                                         | DKJ-3                              | DKS-2                         | DKG-3              | DKP-1                          | DKR-1 |
| 容 量 mm            | 穴明け能力<br>鉄工 6.5<br>木工 13.0 | 丸のこ径<br>152<br>切込深さ<br>0~47 | 切削幅<br>82<br>切込深さ<br>0.2 0.5<br>傾斜角<br>左右 15° | 軟木 25<br>硬木 20<br>研摩ジ<br>スク<br>150 | といし<br>寸法<br>100×13<br>×19.05 | 羊毛ボン<br>ネット<br>125 | カッタ径<br>90φ×3t<br>切込深さ<br>0~16 |       |
| 重 量 kg            | 1.7                        | 11.0                        | 2.1                                           | 0.6                                | 0.6                           | 1.2                | 0.15                           | 0.07  |
| 備 考               | 携帯用                        | 卓上用                         | 携帯用                                           | 携帯用<br>卓上用                         | 携帯用<br>卓上用                    | 卓上用                | 携帯用                            | 卓上用   |

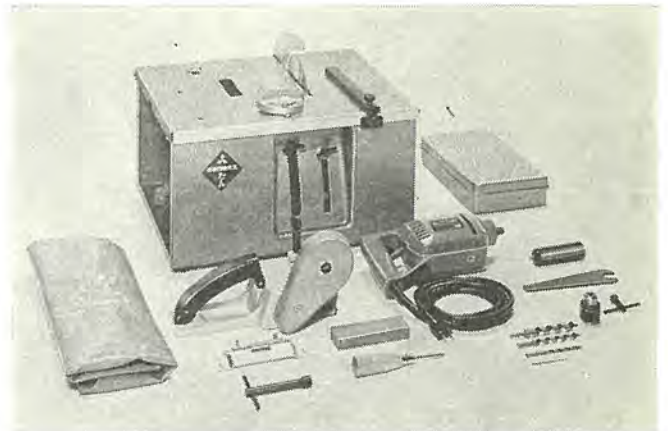


図 1 三菱日曜大工“たくみ” (DK-3C 形)



図 2 三菱日曜大工“たくみ” (DK-7C 形)



図 3 三菱日曜大工“たくみ” (DK-10C 形) [福岡製作所]



### 三 菱 電 気 角 の み

木工用電動工具のシリーズとして、ホゾ穴加工用に使用される、三菱電氣角のみ（PF-30 A-1 形）を開発した。

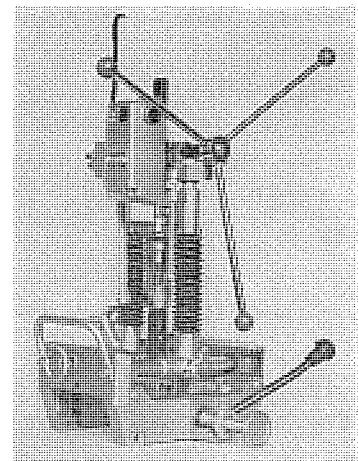
本機は大工仕事として欠かせない ホゾ 穴加工を従来の手のみ作業から数倍の能率で簡単に、正確に加工し得るもので、建築現場等に運搬できる便利なものである。

## ■ 特 長

- (1) 30 mm の角穴あけが軽く、容易にあく
- (2) 最大出力 1,200 W の強力な電動機使用
- (3) 応用範囲の広いドリルチャック 固定式  
(各種市販きり取付けが可能)
- (4) 寿命の長い コイル 式戻りばね使用
- (5) 補助 テーブル により小幅材の穴あけ容易
- (6) 強力な風による切り粉排出方式

■ 仕 様

| 形 名       | 容 量<br>mm | 電 源      |          | 出 力<br>W | 全負荷電流<br>A | 回 転 数 rpm  |      | 重 量<br>kg | 付 属 品 |                                  |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|------|-----------|-------|----------------------------------|
|           |           | 種 類      | 電 圧<br>V |          |            | 周波数<br>c/s | 無負荷時 |           |       | 全負荷時                             |
| PF-30 A-1 | 角のみ寸法     | 単相<br>交流 | 100      | 50/60    | 600        | 10.5       | 800  | 530       | 29    | 角 の み<br>30 mm, 16.5 mm<br>各1組   |
|           | 最大 30×30  |          |          |          |            |            |      |           |       | 角のみスリーブ<br>30 mm, 28.6 mm        |
|           | 最小 5×5    |          |          |          |            |            |      |           |       | 19 mm 角 各1個                      |
|           | 加工材料幅     |          |          |          |            |            |      |           |       | 角のみゲージ                           |
|           | 最大 155    |          |          |          |            |            |      |           |       | チャックハンドル                         |
|           | 最小 75     |          |          |          |            |            |      |           |       | やすり、油さし<br>道具箱<br>予備炭素ブラシ<br>各1個 |



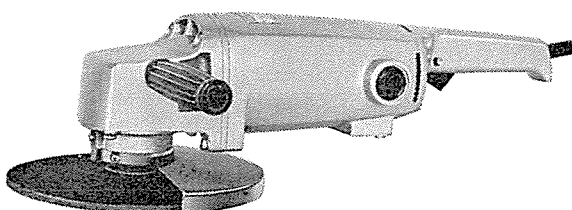
携帯用三菱電気角のみ (PF-30 A-1 形)  
[福岡製作所]

超耐熱形 205 mm 電気ジスクグラインダ (PA-205 A-1 形)

電気 ジスクグラインダ としては、100 mm から 180 mm までの 4 機種をシリーズとして製作していたが、さらに一段と強力な研削性をもつ、といし径 205 mm を取付けて使用する超耐熱形の ジスクグラインダを開発した。

## ■ 用 途

鉄鋼・鋳鉄・鋳鋼等の研削，溶接部・鋳放し品の仕上研削，とくに大物部品の研削に用いる。



携帯用 205 mm 電気 ジスクグラインダ (PA-205 A-1 形)

## ■ 特 長

- (1) 強力な研削力
- (2) 特殊ハイス加工を施した電動機使用で、超耐熱形  
(電動機焼損がない)
- (3) といし取付け、取りはずしが簡単  
(軸固定用 ストップ 付き)

## 様仕 様

| 形 名        | 出 力<br>W | 電 源      |          | 全 電<br>A | 負 荷<br>無 回<br>負 荷 数<br>rpm | 重 量<br>kg | 付 属 品 |                                      |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|-----------|-------|--------------------------------------|
|            |          | 種 類      | 電 圧<br>V |          |                            |           |       | 周 波 数<br>c/s                         |
| PA-205 A-1 | 750      | 単相<br>交流 | 100      | 50/60    | 14                         | 5,800     | 6.0   | スパナ 1 個<br>といし 1 個<br>予備炭素ブラシ<br>1 組 |

[福岡製作所]

## ZKB-CM 形 三菱 水冷式 パウダクラッチ

パウダクラッチ、ブレーキ は、各種産業機械の駆動系の自動化・集中制御・遠隔操作などの動力の管理用として使用されているが、中でも ZKE 形自動張力制御装置などと組み合わせて、繊維機械・印刷機械をはじめ、各種 シート・フィルム・金属はくの スリッター、ラミネータなどの巻取り・巻戻し用の需要が大半をしめている。

パウダクラッチ、ブレーキを張力制御用として、連続スリップで使用する  
とき選定上最も問題となる点は熱容量の大きさである。

この熱容量を大きくしたものとして、クラッチシリーズでは強制空冷、ブレーキシリーズでは強制空冷と水冷式が量産化に成功し、ともに好評を得たが、今回これらに加えてさらに熱容量の大きい水冷式パウダクラッチシリーズの開発を完了し、販売を開始した。

その構造は図1に示すように、従来のZKB-B形パウダクラッチのド

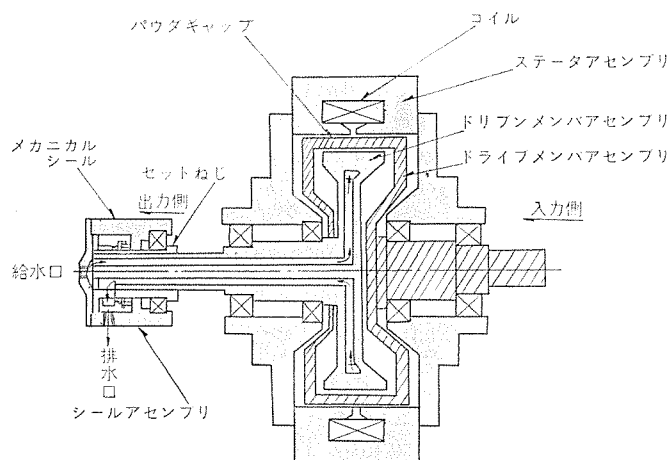


図 1 水冷式 パウダクラッチ の構造

リブメンバー（被動側）の内部に冷却水を流すようにしている。

水は、ドリブンメンバシャフトの軸端から給水され、ドリブンメンバの内面を一周し、ドリブンシャフトを再びとおって、排水される。

ドリブンメンバは回転するので、メカニカルシール方式のロータリージョイントで水のシールをおこなっている。

水冷式 パウダクラッチの開発により、従来の自然空冷方式の約 5 倍、強制空冷方式の約 2 倍の熱容量が得られるようになり、現在まで熱容量の面で制限をうけていた分野、たとえば鋼板・鋼線の巻取り、巻比の大きい制紙機や紙加工機、繊維機械などの巻取り装置にも使用できるようになった。

また熱容量の増大にともない巻取機のライン速度化がはかられ、トルクの使用範囲も広くなり、定格トルクに近いところまで使用できるので巻取り精度が一段と向上した。

表 1 は三菱水冷式 パウダクラッチ のおもな仕様を示し、図 2 は ZKB-20 CM 形の外観を示す。

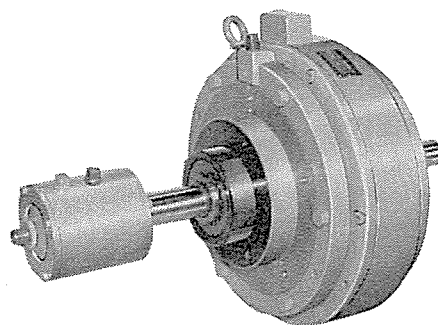


図 2 ZKB-20 CM 形水冷式 パウダィラッチ

表 1 三菱水冷式パウダクラッチの仕様

(電圧 24 V DC)

| 形 名       | 定 格 ト ル ク<br>kg-m | 外 径<br>mm | 定 格 電 流<br>A | 水 冷 方 式      |                  | 重 量<br>kg | 許 容 回 転 数<br>rpm |
|-----------|-------------------|-----------|--------------|--------------|------------------|-----------|------------------|
|           |                   |           |              | 水 量<br>l/min | ス リ ッ プ 工 率<br>W |           |                  |
| ZKB-10 CM | 10                | 290       | 4.4          | 5            | 2,000            | 45        | 2,400            |
| ZKB-20 CM | 20                | 335       | 4.6          | 9            | 2,830            | 66        | 2,100            |
| ZKB-40 CM | 40                | 393       | 6.1          | 11           | 3,400            | 115       | 1,800            |

〔姫路製作所〕

# NEWS FLASH

## ■ 気象レーダ RC-51 形 大阪管区気象台に納入

当社では、かねて気象庁から大阪管区気象台向けとして受注製作中であった RC-51 形 気象レーダを生駒山系の南端、高安山（標高 474 m）に設置、完成したが、さっそく 7 月下旬には四国南端に上陸した台風号をみごと捕えて、その威力を遺憾なく発揮した。

これまで大阪管区気象台に設置されていた気象レーダは、波長 3.2 cm で昭和 29 年に設置された、わが国最初の現業用レーダであったが、新庁舎移転を契機に新鋭機に更新されることになったものである。新レーダは波長 5.7 cm であり、設置場所も見通しの良い高安山が選ばれたので、観測半径も 400 km におよび、南は室戸岬のはるか洋上、西は広島、北は若狭湾北方海上、東は富士山麓と格段に広がった。これにより紀伊水道を北上する台風は完全にとらえられるうに、瀬戸内海を横断する台風も十分な観測ができ、従来近畿、四国、中国の盲点となっていたところがカバーされるので、台風あるいは異常気象時には大いに活躍するものと期待されている。

このレーダには PPI/RHI、A スコープの指示装置のほか、レーダ映像を自動的に写真記録する専用の PPI/RHI 装置、さらに雨や台風の定量的測定を容易にするため、一定強度以上の降雨だけを画面に表示させる新方式の等エコー装置が設備されている。

なお、このレーダは高安山で観測されるほか、探知されたレーダ映像はレーダリレー装置により、約 15 km 離れた大阪管区気象台（大阪市内）に常時伝送され、観測予測に利用される。

レーダリレー用送受信機は、送信クライストロンおよび高圧電源を除いてすべて半導体化されており、現用・予備の 2 セットを 1 架構成とし、障害時には電子スイッチによる自動切換えを行なうセット予備方

式により信頼性をあげている。伝送される信号は、高安山局から大阪局に対してレーダ映像信号・アンテナ角度信号のほか、5 CH の電話相当信号を用いてレーダ、レーダリレー機器の状態を示す遠方表示信号・地震計観測信号を伝送し、また室戸その他大阪管内の VHF 網との回線接続ができるようになっている。大阪局から高安山局へは、連絡用の電話信号 3 CH を伝送している。

### 主要性能

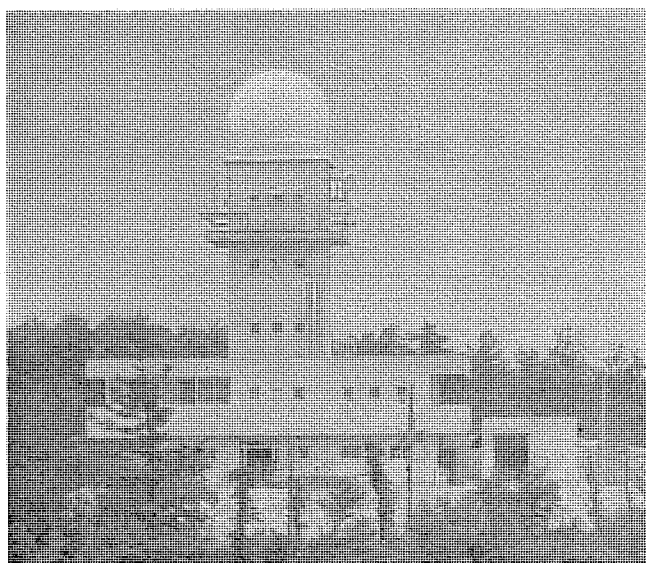
#### (1) レーダ

|          |                                                           |
|----------|-----------------------------------------------------------|
| レードム     | ………直径 5.5 m 高さ 4.3 m                                      |
| 空中線直径    | ………3 m パラボラ                                               |
| 空中線走査    | ………水平、仰角とも自動および手動制御                                       |
| 送信周波数    | ………5,300 MHz $\pm$ 10.6 MHz                               |
| 送信出力     | ………250 kW                                                 |
| パルス幅     | ………2 $\mu$ s                                              |
| パルス繰返周波数 | ………260 PPS                                                |
| 観測距離（切換） | ………50, 100, 200, 300, 400 km                              |
| 表示高度（切換） | ………10, 20 km                                              |
| 等エコー表示   | ………0 $\sim$ 35 dB の範囲 5 dB ステップ および連続可変                   |
| エコー強度指示  | ………3 $\sim$ 400 km の任意地点のエコー強度を最大 60 dB の範囲で 3 dB ごとに表示記録 |

#### (2) レーダリレー

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 送信周波数 | ………高安山局 6,860 MHz    |
|       | ………大阪局 6,700 MHz     |
| 空中線直径 | ………2 m パラボラ          |
| 送信出力  | ………D. 6 W            |
| 通信方式  | ………レーダビデオ FM         |
|       | ………アンテナ角度信号 AM-SS-FM |
|       | ………多重電話信号 SS-FM      |
| 伝送容量  | ………レーダビデオ 1 CH       |
|       | ………電話 60 CH          |

[通信機製作所]



高安山気象レーダ観測所

## ■ エンジンおよびトランスミッション 自動耐久試験装置

わが社では、かねて某自動車メーカ向けとして製作中であった、わが国初のプログラムコントロールによるトランスミッションおよびエンジンのシミュレート耐久試験装置をこのほど完成し、成功のうちに試運転を完了した。

この装置は、エンジンの負荷（換言すれば出力）を実車走行シミュレートにさせたパターンで、あらかじめプログラムとして与えておき、そ

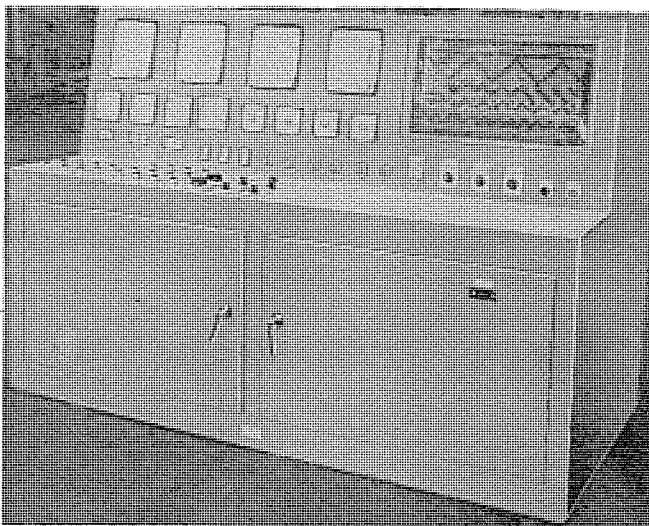


の 패턴の中で生じる加減速のさいのクラッチのオンオフ、トランスミッションギアの速比の切換え、スロットルの開度調整をプログラムの指令により自動的にこなすもので、これにより、従来、人間による操作ではほとんど不可能であったトランスミッションギアの切換え、および各速比での連続運転などの耐久試験が可能となり、また、あわせてエンジンの耐久試験も行ない得るものである。

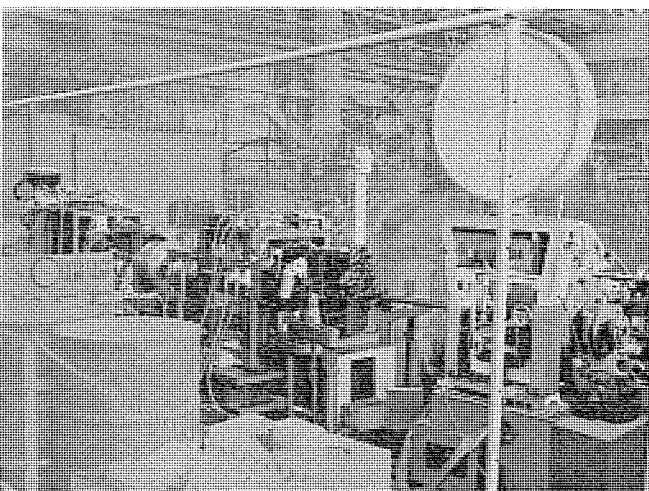
この装置は、被試験エンジン、クラッチおよびトランスミッション、慣性補償用フライホイール、動力吸収用渦電流ダイモーター、スロットル開度調整用油圧サーボアクチュエータ、クラッチのオンオフ用アクチュエータ、シフトレバーおよびセレクトレバーの位置切換用アクチュエータと、これらのための油圧発生装置ならびにプログラムコントロールのための制御盤などから成っている。

この装置のおもな特長は、

- (1) 実車走行をシミュレートしたいろいろのプログラムを自由に組むことができ、これらのすべてはついて全自動耐久試験が可能である。
- (2) 各アクチュエータおよびその他の装置は広範囲のエンジン、トランスミッションについて適応できるよう設計されている。
- (3) クラッチのオンオフ、トランスミッションギアの切換え、スロットル開度の加減の各操作は人間が実車走行で行なうのと同程度の速さ、力



プログラム・コントロール操作盤



(自動耐久)試験装置

感で行なうことができる。

(4) 耐久試験中、エンジン、トランスミッション、各アクチュエータ、油圧源、制御盤、その他の装置や電源などのトラブルに対して完全な保護装置を有している。

(5) 試験中、任意に手動試験に切換えることも可能である。などで、安全・確実な自動耐久試験を可能ならしめるものであり、これをシミュライザーに適用すれば、完成車の連続無人耐久試験も容易に行なうことができる。

[神戸製作所]

## ■ 大形形鋼つり上げ用リフティングマグネット

当社では今回、川崎製鉄水島製鉄所向けとして、大形形鋼つり上げ用リフティングマグネット4セットを製作納入し、大好評の内に運転されている。

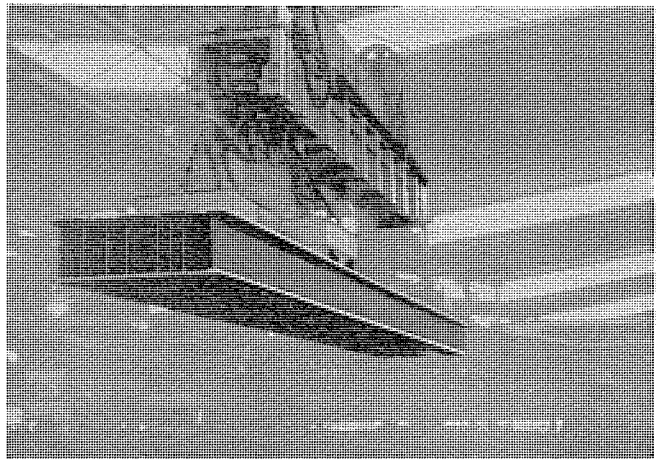
最近建築・造船等に大形形鋼の需要が増加しており、その最新鋭工場での運搬合理化の強力な武器として今後の活躍が期待されている。ブルーム、スラブつり上げ用とH形鋼つり上げ用とがありそれぞれ2台、4台1組として長尺物の運搬を行なうものである。

おもな特長としては、

- (1) 新絶縁方式の採用により重量が軽くつり上げ量が大きい。
- (2) H形鋼用は結束つり、ばらつりができ、結束つり時の形鋼の倒れ防止のため励磁電流調整装置を付けている。

おもな定格

|           | ブルーム、スラブつり上げ用               | H形鋼つり上げ用                                                   |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|
| 形名        | HM 1211                     | HM 911                                                     |
| 台数        | 2台1セット                      | 4台1セット                                                     |
| 自重        | 2×3.4トン                     | 4×2.2トン                                                    |
| 消費電力(冷時)  | 2×17.1kW                    | 4×7.1kW                                                    |
| 使用率       | 50% ED                      |                                                            |
| 電圧        | DC 220V                     |                                                            |
| つり上げ物(最大) | ブルーム 10トン×2本<br>スラブ 23トン×1枚 | H形鋼 25厚×320幅×700高<br>長さ 5~30m<br>最大 15トン<br>3本結束、5本結束、ばらつり |



川崎製鉄水島納め4×HM 911 リフティングマグネット

(3) 無停電装置用蓄電池は、常時低電圧 タップ をリフティングマグネット主回路に接続しておき、停電時に高電圧 タップ より全電圧を給電する方式としており、停電時および一時的な電圧降下に対してもつり落しの危険がない方式をとっている。

[長崎製作所]

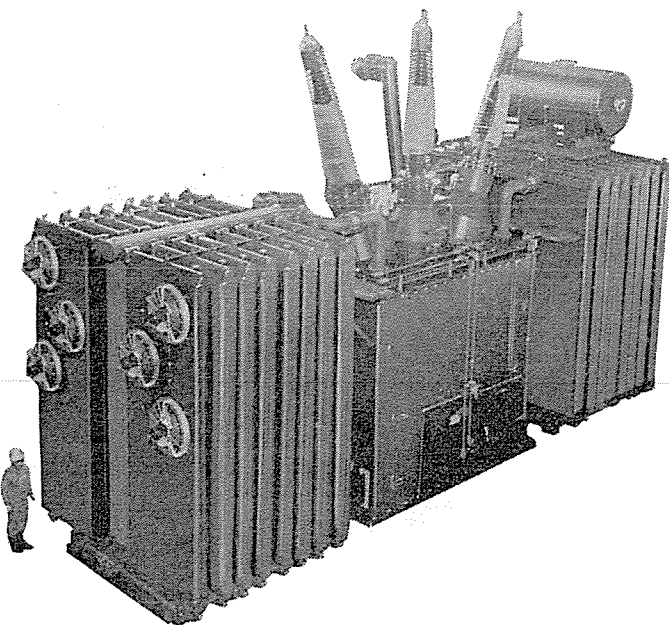
## ■ カナダ BCHA 向け 125 MVA 分路リアクトル完成

カナダブリティッシュコロンビア水力電気局 (BCHA) Ingledow S/S 向けとして製作中であつた、125 MVA 分路リアクトルが伊丹製作所で完成し出荷された。従来、わが国で製作された分路リアクトルは 77 kV 40 MVA が最大であつて、今回のカナダ向け分路リアクトルは国内における容量記録品であり、単器容量としては世界的にも最大級の画期的製品である。

この分路リアクトルは高圧大容量器として、最も合理的な空心構造・鼓形段絶縁巻線を採用しており、ホルマルより(撚)線の使用と磁気しゃへいの完全なしゃへい効果によって漂遊損の低減をはかっている。本器の冷却方式は自冷/風冷式で、自冷時は従来の 55°C 定格より 10°C 高い 65°C 定格であるため、紙巻絶縁には耐熱処理紙を使用して自冷運転時の耐熱特性を保証している。

また本器は、BCHA のきびしい仕様によるコナ試験に合格したほか、開閉サージ試験、タンク振動・応力測定などの特殊試験を行ない、とくに大容量分路リアクトルで問題となる騒音は、一重防音壁付で 73.6 ホン で大容量器にもかかわらずすぐれた結果を得ている。

■ 定 格 3 相 60 c/s 125 MVA 236 kV 星形結線  
BIL 線路側 900 kV 中性点側 150 kV  
油入自冷/風冷式 SSLRB 形



カナダ BCHA 向け 三相 236 kV 125 MVA 60 c/s 分路リアクトル

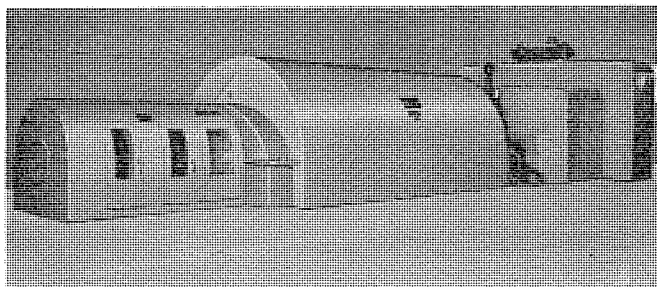
[伊丹製作所]

## ■ ブラシレス化進む —自家発タービン発電機—

自家発用タービン発電機は引き続き受注が活発で、国内・輸出とも順調に伸び続けているが、最近、直流励磁機あるいは静止励磁方式に代わってブラシレス励磁方式を採用するケースが急増しているのが注目される。

当社は3年前(昭和40年)2極タービン発電機としては、わが国初の 15,625 kVA ブラシレス発電機を日本カーバイド魚津工場へ納入したが、同機は運転開始以来順調に運転が続けている。その後ブラシスタービン発電機は増加の一途をたどり、丸住製紙(川之江工場)2×19,500 kVA、三菱油化(四日市工場)1×9,400 kVA をはじめ製作中のものを含めると合計12台、合計容量170,000 kVA に達している。

ブラシレス方式の特長などについては、すでに多くの文献(三菱電機技報29巻8月号、40巻11月号など)に述べられているので省略するが、今後の励磁方式の主役となるものと考えられている。このような観点から、当社では自家発用タービン発電機におけるブラシレス方式の将来を予測し、すでにいっさいの標準化を完了している。



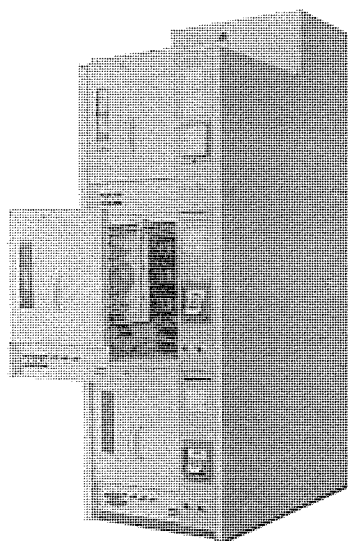
運転中の丸住製紙川元江工場納め 19,500 kVA  
ブラシスタービン発電機

[長崎製作所]

## ■ ブロックパネル(高圧配電盤)完成

3/6 kV 級の高圧電源、または負荷に使用するブロックパネルが完成し発売を開始した。このパネルは真空スイッチと限流ヒューズを組合わせたコンプレッションスタータであるが、下記の特長を有する小形・軽量・ユニークな意匠をもった開閉装置である。

- (1) JEM-1114 E級を満足する高性能配電盤。
- (2) パネルは主回路、制御回路、ケーブル引込みの3ブロックに完全分離し主回路、制御回路の各ブロックは引出し機構のため保守点検がきわめて容易である。
- (3) 従来のパネル概念を破って前面とびらをやめ、主回路ブロックは仕様を統一した不変部を集中し、一方制御回路ブロックは仕様変更に応じうる大きな自由度をもたせた。とくに高圧電動機制御用を目的としているが、変圧器、コンデンサ、給電用にも使用できる。電動機用としてはじか入れのほかリアクトル起動、コンパン起動、巻線形モータにも利用できる。
- (4) 自由連結引出機構には鎖錠装置を設け、安全設計を徹底さ



3/6 kV ブロックパネル 外観

表 1 ブロックパネル諸元表

|         |                    | 6 kV             | 6 kV       | 備 考           |
|---------|--------------------|------------------|------------|---------------|
| 最大適用負荷  | 電動機 じ か 入 れ        | 750(kW)          | 1,500(kW)  | 1ユニットあたり      |
|         | 電動機 Y-Δ            | 750(kW)          | 1,500(kW)  | 2ユニット使用       |
|         | 電動機 リアクトル起動        | 300(kW)          | 600(kW)    | 1面にリアクトル内蔵のとき |
|         | 電動機 コンベン起動         | 300(kW)          | 600(kW)    | 1面にコンベン内蔵のとき  |
|         | 変 圧 器<br>コ ン デ ン サ | 1,000(kVA)       | 1,500(kVA) |               |
| 電力ヒューズ  | しゃ断容量(三相对称値)       | 250(MVA)         | 500(MVA)   | 盤面操作断路器付属     |
|         | しゃ断容量(三相非対称値)      | 400(MVA)         | 800(MVA)   |               |
|         | 定 格 電 流            | 50, 100, 200(SA) |            |               |
| 真空スイッチ  | 定 格 電 流            | 200(A)           |            |               |
|         | し ゃ 断 容 量          | 25(MVA)          | 50(MVA)    |               |
|         | 動 作 階 級            | A 級 2 号          |            |               |
|         | 操 作 方 式            | 永久磁石による電磁操作      |            |               |
| 共 通 母 線 |                    | アルミ母線 1,000 A    |            | 列盤のときで要求あるとき  |

表 2 ブロックパネル寸法 (1面当り)

| ユニット数 | 幅 mm | 奥行 mm | 高さ mm | 備 考        |
|-------|------|-------|-------|------------|
| 1     | 800  | 1,400 | 1,200 | 脚台付き       |
| 1     | 800  | 1,400 | 800   | チャンネルベース付き |
| 2     | 800  | 1,400 | 1,550 | チャンネルベース付き |
| 3     | 800  | 1,400 | 2,300 | チャンネルベース付き |

注) 水平母線室を設けるときは高さがそれぞれ 350 増加

せている。

(5) 高さ 2,300 mm の一面に 3 ユニット収納する高圧コントロールセンター方式で据付床面積が縮少できる。一面には 1～3 段積みいずれも可能であり、列盤、共通母線を設けることもできる。

(6) 仕込生産を取って短納期体制を整えている。

主要諸元は表 1 に示すとおりである。

パネル構造は単位閉鎖自立形で、アングル溶接わく組方式のフレームに

高級仕上鋼板製のブロックを収納する。主回路ブロックは、T形のフレームに高圧主回路機器 (PT・CT を含む) を取付けてある。制御回路ブロックは、L形のフレームに低圧制御回路を収納し、外部回路とはプラグイン端子で接続される。外部ケーブルの処理は、パネル後面のケーブル室で施行できる。パネル寸法は表 2 に示すとおりである。

[長崎製作所]

## ■ スペイン国鉄向け直流電気機関車受注

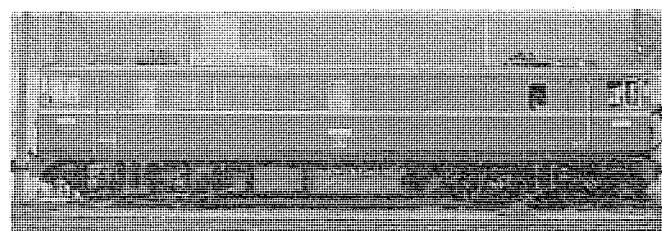
スペイン国鉄における電化は、直流 1,500 V および 3,000 V の両電圧で行なわれているが、両電圧線区で共用できる機関車 40 両の国際入札が昭和 42 年 9 月に行なわれた。当社はスペインの現地メーカー 2 社と共同入札した結果、技術的にも高い評価を受けて、フランス、イギリス、スイス および他のスペインメーカーを押えてみごと落札し、このほどスペイン国鉄と契約調印を終えた。

当社は昭和 41 年にも今回と同様、現地メーカーと共同で、スペイン国鉄より 16 両の電気機関車の受注に成功しているが、これらの機関車の運転実績がきわめて高く評価されていることも幸いして、今回の大口受注に成功したものである。

今回の 40 両機関車の仕様は前回 16 両機関車よりも、15% 出力増大しているため、定格引張力が大きくなり、機関車重量も若干増加しているほか、機器の互換性についても考慮が払われている。

この機関車の主要要目はつぎのとおりであるが、複電圧において全出力使用可能、記録的出力の 1 台 1 車電動機方式、歯車比切換えによる客貨両用、主電動機の電機子 H 種絶縁、電気ブレーキに弱界磁を使用して高速性能の改善等の特長とともにいっそうの技術的改善を加えて、鋭意製作にはいった。

|        |                              |           |
|--------|------------------------------|-----------|
| 架線電圧   | DC 1,500/3,000 V             |           |
| 軌 間    | 1,668 mm                     |           |
| 軸配置    | B-B                          |           |
| 運転整備重量 | 82.5～88 ton                  |           |
| 機関車性能  | 客 車                          | 貨 車       |
| 定格出力   | 3,100kW                      |           |
| 定格速度   | 65.7 km/h                    | 40.8 km/h |
| 定格引張力  | 17,000 kg                    | 27,200 kg |
| 最大運転速度 | 130 km/h                     | 80 km/h   |
| 機関車のみ  | 140 km/h                     |           |
| 主電動機   | 1,550 kW×2, DC 1,500/3,000 V |           |
|        | 1,100/550 A, 950 rpm         |           |



スペイン国鉄向け直流電気機関車

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| 電動発電機  | 80 kW, DC 110 V                               |
| 制御方式   | 直並列制御, 抵抗バーニア制御, 弱め界磁制御                       |
| ブレーキ方式 | 機関車—空気 ブレーキ, 電気 ブレーキ<br>手 ブレーキ<br>列 車—真空 ブレーキ |

写真は前回製作した 16 両機関車のものである。

[伊丹製作所]



ボリビア 国鉄向け ディーゼル 電気機関車

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| 最大運転速度 | 70 km/h                         |
| 最大引張力  | 20,400 kg                       |
| 主発電機   | 810 kW, 520 V, 1,560 A, 925 rpm |
| 主電動機   | 6×118 kW, 260 V, 520 A, 465 rpm |
| 補助発電機  | 32 kW, 110 V, 273 A             |
| ブレーキ方式 | 空気 ブレーキ, 電気 ブレーキ, 手 ブレーキ        |

写真は完成した機関車である。

[伊丹製作所]

## ■ ボリビア国鉄向けディーゼル電気機関車完成

当社は南アメリカのボリビア国鉄より、ディーゼル電気機関車 10 両を受注し、鋭意製作中であつたが、本年 5 月と 6 月にそれぞれ 5 両ずつあいついで完成し船積み完了した。

ボリビア国鉄としては最初に採用するディーゼル電気機関車で、アンデス山脈上の最高高度 4,887 m の高地鉄道を走るもので、世界でもまれな鉄道である。このため本機関車は気圧はもとより、気候条件などを十分考慮して設計製作されており、つぎのような特長を有している。

(1) ディーゼル機関は 3,700 m 高度において、1,270 PS の現地出力を有し、3,700 m 以上 4,887 m 高度では高度が高くなるほど、機関出力を低減して使用するため調速機に高度補正装置を備えている。

(2) 最高高度では約 0.6 気圧となるが、機関出力および送風機、電気品の冷却効果には十分考慮を払った設計となっている。

(3) 線路は山岳地帯にあるため、急こう配、急カーブが多く、ブレーキ装置として空気ブレーキのほか、抑速発電ブレーキを装備して、実際の運転を容易にしてある。

(4) 現地は熱帯に位置しているが、高地であるため冬期の気温は零下 20°C にも達し、機関予熱装置のほか、機関始動に十分な容量の蓄電池を備えている。

(5) 発電機、主電動機および補助回転機構は AIEE 規格に準拠して、高地定格を採用している。制御装置も定格の 10% アップの容量を持たせている。

(6) 現地の線路周辺は砂じんが多いため、機関のフィルタおよび主電動機の減速歯車装置に特別の対策が施されている。

機関車の主要要目はつぎのとおりであるが、この機関車がボリビア国鉄において十分に性能を発揮して、ボリビアの交通と産業の発展に寄与することが期待される。

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| 軌 間    | 1,000 mm                                       |
| 用 途    | 客貨両用                                           |
| 軸配置    | B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub> |
| 運転整備重量 | 81.6 t                                         |
| 車輪径    | 1,000 mm                                       |
| 機関出力   | 1,270 PS/925 rpm                               |
| 機関車性能  |                                                |
| 定格速度   | 18.5 km/h                                      |
| 定格引張力  | 13,650 kg                                      |

## ■ 国鉄向け EF 71 形交流機関車

この 10 月交流電化される奥羽本線、福島—米沢間の急こう配区間専用機として、回生ブレーキ付きの EF 71 形交流電気機関車が、11 両投入されることになり、そのうち 6 両がこのほど当社で完成した。この機関車は、ED 78 形機関車とともに、わが国初めての量産形回生ブレーキ付き交流電気機関車であって、そのおもな特長はつぎのとおりである。

(1) 誘導障害を軽減させるため、主変圧器の二次巻線を 6 分割し、それぞれにサイリスタブリッジを接続して非対称点弧制御を行なっている。

(2) 力行時の電動機の電圧制御は、全サイリスタブリッジの位相制御によって行なっている。

(3) 回生ブレーキ時の電動機の電圧制御は、インバータ運転した全サイリスタブリッジの位相制御によって行なっている。

(4) この機関車の粘着条件には、比較的余裕があるため、主電動機は 2 S 3 P の永久並列接続とし、全直流電流を軽減して、主変圧器、整流装置などの主要機器を合理的な設計としている。

(5) 空転・滑走時の対策として、自動的な電圧戻し制御を採用し、再粘着性能の向上をはかっている。

EF 71 形交流電気機関車の主要要目は下記のとおりである。

|              |                                                |
|--------------|------------------------------------------------|
| (1) 軸配置      | B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub> |
| (2) 重 量      | 運転整備重量 96 t, 軸重 16 t                           |
| (3) 1 時間定格出力 | 2,700 kW                                       |
| 1 時間定格引張力    | 21,000 kg                                      |
| 1 時間定格速度     | 46.1 km/h                                      |



|     |                    |                                     |
|-----|--------------------|-------------------------------------|
| (4) | 連結面間距離             | 18,500 mm                           |
|     | 全軸距                | 14,100 mm                           |
|     | 台車中心間距離            | 5,800 mm × 2                        |
|     | 台車軸距               | 2,500 mm (両端)<br>2,800 mm (中間)      |
| (5) | 両端台車               | DT 129 M<br>DT 129 N                |
|     | 中間台車               | DT 137                              |
| (6) | 主電動機               | MT 52 A × 6 個 2 S 3 P               |
|     | 歯車比                | 4.4                                 |
| (7) | 主変圧器               | TM 15                               |
|     | 容量(一次/二次/三次/四次/五次) | 3,120/2,920/130/(380)/100 kVA       |
|     | 電圧(同上)             | 20,000/2,208/402/(1,510)/335 V      |
|     | 二次側分割数             | 6 分割                                |
| (8) | 主整流器               | RS 32                               |
|     | 主サイリスタ             | CSI 250-12<br>1 S × 8 P × 4 A × 6 G |
|     | ゲート制御              | 非対称制御                               |
|     | 定格出力               | 2,000 V-1,500 A                     |
| (9) | 励磁用整流器             | RS 31 A                             |



国鉄向け EF 71 形交流機関車

|      |          |                            |
|------|----------|----------------------------|
|      | 主サイリスタ   | CSI 250-12 1 S × 2 P × 2 A |
|      | 主ダイオード   | SI 300 1 S × 3 P × 1 A     |
|      | 定格出力     | 150 V-600 A                |
| (10) | 主平滑リアクトル | IC 40 × 3 台                |
| (11) | 安定抵抗器    | MR 96                      |
| (12) | 制御方式     | 定電圧制御, 励磁定電流制御, 重連<br>総括制御 |
| (13) | 補機方式     | 相変換機による三相誘導電動機式            |

[伊丹製作所]

# 次号予定

三菱電機技報 Vol. 42, No. 10.

## カラーテレビ特集

### 《巻頭言》

○カラーテレビ特集号の発刊にあたって

### 《特集論文》

- 色彩心理学とカラーテレビ
- 最近の三菱カラーテレビ受信機
- カラーテレビ受信機の信頼性
- テレビIC化研究とその問題点
- 19形カラー受像管490AKB22A
- 防爆形カラー受像管
- カラー受像管の経時変化—コンバージェンスとランディング—
- 偏向コイル内部磁界分布とコンバージェンス補正磁界
- カラーテレビ受信機の品質保証体制
- 照明とカラーテレビ受信機
- カラーテレビ受信アンテナの問題点

### 《普通論文》

- 吸込口改良うず流し形ポンプの特性
- MELCOM-3100ソフトウェア(5)
- ACEコンパイルシステムの概要—
- アナログ計算機用デジタル入出力装置
- 最近のノーヒューズしゃ断器およびトライバックしゃ断器
- 誘導機の特性の理論計算法
- フランス原子力庁納めML-5形線形電子加速器

## 三菱電機技報編集委員会

|      |       |
|------|-------|
| 委員長  | 小倉弘毅  |
| 副委員長 | 片岡高示  |
| 常任委員 | 明石精一  |
| “    | 石川理一  |
| “    | 上田重夫  |
| “    | 宇佐美重夫 |
| “    | 大野寛孝  |
| “    | 神崎遼   |
| “    | 北川和人  |
| “    | 小堀富次雄 |
| “    | 鈴木正村  |
| “    | 祖父江晴秋 |
| “    | 山田栄一  |
| “    | 横山茂   |
| 委員   | 尾畑喜行  |
| “    | 黒田忠光  |
| “    | 南日達郎  |
| “    | 林昇寿   |
| “    | 松元雄蔵  |
| “    | 和田義勝  |

(以上50音順)

昭和43年9月22日印刷 昭和43年9月25日発行  
「禁無断転載」定価1部金100円(送料別)

### 編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅

### 印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 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 高橋武夫

### 発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル内)

(電) 03-212-6111 (内線 3818)

### 発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

(電) 03-291-0921 振替東京 20018

## 本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本社 東京都千代田区丸の内2丁目12番地  
(三菱電機ビル) (電) 03-212-6111

|          |                                                    |                    |
|----------|----------------------------------------------------|--------------------|
| 大阪営業所    | 大阪市北区梅田町8・西阪神ビル                                    | (電) 06-312-1231    |
| 名古屋営業所   | 名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル                              | (電) 052-561-5311   |
| 福岡営業所    | 福岡市天神2-12-1・天神ビル                                   | (電) 092-75-6231    |
| 札幌営業所    | 札幌市北二条西4-1・北海道ビル                                   | (電) 0122-26-9111   |
| 仙台営業所    | 仙台市大町4-175・新仙台ビル                                   | (電) 0222-21-1211   |
| 富山営業所    | 富山市桜木町1-29・明治生命館                                   | (電) 0764-31-8211   |
| 広島営業所    | 広島市中町7-32・日本生命ビル                                   | (電) 0822-47-5111   |
| 高松営業所    | 高松市鶴屋町5-1                                          | (電) 0878-51-0001   |
| 東京商品営業所  | 東京都千代田区丸の内2-12・三菱電機ビル                              | (電) 03-212-6111    |
| 大阪商品営業所  | 大阪市北区堂島北町8-1                                       | (電) 06-344-1231    |
| 名古屋商品営業所 | 名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル                              | (電) 052-561-5311   |
| 福岡商品営業所  | 福岡市天神2-12-1・天神ビル                                   | (電) 092-75-6231    |
| 札幌商品営業所  | 札幌市北二条西4-1・北海道ビル                                   | (電) 0122-26-9111   |
| 仙台商品営業所  | 仙台市大町4-175・新仙台ビル                                   | (電) 0222-21-1211   |
| 富山商品営業所  | 富山市桜木町1-29・明治生命館                                   | (電) 0764-31-8211   |
| 広島商品営業所  | 広島市中町7-32・日本生命ビル                                   | (電) 0822-47-5111   |
| 高松商品営業所  | 高松市鶴屋町5-1                                          | (電) 0878-51-0001   |
| 新潟営業所    | 新潟市東大通1-12・北陸ビル                                    | (電) 0252-45-2151   |
| 中央家電営業所  | 東京都千代田区丸の内2-12・三菱電機ビル                              | (電) 03-212-6111    |
| 城北家電営業所  | 東京都文京区大塚3-3-1・新茗溪ビル                                | (電) 03-944-6311    |
| 城南家電営業所  | 東京都世田谷区池尻3-10-3<br>三菱電機世田谷ビル                       | (電) 03-411-8181    |
| 城西家電営業所  | 東京都杉並区清水1-10-1                                     | (電) 03-392-6823    |
| 横浜家電営業所  | 横浜市中区富士見町3-4                                       | (電) 045-251-2226   |
| 大宮家電営業所  | 大宮市寿能町1-34・大宮公園ビル<br>(電) 0486-41-5324 43-4116-0156 |                    |
| 千葉家電営業所  | 千葉市新宿町2-49・三菱電機千葉ビル                                | (電) 0472-27-5486-8 |
| 静岡出張所    | 静岡市七間町9-10・池田ビル                                    | (電) 0542-53-9186   |
| 長崎出張所    | 長崎市大黒町3-1・長崎産業交通ビル                                 | (電) 0958-23-6101   |
| 岡山出張所    | 岡山市西長瀬字村北122-1<br>三菱電機岡山ビル                         | (電) 0862-24-0331   |
| 中央研究所    | 尼崎市南清水字中野80                                        | (電) 06-491-8021    |
| 商品研究所    | 鎌倉市大船2-14-40                                       | (電) 0467-6-6111    |
| 神戸製作所    | 神戸市和田崎町3-10-1                                      | (電) 078-67-5041    |
| 伊丹製作所    | 尼崎市南清水字中野80                                        | (電) 06-491-8021    |
| 三田工場     | 三田市三輪町字父々部85                                       | (電) 07956-4371     |
| 長崎製作所    | 長崎市丸尾町6-14                                         | (電) 0958-23-6211   |
| 福沢製作所    | 福沢市井之口1100                                         | (電) 0587-32-4121   |
| 和歌山製作所   | 和歌山市岡町91                                           | (電) 0734-23-7231   |
| 鎌倉製作所    | 鎌倉市上町屋325                                          | (電) 0467-6-1111    |
| 通信機製作所   | 尼崎市南清水字中野80                                        | (電) 06-491-8021    |
| 北伊丹製作所   | 伊丹市大鹿字主ヶ池1                                         | (電) 0727-72-5131   |
| 熊本市工場    | 熊本市竜田町弓削720                                        | (電) 0963-62-7211   |
| 名古屋製作所   | 名古屋市東区矢田町18-1                                      | (電) 052-721-2111   |
| 福岡製作所    | 福岡市今宿青木690                                         | (電) 092-88-0431    |
| 福山製作所    | 福山市緑町1-8                                           | (電) 0849-21-3211   |
| 姫路製作所    | 姫路市千代田町840                                         | (電) 0792-23-1251   |
| 相模製作所    | 相模原市小山字久保224                                       | (電) 0427-72-5131   |
| 世田谷工場    | 東京都世田谷区池尻3-1-15                                    | (電) 03-414-8111    |
| 静岡製作所    | 静岡市小丸110                                           | (電) 0542-85-1111   |
| 中津川製作所   | 中津川市駒場町1-3                                         | (電) 05736-5-2121   |
| 大船製作所    | 鎌倉市大船5-1-1                                         | (電) 0467-6-6111    |
| 郡山製作所    | 郡山市栄町2-25                                          | (電) 02492-2-1220   |
| 群馬製作所    | 群馬県新田郡尾島町大字岩松800                                   | (電) 0276-22-4311   |
| 藤岡工場     | 藤岡市本郷字別町1173                                       | (電) 02742-2-1185   |
| 京都製作所    | 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所1                                 | (電) 075-921-4111   |
| ラジオ工場    | 尼崎市南清水字中野80                                        | (電) 06-491-8021    |
| 札幌営業所    | 札幌市北二条東12-98                                       | (電) 0122-22-3976   |