

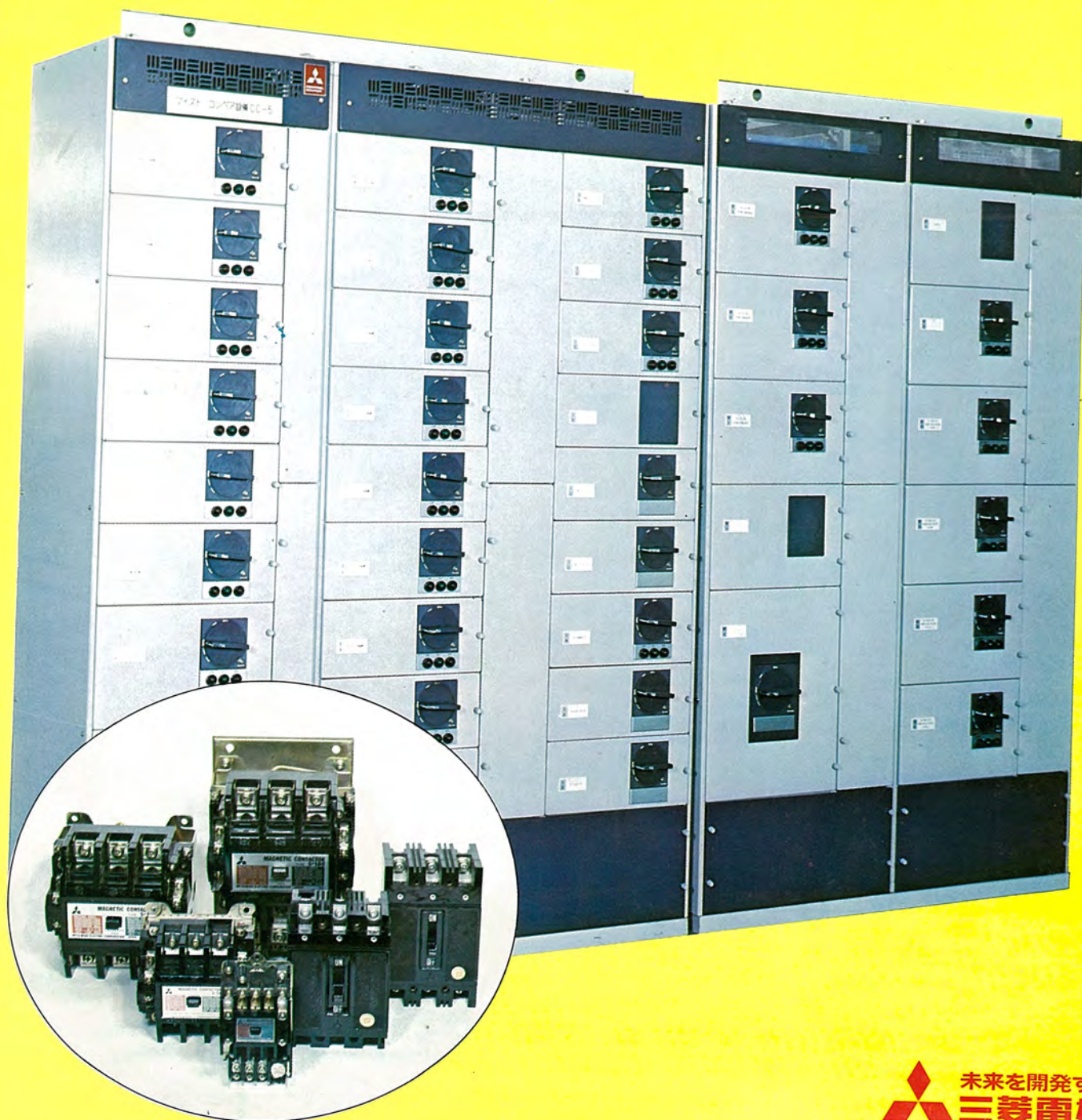
# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.47 June 1973

配電用しゃ断器および制御器特集

# 6

三菱E形コントロールセンタ







## 配線用しゃ断器および制御器特集

### 目次

#### 《特集論文》

最近の永久ヒューズ付きしゃ断器(ウルトラブレーカ).....	山本啓一・実森俊夫・原文吾・藤久博章...	567
永久ヒューズを使用したコントロールセンタ.....	堀田滋矩・高橋勝.....	574
SCB 4000 形 システムブレーカ.....	長谷川清博・寺地淳一.....	579
低圧配電における短絡保護協調.....	江口清司・実森俊夫.....	583
最近の漏電しゃ断器の諸性能.....	山本清美・佐藤勇.....	593
三菱標準制御器の系列と適用.....	丸地謙二.....	600
電磁開閉器・接触器の技術動向と海外規格への適応.....	丸地謙二・岡戸弘行.....	607
制御用継電器の適用と信頼性.....	飯田博・三浦守生・長尾良章.....	614
永久ヒューズと電磁開閉器の組合せ.....	岡戸弘行・渋川弘一.....	622
誘導電動機の保護継電器.....	三浦守生・中村隆.....	629
漏電リレーとその応用.....	武田克巳・河野教人.....	636
最近のタイムスイッチとその動向.....	山根満徳・藤原弘之・山本茂之.....	642

#### 《普通論文》

パターン処理システム(Ⅲ) —レゾリューションを用いた定理の証明プログラム—.....	伊藤貴康・安藤茂.....	649
ガラスレーザ加工機.....	吉田寿夫・荒井伸治.....	653
半導体レーザ.....	中原昭次郎・長能宗彦・浪崎博文・奥泰二・須崎渉・伊藤昭子・石井恂・菅博文.....	660

#### 《技術解説》

オージェ電子分光法とその応用.....	室谷利夫・藤原賢三・大谷誠・西嶋光昭.....	667
---------------------	-------------------------	-----

#### 《新製品紹介》

三特性付きノーヒューズしゃ断器・4極ノーヒューズしゃ断器.....	675
-----------------------------------	-----

#### 《ニュースフラッシュ》

後楽園 黄色いビルでエスカレータ大活躍.....	678
--------------------------	-----

#### 《特許と新案》

冷温水供給装置・接合形電界効果トランジスタ・ジェット渦巻ポンプ・ジェット渦巻ポンプ.....	647
--	-----

#### 《表紙》

##### 表紙1 三菱E形コントロールセンタ

三菱電機は昭和29年にわが国で初めてコントロールセンタを発売し、以来、低圧電動機の集中制御と、き電回路の分岐用としてつねに顧客本位の合理的な機能、高い信頼性、安全性を追求した結果、その真価が認識されて市场占有率第1位を誇っている。

生産開始以来の面数は50,000面に近く、国内はもちろんのこと、世界の二十数カ国で活躍している。

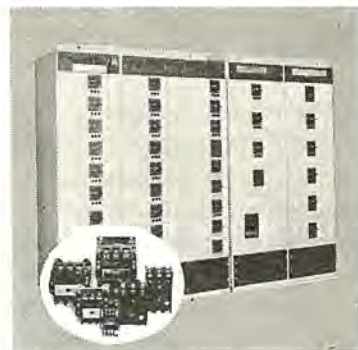
最近では、上、下水処理、集じん機など公害防止の分野へも活躍の領域を拡げている。

このコントロールセンタには業界 No. 1 の三菱ノーヒューズブレーカおよび制御機器が使用され高性能、高信頼性を支えている。

表紙2 三菱漏電しゃ断器

表紙3 三菱制御機器

表紙4 三菱深夜電力用電気温水器





## SPECIAL EDITION : MOLDED CASE CIRCUIT BREAKERS AND SWITCH GEARS

### CONTENTS

#### SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Recent Molded Case Circuit Breakers with Permanent Power Fuses	
.....K. Yamamoto • T. Jitsumori • B. Hara • H. Fujihisa	567
Motor Control Centers Equipped with Permanent Power Fuses for Limiting Current	S. Hotta • M. Takahashi...574
Type SCB 4000 System Circuit Breakers	K. Hasegawa • J. Terachi...579
Coordination of Short-Circuit Protection for Low Voltage Power Distribution	K. Eguchi • T. Jitsumori...583
Performance of Recent Earth Leakage Circuit Breakers	K. Yamamoto • I. Satô...593
Mitsubishi Control Apparatus Series and Their Application	K. Maruchi...600
Technical Movement and Adaptability to Foreign Standards of Magnetic Starters and Contactors	
.....K. Maruchi • H. Okado	607
Application and Reliability of Control Relays	H. Iida • M. Miura • Y. Nagao...614
Combination of Magnetic Starters and Permanent Power Fuses	H. Okado • K. Shibukawa...622
Protection Relays of Induction Motors	M. Miura • T. Nakamura...629
Earth Leakage Relays	K. Taketa • N. Kouno...636
Recent Time Switches and Their Trends	M. Yamane • H. Fujiwara • S. Yamamoto...642

#### TECHNICAL PAPERS

Pattern Processing System (III) —A Resolution Theorem Prover	T. Itô • S. Andô...649
Glass Laser Machine	H. Yoshida • S. Arai...653
Semiconductor Lasers	S. Nakahara • M. Nagano • H. Namizaki • T. Oku • W. Susaki • A. Itô • M. Ishii • H. Kan...660

#### TECHNICAL EXPLANATION

Auger Electron Spectroscopy and its Application	T. Murotani • K. Fujiwara • M. Otani • M. Nishijima...667
---	---

NEW PRODUCTS	675
--------------	-----

NEWS FLASH	678
------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL	647
--------------------------	-----

#### COVER :

##### Type E Control Centers

Since Mitsubishi placed the control centers on the market in 1964, the Company has made untiring effort to make them possess rational performance, high reliability and safety in operation when used for the control of low voltage motors and for branching the feeder circuits. As a result, the real value of the devices has been recognized so much that they now rank the first in the production of this line by reaching 50,000 sets since their debut. The products are well commented not only in the domestic market but also welcomed in twenty two countries overseas.

Recently they are extending the application to the facilities in the field of coping with the public hazard such as sewage disposition and dust collection. For the control centers are used Mitsubishi no-fuse breakers, the second to none in the circles, and control apparatus which contribute to the excellent performance and high reliability in the operation.

UDC 621.316.57

## 最近の永久ヒューズ付きしゃ断器(ウルトラブレーカ)

山本啓一・実森俊夫・原 文吾・藤久博章

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P567～573

低圧大容量の電路保護システムを経済的に設計するためには、カスケード方式に適した限流機能を有するしゃ断器を設置することが肝要である。一方、最近の電路保護システムにおいて選択しゃ断方式を追求するケースが多くなり、このため限流と短限時時間遅れの両方の機能をあわせもったものとして、新形永久ヒューズ付きしゃ断器が開発された。これは短絡発生時に永久ヒューズにより限流を行ない、さらにその接点の開離時間に遅れをもたせて下位のノーヒューズしゃ断器との間の選択しゃ断を可能にしたものである。

そこで、本論文では800A フレームまで、シリーズとして整った永久ヒューズ付きしゃ断器と新に開発した選択しゃ断可能な短限時付き永久ヒューズ付きしゃ断器について説明を加える。

UDC 621.316.34

## 永久ヒューズを使用したコントロールセンタ

堀田滋矩・高橋 勝

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P574～578

近年各種プラントは大形化し、電源変圧器の容量も増加の一途をたどり系統の保護に対する重要度は非常に高くなっている。

万一、系統に短絡事故が発生したとき、事故回路を確実にしゃ断する高しゃ断容量品と、他の健全回路には無停電で給電可能な、選択しゃ断方式が望まれている。

本論文は当社特許の永久ヒューズを限流装置としてまとめ、コントロールセンタの引込口に設置し、つぎの画期的事項を可能にした。

- (1)はん用ノーヒューズしゃ断器のしゃ断容量がAC460V, 20万Aになる。
- (2)ノーヒューズしゃ断器 相互間の選択しゃ断を大電流域まで可能にした。

UDC 621.316.57

## SCB4000形システムブレーカ

長谷川清博・寺地淳一

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P579～582

小形・経済性を特長とするノーヒューズしゃ断器の分野では、数年前から大容量化が進み、現在、国内において、4,000A定格のものが発表されている。

当社は、2年前、NF4000形ノーヒューズしゃ断器を開発完了していたが、その後、動作特性・経済性・接続方式などの研究を重ね、このたび、SCBシリーズの拡大として、長限時・短限時・瞬時および地絡保護の四つをそれぞれ広範囲に調整できるSCB4000形システムブレーカを開発した。本文では、その製品概要を紹介するとともに、表皮効果・熱放散・モールドケースなど、大容量化にともなう問題点の解決手段について述べている。

UDC 621.316.57

## 最近の漏電しゃ断器の諸性能

山本清美・佐藤 勇

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P593～599

感電防止および地絡保護用として漏電しゃ断器が普及してきたが、わが国では使用実績が浅いこともあって実用面で問題がないとはいえない。実用上、問題として発生しがちな諸点についてN形漏電しゃ断器は種々の対策が折込んであるので、この点について実験データをおもに解析してみた。

UDC 621.316.545

## 三菱標準制御器の系列と適用

丸地謙二

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P600～606

各種産業界の設備、機械の自動化、ビル設備さらに一般民生用機器の普及発達にともない、使用される制御機器の需要の伸びはいちじるしくまた技術的にも急速に成長している。

これら制御機器は機械や装置の機能部品として使用分野の拡大、多様化および信頼性の向上が望まれている。ここでは制御機器の最近の技術動向と三菱制御器の標準シリーズの製品系列の概要と適用について解説し、需要者各位の選択使用の参考にしてている。

UDC 621.316.545

## 電磁開閉器・接触器の技術動向と海外規格への適応

丸地謙二・岡戸弘行

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P607～613

電磁開閉器は、年々着実に大幅な需要の伸びを示し発展してきているが、これにともなって技術的進歩も大きく、小形化・高性能化の面では、ある程度完成の領域に近づいている。したがって本文では、技術動向として、最近クローズアップされてきている電磁開閉器の二次的な性能と機能、すなわち短絡事故時の保護協調の問題、耐環境性、安全性の面をとり上げて記載し、当社製品について、これら諸項目に対する適合状況を明らかにするとともに、最近の海外規格の内容を比較検討し、あわせて当社製品の適合状況を記載した。

UDC 621.316

## 低圧配電における短絡保護協調

江口清司・実森俊夫

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P583～592

電力負荷密度の高い地域への信頼性の高い給電方式として、スポットネットワーク配電方式がある。しかし、この配電方式では、事故時の短絡電流がきわめて大きくなり、それを安全に、かつ、電力の連続供給性を重視して処理することが要求される。

ここでは、ノーヒューズしゃ断器を中心に配線用ヒューズを含め、これらの要求に適用できる、カスケードバックアップ保護方式および選択しゃ断保護方式について解説し、検証に基づいて多数得たノーヒューズしゃ断器および配線用ヒューズの具体的な組合せについて述べる。

UDC 621.318.56

## 制御用継電器の適用と信頼性

飯田 博・三浦守生・長尾良章

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P614～621

制御用継電器は産業界における設備の省力化・合理化の気運の向上につれ急速に需要を伸長し、制御装置の多様化・高信頼化の要求が強まっている。一方、制御用継電器の機種・用途面の多様化にともないその選定、および適用が複雑となり、この選定、適用の良否が制御装置の総合信頼性を左右する重要な要因にもなっている。

本文では、制御用継電器、なかでもその中心的存在としての制御用電磁継電器および限時継電器の適用と信頼性について概説し、制御装置の総合信頼性向上のための参考に供したいと考える。



UDC 621.316.545:621.316.92

## 永久ヒューズと電磁開閉器の組合せ

岡戸弘行・渋川弘一

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P622～628

配線用しゃ断器と電磁開閉器を含む分岐回路において短絡事故が発生すると、従来はほとんどの場合電磁開閉器の破損を伴っている。

システムとしての信頼性を考えるとこれは好ましくないが、種々の困難な問題があり、完全な保護協調は今後の課題として残されてきている。

当社では、最近特別に接点の耐溶着性を向上させたHシリーズ電磁開閉器を開発し、これに永久ヒューズを組合せて、三相460V 50kAまでの全電流域にわたり完全な保護協調の可能なコンビネーションスタータを実現した。本文では、Hシリーズ電磁開閉器の特性・性能、永久ヒューズと組合せた場合および一般の配線用しゃ断器と組合せた場合の保護協調の状況などを紹介した。

UDC 164.3

## パターン処理システム

—レゾリューションを用いた定理の証明プログラム—

伊藤貴康・安藤 茂

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P649～652

定理の自動証明に使われるJ. A. Robinsonのレゾリューションプリンシプルを簡単に紹介し、それをインプリメントしたプログラムによる実行例を示す。

UDC 621.318.5[621.313.3]

## 誘導電動機の保護継電器

三浦守生・中村 隆

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P629～635

誘導電動機の保護については多様化の傾向がみられる。これは電動機の小型化・軽量化のすう勢からE種へ、さらにF種への移行による熱的裕度の減少傾向、また使用方法も電動機の閑欠運転、正逆運転および変動負荷運転と多岐にわたり、一方電動機の種類も水中電動機、極数および周波数変換電動機など多様化した理由による。

したがって電動機に適正な保護継電器を選定し、能力を十分発揮させることが重要な課題となっている。ここではおもな保護継電器として熱動形過電流継電器、新開発の静止形複合保護継電器(3E継電器)、およびPTCサーミスタを使用した温度保護継電器の概要を述べ、また各種の保護継電器の選択の基準をまとめた。

UDC 629.048.7:621.375.826

## ガラスレーザ加工機

吉田寿夫・荒井伸治

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P653～659

ガラスレーザビームは高パワー密度の小さなスポットに集光することができる。したがって、非接触で微細な溶接および穴あけ加工が大気中でできる。熱影響部は狭く、機械的に加圧しないので被加工物は変形しない。

レーザ出力30J・パルス持続時間0.4～7msのガラスレーザ加工機を試作したので、レーザの発振特性および基本的な溶接・穴あけ加工特性について述べる。

レーザビームによる深溶け込み溶接機構について解析し、円柱熱源のモデルを用いて溶け込み形状を求めている。

UDC 621.316.925

## 漏電リレーとその応用

武田克巳・河野教人

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P636～641

電気設備技術基準の改正に伴い地絡保護装置として漏電リレーの需要が増大してきた。当社漏電リレーもN-V-ZB形などユニークな新製品を加え、シリーズ化したのでここに紹介するとともにZ～3の応用例についても述べる。

UDC 621.382:535.374

## 半導体レーザ

中原昭次郎・長能宗彦・浪崎博文・奥 泰二

須崎 渉・伊藤昭子・石井 恂・菅 博文

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P660～666

室温で連続発振する半導体レーザが、GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Asダブルヘテロ(DH)接合を用いて得られ、光通信・光情報処理など今後の発展が期待されているオプトエレクトロニクスの分野も、新しい段階に入った。このDHレーザは、動作寿命時間がまだ不十分なのが世界的な現状で、実用に至るにはこれからの研究がさらに必要である。

本文では、われわれが取り組んでいるDH接合結晶成長や動作電流の低減など、室温連続動作をさせる条件、さらに、実際に得られるレーザ素子における応用上解明の必要な動作諸特性などの問題について述べる。

UDC 621.316.57

## 最近のタイムスイッチとその動向

山根満徳・藤原弘之・山本茂之

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P642～645

最近のタイムスイッチは、高容量化と高精度が強く要求されている。特に深夜電力用タイムスイッチにおいては、従来の200V、15A、30Aクラスから現在は温水器の大形化と蓄熱暖房の併用により200V、60A級まで容量アップされ、また交通信号機用タイムスイッチにおいては、切換え精度は従来の分単位から、現在は秒単位の精度を要求されている。

ここでは従来のタイムスイッチの紹介と、最近開発されたタイムスイッチについて述べたものである。

UDC 539.27:543.42

## オージェ電子分光法とその応用

室谷利夫・藤原賢三・大谷 誠・西嶋光昭

三菱電機技報 Vol.47・No.6・P667～674

オージェ電子分光法は、最近発展した固体表面の非破壊体元素分析を行う方法である。本文ではオージェ電子放出の基本的な物理現象(オージェ電子放出の機構、オージェ電子放出とけい光X線の収率、オージェ電子の脱出深さ、電子ビームのエネルギーと入射角度の最適値、ケミカルエフェクト)、測定装置、およびいくつかの応用例(特に半導体工業・薄膜・電子放出材料・金属材料への応用)を最近の文献にもとづいて解説した。

今後この装置は表面を使う各種のデバイスに 응용されて、製造プロセスの評価、改良および新しいプロセスの開発が容易になることが期待される。

# 最近の永久ヒューズ付きしゃ断器 (ウルトラブレーカ)

山本 啓一\*・実森 俊夫\*・原 文 吾\*・藤久 博章\*

## Recent Molded Case Circuit Breakers with Permanent Power Fuses

Fukuyama Works    Keiichi Yamamoto・Toshio Jitsumori・Bungo Hara・Hiroaki Fujihisa

In the design of economical protective system of low voltage large capacity circuits, it is essential to install circuit breakers having a current limiting function suitable for a cascade style. On the other hand, selective interruption is much desired for recent circuit protection system. To meet the requirement, circuit breakers with new permanent power fuses have been developed. They are possessed of both the functions of current limiting and short time limit delay. At the occurrence of short circuit faults, the permanent power fuses operate to limit the current, and the operation time delay of the contacts effects selective interruption between them and no-fuse breakers of lower degrees. This article describes circuit breakers with permanent power fuses classified in a series up to 800 A frame and newly developed circuit breakers having short time limit permanent fuses capable of selective interruption.

### 1. ま え が き

大短絡電流が流れ得る低圧配電システムを設計するにあたって、電路保護上考慮すべき点は、

- (1) 十分なしゃ断容量をもったシステムの構成
- (2) 安全性
- (3) カスケードしゃ断方式の採用による経済性
- (4) 小形

の諸項である。当社はしゃ断時の限流効果の大きい永久ヒューズ付きしゃ断器、100 A と 225 A フレームを 1970 年に発表し、これらが上記(1)～(4)の要求事項に合致するものであることを明かにしたが、続いて 1972 年に 400 A, 600 A, 800 A フレームの一連のシリーズの開発を完了し、大しゃ断容量をもつと同時に下位の NFB の後備保護をも行ない得る主回路しゃ断器として、その配電システムへの適用が期待されている。

さらに最近の低圧配電システムは、短絡事故に際して事故点に最も近い分岐しゃ断器のみが動作し、事故電流をしゃ断して停電を必要最小限度にとどめ、他の健全回路には給電を継続させるいわゆる選択しゃ断方式が採用される場合が多くなってきた。

給電の連続性を求める選択しゃ断方式と配電システムの経済性を目的としたカスケードしゃ断方式とは一般に相反する関係にあり、一方が成立すれば他方をやむなくあきらめるほかなかった。

このたび、本論文にて発表する短限時付き永久ヒューズ付きしゃ断器 NFU-TD 形は、限流—選択しゃ断の機能を備えたしゃ断器で短絡事故時に内蔵された永久ヒューズにより限流を行なうが、その後限流状態を維持してある時間遅れの後しゃ断を完了するものである。したがって分岐回路にて短絡事故が生じた場合、分岐の NFB が主回路の NFU-TD により限流された電流を瞬時にしゃ断するので、NFU-TD と NFB との間の選択性が得られると同時に限流によって NFB がカスケード保護される。このため従来不可能であった選択性とカスケード保護を、同時に満足する大容量の低圧電路保護システムを構成することが可能となった。

以下、最近の永久ヒューズ付きしゃ断器として、シリーズ化された新形と短限時付き NFU-TD について述べる。

### 2. ウルトラブレーカ NFU シリーズ

#### 2.1 100 A から 800 A フレームまでのシリーズの完成

大短絡電流を小形・経済的なしゃ断器にて安全にしゃ断するためには、しゃ断に際して、本来の短絡電流をそのまま流さないで、限流しゃ断を行なわしめることが不可欠である。限流しゃ断によりしゃ断器接点自身に加わるアークエネルギーが低減でき、さらに設備に与える熱的・機械的な衝撃力が軽減されたものとなる。また限流機能を有するしゃ断器の下位に接続されたしゃ断器をも、後備保護することもできる。限流素子としては、限流機能と自己復旧機能をあわせ持つ“永久ヒューズ”があるが、これと NFB とを組合せた永久ヒューズ付きしゃ断器(以下、当社商品名のウルトラブレーカという)、NFU 形のシリーズ化に成功した。

新形しゃ断器は、NFU 225-B, NFU 400, NFU 600, NFU 800 の 4 機種で、現行の NFU 100 とともに 100 A から 800 A フレームまで U シリーズが完成した(図 2.1 参照)。

これらのしゃ断器の仕様を表 2.1 に示す。

200 kA の大しゃ断容量をもつので、変圧器の並列運転を含む低圧電路の大容量化に十分対処できる小形のモールドケースしゃ断器である。

#### 2.2 構 成

NFU 100 および NFU 225-B の構成を図 2.2 に示す。NFU 100

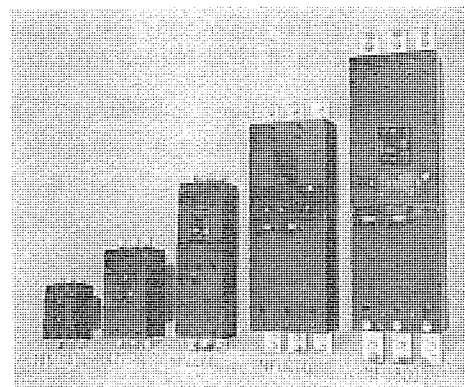


図 2.1 NFU 形 ウルトラブレーカの外觀  
Exterior view of type NFU ultra breakers.

表 2.1 NFU 形ウルトラブレーカの仕様  
Specifications of type NFU ultra breakers.

形 名			NFU100		NFU225-B		NFU400		NFU600		NFU800	
フ レ ー ム A			100		225		400		600		800	
定 格 電 流 A (基準周囲温度：一般用40℃,船用45℃)			15 30 50 75 100		125 150 175 200 225		250 300 350 400		500 600		700 800	
極 数			2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
定 格 電 圧 V			AC		550		460		460		460	
定 格 し ゃ 断 容 量 kA	J I S J E M	A C	550V		200		—		—		—	
			460V		200		200		200		200	
			220V		200		200		200		200	
	N K	A C (対称値)	500V		150		—		—		—	
			250V		—		—		—		—	
外 形 寸 法 mm			(NFU100 NFU225-B) の場合		a	105	140	140	210	210		
			(NFU400 NFU600 NFU800) の場合		b	165	257	438	555	686		
					c	103	118	103	103	103		
					ca	117	147	132	139	154		
					d	56	60	—	—	—		
					e	107	178	—	—	—		
表 面 形 製 品 重 量 kg			3.3	4.4	9.5	11	11.3	13.8	17.5	21.8	29	37.6
電 磁 引 き は ず し 方 式			固 定		固 定		固 定		可 調 整		可 調 整	
通 産 省 型 式 認 可 番 号 ㊦41—			4370 4371 4372 4373	4374 4375 4376 4377	—		—		—		—	
日 本 海 事 協 会 認 定 番 号 N K E —			4190		4235		4236		4237		4238	
標 準 引 き は ず し 方 式			熱 動 - 電 磁 - 永 久 ヒ ュ ー ズ		熱 動 - 電 磁 - 永 久 ヒ ュ ー ズ		熱 動 - 電 磁 - 永 久 ヒ ュ ー ズ		熱 動 - 永 久 ヒ ュ ー ズ 電 磁		熱 動 - 永 久 ヒ ュ ー ズ 電 磁	

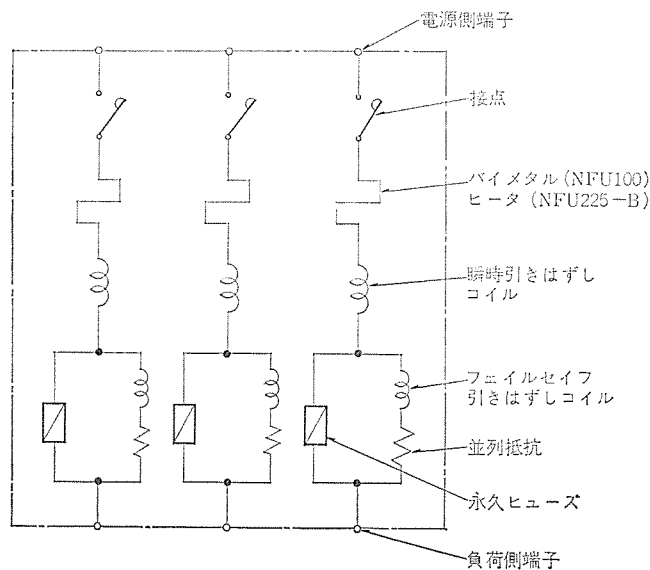


図 2.2 NFU 100 および NFU 225-B の構成  
Schematic diagram of NFU 100 and NFU 225-B.

および NFU 225-B は、永久ヒューズと並列抵抗をしゃ断器の背面に装備しており、永久ヒューズは1極あたり1本使用されている。従来、生産されていた NFU 225 は、永久ヒューズを1極あたり2本並列に接続されていたが、外径 32φ の永久ヒューズの開発により、新形しゃ断器 NFU 225-B は、永久ヒューズを1極あたり1本とすることができた。これにより、NFU 225-B は、NFU 225 より限流性能が大幅に向上された。NFU 100 および NFU 225-B のフェイルセーフ引きはずしコイルは、瞬時引きはずしコイルと同一固定鉄心に巻かれており、永久ヒューズが万一故障により断線した場合、並列抵抗に流れる電流をつかってフェイルセーフ引きはずしコイルを励磁し、しゃ

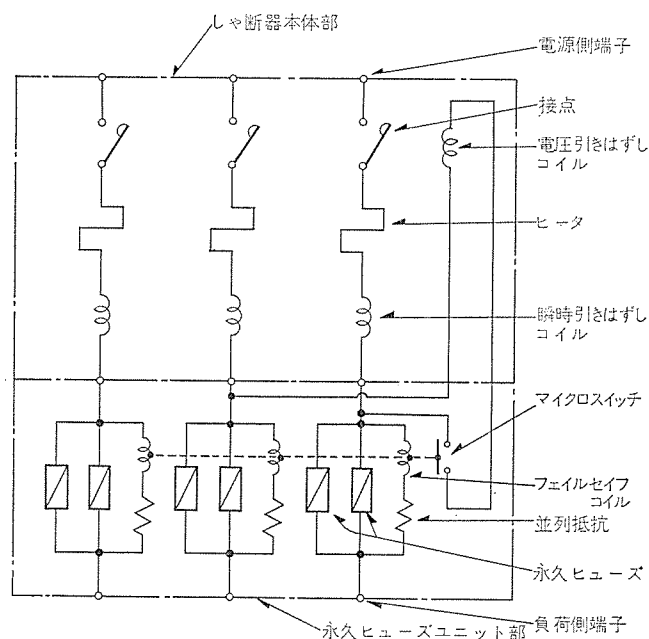


図 2.3 NFU 400, NFU 600 および NFU 800 の構成  
Schematic diagram of NFU 400, NFU 600 and NFU 800.

断器をトリップさせるとともに、並列抵抗の焼損を防止する。

NFU 400, NFU 600 および NFU 800 の構成を図 2.3 に示す。NFU 400, NFU 600 および NFU 800 は、しゃ断器本体の負荷側に永久ヒューズユニット部をドッキングさせる方式にて構成されている。NFU 400 は、NFU 225-B に使用されている外径 32φ の永久ヒューズを1極あたり2本並列に接続されており、NFU 600 および NFU 800 は新しく開発された外径 41φ の永久ヒューズを1極あたり2本並列に接続されている。NFU 400, NFU 600 および NFU 800 の



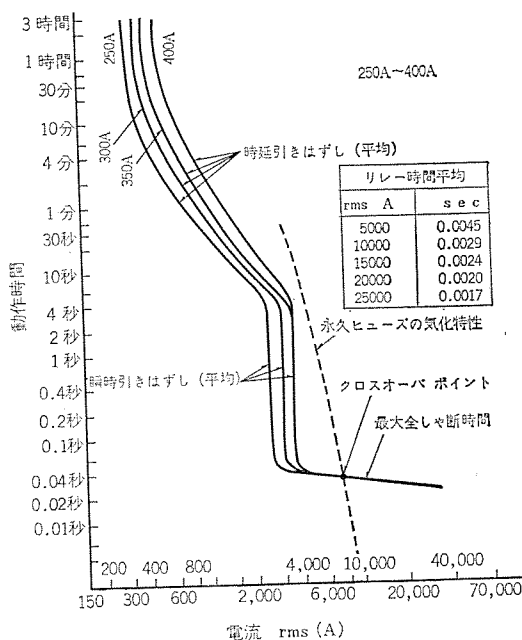


図 2.4 NFU 400 の動作特性  
Tripping characteristics of NFU 400.

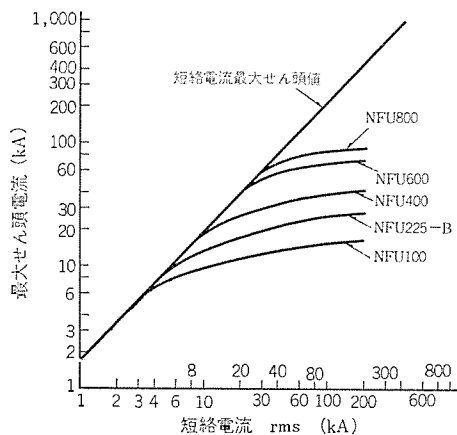


図 2.5 NFU 形ウルトラブレーカの限流特性  
Current limiting characteristics of type NFU ultra breakers.

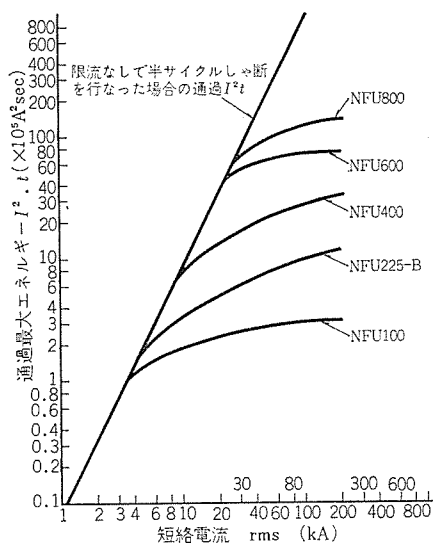


図 2.6 NFU 形ウルトラブレーカの通過最大エネルギー  $I^2 \cdot t$  特性  
Max. let-through  $I^2 \cdot t$  characteristics of type NFU ultra breakers.

フェイルセーフ装置は、並列抵抗に流れる電流でフェイルセーフコイルが励磁し、マイクロスイッチを連動させ、さらにしゃ断器の電圧引きはずしコイルを励磁し、しゃ断器をトリップさせる方式にて構成される。

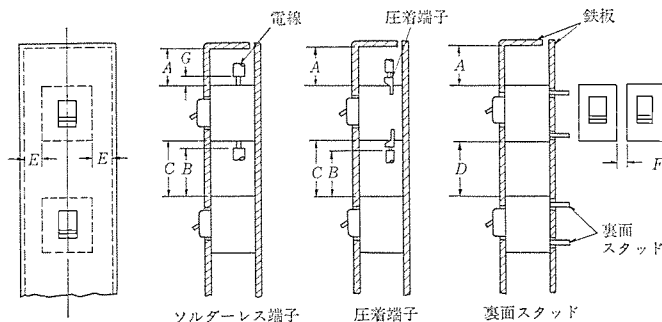
### 2.3 動作特性およびしゃ断性能

NFU 形ウルトラブレーカの引きはずし特性を図 2.4 (一例として 400 A フレームのみ) に示す。クロスオーバーポイントまでの過電流に対しては、実績あるノーヒューズしゃ断器の引きはずし特性をそのまま生かしており、クロスオーバーポイント以上の短絡電流に対しては、永久ヒューズが気化し限流作用を行なうことを示している。従来のヒューズは、溶断後再使用が不可能であるため、その溶断特性を個々にチェックして、品質の定まったものとして出荷することができなかったが、永久ヒューズの気化特性は、全数確かめられて正規の特性のものがしゃ断器に組み込まれている。これはちょうど、ノーヒューズしゃ断器の全数が定格の 200 % 過電流にて、その引きはずし時間をチェックされており、そのため品質が安定していることと似ている。

NFU 形ウルトラブレーカのしゃ断時の限流特性および通過最大エネルギー  $I^2 \cdot t$  特性を図 2.5 および図 2.6 に示す。これらの図からその限流率の大きいことは目を見はらせるものがある。

このように大きな度合の限流により、NFU 形ウルトラブレーカは電線およびバーを熱的破損から保護し、短絡時の電磁力を考慮した設備の電線およびバーのサポートは、より安価なものを使うことができ、相間距離も大きくとる必要はない。また、従来のノーヒューズしゃ断器と同様、全体をモールドケースで囲み取扱上の安全をはかっており、短絡電流をしゃ断する際は、しゃ断すべきエネルギーの大部分を永久ヒューズ内部で消費し、接点・消弧室に加わるアークエネルギーは非常に小さなものとなるため、アークがしゃ断器外部に放出されることはなく、したがって、しゃ断器と盤との間の絶縁距離を小さく設計することができ、電気設備の小形化が大幅にすすめられるようになった。NFU 形ウルトラブレーカを設置した場合の絶縁距離を表 2.2 に示す。

表 2.2 NFU 形ウルトラブレーカと盤との間の絶縁距離  
Insulation distances between type NFU ultra breaker and panel.



絶縁距離 mm

形名	天井板で A (min)	上下間隔		左右間隔		電線露出 G (max)
		表面接続 B (min)	裏面接続 C (min)	裸側板 D (min)	N F B E (min)	
NFU 100	25	25	B 寸法 + 露出部長さ	25	25	15
NFU 225-B	30	30		30	30	15
NFU 400	35	35		35	35	15
NFU 600	35	35		35	35	15
NFU 800	35	35		35	35	15

注 1. 鉄板は塗装なしのもので実証しているが、塗装あり、なしにかかわらず絶縁距離は上表の寸法による。  
2. 上下間隔の場合は下側しゃ断器の形名による。

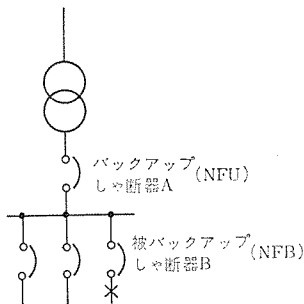


図 2.7 カスケード接続  
Cascade system.

#### 2.4 カスケード保護能力

電力系統のバックパワーの増大にともない、電路中の異なる地点に設置された2個のしゃ断器の間で行なわれるカスケードしゃ断についての規定が、電気設備の技術基準 第38条に追加されている。

カスケードしゃ断とは、図2.7において×点の短絡に対し被バックアップしゃ断器Bが開極し始めた直後、バックアップしゃ断器Aは、これに追従するようにアークを発生し、大短絡電流を大幅に限流するとともに、しゃ断すべきアークエネルギーを双方のしゃ断器が分担して2点しゃ断の形でしゃ断するため、Bのしゃ断能力をはるかに越える短絡電流をしゃ断することができる方式である。

カスケード方式に関する二つのしゃ断器間の協調とはこのことを意味し、Aしゃ断器には、限流と開極時間がBしゃ断器のそれと比肩し得るほどはよいことの二つの機能が要求される。カスケードしゃ断においてはBは多少の損傷があっても、Aの限流とはよい開極による後備保護性能のため、再使用不能になるということは起こらないのが通例である。

カスケード保護を行なうしゃ断器の組合せは、メカの保証する組合せに限定されているが、しゃ断器間の動作協調が成立するためには、つぎの条件を満足する必要がある。

- (1) Aのしゃ断電流波高値がBの機械的強度以下であること。(Aの限流効果がたいせつである)。
- (2) 短絡電流しゃ断時の最大通過  $I^2 \cdot t$  がBの熱的強度以下であること。(Aの限流により通過  $I^2 \cdot t$  を少なくすることがたいせつである)。
- (3) Bの端子間のアーク電圧と通過電流の積がBの接点部分の耐アークエネルギー性能以下であること。(Aのアークにより電圧を分担しBに過酷な負担をかけないようにする機能が必要である)。
- (4) Bの全しゃ断特性曲線とAの開極時間との交点がBの定格しゃ断容量以内であること。

上記のような諸条件について、最もすぐれた性能をもつ配線用しゃ断器として、NFU形ウルトラブレーカがその威力を発揮する。

そのカスケード保護能力の例を表2.3に示す。

短絡電流の増大にともなう、分岐回路において10,000 Aを越える最大定格電流が推定される場合は、カスケード保護方式が技術的にも経済的にも全定格方式よりも有利となる場合が多いので、カスケード方式が採用されることが多い。この場合の被バックアップしゃ断器としては、10,000 A以上のしゃ断容量を有するしゃ断器を施設することが原則である。

しかしながら同一箇所(たとえば分電盤内)において2個のしゃ断器を組合せて、一つの過電流しゃ断器として使用する場合は被バックアップしゃ断器としては、バックアップしゃ断器との間の協調がとられているのならば、10,000 A以上の制限を受けない。したがって

表 2.3 NFU形ウルトラブレーカのカスケード保護能力  
Cascade protection of type NFU ultra breakers.

3φ 460 V 50/60 Hz 非対称値 kA

バックアップしゃ断器 被バックアップしゃ断器	NFU 100 (200)	NFU 225-B (200)	NFU 400 (200)	NFU 600 (200)	NFU 800 (200)
BH-G (2.5)	200	—	—	—	—
NF 50-A (7.5)	200	60	—	—	—
NF 100-E (15)	200	200	200	—	—
NF 225-G (30)	—	200	200	200	200
NF 400-B (35)	—	—	200	200	200
NF 600-B (35)	—	—	—	200	200

( ) 内は単独の定格しゃ断容量を示す。

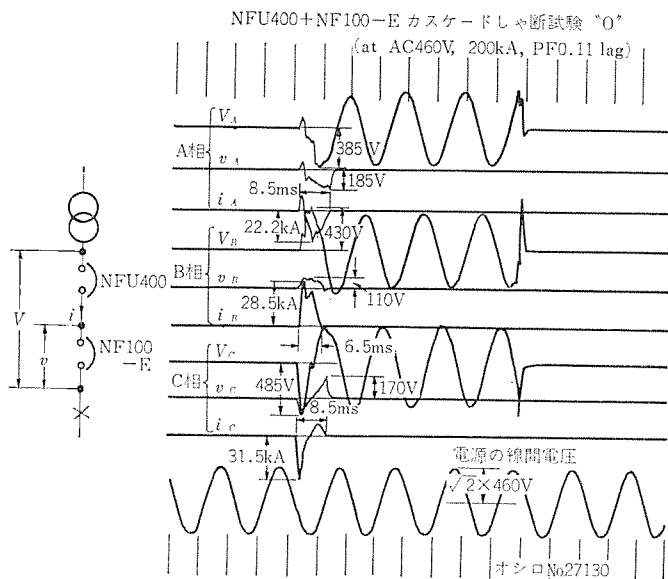


図 2.8 NFU 400 と NF 100-E のカスケードしゃ断  
オシログラム  
Cascade interruption oscillogram of NFU 400  
and NF 100-E.

表2.3のNFU 100の下位のNF 50-A, BH-G等は被バックアップしゃ断器として使用される。

図2.7に示すカスケード接続において、×点で短絡が生じた場合、NFUとNFBのそれぞれに分担されるエネルギーを  $E_1$ ,  $E_2$  とすると、

$$E_1 = \int v_1 i dt, \quad E_2 = \int v_2 i dt$$

にて示されるが、 $E_1 > E_2$  が成立し、NFU形ウルトラブレーカは他のしゃ断器に比べて後備保護能力がすぐれているといえる。

図2.8のオシログラムは、NFU 400とNF 100-Eとのカスケードしゃ断試験(短絡回路3φ 60 Hz, 460 V, 200 kA, PF=0.11 lag)の

表 2.4 NFU 400 と NF 100-E のカスケードしゃ断における  
アークエネルギーの分担(短絡回路 AC 460 V 200 kA)  
Arcing energy of NFU 400 and NF 100-E on cascading  
interruption (short circuit 460 V AC 200 kA)

単位 J (Joule)

	NFU 400	NF 100-E
A 相	$13.1 \times 10^3$	$11.1 \times 10^3$
B 相	$23.3 \times 10^3$	$10.1 \times 10^3$
C 相	$16.2 \times 10^3$	$11.5 \times 10^3$

“O” 責務の結果を示している。NFU および NFB に加わったアークエネルギー  $\int v_1 idt$  および  $\int v_2 idt$  の値は、表 2. 4 に示すようになる。しゃ断エネルギーは相当大きな比率で NFU 形 ウルトラブレーカ が分担していることがわかる。

## 2. 5 船級規格の認定

NFU 100 から NFU 800 までわが国の船級規格である NK 規格に認定され、さらに国際的船級規格であるロイド規格、AB 規格にそれぞれ認定された。

## 3. 短限時付き NFU-TD シリーズ

### 3. 1 600 A, 800 A フレームの完成

近年、選択しゃ断とカスケードしゃ断を同時に両立させたいという要望が出始めたが、選択しゃ断とカスケードしゃ断は同時に成り立たないのが普通であり、両者のしゃ断が同時に可能であるしゃ断器の出現が待たれていた。当社はこのような情勢に対処するため、永久ヒューズの瞬時復帰性を利用して、分岐回路しゃ断器のカスケードバックアップを行なうと同時に、選択しゃ断を両立させることができる短限時付き NFU-TD 形 ウルトラブレーカ（以下 NFU-TD 形という）を開発した。このたび開発した NFU-TD 形は、NFU 600-TD、NFU 800-TD で、定格電流は 225 A から 800 A までとりそろえている。

なお、外形寸法は NFU 600-TD は NFU 600、NFU 800-TD は NFU 800 と同一である。

これらのしゃ断器の仕様を表 3. 1 に示す。

### 3. 2 構成

NFU 600-TD および NFU 800-TD の構成を図 3. 1 に示す。

NFU 形 ウルトラブレーカの電磁引きはずし装置に短限時 時間遅れ素子（短限時装置）を装備し、下位しゃ断器の負荷側に短絡事故を生じたとき、主回路のウルトラブレーカは電流を小さな値にしばるが、少なくとも下位しゃ断器が全しゃ断を完了するまで電磁引きはずし動作を行なわない構成が電路の保護協調のうえで必要になってくる。この構成にて開発されたものが短限時付き NFU-TD 形 ウルトラブレーカ、NFU 600-TD、NFU 800-TD である。

NFU-TD 形はその電磁引きはずし装置内にアンクル と アンクルギア

表 3. 1 NFU 600-TD および NFU 800-TD の仕様  
Specifications of NFU 600-TD and NFU 800-TD.

形 名	NFU 600-TD				NFU 800-TD	
フ レ ム A	600				800	
定格電流 A (基準周囲温度: 一般用 40°C 船用 45°C)	225, 250, 300, 350, 400		500, 600		700, 800	
極 数	2	3	2	3	2	3
定 格 電 圧 V, AC	460				460	
定格しゃ断容量 kA AC 460 V	200				200	
最大限流波高値 kA at AC 460 V, 200 kA	50		70		70	
復帰可能時間 s	0.020 以上				0.020 以上	
選択可能な下位 NFB	NF 400-B 以下の全フレーム				NF 400-B 以下 の全フレーム	
カスケード保護 能力 AC 460 V, 200 kA	NF 100-R, NF 225-G, H, R NF 400-B, H, R, NF 600-B, H, R				NF 100-R NF 225-G, H, R NF, 400-B, H, R NF, 600-B, H, R	
表面形製品重量 kg	13.5	17.8	17.5	21.8	29	37.6
電磁引きはずし 方式	固 定				固 定	
N K 認 定	申請中				申請中	
標準引きはずし 方式	熱動-電磁-永久ヒューズ				熱動-電磁-永久 ヒューズ	

の組合せによる機械的時間遅れ素子（短限時装置）を装備し短絡発生時に少なくとも 20 ms 以上の時間遅れの後にしゃ断器の ラッチ 部が引きはずされる。

NFU-TD 形は、前述した NFU 形 ウルトラブレーカ と同じく フェイルセーフ 装置を装備しているが、電磁引きはずし装置に時間遅れを持たせても、フェイルセーフ コイルに連動した電圧引きはずし コイル が瞬時動作をしてはならないので、電圧引きはずし コイル の動作機構にも前述の機械的時間遅れ素子を連結させており、その時間遅れは電磁引きはずし装置のそれよりも大きくとっている。図 3. 2 に NFU-800-TD の一部内部構造を示す。

### 3. 3 動作特性およびしゃ断性能

NFU-TD 形の引きはずし特性を、図 3. 3（一例として 600 A フレームのみ）に示す。クロスオーバーポイント以上の短絡電流に対しては、永久ヒューズが気化し限流作用を行ない、20 ms 以上の後にしゃ断器のラッチ 部が引きはずされる。この間（しゃ断完了まで）永久ヒューズは、気化を持続し、発生したアークエネルギーは永久ヒューズ内部で消費され、短絡電流は限流された状態で通電される。NFU-TD 形の復帰可能時間“20 ms 以上”は下位の NFB の全しゃ断時間に比べて

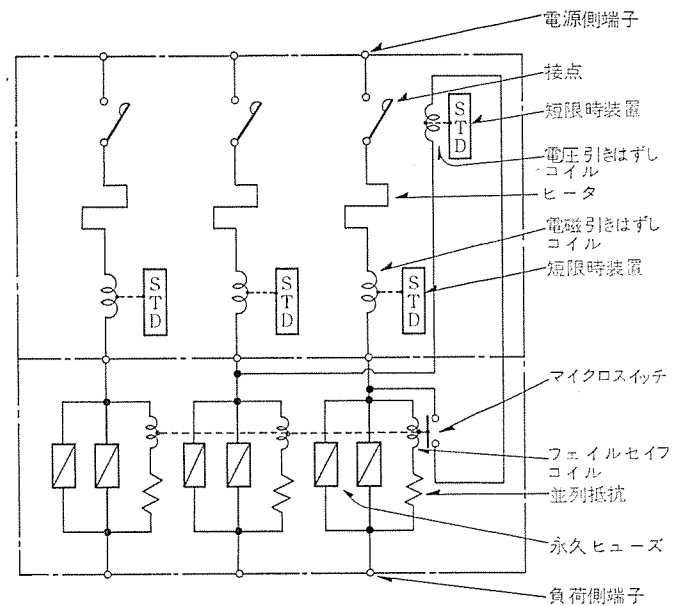


図 3. 1 NFU 600-TD および NFU 800-TD の構成  
Schematic diagram of NFU 600-TD and NFU 800-TD.

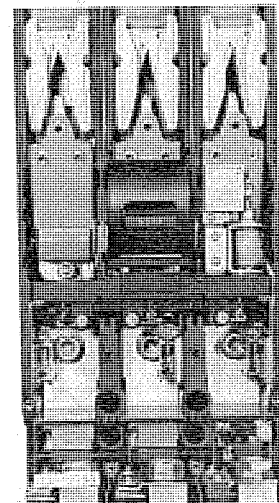


図 3. 2 NFU 800-TD の一部内部構造  
Internal construction of NFU 800-TD.



十分大きな値であり、したがって、NFU-TD 形と下位しゃ断器との間の時間的協調が得られる。

次に NFU 600-TD の負荷側で短絡が生じた場合のしゃ断 オシログラムを図 3.4 に示す。永久ヒューズのアーク電圧  $v$  は、しゃ断完了(全しゃ断時間 30 ms)まで続いており、短絡電流はまず永久ヒューズによって限流され、その後並列抵抗によって小さくしぼられた電流が通電されている状態がよくわかる。

この NFU-TD 形は、前述のごとく全しゃ断時間が長くなっているため、永久ヒューズが長時間気化を持続するわけであるが、永久ヒューズ内部の絶縁物であるベリリヤ磁器を NFU 形 ウルトラブレーカのものに比べて長くしており、長時間の気化持続にも耐え得るように設計してある。(ベリリヤ磁器にかかる電位傾度を NFU 形 ウルトラブレ

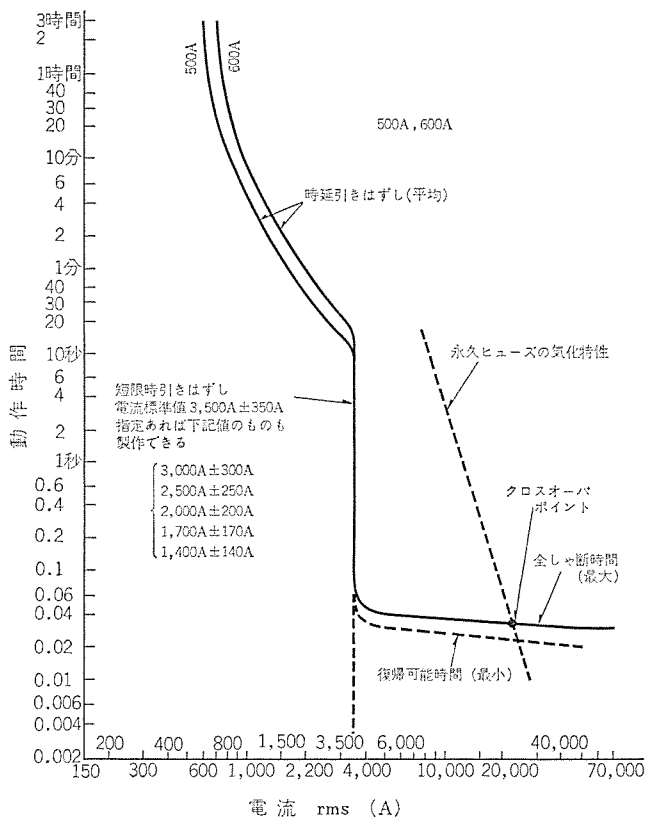


図 3.3 NFU 600-TD の動作特性  
Tripping characteristics of NFU 600-TD.

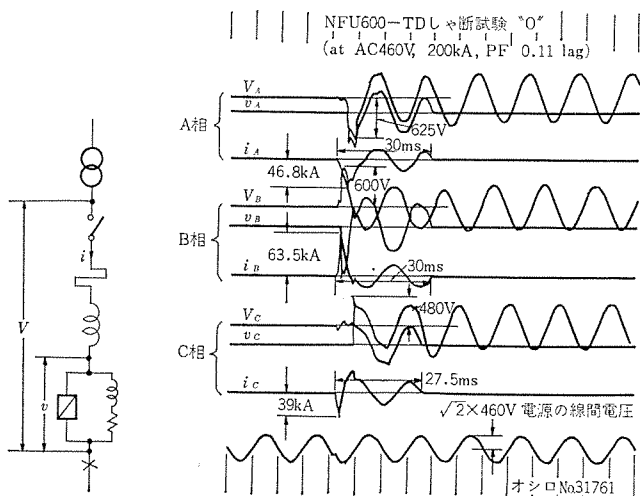


図 3.4 NFU 600-TD のしゃ断 オシログラム  
Interruption oscillogram of NFU 600-TD.

カのものより小さくし、過酷度を下げている)。

NFU 600-TD および NFU 800-TD の限流特性を図 3.5 に示す。

### 3.4 系統内での保護協調動作

図 3.6 の系統は、NFU-TD 形を使うことにより、系統の選択しゃ断と後備保護性能を両立させ最大限の給電の連続性を得た例である。すなわち NF 225-G 単体の定格しゃ断容量は 30 kA であるが、NFU 800-TD の限流によって後備保護され 100 kA の短絡電流をしゃ断することができる。一方、NFU 800-TD のほうは時間遅れ素子の作用により、NF 225-G の全しゃ断時間以上の時間、接点は開離しないので 2nd step と 3rd step の間は完全な選択性が得られる。NFU 800-TD は限流して、その波高値を抑えるので、その値は SCB 2000 の短限時領域内におさまる短絡電流 100 kA に対する 1st・2nd step 間の選択協調が得られる。各ブレーカの間の特性上

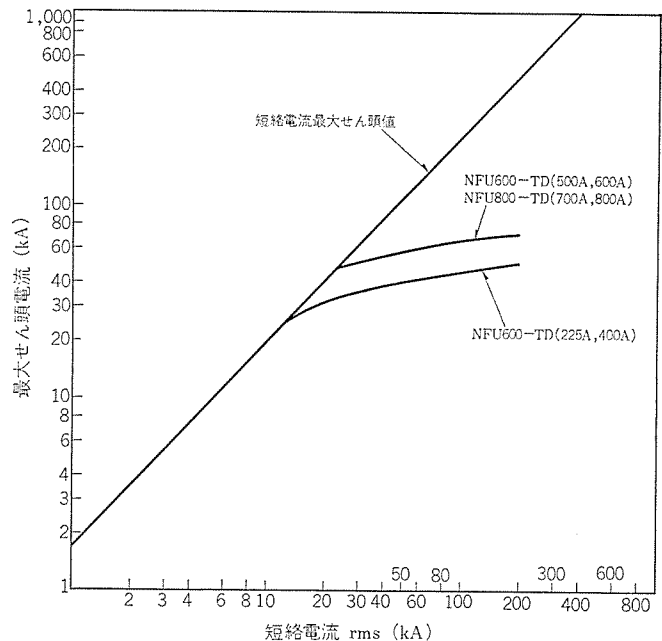


図 3.5 NFU 600-TD および NFU 800-TD の限流特性  
Current limiting characteristics of NFU 600-TD and NFU 800-TD.

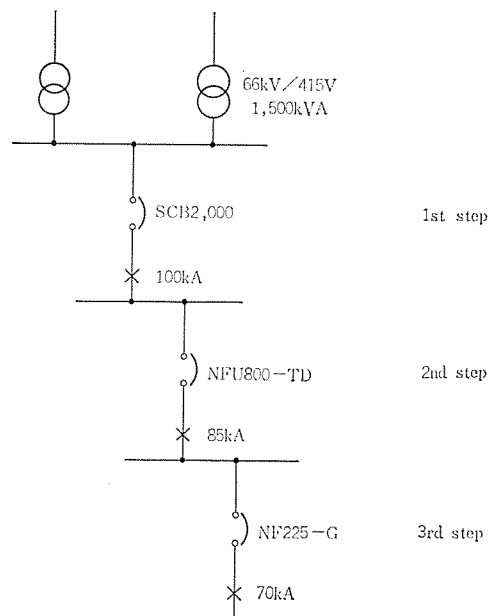


図 3.6 系統例  
Low voltage power system.

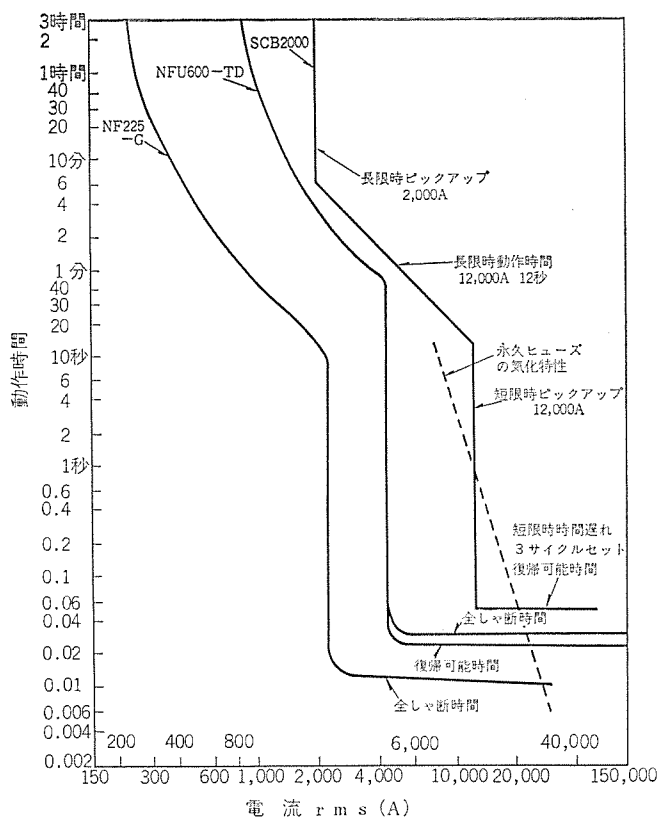


図 3.7 系統例 (図 3.6) による各ブレーカ間の協調特性  
Coordination characteristics between the breakers  
of Fig. 3.6.

の協調を図 3.7 に示す。

NFU 800-TD の復帰可能時間は最小 20 ms であり、これと時間的協調のとれる NFB は 400 A フレーム以下の全フレームであり、また NFU 800-TD により 200 kA まで後備保護される NFB は NF 100-R, NF 225-G, H, R, NF 400-B, H, R, NF 600-B, H, R である。

#### 4. む す び

NFU 形 ウルトラブレーカの特長はつぎのものである。

- (1) 世界最大のしゃ断容量……電力需要の増大に対処している。
- (2) すぐれたカスケード保護性能……経済的な電気設備が設計できる。
- (3) シャ断後くりかえし再使用が可能……電気設備の省力化、電力の連続給電の改善に寄与する。
- (4) 大きな率の限流性能……配線および機器の良好な保護ができる。

(5) 小形・コンパクト……NFU 100 および NFU 225-B においては、盤の垂直方向への積数は標準の NFB のそれとかわらない。

(6) NFB の諸機能はすべてもっている……電路の開閉・過負荷保護もでき、絶縁物で囲われているので取扱上安全である。

次に、NFU-TD 形 ウルトラブレーカの特長は上記 (1)～(6) の他に、つぎのものがあるが、このような特長をもったしゃ断器は他に例はなく、低圧系統の設計にあたって必要なものである。

(1) 最小 20 ms の復帰可能時間をもち下位 NFB との選択しゃ断ができる。

(2) 外形・取付寸法は NFU 600, NFU 800 とそれぞれ同一である。

NFU および NFU-TD 形 ウルトラブレーカは、上記のように他のしゃ断器にみられない特長を有しているため、将来ますます使われるようになるであろう。

#### 参 考 文 献

- (1) 伊藤, 宮本, 土方, 和田, 井上, 石井: 三菱電機技報, 45, No. 6, 779 (昭 46)
- (2) 山本, 実森, 原: 三菱電機技報, 45, No. 6, 774 (昭 46)

# 永久ヒューズを使用したコントロールセンタ

堀田 滋矩\*・高橋 勝\*

## Motor Control Centers Equipped with Permanent Power Fuses for Limiting Current

Nagoya Works Shigenori Hotta・Masaru Takahashi

Recently various plants have become of a great scale and transformers for supplying power there are ever on the increase in their capacities. This has brought about extreme importance for the protective device on the power system. In the event of any short circuit on the line, to interrupt securely the faulty circuit of the system only and to keep other sound line operate with no discontinuity of service, that is, selective interruption of a high capacity is a vital requisite.

The article describes permanent power fuses patented by Mitsubishi and equipped to limit the current at the intake of a control center, enabling the following epochal matter to be realized.

- (1) The interrupting capacity of general purpose no-fuse breaker has become as large as 200,000 A at 460 V AC.
- (2) Selective interruption is made possible up to a large current range between no fuse breakers.

### 1. ま え が き

近年各種設備の大形化にともない、プラントの低圧配電システムに対する信頼性の確保が重要課題になっている。

電源変圧器容量は増大の一途をたどり、単機容量 2,000 kVA クラスの出現は珍しくない。このためコントロールセンタユニットに 50 kA 以上のしゃ断容量が必要となってきた。また系統内に万一、短絡事故が発生しても事故回路のみ切離し、健全回路は無停電で給電を継続する方式が要望されている。

さらに小形化、床面積の縮小、経済性なども強く要望されている。コントロールセンタの高しゃ断容量対策としては、従来下記の方法を採用している。

- (1) 限流リアクトルをそう入し、短絡電流を適切な値に制限する。
- (2) 高しゃ断容量配線用しゃ断器を使用する。

(1) の限流リアクトルは、大形で、大きな設置スペースを必要とする。また電圧降下やワットロス等がしばしば支障となる。

(2) の高しゃ断容量配線用しゃ断器は高価であり、外形寸法も大きく、コントロールセンタのユニットサイズが大きくなり、面数増加をまねき客先計画にマッチしない等の欠点がある。

当社は、このような欠点を解決するため、今回特に限流装置用として大電流・高限流特性の永久ヒューズ（当社の特許）を開発のうえ、各相に 1 本あて配置し、あわせて選択しゃ断が可能な CLN 形限流装置を開発した。

以下この概要を紹介する。

### 2. 特 長

コントロールセンタの引込口に CLN 形限流装置を設けた、低圧配電システムは、下記のように画期的な特長が付加される。

- (1) しゃ断容量は AC 460 V, 20 万 A に上昇する。

ユニット内のはん用ノーヒューズしゃ断器のしゃ断容量は、事実上無限大に近くなるので電源容量増大にともなう問題を完全に解消する。同時に電気計画者が複雑な短絡電流計算から器具選定するわずらわしさがなくなる。

- (2) 盤内母線の短絡強度が 20 万 A になる。

- (3) 選択しゃ断が可能になる。

短絡事故が発生したばあい、事故回路の分岐しゃ断器のみ開放し、健全回路には給電が継続される。これは給電性確保が絶対条件である重要プラントにとって貴重な特性である。

- (4) 小形である。

CLN 形限流装置は、バックアップしゃ断器と限流ユニット部分から成立っている。従来の限流リアクトル盤はバックアップしゃ断器を内蔵していないので、CLN 形の限流ユニット部と体積比較すると約 1/12 になる。

- (5) 適用定格電流が大きい。

定格電流は放熱フィン付き自然冷却方式で、600 A, 800 A, および 1,000 A が可能である。抵抗線式および抵抗器付きの限流方式では、せいぜい定格電流 100 A までしか適用できない。このため CLN 形限流装置は経済的に適用できる。

- (6) 何回も限流しゃ断が可能

永久ヒューズを使用しており、短絡電流を何回も限流しゃ断できる。

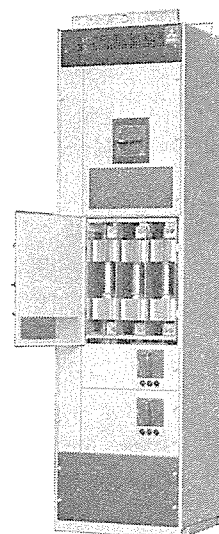


図 2.1 CLN-800 限流装置  
CLN-800 current limiter.



### 3. 構成と動作

#### 3.1 構成

図 3. 1 に示すように CLN 形 限流装置は E 形 コントロールセンタ内の電源引込口に組み込まれる。電源変圧器からは大容量バスケット等によって、直接 コントロールセンタ内の限流装置に給電される。次に限流装置から コントロールセンタ母線に給電し、各ユニットにはコントロールセンタ垂直母線から差込形断路器を経て給電される。

CLN 形限流装置は大別してバックアップしゃ断器 (NF<sub>B</sub>) と永久ヒューズ (N), 並列抵抗 (R) を主要部とする限流ユニットとに分けられる。

バックアップしゃ断器は NF-600 B, 800 B, 1,000 B を定格電流によって使いわけ、いずれも電磁引きはずし装置に機械的時間遅れ要素 (STD) を装備し、その全しゃ断時間は 2 サイクルであり下位しゃ断器と十分時間的協調がとれる。

限流ユニットは図 3. 2 に示すように構成され三相一体で引出し可能なユニット構造になっている。永久ヒューズは定格電流にかかわらずすべて同一品を使用し、ブロックフィン の大きさ等自然冷却の構造を変えることによって定格電流を分けている。

#### 3.2 分岐回路の短絡 (図 3. 1 の F<sub>1</sub>) のときの動作

図 3. 1 のスケルトンにおいて F<sub>1</sub> で短絡事故が発生したばあい、短絡電流は永久ヒューズを通り、内部エレメントであるナトリウムが自己のジュール発熱により瞬間に気化し短絡電流を限流する。同時に分岐しゃ断器 NF<sub>1</sub> がしゃ断し、事故回路は切離される。

このときバックアップしゃ断器 NF<sub>B</sub> は短限時要素 (STD) 付きのため動作せず、他の健全回路には給電が継続される。また永久ヒューズの気化持続時間はきわめて短時間であり、並列抵抗体を通して電流が供給されることもあって、健全回路の電磁開閉器が釈放されることなく、完全な選択しゃ断が達成される。

#### 3.3 母線短絡のときの動作

通常は起こりえないが、万一、母線部分 F<sub>2</sub> で短絡事故が起こったとすると、永久ヒューズが短絡電流の限流を継続し、バックアップしゃ断器 NF<sub>B</sub> が短限時要素によって定まる時間だけ遅れてしゃ断し

事故の波及を防止する。

#### 3.4 永久ヒューズの気化

一般に短絡事故は電動機の端子部など末端で発生する場合が多く、このような場合にはケーブルインピーダンスによって限流されるので、短絡電流は小さくなる。したがって、実際の使用状態においては分岐回路に短絡事故が発生しても永久ヒューズは気化しないばあいが多い。

永久ヒューズは限流しゃ断を繰り返すとほんのわずかなずつ内部抵抗が減少する傾向にあり、通電性能はむしろ良くなり他に異常が起こることはない。

限流性能の低下は短絡電流の大小によって影響されるから、いちがいに言えないが、ユニット内での短絡事故という過酷なしゃ断試験を何回も繰返し、限流性能低下の影響は出ないことを信頼性試験で確認している。

### 4. 構造

E 形 コントロールセンタ内に定格電流 800 A の CLN 形 限流装置を組み込んだ外観を図 4. 1 に示す。バックアップしゃ断器は、限流ユニットのバックアップ保護と回路の分岐という本来の役割のほかに、コントロールセンタ増設、限流ユニットの点検などのとき、開閉器の役目があるためとびら (扉) 外部に操作ハンドルを設けている。操作ハンドルはダイヤロックおよび施錠機構を備えている。

限流ユニットは両側面にガイドリングを備えているため、外とびらを開きユニット前面の絶縁カバーをはずして、電源および負荷端子のボルトをゆるめれば引出することができる。その状況を図 4. 2 に示す。

限流ユニットの外観を図 4. 3 に示す。両側面および相間のバリヤは差込式になっており、点検・分解時には簡単に取りはずせるようになっている。永久ヒューズはブロックフィンごと裏面のボルトをゆるめることによって簡単に取りはずしできる。バスケットと E 形 コントロールセンタの間の接続箱内に、CLN 形限流装置を組み込んだ例を図 4. 4 に示す。保守は設備位置が高く、多少不便であるが、コントロールセンタのユニットスペースはフルに活用できる。

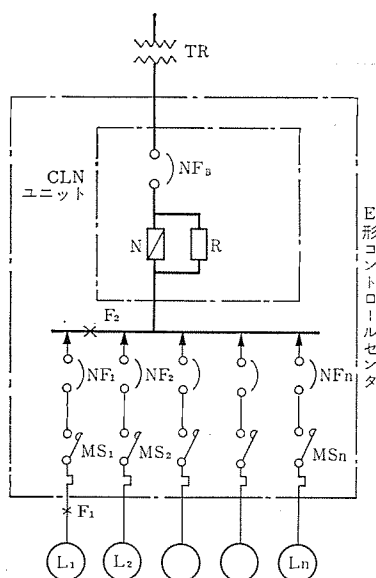


図 3. 1 スケルトン  
Skeleton.

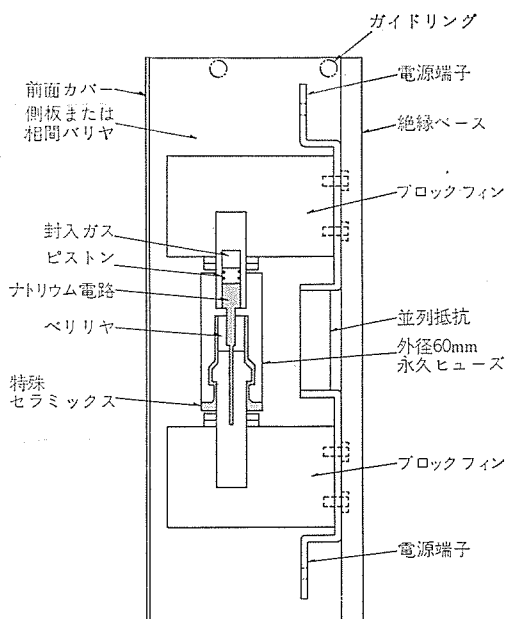


図 3. 2 限流ユニットの概略断面  
Cross section of current limiter.

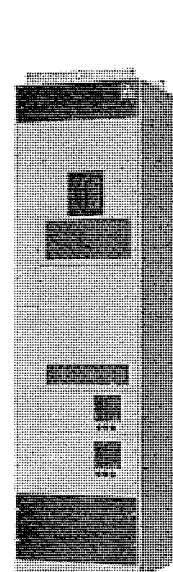


図 4. 1 CLN 形 限流装置を組み込んだ E 形 コントロールセンタ 外観  
Appearance of type E control center set in with type CLN current limiter.



図 4.2 限流ユニット引出し状況  
Current limiter drawn out.

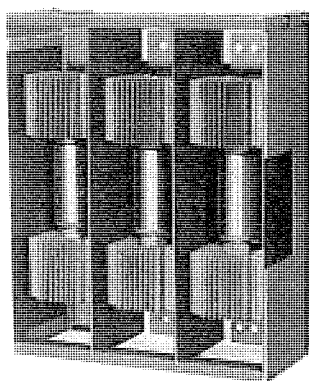


図 4.3 限流ユニット外観  
Appearance of current limiter.

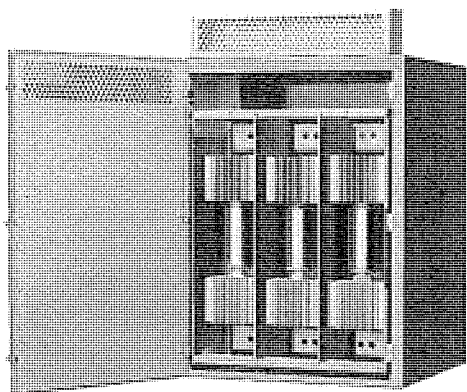


図 4.4 単独箱に収納した CLN-800  
CLN-800 placed in a single box.

## 5. E 形 コントロール センタへの組み込み例

CLN 形 限流装置は、標準の E 形 コントロール センタ の箱内に簡単に組み込みできるよう計画されている。

図 5.1 はコントロール センタ 上部から バスダクト、またはケーブルによって電源引込みする方式を示す。CLN 形 限流装置から垂直母線に給電され、その面に収納されるユニットに給電するとともに、裏面上部の水平母線を経て各面の垂直母線に給電される。

図 5.2 はコントロール センタ 下部からケーブルによって電源引込みする方式を示す。

図 5.3 はバスダクトとコントロール センタ との間の接続箱に 限流装置

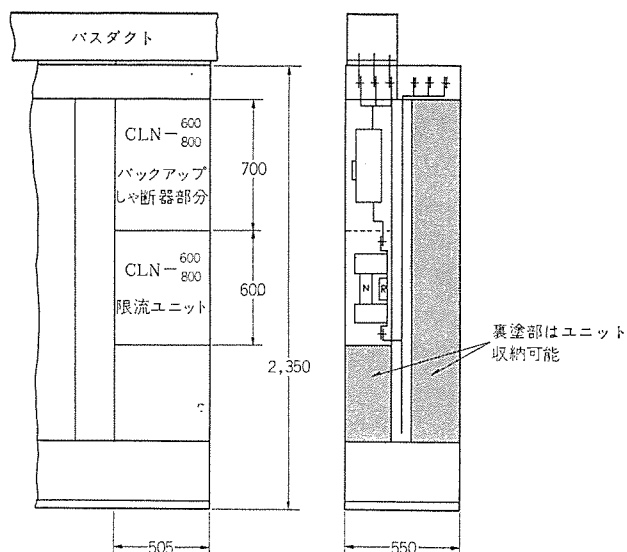


図 5.1 上部引込方式  
Wire led in to the upper part.

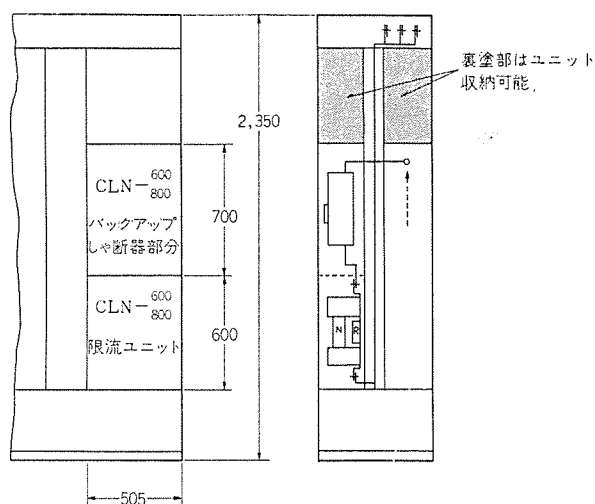


図 5.2 下部引込方式  
Wire led in to the lower part

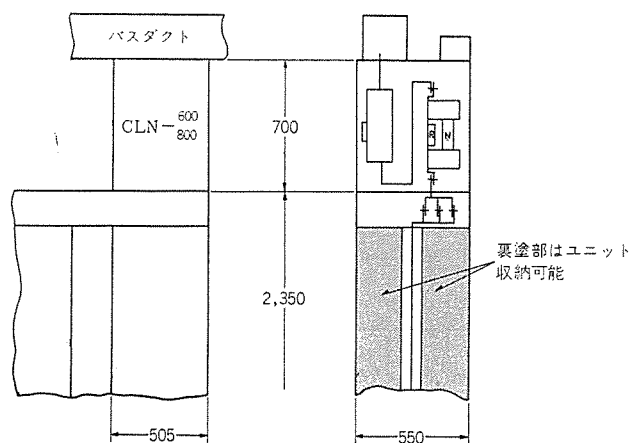


図 5.3 CLN 箱による上部引込方式  
Wire led into the upper part with CLN box.

を組み込む方式を示し、電気室がとくに狭いときのみ使用される。いずれの方式も CLN 形 限流装置を組み込み、黒塗部で示したところは標準のユニットが収納可能である。

表 6.1 CLN 形限流装置の仕様  
Specification of type CLN current limiter.

形 名		CLN-600	CLN-800	CLN-1000
定 格 電 流 A		600	800	1,000
定 格 電 圧		AC 460 V 50/60 Hz		
極 数		3		
限流ユニットの構造		三相ユニット方式    パー接続	同 左	同 左
バックアップ NFB は除く 限流ユニットの外形寸法 mm		幅 440 奥行 215 高 460	同 左	幅 440 奥行 315 高 900
重 量 kg		50	50	65
冷 却 方 式		放熱フィン付き自然冷却    外被扉風窓付き		
温 度 上 昇 deg		40 永久ヒューズ表面にて		
基 準 周 囲 温 度 °C		40		
永久ヒューズ	形 名	60 N		
	抗 抗 値	0.1 mΩ (at 20°C)		
	接 続	1 S-1 P    ネジスタッド端子		
並 列 抵 抗 抵 抗 値		55 mΩ		
バックアップ しゃ断器	形 名	NF-600 B STD 付き	NF-800 B STD 付き	NF-1000 B STD 付き
	接 続	表面形    パー接続		
	S T D	始動電流    4,200 A ± 420 A 全しゃ断時間    2 サイクル		
	引 き は ず し	熱動—短瞬時    電磁は H ノッチ固定		

## 6. 仕 様

CLN 形限流装置の仕様を表 6.1 に示す。

CLN-600 と CLN-800 の限流ユニットはまったく同一品を使用し、バックアップしゃ断器のみ NF-600 B または NF-800 B を使用している。

## 7. 特 性

CLN-800 の動作協調特性を図 7.1 に示す。CLN-600, 1000 においてもバックアップしゃ断器のサマルトリップ領域がそれぞれ定格電流に応じて変わるのみで、他はまったく同一である。分岐しゃ断器は

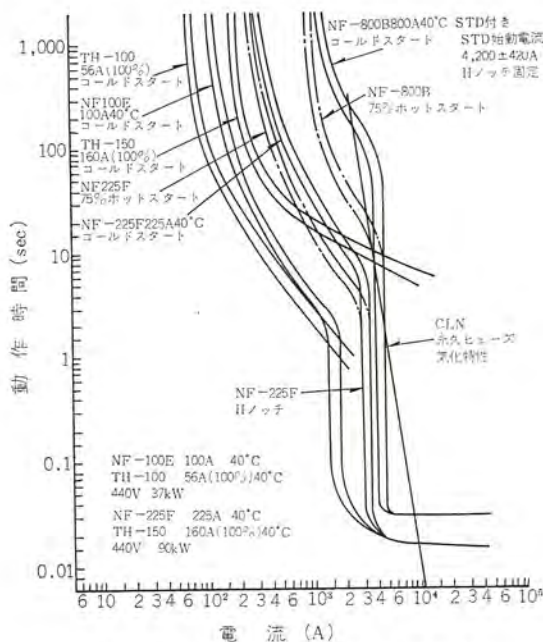


図 7.1 CLN-800 の動作協調特性  
Operation coordination of CLN-800.

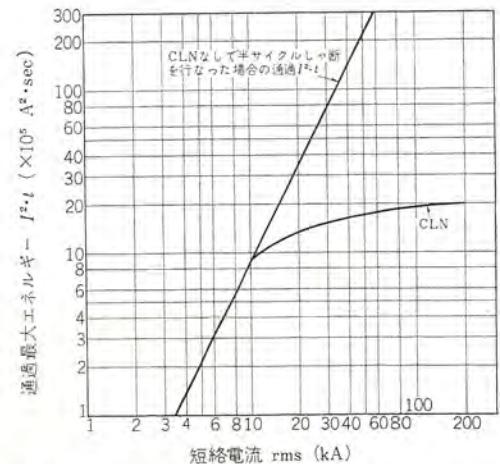


図 7.2 CLN 形限流装置の通過最大  $I^2 \cdot t$  特性  
Characteristic of passing maximum  $I^2 \cdot t$  of type CLN current limiter.

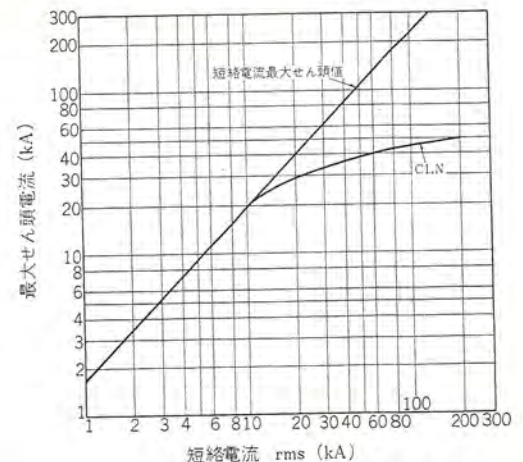


図 7.3 CLN 形限流装置の限流特性  
CLN-E 3-10 ESO 3 N のカスケード接続  
Current limiting characteristics of type CLN unit.



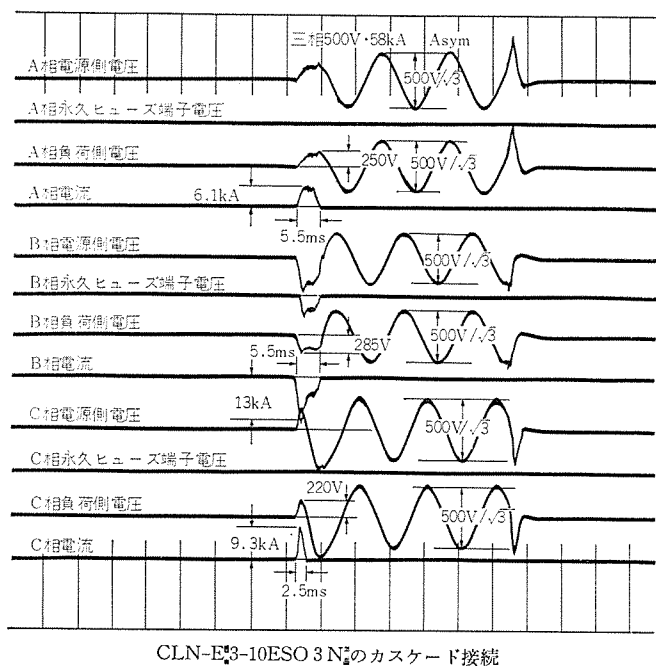


図 8.1 三相 500 V 58 kA のしゃ断試験 オシログラム  
Interrupting test oscillogram of 3 phase 500 V 58 kA.

NF-225 F 225 A, H ノッチ 以下と協調が得られる。したがって 440 V 90 kW 以下の電動機に適用できる。

通過最大  $I^2 \cdot t$  特性を図 7.2 に、限流特性を図 7.3 に示す。この限流性能により CLN 形 限流装置の E 形 コントロール センタユニット 保護能力は次のとおりになった。

すなわち、単独の定格しゃ断容量が 460 V 15 kA である NF-100 E, および 460 V 30 kA である NF-225 F を使用したユニットで 460 V, 200 kA “0” 2 回しゃ断が可能となった。

## 8. 試 験

各種試験を行なった中からしゃ断試験の一例を示す。

図 8.1 は三相 500 V 58 kA の短絡回路で E 形 コントロール センタユニット内の電磁開閉器端子で、三相短絡してしゃ断試験を行なったオシログラムである。ユニットの形名は E3-10 ESO 3 N。使用しゃ断器は NF-100 E, 50 A。電磁開閉器は MSO-35, 30 A である。永久ヒューズは比較的電流の多い B 相のみ気化をしており、他の相は機器のインピーダンスやアークエネルギーで減衰され気化していない。とくに小容量ユニットにおいては三相とも気化することはまれである。また永久ヒューズの気化持続時間は、この例のごとききわめて短時間である。

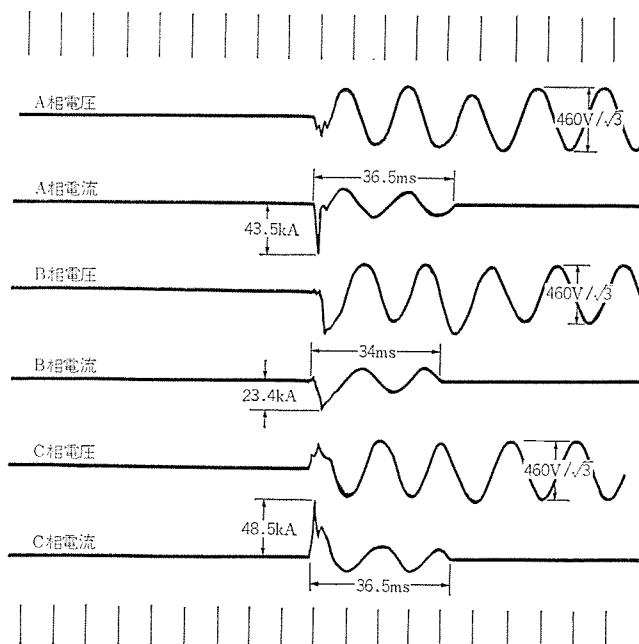


図 8.2 三相 460 V 200 kA 母線短絡しゃ断試験 オシログラム  
Interrupting test oscillogram of 3 phase 460 V 200 kA bus.

図 8.2 に三相 460 V 200 kA の短絡回路における三相母線短絡しゃ断試験のオシログラムを示す。使用したバックアップしゃ断器は NF-800 B 800 A である。その定格しゃ断容量は 460 V 20 kA (STD 付き) であるが、限流装置によって最大せん(尖)頭値 50 kA 以下、その後 20 kA 以下に限流されるため問題なくしゃ断できる。

またこのように限流性能がすぐれているため下位の母線短絡強度は、大幅に向上し、いかなる大容量電源にも対応できる。

## 9. む す び

以上、E 形 コントロール センタ用 CLN 形 限流装置について紹介した。本装置は最近発表されている各種限流装置の中でも、限流性能・電流容量・経済性など画期的な製品である。

とくにきわだった限流性能とノーヒューズしゃ断器相互間の選択しゃ断を大電流領域まで可能にした技術的進歩は、プラントの低圧配電システムのシステム計画に役立つものと信ずる。これにともないコントロールセンタが、より重要なプラントに適用しやすくなったことを報告して、むすびとする。

最後に、この装置の完成にあたってご協力いただいた関係者各位に深く謝意を表したい。

## SCB 4000 形 システムブレーカ

長谷川 清博\*・寺 地 淳 一\*

## Type SCB 4000 System Circuit Breakers

Fukuyama Works

Kiyohiro Hasegawa・Junichi Terachi

In the field of no-fuse breakers having features of being small sized and economical, there is a trend that the capacity is becoming larger year after year. The product with a rating of 4000 A is reported in this country at present. Mitsubishi completed the development of type NF 4000 no-fuse breakers two years ago. Since then much study has been made to improve the operating characteristics, economy and terminal connection, and the development has been made to produce type SCB 4000 system circuit breakers, which, as an extended model of SCB series, can be adjusted of their long time delay, short time delay, instantaneous operation and ground fault protection in a wide range. This article introduces the outlines of the product and describes the skin effect, heat dissipation and a molded case which pose problem with the enlargement of capacity, also stating the means of settlement of them.

## 1. ま え が き

ノーヒューズしゃ断器の電流検出要素ならびに限時要素を、ソリッドステート化した SCB 形 システムブレーカは、600 A, 1,200 A, 2,000 A を発売して以来2年たった。

この間、すぐれた保護協調性能が各方面で認められ、多数の納入実績を得ているが、最近の工場設備の大形化、超高層ビル の出現とフィーダ回路の容量アップによる大容量化、ならびに低圧配電系統保護の近代化はめざましく、大都市においては、スポットネットワーク配電のプロテクタしゃ断器やテイクオフしゃ断器として、4,000 A クラスのものが必要になってきた。

また、UL 規格、1972 年 2 月の新 draft によれば、「Molded-Case Circuit Breakers」として、4,000 A のものが規定され、大容量ノーヒューズしゃ断器の品質基準が示された。

一方、小形・無保守・経済性を特長とするノーヒューズしゃ断器として、一部メーカーで4,000 A のものが発表されているが、動作特性の融通性、接続の種類において、系統しゃ断器として十分なものでなかった。当社は2年前、4,000 A のノーヒューズしゃ断器を開発完了していたが、その後この分野における研究を重ね、このたび、長限時・短限時・瞬時・地絡保護の四つをそれぞれ広範囲に調整できる SCB 4000 形 システムブレーカを開発したのでその概要について述べる。

## 2. 特長および仕様

## 2.1 特 長

SCB 4000 形 システムブレーカは、つぎのような特長を備えている。

## (1) 完全な システム 協調が得られる

引きはずし特性が広範囲に調整できるから(六つの要素が可調整)、低圧側機器および高圧側機器との選択性をもった保護協調が得られ、電力の連続給電ができ、電気設備の合理的なシステム設計ができる。

## (2) 正確で、安定した動作

ソリッドステートリレーを使用しているので、正確で、安定した引きはずし特性をもっており、温度の影響も受けない。

## (3) 地絡災害が防止できる

従来のしゃ断器では、できなかった小さな地絡電流を検出し、地絡災害が防止できる。

## (4) フィールドで特性が確認できる

小電流でリレーのチェックができるため、フィールドでも容易に動作特性が確認できる。

## (5) 操作が軽い

しゃ断器の投入操作は、投入ボタンを押すことにより、蓄勢されている投入ばねのエネルギーを放出して投入を行なう。また、トリップボタンを軽く押すことにより、しゃ断器はトリップされる。

## (6) 高速度再投入も可能

しゃ断器は、閉路状態でも投入ばねがチャージできる。しかも、定格投入時間が0.1秒以下で、従来しゃ断器の1/4程度であるから、故障しゃ断に引きつづき、短時間内に再投入を行なわせることができる。

## (7) 遠隔操作もコンパクト

投入ばねのチャージ用モータが内蔵できるので、電圧引きはずし装置・電圧投入装置と併用すれば、遠隔操作が行なえる。

したがって、従来のしゃ断器のように、モータ操作機構が前面に突出することなく、キュービクルの設計が容易である。

## (8) 取扱いの容易な引出機構

3段引出機構は、専用のウォーム引出構造を採用しているので、引出し・接続がきわめて容易である。

## (9) 据付けに便利

しゃ断器は、水平・垂直いずれの方向のアングルにも取付けできるので、キュービクル等の設計に便利である。

## 2.2 仕 様

SCB 4000 形 システムブレーカの仕様を表 2.1 に、外観を図 2.1 に示す。

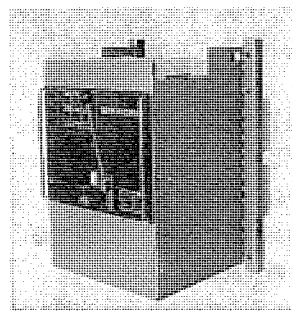
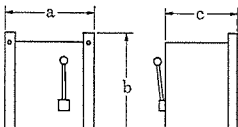


図 2.1 SCB 4000 形 システム  
ブレーカ  
Type SCB 4000 system  
circuit breaker.

表 2.1 SCB 4000 形 システムブレーカの仕様一覧  
Specification of type SCB 4000 system circuit breaker.

最大連続電々流 A			4,000	
長限時ヒックアップ電流値の可調整範囲 A			2,000～4,400	
極数			2	3
定格電圧 AC V			550	
しゃ断 容量  Asym kA	瞬時	AC 220V	150	
		AC 460V	100	
		AC 550V	75	
	短限時	AC 220V	65	
		AC 460V	65	
		AC 550V	65	
引きはずし方式			ソリッドステート式	
定格周波数(指定) Hz			50, 60	
相数			三相3線式 三相4線式	
製品 重量  kg	接続方式	裏面形	220	
		埋込形	220	
		引出形	320	
外形 寸法 (裏面形)  mm			a	557
			b	736
			c	459

### 3. 構造

4,000 A フレームは、従来のノーヒューズしゃ断器を、ただ比例的に拡大するだけでは、開閉操作力・製品重量・製品原価が著しく増大して、小形・軽量・経済性を特長とするノーヒューズしゃ断器にとって、大きな障害であった。

SCB 4000 形 システムブレーカは、開閉機構部、接点および導体構成等を研究し、大容量化に伴うこれらの問題点を解決したので、それについてのべる。図 3.1 は、SCB 4000 形 システムブレーカの内部構造を示す。

#### (1) 開閉機構部

十分な接触子個数と接触圧力を得るためには、大きな投入エネルギーが必要である。このため、投入ばねと開離ばねを独立して設け、必要エネルギーに応じて、二つのばねを合理的に設計している。

しゃ断器の投入操作は、投入ばねをひとまず手動ハンドルの操作で蓄勢しておき、投入ボタンを押すことにより、これを放出して投入を行なう機構を採用している。したがって、操作者の操作力および操作技術と無関係に、安定した投入速度が得られる。

また、トリップボタンを軽く押すことによって、開離ばねの作用でしゃ断器はトリップされる。なお、従来のノーヒューズしゃ断器では、「ON」、「OFF」、「トリップ」の三つの動作状態があったが、SCB 4000 は、「ON」、「トリップ」の二つとなっている。またリセットは、投入ばねがチャージされると自動的に行なわれるようになっている。

#### (2) 接点

接触子構成は、1 極あたり主接触子 20 個、アーク接触子 2 個とし、定格電流はもちろん短限時引きはずし領域の短絡電流の通電に対しても、接点の浮上りがないように十分な接触圧力としている。またアーク接触子は、電流により接触圧力が増加するような電流通路にしているので、十分な投入容量としゃ断容量が得られる。

従来品と同様、接触子は早入-早切動作であるから、定格しゃ断

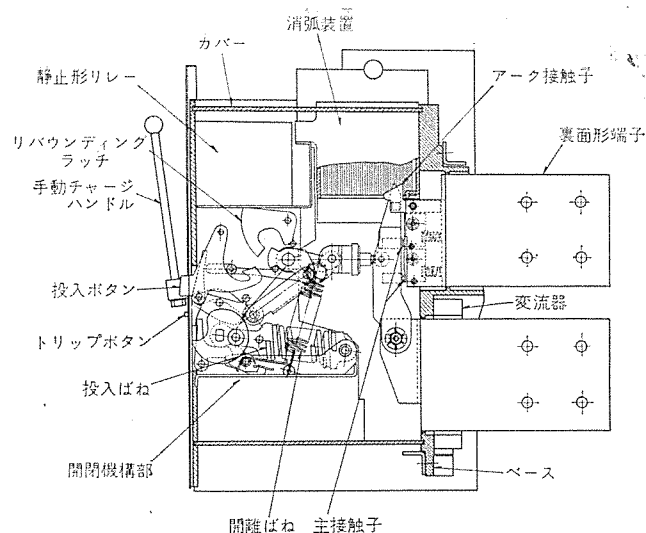


図 3.1 SCB 4000 形 システムブレーカの内部構造  
Internal construction of type SCB 4000 system circuit breaker.

後も接点の消耗は非常に少ない。特に、主接触子での発弧は軽微で、定格しゃ断後の短期間通電も、異常温度上昇なく安心して行なえる。

#### (3) 内部導体

大容量導体は、自己インダクタンスによる表皮効果、あるいは、近接効果などによって、しゃ断器端子間の実効抵抗は、計算値よりはるかに大きな値を示す。

く(矩)形導体の場合、幅/厚さが小さくなるほど、また同一幅/厚さ値でも導体断面積(厚さ×幅)が、大きくなるほど表皮効果は著しく、交流抵抗/直流抵抗の値が大きくなる。

このため SCB 4000 形 システムブレーカの内部導体は、複数個に分割し、間隔をおいて並列に配置し、表皮系数(交流抵抗/直流抵抗)の低減をはかるとともに、熱放散をよくしている。

#### (4) 引きはずし装置

先に発売した SCB シリーズと同様に、静止形の電流検出素子により、事故電流、所定値以上の電流を検出して、長限時・短限時・瞬時・地絡の四つの引きはずし特性が、正確かつユーザにおいて調整しうるリレー部を採用している。

#### (5) 通電路近接部材

通電路に近接した磁性構造部材が鉄損により発熱し、しゃ断器に悪影響を与える。このため、通電路に近接した部品には、非磁性材料、または鉄損の少ないけい素鋼板を使用している。

#### (6) 消弧装置

しゃ断は、耐アーク性・絶縁性・機械的強度にすぐれたガラス繊維強化ポリエステル樹脂成形品の消弧室内で行なわれる。したがって、しゃ断部と開閉機構部、引きはずし装置部は完全に隔離され、しゃ断時の溶融物、あるいは炭化物の付着による悪影響がなくなる。

また、十分な接触子しゃ断距離とダイオングリッドの作用によって大電流のしゃ断も余裕をもって行ないうる。

#### (7) モールド品

ベースは 1 極単位の形状として、大形ベースの成形難、非経済性を解決している。

ベースの材料は、消弧室と同じくガラス繊維強化ポリエステル樹脂を採用している。またしゃ断時の内圧上昇は、ほとんど消弧室ケース内に限定されていることから、カバーは単に充電部の絶縁と外力に耐えるものであればよく、分割・組立方式としている。また必要に応

じて、金属板と重ねて使い、経済的に構成している。

#### 4. 引きはずしおよびしゃ断

##### 4.1 引きはずし

SCB 4000 形 システムブレーカの引きはずしは、つぎの四つで構成され、いずれも広範囲に調整可能である。図 4.1 は、SCB 4000 の動作特性曲線を示す。

##### (1) 長限時引きはずし (可調整)

過負荷電流の自乗に逆比例した時間で、しゃ断器をトリップさせるもので、一般に ノーヒューズ しゃ断器では、過電流に対して動作時間が長く、

(a) 高圧ヒューズなど高圧側機器との協調が得られにくい。

(b) 発電機保護用に使用できない。

など使用上の制限があった。SCB 4000 は、この点を考えて過電流に対する動作時間を決めている。また、長限時引きはずしのピックアップ電流値は、定格電流の 50~110% の範囲で調整可能である。

##### (2) 短限時引きはずし (可調整)

これは、下位のしゃ断器と選択しゃ断を行なわせることを目的としているので、復帰可能時間は、下位しゃ断器の全しゃ断時間より長くしておけばよい。

下位にノーヒューズしゃ断器がある場合、ノーヒューズしゃ断器の全しゃ断時間は、たかだか 1 サイクルであるから、復帰可能時間は、2 サイクル以上あればよいが、SCB シリーズによる 1 段、あるいは 2 段の選択しゃ断システムが組めるように、最高 10 サイクルまでとれるようにしている。

また、短限時引きはずしのピックアップ電流値は、定格電流の 100~500% の範囲で調整可能である。

##### (3) 瞬時引きはずし (可調整)

電路短絡時の大電流に応答し、瞬時にしゃ断器をトリップさせるものである。

瞬時引きはずしのピックアップ電流値は、定格電流の 200~1,250%

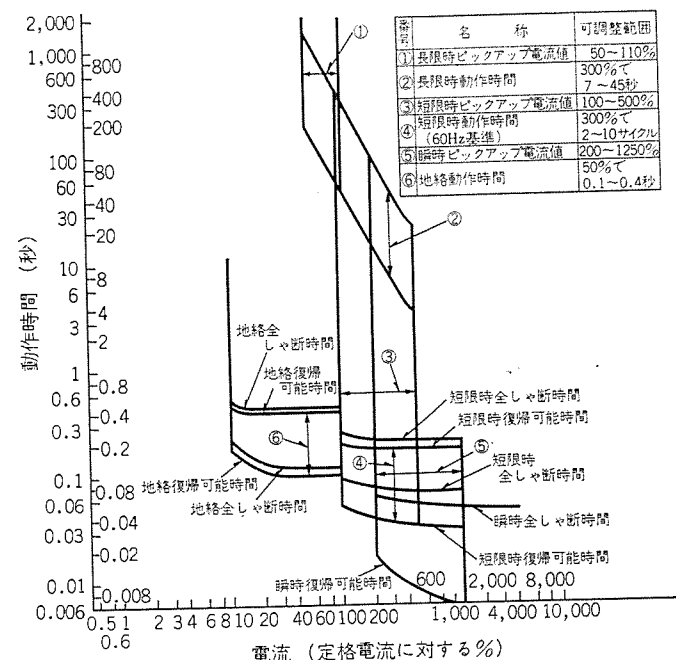


図 4.1 SCB 4000 形 システムブレーカの動作特性曲線  
Operating characteristics of type SCB 4000 system circuit breaker.

の範囲で調整可能であるが、引きはずし時間は一定である。

##### (4) 地絡引きはずし (可調整)

接地事故が発生したとき、ピックアップ電流値 (定格電流の 10% に固定) 以上であれば、あらかじめ定められた時間で、しゃ断器をトリップさせる。地絡引きはずし時間は、0.1~0.4 秒の範囲で調整可能である。

##### 4.2 しゃ断

しゃ断は従来のノーヒューズしゃ断器と同様、ダイオン消弧装置によるが、消弧室は、ガラス繊維強化ポリエステル樹脂で箱形に成形され、ダイオングリッドを保持するとともに、消弧室自体がしゃ断室となつて、しゃ断時のアークガス、溶融物が他の部分へ波及しないようになっている。

しゃ断時にはリバウンディングラッチ機構によって、可動接触子は最終位置で保持され、大きなしゃ断距離が十分生かされて、確実なしゃ断が行なわれる。

また、主接触子圧力は 1 個あたり 13 kg と、従来 NF<sub>B</sub> に比べ 3 倍以上であること、アーク接触子は刃形接触として、電流力により接触圧力が増大する構造を採用したことにより、大きな投入容量と短時間電流容量を有している。

図 4.2 は、SCB 4000 形 システムブレーカ (瞬時付き) の AC 460 V, 100 kA (Asym) 短絡回路のしゃ断 オシログラムを示す。

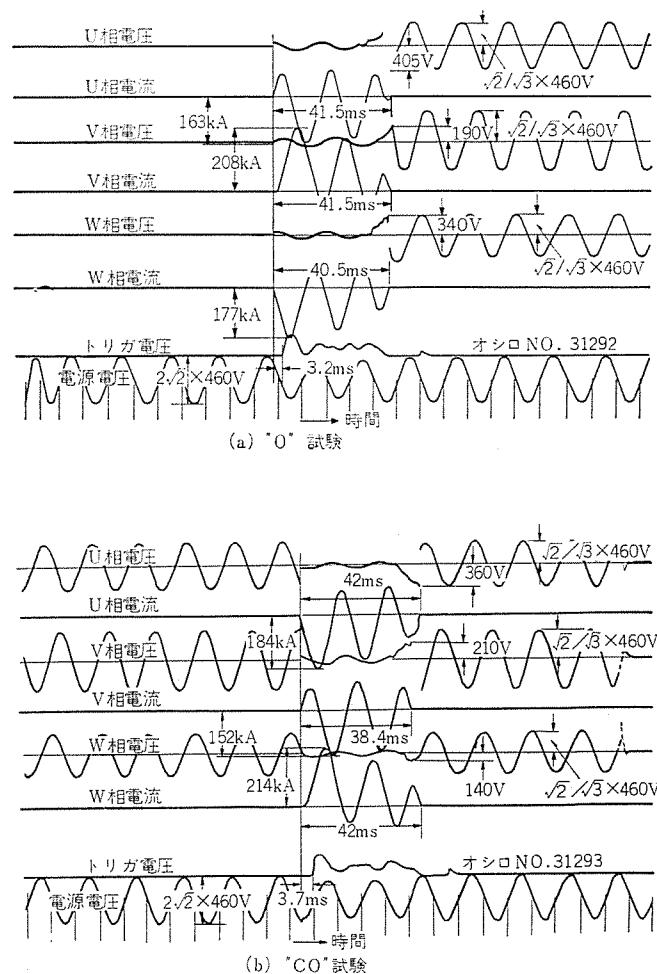


図 4.2 SCB 4000 形 システムブレーカ (瞬時付き) のしゃ断試験 オシログラム (460 V, 100 kA)  
Interrupting test oscillograms of type SCB 4000 system circuit breaker (instantaneous tripping).

## 5. 大電流導体構成に関する配慮

構造の項でも若干述べたように、導電路に対し次のような配慮をしている。

### (1) 鉄損および誘導電流損

これは、近接構造体中に発生する交番磁束によるヒステリシス損と渦電流損である。渦電流損は、磁性体以外の構造体中にも発生し、導電率が大きいほど大きくなる。したがって導電路と構造体は、できるだけ接近しないようにするとともに、やむを得ず接近するものにはステンレス材を使用してこれらの損失を減少させている。

### (2) 表皮効果

導線に高周波の電流を流すと、電流は表面に集まろうとして内部の導体は電流の伝導には関与しなくなり、見かけ上、断面積が減少して抵抗が大きくなる。

これは、電流の表皮効果と呼ばれ、一般には交流抵抗/直流抵抗で、その大小が比較されている。この表皮効果は、導体の厚さ・断面積が大きくなると、高周波のときだけでなく、商用周波においても無視できなくなってくる。

今、図 5.1 に示すように、真空と導体とが平面で境されており、導体表面に平行な平等磁界  $H_0 e^{j\omega t}$  があるとすれば、導体内の電流分布  $i$  は、つぎの式で表わされる。

$$i = \sqrt{\omega \kappa \mu} H_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega \kappa \mu}{2}} x} \cos \left( \omega t - \sqrt{\frac{\omega \kappa \mu}{2}} x + \frac{\pi}{4} \right)$$

ここに  $\omega$  : 角速度 (rad/sec)

$\kappa$  : 導体の導電率 (V/m)

$\mu$  : 導体の透磁率 (H/m)

$x$  : 導体表面からの距離 (m)

すなわち電流密度は、導体表面から離れるに従って、 $e^{-\sqrt{\frac{\omega \kappa \mu}{2}} x}$  に従って減少するとともに、位相も次第に遅れ、ある一つの瞬間における電流分布は図 5.1 のようになる。この結果を見ると、 $\sqrt{\omega \kappa \mu}$  が電流分布の目安になっている。

$\sqrt{\frac{2}{\omega \kappa \mu}}$  が導体の厚さに比べて小さければ、電流は表面に集まってしまい、逆に十分大きければ、導体内で一様に分布していると考えられる。

導体が銅の場合は、

$$\kappa = \frac{1}{1.8 \times 10^{-8}} (\text{V/m}), \quad \mu = 4\pi \times 10^{-7} (\text{H/m}), \quad f = 60 (\text{Hz})$$

とすると

$$\sqrt{\frac{2}{\omega \kappa \mu}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.8 \times 10^{-8}}{2\pi \times 60 \times 4\pi \times 10^{-7}}} = 0.0087 \text{ m} = 8.7 \text{ mm}$$

したがって、導体の厚さが数 mm 以上になると、導体内の電流は一様に分布しているとは考えられない。SCB 4000 形システムブレーカでは、この点を考慮して、内部導体には 5～6 mm の銅板を並列に

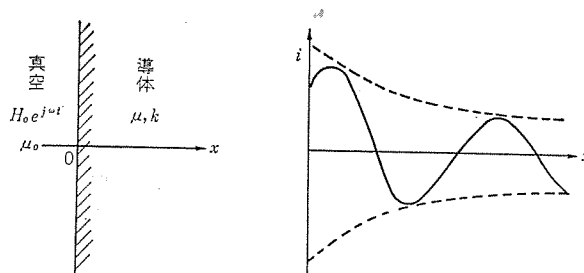


図 5.1 表皮効果  
Skin effect.

散け、必要断面積にすることにより、表皮係数の低減をはかっている。

### (3) 熱放散

絶縁ケースに適当な通気孔を設け、しゃ断器の内部を空気が貫流するように配慮している。

また、内部導体は多数に分割して適当な間隔を設け、並列に配置しているので、十分な放熱面積が得られる。したがって、貫流空気と十分な放熱面積の相乗作用で、効率よく熱放散が行なわれ、十分な通電容量を有している。

## 6. 付属装置

SCB 4000 形システムブレーカには、つぎの付属装置が内蔵できる。

- (1) 警報スイッチ (AL) 1 a, 1 b
- (2) 補助スイッチ (AX) 6 a, 6 b
- (3) 不足電圧引きはずし装置 (UVT)
- (4) 電圧引きはずし装置 (SHT)
- (5) 電圧投入装置 (SHC)
- (6) 電動チャージ装置 (MC)

## 7. む す び

以上、SCB 4000 形システムブレーカについて、その概要を紹介した。低圧しゃ断器の分野では、従来、比較的大容量・重責務のものには ACB を、比較的小容量・軽責務のものには ノーヒューズしゃ断器を、という具合に使い分けられていたが、SCB 4000 形システムブレーカの開発によって、このような単純な使い分けの時代は終わろうとしている。今後、しゃ断容量、短時間電流容量の増大をはかることによって、SCB 4000 形システムブレーカは、これまで ACB が使われていたほとんどの分野に適用可能と思われる。なお、意匠設計を担当された当社商品研究所の、意匠課各位に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 和田、長谷川：三菱電機技報，45，No. 6 (昭 46)



# 低圧配電における短絡保護協調

江口 清司\*・実森 俊夫\*

## Coordination of Short-Circuit Protection for Low Voltage Power Distribution

Fukuyama Works Kiyoshi Eguchi・Toshio Jitsumori

As a highly reliable power feeding system to an area of high power loading density, there is a spot network distribution system. In this system, however, short circuit current at faults is extremely large. Then, it is demanded to dispose of the fault current with safety and with keen attention to the continuity of power supply. Explained herein are nofuse breakers as a central subject and, including distribution line fuses, cascade back up protection system and selective interruption protective system which will meet the requirements. Also description is made on concrete examples of combination of no-fuse breakers and distribution line fuses which are made available based on the proof by test.

### 1. ま え が き

最近のビルおよび工場等における電力需要は、ますます増大するとともに、大都市における超高層ビルに見られるように、その電力負荷密度が著しく高まる傾向にある。しかも、負荷の種類の多様化により、その連続給電性への要求はさらに強くなりつつある。このような要求に最適な配電方式として、スポットネットワーク配電方式がある。

スポットネットワーク配電方式とは、図 1.1 に示すように、電源変電所から 2～4 回線のフィードで受電し、ネットワーク変圧器により降圧（通常 22kV-240/415V である）して、プロテクタヒューズおよびプロテクタリレーにより制御されるプロテクタシャ断器を通して、ネットワーク母線により並列接続するもので、このネットワーク母線よりいくつかの幹線がテイクオフされるものである<sup>(1)(2)</sup>。このように複数の受電であるから、たとえ一つの受電フィードが故障しても、ネットワークプロテクタにより自動的にその故障フィードを切離し、変圧器容量とバンク数を適切に選定すれば、（ネットワーク変圧器は 130% 過負荷運転に 8 時間耐えうる）、供給電力をほとんど低下させることなく、連続して給

電できる。また、負荷が増大した場合は、休止している回線を自動的に投入できる。

したがって、スポットネットワーク配電方式は、他の方式と比較して、次のようなすぐれた特長がある。

- (1) 給電の連続性がきわめてすぐれている。
- (2) 自動化により保安管理が省力化できる。
- (3) 設備費および総合経費が安くできる。

しかしながら、短絡保護の点から考えると次のような問題がある。

(1) 2～4 台の変圧器の並列運転であるから、従来の配電方式と比較して、表 1.1 に示すように、低圧側の短絡電流はきわめて大きく、それを安全に処理することを考えなければならない。

(2) テイクオフ装置以降にあっては、事故フィードのみをすみやかに切り離し、健全回路へは連続して電力供給できるように、保護機器間の協調をより重視しなければならない。

以下に、低圧屋内配電における短絡保護協調について、配線用シャ断器（以下 ノーヒューズ シャ断器または NFB という）を中心に一般的考察をしたあと、低圧配線用ヒューズ等の保護機器も含め、スポットネットワーク配電方式におけるテイクオフ装置以降の経済的かつ信頼性のある回路構成に適用できる短絡保護協調について、数多くの実験にもとづいて、それらの適用表を作成できたので発表する。

表 1.1 電源構成と短絡電流  
Transformer arrangement and short circuit current.

(240/415V 3φ4W)

変圧器容量 kVA	インピーダンス %	最大短絡電流対称値 kA		
		2 台	3 台	4 台
500	5～5.5	27.8	—	—
1,000	5～5.5	55.6	83.4	—
1,500	7.5～8.25	55.6	83.4	—
2,000	7.5～8.25	—	111	148

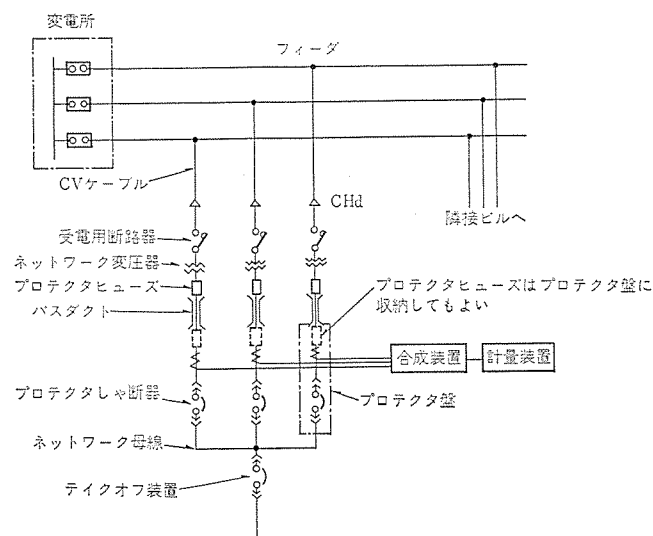


図 1.1 スポットネットワーク配電方式  
Spot network power distribution.

## 2. 保護機器とその特質

### 2.1 短絡保護機器

低圧屋内電路における短絡保護機器には次のものがある。

#### (1) 低圧気中しゃ断器

パワーセンタあるいは、これに準じたキュービクルに、引出し構造で内

表 2.1 低圧保護機器の特質比較  
Feature comparisons of low voltage protective equipments

機能	機器	気中しゃ断器	ヒューズ		NFB	
			ヒューズ単体	ヒューズスイッチ	SCH TRシリーズ	Uシリーズ
1 断路機能	○	○	×	○	○	○
2 開閉機能 (定格電流)	○	○	×	△200Vのみ 可400Vでは一般には不可	○	○
3 過負荷開閉	○	○	×	×200V小容量のみ1.5倍電流まで200V2倍以上および400Vは不可	○	○
4 過負荷保護	○	○	△200Aまでのもの限流ヒューズは不可	△同左	○	○
5 短絡投入	○	○	×	×	○	○
6 短絡しゃ断	○	○	○	○	○	○
7 しゃ断容量	中	大	大 筒形限流ヒューズ 中 配線用ヒューズ	大 同左 中 同左	中 C, Sシリーズは比較的小 小 T, Rシリーズは大	大
8 限流性能	×	×	△ 配線用ヒューズ ○ 限流ヒューズ	△ 同左 ○ 同左	△ C, Sシリーズ ○ T, Rシリーズ	○
9 カスケードバックアップ	×	○	○	○	× C, Sシリーズ ○ T, Rシリーズ	○
10 選択しゃ断	○	○	○ 定格比が2:1以上ならば可	○	× 一般用 ○ 短限時付, 三元特性付 ○ SCB	× 短限時付
11 引きはずし特性の協調	○	○	選定段階で考慮すれば可	同左	○ 125%最小動作可 △ 大容量のもの引きはずし特性が長い ○ mag trip値可調整のものもある	同左
12 地絡保護	△	×	×	×	△ 125%電流以上ならば可 ○ 漏電ブレーカならば可	同左
13 欠相保護	○ 多極同時しゃ断	×	×	×	○ 多極同時しゃ断	○
14 再投入	○ きわめて短時間で可	×	×	△ ヒューズ取換要す	○ きわめて短時間の後再投入可	○
15 インタロック	○ 電氣的インタロック可	×	×	×	○ 電氣的インタロック可	○
16 遠方制御	○ 電磁操作	×	×	×	○ 電動操作	○
17 操 作	△	×	△ 操作に熟練要す	△ 操作に熟練要す	○ 操作は容易	○
18 大きさ(スペース)	大	小	小	大	中	中
19 価 格	大	小	小	中	中: Cシリーズ 大: T, Rシリーズ	大
20 取付工数	小	大	大	フレッドのすり合せ要	小	小
21 保 守	○	×	×予備ヒューズ要	×	同左	○

蔵するのに最適である。各種の投入制御装置を内蔵するほか、過電流引きはずし装置は広範囲の特性をもたせることができ、適切な組合せにより、給電の連続性を保持しやすい本格派しゃ断器で、当社のDB形気中しゃ断器がこれに相当する<sup>(3)</sup>。

#### (2) 低圧配線用ヒューズ

高圧の限流形電力ヒューズに準じて限流特性をもつ低圧配線用限流ヒューズは、小形・軽量・安価で、しゃ断容量が大きいという特長をいかして、低圧配電盤に使用される。当社のFA-B形一般用筒形ヒューズ、FLN形NFBバックアップ保護用筒形ヒューズ、およびFLK形スポットネットワーク用筒形ヒューズがこれに相当する<sup>(4)</sup>。

#### (3) 配線用しゃ断器(NFB)

前記の低圧気中しゃ断器と低圧配線用ヒューズの特長のほとんどを兼備した絶縁箱入りで、配線用しゃ断器というJIS名よりも、ノーヒューズしゃ断器(略称NFB)と呼ばれることが多い。

当社は、標準のSシリーズ、コンパクトなCシリーズ、高品質のHシリーズ、低圧限流ヒューズ内蔵のTシリーズ、電磁反発による限流形Rシリーズを完備して、用途に応じた最適選定を可能にし、全国需要の大半に応じているが、さらに“永久ヒューズ”の限流特性を利用したUシリーズは、200kAという世界最大級のしゃ断容量をもつ画期的なしゃ断器である<sup>(5)</sup>。

## 2.2 特質

これらの低圧保護機器には表2.1の比較表に示すように、次のような特質がある。

すなわち、低圧気中しゃ断器は断路機能・開閉機能・過負荷開閉・過負荷保護・短絡投入しゃ断・選択しゃ断・引きはずし協調、および遠方制御等にすぐれている。また、ノーヒューズしゃ断器は、断路機能・開閉機能・過負荷開閉保護・短絡投入しゃ断・遠方制御・価格、および保守の点ですぐれ、低圧配線用ヒューズは、しゃ断容量・限流性能・バックアップ性能・選択しゃ断、および価格の点ですぐれている。したがって、これらの特質を生かして、より経済的な保護方式を考えなければならない。

## 3. 保護協調一般論

### 3.1 完全定格方式

しゃ断器の設置点において、その点の最大短絡電流よりも大きい定格しゃ断容量をもつしゃ断器で構成されるもので、この方式では、故障電流の大きさに応じて、主回路しゃ断器は開路してもよい。つまり、図3.1(a)に示すように、しゃ断器AおよびBは、それぞれ短絡電流 $X_A$ および $X_B$ よりも大きなしゃ断容量を持つように構成するものであり、その協調は、図3.1(b)に示すように、 $I_A$ 以下の事故電流に対するしゃ断器AとBとの間の協調は保たれるが、 $I_A$ 以上の電流の場合は両者とも引きはずされる。

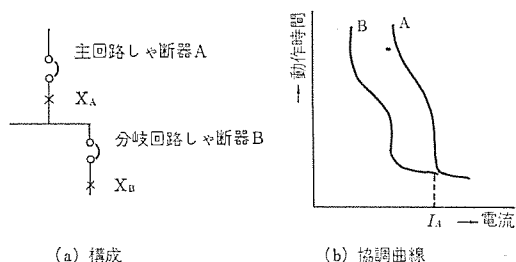


図 3.1 完全定格方式  
Fully rated system.

### 3.2 カスケードバックアップ方式

#### 3.2.1 カスケードバックアップの条件

カスケードバックアップ方式とは、図3.1(a)に示すような構成において、主回路しゃ断器Aは、その設置点の最大短絡電流をしゃ断するしゃ断容量をもつが、分岐回路しゃ断器Bは、 $X_B$ 点の短絡に対して上位しゃ断器Aとともにしゃ断を負担するというものである。

一般にしゃ断容量をこえた短絡電流に対してのしゃ断器の動作は、熱的・機械的なストレスの過度の集中により、導体の溶断あるいはモールドケースの破損につながるものと考えられる。

熱的には、しゃ断器の導体抵抗 $R_i$ に関するジュール積分 $\int i^2 R_i dt$ によるものであり、機械的には、アーク抵抗 $R_a$ に関するジュール積分 $\int i^2 R_a dt$ による内圧の上昇、および通過電流のせん(尖)頭値 $I_P$ に関係して直接電流導体に作用する電流力が問題となる。

短絡発生の際、しゃ断器が動作して接点を開くと同時にアークが発生するが、そのさいアーク抵抗 $R_a$ が大きいほどすみやかにしゃ断され通過する電流も小さくなる。

2台のしゃ断器が同時にしゃ断すると、それぞれのアーク抵抗 $R_a$ は加算されることとなり、1台でしゃ断するときにくらべて $\int i^2 dt$ および $I_P$ ともに小さくなり、1台当たりの発生するエネルギーが小さくてすむ。したがって、もし2台のしゃ断器がまったく平等にアークエネルギーを分担すれば、理論上は2倍のしゃ断容量があることになる。これがカスケードバックアップの原理である。

しかし、通常電源側と負荷側の関係にあるしゃ断器では、電源側のしゃ断器のほうが大形でしゃ断動作もそれだけ遅いのが通例であるから、負荷側しゃ断器のアークエネルギーの分担率が大きくなり、カスケードバックアップの可能な程度が減少することとなるので注意を要する。

上記からわかるとおり、カスケードバックアップの条件としては、つぎの条件が必要である。

- (1) カスケードしゃ断時の最大通過せん頭電流 $I_P$ は、下位(負荷側)しゃ断器の機械的強度の限界をこえないこと。
- (2) カスケードしゃ断時の全しゃ断 $\int i^2 dt$ は、下位しゃ断器の熱的強度以下であること。
- (3) 負荷側しゃ断器の全しゃ断時間特性と電源側しゃ断器の開極時間特性とのクロスポイントは、負荷側しゃ断器の定格しゃ断容量以内であること(図3.2参照)。

これらの条件については上位しゃ断器および下位しゃ断器のそれ

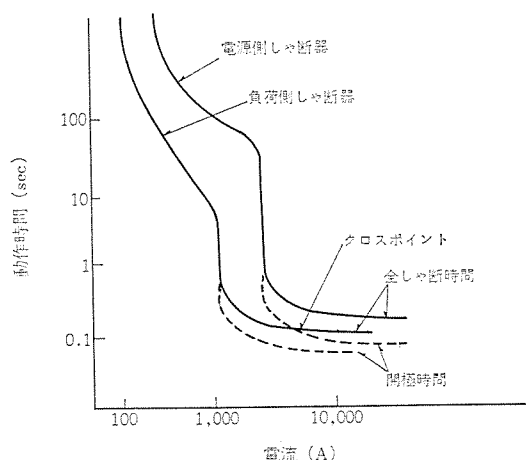


図 3.2 カスケードバックアップ協調特性  
Cascade back-up coordination.

ぞれ単独でのしゃ断試験データを用いて検討したのでは不十分である。なぜなら先にのべたようにカスケード状態では、しゃ断器のアーク抵抗が加算されるので単独試験の場合より限流の程度が著しく、全しゃ断 $\int i^2 dt$ や $I_P$ が単独試験とは異なったものになってしまうからである。したがってカスケードバックアップの可否の検証は、必ずそのものの組合せ状態において試験されなければならない。もちろん、つぎのような推定は合理的推論として利用できる。

(1) ある組合せでカスケードバックアップが可能ならば、それより $\int i^2 dt$ 強度の大きい下位しゃ断器との組合せでは、同一カスケードしゃ断容量が可能である。

(2) ある組合せでカスケードバックアップが可能ならば、それより限流効果の大きい上位しゃ断器との組合せでは、同一のカスケードしゃ断容量が可能である。いずれにしても、特定のNFBの組合せにおけるカスケードバックアップの適否は、NFB製造者において試験し保証されたデータにもとづいて判断されなければならない。従来行なわれていたような、クロスポイントが下位しゃ断器のしゃ断容量の80%以内にあればよい、というような判断はつぎの点で不十分である。

(a) 前記の条件(1)、(2)が考慮されていない。

(b) 単独試験の結果のみで判断される傾向にあるので、実際にはクロスポイントも組合せ状態では移動する。

#### 3.2.2 電気設備技術基準とカスケードバックアップ方式

従来低圧配電系統でカスケードバックアップ方式を規定した規格としては、LR規格に若干の規定があったが<sup>(9)</sup>、これは短時間電流定格を有するACB等について規定されたものであり、NFBを対象としたものではない。しかし、実際には前述のごとき考え方で、従来からNFBについても各製造業者よりカスケードしゃ断適合表が発表されており、いずれこれが規定化されるであろうことは予想されていた。このような状況下において、47年2月に改正された電気設備技術基準(通産省令第6号)では、その第38条第5項において、カスケードバックアップの適用条件が示され、被バックアップしゃ断器のしゃ断容量が10,000 A以上の場合に、10,000 Aをこえ最大短絡電流までの短絡電流に対して電源側に、3.2.1項の(1)(2)(3)を満足するしゃ断器を設置するときは、カスケードバックアップ方式を採用してもよいことが規定化された。この規定で、被バックアップしゃ断器のしゃ断容量を10,000 A以上の場合に限定した理由は、つぎのように考えられている。

(1) 10,000 A以下のしゃ断容量のしゃ断器を用いるところでは標準化された市販の分電盤等を用いるケースが多く、上位しゃ断器との協調関係の検討を十分に行ない難く、補修の際の同一品使用等の保守管理も十分に期待できない。

(2) 従来、高圧用では経済性の観点から10,000 A以上にカスケードを認めていた。ただし、この技術基準で言うところのカスケードバックアップ方式とは、上位しゃ断器と下位しゃ断器が異なる個所に設置される場合に適用されるのであり、同一個所で2個のしゃ断器を組合せて使用する場合には「10,000 A以上」の制限はうけない。それは同一個所では上位しゃ断器と下位しゃ断器の製造者または保守管理者が同一であることが多く、協調関係の維持が行なわれやすいと考えられるからであろう。なお、同一個所と見なされうるのはつぎのような場合である。

- (1) 同一分電盤内、同一配電盤内またはその列盤内
- (2) 同一キュービクル、コントロールセンタまたはその列盤内
- (3) 同一ステップ内(同一太さの同一幹線内または一分岐回路内)

のように上位・下位の関係にないもの)

#### (4) 同一電気室内(受電室・変電室)

##### 3.2.3 限流ヒューズを用いるカスケードバックアップ方式

電気設備技術基準では上位しゃ断器としてヒューズを用い、下位しゃ断器としてノーヒューズしゃ断器を用いるカスケードバックアップ方式についても規定している。その適用条件は、ノーヒューズしゃ断器同志のカスケードの条件と同様で、つぎの条件が必要とされている。

(1) ヒューズの最大通過電流( $I_P$ )は、ノーヒューズしゃ断器の電磁機械強度をこえないこと。

(2) ヒューズの全しゃ断 $t_{cl}$ は、ノーヒューズしゃ断器の熱的強度以下であること。

(3) ヒューズの溶断特性とノーヒューズしゃ断器の全しゃ断時間特性とのクロスポイントは、ノーヒューズしゃ断器の定格しゃ断容量以内であること。

##### 3.2.4 気中しゃ断器とカスケードバックアップ方式

これまで述べたのは、3.2.1項のノーヒューズしゃ断器同志および3.2.3項のヒューズとノーヒューズしゃ断器の組合せの場合であるが、低圧しゃ断器としてはこのほかに低圧気中しゃ断器がある。ノーヒューズしゃ断器の瞬時しゃ断時間が、高々20ms程度であるのに比べて、気中しゃ断器は、瞬時動作の場合でも、30~60msのしゃ断時間がかかるので、ノーヒューズをカスケードバックアップすることはできない。気中しゃ断器同志のカスケードバックアップについては、ASA・C37に規定があり、上位しゃ断器の瞬時動作電流が下位しゃ断器の定格しゃ断容量の80%以内にセッティングされていれば、可能であることがのべられているがその根拠は明らかではない。気中しゃ断器のしゃ断容量が不足する場合に、限流ヒューズでこれをバックアップすることはNFBと同様に行なわれる。なお、ヒューズとヒューズの組合せについては、同一形式の同一定格のヒューズを直列にする場合以外のヒューズとヒューズのカスケードは危険であり、一般にこのようなカスケードが採用されることはない。以上、カスケードバックアップ方式についてのべたが、電気設備技術基準では保守管理の行なわれやすさによって同一個所の組合せと異なる個所のカスケードを区分しており、バックアップの判定条件はいずれの場合も同じであるが、後者については10,000A以上という制限を設けている。また前者については、組合わされた状態で一つのしゃ断器と見なしうることがのべられているが、これはたとえば限流ヒューズとノーヒューズしゃ断器と同一ケース内に収納した、モールドケースしゃ断器(NFT形)が市販されていることから容易にうなずけることである。

##### 3.2.5 永久ヒューズを用いたカスケードバックアップ方式

永久ヒューズ付きNFBを主回路しゃ断器として用いると、永久ヒューズのすぐれた限流性能により、一般NFBより広い範囲で分岐NFBをカスケードバックアップすることができる。

##### 3.3 選択しゃ断方式

選択しゃ断とは、短絡事故などの場合に事故点に最も近い分岐しゃ断器のみが動作して事故電流をしゃ断し、その電源側の上位しゃ断器は動作しないように、縦続関係にある電源側しゃ断器とその分岐しゃ断器の間に動作の協調が得られていることをいう。このように協調させることによって、事故の際の停電の範囲を限定することができる。このような動作の協調は、従来ACBの領分であってNFBではこのような選択しゃ断はできないと考えられていた。その理由は、

(1) NFBの瞬時しゃ断時間は8~20msの範囲にあるが電源側

表 3.1 短限時付きNFBの短時間定格  
Short time ratings of short-time-delayed NFB.

(0.2秒)

フレーム A	定格短時間電流 A
400	8,000~10,000
600・800	20,000~22,000
1,000・1,200	22,000~25,000
1,600・2,000	42,000~50,000
2,500・3,200	42,000~50,000

しゃ断器のしゃ断時間が20msであっても、開極時間から動作機構の伝達時間を差引いた時間(復帰可能時間という)はきわめて短い(数ms以下のものが多い)ので、分岐回路のしゃ断器がたとえ8msでしゃ断し得ても同時(直列)しゃ断となってしまう。

(2) NFBの復帰可能時間を長くする機構を設けると、NFBは通過 $i_{cl}$ や $I_P$ に耐え得なくなる。

という2点にあった。(1)の点については、すでにNFBに振動子形の短限時装置(STD)を付加されたものが発表されて、20~60msの復帰可能時間が得られている。(2)の点については、 $i_{cl}$ はともかく $I_P$ による接触子の浮上り現象が比較的低倍率の大電流(定格電流の20~30倍)から始まることが問題であるが、これらはいくぶん改良されて現在では表3.1のような定格短時間電流を有するに至っている。短限時付きNFBの復帰可能時間は、分岐回路に用いるNFBの最大しゃ断時間より長ければよく、30~40msにとられる。NFBの定格短時間電流は小さいのであるが、瞬時引きはずしを行なうNFBははるかに大きい定格しゃ断容量を有するのは、その高速引きはずし性能により、たとえ接点の浮き上りがあっても接点の損耗を最小限に制限することができるからである。

##### 3.3.1 短限時付きNFBを使用する選択しゃ断

短限時付きNFBを使用した選択しゃ断方式は、その分岐しゃ断器に、瞬時引きはずし素子付きNFBと組合せて構成されるが、電源側NFBと分岐NFBの間の母線短絡を考慮すると、電源側NFBの定格短時間電流は、その負荷側端子における推定短絡電流より大きくなければならない。分岐NFBに限流ブレーカや限流ヒューズ付きNFB等を用いることにより、分岐回路短絡における選択しゃ断可能範囲は広げられるが、母線短絡に対する配慮から短限時付きNFBの適用限界が定まる。

##### 3.3.2 三元特性NFBを使用する選択しゃ断

STD付きNFBを使用した場合の前述のような適用制限を緩和するために、STD付きNFBにさらに瞬時引きはずし素子を付加して、図3.3のごときいわゆる三元特性ブレーカを使用することがある。このようにすれば、STD付きNFBのしゃ断容量は、瞬時引きはずし付きNFBの定格しゃ断容量 $I_3$ まで広げられる。図における $I_2$ が、STD付きNFBの定格短時間電流に相当するものである。電源側に三元特性付きNFBを使用し、分岐回路に瞬時引きはずし付きNFBを使用したときの選択しゃ断可能範囲は、 $I_2$ までとなる。 $I_2$ は三元特性付きNFBの瞬時引きはずし電流として調整されるものであるから、分岐NFBが非限流性のNFBの場合は、その選択しゃ断可能な短絡電流の限界 $I_S$ は次のようになる。

$$I_S = \frac{\sqrt{2} I_2}{n}$$

ここで、 $n$ は最大投入電流の実効値に対する比で、表3.2に示される値である。 $I_S$ を超える短絡電流に対しては、電源側NFBが

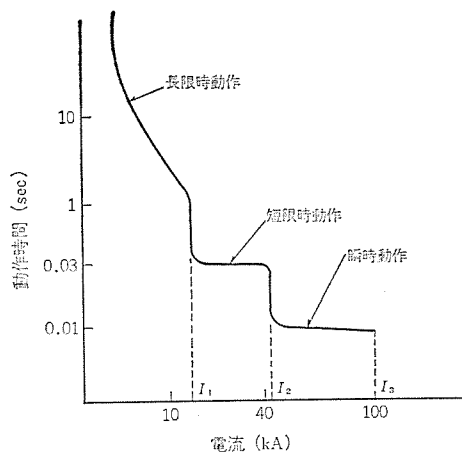


図 3.3 NF 3200 三元特性の例  
Triple tripping characteristics of type NF 3200.

表 3.2 投入電流係数  
Coefficient of making current.

短絡回路の力率	投入電流係数 $n$
0.5	1.7
0.3	2.0
0.25	2.1
0.2	2.2

動作する場合もありうる。

しかしながら、分岐回路に限流ブレーカまたは限流ヒューズ付き NFB 等の限流性のある NFB を用いた場合は、その限流波高値  $I_P$  が  $\sqrt{2} I_2$  を超えなければ選択しゃ断が可能である。また、 $I_P$  の波形がきわめて急しゅん(峻)な場合には、 $I_P$  が  $\sqrt{2} I_2$  より大きくても、選択しゃ断が可能となる場合があるが、それらは個々の組合せによる実験によらなければならない。

### 3.3.3 SCB 形システムブレーカを用いた選択しゃ断

前述の三元特性付き NFB の三つの引きはずし特性を広範囲にかつ容易に調整設定できるしゃ断器が、引きはずしにソリッドステートリレーを用いた SCB 形システムブレーカである<sup>(7)</sup>。つまり、長限時引きはずしピックアップ電流値、長限時引きはずし時間、短限時引きはずしピックアップ電流値、短限時引きはずし時間および瞬時引きはずし時間を、おのおの独立して、調整できるものである。この短限時引きはずしの復帰可能時間は、40 ms から 200 ms (at 50 Hz) までと広範囲であるから、その時間差により、2 段以上の選択しゃ断が可能である。なお、これらの特性が広範囲に調整できるので、SBC 形システムブレーカは、高圧側保護機器との協調も容易である。

### 3.3.4 永久ヒューズを用いた NFB と選択しゃ断

前述のとおり、選択しゃ断とカスケードしゃ断は同時には成り立たないが普通であるが、永久ヒューズの瞬時復帰性を利用して、分岐回路しゃ断器のカスケードバックアップを行なうと同時に選択しゃ断を成立させることが可能である。この目的に使用する主回路しゃ断装置としては、永久ヒューズと短限時付き NFB の組合せを使用し、分岐回路には一般の NFB を使用する。分岐回路で短絡事故が発生したときには、分岐回路の NFB がしゃ断するまで永久ヒューズが短絡電流を限流して、分岐回路の NFB のしゃ断容量不足を補なうことができる。そして、分岐回路の NFB がしゃ断を完了すると同時に、永久ヒューズはもとの状態に復帰して、ほかの分岐回路に連続給電を行なうことができる。この場合も永久ヒューズで限流された最大通過電流  $I_P$  に対して、これと組合わされる主回路の短限時付き NFB は、十分な短時間電流容量を有していなければならない。

### 3.3.5 限流ヒューズを用いた選択しゃ断

同一タイプの限流ヒューズにあっては、その溶断  $i^2t$  が定格電流のほぼ 1.5 乗に比例しているという著しい特長を有しているので、主回路ヒューズの定格電流が分岐回路ヒューズの定格電流の 2 倍以上あれば、選択しゃ断が可能であるといわれている。

### 3.3.6 気中しゃ断器との選択しゃ断

気中しゃ断器は普通定格しゃ断電流と等しいか、あるいはそれより大きな定格短時間電流を有するものが多く、また NFB より容易に三元特性付きのものが得られるなど、選択しゃ断方式の主回路しゃ断器として適した性能を備えている。また、その短限時引きはずしの復帰可能時間も 6 サイクルから 30 サイクル程度の範囲で調整できるものが多いので、多段の選択しゃ断方式に適用できる。もちろん、ACB を主回路に使用し、NFB やヒューズを分岐回路に用いる選択しゃ断方式も可能である。

## 3.4 他の機器と保護装置との保護協調

### 3.4.1 高圧側保護装置との保護協調

高圧側の過電流保護装置として、受電用変圧器の一次側にヒューズあるいは誘導過電流形リレーが用いられるが、これらは電力供給業者の変電所側送り出ししゃ断器との選択しゃ断協調を図るために、比較的短い動作特性のものが用いられている。したがって受電用変圧器の低圧側に用いる電源用主しゃ断器との協調がむずかしくなる。受電用変圧器の主しゃ断器として大容量の NFB を使用する場合は、特にこの点についての考慮が必要であろう。

### 3.4.2 低圧電磁開閉器と NFB の協調<sup>(8)</sup>

低圧電磁開閉器のサーマルリレーの過電流強度や接点の過電流は比較的小さいもので、JISC 8325「交流電磁開閉器」のしゃ断および閉路電流容量の級別区分によると、A 級のもので定格容量の 10 倍以上となっているが、実際に市販されているものはその最低基準の 10 倍に近いものが多いように見うけられる。したがって、定格容量の十数倍をこえる短絡電流においては、NFB の瞬時引きはずし動作によって電磁開閉器をバックアップしなければならない。しかし、短絡領域においてこのバックアップを完全に行なうことは困難であるので、電磁開閉器のある程度の損傷は、やむを得ないと考えられている。

### 3.4.3 電線の保護

過負荷領域における電線の保護に関しては、その電線の許容電流に応じた定格電流の保護装置を設置すればよい。短絡領域に関してもおおむねこの原則に従ってよいが、小電流定格であるにもかかわらず大しゃ断容量のしゃ断器を使用する必要がある場合には、電線(特に 3.5 mm<sup>2</sup> 以下)の許容  $i^2t$  特性に注意する必要がある。

## 4. スポットネットワークにおける短絡保護協調各論

以下、図 1.1 に示すようなスポットネットワークをモデルにして、具体的な協調関係を述べる。

### 4.1 プロテクタヒューズとテイクオフ装置の協調

#### 4.1.1 テイクオフ装置

表 1.1 に示したように、ネットワーク母線からテイクオフする点での短絡電流はきわめて大きいので、テイクオフ装置としては、図 4.1 に示すようなものが考えられる。図において、NFU 形、NFT 形および NF-R 形は、それ自身が相当程度のしゃ断容量をもっているので単独で使用できるが、その他の NFB の場合は、D のように FLK



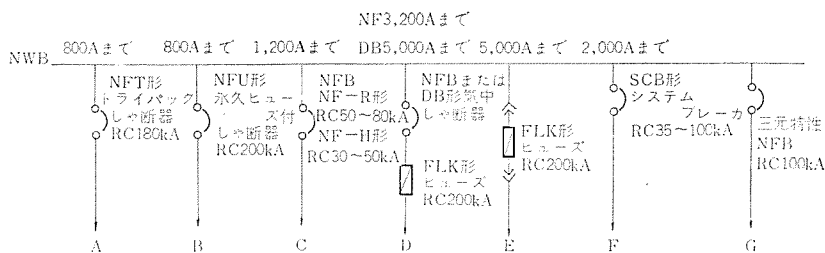


図 4.1 テイクオフ装置の種類  
Take-off devices.

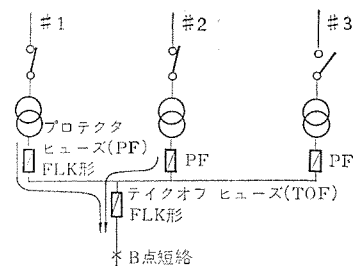


図 4.2 PF と TOF の協調  
Coordination of PF and TOF.

表 4.1 FLK 形ヒューズと NFB のカスケードバックアップしゃ断容量  
Interrupting capacity of NFB in cascade back up with type FLK fuse.

(AC 460 V Asym kA)

バックアップ ヒューズ	F L K 形 ヒ ュ ー ズ				
	500 A	1,000 A	2,000 A	3,000 A	4,000 A
NFB					
NF 225-G	150	150			
NF 400-B	150	150	150		
NF 600-B~ 1200-B		150	150	150	
NF 1600・2000			150	150	150
NF 2500・3200				150	150
NF 100-R	150	150			
NF 225-R	150	150			
NF 400-R	150	150	150		
NF 600-R		150	150	150	
NF 800-R		150	150	150	150
NF 1200-R			150	150	150

表 4.2 協調可能なプロテクタヒューズとテイクオフヒューズ  
(選択しゃ断)

Selective coordination of PF and TOF.

(RC 200 kA)

	プロテクタ ヒューズの 定 格	テイクオフ ヒューズの 定 格 (最 大)
2回線受電 (PF : TOF=1 : 1)	FLK 500	—
	FLK 1,000	—
	FLK 2,000	FLK 500
	FLK 3,000	FLK 1,000*
	FLK 4,000	FLK 2,000*
3回線受電 (PF : TOF=2 : 1)	FLK 500	—
	FLK 1,000	FLK 500
	FLK 2,000	FLK 1,000
	FLK 3,000	FLK 2,000
	FLK 4,000	FLK 3,000
	FLK 5,000	FLK 5,000*

注) \*印は 100 kA まで

表 4.3 FLK 形プロテクタヒューズとテイクオフブレイカ (TOCB) の選択しゃ断  
Selective tripping between PF and TOCB.

AC500V Sym. KA

TOCB (NFB) TOCBの定格 R.C KA		2回線受電 (FLK : TOCB 1 : 1)					3回線受電 (FLK : TOCB 2 : 1)				
		500	1000	2000	3000	4000 5000	500	1000	2000	3000	4000 5000
NF100-R	15A~30A	50	4	50	50	50	50	50	50	50	50
NF225-R	40A~100A	50	7	50	50	50	12	50	50	50	50
NF400-R		40	4	7	17	40	12	18	40	40	40
NF600-R		65		7	17	22	12	18	65	65	65
NF800-R		65			17	22	10	16	36	65	65
NFT100	15A~30A	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
NFT225	50A~100A	150	6	9	150	150	150	150	150	150	150
NFT400		150		8	18	80	11	17	150	150	150
NFT600		150			18	25		17	150	150	150
NFT800		150			18	25		17	150	150	150
サーマルオンリー-NFT100	15A~30A	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
サーマルオンリー-NFT225	50A~100A	150		16	150	150	150	150	150	150	150
サーマルオンリー-NFT400		150			22	40		18	150	150	150
サーマルオンリー-NFT600		150			22	40		18	150	150	150
サーマルオンリー-NFT800		150				30			150	150	150
NFU100		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
NFU225-B		150		150	150	150	150	150	150	150	150
NFU400		150			150	150	11	150	150	150	150
NFU600, 800		150			18	18		16	150	150	150
NF100-H		25	4	7	25	25	12	25	25	25	25
NF225-H		35		7	17	22	12	18	35	35	35
NF400-H		42		7	17	22	12	18	35	42	42
NF600-H		42			17	22	10	16	35	42	42
NF800-H		42			17	22		16	35	42	42
NF1200-H		42			17	22			35	42	42
NF1600		75				22			35	46	75
NF2000		75				22			35	46	75
NF2500		75				22			35	46	75
NF3200		75				42				46	75

注) (1) 数字は選択しゃ断可能範囲の上限を示す

(2) TOCBは注記なき場合は最大定格を示す。中間定格では上表より大きな数値となる。

(3) NFT以外の瞬時引きはし電流値の設定は可調整のものはLOノッチ、その他は標準とする。

備考) 上記でTOCBのR、C以下の数値となっているものは全しゃ断時間とFLKの不劣化特性のクロスする点までを選択しゃ断可能範囲とした。選択しゃ断可能範囲をこえTOCBの定格しゃ断容量までの間では同時しゃ断となることもあるがプロテクタヒューズの保守を行なえばTOCBの定格R、Cまで使用可能である。

形ヒューズによるカスケードバックアップ方式にする。この場合のカスケードバックアップしゃ断容量を表4.1に示す。

#### 4.1.2 プロテクタヒューズとテイクオフ装置の協調

スポットネットワークにあっては、一回線停電時にあっても、協調が失なわれないようにしなければならない。したがって、図4.2に示すように、3回線受電においては、プロテクタヒューズとテイクオフ装置は、2:1使用における選択しゃ断を必要とする。2回線受電の場合は、同様に1:1となる。表4.2にテイクオフ装置としてFLK形ヒューズを使用した場合を、表4.3にテイクオフ装置としてNFBを使用する場合の選択しゃ断協調関係をそれぞれ示す。

#### 4.2 テイクオフ装置とフィーダしゃ断器の協調

##### 4.2.1 フィーダしゃ断器

フィーダしゃ断器は、必要なしゃ断容量に応じて、種々の形式のものが使用される。一般には、50kA～100kAのしゃ断容量が必要とされるので、NFT形・NFU形・NF-R形およびNFB+限流ヒューズの組合せなど採用される。表4.4に、定格電流としゃ断容量に応じた選定表を示す。

表4.4 定格電流としゃ断容量によるしゃ断器の選定  
Selection table according to ampere rating and interrupting capacity.

(AC 460 V Asym)

必要なしゃ断容量 定格電流	しゃ断器の形名				
	50 kA まで	80 kA まで	100 kA まで	150 kA まで (ただし NF T は 180 kA まで)	200 kA まで
5 A 以下	NF 50-H				
30 A まで			FA-60 B+ NF 30-S 注(2) FA-30 B+ NF 30-S		
50 A まで			FA-100 B+ NF 50-S 注(2) FA-60 B+ NF 50-CA	NFT 100	NFU 100
100 A まで	NF 100-R		FA-200 B+ NF 100-E 注(2) FA-100 B+ NF 100-CA	NFT 100	NFU 100
225 A まで	NF 225-R		FLN 225+ NF 225-G 注(2) FLN 225+ NF 225-C	NFT 225 FLK 500+ NF 225-G	NFU 225-B
400 A まで	NF 400-H	NF 400-R	FLN 400+ NF 400-C	NFT 400 FLK 1000+ NF 400-B	NFU 400
600 A まで	NF 600-H	NF 600-R	FLN 600+ NF 600-C	NFT 600 FLK 1000+ NF 600-B	NFU 600
800 A まで	NF 800-H	NF 800-R		NFT 800 FLK 2000+ NF 800-B	NFU 800
1,000 A まで	NF 1000-H			FLK 2000+ NF 1000-B	
1,200 A まで	NF 1200-H			FLK 2000+ NF 1200-B	
1,600 A まで			NF 1600	FLK 2000+ NF 1600	
2,000 A まで			NF 2000	FLK 3000+ NF 2000	
2,500 A まで			NF 2500	FLK 3000+ NF 2500	
3,200 A まで			NF 3200	FLK 4000+ NF 3200	

注) (1) 空欄は同右と考える。

(2) 起動電流、突入電流等が低い場合に採用できる。

#### 4.2.2 テイクオフ装置とフィーダしゃ断器の協調

(1) テイクオフ装置とフィーダしゃ断器のカスケードバックアップ方式

表4.4には、フィーダしゃ断器として単独に使用できるものを示したが、テイクオフ装置でフィーダしゃ断器をバックアップ保護することも考えられる。この場合のカスケードバックアップの適用を、テイクオフ装置がヒューズの場合を表4.5に、テイクオフ装置がNFBの場合を表4.6にそれぞれ示す。

(2) テイクオフ装置とフィーダしゃ断器の選択しゃ断

スポットネットワーク配電方式の第一の特長である電力供給の連続性をより広範囲にするためには、テイクオフ装置以降の回路構成においても、極力選択しゃ断が要求されるのは当然である。図4.3に選択しゃ断に適用できるテイクオフ装置の種類を示す。図において、テイクオフ装置Hはサマル形NFTであり表4.7に示すように、下位ブレーカとして通常のNFBを用いて選択しゃ断が可能である。Jは三元特性または短限時付きのNFBを使用するもので、短限時付きは400 A フレーム以上が可能であるがしゃ断容量が低下するので注意を要す。三元特性付きは1,600 A フレーム以上が可能であり、通常のNFBとかなり広範囲に選択しゃ断が可能である。KおよびLはSCB形システムブレーカを使用したもの、MはDB形気中しゃ断器を使用したものである。NはFLK形ヒューズを使用するもので、遠方制御を必

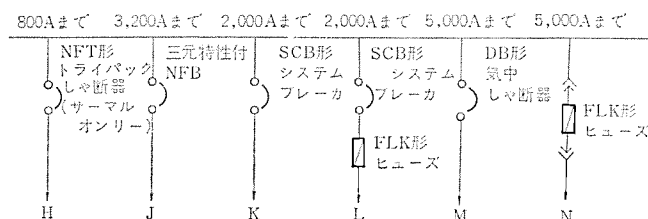


図4.3 選択しゃ断に適用できるテイクオフ装置  
Take-off devices adaptable to selective tripping.

表4.5 三菱限流ヒューズによるカスケードバックアップしゃ断容量  
Cascade back-up capacity of Mitsubishi current limiting fuse.

(AC 460 V Asym kA)

下位 ブレーカ	上位 ヒューズ				F A ヒューズ					F L N ヒューズ				
	30 B	60 B	100 B	200 B	50	100	225	400	600	50	100	225	400	600
NF, MB 30-S	100	100	50※1		50※2									
NF, MB 50-S	100	100	100		100									
NF, MB 50-H	100	100	100		100									
NF, MB 50-A	100	100	100											
NF, MB 100-E			100	100		100	100※3							
NF 225-G				100			100	100						
NF 400-B								100	100					
NF 600-B									100					
NF 50-CA	100	100	100		100									
NF 100-CA	100	100	100		100									
NF 225-C				100			100							
NF 400-C								100						
NF 600-C									100					
NF 100-R										100				
NF 225-R											100			
NF 400-R												100		
NF 600-R													100	

注) ※1 NF または MB 30-S の定格電流 10 A 以上のとき

※2 NF または MB 30-S の定格電流 20 A 以上のとき

※3 NF または MB 100-E の定格電流 30 A 以上のとき

表 4.6 三菱限流 ブレカ による カスケード バックアップ シャ断容量  
Cascade back-up capacity of Mitsubishi current limiting breaker.

AC460V Asym kA

上位ブレイカ 下位ブレイカ	NF-R					NFT					NFU			
	100	225	400	600	800	100	225	400	600	800	100	225-B	400	600 800
NF・MB 30-S	5	5	5	—	—	5	3	3	3	3	200	—	—	—
NF・MB 50-S	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	注1 100	7.5	7.5	7.5	7.5	200	—	—	—
NF・MB 50-S モールド強化品	10	10	10	10	10	注1 100	10	10	10	10	200	60	—	—
NF 50-A	10	—	—	—	—	注2 100	10	10	10	10	200	60	—	—
NF・MB 100-E	—	50	50	20	20	100	30	30	30	30	200	200	200	—
NF・MB 225-G	—	—	80	50	50	—	100	100	100	100	—	200	200	200
NF 400-B	—	—	—	80	80	—	—	100	100	100	—	—	200	200
NF600-B~1200-B	—	—	—	—	—	—	—	—	100	100	—	—	—	200
NF 50-CA	7.5	5	5	5	5	—	—	—	—	—	150	—	—	—
NF 100-CA	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	—	—	—
NF 225-C	—	30	30	15	15	—	—	30	30	30	—	200	200	—
NF 400-C	—	—	—	50	50	—	—	—	100	100	—	—	200	200
NF 600-C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	200
NF 100-R	—	50	80	50	50	—	80	80	50	50	200	200	200	—
NF 225-R	—	—	80	—	—	—	100	100	100	100	—	200	200	200
NF 400-R	—	—	—	—	—	—	—	—	100	100	—	—	200	200
NF 600-R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	200
NF 800-R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
BH-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	—	—	—

注) (1) NFT 100の定格が50A 以上の場合は20 kA

(2) NFT 100の定格が50A 以上の場合は23 kA

表 4.7 選択シャ断可能な NFB・ヒューズの組合せ  
NFB and fuses adaptable to selective tripping.

AC460V Asym kA

上位ブレイカ 下位ブレイカ またはヒューズ		短限時付NFB				SCB			NFTサーマルオンリー				標準NFB (サーマルマグ付)										
		400-B	600-H 800-H	1000-H 1200-H	1600 3200	600	1200	2000	100	225	400	600 800	100-E	225-G	400-B	600-B 1200-B	# 1600 3200	400-H 1200-H	225-R	400-R	600-R 1200-R		
NF 30-S MB 30-S	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		2.5	2.5	2.5					2.5						
NF 50-S MB 50-S	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5					5						
NF・MB 50-H 5A以下	50	10	20	25	50	35	35	50		50	50	50		30	35	35	50	50	50	50	50		
NF 100-E MB 100-E	15	10	15	15	15	15	15	15		15	15	15					15						
NF 225-G MB 225-G	30	10	20	25	30	15	25	30		18	18	23					30						
NF 400-B	35	—	20	25	35	15	25	35		—	18	23					35						
NF 600-B ~ 1200-B	35	—	—	25	35	—	25	35		—	—	23					30						
NF 100-H	30	10	20	25	30	15	25	30		30	30	30					30						
NF 225-H	40	10	20	25	40	15	25	40		18	18	23					40						
NF 400-H	50	—	20	25	50	15	25	50		—	18	23					40						
NF 600-H ~ 1200-H	50	—	—	25	50	—	25	50		—	—	23					30						
NFT 100	180	10	20	25	50	35	35	100		180	180	180					100						
NFT 225	180	10	20	25	50	15	35	100		—	—	—					40						
NFT 400	180	—	20	25	50	15	25	100		—	—	—					30						
NFT 600	180	—	20	25	50	15	25	100		—	—	—					—						
NFT 800	180	—	20	25	50	15	25	100		—	—	—					—						
NF 100-R	50	10	20	25	50	35	35	50		35	35	35					50						
NF 225-R	50	10	20	25	50	25	35	50		—	50	50					50						
NF 400-R	80	10	20	25	50	15	35	80		—	18	23					80						
NF 600-R NF 800-R	80	—	20	25	50	15	25	80		—		23					30						
NFU 100	200	10	20	25	50	35	35	100		180	180	180					100						
NFU 225-B	200	10	20	25	50	35	35	100		180	180	180					100						
NFU 400	200	—	20	25	50	35	35	100		—	—	100					100						
NFU 600	200	—	—	25	50	—	25	100		—	—	—					40						
NFU 800	200	—	—	25	50	—	25	100		—	—	—					30						
FA-30B	100	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
FA-60B	100	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
FA-100B	100	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○		
FA-200B	100		○	○	○	○	○	○		○	○	○			○	○	○		○		○		
FLN-60×100	100													○	○	○	○	○		○	○		
FLN-60×225	100															○							

注) ○印は上位シャ断器のシャ断容量までの値とする。ただし上位シャ断器がヒューズでバックアップされるときは100kA の限度以内で上位シャ断器の組合せシャ断容量まで増加できる。  
※印は三元特性NF1600~NF3200の場合を示す。

表 4.8 ヒューズとヒューズの選択しゃ断組合せ一覧  
Selective tripping of fuses.

形名 定格電流A		上 位 ヒ ュ ー ズ																									
		F A - B										F L N						F L K									
形名	電流A	3	5	10	15	20	30	40	50	60	75	100	125	150	200	50	100	225	400	600	500	1000	2000	3000	4000	5000	
下 位 ヒ ュ ー ズ	F A   B	3				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	5					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	10							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	15							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	20								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	30									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40										○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50											○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	60												○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	75													○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	100														○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	125															○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	150																○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	200																	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上 位 ヒ ュ ー ズ	F L N	50															○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	100																	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	225																		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	400																			○	○	○	○	○	○	○	○
	600																				○	○	○	○	○	○	○
	500																					○	○	○	○	○	○
	1000																						○	○	○	○	○
	2000																							○	○	○	○
	3000																								○	○	○
	4000																									○	○
F L K	5000																										

注) 選択しゃ断可能範囲 ○印……200 k Aまで ○印……100 k Aまで (ただし F L N は 88 k A まで)

備考1. しゃ断容量 R・C は AC460V における値を示す  
2. モータの適用範囲の区分 (kW) は AC400V の場合を示す

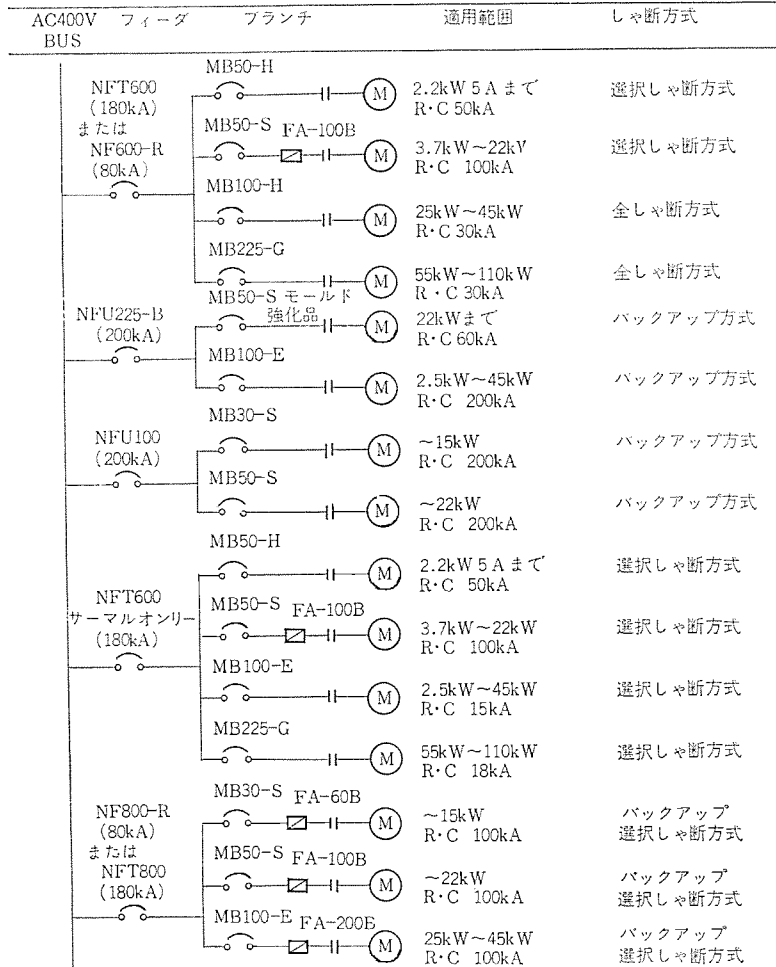


図 4.4 動力分岐回路の例  
Example of branch circuit of motor.

要としないテイクオフ装置としては簡便である。この場合  
フィーダしゃ断器との選択協調は表 4.3 により調べてお  
く必要がある。これらの各種のテイクオフ装置とフィーダ  
しゃ断器の選択協調を表 4.7 に示す。フィーダ回路がヒュ  
ーズの場合は表 4.8 に示す。

#### 4.3 フィーダしゃ断器と分岐しゃ断器の協調

分岐しゃ断器としては、電灯分電盤に BFI-G、動力分  
電盤には一般 NF および MB (モータブレーカ) などが使用  
される。これらは、必要なしゃ断容量に応じて、単独に  
あるいはヒューズと組合せて使用される。フィーダしゃ断器  
と分岐しゃ断器との間にカスケードバックアップ方式を採用  
する場合は、前述の表 4.1、4.4~4.6 が適用できる。  
図 4.4 には、短絡電流 60 kA~200 kA までに適用でき  
るカスケードバックアップ方式、および 15 kA~100 kA まで  
に適用できる選択しゃ断方式を用いた動力分電盤の例を  
示す。なお、図において、NF 800-R (または NFT 800)  
と FA-60 B, FA-100 B および FA-200 B との組合せに  
おいては、FA フューズはそれぞれ MB 形の分岐しゃ断器  
をカスケードバックアップすると同時に、フィーダしゃ断器とは  
選択しゃ断を可能にしている。

#### 5. む す び

以上、低圧屋内電路の短絡保護協調について説明し、  
スポットネットワーク配電保護方式における経済的なカスケード  
バックアップ保護方式および選択しゃ断保護方式について、  
数多くの実験結果に基づいて、それぞれの組合せ適用を  
ここに示した。

なお、これらの組合せ適用表を用いて、より経済性を  
追求した回路を構成するためには、それぞれの回路のま  
とめ方 (フィーダしゃ断器の定格電流と、分岐しゃ断器の

記号の説明

- R.C 定格しゃ断容量  
B.R.C カスケードしゃ断容量  
S.R.C 選択しゃ断容量

テイクオフ装置

ファイダしゃ断装置

ブランチしゃ断装置

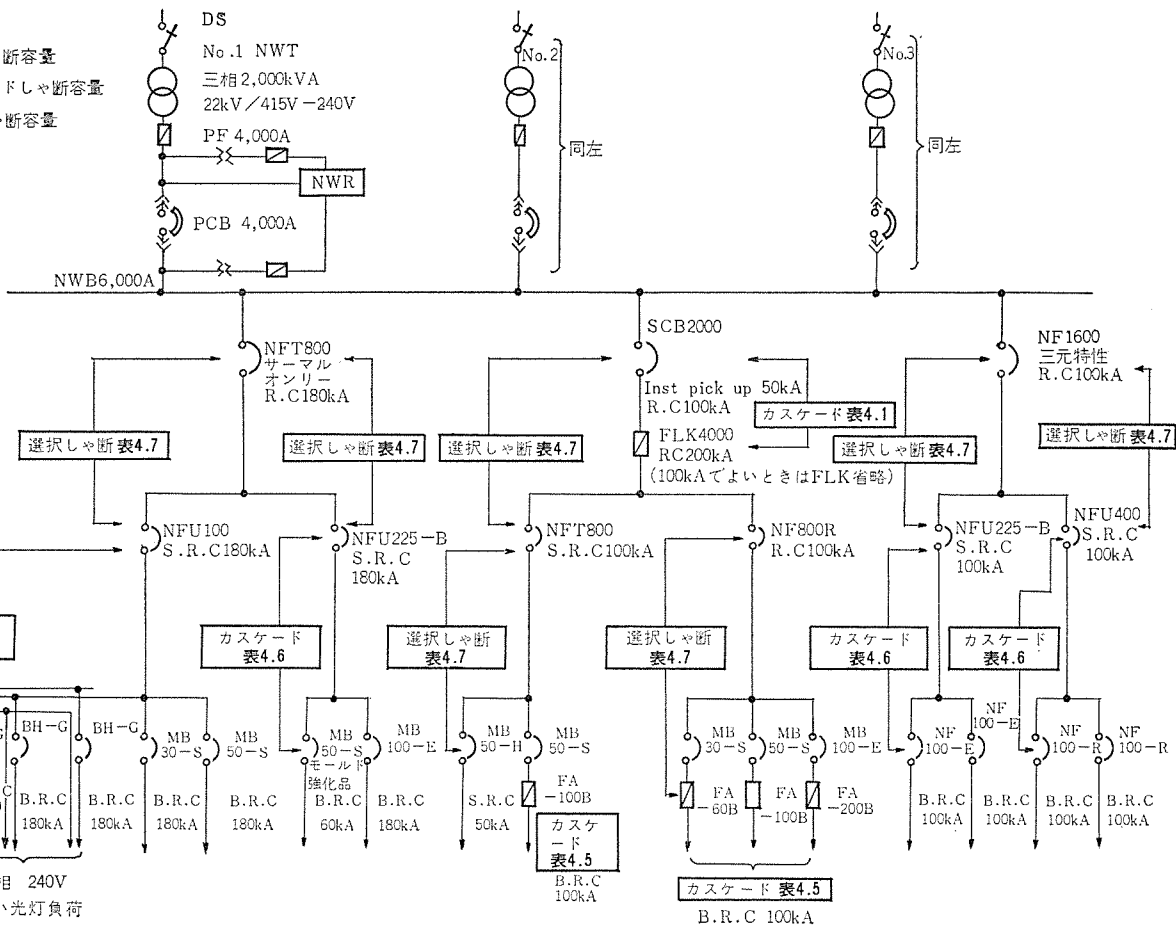


図 5.1 低圧配電保護協調の例  
Example of low voltage distribution coordination.

定格電流との比は、あまり大きくするとカスケードバックアップの点では不経済となる)にもよるので、個々に検討しなければならないが、一般に、保護方式による経済性の順位は、

- (1) カスケードバックアップ方式
- (2) 完全定格方式
- (3) 選択しゃ断方式

の順であるが、当然のことながら、これは事故時の停電領域の広さの順位でもある。また、ヒューズ方式とNFB方式については、単に機器だけのコストのみならず、保守・点検等のすべての面から総合的に検討しなければならない。なお、図 5.1 にはスポットネットワークにおける具体的な例を示す。

以上、ここに発表できた組合せ適用表が、関係各位の低圧回路の構成に参考になれば幸いである。なお、種々の検討をいただいた低圧配電保護方式委員会と数多くの実験を実行いただいた関係各位に

感謝します。

参 考 文 献

- (1) 日本電設工業会技術資料, 67-5: スポットネットワーク受電設備技術指針
- (2) 片山ほか: 三菱電機技報, 44, No. 7, 876 (昭 45)
- (3) JEC-160: 気中しゃ断器
- (4) 牧野: 電気計算, 40, 142 (昭 47)
- (5) 岩崎ほか: 三菱電機技報, 44, No. 7, 912 (昭 45)
- (6) Lloyd's Register of Shipping, Chapter M: Electrical equipment and electric propelling machinery
- (7) 和田ほか: 三菱電機技報, 45, No. 6, 790 (昭 46)
- (8) 岡戸: 三菱電機技報, 45, No. 6, 767 (昭 46)



# 最近の漏電しゃ断器の諸性能

山本 清美\*・佐藤 勇\*

## Performance of Recent Earth Leakage Circuit Breakers

Fukuyama Works Kiyomi Yamamoto・Isamu Sato

Earth leakage circuit breakers have diffused nowadays for the protection against electric shock and the prevention of earth leakage fault. But there has been not much experience on the matter in this country and many points still remain unsolved in practice.

Type NV earth leakage circuit breakers have been given a number of countermeasures against various problems liable to encounter in the practical application of them. Hence, these points are analyzed based on the test data.

### 1. ま え が き

感電防止を目的とした漏電しゃ断器に関する認識は近年高まってきたが、わが国においては歴史的背景からみてもその実績は浅く、いまだにその使用にあたってはまったく問題がないとはいえない。よってここでは漏電しゃ断器の使用分野が広範囲に及ぶにしたいが、さらに深い技術的追求が要求されているので主としてこの点について述べる。

### 2. 漏電しゃ断器としての地絡検出方式

地絡電流の検出方法としては、図 2.1 に示す三つの方法に大別できるが、(a)は3個の変流器を組合せて残留回路を応用したものであり(b)の方法は三次巻線を利用するものであるが、いずれも変流器3個を組み合わせて使用するもので、それらの変流器の個々の特性の不均一が影響する結果、きわめて微小な地絡電流の検出には適当でない。よって漏電しゃ断器へ適用できる地絡検出方法は零相変流器(以下ZCTという)を使用したものでなくてはならない。

ZCTを使用した漏電しゃ断器の各種動作方式とその特長を、表 2.1 に示す。各方式にはそれぞれ長所・短所があるが人命保護を目

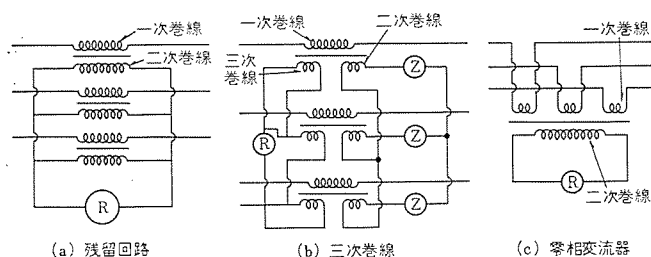


図 2.1 地絡電流の検出方法  
Detecting method of ground fault current.

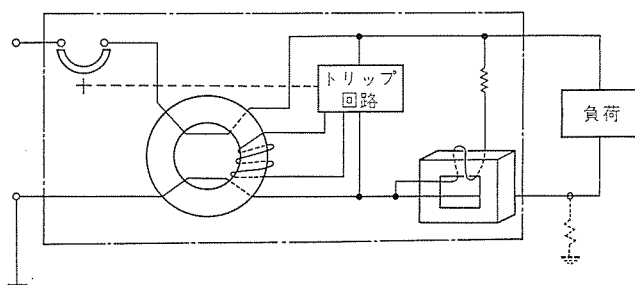


図 2.2 ウェスチングハウス社製漏電しゃ断器  
Westinghouse's ground fault circuit breaker.

的とした漏電しゃ断器にとって重要なことは緊急時に安定して、かつ確実に動作して本来の機能を完全に果たすことである。

わが国の電流動作形漏電しゃ断器の大半は、電子式(半導体式)と電磁式で占められている。シーメンス、F&G、クラブツリー等ヨーロッパの漏電しゃ断器は電磁式が主流であるが、一般に小電流量のもので用途は住宅用が多いようである。米国では電子式がおもて定格感度電流も5mAなどの高感度品が多くみられる。図 2.2 にウェスチングハウス社製の漏電しゃ断器の例を示す。わが国では、電子式は高感度(たとえば15mA感度)や大電流量の高感度品(たとえば

表 2.1 漏電しゃ断器の各種動作方式の比較  
Comparison table of the detecting methods of earth leakage current.

項 目	電 子 式	純 電 磁 式	リードスイッチ式
感 度 電 流 の 安 定	☆信頼性の高い部品と回路設計により安定 ☆繰返し動作によるばらつき小さい	☆可動片の吸着面の影響により繰返し動作したとき感度がばらつくことがある	☆動作電流付近でやや不安定
超高感度品	☆トランジスタ増幅方式で5mA感度品の製作可能	☆ほぼ30mA程度が製作限界	☆ほぼ30mA程度が限界
大電流量	☆増幅方式により大容量高感度品の製作可能	☆低感度品は製作可能	☆低感度品は製作可能
動作 時 間	☆高速形、時延形などほぼ自由に製作可能	☆一般に動作時間が速く高速形に最適 ☆動作時間の設定が自由にできない	☆動作時間の設定が自由にできない
温 度 特 性 および耐湿	☆電子回路を樹脂で封入したものは良好 ☆温度・こう配を有するので補償が必要	☆可動片の吸着面の湿度には要注意 ☆温度特性は一般に良好	☆温度・湿度とも一般に良好
欠相時動作	☆回路方式により異なるが三相の1線欠相時には動作するもの製作可能 ☆電源喪失によりトリップさせる方式も可能	☆無電圧で動作するのでもいかなる場合にも動作	☆欠相時不動作となる
絶 縁 抵 抗 測 定	☆一般には異極間メグ測定は不可能 ☆特殊構造を採用しメグ測定可能にできる	☆メグ測定、耐圧可能	☆メグ測定可能
耐 振 動・ 衝 撃 性	☆回路方式には関係なくしゃ断器の機構による影響が大	☆高感度リレーの可動片の吸着が弱いと誤動作する	☆リードスイッチの耐衝撃性に要注意
外 部 磁 界	☆ZCTのシールドを良好にすれば問題なし	☆シールドがないので影響有	☆リードスイッチやZCTが影響を受けやすい

400 A の 30 mA 感度品) が比較的容易に製作できるうえ、感度電流がきわめて安定しているなどの多数の利点を有していることから多量に生産されている。

3. 種類と用途

低圧電路の地絡保護および感電防止用の機器が広範囲に使用されはじめたのはごく最近であるが、当初漏電しゃ断器が使用されはじめた場所は比較的電気の知識に乏しい使用者が多くて、かつ危険な建設現場や造船工場などであった。このような場所に使用する場合には一般に末端の回路用で、可搬形や移動形の機器を负荷としていくことが多く、したがってしゃ断容量などの性能より、むしろ経済性のほうが重視されがちであった。

しかしながら近時一般最終需要家における電気設備の地絡保護用として、漏電しゃ断器や漏電リレーが急増するにつれて通電電流の大容量化、高しゃ断容量品の要求が高まっている。漏電しゃ断器の適用場所は住宅からビル、工場に至る広い範囲にわたっているため、それらの用途に応じて最適な製品の選定ができることがたいせつである。NV 形漏電しゃ断器は保護目的に応じて地絡保護専用品、過負荷保護・短絡保護兼用品およびモータ保護・過負荷保護・短絡保護兼用品をシリーズ化してある(図 3. 1)。

またとくに高しゃ断容量を必要とする場合には、NFB と漏電リレーを組合せて一体形としたものが便利である(図 3. 2)。表 3. 1 に NV 形漏電しゃ断器のおもな定格事項を示す。

定格感度電流の選定にあたっては許容接触電圧の思想を反映させればよく、この値は各国により若干差はあるが、わが国では、表 3. 2<sup>(1)</sup>の値を基準に考えることが推奨されている。たとえば表 3. 2 の第 1 種接触状態に該当する場所では、第 3 種接地抵抗値を 100 Ω

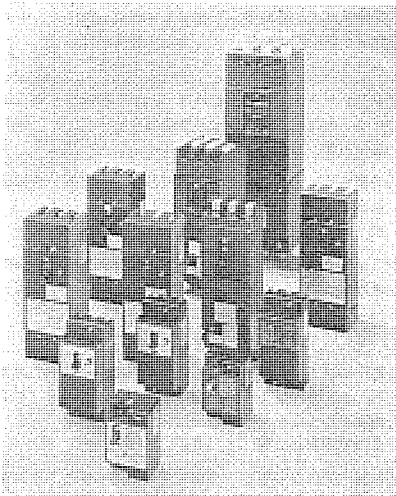


図 3. 1 NV 形漏電しゃ断器  
Series of type NV earth leakage circuit breakers.

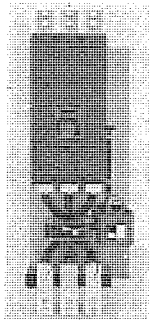


図 3. 2 800 A フレーム漏電しゃ断器  
Appearance of 800 ampere frame earth leakage circuit breaker.

表 3. 1 NV 形漏電しゃ断器の仕様  
Rating list of type NV earth leakage circuit breakers.  
地絡保護専用品 (K シリーズ)

フレーム A	形 名	相線式	極数	定格電圧 ACV	短絡強度 kA	定格電流 A	感度電流 mA	動作時間 秒 (以内)	外形寸法 mm		
									長さ	幅	奥行
30	NV-KB	単相 2 線	2	110—1.5 220—1.5		30	15, 30	0.1	100	65	47
	NV-K 30	単相 2 線	3	220—2.5			15, 30		140	67	52
		三相 3 線									

過負荷・短絡保護兼用品 (NV シリーズ)

フレーム A	形 名	相線式	極数	定格電圧 ACV	しゃ断容量 kA	定格電流 A	感度電流 mA	動作時間 秒 (以内)	外形寸法 mm		
									長さ	幅	奥行
30	NV-1C	単相 2 線	2	110—1.5 220—1.5		15, 20, 30	15, 30		100	65	47
	NV 30-C			220—2.5		15, 20, 30	30		140	67	52
	NV 30			(110—5) 220—2.5 (440—2.5)		5, 10, 15, 20, 30	15, 30		200	90	68
				(110—5) 220—2.5 (440—2.5)							
50	NV 50	単相 2 線	3	(110—5) 220—2.5 (440—2.5)		40, 50	30	0.1	200	90	68
100	NV 100	単相 3 線		(110—10) 220—7.5 (440—5)		60, 75, 100	30, (200) (500)		270	90	68
		三相 3 線		(110—25) 220—15 (440—7.5)		125, 150, 175, 200, 225	30, (200) (500)		290	105	103
225	NV 225			(110—50) 220—25 (440—15)		250, 300, 350, 400	30, (200) (500)		410	140	103

モータ保護、過負荷・短絡保護兼用品 (MN シリーズ)

フレーム A	形 名	相線式	極数	定格電圧 ACV	しゃ断容量 kA	定格電流 A	感度電流 mA	動作時間 秒 (以内)	外形寸法 mm		
									長さ	幅	奥行
30	MN 30-C			220—25		1.4~33 (0.2~7.5 kW)			140	67	52
				220—2.5		1.4~33(0.2~7.5 kW)					
	MN 30	三相 3 線	3	(440—2.5)		0.8~33(0.2~15 kW)	30	0.1	200	90	68
50	MN 50			220—2.5		47 (11 kW)			200	90	68
				(440—2.5)		40, 47 (19, 22 kW)					

表 3. 2 許容接触電圧  
Permissible voltage.

種 別	接 触 状 態	許容接触電圧
第 1 種	○ 人体の大部分が水中にある状態	2.5 V 以下
第 2 種	○ 人体が著しくぬれている状態 ○ 金属製の電気機械装置や構造物に人体の一部が常時触れている状態	25 V 以下
第 3 種	○ 第 1, 2 種以外の場合で、通常の人体状態において接触電圧が加わると、危険性が高い状態	50 V 以下
第 4 種	○ 第 1, 2 種以外の場合で、通常人体状態において、接触電圧が加わっても危険性の低い状態 ○ 接触電圧が加わるおそれがない場合	制限なし

と仮定すれば漏電しゃ断器の定格感度電流は 25 mA 以下の高感度品の選択が必要である。一般には第 1 種接触状態となる場合は少なく、また固定設備であれば接地も十分とれるので、この点を考慮して選定すれば低感度のものでも十分使用できる。

#### 4. 零相変流器による地絡検出

微小な地絡電流の検出に用いる零相変流器の理論は、正相電流・逆相電流および零相電流により磁化された鉄心の二次巻線に生ずる誘起起電力に関するものである。すなわち図 4.1 に示すごとく、1 個の鉄心に二次巻線を施し、各相同一の巻数の一次巻線を巻くと、正相・逆相および零相電流はすべて一次巻線に流れる。しかし正相および逆相電流は対称電流であり、零相電流は単相電流であることから、零相電流のみ分離して検出することが可能である。図 4.1 において一次電流  $\dot{I}_A \dot{I}_B \dot{I}_C$  が流れると、鉄心には磁束  $\dot{\phi}_A \dot{\phi}_B \dot{\phi}_C$  が生じ、二次巻線に  $\dot{V}_A \dot{V}_B \dot{V}_C$  なる電圧が誘起する。このとき一次巻線に零相分が含まれていないときには式 (4.1) となり、二次巻線には結果的には起電力を生じない。

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= 0 \\ \dot{\phi}_A + \dot{\phi}_B + \dot{\phi}_C &= 0 \\ \dot{V}_A + \dot{V}_B + \dot{V}_C &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

しかし零相電流  $\dot{I}_0$  が含まれている場合には、式 (4.2) に示すように  $\dot{V}_{02}$  なる起電力が二次巻線に生じ  $\dot{I}_{02}$  なる電流が流れることになる。

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= \dot{I}_0 \\ \dot{\phi}_A + \dot{\phi}_B + \dot{\phi}_C &= \dot{\phi}_0 \\ \dot{V}_A + \dot{V}_B + \dot{V}_C &= \dot{V}_{02} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2)$$

理想変流器の場合には、上記のごとく理論的に処理できるが実際には後述の残流電流の影響を無視することができなく、種々トラブル発生の原因となるので注意を要する。

つぎに残留電流の影響の基本となる ZCT の磁気回路について述べる。図 4.2 において各一次巻線は ZCT の窓面に対して垂直で無限長と仮定すると、一次導体 A に  $\dot{I}_A$  なる電流が流れた場合、円周上の任意の点 P における円周方向の磁化力  $\dot{H}_A$  は

$$\dot{H}_A = \frac{2k_P \dot{I}_A}{10 \cdot \gamma_A} \cdot \cos \delta \quad (\text{Oe}) \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで  $k_P$  は波高率である。また  $n_A = a/\gamma$  とおくと、図 4.2 より  $\dot{H}_A$  は

$$\dot{H}_A = \frac{k_P \dot{I}_A}{10 \cdot \gamma} \left\{ 1 + \frac{1 - n_A^2}{1 + n_A^2 - 2n_A \cos(\theta_A - \varphi)} \right\} \dots\dots\dots (4.4)$$

となる。一次導体 B および C に流れる一次電流  $\dot{I}_B$  および  $\dot{I}_C$  によ

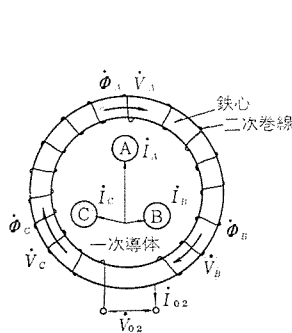


図 4.1 零相変流器の原理図  
Principle of zero phase transformer

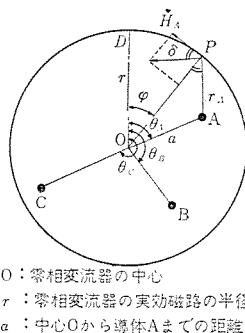


図 4.2 磁化力の説明図  
Oscillogram of magnetization.  
O: 零相変流器の中心  
r: 零相変流器の実効磁路の半径  
a: 中心 O から導体 A までの距離  
r\_A: PA

る点 P における磁化力  $\dot{H}_B, \dot{H}_C$  も同様に求めることができる。

各相の一次導体 A B C に一次電流が流れたときの点 P における円周方向の磁化力  $\dot{H}_P$  は  $\dot{H}_P = \dot{H}_A + \dot{H}_B + \dot{H}_C$  であるから式 (4.5) を得る。

$$\begin{aligned} \dot{H}_P &= \frac{3k_P}{10 \cdot \gamma} \cdot \frac{\dot{I}_0}{3} \\ &+ \frac{k_P \dot{I}_0}{10 \cdot 3 \cdot \gamma} \left\{ \frac{1 - n_A^2}{1 + n_A^2 - 2n_A \cos(\theta_A - \varphi)} \right. \\ &+ \frac{1 - n_B^2}{1 + n_B^2 - 2n_B \cos(\theta_B - \varphi)} + \frac{1 - n_C^2}{1 + n_C^2 - 2n_C \cos(\theta_C - \varphi)} \left. \right\} \\ &+ \frac{k_P \dot{I}_A}{10 \cdot 3 \cdot \gamma} \left\{ \frac{1 - n_A^2}{1 + n_A^2 - 2n_A \cos(\theta_A - \varphi)} \right. \\ &+ \frac{\alpha^2(1 - n_B^2)}{1 + n_B^2 - 2n_B \cos(\theta_B - \varphi)} + \frac{\alpha(1 - n_C^2)}{1 + n_C^2 - 2n_C \cos(\theta_C - \varphi)} \left. \right\} \\ &+ \frac{k_P \dot{I}_B}{10 \cdot \gamma} \left\{ \frac{1 - n_A^2}{1 + n_A^2 - 2n_A \cos(\theta_A - \varphi)} \right. \\ &+ \frac{\alpha(1 - n_B^2)}{1 + n_B^2 - 2n_B \cos(\theta_B - \varphi)} + \frac{\alpha^2(1 - n_C^2)}{1 + n_C^2 - 2n_C \cos(\theta_C - \varphi)} \left. \right\} \end{aligned}$$

ただし  $\alpha = \epsilon^{j\frac{2}{3}\pi}$

式 (4.5) より点 P での磁化力  $\dot{H}_P$  は、零相電流に対しては  $n_A n_B n_C \theta_A \theta_B \theta_C$  など一次導体の幾何学的配置に関係する要因と、 $\gamma$  など配置に関係のない要因があるが、正相および逆相電流に対しては一次導体の配置の影響を受けることが理解できる。このことは理論的には式 (4.1) が成立するが、現実には一次導体の幾何学的配置による各相の励磁インピーダンスの不均一化などにより残留電流の影響があらわれることを意味する。したがって不平衡負荷などの場合には、この残留電流の影響が作用し平衡特性が悪くなる傾向となるが、実際には三相平衡電流における残留電流に比べて 10 % 前後の増加にすぎない<sup>(2)</sup>。このように ZCT の鉄心の磁化状態は複雑であり、単に一次電流のベクトル和がゼロであることの他に解決すべき問題がある。

#### 5. 性能

##### 5.1 地絡電流と動作時間

人体通過電流と通過時間の積が 30 mA・sec (限界は 50 mA・sec)<sup>(7)</sup> 以内であれば安全圏内であるといわれているが、この基準に対する漏電しゃ断器の特性はつぎのように考えなくてはならない。すなわち地絡電流に対する漏電しゃ断器の通過電流—時間積が 30 mA・sec 以内であることは、必要条件であるが十分条件ではない。漏電しゃ断器に要求される必要にして十分なる条件は、i) 電流—時間積 30 mA・sec 以内にしゃ断完了すること、ii) 定格感度電流が 30 mA 以下であることである。

なお上記の基準によると電気機器の接地が高抵抗となった場合でも保護効果がおおいに期待できるが、通常の固定設備用電気機器では比較的低抵抗で接地されているので接触電圧制限の思想にもとづき、必ずしも高感度形を必要とするものではない。また許容電流時間積に対して、単に動作時間のみを高速として電流時間積を小さくするという考え方には問題があり、むしろ定格感度電流をできる限り高感度として微小な地絡電流を検出し、安全限界に対して裕度をもたせるのがよい。

感電防止用の漏電しゃ断器の性能は定格感度電流は極力高感度とし、かつ動作時間は一定でなく地絡電流の大きさに応じて速く動作する反限時特性のものが望ましい。なお反限時の思想は最近の IEC 規格(案)<sup>(3)</sup>にも感電防止用として採用されている。IEC 規格に示さ

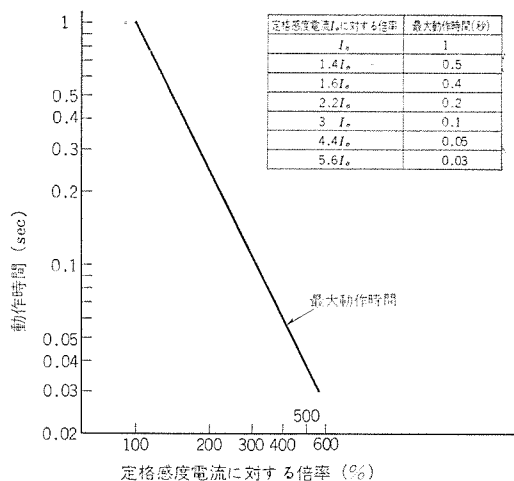


図 5.1 IEC 規格の反限時特性  
Inverse time characteristics according to IEC.

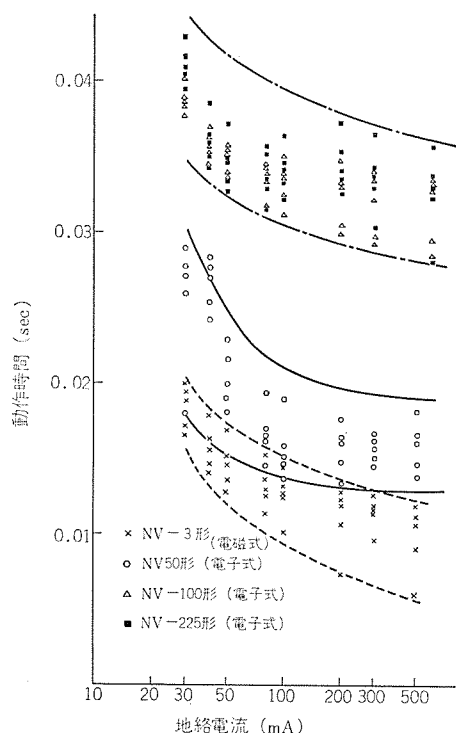


図 5.2 NV 形漏電しゃ断器の動作時間  
Operating time of type NV earth leakage circuit breakers.

表 5.1 NV 形漏電しゃ断器の耐久性能  
Endurance performance of type NV earth leakage circuit breakers.

形名	無通電耐久 回	通電耐久 回	テスト装置による トリップ耐久 回
NV-KB	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV-1C	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV-K 30	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV 30-C	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV 30	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV 50	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV 100	10,000 以上	6,000 以上	5,000 以上
NV 225	10,000 以上	5,000 以上	5,000 以上
NV 400	6,000 以上	1,000 以上	5,000 以上
関連規格	電気用品技術基準 500	5,000	20
労安研構造基準 JEM 1244 100 A 以下	10,000	5,500	500
100~225 A	8,000	3,600	400
225~400 A	6,000	900	100

れている特性は図 5.1 のとおりである。この性能は 30 mA 以下の高感度形に適用され、定格感電電流値での動作時間は感電保護の機能上支障のない程度に長くなっており、地絡電流が大きくなるに従い動作時間が速くなり、電流自乗・時間積が一定となるごとく定められている。

現在安全限界として考えられている 30 mA・sec を基準とした場合の漏電しゃ断器の動作時間は、回路電圧 415 V (対地電圧 240 V) とした場合には接触電圧は最悪 240 V になる可能性があるので、動作時間は人体抵抗を 500  $\Omega$  とすれば 0.0625 秒以内であることが要求される。このように動作時間の検討は、厳密には定格感電電流値での動作時間のみでは不十分であり、500 mA 程度までの地絡電流に対する動作時間が感電防止を論ずる際に重要である。図 5.2 に現在わが国で最も多く使用されている高速高感度形と呼ばれる NV 形漏電しゃ断器の動作時間特性の例を示すが、上述の条件を満足する望ましい特性を示している。

動作時間を分析してみると (動作時間) = (地絡検出時間) + (電子回路動作時間) + (開極時間) + (アーク時間) となるが地絡検出時間は無視できる。地絡電流がある一定の値以上となると動作時間は地絡電流の大きさと直接的な関係がなくなり、しゃ断器固有の開極時間等の影響に左右されてほぼ一定に落着く。

## 5.2 機械的耐久性能

### 5.2.1 開閉耐久性能

ハンドルを操作して回路の開閉を行なう性能で、主として開閉機構の性能、信頼性、接点の荒れ状態、接点付近の温度上昇を判断するものであるが、漏電しゃ断器は用途・構造などの点で NFB に類似しているため、少なくとも過負荷保護・短絡保護兼用形のものについては NFB と同等以上の耐久性が要望される。NV 形漏電しゃ断器は表 5.1 の値を製品規格の基準と定めているので、NFB とまったく同様に使用が可能である。

### 5.2.2 テスト装置によるトリップ耐久性能

漏電しゃ断器にはすべて漏電引きはずし性能を確認するためのテスト装置を備えており、始業点検を励行することが推奨されているのでトリップ耐久性能が実用面で重視される。国内規格における耐久回数としては 500 回程度の規定はあるが、実フィールドを考えた場合には決して満足できる値であるとはいえない。NV 形漏電しゃ断器については、テスト装置によるトリップ耐久回数は表 5.1 に示すように 5,000 回以上であるので、1 日 2 回のチェックであれば約 8.5 年分に相当する耐久性能があることになる。テスト装置によるトリップ耐久試験は単に開閉機構部の耐久性のみでなく、ZCT、電子回路部、トリップコイル、高感度リレー等の信頼性も同時に確認できるのできわめて有意義な試験である。

## 5.3 周囲温度性能

常規使用状態として考えている  $-10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ <sup>(4)</sup> の範囲内における感電電流の変化は、熱感応素子を使用して補償してあるので小さく特に問題ではないが、実際には漏電しゃ断器内部の温度上昇により ZCT の一次巻線、二次巻線、電子部品、絶縁物等諸部品の耐熱限度が重視される。高温性能についてはとくに電子部品などの一部の部品に注目されがちであるが、総合的な熱的協調を十分認識した製品でないと重大なトラブルをひきおこすおそれがある。電子回路部品については特に通信工業用のシリコン系半導体を厳選し、コンデンサ類は高温性能がすぐれている JIS C 5142 特性 H 該当品の使用を原則としている。なおアルミ電解コンデンサは寿命の点を考慮して使用

していない。

また主要構成部品には耐熱性・耐高温性を十分検討した部品の使用により 100°C の温度に耐える設計基準として、高温での信頼性を高めている。しかし接続電線の耐熱温度、絶縁物の温度限度を考慮に入れて、一般には 50°C 以下で使用することが望ましい。

#### 5.4 平衡特性

4 章で述べたとおり実用の ZCT には残留電流特性があり、この特性が悪いと電動機始動時あるいは不平衡負荷時に誤動作するニュールトリップが起こるので適切な対策が必要である。残留電流の影響を抑えるには、i) 励磁インピーダンスを均等化する。ii) 励磁電流を小さくする。iii) 低励磁インピーダンスとする等の方法がある。

漏電シャ断器は高感度であるので、各方法の併用により目的を達している。すなわち i) に対しては一次巻線と二次巻線の結合状態などの要因により影響を受けるので、貫通形の ZCT を備えた漏電シャ断器には磁気シールドケースを使用し、巻線形では結合状態を良好とするために一次巻線を 3~4 回巻きとしてある。ii) に対しては鉄心材料を吟味し、最高級の低磁界高透磁率のパーマロイを使用している。iii) に対しては ZCT の断面積をいたずらに小さくすることなく、十分なる出力を得る設計とし、二次負担も大きくとり残留電流の影響を防いでいる。

図 5.3 に磁気シールドの有無と残留電流の影響を比較した。磁気シールドを実施したものは平衡特性が大幅に改善されるので、この影響を受けやすい貫通形の ZCT にはすべて完全なる磁気シールドを施してある。磁気シールドは外部磁界に対しても効果が顕著であるので、ZCT をおおい包む形状が望ましく図 5.4 に示すように ZCT のほぼ全面にわたってシールドしてある。またこのケースは機械的強度もあるので ZCT を外力から守り特性変化を防止する役目も果している。

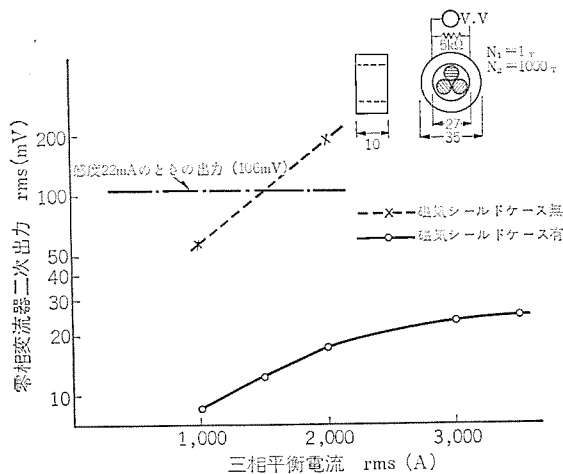


図 5.3 磁気シールドケースの有無と平衡特性  
Balance characteristics of zero phase transformer with magnetic shield case.

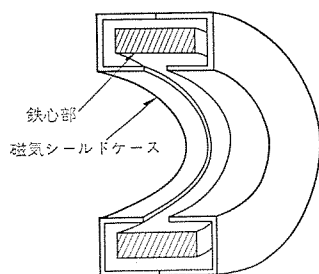


図 5.4 磁気シールドケースの例  
Example of shield case for magnetism.

表 5.2 NV 形漏電シャ断器、漏電リレー 平衡特性  
Balance characteristics of type NV ELCBS.

形 名	定格感度電流 mA	平衡不動作電流 A	零相変流器の一次導体
NV 30-C	30	2,000	巻 線 形
NV 50	30	2,500	
NV 100	30	7,500	貫 通 形
NV 400	30	4,000	
NV-Z 15 B	30	6,000	
NV-Z 15 B	100	6,000	
NV-Z 15 B	500	8,000	
NV-Z 30 B	30	4,000	
NV-Z 30 B	500	7,000	
NV-Z 40 B	30	4,000	
NV-Z 40 B	100	5,000	
NV-Z 40 B	500	7,000	
NV-Z 60 B	200	15,000	
NV-Z 60 B	500	20,000	
NV-Z 100 B	200	15,000	
NV-Z 100 B	500	25,000	

シールドケースの材質としてはパーマロイや電磁軟鉄がすぐれ、冷間圧延鋼板等では十分な効果は期待できない。磁気シールドの方法は平衡特性、外部磁界等に対して決定的な要因となるのできわめて重要である。平衡特性は実用状態を考慮して、最低定格感度電流の 10 倍以上を限度として対策してある。表 5.2 に平衡特性の例を示す。

#### 5.5 外部磁界による影響

ZCT は高透磁率材料からなっており磁界やノイズの影響を受けやすいのでその影響を調べてみる。漏電シャ断器のなかで最も磁界の影響を受けやすい ZCT について考えると、外部磁界の影響を低減させるには図 5.4 で述べた磁気シールドが効果を発揮する。図 5.5 は磁気シールドケースの有無による各方向に対する特性を示すものである。シールドケースのない場合には磁場と ZCT との関係によって影響の度合いが大きく左右されるが磁気シールドを実施することにより、いずれの方向の位置関係に対しても磁界の影響を顕著に小さくでき、さらに母線より ZCT が 5 cm 以上離れていれば実用上問題とはならない。

表 5.3 に感度変化の実測値を示す。つぎにノイズ発生源として放電加工機、直流発電機等による影響を調べたが、いずれも微小で高感度形漏電シャ断器においても感度電流に何ら影響を与えるもので

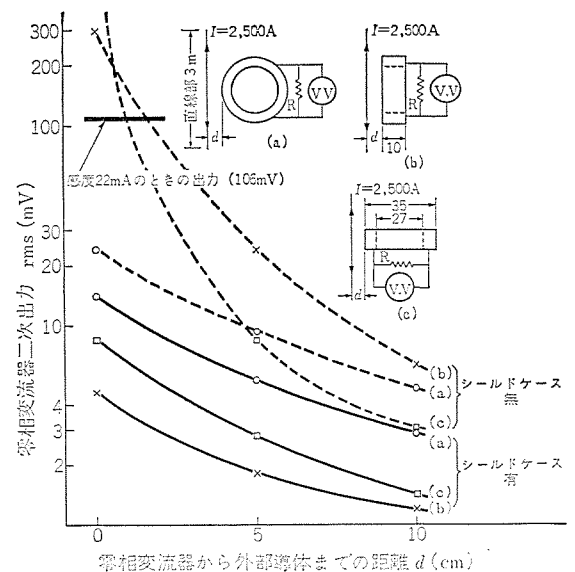


図 5.5 外部磁界が零相変流器におよぼす影響  
Effect of external magnetic field for zero phase transformer.



表 5.3 漏電しゃ断器, 漏電リレーの外部磁界の影響  
Effect of external magnetic field on earth leakage circuit breaker and earth leakage relay.

機種	外部導体通電電流 感度測定電流との 位相角度	2500A(rms)						
		0	0	60	120	180	240	300
NV100	5cm A	23.0	25.0	21.0	21.0	23.7	23.0	25.5
	10cm A	mA	24.5	21.5	21.5	24.2	23.3	25.3
NV-R 100	5cm B	23.0	23.9	22.8	23.5	23.8	22.5	25.0
	10cm B	mA	23.5	22.6	23.6	23.6	23.0	25.2
NV225	5cm A	23.4	29.5	22.2	19.1	18.0	18.5	24.7
	10cm A	mA	27.5	22.5	20.5	18.6	19.2	25.3
NV-R 225	5cm B	23.4	31.2	21.2	17.5	17.1	17.3	25.8
	10cm B	mA	29.4	21.4	19.0	17.8	18.5	26.5
NV-Z	A = 5 cm	480 mA	480	470	475	475	470	470
	B = 5 cm	480 mA	490	480	470	465	465	470

はなかった。以上のことより NV 形漏電しゃ断器, 漏電リレーの ZCT は外部磁界に対してはシールド等の対策は施してあるが, 大電流母線より 5 cm 以上の距離があることが望ましい。

## 5.6 過漏電性能

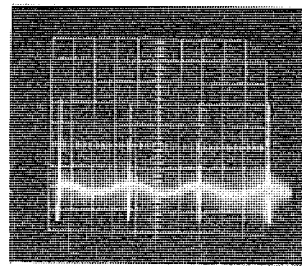
比較的低インピーダンス地絡事故の場合に ZCT が過励磁となるが, このとき感度の変化があってはならない。試験電流は変圧器の第 2 種接地抵抗値などを考えて定格電圧を 5 Ω で除した値を基準に考えている。ZCT は残留磁気の少ない良質の材料より構成されているが, 過励磁すると残留磁気により二次出力が低下し感度電流が鈍くなる方向へ移動する。残留磁気特性は磁場の強さを強くすること, 二次巻数を増すこと, 二次負担を低インピーダンスとすること等により改善でき二次出力の変化率を小さくできる。ZCT の二次巻数は残留磁気特性と出力特性より決定されるものであるが, NV 形漏電しゃ断器は良質の鉄心を使用し, かつ二次巻数は 1,000 回巻きとしてあるので過漏電による感度電流の変化は少ない。

## 5.7 サージ電圧性能

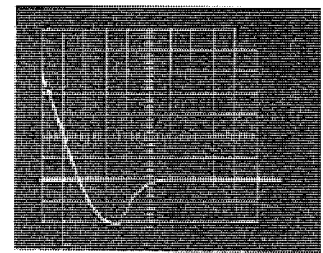
### 5.7.1 衝撃波耐電圧

一般にサージは雷サージ等系統から侵入するものと開閉サージ等自己および近接機器より侵入するものがあり, 漏電しゃ断器はそれらに対し種々の対策が講じられているが, そのほとんどは実地経験をもとにしており, 問題の発生ごとに対処するケースが多い。そこで系統サージに対して定量的に対策を実施するために漏電しゃ断器に定格電圧を印加した状態で, かつ負荷に対応する等価静電容量を仮定して衝撃波電圧を印加する方法を試みた。図 5.6 (a) は回路電圧に衝撃波電圧を重ねた場合を, (b) は重畳する衝撃波電圧を示す。

漏電しゃ断器の衝撃波耐電圧性能は, 電子回路等が破損しないことはもちろんのことトリップも起こらないことが望ましい。すなわち



(a) 縦軸: 1,500 V/div  
横軸: 5 ms/div



(b) 縦軸: 1,200 V/div  
横軸: 50 μs/div

図 5.6 回路電圧に重畳した衝撃波電圧  
Impulse voltage superposed on line voltage.

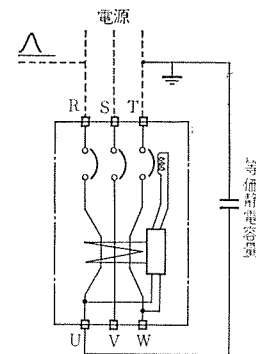


図 5.7 衝撃波耐電圧試験方法 (電圧印加状態)  
Connection diagram of sample for impulse surge test.

表 5.4 衝撃波耐電圧性能  
Performance of impulse voltage.

形名	トリップ開始電圧 kV	
	回路電圧印加, 等価静電容量無	回路電圧印加, 等価静電容量接続
NV-KB NV-1 C	6	5
NV-K 30 NV 30-C	6	5
NV 30 NV 50	7	6
NV 100 NV 225 NV 400	11	11

侵入サージにより負荷機器の静電容量を介して流れる瞬時地絡電流を, ZCT が検出して動作しないことの確認が必要である。図 5.7 にこの方法を示す。表 5.4 に NV 形漏電しゃ断器の衝撃波耐電圧性能を示すが, 低圧回路において発生する系統サージは通常 5 kV 以下<sup>(5)</sup>が圧倒的であるので実用面での支障はないものと考えられる。

### 5.7.2 開閉サージ

負荷機器の開閉時に発生するサージの理論的な解析は明確ではないが, 漏電しゃ断器の実用化にあたってこの問題を無視することはできない。誘導性負荷の負荷電流・力率を種々変えてサージ電圧を実験的に求めてみると約 3,000 V<sup>(6)</sup>にも達することがわかった。またサージの発生過程からも波形はきわめて複雑であり, 一般に急激な波形から緩波頭まで雑多でサージ幅も数十 μs から数十 ms と多岐にわたって発生した。かかる高いサージ電圧は, 負荷機器の対地静電容量と作用して接点のふぞろい投入やチャタリングにより電動機始

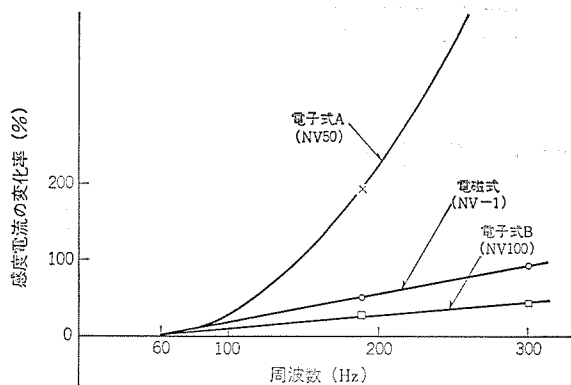


図 5.8 周波数による感度電流の変化  
Change of sensitivity by frequency.

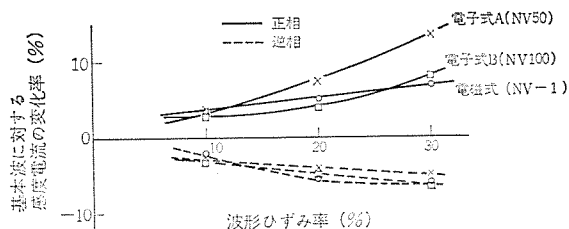


図 5.9 波形ひずみが感度電流におよぼす影響  
Change of sensitivity by distorted wave.

動時等の誤動作の一因となるので、実用面を主とした実験を行なった結果図 5.7 の接続にて開閉サージを加えれば実用上ほぼ支障のないことがわかった。

## 5.8 その他

### 5.8.1 周波数の影響

400 Hz 等の特殊機器のために漏電しゃ断器の周波数特性を求めてみると図 5.8 となる。電子式および電磁式とも周波数の影響を受けるが、特に電子式の場合に回路設計によって相当異なるので注意を要する。

### 5.8.2 ひずみ波形の影響

系統に変圧器等の鉄心を有する場合波形がひずむことがあるので、ここでは特に Y-Y 結線の変圧器回路によくみられる第 3 調波の影響をとりあげてみる。第 3 調波を含む波形は基本波との合成であり、第 3 調波による各相の起電力は同値同相となるので相殺され線間電圧は正弦波となり、特に問題とはならない。しかし地絡電流が流れると変圧器二次側の相起電力中の第 3 調波分により線路と大地間に第 3 調波を含む電流が流れる。この影響を図 5.9 に示す。波形ひずみにより感度電流に変化があらわれるのは、地絡検出部が波高値により左右される要因を含んでいるからである。よって回路方式等によっても傾向の差異がみられるが、いずれにしても波形のひずみ率が 10 % 以内であれば実用上特に問題となることはない。

## 6. む す び

漏電しゃ断器等の低圧地絡保護装置の普及に伴い、応用上のトラブルは逐次解決されてきた。今後さらに適用場所の拡大につれて提起されるであろう新しい要求、たとえば選択しゃ断用の時延形、IEC 規格に示されている反限時形、地絡電流指示装置付き漏電しゃ断器など需要家にとって便利な製品の開発に努力したい。

終わりにあたりご協力いただいた関係各位に深く謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 電気協会：低圧電路地絡保護指針 JEAG 8101 (昭 46)
- (2) 坪内：電試研究報告 664 (昭 41)
- (3) IEC-23 E-3 (1972)
- (4) 労働省産業安全研究所：産業安全研究所技術指針 RIIS-TR-72-2
- (5) 電力中央研究所資料
- (6) 松浦, 山本, 中山：三菱電機技報 45 (昭 46)
- (7) S. Koeppen, Wolfsburg, H. Tolazzi : ETZ-B, Bd 18, H 6 (1966)

## 三菱標準制御器の系列と適用

丸 地 謙 二\*

## Mitsubishi Control Apparatus Series and Their Application

Nagoya Works

Kenji Maruchi

With the trend of automatizing the equipment in the industrial world and in line with the diffusion and development of installations in buildings and of machines for public welfare, demands for control apparatus have remarkably increased and also technically advanced at a quick step. The control apparatus, as functional components of machinery, are demanded to extend their applicable fields, to turn to multiformity and to elevate the reliability.

This article makes brief description of the latest technical tendency of the control apparatus and of the standard series of Mitsubishi products in this category together with their application so as to help the purchaser select appropriate ones.

## 1. ま え が き

各種産業界の設備、機械の自動化、ビル設備さらに一般民生用機器の普及発達にともない、その機器・装置に使用される制御機器の技術も急速に発展し需要の伸びもいちじるしいものがある。

これら制御機器は生産機械の自動化とともに生産設備全体の合理化のための機能部品として、また最近の省力化の要求の拡大により使用分野は拡大している。したがって種類の増加と多様化、信頼性の向上が望まれ、適用についても使用目的に合致し、より適切であることが必要となってきた。

ここでは制御機器の最近の動向と三菱制御器の標準シリーズについて、おもな製品系列の分類と適用について解説し、選択使用の参考に供したい。

## 2. 制御機器の動向

制御機器の種類と需要の拡大により用途面も広くなり、性能と信頼性を重視した工業用と、経済性を重視した用途範囲を限定するものと分化の傾向にある。また半導体技術を応用した機器もはん(汎)用化し使いやすい製品化が進んでいる。これら最近の目立つ動向は

- (1) 高信頼の要求
- (2) 多様化とシリーズ化
- (3) 複合機能化とユニット化
- (4) 小形化
- (5) 静止形化
- (6) 使いやすさ
- (7) 各国規格への適合と国際化
- (8) 経済性の追求

である。

## 2.1 高信頼性の要求

制御装置は大形化・複雑化し使用制御機器の絶対数が増大し、かつ事故による波及損失が大きくなり、装置全体の信頼性を上げるために、構成要素の機器の信頼性を高めることが強く要求されている。

したがって信頼性はその機器の主要性能の一つといえる。たとえば制御機器を制御用継電器で考えたとき、入力から出力に至る過程での故障は接点部の不具合、主として接点の接触信頼性として表わされ、JEM 1230「制御用電磁継電器」の中でこの接触信頼度試験

としてアーレンブラッドリーの試験回路を参考試験として規定している。また最近国家認証制度につながる制御用小形電磁継電器の信頼性試験の検討も行なわれ、国際的にみても IEC における討議においても積極的にとりあげられつつある。

われわれはこれら要求にそって信頼性の高い制御機器をめざし、信頼性を高める設計、製造品質および品質保証に努力を傾注している。

有接点の制御用継電器、スイッチ類については接点材料と機構の組合せによる銀接点によるころがり接触、双子接点、クロスバー接点の採用、また硫化、酸化等の環境を考慮して、金めっき接点、金張り接点等の採用を行なっている。

パワー回路を扱う電磁接触器・開閉器等については信頼性として問題となる接点部の寿命、耐溶着性および開閉寿命については設計上の配慮と抜取りによる信頼性保証試験により管理している。

一方半導体応用による無接点機器についても耐サージ特性、使用温度範囲、ノイズ特性、電源電圧の変動などに対する余裕をもたせている。

## 2.2 多様化とシリーズ化

用途拡大につれて各機種の多様化とシリーズ化が進み、たとえば電磁開閉器は標準 MS シリーズのほか、経済シリーズの MS-E シリーズ、高しゃ断容量をもつ MS-H シリーズ、またシリーズも定格の範囲を拡大し 8 A 級の MS-8 から 600 A 級の MS-600 まで 16 機種のワイドシリーズ化している。一方制御用継電器もコンタクトタイプのパワーレベルの SR 形から、プラグインタイプのパワーリレー RP 形、ミニチュアタイプの RD 形まで、タイマ等の応用品も含めて標準系列化を計っている。

## 2.3 複合機能化とユニット化

制御器具と制御装置あるいは制御盤の分野の間に組合せまたは複合機能化した付加価値の高い製品が増加しつつある。

半導体応用のシーケンサや単体を組合せユニット化したスタータ類、電源切換スイッチ、リレーユニット等、複数機能化が進み使用実績も増しつつある。

## 2.4 小形化

機器・装置類はユニット化および経済性の要求から小形化の傾向で、これに使用する制御部品も同様である。これは半導体との混成回路のプリント板によるカードユニット化実装率の向上から、スイッチ・リレー類の小形化および民生機器の装置使用のパワー用の電磁接触器も、装

置のスペース節約のための小形化が進んでいる。

## 2.5 静止形化

制御機器の静止形化（半導体化）は機能、特性および用途に合致した分野ではより使いやすい形で普及が進んでいる。半導体としての特長は、長寿命・耐環境性・高速動作・入力容量小・新しい機能を生かす分野、用途に対し近接スイッチ・光電スイッチ・無接点リレー・トライアック使用の無接点スイッチ・モータ保護リレー・漏電リレーおよびCRタイマ等広く製品系列化を計っている。

## 2.6 使いやすさ

すべての制御機器について取付方法、配線接点方法、取付寸法の互換性および保守性等ユーザー側の使いやすさを目指した機能が非常に重要になりつつある。まず取付方法はねじ止め方式が主流であるが、多数個盤面にとりつける小形機種では人件費の節約からワンタッチ取付方法として、レール取付方法の特殊な圧入固定方式の制御リレーやブロックターミナルが生まれつつあり、特に欧州流の考え方がかなりとり入れられつつある現状である。

配線接続方式もねじ締め方式もはんだ付端子が主流ではあるが、ねじ締め方式も電線部分に工夫をこらしたセルフアッパ方式の端子ねじが普及しつつあり、はんだ付けも信頼性の点からワイラッピング端子・ファストン端子方式のものも増加の傾向にあり、S形コンタクト・SR形リレーを初めTE形端子台ではセルフアッパ端子を広く採用している。

特に端子台については単なる外部との中継からユニット間の中継用や、プリント板に直付けし外部配線との接続等に重要な機能部品となりつつある。

互換性はユーザーにとって使いやすさの重要な要素であり、一般用制御用リレー・操作スイッチ等の外形、取付寸法のJISやJEMによる統一が進むとともに、各機種も性能・機能の向上のためのモデルチェンジは行なっても、取付寸法の互換性は変えない方向に向いつつある。当社の制御機器も基本的にこの考え方をとっている。

## 2.7 各国規格への適合と国際化

制御機器の分野も国内市場のみならず、単体輸出、装置としての輸出あるいは国際分業と海外市場を離れては考えられない時代となり、当社の制御機器もそれぞれ各国の規格と適合するのはもちろん積極的に安全規格の取得を行なっている。すなわち適用規格ではIEC, NEMA, VDE, BS等のほかCSA, UL, AS, ロイド, BV, NEMKO等に合格し国際商品として通用する。電磁開閉器への適用詳細については別稿で取り上げている。

## 2.8 経済性の追求

機能と価格のバランスという考え方で製品自体の性能・機能の見直しとコスト低減を計り、また選定により経済的になる適用の機種の開発とマニュアルの提供を行なっている。

# 3. 三菱標準制御器シリーズの概要

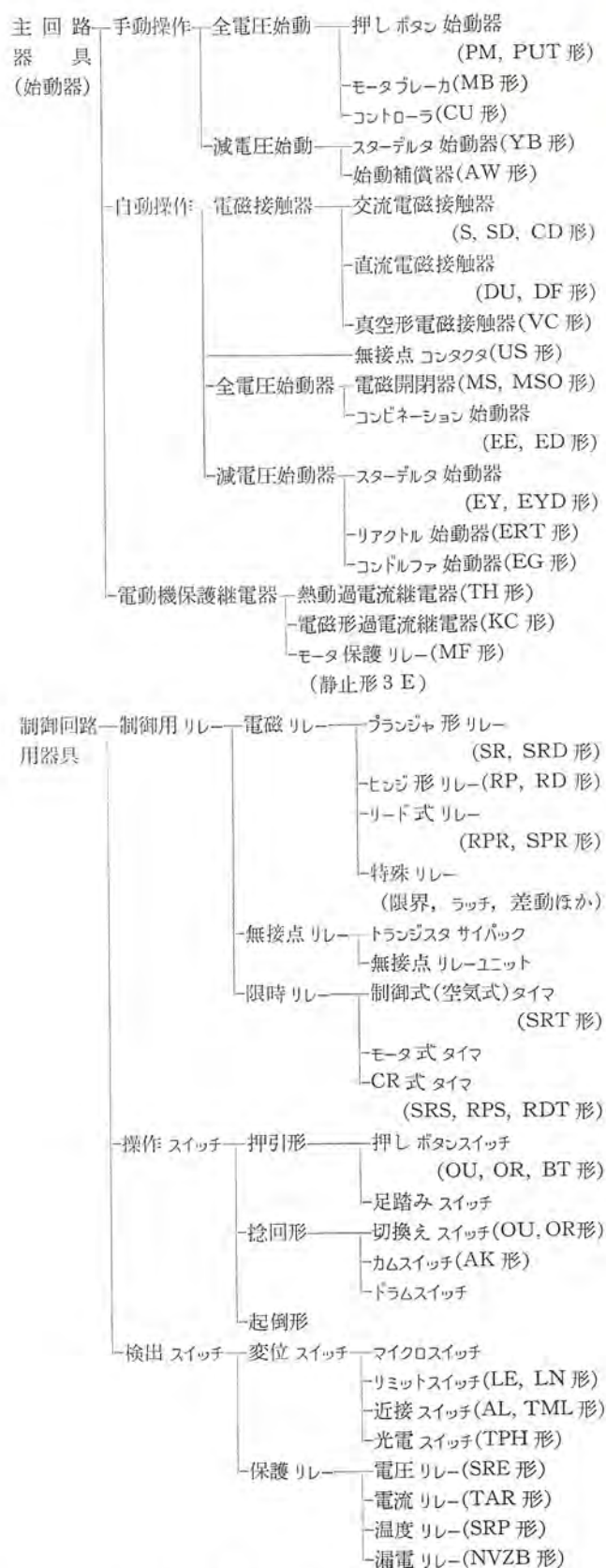
## 3.1 分類と構成

制御機器の分類は機能・用途別分類と種々考えられるが、

- (1) 手動制御と自動制御
- (2) 有接点制御と無接点制御（半導体）
- (3) 主回路用と制御回路用

と大略区分される。

ここではこれらの考え方で、三菱標準制御器シリーズについての分類と構成を次に示す。



これら構成機器をブロックダイアグラムの形にまとめると図3.1のようになり、制御機器のシリーズおよび制御システムにおける構成は明確になる。当社制御機器は標準シリーズ化と機種拡充を計りつつある。

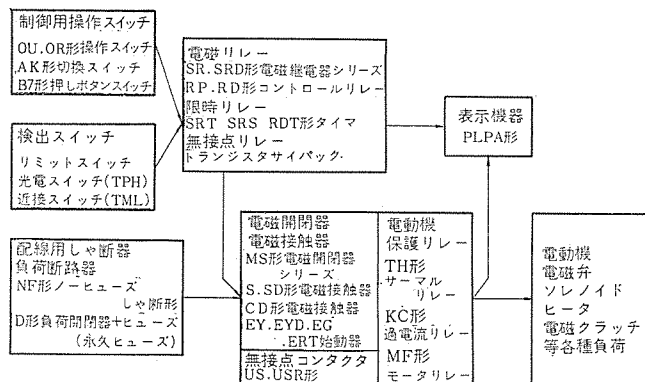


図 3.1 三菱標準制御システムブロックダイアグラム  
Block diagram of Mitsubishi standard control devices.

### 3.2 電磁開閉器、接触器

MS形電磁開閉器・S形電磁接触器シリーズについては性能と信頼性の高さ、使いやすさ、機種豊富さ、国際性、適用面におけるレッド(AC-4)-グリーン(AC-3)のダブル定格表示による経済性、さらに機種の拡充によりユーザ各位にご愛用いただきS-43発売以来累計1,000万台を越えている。表3.1にMSシリーズの一覧表を掲げたが、用途の多様化傾向から標準シリーズのほかに、軽負荷経済シリーズのMS-Eシリーズと耐溶着性としゃ断特性を大幅に向上させ、永久ヒューズ付負荷開閉器やノーヒューズしゃ断器と組合せ、より完全な保護協調が可能なMS-Hシリーズと多系列化を計っている。また機種拡充で大形の600Aフレーム、小形で民生用分野もカバーする8A(200V, 1.5kW級)の8形および20Aの20形(200V, 3.7kW級、補助接点

表 3.1 三菱低圧電磁接触器一覧

List of the rating of Mitsubishi low voltage magnetic contactors.

系 列	形 名		適 用 負 荷								寿 命 (モータ負荷)		選 定 の 基 準	適 合 規 格	主 な 特 長	用 途			
			かご形電動機 (開放定格)				抵 抗 コンデンサ												
			定格容量 (kW)		定格電流 (A)		定格電流 (A)		定格電流 (A)										
	非 可 逆	可 逆	220V	440V	220V	440V	220V	440V	機械的 (万回)	電氣的 (万回)									
M S — S シ リ ー ズ	交 流 操 作	S- 8	—	1.5	1.5	8	6	10	10	—	—	500	50	JEM IEC VDE BS NEMA CSA NK ロイド	・レッド、グリンの二重 定格表示で合理的選定 が可能 ・銀合金接点使用 (主回路) ・ころがり接点使用で接 触不良なし(補助接点) ・内部に配線くずのはい らない構造 ・可逆式は機械的インタ ロック使用で安全 ・国際規格に準拠	・電動機のあらゆる制 御 ・抵抗負荷 ・コンデンサの開閉 ・水銀灯、けい光灯など の開閉 ・溶接機用 ・変圧器の一次電流開閉 ・特殊使用として直流モ ータの開閉、DC220V まで			
		S- 10	—	2.5	2.5	12	7	12	12	—	—	1000	100						
		S- 11	S-2X 11	2.5	3.7	12	9	15	12	—	—	1000	100						
		S- 18, 20	S-2X18, 20	4.0	5.5	20	15	20	20	—	—	500	100						
		S- 25	S-2X 25	7.5	7.5	35	20	35	35	—	—	500	100						
		S- 35	S-2X 35	11	15	48	35	48	48	—	—	500	100						
		S- 50	S-2X 50	15	30	65	60	65	65	40	30	500	100						
		S- 65	S-2X 65	15	30	70	65	70	70	50	40	500	100						
		S- 80	S-2X 80	22	37	93	85	100	100	60	60	500	100						
		S-100	S-2X100	30	55	125	110	130	130	80	70	500	100						
		S-150	S-2X150	45	90	180	165	200	200	125	110	500	100						
		S-200	S-2X200	50	100	200	200	220	220	150	130	500	50						
		S-300	S-2X300	90	150	330	300	330	330	250	250	500	50						
		S-600	S-2X600	150	300	600	600	660	660	500	500	500	50						
	直 流 操 作	SD- 10 ┆ SD-600	SD-2X 18 ┆ SD-2X600	交流 操作 S-口 形と 同じ	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	全機種 2000	交流操作 S-口形 と同じ	JEM IEC 他	・長寿命 ・直流専用電磁石で、高 信頼性 ・投入衝撃小、うなりなし ・コイル突入電流なし	・クレーン用電動機の制 御 ・電圧変動の大きいところ ・直流モータの制御 (DC220Vまで)			
		SL- 11 SL- 18 SL- 35 SL- 65 ┆ SL-600	— SL-2X 18 SL-2X 35 SL-2X 65 ┆ SL-2X600	交流 操作 S-口 形と 同じ	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	50 50 50 25 ┆ 10	同 左						
	M S — E シ リ ー ズ	交 流 操 作	S-E 35 ┆ S-E400	S-2XE 35 ┆ S-2XE400	11 ┆ 100	11 ┆ 200	48 ┆ 400	25 ┆ 400	48 ┆ 450	48 ┆ 450	— ┆ —	— ┆ —	500 ┆ 25	50 ┆ 25	JEM IEC VDE BS	・定格表示は箱入り、開 放の二重定格表示 ・小形軽量、安価 ・その他S-口形とほぼ同 様の特長をもつ	・電動機の一般的な制御 ・抵抗負荷の制御 ・電灯回路の開閉		
			S-H 35 S-H 65 S-H100 S-H150	7.5 15 25 37	11 30 50 75	35 65 100 150	25 60 100 150	48 70 130 200	48 70 130 200	— — — —	500 500 500 500	50 50 50 50							
	C D 形 シ リ ー ズ	直 流 操 作	CD- 55 CD- 105 CD- 205 CD- 405 CD- 605 CD- 805 CD-1205	CD-2X 55 CD-2X 105 CD-2X 205 CD-2X 405 CD-2X 605 CD-2X805 CD-2X1205	15 25 50 100 150 200 300	25 50 90 150 250 400 500	65 100 200 400 600 800 1000	50 100 160 320 480 750 1000	70 110 220 400 600 800 1200	70 110 220 400 600 800 1200	— — — — — — —	— — — — — — —	1000 1000 1000 500 500 500 250	50 50 50 50 50 25 25	JEM	・クラッパ形で、インチ ングに強い ・高性能で長寿命 ・接点の点検がきわめて 容易	・クレーン用電動機の制 御 ・大容量コンタクト ・直流モータ制御用 (DC220Vまで)		
			VC-300 (VC-301) VC-600 (VC-601)	VC-2X 300 ←(1極) VC-2X 600 ←(1極)	75 — 150 —	150 — 300 —	300 300 600 600	300 300 600 600	330 330 600 600	330 330 600 600	300 300 600 600	300 300 600 600	500 500 500 500	50 50 50 50				JEM	・アークの噴出なく安全 ・保守点検がほとんど不 要 ・高しゃ断性能
VCL-300 VCL-600			— —	75 150	150 300	300 600	300 600	330 600	330 600	400 600	300 600	25 25	25 25	JEM					



1a1b, 2a) を加え、ワイドセレクションを可能とした。

応用機種も連続定格の DC 操作の SD 形、電源切換や瞬停防止用として有用な機械ラッチ式の SL 形等の特長のある機種を有している。

前記はん用モールドタイプ水平動作形の MS シリーズに対して、大形クラップタイプ重負荷用の CD 形シリーズも表 3.1 に示すごとく、50 A から 1,200 A まで 7 機種のシリーズを完備し鉄鋼クレーン用等の重負荷と保守性を必要とする用途に好評を得ている。

低圧真空コンタクト VC-300, 600 形も製品化し、重負荷用として保守を省略でき、かつ悪ふん囲気中の開閉、特にコンデンサ開閉やインチャングを含む高ひん(頻)度の電動機制御用に有効である。

一方無接点コンタクトとして、トライアック素子を使用した US 形シリーズを 15, 40, 60, 120 A と製品化し、無接点の長所、高速、高ひん度開閉、長寿命、無騒音、保守の不要を生かし電磁弁、開閉操作のひん繁な開閉制御に用いられ、はん用パワーエレクトロニクス分野も成長しつつある。

### 3.3 電磁始動器

かご形誘導電動機は、構造簡単、がんじょうで、安価であり、一般産業用・設備用にもっとも多く使用されており、この始動方式も各種あり、電動機の性能を最大限に利用するため始動器の選定は重要である。

もっとも一般的には全電圧始動であるが、始動時の突入電流が定格の 5~7 倍となり、電路に過度の電圧降下を与えることがあり、大容量電動機や電源容量が小さい場合に、電動機への印加電圧を減じ始動電流を抑える減圧始動が用いられる。この場合電動機トルクも端子電圧の自乗に比例して下がるので、始動時に印加電圧を下げれば、始動加速トルクも低下し、機械ショックをきらい負荷の緩始動に適する反面、負荷の種類によって適・不適があるので負荷の反抗トルクを十分検討し選定を要する。当社始動器シリーズもスターデルタ始動器として EY, EYD 形、コンドルファ始動器 EG 形、リアクトル始動、一次抵抗始動、クザ始動器として ERT 形等の各種を標準化し、それぞれの用途に対応させている。

始動法選定の概要については、図 3.2 にまた当社始動器シリーズの概略・特性については表 3.2 に示す。

### 3.4 制御用継電器

制御用継電器は特に多様化と高信頼性化が進んでいる。当社標準

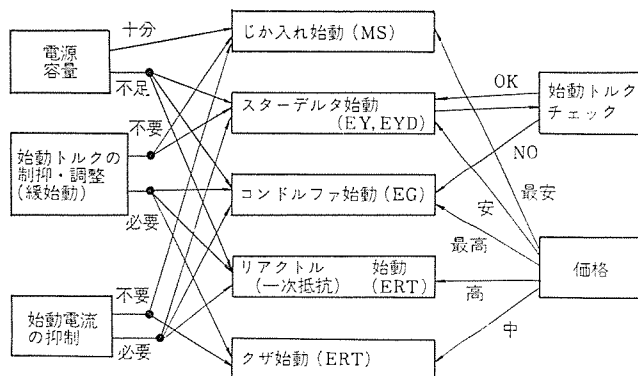


図 3.2 電動機始動方式の選定  
Selection of motor starting method.

表 3.2 三菱電磁始動器一覧 (減圧方式)

Comparison of various Mitsubishi standard magnetic motor starters.

種別	形名	回路構成	概要と適用	特長	欠点	諸 特 性		
						始動電流	始動トルク	加速性
スターデルタ	EY	NFB OCR MCA, MCΔ, MCΛ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δ 結線で運転する電動機を始動時のみ</li> <li>Δ 結線で始動 始動電流トルク共じか入の 1/3</li> <li>2 コンタクト簡易形</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>始動電流による電圧降下軽減</li> <li>減圧始動の内でもっとも安価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>始動加速トルク小、負荷によって始動困難</li> <li>始動から運転切換時電源より開放され電氣的機械的ショック (常時巻機電位あり)</li> </ul>	じか入 100% に対し 33.3 %	じか入 100% に対し 33.3 %	トルクの増加 少 最大トルク 小
	EYD	NFB OCR MCM, MCA, MCΔ, MCΛ	同上	同上	同上	33.3 %	33.3 %	同上
コンドルファ	EG	MCR, MCΔ, MCΛ, MC1, MC2, NFB, MCR, OCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>V 結線の単巻トランス使用 電動機の印加電圧下げて始動</li> <li>始動電流を特に押える大容量電動機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タップ切換えて始動電流トルク調整可能</li> <li>始動から運転切換えショック小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>価格高</li> <li>加速トルクが小さい</li> </ul>	25 -42 -64 % タップ (50 -65 -80 %)	25 -42 -64 %	トルクの増加やや 小 最大トルクやや小 円滑な加速
リアクトル	ERT-X	MCΔ, MCΛ, MC1, MC2, NFB, MCR, OCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>電動機の一側側にリアクトルを入れ始動時リアクトルの電圧降下分を電動機に印加始動</li> <li>二乗低減トルク負荷</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タップ切換えて始動電流トルクの調整可能</li> <li>電動機回転 up に従い加速トルクの増大する</li> <li>クッションスタート</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>価格コンドルファに次ぐ</li> <li>始動電流の割合に始動トルクの減少大</li> </ul>	50-60 -70-80 -90 % タップ (50-60 -70-80 -90 %)	25 -36 -49 -64 -81 %	トルクの増加大 最大トルク 最大 円滑な加速
一次抵抗	ERT-R	MCΔ, MCΛ, MC1, MC2, NFB, MCR, OCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>リアクトル始動のリアクトルの代りに抵抗器を入れたもの</li> <li>小容量電動機 7.5kW 以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リアクトル始動とはほぼ同じ</li> <li>リアクトル始動より安価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リアクトル始動より加速トルクの増大 小</li> <li>始動トルクの減少大</li> </ul>	75 -90 % タップ (75 -90 %)	56 -81 % タップ (56 -81 %)	同上
クザ	ERT	MCΔ, MCΛ, MC1, MC2, NFB, MCR, OCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>三相のうち単相のみリアクトル、抵抗を入れたもの</li> <li>クッションスタート</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>クッションスタートとして最安価</li> </ul>	始動電流はじか入れと同じ	100		同上



制御用継電器はコンタクトタイプのSR形、ヒンジタイプのRP形およびミニチュアのRD形を主体とする有接点のシリーズ各種と半導体を利用した無接点リレーユニットがあるが、両者それぞれ特長を生かし共存発展するものと考えられる。

表3.3には三菱制御用継電器の種類と定格を、表3.4には有接点リレーと無接点リレーの特長の比較の概要を示す。

限時継電器については制御用継電器シリーズとして、制御装置や制御盤用機器として取扱い配線等を便ならしめるため、SR系列と同一取付形状の空気式のSRT形、半導体式(CR)のSRS形、またRP系列プラグインシリーズの半導体式のRPS形およびRD系列のRDT

形より構成されている。

### 3.5 制御用操作スイッチ

制御用操作スイッチは人間の簡単な動作あるいは指令を機械的な機構により、電気信号に変換し制御装置に所定の動作をさせる機器である。制御内容、信号の多少、操作方法、デザイン面および使用環境等種々の面の要求から多種多様の組合せがあり、多種類の制御用操作スイッチが必要とされる。当社の操作スイッチシリーズは表3.5に示すが、一般制御盤・配電盤用として種類豊富な30φのOUシリーズ、小形はん用25φのORシリーズおよび回路切換え、選択や多ノッチ用の多段切換スイッチAK形よりなり、組合せにより広い用途に適用可

表 3.3 三菱制御用継電器の種類と定格  
List of the rating of Mitsubishi control relays.

系 列	形 名	接点構成	接点定格電流(A)							寿命(万回)		耐電圧 AC 1分間(V)	コイル 入 力	主 な 特 長	用 途							
			交流(A <sub>1</sub> 級)			直流(D <sub>2</sub> 級)			通電 電流	機械的	電氣的											
			110V	220V	550V	24V	110V	220V														
S R 形	交流 操作	SR-4 SR-8 SR-5 SR-10	4a~4b 8a~4a4b 5a~2a3b 10a~5a5b	6	5	3	8	2	0.4	10	1000	50	2500	10VA	・ころがり接点で接触不良がない ・セルフアップ端子で配線容易	・電磁開閉器・バルブの制御用 ・接点容量の増大用 ・接点数の増加用 ・入出力の分離絶縁用 ・信号の記憶用						
	直 流 操 作	SR-33	3a3b	3	2	1.5	5	1	0.2	6						・信号の記憶用						
		SRD-4 SRD-8	4a~4b 8a~4a4b	6	5	3	8	2	0.4	10	2000	50	2500	11.5W	・ころがり接点、セルフアップ 端子付	・論理演算用						
		SRD-5 SRD-10	5a~2a3b 10a~5a5b											13.5W	・全電圧印加式コイルのため信 頼性が高い	・限時の付加用						
		大容量	SR(D)-4J SR(D)-8J SR(D)-5J SR(D)-10J											4a~4b 8a~4a4b 5a~2a3b 10a~5a5b	12	10	5	10	2.5	0.5	12	1000
	ツ ィ ン 接 点	SR(D)-4S SR(D)-8S	4a~4b 8a~4a4b	1	0.5	0.3	3	1	0.2	5	1000	50	2500	AC10VA DC11.5W	・ツィン接点付で、低電圧、小 電流の開閉に適する	・小勢力回路用 ・論理演算用						
		SR(D)-5S SR(D)-10S	5a~2a3b 10a~5a5b											AC10VA DC13.5W								
		吸 入 器 付	SR(D)-4, 8T SR(D)-5, TOT											SR(D) と同じ	6	5	3	8	2	0.4	10	1000
	ラ ッ チ 付	SRL(D)-4 SRL(D)-5 SRL(D)-10	3a~3b 4a~1a3b 9a~4a5b	6	5	3	8	2	0.4	10	100	50	2500	70VA	・機械ラッチ付 ・手動投入・引きはずしが可能 ・AC操作のうなり防止用 ・コイル入力低減用	・信号の記憶用 ・AC操作のうなり防止用 ・コイル入力低減用						
		遅延 開放	SR 4DL SR 8DL SR 5DL	3a~3b 7a~4a3b 4a~2a2b	6	5	3	8	2	0.4		250	50	2500	10VA	・1~2秒の遅延開放ができる	・瞬時停電時の信号の記憶用					
		R P 形 リ レ ー	標準 シリーズ	RP-200P RP-300P	2c 3c	3	2	—	2	0.2	—	5	1000	25	1500	AC3.5VA DC1.6W	・金めっき接点付 ・プラグインで保守点検容易 ・ツィン接点付低電圧小電流用	・中形電磁開閉器・バルブの制御用 ・入出力の分離絶縁用 ・論理演算用				
ツ ィ ン	RP-200SP RP-300SP		2c 3c	2	1.5	—	1.5	0.15	—	3												
	標準 低レ ベル		RD-2P RD-4P RD-2SP RD-4SP	2c 4c 2c 4c	1.5 1 1 0.6	1 — — —	— 1 — —	0.2 — 0.6 0.6	— 0.1 — 0.1		— 3 3 2						5000	25	1500	AC1.6VA DC1.4W	・金めっき接点付 ・プラグイン形、プリント板取 付け形ができる。	・小形電磁開閉器・バルブの制御用 ・入出力の分離絶縁用 ・論理演算用 ・小勢力回路用
	特 殊 リ レ ー		リード リレー	SRR-6 RPR-4	6a~3a3b 2c 4a 2a2b	0.15 0.15	— —	— —	0.5 0.5		0.15 0.15										— —	2 2
空 気 式 タイ マ		SRT(D)-N (オンティレ) SRT(D)-F (オフティレ)	限時1ab 瞬時1a1b (オフティレ)	5	3	1	0.6	0.4	0.2	6	100	100	2500	AC10VA DC1.5W	・0.2~60秒 ・設定時間の安定性が高い小形 ・ころがり接点、セルフアップ 端子付	・限時の付加用						
限 時 リ レ ー	ソ リ ッド ステ ート タイ ム	SRS-N (オンティレ) SRS-F (オフティレ)	限時1c+1a 限時1c	1.5 1	1 0.5	— —	1 0.6	0.2 0.1	— —	3 3	5000	100	1500	AC22VA DC2W	・0.1~60秒 ・繰返し精度が良い ・オフティレで60秒と長時限定 定ができる	・限時の付加用						
		RPS-N (オンティレ)	無接点出力	0.25	0.25	—	0.25	0.25	—	0.25				半永久	半永久	1500	AC1.6VA DC1.4W	・0.1~60秒 ・繰返し精度が良い ・熱接点のため長寿命	・限時の付加用			
		RDT-N	限時2c	1	—	—	0.6	0.1	—	3				5000	10	1500	AC1.6VA DC1.4W	・0.1~30秒 ・繰返し精度が良い	・限時の付加用			

表 3.4 有接点リレーと無接点リレーの比較  
Comparison between control relays and solid relays.

項 目	有 接 点 リ レ ー	無 接 点 リ レ ー
(1) 寿 命	数百～数千回	長寿命 (半永久的)
(2) 接触信頼性	△使い方、選択による	大
(3) 応 答 速 度	遅い (ms)	速い (ns)
(4) 振 動 耐 性	20～30 G	数十 G～100 G
(5) チ ャ タ	有り、無接点入力注意	無し
(6) 回路過渡値 (サージ)	強い	ピーク値に対し敏感
(7) 入 力 力	大	小
(8) 回路絶縁	完全に出力相互、入出力間絶縁	低絶縁
(9) 出 力 力	大	小
(10) 入 出 力	1入力、多出力	n入力、1出力
(11) 増幅作用	微小電流で大信号開閉	低入力で増幅作用
(12) 温 度	無、高温で使用可	高温限界、50°C以上注意
(13) 過 負 荷	余裕あり	弱い
(14) 大 き さ	△	小
(15) 保 守 性	容易、取換可能	外観では良否不明、一般に取換ユニットで比較的高価
(16) 価 格	経済的	

能である。

操作スイッチの特性はJEM-1234で、しゃ断閉路容量・開閉ひん度・寿命・接触抵抗・振動・耐衝撃等を規定しているが、操作スイッチとしての信頼性は確実な操作性、外部ふん囲気の保護性能および接触安定性であり、OU形シリーズは防油形のOU-T形、しゅう(摺)動接触のOU-W形およびAK形シリーズは金めっき接点のものを用意し、ふん囲気の悪い環境や微小電流開閉に安定した適用を可能にしている。

### 3.6 検出スイッチ

検出スイッチは機械式(有接触形)のリミットスイッチ、マイクロスイッチと無接触形の近接スイッチ、光電スイッチがある。これら検出スイッチは各種工業用や設備用としてそれぞれの方式の特長を生かし幅広く使用されている。特に半導体の特性を生かした近接スイッチおよび光電スイッチの普及成長は著しい。

表 3.5 三菱制御用操作スイッチの仕様と特長比較  
Comparison of various manual control switches.

種類形名	種 類	代表用途例	概 要	適 用	接点構造と信頼性	接点定格	機械的寿命 開閉ひん度	接点構成	取 付	備 考
OU形 操 作 ス イ ッ チ (30φ)	ランプなし 系 列 色・黒緑赤 黄ほか	OU-A	始動、入	種類豊富 保護構造優 (オイレタイト)	銀 接 点 突 合 せ 接 触 普 通 特殊として しゅう(摺)動 接触 (ワイピング) 信 頼 性 大	AC 220 V 5 A	500 万回 以上 開閉ひん度 1,800 回/時	4a4bまで 接点数の変 更のみ可能	パネル取付 埋込形 丸 穴 30φ リング止	比較的安価
		OU-B	停止、切			AC 550 V 3 A				
		OU-F	始動、入			DC 110 V 0.4 A				
		OU-G	可動、入			DC 220 V 0.25 A				
OR形 操 作 ス イ ッ チ (25φ)	ランプなし 系 列 色・白緑赤 ほか	OU-C/D	2/3 ノッチ切換	種類豊富	工作機械、産業 機械等一般用制 御盤、操作盤等 の制御回路	速度 10 A	250 万回 以上	2a2bまで 接点数の変 更のみ可能	パネル取付 埋込形 丸 穴 25φ リング止	トランス 1.7 VA 110/220/440 2次 15 V
		OU-E/H	切換+始動							
		OU-BL(T)	停止+表示灯							
		OU-GL(T)	始動、可動 +表示灯							
BT形 押しボタン ス イ ッ チ	箱 入 ユニット パネル取付	OU-C/DL(T)	2/3 ノッチ切換 +表示灯	簡 易 形	一般機械 電磁開閉器 操 作 用	速度 10 A	250 万回 以上	110 1a1b 120 2×1a1b 130 3×1a1b	壁取付け (閉鎖形) パネル取付	安 価
		OU-E/ML(T)	2/3 ノッチ始動 +表示灯							
		OR-F	始動、入			AC 220 V 5 A				
		OR-G	可動、入			AC 550 V 3 A				
AK形 切 換 え ス イ ッ チ	箱 入	OR-B	停止、切	ト ッ チ 形 状 4 種 色 3 種 接点段数 1～10 (2～20回路) ノッチ角度 45° 90°	制御盤用、制御 回路の切換、多 ノッチ回路ブリ セット、電動機 入切、極数変換	AC 220 V 5 A	250 万回 以上	多 段 1a1b ×10段 最 大	パネル取付 埋込形	比較的高価
		OR-C/D	切 換			AC 550 V 3 A				
		OR-GL(T)	始動+表示灯			速度 15 A				
		BT	始動、停止							
信 号 灯	PL	BTU	正逆、停	OU形系列 信 号 灯 トランス有無	表示用制御回路	AC 220 V 5 A	250 万回 以上	1a1b 2×1a1b	パネル取付 30φ	ランプ E-12 18 V
		BTM	ほか			AC 550 V 3 A				
		BT-2・3	入、切 正逆、停止							
		PA-L PA-S	各種色表示							
信 号 灯	PA	PL-LT	各種色表示	OR形系列 信 号 灯 トランス付	表示用制御回路		250 万回 以上	1a1b 2×1a1b	パネル取付 25φ	ランプ E-10 6 V
		PL-L	各種色表示							
		PL-LT	各種色表示							
		PA-L PA-S	各種色表示							

表 3.6 三菱無接触検出スイッチ 比較  
Comparison of Mitsubishi contactless pilot switches.

種 類	形名と形式	概 要	動 作 距 離	出 力	動 作 方 式	許 容 周 囲 温 度	構 造
近 接 ス イ ッ チ	TML 直 流 用	○検出物体は金属であれば検出可能 ○動作距離 小 ○指向性 無 ○相互干渉 要注意 ○耐環境性 良	3 mm 5 mm 8 mm	リレー DC 12 V 0.2 A トランジスタ DC 12 V 5 mA	物体接近時 発振出力 OFF 出力信号 発 生	一般用 -10~50°C 高温用 -10~70°C	小 形 (S 形) 中 形 (M 形) 防 水 形
	AL 交 流 用	○開閉ひん度 大 ○機械的寿命 半永久 ○大きさ 小 ○出力 無接点出力, リレー	5 mm 8 mm	AC 110/220 V 0.2 A	物体接近時 発振出力 OFF 出力信号 発 生	-10~50°C	防 水 形
光 電 ス イ ッ チ	TPH	○検出物体は非透明物体であれば何でもよい ○動作距離 大 ○指向性 狭 ○相互干渉 無 ○耐環境性 じんあい影響	10 m 6 m 3 m	リレー AC 110/220 V 3/2 A トランジスタ DC 12 V	透過光しゃ断時 導通出力	-10~50°C	投 光 部 受 光 部

当社近接 スイッチ は検出部に トランジスタ 高周波発振器を用い、金属  
体が検出面に接近するのを接触なしに検出する方式で交流用 AL 形  
と直流用 TML 形があり、電圧特性・温度特性に動作が安定で、構  
造も エポキシモールド を採用し周囲ふん囲気安定強固である。おもな  
動作距離・駆動出力等の特性については表 3.6 に示した。

光電スイッチは光をしゃ断することにより無接触で物体を検出する  
スイッチで、光源としてランプ式と最近発光ダイオード式が主流を占め  
ている。当社 TPH 形は安定した性能と実績をもち、概要は表 3.6  
に示すが機種種の拡充を計画中である。

### 3.7 回路用器具

回路用器具として端子台は制御盤・配電盤用部品として多様化と  
配線作業の合理化を指向し改善され各種のものが多量に使用されて  
いる。当社端子台シリーズはブロックタイプの多極の TE 形とチャネル  
取付用 TF 形があり、TE 形は 2 形 (2 mm<sup>2</sup> 用 3, 6, 9, 12 P) から  
325 形 (325 mm<sup>2</sup>, 3 P) まで 20 機種、TF 形は 2 形 (2 mm<sup>2</sup> 用 3,

12 P) から 38 形 (38 mm<sup>2</sup>) まで 7 機種からなっている。

端子台はさらに盤の合理化、コストダウン、省力化およびユニット化用  
器具として機種と機能の拡充を計っている。

## 4. む す び

以上制御器の技術動向と三菱標準制御器の低圧分野について、シ  
リーズ相互の関係と概要について述べた。なおこれら機種のうち、電  
磁開閉器、制御用継電器、限時継電器および電動機保護 リレー につ  
いては別稿で詳しく機種種の紹介、信頼性および適用について述べて  
いる。これらにより三菱標準制御器の概要を理解していただき、適  
切な選定に役立てていただきたいと考える。なお今後も制御装置、  
制御盤および配電盤用機器として省力化、経済性および信頼性を向  
上させた機種を拡充するとともに、新しい機能の製品の開発を進め、  
ユーザ各位に満足していただける製品の供給に努力していきたいと  
念願している。

# 電磁開閉器・接触器の技術動向と海外規格への適応

丸 地 謙 二\*・岡 戸 弘 行\*

## Technical Movement and Adaptability to Foreign Standards of Magnetic Starters and Contactors

Nagoya Works Kenji Maruchi・Hiroyuki Okado

Demands of magnetic starters and contactors are on the steady increase nowadays. To cope with the trend their technical advancement is made so remarkable that they are nearing the goal as far as the compact size and high efficiency are concerned. This article makes description, in regard to the magnetic starters now under the limelight, on the secondary performance and function, i. e. a problem of coordinate protection at a short circuit fault, resistance to unfavorable surroundings and safety in operation.

In particular, mention is made on Mitsubishi products about the proof of adaptability to the various items mentioned above, and discussion is made on the comparison with the contents of the latest foreign standards to verify the matters in question.

### 1. ま え が き

電磁開閉器・接触器は、各種設備の自動化・省力化の動きにつれて、年々着実に大幅な需要の伸びを示して発展するとともに、技術的にも大きな進歩をとげ、小形化・高性能化の面では最近、ある程度完成の領域に近づきつつあるといえる。しかしながら電磁開閉器類の用途は需要の増大とともに多岐にわたり、工作機械・各種工業のプラント設備・ポンプ・空調設備その他の民生用機器、ビル設備あるいは舶用の各種設備など多種多様で、これにともなって電磁開閉器類に要求される性能・信頼性・安全性・使いやすさなどの項目は、その必要度と経済性の関連から千差万別となってきた。電磁開閉器類の動向は、元来高級な性能のものを量産により安価に供給する方向で進められてきているが、上述のように多様化するニーズに対して、一つの機種での対応では、必ずしも十分でなくなり、用途に合わせて機種を増加させるのが一つの傾向となってきた。また技術的には、電磁開閉器・接触器の動作特性・閉路しゃ断容量・開閉ひん繁度・寿命といった一次的な性能が、かなりの高水準に達するに従って、二次的な性能・機能のレベル、たとえば短絡事故などの異常事態が発生した場合の電磁開閉器の挙動、特殊環境条件における耐環境性、使いやすさなどが、今後の課題としてクローズアップされるであろう。

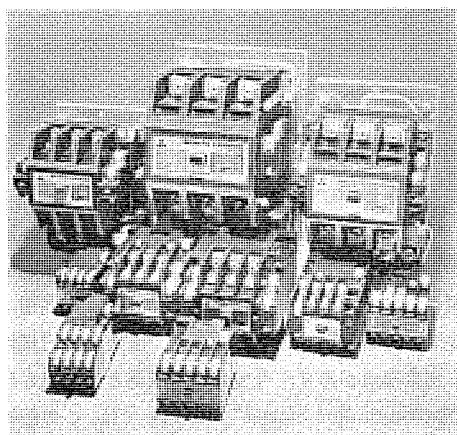


図 1.1 MS シリーズ 電磁開閉器・接触器  
Magnetic starters and contactors, series MS.

また最近、各種機械装置に電磁開閉器類が取り付けられ、あるいは単体でも輸出されるような場合が増加し、電磁開閉器が国際的に多くの海外規格に適合することが要求される傾向にある。各国の電磁開閉器の規格は多かれ少なかれ、日本の規格との相異点をもっており、国内製品がこれに適合するかどうかは重要な問題である。

以上のような事情を考慮し、当社電磁開閉器の技術的な動向について、二次的な性能・機能を中心に説明するとともに、最近の各国規格の概要と当社製品の適合について記載した。各位の参考になれば幸いである。

### 2. 電磁開閉器・接触器の技術的動向

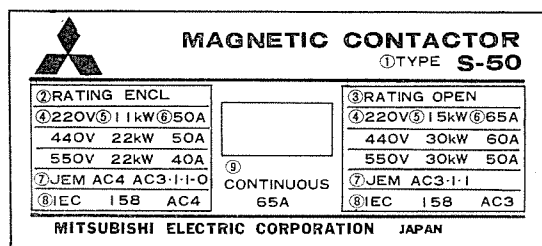
#### 2.1 用途の多様化と各種の電磁開閉器・接触器

電磁開閉器・接触器の技術的な進歩および指向は、性能・信頼性などの向上という形で、一般的に高級化への道を歩んできた。これは電磁開閉器が技術的に進歩するものである以上当然で、今後もこの傾向はいつそう進むと思われる。しかし一方において、民生用機器に使用されるものについては、電磁開閉器が技術的に相当高水準に達した今日、性能はある程度におさえ、経済性を重視する傾向も出てきている。すなわち、今後電磁開閉器は、需要の増大と用途の多様化につれて、高級化の追求と経済性の追求という二つの方向に分化してゆくように解釈される。当社においては、この傾向に十分対応し、用途に合致した電磁開閉器の選択を容易にすべく、多数の機種を開発し製品化してきた。表 2.1 にその主要な機種につき概要を示した。MS-S シリーズは最も一般的な製品で、昭和 43 年発売以来すでに 1,000 万台を越え、需要家各位に愛用いただいている製品であるが、日進月歩の改善努力により高水準の性能と信頼性を有し、どちらかといえば高級品に属するといえる製品である。この S シリーズは、初めから IEC 規格の思想を取り入れて定格の表示を行ない、負荷の責務によってレッド定格 (AC 4 級) とグリーン定格 (AC 3 級) の二重定格表示となっているので、用途に合わせて使い分けが容易なように配慮されている。名板の一例を図 2.1 に示した。

またこの S シリーズには多数の応用品、すなわち、直流操作の長寿命、高信頼性で、クレーン用など開閉ひん度のはげしい用途に適した SD 形、分電盤の遠方操作や電源切換開閉器などビル設備用に適した SL 形など、各種の機種が系列化されている。MS-E シリーズは、

表 2.1 低圧電磁開閉器・接触器一覧  
Kinds of type MS series magnetic starters and contactors.

系 列		形 名		定 格 容 量 kW				定 格 電 流 A				定格通 電電流 A	性 能		主 な 特 長
				レッド定格 (AC 4)		グリーン定格 (AC 3)		レッド定格 (AC 4)		グリーン定格 (AC 3)			レ ッ ド 定 格	グ リ ン 定 格	
		220 V	440 V	220 V	440 V	220 V	440 V	220 V	440 V						
M S S シ リ ー ズ	交 流 操 作	S-8	MSO-8	1.5	1.5	—	—	8	5	—	—	12	AC 4, AC 3・1・1	AC 3・1・0-1	・レッド, グリンの二 重定格表示で合理的 選定が可能 ・すぐれた銀合金接点 使用 (主回路) ・ころがり接点使用で 接触不良なし (補助 接点) ・内部に配線くずのは いらない構造 ・可逆式は機械的イン タロック併用で安全 ・国際規格に準拠
		S-10	MSO-10	2.2	2.2	2.5	2.5	11	6	12	7	12	AC 4, AC 3・1・0		
		S-11	MSO-11	2.2	2.2	2.5	3.7	11	6	12	9	15	AC 4, AC 3・1・0		
		S-18	MSO-18	3.7	5.5	4.0	5.5	18	13	20	15	20	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-20	MSO-20	3.7	5.5	4.0	5.5	18	13	20	15	20	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-25	MSO-25	5.5	7.5	7.5	7.5	25	18	35	20	35	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-35	MSO-35	7.5	11	11	15	35	25	48	35	48	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-50	MSO-50	11	22	15	30	50	50	65	60	65	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-65	MSO-65	15	30	15	30	65	60	70	65	70	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-80	MSO-80	19	37	22	37	80	80	93	85	100	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-100	MSO-100	25	50	30	55	100	100	125	110	130	AC 4, AC 3・1・1-0		
		S-150	MSO-150	37	75	45	90	150	150	180	165	200	AC 4, AC 3・1・1-0		
	S-200	MSO-200	45	90	50	100	180	180	200	200	220	AC 4, AC 3・1・1-0			
	S-300	MSO-300	75	150	90	150	300	300	330	300	330	AC 4, AC 3・1・1			
	S-600	MSO-600	132	250	150	300	500	500	600	600	660	AC 4, AC 3・1・1			
直 流 操 作	SD-10 } SD-600 (フレーム 数は交流操 作と同一)	MSO-D-11 } MSO-D-600	交流操 作品と 同一	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	AC 4, AC 3・1・0 (SD-10~200) AC 4, AC 3・1・0-1 (SD-300, 600)	AC 3・1・0-1	・長寿命 ・直流専用電磁石で、 高信頼性 ・投入衝撃小, うなりの 心配なし ・コイル突入電流なし	
	SL-11 SL-18 SL-35 SL-65 } SL-600	MSO-L-11 MSO-L-18 MSO-L-35 MSO-L-65 } MSO-L-600	—	—	交流操 作品と 同一	同 左	—	—	交流操 作品と 同一	同 左	同 左	—	AC 3・1・3-2 (SL-11~35) AC 3・1・4-2 (SL-65~200) AC 3・1・5-3 (SL-300, 600)		・コイルの消費電力の 節約 ・電磁石のうなりなし ・回路の記憶可能 ・非常時に手動による 動作 可能
M S E シ リ ー ズ	交 流 操 作	S-E 35	MSO-E 35	—	—	11	11	—	—	48	25	48	—	AC 3・1・1	・定格表示は箱入り、 開放の二重定格表示 ・小形軽量, 安価 ・その他 S-□ 形とほ ぼ同様の特長をもつ
		S-E 50	MSO-E 50			15	19			65	40	65		AC 3・1・1	
		S-E 65	MSO-E 65			19	30			80	65	80		AC 3・1・1	
		S-E 80	MSO-E 80			22	37			93	80	100		AC 3・1・1	
		S-E 100	MSO-E 100			30	55			125	110	125		AC 3・1・1	
		S-E 125	MSO-E 125			37	75			150	150	150		AC 3・1・1	
		S-E 180	MSO-E 180			55	100			220	200	220		AC 3・1・1	
		S-E 220	MSO-E 220			65	110			260	220	260		AC 3・1・1	
S-E 400	MSO-E 400	100	200	400	400	450	AC 3・1・1-2								
M S H シ リ ー ズ	交 流 操 作	S-H 35	MSO-H 35	7.5	11	—	—	35	25	—	—	35	AC 4, AC 3・1・1	・耐溶着性が抜群	
		S-H 65	MSO-H 65	15	30			65	60			65	AC 4, AC 3・1・1		
		S-H 100	MSO-H 100	25	50			100	100			100	AC 4, AC 3・1・1		
		S-H 150	MSO-H 150	37	75			150	150			150	AC 4, AC 3・1・1		



番号	内 容
1	形 名
2	RED定格(標準箱入りまたはインテグレーションを含む重負荷用)
3	GREEN定格(開放形使用, かご形モートル標準業務用)
4	定格電圧
5	定格容量(モートル出力)
6	定格電流
7	適用規格(日本) AC4 121 101 1 1200回/時 1-0 500万回 100万回 AC3 101 81 1 500万回 50万回
8	適用規格(外国) AC3 101 81
9	定格(連続)通電電流

図 2.1 S-50 形 電磁接触器の名板  
Name plate of type S-50 contactors.

MS-Sシリーズの姉妹品で, 特に経済性を重視した製品となっており, 用途によってはSシリーズに比べ大幅な経済性が期待できるものである。また, MS-Hシリーズは, MS-Sシリーズよりもさらに高信頼性, 特に短絡事故時の保護協調に対する信頼性を追求した製品で, 特異な存在である。このようにMSシリーズ電磁開閉器・接触器の中には, 三つのシリーズがあり, はん(汎)用の用途においては, あらゆる条件に合致する適切な機種選択が可能となっており, 多様化するニーズに対応できるよう努めている。

## 2.2 二次的な性能, 機能の検討

### 2.2.1 短絡事故時における保護協調

電磁開閉器と配線用しゃ断器の組合せは, 一般の分岐回路において多数使用されているが, この両者間の保護協調の問題, 特に短絡事故が発生した場合の電磁開閉器の挙動, すなわち信頼性は, 技術的に非常に困難な点があり, 今後の検討課題として残されている。IEC規格“Direct-on-line Starter”292-1Aでは, この短絡時の保護協調を電磁開閉器の挙動により, 表2.2に示すように, 三つの段階に区分して表現することになっている。一つの配線用しゃ断器と一

表 2.2 保護協調の形式  
Type of coordination.

保護協調の形式	許容される損傷（スタータについて）
a	いかなる損傷も許容，必要に応じ部品の交換または全体の取換えを行なう
b	過負荷継電器の特性のパーマネントセットは許容その他については損傷のないこと
c	いかなる損傷もないこと

注）接点の軽度の溶着は保護協調のすべての形式について許容される

表 2.3 TH 形 サーマリレーの短絡電流通過時の許容  $I^2t$   
Permissible  $I^2t$  of the thermal relays, series TH in short circuit.

形 名	再使用可能な許容 $I^2t$ ( $A^2s$ )	ヒータ溶断 ( $A^2s$ )	飽和リアクトル付き とした場合のヒータ 溶断 $I^2t$ ( $A^2s$ )
TH-18	120~300 $I_{TH}^2$	200~540 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$
TH-35	150~300 $I_{TH}^2$	250~570 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$ 以上
TH-50	200~350 $I_{TH}^2$	300~600 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$ 以上
TH-100	250~400 $I_{TH}^2$	400~600 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$ 以上
TH-150 TH-300	TH-150 および TH-300 は専用の CT と組合せ使用されるが大電流域 では CT が飽和して，ヒータの溶断は発生しないと考えてよい。		

注） $I_{TH}$ ：サーマルリレーヒータ称呼電流

つの電磁開閉器を箱に組込んだだけの簡単なコンビネーションスタータにおいては，事故が他に普及することはほとんどないため，これらの内容はあまり問題とならないが，コントロールセンタのように，多数のコンビネーションスタータのユニットが，一つの盤の内に組込まれた場合には，この問題は非常に重要である。

UL および CSA 規格においては，一般の電磁開閉器について，IEC 規格の形式 b に相当する保護協調を要求している。これは事故の二次的な波及の防止，すなわち負荷の末端で発生した短絡事故が，サーマルリレーのヒータの溶断により，選択しゃ断方式の回路か，またはカスケードしゃ断の方式でも，主幹しゃ断器と分岐しゃ断器の容量に相当の差がある回路で，通常なら事故の発生した分岐回路のしゃ断のみで終わるはずのものが，サーマルリレー部分での大きな短絡事故となり，主幹しゃ断器を開路させて，事故の影響を広範囲に与える事態の発生を防止する意図をもつものと思われる。当社の電磁開閉器は，サーマルリレーのヒータの過電流強度が，配線用しゃ断器との協調を考えて大きく設計され，上述の事故防止の配慮ながされている。当社の TH 形 サーマリレーヒータについて過電流強度を表 2.3 に示す。TH 形 サーマリレーでも，小定格のヒータについては，弱点があり，必要に応じてヒータ溶断防止のために，飽和リアクトルを取付けるのが望ましい場合がある。

短絡事故の二次的波及については，もう一つのケースが考えられる。すなわち電磁接触器は定格電流の 20~40 倍の電流が流れた場合，接点間に発生する反発力により接点開離が発生する。したがって短絡事故の場合，この接点開離により，大量のアークが発生し，アークショートに発展する場合である。この場合，アークの噴出を防止すれば，当然事故の二次的波及は防止されるわけで，最近の米国の電磁接触器を見ると，接点部分を完全に密封し，この点を考慮した構造のものが多くなってきており，構造的に一つの傾向を示している。

当社の MS シリーズ電磁開閉器もこの点を配慮した設計で，防じん構造とすると同時にアークの噴出を極少に押え安全性を高めている。図 2.2 にその構造の一例を示した。

次に，上述した保護協調の形式について，さらに詳述する。MS

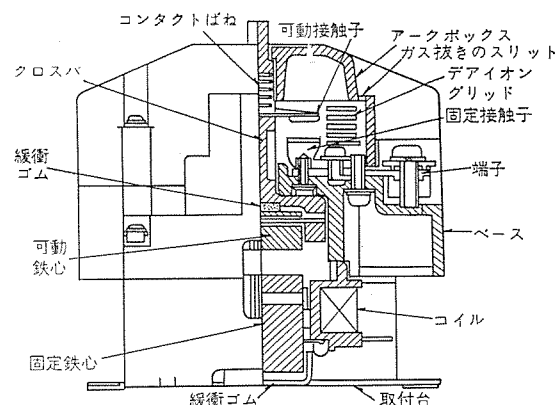


図 2.2 S-100 形 電磁接触器  
Type S-100 contactor.

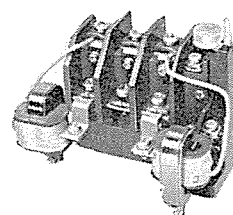


図 2.3 TH-□SR 形 サーマリレー（飽和リアクトル付き）  
Type TH-□-SR thermal overload relay with saturating reactors.

表 2.4 電磁開閉器の保護協調の形式と当社製品の適応  
Type of coordination on magnetic starter and our available products.

保護協調の形式	IEC規格の 応 形 形式	実現可能なコンビネーション
電磁開閉器のあらゆる破損状況を 許容する場合	a	(すべての組合せで可能)
接点溶着とサーマルリレーのパーマネントセットのみを許容する場合	b	NF-□ <sup>(1)</sup> +MSO-□-(SR) NFU-□ <sup>(2)</sup> +MSO-□
接点溶着のみを許容する場合	c	NF-□+MSO-□-SR <sup>(3)</sup>
定格電流の 100 倍までは全く損傷がなく，それ以上の電流については接点溶着のみを許容する場合	(c)	NF-□-R <sup>(1)</sup> +MSO-H□ <sup>(4)</sup> -SR
所定の全電流域について，全く損傷を許容しない場合	(c)	NFU-□+MSO-H□-(SR) NS-□ <sup>(5)</sup> +MSO-H□-(SR)

注

- (1)…当社標準配線用しゃ断器 (2)…当社永久ヒューズ付き配線用しゃ断器  
(3)…当社飽和リアクトル付き電磁開閉器 (4)…当社限流式配線用しゃ断器  
(5)…当社 H シリーズ電磁開閉器 (6)…当社永久ヒューズ付き負荷開閉器

シリーズ電磁開閉器は標準品（飽和リアクトル付きを含む）においても，IEC 規格の保護協調の形式 b または c は，すでに記載した内容に示すとおり，比較的容易に実現が可能である。しかしさらに一段上の保護協調，すなわち電磁開閉器の接点の溶着をも完全に防止することは，通常の電磁開閉器では実現が非常に困難であるが，このような高度の保護協調も今後必要性が増してくると思われる。当社ではこの問題を解決するため，特殊の機構を組み込み，耐溶着性を大幅に向上させた H シリーズ電磁開閉器を製品化している。H シリーズの詳細については，本号において別途紹介されているので割愛するが，短絡事故時にも，電磁開閉器にいかなる損傷も発生しない完全な保護協調も実現可能としている。

分岐回路の保護協調の形式は，分岐回路のシステムとしての信頼性



表 2.5 電磁開閉器の標準環境条件  
Standard environmental condition of magnetic starter.

項 目	内 容
使用周囲温度範囲	-5°C~40°C (1日の平均が30°C以下、年間の平均が25°C以下)
相 対 湿 度	70%以下
標 高	1000 m以下
ふ ん 囲 気	じんあい・煙・腐食性ガス・可燃性ガス・蒸気・塩分などがあまり含まれないこと

表 2.6 船用規格の環境試験内容  
Environmental test items of the standards for shipping.

試 験 項 目	ロイド規格の内容	BV 規格の内容
振 動 試 験	共振試験：1~100 Hzで共振確認 耐久試験：共振あるときは共振周波数で各2時間、共振ないときは30 Hz 0.25 mmで各2時間	共振試験：1~25 Hzで共振のないこと 耐久試験：25 Hz 2 mmで各2時間
高温乾燥試験	55°C RH 5~10%中に6時間以上放置して、動作確認	70°C RH 45~75%中に48時間以上放置して、動作に支障のないこと
高温湿度試験	20°C→40°C RH 90~100% (12時間)→20°Cこのサイクルを2サイクル繰返し、2サイクル目の終りに動作・特性を確認	20°C→55°C RH 85%以上 (16時間)→20°Cこのサイクルを2サイクル繰返し、動作・特性は規格値内にあること
塩水噴霧試験	(特別試験として規定)	塩水濃度 20% (PH 6.5~7.2), A. T. 35°C, 噴霧時間 48時間, 噴霧量 0.5~3 cm <sup>3</sup> /時テスト後, 動作支障なく、有害なサビがないこと

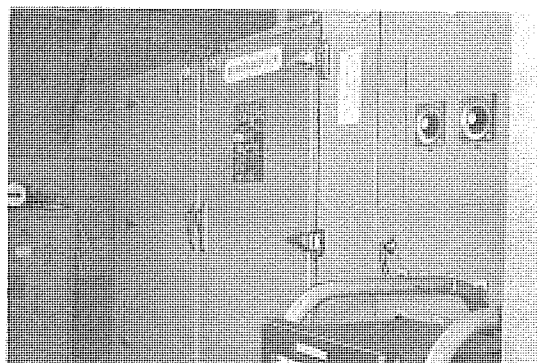


図 2.4 環境試験装置外観  
Exterior view of environmental test plant.

表 2.7 電磁開閉器の環境試験  
Environmental tests of our magnetic starters.

試 験 項 目	試 験 内 容	判 定
耐 寒 試 験	標準仕様品：周囲温度 -30°C {動作特性試験 (MS-Sシリーズ) 寿命試験 (約1ヵ月)} 耐寒仕様品：周囲温度 -40°C {動作特性試験 (MS-Sシリーズ) 寿命試験}	支障なし 支障なし 支障なし 支障なし
高温多湿寿命試験	標準仕様品 (MS-Sシリーズ) 寿命試験：周囲温度 40°C, RH 90~100%, 開閉ひん度 1,200回/時 開閉回数 500 万回, 期間約 6ヶ月 開閉中は主回路に AC 600 V 3φ 60 Hz を印加	・試験中の絶縁破壊ない ・動作特性異常なし ・試験後の耐電圧 2,500 V 1分間 OK
粉 じ ん 吹 付 試 験	標準仕様品 (MS-Sシリーズ) 条 件 → [周囲温度 40°C RH 90~100% 22時間放置] → [耐電圧測定] → [粉じん吹付 1時間] 10 サイクル実施 (粉じん成分…トノコ 61.5%, 木粉 31%, NaCl 0.5%, MgCl <sub>2</sub> 1%)	各サイクルとも耐電圧 2,500 V 1分間 OK
加 熱 乾 燥 試 験	標準仕様品 [周囲温度 120°C RH 15%以下 16時間放置] ↔ [常温常湿 30 サイクル 8時間放置]	・動作異常なし
吸 湿 試 験	標準仕様品 [周囲温度 50°C RH 95~100% 16時間放置] ↔ [常温常湿 30 サイクル 8時間放置]	・動作異常なし ・試験後の耐電圧 2,500 V 1分間 OK

と解釈でき、その信頼性は必要度と経済性との関連において当然選択されるものであるが、Hシリーズの製品化は、保護協調の形式の選択範囲を広げた点において、電磁開閉器の技術的な進歩と解釈される。なお参考のために、保護協調の形式と対応可能な当社品の関係を表 2.4 に記載した。

## 2.2.2 耐環境性

熱帯地方へ輸出される装置や、熱帯地方を通過する船舶、あるいは寒冷地へ輸出される装置に使用される電磁開閉器・接触器は、高温多湿条件や極寒条件など過酷な環境下におかれる場合がしばしばある。また最近このような条件に耐える電磁開閉器・接触器の要求が増加する傾向にある。たとえばソ連等へ輸出される装置においては、保管条件で -40°C 程度の耐寒性が要求される。国内においても、冷凍自動倉庫などの用途にこの程度の耐寒性の要求がある。また船用については、最近ロイド規格 (イギリス)、BV 規格 (フランス) において表 2.6 に示すような、耐環境性についての試験項目が追加され、これらのきびしい条件に耐えることが要求されている。電磁開閉器の標準使用条件は、表 2.5 に示すとおりであるが、より過酷な条件における耐環境性は、今後明らかにしてゆく必要のある問題と思われる。当社においては、この点を従来より重視し、MS シリーズ電磁開閉器は耐環境性を十分に考慮した設計としてきており、国内で最初にロイド規格の認定取得にも成功している。BV 規格については、各種試験項目について確認試験を実施し、性能的には満足な結果を得ており、近く認定取得の見込みである。また社内的には表 2.7 に示すような、特殊な環境条件での試験を繰返し実施して性能を確認してきて、耐環境性については、かなりの範囲まで、標準仕様の MS シリーズ電磁開閉器が適用可能であることが判明した。

ただ耐寒性については、-30°C 程度までは標準仕様品が使用可能であるが、-40°C 程度の適用は、耐寒性を向上させた製品として、S-□Q 形を開発し、これに対応している。

また最近、原子力発電プラントに使用される電磁開閉器や電動バルブ等、地震その他の大きな振動に対しても、十分性能を発揮できるものの要求も出てきているが、これらの用途に対し、当社では、10~55 Hz で 4 G の振動に耐える電磁開閉器を開発した。

## 2.2.3 安全性

安全性の追求は、ある意味では冗長を追加することとなる場合がある。しかしながら、場合によっては冗長を必要とし、可逆式電磁

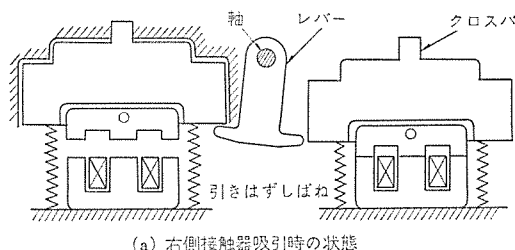
表 2.8 可逆式電磁開閉器の短絡事故発生要因  
(機械的インタロックがない場合)

Factors to short circuit failure on reversing magnetic starters.

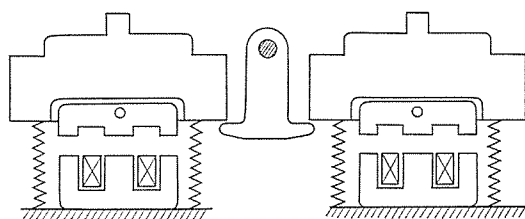
要 因	内 容
振 動 ・ 衝 撃	・ 地震による同時投入 ・ クレーン等の誤操作による衝突時の衝撃による同時投入
事故による二次的な誤動作	・ 片側の接触器が接点溶着的に他方を操作 ・ 操作回路の絶縁劣化による同時投入
誤 操 作	・ 正逆押しボタンの同時操作による同時投入 ・ 操作回路の誤配線による同時投入

表 2.9 機械的インタロックに要求される機能  
Functions required for the mechanical interlock.

初 期 状 態	要 求 機 能
片側接触器投入状態	・ 他方の接触器を励磁しても、主接点が投入されないこと ・ 他方の接触器を励磁しても、インタロックが破損しないこと
両 接 触 器 開 放 状 態	・ 両接触器を同時に励磁しても、主接点が同時投入されないこと ・ 両接触器を同時に励磁しても、接触器がどちらも投入されない状態が長時間継続しないこと
切 換 動 作 時	・ 電気的インタロックをそう入して、正逆切換動作を行なった場合セリによる動作不良を発生しないこと



(a) 右側接触器吸引時の状態



(b) 両側接触器とも開路時の状態

図 2.5(a) 機械的インタロックの動作説明  
Operating mechanism of mechanical interlock.

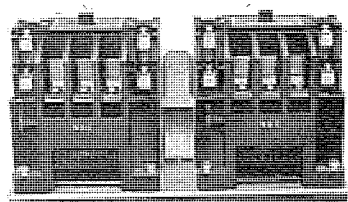


図 2.5(b) S-2×35 形 可逆式電磁接触器  
Type S-2×35 reversing contactor.

開閉器の機械的インタロックは、使用条件からこの冗長を要求するケースといえる。周知のとおり、可逆式電磁開閉器は正逆の両接触器が同時に投入されれば、短絡事故となる。これを防止するために、両接触器は相互に電気的インタロックが取られているが、表 2.8 に示すように、これだけでは不完全で機械的インタロックの助けを借りなければならない場合が、相当多数存在している。機械的インタロックについての海外製品の状況を見ると、米国製品はすべてこれを採用しており、欧州でも英国製品は取りつけているものも多く、また最近では、西独のクロックナ ムー社も機械的インタロックを取りつけてきているなど、全般的に機械的インタロックの必要性を認めて、これを取りつける傾向となってきている。国内においても、この傾向は同様で、標準仕様として、あるいは特殊仕様として取りつける製品が多い。当社製品については、一貫した思想で、標準仕様として機械的インタロックを取りつけてきている。

機械的インタロックは取りつける以上完全なものである必要がある。その必要機能は、表 2.9 に示すとおりであるが、特に注意すべき点は、機械的インタロックを取りつけたことにより、セリなどによる動作不良を発生させないことであろう。当社においては、十種類以上に及ぶ各種の構造の機械的インタロックについて、シビアな試験を繰返した結果誕生した形状が、図 2.5 に示す現行品で、今までの多数の使用実績が、その信頼性を証明している。

### 3. 電磁開閉器・接触器の海外規格への適応

#### 3.1 電磁開閉器・接触器の各国規格

電磁開閉器・接触器についての規格は、各国とも比較的古くから制定されているものが多く、それぞれに異なった内容をもっている。

しかしながら、国際規格として、IEC 規格が次第に整備され、電磁開閉器・接触器についても、IEC 158-1 “Contactor”, IEC 292-1 “Direct-on-line Starter” が発行されるに至り、各国の規格の内容も、米国系の規格を除き、次第にこれに集約される傾向にある。特に英国の BS 規格のように、IEC 規格の内容を徹底的にとり入れたものも出現してきている。日本においても電磁接触器の JEM 規格 (JEM 1038) が最近 IEC 規格の思想を大幅にとり入れ、改定が行なわれた。JIS 規格は、現在未改定であるが、近い将来 JEM に合せて改定されるものと思われる。現在各国の規格について、主要項目の比較を表 3.1 に記載した。表より明らかであるが、JEM 規格が改定された結果、JEM 規格と欧州系の規格は、閉路しゃ断容量と電気的寿命試験の責務の、電磁接触器の性能を決める主要な 2 項目については、ほとんど同一となってきた。しかし米国系の規格は、明らかに異質で、欧州系の規格 (日本も含め) のように、性能に関する項目、すなわち閉路しゃ断容量・開閉ひん繁度・寿命等については内容が乏しく、安全規格的な面が強く押し出されている。さらに表 3.1 で気づく点は端子の温度上昇限度についての各国規格の相異である。この点については、日本は世界中で最もきびしい規定となっており、これが一つの原因となっており、箱入定格・開放定格といった変則的な二重定格表示が出現してきた。電磁開閉器・接触器の小形化の傾向、世界の規格の情勢ならびに電線の絶縁材料の性能向上などを考慮すると、将来この限界の引き上げが行なわれることが予想される。またサーマルリレーの動作特性については、欧州系と米国系で、電流目盛が RC (定格電流) 表示と TC (トリップ電流) 表示という根本的な相異はあるが、特性自身についてはいずれも大差がないことがわかる。なお JEM 規格の過負荷領域の特性は、将

表 3.1 電磁開閉器の各国規格比較一覧  
Comparison table of standards for magnetic starters in various countries.

規 格		JEM (日 本)			JIS (日 本)			IEC			BS (イギリス)			VDE (ドイツ)			NEMA (アメリカ)			UL (アメリカ)			
項 目	用 途 例	級別	閉路	しゃ断	級別	閉路	しゃ断	級別	閉路	しゃ断	級別	閉路	しゃ断	級別	閉路	しゃ断	級別	閉路	しゃ断	級別	閉路	しゃ断	
閉路および しゃ断電流 容量	始動抵抗器の短絡	AC0	4Ie 1.1Ee	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	抵抗負荷	AC1	1.5Ie 1.1Ee	1.5Ie 1.1Ee	C	2Ie Ee	2Ie Ee	AC1	1.5Ie 1.1Ee	1.5Ie 1.1Ee	AC1	1.5Ie 1.1Ee	1.5Ie 1.1Ee	AC1	1.5Ie 1.1Ee	1.5Ie 1.1Ee	—	—	—	—	—	—	
	巻線形モータの始動 運転	AC2B	4Ie 1.1Ee	4Ie 1.1Ee	B	5Ie Ee	5Ie Ee	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	巻線形モータの始動 逆相制動	AC2	4Ie 1.1Ee	4Ie 1.1Ee	—	—	—	AC2	4Ie 1.1Ee	4Ie 1.1Ee	AC2	4Ie 1.1Ee	4Ie 1.1Ee	AC2	4Ie 1.1Ee	4Ie 1.1Ee	—	—	—	—	—	—	
	かご形モータの始動 運転	AC3	10Ie 1.1Ee	8Ie 1.1Ee	A	10Ie Ee	10Ie Ee	AC3	10Ie 8Ie (Ie≤100A) 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	8Ie 6Ie (Ie>100A) 1.1Ee	AC3	10Ie 8Ie (Ie≤100A) 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	8Ie 6Ie (Ie>100A) 1.1Ee	AC3	10Ie 8Ie (Ie≤100A) 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	8Ie 6Ie (Ie>100A) 1.1Ee	A	10Ie	10Ie	—	6Ie	6Ie	
	かご形モータの寸動、 逆相制動	AC4	12Ie 1.1Ee	10Ie 1.1Ee	—	—	—	AC4	12Ie (Ie≤100A) 10Ie 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	10Ie (Ie≤100A) 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	AC4	12Ie (Ie≤100A) 10Ie 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	10Ie (Ie≤100A) 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	AC4	12Ie (Ie≤100A) 10Ie 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	10Ie (Ie≤100A) 8Ie (Ie>100A) 1.1Ee	—	—	—	—	—	—	
開 閉 ひ ん 繁 度 (分-回/時)		1-1,200 2-600 3-300 4-150 5-30 6-6			同 左			10-1,200 3-300 1-120 0.3-30 0.1-12 0.03-3			Ⅳ-1,200 Ⅲ-600 Ⅱ-150 Ⅰ-30 0-6			E1-3,000 D3-1,500 D1-500 C3-150 C1-50 B3-30 B1-20			—			—			
寿 命 (種 機械的 電氣的 方 回 方 回)		0-1,000-100 1-500-50 2-250-25 3-100-10 4-25-5 5-5-1			同 左			— 1,000-50 300-15 100-5 30-1.5 10-0.5			Ⅳ-1,000-50 Ⅲ-500-25 Ⅱ-120-6 Ⅰ-25-1.25 0-5-0.25			E1-1,000-50 D3-300-15 D1-100-5 C3-30-1.5 C1-10-0.5 B3-3-0.15 B1-1-0.05			—			—			
電 氣 的 寿 命 試 験 の 責 務 (級別は閉路しゃ断電流) (容量と対応)		級 別 (JEM)	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	閉 路	しゃ断	
		AC0	2.5Ie Ee 0.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		AC1	Ie Ee 0.95	Ie Ee 0.95	Ie Ee 0.95	Ie Ee 0.95	Ie Ee 0.95	Ie Ee 0.95	—	—	Ie Ee 0.95	Ie Ee 0.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		AC2B	2.5Ie Ee 0.65	Ie 0.4Ee 0.65	2Ie Ee 0.35	Ie Ee 0.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		AC2	2.5Ie Ee 0.65	2.5Ie Ee 0.65	—	—	2.5Ie Ee 0.65	2.5Ie Ee 0.65	—	—	2.5Ie Ee 0.65	Ie 0.4Ee 0.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		AC3	6Ie Ee 0.35	Ie 0.17Ee 0.35	5Ie Ee 0.35	Ie Ee 0.65	Ie≤17A 6Ie Ee 0.65 Ie>17A 6Ie Ee 0.35		Ie 0.17Ee 0.65 Ie 0.17Ee 0.35	6Ie Ee 0.35	Ie 0.17Ee 0.35	6Ie Ee 0.35	Ie 0.17Ee 0.35	—	—	—	—	2Ie Ee 0.45	2Ie Ee 0.45	—	—		
温 度 上 昇 限 度 (deg C)		周 囲 温 度	40		40		40		40		40		35		40		40		40		40		
			—		75		—		—		—		—		65		65		65				
			コイル (抵抗法)	A 種	85		85		85		75		75		85		85		85		85		
				E 種	100		100		100		90		90		—		—		—		—		
				B 種	110		110		110		100		100		105		105		105		105		
端 子			50		50		70		70		85		65		50		50		50		50		
サーマルリ レーの特性		過 負 荷 特 性		100% 不動作 125% 動作		100% 不動作 125% 動作		105% 不動作 120% 動作		製造者の保証値 による		105% 不動作 120% 動作		—		100% 動作		100% 動作		100% 動作		100% 動作	
		中 電 流 域 特 性		200% 4分以内		200% 4分以内		—				150% 2分以内		—		200% 8分以内		200% 8分以内		200% 8分以内			
		拘 束 特 性		600% 2~30秒		500% 45秒以内		—				600% 2秒以上		—		600% 30秒以内		600% 30秒以内		600% 30秒以内			
		電 流 目 盛		RC		RC(TC)		RC(TC)				RC		—		TC		TC		TC			
		基 準 周 囲 温 度		40℃		40℃		20℃						20℃		—		40℃		40℃		40℃	

表 3.2 MSシリーズ電磁開閉器の海外規格への適応  
Applicability of MS series starters to foreign standards.

規格名	形 名	MSO形 電磁開閉器	S形 電磁接触器	TH形 サーマルリレー	SD形 電磁接触器	SR形 電磁継電器	認 定 番 号
IEC		◎	◎	◎	◎	◎	—
BS (英)		◎	◎	◎	◎	◎	—
GOST (ソ連)		◎	◎	◎	◎	◎	—
VDE (独)		◎	◎	◎	◎	◎	—
NEMA (米)		◎	◎	◎	◎	◎	—
UL* (米)		○	○	○	△	○ SR-5	E 46999 E 47139
CSA* (加)		○	○	○	△	○	LR-22452
CEE*		△	△	△	△	△	—
NEMKO* (ノルウェー)		◎	◎	◎	△	◎	M 42021 ほか
SEV* (スイス)		△	△	△	△	△	—
AS (豪州)		◎	◎	◎	◎	◎	—
船用規格	ロイド* (英)	◎	◎	◎	◎	◎	KOB 204503 KOB 204504
	BV* (仏)	△	△	△	△	△	—
	NK* (日本)	◎	◎	◎	◎	◎	NKE 8431 ほか

注) ◎…標準仕様またはそれに近い形で適用可能なものおよび認定取得済のもの  
○…特殊仕様で認定取得済のもの  
△…認定は取得していないが仕様のには適合可能なもの  
\*印の規格は認定制度が設けられているものを示す

米 IEC 相当へ移行することが予定されている。

### 3.2 各国規格と当社製品の対応

電磁開閉器・接触器の規格には、正確には二つの種類が存在する。一つは、特性・性能面を主体に規定した工業規格、もう一つは安全面を主体に規定した安全規格である。VDE (ドイツ) 規格のように、両者を兼ねた形式の規格もあるが、一般的には各国において、別々の規格となっていることが多い。後者は一般に試験所をもち、認定制度を設けている。

日本の電磁開閉器・接触器の海外規格への適応については、JEM規格が、国際的に見てシビアなほうに属し、したがって米国のように仕様の異質なものは別として、日本の規格に合致したものであれば、だいたい他の海外規格にも適合するといえるようになってきた。米国系の規格でも、工業規格 (NEMA, CEMA) については、絶縁距離の寸法が相当大きい点とサーマルリレーの電流目盛の相異があるが、これを満足さえすれば、他の項目は日本の規格でカバーすることが可能である。ただ安全規格として有名な UL 規格 (米国)、CSA 規格 (カナダ) については、短絡試験・端子強度試験など特異な試験や材料面でのきびしい規制があり、日本の製品では特殊仕様のものでなければ規格を満足することはむずかしい。

欧州においても各国に、オランダの KEMA、ノルウェーの NEMKO、スウェーデンの SEMKO、デンマークの DEMKO、スイスの SEV 等、それぞれ固有の安全規格を有し、安全面ではかなりシビアな規定をしているが、ヨーロッパ統一安全規格として、CEE 規格が設けられ、統一化の動きが見られる。この CEE 規格は次第に欧州各国で認められる傾向にあり、各国の安全規格とかなりの内容が近似化してきている。

当社の MS シリーズ電磁開閉器の各国規格への適合状況は、MS シリーズが、日本の国内規格はもちろん、絶縁距離では米国系の規格に、また性能面では IEC 規格にも準拠して設計され、かつ性能表示した製品であるので、工業規格についてはほとんど世界中どの規格でも適合可能である。また安全規格については、特殊仕様であ

MAGNETIC CONTACTOR TYPE S-A35	
IEC 158-1 JEM1038 VDE 0660 (N) AC I=I <sub>th</sub> =40A 500V~ AC3	BS 775 AC3 220-240 380 Vac 12.5 15 HP 415-440 500-550 Vac 15 15 HP Rated Current 35A
200-220 380-440 500 V~ 9 11 11 kW 35 23 18 A	角 穴
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION JAPAN	

図 3.1 S-A 35 形 電磁接触器の名板  
Name plate of type S-A 35 contactor.

るが、UL 規格・CSA 規格を取得済であるほか、最近ノルウェーの NEMKO 規格にも、名板のみを変更した標準品とほとんど変わらない仕様のもので合格した。図 3.1 にその名板の一例を示す。欧州の安全規格は上述したように、CEE 規格に統一化の動きがあり、NEMKO に合格したことは、他の欧州の安全規格についても、仕様の的には合致するものと思われる。当社 MS シリーズ電磁開閉器の主要各国規格への適合性を表 3.2 に示した。なおこの表には、認定制度をもつ船用規格への適合状況も参考のため合わせて記載した。

### 4. む す び

電磁開閉器・接触器の最近の技術動向として、その二次的な性能機能の検討と、海外規格への適合状況について、MS シリーズ電磁開閉器を中心に紹介してきた。電磁開閉器は、需要家各位のニーズに合わせて、日進月歩してきており、今後も進歩するものと思われる。われわれとしても、電磁開閉器の開発・改善に、需要家各位のご要望に沿うべくいっそうの努力を重ねたいと考える。各位のご助力をお願いしたい。

# 制御用継電器の適用と信頼性

飯田 博\*・三浦 守生\*・長尾 良章\*

## Application and Reliability of Control Relays

Nagoya Works

Hiroshi Iida・Morio Miura・Yoshiaki Nagao

With the upward trend of labor saving and rationalization of equipment in the industrial world, the demand of control relays has rapidly increased. Requirement has also become vigorous for multifariousness and high reliability of the control equipment. On the other hand, as the types and uses of control relays become diversified, the selection and application get complicated. However, the selection and application are important factors to govern the successful function of the device and the improvement of reliability. This article outlines the control relay, particularly focusing on the description of electro-magnetic relays and timers as the essential apparatus to reach the goal. It is hoped that the information becomes reference to those who are desirous of improving combined reliability of control equipment.

### 1. ま え が き

制御用継電器は産業界の合理化・省力化、および設備の複雑化・高度化にともない機種・用途面ともに多様化しており、その選定・適用が制御装置の総合信頼性・コストをも決定する重要な要因となっている。したがって多様化した制御用継電器の中から、制御目的に最適な制御用継電器を選定するのは、かなり複雑なことであるが、これは制御用継電器の標準化と適用基準の明確化により容易となる。当社では制御装置の信頼性と経済性を高めるため、制御用電磁継電器の標準化と適用を明確にし、さらに限時継電器の標準化を実施したので、これらの信頼性と適用について紹介し、需要家各位の参考に供したい。

### 2. 制御用継電器の動向

制御用継電器は需要の拡大および設備の複雑化・高度化にともない、機種および用途面での多様化が進んでいる。制御用継電器の種類としては、表 2.1 に示すように機能面だけでなく相当種類が多い。この中でも中心的存在の制御用電磁継電器および限時継電器につき、その動向について考察してみる。制御用電磁継電器には大別して工業制御用として開発されたもの（コンタクトタイプ）と、民生用・通信用に開発されたもの（ヒンジタイプ、リフトオフタイプ）がある。制御装置の小形化・半導体化の進展により、ヒンジタイプまたはリフトオフタイプの電磁継電器が、小形およびプリント板取付けができる特長を生かし、制御用電磁継電器として多数使用されるようになってきた。しかし民生用・通信用に設計された電磁継電器は、使用条件とくに、

環境条件・負荷条件などが異なるため、適用にあたっては十分な考慮が必要である。このような状況から、それぞれのタイプの電磁継電器の特長を生かし、より用途に適合した制御用電磁継電器の開発および適用のいっそうの拡大が進められるものと考えられる。

限時継電器は、従来、制御用電磁継電器と外観・構造・取付け・配線方式などが異なった設計思想であったものが、制御用電磁継電器と同じ取付け・配線ができるものが増加し、制御装置を製作する場合、同一形式の制御用継電器でまとめることができ、需要家に好評である。この傾向は今後も進展し、制御用電磁継電器と同一形式の限時継電器、およびその他特殊用途の継電器の系列化が進められるものと考えられる。また限時継電器においては、時限精度の向上、時限設定の容易化、長寿命化が今後の課題となる。

制御用継電器は、制御装置の製造における省力化・合理化の要求から、その取付方法・配線方法の面において変革しつつある。取付け方法においては、ねじ取付のほかに、プラグイン取付け・レール取付け・プリント板取付けの普及、配線方法においては、ねじ配線のほかに、ファストン配線・プリント板配線・ワイヤラッピング配線の普及が進み、部品個々の機能をさらに進めて、複合機能をもつ制御用継電器が出現するものと考えられる。

制御装置の複雑化・高度化は、必然的に使用される制御用継電器の個数が多くなり、個々の制御用継電器の高信頼化・小形化が必要とされるとともに、制御用継電器の適用技術の確立が必要とされる。

### 3. 制御用電磁継電器の適用と信頼性

#### 3.1 制御用電磁継電器シリーズ

制御用電磁継電器としては、電磁接触器形（コンタクトタイプ）と支点形（ヒンジタイプ）継電器が最も一般的である。電磁接触器形継電器として SR シリーズ電磁継電器があり、開閉能力が大きく、長寿命・高耐電圧、ころがり接触と高い接触圧力による高信頼性・構造堅固で取扱い容易と多くの特長を有し、多数使用されている。

支点形継電器は民生用または通信用分野から制御用分野に使用され、制御装置の小形化・半導体化の傾向により急速に需要を増加し、制御用電磁継電器としての地位を確立した。このような機能および用途面の多様化に対処し、昭和 45 年に新形 RP シリーズを、昭和 47 年には RD シリーズを発表し、当社、制御用電磁継電器の機種整備と拡充を計った。当社制御用電磁継電器シリーズを図 3.1 および表

表 2.1 制御用継電器の種類  
Kinds of control relays.

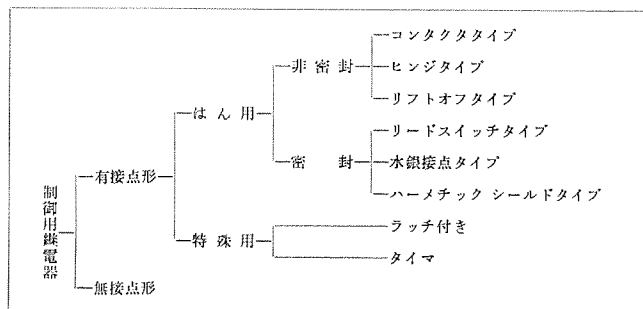


表 3.1 制御用電磁継電器 標準系列の仕様  
Specifications of magnetic control relays.

系 列	形 名	定 格 電 流 A				最高定格電圧	最低使用電圧・電流 電圧(V) ／電流(mA)	寿 命		耐電圧(1分間)	用 途
		接点数	交流コイル 110 V /220 V	直流コイル 負 荷 110 V	通電電流			機 械 的 (万回)	閉路／しゃ断 AC 110 V		
コン タ ク タ イ プ (A)	S R-4, 5, 8, 10	4 P	6/5	2	10	AC 550 V	24/10	1,000	30/3 A (L) 100 万回	AC 2,500 V	Mg・Sw リレー バルブ開閉用 シーケンス用
	SRD-4, 5, 8, 10	10 P	1/0.5	1	5	DC 220 V	6/5		10/1 A (L) 100 万回		
	S R-4 S, 5 S, 8 S, 10 S										
	SRD-4 S, 5 S, 8 S, 10 S										
小 形 パ ワ ー (C)	R P-200 P	2 T	3/2	0.2	5	AC 220 V	12/10	1,000	10/1 A (L) 100 万回 7.5/0.75 A (L) 100 万回	AC 1,500 V	Mg・Sw リレー バルブ開閉用 シーケンス用
	R P-300 P	3 T	2/1.5	0.15							
	R P-200 SP	2 T	2/1.5	0.15	3	DC 220 V	6/5		5/0.5 A (L) 100 万回		
	R P-300 SP	3 T	1.5/1	0.1							
ミ ニ チ ュ ー (D)	R D-2 P	2 T	1.5/1	0.2	5	AC 220 V	12/10	5,000	3/3 A (R) 10 万回	AC 1,500 V	小形 Mg・Sw リレー開閉用 シーケンス用 プリント基板用
	R D-4 P	4 T	1/—	0.1	3						
	R D-2 SP	2 T	1/0.6	0.1	3	DC 110 V	6/5		2/2 A (R) 10 万回		
	R D-4 SP	4 T	0.6/—	0.1	2						

(備考) 1. 直流コイル負荷の時定数 ( $L/R$ ) は 40 ms 以下。  
2. 電氣的寿命の欄の (L) はコイル負荷 (R) は抵抗負荷を示す。

表 3.2 JEM 1230 規格による電氣的寿命試験条件  
Test conditions of electrical life in JEM 1230-1969.

級 別	試 験 電 流				用 途
	閉 路		し ゃ 断		
	電 流	力率または時定数 ( $L/R$ )	電 流	力率または時定数 ( $L/R$ )	
A <sub>1</sub>	10 $I_m$	0.6~0.7 lag	$I_m$	0.3~0.4 lag	交流電磁接觸器操作
A <sub>2</sub>	$I_m$	0.9~1.0 lag	$I_m$	0.9~1.0 lag	交流抵抗回路用
D <sub>1</sub>	$I_m$	100±15 % ms	$I_m$	100±15 % ms	直流電磁接觸器操作
D <sub>2</sub>	$I_m$	40±15 % ms	$I_m$	40±15 % ms	小形直流電磁接觸器 継電器操作
D <sub>3</sub>	$I_m$	1 以下 ms	$I_m$	1 以下 ms	直流抵抗回路用

$I_m$  は定格 (使用) 電流を示す。

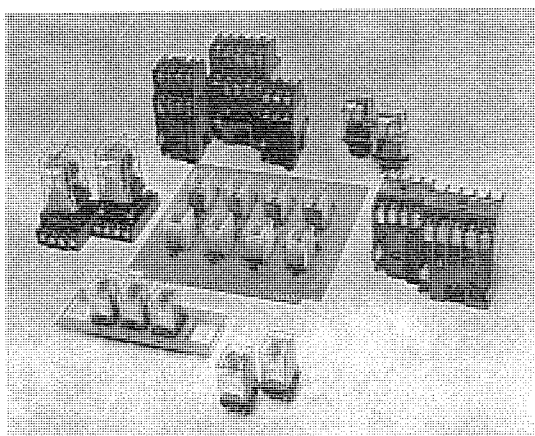


図 3.1 制御用電磁継電器の外観  
Magnetic control relay series.

3. 1 に示す。

### 3.2 制御用電磁継電器の適用

制御用電磁継電器 (以下電磁継電器と略す) の用途を制御目的によって考えると、接点容量の増幅、入出力の分離絶縁、信号の伝達、記憶、論理演算、接点数の増加などがある。電磁継電器を選定する場合、制御装置の信頼性・寿命・価格・構造・保守、および使用条件を検討し、電磁継電器の制御目的を明確にし、電磁継電器の定格仕様・信頼性・寿命・市場性・価格を検討する。

最近、制御装置の高度化・複雑化から電磁継電器の選定、適用に若干の変化が起こりつつあるが、これらを含め、2, 3 の適用上の問題について述べる。

#### 3.2.1 接点容量

制御装置の半導体化の発展により、論理演算回路に半導体が使用され、動力用制御装置との中継に小形電磁継電器が使用される。動力用制御装置からのフィードバック信号が電磁継電器を中継して半導体回路に伝達されたり、半導体論理演算回路の出力が電磁継電器を中継して電磁開閉器・バルブなどを操作する。このため、前者の適

用にあたっては、その信号レベルが一般に DC 24 V 以下と低く、電流も数十 mA 以下であり、このような低レベル電圧・電流での高接触信頼性が必要である。後者の適用にあたっては、半導体駆動容量の問題から、電磁継電器コイル入力小さいものが適するため、小形電磁継電器が適用されることが多い。小形電磁継電器は前述のように、通信用・民生用として開発されたものが多く、負荷が軽く、接点定格は抵抗負荷を主体に称呼され、電氣的寿命も 10 万回程度で、電磁開閉器・バルブなどの誘導負荷の制御に適用するときは十分な注意が必要である。この点から表 3.2 に示すように、各適用負荷別に定格クラスを規定した JEM 1230 準拠の定格表示の電磁継電器のほうが選定間違いがなく、便利であり、当社 RP 形・RD 形電磁継電器はこの考えにより定格を規定している。

#### 3.2.2 電磁継電器と半導体の組合せ

電磁継電器を半導体と組合せを使用する場合、電磁継電器のコイルを開閉するときに発生するサージにより、半導体の破壊・誤動作を起こすことがあるので、一般に、コイルに並列に C-R・バリスタまたはダイオードを接続して、このサージを抑制する。この場合、電磁継電器の落下時間が長くなるので注意が必要である。また、電磁継電器の接点信号を半導体で受ける場合は、接点チャタリングに対する考



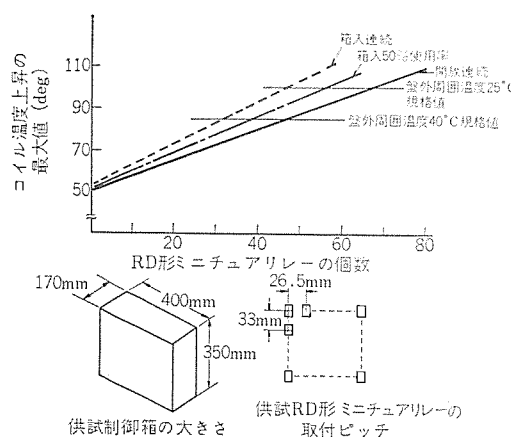


図 3.2 RD 形 ミニチュアリレーの取付個数と温度上昇の関係  
Relation-between temperature rise and numbers of type RD miniature relays.

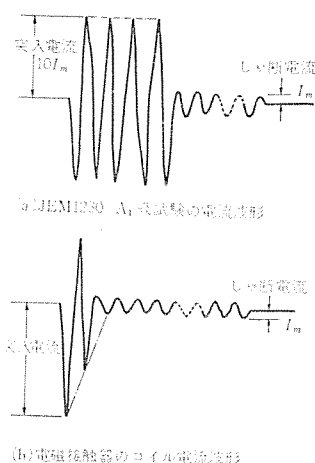


図 3.3 JEM 1230 A<sub>1</sub> 級と電磁接触器の電流波形  
Comparison of wave forms of JEM 1230 standard and magnetic contactor

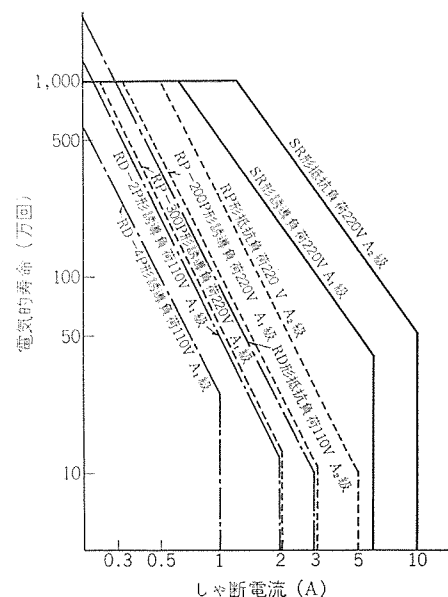


図 3.4 制御用電磁継電器のしゃ断電流—寿命特性  
Breaking current vs. electrical life characteristics of magnetic control relays conformed to JEM 1230 standard.

表 3.3 RD 形 ミニチュアリレーの実負荷電氣的寿命試験結果  
Test results of electrical life of type RD miniature relays in the case of operation of magnetic contactors.

供試 リレー 形名	負 荷 条 件					寿 命
	負荷の 種類	負 荷 の 形 名	コイル 定格電圧	コイル 電 流	力率または時定数	
RD-2P	電 磁 接 触 器	S-100	AC 200 V	0.43 A	$\cos \phi$ 0.25 lag	100 万回
		S-100	AC 100 V	0.82 A	$\cos \phi$ 0.25 lag	100 万回
		S-50	AC 200 V	0.2 A	$\cos \phi$ 0.21 lag	500 万回以上
		S-50	AC 100 V	0.4 A	$\cos \phi$ 0.21 lag	500 万回以上
		SD-18	DC 100 V	0.15 A	$L/R$ 33 ms	50 万回
RD-4P	電 磁 接 触 器	S-50	AC 200 V	0.2 A	$\cos \phi$ 0.21 lag	250 万回
		S-50	AC 100 V	0.4 A	$\cos \phi$ 0.21 lag	300 万回
		S-35	AC 200 V	0.11 A	$\cos \phi$ 0.24 lag	500 万回以上
		S-35	AC 100 V	0.23 A	$\cos \phi$ 0.24 lag	500 万回以上
		SD-10	DC 100 V	0.1 A	$L/R$ 18 ms	50 万回

慮が必要である。接点チャタリングは接点の次段に C-R 積分回路をつけることにより、解決することができる。

### 3. 2. 3 電磁継電器の多数個取付

制御装置の小形化、とくにプリント板カード式制御盤では、制御用部品の実装密度が高くなり、制御盤内の発熱量の増加とともに盤内温度が上昇し、一般の制御部品の最高使用周囲温度基準 46°C を越して使用されていることがある。盤内温度分布は一様でなく、局部的にはかなり高い温度になり、制御用部品が高い周囲温度にさらされ、特性・性能低下を引き起こす原因となることも考えられるので、盤内空気の循環による温度の均等化、または強制空冷を考慮する必要もある。図 3. 2 に RD 形 ミニチュアリレーの多数個取付の場合の温度上昇を示す。

表 3.4 制御用電磁継電器の故障率と平均故障間隔  
Failure rate and MTBF of magnetic control relays.

形 名	開閉電圧電流	試験結果		故障率 (A) 1 接点あたり 10 <sup>-9</sup> (fr/cy)		平均故障間隔 (MTBF) 1 接点あたり (万回)		備 考
		開閉 回数 (万回)	停止 回数 (回)	点推定	60%信頼水準	点推定	60%信頼水準	
S	AC 100 V/90 mA	300	2	4.2	6.5	24,000	15,000	SR-8, 4a4b. JEM 回路
	AC 200 V/45 mA	300	2	8.3	13	12,000	7,700	SR-8, 4a4b. JEM 回路
	AC 24 V/400 mA	100	20	250	270	400	370	SR-8, 4a4b. JEM 回路
	AC 24 V/400 mA	300	6	50	61	2,000	16,40	SR-8, 4a4b. 2P 並列. JEM 回路
R	AC 100 V/90 mA	500	1	1.3	2.5	80,000	39,000	SR-8S, 4a4b. JEM 回路
	AC 24 V/400 mA	300	2	8.3	13	12,000	7,700	SR-8S, 4a4b. JEM 回路
	AC 100 V/46 mA	300	4	33	43	2,970	2,330	RP-200P, 2T. JEM 回路
P	AC 24 V/192 mA	300	9	75	87	1,330	1,150	RP-200P, 2T. JEM 回路
	AC 12 V/385 mA	100	10	250	287	400	348	RP-200P, 2T. JEM 回路
	DC 12 V/240 mA	300	1	8.3	17	12,000	5,900	RP-200P, 2T. JEM 回路
	AC 100 V/46 mA	500	3	7.5	10.4	13,300	9,600	RP-200SP, 2T. JEM 回路
D	AC 24 V/192 mA	300	4	17	22	5,900	4,500	RP-200SP, 2T. JEM 回路
	AC 12 V/440 mA	3,000	5	4.2	5.3	24,000	19,000	SRR-6, 2a2b. JEM 回路
	DC 6 V/3 mA	300	3	17	23	6,000	4,300	SRR-6, 6a
R	DC 6 V/3 mA	300	2	17	23	6,000	4,300	RPR-4, 4a
	AC 100 V/16 mA	2,500	6	3	3.7	33,000	27,000	RD-4P, 4T. JEM 回路
	AC 6 V/260 mA	1,000	7	8.7	10.5	11,000	9,500	RD-4P, 4T. JEM 回路
	DC 24 V/54 mA	1,500	2	1.7	2.6	58,000	38,000	RD-4P, 4T. JEM 回路
D	DC 12 V/100 mA	1,500	4	3.3	4.4	30,000	22,000	RD-4P, 4T. JEM 回路

### 3.3 制御用電磁継電器の信頼性

電磁継電器の信頼性は一般的に機械的寿命・電氣的寿命、および接点の接触信頼性で評価することができる。

機械的寿命は摩耗故障の形態を示し、一般的に90%の製品が耐える寿命、すなわち90%信頼寿命で称呼するのが適当と考える。機械的寿命の故障形態には摩耗故障のほかに、偶発故障のものがあ

り、電磁継電器の総合故障にはこの機械的偶発故障も含める必要がある。

電氣的寿命は負荷の種類・電圧・電流・力率、または時定数・突入電流の大きさと継続時間によって異なる。JEM 1230では表3.2に示したように、負荷の種類によりその試験条件を規定しているがA<sub>1</sub>級(交流誘導負荷)の場合の電流波形が図3.3(a)になるのに対し、実負荷、たとえば電磁接触器のコイル電流波形は図3.3(b)のようになり、突入電流が時間とともに減衰し、継続時間も短いため、JEM 1230による結果よりも長い寿命になる。JEM 1230に準拠したしゃ断電流-寿命特性を図3.4に、電磁接触器のコイルを開閉した場合の寿命を表3.3に示す。

接触信頼度試験の評価方法は、JEM 1230に規定されているチェン回路により実施されている。この試験方法では接触不良のほかに機械的偶発故障も検出することができるため、この結果から算出された故障率は、接触不良・機械的偶発故障を含む統合故障率である。電磁継電器の故障率の例を表3.4に示す。

## 4. 限時継電器の適用と信頼性

### 4.1 限時継電器シリーズ

限時継電器の限時方式はモータ式・制動式・CR式に大別される。これらの選定に際し限時方式と構造の固有の特性を十分(把握)し、用途に最も適した機種を選択を行なう必要がある。これらの方式の特性の概略および長短所の比較を項目別に表4.1に示した。

現在当社で製作している限時継電器としては、制動式(空気式)のSRT形、CR式のSRS形・RPS形・RDT形の4機種である。特に選定の基準としては、表4.1を考慮して一般はん(汎)用で時限精度的に問題としない用途、接点容量の必要とする用途等には制動式を、短時間で繰返しひん度が高かつ時間精度を必要とする用途等にはCR式を使用し、長時限にはモータ式を使用する。

次に各限時継電器の仕様を表4.2に示したが、これは使用時の指針となるものである。

また本項では限時継電器の信頼性について特にCR式はMTBFからの信頼性、制動式は設定時間精度の安定性を述べている。

### 4.2 空気式限時継電器の信頼性と適用

SRT形空気式限時継電器は3.1節で紹介したSR形電磁継電器シリーズの一つで、限時接点・機構部以外はすべて電磁継電器と同一のため限時継電器固有の事項についてのみ述べる。

#### 4.2.1 信頼性

限時継電器の信頼性は、電磁継電器で評価された項目のほかに繰返し時間と設定時間変化を含めた時間精度が付加される。

空気式限時継電器は原理上から、空気の漏えい(洩)する量の調節で微妙な流体抵抗変化を機構部に伝達しているため、ほかの方式に比較して精度が低い。このおもな原因は緩動動作中機構部が与える。たとえば軸受部との摩擦やこじれが大きく影響する。

従来、空気式限時継電器の機構、特に空気室からの出力軸に対し限時スイッチに伝達する方法として、ある比をもった回転レバーによ

表4.1 各方式の特性概略比較  
Comparison of characteristics of timers.

項 目	流体制動式		機 構 式	C R 式
	空 気		モ ー タ	半 導 体
操 作 入 力	DC AC		AC (DC)	DC (AC)
限 時 方 式	ON OFF		ON	ON OFF
時 限 (秒)	最 小		1	0.1
	最 大		10分~24時	60~120
時 限 精 度 (%)	±10		±5~10 (DC) ±1~5 (AC)	±2~5
復 帰 時 間 (秒)	0.05~0.1		設定値の10%	0.05~0.1
開閉ひん度 (回/時)	1,200~3,600		1,800	1,200~7,200
寿命 (万回)	電 氣 的		50~100	半永久的 (リレー 50~100)
	機 械 的		100~500	半永久的 (リレー 500~1000)
安 定 性	設 定 時 限		○	◎
	温 度		◎	○
	電 圧		◎	◎
	周 波 数		×	◎
	ごみ、ほこり		○	◎
保 守 点 検 査 価 格	振 動		○	◎(○)
	○		○	◎
長 所	構造簡単・安価 オフデレイができる		長時間とれる 比較的精度が高い	短時間ができ長寿命 精度が高い
短 所	外部の影響大 精度が低い		短時限不可 オフデレイができない	オフデレイが作りにくい 価格が高い

表4.2 限時継電器の仕様  
Specifications of pneumatic and solid state timers.

方 式	制動(空気)式		C R 式			
	吸引限時形、落下限時		吸引限時、落下限時			
限 時 方 式	SRT-N	SRT-F	SRS-N	RPS-N	RDT-N	SRS-F
形 名	交流操作	直流操作				
形 態	モールドブロック		モールドブロック			
時限範囲 (秒)	0.2~60		0.1~60 (5種類)			
くり返し精度 (%)	±10		±0.5			
接 点	1 a b		1 c + 1 a			
構 成	瞬 時		(無接点出力)			
定格 (A)	AC 220 V (A) DC 110 V (D±)					
寿命 (万回)	電 氣 的		100			
	機 械 的		5,000			
操作電圧 (V)	AC		24~250			
	DC		12~250			

るものが主である。この理由の多くは出力軸のストローク、すなわちほぼ等しい鉄心ストロークより一般に限時スイッチのほうが短いため使用されている。出力軸とスイッチの軸心は直線運動するのに対して、レバーは回転動作のため両者の作用する力線が一致しないので、有効な力が伝達されないばかりか、こじれを生じ、繰返し時間精度の低下をもたらすことになる。

SRT形空気式限時継電器は、図4.1に示すように伝達レバーを省略して出力軸と限時スイッチ軸を直結しているため上記のようなこじれは皆無に近い。また経時変化に対しては空気室と出力軸部にダイヤフラムを設けて外部からのじんあい(塵埃)を防止している。これにより時間精度を長期にわたって保証することができる。

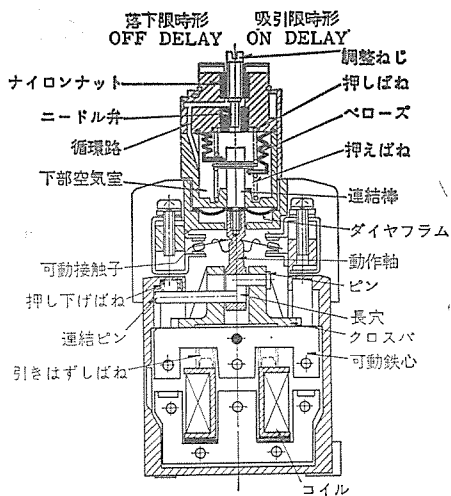


図 4.1 構造断面図  
Cross section of type SRT pneumatic timer.

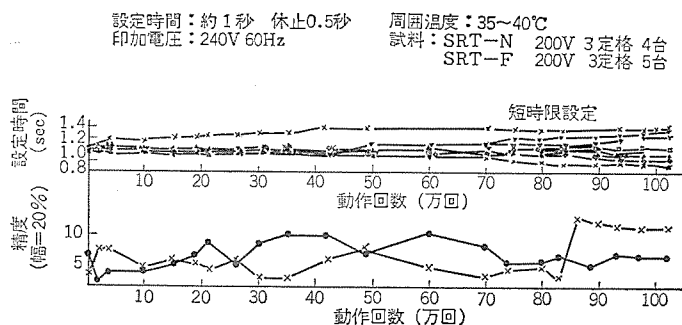


図 4.2 設定時間試験結果  
Change of timing due to mechanical life.

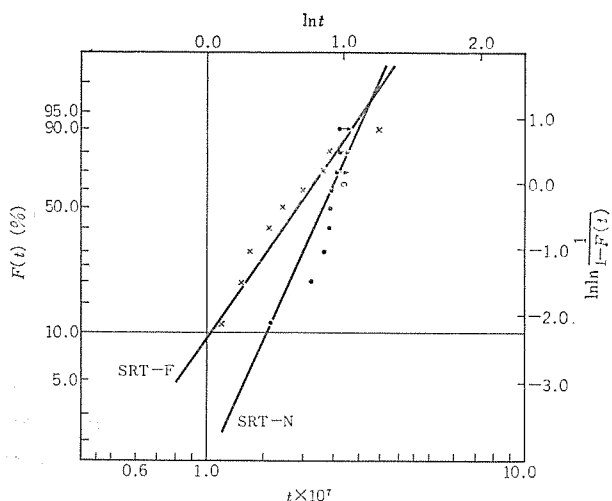


図 4.3 SRT 形限時継電器の機械的寿命  
Mechanical life of type SRT pneumatic timers.

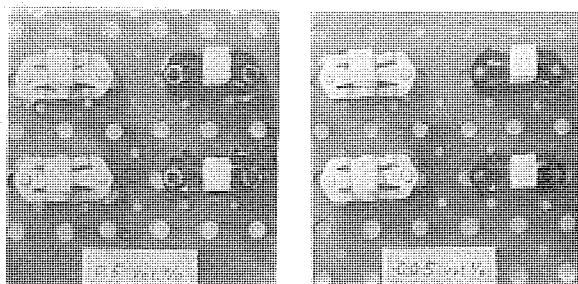


図 4.4 硫化水素中での腐食試験結果  
Result of corrosion test in  $H_2S$ .

常態下で約 1 秒に設定した時間とくり返し精度が寿命試験中どのように変化しているかの例を図 4.2 に示すが、あまり変化する傾向は見られない。

寿命回数とその考え方は SR 形電磁継電器と同一である。

電氣的・機械的寿命回数が SRT 形空気式限時継電器では同一値であるのは、電氣的にはスナッチ動作でも衝突によるチャタリングを機械的に極力押えたことと、機械的には限時可動接触子の耐久力によって定まっている。寿命試験結果の一例を図 4.3 に示す。

接触信頼度試験は電磁継電器に準じて行なっているが、限時継電器は固有の接点数が少なくかつ試験に長時間を要するため、系統立った試験データは少ないので、結果は次の機会にゆずるとして、AC 100, 200 V 回路では前記 SR 形と同等の値を示している。

限時可動接触子は接触時の局部的かつ瞬間的な接触圧力の増大ときわめて長い有効なワイピング接触により、他の条件についても同等以上の値が期待できる。なお瞬時接点は SR 形電磁継電器の接触子そのものを使用している。

#### 4.2.2 適用

空気式限時継電器の適用時の注意事項と特殊仕様について概要を述べる。




##### (1) 湿度

高湿度たとえば相対湿度 95~110%，周囲温度 40°C の条件下では動作原理上から性能・信頼性の低下が考えられる。また常時でなく急激な気温の変化する山頂などの場所では同様なことが言える。すなわち空気室内は内部空気循環式であるが、完全に外部と遮断されていないので、わずかな呼吸作用により空気室内へ湿気が浸入し、条件によっては露点を結び急激な時間の伸びと精度が低下する。長時間高湿度中に放置した場合の一例を表 4.3 に示す。設定時間が元に戻りきらないのは湿度の影響があると考えられる。したがってこのような条件での使用は好ましくなく、対策として乾燥空気の循環やシールド箱に納めるなど外部との湿度こう配をゆるめる必要がある。

##### (2) 防食

化学工場・製紙工場など、腐食性ふん囲気では、常時高い応力が加わっている機構部品は折損が発生しやすい。硫化水素や塩素等の腐食性ガスに対し、防食仕様品としては各材料の表面処理につき考慮を払ったもので対処する。特に限時可動接触子はスナッチアクションを行なわせる必要から常に高い初期応力が加わっているため、腐食性複合ガスにより粒界腐食を生じ折損する例があるが、接触子にめっきを施すことにより対処している。硫化水素の濃度 500 ppm と 5,000 ppm の非常に過酷な条件で 2 ヶ月の長期試験での例を図 4.4 に示すが、表面の色もほとんど変色せずかつ折損もなく良好な結果

表 4.3 湿度試験結果  
Results of humidity test.

試験項目	条件	常温常湿試験前	50℃95%RH 96時間水滴除去後	常温常湿 24時間放置後	備考
最小動作電圧(V)		160	167	164	
端子間抵抗(MΩ)		$\bar{x}=5.1$ $R=1.5$	$\bar{x}=12$ $R=6.1$	$\bar{x}=8.2$ $R=6$	
絶縁抵抗(MΩ)		>2,000	>2,000	>2,000	500V 絶縁抵抗計
設定時間 (秒)	40				180V 印加して 60Hz 測定
	30				
結果	原理上このような条件下での使用は好ましくない(短時間) (5秒以下)では比較的時間の増加はない				

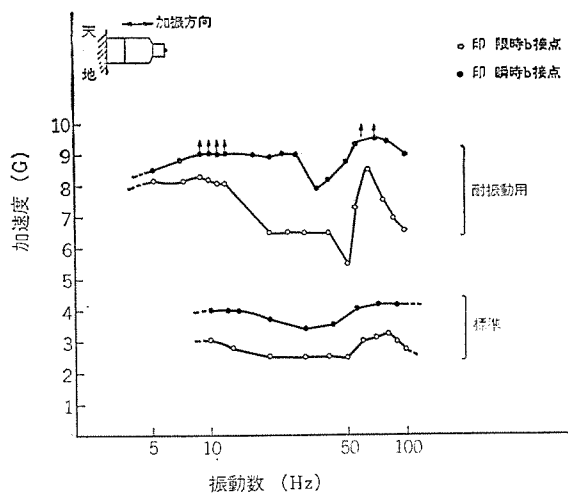


図 4.5 耐振動特性  
Characteristic curves of type SRT timers.

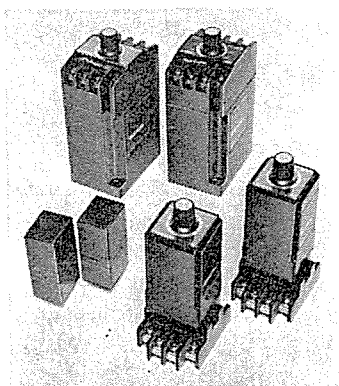


図 4.6 CR 式限時継電器の外観  
Solid state timers series.

を得ている。

### (3) 耐振動性

クレーン、コンテナや車両用には高い耐振動性が要求される。この振動範囲は 1~60Hz、加速度は接点誤動作で 4G 以上を要求している。これは図 4.5 に示す特性をもった特殊用として接点圧力・吸引力特性の改良をもって対処しており、標準品と比較してすぐれている。

### (4) その他の特性

上記に一部環境特性を含めた特殊対応品について述べたが、さらに適用に当たって考慮しなければならない項目としては、次のものがある。

- (a) 周囲温度特性
- (b) 取付方向特性
- (c) 電圧変動
- (d) 休止時間
- (e) 限時接触子の同電位使用
- (f) 分解交換、保守点検

これらについては末尾の参考文献を参照していただくとして、適用に当たり、設定時間を経時変化をも含めていかに保つかを、周囲環境の安定化の面から考慮をはらうことも必要である。

## 4.3 CR 式限時継電器の信頼性と適用

### 4.3.1 CR 式限時継電器の概要

CR 式限時継電器の機種としては電磁継電器標準系列に対比させて、A 系列相当の SRS 形、C 系列相当の RPS 形、D 系列相当の

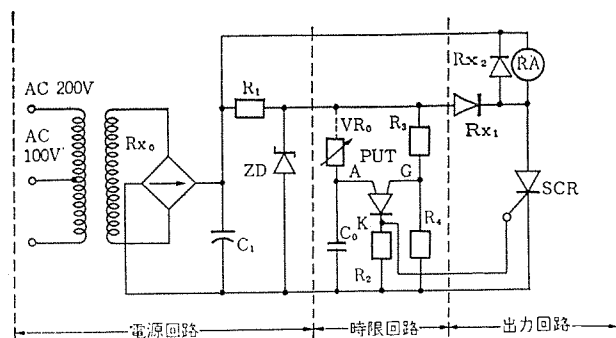


図 4.7 SRS-N 形基本回路  
Basic circuit of type SRS-N timer.

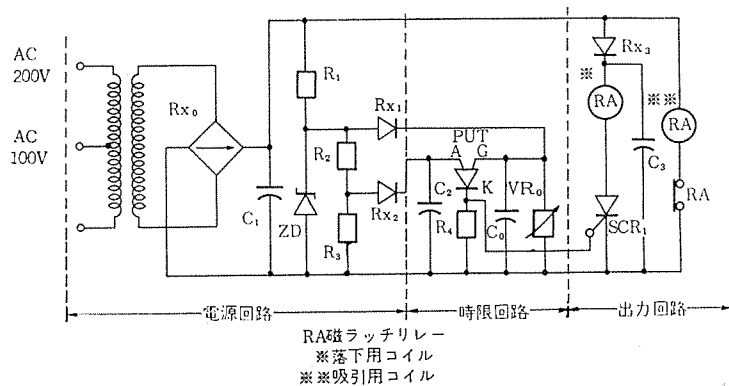


図 4.8 SRS-F 形基本回路  
Basic circuit of type SRS-F timer.

RDT 形と 3 系列があり、図 4.6 はそのおののの系列の外観を示す。CR 式限時継電器の仕様は表 4.2 に示したとおりであるが、機種選定にあたっては、おののの仕様・定格および経済性を十分考慮したうえ、使用場所に最も適合した機種を選定する必要がある。

次に CR 式限時継電器の選定基準の参考に、その概要を記述する。

### (1) SRS 形限時継電器

SRS 形限時継電器は出力リレーにミニチュアリレーを内蔵した一般はん用高精度タイプで、SR 形電磁継電器シリーズの一環である。SRS 形にはオンデレイ形の SRS-N 形と、CR 式では初めての高精度・長時間のオフデレイ形である SRS-F 形がある。

オンデレイ形の基本的な回路構成は図 4.7 のとおりで、発振時限素子に PUT を使用し、この素子からのトリガ信号にて SCR を駆動させる方式となっている。またオフデレイ形の基本的な回路構成は図 4.8 のとおりで、CR の放電時定数と磁気ラッチリレーとを組合せ、PUT 素子の回路インピーダンスが非常に高いことを利用し、完全電源 OFF 方式のオフデレイを実現している。

また全使用の電子部品のうち約 60% をハイブリッド IC 化して、信頼性をあげている。

### (2) RPS 形限時継電器

RPS 形限時継電器はサイリスタ出力の高精度なオンデレイ形で、RP 形電磁継電器の一環として製作している。完全無接点式であるため高ひん度動作に耐え、長寿命で保守が不要である。回路構成は SRS-N 形と基本的には同一である。RPS 形の取付方法としては GT 電子管のソケットを使用したプラグインタイプである。

### (3) RDT 形限時継電器

RDT 形限時継電器は RD 形ミニチュアリレーに遅延動作機能をもたせた超小形プラグインタイプのオンデレイの限時継電器で、今後装置の



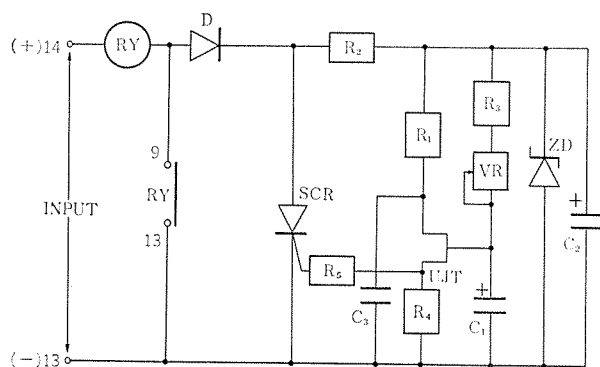


図 4.9 RDT 形 基本回路  
Basic circuit of type RDT timer.

小形化・実装密度向上に有効で、高精度かつ経済性にすぐれている。基本回路は図 4.9 のとおりで発振時限素子として UJT を使用し、SCR にてスイッチ動作を行なわせている。

#### 4.3.2 CR 式時限継電器の信頼性

CR 式時限継電器の信頼性には主としてふたとおりの面が考えられ、まず第一は時限継電器としての時限誤差に対する信頼性であり、これは一般的には時限特性として表わされるものである。第二は時限変動以外の部分すなわち、出力リレー部の接触信頼性を含む機能信頼性で、後者の信頼性が重要視されているのは当然である。

時限信頼性は、測定条件を一定にした状態での繰返し誤差、外部条件すなわち電圧、周囲温度変動による誤差、測定時間条件の差による誤差、および経時変化による誤差が考えられる。表 4.4 は時限特性をまとめたもので、また経時変化は一般の使用状態で 5 年で 5% 程度と推定される。

電子機器関係の信頼性は、一般的な予測方法である MTBF (平均故障間隔) で通常予測される。その場合使用方法としては、定格内で正規の適用方法とするのが当然である。表 4.5 の信頼性の予測としては現在最もよく使用されている Eares の予測法の平均値を用いて、SRS-N, SRS-F, RPS, RDT 形時限継電器の代表的な機種

につき算出した結果である。

表 4.5 より故障率の高い部品は、トランス・サイリスタ・PUT・ダイオード・抵抗等で特にはんだ付け数が多ければ、MTBF を大きく左右する要因となっている。

#### 4.3.3 CR 式時限継電器の信頼度向上対策

CR 式時限継電器においては、前記の信頼性向上のため次のような各種の方法をとっている。

##### (1) ハイブリッド IC 化

総部品点数の約 60% をハイブリッド IC 化しはんだ付けの箇所を大幅に減少させ、かつ組立時部品取付誤まりの減少、小形化による組立作業性の改良等、直接および間接的に信頼性を大幅に向上している。

##### (2) 回路方式の考慮

図 4.7 からわかるように時限動作中以外は時限回路には電圧が印加されない方式とし、同時に時限用コンデンサの電荷をタイムアップと同時に出力 SCR を通じて放電させ、次の動作にそなえる瞬時リセット方式となっている。SRS, RPS 形についてこの方式を取り、RDT 形では図 4.9 に示すように接点でリセットを行なっている。

##### (3) サージ電圧に対する考慮

時限継電器の使用されている制御装置内には誘導負荷が多く接続されており、これらの開閉時に電磁誘導によるサージ電圧が発生し、

表 4.4 時 限 特 性  
Characteristics of timers.

項 目	使用条件	SRS-N RPS-N	SRS-F	RDT-N
電 圧 誤 差	85~110%	±1%	±1%	±0.5%
温 度 誤 差	-10~+55°C	-5, -1%	+5, -1%	±10%
繰 り 返 し 誤 差	測定条件一定	±0.5%	±1%	±1%
最小休止タイム		0.05 s	0.1(0.5)s	0.05 s
最小電圧印加タイム		—	0.1(0.5)s	—
初 回 特 性		+3%	+8%	+10%

※ ( ) 内は 60 秒用に適用

表 4.5 信 頼 性 算 出 表  
Calculation of reliability of solid state timers.

使 用 部 品	部品故障率 $\lambda_i$ $\times 10^{-6}$ fr	SRS-N-AC		SRS-F-AC		RPS-N-AC		RDT-N-AC	
		$n_i$	$n_i, \lambda_i$	$n_i$	$n_i, \lambda_i$	$n_i$	$n_i, \lambda_i$	$n_i$	$n_i, \lambda_i$
サイリスタ	0.5	1	0.5	1	0.5	2	1.0	1	0.5
Si ダイオード	0.2	3	0.6	1	0.4	8	1.6	3	0.6
電解コンデンサ	0.035	2	0.07	3	0.105	3	0.105	2	0.07
バリスタ	0.0463	1	0.046	0	0	0	0	0	0
可変抵抗 (炭素)	0.101	2	0.202	2	0.202	2	0.202	1	0.101
抵抗 (炭素 1/2 W)	0.045	0	0	2	0.09	7	0.315	5	0.225
抵抗 (炭素 1 W)	0.045	0	0	0	0	0	0	0	0
磁器コンデンサ	0.0625	1	0.063	1	0.063	0	0	2	0.125
ツェナーダイオード	0.15	0	0	1	0.15	0	0	1	0.15
トランス	1.09	1	1.09	1	1.09	0	0	0	0
リレー	0.26	1	0.26	1	0.26	0	0	1	0.26
IC	PUT	0.5	0.5	1	0.5	1	0.5	0	0
	Si ダイオード	0.2	0.2	3	0.6	1	0.2	0	0
	磁器コンデンサ	0.0625	0.188	2	0.125	3	0.189	0	0
	抵抗 (炭素 1/4 W)	0.045	0.36	3	0.135	8	0.36	0	0
はんだ付け	0.04	36	1.44	36	1.44	66	2.64	32	1.28
整 流 器	0.26	1	0.26	1	0.26			0	0
UJT	0.5							1	0.5
計		5.866		6.070		7.396		3.811	
故障率 $\lambda = \sum n_i, \lambda_i$		$5.866 \times 10^{-6}$ fr/h		$6.070 \times 10^{-6}$ fr/h		$4.517 \times 10^{-6}$ fr/h		$3.811 \times 10^{-6}$ fr/h	
$MTBF = \frac{1}{\lambda}$		170,000 h		165,000 h		221,000 h		262,000 h	

表 4.6 サージ電圧対策と結果  
Countermeasure of surge voltage and testing result.

サージ吸収方式	RPS-N		SRS-N		SRS F	RDT-N	
	AC	DC	AC	DC	AC	AC	DC
トランスによる低減			○		○		
非直線素子(バリスタ)		○		○			
アバランシェダイオード	○	○		○		○	○
C-R回路	○					○	○
JEM 171 1×40 $\mu$ s 保 償 値	3,500 V	3,500 V	3,500 V	3,500 V	3,500 V	3,000 V	3,000 V
最 高 試 験 電 圧	4,500 V	5,000 V	4,000 V	45,000 V	35,000 V	3,500 V	3,500 V

従来から半導体制御器具の最大の問題点となっていた。これを解決するため 150 VA 程度の電磁エネルギーを想定し、JEC 171 による衝撃電圧印加試験をおののの機種に実施しそれに耐えるように設計している。サージ電圧吸収方式および試験結果は表 4.6 に示すとおりである。

#### (4) 使用部品の厳選

時限用コンデンサにタンタルコンデンサを使用し、かつその選別基準として 60℃ 時の漏れ電流を規制することにより、経時変化および温度変化に対する時限変動の減少を計っている。時限素子として PUT を使用し部品点数の簡略化、時限の精度向上を計っている。

また半固定抵抗器は、湿度に対して影響の少ないセラミック基板のものを使用している。

#### 4.3.4 CR 式限時継電器の適用

一般的に言って CR 式限時継電器の特長を発揮する使用場所としては、次のような場合である。

- (1) 短時間、高ひん度の繰返し使用される場合
- (2) 比較的軽負荷で保守点検を省略し、しかも長寿命を要求される場合

(3) 振動・じんあい等環境条件が悪く、しかも時間精度が要求される場合

## 5. む す び

制御用継電器の標準化を機会にその適用と信頼性について述べたが、各方面の装置への適用について参考になれば幸いと考える。今後、新しい用途や経済性を含めた使用条件が高度化するにしたがって、より合致した制御用継電器の系列が必要となってくるものと考えられる。信頼性についても常態下以外に代表される環境条件を設定した、より実用的なデータを需要家各位に提供できるよう努力していきたいと考えている。

終わりにあたり長期間にわたって協力された社内外の関係各位に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 丸地ほか：三菱電機技報，46，No. 2 (昭 47)
- (2) 杉浦：三菱電機技報，43，No. 6 (昭 45)



## 永久ヒューズと電磁開閉器の組合せ

岡戸 弘行\*・渋谷 弘一\*

## Combination of Magnetic Starters and Permanent Power Fuses

Nagoya Works Hiroyuki Okado・Koichi Shibukawa

In branch circuits including distribution circuit breakers and electro-magnetic switches, should a short-circuit fault occur, damage of the electro-magnetic switch follows almost invariably. From the viewpoint of the reliability of system, it is not desirable, but there are various difficult problems posed on the matter and perfect protection coordination is left unsettled for future study. Mitsubishi has developed series H magnetic switches equipped with specially high resistance contacts to withstand welding; permanent power fuses are combined with them to provide perfect protection coordination over all the current ranges up to three phase 460 V 50 kA. This article introduces the performance of series H magnetic switches and present state of protection coordination when combined with the permanent fuses and also combined with ordinary distribution circuit breakers.

## 1. ま え が き

配線用しゃ断器と電磁開閉器の組合せは、一般の分岐回路において多数使用されているが、この分岐回路に短絡事故が発生すると、従来はほとんどの場合、電磁接触器の接点溶着やサーマルリレーのパーマントセット、比較的良好な保護協調を考慮したものでも何らかの損傷が発生している。システムとしての信頼性を考える場合、この電磁開閉器の損傷は好ましくないが、種々の困難な問題があり、完全な保護協調は今後の課題として残されてきている。

当社では、この問題を解決すべく鋭意研究を重ね、接点の耐溶着性を向上させた H シリーズ 電磁開閉器・接触器の開発に成功し、これに当社の特許製品である永久ヒューズを組合せることにより、3φ 460 V 50 kA までの全電流域にわたり、完全な保護協調の可能なコンビネーションスタータを実現することができた。また H シリーズ 電磁開閉器は、通常の配線用しゃ断器と組合せ使用しても、相当の範囲でシステムの信頼性を高めるために有効なすぐれた性能を保有している。

以下に H シリーズ 電磁開閉器・接触器の特性・性能、永久ヒューズと組合せた場合および一般の配線用しゃ断器と組合せた場合の保護協調の状況、ならびに永久ヒューズの応用品として、NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器につき紹介し、各位の参考に供したいと考える。

## 2. H シリーズ電磁開閉器・接触器

H シリーズ 電磁開閉器・接触器は、標準 MS-S シリーズ 電磁開閉器を一部改良することにより、しゃ断容量と耐溶着性を大幅に向上させたもので、これにより短絡電流などの異常電流に対して、永久ヒューズ・ヒューズ・配線用しゃ断器などの短絡保護機器との協調をとり

やすくし、システムとしての信頼性の向上を可能としており、特に後述するカスケードしゃ断方式回路における信頼性、および選択しゃ断方式回路における性能の向上を実現している。

## 2.1 種類・定格・仕様

H シリーズ 電磁開閉器・接触器の種類・定格・仕様を表 2.1 に、また外観を図 2.1 に示す。

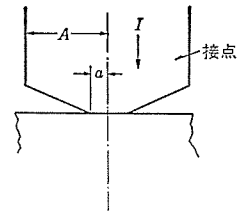
## 2.2 構造と特長

電磁接触器に電流が流れた場合、接点間にはスノードンの式等で表わされるごとく、

スノードンの式

$$F = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \frac{A}{a}$$

F : 接点反発力  
 $\mu$  : 接点の導磁率  
 I : 通過電流  
 A : 接点の半径  
 a : 接触部の半径



ほぼ電流の自乗に比例した反発力が生ずる。この反発力により電磁接触器は、通常定格電流の 20~40 倍の電流が流れると接点の浮上りすなわち接点の開離が発生し始める。したがってこれ以上の短

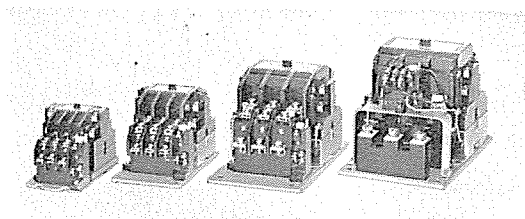


図 2.1 H シリーズ形電磁開閉器  
Type H series magnetic starters.

表 2.1 H シリーズ 電磁開閉器の種類・定格・仕様  
Kinds, ratings and specifications of type H series.

形 名		定 格 容 量   kW (三相電動機)		定 格 電 流   A			定格通電 電 流 A	性 能  JEM 1038	サーマルリレーのヒータ定格  A	
電 磁 接 触 器	電 磁 開 閉 器	220 V	550 V	220 V	440 V	550 V				
	開 放						サーマル リレー			
S-H 35	MSO-H 35	TH-35	7.5	11	35	25	20	48	AC 4, AC 3-1-1	11, 15, 18, 22, 26, 30, 34
S-H 65	MSO-H 65	TH-65	15	30	65	60	50	70		26, 30, 34, 41, 48, 56
S-H 100	MSO-H 100	TH-100	25	50	100	100	80	130		41, 48, 56, 67, 80, 107
S-H 150	MSO-H 150	TH-150	37	75	150	150	120	200		80, 107, 130, 160

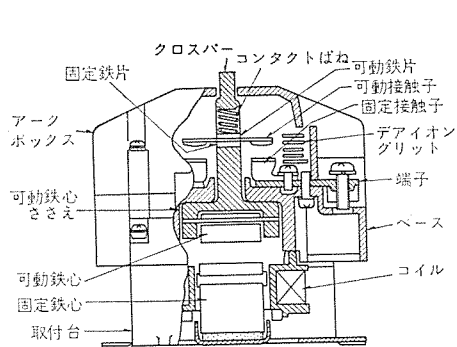


図 2.2 S-H 形 電磁接触器の構造  
Structure of type S-H magnetic contactor.

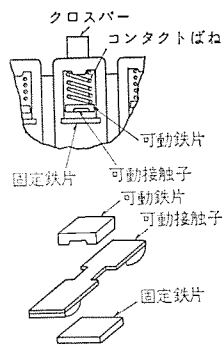


図 2.3 S-H 形 電磁接触器の接触子構造  
Structure of contacts of type S-H magnetic contactor.

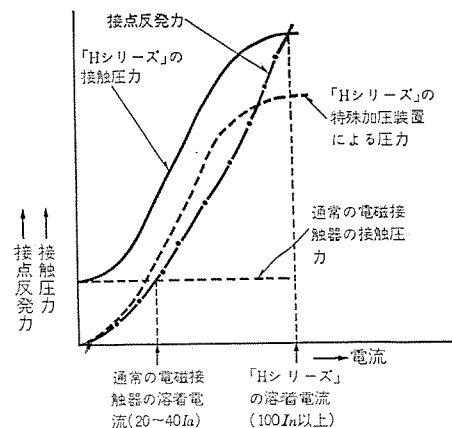


図 2.4 S-H 形 電磁接触器の接触圧力  
Contact pressures of type S-H magnetic contactor.

表 2.2 H シリーズ 電磁開閉器の閉路・しゃ断電流量試験  
Making and breaking capacity of type H series magnetic starters.

形 名	試験電圧 V	周波数 Hz	電 流 A	力 率 (遅れ)	しゃ断電流量試験				閉路電流量試験	
					CO 責務 (回)	アーク 時間 (ms)	判 定	C 責務 (回)	判 定	
MSO-H 35	3φ 220	60	490	0.38	25	1~5	OK	200	OK	
	3φ 550	60	300	0.36	25	2~12	OK			
MSO-H 65	3φ 220	60	710	0.35	25	2~6	OK	200	OK	
	3φ 550	60	550	0.36	25	5~11	OK			
MSO-H 100	3φ 220	60	1,250	0.36	25	3~5	OK	200	OK	
	3φ 550	60	1,070	0.33	25	3~10	OK			
MSO-H 150	3φ 220	60	1,980	0.27	25	2~5	OK	200	OK	
	3φ 550	60	1,580	0.38	25	2~13	OK			

表 2.3 H シリーズ 電磁接触器の電気的寿命  
Electrical life of type H series magnetic contactors.

形 名	試 験 条 件							寿 命	
	試験電圧 V	周波数 Hz	閉路／ しゃ断 電流 A	閉路／ しゃ断 力率	開閉回 数／時	使用率 %		(万回)	可 動 固 定
S-H 35	3φ 440	60	175/35	0.31/0.62	1,200	40	70	18.1	14.0
S-H 65	3φ 440	60	325/65	0.37/0.64	1,200	40	70	12.5	9.8
S-H 100	3φ 440	60	500/100	0.38/0.63	1,200	40	70	15.3	12.6
S-H 150	3φ 440	60	780/150	0.34/0.61	1,200	40	70	14.7	13.2

絡電流が流れた場合には、接点間にアークを発生し、再閉路された場合の接点溶着あるいはアークショートによる相間短絡を発生する可能性が出てくる。H シリーズ電磁接触器は、この反発力に抗して、接点の閉路状態を維持するために、通過電流の増大に伴って、ほぼ自乗に比例して接点接触圧力を増加させる接点加圧装置を内蔵させた点に最大の特長がある。その構造は、図 2.2, 2.3 に示すごとく、S シリーズ電磁接触器の接触子まわりを改良し、可動接触子をはさむ一対の電磁鉄片を取りつけ、可動接触子を通して電流によって発生する磁束が、この鉄片に吸引力、すなわち接点接触圧力を発生することを利用したものである。したがって H シリーズ電磁接触器の接点接触圧力は、図 2.4 に示すごとく、

接点接触圧力 = コンタクトばね圧力 + 鉄片吸引力

となり、耐溶着性の優秀な特殊銀合金接点を採用したことも含めて、耐溶着強度は、通常のものの数倍に向上している。

表 2.4 H シリーズと標準 S シリーズ 電磁接触器の耐溶着許容電流  
Permissible current of H series and S series contactors to contact welding.

H シ リ ー ズ		S シ リ ー ズ	
形 名	許容電流 A rms	形 名	許容電流 A rms
S-H 35	3,500	S-35	1,800
S-H 65	6,500	S-65	2,100
S-H 100	12,000	S-100	2,900
S-H 150	17,000	S-150	3,400

表 2.5 TH 形 サーマルリレーの短絡電流通過時の許容  $I^2t$   
Permissible  $I^2t$  of the thermal relays, series TH in short circuit.

形 名	再使用可能な許容 $I^2t$ (A <sup>2</sup> s)	ヒータ溶断 $I^2t$ (A <sup>2</sup> s)	飽和リアクトル付き とした場合のヒータ 溶断 $I^2t$ (A <sup>2</sup> s)
TH-18	120~300 $I_{TH}^2$	200~540 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$
TH-35	150~300 $I_{TH}^2$	250~570 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$ 以上
TH-50	200~350 $I_{TH}^2$	300~600 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$ 以上
TH-100	250~400 $I_{TH}^2$	400~600 $I_{TH}^2$	10,000 $I_{TH}^2$ 以上
TH-150 TH-300	TH-150 および TH-300 は専用の CT と組合せ使用されるが大電流域 では CT が飽和して、ヒータの溶断は発生しないと考える。		

注)  $I_{TH}$  : サーマルリレーヒータ呼称電流

## 2.3 特性と性能

H シリーズ電磁開閉器は耐溶着強度が大幅に増大しているが、その他の性能については、標準の S シリーズとほぼ同一で、JEM 1038 の AC 3 級 1 号 1 種および AC 4 級を上回る性能である。H シリーズ電磁接触器の閉路・しゃ断電流量の試験結果を表 2.2 に、電気的寿命の状況を表 2.3 に、また H シリーズと標準 S シリーズ電磁接触器の耐溶着許容電流の比較を表 2.4 に示す。H シリーズの耐溶着許容電流は定格電流の 100 倍以上で、標準 S シリーズと比較すると S-H 35 で約 2 倍、S-H 65 で約 3 倍、S-H 100 で約 4 倍、S-H 150 で約 5 倍と増大している。この大きな過電流耐量は、短絡保護機器との協調を考える場合、接点溶着・相間短絡の発生度を大幅に低減させ、高度な保護協調の形式を達成して、システムとしての信頼性を向上させることができる。一方、TH 形 サーマルリレーは標準品と同一で、H シリーズ用として特に考慮されていないが、従来より一般の配線用しゃ断器との協調を考えて、過電流耐量が大きく設計されているので、小定格容量のヒータは別として、一般の短絡保護機器との協調は十分可能である。また小定格のヒータについても、必要に応じて飽和

リアクトル 付きを使用すれば、協調は可能とすることができる。TH 形 サーマルリレー の過電流耐量を表 2. 5 に示す。

3. NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器

NS 形永久ヒューズ 付き負荷開閉器は、 D 形負荷開閉器と永久ヒューズ および電磁 トリップ 装置を一体化した開閉器である。永久ヒューズ は金属 ナトリウム の“固体→液体→気体”の相変換による抵抗変化を巧みに利用した非直線性抵抗体で、非常にすぐれた限流作用と自己 復旧性を兼ね備えている。しかし、永久ヒューズ は限流素子で回路の シャ断機能はないので別の機器で回路をシャ断する必要がある。したがって NS 形永久ヒューズ 付き負荷開閉器は、 H シリーズ 電磁開閉器と組合されて、始めてその機能を発揮するもので、 NS 形に備えられた永久ヒューズ により短絡電流を 限流し、 H シリーズ 電磁接触器により限流後の電流をシャ断する方式の装置である。

3. 1 種類・定格・仕様

NS 形永久ヒューズ 付き負荷開閉器の種類・定格 および仕様を表 3. 1 に、外観を図 3. 1 に示す。

3. 2 構造と特長

NS 形永久ヒューズ 付き負荷開閉器の構造は図 3. 2 のごとく、手

表 3. 1 NS形永久ヒューズ 付き負荷開閉器の種類・定格・仕様  
Kinds, ratings, and specifications of type NS load break switches with permanent power fuses.

形 名	定格電圧 3φ V	定格電流 A	開路シャ断容量 A	短絡シャ断容量 kA	主 要 構 成 部 品		
					負荷開閉器	永久ヒューズ	並列抵抗体
NS-35	220 440	35	1,000	50	D-100	PR-24 N 2	500 (mΩ)
NS-65	220 440	65	1,000	50	D-100	PR-24 N 3	100 (mΩ)
NS-100	220 440	100	2,000	50	D-200	PR-32 N 1	100 (mΩ)
NS-150	220 440	150	2,000	50	D-200	PR-32 N 2	70 (mΩ)

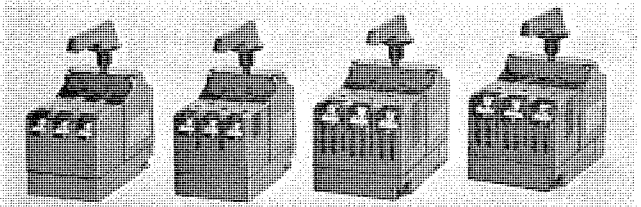


図 3. 1 NS 形永久ヒューズ 付き負荷開閉器  
Type NS load break switch with P. P. F.

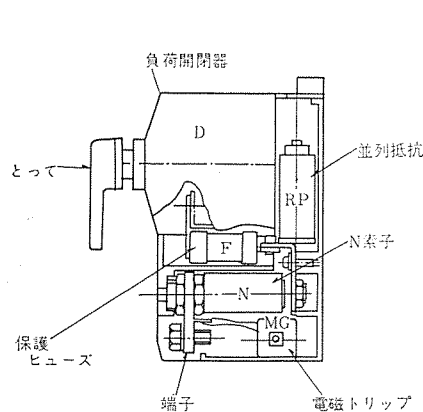


図 3. 2 NS 形の構造  
Structure of type NS.

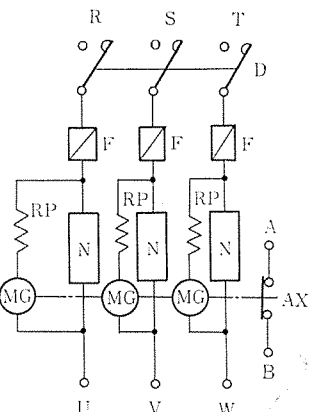


図 3. 3 NS 形の回路構成  
Circuit diagram of type NS.

動操作の D 形負荷開閉器と永久ヒューズ N、永久ヒューズ と 並列に接続される並列抵抗体 Rp、並列抵抗体と直列接続にある電磁 トリップ装置の コイル MG、それに保護 ヒューズ F を一体化した装置である。回路構成を図 3. 3 に示す。

短絡電流など異常電流が流れた場合の動作は、まず永久ヒューズの金属 ナトリウム が通過電流の ジュール 熱によって高抵抗の プラズマ に変化する。永久ヒューズの気化特性は図 3. 4 に示すとおりである。また気化するまでの規約短絡電流に対する通過電流波高値、すなわち限流波高値は図 3. 5 に示すごとく、ほぼ 3 乗根特性を有しており、大電流となるほど、その限流効果は著しい。永久ヒューズ が高抵抗に変化し限流すれば、電流は並列抵抗、電磁 トリップコイルへ転移し、電磁 トリップ 連動接点 Ax が開路する。

並列抵抗は永久ヒューズの負担軽減と電流さい断による サージ 電圧を抑制するとともに、回路力率を改善し電磁開閉器のシャ断を容易にさせる。保護ヒューズ F は NS 形と組合せる電磁開閉器の異常条件、すなわち電圧降下あるいは制御回路指令接点誤動作による チャタリング が原因で接点溶着などの事故を発生し、万一、電磁開閉器が開路不能となった場合のバックアップ用の回路保護ヒューズである。D 形負荷開閉器は単なる断路器ではなく、電動機拘束時の電流開閉もできる負荷開閉器で外観を図 3. 6 に、また構造を図 3. 7 に示す。これは 2 点切り接点構造および ディアイオン 消弧室を採用し、特に消弧室は密閉構造で、シャ断の際も アーク の吹出さない安全構造とし、また手動操作における不完全操作を簡単な トグル 機構によりカバーしている小形で高性能の負荷開閉器である。

3. 3 特性・性能

閉路・シャ断電流容量を表 3. 2 に、シャ断試験の オシログラム の一例を図 3. 8 に、電磁 トリップ 装置単体の トリップ 電流—時間特性を図 3. 9 に、また D 形負荷開閉器の短時間過電流耐量を表 3. 3 に示す。D 形負荷開閉器は NS 形永久ヒューズ 付き負荷開閉器に内蔵のほか、単体としての使用も可能で特に電力 ヒューズ と組合せれば、ヒューズスイッチとして適用できる。当社 FA 形ヒューズ との組合せでの短絡試験結果を表 3. 4 に示す。

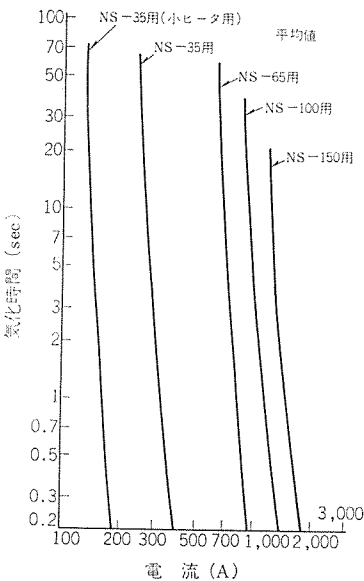


図 3. 4 永久ヒューズの気化特性曲線  
Evaporation characteristics of P. P. F.

表 3.2 D 形負荷開閉器の開閉・しゃ断電流容量試験  
Making and breaking capacity of type D load break switches.

形 名	試験電圧 3φ V	試験電流 A	周波数 Hz	力 率 (遅れ)	しゃ断試験				閉路試験		総合判定
					C (回)	O	休止間引き s	アーク時間 ms	C (回)	休止間引き s	
D-100	460	1,020	60	0.34	25		10	10~20	200	10	OK
D-200	460	2,000	60	0.34	25		30	10~24	200	30	OK

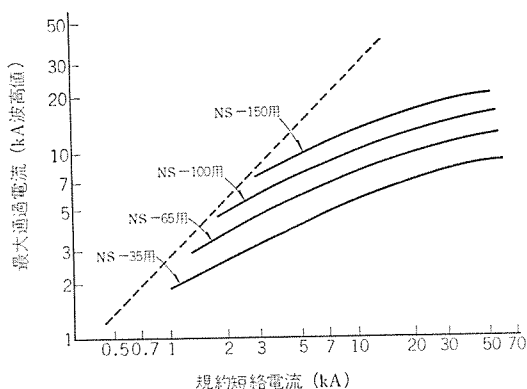


図 3.5 永久ヒューズの限流特性曲線  
Current limited characteristics of P. P. F.

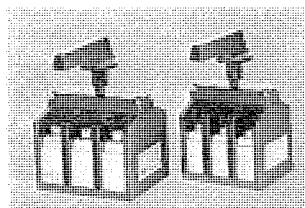


図 3.6 D 形負荷開閉器  
Type D load break switches.

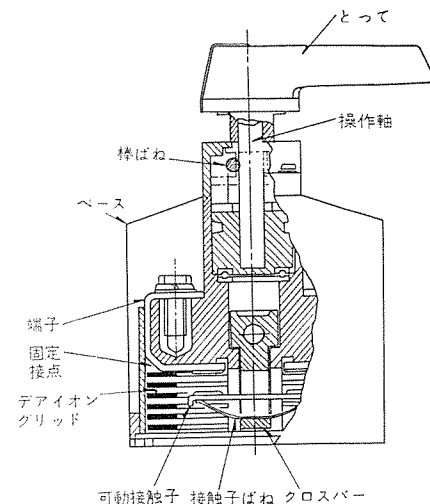


図 3.7 D 形負荷開閉器の構造  
Structure of type D load break switch.

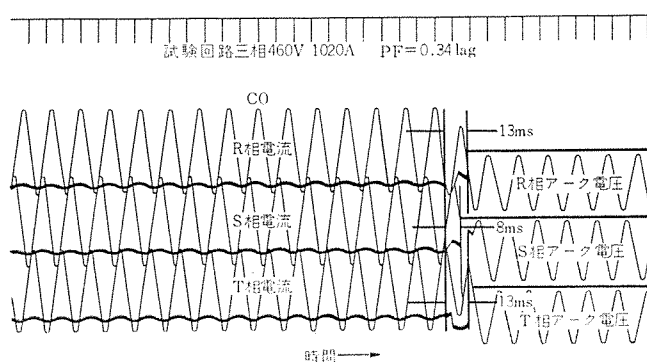


図 3.8 D 形負荷開閉器のしゃ断試験 オシログラム  
Oscillogram of interrupting test on type D load break switch.

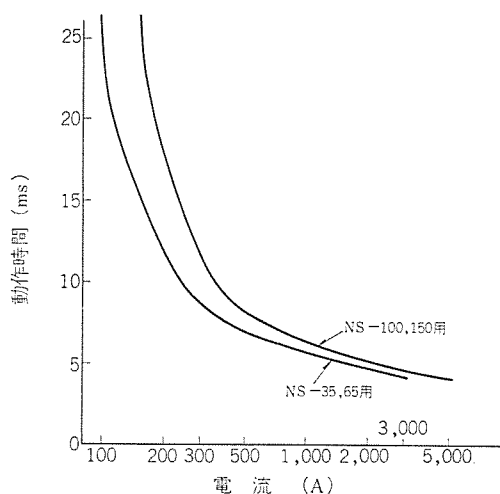


図 3.9 電磁トリップ装置のトリップ電流-時間特性  
Tripping current-time characteristics on magnetic tripping unit.

表 3.3 D 形負荷開閉器の短時間過電流耐量  
Short time over current capacity of type D load break switches.

形 名	10 ms	1 s	$I^2t$ (A <sup>2</sup> s)
D-100	14,000 A	2,000 A	$1.9 \times 10^6$
D-200	14,000 A	4,000 A	$1.9 \times 10^6$

表 3.4 D 形負荷開閉器とヒューズの組合せによる短絡試験  
Short circuit test in combination of type D load break switch and power fuses.

形 名	試験電圧 3φ V	試験電流 kA	力 率 (遅れ)	ヒューズ	
				FA-100 B 100 A	FA-200 B 200 A
D-100	460	15	0.25	OK	OK
		20	0.20	OK	OK
D-200	460	15	0.25	—	OK
		32	0.20	—	OK

#### 4. NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と H シリーズ電磁開閉器の組合せ

##### 4.1 動作と性能

NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と H シリーズ電磁開閉器の組合せは、一種のコンビネーションスタータであるが、電磁開閉器が全電流域にわたり、回路しゃ断を受持つ点で特長のある製品であり、それゆえにまた完全な保護協調を実現している。組合せ品の回路構成を図 4.1 に示す。この動作についてはすでに 3.2 節で説明したが、短絡電流が流れると、永久ヒューズ N が気化して、電流を大幅に限流し、次いで電流の大部分は並列抵抗  $R_p$ 、電磁トリップコイル MG のほうへ転流する。この電流により接点 Ax が開路され、電磁接触器の励磁回路がしゃ断され、電磁接触器の接点が開路されて短絡電流が

表 4.1 コンビネーションスタータの短絡しゃ断試験  
Interrupting test of combination starters in short circuits.

組合せ形名	短 絡 回 路				試 験 結 果			
	3φ・電 圧	周 波 数	電 流	力 (遅れ) 率	責 務	全しゃ断時間 ms	限流波高値 A	判 定
NS-35+MSO-H 35	460	60	15	0.26	O-2分休止-CO 2回	9~13	5,800	OK
	460	60	50	0.15	O-2分休止-CO 2回	8~12	6,350	OK
NS-65+MSO-H 65	460	60	15	0.26	O-2分休止-CO 2回	9~11	8,200	OK
	460	60	50	0.15	O-2分休止-CO 2回	7~13	12,500	OK
NS-100+MSO-H 100	460	60	15	0.26	O-2分休止-CO 2回	7~10	13,200	OK
	460	60	50	0.15	O-2分休止-CO 2回	7~11	13,300	OK
NS-150+MSO-H 150	460	60	15	0.26	O-2分休止-CO 2回	8~13	15,300	OK
	460	60	50	0.15	O-2分休止-CO 2回	9~12	17,600	OK

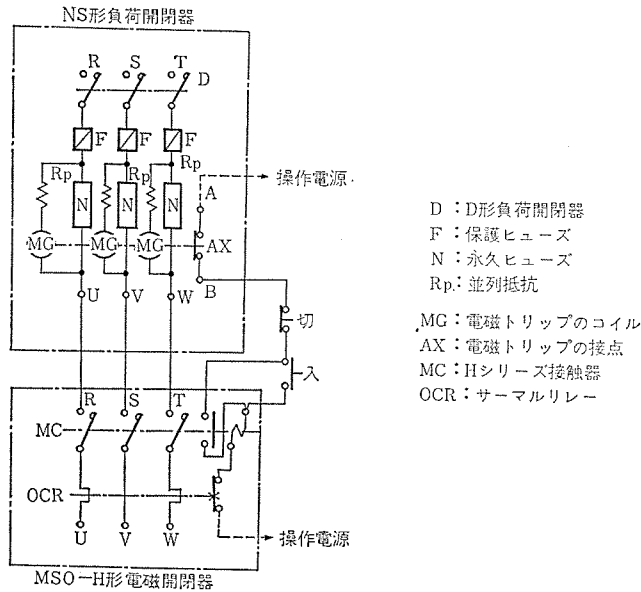


図 4.1 コンビネーションスタータの回路構成  
Circuit diagram of combination starter.

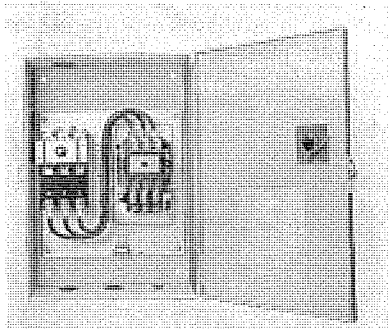


図 4.2 コンビネーションスタータ  
Combination starter.

しゃ断される。電磁接触器の接点は、励磁回路がしゃ断されるまでの間は、コンタクトばねと電磁鉄片の力により完全に閉路状態が保たれるため、接点溶着やアークショート心配は全くない。また電磁接触器が最終的にしゃ断する電流は、並列抵抗を流れる電流で、この電流値は電磁接触器の定格電流の20~30倍程度の大きさを持っているが、回路力率が1に近くしゃ断はきわめて容易で、すべて1/2サイクル以下のアーク時間でしゃ断を完了している。これは組合せ品の短絡しゃ断試験結果を示す表4.1の全しゃ断時間が7~13msで、電磁トリップのトリップ時間が図3.9に示すごとく4~7msであるのを見れば明らかである。また短絡しゃ断試験のオシログラムを図4.3に示す。

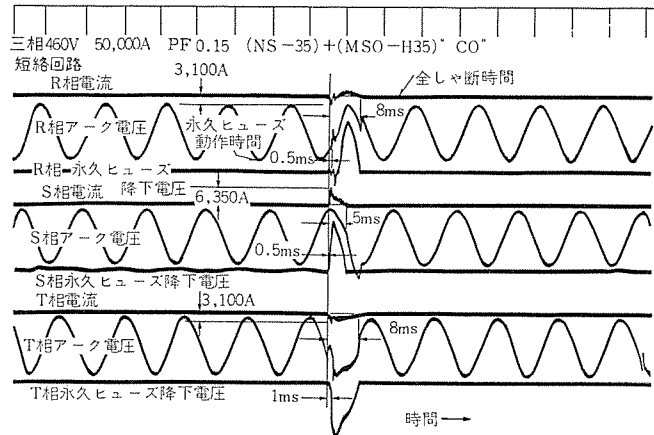


図 4.3 NS-35+MSO-H 35 コンビネーションスタータ 短絡試験  
Interrupting test in short circuit on NS-35+MSO-H 35 combination starter.

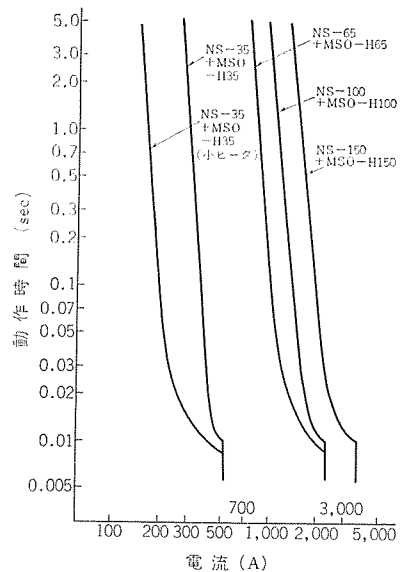


図 4.4 コンビネーションスタータの全しゃ断時間—電流特性  
Interrupting time-current characteristics on combination starter.

試験責務は“O-CO, O-CO”連続開閉で、JEM 1071 配線用しゃ断器で規定される回数の2倍の責務を実施したが、オシログラムより明らかなごとく、電磁接触器の接点浮上りも見られず、またしゃ断後における接点の荒れも軽微で、十分継続使用のできる状態であった。オシログラムの試験回路は、3φ 460V 50kAの規約短絡電流のものであるが、永久ヒューズの大きな限流特性から見て、さらに電流が増加しても波高値の増加はわずかで、しかもしゃ断する電流は、並列抵抗に流れる電流で常に一定であるので、組合せによっては、



3φ 460 V 100 kA の短絡しゃ断も可能である。組合せ品は、短絡電流を繰返し、しゃ断できるが、その回数は永久ヒューズの劣化もあり無限ではない。しかし 10 回までの繰返ししゃ断は確認済みであり、器具の寿命と短絡事故の発生確率から見てほぼ永久的と考えることができると思われる。

組合せ品の外観の一例を図 4.2 に、また、全しゃ断時間—電流特性を図 4.4 に示す。

#### 4.2 保護協調

NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と H シリーズ電磁開閉器は、完全な保護協調を実現しているが、その実現に最も寄与しているものは、永久ヒューズの大きな限流特性である。一般にサーマルリレーとの協調を与えて短絡保護装置を選定する場合、電動機の始動過渡電流で短絡保護装置が動作または劣化しないことが条件となる。永久ヒューズは原理的には、限流ヒューズと類似であるが、限流ヒューズに比べ、経年変化による劣化の心配がなく、自己復旧性があるため、限界まで早い動作特性のものが選定できる点と限流特性が一般の限流ヒューズよりもさらにシャープである点で根本的に異なり、短絡時の限流効果は絶大なものとなっている。このように永久ヒューズのもつ特長は、他の器具では実現のできない完全な保護協調を可能にしている。

組合せ品の保護協調は次の条件で設定している。

- (1) 電動機の始動時の過渡電流で永久ヒューズは気化しないこと。
- (2) 永久ヒューズ、サーマルリレーは電動機の定格電流および、正常な始動電流で動作しないこと。
- (3) サーマルリレーは電動機の熱特性以内で動作すること。
- (4) 永久ヒューズはサーマルリレーのパーマントセット前で動作すること。

その他種々の考慮すべき条件があるが、上述の条件から永久ヒューズ

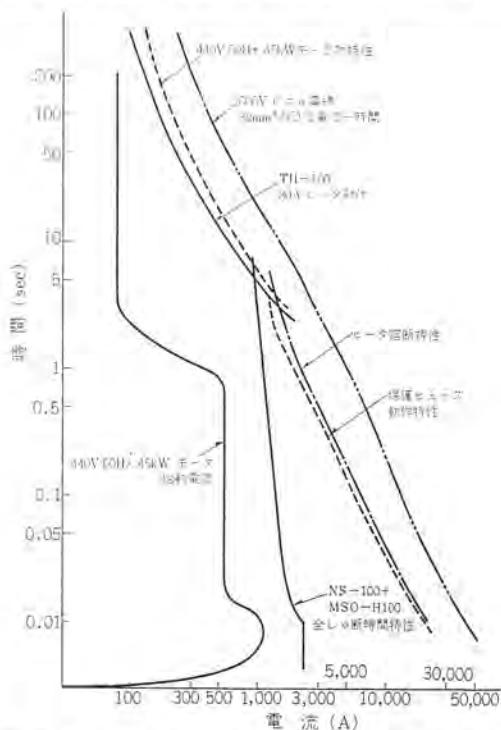


図 4.5 NS-100+MSO-H 100 ヒータ 80 A の場合の保護協調  
Protective coordination between NS-100 and MSO-H 100 with 80 A heater.

ズの動作は、定格電流の 20 倍で 0.5 サイクル以上、6 倍で 20 秒以上の設定となるよう選定している。図 4.5 に協調の一例を示す。

この例は、3φ 440 V 60 Hz 45 kW 電動機を制御するための NS-100 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と、MSO-H 100 形電磁開閉器のコンビネーションにおける保護協調特性である。この図から明らかなごとく、短絡時の保護協調はもちろん、その他の各種の条件における協調も完全で、あらゆる意味で完備なコンビネーションスタータとなっている。

#### 5. 各種ノーヒューズしゃ断器と H シリーズ電磁開閉器の組合せ

NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と MSO-H シリーズ電磁開閉器の組合せは、前述したごとく完備なコンビネーションスタータで、最高度の保護協調の形式を実現し、システムの継続性・信頼性または保守性を特に必要とする重要回路への適用に適している。また後述するが、当社の永久ヒューズ付きしゃ断器 NFU 形と MSO-H シリーズ電磁開閉器の組合せも、ほぼ近い保護協調の形式を得ることができる。しかし両者とも永久ヒューズを内蔵していることから、経済的にはやや高価となっている。保護協調の形式は、その必要度と経済性の観点から当然選択されるものであり、したがって経済上の観点から、H シリーズ電磁開閉器と当社のノーヒューズしゃ断器との組合せについても保護協調の形式を検討してみる。

短絡事故時の保護協調の形式は、種々の段階の取り方が考えられるが、ここでは表 5.1 に示すごとく、四段階の形式に区分することとする。この表の区分は、IEC 規格 292-1 A に規定される保護協調の形式、a, b, c に d を追加したものである。この基準をもとに MSO-H シリーズ電磁開閉器と当社の各種ノーヒューズしゃ断器との組合せで、各規約短絡電流ごとに試験結果にもとづく保護協調の形式を示すと表 5.2 のごとくになる。この表から H シリーズ電磁接触

表 5.1 保護協調の形式  
Types of coordination.

形 式	内 容
a	いかなる損傷も許容
b	接点溶着とサーマルリレーのパーマントセットのみ許容
c	接点溶着のみ許容
d	いかなる損傷もなし

表 5.2 各組合せにおける保護協調の形式  
Type of coordination in various combinations.

電磁接触器	試験電流 PF<0.3 kA 3φ 460V 60 Hz	組合せる短絡保護装置					
		NS 形	ノーヒューズしゃ断器				
			NF-100 E	NF-225 G	NF-100 R	NF-225 R	NFU-100 NFU-225
MSO-H 35	3.5	d	b(d)	—	b(d)	—	b(d)
	10	d	b(c)	—	b(d)	—	b(d)
	50	d	—	—	b(c)	—	b(c)
MSO-H 65	6.5	d	b(d)	—	b(d)	—	b(d)
	10	d	b(c)	—	b(d)	—	b(d)
	50	d	—	—	—	—	b(d)
MSO-H 100	10	d	b(d)	b(d)	b(d)	b(d)	b(d)
	30	d	—	b(c)	b(c)	b(c)	b(d)
	50	d	—	—	b(c)	b(d)	b(d)
MSO-H 150	15	d	—	d	—	—	d
	30	d	—	c	—	—	d
	50	d	—	—	c	—	d

注) ( ) は飽和リアクトル付きのとき、またはヒータの定格電流が大きいとき。

表 5.3 電磁接触器の許容過電流以下となる電線の長さ  
Wire length to become below permissible over current of the contactors.

フ レーム サイズ	通電 10 ms 時の許容過電流		許容過電流以下の短絡電流となる電線こう長 m				
	A		電 線 の 太 さ  mm²	回 路 電 圧			
	H シ リー ズ	S シ リー ズ		220 V		440 V	
				H シ リー ズ	S シ リー ズ	H シ リー ズ	S シ リー ズ
35	3,500	1,800	14	27	54	54	108
65	6,500	2,100	22	24	74	48	148
100	12,000	2,900	38	22	90	44	180
150	17,000	3,400	50	20	99	40	198

器の定格電流の 100 倍の電流までは、必要に応じて飽和リアクトル付きを使用するとすれば、ノーヒューズしゃ断器と組合せても、保護協調の形式として最高度の d 形式が実現できることがわかる。100 倍以上の電流については、電磁接触器は接点溶着を発生する 경우가多いが、この場合でもその損傷の度合は軽微で、他の部分への損傷の波及はほとんどなく、この点でも H シリーズ電磁接触器は通常のものとは大きく異なっている。また永久ヒューズ付きしゃ断器 NFU 形との組合せでは、ほとんどの場合保護協調の形式 d が実現でき、きわめて優秀な協調が得られる。

表 5.2 に示す形式は、電磁接触器の直下で短絡事故が発生した場合のものであるが、一般の回路では、短絡事故は負荷の末端で発生するほうが多い。この場合当然配線のインピーダンスのために、短絡電流は相当に軽減されることになる。配線のインピーダンスのみにより、短絡電流が電磁接触器の溶着電流以下となる場合の電線の長さを、H シリーズと S シリーズの電磁接触器について計算すると表 5.3 のごとくなる。この表において、当然のことながら H シリーズと S シリーズ電磁接触器の間には大きな差がある。H シリーズ電磁接触器の場合、短絡電流が接点溶着電流以下に減少する配線の長さは、220 V 回路で 20～27 m、440 V 回路で 40～54 m で、他のインピーダンスによる電流の減少を考えるとこの長さはさらに何%か減少することになる。この程度の配線の長さは、一般的に使用されている電線長さであり、この点を考えると H シリーズ電磁接触器とノーヒューズしゃ断器の組合せは、最も可能性の多い負荷の末端での短絡事故に対しては、保護協調の形式 d となる可能性が大きく、実質的に H シリーズ電磁接触器の使用は、システムの信頼性を大幅に向上させることができる。

このことはまた、主幹しゃ断器と分岐しゃ断器の間にカスケードしゃ断方式を採用する場合に大きなメリットとなる。カスケードしゃ断方式は、経済性の点から最近多く採用される方式の一つで、分岐しゃ

断器のしゃ断容量は多くの場合、負荷の末端近くでの規約短絡電流で選定されるため、小形で安価な分岐しゃ断器とすることができる。この方式において H シリーズ電磁開閉器を使用した場合、負荷の末端での短絡事故に対する保護協調の形式は、前述したようにほとんどの場合 d 形式とすることができる。これに対し通常の電磁開閉器を使用する場合には、負荷の末端での短絡事故に対しても多くの場合接点の浮上りを生じ、接点の溶着はもちろん、電磁接触器のフレームサイズによっては、アークショートによる二次的な大短絡事故に発展する可能性も含まれており、保護協調の形式を c または b、場合によっては a にまで低下させることになる。

このように H シリーズ電磁開閉器は、NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と組合せて完全な保護協調を実現すると同時に、ノーヒューズしゃ断器と組合せても、飽和リアクトル付きサマルリレーを使用すれば、保護協調の形式 c 以上を確実に満足するすぐれた特長を有している。

## 6. む す び

電磁開閉器を含む回路での器具の選定は、技術的要求と経済的要求が相反する場合がしばしばあり、これらの調和が重要で、考えられる各種の組合せの可能性の中から、適切なものを合理的に選択する必要がある。ここに紹介した H シリーズ電磁開閉器および NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器は、時代のニーズのうちで特にシステムの継続性、信頼性および保守性を必要とする用途に合致するもので、高度な保護協調の形式を実現している。これは、今まで実現の困難であった形式であり、その実現はシステムを設計する上で、選択の範囲の一つの拡大であると信じる。

NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と H シリーズ電磁開閉器の実使用の実績はいまだ少いが、今後需要家各位にご愛用いただき、批判をいただきたいと考えている。



## 誘導電動機の保護継電器

三浦 守生\*・中村 隆\*

## Protection Relays of Induction Motors

Nagoya Works Morio Miura・Takashi Nakamura

Protection of induction motors tends to become multifarious. This is because that the motors are getting small sized and light-weight while their types are shifting to class E and further to class F. This brings about the decrease of thermal tolerance. Also in the way of using them, they are classified to intermittent operation, forward and reverse operation and variable load operation. On the other hand, they vary in construction such as underwater operation, poles changing operation and frequency changing operation. That is why the means of protection differ.

Consequently, it is essential to select appropriate protecting relays to insure the best operating ability. Herein are described chiefly the outlines of thermal operation type overcurrent relays, newly developed static type combined protection relays (3E relays) and temperature protection relays. Also the standard of selecting protection relays is summarized in the paper.

## 1. ま え が き

最近の誘導電動機は絶縁技術の向上と小形軽量化のすう勢からE種へさらにF種へ移行し、特性面でも熱的裕度の減少の傾向もみられる。一方使用方法も自動機械、設備の普及発達から電動機の間欠運転、正逆運転および変動負荷運転と多岐にわたっている。このため電動機に適正な保護継電器を付け保護することは電動機的能力を十分に発揮させるために必要である。

保護方式も誘導電動機の形式、用途に応じた種々の形式があり、線電流で電動機巻線の温度上昇を推定する方式が最も一般的であるが、この方式では必ずしも十分な保護ができない場合もあり、直接

電動機巻線の温度を検出する埋込サーモスタット方式も普及しつつある。さらに欠相の保護、反相による逆回転防止等も必要とされることが多い。

このたびこれらの機能を1台に持たせた複合形保護継電器である静止形3E継電器、およびPTCサーミスタによる埋込形電動機過熱保護継電器を開発したので、これらの特性を紹介するとともに誘導電動機の保護の考え方と保護継電器の選定基準について述べる。

## 2. 誘導電動機の保護目的とその保護継電器

誘導電動機の保護は電動機容量、形式および配電設備などにより異なるが、電動機の過負荷および拘束による巻線の過熱保護、巻線

表 2.1 三相誘導電動機の保護目的と適用保護継電器  
Protection objects and corresponding devices for induction motors.

保 護 対 象			誘 導 電 動 機 自 体 の 保 護										配 電 系 の 保 護				機 械 系 の 保 護	
			過 負 荷						拘 束		水中電動機 (安増防燃)	三相不平衡	欠 相 (焼損防止を含む)	短 絡	過 電・不足 電 圧	漏 電 (地絡)		逆 相
			標 準 責 務		間 欠 運 転		かご形巻線形	巻線形										
			一般 かご形	巻線形	水中 電動機	一般 かご形			巻線形	水中 電動機								
適用 継 電 器																		
熱 動 形 過 電 流 継 電 器	TH-□□	2 素 子	○	○		△	△		○	△			△					
		3 素 子	○	○		△	△		○	△			○		△			
	TH-□□-SR (リアクトル付)		○	○		○	△		○	△								
	TH-□□-FS (速 動 形)																	
静 止 形 複 合 保 護 継 電 器  (3E, 4E 継 電 器)	一般電動機用	MF-3□□	◎	○		○	△		○	○		◎	◎		△		◎	◎
		MF-4□□	◎	○		○	△		○	○		◎	◎		△	◎	◎	◎
	水中電動機用	MF-3□□W			◎							◎	◎	◎	△		◎	◎
		MF-4□□W			◎							◎	◎	◎	△	◎	◎	◎
埋 込 形 サーモ スタット	SRP 形 (PTC サーミスタ式)		◎	○	○	◎	△	○	○		○	○	○	△	△			
	TI 形 熱 動 安 全 器		○			○			○				△		△			
	バイメタル式 (クリクソン)		○			△									△			
KC 形 電磁式過電流継電器				◎	△		◎		○	○								
	瞬 時 形						△			○				○				
誘導式 継電器	CO 形 過 電 流 継 電 器		○	○	○	○	△		○	△	△			○				
	CV 形 電 圧 継 電 器														◎			
MB 形 モーターブレーカ			○	○		△	△		○	△			△	○				
PU 形 サーマル付押しボタン始動器			○			△				△								
SRE 形 (静 止 式) 電 圧 継 電 器															◎			
NF 形 ノーヒューズしゃ断器															◎			
FA 形 ヒューズ															◎			
NV 形 漏 電 し ゃ 断 器														○		◎		
LOE 形 地 絡 継 電 器																◎		

の短絡保護など電動機そのものの保護と、駆動機械系の保護、および安全確保と、配電設備の保護などがあり、それらの保護目的をまとめると次のようになる。

- (1) 過負荷保護
- (2) 拘束保護
- (3) 短絡保護
- (4) 過・不足電圧保護
- (5) 欠相（単相）保護
- (6) 三相不平衡保護
- (7) 反相（逆回転防止）保護
- (8) 漏電保護

以上、誘導電動機の保護目的と保護継電器について代表的なものをまとめて表 2.1 に示した。

### 2.1 過負荷保護

誘導電動機の故障形態には、一般的に過負荷による巻線の温度上昇と、拘束による回転子等の過熱があり、その保護するところはかご形、巻線形および運転責務により多少異なる。

現在、誘導電動機の過負荷耐量は、NEMA 規格等一部の外国規格にサービスファクタとして規定があるのみで、国内規格には規定がなく、各メーカにより値を異にする。

また保護継電器の側では、JEM 1096-1970「電動機用熱動形過負荷継電器の特性」および IEC-292-1「Direct on Line Starter」等の中に規定されている。

図 2.1 は当社製 SB-E 形電動機（E 種）の熱特性と JEM 規格の特性を示す。熱特性曲線は過負荷と拘束における巻線が許容温度に達するまでの時間を結んだものである。

過電流継電器は電動機入力電流により電動機巻線の温度上昇を検出し保護する方式で、反限時特性を持つ熱動形過電流継電器と誘導形過電流継電器が従来から多く使用されている。最近、過負荷保護特性の精度の良い静止形過電流継電器や静止形 3E 継電器の使用も増加している。

また短時間の反復過負荷、変動負荷、特殊運転サイクルなどによる蓄積の過熱や外部要因（冷却ファンなどの故障）による温度上昇に対しても保護するため、電動機巻線の温度を直接検出して保護する埋

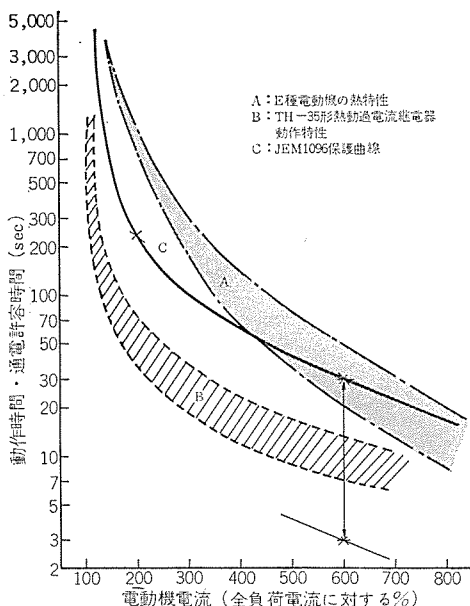


図 2.1 電動機の熱特性と保護曲線  
Thermal characteristic of motor and protection curves.

込サーモスタット方式がある。

### 2.2 拘束保護

電動機拘束の状態では定格電流の 5～8 倍の電流が流れるため電動機は急速に加熱される。電動機の許容拘束時間は容量・形式・冷却方式などにより異なるが、一般には 20～40 秒程度である。これに対する保護は、通常熱動形・誘導形・静止形および PTC サーミスタを使用した埋込サーモスタット形により行なう。

また水中電動機や安全増防爆電動機においては許容拘束時間が 5～10 秒と短く電流検出の過負荷保護継電器で特に速動形のものを使用する必要がある。図 2.2 に保護特性の一例を示す。

### 2.3 短絡保護

電動機の巻線短絡および回路短絡時は電源容量・回路条件により異なるが、通常定格の 10 倍以上の大電流が流れるので電動機および配電系統の保護上急速に回路をしゃ断する必要がある。低圧用では、ヒューズまたはノーヒューズしゃ断器を、高圧用では電力ヒューズ等が使用される。これらの機器は電動機の始動特性を含め保護協調を考慮して選定する必要がある、選定例を図 2.3 に示す。

### 2.4 過・不足電圧保護

過電圧より一般に不足電圧が問題になる。電圧低下により電動機

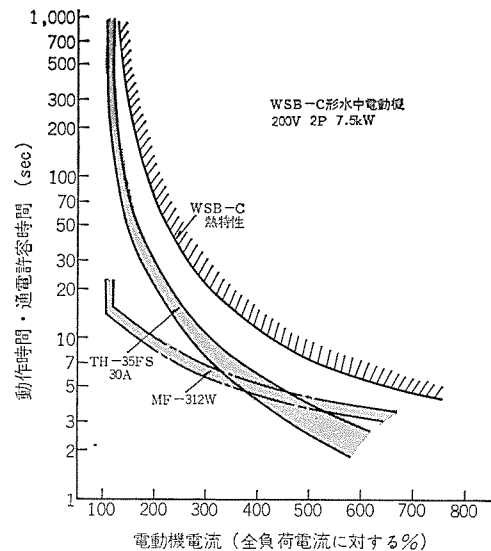


図 2.2 水中電動機の熱特性と保護継電器  
Thermal characteristic of submersible motor and protectors.

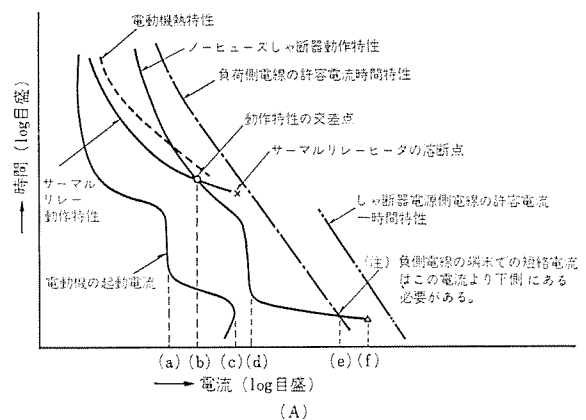


図 2.3 保護協調の各特性の関係  
Relation among various characteristics in coordination.

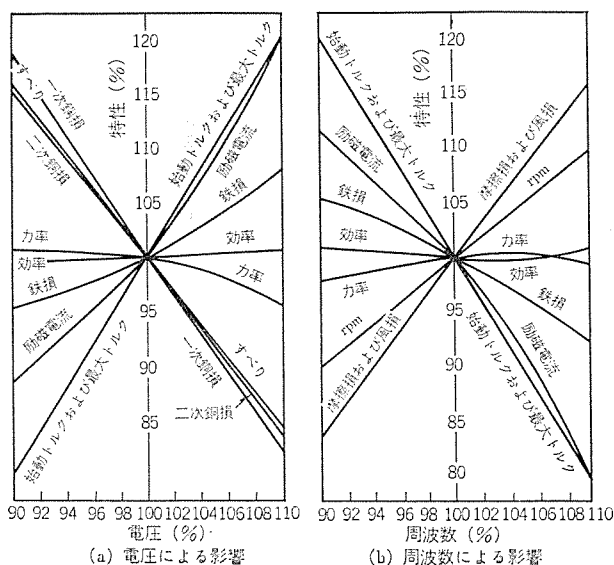


図 2.4 電源変動が電動機に与える影響  
Effect of voltage regulation.

電流が増加し過熱されることを防ぐ目的もあるが、むしろ駆動機械操作上の安全を目的とすることが多く、反限時特性を持つ誘導形の不足電圧継電器や瞬時動作形の誘導形および静止形電圧継電器が使用される。図 2.4 に電源変動が電動機諸特性に与える影響を示す。

## 2.5 欠相、三相不平衡および反相保護

欠相は配電系統に電力ヒューズを使用している場合、一相熔断等により起こり得る。欠相には起動前の欠相と運転中の欠相があり、前者の欠相は単相拘束の状態となり 4～7 倍の電流が流れ、拘束保護と同様に保護されるが、後者の場合は次の条件と合せて保護を考慮する必要がある。

- (1) 電動機入力直接的欠相
- (2) 電動機内部の欠相
- (3) 電源変圧器の一次側欠相
- (4) 大容量と小容量の電動機が並列に接続された場合の欠相
- (5) 単相電動機が並列にある場合の欠相

などが考えられるがいずれの場合も欠相保護継電器・3E 継電器を使用すれば容易に保護可能であり、大部分の場合は 3 素子の熱動形過電流継電器で保護可能である。

次に三相不平衡電圧が電動機に加えられる場合は不平衡電流のため巻線は不均一に加熱され、定格の出力では運転ができなくなる。これは電源トランスが V 結線の場合や大容量の整流装置がある場合に起こり、たとえば電源が 220 V、200 V、180 V の不平衡電圧の場合 3.7 kW 4P で電動機の線電流は通常定格電流 14.5 A に対し、約 21 A、20 A、6.7 A となり、電流不平衡率はきわめて大きくなる。不平衡保護に対しては 3E 継電器や埋込サーモスタットによる保護が必要となる。

次に反相保護であるが、これは電動機の保護というよりはむしろ駆動機械系の逆転による危険防止が主目的で、保護継電器として誘導形逆相継電器や 3E 継電器を使用する。

## 3. 保護継電器

### 3.1 TH 形 熱動過電流継電器

#### 3.1.1 構造

誘導電動機の保護装置としては、バイメタル式の熱動過電流継電器

は経済的で取扱い容易であり、比較的保護特性もよいことから一般的に国内外市場で多数使用されている。その構造は図 3.2 に示すように電動機回路に直接入る加熱子（ヒータ）部分と電磁接触器などの開閉装置を制御する機構部分よりなっている。

#### 3.1.2 電動機の過負荷および拘束状態の保護

熱動形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 種電動機を対象として設計されており、動作時間にもこれに最も適した値に設定され適正なヒータ定格の選定によりほとんどの場合保護可能である。当社の SB-E、SB-A 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を図 3.3 に示す。

#### 3.1.3 欠相保護

欠相状態にも前述のように種々あるが、起動前の欠相は単相拘束となるので、全負荷電流の 4～7 倍の拘束電流が流れ保護できる。

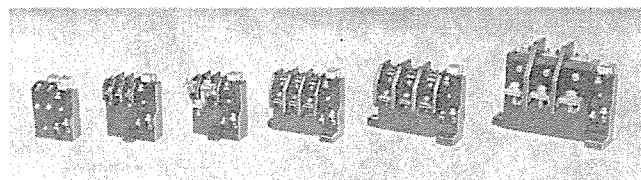


図 3.1 TH 形 熱動過電流継電器  
Type TH thermal overcurrent relays.

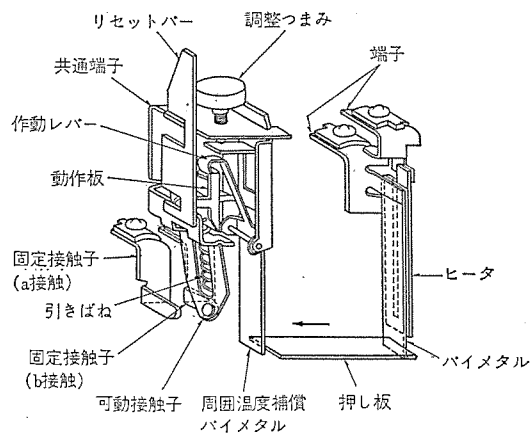


図 3.2 TH 形 熱動過電流継電器動作構造図  
Mechanism of thermal overcurrent relay.

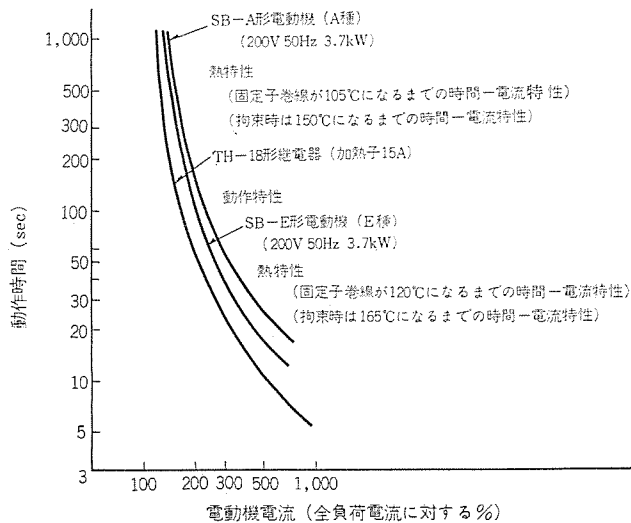


図 3.3 TH-18 形 過電流継電器の動作特性と SB-A および SB-E 形 籠形電動機の熱特性  
Characteristic of thermal overcurrent relay and thermal characteristic of type SB-A and SB-E cage motor.

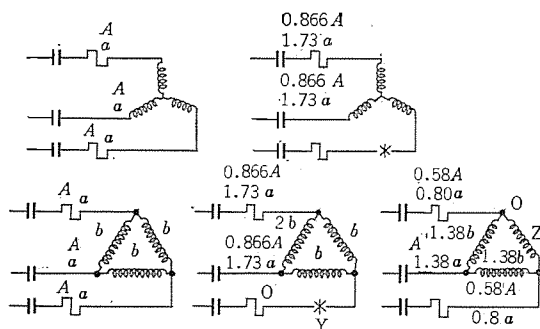


図 3.4 三相の各種相事故における電動機巻線と継電器に流れる電流  
A: 三相の正規結線状態において過電流継電器を流れる拘束電流  
a: 三相の正規結線状態において過電流継電器を流れる運転電流  
B: 三相正規の結線状態において電動機巻線に流れる拘束電流  
b: 三相正規のΔ結線状態において電動機巻線に流れる運転電流

図 3.4 三相の各種相事故における電動機巻線と継電器に流れる電流  
Currents flowing in motor winding and relay at fault on various phases of three phase.

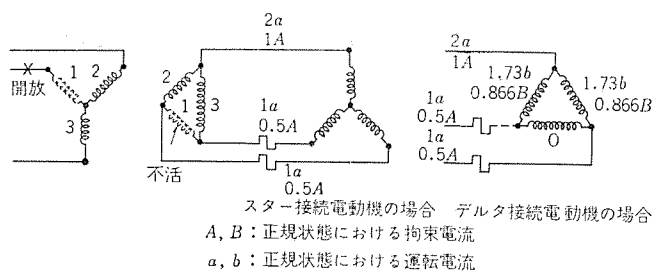


図 3.5 トランス一次側欠相時の電動機電流  
Current division through motor winding single phase condition.

ここでは標準 2 素子の過電流継電器で保護不可能な場合に限って検討してみる。

(a) 図 3.4 に示す Δ 結線の電動機における内部断線、または Y-Δ 起動器における Δ 結線用の電磁接触器の接触不良や、端子部分の締付不良などによる内部欠相の場合

(b) 図 3.5 に示す電源変圧器が Y-Δ または Δ-Y 結線の一次側が欠相した場合

(c) 大容量電動機がほとんど無負荷で、小容量電動機が 100 % 負荷で運転されている場合

以上の状態では図の中に計算値で示したように 2 素子の継電器では保護できないことがある。しかしいずれの場合も 3 素子付きの過電流継電器を用いることにより保護可能となる。当社製 TH 形熱動過電流継電器は、TH-10 形を除いて TH-18~300 形まで 3 素子付きが製作可能となっている。

### 3.1.4 特殊用途熱動過電流継電器

(a) TH-SR 形 飽和リアクトル付き熱動過電流継電器

慣性の大きい負荷を運転する電動機のように、起動に長時間を要する電動機に対しては、普通の継電器では起動時に動作するので適切な保護特性のものが得られないことがある。当社ではこのような場合にも、適用可能な有鉄心の小形リアクトルを加熱子と並列に接続した構造の熱動過電流継電器を製作している。

(b) TH-FS 形 熱動過電流継電器

速動形で完全周囲温度補償形の熱動過電流継電器で、水中電動機や安全増防爆形電動機の保護用として開発されたものである。

### 3.2 MF 形 電動機保護継電器

#### 3.2.1 機能と構造

本継電器は静止形複合保護継電器で、三相誘導電動機の過負荷、

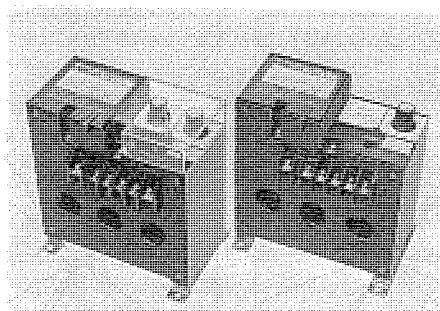
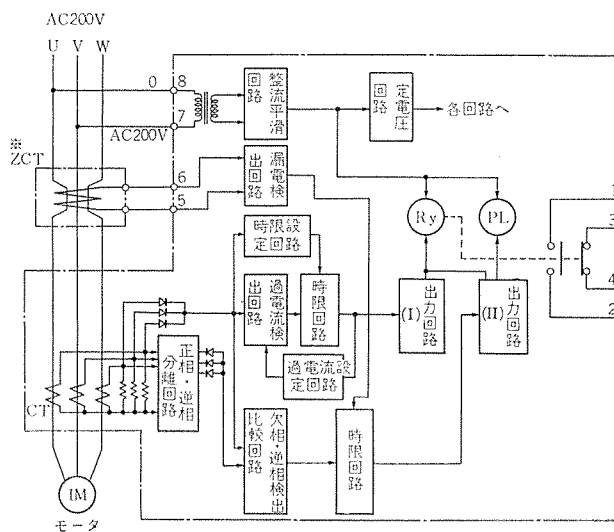


図 3.6 MF 形 電動機保護継電器  
Type MF motor protection relay.



※MF-4(4E)形の場合のみ使用できる

図 3.7 3E (4E) 継電器のブロック図  
Block diagram of 3E (4E) relay.

事故内容	過負荷	欠相			反相
		完全欠相	※不平衡 (定格以下)	不平衡 (定格以上)	
リセットバー飛出	○	○	○	○	○
表示灯点灯	—	○	—	○	○

注) ※ 不平衡率 50 % 以下で三相回路の 1 線が過負荷の場合

図 3.8 事故内容による表示  
Indication according to the class of accidents.

欠相 (含不平衡電流)、反相の 3 要素の保護とさらにオプションとして漏電検出を含めた 4 要素も可能であり、また用途面より標準三相誘導電動機保護用と水中電動機保護専用の 2 系列からなる。

構造は電流検出回路と制御回路を一体のモールドケースに収納し、小形・軽量にまとめ、漏電検出は零相変流器を外部に接続して検出する構成としている。動作電流は上面の調整つまみにより 50~150 % の目盛範囲で調整可能とし、また動作時間も調整つまみにより 5~15 秒の範囲で調整可能である。

ただし水中電動機用は保護特性の点から速動形の 3.5 秒固定時限としている。図 3.7 に内部構成をブロック図で示すが熱動過電流継電器や誘導形と異なり、直接内蔵の貫通変流器 (3 個) により電動機電流の変化を各相電圧に変換し、IC、トリガ素子など電子部品で構成される検出回路で過負荷・欠相・反相を検出し、サイリスタをトリガして出力リレーを動作させる。出力リレーに磁気保持式電磁石を採用し手動引きはしを可能とした、さらにコンデンサの放電々による引きはし回路より欠相時の動作を安定にしている。

表 3.1 MF 形 電動機保護継電器の定格および仕様  
Specification of type MF motor protection relay

項 目	定 格
電動機定格電圧・周波数	AC 550 V 以下 50/60 Hz (CT 使用により高圧も可能)
電 動 機 容 量	0.4~55 kW (at 200 V) (外部 CT により大容量も使用可)
検 出 要 素	3E および 4E
過 電 流 動 作 値	RC 表示 (定格値の 115% 動作)
電 流 調 整 範 囲	定格電流値の 50~150 %
過 電 流 動 作 時 間 (定格の 60% 電流において)	5~15 秒可調整 (ただし水中電動機用は 3.5 秒固定)
欠相動作値および動作時間	定格電流の 10% 以下 1 秒以下
反相動作値および動作時間	定格電流の 5% 以下 1 秒以下
不平衡検出値と動作時間	設定電流の 50% 以上 1 秒以下
漏電検出値と動作時間 (4E 形のみ適用)	感度電流 30 mA および (100 mA) 動作時間 0.1 秒以下および (0.2 秒以下)
定 格 操 作 電 圧	AC 100/200 V 50/60 Hz 共用, AC 400 V 50/60 Hz (ただし 4E 形は AC 100 V, 200 V おのの専用となる)
接 点 仕 様	1 a 1 b AC 440/220 V 3/5 A

項 目	特 性
使用周囲温度	-10~+55°C
電 圧 変 動 特 性	過電流要素 定格の -15~+10% にて $\pm 1\%$ 欠相要素 定格の -50~+10% にて $\pm 1\%$
周囲温度特性	過電流動作値 -10~+55°C にて $\pm 5\%$ 過電流動作時間 -10~+55°C にて $\pm 10\%$
耐 電 圧	端子一括アース間 AC 2,500 V 1 分間 電源端子一出力端子間 AC 2,000 V 1 分間
耐 衝 撃 電 圧	端子一括アース間 AC 4,500 V $1 \times 40 \mu s$
絶 縁 抵 抗	端子一括アース間, 電源端子一出力端子間 100 M $\Omega$ 以上
過 電 流 強 度	40 倍の過電流過電 1 秒間異常なし
耐 振 動・耐 衝 撃	16.7 Hz 2 G 各方向 1 時間異常なし 10 G 異常なし

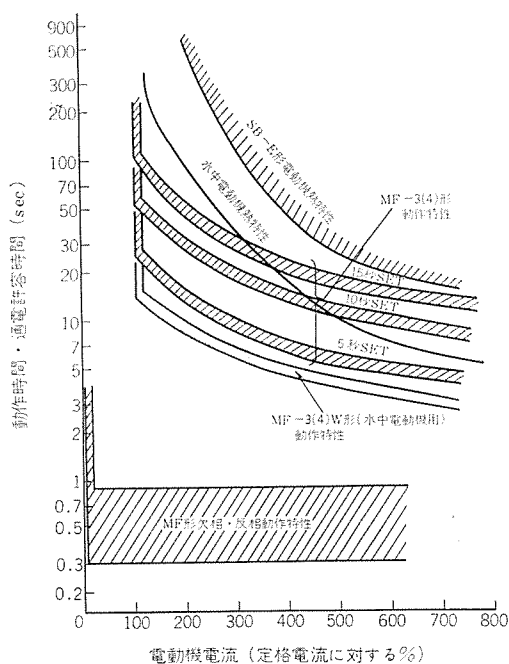


図 3.9 MF 形 モータ保護リレー とかご形誘導電動機および水中電動機熱特性

Characteristic curves of motor protection relay and thermal characteristic curves of submersible motor and type SB-E cage induction motor.

### 3.2.2 保護特性

定格および仕様を表 3.1 に示す。保護特性は図 3.9 に示すように標準三相電動機および水中電動機ともに過負荷拘束保護可能であり、さらに欠相・反相ともに 20% 程度の軽負荷においても保護可能である。

### 3.2.3 動作原理

#### (a) 過負荷検出要素

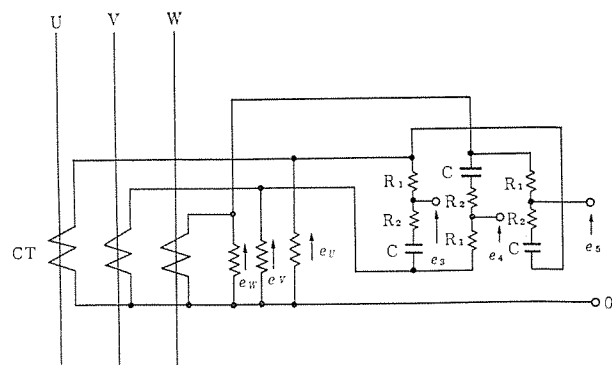
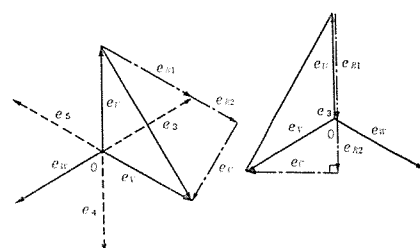
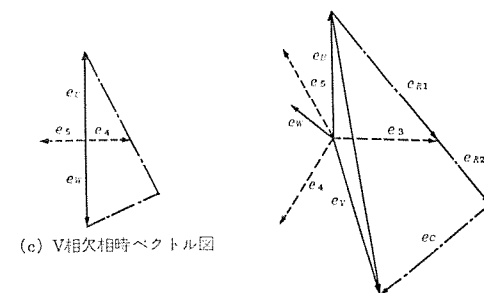


図 3.10 欠相・反相検出回路  
Detective circuit diagram of open and reverse phase



(a) 正相順ベクトル図

(b) 逆相順ベクトル図



(c) V相欠相時ベクトル図

(d) 不平衡電流ベクトル図

図 3.11 検出回路のベクトル図  
Vector of detective circuit.

電動機電流を 3 個の内蔵貫通形変流器で各相検出し、直流電圧に変換平滑し、IC で構成される過電流検出回路、トリガ素子 (PUT) とタンタルコンデンサからなる反時限回路に印加する。この過電流検出回路で、電動機定格電流が設定され、過電流になったとき、反時限回路が作動し、一定時限後トリガ素子より発振パルスが出てサイリスタをターンオンさせ出力リレーを駆動させる。

#### (b) 欠相および反相要素

欠相および反相検出は前記の内蔵変流器の出力を三相交流電圧に変換し、図 3.10 に示した移相回路により、対称座標法による正相分と逆相分に分離した電圧を逆極性に整流平滑し負荷電流に比例した直流電圧と比較検出している。それぞれの場合のベクトル図を図 3.11 に示す。これらのベクトル図より明らかなように正相順で対称三相電流が流れている場合は  $e_U = e_V = e_W = e_3 = e_4 = e_5$  となるが、逆相順の場合は  $e_U = e_V = e_W \gg e_3 = e_4 = e_5 \approx 0$  となる。不平衡電流が流れている場合は  $e_V > e_U > e_W$  のとき  $e_W < e_U < e_3 = e_4 = e_5 < e_V$  となり、欠相の場合は  $e_U = e_W > e_4 = e_5$  となる。

以上のように欠相・不平衡・反相の場合は、いずれも正相分または逆相分電圧より負荷電流による変流器出力電圧が高くなるため、これらの電圧を比較することによりおのの検出することができる。

この方式は新しい原理に基づくもので基本波による移相回路であるが正相分と逆相分を完全に分離しているため、電流波形のひずみや雑音等の影響を受けにくく、20%程度の軽負荷まで一定の不均衡率で応動し、きわめて安定な検出動作ができる。

### 3.2.4 用途

この継電器は一般の三相誘導電動機および水中電動機の過負荷・欠相・不平衡による焼損保護および駆動機械系の逆転防止を主目的とするが、さらに漏電要素を追加した4E継電器は漏電・感電保護も可能である。特に内蔵変流器を3個使用していることにより400V配電系の三相4線式による不平衡電流の検出も可能である。

### 3.3 PTCサーミスタ式温度継電器

この継電器は電動機の巻線内に温度検出素子を埋設して、巻線温度を直接検知することにより、電動機の過熱焼損を防止する保護継電器である。

電流検出の保護継電器では完全に保護できなかった、高ひん度な間欠運転、極数変換運転、周波数変換運転および高い周囲温度での運転における過負荷等の保護が可能になり、近年実用化・製品化が進みIEC(国際電気標準会議)においても規格の審議が進められている。

#### 3.3.1 構造

この継電器はPTCサーミスタ(正温度特性抵抗素子)の温度検出素子と制御部とからなっている。PTCサーミスタは巻線内に埋設する関係上、小形・高感度で構造的には電氣的絶縁、機械的な強度を持たせ、さらに温度的にも200℃以上に耐えるようにしている。図3.12はPTCサーミスタの構造を示す。

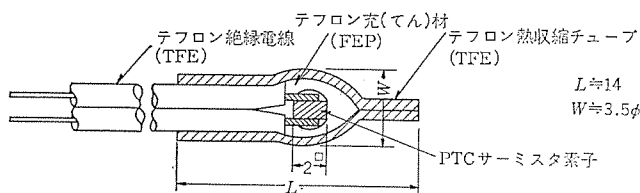


図 3.12 PTCサーミスタの構造  
Construction of PTC thermistor

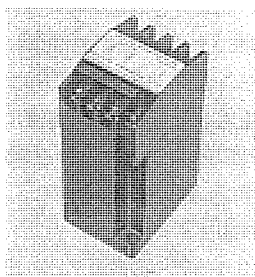


図 3.13 SRP形温度継電器の制御ユニット  
Control unit of type SRP thermo protection relay.

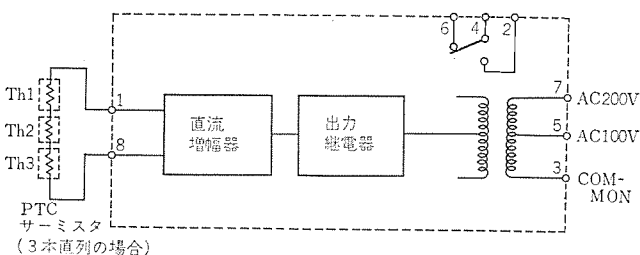


図 3.14 SRP形温度継電器のブロック図  
Block diagram of type SRP thermo protection relay

制御部はPTCサーミスタの温度変化を半導体回路で検出し、出力リレーを動作させている。図3.13にその外観を、図3.14に回路のブロック図を示す。PTCサーミスタの温度抵抗特性は図3.15に示すように設定温度以下ではほとんど変化がなく、設定温度を越えると、わずかな温度範囲で抵抗値が10~1000倍と急変する。さらにPTCサーミスタの温度抵抗特性は抵抗急変点の異なるものが容易に製作可能であるので、E種からH種までの絶縁階級の電動機に適用できる。

#### 3.3.2 仕様および適用

PTCサーミスタの温度一抵抗特性の許容値は、図3.16に示すごとくで基本的にIECの草案に合せて動作温度に対して次の値となっている。

$T_r - 20^\circ\text{C}$	.....250 $\Omega$ 以下
$T_r - 5^\circ\text{C}$	.....550 $\Omega$ 以下
$T_r + 5^\circ\text{C}$	.....1,330 $\Omega$ 以上
$T_r + 15^\circ\text{C}$	.....4,000 $\Omega$ 以上

制御部の感度特性もIECの草案に合せ次の値である。

- (1) 動作抵抗値が1,500  $\Omega$ 以下でリセット状態
- (2) 動作抵抗値が3,000~4,000  $\Omega$ でトリップ状態

また絶縁階級その他の仕様は表3.2にまとめたごとくで図3.17はこの保護継電器を実装して、三相誘導電動機の拘束状態にしたときの動作例で、巻線温度と出力リレーが動作するまでの応答特性を示したものである。

拘束時においては定格電流の5~8倍の電流が巻線に流れ、巻線の温度が急上昇するがPTCサーミスタの熱応答に若干遅れが生じる、

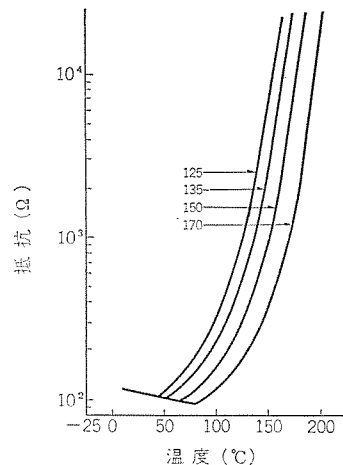


図 3.15 PTCサーミスタの温度・抵抗特性  
Characteristic curve of PTC thermistor.

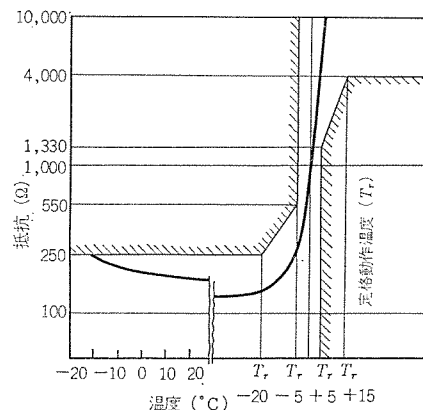


図 3.16 PTCサーミスタの温度一抵抗許容特性  
Allowable characteristic of PTC thermistor.

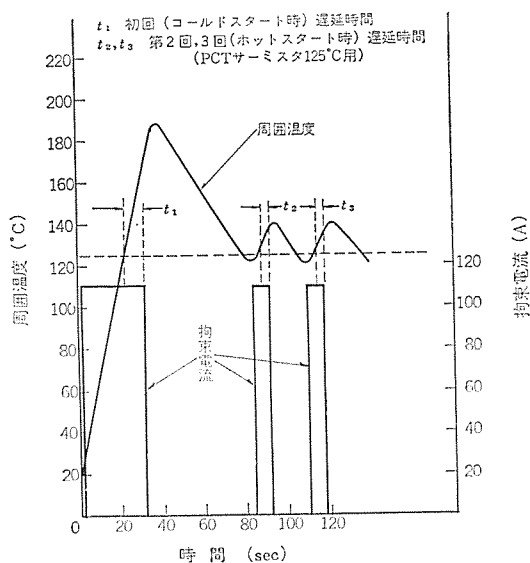


図 3.17 三相拘束始動時動作特性  
Performance characteristic of three phase start on locked rotor.

表 3.2 SRP 形 温度 継 電 器 の 仕 様  
Specifications of type SRP thermo protection relay.

検 出 部					コントロールユニット		
絶縁階級	動作温度	耐電圧	絶縁抵抗	耐熱性	接点容量	接点構成	操作電源
E	125°C	AC 2,000 V 1 分間	10 MΩ (DC 500 V) メカ	200°C	AC 200 V	1 c	AC 100-110/ 200-220 V 50/60 Hz 共用
B	135°C				1 A		
F	150°C				AC 100 V		
H	170°C				1.5 A		

したがって熱応答の遅れを極力少なくするため温度検出素子の絶縁方法、素子の大きさおよび埋設方法、場所を十分考慮しなければならない。

なおこの保護継電器の適用には、次のような場合は十分な保護特性がえられないこともあり注意を要する。

- (1) 固定子巻線の電流密度が 50 A/mm<sup>2</sup> をこえる場合
- (2) 巻線と PTC サーミスタ間の熱抵抗が著しく大きくなる場合
- (3) 固定子巻線より回転子導体の温度が拘束時前に熱的限界に達する場合

#### 3.4 その他の保護継電器

##### 3.4.1 KC 形 電磁式過電流継電器

KC 形 過電流継電器は、遅延要素としてオイルダッシュポットを利用した電磁式過電流継電器で、主として巻線形誘導電動機の過負荷保護に使用している。また高ひん度の繰返し起動操作を行なう電動機、起動抵抗器を持つ直流電動機および水中電動機などの過負荷保護にも使用できる。オイルダッシュポットを使用しない KC-2S 形は瞬時動作

要素として、回路の短絡保護継電器としての使用ができる。動作電流は 400 % ~ 800 % の範囲内で設定可能で、LSH 形 高圧配電箱などの短絡保護用に使用されている。

##### 3.4.2 TI 形 熱動安全器 (オートカット)

TI 形 熱動安全器は、一般に電動機にセットして使用する熱動形の過負荷保護継電器の一種で、一般の熱動形過電流継電器と異なり、電動機電流を直接開閉する能力を持っているので、電動機の過負荷保護装置としては最も経済的なものである。電流検出形の保護継電器と異なり、電動機に直接取付けられているため、電動機電流によるヒータの加熱のみでなく、電動機巻線の温度上昇も検知して保護する。また電動機と同一の周囲温度で使用するため電動機を安全にかつ有効に使用することができる。

定格としては、単相 100 V、80 W から三相 200 V、3.7 kW までの小形誘導電動機に広く使用されている。

##### 3.4.3 CO 形 誘導式過電流継電器

CO 形 過電流継電器は一般に外部変流器と組合せて高圧用の保護継電器として使用される。また瞬時過電流要素を付加することができるため短絡事故のような大電流での高速動作も可能である。過負荷保護の動作時限としては短時限形の CO-4 形、長時限形の CO-5 形があるが、一般誘導電動機の保護用としては長時限形で瞬時引きはずし付きの CO-51 形が適している。過電流検出値の設定範囲が広く (約 3 倍) かつ動作時間も可調整で広範囲に可変できる。このため広範囲の用途の電動機に適用されるがそれだけにその整定には注意を要する。

## 4. む す び

誘導電動機の絶縁技術の向上および用途の多様化に伴い、保護継電器の種類も多くなり、より適切な選定が必要となってきた。ここでは最も広く使用されている熱動形過電流継電器と最近急速に実用化されてきた静止形複合保護継電器 (3 ~ 4 E 形継電器)、および PTC サーミスタを使用した温度検出形の保護継電器を中心にその概要と得失を述べ、また保護装置選択の基準をまとめた。

これら保護継電器の適用の選定に際し、本文が何らかの形で役立てば幸いである。

## 参 考 文 献

- (1) 加来：誘導電動機の保護装置とその選択、三菱電機技報、38, No. 6 (昭 39)
- (2) 岡戸、中沢、宇佐美：誘導電動機の汎用保護継電器、三菱電機技報、42, No. 9 (昭 41)
- (3) 丸地、岡戸、長尾：新形電磁開閉器・接触器、三菱電機技報、42, No. 9 (昭 43)
- (4) 岡戸：ノーヒューズしゃ断器と電磁開閉器の協調、三菱電機技報、45, No. 6 (昭 46)



## 漏電リレーとその応用

武田 克巳\*・河野 教人\*

## Earth Leakage Relays

Fukuyama Works

Katsumi Taketa・Norito Kouno

With the revision of technical standards on electric apparatus which came in force on the first of February, 1973, the obligation of installing leakage interruption equipment has been definitely laid on the public utilities, and in consequence the demand for earth leakage relays is on the increase. Under the circumstances these devices referred to among the products of Mitsubishi are added with a new model of type NV-ZB, which is unique to the Company and brought into a series. This article is for introducing this new device and describing examples of practical adaptation.

## 1. ま え が き

昭和44年1月に労働安全衛生規則の一部改正があり、可搬式または移動式の機械器具など特定な個所における漏電しゃ断器の使用が規定されて、需要が急速に増大し目ざましい発展をとげてきたが、さらに最近電気設備技術基準が改正され昭和48年2月1日から施行されることにより、漏電しゃ断装置の設置義務が明確化されいっそう拡大されつつある。

改正された電気設備技術基準の主旨は、電路の地絡による人身の感電防止、漏電火災、アーク地絡による建物や設備機器などの保護が折り込まれており、同法第41条第1項によれば「鉄製外箱を有する使用電圧が60Vをこえる低圧の機械器具にあって人が容易に触れるおそれがある場所」に施設されたものに電気を供給する電路には原則として、地絡が発生したとき自動的にその電路をしゃ断する装置の設置を義務づけている。また第41条第4項によれば「非常用照明装置・非常用昇降機・誘導灯・鉄道用信号装置その他その停止が公共の安全確保に支障を生ずるおそれのある場合」は漏電しゃ断装置に代えて、漏電警報装置を設置してもよいことになっている。

このような背景のもとに漏電しゃ断装置が急速に発展しているが、この漏電しゃ断装置には漏電検出部と同時にしゃ断機構も内蔵された漏電しゃ断器と、それ自身ではしゃ断機能を有していないが漏電を検出し電氣的信号を発する漏電リレーとに分けられる。漏電リレーは他のしゃ断装置（ノーヒューズしゃ断器・電磁開閉器など）と組合せて、はじめて漏電しゃ断装置として使え、また警報装置としてはウザ・ランプなどと併用することによりその目的を達する。漏電しゃ断器と漏電リレーとは保護目的は同一であるが若干その応用方法は異なり、漏電リレーは自由度が大きく使用方法をよく研究すればきわめて有効に、かつ効果的に使用できるものである。

ここでは低圧用に使用されるNV形漏電リレーの種類・性能とその応用例について説明する。

## 2. 漏電リレーの概要とその種類

電気機器やその電路に地絡が発生し、機器フレームに施された保護接地線を通じて危険な地絡電流が流れたとき、この地絡電流を検知しあるいはフレームの対地電圧を検出する方法に、電流動作形と電圧動作形があるが、電流動作形の場合電圧動作形と比較し、

(1) 接地抵抗を極力小さく管理・維持しなければならない検出

用接地が不要である。

(2) 機器の漏電はもちろん電路からの漏電も検出できる。

(3) 1台の漏電リレーで数個の負荷機器を保護できる。

(4) 機器の保護接地線がたとえ断線していたような場合でも、高感度形の漏電リレーを使用すれば致命的な地絡事故からほとんど保護できる。

などの多大な利点もあり、保護範囲が広いのでわが国では電流動作形が主流を占めている。

## 2.1 構造と動作

NV形漏電リレーはつぎの部分すなわち、1) 零相変流器、2) 外部端子、3) 増幅装置、4) 内蔵リレー、5) テスト装置、6) 漏電表示装置、7) リセット装置から構成されている。

その動作原理は、電路が健全な場合往路電流と帰路電流が等しいため、零相変流器(ZCT)に発生する磁束はお互いに打消し合ってZCTの二次側に電圧は誘起されないが、電路に地絡が発生すると往路電流と帰路電流のベクトル和はゼロとならず、大地を通して流れる地絡電流により、ZCTに磁束が発生し二次出力として電圧が誘起される。ZCTはこの地絡電流を検出するもので、鉄心材料として

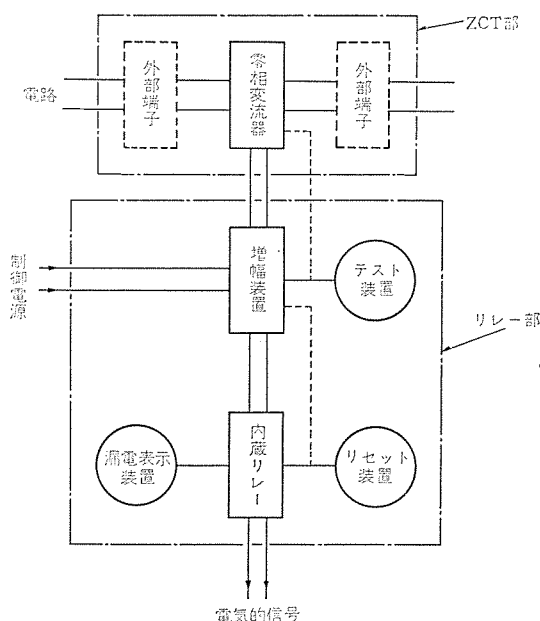


図 2.1 漏電リレーの構成  
Diagram of current operated earth-leakage relay.

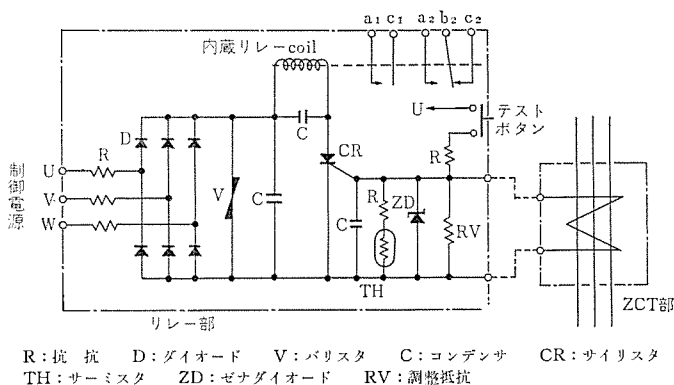


図 2.2 漏電リレーの内部接続図  
Internal connection of solid state type earth-leakage relay.

79% Ni の高級 パーマロイ を使用しており、鉄心の大きさ、断面積、二次巻線の巻数、二次負担など内部構造と使用条件により異なるが、地絡電流が数十 mA 流れたときの二次誘起電圧は数十～数百 mV 程度である。この微小な信号を増幅装置に組み込まれたサイリスタのゲート回路に入れ、サイリスタを駆動して内蔵リレーを作動させ、その接点により電気的信号をとりだすものである。

増幅部分には方式により純電磁式と半導体式とがあり、その両方式にはそれぞれメリット、デメリットがあるが、1) 線返しおよび経時的な感度電流の変化が小さく安定性がある。2) 高感度のものの製作が容易、3) 通電容量の大きい高感度形の漏電リレーが製作できる、などの利点から NV 形漏電リレーは半導体式を採用している。半導体部品には努めて通信機器用の信頼度の高い電子部品を使用し、特に重要なサイリスタ、トランジスタ、ダイオードにはシリコン系の部品を用い、コンデンサ等についても特に高温用を採用するなど高い周囲温度に対しても十分なる配慮がなされている。また電子回路全体を耐熱性のあるエポキシ樹脂でモールド化することによって、絶縁劣化を防ぎ高湿・じんあいなど悪環境における信頼性もあげている。

内蔵リレーが動作するとそれに連動し、機械的な表示ボタンあるいは電気的な表示灯により漏電したことを残す漏電表示装置を備えている。漏電動作すると電気的には増幅回路のサイリスタにより内蔵リレーは動作状態を維持し、機械的には漏電表示ボタンにより内蔵リレーをロックして自己保持を保っているため、再使用の場合はリセッ

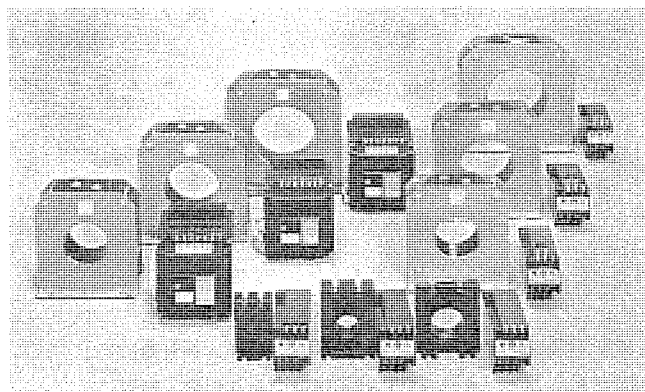


図 2.3 分離形漏電リレー (NV-ZB, NV-Z 形) の外観  
Type NV-ZB and NV-Z earth-leakage relays.

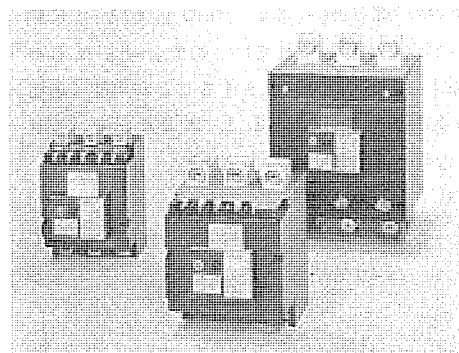


図 2.4 一体形漏電リレー (NV-R 形) の外観  
Type NV-R earth-leakage relays.

ト装置を操作して、内蔵リレーの動作状態を解除する必要がある。

応用例で後述する自動復帰形の漏電リレーは別として、ランプ・ブザーと併用し漏電警報装置として使用する場合、漏電リレーは動作状態を継続する自己保持形が便利である。

## 2.2 種類とその特長

NV 形漏電リレーは ZCT 部とリレー部の組合せにより、つぎの 2 形式に分類される。

- (1) ZCT・リレー分離形 (NV-ZB・Z シリーズ)
- (2) ZCT・リレー一体形 (NV-R シリーズ)

分離形は ZCT とリレー部が分離されており、配線方法に応じリレ

表 2.1 ZCT・リレー分離形 (NV-ZB, Z シリーズ) 一覧  
Specification of type NV-ZB and NV-Z.

リレー形式	形 名	相 線 式	定 格 電 圧 AC V	感 度 電 流 mA	動 作 時 間 秒(以内)	定 格 過 電 流 kA	内蔵接点構成および定格	ZCT の貫通 穴径 mm	三相 3 線の通電 容 量 A	
電気式自己保持リレー内蔵	NV-Z 15 B	三相 4 線 三相 3 線 単相 3 線 単相 2 線	110—220 (切換形) 440	30 100—500 (切換形)	0.1	70 (せん頭値)	1 c 連続通電電流 5 A しゃ断電流量 (PF : 0.4) AC 100 V 2.5 A AC 200 V 2 A DC 30 V 2 A	15	33	
	NV-Z 30 B			30				135		
	NV-Z 40 B			40				260		
	NV-Z 60 B			60				560		
	NV-Z 80 B			80				760		
	NV-Z 100 B			100				1,140		
機械式自己保持リレー内蔵	NV-Z 60	三相 4 線	(110)	200 500	0.1	70 (せん頭値)	1 a・1 c 連続通電電流 7.5 A しゃ断電流量 (PF : 0.4) DC 12 V 7.5 A DC 24 V 5 A AC 100 V 7.5 A DC 48 V 1 A AC 200 V 7.5 A DC 100 V 0.2 A AC 400 V 1.25 A DC 200 V 0.1 A	60	560	
	NV-Z 80	三相 3 線 単相 3 線	220 440					80	760	
	NV-Z 100	単相 2 線	440						100	1,140

注) 通電容量は 600 V 架橋ポリカーボネート (CV) で配線したときの許容電流を示す。

表 2.2 ZCT・リレー 一体形 (NV-R シリーズ) 一覧  
Specification of type NV-R.

形 名	組 線 式	定 格 電 圧 ACV	感 度 電 流 mA	動 作 時 間 秒(以内)	定 格 過 電 流 kA	内蔵接点構成および定格	最大通電容量 A
NV-R 100	三相3線	(110)	30	0.1	40 (せん頭値)	1a・1c 連続通電電流 7.5 A しゃ断電流量 (PF: 0.4) DC 12 V 7.5 A 24 V 5 A AC 100 V 7.5 A 200 V 7.5 A 400 V 1.25 A	100
NV-R 225	单相3線	220	(200)			DC 48 V 1 A AC 100 V 0.2 A 200 V 0.1 A	225
NV-R 400	单相2線	(440)	(500)				400

注 ( ) 内は標準品

一部を別置きにできるので、盤や箱内のスペースが有効に利用できること、また ZCT は貫通形であり相数・線数など配線方式にとらわれず、しかも配線する電線によっては通電容量が上げられるなどの利点がある。

一体形は ZCT 部とリレー部が一体のモールドケースに納められ、外部端子が設けられているのでノーヒューズしゃ断器や電磁開閉器などとドッキングすることが可能である。

各シリーズの種類と定格は表 2.1, 2.2 に示し、それぞれのおもな特長はつぎのとおりである。

#### NV-ZB 形

(a) リレー本体はコンパクトで取付面積が小さく、特にコントロールセンタ、スタータなど盤や箱に内蔵するのに最適である。

(b) 取付ピッチは制御用継電器 SR シリーズ (SR 形電磁継電器, SR 形タイマ, SR 形リードリレー) とまったく同一。

(c) 定格電圧 100-200 V 用はタツ切換式で兼用形。

(d) 定格感度電流は感電防止用 30 mA の高感度品から一般用の 500 mA までそろえ、100-500 mA, 200-500 mA は感度切換形で保護する回路の条件により自由に設定できる。

(e) ZCT は電線貫通穴 15φ~100φ までシリーズ化し、3φ 3W 式の場合 30 A~1,000 A 回路の広範囲に使用できる。

(f) 漏電動作時には漏電表示灯が点灯し、電気式自己保持リレーを内蔵しているので、制御電源を切れば自動的にリセットできる。またリセットボタンも備えているので、制御電源を切らなくても手動でリセットすることが可能である。

#### NV-Z 形

(a) 内蔵接点の定格容量が大きいので、特に AC 400 V 用あるいは DC 100 V 回路にも使用できる。

(b) 内蔵接点は 1a, 1c 付なので、ノーヒューズしゃ断器や電磁開閉器を組合せて動作させると同時に、別の警報回路、その他の制御回路が構成できる。

(c) 漏電表示装置は機械式であり、漏電動作後制御電源が切れても漏電表示は残り、故障回路の発見が容易である。またリレー部にマイクロスイッチを内蔵し、漏電動作と同時に内部の制御回路を自動的に解除する構造に設計されているので、別途に制御電源を切らなくてもリセットボタン(兼漏電表示ボタン)を押すことによりリセットが可能である。

#### NV-R 形

(a) 三相の場合内蔵リレーの駆動電源は三相全波整流回路に接続されているので、一相が欠相しても单相全波整流回路が残り、内蔵リレーはこの单相電源でも駆動するように設計されているので、欠相時の地絡でも正常に動作する(図 2.2)。

(b) 外部端子はソルダレスターミナル、バー、圧着端子および裏面接続

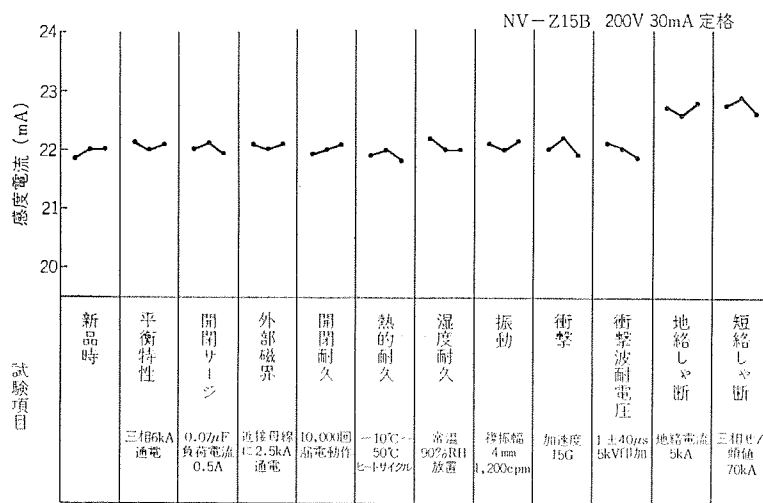


図 2.5 NV-Z 15 B 形の試験と感度変化  
Change of operating current during test on NV-Z 15 B.

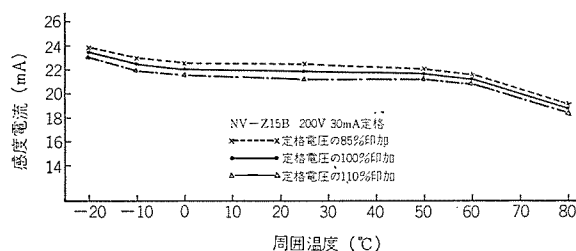


図 2.6 NV-Z 15 B 形の温度・電圧特性  
Temperature-voltage characteristics of type NV-Z 15 B

形など各種の接続ができる。

(c) 漏電表示装置は機械式 (NV-R は漏電動作後、リレー内部で制御電源を自動的に切らないのでリセットする場合は何らかの方法で制御電源を切る必要があり、ノーヒューズしゃ断器や電磁開閉器と組合せるときはこれらの LOAD 側に接続すること)

### 2.3 特性・性能

漏電リレーの特性は ZCT の特性と増幅装置の特性の組合わされたものとなり、ノーヒューズしゃ断器あるいは電磁開閉器と組合せて使用される関係上種々の特性が要求される。NV 形漏電リレーは図 2.5 に示すおもな試験を行ない実用上の支障がないことを確認している。

#### 2.3.1 感度電流の変化

永久磁石と可動片から構成され磁気吸引力のバランスを利用した純電磁式のものは、機械的な摩擦、可動片接触面の変形、水分による吸着など接触状態の変化により感度電流が不安定であるが、半導体式は摩擦部分がなく繰返しによる感度変化はきわめて小さく 30 mA 定格のとき 0.5 mA 以下である。

周囲温度による感度電流は、電子部品の温度特性、ZCT の出力変化により左右されるが、図 2.2 に示すようにサイリスタのゲート回

路に高級サーミスタ(TH)を入れて温度補償回路を形成し、ZCTの出力変化にマッチングされた温度補償がなされているのでその変化は小さい。

周囲温度、電圧変化による感度電流の特性の一例を図2.6に示すが、 $-10^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ の範囲では変化幅が数mA以下と小さく、 $-20^{\circ}\text{C}\sim+80^{\circ}\text{C}$ の範囲においても実用上の問題はないと考えられる。しかしながら配線されるビニル電線あるいはポリエチレン電線の耐熱性、ならびにその他絶縁物の温度限度を考慮して一般には $50^{\circ}\text{C}$ 以下で使用する事が望ましい。

図2.5は各試験後感度電流を3回測定した実測データであるが、繰返しの感度電流の変化はきわめて小さく、過大な地絡電流を流さない限り新品時とまったく変わらないことがわかる。大きな地絡電流が流れたとき感度電流は若干鈍くなる傾向にあるが、ZCTの鉄心材質、二次巻線の増大、二次インピーダンスの低減などZCTの残留特性を押えることにより改良できる。NV形漏電リレーは5,000Aの地絡しゃ断を行ない、その後の特性変化も小さく引き続き正常に動作することが確認されている。

### 2.3.2 定格過電流

定格過電流とは相間短絡時の大電流が流れたとき、漏電リレーがそれに耐え得る強度を電流値で示し、別名の短絡強度電流と同義語である。

この大電流が流れたときZCT貫通電線は電磁力により過大な反発力を生ずるとともに、ZCTの二次側に大きいパワーが表われる。ZCT貫通電線が線数に応じた2心～4心の同軸ケーブルであれば、この電磁反発力はZCT部に直接全部加わることはないが、各相ごとに1本の電線で配線された場合、各電線の反発力はZCTの内壁に加えられ、ZCT部が破損またはZCTの鉄心に機械的なひずみを生ずることがある。

NV-ZB形のZCT部の内部構造を図2.7に示す。ZCTの鉄心は絶縁も兼ねたポリカーボネートの鉄心ケースに入れ、さらに二次巻線後、電磁軟鉄製の磁気シールドケースでおおい、それを強化プラスチックで成形されたモールドケースに納めている。この磁気シールドケースは平衡特性の改良、外部磁界の影響を防止するなど重要な役目をもつものであるが、絞り加工しているので十分な強度を有しており、過大な電磁反発力を受けても変形することなく、ZCTの鉄心に機械的なひずみを与えないように保護する役目も備えている。またこの磁気シールドケースに密着されたモールドケースの内壁は補強され破損することがない。

ZCTの二次側にあらわれる大きいパワーは、電子回路に設けられたゼナーダイオードやRCフィルタ回路によりこのエネルギーを吸収される(図2.2)。このようにサイリスタなど電子部品は保護されているので、定格過電流の大きさは特性的な変化よりむしろ電磁力による機械的な強度で制限されている。

定格過電流の確認はノーヒューズしゃ断器(NFB)と組合せ短絡試験で確認するが、ここで注意を要するのは実際にZCTに通過する最大せん頭電流値を定格過電流として表示しており、その回路の推定短絡電流ではないことである。すなわち回路の短絡電流はNFBの内部インピーダンス、接点の反発するアークなどにより限流されているので、実際のZCTに流れる通過電流は小さいのが普通である。図2.8に当社NFBのHシリーズの限流特性を示すが、特に高しゃ断容量をもつT.R.Uシリーズはいっそう限流効果が大きく、その通過最大せん頭電流は相当小さくなっている。

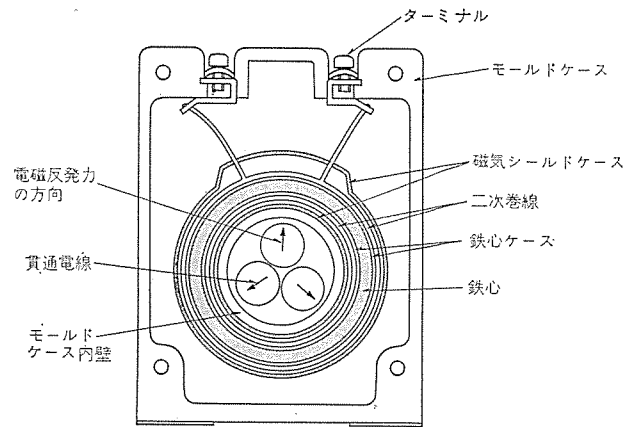


図 2.7 NV-Z15 B 形の ZCT 部内部構造図  
Interior construction of current-balance transformer.

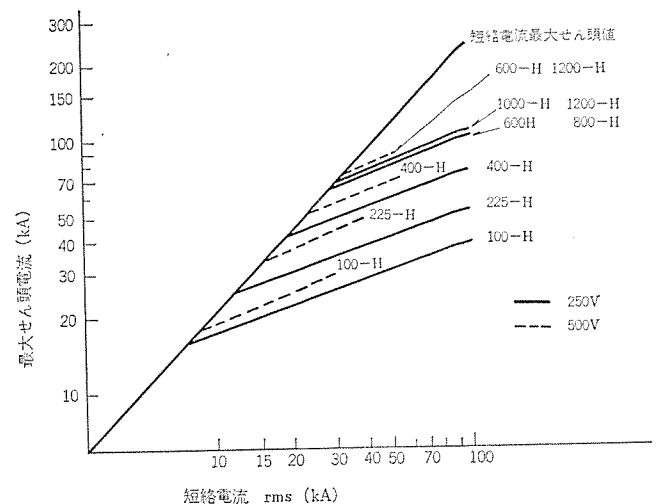


図 2.8 NF Hシリーズの限流特性  
Current limiting characteristics of type H series

したがって漏電リレーとNFBを組合せる場合、単に定格過電流としゃ断容量を比較するだけでなく、NFBの限流特性も考慮する必要がある。

## 3. 応 用 例

地絡保護装置として使用する漏電リレーが、漏電しゃ断器と比べ有利な点として次の場合がある。

- (1) ノーヒューズしゃ断器や電磁閉閉器など他の過負荷保護器が既設され、これに漏電リレーを組合せて地絡しゃ断したい場合。
- (2) しゃ断容量・通電容量の面で漏電しゃ断器では容量不足のとき。
- (3) 給電の連続性を断ち、その回路をしゃ断することにより、安全上および生産上の多大な損害を与える場合、その故障回路の検出を警報装置としたいとき。

この他漏電リレーの使用方法は種々考えられるが、ここではノーヒューズしゃ断器、あるいは、電磁閉閉器と組合せた場合の例とその留意すべき点、および時延形漏電リレーを使用する保護協調について述べる。

### 3.1 ノーヒューズしゃ断器(NFB)との組合せ

現在市場にある漏電しゃ断器は相当豊富にあるが、いまだ永年の実績もあり、しゃ断容量・通電容量に応じて数種類あるなどきわめて選定に自由度があり、電路に応じて最適なものを選ぶことができ

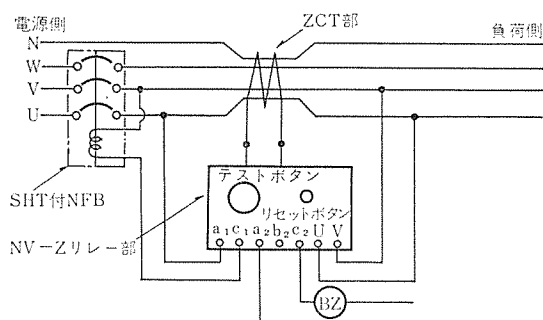


図 3.1 NFB と NV-Z 形の接続例  
Connection diagram of no-fuse breaker and type NV-R.

表 3.1 NV-ZB 形の平衡特性  
Balance characteristics of type NV-ZB.

形 名	定格感度電流 mA	平衡不動作電流 A	零相変流器の一次導体
NV-Z 15 B	30	6,000	貫 通 形
NV-Z 15 B	100	6,000	
NV-Z 15 B	500	8,000	
NV-Z 30 B	30	4,000	
NV-Z 30 B	500	7,000	
NV-Z 40 B	30	4,000	
NV-Z 40 B	100	5,000	
NV-Z 40 B	500	7,000	
NV-Z 60 B	200	15,000	
NV-Z 60 B	500	20,000	
NV-Z 100 B	200	15,000	
NV-Z 100 B	500	25,000	

る NFB には及ばない。一般的には漏電しゃ断器のしゃ断容量は比較的小さく、主回路など推定短絡電流の大きい回路では使用できない事態が起こるが、この際には NFB と漏電 リレー の組合せが最も適している。

図 3.1 は NFB と NV-Z 形 漏電 リレー を組合せた場合の 接続例 を示す。地絡事故による地絡電流を NV-Z で検出し内蔵の a 接点が動作し、これに直列に接続された NFB の SHT 引きはし装置に電気信号を与えて NFB をトリップさせる方法である。このときのしゃ断時間は漏電 リレー の動作時間と NFB の動作時間の和であり、定格感度電流における漏電 リレー の動作時間は 30~70 ms、NFB の動作時間は微小電流によるアーク時間は無視してよく、15~20 ms であるから組合された動作時間は 0.1 秒以内となる。漏電 リレー に高感度形 30 mA を使用すれば可搬式・移動式機器に適用される感電防止用の漏電しゃ断器として代用できる。

#### (1) 漏電リレー 平衡特性と NFB 瞬時動作

回路にはモータの起動電流、白熱電球の越流、変圧器の突入電流など過渡的に定格電流の 5~10 倍以上の過電流が流れることがあり、NFB ではこの過渡電流で動作しないように瞬時動作点を上げる配慮がされている。したがって漏電リレーの平衡不動作電流が NFB の瞬時動作領域以上であれば、これらの過渡電流で誤動作することはない。

NV-ZB 形は通電容量の 15~20 倍の平衡不動作電流をもち、NFB の瞬時動作領域は定格電流の 7~15 倍であることから判断して、漏電リレーを組合せてもミストリップは生じないことがわかる。

#### (2) 漏電リレーの定格過電流と NFB のしゃ断容量

漏電リレーの定格過電流は実際に ZCT に通過する最大せん頭電流

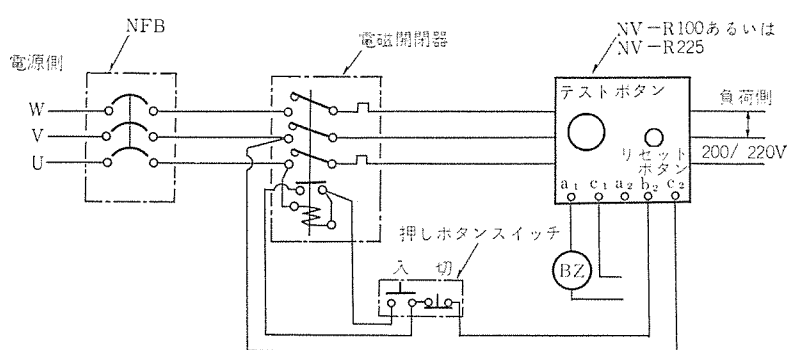


図 3.2 電磁開閉器と NV-R 形の接続例  
Connection diagram of magnetic starter and type NV-R.

の保証値を示し、NFB のしゃ断容量は回路の推定短絡電流のしゃ断能力を表わしているため、NFB のしゃ断容量だけから判断すると誤りがあり、NFB の限流効果による最大せん頭電流を算出して協調をとる必要がある。

NV-ZB, Z 形の定格過電流は 70 kA であり、当社 NFB の高しゃ断容量品 H. T. R. U シリーズでは 400 A フレームまで協調がとれる。S. C シリーズに対してはたいした限流は期待できないが比較的しゃ断容量が小さいので 1,200 A フレームまでほとんど問題ないと判断できる。NFB の限流が小さく回路の最大せん頭電流が漏電リレーの定格過電流をこえる場合は、ZCT 貫通電線を線数に応じた 2~4 心の同軸ケーブルで配線するとか、電磁反発力により ZCT 貫通電線が広がらないようにバンドするなど適当な処置が望まれる。

#### 3.2 電磁開閉器 (MS) との組合せ

この方法はスタータなど電磁開閉器で制御される回路へ適用する場合、簡単で便利である。図 3.2 はその一例で地絡事故が起これば漏電リレー(NV-R)が作動し、電磁開閉器 (MS) の励磁が解かれて回路を開放して保護を行なう。このとき漏電リレーの内蔵接点は b 接点を使用しその動作時間は 15~60 ms であり、MS の落下動作時間は 6~20 ms であるから、組合せによる動作時間は 20~80 ms となる。

地絡電流が数百 A 以下であれば電磁開閉器の接点の溶着なども起こらず、(通常 MS の過電流耐量は定格値の 10 倍ぐらいといわれている) 異常なく回路のしゃ断が行なわれる。

地絡電流が 1,000 A を越えるような値のときは一種の短絡状態であり、普通上位に設けられた NFB が回路しゃ断するので系統としての保護は可能である。このとき漏電リレーは地絡を検出し MS の回路開放の信号を与え、上位 NFB と共同でしゃ断する。

両者のしゃ断時間の関係については固有の機種について論じなければならないが、定性的に述べてみると NFB のしゃ断時間は定格電流の 10 倍をこえるような瞬時引きはし領域においては、非常に短時間で、ほぼ 0.05 秒以内である。一方漏電リレーと MS の組合せによるしゃ断時間もこの領域ではほぼ 0.05 秒であるのでしゃ断には、両者が寄与する。したがって MS の接点耐量が NFB の瞬時引きはし電流以下にならないように両者の関係を保てば問題は生じないと考えられる。通常地絡電流は数十 mA~数十 A 程度であり一般的には MS の接点で十分しゃ断できる。

#### 3.3 時延形漏電リレーまたはタイマを併用する場合

図 3.3 において末端の分岐回路は人が電気機器に触れる機会が多く、感電の危険性も高いので感電事故の防止に重点を置くのが妥当であり、30 mA 程度の高感度形の漏電リレーや漏電しゃ断器を設

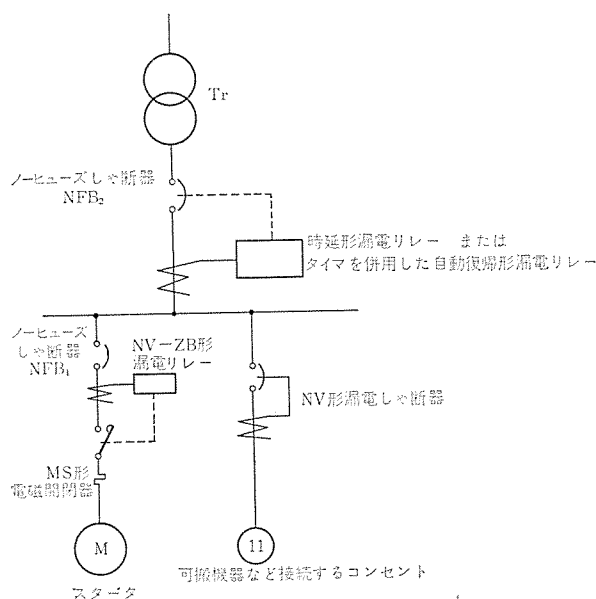


図 3.3 時延形漏電リレーを使用する場合の接続例  
Connection example of time delayed earth leakage relay.

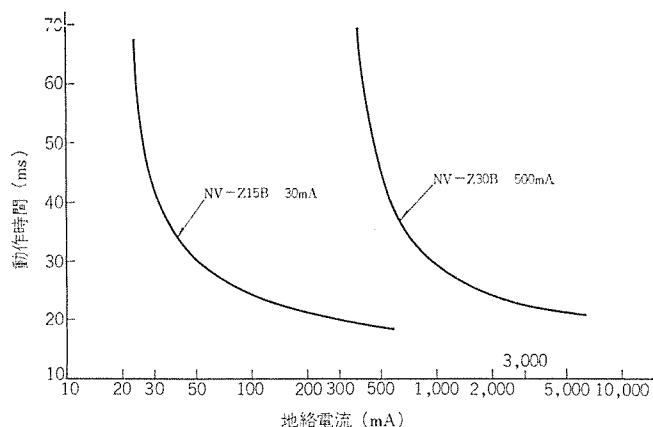


図 3.4 NV-Z 15 B 形の動作時間特性  
Operating time of type NV-Z 15 B earth leakage relays.

置ることが望ましい。幹線回路の漏電リレーは分岐回路のバックアップおよび母線の地絡保護を目的として設置され、その感度電流は特殊な場合を除いて感電予防、漏電火災防止の観点から 500 mA 程

度の中感度形を選ぶのがよく、また地絡電流による分岐回路との選択性から分岐回路の定格感度電流より大きいことが必要である。

NV-Z 15 B 形漏電リレーの動作時間特性を図 3.4 に示すが、定格感度電流における動作時間は 40~50 ms であり、地絡電流が増大するとわずかであるがその動作時間は早くなる傾向にある。いわゆる反限時特性を定格感度電流の 3~5 倍の範囲内において示すが、さらに地絡電流が増大すると動作時間はほぼ一定となる。

これらの動作特性から判断すると、分岐回路に接続された電気機器の絶縁が経時変化し、地絡電流が徐々に増大する場合は分岐回路の漏電リレーが早く動作するので選択しゃ断できる。しかし一線地絡や他の原因で瞬時に数 A 以上の地絡電流が流れたとき、分岐・幹線回路とも動作するおそれがあり、時間的な選択性は十分といえない。

分岐回路に地絡事故があった場合、直ちに事故回路を電源から切離して事故の拡大を防ぎ、他の健全な回路へは給電を連続するように、選択しゃ断して地絡保護協調をとる必要性がでてくる。

これを補うためには上位の漏電リレーの動作時間を遅らせる必要があり、動作時間 0.2 秒程度の時延形の漏電リレーあるいはタイマを併用した自動復帰形漏電リレーを使用する方法が考えられる。

自動復帰形は地絡電流がなくなると自動的に動作状態が解けるものでタイマを併用する場合は不可欠の製品であり、地絡保護協調の観点から時延形と同様早期実現が望まれ、現在研究中である。

#### 4. む す び

低圧地絡保護装置の普及に伴い漏電リレーも新しい製品をそろえ、需要家にとって便利になってきた。特に NV-ZB 形の開発はコンパクトで使いやすい製品としてご好評をいただいている。今後は定格過電流など性能アップと地絡保護協調に必要な時延形、自動復帰形漏電リレーの早期開発に努力したい。

終わりにあたりご協力いただいた関係各位に深謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 地絡保護に関する徹底的研究：OHM 誌，('72/11・12)
- (2) 山本：図説電気，14，(昭 48)
- (3) 松浦，山本，中山：三菱電機技報，45，(昭 46)



# 最近のタイムスイッチとその動向

山根 満徳\*・藤原 弘之\*・山本 茂之\*

## Recent Time Switches and Their Trends

Fukuyama Works

Mitsunori Yamane・Hiroyuki Fujiwara・Shigeyuki Yamamoto

Recent time switches are strongly demanded to be of a large capacity and high precision. For instance, those used for the mid-night power utilization, come under the category and the old models of 200 V 15 A to 30 A class have been altered to operate at 200 V 60 A because the water heater is made much larger and its operation is combined with a stored energy type room air heater. Also in the case of those used for signals, the precision of their change-over operation is now demanded to be in the order of second instead of minute in the old design.

This article describes the conventional time switches and those newly developed.

### 1. ま え が き

わが国のタイムスイッチの歴史は比較的新しく、当社は1951年、照明制御・一般工業用の目的で、自動電気巻テンプレート時計式のタイムスイッチの開発に着手した。その後2種料金取引用タイムスイッチ、深夜電力用タイムスイッチ、各種機器制御用タイムスイッチ、交通信号機用タイムスイッチ等の製作を行ってきたが、今後は、高精度タイムスイッチ、高容量タイムスイッチ、長い周期のタイムスイッチ、コンパクト形タイムスイッチなどの製品が考えられる。

ここでは従来のタイムスイッチの紹介と、最近需要に答えて開発された高容量タイムスイッチについて紹介し、タイムスイッチをさらに身近に感じていただくとともに、近く開発完了予定にある新しいタイムスイッチを紹介するものである。

### 2. タイムスイッチの種類

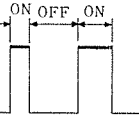
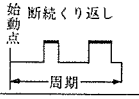
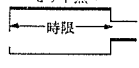
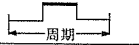
われわれの生活は時間を切離しては考えられない。とくに産業のオートメ化が進んでいる現代社会では、すべて時間で制御されと言っても過言ではない。また電気は重要なエネルギー源として、あらゆる分野に使われており、利用方法が比較的やさしく、

それにとりあふ付帯設備も比較的少なく利用率も高いものである。反面利用方法を考慮しなければ高価につく欠点を有している。このような状態のもとに時間制御機器であるタイムスイッチが特に注目され、着実に普及してきた。

タイムスイッチは、制御の種類、時計部の駆動方式、スイッチの仕様、スイッチの容量、取付構造、時限、周期などにより区別されるが、当社タイムスイッチは制御の方式、時計部の駆動方式、スイッチ機構等の点から表2.1のとおり、シリーズに区別している。

次に最近開発された新しいタイムスイッチについて述べる。

表 2.1 タイムスイッチの種類 List of time switches.

シリーズ名	代表名	制御方式	時計部の駆動方式	停電補償装置の有無	周期または最大時限	用途	備考
TS	TS-7E TS-7K TS-7D TS-7W TS-23E TS-77	くり返し制御 	停電補償付 電気時計式	有	24時間～1週間 1ヵ月用も有り	照明・広告 電気炉・乾燥炉 エアコン制御 エレベータ制御 交通信号機 道路標識灯	2回路、4回路 用も有り
	TU-4 TU-14 TU-6H TU-16H		電気時計式	無	12分～1週間	照明・広告 電照栽培・飼育 電熱育苗 電気灯・乾燥炉	2回路用もあり
TMC	TMC-22	始動点 断続くり返し 	電気時計式	無	48秒～240分	かくはん装置 冷凍機霜取用 空調	
RM	RM-20 RM-21 RM-23 RM-213	1動作ごとのOFFまたはONのみの制御 セット点 時限 	電気時計式	無	15分, 60分, 6時間, 15時間 (60Hzのとき)	送風機・乾燥機 めっき装置・充電機	
ET	ET-10C ET-20C	くり返し制御 1動作ごとのOFFのみの制御	電気時計式	無	TUに同じ	かんがい用	電磁開閉器付
					RMに同じ	電気温風機	
TC	TC- TC-50Y	くり返し制御 	停電補償付 電気時計式	有	24時間	深夜電力用電気 温水器制御	
TMR	TMR-15B	くり返し制御	電気時計式	無	1分, 15分 1分, 30分 1分, 60分 3種類	需要電力の 記録指令用	
TV	TV-72A TV-509	くり返し制御	水晶時計式	有	24時間・12時間	親時計・電力取引用 タイムスイッチ・タイムコントローラ	

### 3. 最近のタイムスイッチ

#### 3.1 交通制御関係タイムスイッチ

##### 3.1.1 交通信号機制御用タイムスイッチ

このタイムスイッチは、交通信号機の電源制御、パターン制御用として使用されるものであって、高温・高湿に耐え防じん(塵)はもちろん、耐ガス性も考慮されており、また機器の故障による交通事故・交通渋滞も考えられるため、信頼性が最も要求される機器である(図3.1)。

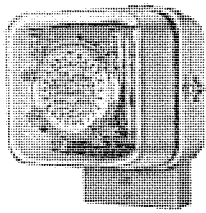


図 3.1 TC-23 E<sub>3</sub> 形 タイムスイッチ  
Type TC-23 E<sub>3</sub> time switch.

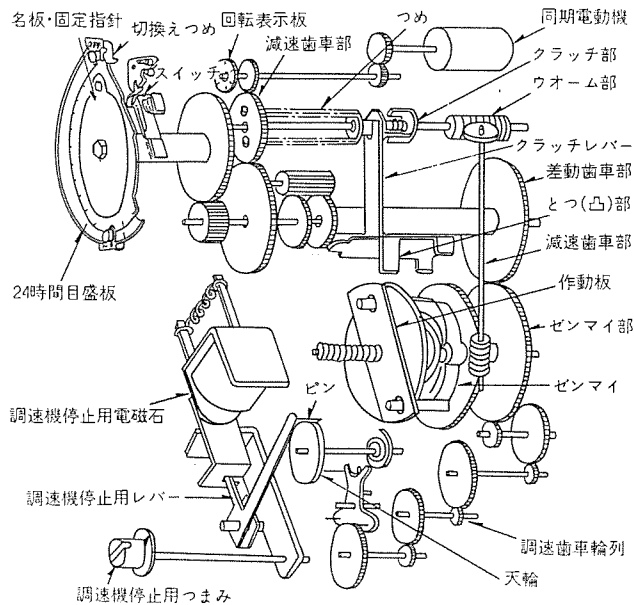


図 3.2 タイムスイッチの構造  
Structure of time switch.

- (1) 構造と動作  
(a) 常時運転

図 3.2 に示すように、同期電動機の回転は、減速歯車・差動歯車をへて 24 時間目盛板に伝達される。スイッチは 24 時間目盛板上に固定された切換づめにより指定時刻に切換動作を行なう。

同時に同期電動機の回転は、クラッチ部を介してウォーム部からゼンマイ部へ伝えられ、ゼンマイを巻込む。ゼンマイが巻かれるとゼンマイ部の作動板がゼンマイのほうへ移動して、クラッチカバーのとつ(凸)部に当たりクラッチレバーを押すので、クラッチ部のつめと歯車の係合を切り離し、同期電動機からゼンマイ部への回転伝達を断つ。以上の動作でゼンマイの巻込は完了する。なお、通電中は調速機停止用电磁石がつまみに吸引しており、調速機停止用レバーの先端のピンと調速機在天輪が係合し、テンプはロックされている。

- (b) 停電時の動作

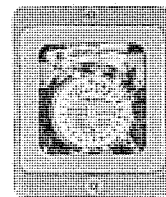
停電時は同期電動機が停止するので、代わりにテンプ式時計が働く。すなわち停電になると調速機停止用电磁石の吸引が解放され、調速機との係合がとけ天輪がフリーの状態になるので、ゼンマイのエネルギーにより調速機が駆動され、ゼンマイは一定速度でほどける。ゼンマイ部の回転は、差動歯車を介して 24 時間目盛板へ伝えられ時計は正常に動作する。なおゼンマイがほどければ作動板は、ゼンマイからはなれる方向へ移動するので、作動板とクラッチレバーのとつ部との係合がとけ、クラッチレバー、クラッチ部は元に戻り、停電が回復すると同期電動機の回転を、クラッチ部・ウォーム部を介してゼンマイ部へ伝えてゼンマイを巻込みうる状態となる。

- (c) 停電回復時の動作

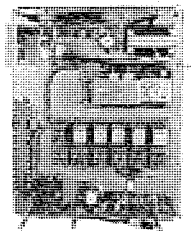
停電が回復すると調速機停止用电磁石が働いて、ただちに天輪をロックするのでテンプ式時計は停止され、同期電動機式時計に切替わ

表 3.1 交通信号機用 タイムスイッチ の仕様  
Specifications of time switch for traffic signals.

形 名	TS-23 E <sub>3</sub>
時 計 の 方 式	常 時……同期電動機式 停電時……テンプ式
プ ロ グ ラ ム 周 期	24 時間
ス イ ャ ッ 動 作 回 数	「ON」「OFF」1～12 回 (任意の時刻に設定可能)
入 切 最 小 時 間 ャ 隔	60 分
ス イ ャ ッ 極 数	単極・単投 2 組
ス イ ャ ッ 定 格	DC 12 V 0.01 A～DC 30 V 0.1 A
制 御 電 源	定 格 AC 100(110 V) 50 または 60 Hz AC 200(220 V) 50 または 60 Hz
	電 圧 変 動 85～110 %
停電補償装置	停電補償時間 15 時間以上 (24 時間補償品も製作可能)
	停電補償回復時間 7 時間停電した場合 24 時間同期電動機式時計で運転すると元の停電補償能力に回復する。
時計の精度	常 時 電源周波数偏差に比例
	停 電 時 7 時間の累積誤差 ±5 分以内
動 作 す る 周 囲 温 度	−20°C～+60°C



(a) 時刻設定部



(b) 制御部

図 3.3 可変標識用 タイムスイッチ  
Time switch for variable signs.

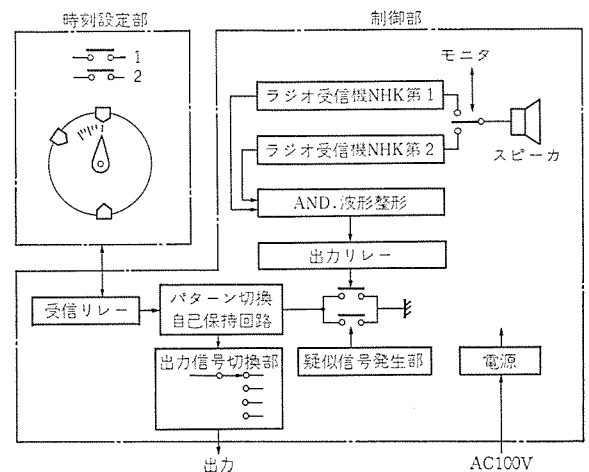


図 3.4 可変標識用 タイムスイッチ のブロック ダイアグラム  
Block diagram of time switch for variable signs.

る。また同時に停電時にほどけたゼンマイの巻込みを始める。

### 3.1.2 可変標識用タイムスイッチ

自動車の通行を円滑に行なう方法として、交通信号機・交通標識灯などの表示(時間帯一方通行・時間帯侵入禁止・時間帯駐車禁止など)を時間により制御し、通行の規制を行なっているが、これら信号機標識灯の時間帯による切換精度は秒単位の精度が要求されている。この精度を出す方法として、タイムスイッチ(TS-54 AB)とラジオ受信機(RT-23 E15)を組合せて使用し、タイムスイッチでラジオ電源を制御するとともに、パターン切換スイッチの切換指令を行なう制御方法がある。図 3.3 に外観を示す。

表 3.2 パターン表  
List of patterns.

つめの種類	スイッチ	1	2
P <sub>1</sub>		×	×
P <sub>2</sub>		×	○
P <sub>3</sub>		○	×
P <sub>4</sub>		○	○

#### (1) 構造動作

装置は図 3.4 に示すように、時報の発信される正 7 時から正 24 時の間の任意の 00 分に指定の切換信号を発信するようにセットする時刻設定部と、時刻設定部の指示に従って、ラジオの時報を受信し、指定の信号を出すようにした制御部から構成されている。以下その動作について説明する。

#### (a) 設定部

設定部の切換づめは、表 3.2 に示すように P<sub>1</sub>~P<sub>4</sub> まで 4 種類あり、これらのつめにより動作するスイッチは、1 と 2 の 2 回路あり、2 回路のスイッチの開閉状態により、4 種類のパターンを組むことができる。上記切換づめを希望の正時にセットすると、正時数分前にパターンどおり設定部のスイッチが切換わる。制御部に内蔵されたラジオ受信機は、時報受信可能な状態にあり待機する。

#### (b) 制御部受信 リレー

受信 リレー は、設定部の指示に従って動作し、パターンと切換え自己保持回路を作動するように準備され、時報検出に備える。

#### (c) 時報検出

2 台のラジオ受信機が、それぞれ時報を受信すると、それぞれの時報音周波数のみを通すフィルタ回路を経て、次段の AND、波形整形回路に信号を伝送する。AND、波形整形回路では、一定時間時報成分を積分したのち出力 リレー を動作させる。

#### (d) パターン 信号切換

出力 リレー の動作により、パターン 切換自己保持回路を動作させ、出力信号切換部を指定どおり切り換え、動作を完了する。

#### (e) ラジオの時報が受信されないとき

擬似信号発生部より正時数分後に、擬似信号を発信し、指定どおりパターン 切換自己保持回路を動作させ、出力信号切換を行なう。この場合、正時より数分遅れて動作することになる。

#### (2) 応 用

ラジオの時報を利用した時刻制御装置であるから、非常に高精度な切換精度を有し、出力は任意の 4 種類の切り換えを行なう装置であるから、交通関係のみならずサイレン制御、機械器具の同期制御など、応用範囲も広く考えられる。

#### 3.1.3 パーキングメータ用タイムスイッチ

都市の過密化が続くにつれ公共事業にある従来の駐車方法も一考の時期となっている。たとえば、正規の駐車場とするためには、広大な場所と人手を有するし、また最も重要な場所にそのスペースがとれないことが多い。上記状態にある駐車の方法として、駐車場に管理人を定着させず、また駐車時間はできる限り短くして、駐車場の回転効率を大きくし多くの車が駐車でき、また夜間等自動車・人が混雑しないときには、自由に長時間駐車できるようにすることが望ましい。上記のような場所にパーキングメータ(図 3.5)が使用されている。このパーキングメータは、たとえば駐車の利用率が高い昼間にはパーキングメータをか(稼)働状態にし、夜間はパーキングメータを動作させず、自由駐車可能にする必要がある。

表 3.3 パーキングメータ用タイムスイッチの仕様  
Specifications of time switch for parking meter.

形 名	TU-415 A	TU-416 A
時 計 の 方 式	同期電動機式	
プ ロ グ ラ ム 周 期	24 h	
ス イ ッ チ 動 作 回 数	1 回/日	
入 切 最 小 時 間 々 隔	60 分	
ス イ ッ チ	極 数	単 極 単 投
	定 格	AC 200 V 5 A
	寿 命	10,000 回
制 御 電 源 電 圧	定 格	AC 100 V 50 Hz      AC 100 V 60 Hz
	電 圧 変 動	85~110 %
ス イ ッ チ 切 換 誤 差	±5 分	
動 作 する 周 囲 温 度	-10~+50°C	

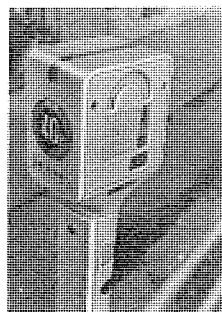


図 3.5 パーキングメータ  
Parking meter.

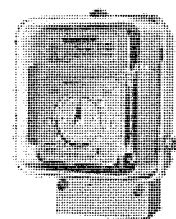


図 3.6 TC-50 Y 形タイムスイッチ  
Type TC-50 Y time switch.

これらパーキングメータの電源制御用として、開発されたタイムスイッチが TU-415 A, TU-416 A 形である。表 3.3 にその仕様を示す。

#### 3.2 高容量タイムスイッチ

従来、深夜電力用機器に使用されているタイムスイッチの開閉器容量は 30 A までであり、この容量をこえる場合はタイムスイッチと電磁接触器の組合せで使用していたが、電磁接触器の投入音が大きいくと、吸引時のうなりが大きいくと、取付けスペースが大きいくと等の問題があり、この組合せを一つのタイムスイッチで行なう要望があった。高容量タイムスイッチは、この要望に応ずるものであって、定格 200 V 50 A で 10 kW までの深夜電力用機器が制御できる(図 3.6)。

#### (1) 高容量品の構造と動作

##### (a) 常時運転

この場合の動作は、上記 3.1.1 項で述べたものと全く同じ動作をする。

##### (b) 停電時の動作

図 3.7 に示すように停電になると調速機停止用電磁石の働きが解放され、調速機との係合がとけテンプがフリーの状態になり、ゼンマイ部は調速されながら、回転を始める。このゼンマイ部の回転は図中上側に示してある差動歯車部を介して、レバーに伝わる。

このレバーは、マイクロスイッチから離れる方向に停電時間に比例した角度だけ回転する。このレバーは常時はマイクロスイッチのプランジャーを押込んで開の状態にしているが、停電になって回転すればマイクロスイッチが閉となる。

以上のようにテンプはレバーを回転させるだけで 24 時間目盛板を直接回さないので、開閉器切換カム部分の負荷を十分大きくとれる特長がある。また停電中には 24 時間目盛板は止まり、時計は遅れることになるが、この遅れは次に説明するように停電回復と同時に迅速に取り戻すことができる。

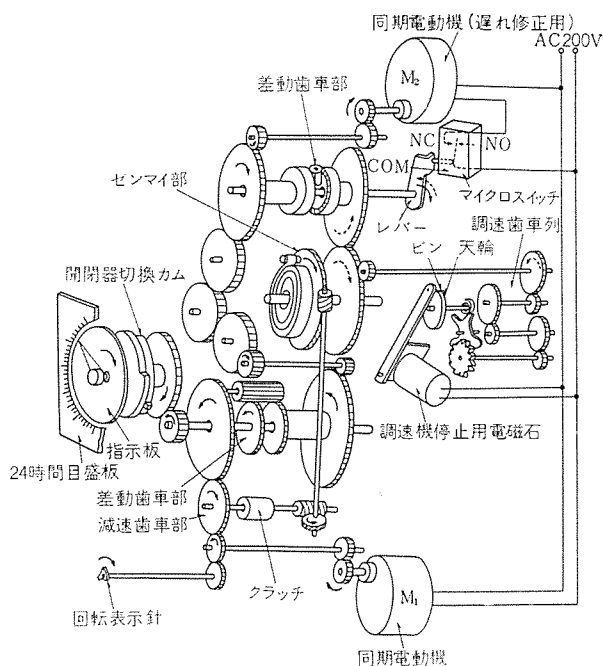


図 3.7 TC-50 Y 形 タイムスイッチの構造  
Structure of type TC-50 Y time switch.

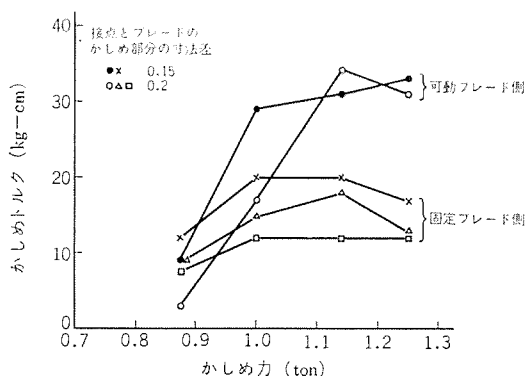


図 3.8 かしめ力とかしめトルクの関係  
Relation between caulking strength and caulking torque.

#### (c) 停電回復時の動作

停電が回復すると調速機停止用電磁石が働いて直ちに天輪をロックするので、トップ時計は止まり、同時に同期電動機の回転に切り換わる。また停電によってマイクロスイッチは閉となっているので、遅れ修正用同期電動機が回転を始め、この回転は図中上側の差動歯車を介して、レバーをマイクロスイッチに近づく方向に回転させながら、同時にアイドルギヤ・差動歯車部・減速歯車部を介して24時間目盛板を迅速に回転させ、停電による遅れを短時間で取り戻す。レバーが停電前の状態、すなわちマイクロスイッチを開にするまで回転すれば、遅れ修正用同期電動機は停止し、時計は正常な状態に戻る。

#### (2) 高容量品の開閉器部

従来の30Aクラスタイムスイッチの開閉器は、24時間目盛板軸に取り付けられた2枚カムの落差により、接点を開閉する方式であったが、高容量品では、つる巻ばねにたくわえたエネルギーで開路し、ブレードの弾性で閉路する方式を採った。

また、電流量が大きくなった場合、当然問題になってくるのは、開閉器部の温度上昇とアークの問題である。

#### (a) 開閉器部の温度上昇

開閉器の主要部分である接点に関しては、耐アーク性の大きいAgCdO、AgWC、AgNi等の接点にした場合、接点圧力を、大き

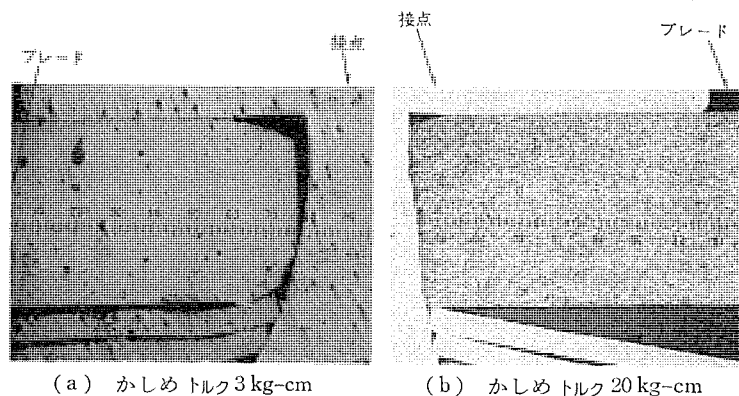


図 3.9 接点とブレードの断面 (×50)  
Sections of contact and blade.

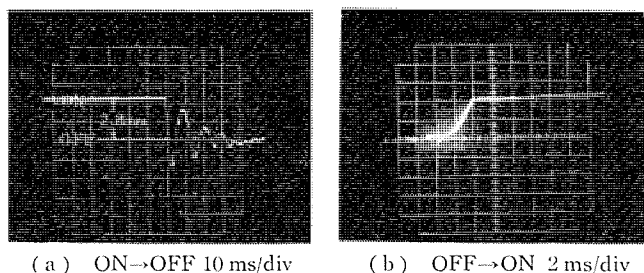


図 3.10 接点の動きを示すオシログラフ  
Oscillograph of movement of contact.

く取らなければ温度上昇が大きいことから、時計を駆動する同期電動機への負荷が大きくなり、タイムスイッチとしての耐久性の問題が生じてくる。したがって多少の接点の荒れが生じて比較的に、接触抵抗の増加が小さく、また接点圧力も低く取れる銀接点を採用した。銀接点とブレードとのかしめ部分は、温度上昇にかなりの影響を与える。図3.8はかしめ力とかしめトルクの関係を表わしたものであり、また図3.9にかしめトルクが20 kg-cm、および3 kg-cmのときの断面図の一例を示す。

図3.9の接点に200V 50Aの電流を連続通電したとき、温度上昇値は前者で30 deg、後で42 deg程度である。

図からわかるように接点が円形の場合、かしめ力が大きくなるほどブレードと接点の接触が当然軸方向のみでなく、半径方向にも関係してくるので、特に銀接点のように柔らかい金属の場合には、かしめ力に限度があり、半径方向の接触を大きく取るとは効果がある。

#### (b) 接点の開離速度

接点が開離するときの速度が大きいくほど、アーク放電時間が短くなり、接点の消耗が少なく、接点の耐久性がよくなるのは当然である。図3.10は接点の開離状況を示す図である。これからわかるように、閉路するときの速度は約2.8 mm/3 ms 開路するときの速度は約2.8 mm/2 msである。

## 4. む す び

企業の合理化、交通産業の躍進等にもなつて、タイムスイッチもそれに即した新分野が無限にあるといえる。

たとえば、従来の分単位精度から、秒単位、さらにマイクロ秒単位の制御から、長停電補償タイムスイッチ、すなわち微小な電源容量で動作し、小形バッテリーで長期間動作する方式、また多回路制御方式、超小形化と、今後の検討課題は無限にあり、需要家各位の幅広いご批判をいただき、さらに使用に適した製品の開発研究に努力したいと考える。

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
958205	冷房機	桑 沢 宏 康	959119	ジェットうず巻組み合わせポンプ	板谷芳之
958350	タンクまたはケース内の管導出装置	渡 辺 征 三	959120	トランジスタ増幅器	細 見 清
958352	気体膨張式救命いかだ	宇 川 彰	959122	空気清浄装置	平 山 建 一
958351	内燃機関点火装置	多 田 靖 夫	959124	ジェットうず巻組み合わせポンプ	{井上誠治・板谷芳之 伊藤義樹
958353	スポンプレス器	森 本 敏 夫・鳥 山 建 夫	959125	直流電流検出装置	赤 松 昌 彦
958354	積算電量計	長谷川知治	959113	包装装置	{鶴谷嘉正・岡部 勇 中 川 清
958355	蓄電池の残容量監視装置	長谷川知治	959115	人工衛星のアンテナ装置	片 木 孝 至
958356	シーヒータの絶縁板固定装置	近 藤 正 司・市 村 伸 男	959116	人工衛星のアンテナ装置	喜連川 隆・武市吉博
958357	採暖いす	{加太義武・山田英樹 門 脇 進	959117	放電灯用安定器	岡 田 恒 宏
958358	高周波加熱装置	望 月 雅 之	959121	温度制御装置	熊 沢 裕
958359	放電加工装置	{斎藤長男・久慈陽一 荒 井 伸 治	959214	携帯プレス器	高 柳 直 孝
958370	吸収式冷凍機の不凝縮ガス抽出装置	笠 置 紘・千代川秀夫	960680	故障検出表示装置	北 岡 隆・長井成吉
958362	換気扇	吉 村 宏	960687	位相弁別装置	高 田 信 治・三宅康明
958365	換気扇	小 木 曾 明 男	960688	液体封入形回転電機	{有働星一・生駒鏡郎 生原春夫・高井一三 広田秀雄・鳥居陸男
958360	吸収式冷凍機における吸収器の濃溶液散布装置	大 場 健 司・大 槻 昭 義	960690	制動装置付減速電動機	加 藤 道 明・安岡博敏
958361	吸収式冷凍機における吸収器の濃溶液散布装置	笠 置 紘・大 槻 昭 義	960692	輸送中における軸受の保護装置	村 山 茂
958368	空気調和機の空気浄化装置	{小原英一・小林恵治 石 塚 幹 夫	960693	電動工具	本 告 寿 男
958366	空気調和機の空気浄化装置	{小原英一・小林恵治 石 塚 幹 夫	960695	遮断器接触子の着脱用工具	{左中英夫・川部貞実 中野忠治
958363	コンデンサ電動機の制動装置	太 田 誠	960698	電気機器の端子装置	加 藤 道 明
958364	空気調和機	{小原英一・小林恵治 石 塚 幹 夫	960697	電動機制御装置	六 藤 孝 雄・赤松昌彦
958367	レンジ用換気扇	吉 村 宏	960713	焼入装置	上 田 時 芳
958369	コンデンサ電動機の制動装置	太 田 誠	960704	連結装置の冷却装置	小 林 良 治
958378	換気扇	牛 越 康 徳	960711	自動点滅器	神 本 明 輝・元木義明
958371	換気扇の遮光ルーバー	白 石 和 雄・伊 藤 弘 道	960681	小型回転電機	{武井久夫・服部信道 岩田尚之
958377	自動換気扇	佐々木武敏	960682	電気掃除機の吊り下げ形附属品収納箱	加 藤 悟・田 山 勇
958373	自動換気扇	佐々木武敏	960683	水タンクを有するスチームアイロンの水タンク立掛け装置	町原義太郎・荒 木 勲
958375	自動換気扇	佐々木武敏	960684	水タンクを有するスチームアイロンの水タンク立掛け装置	{荒 木 勲・高 橋 洋 石 井 寛 夫
958376	自動換気扇	佐々木武敏	960685	電気掃除機の伸縮自在管	武 井 久 夫・加 藤 悟
958374	風向き変更装置	黒田猪三男・望 月 勝 美	960686	包装装置	{鶴谷嘉正・岡部 勇 中 川 清
958372	冷凍装置の受液器	貝 瀬 俊 朗・木 戸 斉	960689	包装装置	{鶴谷嘉正・岡部 勇 中 川 清
958379	ヘアードライヤー	福 田 興 司・小 池 利 男	960691	スポン等のプレス器	{野畑昭夫・森本敏夫 鳥 山 建 夫
958380	温風機に加湿装置	加 藤 栄 一・矢 沢 篤	960694	遠心脱水機の脱水槽	高 沢 正 二
958381	扉開閉装置	西 郷 勝	960703	冷凍機の霜取装置	中 島 勇
958382	断熱箱体	辻 幹 夫・河村伊佐夫	960699	吸収式冷凍機の蒸発器	{小原英一・大場健司 大 槻 昭 義
958184	自動クラッチの補助制御装置	浅 野 哲 正	960696	膨張式救命いかだの格納箱	織 井 勝 雄・樋口昭義
959111	タイムスイッチ	神 本 明 輝・武 田 克 己			
959112	タイムスイッチ	武 田 克 己・神 本 明 輝			
959114	電氣的計量装置	林 正 之			
959118	二重動作ジャッキ	山 本 明			





# 特許と新案

## 冷 温 水 供 給 装 置

考 案 者 岩 崎 善 彦・飛 田 徹 二

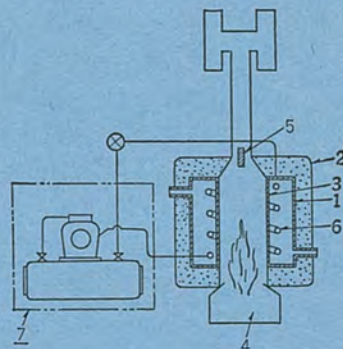
この考案は、石油あるいはガス等の燃料を熱源とする温水供給装置と、圧縮冷媒を循環させて冷却を行なう冷水供給装置とを一体化し、単一装置から自在に冷温水を供給することができるようにした冷温水供給装置を提供しようとするものである。

すなわち、図に示すように、水タンク(1)を構成する加熱部(3)の下方に燃焼装置(4)を、また上記水タンク(1)の水収容部に冷媒蒸発器(6)をそれぞれ配設するとともに、冷水あるいは温水供給時には、上記燃焼装置(4)あるいは、冷媒蒸発器(6)のいずれか一方のみを運転して冷水あるいは温水を得るようにしたもので、水タンク(1)の熱交換部分は、冷温共用に1個で足り、装置は全体として小形にまとめられて配管作業もきわめて簡単になる。また据付け面積も小さくなり経済性が向上する。

さらに熱交換部分が冷温共用で、しかも冷却および加熱作用のいずれか一方のみを行なうようにしているので、負荷バランスの良好な

装置が得られるすぐれた実用的効果を有するものである。なお、図中(2)は断熱材、(5)は冷却時に内外を熱的にシャ断するダンパ、(7)は冷凍ユニットである。

(実用新案第934614号) (土居記)



## 接 合 形 電 界 効 果 ト ラ ン ジ ス タ

発 明 者 土 佐 雅 宣・竹 内 功・西 海 宏

この発明は、接合形電界効果トランジスタ(J-FET)において、特にゲートI領域[図中(4)]とゲートII領域(5)が電気的に分離されたものに関するものである。

J-FETの設計の際、母材半導体の各領域の不純物濃度およびその分布ならびに各寸法形状は、電気特性を決めるうえで大きな要因となる。この発明は、これらのうちゲートI領域(4)の寸法形状の改良により、電気特性を向上させるものである。

図を用いて説明すると、図1は従来のものであり、図2はこの発明のものであり、それぞれ(A)、(B)はその平面図、断面図を示す。図1においてJ-FETは、その電気特性上、ソース領域(1)からドレイン領域(2)に至る長さLと、このLに対して表面と平行な直角方向の幅Wは、重要パラメータとなる。そして一般に、電気特性上W/Lの比が大きくなるよう要求されるので、J-FETとしての動作領域であるゲートI領域(4)は細長で閉領域を構成する。一方このゲートのオーミック接続点(8)からこのゲート領域(4)の最遠部に至る間の抵抗Rは、

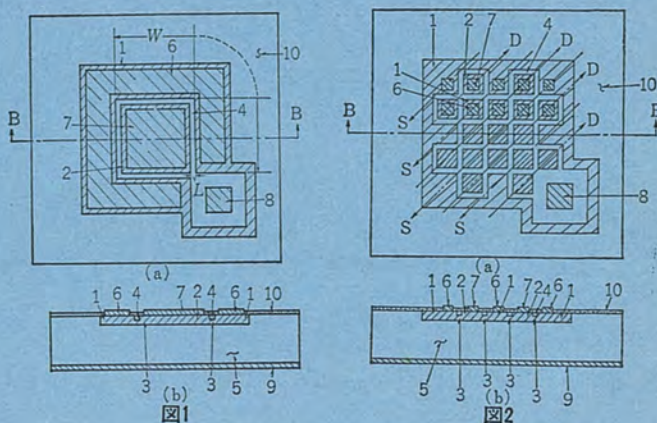
$$R = \rho_s \frac{W}{2L}$$

$\rho_s$ : ゲートI領域(4)のシート抵抗率( $\Omega/\square$ )

となる。このことはゲートIオーミック接続点(8)から、動作領域であるチャネル領域(3)の最遠部に至るほど、大きな抵抗分となり、この抵抗分はチャネル領域各部に不均一な電界を与えることを意味し、高

周波用J-FETの場合、使用周波数限界に有害な影響を与えることになる。この悪影響を除くために、つまりW/L比を大きくすることにより生じる有害なゲートI領域内の抵抗を下げるために、ゲートI領域(4)全面にゲートIオーミック接続を設ける場合がある。しかしこのことは、非常に細長であるゲートI領域全面にオーミック接続を行なう製造要因上の困難さと、高周波用J-FETを目的とした場合に生じるドレイン領域(2)、およびソース領域(1)の小面積化によるリード線接続不能をもたらす。

それでゲートI領域全面に金属のオーミック接続を設けることなしに、しかもW/L比が大きいのにもかかわらず、チャネル領域各部に至る抵





## 特許と新案

抗分を下げることを目的として、従来 ゲートⅠ領域(4)が単一ループの閉領域で構成されていたが、この発明では、これをさらに発展させ、ゲートⅠ領域(4)を網目状の閉領域で構成したものである。その構成を図2に示す。

網目によって分割された複数の胞領域を、交互にソース胞領域(1)およびドレイン胞領域(2)として動作させ、一つのドレイン胞領域(2)に対してゲートⅠ領域(4)をはさんで、ソース胞領域(1)が対抗する配置とし、一つのソース胞領域(1)に対するドレイン胞領域(2)も同一配置としている。そしてすべてのソース胞領域(1)とドレイン胞領域(2)に、それぞれソースオーミック接続(6)およびドレインオ

ーミック接続(7)を設け、ゲートⅠ領域(4)に対しては、その一点または一部にゲートⅠオーミック接続(8)を設ける。

このようにゲートⅠ領域(4)上に全面金属オーミック接続が行なわれておらず、また各胞領域のソースオーミック接続(6)、およびドレインオーミック接続(7)は小面積でよいため、幾何学的に各胞領域を母材半導体表面に被着させた絶縁物を介して、金属被着膜でソースオーミック接続同志、およびドレインオーミック接続同志を結合することができる。図では前者が2点鎖線S、後者が2点鎖線Dで示してある。

(特許第 606723 号) (小藤田記)

## ジェット渦巻ポンプ

考案者 佐々 静男・福田 博人

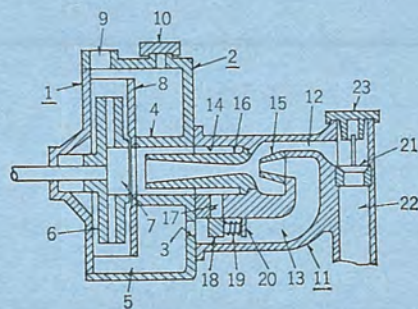
この考案は、低揚程時にノズルの出口付近に生じるキャビテーションによる揚水量の低下や、水切れを防止するようにしたジェット渦巻ポンプに関するものである。

図において、高揚程時には羽根車室(5)の高圧水によって弁体(18)が連通孔(17)を閉じる位置に保持されている。このため、水は揚水口(22)からディフューザ(16)を経て羽根車(6)に流入し、一部の水が帰還口(3)から圧力水路(13)に送られる。

低揚程運転になると、羽根車室(5)の圧力が低下するので、弁体(18)がばね(19)に押されて移動し、帰還口(3)が閉じ、連通孔(17)が開く。したがって、揚水は揚水口(22)からディフューザ(16)を通して羽根車(6)に至るものと、ノズル(15)および圧力水路(13)ならびに側水路(14)を通して羽根車(6)に至るものとに分かれ、ノズル(15)によ

るジェット作用は停止する。よってキャビテーションの発生は防止される。

(実用新案第 956677 号) (幸島記)



## ジェット渦巻ポンプ

考案者 井上 誠治

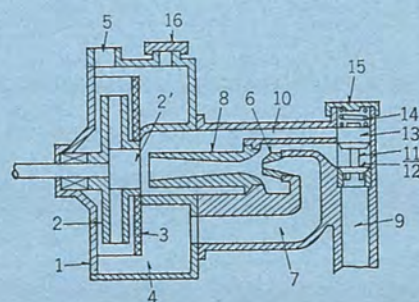
この考案は、低揚程での使用時にノズルの出口付近に生じるキャビテーションによるポンプ特性の低下や、水切れを防止するようにしたジェット渦巻ポンプに関するものである。

図において、羽根車(2)が回転すると、水は加速・加圧されて吐出口(5)から吐出され、一部の水は水だめ(溜)室(4)に送出され、送水管(7)を通してノズル(6)から噴射する。この噴射によりノズル(6)の出口付近が負圧となるため、弁体(11)がばね(14)に抗して移動する。したがって吸込み管(9)と噴射筒(8)とが連通して、水は噴射筒(8)を通して羽根車(2)へ高速で流入する。

低揚程運転時には、ノズル(6)の出口の負圧が増大するから、弁体(13)がもっと上昇し、通水路(10)も吸込み管(9)と連通する。このため、一部の水は通水路(10)を通して羽根車(2)に流入するから、

キャビテーションの発生が防止できる。

(実用新案第 956671 号) (幸島記)





# パターン処理システム (III)

## ——レゾリューションを用いた定理の証明プログラム——

伊藤 貴康\*・安藤 茂\*\*

### Pattern Processing System (III)

#### ——A Resolution Theorem Prover——

Central Research Laboratory Takayasu Itô・Shigeru Andô

All problems which human being tries to solve are expressed by logical formulas, and solving problems is equivalent to proving theorems. Therefore, if this proving is made automatic, it is feasible to build a machine possessed of ability of reasoning in general. J. A. Robinson's resolution principle for the automatic proving of theorems is introduced herein, and examples of application to practice are shown by programs implementing it.

#### 1. ま え が き

よく知られているように、人間が解こうとする問題はすべて述語論理の式によって表現され、問題の解決とは、述語論理において一つの定理を証明することと等価である。したがって、定理の証明を自動化することができれば、われわれは、一般的な推論能力をもつ機械を作ることができる。しかし、定理の証明はそれ自体がきわめて困難な問題であり、実際には、具体的な対象に関する知識に導かれなければ証明をみつけだすことは困難である。自動化するためには、その対象の内容にかかわらず、論理式の形のみから、証明に達する道を切りひらくことが望ましい。J. A. Robinson のレゾリューション原理にもとづく方法は、この要求に答えるものである。われわれは、この方法にもとづくプログラムを作り、若干の例について実験してみた。

#### 2. レゾリューション プリンシプルとは

レゾリューション プリンシプルにおける論理式（クローズという）は、一般の第一段論理式に次の制限をつけ加えたものである。

(1) 原子式（述語記号のうしろに項をならべたもの）、またはその否定（リテラルという）を OR で結んだもの。

(2) 量化演算子をもたない。自由変数を、普遍量化されていると解釈し、存在量化は、新しい関数記号（スコレム ファンクション）を導入することによって表現する。

これらの制限にかかわらず、あらゆる第一階論理式を、有限個のクローズであらわすことができる。実際、まず、量化演算子先行形式にかきなおし、ブール演算によって標準化し、スコレム関数を導入することによって、存在量化演算子をとりぞいでゆけばよい。

推論規則は次のようなもののみである。すなわち、二つのクローズに対して、自由変数に対するある代入によって、一方が一方の否定になるようなリテラルを双方から一つずつとりだし、最も一般的な代入をほどこして、その二つのリテラルをキャンセルし、残されたリテラルを双方から集めて、一つのクローズを作る。（これをレゾリューションという）。

このような制限された推論規則にかかわらず、レゾリューション プリンシプルは次の意味で完全である。すなわち、もしも、与えられた有限個のクローズが矛盾している場合には、レゾリューションによってから（空

なクローズが導びかれる。したがって、もしも、ある論理式が、有限個の公理から導かれる定理であるならば、公理に、その定理の否定をつけ加えてやったものが矛盾するわけだから、われわれは、その矛盾を導びくことによって、定理を証明することができる。

レゾリューション プリンシプル は以下に述べるような点で、自動化するのに向いている。

(1) 論理式の形が単純である。特に論理演算の深さが一様に 1 である。

(2) 推論規則が大幅に制限されている。したがって、導出される式が大幅に減る。

(3) 目標が、からなクローズを導くことであるため、より短い（リテラルの数の少ない）クローズを導き出してゆくという様な戦略をたてることができる。

特に(3)の点については、より短いクローズのみを作るようなレゾリューションに対する制限を加えても、なお完全性が保たれるということが証明されている。(ANDREWS 1968)

その他にも、レゾリューションの制限に関する理論が多く提出されている。特に、ゴール オリエンテッドな探索を保証する、セトオブサポート戦略は重要である。(L WOS, G. ROBINSON 1965)

#### 3. プログラムの解説

われわれのプログラムは、DEC 社の研究用中形機 PDP 15 ならびに当社の大形機 M 7500 のリスプでインプリメントされている。リスプ ファンクション 二十数個の簡単なものであるが、ユニット プレファランス 戦略と、セトオブサポート 戦略が組み込まれており、レゾリューション セオレム プルーバとしては一応完成された能力をもっている。

以下、幾つかのリスプ ファンクションについて、その機能を解説する。

TP メインルーチン。RECL と UNIP を呼ぶ。

RECL テレタイプまたは紙テープから、一つずつリテラルを読み、クローズを作り上げる。

UNIP, UUU, RES 5, RES 6, COMPL 2 ユニット プレファランスとセトオブサポート戦略にもとづいて、レゾリューションを行なう二つのクローズをさがし、RES に入れる。

RES 二つのクローズからレゾリューションによって作られるクローズのリストを作る。

RVT 二つのクローズとリテラルを指定して、レゾリューションを行なう。

FACT, FACT 1 一つのクローズが、代人によって短くなりうるとき、それを行なう。

DISAG 二つのリテラルに対し、一方が一方の否定となるような代入のしかたをさがす。

その他は、シンタックス上の処理を行なうファンクションである。

われわれの符号化では、数字をかってでかこんだものを自由変数としている。

#### 4. 実行例

##### ① モンキー・バナナ問題

へやの天井からバナナがぶら下っており、床に箱が置かれている。この状況で、狼がどのようにして、バナナをとるかという問題である。公理と定理の否定の与え方に注目されたい。

公理

$\neg$  ON BOX(SI)——はじめ狼は箱の上にはない。

(ON BOX(1)) (AT BOX(2) (PUSH BOX(2)(1)))——箱の上にはないならば、どこへでも箱を押してゆける。

(NOT AT BOX(2)(1)) (AT BOX(2) (CLIMB BOX(1)))——のぼるとき箱は動かない。

(ON BOX(Climb BOX(1)))——箱にのぼることができる。

(NOT AT BOX C(1)) (ON BOX(1)) (HB(GRASP(1)))——箱にのべればバナナのつかめる場所がある。

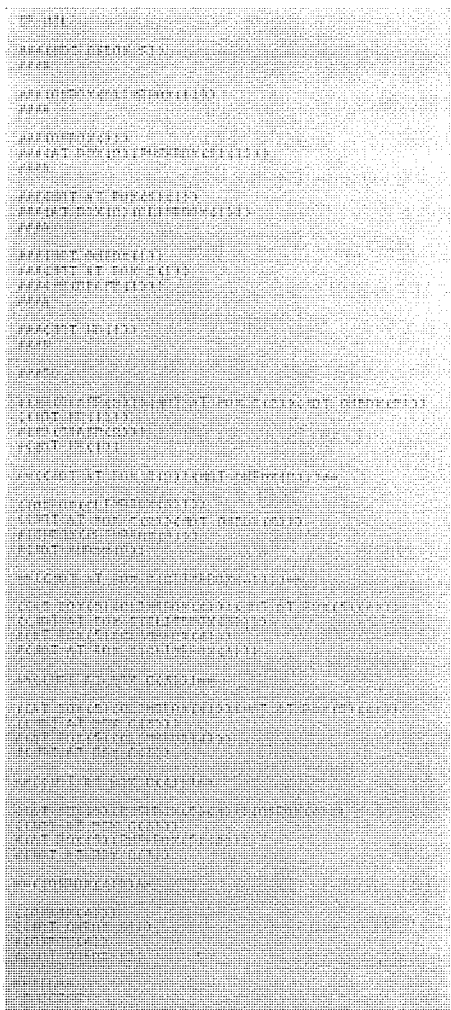


図 4.1 実行例①  
Example of practical application ①.

定理の否定

(NOT HB(1))

重要なことは、以上のクローズの集合が、レゾリューションによって矛盾を導くまでの過程で、定理の否定に含まれている変数に、値がアサインされ、それによって、狼がバナナをつかむにいたるまでの手順が示されることである。このことは、質問応答システムや、プログラムの自動作成に应用される。

##### ② プログラムの停止性の証明

Floyd(1968)によって、プログラムの停止性は、プログラム関式の各点に、適当な述語論理式を割り当て、それらから矛盾を導き出すことによって証明される。図 4.1 に示された例を、クローズ形式に書き直して、レゾリューションを行なったのが、次の例である。

$$\begin{aligned} & (\forall x)[\{T \wedge P(y) \supset Q_3(y)\} \\ & \quad \wedge \{T \wedge \neg P(y) \supset Q_1(a)\} \\ & \quad \wedge \{Q_1(x) \wedge P(x) \supset Q_3(x)\} \\ & \quad \wedge \{Q_1(x) \wedge \neg P(x) \supset Q_3(f(x))\} \\ & \quad \wedge \{Q_2(x) \wedge P(x) \supset Q_3(a)\} \\ & \quad \wedge \{Q_2(x) \wedge \neg P(x) \supset F\} \\ & \quad \wedge \{Q_3(x) \wedge \neg P(x) \supset Q_3(f(x))\} \\ & \quad \wedge \{Q_3(x) \wedge P(x) \supset F\}] \end{aligned}$$

③ 次の例は、結合的であり、かつ左単位元と左逆元をもつ代数系が実は群になることの証明である。

公理

$P(xyu) \wedge P(yzv) \wedge P(xvw) \supset P(uzw)$

$P(xyu) \wedge P(yzv) \wedge P(uzw) \supset P(xvw)$ ——結合法則

$P(exe)$ ——左単位元

$P(x^{-1}xe)$ ——左逆元

定理の否定

$\neg \forall x P(xx^{-1}e)$ ——左逆元は右逆元にならない。

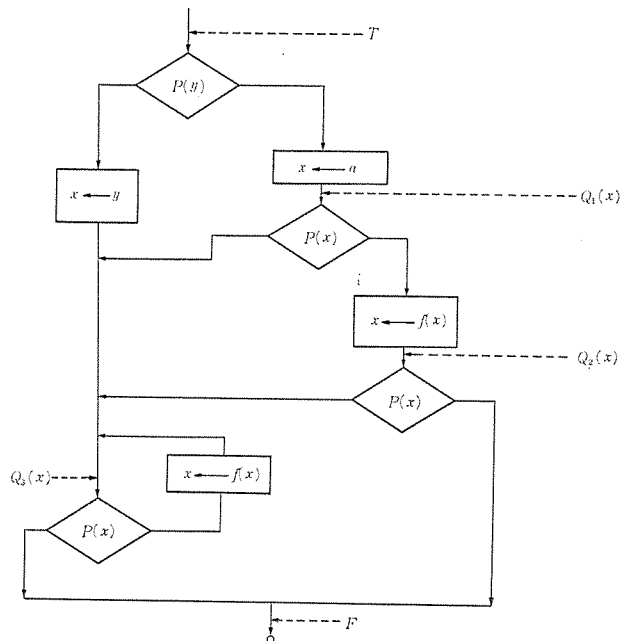


図 4.2 実行例②の説明  
Explanation of practical application ②.

#### 5. むすび

(1) レゾリューションセオレムフルーピングにおいて、提案された諸戦略を以下に列記する。

図 4.3 実行例 ②  
Example of practical application ②.

図 4.4 実行例 ③  
Example of practical application ③.

- (a) 不要なクローズをとり除くもの
  - (i) サブサンプリング (J. A. Robinson 1965)
  - (ii) ピュアリテラルを含むクローズの除去 (J. A. Robinson 1965)
  - (iii) トートロジーの除去, その他
- (b) レゾリューションの制限
  - (i) アンシストリフィルタリング (Luckham 1969)
  - (ii) セットオブサポート戦略 (G. Robinson, L. Wos 1969)
  - (iii) マージング (P. Andrews 1968)
  - (iv) モデルストラテジー (Slagle 1967, Luckham 1969)
- (2) 等式を扱うのに等号公理を使うのは非常に非効率なので, レゾリューションプリンスiplに等号を扱う推論規則をつけ加えることが提案されている。おもなものとして, G. Robinson, C. Wos (1969) によるパラモデレーションがある。

(3) 第一階論理では, 有限な公理化ができない場合 (例, 数学的帰納法) や, 高階述語論理を用いたほうが, 自然な公理化ができる場合が多いので, 高階述語論理を扱えるシステムを作ろうという動きも盛んになってきている。(J. A. Robinson 1969, 1970, Darling-ton 1971, 1972)。

(4) レゾリューションの過程での変数に対する代入を追跡することによって, 問題の構成的な解が得られるが, これを利用して, 質問応答システムを作ることができる。(C. Green 1969)

S. R. I の QA 3, QA 3.5 はこの考え方に立って作られている。この考え方は, プログラムの自動作成にも応用される。(Mahha, Waldinger 1971)

(5) 公理としてではなく, プログラムとして問題を与えようという考え方に立った, 推論用言語, PLANNER や Conivor が M. I. T において開発されている。S. R. I の QA 4 もこの考え方に立っている。

以上のように, 様々な研究方向が考えられるが, 筆者らは, 高階述語論理に関する理論的な検討によって, 有用なアイデアが得られると考えて現在研究を進めている。

#### 参 考 文 献

- (1) J. A. Robinson : A Machine Oriented Logic Based on

- Resolution Principle, J. A. C. M., 12, No. 1, PP. 23-41 (1965)
- (2) J. A. Robinson : Mechanizing Higher Order Logic, in B. Meltzer and D. Michie (Eds.), "Machine Intelligence 4" PP. 151-170, American Elsevier Publishing Company, Inc., New York (1969)
- (3) J. A. Robinson : An Overview of Mechanical Theorem Proving, in R. Banerji and M. Mesarovic (Eds.), "Theoretical Approaches to Non-Numerical Problem Solving", PP. 2-20, Springer-Verlag New York, Inc., New York (1970)
- (4) L. Wos, D. Carson and G. Robinson : The Unit Preference Strategy in Theorem Proving, Proc. AFIPS 1964 Fall Joint Computer Conf., 26, PP. 616-621 (1964)
- (5) L. Wos, D. Carson and G. Robinson : Efficiency and Completeness of the Set of Support Strategy in Theorem-Proving, J. ACM, 12, No. 4, PP. 536-541 (October 1965)
- (6) G. Robinson and L. Wos : Paramodulation and Theorem-Proving in First-Order Theories with Equality, "Machine Intelligence 4" PP. 135-150 (1969)
- (7) P. Andrews : Resolution with Merging, J. ACM., 15, No. 3, PP. 367-381 (July 1968)
- (8) D. Luckham : Refinement Theorems in Resolution Theory, Stanford Artificial Intelligence Project Memo AI-81 (March 24, 1969)
- (9) C. Green : Theorem-Proving by Resolution as a Basis for Question-Answering Systems, "Machine Intelligence 4,, PP. 183-205 (1969)
- (10) C. Green : The Application of Theorem Proving to Question-Answering Systems, Stanford Artificial Intelligence Project Memo AI-96 (June 1969)
- (11) Z. Mahha and R. J. Waldinger : Towards Automatic Program Synthesis, CACM, 14, No. 3 (March 1971)

## ガラスレーザ加工機

吉田 寿夫\*  
荒井 伸治\*\*

## Glass Laser Machine

Central Research Laboratory Hisao Yoshida  
Nagoya Works Shinji Arai

The glass laser beam is able to focus on a small spot of high power density. Then it is possible with it to weld and punch a hole without contacting in the atmosphere. As it has a narrow heat affecting area and does not import any pressure mechanically, the machined object is free from deformation.

Now a glass laser machine of output 30 J and pulse continuation time 0.4~7 ms has been built for trial, a description is made on the oscillation characteristics and basic welding and punching performance. Also analysis is made on the deep fused-in welding mechanism by means of the laser beam and fused-in shapes are sought for by using a model of column heat source.

## 1. ま え が き

近年、工業部品の高性能化および小形化に伴い、各種の材料を用いて複雑な形状の部品を精密に加工することが要求されている。また、工業分野において生産性の向上および省力化がなされている。このような流れに適合した加工法としてレーザ加工技術の重要性がますます認識されている。

ガラスレーザはパルス発振で、パワーが高く、ビームの広がり角が小さいので、レンズで集光すると高パワー密度の小さなスポットになる。レーザビームを被加工物に照射すると表面のきわめて薄い層で吸収されるので、その部分は瞬時に溶融・蒸発が起こる。したがって、ガラスレーザ加工機により大気中で各種材料を非接触で微細な溶接および穴あけ加工を短時間ですることができ、被加工物の熱影響部はきわめて狭く、機械的に加圧しないので被加工物にひずみおよび変形を与えない。

固体レーザ（ルビーレーザ）による穴あけ加工特性について報告したが<sup>(1)</sup>、出力 20 J・パルス持続時間 0.4~7 ms のガラスレーザ加工機を開発したので、レーザの発振特性および溶接、穴あけ加工の基本的な特性について述べる。

レーザ溶接は被溶接物の深部へのエネルギー伝達の方法により、熱伝導による方法、せん（穿）孔による方法に分類できる。

被溶接物に照射されるレーザビームのパワー密度が小さい場合にのみ溶接の機構が解析されており、レーザビームを表面熱源として取扱っている。パワー密度が大きくなると、ビーム加工特有のせん孔現象が生じ、レーザビームはこのせん孔によって被溶接物の深部まで伝搬する。その溶け込み形状は円すい（錐）形である。レーザビームによる深溶け込み溶接の機構について解析したので報告する。また、被溶接物の深さ方向におけるレーザビームの吸収量を考慮した円柱熱源のモデルにより溶け込みの形状を求めている。

## 2. ガラスレーザ加工機

良質の穴あけ加工および溶接が可能であるように、発振持続時間・レーザビームの強度分布・ランプの寿命などに重点を置き、レーザ加工機を試作した。レーザ加工機は加工機本体・電源・冷却系およびコン

トロール系から構成されている。加工機本体およびコントロールボックスを図 2. 1 に示す。

レーザヘッドはレーザロッド・共振器・フラッシュランプ・ポンピング用集光筒および冷却系などによって構成されている。

レーザ物質として Nd ガラス（TIR-PLANO, 9.5  $\phi$  × 300 mm）を使用した。Nd ガラスレーザロッドはルビーレーザロッドと比べて熱および機械的な衝撃に弱い、利得が大きく、安価である。また、ガラスレーザ出力はロッドの冷却水の温度にほとんど依存しない。フラッシュランプの寿命を長くし、熱応力によるロッドの破損を防止するために長いレーザロッドを使用している。

共振器は直角プリズムになっているレーザロッドの端面およびサファイアアタロンから構成されているので、従来の多層膜反射鏡に比べてきわめて劣化が少ない。

キセノンフラッシュランプは EG&G 社製の FX 47-12 形（アーク長：305 mm, 管径：15 mm  $\phi$ ）を使用している。このように管径を大きくし、電極間隔を長くすることにより、ランプの寿命を長くしている。

レーザビームの強度分布を改良するために二重ガラス管の中に MgO 粉末を封入し、ポンピング用集光筒面を拡散面としている。

発振くり返し速度を大きくするためにレーザロッド、ポンピング用集光

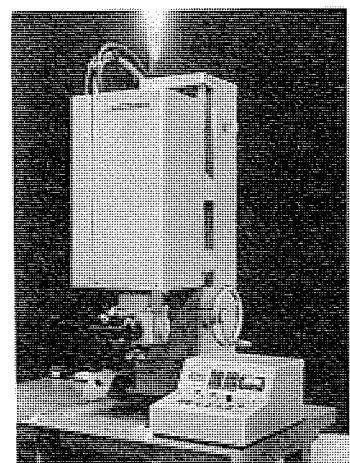


図 2. 1 ガラスレーザ加工機  
Glass laser machine.

筒およびフラッシュランプを水冷している。

レーザビームの発振波形の制御は穴あけ加工および溶接において重要である。パルス形成回路のコンデンサの容量およびコイルのインダクタンスを数段階に切換えることにより、フラッシュランプの放電波形を制御し、レーザビームの発振波形を制御している。

ガラスレーザ加工機のおもな性能を次に示す。

発振波長	1.06 $\mu$
出力エネルギー	30 J (最大)
パルス持続時間	0.4~7 ms
ピークパワー	50 kW (最大)
広がり角	15 m rad 以下
くり返し速度	6~30 Pulse/min
冷却方式	クローズドサイクル
レーザロッド	9.5 mm $\phi$ ×300 mm

### 3. 発振特性

#### 3.1 入出力特性

一般にレーザ出力  $E_0$  は  $E_0 = A(E_i - E_t)$  で表わされる。ただし、 $E_i$  は電気入力、 $E_t$  は発振に必要な最低電気入力（発振しきい値）、 $A$  は変換効率である。変換効率  $A$  は  $dE_0/dE_i$  である。 $A$  と  $E_t$  は使用するレーザロッド、励起効率およびパルス形成回路の定数などによって決定される。

図 3.1 に、パルス持続時間をパラメータとしたときの入出力特性の測定結果を示す。ただし、レーザ出力はカロリーメータ (TRG 社 100 形) を用いて測定した。

パルス持続時間が長くなるとともに、発振しきい値  $E_t$  は大きくなり、変換効率  $A$  は減少する。パルス持続時間が 0.4 ms のとき、変換効率は 1.68 % であり、5 ms のときは 1.0 % である。

#### 3.2 レーザビームのパターン

真円度のよい穴あけ加工および良質の溶接をするには、レーザビームの Far-Field パターンの強度分布が点対称である必要がある。レーザビームの強度分布を点対称にするには、レーザロッドのポンピング密度分布を軸対称にしなければならない。

ランプおよびポンピング用集光筒をロッドの軸に関して、対称に配置することができないのでポンピング用集光筒面が鏡面の場合、ポンピング密度分布を軸対称にすることはきわめて困難である。集光筒面を拡散面にすると、集光効率は低下するがポンピング密度分布をほぼ軸対称にすることが可能である。

集光筒面を拡散反射面にするために、ガラスの二重管に MgO 粉末

を封入したポンピング用集光筒を使用した。直径 1 mm $\phi$  のピンホールを 0.5 mm ずつ移動させ、ピンホールを通過するレーザビームのエネルギーを測定し、Near-Field パターンを測定した。レーザ出力 7.5 J・パルス持続時間 0.4 ms における Near-Field パターンの測定結果を図 3.2 に示す。

レーザビームの強度分布はほぼ点対称であり、ビームの強度は中心部において高く、周辺にいくにつれて強度は低くなる。

焦点距離  $f$  のとつ (凸) レンズに光軸との角度が  $\theta_0$  で入射したビームは、焦点面において光軸から  $f \cdot \theta_0$  離れた点を通過する。レーザビームを焦点距離 50 mm のレンズで集光したとき、焦点面における強度分布 (Far-Field パターン) を直径 100  $\mu$  のピンホールを用いて測定した。パルス持続時間を一定にし、レーザ出力を 1~15 J 変化させたときの焦点面における強度分布を図 3.3 に示す。

レーザ出力とレーザビームの広がり角の関係を図 3.4 に示す。ここで、レーザビームの広がり角  $\theta$  は  $\theta = D/f$  と定義する。ただし、 $D$  は焦点面で強度 (パワー密度) が最大値の  $1/e^2$  になる円の直径である。レーザ出力が 4 J まではレーザ出力が増大するとともに、広がり角は急激に増大している。しかし、レーザ出力が 4 J 以上になると、レーザ出力に対する広がり角の増加率はほぼ一定であり、レーザ出力が 15 J のとき広がり角は約 15 m rad である。

#### 3.3 冷却水の温度とレーザ出力

光ポンピングによって励起される固体レーザは、動作に利用する能動イオン中の準位数に応じて、3 準位レーザおよび 4 準位レーザの二つに分類される。4 準位の場合、レーザ遷移の下側の準位と基底準位との間のエネルギー差  $\Delta E_1$  が、 $\Delta E_1 \gg kT$  ( $k$ : ボルツマン定数) である。 $\Delta E_1 \leq kT$  のとき、3 準位レーザの動作とみなされる。

ルビーレーザは 3 準位レーザであり、レーザ出力は冷却水の温度の影響を受けやすい、冷却水の温度に対するレーザ出力の変動率は  $-1 \sim -3 \%$ /°C 程度である。

ガラスレーザは 4 準位レーザであり、冷却水の温度にほとんど依存しない。入力エネルギーを一定にし、ロッドの冷却水を徐々に加熱しながら、レーザ出力を測定した。電気入力 950 J・パルス持続時間 0.4 ms のとき、ロッドの冷却水の温度とレーザ出力の関係を図 3.5 に示す。この温度範囲ではレーザ出力は冷却水の温度に依存しない。

#### 3.4 出力安定度

入力エネルギー 950 J・発振間隔 5 s で 1,500 パルス発振させ、50 パルスごとにレーザ出力を測定した。図 3.6 に測定結果を示す。出力安定度は  $\pm 5 \%$  である。レーザ出力と穴あけおよび溶接特性の関係より、この値は加工機として十分な値である。

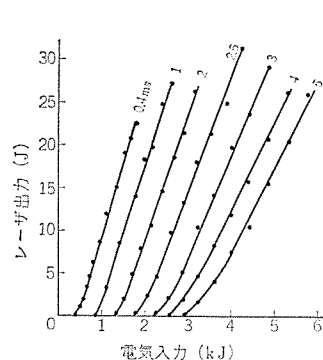


図 3.1 入出力特性  
Laser output power as a function of electrical power of lamp.

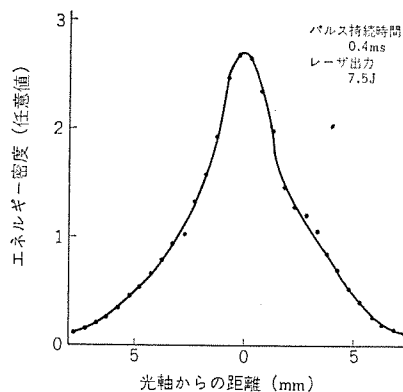


図 3.2 Near-field パターン  
Near-field pattern.

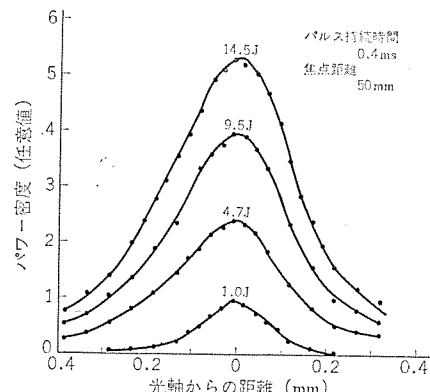


図 3.3 Far-field パターン  
Far-field pattern



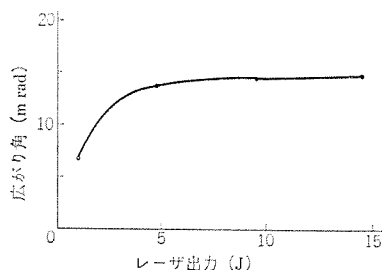


図 3.4 レーザビームの広がり角  
Beam divergence.

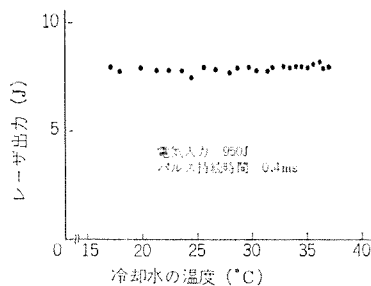


図 3.5 冷却水の温度依存性  
Effect of cooling laser rod.

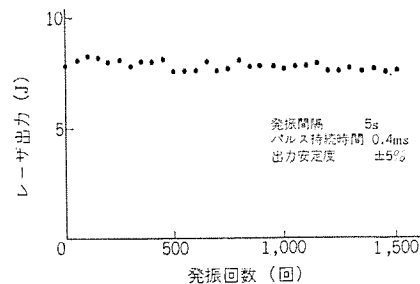


図 3.6 出力安定度  
Stability of laser output power.

## 4. 溶 接

アーク溶接のように被溶接物に投入されるエネルギーのパワー密度が低く、熱源に指向性がない場合、エネルギーは熱伝導によってのみ被溶接物の深部まで伝搬されるので溶け込み形状は半球形に近くなる。

レーザビームのようにパワー密度が大きくなると、ビーム加工特有のせん孔現象が生じ、エネルギーはこのせん孔によって被溶接物の深部まで伝搬されるので溶け込み形状は円すい形になる。ここではせん孔作用による深溶け込み溶接の機構を解析する。

### 4.1 熔融金属の表面に働く力

強度  $I_0$  のガラスレーザビーム (波長  $1.06 \mu$ ) が金属に照射されると、金属表面からの距離  $x$  におけるレーザビームの強度  $I$  は

$$I = I_0 e^{-\beta x} \quad (4.1)$$

である。ただし、 $\beta$  は吸収係数である。一般に金属の吸収係数  $\beta$  はきわめて大きいので、レーザビームは金属表面においてのみ吸収され、熱エネルギーに変換される。

レーザビームによって金属表面が温度  $T(^{\circ}\text{K})$  に加熱されたとき、表面近傍の蒸気圧  $P(\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-2})$  は

$$\log P = A - B/T \quad (4.2)$$

で近似できる。また、金属の蒸発速度  $W(\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$  は

$$\log W = C + \log P - 0.5 \log T \quad (4.3)$$

で近似できる。ただし、 $A, B, C$  は物理定数である<sup>(2)</sup>。

金属表面の一部が熔融した状態を図 4.1 に示す。温度  $T(^{\circ}\text{K})$  の熔融表面に働く推力  $F(\text{dyn})$  は次のようになる。

$$F = W \cdot v \cdot S + (P - P_a) \cdot S \quad (4.4)$$

$S$ : 温度  $T$  の表面積 ( $\text{cm}^2$ )

$v$ : 蒸発原子の速度 ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$P_a$ : ふん囲気の圧力 ( $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

時間  $dt(\text{sec})$  に熔融表面 (面積  $S \text{ cm}^2$ ) から質量  $dn(\text{g})$  の金属が蒸発すると、温度  $T(^{\circ}\text{K})$ ・圧力  $P(\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-2})$  の蒸発原子の体積が  $dV(\text{cm}^3)$  増大する。 $dV$  はボイルシャルの法則より

$$P \frac{dV}{dt} = \frac{S \cdot dl}{dt} = \frac{dn}{dt} \cdot \frac{R}{m} \cdot T \quad (4.5)$$

$R$ : 気体定数

$m$ : 原子量

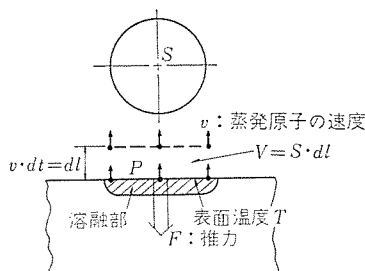


図 4.1 熔融表面に働く力  
Downwards force acting on surface of liquid.

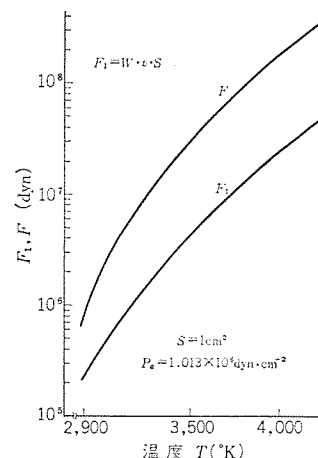


図 4.2 蒸発原子による力  
Force due to evaporated atoms of metal.

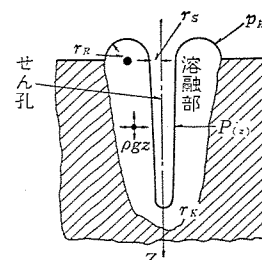


図 4.3 レーザビーム溶接の機構図  
Schematics of laser beam weld mechanism.

$r_s=0.005$ ,  $r_K=0.002$  cm であるとする、 $P(z)$  および  $P_D$  は  $P(z)=5.1 \times 10^5 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $P_D=1.87 \times 10^6 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$  になる。ただし、Fe の  $\gamma$  は  $1,700 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-1}$  である。

せん孔の深さ  $z$  において面積  $dS$  に働く溶融金属の重量による力  $dP$  は

$$dP = \rho \cdot g \cdot z \cdot dS$$

である。ただし、 $\rho$  は密度、 $g$  は重力加速度である。Fe の場合、 $z=0.2$  cm に働く圧力は  $dP/dS=1.53 \times 10^3 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$  になり、重力による圧力は表面張力による圧力  $P(z)$  および  $P_D$  と比べ無視できる。

大気中で Fe 板の深溶け込み溶接をした場合、せん孔の表面温度は、せん孔の表面を引き上げる力  $P_D$ ,  $P(z)$  および表面を垂直に押す推力  $F$  (図 4. 2) より  $3,000^\circ\text{K}$  程度であると推定される。

#### 4. 3 エネルギーの伝搬

レーザ溶接の特長はせん孔による被溶接物深部へのエネルギー伝搬特性にある。せん孔は表面温度が  $3,000^\circ\text{K}$  程度 (Fe の場合) の光学的になめらかな液体の壁からなり、その形状は円すい形に近似することができる。図 4. 4 に示すようなせん孔の展開図より、せん孔内におけるレーザビームの伝搬の様子を比較的簡単に解析することができる。

せん孔の深さを  $x_0$ 、せん孔の入口の半径を  $r_0$ 、せん孔の半頂角を  $\theta = \tan^{-1}(r_0/x_0)$  とし、座標軸を図 4. 4 のようにすると、せん孔の壁の像  $y_{wn}$  は

$$y_{wn} = -\tan\{(2n-1)\theta\} \cdot (x-x_0) \quad \dots\dots\dots(4. 7)$$

になる。ただし、 $n$  は反射回数である。

図 4. 4 の点線は入射角  $\theta_0$  で点  $(0, y_0)$  を通るレーザビームの軌跡  $y_L$  を示す。

$$y_L = (\tan \theta_0) \cdot x + y_0 \quad \dots\dots\dots(4. 8)$$

レーザビームが照射されるせん孔の壁の位置は連立方程式 (4. 7)、式 (4. 8) の解である。

レーザビームはせん孔内で反射をくり返ししながら徐々にせん孔の深部へ伝搬する。壁に  $n$  回反射したとき、そこで吸収されるレーザビームの強度  $I_n$  は

$$I_n = \alpha(1-\alpha)^{n-1} \cdot I_0 \cdot \sin\{(2n-1)\theta\} \quad \dots\dots\dots(4. 9)$$

になる。ただし、 $\alpha$  はレーザ波長に対するせん孔表面の吸収率、 $I_0$  はせん孔へ入射するレーザビームの強度である。

材料 Fe、深さ 2 mm、入口の半径  $r_0=0.1$  mm、半頂角  $\theta=0.05$  rad、吸収率  $\alpha=0.369$  のせん孔にレーザビームが入射するとき、入射角  $\theta_0$  をパラメータとし、せん孔の深さとせん孔の壁に吸収されるレーザビーム

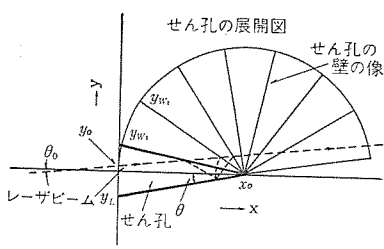


図 4. 4 せん孔内のレーザビームの伝搬  
Propagation of laser beam in weld cavity.

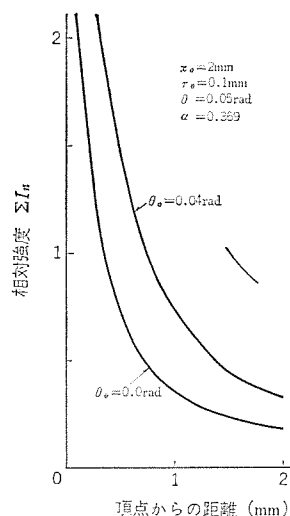


図 4. 5 レーザビームの伝搬特性  
Propagation characteristic of laser beam.

の強度の関係を図 4. 5 に示す。レーザビームが効率よくせん孔の深部へ伝搬するためにはレーザビームの入射角を小さくする必要がある。

#### 4. 4 溶接特性<sup>(3)</sup>

パルス持続時間 7 ms、照射エネルギー 12.4 J のガラスレーザビームを板厚 0.6 mm の SUS-27 板に照射したとき、その溶け込みの断面形状は図 4. 6 になる。このとき約 7 J のレーザビームが被溶接物に吸収され、5 J のレーザビームは被溶接物に吸収されずに貫通する。レーザビームが照射されると、溶融部にせん孔が発生し、溶融部は図 4. 3 に示すようにせん孔の周辺に盛り上がる。レーザの照射時間が長くなるとともに発生したせん孔は深くなり、せん孔の深さが板厚に達した後、レーザビームの一部は被溶接物に吸収されないで通過し、レーザビームの照射が終了するとともに被溶接物に発生したせん孔は埋まる。

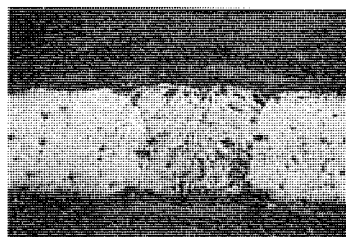
被溶接物の深さ方向におけるレーザビームの吸収量を測定するために、図 4. 7 のような実験装置を用いて、被溶接物の板厚を 0~3 mm 変化させて被溶接物を通過するレーザビームのエネルギーを測定した。被溶接物の深さ方向におけるレーザビームの伝搬エネルギーを図 4. 8 に示す。図 4. 9 に被溶接物の深さ方向におけるレーザビームの吸収量を示す。

板厚 3 mm の SUS-27 板に、焦点距離 25 mm のレンズを用いてパルス持続時間 7 ms のレーザビームを照射したとき、照射エネルギーと溶け込み深さの関係を図 4. 10 に示す。溶け込みの断面形状を、図 4. 11 に示す。溶け込み形状はほぼ円すい形である。この範囲の照射エネルギーにおける溶け込み深さはほぼ照射エネルギーに比例する。

#### 4. 5 円柱熱源モデルによる解析

被溶接物の深さ方向におけるレーザビームの吸収量を考慮した円柱熱源のモデルを考え、電子計算機によって熱伝導方程式の差分近似式を解き、溶け込み形状を求めた。このモデルによる計算値と実験値を比較検討する。

図 4. 12 に示すように直径 2 mm、厚さ 3 mm の円板 (SUS-27) の中心に直径 0.005 mm の円柱熱源  $Q$  を投与したときの温度分布を計算する。熱源  $Q$  は発熱時間が 7 ms で、 $z$  方向にエネルギー密度のこう(勾)配をもっている。この円柱熱源のエネルギー密度のこう配は図 4. 8 に示す実験結果より求めたものである。境界条件は断熱とし、



SUS-27、板厚 0.6 mm、照射エネルギー 12.4 J、パルス持続時間 7 ms、焦点距離 25 mm

図 4. 6 レーザビーム溶接の断面形状  
Laser beam welding cross section.

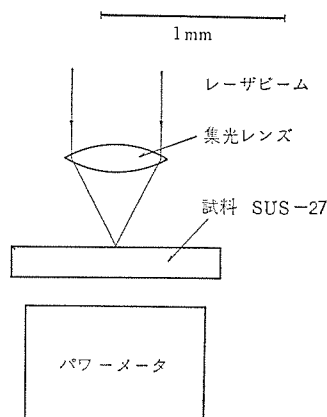


図 4. 7 実験装置  
Schematic of experimental setup.

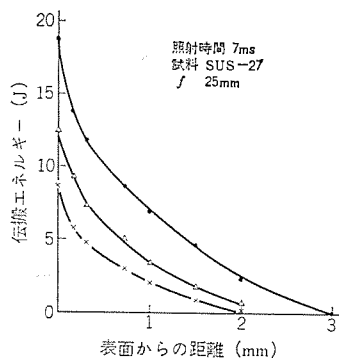


図 4.8 伝搬エネルギー  
Propagation energy.

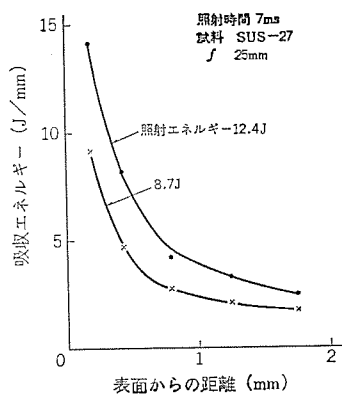


図 4.9 深さ方向の吸収エネルギー  
Absorbed energy vs. distance from surface.

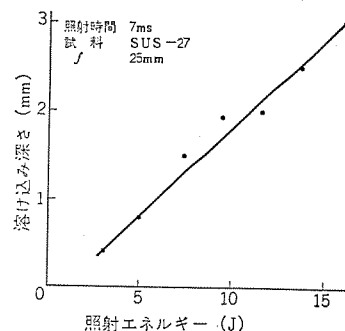
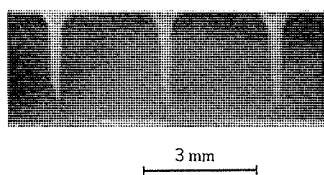


図 4.10 溶け込み深さと照射エネルギー  
Penetration depth vs. laser energy.



厚さ 3mm の SUS-27 板に照射エネルギー 14J, パルス持続時間 7ms のレーザービームを照射したときの溶け込み形状

図 4.11 レーザビーム溶接の断面形状  
Laser beam welding cross section.

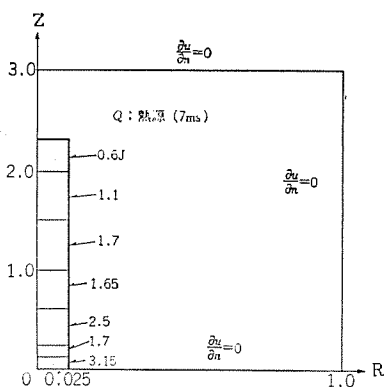


図 4.12 円柱熱源モデル  
Cylindrical heat source model.

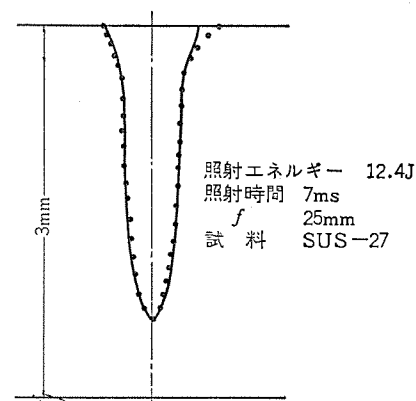


図 4.13 計算値と実験値の比較  
Comparison of calculated values with measured values.

初期条件は時間  $t=0$  において円板のすべての点が  $20^{\circ}\text{C}$  であるとする。

円板の内部では

$$C \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = K_r \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) + K_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + Q \quad (4.10)$$

を満足する。ただし、 $u$  は温度、 $t$  は時間、 $C$  は比熱、 $\rho$  は密度、 $K$  は熱伝導率、 $Q$  は発熱量であり、SUS-27 の各値は  $C=0.51 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$ 、 $\rho=7.86 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $K=0.151 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$  である。境界条件、初期条件および式 (4.10) を満足する解析解  $u(r, z, t)$  を得ることは不可能である。

偏微分方程式 (4.10) を差分近似式に変換し、この差分近似式を解くことによって近似解が得られる。三菱総合研究所が開発した HEAT のプログラムによって差分近似式を解いた結果を、図 4.13 に示す<sup>(4)</sup>。図 4.13 において実線は円柱熱源のモデルによる計算値であり、点線は照射エネルギー 12.4J・照射時間 7ms のレーザービームを SUS-27 板に照射したときの溶け込み形状である。実験値と計算値がよく一致している。したがって、被溶接物の深さ方向のレーザービームの吸収量を考慮した円柱熱源のモデルにより、レーザービームによる溶け込み形状を解析することが可能である。

## 5. 穴あけ加工

高パワー密度のレーザービームが被加工物に照射されると、レーザービームの照射面近傍は高温になり、照射面から高エネルギー（高温）の気体が式 (4.3) に示す蒸発速度で発生する。発生した蒸発原子の運動エネルギーにより被加工物から溶融部を除去する。被加工物から蒸発原子

とともに多数の小さな溶融塊を噴出しながら穴あけ加工が進行している様子を図 5.1 に示す。

さらに照射ビームのパワー密度が高くなると、照射面は超高温になり、表面からの蒸発による熱損失が激増するために、表面の温度よりも表面から少し下の部分の温度のほうがより超高温になり、一種の熱爆発を起こしながら穴あけ加工が進行していく<sup>(5)</sup>。

### 5.1 照射時間と穴の形状

被加工物の熱および流体力学に関する物理定数、照射ビームのパワー密度などによって被加工物の温度分布は決定される。被加工物から単位質量除去するのに必要なレーザービームの照射エネルギーはパワー密度によって異なる。穴の側面の溶融部を除去するために必要な蒸発原子の運動エネルギーを供給するレーザービームの最低パワー密度（限界パワー密度）が存在する。照射されるレーザービームのパワー密度と限界パワー密度との差が小さいほど加工効率がよい。

レーザービームと穴の側面との角度が小さいほど、多重反射によって穴の底部へレーザービームが効率よく伝搬される。

レーザービームの照射エネルギーを一定にし、照射時間を変化させたときの穴あけ加工の状態を図 5.2 に示す。照射時間が短い場合は表面径が大きくて浅い穴が加工される。照射時間が長くなると表面径は小さくて深い穴が加工される。また、レーザービームのパワーが小さいとき穴づまりが生じる。照射時間は穴の形状を決定する重要な因子である。

### 5.2 照射エネルギーと加工除去量

穴あけ加工は被加工物の一部を除去することであり、加工の前後で重量が異なる。この重量差を加工除去量と定義する。

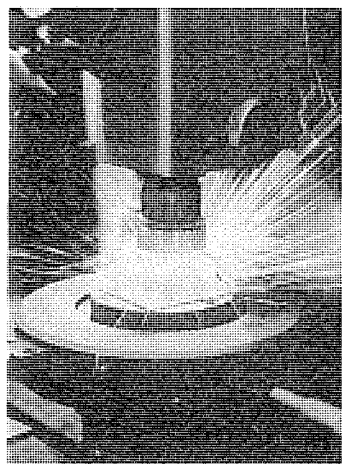
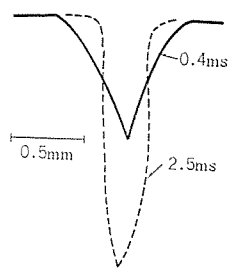


図 5.1 加工中の金属  
Metal under drilling with laser.



SUS-27, 照射エネルギー 12 J

図 5.2 溶け込み形状と  
パルス持続時間  
Penetration vs. pulse  
duration.

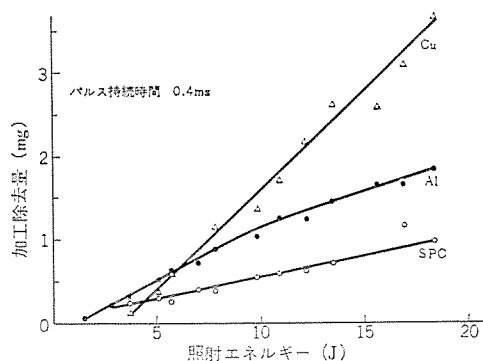


図 5.3 加工除去量と照射エネルギー  
Removed mass vs. laser energy.

パルス持続時間 0.4 ms のレーザービームを焦点距離 25 mm のレンズを用いて Cu, Al, SPC 板に照射したとき、照射エネルギーと加工除去量の関係を図 5.3 に示す。これらの材料における加工除去量は照射エネルギーに比例する。すなわち単位エネルギー当たりの加工除去量は一定である。

### 5.3 穴の表面径

パルス持続時間 0.4 ms のレーザービームを焦点距離 25 mm のレンズを用いて各種材料に照射したとき、照射エネルギーと穴の表面径の関係を図 5.4 に示す。図中点線は Al はく(箔)の穴の径である。Al はくと Al 板の曲線の形状はほぼ同一であるが、Al 板の穴の表面径は Al はくの径より小さい。この表面径の差は熱伝導によるエネルギーの損失に依存する。照射エネルギーが 5 J 近傍までは照射エネルギーの増加とともに穴の表面径は急激に大きくなる。これはレーザー出力の増加とともにレーザービームの広がり角が急激に大きくなるためである。

### 5.4 穴の深さ

板厚 3 mm の Cu, Al, SPC, 黄銅板にパルス持続時間 0.4 ms のレーザービームを照射したとき、照射エネルギーと穴の深さの関係を図 5.5 に示す。パルス持続時間を長くすることによって表面径が小さな深い穴あけ加工が可能である。

### 5.5 照射回数と穴の深さ

黄銅片に一定エネルギーのレーザービームをくり返し照射したとき、照射回数と穴の深さの関係を図 5.6 に示す。照射エネルギーが 17 J であるときの穴の断面形状を図 5.7 に示す。

レーザービームは多重反射により穴の深部へ伝搬され、照射回数の増加とともに穴の深さは大きくなる。穴のせん(尖)端に照射されるレー

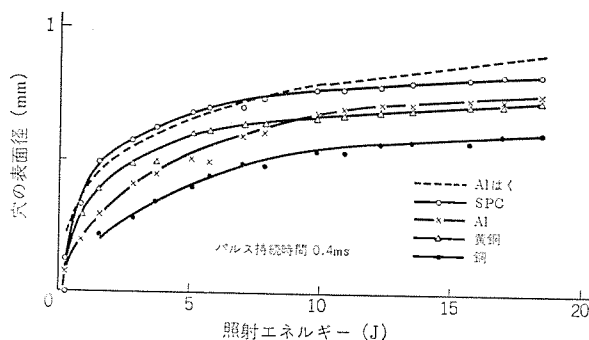


図 5.4 穴の径と照射エネルギー  
Diameter of hole vs. laser energy

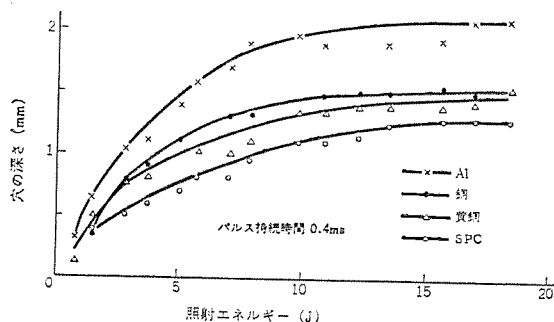


図 5.5 穴の深さと照射エネルギー  
Depth of hole vs. laser energy.

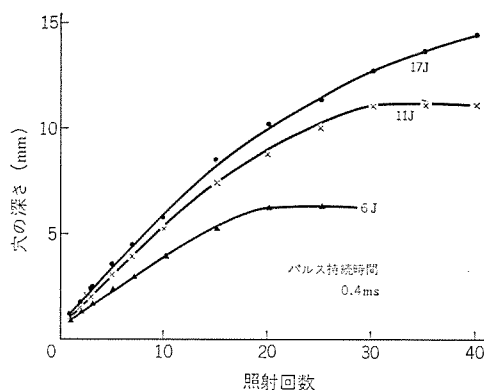


図 5.6 穴の深さと照射回数  
Depth of hole vs. laser shots.

ザービームのパワー密度が、穴あけの限界パワー密度以下になると穴あけ加工は停止する。パルス持続時間 0.4 ms, 照射エネルギー 17 J のレーザービームをくり返し黄銅に照射すると、45 パルスで穴の深さは飽和し、15 mm になる。

パルス持続時間 0.4 ms, 照射回数 20 パルスのとき、照射エネルギーと穴の深さの関係を図 5.8 に示す。

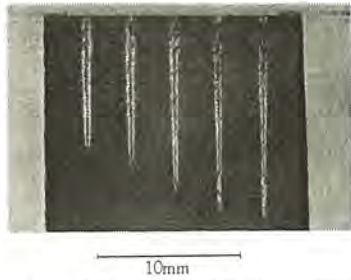
### 5.6 集光レンズの焦点距離

集光レンズの焦点距離と穴の深さの関係を図 5.9 に示す。深い穴を加工する場合、レンズの焦点距離を決定するには

- (1) 穴の内部に投入されるエネルギー
- (2) 穴の内部のレーザービームの伝搬

を考慮する必要がある。

焦点面におけるレーザービームのパワー密度分布と穴の表面径の関係より穴の内部に投入されるエネルギーを大きくするためには、レンズの焦点距離を短くすることが望ましい。図 4.3 よりレーザービームを穴のせん端まで効率よく伝搬させるためには、被加工物に入射させるビー



黄銅，照射エネルギー 17 J，パルス持続時間 0.4 ms，照射回数左から右へ 20, 25, 30, 35, 40 shots

図 5.7 穴の断面形状と照射回数  
Drilling cross section vs. laser shots.

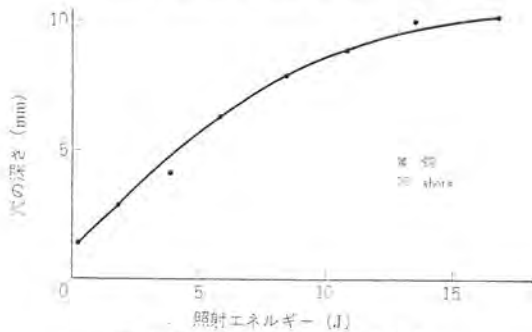


図 5.8 穴の深さと照射エネルギー  
Depth of hole vs. laser energy.

△の角度を小さくすること，すなわちレンズの焦点距離を長くすることが望ましい。レンズに対するこれらの相反する要求よりレーザービームおよび被加工物の特性に依存した最適なレンズの焦点距離が存在する。

## 6. む す び

ガラスレーザー加工機の発振特性および加工特性について述べてきたが，微細加工の場合，試作機の性能（レーザー出力 20 J，パルス持続時間

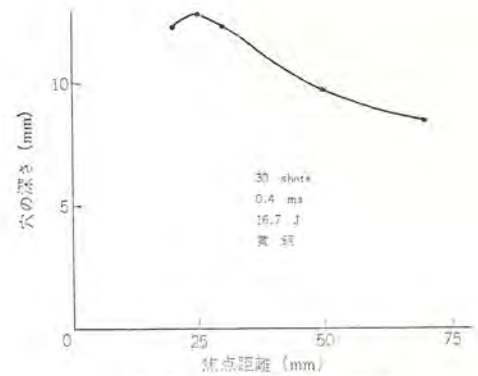


図 5.9 穴の深さと焦点距離  
Depth of hole vs. focal length.

0.4～7 ms）で加工能力（溶融量・除去量）は十分であると考ええる。

今後，実用化するには，レーザービームによる加工機構を解析し，レーザー加工の限界を認識したうえで，

- (1) レザービームを空間的・時間的に制御する。
- (2) レザー加工に適した材料処理をする。

ことにより，加工特性（穴の形状，溶け込み形状など）を制御する必要がある。さらに，生産技術者によるレーザー加工機の利用技術の開発が重要である。

## 参 考 文 献

- (1) 樋口，宮沢，吉田：三菱電機技報，45，No. 10，1,298(昭46)
- (2) W. L. Knecht：Surface Temperature of Laser Heated Metal, IEEE (Letters), 54, 692 (1966)
- (3) 吉田，荒井：昭和47年度精機学会秋季大会前刷集，487
- (4) HEATの使用説明書，三菱総合研究所
- (5) J. F. Ready：Development of Plume of Material Vaporized by Giant Pulse Laser, Appl. Phys. Lett., 3, 11 (1963)

## 半 導 体 レーザ

中原 昭次郎\*・長 能 宗彦\*\*・浪 崎 博文\*\*  
奥 泰 二+・須 崎 渉++  
伊 藤 昭子+++・石 井 恂+++・菅 博文+++

## Semiconductor Lasers

Kamakura Works Shōjirō Nakahara・Munehiko Nagano・Hirohumi Namizaki  
Kitatami Works Taiji Oku・Wataru Susaki  
Central Research Laboratory Akiko Itō・Makoto Ishii・Hirohumi Kan

GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As double hetero (DH) junction lasers that operate continuously at room temperature are obtained. Thus optoelectronics such as optical communication and optical information processing has reached the new stage. Expectation to future development of the field grows up.

State-of-the art of DH laser is, however, that its life is too short to be applicable in the practical use and further studies are necessary before it is utilized in practice.

This article describes the necessary conditions for room temperature CW operation such as crystal growth techniques and the methods of lowering the operation current.

The operation characteristics of actual laser devices is also briefly stated from the practical point of view.

## 1. ま え が き

半導体レーザの歴史は、1962年GaAs接合レーザの実現に始まった。それ以後、Ⅲ-V族、Ⅱ-VI族の化合物や鉛化合物、単体ではTeなどたくさんの半導体でレーザ発振が得られている。それら半導体のバンド構造は、いずれも発光効率の高い直接遷移形である。得られた発振波長は光や電子ビームなどを用いた励起法によって、近紫外から28μをこえる赤外までの広い範囲にわたっている。最近では、さらに、発振がむずかしいと考えられていた間接遷移形の半導体での発振も、Ga<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>Pで報告されるなど新しい発展が見られる。

実用性から考えると、数多くの半導体レーザのうちp-n接合（ダイオード）に順方向バイアスをかけて、電流により励起する接合レーザが最も好都合であり、その中でも実用化が最も期待されているGaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Asダブルヘテロ接合レーザの特性が、ここで述べる内容の中心になる。

さて、半導体レーザはその出現の当初から小形で効率が高く、変調が容易なことで光通信への応用など様々な方面から本命視されてきたが、その実用化への成否のかぎは室温における連続動作が可能になることであった。1970年にベル研究所の林<sup>(1)</sup>、ソビエトのAlferov<sup>(2)</sup>らがGaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Asダブルヘテロ接合を用いた成功を発表して以来、多数の研究所においてその実用化を目指して精力的な研究開発が行なわれている。しかし、現状では得られるレーザ素子は、短時間の連続動作により発振出力の低下からついには発振の停止に至る劣化を起こす。そのメカニズムもほとんどわかっていないことは大きな問題であり、世界中の半導体レーザ関係者のほとんどすべてがこの問題に取り組んでいるといっても過言ではない。

半導体レーザは気体レーザ・固体レーザにくらべると出力は数十mW程度で、そのスペクトルはかなりの広がりをもっている。そのうえいまのところ多モード動作することのほうが多い。また単一モード

で動作する場合でも、ビームの広がり角は開口が小さいために20度程度あるのが普通で、いわゆるレーザ動作という点では、気体や固体のレーザにとって代わるわけにはいかない。しかし半導体レーザは変調が容易であり、取扱いが簡便で装置の小形化ができるうえに、得られる光が良質であるという点で実用性がきわめて高く、価格的に安くなることも期待できる。このゆえに、固体レーザや気体レーザでは実用化が不可能と考えられている。簡易光通信や光情報処理装置用の読み出しを中心とした光源など、今後の発展が期待されているオプトエレクトロニクス分野におけるキーデバイスとして注目されている。

この論文では、一般的なGaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Asダブルヘテロ接合(DH)レーザの特性を2章で述べ、3章、4章でそれぞれDHレーザ用結晶の製法と素子の連続動作を、5章で応用上の問題となるレーザの動作特性の概略を紹介する。

## 2. GaAs-GaAlAs ダブルヘテロ接合レーザ

ここでは室温連続発振を目標とする接合レーザ開発の進展が、DHレーザに結実した経緯とDHレーザの特長とについて述べる。レーザの性能が当初から現在までどのように向上してきたかは、レーザ素子の発振開始に要するしきい値電流密度 $J_t$ の減少の様子を見ることにより明らかになる。

接合レーザが出現したときの素子はZn拡散形GaAsホモ接合レーザで、そのしきい値電流密度は、動作温度が4~77°Kの極低温にもかかわらず10<sup>5</sup>A/cm<sup>2</sup>という大きな値であったが、まもなく室温で $J_t$ が10<sup>5</sup>A/cm<sup>2</sup>程度の素子が得られるようになった。それでも300μ×100μの小さな半導体素子に30A以上の電流を流すのであるから連続動作は不可能であった。その後、液相エピタキシャル成長技術を用いた接合形成<sup>(3)</sup>や、熱処理による接合近傍のZn濃度分布の改良<sup>(4)</sup>など、 $J_t$ をさらに下げる努力が続けられた結果、4×10<sup>4</sup>A/cm<sup>2</sup>程度

の  $J_t$  のレーザが得られるようになった。この値は、著者らの系統的な実験と解析によりホモ接合レーザでは到達しうる最小値に近いこと<sup>(6)</sup>、 $J_t$  が下らないのはレーザ内部において、活性領域に隣接する p 領域で発光が吸収されることによる寄与が大きいこと<sup>(6)</sup>などがわかってきた。そうだとすれば、p 領域を活性領域よりも禁制帯幅が大きくて屈折率が小さい材料で作って、p 領域への発光のひろがりを小さくするとともに吸収自体を減らせばよい。この発想にもとづきヘテロ接合の利用が考えられた。

このようなヘテロ接合では発光効率が高くなる効果もあって、実現された GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As シングルヘテロ (SH) レーザでは、 $J_t$  が 10<sup>4</sup> A/cm<sup>2</sup> まで低減できることが示された。その後結晶成長技術の進歩により、p 領域のみならず n 領域にも同じような考え方を適用した GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As ダブルヘテロ (DH) 構造が製作可能となった結果、 $J_t$  を一挙に 10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup> 程度に低減でき、室温連続発振が実現された。

レーザの発振開始条件は、発光した光が共振器内を往復する過程で誘導ふく(幅)射により増幅される利得と、吸収、散乱、回折、共振面からの透過などによる損失とが等しくなることで求められる。単位長さ当たりの利得  $g$  は近似的に電流密度  $J$  と  $g = \beta J^m$  の関係にある。ここで  $\beta$  は利得係数で、 $m$  は利得の非線形性を表わす指数である。共振面の反射率  $R$  による損失と上記要素による単位長さ当たりの損失を  $\alpha$  とすると、しきい値電流密度  $J_t$  は  $L$  を共振器長として式 (2.1) で与えられる。

$$J_t^m = \frac{1}{\beta} \left\{ \alpha + \frac{1}{L} \ln \left( \frac{1}{R} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

式 (2.1) から  $J_t$  を小さくするためには損失  $\alpha$  の減少と、利得係数  $\beta$  の増加が必要となる。その条件を両方とも満たす構造が上記 GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As DH 接合で、比較のために、GaAs ホモ接合、GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As (SH) 接合、GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As (DH) 接合のそれぞれについて、順方向バイアス状態におけるエネルギー・ダイヤグラム、再結合に寄与するキャリアの状態、屈折率分布、光のしみ出しの状態などをまとめて図 2.1 に示す<sup>(7)</sup>。図 2.1 (a) で明らかなように、Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As の禁制帯幅は GaAs のそれより大きいので、GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As ヘテロ接合でエネルギー障壁が生じ、注入された少数キャリア(電子および正孔)が GaAs 活性領域に閉じ込められ(キャリア閉じ込め効果)、利得係数  $\beta$  が大きくなる。一方、Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As は Ga

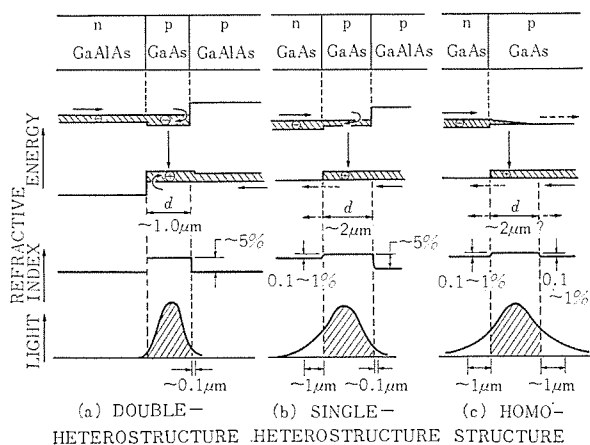


図 2.1 (DH) 構造、(SH) 構造およびホモ構造の概念図  
上段はエネルギー図、中段は屈折率、下段は光分布を示す

Physical structure bandshapes (under bias), refractive index steps and optical power distribution in DH, SH and homo-structure laser diodes<sup>(7)</sup>.

As にくらべて屈折率が小さいため、活性領域は光導波路の役割を果たすようになり、レーザ光の活性領域外へのしみ出しを十分少なくすることができ(光閉じ込め効果)、損失  $\alpha$  が小さくなる。キャリアの閉じ込められ方、光の閉じ込められ方はいずれもホモ接合・SH 接合・DH 接合の順に大きくなり、それに伴って  $J_t$  が下がっている。

DH レーザでは動作効率(外部量子効率  $> \eta_{ext}$  も高い、内部量子効率  $\eta_i$  と  $\alpha$ 、 $R$  との関係は式 (2.2) のようになっている。

$$\eta_{ext} = \eta_i / (1 - L\alpha / \ln R) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

したがって、 $\alpha$  が小さい DH レーザでは、 $\alpha$  の大きい他の構造の接合レーザよりも高い効率を得られるのである。

### 3. GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 多層結晶

#### 3.1 液相エピタキシャル成長法

半導体結晶の組成やドーピング濃度の異なった層をエピタキシャルに多層成長させた結晶材料を用いることにより、高性能のあるいは新しい機能をもつ半導体素子が開発されてきた。これらの過程で駆使されたエピタキシャル結晶成長の方法は、大別すると気相成長法、分子線法 (Molecular Beam)、および液相成長法になる。

気相成長法を用いて GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>-GaAs SH 構造のレーザダイオードがつくられたが、発光効率が低く好ましい結果は得られていない。一方分子線法はベル研究所の Cho らによって開発され研究がすすめられているが、まだ実用の段階には至っていない。GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As ヘテロエピタキシャル接合の形成には、Ga 中に GaAs や Al を添加して高温で溶解させた Ga-Al-As 溶液 (Ga メルト) をつくり、それを GaAs 基板結晶に接触させて降温し、溶解度の差に対応した所望の組成の結晶を基板結晶上に析出させる液相成長法が主として用いられてきた。液相成長法は結晶析出の過程が 800°C 前後という低温の準平衡状態で行なわれるため、比較的容易に組成の制御された良質結晶が得られるのでレーザ以外の分野でも数多く用いられている。特にレーザで実用されている (Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>)As 結晶のこうし定数は、GaAs と AlAs とのこうし定数の温度依存性を示す図 3.1<sup>(8)</sup> から明らかなように基板 GaAs のそれと非常によく一致し、GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 界面における転位発生は少ないものと推定される。

Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 液相成長の原理および三元化合物の結晶組成の制御を、Ga-Al-As 相図を基に具体的に考察してみよう。高温で溶融 Ga 中に一定量の Al および As を溶解した液を高温から徐冷したとき、

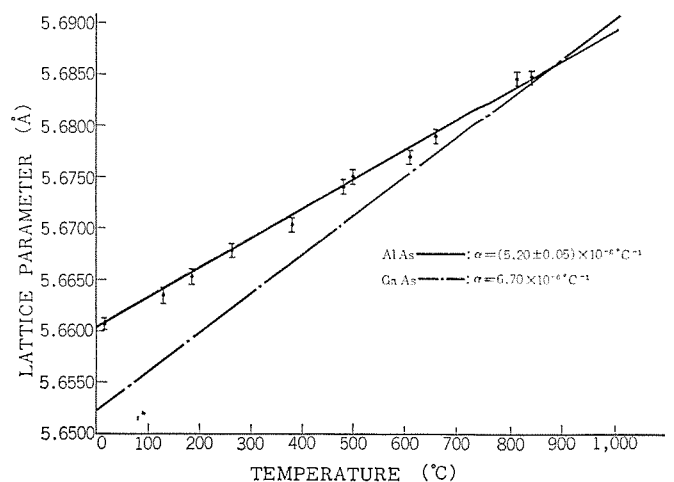


図 3.1 GaAs と AlAs のこうし定数と温度  
Lattice parameter (Å) versus temperature for GaAs and AlAs<sup>(8)</sup>.



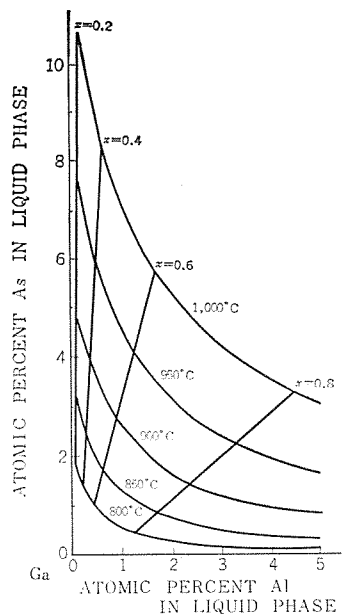


図 3.2 Ga-Al-As 系相図<sup>(9)</sup>  
Ga-Al-As ternary phase diagram<sup>(9)</sup>.

表 3.1 各 Ga メルトの組成と固相中の組成  
Compositions of Ga-Al-As solutions and (Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)As grown layers.

No.	Layer	Ga メルト 組成				x in Ga <sub>1-x</sub> Al <sub>x</sub> As
		Ga at %	As at %	Al at %	Dopant at %	
1	nGa <sub>1-x</sub> Al <sub>x</sub> As	98.3	1.54	0.15	Te/3.8×10 <sup>-3</sup>	0.33
2	pGaAs	96.0	3.0	0	Si/1.0	0
3	pGa <sub>1-x</sub> Al <sub>x</sub> As	97.31	1.54	0.15	Ge/1.0	0.33
4	pGaAs	96.0	3.0	0	Ge/1.0	0

析出する結晶および溶液の組成の変化は、固相-液相平衡条件により定められる。図 3.2<sup>(9)</sup>は固相-液相平衡温度  $T$  をパラメータとして Ga-Al-As 溶液組成と固相組成とを示したもので、たとえば Al 0.15 原子%, As 1.55 原子%, Ga 98.3 原子%の溶液を 800°C に保持したとき、(Ga<sub>0.87</sub>Al<sub>0.33</sub>)As の組成の固相が平衡していることを示す。すなわち上記組成溶液を 800°C から徐冷すると、 $x=0.33$  の Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As が析出しはじめる。相平衡状態にある Ga-Al-As 溶液の温度をゆっくり下げていくと、析出結晶および溶液の組成は相平衡条件を満足しながら変化していく。

高温で Ga-Al-As 相平衡溶液に基板結晶を接触させる方法には、1) ポート傾斜法 (Tipping), 2) 基板浸漬法 (Dipping), 3) スライド法 (Sliding) および 4) これらの変形法があるが、レーザのように多層ヘテロ接合を作るには 3) の基板スライド法が都合がよい。

### 3.2 GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 多層ヘテロ接合形成

DH レーザ用多層結晶は n 型 GaAs 基板結晶上に n-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As, p または n-GaAs, p-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As および p<sup>+</sup>GaAs を液相成長法によって形成することにより得られる。第 5 層の p<sup>+</sup>GaAs 層は電極金属とのオーミック接触を良好にするためのものである。このような多層エピタキシャル結晶を得るために採用されている多そう (槽) 基板スライドポットの概略を図 3.3 に、また各そうの溶液組成およびこれに対応して成長した各層の結晶組成の一例を表 3.1 に示す。

結晶成長は次の手順ですすめられる。所定の組成の Al, As およびドーパントを含む Ga メルトを入れたポートおよび GaAs 基板結晶をのせたスライダは、それぞれ分離した状態で高純度水素ガスふん囲気中の所定温度に一定時間保持され、各そう内の Ga メルトを熱平衡状態に保つ。しかる後図 3.3 に示す矢印の方向にスライダを移動し、

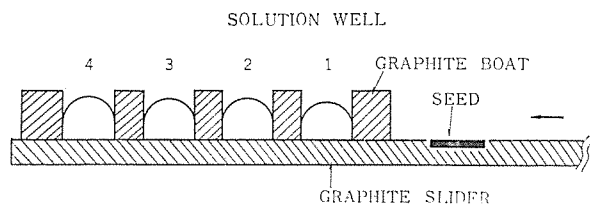


図 3.3 多そう (槽) 液組成成長用スライディングポット  
Liquid phase epitaxial apparatus.

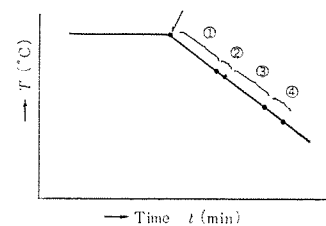


図 3.4 多層エピタキシャル成長の冷却過程  
Time-temperature profile for growth of multiple layers.

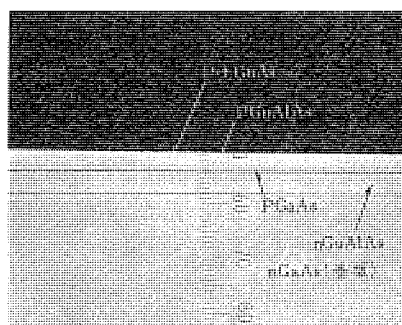


図 3.5 多層エピタキシャルウエハの断面写真  
Crosssectional micrograph of multiple layers.

第一そうの Ga メルトと GaAs 基板を接触させ、たとえば図 3.4 に示す温度プロファイルで徐冷しながらカーボンスライダを移動し、基板結晶を順次 Ga メルトに接触させて結晶成長を行なう。この方式では成長層の組成を切替えるたびに、基板結晶を (ろ) 炉の外へ取り出すことなく連続した 1 回の温度降下サイクルの間に、多層成長が行なわれるので、各成長層の厚さ・組成は比較的容易に制御でき均一な結晶が得られる。しかしながら高性能長寿命レーザの実現のためにはより完全な結晶性、組成、層厚の制御が要求され、スライド方式にも細かい改良が加えられている。それらのおもな点を列挙すると次のようになる。

(1) Al を添加した Ga メルトでは酸化が起こりやすく、Ga メルト中に酸化物が浮遊すると基板結晶との接触が不完全になり不良成長の原因となるので、反応系の気密性、ふん囲気ガスの純度保持に留意する。

(2) Ga-メルトと基板 GaAs は同一の高温に保持された後熱平衡状態で接触させるため、基板表面から分解圧の高い V 族元素が蒸発して変成層が生じている。この領域を Ga メルト中に溶かし込んだ後、完全な結晶面の基板上に成長させる。

(3) 隣接する組成の異なった Ga メルトが移動する基板結晶スライダに付着して混入したり、気相を経て混合されることのないようポットの気密性などに留意する。

(4) 活性層の層厚は結晶内の光波長のオーダーで通常 0.1~0.2 μm に制御する必要があり、成長時の温度制御と、成長膜厚の厳密な評価法の確立を行なう。

(5) GaAs と Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As のこうした定数は比較的よい一致を示しているが、こうした定数の相違に加えて熱膨張係数の相違も加味して、ヘテロ接合界面に発生するひずみをできるだけ低減できるような組成の不純物を配合する。

以上のように種々の工夫がなされて得られた多層エピタキシャル成長結晶の一例を、図 3.5 の断面写真に示す。よく制御された平坦 (坦) で均一なダブルヘテロ接合になっていることがわかる。

GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 系のダブルヘテロ接合はかなり自由度があり、うえに述べたような構造の他にいろいろな組成と構造のものを比較的

容易に得ることができる。p-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As を活性領域にした短波長のものや、LOC と呼ばれる n-GaAs と p-GaAs ホモ 接合を活性領域とし、その両側をそれぞれ n-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As、p-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As ではさんだもの、あるいは光閉じ込め領域よりさらにせまい、0.1 μm 以下の領域にキャリアを閉じ込めるよう設計された 6 層～7 層構造のものなどが報告されている。

#### 4. 室温連続発振

##### 4.1 しきい値電流

DH レーザでは、すでに述べたようにキャリア閉じ込め効果と光閉じ込め効果とが相まってしきい値電流密度  $J_t$  は、ホモ 接合・SH 接合レーザにくらべて著しく下った。しきい値電流密度  $J_t$  と注入されたキャリア密度  $n_i$  との関係は、連続の方程式から  $\tau$  をキャリアのライフタイムとして式 (4.1) で与えられる。

$$J_t/d = en_i/\tau \quad (4.1)$$

ここで  $d$  は活性領域の厚み、 $e$  は電子の電荷である。したがってしきい値電流密度は活性領域に比例して小さくなる。図 4.1 は得られた素子について、その活性領域の厚さ  $d$  としきい値電流密度  $J_t$  の関係を、添加した不純物をパラメータにしてプロットしたものである。図 4.1 からわかるように活性領域の厚みが 0.3 μm 以上では  $J_t$  と  $d$  はよく比例関係を満たしており、この範囲でのキャリアおよび光閉じ込め効果は十分であることを示している。活性領域の厚みが 0.3 μm 以下になると直線からずれている。その理由としては、活性領域の厚さがそれ以下では結晶内での光の波長と同程度になるために光の閉じ込め効果が不十分になること、活性領域の厚さが減少するにつれて散乱損失が増加することなどがおもなものと考えられている。

さて、実際の素子については、しきい値電流密度の最小値は、500 A/cm<sup>2</sup> を切るものも発表されているが、 $J_t$  の低い素子としては 300 μm × 100 μm 程度の寸法のもので 1,000 A/cm<sup>2</sup> 程度が普通である。しかし再現性良く安定した特性の素子を得るにはある程度活性領域を厚くして、通常 2,000～3,000 A/cm<sup>2</sup> のしきい値電流密度とすることが多い。このため素子に流す電流は数百 mA になり、実用という点からすると必ずしも使いやすい値ではなく、さらに低いほうが望ましい。

一方、しきい値電流密度は、前にもふれたように活性領域に添加する不純物の種類および量によっても変化する。この指標として式 (4.1) に示したしきい値電流密度と活性領域の厚さの比  $J_t/d$  をとることができ、この値は一般に強く補償した場合に小さくなることが知られている<sup>(10)</sup>が、最適な不純物を選んだとしてもしきい値電流密度が大幅に低減されることはあまり期待できないと思われる。

そのために、動作電流を減らす方向として  $J_t$  を下げることも、有効面積を小さくする方法が種々考えられている。図 4.2 にそれらの構造のうち代表的なものをいくつか示す。(a) はストライプ構造<sup>(11)</sup>と呼ばれ、電極をストライプ状にとってその部分に電流を集中させるようにしたものである。しかし、動作電流密度の小さい DH レーザではストライプ幅を狭くしても、p-n 接合部における電流の広がり効果が無視し得ない程度になり、見かけの  $J_t$  が上る。(b) はこの欠点をのぞくために接合部までメサエッチした、ストライプメサ構造<sup>(12)</sup>、(c) は不要部分をイオン打込みによって絶縁性にするもの<sup>(13)</sup>、また、(d) はわれわれの提案したジャンクションストライプ構造<sup>(14)</sup>で、GaAs と GaAlAs の立上り電圧の差を利用して電流を所要のストライプ部分に集中するものである。以上のようないくつかの方法によって

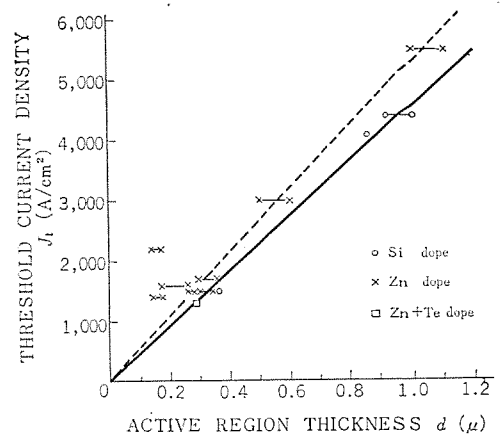


図 4.1 活性領域の厚さと しきい値電流密度の関係  
Active region thickness vs. threshold current density.

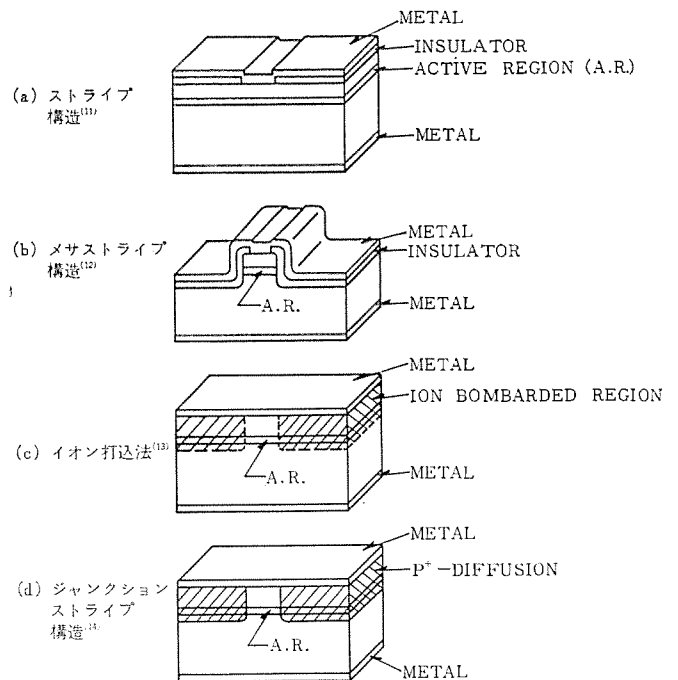


図 4.2 しきい値電流低減のための種々の構造  
Various structures for decreasing the threshold current.

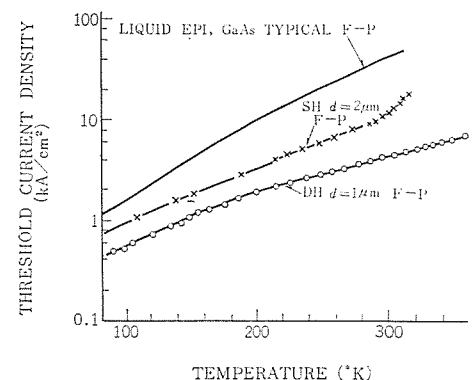


図 4.3 しきい値電流密度の温度変化  
Temperature dependence of threshold<sup>(7)</sup> current density.

有効面積を減らし、しきい値電流を 100 mA 以下にすることも可能となった。また、次に述べるように熱抵抗が減少し、モード制御が容易になるなどの効果も生じている。

##### 4.2 室温連続動作の条件

レーザが連続発振するには、しきい電流密度  $J_t$  自体が低いことの

ほかにその温度特性も大きな要件になる。その点から、ホモ 接合レーザ・SH 接合レーザ・DH 接合レーザを比較すると図 4. 3<sup>(7)</sup>に示すように、上記の順に  $J_t$  が下るとともに温度依存性も小さくなっている。これも DH レーザが室温で連続発振するには好都合な特性であって、383°K で連続動作したとの報告さえあるのも一つはそのゆえである<sup>(13)</sup>。図 4. 3 からわかるように DH レーザのしきい値電流密度の温度特性は、77°K~300°K の温度範囲において近似的に次式のように表わすことができる。

$$J_{th} = J_0 e \times P(T_j/T_0) \dots\dots\dots (4.2)$$

ここに、 $J_0$ ,  $T_0$  は定数で、 $T_j$  は接合部温度である。 $T_0$  は素子によって多少異なるが、およそ 120°K 前後の値を示すものが多い。

電流を流すと接合部は発熱によって温度が上昇し、そのためしきい値電流密度も上昇する。直流電流印加による温度上昇で生ずるしきい値電流密度の上昇が、印加電流を上まわれれば連続発振はおこらない。したがって連続発振をさせるには、接合部の温度上昇をできる限り小さくすることが必要であり、接合部で発生した熱を効果的に外部へ放散させなくてはならない。

さて、しきい値近傍で発振する場合には電力効率は小さく、入力電力は大部分が熱に変わると考えられるから、消費電力  $W$  は接合に印加させる電圧を  $V_B$ 、素子の直列抵抗および電流をそれぞれ  $R_s$ ,  $j$  とすると、

$$W = V_B j + R_s j^2 \dots\dots\dots (4.3)$$

式 (4.3) の第二項は素子の各部で消費される電力であるが、取扱いを簡単にするため接合部で消費されると考えると、接合部温度  $T_j$  の温度上昇  $\Delta T_j$  は、 $\Theta$  を接合部から外気までの熱抵抗として

$$\Delta T_j = \Theta (V_B j + R_s j^2) \dots\dots\dots (4.4)$$

で与えられる。通常行なわれているように、p 層全体の厚さを数  $\mu$  にしたダイスをヒートシンクに取付けた場合には、熱抵抗は次式で与えられる。

$$\Theta = \sum \frac{d_i}{k_i} + \Theta_C + \Theta_{HS} + \Theta_{HA} \dots\dots\dots (4.5)$$

- ここに  $d_i$  : p 側各層の厚さ
- $k_i$  : p 側各層の熱伝導率
- $\Theta_C$  : 層間の熱抵抗
- $\Theta_{HS}$  : ダイス から ヒートシンク の広がり熱抵抗
- $\Theta_{HA}$  : ヒートシンク から 外気 への熱抵抗

表 4. 1 は 300  $\mu$  × 15  $\mu$  のストライプ電極とした素子の場合の例であり、そのときの計算値を示す。

熱抵抗を小さくするには、GaAlAs 等の熱伝導率の小さな層を極力薄くすることが必要である。またストライプ状に電流を流すこともヒートシンクへの広がり熱抵抗を下げる意味で有効である。

さて、図 4. 4 は式 (4.2) および式 (4.4) で示した関係を一般的に室温 (300°K) の場合について、 $\Theta$ ,  $R_s$ ,  $J_{th}$  をパラメータにして示したものである。この図において連続発振可能な条件は接合温度曲線が  $J_t$  の直線と交点を有することであり、その交点が連続発振の開始点となる。図では⑥が①~④の条件でも連続発振し、 $J_t$  の高い④は①②の場合のみ連続発振する。図 4. 5<sup>(15)</sup>は、式 (4.2) と式 (4.4) の関係から求めた連続発振可能な  $J_t$  と  $\Theta$  の限界  $R_s$  をパラメータとして示したもので、曲線の下側が連続発振可能な領域である。

#### 4. 3 室温連続動作素子とその特性

室温で連続動作させるには、4. 2 節で述べたように、発熱を減らし熱抵抗を下げるような電極の材料や構造、ヒートシンクの選び方をす

表 4. 1 熱抵抗計算例  
Calculation of thermal resistance.

層 名	厚 さ	熱 伝 導 率	面積当り熱抵抗	熱 抵 抗
	$\mu$	W/cm-deg	deg·cm <sup>2</sup> /W	deg/W
GaAlAs	0.8	0.06	13×10 <sup>-4</sup>	29
GaAs	2.0	0.5	4	8.9
Cr	0.3	0.87	0.35	0.78
Au	1.0	3.1	0.32	0.71
Sn	1.5	0.63	2.4	5.3
Cr	0.1	0.87	0.11	0.25
ヒートシンク	( $\infty$ )	4.02	2.4	5.3
計	—	—	22.5	50.2

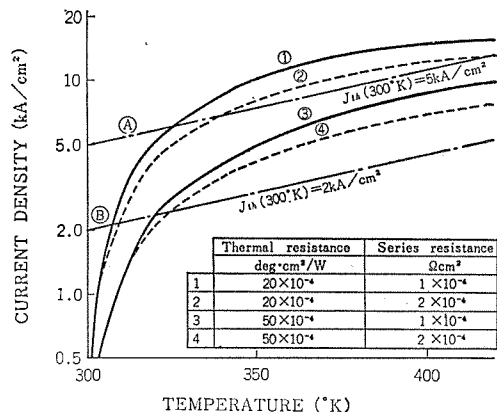


図 4. 4 接合部温度と電流密度の計算  
Calculation of junction temperature and current density.

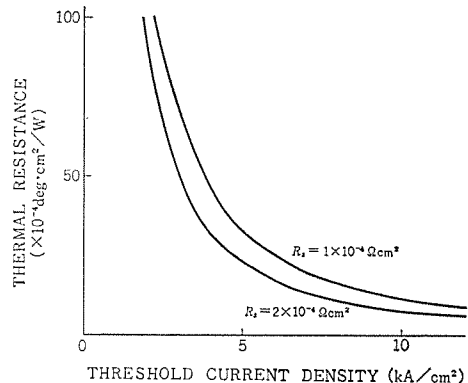


図 4. 5 連続発振条件  
Relations between  $J_t$  and  $\Theta$  necessary for continuous operation of junction laser<sup>(15)</sup>.

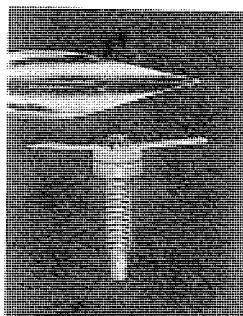


図 4. 6 DH レーザダイオードの外形  
Exterior view of DH laser diode.

る必要がある。われわれは、そうした点に十分留意し、そのうえで使用に便利で回路的特性をも配慮した形状のマウントで連続発振を行なわせている。その外形写真を図 4. 6 に示す。図 4. 6 のマウントでわれわれが得ている素子の典型的特性を表 4. 2 に示す。

これらの素子の電流—出力特性と発振スペクトルの一例を図 4. 7, 4. 8 にそれぞれ示す。連続発振寿命時間は、数十時間程度とこれまで種々報告されている値と同程度である。

図 4. 9 に、レーザを連続発振させたとき劣化に伴う出力の時間、

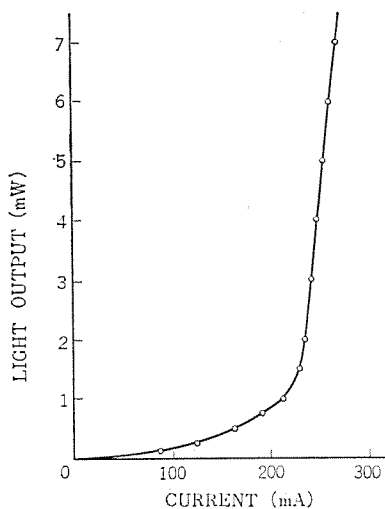


図 4.7 連続動作時の出力と電流の関係  
Light output vs. current at continuous operation.

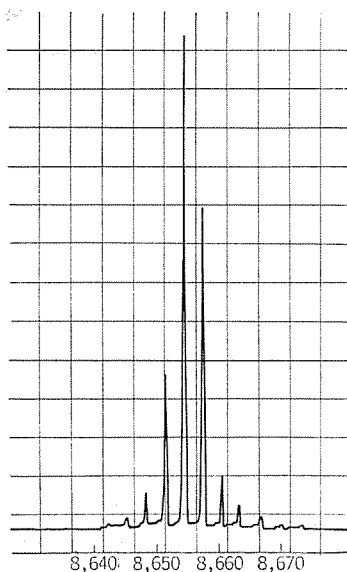


図 4.8 スペクトルの一例  
Example of DH laser spectrum when it operates continuously at room temperature.

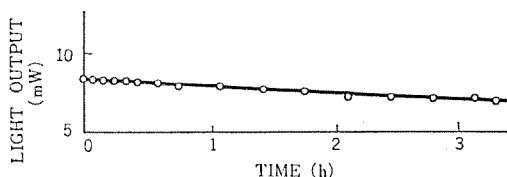


図 4.9 通電による出力変化  
Degradation of light output during operation.

表 4.2 DH レーザの典型的特性  
Typical characteristics of DH lasers.

しきい値電流	200 mA
しきい値電流密度	3,000 A/cm <sup>2</sup>
発振波長	8,600~8,900 Å
外部量子効率	10 %
出力	10 mW
連続発振寿命	約 10 h

変化の様子を示す。この例では動作電流を初期しきい値電流の 1.2 倍に保っている。図からもわかるように出力  $P$  は初期値  $P_0$  から多くの場合になり立つ関係

$$P = P_0 \exp(-t/t_0) \quad (4.6)$$

に従って減少している。図の場合時定数  $t_0$  は約 16 時間と求められ、これがほぼこの素子の寿命に対応していると考えられる。

素子の中には同様な寿命試験を行なっても、不連続的に出力が変化するものもあって、個々の素子によって劣化の傾向はかなり異なっている。そのほかの特性も素子ごとによりばらつきがあり、結晶、素子製作上の工程がミクロにはなお制御できていないことを示している。

## 5. 動作特性の問題点と今後の展望

### 5.1 発振スペクトルの制御

DH レーザによる室温連続発振の研究は、まだ初期の段階であり、寿命以外にも応用上解明の必要な問題点が残されている。その一つはモードを含めた発振スペクトルの安定化である。

レーザの発振モードのおおのについてはスペクトル幅は普通言われて

いるよりもはるかに狭く、数 MHz 以下である。しかし、実際のレーザ動作状態で測定されるスペクトルは

- (1) 多モードで発振する
- (2) そのモードも変動しやすい
- (3) 温度の微小な変動の影響を受けやすい

などが原因で複雑かつ不安定である。通常の半導体レーザの遷移スペクトルは連続的であるので実使用条件で単一波長で発振させたり、その波長を安定化することはかなり困難である。

パルス動作させると、接合部の発熱によって温度が時間的に変化するからスペクトルの純度はほとんど期待できない。これは単一モード動作を維持していることを仮定しての話であるが、いまのところそうでない複雑なふるまいをすることが多い。

接合面積が大きい場合素子内部の不均一性は発振モードに大きい影響を及ぼす。そのため、均一電極にするといくつかのスポットで独立した発振を生ずる場合がほとんどである。その点ストライプ構造にした DH レーザでは、レーザ発振する活性領域の幅が狭いため不均一性の影響は少なく、またその厚さも一般には薄い横モード(発光面に平行な方向におけるモード)の選択性は良くなっている。詳細はまだ不明であるが、一般的な傾向として、横モードが単一であれば縦モードも単一になりやすいといわれ、今後の研究進展の手がかりとなっている。

### 5.2 ホールバーニグ効果

半導体レーザの利得曲線は、本質的にほぼ均質幅をもつものと考えられているが、実際のレーザの多モード動作時のスペクトルはかなり複雑なふるまいを示し、ガスレーザのホールバーニグに類似した現象が見られることがある。図 5.1 にこのような場合のスペクトル測定結果を示す。これは DH レーザを低温で連続動作させて得られたものである<sup>(16)</sup>。図中に示すスペクトルの包絡線に見えるへこみが励起電流によって変化していることがわかる。この現象は 1) レーザの単一モード動作との関連性、2) モードロックやそれによる、3) 発振波長の安定化、4) 光パルス発振、などの関連において今後さらに検討されるべきものであり、特に素子内部の不均一性との関係を追求することは、レーザの寿命の問題に対する手がかりをも与えることにな

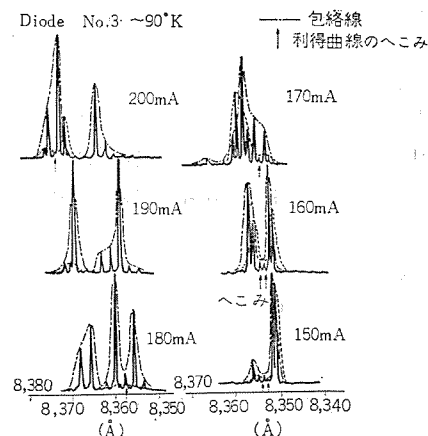


図 5.1 通電によるスペクトルの変化  
Variation of spectral profile and its dips (denoted by ↑) at different input DC current levels.

ろう。

### 5.3 光パルス発振

接合レーザに直流電流を印加すると、繰返し周波数が数百～数千 MHz の高速パルス列が観測されることがある。これを光パルス発振と呼び、そのメカニズムとして三つの説が提唱されている。

一つの共振器中に可飽和吸収体として働く部分が存在するとの説がその一つで、ダブルセクションのレーザを使つての実験でパルス発振が確認されているが、通常の構造のレーザで上述の動作に必要な不均一励起の生じる理由は明らかではない。この説は繰返し Q スイッチ説とも呼ばれる。もう一つは、近接した二つのスポットがレーザ媒質を介して光励起とクエンチの作用が生じ、繰返し Q スイッチに似たパルス発振が両方のスポットから得られるとするものである。

第3の説は、最初に提唱されたレーザ媒質の屈折率分散の非直線性による、縦モード間結合説である。いくつかの縦モードが互いに少しずつ異なる周波数間隔で共存していると、その三次の結合で得られるビート周波数で光パルス発振するとされるが、これはそのビート周波数でロッキングのかかった共振状変調とも理解される。しかし、いくつかの点で光パルス発振全般を説明するには、かなり無理な点があることがわかってきている。

ここでちょっと触れた共振状変調は、注入された電子の再結合寿命が光子の寿命にくらべてずっと長いため、電子の注入を変調すると、その周波数によって得られる光の変調度が共振的に増大する現象のことである。光パルス発振周波数に共振周波数はほぼ等しく、変調特性として、広帯域変調や高速パルス駆動を行なう場合には留意する必要がある。逆に、この現象を利用した高感度変調方式も考えられる。

なお、光パルス発振は、励起電流の変調によって光パルスの繰返し周波数と強度とが変調できるが、変調に対する応答は繰返し周波数にくらべてずっと遅いことが見出されている。応用を考える際にはその点をふまえた方式にする必要がある。

いずれにしても、光パルス発振の物理的な詳細内容はまだ明らかではなく、今後の研究によらねばならない。

### 5.4 素子の動作時間

これまで知られている最長動作時間は連続発振で 100 時間前後、10 % デューティで 5,000 時間といわれている。単に特性が劣化するというのではなく、レーザ発振が停止する点で、実用化を考える最大のネックになっている。

この素子としての寿命の短さの理由は、まだほとんどわかっていないが、レーザよりも高電力密度動作をする GaAs のガンダイオード、インパットダイオードがほぼ安定な特性を有する点を考えると、本質的に発光機構に関連した現象であると考えられる。

レーザにくらべて光電力密度の低い発光ダイオードは 10,000 時間を越える寿命があり、レーザも低温では寿命が長いこと、レーザ出力の減少は主として利得の減少によって生じ、損失の増加は少ないらしいことなど徐々に問題解明の糸口が見つかりつつある。

通電に伴う発熱による温度上昇をできるだけ小さくするためには、4.1 節で述べたような通電面積を小さくする方法が有効であるが、この場合でも電流密度・光電力密度は減少しない。所定の電流密度・光電力密度・接合温度の下で劣化を促進する因子として、結晶欠

陥・不純物汚染・不純物の沈積・局在ひずみが考えられる。接合構造の設計改善による電流密度・接合温度低減とともに、結晶成長、プロセス技術および組立技術の進歩により、うゑに述べた劣化に影響をおよぼす因子をとり除いていくことがレーザの寿命改善のきとなるであろう。

## 6. む す び

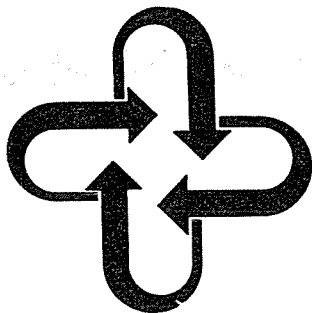
半導体レーザは、室温連続発振が実現するまでは実際に使える素子としての扱いを受けなかったといっても過言ではない。室温で連続動作するようになっても寿命が短いために、実用面ではまだ今後への期待をつないでいるにとどまっている。そして、特性の向上も、素子製作上はもっぱら半導体製造技術に依存している点で他のレーザと趣きを異にしている。

同じ半導体発光素子である発光ダイオードは、出力や効率がレーザほど高くなく、指向性・コヒーレンス・応答性もレーザとは比較にならないが、室温で長時間安定に動作しうることから、近距離の ITV 伝送<sup>(17)</sup>や光による測距装置<sup>(18)</sup>などの光情報伝送とか、その他のオプトエレクトロニクス用素子として実用されつつある。今後の応用分野もますます開けてゆくことが期待されている。半導体レーザが短寿命だという欠点を克服できたときには、それらオプトエレクトロニクス機器の光源として置き換わるであろうし、ここで述べた半導体レーザの特異な現象を生かした用途も数多く生れると思われる。

その意味でも、劣化の機構を解明し、寿命の長いレーザ素子を得ることは、半導体レーザ開発の重点の一つであるといえる。

## 参 考 文 献

- (1) M. B. Panish et al. : Appl. Phys. Lett., 16, 326 (1970)
- (2) Zn. I. Alferov et al. : Soviet Phys. Semicon., 3, 1,107 (1970)
- (3) H. Nelson : RCA Rev., 24, 603 (1963)
- (4) R. O. Carlson : J. Appl. Phys., 38, 661 (1966)
- (5) W. Susaki et al. : IEEE J. Quant. Electro., QE-3, 1,332 (1967)
- (6) W. Susaki et al. : ibid., QE-4, 122 (1968)
- (7) M. B. Panish and I. Hayashi : Int'l. Conf. Phys. Chem. Semicond. Budapest, 2, 419 (1970)
- (8) M. Ettenberg and R. J. Peiff : J. Appl. Phys., 41, 3,926 (1970)
- (9) 奥：投稿中，半導体研究（9 卷）半導体研究振興会編
- (10) J. Pinkas et al. : J. Appl. Phys., 43, 2,827 (1972)
- (11) J. C. Dymant and L. A. D'Asaro : Appl. Phys. Lett., 11, 292 (1967)
- (12) T. Tsukada et al. : ibid., 20, 344 (1972)
- (13) J. C. Dymant et al. : Proc. IEEE., 60, 726 (1972)
- (14) 須崎隆か：量エリ研資，QE 72-41（昭 47）
- (15) 茅根隆か：半トラ研資，SSD 71-32（昭 46）
- (16) 長能隆か：応用物理，41, 907 (1972)
- (17) 中原隆か：三菱電機技報，45, 1,434（昭 46）
- (18) 中原隆か：量エリ研資，QE 69-23（昭 44）



## オージェ電子分光法とその応用

室谷 利夫\*・藤原 賢三\*\*

大谷 誠\*\*・西嶋 光昭\*

### 1. ま え が き

オージェ電子分光 (Auger Electron Spectroscopy 略して AES) は固体表面を電子衝撃して得られるオージェ電子をエネルギー分析し、固体表面およびその近傍の非破壊的な元素分析を行なう方法である。

オージェ効果は1925年、Auger<sup>(1)</sup>によって発見され、その後詳しくは調べられなかったが、1967年にHarris<sup>(2)</sup>が表面解析には有効な手段であることを示し、同年にWeberとPeria<sup>(3)</sup>が低速電子線回折装置を応用してAES測定を行なってから急速に発展した。1969年にPalmbergら<sup>(4)</sup>は円筒形分析器を使うことにより、高感度できわめて短時間に測定することに成功した。

もとよりこの分野における研究は膨大であり、これをまとめることはむずかしいが、オージェ電子分光の物理的な現象・装置について述べ、特に半導体工業・薄膜・電子放出材料・金属材料などの応用例について述べて、現状の解説としたい。

### 2. オージェ電子分光法とは

この章ではオージェ電子放出の機構、原子の内殻のイオン化によってオージェ電子とけい光X線が放出される割合、オージェ電子の脱出深さ、オージェ電子電流を最大にするための電子ビームの最適なエネルギーと最適な入射角度、化学結合状態によるスペクトルの変化 (Chemical Effect) および定量性と感度について述べ、最後に測定装置について述べる。

#### 2.1 オージェ電子放出の機構

固体表面を電子衝撃すると内殻 (たとえばK殻) に空位が生じ、この空位に外殻 (たとえばLp

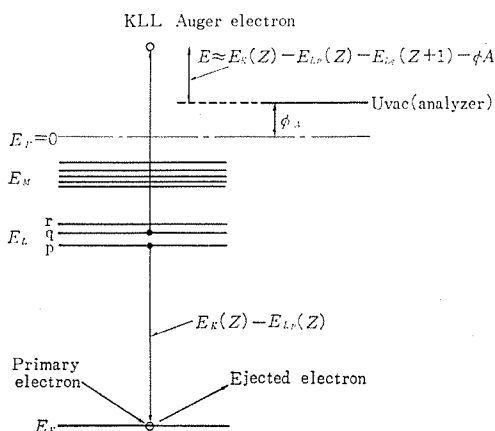


図 2.1 KLL オージェ電子の放出を例として示したオージェ電子放出の機構

殻) の電子が落ち込む (図 2.1)。この場合余剰のエネルギーはけい光X線として放出されるか、または、他の外殻の電子 (たとえばLq電子) を真空中に放出することに使われる。後者がオージェ遷移 (この場合、KLpLq オージェ遷移と呼ぶ) であり、オージェ電子のエネルギーは、図に示した各レベルのエネルギーを用いて次の式で与えられる。

$$E(Z) = E_K(Z) - E_{Lp}(Z) - E_{Lq}(Z) - \Delta Z \{E_{Lq}(Z+1) - E_{Lq}(Z)\} - \phi_A$$

ここでZは注目している原子の原子番号で、 $\phi_A$ は分析器の仕事関数である。第4項はLqの電子が放出される時、すでに原子の内殻には空位があり、原子番号(Z+1)の原子のポテンシャルから電子を取り出すことを考慮した補正項である。 $\Delta Z$ は測定値に合わせるための変数であり、0.55~0.76の値をとる<sup>(5)</sup>。オージェ電子のエネルギーは元素に固有なもので、その値については文献(6)を参照されたい。

うえのオージェ電子放出の機構からH、Heに対してはオージェ遷移は存在しない。しかし表面におけるHの役割は重要で、補助的な手段が必要となる場合がある<sup>(7)</sup>。

#### 2.2 オージェ電子とけい光X線が放出される割合

内殻のイオン化によりオージェ電子が放出される割合 (収率) は、実験で求めたいけい光X線の収率を1から引いて求められる。図2.2は原子番号Zの関数として両者の収率を示したもので<sup>(8)</sup>、光の自然放出確率はその振動数を $\nu$ とすると、 $(h\nu)^4$ に比例するため原子番号が増加

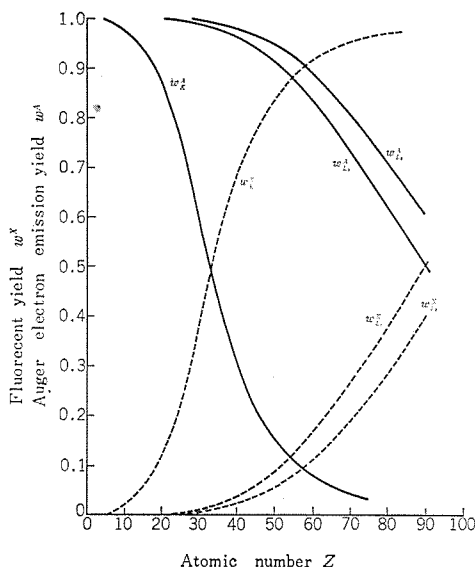


図 2.2 K殻およびL殻のイオン化によるけい光X線の収率 ( $w_{K,L}^X$ ) とオージェ電子放出の収率 ( $w_{K,L}^A$ ) の原子番号(Z)依存性<sup>(8)</sup>

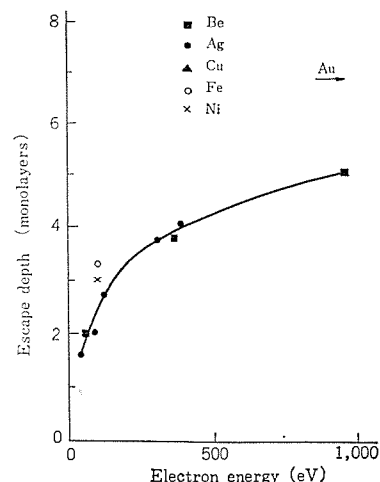


図 2.3 電子エネルギーに対するBe, Ag, Cu, Fe, Ni 蒸着膜の脱出深さ<sup>(10)</sup>



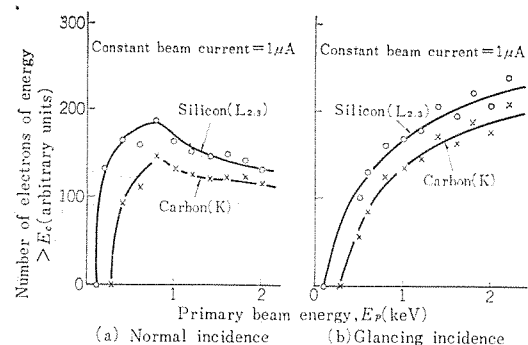


図 2.4  $E_c$  より大きいエネルギーの二次電子数の照射電子エネルギー依存性。垂直入射では極大値をとるが斜め入射では単調に増加する<sup>(13)</sup>

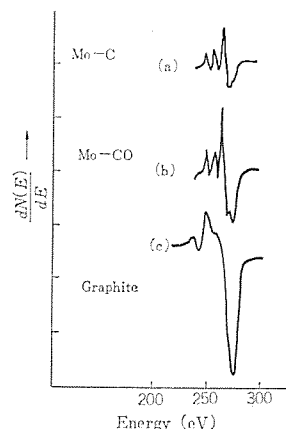


図 2.7 C のオージェスペクトル。(a) 加熱によって  $M_0$  上に偏析した C, (b)  $M_0$  上に吸着した CO, (c) グラファイト<sup>(15)</sup>

図 2.5 Al の清浄化の段階でのオージェスペクトル。(a)  $Al_2O_3$ , (b) Al と  $Al_2O_3$  が混在している状態, (c) 清浄な Al 表面<sup>(14)</sup>

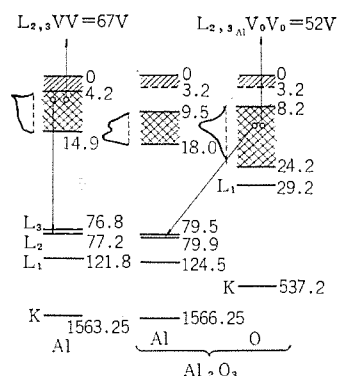
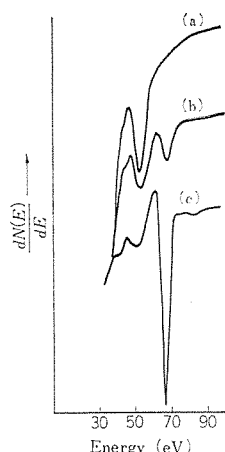


図 2.6 Al と  $Al_2O_3$  の真空レベルを 0 としたエネルギーレベルの図。Al の 67 eV のピークは  $L_{2,3} VV$  であり,  $Al_2O_3$  の 52 eV のピークは Cross Transition で説明できる<sup>(14)</sup>

布の増加とともにオージェ電子も異常に増加する<sup>(12)</sup>。この理由は後方に散乱された二次電子も原子のイオン化に寄与し、斜め入射ではこのような電子が増加するからである。図 2.4 は  $E_c$  より大きいエネルギーの二次電子数を、Si の  $L_{2,3}$  殻と C の K 殻の場合について、 $E_p$  に対してプロットしたもので、斜め入射により高感度な測定ができることがわかる<sup>(13)</sup>。

## 2.5 化学結合状態によるスペクトルの変化

化学結合状態の違いによって、オージェピークの位置がシフトしたり、スペクトルの形状が変化する。これを利用して表面不純物の同定のみならず化学結合状態をも推測できる。以下に代表的な例をあげる。

ピークがシフトする典型的な例は、Al の場合で図 2.5 のように清浄な Al の表面が酸化されると 67 eV から 52 eV にシフトする。図 2.6 はこのシフトを説明するための Al と  $Al_2O_3$  のエネルギーレベルを示し、52 eV のピークは Al の  $L_{2,3}$  殻の空位に O の価電子帯から電子が遷移し、O の価電子帯から電子が放出されると考えて説明される。このように異種原子間で起こるオージェ遷移は Cross Transition と呼ばれている<sup>(14)</sup>。

金属面上の C のスペクトルの形状は化学結合状態により異なる。 $M_0$  上に偏析した C のスペクトルはグラファイトのものとはかなり異なっている(図 2.7)。一方表面に C が偏析した Pt(100) 面は低速電子線によるリング状の回折像を示し、AES による C のスペクトルの形状はグラファイトのものに似ている。このことより Pt(100) 面のリング状の回折像はグラファイト構造の C によるとされた<sup>(15)</sup>。

## 2.6 定量性と感度

表面不純物の絶対量を求める場合、その不純物のピークの高さだけから定量性を議論することは種々の因子が関係し困難であり、特に電子増倍管を使う場合には、使用中の利得の変化のためにいっそう困難となるので、基準となる物質、たとえば Ag を同時測定し、

するにつれ、けい光 X 線は出やすくなりオージェ電子は出にくくなる<sup>(9)</sup>。K 殻のイオン化の場合、 $Z=32$  より軽元素ではオージェ電子が X 線より多く得られる。L 殻のイオン化の場合は重い元素でもオージェ遷移がけい光 X 線より強く観測される。したがって大部分の元素でオージェ遷移は観測される。

## 2.3 オージェ電子の脱出深さ

固体中で作られたオージェ電子のうち、散乱されずに表面から脱出するオージェ電子のみがオージェピークとして観測されるので、散乱による平均自由行程がほぼオージェ電子の脱出深さとなる。脱出深さは、実験的には種々の蒸着膜について研究されている。

図 2.3 は蒸着膜の厚みを変えて、基盤のオージェ電子を測定して求めた脱出深さである。この図からオージェ電子の脱出深さは、そのエネルギーや物質によって異なるが、ほぼ表面 5 原子層(約 10 Å)であることがわかる<sup>(10)</sup>。

## 2.4 電子ビームの最適エネルギーと最適入射角度

オージェ電子電流は励起源の電子ビームのエネルギー、電流および入射角度に依存している。

電子ビームエネルギー( $E_p$ )の最適値は、Born 近似による計算の結果では、臨界イオン化エネルギー( $E_c$ )の 3~3.5 倍である<sup>(11)</sup>。

電子ビームを試料面と 20° の斜めから入射させると、二次電子分

ピークの高さから定量を行なう場合、定量性をよく反映する量として、高エネルギー側にあり、かつ最大の強度のピークを使うのが望ましい(微分曲線による測定の場合は高エネルギー側の負の最大ピークの高さで行なう)<sup>(10)</sup>。

## 2.7 測定装置

図 2. 8 は、円筒形エネルギー分析器を使用した Physical Electronics Industries, Inc. の測定装置の図である<sup>(18)</sup>。電子銃からの電子ビームによって試料から放出された二次電子およびオージェ電子は、円筒状の二つの電極間の静電場の中を点線のような軌道を描いて電子増倍管に到達する。分析器内の通過電子のエネルギー  $E_{\text{pass}}$  は、外部電極に印加する電圧  $V_F$  によって弁別される。

スパッタイオン銃は、大気中放置によってできた表面層の除去や深さ方向のプロファイルを得るのに使用する。

Electron gun

Carrousel target holder

Sweep supply ( $V_p$ )

Electron gun

Electron multiplier

Magnetic shield

Sputter ion gun

X-Y Recorder or oscilloscope

Lock-in amplifier

$E_{\text{pass}} = 1.31 \times \frac{V_p}{\log(\frac{b}{a})}$

$(\theta = 42^\circ 19.5')$

図 2.8 AES 測定装置<sup>(18)</sup>

### 3. オージェ電子分光法の応用例

### 3.1 Si および GaAs のオージェ スペクトル

### 3. 1. 1 Si のオージェ スペクトル

図 3. 2 は Si の清浄表面の低エネルギー側のスペクトルで、36, 45, 55, 74, 81, 92 および 108 eV にピークを持ち<sup>(19)</sup>、これらは表 3. 1 にまとめたオージェ遷移によるものと考えられる<sup>(20)(21)</sup>。

図 3. 2 のスペクトルには真のオージェ遷移によるピークと、プラズモンによるロスピーク（またはゲインピーク）とが混在している。たとえば 74 eV のピークには両者が重なっていると考えられる。スペクトルを単純にするために Deconvolution technique<sup>(23)</sup> によって、特性損失の効果を除いたスペクトルは、 $L_1L_{2,3}V$  と  $L_{2,3}VV$  の二つのグループに分けられ、 $L$  殻のライン幅は狭いので、それぞれのグループより別々に

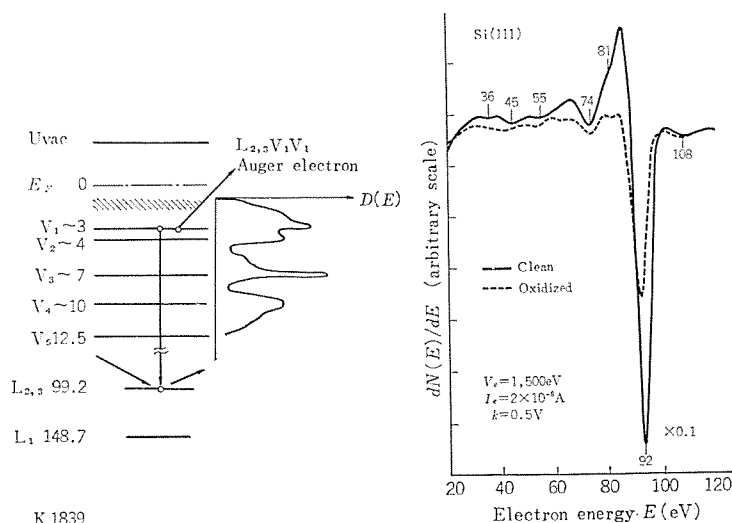


図 3.1 Si の X 線 エネルギーレベル 図と  $L_{2,3}$   $V_1V_1$  オージェ 遷移。右側には価電帯の状態密度分布  $D(E)$ , 左側には各レベルのエネルギーが示されている。

図 3.2 Si の清浄表面のおよ  
び  $\sim 10^{-6}$  Torr  $\cdot$  min  
の酸素ふん囲気中に  
露出後の 100 eV 付近  
の オージェ スペクトル<sup>(19)</sup>

表 3.1 Si 清浄表面の測定された オージェピークの帰属とピークエネルギーに関する測定値と計算値の比較<sup>(19)</sup>

Peak identification	Calculated (eV)	Observed (eV)
$L_{1,2,3}V_4$	33.3	36
$V_3$	36.3	not observed
$V_2$	39.3	
$V_1$	40.3	45
(2nd bulk plasma loss)	(58)	55
$L_{2,3}V_4V_1$ +(1st bulk plasma loss)	72(75)	74
$V_3V_3$ +(surface plasma loss)	78(80)	81
$V_2V_2$	84	
$V_1V_1$	86	92
(bulk plasma gain)	(109)	108

(注) (1)  $V_1 \sim V_4$  は図 3.1 の状態密度分布  $D(E)$  のピークの位置を示す。

(2) 第2列の ( ) の値は、メインピーク 92 eV から plasmon のエネルギー分だけシフトしたものの。

価電子帯の状態密度が求められる。このようにして求めた価電子帯の状態密度は、バンド構造の計算<sup>(22)</sup>から求めたものと著しく一致する<sup>(23)</sup>。

Si のオージェスペクトルにおいて、顕著なケミカルシフトが観測される (Si の 92 eV のピークは酸化して  $SiO_2$  の形になると 78 eV にシフトする)。これを利用して Si の化学結合状態を判定することができる。

78 eV のピークは  $Al_2O_3$  の場合と同様な過程で起こり、Si の  $L_{2,3}$  殻の空位に O の価電子帯から電子が遷移し、O の価電子帯の電子が真空中に放出される (Cross Transition)。この場合の計算値は 78 eV で測定値に一致する<sup>(21)</sup>。

一方、 $SiO_x$  の形の低級酸化膜の場合、92 eV から 78 eV に連続的にシフトするという報告がなされている<sup>(25)</sup>。しかしうへの過程では説明がつかない。

### 3.1.2 GaAs のオージェスペクトル

図 3.3 は超高真空中でへき(劈)開した GaAs のオージェスペクトルで、GaAs の場合 N 殻の電子が価電子帯を形成し、低エネルギー側には VVV, MVV, MMM, MMV のオージェ遷移が、高エネルギー側には LMM オージェ遷移が観測される。表 3.2 はこれらのピークの測定値と計算値をまとめたものである<sup>(26)</sup>。

GaAs で注目されることは、表面処理の方法によって表面での組成が変化することである。この組成の変化は、へき開した GaAs の高エネルギー側の最大ピークである  $L_3M_4M_4$  オージェ遷移 (Ga : 1,065 eV, As : 1,223 eV) のピークの高さの比を基準にして求めることができる。たとえば化学エッチした (110) 面では Ga の量は 1/6 になり、 $O_2$  中放電処理すると、As の量が 1/10 になる<sup>(27)</sup>。またイオン衝撃後加熱によって Ga が浮き上がり、Ga リッチになる<sup>(28)</sup>。

### 3.2 深さ方向の不純物分布

#### 3.2.1 イオン注入による不純物の深さ方向の分布

図 3.4 はイオン注入法によって、Si 中に P を 50 keV の加速で、

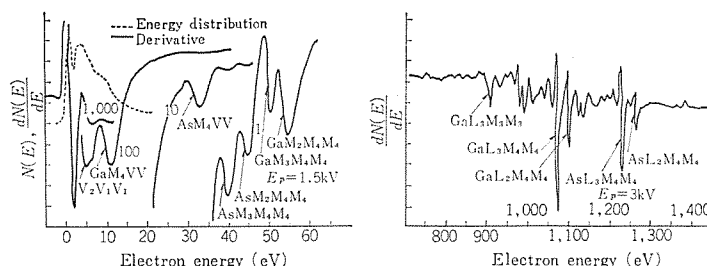


図 3.3 超高真空中でへき(劈)開した GaAs のオージェスペクトル<sup>(26)</sup>

表 3.2 Ga と As に対する測定された オージェピークの帰属とエネルギーに関する測定値と計算値の比較<sup>(26)</sup>

Peak identification	Gallium		Arsenic	
	Calculated energy	Observed energy	Calculated energy	Observed energy
$V_2V_1V_1$	11-2 V	5	11-2 V	5
$M_4VV$	17-2 V	10	41-2 V	32
$M_3M_4M_4$	57	49	43	39
$M_2M_4M_4$	61	53	49	44
$M_3M_4V$	85-V	74	99-V	80
$M_2M_4V$	89-V	78	104-V	91
$M_{2,3}VV$	105-2 V	90	143-2 V	129
$M_1M_4M_4$	112	106	106	105
$M_1M_4V$	141-V	129	162-V	145
$M_1VV$	158-2 V	156	203-2 V	200
$L_3M_1M_3$	836	830		980
$L_2M_1M_3$	863	853	1,015	
$L_3M_3M_3$	891	895	1,021	1,027
$L_2M_3M_3$	918	915	1,057	
$L_3M_1M_4$	929	930	1,063	
$L_2M_1M_4$	956	958	1,098	
$L_3M_2M_4$	979	972	1,120	1,116
$L_3M_3M_4$	983	978	1,126	1,124
$L_2M_2M_4$	1,006	999	1,155	1,152
$L_2M_3M_4$	1,010	1,004	1,161	1,157
$L_3M_4M_4$	1,069	1,065	1,225	1,223
$L_2M_4M_4$	1,096	1,092	1,261	1,259

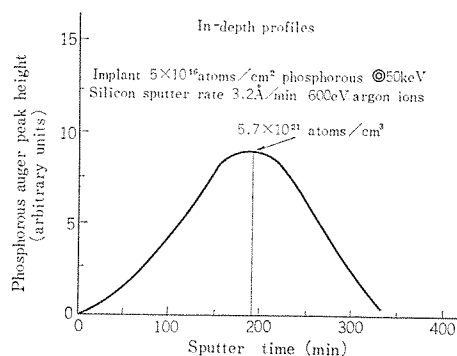


図 3.4 P をイオン注入した Si 中の不純物分布<sup>(29)</sup>

$5 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup> の濃度で打ち込んだ試料の深さ方向の P の濃度分布を  $Ar^+$  衝撃で削りながら、P のオージェピークを同時測定して得た結果で、測定で得た濃度分布は LSS 理論に一致している<sup>(29)</sup>。

AES でこのような濃度分布を求める場合、検知限界から、2.6 節で述べたように  $> 2 \times 10^{10}$  atoms/cm<sup>3</sup> の濃度に対して適用できる。

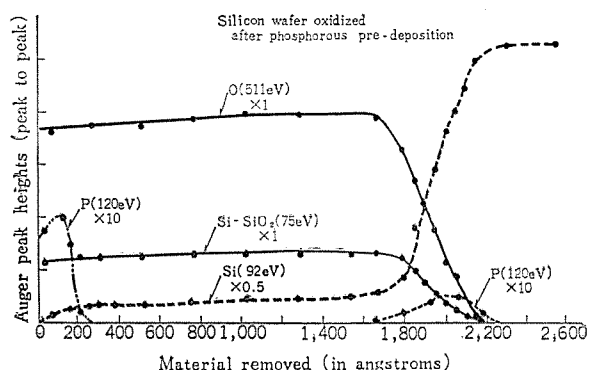


図 3.5 Si 上に P を付着し、酸化した試料の深さ方向のプロファイル<sup>(17)</sup>

### 3.2.2 SiO<sub>2</sub>-Si 系の不純物分布

半導体デバイスにおいて SiO<sub>2</sub> 膜は種々の目的に使われており、AES による SiO<sub>2</sub> 膜の研究は重要である。例として、Si 基盤の上に P をデポジットし、酸化した試料の各元素のオージェピークの高さを深さの関数としてプロットしたものを図 3.5 に示す<sup>(17)</sup>。

表面から～1,700 Å までの SiO<sub>2</sub> 膜中では酸化した Si のピーク (75 eV) および O のピークのほかに、O と結合していない Si のピークがある。SiO<sub>2</sub> から Si への遷移領域は 500 Å にも広がっていて、界面準位との関連性において興味深い。

P は SiO<sub>2</sub> 表面近傍と SiO<sub>2</sub>-Si 界面に分れて偏折する。

### 3.3 エッチング面の評価

#### 3.3.1 化学エッチした Si 表面の評価

ふっ酸-硝酸系で化学的にエッチした Si 表面の真空中加熱前と加熱後のスペクトルを図 3.6 に示す。加熱前では C と O の不純物がそれぞれ  $2 \times 10^{14} \sim 2 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup>,  $2 \sim 5 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup> の濃度で存在する。Si のスペクトルは Si と SiO<sub>2</sub> が混在していることを示している。

1,550 K に加熱すると、O のピークは消え、C の濃度は  $2 \times 10^{13}$  atoms/cm<sup>2</sup> に減少するが、新たに 500～1,000 eV に、遷移金属元素による小さなピークが現われる。

C の濃度を最小にするには、前処理として煮沸したトリクレン洗浄などの過程が必要であることが確められた<sup>(30)</sup>。

#### 3.3.2 フォトレジストの残し(滓)

図 3.7 はフォトレジストが完全にとれていない Si ウェバを観測したもので、KMER と呼ばれているレジストのように、不純物の主成分が Sn である場合には、Sn のピークをレジスト膜が完全に除去されたかどうかの判定に利用することができる<sup>(31)</sup>。

#### 3.3.3 その他のエッチングを施した表面の評価

Si 上の窒化膜を Cs<sup>+</sup> により、スパッタエッチし、N のピークに注目して窒化膜の存在の有無を判定している。またスパッタエッチ時の基盤温度を変え、Cs などの残留物が存在しないような条件を深す研究が行われている<sup>(32)</sup>。

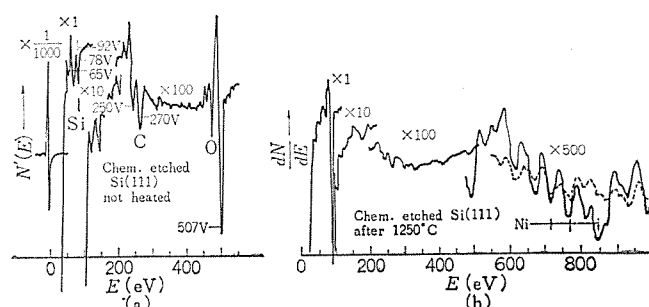


図 3.6 化学エッチした Si 表面のオージェスペクトル。(a) 加熱前、(b) 加熱後<sup>(30)</sup>

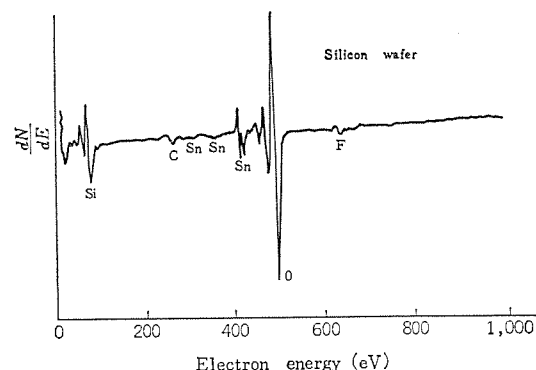


図 3.7 フォトレジストが完全に除去されていない Si ウェバのオージェスペクトル。Sn のピークはフォトレジストによる<sup>(31)</sup>

このようにドライエッチング法による表面の評価や、エッチング効率の研究に AES は有効である。

Si のエピタキシャル膜を SF<sub>6</sub> でガスエッチした試料では、S のピークが観測される<sup>(33)</sup>。

### 3.4 ボンディング不良の原因追求

図 3.8 は、Ni 板上に Au めっきしたリードフレームと Si チップとをボンディングした試料のスペクトルで、ボンディング不良の試料では、Au から拡散したと思われる Tl が表面から 20 Å の深さにわたって観測される<sup>(34)</sup>。

### 3.5 蒸着膜への応用

#### 3.5.1 Si 基盤への Al の蒸着膜

Si 基盤上の金属蒸着膜は、半導体デバイスにおいて電極や薄膜抵抗などに使用されている。例として、Si 基盤に Al を蒸着し、シタ-した試料の深さ方向の組成のプロファイルを図 3.9 に示す。

Al-Si の界面には両成分から成る合金層が形成されており、C や O などの不純物が存在する<sup>(18)</sup>。

このようなプロファイルとシタ-温度・時間などのプロセスパラメータや、素子の電気的特性と関連させてプロセスの改良や制御に有益な情報が得られることが期待される。

#### 3.5.2 Si 基盤上の Au の蒸着膜と SiO<sub>2</sub> の形成

Si 基盤に Au を 1,000 Å 程度蒸着し、酸素ふん囲気中で Si-Au

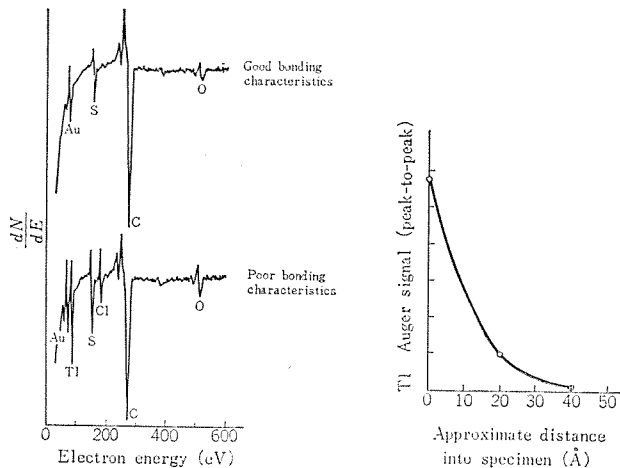


図 3.8 Au めっきした Ni リードフレームと Si チップのボンディング断面のオージェスペクトル。Ti の折出がボンディング不良の原因となる<sup>(31)</sup>

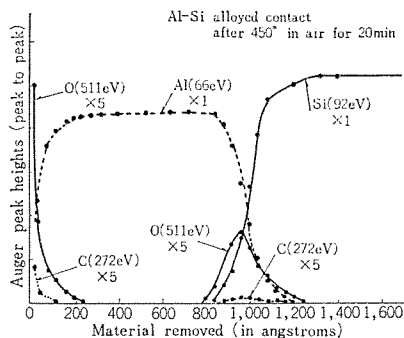


図 3.9 Al を蒸着した Si 基盤の深さ方向のプロファイル<sup>(18)</sup>

の共晶点よりはるか低温で加熱すると Si が Au 膜中を透過し、Au 膜上に  $\text{SiO}_2$  が形成されることはバックスキャタリング法によって研究された<sup>(35)</sup>。この現象を AES で観察した結果を図 3.10 に示す。(a) は清浄な Si 表面のスペクトル、(b) は Au 蒸着膜のスペクトルである。超高真空中加熱後のスペクトル (c) は (b) と変わらないが、酸素ふん囲気中で加熱すると、(d) のように  $\text{SiO}_2$  膜の形成が確認される。さらに  $\text{SiO}_2$  膜を  $\text{Ar}^+$  衝撃により削り、Au 膜のオージェスペクトルを観測すると、Au-Si 合金と同様の二重構造が得られる。この二重構造は、Cross Transition によって説明された<sup>(36)</sup>。

### 3.5.3 蒸着膜についてのその他の研究

AES により蒸着の機構の研究が行なわれている。たとえば W 上の  $\text{M}_0$  蒸着膜は単層成長による薄膜を形成するが、Cu, Al, Au 上の  $\text{M}_0$  蒸着膜は多層の島構造を示す<sup>(37)</sup>。

最近、分子ビーム蒸着法により薄膜単結晶作成の試みが発表されているが、このような膜の評価に AES と高速電子線回折と組み合わせ興味ある結果が報告されている<sup>(38)</sup>。

低速電子線回折と AES を組み合わせて、種々の蒸着膜について多くの情報が得られている。これに関しては文献 (39) を参照され

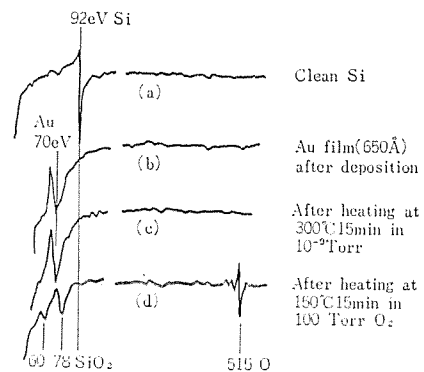


図 3.10 Au を蒸着した Si 基盤の各処理段階のオージェスペクトル。(a) Si 清浄表面、(b) Au 蒸着後、(c) 超高真空中で加熱後、(d) 酸素ふん囲気中で加熱後<sup>(36)</sup>

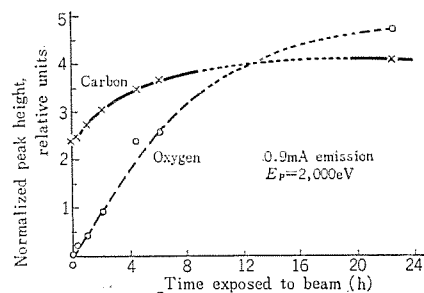


図 3.11 電子ビームの照射時間に対する Si 上の C と O のオージェピークの高さの変化。電子ビームによって CO が Si 面に解離吸着し、C と O が堆積する様子を示す<sup>(40)</sup>

たい。

### 3.6 Si 表面における C の表面移動

表面移動の研究には、AES は直接的で有効な手段である。ここでは、Si 表面における C の表面移動の例を述べる。

図 3.11 は Si 表面に電子ビームを連続的に照射したとき、電子ビームで CO が表面に解離吸着し、C と O のピークの高さが増加することを示している。一方ビームの照射されていない部分では O のピークは増加しないが、C のピークは増加する。これは Si 表面上を C が移動していることを示している<sup>(40)</sup>。

### 3.7 電子放出材料への応用

#### 3.7.1 光電面への応用

超高真空中でへき開した p-GaAs に Cs を吸着させた光電面は、すべての光電面の中で最も高感度である。製作上、表面作成法や Cs の吸着法がむずかしく不安定性が生じる。表面作成法の評価の仕方が重要となる。

図 3.12 は、GaAs-Cs-O 系光電面の光電子放出のイールドを不純物 C の量に対してプロットしたもので、C の濃度が光電面としての特性に著しく影響していることがわかる。この原因は、C によって表面でのトラッピング係数が増加するためか、または GaAs-C-Cs<sub>2</sub>O の界面障壁が高くなるためと推論されている<sup>(27)</sup>。

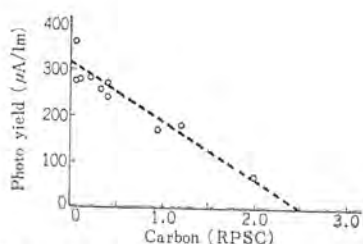


図 3.12 GaAs-Cs-O 系光電面の光電子放出イールドの不純物 C 依存性<sup>(27)</sup>

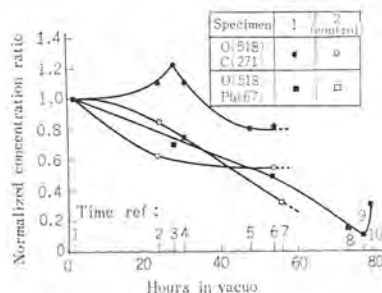


図 3.13 電子照射時間に対するチャネルトロン二次電子放出面の組成比の変化<sup>(42)</sup>

Ag-O-Cs 系の光電面を観測すると、高感度なものは、Cs や O の表面濃度が高くなっている<sup>(41)</sup>。

### 3.7.2 チャネルトロンの劣化

高利得の電子増倍管として使用されているチャネルトロンは、超高真空中で使用している内に利得が減少する。これを大気中に放置すると再び利得は増加する。

図 3.13 は二次電子放出面に還元酸化鉛を用いたチャネルトロンの表面の構成元素の変化を示すもので、超高真空中で使用する間に表面の酸素の量は初期の 1/10 に減少している。二次電子放出の機構で、ドナーとしての表面酸素の役割は重要であるが、使用している内に加速電子による酸素の脱離が起こり、利得が減少すると考えられている<sup>(42)</sup>。

### 3.8 金属材料の焼戻しぜい(脆)性への応用

焼戻しぜい(脆)性の原因を追求する目的で、割れ面を AES で観測した興味ある結果が報告されている。

図 3.14 は、Ni-Cr-C-P 鋼の割れ面内のオーステナイトの結晶粒界中に P が偏析していることを示すオージェスペクトルである。P の偏析は割れ面では、重量比で 5% の高濃度で存在し、深さ方向に 5~10 Å で減衰する。さらに割れの出現遷移温度は結晶粒界中の P の量と直接関係しており、この P の偏析と焼戻しぜい性との関連性が明らかになった。また Sb を含むニクロム鋼では割れ面に Sb の偏析が観測される<sup>(43)</sup>。

この他にも、W 中の P の偏析<sup>(44)</sup> や Cu 中の Bi の偏析<sup>(45)</sup> がそれぞれの割れ面で観測される。

### 3.9 触媒への応用

解媒の機構を AES を用いて、表面組成との関係を追った結果が報告されている。

Ni-Cu 合金触媒は、Ar<sup>+</sup> 衝撃や酸化還元処理でエチレン水添反応などの触媒作用が増す。図 3.15 は表面組成を AES で調べた結果で、Ar<sup>+</sup> 衝撃で 99 eV の Ni ピークは増加し、酸化還元処理で 102.5 eV の Cu ピークが増加している<sup>(46)</sup>。Ar<sup>+</sup> 衝撃や酸化還元処理で固体中と表面の組成が異なり、触媒作用は増加している。

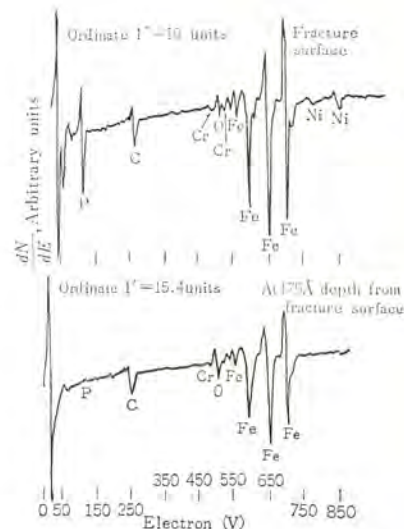


図 3.14 Ni-Cr-C-P 鋼の割れ面および割れ面から 175 Å の深さのオージェスペクトル。P の偏析が焼戻しぜい性の原因と考えられる<sup>(43)</sup>

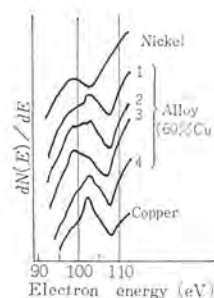


図 3.15 Ni-Cu 合金触媒の各表面処理におけるオージェスペクトル。(1) 処理前、(2) 370 eV, 1 μA・min/cm<sup>2</sup> の Ar<sup>+</sup> 衝撃処理後、(3) 370 eV, 10 μA・min/cm<sup>2</sup> の Ar<sup>+</sup> 衝撃処理後、(4) 酸化還元処理後<sup>(46)</sup>

## 4. む す び

オージェ電子放出について、基本的な物理現象、オージェ電子分光の装置について述べ、半導体工業・薄膜・電子放出材料・金属材料などへの応用例を述べた。

この測定法による表面不純物の定量性については、現状では不十分であるが今後各種のデータの積み上げにより、いっそう精度の高いものになるであろう。

装置については、走査形のものが試みられつつあり、すでにビームの径を 0.3 μm に絞り、二次元的な表面の分析を行なった例が報告されている<sup>(47)</sup>。AES 装置は低速電子線回折装置と組合されて AES のみでは得られない情報が得られているが、今後も各種の測定技術と結びつけられて新しい情報が得られるであろう。たとえば筆者らが提案した AES と電子衝撃イオン脱離法とを組合せる方法もその一つで、AES では観測されない水素についての情報も同じ分析器

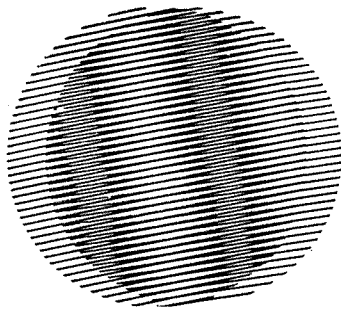


を使って得ることができる<sup>(48)</sup>。

今後この装置は生産ラインに導入されて、表面を使う各種のデバイスの製造プロセスの評価、改良および新しいプロセスの開発を容易にするであろう。(昭和48-3-8受付)

## 参考文献

- (1) M. P. Auger : J. Phys. Radium, 6, 205 (1925)
- (2) L. A. Harris : J. Appl. Phys, 39, 1419 (1968)
- (3) R. E. Weber, W. T. Peria : J. Appl. Phys., 38, 4355 (1967)
- (4) P. W. Palmberg, G. K. Bohn, J. C. Tracy : Appl. Phys. Letters, 15, 254 (1969)
- (5) I. Bergström, R. D. Hill : Arkiv Fysik, 8, 21 (1954)
- (6) C. C. Chang : Surface Sci., 25, 53 (1971)
- (7) M. Nishijima, T. Murotani : to be submitted
- (8) E. H. S. Burhop : The Auger Effect and Other Radiationless Transition (1952) Cambridge Univ. Press
- (9) K. Siegbahn :  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$ -ray Spectroscopy p. 1523 (1964) North-Holland Publishing Company
- (10) M. P. Seah : Surface Sci., 32, 703 (1972)
- (11) C. R. Worthington, S. G. Tomlin : Proc. Phys. Soc. (London), A 69, 401 (1956)
- (12) J. E. Houston, R. L. Park : Appl. Phys. Letters, 14, 358 (1969)
- (13) J. H. Neave, C. T. Foxon, B. A. Joyce : Surface Sci., 29, 411 (1972)
- (14) D. T. Qunto, W. D. Robertson : Surface Sci., 27, 645 (1971)
- (15) J. T. Grant, T. W. Haas : Surface Sci., 24, 332 (1971)
- (16) P. W. Pamberg, et al : Handbook of Auger Electron Spectroscopy (1972) Physical Electronics Industries, Inc.
- (17) R. E. Weber : Auger Electron Spectroscopy for Thin Film Analysis (1972) Physical Electronics Industries, Inc.
- (18) Physical Electronics Industries, Inc. : PHI DATA SHEET 1020, 5 M, 3-72
- (19) 西嶋, 室谷 : 真空, 16, 1 (昭48)
- (20) J. T. Grant, T. W. Haas : Surface Sci., 24, 332 (1971)
- (21) M. F. Chung, L. H. Jenkins : Surface Sci., 26, 149 (1971)
- (22) E. O. Kane : Phys. Rev., 146, 558 (1966)
- (23) G. F. Amelio : Surface Sci., 22, 301 (1970)
- (24) B. A. Joyce, J. H. Neave : to be published
- (25) M. Salmerón, A. M. Baró : Surface Sci., 29, 300 (1972)
- (26) J. J. Uebbing, N. J. Taylor : J. Appl. Phys., 41, 804 (1970)
- (27) J. J. Uebbing : J. Appl. Phys., 41, 802 (1970)
- (28) J. M. Chen : Surface Sci., 25, 305 (1971)
- (29) J. M. Morabito, J. C. Tsai : Surface Sci., 33, 422 (1972)
- (30) C. C. Chang : Surface Sci., 23, 283 (1970)
- (31) PHI Tech. Bull. : Auger Electron Spectroscopy Typical Auger Spectra (1971)
- (32) T. Smith : Surface Sci., 27, 45 (1971)
- (33) 中山 : 物性, 11, 647 (昭46)
- (34) N. C. Mac Donald, G. E. Riach : Thin Film Analysis in IC Process Evaluation (1972) Physical Electronics Industries, Inc.
- (35) A. Hiraki, et al : Appl. Phys. Letters, 18, 178 (1971)
- (36) 小宮, 梁 : 真空, 15, 35 (昭47)
- (37) M. L. Tarng, G. K. Wehner : J. Appl. Phys., 43, 2,268 (1972)
- (38) J. R. Arthur : J. Vac. Sci. Technol., 9, 910 (1971)
- (39) 早川 : 日本物理学会誌, 26, 307 (昭46)
- (40) J. P. Coad, H. E. Bishop, J. C. Riviere : Surface Sci., 21, 253 (1970)
- (41) PHI Tech. Bull. : Auger Electron Spectroscopy for Surface Chemical Analysis (1971)
- (42) R. H. Prince, J. A. Cross : Rev. Sci. Instru., 42, 66 (1971)
- (43) R. Viswanthan : Metallurgical Transactions, 2, 809 (1971)
- (44) A. Joshi, D. F. Stein : ibid, 2, 2543 (1970)
- (45) O. F. Stein, A. Joshi, P. V. Ramasubramanian : Conf. on "The Strength of Metals and Alloys" Sept. (1970)
- (46) M. Ono, et al : Surface Sci., 26, 313 (1971)
- (47) N. C. Mac Donald, J. R. Waldrop : Appl. Phys. Letters, 19, 315 (1971)
- (48) M. Nishijima, T. Murotani : Surface Sci., 32, 459 (1972)



# 新製品紹介

## 三元特性付きノーヒューズしゃ断器

工場、ビル等における低圧配電系統の給電の信頼性の要求が高まるにつれて、選択しゃ断方式が採用されることが多くなってきた。これらの要求に対して、短限時引きはずし装置を有するしゃ断器を発表して、これまで多数の実績を有している。この方式は、ある一定の値以上の大電流が流れると、所定の短限時特性をもって引きはずしが行なわれるものである。短限時付ノーヒューズしゃ断器の仕様を表1に示す。

最近さらに系統の電源容量が大きくなるにつれて、短絡容量が大きくなって、選択しゃ断方式が要求されるとともにしゃ断容量も大きなものが要求されるようになってきた。短限時付では保証できない大きいしゃ断容量を得るための瞬時引きはずし装置をも兼ね備え、長限時—短限時—瞬時引きはずしの3要素を有する三元特性付ノーヒューズしゃ断器が開発されたので紹介する。仕様を表2に、特性を図2に示す。このしゃ断器によると、表3に示すように、選択しゃ断と後備保護が同時に満足されることになる。

表1 短限時付ノーヒューズしゃ断器仕様

形名	NF 1600	NF 2000	NF 2500	NF 3200
フレーム A	1,600	2,000	2,500	3,200
定格電圧 AC V	550	550	550	550
定格電流 A	1,000, 1,200 1,400, 1,600	1,800, 2,000	2,500	2,800, 3,000 3,200
定格しゃ断容量 Asym kA	AC 460 V 50 AC 220 V	50	50	50
引きはずし方式	熱動—短限時	熱動—短限時	熱動—短限時	熱動—短限時
短限時動作	始動電流	3,200 A~8,000 A	3,200 A~8,000 A	7,000 A~13,000 A
	全しゃ断時間	4 サイクル	4 サイクル	4 サイクル
	復帰可能時間	2 サイクル	2 サイクル	2 サイクル

注) 外形寸法・付属装置取付等は標準品(熱動—瞬時付)と同じ。

表2 三元特性付ノーヒューズしゃ断器仕様

形名	NF 1600	NF 2000	NF 2500	NF 3200
フレーム A	1,600	2,000	2,500	3,200
定格電圧 AC V	550	550	550	550
定格電流 A	1,000, 1,200 1,400, 1,600	1,800, 2,000	2,500	2,800, 3,000 3,200
定格しゃ断容量 Asym kA	AC 460 V 100 AC 220 V 150	100	100	100
引きはずし方式	熱動—短限時 —瞬時	熱動—短限時 —瞬時	熱動—短限時 —瞬時	熱動—短限時 —瞬時
短限時動作	始動電流	10,000 A	10,000 A	15,000 A
	全しゃ断時間	4 サイクル	4 サイクル	4 サイクル
	復帰可能時間	2 サイクル	2 サイクル	2 サイクル
瞬時引きはずし電流値	42 kA±8 kA	42 kA±8 kA	42 kA±8 kA	42 kA±8 kA

注) 外形寸法・付属装置取付等は標準品(熱動—瞬時付)と同じ。

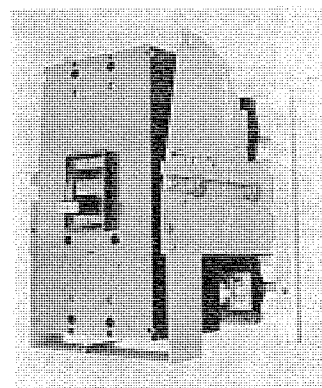


図1 NF-2000形ノーヒューズしゃ断器三元特性付き引出形の外觀

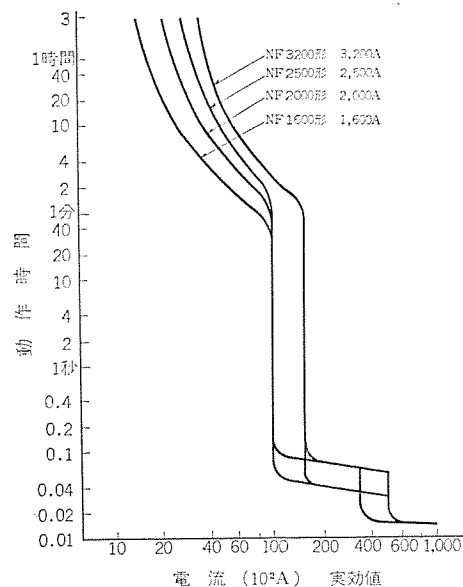


図2 動作時間に対する各形の実効値

表 3 選択しゃ断および後備保護方式の適用

AC 460 V Asym

上位しゃ断器の形名		NF 1600, 2000 2500, 3200	NF 1600, 2000 2500, 3200	NF 1600, 2000 2500	NF 3200	
引きはずし方式		短限時付	三元特性付			
定格しゃ断容量		AC 460 V 50 kV	AC 460 V 100 kA			
下位しゃ断器の形名およびしゃ断容量 AC 460 V kA		選択しゃ断が可能な範囲 kA	選択しゃ断が可能な範囲 kA	後備保護が可能な範囲 kA		
NF 30-S	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
NF 50-S	5	5	5	5	5	
NF 100-E	15	15	15	20	15	
NF 225-G	30	30	30	35	35	
NF 400-B	35	35	35	50	50	
NF 600-B~1200-B	35	35	30	50	50	
NF 100-H	30	30	30	30	30	
NF 225-H	40	40	40	50	40	
NF 400-H	50	50	40	60	50	
NF 600-H~1200-H	50	50	30	60	50	
NF 100-R	50	50	50			
NF 225-R	50	50	50			
NF 400-R	80	50	50			
NF 600-R~800-R	80	50	30			
NFU 100	200	50	100	----	---	
NFU 225-B	200	50	100	----	---	
NFU 400	200	50	100	----	---	
NFU 600	200	50	40	----	---	
NFU 800	200	50	30	---	---	

注) 表中—印は後備保護の必要ないことを示す。

[福山製作所]

4 極ノーヒューズしゃ断器

当社は、長年の実績を持つノーヒューズしゃ断器をもとに、4 極ノーヒューズしゃ断器を発売することになった。

低圧配電の方式は、近時、配電線の一元化するなか、電灯・動力共用方式として三相 4 線方式が提唱されている。増加しつつある三相 4 線方式の保護機器として、従来は電圧線に 3 極ノーヒューズしゃ断器と中性線に単極の刃形スイッチを併設するのが一般的であったが、安全性・経済性・操作性に難点があるため、これら欠点を改良した新しい保護機器の開発が要望されていた。

この 4 極ノーヒューズしゃ断器は、その要望にこたえ配電分野の合理化に寄与するものと期待されている。

特 長

(1) 中性線開閉のトラブルがない

中性極の接点は他の 3 極（電圧線の極）の接点と同じ開閉機構（とって）によって開閉操作されるので、中性線の入れ忘れや、中性線の不用意な開放を防止できる。またすべての極は、同時投入、同時しゃ断の common trip であり、開閉操作も操作の仕方に依存しない速入り、速切り機構を備えているため、中性極が電圧線極より遅れて投入されたり、電圧線極に先立って開放されることはなく、中性点開放に基因する過電圧の危険を排除することができる。

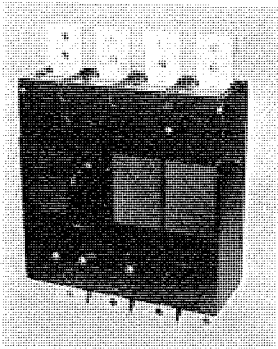


図 1 NF 400-B 形 4 極ノーヒューズしゃ断器

## (2) 経済的である

4極が一体に成形されているので、取付面積は3極ノーヒューズしゃ断器の4/3ですみ、刃形スイッチを使用した場合に比べ盤の設計・製作が容易である。表面接続形の取付穴加工寸法は従来の3極ノーヒューズしゃ断器とまったく同一であるので取付穴の互換性がある。

## (3) 信頼性が高い

開閉機構は3極ノーヒューズしゃ断器の開閉機構を改造したもので、耐久性能・信頼性にすぐれている。中性極は電圧線の極と同一の定格を有しており、不平衡負荷による中性極の電流容量不足の心配はない。

## (4) 保守の省力化ができる

付属装置を取付けると従来のノーヒューズしゃ断器と同様、遠方からの制御が可能であり、中性極が電圧線の極と同時に開閉するため中性線の絶縁抵抗の遠隔測定も容易にできる。

また三相4線式2電源の切換に際しても、中性線の同時切換が可能であるため、接地線を通しての地絡継電器の誤動作等が防止できる。

## ■ 主なる仕様


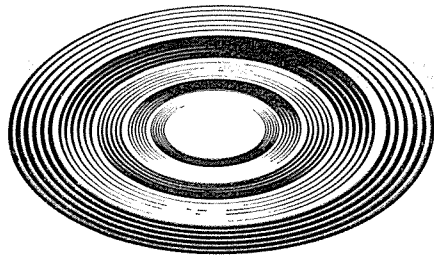
- (1) 中性極の通電容量 電圧線極と同一
- (2) 中性極の位置 電圧線極の右側
- (3) 中性極の動作 電圧線と同時にただし自動引きはずし(過電流trip)要素はなし
- (4) 中性極の表示 カバー表面に  を表示
- (5) 接続方式 電圧線の極と同じ
- (6) 付属装置 3極ノーヒューズしゃ断器と同じ

表 1 4極ノーヒューズしゃ断器定格一覧表

形 名	NF 50-S	NF 100 E	NF 225-G	NF 400-B	NF 600-B
フレームサイズ (A)	50	100	225	400	600
極 数	4	4	4	4	4
引きはずし素子数	3	3	3	3	3
基準周囲温度	40°C	40°C	40°C	40°C	40°C
定格電流 (A)	10, 15, 20 30, 40, 50	15, 20, 30, 50 60, 75, 100	125, 150, 175 200, 225	250, 300 350, 400	500, 600
定格電圧 AC (V)	550	550	550	550	550
定格しゃ断容量 (A)	AC 550 V	2,500	15,000 (注 1)	25,000	30,000
	AC 460 V	5,000	15,000	3,000	35,000
形 名	NF 800-B	NF 1000-B	NF 1200-B	NF 1600	NF 2000
フレームサイズ (A)	800	1,000	1,200	1,600	2,000
極 数	4	4	4	4	4
引きはずし素子数	3	3	3	3	3
基準周囲温度	40°C	40°C	40°C	40°C	40°C
定格電流 (A)	700, 800	1,000	1,200	1,200, 1,400 1,600	1,800, 2,000
定格電圧 AC (V)	550	550	550	550	550
定格しゃ断電流 (A)	AC 550 V	30,000	35,000	35,000	75,000
	AC 460 V	35,000	35,000	35,000	100,000

注 1) 定格電流 30 A 以下のしゃ断容量は 10 kA である。

[福山製作所]



## 後樂園 黄色いビルでエスカレータ大活躍

当社は、4月20日オープンした、あざやかなレモンイエローの巨大な建物正面で異色を放っている後樂園黄色いビルにエスカレータ11台とエレベータ6台を納入し、館内の群集の縦の動きを完全に処理し好評を得ている。

黄色いビルのA棟は各階が中央競馬会の場外馬券売場であり、殺到する群集を混雑しないよう巧みにさばく必要がある。そのためにビル内のエスカレータとしては、最長の2階↔6階直行エスカレータ2台をはじめとして、2階↔4階直行2台、各階3台のエスカレータ群を吹き抜け内に巧みに配置し、乗り継ぎによる動線の交差を少なくして混雑を避けるのに成功した。

揚程16mの6階直行エスカレータは、建物の構造から最大の支点間隔22mという記録品ともなっている。

一方黄色いビルのB棟は、ボーリング場とアイススケート場を主体としたレジャービルであり、エスカレータは全面ガラス壁で囲まれた吹抜け中に4台設置され、展望エスカレータとして、上は乗客、下は観客の目を楽しませている。

なお、各棟の昇降機の概要は次のとおりである。

### A 棟

エスカレータ	揚 程
1200 形	16 m 2 台(2階—6階直通)
1200 形	8 m 2 台(2階—4階直通)
1200 形	4 m 3 台

### エレベータ

17 人乗り(非常用)	90 m/分 1 台
9 人乗り	60 m/分 1 台

### B 棟

エスカレータ	
1200 透明形	5.8 m 1 台
1200 透明形	6.0 m 2 台
1200 透明形	7.2 m 1 台

### エレベータ

24 人乗り	120 m/分 2 台
11 人乗り	120 m/分 1 台
17 人乗り(非常用)	90 m/分 1 台

図1は高揚程エスカレータ、図2は展望エスカレータである。

[稲沢製作所]

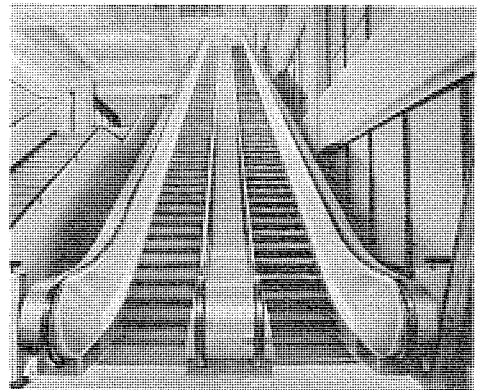


図 1 高揚程 エスカレータ

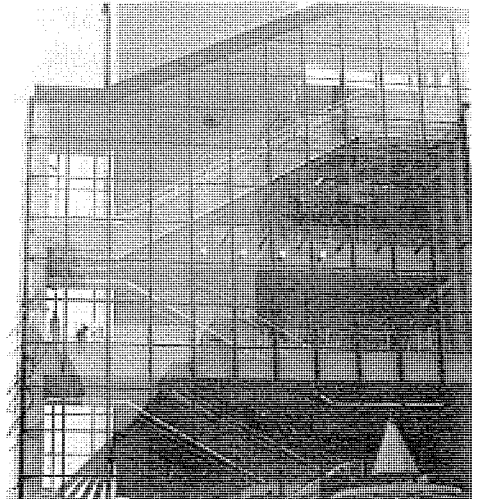


図 2 展望 エスカレータ

# 本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル) (電) 530	(電) 大阪 (06) 343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450	(電) 名古屋 (052) 565局3111番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社) (電) 420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (電) 852	(電) 長崎 (0958) 61局6101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 212局3711番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号 (電) 930	(電) 富山 (0764) 31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (電) 730	(電) 広島 (0822) 48局5311番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館) (電) 700	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (電) 950	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	大宮市大成町4丁目298番地(三菱電機大宮ビル) (電) 330	(電) 大宮 (0486) 65局3211番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (電) 530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450	(電) 名古屋 (052) 565局3111番
福岡商品営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
札幌商品営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 212局3777番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地 (電) 920	(電) 金沢 (0762) 52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (電) 730	(電) 広島 (0822) 48局5311番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル) (電) 107	(電) 東京 (03) 404局0336番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (電) 530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
名古屋機器営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450	(電) 名古屋 (052) 565局3111番
静岡機器営業所	静岡市小島2丁目1番22号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
浜松機器営業所	浜松市海老塚町479の1 (電) 430	(電) 浜松 (0534) 54局4121番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1 (電) 652	(電) 神戸 (078) 671局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地 (電) 669-13	(電) 三田 (07956) 3局4371番
赤穂工場	赤穂市天和651番地 (電) 678-02	(電) 赤穂 (07914) 3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 850-91	(電) 長崎 (0958) 61局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地 (電) 492	(電) 稲沢 (0587) 32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 640-91	(電) 和歌山 (0734) 36局2111番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地 (電) 664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地 (電) 862	(電) 熊本 (0963) 38局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997 (電) 861-11	(電) 熊本 (09624) 2局0151番
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (電) 461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井 (電) 488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市西区今宿青木690番地 (電) 819-01	(電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号 (電) 720	(電) 福山 (0849) 21局3211番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号 (電) 229	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 670	(電) 姫路 (0792) 23局1251番
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号 (電) 508	(電) 中津川 (05736) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 44局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号 (電) 963	(電) 郡山 (0249) 32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 370-04	(電) 尾島 (02765) 2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地 (電) 375	(電) 藤岡 (02742) 2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地 (電) 617	(電) 京都 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前 (電) 380	(電) 長野 (0262) 43局1101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条東12丁目98番地 (電) 060	(電) 札幌 (011) 231局5544番



## 電子加速器・半導体特集

## 《特集論文》

- 小形医療用 ML-3 MB 形 ライナックの性能
- 小形工業用 ML-1 R 形・5 R 形 ライナックの実用性能
- 線形電子加速器用定在波形加速管の実用化研究
- 電子線照射装置ダイヤトロン DP-300 および DP-600
- 電子線による各種プレポリマの重合硬化

- 高耐圧プレーナ形サイリスタ
- 車両用大電力素子
- 安定化抵抗を有する直線増幅用高周波高出力トランジスタ
- カメラ用 IC
- ROM 方式 電卓用 MOS/LSI

- ガスプラズマ技術の IC 製造への応用
- MOS 構造へのイオン注入
- 発光ダイオード
- すず拡散による高周波トランジスタの特性向上

## 《普通論文》

- 熱陰極電子ビーム溶接機
- オーストラリア NSW 州鉄道納め 2,200 HP ディーゼル電気機関車用電気機器
- MELCOM 7500 を用いた国際電電 AUTOMEX システムの開発と試験
- 新雷観測レーダシステム

## 《技術解説》

- 拡散炎における悪臭の発生原因とその機構

## 《技術講座》

- 超音波探傷試験法 (第 1 回)

## 三菱電機技報編集委員会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 邇	"	武 藤 正
常任委員	上 田 重 夫	"	吉 松 誠 一
"	宇 佐 見 重 夫	委 員	粕 谷 一 雄
"	北 川 和 人	"	武 田 忠 夫
"	古 賀 亨	"	中 尾 致 一
"	外 野 範 吾	"	林 昇 寿
"	塚 本 信 雄	"	待 鳥 正
"	福 家 章	"	吉 武 正 彦
"	堀 謙 二 郎	"	若 宮 佐 三
"	牧 野 六 彦		

(以上 50 音順)

昭和 48 年 6 月 22 日印刷 昭和 48 年 6 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 200 円(送料別)

## 編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

正 木 茂 雄

## 印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地  
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

## 印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

## 発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 (郵便番号 100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

(電話) (03) 218 局 2323 番

## 発売元

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (郵便番号 101)

株式会社 オーム社書店

(電話) (03) 291 局 0912 番 振替口座 東京 20018 番