

IMITSUBISHI DENKI GIHO

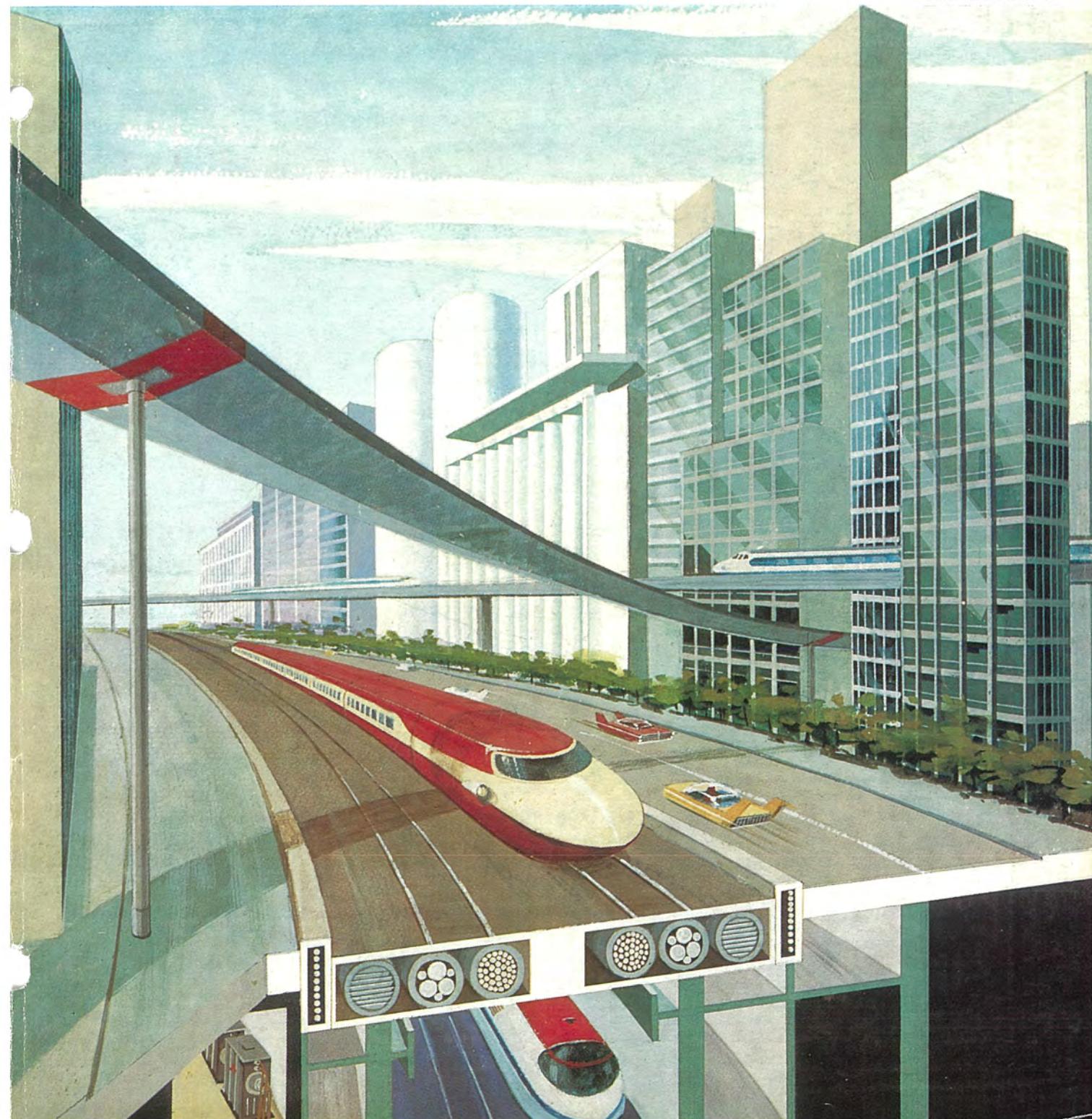
三菱電機技報

Vol. 41 November 1967

配電機器特集

11

都市再開発と配電



Vol. 40 NO. 10 正誤表

ページ・行	誤	正
目次 9行目	No Gas 溶接現象	No Gas <u>アーク</u> 溶接現象
目次 9行目	島田 弘	島田 弥
1582左上から29行	……後述すを超音波……	……後述する超音波……
1589右上から2行	……溶接開先をつくる。	……溶接開先をつくる(図2.2)。
1577右, 図3.8	図3.8 電圧波形模型 は	P.1601の図3.8 導波管形放射器と入れかえる
1601左, 図3.8	図3.8 導波管形放射器 は	P.1577の図3.8 電圧波形模型と入れかえる
1601左上から5行	……図3.8 (a)(b)……	…… <u>図3.7</u> (a)(b)……
1602図4.1 中 写真添付数字	(7) 1, 2, 4, (8) 3, 7, (11) 1, 8, 15, 22, 36 (12) 1, 8, 50, 64	(7) 1, 2, 4, 5 (8) 1, 3, 7, 8 (11) 1, 8, 15, 22, 29, 36 (12) 1, 8, 22, 36, 50, 64
1638左下から3行	……クレイジング法 ⁽²⁾ は……	……クレイジング法 ⁽³⁾ は……
1639左上から3行 式 (3.2)	$a = (b - c/GF) \varepsilon / \Delta t$	$a = (b - c/GF) \varepsilon / \Delta t$
1639左, 図4.1(a)(b)	タテ軸の単位 $\times 10^{-6}$ 	タテ軸の単位 $\times 10^{-4}$
1640右上から5行 式 (5.6)の分子	$P_i = \frac{\alpha_2 + \mu_2(\alpha_2 - \alpha_1)}{1 + (1 - 2\mu_2)k_1^2} \dots$ $\frac{2(1 - \mu_2^2)k_1^2(\alpha_3 - \alpha_1) - \alpha_3 - \mu_3(\alpha_3 - \alpha_1)}{1 + (1 - 2\mu_2)k_1^2} \dots t$	$P_i = \frac{\alpha_2 + \mu_2(\alpha_2 - \alpha_1) -}{1 + (1 - 2\mu_2)k_1^2(\alpha_3 - \alpha_1) - \alpha_3 - \mu_3(\alpha_3 - \alpha_1)} \dots$ $\dots t$

Vol. 40 NO. 11 正誤表

ページ・行	誤	正
1745上から10行	45°C	40°C



目次

《特別寄稿》

- 都市配電の今後の動向 和田昌博 1349

《特集論文》

- 都市配電近代化の階層と対策 馬場準一・森健 1351
 レギュラネットワークとスポットネットワーク 森健・芝滝寿広・美濃順一・梅本隆司・久保修造 1354
 三菱特高(20, 30 kV)不燃式閉鎖受変電設備 福田信夫・田和穂 1365
 最近のネットワーク変圧器 諸住康平・安達勝 1371
 三菱配電用限流ヒューズとその応用 岩崎行夫・太田忍 1374
 最近のネットワーク继電器 寺田真・梅本隆司・浜谷敏彦 1385
 ノーヒューズレシヤ断器とバンキングおよびネットワーク 和田宏康 1393
 最近の二次計測 武田克己・牧野節夫 1395
 最近の配電用変圧器 木野崎泰三 1400
 三菱配電用避雷器 永井信夫 1404
 真空レシヤ断器の大電流レシヤ断現象 伊藤利朗・大倉敏幹 1409

《普通論文》

- 半導体素子の放射線効果とその応用 奥泰二・堀江和夫 1417
 プログラム書きかえ問題へのCOBOLの応用 首藤勝・魚田勝臣・斎藤知子 1425
 寒冷地向け車両用変圧器 南角英男・鶴田敬二 1430
 KW級バルス進行波管 建石昌彦・橋本勉・竹延真哉・武田文雄・岩越和太 1438
 新形中容量SF₆ガスレシヤ断器 潤恒郎・田辺俊雄 1445

《新製品紹介》

- 電気温水器・大口需要家用電力取引用計量盤 1453

《ニュースフラッシュ》

- 理研向け 50 cm 空心 $\sqrt{2}\pi$ ベータ線スペクトロメータの完成・せん頭出力 25 MW-超大電力バルスクファストロンの完成・
 ニュージラント国鉄納めディーゼル電機関車用主交流発電機セット完成・八幡製鉄(株)堺製鉄所向けわが国最初の全サイリスタ
 レオナード方式板用分塊圧延設備用電機品一式完成

《特許と新案》

- 加工装置・充電発電機用電圧調整装置・電気ルータの安全装置 1415

《表紙》

都市再開発と配電

都市化の進展によって電力に対する依存度が高まり、質量にわたってサービスの拡充新需要の喚起を要請されているが、これが原動力となって、電力の流通部門である送配電の改良が推進されている。したがって、社会生活の向上における電力の貢献を考えるに際にして、都市再開発と都市配電近代化の長期ビジョンは直結して考えられなければならないと考えられる。

- そのような電力事業の基本的使命は、電力供給信頼度の向上を前提として
 (a) 電力コストの低限
 (b) 電力応用拡大のための絶えざる努力
 (c) 都市環境整備への積極的協力

の3大条件を満足することによってはじめて達成される。

- 技術革新による新しい電気応用の最大のものは
 (a) 都市内流通機構への電力応用
 (b) 電気冷暖房

であろうが、これからの電力施設の建設は、都市総合開発の見地から、都市の形体・地勢・風景等の要素を盛り込んでなされねばならない。

当社は、美観(Beauty)、経済(Economy)、信頼性(Security)、品質(Technical Quality)の頭文字をとったBESTを都市配電近代化の基本的概念としている。

表紙は、このような概念による、ビジョンを描いたものである。





SPECIAL EDITION OF DISTRIBUTION EQUIPMENT

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Prospect of Urban Area Power Distribution.....	M. Wada...1349
Steps for Modernization of Japanese Urban Area Power Distribution	J. Baba • K. Mori...1351
Regular Network and Spot Network.....	K. Mori • T. Shibataki • J. Mino • T. Umemoto • S. Kubo...1354
Extra High Tension Incombustible Substation for Building Use.....	N. Fukuda • Y. Tawa...1365
The Latest Network Transformers.....	K. Morozumi • M. Adachi...1371
Current-Limiting Fuses for Distribution Line.....	Y. Iwasaki • S. Ôta...1374
Recent Network Protector Relay.....	M. Terada • T. Umemoto • T. Hamaya...1385
No-fuse Breakers used as Section Breakers in Low Voltage Banking or Network Systems.....	H. Wada...1393
New Secondary Measurement.....	K. Takeda • S. Makino...1395
The Latest Distribution Transformers.....	T. Kinoshita...1400
Mitsubishi Autovalve Lightning Arresters for Distribution Lines.....	N. Nagai...1404
High Current Interruption Phenomena in Vacuum Interrupter.....	T. Itô • T. Ôkura...1409

TECHNICAL PAPERS

Radiation Effects on Semiconductor Devices and Their Applications.....	T. Oku • K. Horie...1417
Application of COBOL to Reprogramming.....	M. Sudô • K. Uota • T. Saitô...1425
Transformers for Rolling Stock Running in Hokkaidô.....	N. Nankaku • K. Tsuruta...1430
KW-level Pulsed Traveling Wave Tubes.....	M. Tateishi • T. Hashimoto • M. Takenobu • F. Takeda • K. Iwakoshi...1438
New Intermediate Capacity SF ₆ Gas Circuit Breakers.....	T. Ushio • T. Tanabe...1445

NEW PRODUCTS

1453

NEWS FLASH

1455

PATENT AND UTILITY MODEL

1455

COVER :

Vision of the re-development of city area and modernization of power distribution systems. Development of urban districts heightens their dependence on electric power. This comes to call for repletion of service by utilities in quality and quantity, and also to arouse new demands, motivating the improvement of transmission and distribution systems. Accordingly, when contribution of power to the elevation of social life is considered, a long range vision of the re-development of urban area and of modernization of distribution systems thereof are to be worked out in closely relation.

Fundamental mission of such power enterprise may be realized only when the following three conditions are satisfied.

- (a) Reduction on power cost
 - (b) Untiring effort for the extension of power application
 - (c) Positive cooperation to the rearrangement of urban environment
- The most vital items of new power applications by technical innovation are
- a. Application to circulation mechanisms in cities
 - b. Air conditioning with electricity

Construction of power equipment in future shall be based on form, topography and landscape taken into account from the viewpoint of all-out development.

The company has worked up a new slogan BEST, which is an abbreviation of Beauty, Economy, Security and Technical Quality, as a basic concept of modernizing the urban distribution.

The cover illustrates a vision based on such a concept.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621. 316. 1. 001. 1

都市配電近代化の階層と対策

馬場準一・森 健

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1351～1353

最近の都市の進展に対応し、都市への電力供給に関連する技術革新の問題が大きくクローズアップされてきている。中でも配電設備の問題は都市配電近代化と呼ばれてひとつの大きな技術的フィールドを包括している。

本文は、この都市配電近代化に対する当社の考え方すなわちBESTシステムを解説と、さらに配電近代化の階層に従って、それを具体化してゆく方向と対策を考察するものである。

BESTとは、美観(Beauty)、経済性(Economy)、信頼性・安全性(Security)品質(Technical quality) (○)を言う。

UDC 621. 316. 923. 004. 14

三菱配電用限流ヒューズとその応用

岩崎行夫・太田 忍

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1374～1384

近年、電気設備の容量の増大に従って、系統の短絡容量は増加の一途をたどっており、このため限流ヒューズが再認識されてきている。本文では当社の配電用限流ヒューズ(250V～7,200V)としてのPT用(CL形)、高压はん用(変圧器用)(CL形)、高压電動機用(CL S形)、低压ネットワーク用(FLK形)、およびはん用NFしゃ断器保護用(FLN形)について、その定格・構造・特性および応用について述べる。

UDC 621.316.1

レギュラ ネットワークとスポット ネットワーク

森 健・芝滝寿宏・美濃順一・梅本隆司・久保修造

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1354～1364

都市部の電力供給の近代化には、低压ネットワーク配電方式は不可欠のものといえる。

低压ネットワーク配電方式には、レギュラネットワーク方式とスポットネットワーク方式の2方式があるが、本文はまず配電における自動復旧装置としてのネットワークプロテクタを概説し、電圧方式等ネットワーク方式における基本的事項にふれ、ついでレギュラならびにスポットネットワークのおののに対する考え方、当社の標準ネットワークユニット例等を紹介してある。

UDC 621.316.925

最近のネットワーク继電器

寺田真・梅本隆司・浜谷敏彦

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1385～1392

最近のネットワークシステムの発展に伴い、ネットワーク继電器は、ネットワークプロテクタの主制御器具として、その重要性を増しつつある。

本文では、最近のネットワーク继電器の概要を述べた後、各系統への適用について述べ、とくに最近問題となっている異容量V接続ネットワークについて詳述している。

UDC 621. 314. 22:621. 316. 36

三菱特高(20, 30kV)不燃式閉鎖受変電設備

福田信夫・田和 権

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1365～1370

三菱ビル用20, 30kV級受変電設備は、昭和29年1号器を製作開始以来、内蔵機器の開発と、機器の合理的配列により、空気絶縁の限界寸法に近づけるべく、小形化への努力がはらわれてきた。とりわけH種乾式変圧器は、火災の心配をとり除いたことで、ビル用主変圧器として数多くの実績を上げている。最近の都市の電力需要過密化は、さらに配電方式にもスポットネットワーク方式の採用が各電力会社で検討されている。ここに最近の特高キューピカルと乾式変圧器の傾向をとりあげ説明する。

UDC 621.316.57

ノーヒューズしゃ断器とバンキングおよびネットワーク

和田宏康

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1393～1394

ノーヒューズしゃ断器が、低压バンキング用区分開閉器、あるいは低压ネットワーク用区分開閉器として使用された例を示す。いずれも低压線の故障区間分離ならびに過電流保護を行なうもので、架空線式の電路で支柱できる構造を有している。製品化されたものは、定格電流400Aクラスのもので、しゃ断容量はAC 220V, 30,000Aである。

UDC 621. 314. 2

最近のネットワーク変圧器

諸住康平・安達勝

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1371～1373

最近の都市における人口の増加により、電力需要が密集化の傾向にある。このような状況下で都市機能を十分に発揮するための電力供給方式としては、とくに高度の信頼度と融通性をもった無停電供給方式が要求される。

ネットワーク方式はこの要求を満足するものであるが、ここでは一般ネットワーク方式に用いられる架空ネットワーク用変圧器および地中ネットワーク用変圧器についてその概要を述べるとともに、これらの変圧器の特長および構造などについて述べる。

UDC 621.317.4/.7

最近の二次計測

武田克巳・牧野節夫

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1395～1399

最近、高負荷密度地域におけるビルディングの大形化、高層化の傾向が著しく、電力供給への高信頼度が要求されるので、その配電方式の一つとして、一次フィーダーの配電電圧を22kV、需要家屋内配線電圧を三相4線式240/415V(50%)のスポットネットワーク方式とし、需給用の計器用変圧器を屋内配線の幹線に施設する計画が推進されている。

また、V接続変圧器を用いたレギュラネットワーク方式による三相4線式105/210Vの低圧供給も検討されている。

今回、これら各種取引用(○)計量装置を開発したので、発表する。

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621. 314. 2

最近の配電用変圧器

木野崎泰三

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1400～1403

都市における電力需要の増加、供給信頼性、配電線外観に対する要求の高度化は、従来広く使用されていた6kV架空配電方式に検討を加える段階になった。この結果配電用変圧器においても、温度上界限度の緩和、密封形構造の採用などによる小形軽量化、柱上変圧器にカットアウトその他保護装置を内蔵した美化装柱用変圧器、安価な地中配電用変圧器など種々検討されている。



UDC 621. 316. 933

三菱配電用避雷器

永井信夫

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1404～1408

当社では昭和5年にLV形配電用避雷器の製作を開始して以来、あらゆる定格の避雷器を製作して今日に至っており、長年の使用実績が信頼度の高い製品であることを示している。

本論文では配電用避雷器の適用指針を中心にしてその概容を述べ、LV-GL形について実施した特殊試験の報告および保守上の問題点についても解決策を検討する。

正しい避雷器の選定基準を与えるのが目的である。



UDC 621. 316. 57

真空しゃ断器の大電流しゃ断現象

伊藤利朗・大倉敏幹

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1409～1414

真空しゃ断器が大電流を切るときに生じる各種の現象を示し、それに対する物理的解釈を与えていている。

実験結果としては、しゃ断能力が接点径とともに増大すること、アークに並行な磁束を加えることによってしゃ断能力が増大し、接点の消耗が極度に抑制できることなどが示されている。そして、これらの現象はアークとともに発生する金属蒸気の消滅過程および継磁束の磁気駆動効果等を解析することによって明確に説明できることが述べられている。



UDC 621. 382+539. 04/06+537. 311. 24.5

半導体素子の放射線効果とその応用

奥 泰二・堀江和夫

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1417～1424

放射線は半導体のキャリア濃度の減少や少数キャリアのライフタイムの減少をもたらし、素子の特性を劣化させる。その反面、短いライフタイムを必要とする高速スイッチング素子を作るのに利用できる。またこの特性の変化を利用して、照射線量を測定することもできる。含有するOの量の異なるN型Siを基板とするダイオードの照射効果を比較すると、合金形ではもとの基板と同じ効果を示すが、拡散形では異なる効果を示し、Oの量の少ないSiにおいても劣化の程度が小さくなる。その他、Auを大量に含むダイオードは劣化しにくい。照射効果の応用例としては、高周波用サイリスタのライフタイム制御と大強度放射線の照射線量計について述べる。



UDC 681. 142. 007. 3

プログラム書きかえ問題へのCOBOLの応用

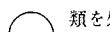
首藤 勝・魚田勝臣・齊藤知子

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1425～1429

計算機を他の機種のものに入れ換える際に再プログラミングが問題となる。プログラム書きかえに要する労力と、それらのプログラムを処理するに要する時間が大きいからである。

再プログラミングの労力軽減の目的で、その過程に自動化を導入するためにTRANSBOLと呼ばれる変換用プログラムが作られた。TRANSBOLはMEL-COM-1530にかけられて働き、MELCOM-1530SIAで書かれたプログラムをMELCOM-3100 MACRO-CODERに変換する。TRANSBOLはCOBOLで書かれており、これでコンパイラ類を処理してみて、そういった用途にもCOBOLが有用であること

がわかった。



UDC 621. 314. 2:621. 331

寒冷地向車両用変圧器

南角英男・鶴田敬二

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11 P1430～1437

日本国有鉄道の第3次長期計画の一環として、北海道電化が着工されてから、昭和41年11月にはすでに函館本線の一部に試験線区が完成し、交流機関車および交流電車の運転が開始された。電化方式は単相、50Hzの交流電化である。

TM13形主変圧器はこの電化に投入された711系電車に搭載されているもので、多雪、厳寒地向けとして本格的に設計された耐雪、耐寒構造変圧器であり、種々の斬新な技術が採用されている。



UDC 621. 385

KW級 パルス進行波管

建石昌彦・橋本勉・竹延真哉・武田文雄・岩越和太

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1438～1444

Sバンド帯の周期永久磁石(P.P.M)によって集束されたkWレベルのパルス進行波管の設計、構造および動作特性について記述してある。管球は、だいたい設計どおりに動作した。

設計においては、陰極放出電流密度の均一性、 $n = -1$ 次の空間高調波の影響および減衰部の利得等に重点がおいてある。

また、電子ビームの実際の形状については、ビーム、テスト管を作成して測定し、磁界の最適状態を見出した。このとき、磁気鏡の現象を観測したので簡単に説明している。



UDC 621. 316. 57. 064. 242

新形中容量SF₆ガスしゃ断器

潮 恒郎・田辺俊雄

三菱電機技報 Vol. 41・No. 11・P1445～1451

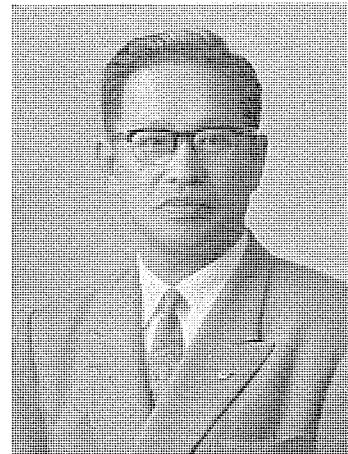
コンタクトと同時に運動するピストンによって消弧気体の流れを発生させるいわゆるバッファ(Puffer)方式によって、簡単な構造でありながら、きわめてしゃ断性能の高いSF₆ガスしゃ断器を完成した。その性能は、近年特に強く要求されるようになったきびしい系統条件や、実用性ならびに設置環境条件などあらゆる要求を完全に満足するものである。先に完成した大容量のガスしゃ断器シリーズのいっそうの発展と、この新しい中容量器の完成により、SF₆ガスしゃ断器は、業界の注目を集めるに至っている。



特別寄稿

都市配電の今後の動向

関西電力株式会社常務取締役 和田昌博



昭和10年前後のことであった。

大阪の繁華街である心斎橋筋が人の出盛る午後8時ごろに停電した。変電所から外線出張所に通報されて、所長が社宅にくつろいでいる保守員を非常呼集した。作業服に着替えて、自転車で皆は心斎橋の故障現場にかけつけた。当時の復旧のやりかたは故障配電線が変電所からケーブルで立ち上がっている開閉器柱に皆が集まって、そこで開閉器を切り分けて、故障区間をメガーであるのである。故障区間がわかれれば、皆は自転車でつぎの開閉器柱まで走り、故障区間を細分する。最後は皆で手分けして柱上変圧器の開閉器を一つずつ切り離して、どの変圧器が悪いかを調べる。

時間のかかることはなはだしく、そのため心斎橋筋の停電は1時間半ほどかかったのである。

翌日の新聞は社会面のトップに、「闇黒の恐怖」などの大見出しで、心斎橋筋の停電を掲載した。くらやみのどさくさに、商品を盗まれた店主の話や、金を払わずに客が出てしまった食堂の経営者の話などが出ていて、心斎橋商店街の会長はその補償を大阪市電気局に要求すると、いきまいていた。

当時は大阪市電気局が市内の配電を担当していたから、当然、電気局長や電灯部長の平あやまりの弁が末尾に添えられていた。

私は大阪市電の配電課の係員であったが、さあ、大変である。新聞記事を見て、電気局に出勤すると、課長も係長も主任も、色を失って、局長室や部長室との間を往復していた。

さっそく、対策会議が開かれたが、すぐには名案が出てこない。事故がなければ一番良いが、そんなことは考えられないから、どうして早く直すかに重点を置かなければならない。

保守員が社宅でくつろいでいて、電話があつてはじめて作業服に着替えるのんびりさを改めよう。

自転車をオート三輪に改めよう。

配電線のフィーダーが立ち上がっている開閉器柱に、電話を設けて変電所との間の連絡を早くしよう。

さしあたって考えられることは、そんな程度であった。

柱上開閉器を自動化して、故障区間を変電所で検出することができれば、一番良いというので、それはこれから研究しましょうということになった。

配電線の事故で、調べるのに時間がかかるのは柱上変圧器の事故で、またそのころの柱上変圧器はよく焼けた。できるだけ焼けないようにするには、どうすればよいか、これも研究しましょうということになった。

そのほか、事故を少なくすることがなによりもよいので、関係先

にお願いして、研究を進めることになった。

出張所長は大変であった。

事故はおかまいなしに、つぎつぎに起きた。そのたびに寸秒を争って現場にかけつけなければならない。一生懸命に働いても1時間はかかるのが普通であったが、新聞は目のかたき(仇)のようにして、停電の記事をのせた。夕方から10時ごろまでの間に起きれば、2段抜きになって、怠慢を責めるのだった。

わたしまで、ついでに叱られた。

変圧器を焼けないように早くせよ！

開閉器の自動化がどうしてできないのか？

アメリカではどうしてのだろうかと調べたところ、Down Townは低圧ネットワーク方式で供給していることがわかった。これならば変圧器が焼けても停電にならない。線路も変圧器も地下に収めなければならぬから大変な金がかかるけれども、どうでしょうかと伺いを立てると、いくらかかってもよいから、やれと激励された。

道路を相当堀り返さなければならないが、心斎橋のような繁華街をはたして堀らせてもらえるだろうかというので、商店会に伺いを立てると、電柱がなくなるのは結構だから、堀り返してもよろしいと言われた。

低圧ネットワーク方式は御堂筋に一部試験実施されていたが、本格実施を心斎橋筋から道頓堀へかけての繁華街に行なうことになった。変圧器を地下に収納する工事や、管路工事なども進められた。

繁華街は低圧ネットワークで供給するとしても、その他の大部分の商業地域や、住宅地域や工業地域への供給方法も見直さなければならないというので、計画係という係を新設して、大阪市の配電計画を練り直すことになった。

商業地域では架空配電線は1回線に限ることにしよう。したがって、変電所から出されるフィーダーは全部地中線になる。工業地域や住宅地域では架空配電線は2回線に限ることにしよう。したがって、このような地域でも地中線が相当設けられることになる。

今から考えても、なかなか雄大な計画であったと思うが、計画は一応承認されて、実施に移すところまで進められた。残念ながら、配電統合の話が台頭して、そんな雄大な計画は見合わすことになり、その後は戦争が激しくなって、電気そのものがなくなつて、電力制限を長く続けなければならなくなつたから、配電線の停電などは枝葉末節の問題となってしまった。

長い間、サービスはおあずけの形で、放置された。

戦後、配電で採り上げられた問題も、不足する電気をできるだけ救う道を中心として論議された。

電気のせん用を防止するために、電流制限器や屋外計器が考えられた。配電損失を少なくするために、高圧線を従来の3kVから6kVへ昇圧することや、低圧線を単相3線式にすることなどが行なわれた。

しかし、いつまでも戦後ではない。電源開発が進んで必要予備力まで持てるようになっては、サービス第一である。電力会社はきつて、サービスの向上に精進することになった。

- (1) 周波数の変動幅を0.1サイクル以内に収めよう。
- (2) 需要家電圧を6Vの変動幅の中に収めよう。
- (3) 停電をできるだけ少なくしよう。

そのような目標が掲げられて、全社をあげて努力することになった。これらの目標のうち、停電をできるだけ少なくする問題はどうしても地域差を考えなければならない。大都市だけに限っても、都心と周辺部では差があつてもよいように思われる。大都市と地方都市、地方都市と農山村においても、差があつてもよいように思われる。ところが、現実はあまり差がないのである。むしろ大都市のほうが停電が多いことさえある。架空配電主義でゆくと、大都市では高圧線が複雑となり、変圧器まわりも複雑になる。

建物が高くなつて、配電線が建物の家並みより低くなつているとこゝろさえある。架空配電の限界にきていると言つてさしつかえない。

銀座裏を歩いた人は、高圧線が家並みより低くなつて、道路側に突き出されているため、狭い道のまんなかを通つてはいるのに気付かれるに相違ない。大阪の船場でも千日前でも、大同小異の現象が各所に起こつてゐる。

このようなところは、地中線に切り換える時期がきていると考えてよい。いうまでもなく、地中線は非常に費用がかかる、架空線の10倍ないし20倍かかるようである。大阪市の都心部20平方kmを地中線に切り換えたとすると、約1,000億円を要するが、これは関西電力全社の配電設備の再建設費に匹敵するのである。

したがつて、経済的な地中配電を考えることが、大都市において焦眉の問題になる。経済性からして、現在の6kVの配電線をそのまま地下に収めることはどうかと思われるのでは、どうしても20kVに昇圧して地下に収めることになる。アメリカでは、都市配電に10kV級の地中配電が普及しているが、今から手を着ける地中配電としては少し低いように思われる。そのうえ、20kVの地中配電はすでにビルなどに相当普及しているから、これを拡大する形を考えれば、20kVが文句なしに良いように思われる。低圧線は非常に問題であつて、現在の100V・200Vをそのまま地中線にすることはどうかと思うのである。できれば400V級の配電線にしたいものである。低圧ネットワーク方式を採用する場合、電灯と動力の二つの低圧線を設けることはあまりに不経済であるから、今でも灯動共用の低圧ネットワークを考えているほどである。400V級の低圧ネットワークは、アメリカでもごく最近にレギュラー・ネットワークで行なわれたほどで、普通はスポットネットワークに採用される電圧である。この辺をどのように処理するか、十分に討議をつくしたうえで決めなければなるまい。

地中配電の場合、変圧器をどこに収めるかも大きな問題である。わが国のような狭い道路では、とても道路下に設けることは考えられないで、ビルの地下室に収めるか、それともデトロイト市のようにビルの片すみ(隅)に地上に設けるかしなければならない。

経済的な地中配電を考える場合、現在の架空配電設備の活用を忘れてはならない。何も急に町から電柱が姿を消すわけではなく、大きなビルが建つたり、道路が広くなつたりしたところから次第に電

柱がなくなるのだから、そのような架空配電から地中配電への移り替りをスムーズに運ぶことが肝要である。極言すれば、そのような移り替りをどのようにうまく運ぶかに、経済性のすべてがかかっていると言うことができる。その意味から考えられることは、変電所から20kVの地中線が出されて、途中の適当な場所から6kVの架空線につなぐ方法が考えられる。町のちょっとした空地を使って、できるものなら、電柱に設備するだけで、20kVから6kVに落す変電塔ができないものかと思う。

Unit Substationの縮小版ができればよいのである。これができるものなら、都市配電は大きく変わってしまうかもしれない。

配電用変電所は150kV/20kVの大型のものになる。ネットワーク供給が都心ではサービス上、必要であるとすれば、その面からも大型化が必然である。アメリカの低圧ネットワークに供給する変電所は、新しいものは、120kV/12kV級の大型のものになっているが、わが国の場合にも同じことが言えると思うのである。

都心を20kVの地中線で供給するとして、周辺部をそれならば、従来の6kVの架空線で供給するかどうかも考えなければならない。アメリカでは、配電線が4kVから12kVへ昇圧される情勢にあるが、わが国の場合においても、6kVから20kVへ上げてはどうかと思われる。3kVから6kVへは2倍の昇圧であったが、3倍以上も一度に上げるのは得策でないようにも思われる。現在一部に実施されているのは11kVだから、その程度にとどめるべきではないかといふ議論が起つただろう。しかし、都市の周辺部に問題を限つて考えると、20kVの架空配電が許されるならば、20kVに昇圧するほうが良いと、私は思うのである。

都心が20kVの地中配電であり、都心の範囲は次第に拡大されるに相違ないから、それらのつながりをスムーズにするうえから、20kVのほうがよい。20kVの架空配電が許されるかどうかであるが、アメリカでは40kV以下が配電線として扱われ、道路上に木柱を建てて、6kVの配電線を設けると同じような考え方で進められている実情から、これは可能であると思うのである。わが国のように、一つの電柱に何回線も載せたり、また建物より電柱のほうが低くなつてゐるところに、むりやり架空線を張るというようなことをしなければ、40kVでも20kVでも、6kVの現在の配電線より安全に施設することができると思うのである。

都市配電の将来を主として経済性を中心に考察を進めてきたが、もちろん、サービスの面から考察を進めることを忘れてはならない。都心が低圧ネットワークで供給されること、サービスの面より必要であろう。都心を除いては、相当期間、架空配電が残ると見なければならないから、サービスを今より良くする配電方式を考えなければならない。区分開閉器の自動化は、当然進められて、電工が柱の上に昇つて開閉するような姿は消えてなくなつてゐることだろう。需要家の開閉器の操作を自動化することも普及して、温水器をタイムスイッチで切るようなこともなくなつてゐることだろう。

変圧器のパンギングもあたりまえのことのようになつてゐるであろうし、そのほか、管理面についても、都市配電の特殊性を生かした機械化が進められるに相違ない。

わたしが昔、大阪市電に勤務していたころの配電はまったく人を中心として、いろいろな計画が進められたと思うが、これから配電は都市を中心として、目をみはるような技術革新が進められるものと信ずる次第である。

都市配電近代化の階層と対策

馬場 準一*・森 健**

Setups for Modernization of Japanese Urban Area Power Distribution

Head Office Jun-ichi BABA・Takeshi MORI

To cope with the development of metropolises of late, engineering innovation regarding power supply to metropolises has come to pose considerable problems. Of them especially questions on power distribution equipment involve a large technical field which is the so called modernization of urban area power distribution.

This article describes the company's concept for the above problem, which is signified by "BEST", and further gives consideration on countermeasures for gradual advancement in modernized power distribution and about its improvement.

The "BEST" means a contraction of Beauty, Economy, Security and Technical quality.

1. まえがき

最近の都市の進展に対応し、都市への電力供給に関する技術革新の問題が大きくクローズアップされてきている。中でも配電設備の問題は、都市配電近代化と呼ばれてひとつの大きな技術的フィールドを包括している。

本文は、この都市配電近代化に対する当社の考え方すなわち BEST システムを解説し、さらに配電近代化の階層に従って、それを具体化してゆく方向と対策を考察するものである。

2. 都市配電近代化の目標—BEST システム

都市配電近代化ということを考えるときには、まず、「都市」ということから出発してゆくことがたいせつである。

都市は、それらを構成する個々の要素でなく、システムという見地から見てゆくべきものである。メトロポリスあるいはメガポリスという概念がこれを端的に表わしている。都市をシステムとしてながめると次のとおりである。

(1) 都市における諸活動……都市のソフトウェア的側面

産業構造の高度化に伴って、一国の人口は第三次化へと向ってゆき、都市はコミュニケーションの中心的な場となる。都市では政治的・経済的諸活動が行なわれ、これらの諸活動に携わる人が、日常生活を営み、その子弟の教育がなされている。これら政治・経済・日常生活・教育の四つが主たるシステムを形成しているが、さらに金融

・保健衛生・娯楽等のサブシステムに細分することができよう。

(2) 都市諸施設……都市のハードウェア的側面

都市における諸活動をささえるためには、いろいろの設備・施設が設けられなくてはならない。これらは、いわば都市のハードウェアシステムとも称すべきものであって、下記の四つのシステムに分類することができる。

(a) 代謝系……浄水場・貯水場・ごみ焼却場など

(b) 輸送系……地下鉄・高速道路・自動車・エレベータなど

(c) 神経系……電話交換センター・テレビ・交通信号など

(d) 骨がい(骸)……諸建築・家屋・ビル・公園・運動場・学校など

これらのハードウェアシステムを見れば、ただちに、これらが巨大なエネルギーを消費することがわかる。しかも、そのエネルギーの大半が電力エネルギーであることも理解できよう。

ここに、都市配電近代化の根本問題があると考えられる。都市配電に課せられる問題はつぎのとおりである。

(1) 美観 (Beauty)……都市計画は人と空間の調和にあるといわれているが、この意味において美観はとくに重要である。

(2) 経済性 (Economy)……都市における諸活動が、今後ますます機械化・自動化されてゆくことは必至である。この自動化のエネルギーとして電気は清潔で安全であるが、よりいっそうひろく用いられるためには安くなければならない。経済性の重要なゆえんである。

(3) 信頼性・安全性 (Security)……都市はコミュニケーションの中

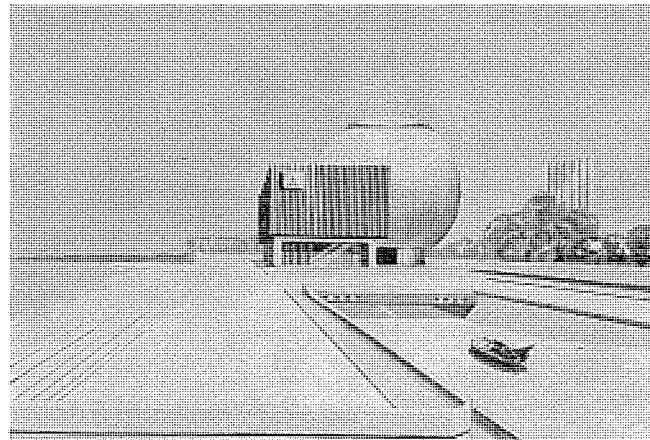
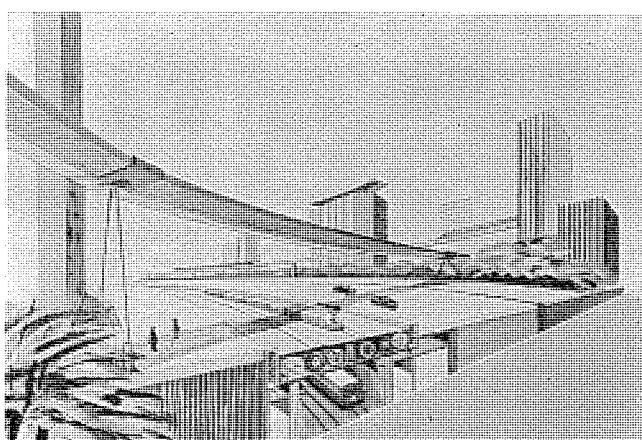


図 2.1 将来の都市再開発と電力設備 (1)



Electric power supply in future cities (1)

心的“場”であり、多くの人が自動化された設備にささえられて活動している。

都市における電力供給の停止は、したがって、都市活動の麻ひ(弊)ということになる。電力の安定供給の重要なゆえんである。

(4) 品質 (Technical Quality)……都市における電力は最終需要家に直結するものであって、その品質(電圧・周波数)はとくに正しく管理される必要がある。

以上の四つの目標の英語の頭文字をとると BEST となるが、当社は BEST を都市配電近代化の目標としている。

3. 都市配電近代化の階層

それでは都市配電は今後いかなる階層を追って進歩するであろうか？われわれ電力機器技術の一端に携わるものとして、常に技術の現状と将来を透察し、これに BEST をもって貢献する準備をなさねばならぬ。

(1) 既存高圧配電線の信頼度向上期

わが国の配電網は、戦後の空白時代を経て復興期にはいるや、機器ならびに運営管理、建設各方面においていくつかの技術的進歩がなされたのであるが、とくに高圧配電線の樹枝状系統の整備を通じて需要増加には対応してきた。またその間配電電圧の検討、11.4 kV 三相 4 線式配電方式の開発等從来の配電の範囲内で、次期への飛躍への布石がなされたのである。

近代化への第1ステップは、これら既存の高圧配電線を極力信頼度の高いものにするための合理化投資に見られる。

これに関連するものとしては

(a) 各種柱上油入開閉器(区分式、ループ式等)、しゃ断器、リク

ローザの開発

(b) 各種柱上開閉装置への真空スイッチの応用の研究

(c) 各種柱上開閉装置の制御装置の開発

(d) 配電用アレスタをはじめ電圧検知器等保安、管理の合理化、機器の開発

(e) 密封形変圧器、美化装柱変圧器、軽量大容量の柱上変圧器等の開発

などが含まれ、これらについての研究開発については、さらに今後も期待されるものが大きい。

その間都市美化への協力も、この段階で相当の努力がなされているのである。

(2) 送変配電設備総合近代化の検討期

前期のような合理化改良のための投資とは別に、今後の増大する

電力需要の完全な充足と都市再開発への適応については、強力な検討がなされねばならない。

その結果は、とくに、発電から最終需要家を連結する送変配電設備の近代化について、長期のビジョンのもとに一貫した検討と計画がなされることが期待される。

その間に配電のあるべき姿も次第に形作られることになると考えられる。

(3) 電圧階級の整理と昇圧期

低廉な電力を豊富に供給するには、まず都市内配電系統の電圧階級の再検討、ひいては配電電圧の昇圧と大容量化が検討されねばならない。

都市配電近代化に対する配電部門の諸方策の根幹となるものは、昇圧と大容量化であろう。

昇圧には、6 kV・3 kV→20 kV または 30 kV で示される高圧部門の昇圧と、100 V・200 V→100 V・200 V・400 V で示される低圧部門の昇圧とがあるが、需要構造の進歩との関連上、手の付けやすい高圧部門の昇圧が、やや先行することはやむを得ないことであろう。

20 kV の配電は、従来からあるループ配電方式をはじめ、スポットネットワーク配電方式、レギュラーネットワーク配電方式、予備線切換方式、架空配電方式あるいは現用 6 kV 系との連結方式などいくつかの方式が考慮されるであろう。需要構造の実状から微すれば、これらの方式をいくつか併用されることになろう。

電圧上昇と大容量化には従来より基礎的・長期的な研究にささえられた製作技術を用いなければならない。

(4) 地中化期

配電電圧・大容量化と都市構造上の要求、ならびに需要密度の増大は当然地中化の具体化を促進せざるを得ない。

地中化は、昇圧による変電技術の配電への適用とともに、今後の最大の課題であり、地中化機器の開発は、ネットワーク機器の一部を除いて、むしろ今後の問題と考えられる。

前項で昇圧は高圧部分が若干先行するのではないかと予測したが、巨額の投資を行なうにあたり、極力将来の低圧昇圧と連結する配電方式が望ましいことであり、その線から次第に低圧機器の進歩発達がうながされることになろう。

配電方式としては、地中線の性格上必ずしも予備線のある方式が望まれるので、ネットワーク配電方式等信頼度の高い配電方式が採用されねばならない。

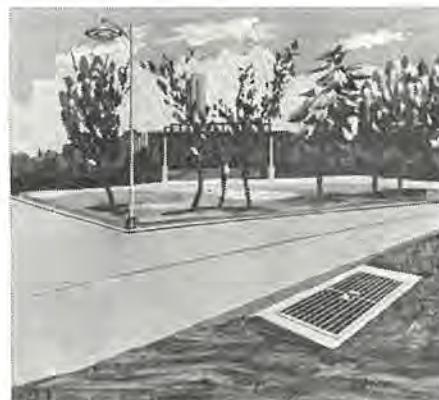


図 3.1 将来の都市再開発と電力設備 (2)

Electric power supply in future cities (2)

(5) 配電管理の自動化期

電力需要対応の長期計画が軌道に乗るとともに配電管理の自動化時代を迎えることになろう。現状においても配電管理の自動化についての研究改良がなされていることはもちろんあるが、電力供給設備の技術革新に伴って、計算機を含む新しい自動化が考えられよう。

(6) Load Building の新時代

国民生活の私的ならびに公的な向上とともに電力 エネルギーによる国民利益への反映を考えることは電力技術部門の使命であって、当然都市の再開発と都市配電近代化の長期の ビジョン は、直結して考えなければならないものと考える。

このような電力事業の基本的使命は既述のよう

- (a) 電力供給信頼度の向上
- (b) 電力コストの低減
- (c) 電力応用拡大のための絶えざる努力
- (d) 都市環境整備への積極的協力

の 4 大条件を満足することによってはじめて達成することができるものであるが、その中でも技術革新によって新しい電気 エネルギー を使用する応用分野を開拓する必要があり、その進展とともに配電近代化の次のステップ が作定されよう。

以上のような配電近代化の階層を通観すれば、エネルギー 流通設備においては、高信頼度化・高圧化・大容量化であり、これにシステム技術を背景とした総合計画条件が伴うことが必要条件であるが、このような条件は当社において満足できるものである。

4. 都市配電近代化に対する体制

次に、当社の都市配電近代化に対する体制について述べる。

当社の都市配電に対する基本的態度は“システム アプローチ” という ことである。これは、都市配電に関する ビジョン、設計、生産、販売は、個々の製品でなく、総合連けい系統における都市配電網・都市開発との関連における都市配電というような、システム的見地から考えてゆくということを意味する。

このシステム アプローチ を具体化するための体制として、重電事業部に重電計画部が設けられて、都市配電系統の計画・設計を担当し、機器事業部に計画部が設けられて配電機器の計画を担当している。配電機器とシステムの総合調整は重電計画部が行なう。機器の生産ならびにそれぞれの創意・くふうは担当の製作所が行なう。

また前述のように、都市配電では美観が必要であり、いわゆる appearance design 担当部門としては本社技術管理部がある。

配電用機器開発のための材料、機構等に対する基礎的研究は、当社の中央研究所において行なわれている。

5. む す び

以上、都市配電に対する当社の考え方を整理したが、これらの基礎のうえに、時代に適合し、使用者に満足いただく機器の開発と製造の技術の発展につとめることは、われわれ メーカー の技術者の責任であり、これに対して從来以上のご支援とごべんたつを願ってやまない次第である。

レギュラネットワークとスポットネットワーク

森 健*・芝浦 寿宏*・宮田 泰之*・美濃 順一**・梅本 隆司**・久保 修造**

Regular Network and Spot Network Systems

Head Office Takeshi MORI・Toshihiro SHIBATAKI・Yasuyuki MIYATA
Kobe Works Jun-ichi MINO・Takashi UMEMOTO・Shuzo KUBO

Low voltage network distribution systems are indispensable to modernization of power supply in urban areas. These systems now in use are of two types: one is a regular network system and the other a spot network system. The article first describes network protectors as automatic restoring devices and fundamental matters, such as voltage systems, in the network system. Then concepts for each of the regular and spot network and examples of the Company's standard network units are introduced.

1. まえがき

近年、ますます集中の度を加えてきた都市部における電力供給について、

- (1) 供給信頼度のいっそうの向上
 - (2) 長期的需要増加の対策
 - (3) 供給地区の質的変ぼうに対する最適化
 - (4) 長期的・短期的供給業務の合理化
 - (5) 都市美化への協力
- などの特性を有することが要求される。

これらの諸条件を考慮するとき、ネットワーク方式は、過密都市内の配電において、もっとも必要条件を満足し、長期的にみて、経済的・合理的な配電方式であることが、わが国においても認識された結果、今日すでにいくつかの実施例をみており、今後も逐次その数を増していくものと考えられている。

本文は、当社の長年の研究開発と製作の経験から考えて、今後のレギュラならびにスポットネットワーク方式の適用上の諸問題を考慮し、ネットワーク設備の計画に参考となることを願って作成したものである。

2. 低圧ネットワーク方式とその適用

低圧ネットワーク方式とは、複数本の一次フィーダに接続されるネットワーク変圧器の二次側を、すべて同一の低圧線に接続して、負荷に給電する配電方式で、一般に、たとえ、1回線のフィーダが停電しても、おのののネットワーク変圧器が、いちじるしい過負荷になることなく、全需要家に供給できるように設計されており、停電時間の延引を避けるために、大急ぎで、復旧作業をしなければならないということもなく、また、保守・点検等のために、1フィーダあるいはネットワーク変圧器を随時系統から切り離すことができる。

図2.1は、ネットワーク方式の最も基本的なパターンを示すもので、一般にレギュラネットワークと呼ばれているものである。このように、ネットワーク変圧器を分散配置し、一部の一次フィーダと、ネットワーク変圧器を組み合わせる方式は、比較的広い範囲にわたって、高密度の負荷が分布している。一般市街地配電に主として適用されるものであるが、電圧状況のよいこと、負荷の増加、およびネットワーク供給地域の拡張に対する融通性に富むことから、工場配電やビル用配電に

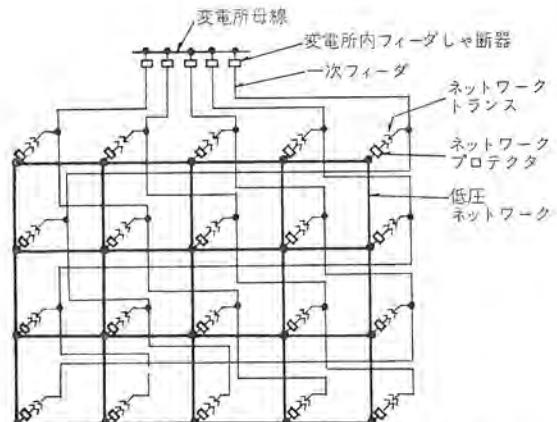


図2.1 レギュラネットワーク配電方式の基本パターン
Basic pattern of regular networks.

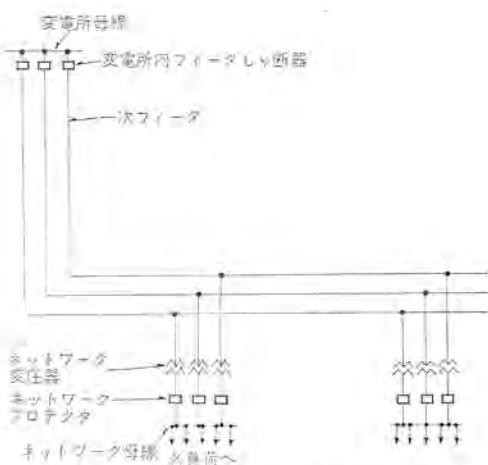
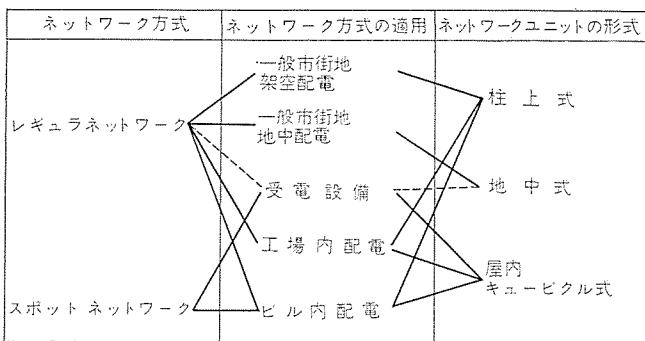


図2.2 スポットネットワーク配電方式の基本パターン
Basic pattern of spot networks.

も適用される。

一方、最近ネットワーク方式の一つとして、図2.2に示すようなスポットネットワーク方式がクローズアップされている。この方式は、相異なる一次フィーダから供給されるネットワーク変圧器を1箇所に集めて、その二次側を共通母線に接続したもので、本質的に上述のレギュラネットワークと同様に、通常1フィーダ停電時でも、需要家は無停電とな

表 2.1 ネットワーク方式とその適用
Network system and the applications.



るよう設計されており、高層ビルのようなきわめて集中度の高い負荷に適するものである。

このようなネットワーク方式の応用について整理すれば、表 2.1 のようになる。

3. ネットワーク系統の運転と設計の基礎条件

3.1 ネットワークユニットの機能

ネットワーク方式では、事故等によって電力を供給できない一次フィーダが生じても、全需要家に対しては、依然として無停電供給を維持するために、ネットワーク変圧器と二次側母線の間に、ネットワークプロテクタが設置される。ネットワークプロテクタには、ネットワーク遮断器・しゃ断器・CT・ヒューズ等が収納され、ネットワーク変圧器と組み合わせて、以下のような機能を果すものである。また、ネットワーク変圧器、ネットワークプロテクタおよびそれらの付属品を総合したものは、ネットワークユニットと呼ばれる。

ネットワークプロテクタに必要な機能は、表 3.1 に示すとおりである。

3.1.1 逆電流しゃ断特性

ネットワークの一次系統で事故があった場合、故障電流が、事故回線のネットワークプロテクタを逆流することを検出して、しゃ断器をトリップさせる特性である。図 3.1 に逆電流しゃ断特性の一例を示す。逆電流しゃ断感度は、多くのばあいネットワーク側電圧 e_2 を基準にしてある値以上の逆電流が流れたとき、しゃ断するように定められる。

また、逆電流しゃ断の特殊仕様として、ネットワーク変圧器の逆励磁電流だけで、ネットワークプロテクタをしゃ断させたいという場合があるが、これには、ネットワーク変圧器の逆励磁特性と、プロテクタの逆電流しゃ断特性を、互いに協調のとれたものとする必要で、ネットワークプロテクタの逆電流しゃ断特性を考慮に入れずに作られた変圧器と組み合わせただけでは、通常、この要求を満足することは困難である。

ネットワークプロテクタは低圧側の事故に対して不動作でなければならない。それは、もし低圧側事故に対して動作すれば、全需要家が停電することとなるからである。また、常時の負荷電流で動作してはならないことはいうまでもない。しかし、逆電流しゃ断動作と正方向電流しゃ断不動作を、系統構成、結線方式、あるいは負荷力率の極端な進み遅れ等の特殊な組み合わせを含むすべての場合に満足することは、当然不可能であるから、個々のケースにおいて限界を明確にしておく必要がある。

なお、上述の事故電流に対する動作・不動作については、ネットワークプロテクタが、単に e_2 , i , θ の三つの量によって、事故の有無および事故方向の正逆をアナログ的に判断する以上、おのずから、ある程

表 3.1 ネットワークプロテクタの機能
Function of network protectors.

プロテクタの機能	判断要素
1. 逆電流しゃ断 ネットワークプロテクタの機能	e_2 i $\theta = e_2^i$
2. 無電圧投入……(ネットワーク側無電圧、フィーダ側充電時の投入動作)	e_1 e_2
3. 過電圧投入……(ネットワーク充電時の再投入動作 —再投入とポンピング防止)	e_1 e_2 $\phi = \Delta e \cdot e_2$ $\Delta e = e_1 - e_2$
4. ヒューズによる設備保護	i time
5. 手動操作……(表 3.2 参照)	—

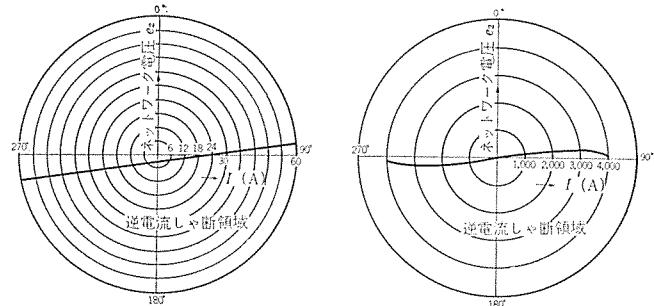


図 3.1 ネットワークプロテクタ逆電流しゃ断特性の例
Typical tripping characteristics of network protectors.

度の限界は避けられない。しかし、その特性は、一般的のネットワークにおいては、実用上なんら問題ないと考えられている。

3.1.2 無電圧投入特性

ネットワーク側が無電圧、すなわち、ネットワークに給電する全フィーダが停電の場合、いずれかのフィーダが充電されると、そのフィーダにつながれているネットワークプロテクタが閉路する特性である。

3.1.3 過電圧投入特性

一次フィーダが故障で、いったんネットワークプロテクタが開路したのち、その故障が除去され、フィーダに電圧が回復した場合のように、ネットワーク側には、すでに電圧が存在している状態での投入動作を規定する特性である。

この動作は、開極状態におけるネットワークプロテクタのネットワーク変圧器側電圧 e_1 と、ネットワーク側電圧 e_2 との差 Δe (これをフェージング電圧という)

$$\Delta e = e_1 - e_2$$

が、整定値より大きくなった場合に投入するもので、一般には e_2 と同相で、大きさ約 1V、位相は e_2 より $30\sim40^\circ$ 進みと整定される。ただし、変圧器側電圧が、ある程度ネットワーク側電圧より進んでいないと、 Δe に起因する過渡的な循環電流が、前述の逆電流しゃ断領域にはいるように流れため、ネットワークプロテクタは、過電圧投入→逆電流しゃ断をくり返す、いわゆるポンピングを発生するおそれがあるので、プロテクタは、これを避けるように考慮されている。図 3.2 は、プロテクタの過電圧投入特性の一例を示す。

3.1.4 ネットワークプロテクタの手動操作

以上に述べた三つの特性は、プロテクタに不可欠の基本的な自動的機能であるが、保守点検・試験等のために、手動あるいは手動電磁



図 3.2 ネットワークプロテクタ過電圧投入特性の例
Typical closing characteristics of network protectors.

表 3.2 プロテクタの操作
Operation of protector.

手動操作ハンドルの位置	手動によるプロテクタの動作	プロテクタの自動機能		
		逆電流しゃ断	無電圧投入	過電圧投入
開 路	開	停 止	停 止	停 止
自 動	動作せず	可	可	可
閉 路	閉	可	停 止	停 止

表 3.3 電力系統の自動復旧
Automatic restoration of power systems.

自動復旧	対象	自動復旧の手段	起動条件	
			計算機	ディジタル信号 (ON/OFF 信号を含む)(これにアナログ量をプラスすれば total system に発展する)
	系 統	計算機		
	一次変電所	変電所自動復旧		
	配電用変電所	配変、自動操作		
	配 電 緩	ネットワークプロテクタ	e_1, e_2, i のアナログ量	

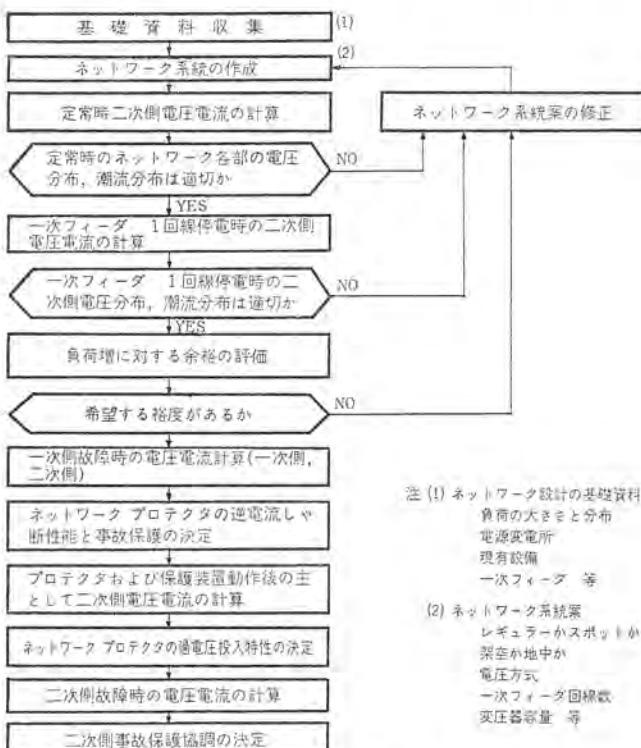


図 3.3 ネットワークシステム 設計の概要
Design concept of network systems.

操作等により制御できる機能が必要である。これは通常、開路・自動・閉路の3位置をもった手動操作ハンドルによって行なわれ、その各位置におけるプロテクタの機能は表3.2に示すとくである。すなわち、操作ハンドルが“開路”の位置では、プロテクタは開路され、自動機能が停止されてそのまま開の状態を保ち、“自動”の位置では、完全に自動運転をする。また、“閉路”の位置では、手動でプロテクタを閉路するが、閉路後の自動機能は、逆電流しゃ断機能のみ動作可能で、自動再閉路機能は停止される。

3.1.5 プロテクタヒューズによる保護

プロテクタはつぎの機能を果すヒューズを内蔵して、保護されている。

- (a) 高圧 フィーダ および変圧器の事故に対する後備保護
- (b) 変圧器と プロテクタ間、および プロテクタ内の短絡保護
- (c) 低圧 ネットワーク 格子の短絡、および地絡事故に対する後備保護

3.2 ネットワークシステムの設計

ネットワーク配電方式のかなめとなるネットワークプロテクタは、前節に示したようにいくつかの自動機能を備えており、配電線における自動復旧装置としてとらえることができる。表3.3は、電力系統の自動復旧の手段を整理したものであるが、ネットワークの場合、その起動条件が他の自動復旧装置と違って、すべてアナログ量であるため、その機能は、系統の負荷状態と系統設計、ネットワークプロテクタ特性とネットワーク変圧器特性の協調等、適切なシステム設計によりはじめ得られるものである。

図3.3は、ネットワーク系統計画に対する定量的検討の概要を示すフローチャートである。

将来、機器そのものはこのような厳密な検討を経ずとも、適当な系統に対してノーチェックの適用が可能であるよう、融通性をもたせることが最終目標であるが、少なくともネットワークユニット製作者である当社は、今後おこりうる複雑な系統条件に対して、定量的に十分つかむ必要があり、また、そのような準備を行なっている。

3.3 ネットワークユニットの設計の基礎条件

ネットワーク方式において、ネットワークユニットの果す役割、もつべき機能は、3.1節に述べたとおりである。これらの機能を十分満足する特性上の設計は、3.2節に示すシステム設計において決定されるが、この際とくに重要な点は、供給系統、ネットワーク変圧器の特性と、ネットワークプロテクタの特性の協調である。

また、ネットワークプロテクタの構造設計にあたっては、次のような諸条件を考慮することが必要である。

- (a) 形式 柱上形、地中形、屋内形
- (b) 電圧方式 人、V、電圧の大きさ
- (c) 周波数
- (d) 周囲条件 空気温度、地中形のはあい浸水の有無
- (e) 変圧器との結合 直結形か、バスダクトまたはケーブルによる結合または(f)である
- (f) プロテクタしゃ断器の電気的特性
定格電圧、電流
しゃ断容量
短時間電流
投入電流
最小トリップ電圧
- (g) 低圧第4相の取扱い
人のとき一中性相は変圧器より直接引出しとし

Vのとき一中性相はプロテクタまで通すのが標準的である

(h) しゃ断器部の取付方法

ひき出し形構造が標準的である

(i) 端子接続部の構造

3. 4 電圧方式

ネットワーク方式の計画にあたっては、低圧側電圧方式の選定が大きな課題であるが、それを考察すると、組合せとして表3.4のように、三相4線式人接続で3種類、三相3線式△接続で1種類、三相4線式V接続で1種類、そして三相4線式△接続で1種類が考えられる。

これらの電圧方式の一般比較基準を整理すれば、以下のとおりとなる。

- (1) 需要家電圧との適合性 オートトランクの要否
- (2) 将来の配電電圧への発展性
- (3) 変圧器利用率の大小
- (4) ネットワーク運転時に許容できる負荷力率範囲
- (5) 負荷管理に関する特別な配慮の要否
- (6) 標準変圧器の適用の可否
- (7) ネットワークリレーの特性解析の難易

表3.4 ネットワーク電圧方式比較表
Comparison table of network voltage systems.

接続方式	電圧	系統構成	特記事項
(I-1) △接続式 220V/240V	220Vまたは66kV 22kV/6.6kV/415V 415V(注)	400V負荷 M	①電源を2相で供給する ことができる ②100V負荷への接続は オートトランクを必要と する ③400V負荷を2相で供 給するので、負荷は 100V負荷と200V負荷 を混在する
(I) △接続式 240V/240V	220Vまたは66kV 22kV/6.6kV/210V 210V	200V電圧	①100V負荷への接続には オートトランクを必要と する
(I-2) △接続式 173V/173V	220Vまたは66kV 22kV/6.6kV/173V 173V	200V電圧	②200V負荷への接続には オートトランクを必要と する
(II) △接続式 210V	220Vまたは66kV 22kV/210V	200V電圧	③100V負荷への接続には オートトランクを必要と する
(III) △接続式 240V/240V	220Vまたは66kV 22kV/210V 210V	200V電圧	④100V、200V負荷に接 続するので、オートト ランクを必要とする ⑤負荷が混在する (人、車のECN) ⑥負荷が混在するとき、2台 必要
(IV) △接続式 240V/240V	220Vまたは66kV 22kV/210V	200V電圧	⑦100V、200V負荷に接 続するので、オートト ランクを必要とする ⑧負荷が混在する ⑨負荷が混在するとき、3台 必要

ネットワークを適切に運用するためには、ネットワークの特性を十分に握り、これに適合したネットワークユニットを設計することが必要なことは言うまでもない。

人接続および△接続は、従来から欧米で実施されてきた方式であり、解析および実績は十分なものと考えられる。しかし、わが国の低圧配電電圧は100V、200Vであるから、これらの方を適用するにはオートトランクが必要であり、その点では必ずしも最良の方式ではない。

したがって、わが国においてネットワークを実施する場合の第一の問題点は、V接続で代表されるような単相三相共用方式(表3.4のIII, IV)を用いて、オートトランクをなくするか、表3.4のI, IIに示す方式で、オートトランクを用いることはやむを得ないとして行なうか、いずれの考え方を採用するかということになる。

V接続ネットワークについて考察すると、以下の諸点をあげることができる。なお、これらのもののうち、実用上問題となるものについては、いずれも解決されており、若干の運用限界の問題はあるにしても、実施上の本質的問題にはならないということはいえる。

(1) 変圧器の利用率が小さく、人結線および△結線の場合の86.6%である。

(2) 負荷力率の許容範囲がせまい。これはとくに単相負荷の場合に著しく、おくれ50°からすすみ40°しか許容されない。この原因は図3.4に示すように、単相負荷用電源電圧(線間電圧)が、相電圧に対してa相ではすすんでいるのに対し、b相ではおくれていることにある。

(3) V接続ネットワークは、一般に異容量のすすみ共用相接続であるから、そのままでは一次系統の負担が各相不平衡となるので、変圧器の一次側の接続を適当にねん(撲)架し、一次系統の負担を各相平衡させが必要である。

(4) 200V単相負荷をc a間に接続することができないよう、負荷

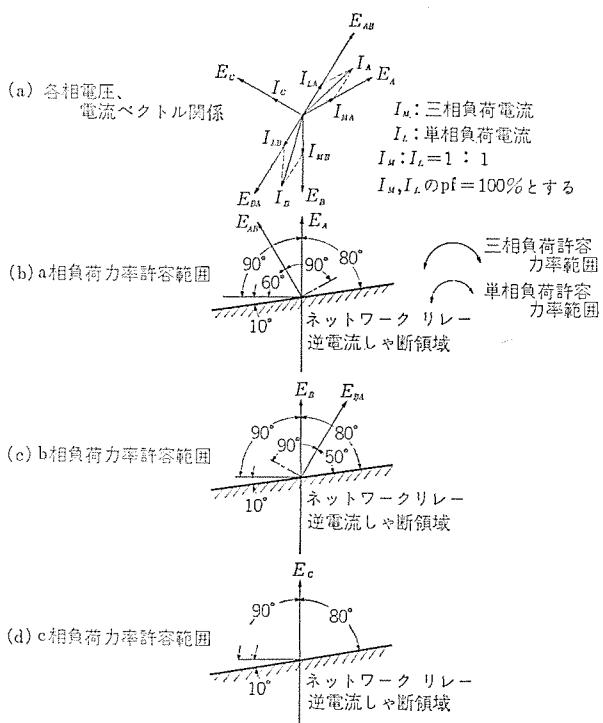


図3.4 三相4線式V接続ネットワークの負荷力率許容範囲
Power factor of the phase-four wire V-connected network loads.

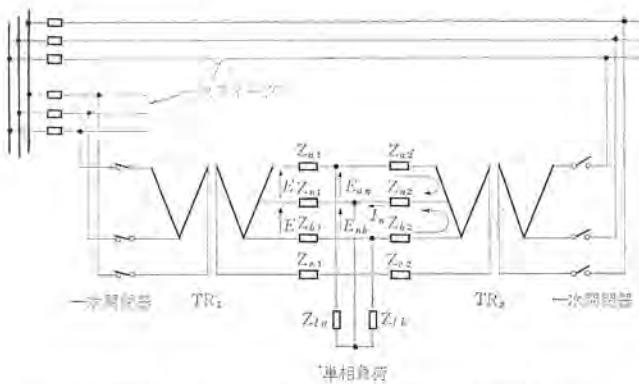


図 3.5 三相4線式V接続ネットワークのモデル
Model of the phase four wire V-connected network system.

管理が必要である。

(5) 系統条件が各相平衡でないため、下記の特殊条件が発生し、ネットワーカリーの特性の解析がそれだけ複雑になる。

(a) 負荷のため、系統電圧が當時不平衡となるので、過電圧投入特性をうるにはくふうが必要な場合がある。

(b) 中性線 (n 相) が a b 間の中点に接続されていて、各相電圧の中性点と一致していないため、a n 間 b n 間および c n 間の短絡は、それぞれ条件が異なるから注意を要する。

(6) 変圧器を逆励磁したとき、単相不平衡負荷が接続されると、中性相に電流が流れる。

この電流は、単相不平衡負荷によって不平衡となった $a - n$ 間電圧、および $b - n$ 間電圧を平衡させるために流れる一種の補償電流で、平衡化電流と称する。平衡化電流は単 3 回路の変圧器が、バランスとして作用するために流れるのであり、図 3.5 の回路の δ において、次式で与えられる。

$$I_n = \frac{E_{an} - E_{nb}}{\frac{Z_{a2} + Z_{b2}}{2} + Z_{\eta 2}} = \frac{\frac{Z_{b1} - Z_{a1}}{Z_{lb}}}{K} E \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

ただし、 K は次式で与えられる。

$$K = \left(Z_{nl1} + \frac{Z_{a2}}{2} \right) \left(-\frac{Z_{nl1}}{Z_{la}} + 1 + \frac{Z_{b1} + Z_{nl1}}{Z_{lb}} \right) + \left(Z_{nl1} + \frac{Z_{b1}}{2} \right) \times \\ \left(1 + \frac{Z_{a1} + Z_{nl1}}{Z_{la}} - \frac{Z_{nl1}}{Z_{lb}} \right) + \left(\frac{Z_{a2} + Z_{b2}}{2} + 2Z_{a2} \right) \times \\ \left\{ \left(1 + \frac{Z_{a1} + Z_{nl1}}{Z_{la}} \right) \left(1 + \frac{Z_{b1} + Z_{nl1}}{Z_{lb}} \right) + \frac{Z_{nl1} Z_{nl1}}{Z_{la} Z_{lb}} \right\} \dots \dots \dots (3.2)$$

平衡化電流は a 相および b 相に分流し、ネットワーカリレーの入力となるので、その逆励磁電流しゃ断動作に影響を与える。したがって、逆励磁電流しゃ断を行なわせるためには、ネットワーカリレーが平衡化電流の影響を受けないようにしなければならない。

V接続ネットワークには、うえに述べたような問題点があるが、当社では、とくに(5)と(6)について理論的解析、およびネットワーク模擬系統における各種試験を行なった結果、すべて解決することができた。

V接続ネットワークは、いくつかの問題点を含んでいるにもかかわらず、わが国独自の方式として実現への努力が払われてきたのは、オートトランクなしで 100 V 200 V 負荷に供給することができるという利点が重要視されているからである。

なお、三相4線式△接続でも100V 200V負荷に直接供給することができるうえ、変圧器利用率が大きいという利点はあるが、変圧器は、単相用のときは3台必要で、Y接続の場合より大きくなる

という欠点があるほか、系統的にはV接続と同様の問題があるうえ、c a 間の変圧器、および負荷のネットワークリレーへの影響など未検討の点も多く、現在のところ実用化されていない。

それでは、Vまたは△接続の単相三相共用方式と、人接続と、どちらが今後普及するかという第二の問題がある。スポットネットワークにおいては、人方式が用いられることはほとんど常識と考えられているが、レギュラネットワークにおいては、架空式か地中式かというネットワークの形式との関連において考えなければならない。

3.5 三菱電機のネットワークプロテクタ

当社のネットワークプロテクタは、昭和34年に開発されたのち、各電力の配電関係者の絶大な協力によって、数か所に採用され、表3.5のように実に82台にのぼる実績となった。なお、そのうち異容量V接続三相4線式ネットワーク方式は、世界でも例のないもので、当社はこれの開発にも努力した結果、35台の納入実績をみている。

一般地域の架空ネットワーク系統においては、装柱重量の制限から、だいたい三相容量300～400 kVAがほぼ限界と考えられる。一方、地中方式の場合は、今後最良の電圧方式が選ばれてくるであろうが、容量のうえでは、2,000 kVAあるいはそれ以上の変圧器容量のスポットネットワークが出現する可能性があり、当社はこれらについての研究を行なっている。

4. レギュラネットワーク

4.1 架空式レギュラネットワーク

(1) 電圧方式

架空式 レギュラネットワークにおいては、装柱重量の制限、都市美観の維持の点から、できるかぎり装柱機器の種類を少なくし、かつ各機器、中でもネットワークユニットを小形・軽量化することが必要である。

表 3.5 三菱ネットワークプロテクタ納入実績表
List of Mitsubishi network protectors supplied.

(a) 架空式ネットワークプロテクタ

製作 年度	プロテ クタ形 式記号	構造	変圧器 定格容量 kVA	使用系統	プロテクタ定格				備考		
					電圧 V	連続 A	しゃ断 電流	投入 kA	C B 形式	納入先	台数
昭和 34年	C M (44)	柱上式	3×30 or 3×50	6.6kV/173V  (173V/100V) △	210	800 (1,200A 2時間)	A C 220V 10,000A		N F - 800 改造	関西 電力 (千日前)	25
昭和 39年	C M (44S)		3×50 or 3×75	6.6kV/210V  (210V/121V) △	210	800 (1,000A 2時間)	A C 220V 10,000A		N F - 1000 改造	九州 電力 (脊通)	
昭和 40年	C M (45)	柱上式	3×100 (2×100 +1×100)	6.6kV/210V  (210V/105V) △	210	1,000 (1,500A 2時間)	A C 220V 25,000A 接線電圧 30~25V	60	D B P -10	関西 電力 (河原町)	29
昭和 41年	C M (45)		3×100 kVA	6.6kV/173V  (173V/100V) △	210	1,000 (1,500A 2時間)	A C 220V 25,000A	60	D B P -10	関西 電力 (千日前)	
昭和 42年	C M (44)		100+30	6.6kV/210V  (210V/105V) △	210	500A (750A 2時間)	AC 220V 10,000A	20	N F - 1000 改造	中部 電力 (大須)	2

(b) 基本式ネットワークプロトコル

製作 年度	プロテ クタ形 式番号	構造	変圧 器 定格容量 kVA	使用系統	プロテクタ定格				備考		
					電圧 V	連続 A	しゃ断 電流	投入 KA	CB 形式	納入先	台数
昭和 41年	C M (33S)	地中式 (浸水運 転可能 形)	200+100 (3φ)	3.3kV/210V  (210V/105V)	250	1,600 8時間	AC250V 30,000A	69	DB- 50P	東京 電力 (銀座)	4

V接続ネットワークはすでに述べたように、架空式レギュラネットワークの必要条件を満足するという、他の方式にない利点も有るので、400V配電が実施されるまでは、架空式レギュラネットワークの主力方式の一つとして使用されるものと考えられる。

なお、210Vまたは173Vの人接続方式も、200V負荷と100V負荷比率の将来の見透しによっては、オートトランクの必要量が想定可能となり、架空式レギュラネットワークの電圧方式の一つとして使用されることが考えられる。

(2) プロテクタヒューズ、リミッタ

レギュラネットワークの保護は図4.1(a)に示すように、ネットワークプロテクタ、プロテクタヒューズおよびリミッタが一体となって行なうべきもので、プロテクタヒューズをネットワークプロテクタ内に収納し、リミッタをネットワークプロテクタの端子に接続するのが理想的である。

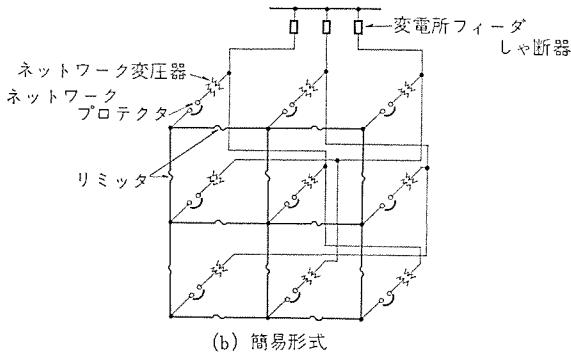
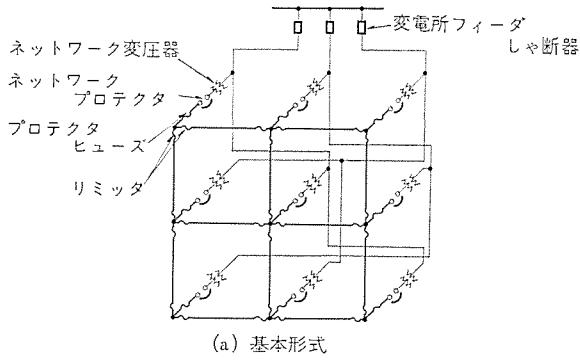


図4.1 レギュラネットワークの構成
Regular network systems.

しかし、従来は小形・軽量で特性のよい低圧ヒューズがなかったため、うえに述べた要求を満たすネットワークプロテクタは、大形となり、小形・軽量という架空式レギュラネットワーク用機器への要求に合致しなかった。このため、架空式レギュラネットワークにおいては、図4.1(b)に示すような保護を行なうことが多かったが、当社では最近、小形・軽量で特性のよい低圧ヒューズの開発に成功し、一部では既設ネットワークプロテクタにプロテクタヒューズを収納し好結果を得ている。

(3) 三菱柱上形ネットワークプロテクタ

三菱柱上形ネットワークプロテクタの標準定格例を表4.1に示す。装柱重量の制限から、だいたい三相容量300~400kVAがほぼ限界で、この程度のネットワークプロテクタが、一般地域の架空式ネットワークにおいては最も容量が大きく、経済的である。

4.2 地中式レギュラネットワーク

(1) 電圧方式

地中式レギュラネットワークにおいては、スペース上、および重量上の制約条件は架空式ほどではない。ただし、構造上の要求としては、浸水式にする必要があり、冷却等技術的な問題が若干ある。

表4.1 三菱架空式ネットワークプロテクタの標準定格例
Ratings of Mitsubishi overhead network protector.

定格電圧 kV	定格容量 kVA	定格電流 ×1.5 A	ネットワークトランク		ネットワークプロテクタ					
			定格電流 A	予過負荷 (2または 8時間)	気中しゃ断器				定格電圧 V	定格しゃ断電流 kA
					形式 (他称)	目標定格 電流 A	定格電圧 V	定格しゃ断電流 kA		
6/0.2 0.1	3φ 300 kVA	1360								
6/0.2 0.1	3× 1φ 100 kVA	1360	1000	1500	DBP-10	1500	250	25	25	

地中式レギュラネットワークの電圧方式の選定については、つぎに述べるような二つの観点がある。

まず、なんといっても低圧配電電圧100V 200Vに適合し、オートトランクなしで需要家に供給できるV接続ネットワークは、わが国の実状に適合しているように思われる。

しかし、一方では地中式ネットワークにおいては、ネットワーク変圧器は三相用として構成されているため、V接続でも他の接続でも、変圧器は三相用1台でよく、実質的には差がない。また、配電電圧が100V 200Vであることに制約されて、変圧器容量が制限を受ける。地中化のぼう大な設備費を考えると、将来の400V配電に結びつけるには、レギュラネットワークにおいて400V受電の効果をPRしていくことは、将来に対して効果があるとするならばたとえオートトランクが多くなっても、将来の400V配電に結びつく電圧方式を採用することがよいという考え方もある。

(2) プロテクタヒューズ、リミッタ

地中式ネットワークプロテクタにおいては、スペース上の制約条件が架空式ほどでないことから、プロテクタヒューズをネットワークプロテクタ内に収

表4.2 三菱地中式ネットワークプロテクタの標準定格例
(定格電流は0.4kVのばあい440V 0.2kV)
(のばあい220Vについての計算値を示す)
Comparison of Mitsubishi standard underground network protectors.

定格電圧 kV	定格容量 kVA	定格電流 の150% A	ネットワークトランク		ネットワークプロテクタ				
			備考	定格電流 A	予定過負荷 A (2時間)	しゃ断器			
						形式 (呼称)	目標定格 電流 A	定格電圧 V	定格しゃ断電流 kA
20/0.4	3φ 2500	4900	5150A	3330	4900	DB-150	5000	500	85
	3φ 2000	3940	4120A	2570	3940	DB-100	4000	500	85
	3φ 1500	2940	3070A	2000	2940	DB-75	3000	500	65
	3φ 1000	1960	2050A	1330	1960	DB-50P	2000	500	50
	3φ 800	1550	1660A	1070	1550	DBP-10	1600	500	30
	3φ 500	980	1022A	670	980	DBP-10	1000	500	25
6/0.4	3φ 1000	1960	2050A	1330	1960	DB-75	2000	500	50
	3φ 800	1550	1660A	1070	1580	DB-50P	1600	500	30
	3φ 500	980	1022A	670	980	DBP-10	1000	500	25
	3φ 300	590	618A	400	590	DBP-10	600	500	25
20/0.2	450+300	3075	—	2050	3075	DB-100	4000	500	85
	300+200	2050	—	1365	2050	DB-75P	3000	500	65
6/0.2	200+100	1360	—	1000	1500	DB-50P	1600	250	30

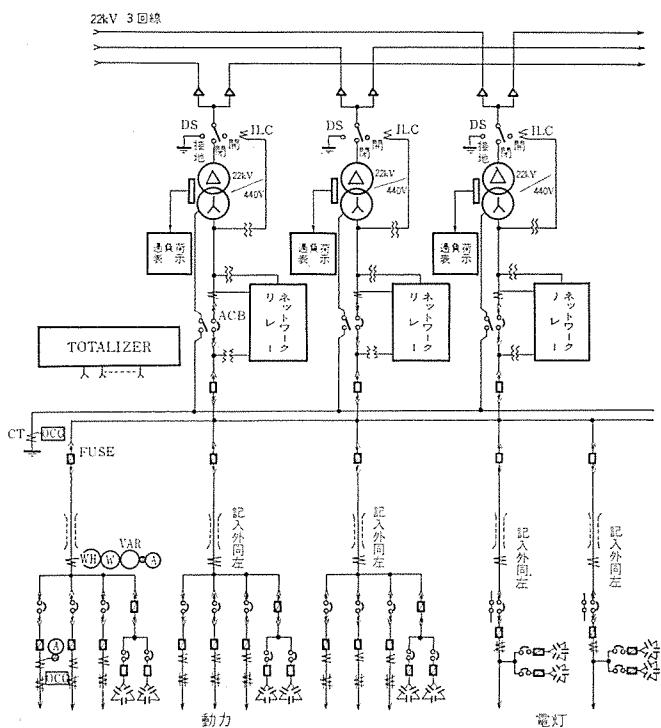


図 5.1 (b) スポットネットワーク受電設備スケルトン例
Example of skeleton diagram for spot network receiving system.

いようなインタロック装置を設ける。

(3) ネットワークプロテクタ

ネットワークプロテクタはスポットネットワーク方式の中核部とも称すべきもので、ネットワーク変圧器とネットワーク母線は、本装置を介して接続され、一次側事故時には自動開路してネットワークを保護し、一次側フィーダ復旧時には、これを検出して自動閉路し、正規状態に自動復旧せしめるものである。

ネットワークプロテクタの諸機能は、別項に記述されているとおりであるが、適用にあたっては、これら諸機能を満足に行なわしめるため、一次系統から低圧側までを十分は握・検討する必要がある。

上述のように、ネットワークプロテクタはスポットネットワーク方式の心臓部にあたるため、これに使用する機器は十分吟味した高信頼度のものを使用する必要があることもちろんあるが、その定格の選定に際しては、ネットワーク変圧器の過負荷定格に適合したものとすることに注意しなければならない。

表5.1に、当社屋内用低圧ネットワークプロテクタの標準定格例を示す。

(4) ネットワークヒューズ

スポットネットワーク方式では、その性格上1個所に多数の大容量電源を並列に接続する関係から、低圧側事故時の短絡電流は150kA以上に達することができるので、このような大電流を十分しゃ断し得る高信頼度のネットワークヒューズが不可欠になる。

これらのヒューズは、プロテクタと直列に接続して、ネットワーク変圧器からネットワーク母線間の事故時に動作させるヒューズ（プロテクタヒューズ）と、ネットワーク母線から負荷点へ給電する低圧幹線を保護する引出し幹線保護ヒューズに大別されるが、適用に際しては以下の事項に注意する必要がある。

(a) しゃ断性能が実証されている高信頼度製品であること

表 5.1 三菱屋内用低圧ネットワークプロテクタの標準定格例
(定格電流は0.4kVのばあい440V 0.2kVのばあい220Vについての計算値を示す)
Standard ratings of Mitsubishi indoor low voltage network protector.

定格電圧 kV	定格容量 kVA	定格電流 の150% A	備考	ネットワークプロテクタ			
				定格電流 A	予定 遮れ電流 A (参考値) (呼称)	しゃ断器 形式	標準定格 遮れ電流 A
20/ 0.44	3φ 2500	4900	420Vの場合 5150A	3330	4900	DB-150	5000 500 85
	" 2000	3940	4120A	2670	3940	DB-100	4000 500 85
	" 1500	2940	3070A	2000	2940	DB-75	3000 500 65
	" 1000	1960	2050A	1330	1960	DB-50P	2000 500 50
	" 800	1550	1660A	1070	1550	DBP-10	1600 500 30
	" 500	980	1022A	670	980	DBP-10	1000 500 25
6/0.4	" 1000	1960	2050A	1330	1960	DB-75	2000 500 50
	" 800	1550	1660A	1070	1580	DB-50P	1600 500 30
	" 500	980	1022A	670	980	DBP-10	1000 500 25
	" 300	590	618A	400	590	DBP-10	600 500 25

- (b) 保護協調がとれていなければならぬこと (5.4節参照)
(c) 保守点検が安全かつ容易に行ない得る取付け構造とすること

ネットワークヒューズの取付け構造はすべて自動連結構造を採用するので保守点検のための断路器を要しない。

(5) 計測

取付け用計量装置は低圧側に設置されるため、多回路計量装置が必要となる。多回路計量方式には、CT合成方式と、パルス合成方式の2種類があるが、おののの詳細については別項に記述されているので参照されたい。

なお需要家側でネットワーク変圧器二次側の諸量の監視計測は自動運転のため、本来必要ではあるが、管理上必要ならば、ネットワークリレー用変成器とは別個の変成器を附加して計測することが可能である。この際は自動運転設備であることにかんがみ記録計器を併用取付けることが望ましい。

(6) 非常用自家発電設備

上位変電所およびそれ以上の上位系統の事故時にはネットワーク系統は全停となるが、このような万一の場合にそなえて従来方式におけるのと同様に非常用自家発電設備が装備されるが、ネットワークリレー不要動作防止のため、非常用自家発電機と買電系統との並列運転は絶対に行なわれることがないよう、確実にインタロックをほどこしておかなければならぬ。

なお非常用自家発電機と取引用MOFの接続位置に関しては、二、三、配慮検討すべき事項があるが、5.3節(2)項に記載されているので参照されたい。

(7) 負荷設備

照明機器、電動機類等の末端機器そのものはもちろん従来方式におけるものとまったく同様のものでよいわけであるが、スポットネットワーク方式では、従来方式に比べ一般的に低圧側短絡容量が増大するので各地点における短絡容量をは握し、各分岐回路にはトライパックを使用する等短絡事故時の保護を確実にしておくことが必要である。

また総合負荷力率が極端に進み、あるいは遅れになるとネットワークプロテクタ動作に不都合をきたすため力率改善用コンデンサは自動制御することが望ましい。

5.3 ネットワーク受電設備

ネットワーク受電設備の具体設計に際しては、以下に述べる事項を総合的に検討し、明確にしておく必要がある。

(1) 系統検討

供給変電所から全受電点および需要家内低圧回路末端までを包みした回路について、以下の点について技術的に問題ないことを確認する必要がある。

(a) 保護協調

(b) ネットワークプロテクタが支障なく動作するか

(過電圧投入、無電圧投入、逆電流しゃ断、ポンピング発生)
可能性の有無

(2) 受電設備スケルトン

非常用自家発電設備と MOF の接続位置については図 5.2 に示すように 3 種類の基本形式が考えられる。

A 形式～C 形式は MOF の位置と責任分界点との関連の強さ、ならびに非常用自家発電機の位置に対する考え方等によって相違してきたものである。

A 形式は、非常用発電機等従来の受電設備と同様に配置する原則に起こっているが、MOF と責任分界点との関係は別に明確にしておく必要があろう。B 形式の場合は非常用自家発電設備が共通設備となり、財産区分、管理区分を明確にする必要があると同時に、取引用計量装置の指示から自家発電量を差し引いた値で取引きしなければならないという問題を解決しておく必要がある。

C 形式の場合は各分岐点ごとに自家発電設備を接続することになるが、分岐点には引込線一括開閉用しゃ断器が必要である。

なお、B 形式 C 形式の場合には MOF の関係上原則としてネットワーク母線に直接機器を接続することができないわけであるが、PT 等の接続はどうしても必要なことが多いと思われる。また、総合負荷力率の調整には最終段調整用としてネットワーク母線に直接力率改善用コンデンサを接続することが望ましいが、B 形式、C 形式では各分岐点ごとに管理調整しなければならない。

図 5.1(b) には低圧スポットネットワークの例を記載したが、負荷および建物の規模などの関係から 6 kV または 3 kV 高圧スポットネットワーク方式のほうが優利な場合があり得るが、この場合はプロテクタに使用するしゃ断器は、しゃ断容量を十分持っている磁気しゃ断器とし、ネットワーク母線～ネットワーク変圧器間の事故に対しては、過電流リレーと組合せてこれを除去する方式を適用しヒューズは使用しない形式となる。

(3) 変電所形式およびレイアウト

変電所形式は使用機器の種類によって乾式形式と油使用形式に大

別されるが、電気室の環境条件、各形式の長短を検討して決定されねばならない。二次側が低圧の場合は、しゃ断器は気中しゃ断器が使用される関係上、変電所形式を決定する主要機器はネットワーク変圧器となる。以下に各形式の特長を示す。

乾式の特長

- (a) 不燃性、非爆発性である
- (b) 軽量、小形
- (c) 据付、保守点検が容易
- (d) 設置場所に制約を受けることがない
- (e) 外観が美しい

油入式の特長

- (a) 安価である
- (b) 自冷式
- (c) 本体部はキューピタルに収納する必要がない
- (d) 全装可搬が可能

電気室レイアウト計画に際しては、変圧器ユニットとネットワークプロテクタはできるだけ一個所にまとめて設置するように計画することが望ましいが、スペース上許されない場合は変圧器ユニットとネットワークプロテクタを別室等に切り離して設置しても支障はない。この場合には各ユニットの接続には、バスダクトを使用する無事故化に対する配慮が必要である。

一例として乾式変圧器を使用した配列例を図 5.3 に示す。

(4) 管理上の諸問題

スポットネットワーク方式による受電設備は今後増加するものと予想されるが、本方式の特長を活かし円滑な運用を期すためには、関連当事者間において、次の諸点を明確にしておく必要がある。

- (a) 保守管理分界点
- (b) 操作指令分界点
- (c) 財産区分
- (d) 工事負担金

本方式による高信頼度受電設備の普及発展のためにも上記諸問題の一般的取りきめが行なわれることを切望する次第である。

5.4 保護方式の検討

一般に、スポットネットワーク系統における変圧器は容量が大きく、大きな故障電流が流れるが、高低圧事故に対して、系統全体の保護協調がとれていなければ、スポットネットワーク系統全体を停電に至らしめる場合があり、保護方式の検討には注意が必要である。

図 5.4 は、22 kV/400 V 級スポットネットワーク系統の保護方式の一例を示すものであるが、変電所における一次(22 kV)側フィーダーしゃ断器から、プロテクタヒューズまでの最も基本的な保護装置の動作協

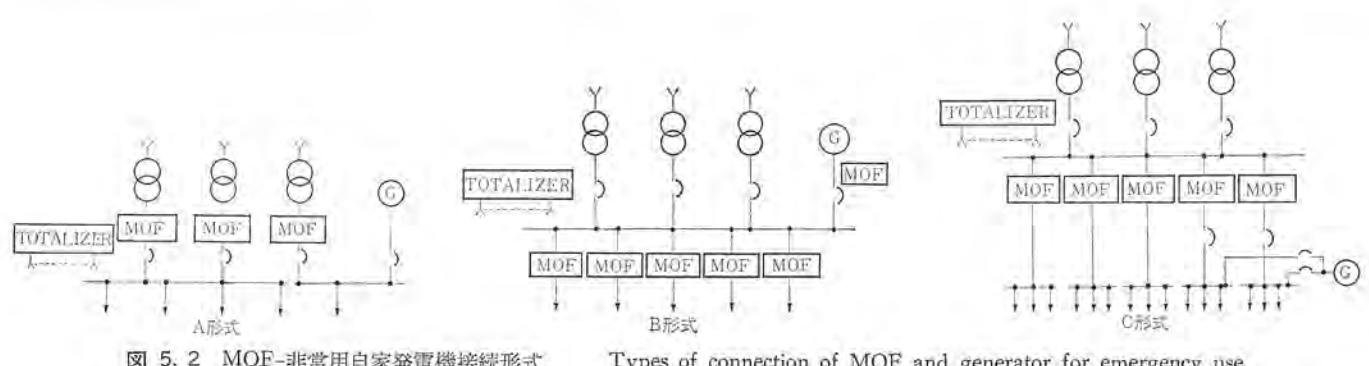


表 5.2 ネットワーク変圧器ユニット形式
Types of network transformer units.

ネットワーク変圧器ユニット形式	ネットワーク方式
気中式一次断路器(キューピクル内収納)+乾式変圧器	
気中式一次断路器(キューピクル内収納)+不燃油入変圧器	スポットネットワーク
油入式一次断路器(変圧器本体直結式)+不燃油入変圧器	
気中式一次断路器(キューピクル内収納)+油入変圧器	レギュラネットワーク
油入式一次断路器(変圧器本体直結式)+油入変圧器	

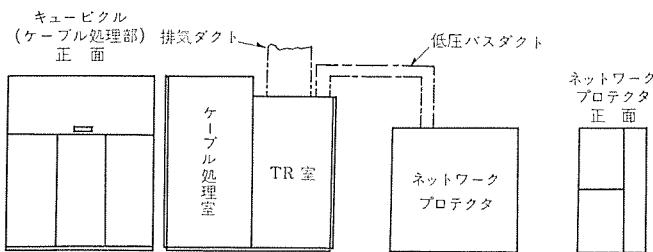


図 5.3 乾式変圧器を使用したユニット配列例
Typical layout arrangement for network unit using dry type transformer.

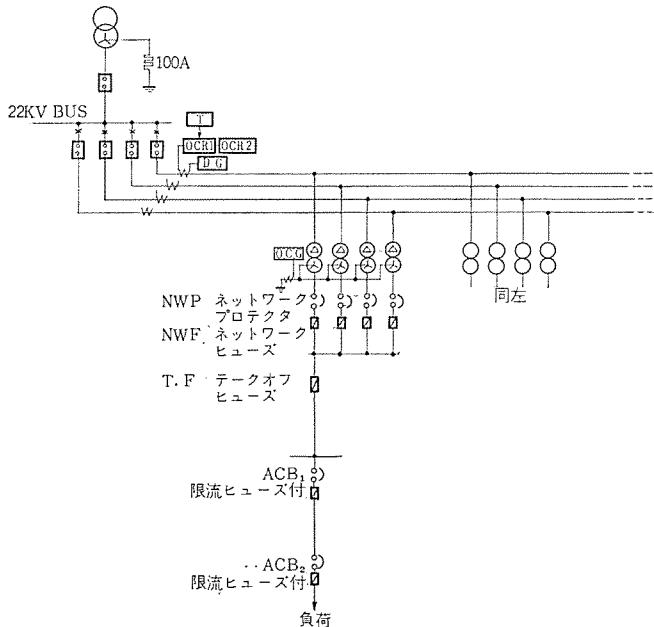


図 5.4 スポットネットワーク系統保護方式の例
Example of spot network protection system.

調は、下記のような特性を持っていなければならない。

(1) ネットワークプロテクタのしゃ断容量は、ネットワーク変圧器の一次側事故時に、プロテクタを通過する最大事故電流より大きいこと。一次側事故時の最大故障電流は、変圧器の一次側端子における三相短絡時に流れる。

(2) ネットワーク変圧器の一次側、22kV系統における事故に対しては、ネットワークプロテクタは、プロテクタヒューズより先に、逆電流しゃ断動作すること。

(3) プロテクタヒューズのしゃ断容量は、ネットワーク変圧器二次側における事故時の最大事故電流より大きいこと。変圧器二次側事故時の最大故障電流は、変圧器—プロテクタ間の三相短絡時に流れるが、この電流は、ネットワークユニットの数が多いほど大きくなる。

以上の関係を概念的に図示すれば、図 5.5 のようになる。

図 5.6 はネットワーク変圧器容量を 1 台当り 1,500 kVA (パーセントインペーダンス 7%) のばあいの、ネットワークユニット数 (22kV フィーダ回線数

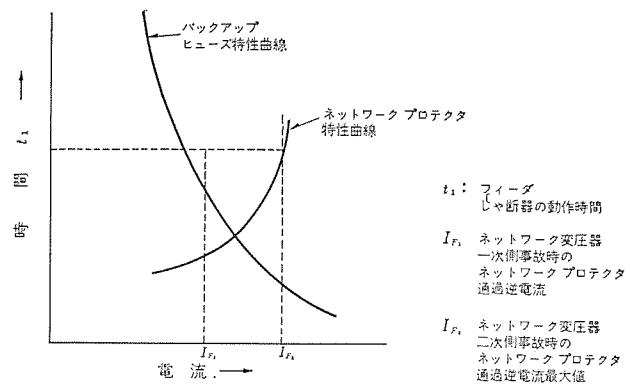


図 5.5 スポットネットワーク保護方式の基本特性
Basic characteristics of spot network protection system.

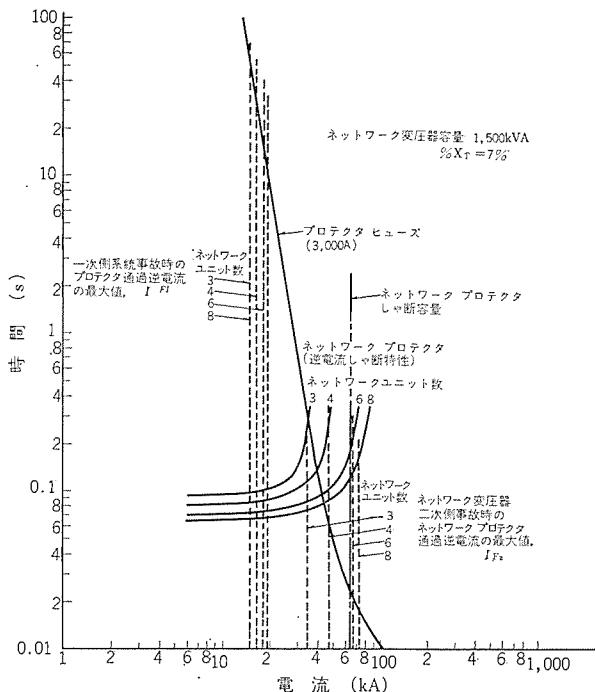


図 5.6 保護協調曲線
Coordination in network systems.

も同じ) が 3 ~ 8 台に対する保護協調曲線の実例を示すものである。

6. むすび

低圧ネットワーク方式は、従来の樹枝状配電方式に比べ大幅に考え方の異なるものだけに、これの導入には数々の検討がなされるであろう。

しかし、ネットワーク方式は、以下のようない由によってやはり都市配電近代化には不可欠な配電方式であり、今後ますます増大していくものと思われる。

- (a) 信頼度が高い
- (b) ケーブル計画上の自由度が高い
- (c) 変圧器の大容量化が可能となり、経済的である
- (d) 電力消費の増大に対処することが容易で、また電力利用そのものを促進しよう
- (e) 都市美化
- (f) 一次しゃ断器の省略

本文では、レギュラネットワークとスポットネットワークについての概要を紹介したが、これが配電の技術的進歩に対して何らかのご参考とな

ることができれば幸いであり、今後いっそらのご批判とご指導をお願いしたいと考えるものである。

参考文献

(1) 森：三菱電機技報、40, No. 5, 1966 (昭 41)

- (2) Westinghouse El. Co. : Electric Utility Engineering Reference Book, 3, (Distribution Systems) (1959)
- (3) 東松：近代低圧配電方式 (昭 40) 電力社
- (4) NEMA Standards for Network Protectors (NEMA Publication No. SG 3.1—1954, June, 1954)

三菱特高 (20, 30 kV) 不燃式閉鎖受変電設備

福田 信夫*・田 和 穂*

Extra, high tension incombustible substations for building use

Itami Works Nobuo FUKUDA・Yutaka TAWA

About Mitsubishi 20 and 30 kV class receiving substations equipment for building use, much effect has been kept paid through the development of selfcontained apparatus and logical arrangement of equipment since the machine No. 1 was built in 1954 so as to make the size smaller by bringing the air insulation to the critical minimum. Especially class H dry type transformers have marked a good number of actual results by eliminating the fear of firehazard. The latest trend of enormous increase of power demand in overcrowded areas of cities has brought about the application of a spot network system to distribution lines by public utilities. Herein are described the recent tendencies on extra high tension cubicles and dry type transformers.

1. まえがき

経済の発達と人口の都市集中は、ビルの林立を生み、都市部において電力需要の過密化を招いた。これに対応するビルの付帯設備として、受変電設備の動向にはめまぐるしいものがある。わが国では、早くから 20, 30 kV 受電がビルに採用され、最近のビルの大形化は、ますます電力供給の信頼度向上が求められるようになった。ビル受電設備が昔の単独設置から一括してキュービクルに収納され、安全性と信頼度を向上させたのは、当然のなりゆきである。

当社特高キュービクルは、昭和 29 年、東京伊勢丹百貨店に 1 号器を納入以来、その内蔵機器の開発と合理化により、大幅な寸法縮小に成功した。とりわけ油なし受電設備として、H 種絶縁乾式変圧器は火災の懼れを全くなくしたことで高く評価されている。乾式変圧器も以前は限られた主力メーカーでしか製造できなかったが、最近では、ほとんどの重電メーカーで製作され、広く認識されるようになった。当社は早くから製作に着手し、東京丸の内周辺では、三菱地所仲 2 号館ビル、仲 12 号館ビル、大阪では朝日新聞社本社ビル等に、三相 22 kV 5,000 kVA、このクラス国内最大容量変圧器を納入したのをはじめ、数多くの製作経験を誇っている。以下乾式変圧器を中心として、当社ビル用受電設備の概要を説明し、あわせて最近の傾

向にふれる。

2. ビル用 (20, 30 kV 級) キュービクル

2.1 特高キュービクルの概要

ビル用受電設備は設置場所が最下階となることが多く、昨今は据付スペースの縮小と、取扱いの安全のためキュービクル式とすることが常識化されているが、さらに火災に対する処置としてキュービクル全体を不燃化することが非常に多く採用されている。油を使っている機器、OCB・油入 CT・油入 TR・MOF 等を使用する場合は大がかりな消防設備を要するとともに、常に火災の危険にさらされているので、受電設備を不燃化することはビルの保安上欠くべからざる条件となっている。当社では昭和 29 年 8 月、国際観光会館へ乾式変圧器・空気しゃ断器を使用した不燃化キュービクルを納入し、以来今日まで多数の納入実績を有しており好評に運転中である。機器としては不燃化のため空気しゃ断器・H 種絶縁乾式変圧器・乾式変流器（ときには乾式計器用変圧器も使用する）等があるが、電力会社より支給される MOF については現在のところ乾式のものはなく、とくに顧客より電力会社へ依頼して不燃性油入のものを使用する以外は、普通の鉛油入りを使用されることが多く、唯一の盲点となっている。

主変圧器については、不燃化の条件を満たす不燃性油入式もあるが、保守・安全性・小形軽量等多くの点で乾式変圧器のほうがすぐれており、ビルの特殊性にマッチすることからほとんど乾式変圧器が用いられている。表 2.1 に当社の代表的な乾式変圧器を用いた特高キュービクルの納入実績を示す。特高キュービクルの特長については、一口で言えば、安全で信頼度が高く、保守点検、取扱いに便利であることとなるが、三菱電機技報、40 卷 No. 12 に詳述するため省略する。

2.2 キュービクル内蔵機器の概要

将来の都市配電に備えて、最近の市街地の電力需要過密化で、スポットネットワーク方式の採用が検討されているが、既設の配電方式は、ほとんどが 2 回線方式を採用している。一部には 1 回線の場合もあるが、受電の不安定はまぬがれない。2 回線受電の内訳は電力会社の送電方式、および受電容量によって異なり、ループ方式・常用予備線方式・平行 2 回線方式などがある。

ビルの受電容量は、ビルの大きさと電力会社との契約電力からも制

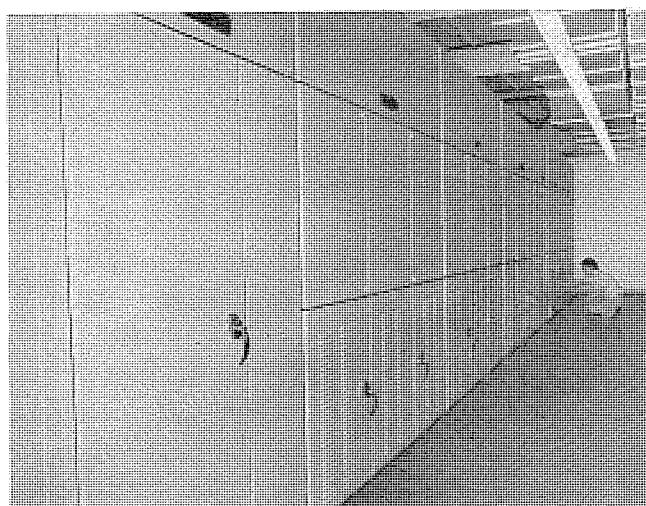


図 1.1 20 kV 特高キュービクル据付例
Installation of 20 kV class dry type cubicles.

表 2.1 ビル用特高 キューピクル 納入実績 (変圧器 2,000 kVA 以上)
 List on actual delivery of extra high tension cubicles for building use (above 2,000 kVA).

地 域	納 入 場 所	受 電 様 式	受 電 容 量	変 電 電 壓	納 入 期 日
東 京 電 力	伊勢丹デパート	20 kV 1,000 MVA×2 回線	3,500 kVA×2	22/3.3 kV	昭 37- 7
	鉄道会館	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,250 kVA×2	22/3.3 kV	29- 9
	鉄道会館		4,000 kVA×1	22/3.3 kV	39- 2
	東京ビル		2,000 kVA×3×1	22/3.3 kV	39- 5
	大蔵省印刷本局庁舎	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×3	22/3.3 kV	37- 7
	新東京ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	5,000 kVA×2	22/3.3 kV	37-12
	仲12号館	20 kV 1,000 MVA×2 回線	5,000 kVA×1	22/3.3 kV	39-11
	有楽町国際ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×2	22/3.3 kV	40- 8
	帝劇会館	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×2	22/0.415 kV	40-11
	地下鉄ビル(屋外用)	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,250 kVA×2	22/0.415 kV	41- 5
	地下鉄ビル(屋外用)		2,250 kVA×1	22/3.3/0.415 kV	
	明治生命ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,000 kVA×2	22/3.3 kV	41-11
	小田急Aビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×2	22/0.42 kV	42- 6
	小田急Aビル		3,000 kVA×1	22/3.3 kV	42- 6
	建設省骨縫局	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×1	22/3.3 kV	42- 1
	建設省營繕局		3,000 kVA×2		42- 1
	建設省第二庁舎ビル		2,000 kVA×2	22/3.3 kV	
製作中					
関 西 電 力	近鉄あべのデパート		3,500 kVA×1	22/3.3 kV	昭 39- 9
	阪神ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,000 kVA×2	22/3.3 kV	32- 5
	阪神ビル		2,000 kVA×1	22/3.3 kV	32-12
	大丸神戸デパート	30 kV 1,000 MVA×2 回線	3,000 kVA×1	22/3.3 kV	39- 5
	大丸大阪デパート		3,000 kVA×2	22/3.3 kV	37- 3
	梅田地下街	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×2	22/3.3 kV	38- 7
	大丸京都デパート		3,000 kVA×2	22/3.3 kV	39- 3
	京都直瀬観光センター	20 kV 1,000 MVA×2 回線	3,000 kVA×3	22/3.3 kV	39- 3
	朝日新聞社ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	5,000 kVA×2	22/3.3 kV	39- 5
	西阪神ビル	20 kV 1,000 MVA×3 回線	2,300 kVA×3	22/0.44 kV	41-11
	朝日新聞社		2,000 kVA×2	22/0.44 kV	
製作中					
中 部 電 力	愛知県産業貿易会館	30 kV 1,500 MVA×3 回線	3,000 kVA×1	33/3.3 kV	昭 37-10
	名古屋市水道局	30 kV 1,500 MVA	3,000 kVA×2	33/3.3 kV	39- 6
	名古屋市役所	30 kV 1,500 MVA	2,000 kVA×2	33/0.44 kV	40-12
	名古屋市役所		2,000 kVA×1	33/6.6 kV	40-12

表 2.2 特高 キューピクル のおもな仕様
Specifications of extra high tension cubicles.

形 式	屋 内 用 T M 形	
定 格 電 壓	23,000 V	34,500 V
定 格 電 流	600 A	600 A
母線定格電流	600 A	600 A
定 格 周 波 数	50, 60 c/s	60 c/s
定格短時間電流	24,100 A, 2 秒	24,100 A, 2 秒
絕 緣 階 級	20 B 号	30 B 号 (AC 70 kV Imp 170 kV)
準 備 規 格	JEM-1153 JEM-1114-準 F 形	JEM-1153 JEM-1114-準 F 形
外 面 の 表 面 处 理	メラミン塗装焼付 7分つや	メラミン塗装焼付 7分つや

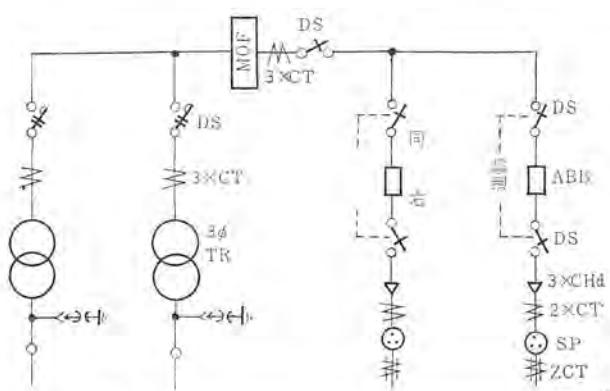


図 2.1 ビル用特高キューピクルの単線接続
Schematic connection diagram of receiving equipment for building use.

約を受ける。一般に建坪 25,000 m² (8,000 坪) 程度のビルなら 10 MW 程度であり、20, 30 kV 級の契約電力は 1,000~10,000 kW 程度の範囲であると考えてよい。主変圧器は 2 バンク 設置が標準で、単器容量最大は 6,000 kVA 程度となる。二次側 400 V 級の場合は、二次側しゃ断器の定格から制約を受けるため、単器最大容量は 3,500 kVA 程度となる。受電点のしゃ断容量はビルの電力設備容量に関係なく、受電系統のみによって決定されるものであり、電力会社から指示されるが、20 kV 系統で 1,000 MVA, 30 kV 系統で 1,500 MVA をこえることがないと考えてよい。当社特高キューピタルのおもな仕様は表 2.2 に示す。図 2.1 はその単線結線図を示す。

2.2.1 主变压器

主変圧器はH種絶縁乾式風冷式を標準とし、キュービクルに組込んだ場合、わく組の一部が風どうをかねる構造としている。乾式変圧器の標準は三相 750~5,000 kVA であり、変圧器 キュービクルには、主変圧器のほかに、隔壁を介して、一次側励磁電流開閉用断路器1台、変圧器保護リレー用計器用変流器1組、二次側3kV級の場合、静電放電器1組、400V級の場合、静電蓄電器1組を収納している。変圧器 キュービクルは、コイル下部で上下方向に2分割し、下部に冷却ファンを取付け、温度計・スペースヒータ・低圧制御配線等を取付け、前面に風取入窓を設けている。冷却風は直接コイルに吹付けられるので、ナイロンウール、ナイロン製マット等のフィルタを取付けている。エアフィルタの取扱いが簡単にできるよう蓋部容易な構造とし、最近では洗

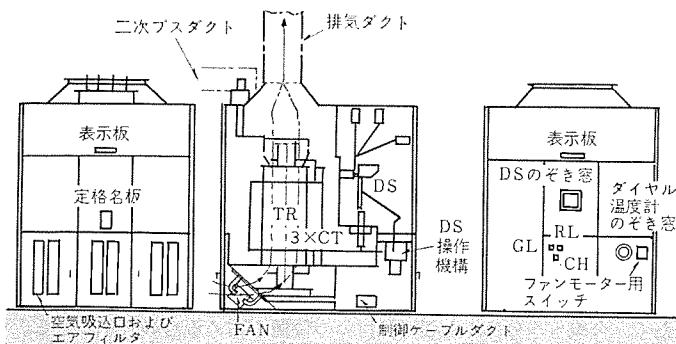
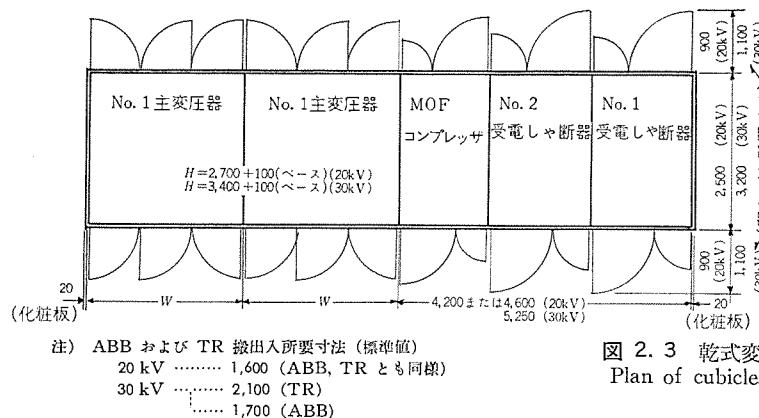


図 2.2 主変圧器(乾式)キュービクル構成
Block diagram of type main transformer cubicle.



淨のきくものを採用している。

冷却風排気口はキュービクル上部に設け、直接ダクトで外部へ放出するのをたてまえとする。変圧器のタップ切換は、正面とびらをあけ簡単にできる構造としている。キュービクルの構成は図2.2に示す。

2.2.2 キュービクル用しゃ断器

すでに述べたように、キュービクル内蔵用として設計された横吹付形しゃ断器のため小形で軽量となっている。定格は20kV級では600A 1,000MVAであり、多数の納入実績を持っている。しゃ断性能については、すでに発表済みであるためいまさらとりあげないが、すぐれたしゃ断特性を持ち、圧縮空気使用量も非常に少なくなっている。

2.2.3 断路器および変流器

断路器はキュービクルわく組に支持がいしや、壁抜きブッシングを直接受け、断路器単位のベースを必要としないキュービクル組込形として設計している。壁抜きブッシングは、従来の磁器にかわってエポクシ樹脂含浸の乾式コンデンサ形を採用しているので、ブッシング形変流器の寸法も小さくなり、キュービクルの寸法縮小に役だっている。表2.3にビル用標準変流器の仕様を示す。

2.2.4 母線電圧検知器

特高回路に交流電圧が印加されているかどうかを検知するために取付けるもので、特高回路からの静電誘導電圧を利用し、信頼度の高いトランジスタ形増幅器を採用しているので、半永久的に使用できる。主回路側に対し保護装置不要のため最重電端に取付けられるものである。

2.2.5 その他付属品

変圧器が2バンク以上のとき、変圧器の信頼度が高いことから、各変圧器一次側にはしゃ断器を省略し、励磁電流しゃ断可能な負荷断路器を設けている。

特高ケーブルには終端箱・分歧箱が付属しており、取引用変流器と

表 2.3 特高ビル用標準変流器の仕様
Specifications of standard extra high tension current transformers for building use.

形 式	BB形單相ブチルゴム絶縁とう管形				
	75/5 A	100/5 A	150/5 A	200/5 A	300/5 A
変流比					
定格負担	15 VA 以下	25 VA 以下	15 VA 以下	25 VA 以下	40 VA 以下
確度階級	3.0級	3.0級	1.0級	1.0級	1.0級
過電流強度	400倍	300倍	200倍	150倍	100倍

TR 变压比	W		
	22/3.3 または 6.6 kV 50 c/s	60 c/s	33/3.3 または 6.6 kV 60 c/s
TR kVA			
1,000	2,200	2,200	2,500
1,500	2,200	2,200	2,600
2,000	2,400	2,300	2,700
2,500	2,500	2,400	2,800
3,000	2,600	2,400	2,900
3.50	2,600	2,500	3,000
4,000	2,700	2,600	3,100
5,000	2,800	2,700	3,100

図 2.3 乾式変圧器の場合のキュービクル配列
Plan of cubicles for dry type transformer.

表 2.4 油式変圧器と乾式変圧器キュービクルとの比較
(20kV級 2,000kVA)

Comparison between oil immersed transformers and dry type transformer cubicles.

	H種絶縁乾式	油入式
災害の危険性	なし	あり
据付寸法	100%	140%
重量	100%	170~180%
保守点検	容易	普通
標準インピーダンス	8~9.0%	5~6%
効率	やや悪い	普通
価格	高価	普通
衝撃試験電圧	95kV	150kV
据付場所	原則的に屋内	屋外・屋内
騒音	やや高い	普通
適用電圧	開放形では 30kV 以下	超高压まで可

ともに電力会社から支給される。ケーブル端末処理寸法は、電力会社によって異なるため、よく打合させる必要がある。

母線・接続導体は、短絡時など熱的・機械的衝撃を受けるので、十分耐えるよう考慮し、低圧制御配線についても耐熱ビニル線を使用し、圧着端子締付形を採用している。なお、配線の色別はJEM 1123による。

2.3 キュービクルの寸法

乾式変圧器を採用した場合のキュービクルは、全体が一つのグループでまとまり、グループ内の単位キュービクルの内訳は下記のとおりとなり、その配列構成は、図2.3に示す。

受電しゃ断器キュービクル 2面

MOFコンプレッサキュービクル 1面

主変圧器キュービクル 2面

主変圧器は、バンク数に応じてユニットの増加は容易である。

油入式変圧器を使用した場合、受電設備一括で比較すると表2.4

に示すとおりである。

3. 20, 30 kV 級乾式変圧器

3.1 乾式変圧器の特長

乾式変圧器の特長は、すでに周知の事実となっているが、簡単に示すと次のとおりである。

- (1) 不燃性・非爆発性である。
- (2) 受電設備全体としての重量寸法が縮小できる。
- (3) 据付・保守・点検が容易で、外観が優美である。
- (4) 耐熱性・耐湿性・過負荷耐量・寿命が大である。
- (5) 耐熱材料の発達とともに、発展の可能性が大である。

3.2 仕様面からみた最近の傾向

受電設備の経済設計をねらいとして、22 kV から 400 V 級に変成するじか落し方式が採用されることが多い。これはビルの負荷密度が大であり、変圧器を負荷の中心に配置し、銅量と損失とを少なくし、3 kV 級機器の省略による費用低減が大きい。受電容量が大なる場合、経済性を考慮したうえ、変圧器 パンク数を適当に設定し、400 V 級と、3 kV 級配電とが並用されることがある。ただし、400 V 級採用のときは、二次側のしゃ断容量を十分考慮し、変圧器の % インピーダンス、しゃ断器の定格をきめる必要がある。

従来、電気室はビルの地下に設けられるのが常識であるが、東京鉄道会館地下鉄ビル向け 6,750 kVA プラントでは、キューピックルを屋外用閉鎖形とし、ビル屋上に据付けているが、変圧器の冷却風排出方法を考慮し、直接湿気、水分がはいらないようふうすることによって、十分屋外用としても実用可能であることを示している。

3.3 乾式変圧器の新材料について

H 種絶縁材料は、JEC-147 電気機器絶縁の種類で規定されているが、最近の有機高分子材料の発達にはみるべきものがあり、ポリイミド、ポリアミド樹脂、さらにドリル樹脂等が実用化され、ポリイミド樹脂は、電線被膜、KAPTON 等のフィルム状でその特長を発揮し、ポリアミドは、NOMEX 等のペーパ状で活用されている。ドリル樹脂は、別途説明すみであるが、シリコンに比べ高温における接着力大であるため、その代替品として次の用途に使用される。

表 3.1 H および C 種絶縁材料
Class H and C insulating materials.

絶縁の種類	主副別	絶縁材料	右の絶縁材料製造の際に使用する結合の方法、塗布材料	絶縁の処理材料
H	主	ガラス織物、石綿(NOMEX)	なし	シリコン樹脂
		ワニスガラスクロス ワニスアスペスト	(ドリル樹脂) シリコン樹脂	
		ゴムガラスクロス	シリコンゴム	
		マイカ製品、ガラス積層品、石綿積層品	(ドリル樹脂) シリコン樹脂	
		シリコンゴム	なし	
C	主	マイカ、陶磁器、ガラス、石英その他類似の性質をもつ無機物(KAPTON)	なし	ガラスまたはセメントのような無機接合材料
		ワニスガラスクロス、ワニスアスペストマイカ製品	耐熱性のとくによいシリコン樹脂(225°C)	耐熱性のとくに良いシリコン樹脂(225°C)
	副	ポリ4-フルオロエチレン樹脂(250°C)	なし	

JEC-147 による
() は最近の材料より追加したものである

(1) コイル含浸ワニス

- (2) ガラス積層品、マイカ板等の積層ワニス
- (3) ガラス巻線の焼付ワニス

高温特性が良いことは、機器の機械力を大とし、短絡時等の衝撃に対しても信頼度が高くなる。今後これらの新材料が広く適用されると、将来の乾式変圧器の構成材料をかなり大幅に変えてゆく可能性を含んでいる。しかし、20, 30 kV 級乾式変圧器は、油入式変圧器の超高压機器に匹敵し、すぐれた絶縁特性を持つマイカは捨てがたく、今後も当分は、主要絶縁材料の位置を占めるものと思われる。表 3.1 に H および C 種絶縁材料を示す。

4. 規格

従来、乾式変圧器には、試験方法・試験項目については JEC-120(1952)、温度上昇・試験電圧については JEM-R 2005(1957) を適用してきた、最近では JEC-168(1966) で規定されたので、JEC-168 によるのをたてまえとしている。しかし、温度上昇のみは過去の実績と、アメリカなどの実状からみて、JEM 規格の 140 deg 上昇値で製作することが多い。参考までに、ASA 規格では 150 deg まで許容されている。JEC、BS 規格では 120 deg となっている。なお BS 規格では不活性ガス封入のときは、150 deg まで許容している。表 4.1 に乾式変圧器の試験電圧を示す。

表 4.1 乾式変圧器の試験電圧 (JEC-168 による)
Test voltage of dry type transformer (according to JEC-168)

公称電圧	乾式変圧器および衝撃電圧試験に耐える設計とした油入式変圧器の試験電圧		衝撃電圧試験に耐える設計の油入式変圧器の絶縁層板と試験電圧		
kV	交流試験電圧 kV	注 1: 全波衝撃試験電圧 kV	絶縁階級(号)	交流試験電圧 kV	衝撃試験電圧
				全波	きい断波
0.22 以下	2	—	—	2	—
0.22 超過 1.1 以下	4	—	—	4	—
1.1 超過 3.3 以下	10	25	3A 3B	16 10	45 30
6.6	16	35	6A 6B	22 16	60 45
11	25	55	11	28	90
13.2	30	65	—	—	—
16.5	38	80	—	—	—
22	50	95	22	50	150
33	70	130	33	70	200
					230

注 1: 乾式変圧器は、一般に雷擊のひん度が少なく、とくに指定されないかぎり衝撃電圧試験を考慮しないのを標準とする。参考値に示された値であり、当社製品はこれに十分耐える設計としている。

5. スポットネットワーク方式と乾式変圧器

20 kV 級スポットネットワーク方式は、将来の電力需要過密地区に対して各電力会社で計画されている。スポットネットワーク方式については別途詳述されているので、ネットワーク変圧器について述べるものとする。図 5.1 は簡単なスポットネットワーク方式を示す。20 kV 一次給電線にそれぞれ変圧器を接続し、各変圧器の二次側はネットワークプロテクタを介して並列に接続されるので、高圧線や変圧器の事故が発生しても需要家には常に無停電供給できる。したがって経済の中核とも言うべきビルへの電力供給が常に安定で、高度の信頼度と融通性を持たすことができる。変圧器は負荷の中心近くに配置され、同一ビルまたは隣接ビルに供給される。ネットワークユニットの構成にあたっては、予想最大電力に対して変圧器 1 パンク停止時においても、健全バ

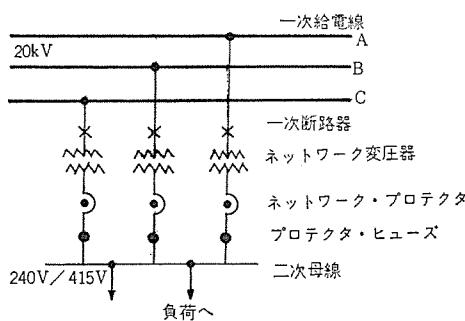


図 5.1 スポット ネットワーク方式
Spot network system.

表 5.1 スポット ネットワークユニット 構成の一例
Example of spot network unit composition.

変圧器容量 kVA	%インピーダンス	電 圧	変圧器バンク数
500	5	22 kV/240-415 V	2
1,000	5	22 kV/240-415 V	2~3
1,500	7.5	22 kV/240-415 V	2~3
2,000	7.5	22 kV/240-415 V	3~4

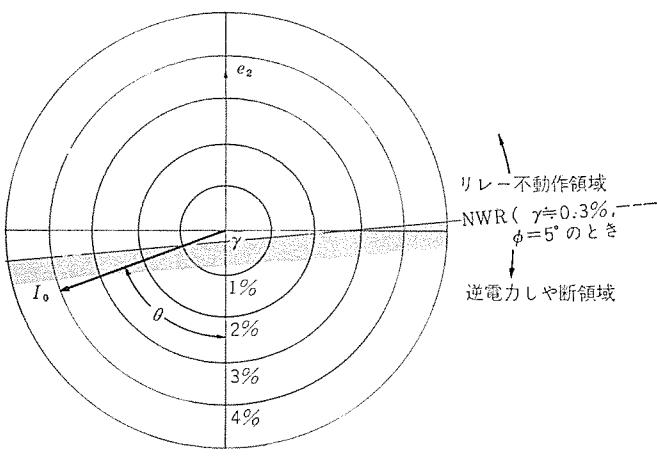


図 5.2 ネットワークプロテクタの逆電力しゃ断領域と変圧器励磁電流との関係
Interruption of reverse power by a network protector.

ンクの過負荷運転により十分対応できるよう設定しなければならない。表 5.1 にユニット構成の一例を示す。二次側しゃ断器は、変圧器の並列運転による短絡容量の増大に対しても十分な定格のものが使用される。変圧器が屋内またはそれに近い環境に据付けられる場合、小形であることから H 種絶縁乾式変圧器が最も適している。以上のような供給信頼度のすぐれたネットワーク変圧器には、使用状態にマッチするよう次のような条件が一般に要求される。

(1) ネットワークプロテクタとの協調をとること

スポットネットワークの一次側線路に事故が発生した場合、線路のしゃ断器は開放となるが、変圧器は二次側から逆励磁を受ける。プロテクタには、2種のリレーとしゃ断器が内蔵されており、逆電力を検出して変圧器を回路から切り離す働きがある。逆電力は、線路の充電電流も含まれるが、そのほとんどが変圧器の励磁電流であるため、

変圧器の励磁特性と、ネットワークプロテクタのしゃ断特性には、十分な協調をとる必要があり、高度の技術を必要とする。図 5.2 にリレーの動作範囲と励磁電流との関係を示す。

一般に励磁電流の位相は 60~75% 程度であり、励磁電流の大きさは、いたずらに大きくすれば、変圧器の損失が大となるため好ましくなく、少なすぎてはリレーが動作しなくなるので、個々の要求に合致した設計値がとられねばならない。

(2) 過負荷耐量が大

ネットワーク変圧器は事故などで一つの回線が停電の場合、健全回線に接続された変圧器がかなりの過負荷状態となることがあり、これに耐えるため、過負荷耐量が大であることが要求される。

乾式は油入変圧器の絶縁油のような熱容量の大きいものを使用しないため、温度上昇に関する時定数は小となる。しかし、一般に A 種絶縁物は 8°C 則が適用されるのに対して、乾式変圧器は主要個所には、マイカ、ガラス、アスベスト等の C 種絶縁材料が使用されており、10~12°C 則が適用されると言われている。かつ適用される範囲が非常に広い。したがって、破壊に至るまでの過負荷耐量は非常に大となる。一般に過負荷基準は 100% 負荷連続後、130% 負荷 8 時間程度と考えればよいとされており、過負荷を考慮するの是非常時のみと言われている。いま、100% 負荷連続で温度上昇 120 deg 以下 (抵抗法による測定値) に製作された変圧器では、従来の JEM-R 2005 規格で製作した 140 deg 上昇のものと比較すると、上記程度の過負荷運転では、年数回の過負荷運転に対しても、ほとんど寿命損失に関係しないと推定される。なお当社乾式変圧器の過負荷運転については、国内では規定がないので、特別に過去の経験から定めたものとして、技報 38 卷第 4 号に掲載すみのため参照されたい。

(3) 並列運転が効率よくできること

同一仕様の変圧器を多数並列運転されるので、各変圧器のインピーダンス、抵抗とリアクタンスのばらつき等は、できるかぎり小さく製作される。またしゃ断容量を小さく抑える必要がある場合には、インピーダンスが多少高いめにとられることが多い。

(4) 小形・軽量で保守の便がよいこと

ビルの地下室などに据付けられるので運搬が容易でかつ据付面積の小なることが望まれる。ただし、地下道その他雨水が浸入するおそれのある場合は、変圧器および受電設備は、密封構造とする必要があるため、開放形乾式変圧器は適さない。多少スペースが大なっても油入式、または密封形乾式が必要となる。

(5) 20 kV 級ケーブルの端末処理

スポットネットワーク方式では、各変圧器ごとにケーブルが引込まれるため、ケーブルの端末処理にかなりのスペースを必要とする。ケーブルの端末処理方法は、各電力会社によって異なるので、機器の標準化をはかるため、できる限り統一が望まれる。

(6) 低騒音であること

都心部の地下式変電所のため、今後は騒音を下げる努力が必要となる。開放形乾式変圧器の騒音を下げるとは、構造的にも困難であるが、冷却ファン、防音装置等に考慮を加え、実用上問題がない程度までには下げなければならない。騒音低減には変圧器のみならず変電室を含めた検討が必要である。

6. むすび

以上、20, 30 kV 級ビル用特高キュービクルおよび乾式変圧器について、基本的な設計方針と実際の製作例について述べ、あわせて最

近の傾向を含めて概略説明を行なった。当社乾式変圧器は製作開始以来、42年8月末現在、延べ2,700台、延べ容量約700,000 kVAを製作し、ビル用はそのうち約60%余を占めている。われわれ実際の製作を担当するものからみて、ここ2,3年とくに変わったとは思われず、十数年にわたる製作経験からみれば、乾式変圧器の需要が比較的限られているため、オリンピックのビルブーム時代に比べるとやや花やかさがなくなってきたと思われる。しかし、最近の技術の進歩により、とくに高価な材料が用いられる乾式変圧器にあっては、材料分野ではまだ歴史が浅く、新材料の適用により安価に、かつ小型に製作できる可能性を秘めている。東京電力・関西電力等では、将来のビルの電力需要過密化に備えてアメリカの都市配電に適用されているスポットネットワーク方式の採用で20kV配電でも実施する計画が立てられている。ビルにマッチした乾式変圧器が使用される可能性は十分であり、ビル受電用のみならず、低圧電灯用等にも広く適用

される機運にある。乾式変圧器の開発の動きとして、さらに高電圧の60kV級まで実用するためガス絶縁変圧器の試用と、また一方では、使用材料の研究により現在製作されている乾式変圧器の最善設計をめざす方向とがある。いずれも今後の研究開発に負うところが多く、今後もさらに開発を進め、需要家の満足を得るよう努力し、H種乾式変圧器の発展を期待するものである。

参考文献

- (1) 萩野、鶴田、福田：三菱電機技報、38、No. 4. 580 (昭39)
- (2) 矢野、田和：三菱電機技報、40、No. 12. 1,813 (昭41)
- (3) 清水、福田：昭和42年電気四学会連合大会論文集733
- (4) 東松、宮本、天野ほか：三菱電機技報、39、No. 12. 1,526 (昭40)

最近のネットワーク変圧器

諸住 康平*・安達 勝*

The Latest Network Transformers

Nagoya Works Kohei MOROZUMI・Masaru ADACHI

Increase of population in cities of late has produced a trend of power demands concentrated in particular localities. Under the circumstances uninterrupted power supplies with high reliability and flexibility are demanded to perform the function of cities to the full extent. The network system, the secondary sides of transformers connected to high voltage distribution lines of more than two circuits are connected to the same low voltage lines, is to satisfy the above demands. This article, however, deals herein with network transformers for use in overhead network system and also underground network system, describing their features and construction in brief.

1. まえがき

最近の都市の人口増加にしたがって、都心地区の高層化および住宅地区の集中化が進められ、電力需要も増加密集化の傾向にある。また経済面および生活環境のめざましい発展にともない、電力の利用が寸時も欠かすことができないものになりつつあり、電力供給においては高度の信頼度と融通性をもった無停電供給の可能な方式が要求されるようになってきた。

このような要求を満足させる目的のために採用される配電方式として、同一変電所母線から供給された2回線以上の高圧配電線に接続される変圧器の二次側を、すべて同一低圧線に連けいした低圧ネットワーク方式がある。欧米においては、すでにこのネットワーク方式は広く採用され、それに使用される多くの機器も開発され、実用化されている。一方国内においても各電力会社が中心となってネットワーク方式の研究が進められ、すでに一部においては採用されているが、今後本格的な採用計画が押し進められていくものと考えられる。当社においてもこのネットワーク方式に使用されるネットワーク用変圧器を開発し、製作してきたが、本文ではこの変圧器の概要を説明するとともに、その製品の2、3の例を紹介する。

2. ネットワーク変圧器の概要

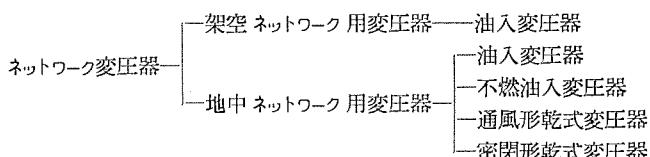
低圧ネットワーク方式は、とくに都市の中心地区に適する高信頼度の無停電供給方式であるが、一般につきの二つの方式がある。

(1) 一般ネットワーク方式 (Regular Network System)

(2) スポットネットワーク方式 (Spot Network System)

一般ネットワーク方式は一般市街地に適した方式であり、スポットネットワーク方式は、集中負荷地区にたいする高信頼度供給に適した方式である。

このネットワーク方式に使用されるネットワーク変圧器として、つぎのような種類のものがあげられる。



本文では上記のうち油入変圧器を中心にして述べることにする。

一般にネットワーク変圧器として、

表 2. 1 耐熱絶縁紙使用変圧器とクラフト紙使用変圧器の過負荷耐量特性

Over load characteristics of transformer using stabilized paper and non-stabilized paper.

	負荷 %					
	一般の A 種絶縁			HI-L 耐熱絶縁		
過負荷前の負荷 %	90	70	50	90	70	50
過負荷時間	1	133	139	145	146	152
	2	120	125	129	133	138
	4	110	114	115	123	126
	8	106	107	107	116	117
	24	100	100	100	110	110

(1) 過負荷耐量の大きいこと。

(2) 小形軽量であること。

(3) インピーダンス電圧が他のネットワーク機器にたいして協調性があること。

が要求されるが、とくに事故時の負荷分担を考慮すると、過負荷耐量の大きい変圧器が望まれる。変圧器の寿命損失は1年あたり1%程度におさえるのが適当であり、事故回数、事故時間、事故時負荷分担などを想定して変圧器容量が設定されるが、一方変圧器過負荷限度は、変圧器内部に使用されている絶縁紙の熱劣化特性により主として決定される。当社の変圧器においてはアミン添加により処理された耐熱性のすぐれた耐熱絶縁紙（商品名 HI-L 絶縁紙）を使用しているので、表 2. 1 に示すような高い過負荷耐量をもった変圧器になっている。

ネットワーク変圧器は、柱上装架あるいは地下据付などの設置条件の制約や、ネットワーク保護装置とともに設置されることから常に小形軽量であることが要求される。

一般の配電用変圧器は3%程度のインピーダンス電圧であるが、ネットワーク変圧器においては、ネットワーク保護装置の動作協調特性から5~8%程度に選定され、一般の配電用変圧器にくらべてインピーダンス電圧は多少大きい傾向になっている。

3. 架空ネットワーク用変圧器

3. 1 概要

この変圧器は、従来の架空配電線方式を利用しておこなうネットワーク方式に使用されるもので、変圧器は従来の配電用変圧器と同様に柱上に装架されるものである。ネットワーク方式として負荷密度の高



図 3.1 従来の配電用変圧器と架空ネットワーク用変圧器の比較
Comparison of outlines between conventional distribution transformers and overhead network transformers.

表 3.1 架空ネットワーク用変圧器一般特性
General characteristics of overhead network transformers.

容量 kVA	効率 %	無負荷損 W	電圧変動率 %	無負荷電流 %	インピーダンス電圧 %
75	98.3 以上	300 以下	1.5 以下	2.3 以下	5.5±0.5
100	98.3 以上	380 以下	1.4 以下	2.3 以下	5.5±0.5
133	98.4 以上	480 以下	1.4 以下	2.3 以下	5.5±0.5

い地区に使用されることから、装柱容量 (kVA) が従来の配電用変圧器よりも大きく、しかも単柱に装架することが可能であることを要求から、小形軽量であることがとくに必要である。巻線 60 deg 以下の温度上昇特性で設計され、耐熱処理紙を使用した当社の本ネットワーク変圧器は大幅に小形軽量化されている。図 3.1 の写真は右端の 75 kVA の従来の配電用変圧器とこの小形軽量化された 75, 100, 133 kVA ネットワーク変圧器の比較を示している。

国内においては、おもに 6 kV あるいは 3 kV 配電線を利用し、需要家へ 210 V あるいは 105 V のネットワーク配電をおこなっているのが現状で、変圧器も一般的の配電用変圧器と同様に単相の屋外用油入自冷式が主体である。この変圧器の一般特性の一例を表 3.1 に示す。

3.2 構造

外観形状としては、一般的な配電用変圧器とあまり異なっていないが、冷却用の放熱管あるいは放熱ひれを使用せず、ケースの円筒側面を直接波形にした放熱効果のよい放熱装置を備えているので、中身構造を小形にできる特長を持っている。

また、装柱用のバンドつり用 2 点支持構造のハンガ座、リードレススタッド形（一次側はスタッド形 クランプ式、二次側はスタッド形プレート式）のブッシング、巻線温度が過負荷温度に達すると表示ランプが点灯し過負荷を表示する過負荷表示器などを付属している。

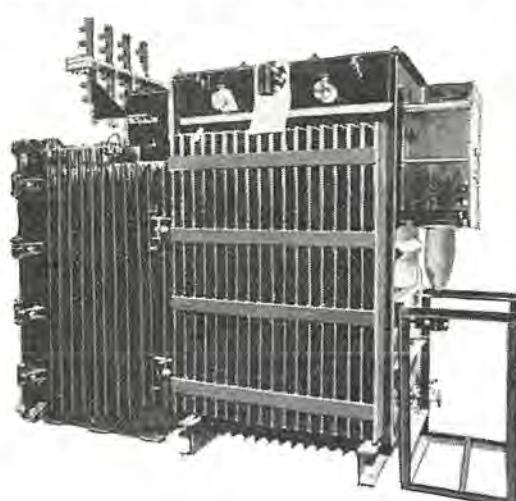


図 4.1 异容量 V 結線 300kVA ネットワーク変圧器
Different capacities V connection 300 kVA network transformer.

図 4.2 ボルト形三相 750 kVA ネットワーク変圧器
Vault type three phase 750 kVA network transformer.

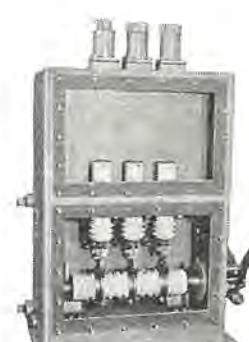
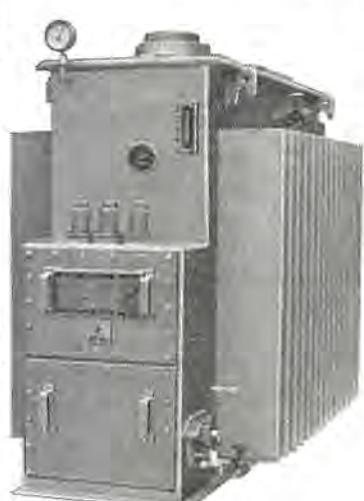


図 4.3 3 位置スイッチ内部構造
Interior view of three-position disconnecting and grounding switch.

4. 地中ネットワーク用変圧器

4.1 概要

地中ネットワーク方式は、都市の高負荷密度化、ビルの高層化による架空配電線離隔確保の困難性、需要家が望む高い供給信頼度、都市美化にたいする社会的要件の増大などの要因から望まれる配電方式として、最も有望な方式とされている。

地中ネットワーク用変圧器の種類としては、前述のように設置場所の条件によって油入変圧器、不燃油入変圧器、通風形乾式変圧器、密閉形乾式変圧器などにわけられる。また、普通三相変圧器や異容量 V 結線変圧器などもあるが、採用される配電形式に適したもののが選定される。

現在の配電用変圧器の一次電圧は 6 kV あるいは 3 kV が主体であるが、将来ネットワーク方式が進み変圧器容量が増加するにつれて、送電損失の低減を計ることから 20 kV クラスのネットワーク配電方式へ移行していくものと考えられる。地中ネットワーク用に使用される変圧器容量は中容量のものが主体で、2,500 kVA 程度までのものが使用されるのが通常である。

この変圧器はビルの地下室あるいは道路下に設置されるので、変圧器の小型化、通風、浸水など構造上の問題にたいする対策が必要となってくる。とくに、ビルの地下室や道路下などで浸水のおそれのある場所に設置するものには、十分な耐浸水性、耐食性をもたせることが必要である。

この地中ネットワーク変圧器では、二次端子側にネットワークプロテクタが結合され一体化している。必要に応じて一次側スイッチが取付けられていることが特長といえる。図 4.1 はネットワークプロテクタ（左側）を取付けたネットワーク変圧器の一例を示し、図 4.2 は一次側スイッチ（手前）を取付けた変圧器の外観を示している。

4.2 構造

4.2.1 ケースおよび放熱装置

地下設置を対象とするこの変圧器のケースには、十分な耐食性をもった特殊鋼板を使用し、塗装にはエポキシ樹脂系塗料を使用している。地下設置場所の浸水状態によって、ときどき浸水する場所に適したボルト形および常時浸水に適したサブウェイ形があるが、後者は前者にたいして材料および構造的に耐水構造を強化したものである。

ケースおよびカバー関係はブッシングなどを除いて全溶接の密閉形になっている。また、外部気圧または内部気圧にたいしても使用条件に応じて 1 ~ 2 kg/cm² 以上に耐えるような設計で製作されている。

表 4.1 3 位置スイッチ特性
Characteristics of three-position disconnecting and grounding switch.

試験項目		規格値
商用周波耐電圧試験	閉位置	交流 34 kV
	開位置	交流 40 kV
短絡試験	閉位置	定格電流の 25 倍 2 秒間
	接地位置	15,000 A 5 秒間
励磁電流しゃ断試験		5 A (試験基準)
気密試験		0.5 kg/cm ² (試験基準)

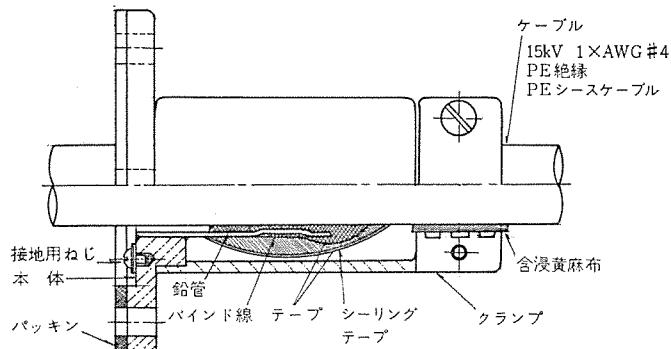


図 4.4 高圧ケーブル保持装置内部構造
Interior view of high voltage cable holding device.

ケース内圧異常上昇時の保護として放圧装置、必要に応じて自動復帰形放圧装置、が付属されていて、事故時などにケースの破壊を生ずるのを防止する。

放熱装置は従来の放熱器や放熱管を極力さけ、ケース側板を直接波形にしたじょうぶなコルゲーション形を採用し、設置後の保守、点検を容易にしている。

4.2.2 一次側スイッチ

必要に応じて一次側フィーダから変圧器を切離したり、保守、修理工事の作業を安全におこなうため、一次側スイッチが変圧器に内蔵される場合がある。このスイッチの種類としては操作位置数およびインターロック方式により種々あるが、本文では 3 位置スイッチの一例についてその概要を紹介する。

図 4.3 は 3 位置スイッチの内部構造を示している。“開”“閉”“接地”の三つの操作位置をもち、操作順序は“開”“閉”“接地”的順で、ケース外部に取付けられた手動ハンドルで操作される。このスイッチは変圧器二次側がブレーカ、あるいはプロテクタで切離されている場合は“開”“閉”間で操作でき、励磁電流のしゃ断も可能である。しかし“閉”から“接地”への操作はできないようインターロックされている。また負荷電流を供給している場合、あるいは一次側が開放されているが、二次側ブレーカやプロテクタが閉路している場合は、いずれの位置でも操作できないよう電気的インターロック装置が備えられている。表 4.1 はこの一次側スイッチの特性の一例である。

4.2.3 高圧端子箱および低圧側接続

変圧器は地下に設置されることから、一次高圧側ケーブルの接続は、変圧器に付属された高圧端子箱の内部でおこなわれるのが通常である。一次側スイッチをもつ変圧器の場合は、図 4.3 のようにそのスイッチ箱の上部に高圧端子箱を配置し、鉛被ケーブルを上部からそう入するのが一般的な形状であるが、一次側スイッチをもたない変圧器の高圧端子箱においては、ケーブルを下方または上方いずれからでもそう入できる構造にすることができる。端子箱内部については、一

表 4.2 ボルト形三相ネットワーク変圧器概略外径寸法・重量
Outline dimensions and weight of vault type three phase network transformers.

電圧階級	容量 kVA	周波数	外径寸法 mm			油量 l	総重量 kg	
			幅	奥行	高さ			
6 kV	300	50	1,740	1,050	1,330	760	3,200	
		60	1,740	1,050	1,330	800	3,000	
	400	50	1,990	1,070	1,450	1,050	3,800	
		60	1,990	1,070	1,450	1,100	3,600	
	500	50	2,020	1,120	1,520	1,350	4,600	
		60	2,020	1,120	1,520	1,400	4,400	
	20 kV	300	50	2,020	1,050	1,430	800	3,500
		60	2,020	1,050	1,430	850	3,300	
		400	50	2,250	1,070	1,550	1,050	4,200
		60	2,250	1,070	1,550	1,100	4,000	
		500	50	2,370	1,120	1,620	1,450	5,100
		60	2,370	1,120	1,620	1,500	4,800	
		750	50	2,500	1,340	2,000	1,600	6,100
		60	2,500	1,340	2,000	1,700	5,800	
		800	50	2,500	1,340	2,000	1,700	6,400
		60	2,500	1,340	2,000	1,800	6,100	
	1,000	50	2,800	2,800	2,900	2,850	8,800	
		60	2,800	2,800	2,900	3,000	8,400	
	1,500	50	2,900	2,900	3,000	3,400	10,700	
		60	2,900	2,900	3,000	3,600	10,200	
	2,000	50	3,000	2,900	3,100	3,800	12,200	
		60	3,000	2,900	3,100	4,000	11,600	
	2,500	50	3,200	3,100	3,300	4,500	14,300	
		60	3,200	3,100	3,300	4,700	13,600	

次側電圧階級によって、気中、油入、絶縁コンパウンド充てんのうちいずれかの方法が選択される。

高圧ケーブルをそう入する端子箱貫通部分には、気密性のあるケーブルヘッドが取付けられ、ケーブルを堅固に保持する。このケーブルヘッドには、鉛工する構造になっているワイピングスリーブあるいは図 4.4 のようなケーブル保持具が使用される。

変圧器二次低圧側端子はプロテクタ端子に直接接続され、取付けフランジを介して構造的にプロテクタと結合され、図 4.1 のように一体化されたネットワーク用機器が構成される。

4.2.4 その他

架空ネットワーク変圧器と同様、この変圧器にも巻線温度が過負荷温度に達すると表示ランプを点灯し、警報する過負荷表示器を取付けることが可能である。

表 4.2 は、一次側に三位置スイッチを付属した 6 kV 級および 20 kV 級のボルト形三相ネットワーク変圧器の概略外径寸法、油量および重量を示している。

5. むすび

最近のネットワーク変圧器として、一般ネットワーク方式用の架空ネットワーク用変圧器、および地中ネットワーク用変圧器についてその概要を紹介した。

昭和 33 年にわが国初のネットワーク方式が実施されて以来、ネットワーク方式は急速に進歩しており、とくに最近の都市の発展とともに大容量のネットワーク機器が必要となってきている。将来の過密都市の配電方式として、20 kV ネットワーク配電が有望視されているが、配電設備の地中化の構想と考えあわせて、当社としても今日まで蓄積してきた技術をもとに、20 kV 地中ネットワーク用機器の提供に貢献したいと願っている。

三菱配電用限流ヒューズとその応用

岩崎行夫*・太田忍*

Current-Limiting Fuses for Distribution Lines

Itami Works Yukio IWASAKI・Shinobu OTA

As the capacity of electric apparatus increase recently, the short circuit current of systems goes on increasing more and more. This has brought about recognition of the importance of past played by current-limiting fuses. They will interrupt in an extremely short a time a large short-circuit current inherent in the line and may flow unless no fuse is used, by limiting it with an arc resistance in the fuse unit. The fuse has such marked features of a large interrupting capacity despite of a small size and protecting thermally and mechanically electrical apparatus on the line. The article deals with Mitsubishi current-limiting fuses, type PL for PT, type CL for transformers, type CLS for high voltage motors, type FLK for low voltage networks and type FLN for NF circuit breakers, describing their ratings, constructions, characteristics and application.

1. まえがき

近年、電気設備の容量の増大に従って、系統の短絡容量は増加の一途をたどっているが、これに反し電気機器に要求されることは、小形、安価と高性能である。短絡保護機器としては、この相反する要求に答えるため、とくに近年に至って限流ヒューズが再認識されてきた。

いまでもなく、いわゆる限流ヒューズとは、もしヒューズがなかったときに流れる回路固有の大きな短絡電流を、ヒューズ筒内のアーチ抵抗で制限し、非常に短時間にしゃ断するヒューズのことであるためヒューズ自身は、大きなしゃ断能力をもちらん非常に小さく設計でき、また故障装置および故障回路の熱的、機械的被害を最小限に抑えることができるなど、しゃ断器ではまねることのできない利点をもっている。以下に当社の3kV, 6kV配電回路用としてシリー

ズ化された高圧限流ヒューズと、250V~600V用ネットワーク用およびNFしゃ断器保護用低ヒューズについて説明し、主として応用について記述することにする。

なお低圧ネットワーク用ヒューズ（プロテクタヒューズ、リミッタヒューズ）は今後の都市配電にとって重要なものであるが、開発は完了している。今後使用されるケーブルの特性に合わせて実用されることになる。

2. 各製品の説明

2.1 種類と定格表

表2.1に限流ヒューズの種類と定格表を示す。

2.2 PL形ヒューズ（PT用）

（1）構造、動作

外観写真の一例を図2.1に示す。ヒューズ筒の構造は図2.2に示すように、密封チューブ内に限流エレメントと可溶エレメントを設けてけ

表2.1 三菱限流形ヒューズ定格
Ratings of current-limiting fuses.

用 途	形 名	形 番	使 用 場 所	定 格 電 圧 V	定格電流あるいは適用出力		定 格 レ シ ヤ ス ト ン 容 量		
					支持台A	ヒューズ筒	3相対称 MVA	3相非対称 MVA	対称最大しゃ断電流 kA
P T 用	PL	E	屋内	600	10	2A	65	100	66
				3,600	10	1A	150	250	27
				7,200	10	1A	250	400	22
高 は ん (変 圧 器 用 用)	CL	—	屋内外	7,200/(3,600)	50(60)	5, 10, 20, 30, (40) 50, (60)A	500/(250)	800/(400)	44
					100	(75)100 A			
高 電 動 機 用	CLS	M	屋内	3,600	200	50 SA (200 kW) 100 SA (400 kW) 200 SA (800 kW)	250	400	44
				7,200	200	50 SA (400 kW) 100 SA (800 kW)	500	800	44
低 圧 ネ ット ワ ー ク 用	プロテクタヒューズ	FLK	—	内	250/500	—	500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000	—	—
	リミッタヒューズ	FLK	—	内	250/500	—	400, 600	—	—
	引込みヒューズ	FLK	—	内	250/500	—	50, 100, 200, 300	—	—
は NF しゃ 断 器 保 護 用	FLN	—	内	600	—	50, 100, 225, 400, 600, 800	—	—	100

(注) 1) CL形ヒューズはAC電圧が16kV以上ある3kV回路には使用可能である。
2) CL形ヒューズの定格電流で()のある40, 60, 75は非標準で準備生産していない。
3) CL形ヒューズのしゃ断容量らんの()内数値は3kVでの値を示す。
4) FLN形ヒューズの定格電流は組合せNFしゃ断器の最大定格電流を示している。

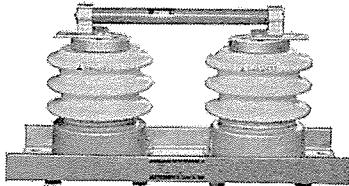


図 2.1 PL形ヒューズ 7.2 kV 1A
屋内用
Type PL current-limiting fuse
7.2 kV 1A indoor use.

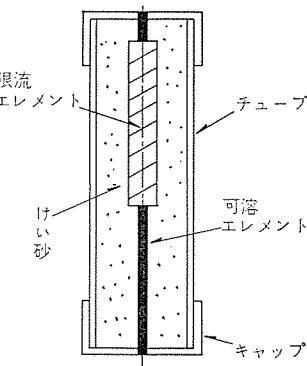


図 2.2 PL形ヒューズ筒構造
Cutaway view of interior
construction of type PL
fuse unit.

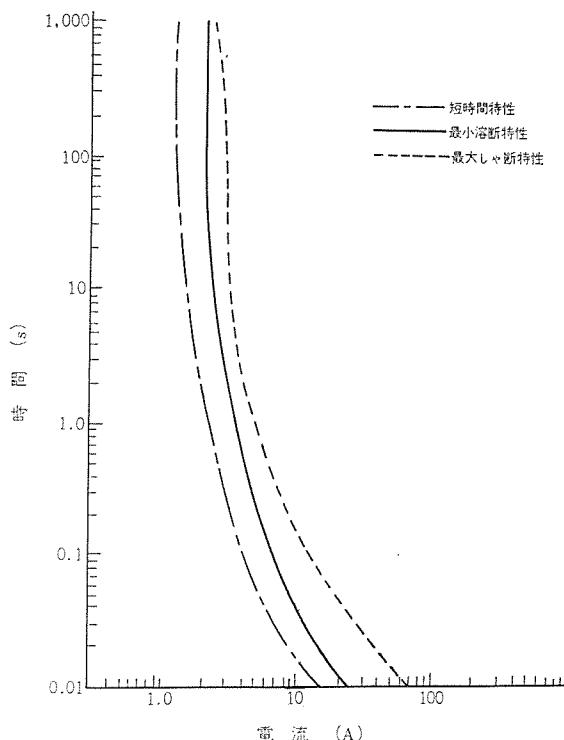


図 2.3 PL形電力ヒューズ時間電流特性曲線 定格電流 1A
Time-current characteristics of type PL current-limiting fuse.

い砂を充てんしたもので、小電流では可溶エレメント部分でしゃ断し、大電流は限流エレメント部分で限流しゃ断する。動作表示装置は省略し、非常に小形になっているので、ヒューズ筒をブッシング内に取付けることもできる。

(2) 特性曲線

PL形ヒューズの短時間許容、最小溶断、全しゃ断の各電流時間特性を図2.3に示す。溶断特性のバラツキは $\pm 20\%$ である。また限流特性を図2.4に示す。

2.3 CL形ヒューズ（主として変圧器用）

(1) 構造、動作

このCL形についてはすでに本誌上で詳細を発表してあるので⁽¹⁾、詳しくはそれを参照していただくことにして、以下に概略を述べる。外観写真を図2.5に示す。ヒューズ筒の構造は図2.6に示すように、中央に穴があき星形断面をもつ磁器棒の両端にリング状のスペーサが固定してあり、この間に定格電流に応じ所定のヒューズエレメントを何本か等間隔で巻き、両端をエンドスペーサーにねじで締付けられている。

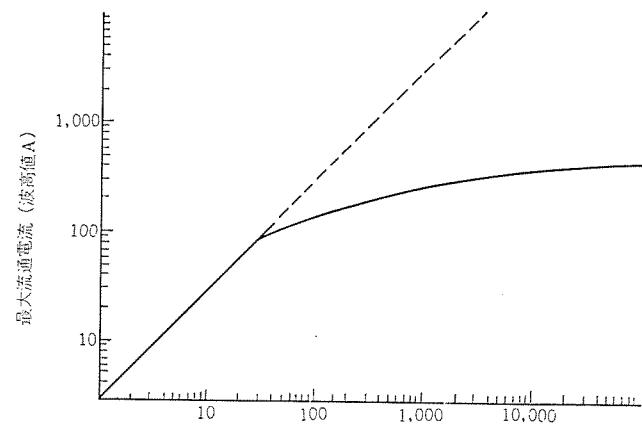


図 2.4 PL形電力ヒューズ限流特性曲線
3.6 kV/7.2 kV 1A
Current-limiting characteristics of type PL
current-limiting fuse.

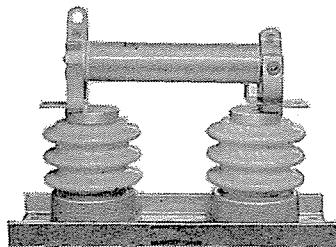


図 2.5 CL形ヒューズ 7.2 kV 50 A 屋内用
Type CL current-limiting fuse 7.2 kV 50 A
indoor use.

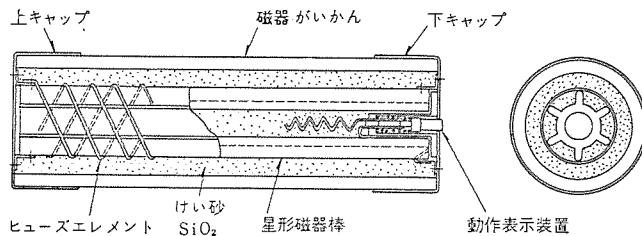


図 2.6 CL形ヒューズ筒内部構造
Cutaway view of interior construction of
type CL fuse unit.

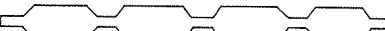
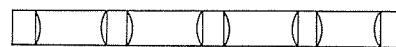


図 2.7 CL形ヒューズの刻み入りエレメント
Knotched fuse element of type CL current-limiting
fuse.

その右端には耐熱、耐水性の動作表示装置がそう入してある。このようにしてできたヒューズエレメントの中身組立は、がい管の容器に入れ、磁器棒内外の消弧剤（けい砂 SiO_2 ）とともに両端のキャップで密封してあり、完全密閉の構造であるため、ヒューズは屋内外いずれにも使用でき、しかもしゃ断動作時は無音無放光である。

このCL形の性能上の第1の特長は図2.7に示すヒューズエレメントの形状にある。限流ヒューズにおいては、アーカ電圧が電源電圧よりも高く出て、初めて電流が制限される。大電流、小電流とも安定して故障電流をしゃ断できるエレメント長にしたとき、アーカ電圧の瞬時値は、ほぼその瞬時に発弧しているエレメント長さに比例するので、一

様な断面のエレメントでは、一度に全長にわたって発弧するため急しゅん(峻)な高いアーカ電圧が出て、回路の絶縁を脅かす。したがってこのCL形では図2.7に示すように全長にわたって部分的に刻み込みを入れて時差発弧させ、急しゅんなピークは押さえながら高いアーカ電圧の持続性がよいようにしてある。

(2) 特性

CL形ヒューズの短時間許容、平均容断、全しゃ断の各電流時間特性をそれぞれ図2.8~2.10に示す。溶断特性のばらつきは±10%に管理してある。また限流特性を図2.11に示す。短絡電流をしゃ断したときの熱エネルギーに相当する全しゃ断 $\int i^2 dt$ を表2.2に

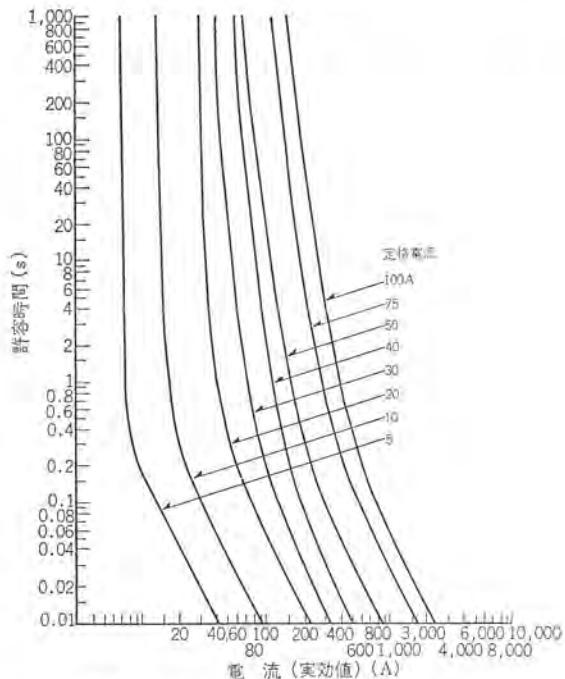


図2.8 CL形、短時間許容電流時間特性
Type CL, short time rating time-current characteristics.

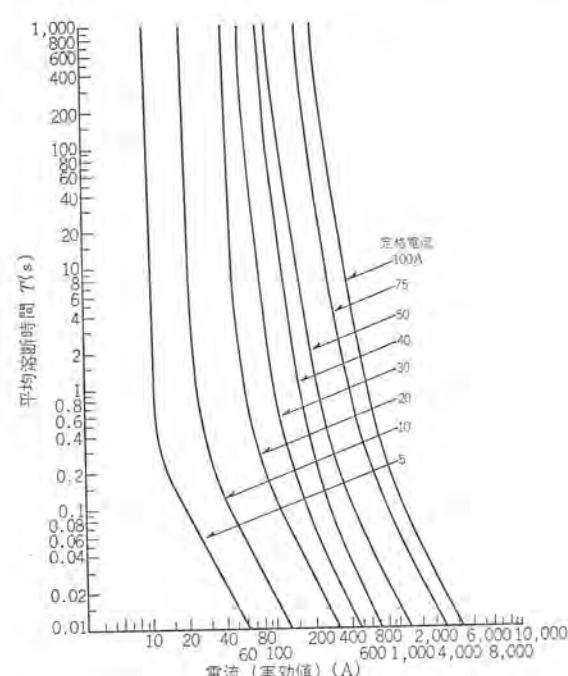


図2.9 CL形、平均溶断電流時間特性
(最大最小の許容差は電流軸で±10%)
Type CL, mean melting time-current characteristics.

示す。これは定格しゃ断電流までの範囲での最大値であり、実測値である。

表2.2 CL形ヒューズ 7.2kV の最大全しゃ断 $\int i^2 dt$
Type CL, total jule-integral $\int i^2 dt$

定格電流 A	最大全しゃ断 $\int i^2 dt$ $\times 10^3 A^2 sec$
5	0.25
10	0.8
20	4
30	9
50	29
100	330

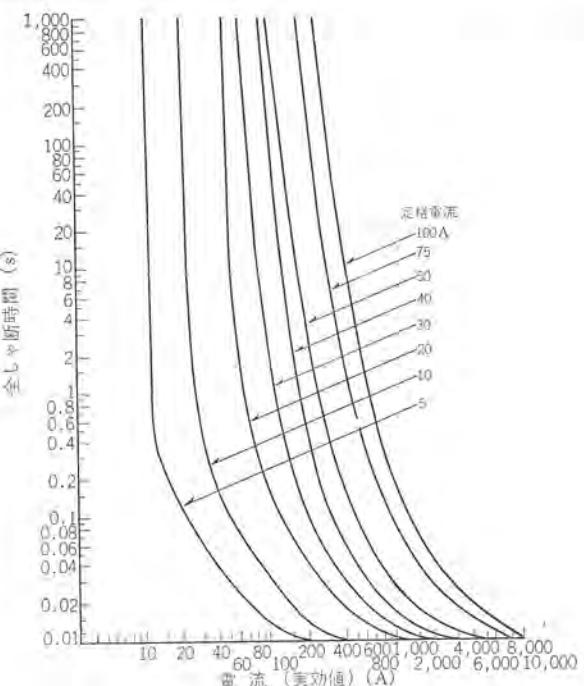


図2.10 CL形、全しゃ断電流時間特性
Type CL, total clearing time-current characteristics.

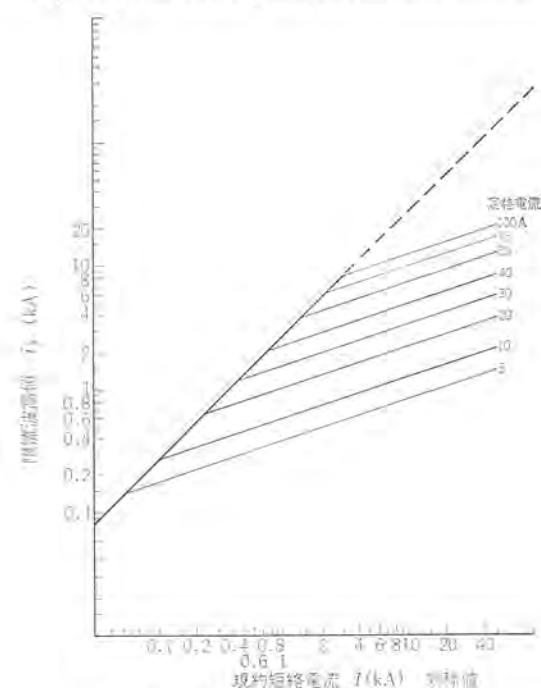


図2.11 CL形、限流特性
Type CL, current-limiting characteristics.

2.4 CLS形ヒューズ（主として電動機用）

（1）定格電流の称呼規定（溶断特性）

このCLS形ヒューズは、電動機起動器の保護に、接触器あるいはしゃ断器と組合せて使用し、過負荷保護は接触器あるいはしゃ断器で負担させ、ヒューズは完全に短絡保護のみを受持つようにしたヒューズで、その溶断特性はJEC-113式でなく、定格電流の5倍程度の起動電流で10秒程度は損傷せず、電動機の負荷電流とヒューズの定格電流値とは、ほぼ同一にできるほうが合理的である。

このためCLS形ヒューズの溶断特性は、JEC-113の規定とは異なる下記のようなメーカー基準で製作試験し、そのヒューズ電流定格は、○○SA（たとえば100SAのように）と称呼している。

- 定格電流の5倍で10秒以内に損傷しない。
- 定格電流の6倍で100秒以内に溶断する。

すなわちCLS形ヒューズはJEC-113の規定（2倍で2時間以内に溶断）に従うCL形にくらべると、約2～3倍程度定格電流ベースの溶断特性がおそくなっている。

（2）適用電動機出力称呼規定

上記によりCLS形は、電動機の負荷電流すなわち出力定格に合わせたヒューズ定格が採用できるので、使用上の便利を考え、SA表示の電流定格以外に適用可能な最大電動機出力が併記してある。

このために使用電動機の出力とCLS形ヒューズの適用kWのみを適合させれば、起動方式、種別などは考慮せずヒューズの定格選定ができる。なお、これはJIS規格の標準電動機にあわせてあるので、起動電流がとくに大きいものや、入切、正逆転をひんぱんに行なうものは、ヒューズの電流-時間特性で検討する必要がある。

（3）構造、動作

外観写真を図2.12に示す。ヒューズ筒の構造は図2.13に示すおりである。このヒューズもしゃ断時に不必要なガスの発生をさけるため、材料は極力無機物質を使った完全密封の限流形砂ヒューズで、無音無放出である。このヒューズの特長は、新しい形状の銀帯エレメントの使用でV形の刻みが連続的に打ち込まれており、さらに全長が“シグザグ状”に折曲げられ放射状に配置されている。

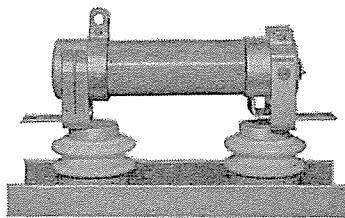


図2.12 CLS形ヒューズ 3.6 kV 200 SA 屋内用
Type CLS current-limiting fuse 3.6 kV 200 SA
indoor use.

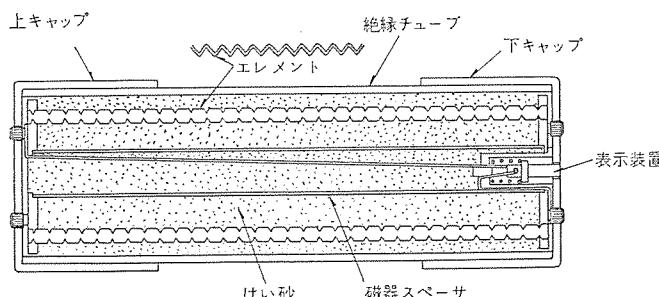


図2.13 CLS形ヒューズ筒構造
Cutaway view of interior construction of type
CLS fuse unit.

このV形の刻みは過電圧の発生を防ぎ、小電流しゃ断性能を飛躍的に増大させながら負荷通電能力を従来の限流ヒューズより数等増加している。

また“シグザグ”的折曲げは通電開放のたびごとに生ずるエレメントの膨張収縮を全長にわたり一様に分布させ、従来のヒューズの材料疲労によるエレメントの破断事故の欠点を大きく改善し、開閉ひん度の高い電動機用ヒューズとして寿命の向上に役立っている。また、CL形ヒューズと同様に動作表示装置付きである。

（4）特性

CLS形ヒューズの短時間許容、最小溶断、全しゃ断の電流時間特

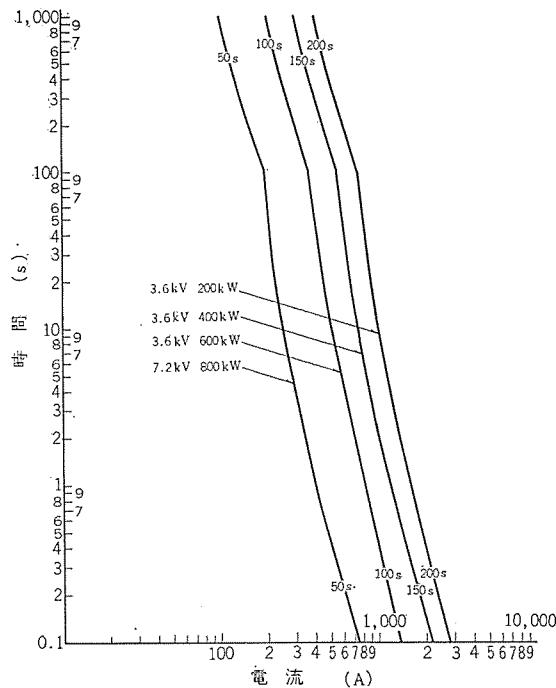


図2.14 CLS形、短時間許容電流-時間特性
Type CLS, short time rating time-current characteristics.

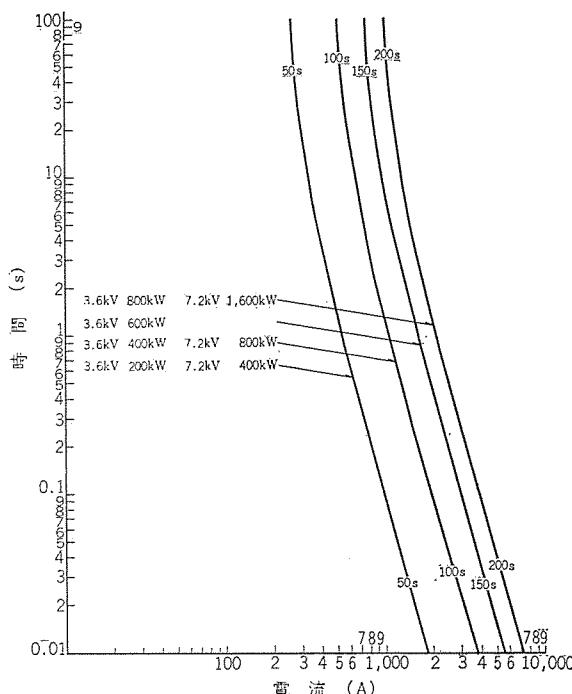


図2.15 CLS形、最小溶断電流-時間特性
Type CLS, minimum melting time-current characteristics.

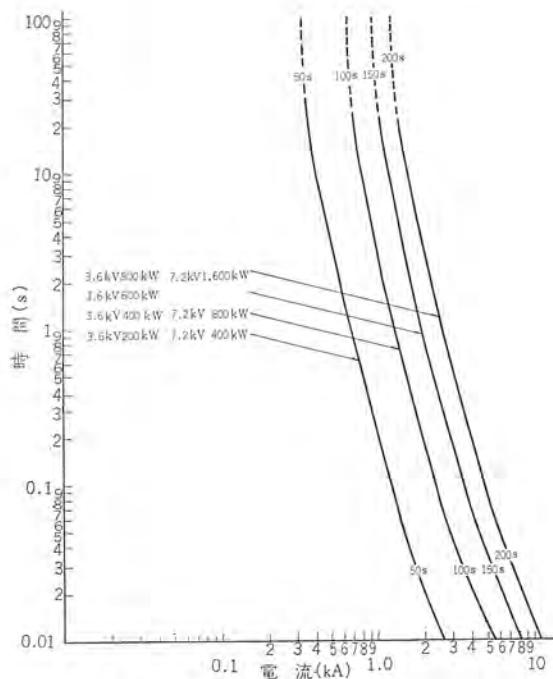


図 2.16 CLS 形, 全しゃ断電流-時間特性
CLS, total clearing time-current characteristics.

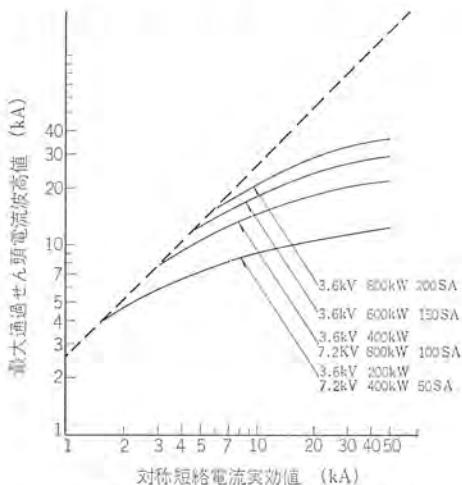


図 2.17 CLS 形, 限流特性
Type CLS, current-limiting characteristics.

表 2.3 CLS 形ヒューズ 3.6kV 7.2kV の
最大全しゃ断 $\int i^2 dt$
Type CLS, total jule-integral $\int i^2 dt$.

定格電流 SA	最大全しゃ断 $\int i^2 dt \times 10^3 A^2 sec$
50	160
100	600
200	2,000

性をそれぞれ図 2.14~2.16 に示す。溶断特性のバラツキは電流軸について $\pm 20\%$ に管理してある。また限流特性を図 2.17 に示す。

表 2.3 に全しゃ断 $\int i^2 dt$ の最大値を示す(実測値)。

2.5 低圧 FLN 形および FLK 形ヒューズ

(1) 構造

FLN および FLK 形ヒューズの構造は、ガラスマラン樹脂製の絶縁チューブ内にエレメント両端端子を入れて、エレメントの周囲にけい砂を充てんした構造で所要の溶断速度を与えるために、エレメントは数個

所に刻み部分を持つ特殊な形状となっている。端子はヒューズ接続部の接触抵抗が少なく、接触部では温度上昇しないようねじ締付形にしている。

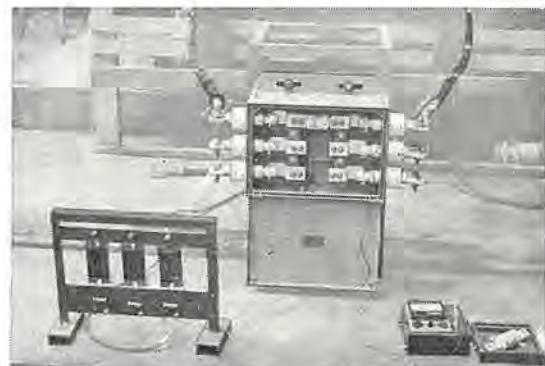
また、動作表示装置を内蔵しており、溶断時表示棒が突き出す。普通は母線導体、またはケーブルに直接接続して屋内用ヒューズとして使用するが、ゴム被覆するか、鋼板製屋内用ケースに入れて屋外または地中で使用されることもある。図 2.18 および図 2.19 に外観写真、図 2.20 および図 2.21 に外形寸法図を示す。



図 2.18 FLN 形ヒューズ
Type FLN current-limiting fuse.

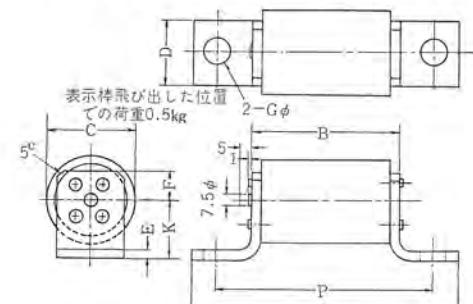


プロテクタヒューズ 250/500 V
(左: 2,000 A)
(右: 4,000 A)



箱入り リミッタヒューズ 250 V 400 A

図 2.19 FLK 形ヒューズ
Type FLK current-limiting fuse.



形名	定格電圧 V	定格電流 A	A	B	C	D	E	F	G	K	P
FLN-60×50	500/600	50	120	70	26	20	4	12	9.5	20	100±0.7
FLN-60×100	500/600	100	130	78	26	20	4	12	9.5	20	110±0.7
FLN-60×225	500/600	225	145	86	40	30	4	16	11	25	120±0.7
FLN-60×400	500/600	400	160	88	51	40	5	18	15	35	130±1.0
FLN-60×600	500/600	600	195	90	60	50	6	20	22	40	150±1.5

図 2.20 FLN 形ヒューズ外形図
Dimensions of type FLN current-limiting fuse.

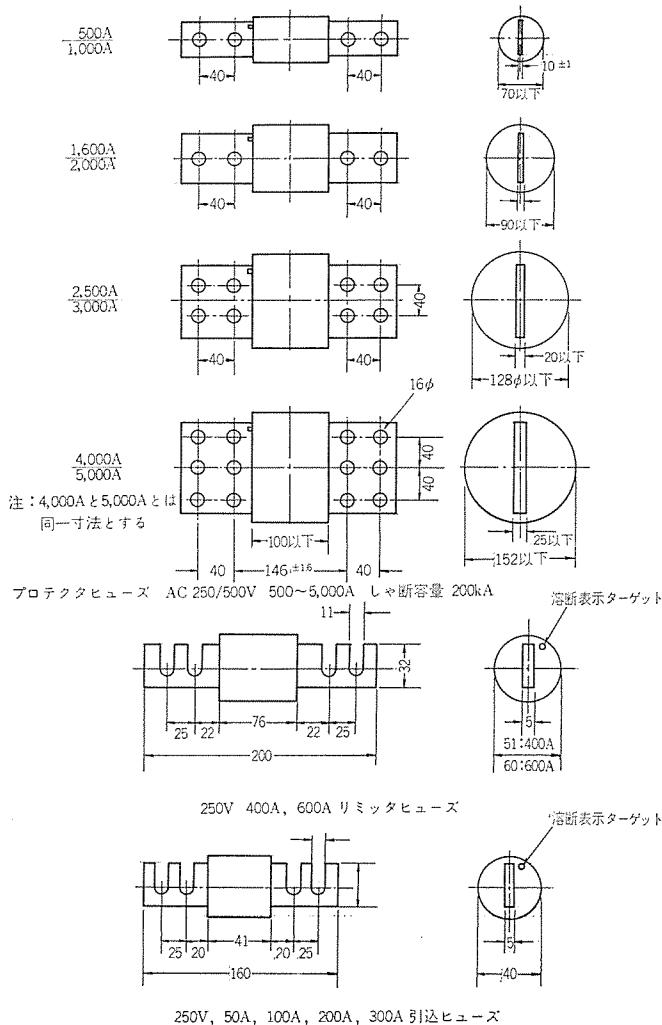


図 2.21 FLK 形 ヒューズ 外形寸法
Dimensions of type FLK current-limiting fuse.

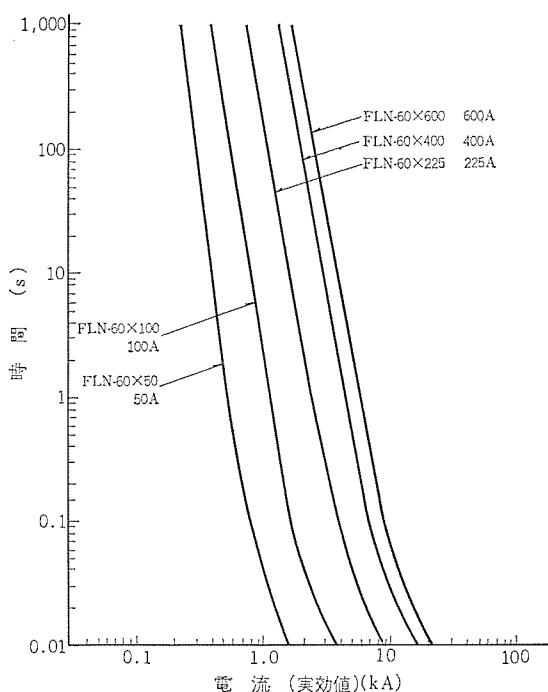


図 2.22 FLN 形, 短時間許容電流-時間特性曲線
Type FLN, short time rating time-current characteristics.

(2) 特性

FLN 形の短時間、溶断、全しや断の特性曲線および限流特性を図 2.22～2.25 に示すが、NF しや断器と直列に組合せた場合は、事故電流がノーヒューズ しや断器のしや断容量以上となっても、ノーヒューズのコンタクトが溶着したり、コイルが切断しないよう事故電流を小さい値に限流して急速にしや断し、NF しや断器を安全に保護する。

しや断容量 200 kA の FLK 形 プロテクタヒューズは、わが国ではじめて 200 kA の実負荷 しや断試験に成功した第 1 号記録品で、これが

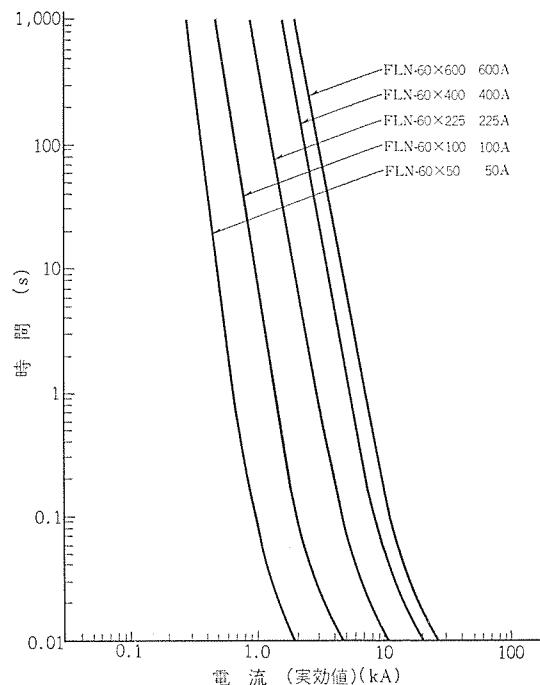


図 2.23 FLN 形, 最小溶断電流-時間特性
Type FLN, minimum melting time-current characteristics.

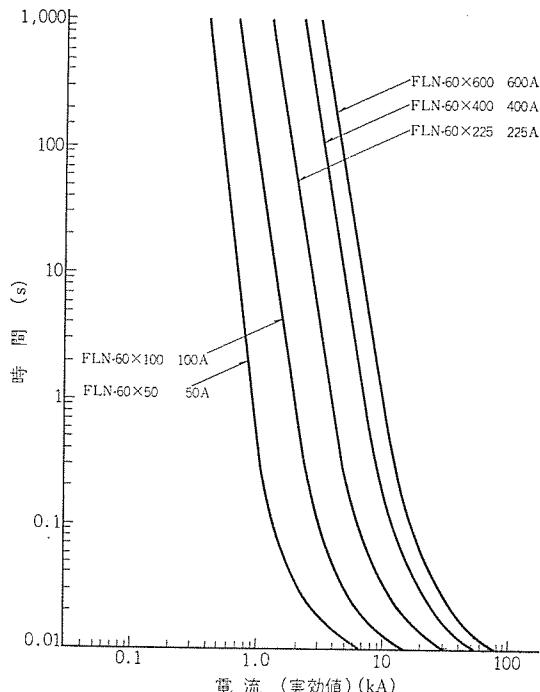


図 2.24 FLN 形, 全しや断電流-時間特性
Type FLN, total clearing time-current characteristics.

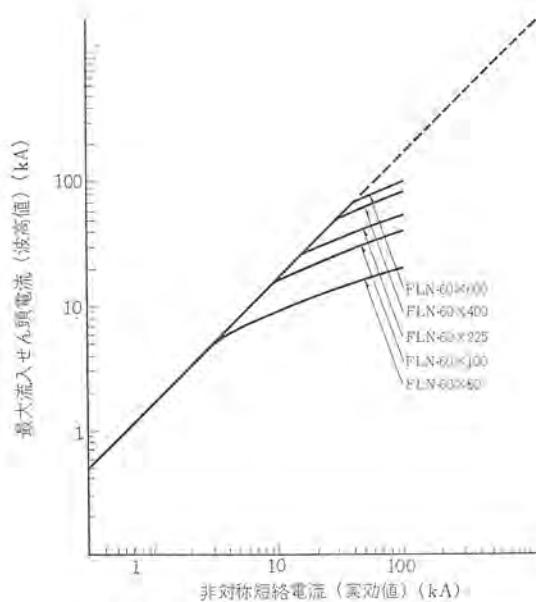


図 2.25 FLN 形, 限流特性
Type FLN, current-limiting characteristics.

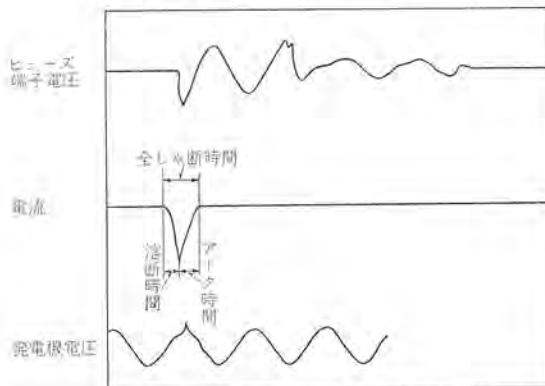


図 2.26 FLK 形ヒューズのしゃ断オシログラム
Oscillograms of interrupting current in and voltage across type FLK current-limiting fuse.

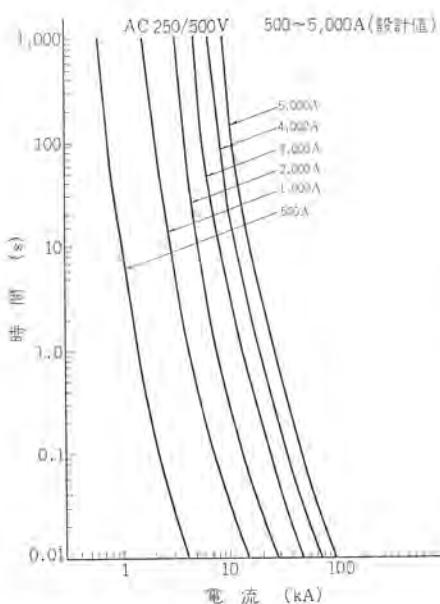


図 2.27(a) FLK 形, プロテクタ, ヒューズ
短時間許容電流-時間特性
(設計値)
Type FLK protector fuse, short time rating time-current characteristics.

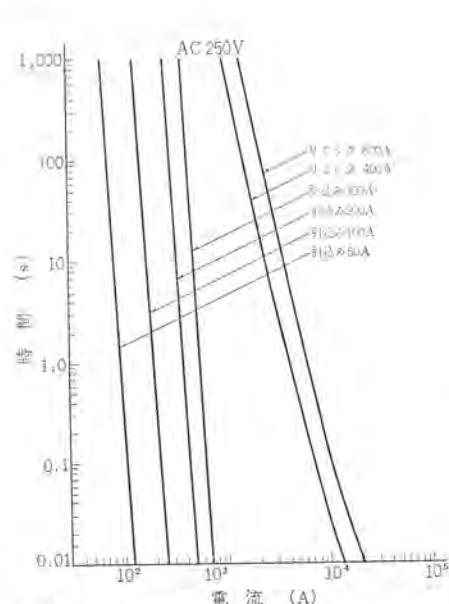


図 2.27(b) FLK 形, リミッタ, 引込ヒューズ
短時間許容電流-時間特性
(設計値)
Type FLK limiter, short time rating time-current characteristics.

試験に成功するまではわが国では 200 kA ヒューズの製作は不可能ではないかと言われていた。

表 2.4 にそのしゃ断試験結果および図 2.26 にしゃ断試験オシログラムを示す。なお FLK 形の短時間許容, 溶断, 全しゃ断の特性曲線および限流特性を図 2.27~2.29 に示す。

表 2.4 FLK 形, プロテクタ・ヒューズのしゃ断試験結果の一例
Examples of the results of interrupting tests on type FLK current-limiting fuses.

定電流 A	格相	試験数	給電圧 V	回電圧 V	復電圧 V	しゃ断電流 rms kA	しゃ断時間 ms			限流せん頭値 kA	過電圧波高値 V
							溶断	アーチ	全		
2,000	1φ	500	500	33	97	6.2	103	—	—	—	—
	1φ	500	500	190	2.2	3.3	5.5	172	1,150	—	—
	3φ	500	500	220	4.2	5.2	9.4	163	990	—	—
4,000	1φ	500	500	33	873	24	897	—	—	—	—
	1φ	500	500	90	24	2.0	26	—	—	—	—
	1φ	500	500	190	3.8	4.0	7.8	284	1,070	—	—
	3φ	500	500	220	10	1.6	11.6	195	750	—	—
					3.4	3.4	6.4	295	1,025	—	—

3. 各製品の応用

3.1 PL 形ヒューズ

これは PT 保護用ヒューズである。PT の容量は普通 200 VA 以下であり、実際に流れる電流はヒューズの定格電流 1 A に比べて非常に小さい。PT 一次側の完全短絡および層間短絡による故障電流をしゃ断する。PT の二次側短絡による一次電流は小さく、PT 用ヒューズでは保護できない。(この PL 形ヒューズは屋内用固定形であるから、屋外用あるいは断路形が必要なときは表 3.1 に示すように、CL 形を使用する。)

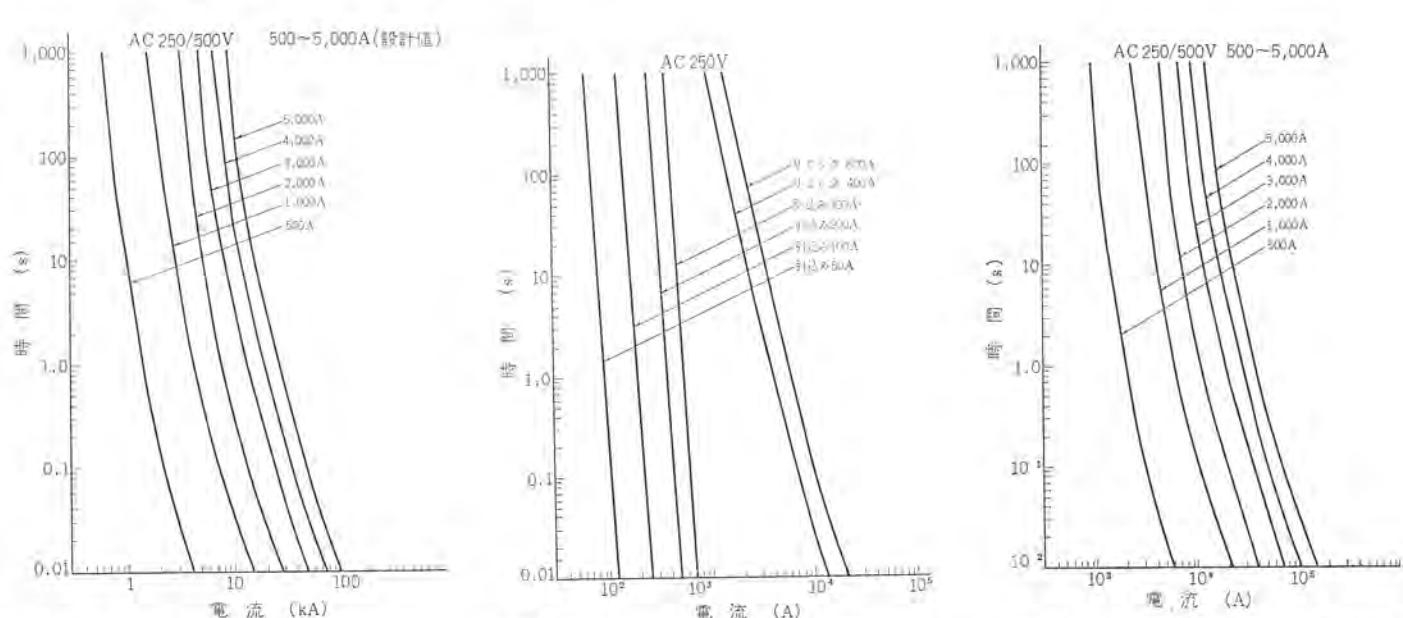


図 2.28(a) FLK 形, プロテクタ, ヒューズ
平均溶断電流-時間特性
(設計値)

Type FLK protector fuse, average melting time-current characteristics.

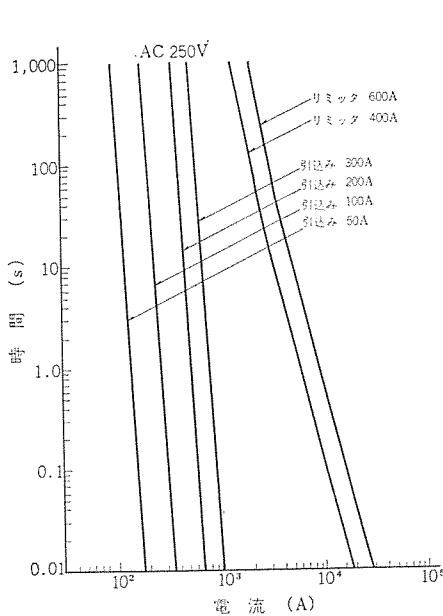


図 2.28(b) FLK 形, リミッタ引込みヒューズ平均溶断電流-時間特性(設計値)

Type FLK limiter, link fuse, average melting time-current characteristics.

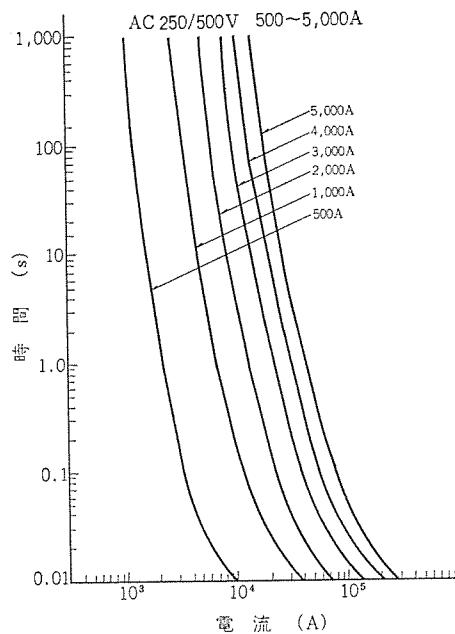


図 2.29(a) FLK 形, プロテクタ, ヒューズ全しや断電流-時間特性(設計値)

Type FLK protector fuse, total clearing time-current characteristics.

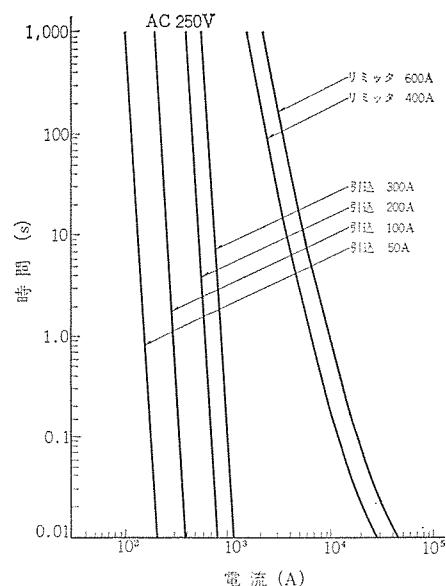


図 2.29(b) FLK 形, リミッタ, 引込みヒューズ全しや断電流-時間特性(設計値)

Type FLK limiter, link fuse clearing time-current characteristics.

表 3.1 三菱限流形ヒューズ形名, 定格選定
Application of the types and ratings of the current-limiting fuses.

		屋内用						屋外用						
		3.6 kV			7.2 kV			3.6 kV			7.2 kV			
		負荷容量 kVA	ヒューズ		負荷容量 kVA	ヒューズ		負荷容量	ヒューズ		負荷容量	ヒューズ		
PT. 用 新路形	固定形 新路形		形名	定格電流 A		形名	定格電流 A		形名	定格電流 A		形名	定格電流 A	
変圧器用	変圧器用	500 VA 以下	PL	1	500 VA 以下	PL	1	500 VA 以下	CL	5	500 VA 以下	CL	5	
変圧器用	単相	以下	CL	10	CL	5	CL	5	CL	10	CL	5	CL	5
		10	CL	20	CL	10~15	CL	10	CL	20	CL	10	CL	5
		15	CL	30	CL	30~50	CL	20	CL	30	CL	20	CL	5
		30	CL	50	CL	75	CL	30	CL	50	CL	30	CL	5
		50~75	CL	100	CL	100~150	CL	50	CL	100	CL	50	CL	5
	三相	100~200	CL	100	CL	200~400	CL	100	CL	200	CL	100	CL	5
		300	CLS	100 SA	CLS	200~400	CLS	100	CLS	200	CLS	100	CLS	5
		400~600	CLS	200 SA	CLS	500~600	CLS	100 SA	CLS	100 SA	CLS	100 SA	CLS	5
		750~1000	CLS	200 SA	CLS	1500~2500	CLS	200 SA	CLS	200 SA	CLS	200 SA	CLS	5
		10~15	CL	5	CL	5~15	CL	5	CL	10	CL	5	CL	5
電動機用	特殊・かご形用	30	CL	20	CL	30~75	CL	20	CL	30	CL	20	CL	5
		50~75	CL	30	CL	100~150	CL	30	CL	50	CL	30	CL	5
		100~150	CL	50	CL	200~300	CL	50	CL	100	CL	50	CL	5
		200~300	CL	100	CL	400~750	CL	100	CL	100	CL	100	CL	5
		400~600	CLS	100 SA	CLS	1000	CLS	100 SA	CLS	100 SA	CLS	100 SA	CLS	5
	巻線形	750~1000	CLS	200 SA	CLS	1500~2500	CLS	200 SA	CLS	200 SA	CLS	200 SA	CLS	5
		40~200 kW	CLS	50 SA (200 kW)	CLS	40~400	CLS	50 SA (400 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	5
		250~400 kW	CLS	100 SA (400 kW)	CLS	500~800	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	5
		500~800 kW	CLS	200 SA (800 kW)	CLS	500~800	CLS	200 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	5
		40~400 kW	CLS	50 SA (200 kW)	CLS	40~400	CLS	50 SA (400 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	5
		250~400 kW	CLS	100 SA (400 kW)	CLS	500~800	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	5
		500~800 kW	CLS	200 SA (800 kW)	CLS	500~800	CLS	200 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	100 SA (800 kW)	CLS	5

(注) 1) 本表は短絡保護用で、過負荷保護不适用として選定した。

2) CL 形は 7.2 kV ヒューズであるが過電圧は低く、3 kV でも AC 実効値 14.4 kV 以上は発生しないので、3 kV 回路にも AC 16 kV 耐圧があれば使用できる。一般に、変圧器回路はたとえ 3 kV でも 6 号危険をがあるので、CL 形は変圧器用に限り 6 kV, 3 kV 共用とした。

3) 変圧器用ヒューズ電流定格は、2 次側短絡時の過電流をなわち変圧器定格電流 × 25 倍で 2 秒以内にしゃ断し、励磁突入電流 = 変圧器定格電流 × 10 倍 0.1 秒には耐えると仮定した。特殊な場合には電流時間特性曲線より選定する。

4) CLS 形は電動機用としているが、一般用にも使用できる。大容量で CL 形 100 A を越えるところには、変圧器回路にも CLS 形を選定した。

3.2 CL形ヒューズ

(1) 用途

屋内外の別なく、フィーダの分歧点、変圧器などの機器の受電側の短絡保護用に、あるいはしゃ断容量の不足したしゃ断器類のバックアップ用などに、スペースの小さい経済的保護装置として最適である。なお限流ヒューズはその本質上過負荷保護には適さないので、過負荷は負荷側のスイッチなどで開放し、ヒューズは短絡保護だけに限ることが好ましい（最悪、ヒューズでしゃ断する電流は定格電流の3倍以上とする）。

(2) 定格電圧（6/3 kV 共用）について

このCL形の定格電圧は本来7.2 kVであるが、これを3 kV回路で使用したときには6 kV回路のときに比べしゃ断動作時の過電圧は相当低くなり、定格電流5~100 Aについて過電圧は10~16 kVである。したがって3 kV回路にもAC 16 kV（波高値=22.6 kV）の電圧をもつ回路には、余裕をもってそのまま7.2/3.6 kVの共用ができる。

(2) 定格電流の選定

ヒューズの定格電流は、温度上界限度を越えずに流せる電流の限度と、ヒューズの電流時間特性を表示する記号的数字であり、永年無劣化で連続通電できる負荷電流値を示すものではない。一般に電力ヒューズの定格電流は、負荷電流による自然劣化のほかに、過渡電流（変圧器の無負荷励磁突入電流、電動機の起動電流およびコンデンサ投入時の突入電流）による損傷を防止するため、短時間許容特性によって定格電流を選定し、その後機器やケーブルの保護、前後の保護装置との動作協調を全しゃ断特性曲線によって考慮して修正する。

このようにヒューズの定格電流の選定は、手数のかかるものであるが、CL形ヒューズの場合は長い現場経験をもとに、経済的で安全なヒューズ定格を表3.1の定格選定表に示してあるので、それに従って使用すればまず問題はない。CL形ヒューズの負荷側に、変圧器のほかにさらに力率改善用のコンデンサが並列に接続された場合も表3.1の選定表によってさしつかえない。

また簡易キュービクル用では動力用の三相変圧器（あるいは単相変圧器2台のV結線）と、電灯用の単相変圧器と並列に使用する場合が多い。この場合各線電流は不平衡になるが、ヒューズの定格電流は便宜上（すなわち二相短絡時の欠相防止や、定格電流の種類を減らして予備品の保管管理を容易にし、ヒューズ簡易取扱時の混同を避けるなどの便宜を考えて）最も大きな電流の相のヒューズ定格電流に三相とも統一するのが望ましい。この最も大きな電流のヒューズ定格電流は、表3.2により選定する。この表は耐変圧器励磁突入電流および耐自然劣化から見たヒューズの定格電流の最低限度を表わし、耐変圧器励磁突入電流は変圧器定格電流×10倍0.1秒の等価点がヒューズの短時間許容特性に耐えるもの、また耐自然劣化は、ヒューズ定格電流が常時ヒューズに流れる電流の約2倍以上になる関係で求めたものである。もちろん表3.1を満足する。

(3) 最小しゃ断電流の問題

現行JEC-113では、最小しゃ断電流としては定格電流の3倍で検証することになっており、このCL形もこの基準で試験を行ない保証しているわけであるが、しばしば3倍以下どこまで切れるのか、またその必要性が問題にされるので、少し検討を加える。要するに、最小しゃ断電流が定格電流の3倍であっても、かりに2倍であっても、実用上はほとんど同一であることを説明する。

まず応用の面から見ると、たとえばヒューズと変圧器が1対1でそ

- 表3.2 (1) 耐変圧器励磁突入電流および耐自然劣化から見た変圧器定格電流とヒューズ定格電流の関係およびそのときの
(2) 変圧器二次側短絡時の一次電流とヒューズ定格電流との比

- (1) Relations between transformer current-ratings and fuse current-ratings withstandstanding transformer's exciting inrush current and the deterioratin, and
(2) Ratios of transformer's primary currents to fuse's current-ratings.

ヒューズ定格電流 I_n A	(1) 変圧器定格電流 I_m A	$\frac{I_p}{I_m}$	(2) 変圧器二次側短絡時の一次電流 (I_p との比) $\frac{I_m}{I_n} \times \frac{100}{2} \%$ **	
			単相変圧器のV結線のときまたは、容量の異なる変圧器が並列接続されていて、各相の電流が不平衡のときは、最も大きい電流の相の電流値とする（三相とも同一定格電流にする）	※ 変圧器の%Z=2%とする。
5	1.3 以下	3.85	13.0	
10	3.0 以下	3.33	15.0	
20	7.5 以下	2.67	18.7	
30	13 以下	2.3	21.7	
50	26 以下	1.9	26.3	
100	52 以下	1.9	26.3	

(注) * 単相変圧器のV結線のときまたは、容量の異なる変圧器が並列接続されていて、各相の電流が不平衡のときは、最も大きい電流の相の電流値とする（三相とも同一定格電流にする）

** 変圧器の%Z=2%とする。

の定格電流が表3.2を満足する関係であると、変圧器二次側短絡時の一次電流は表3.2の第4欄に示したようにヒューズ定格電流の約13~23倍である。ヒューズの定格電流をさらに余裕をもたせたとしても、ヒューズの最小しゃ断電流=定格電流×3倍から見れば、この場合は相当余裕があると言える。一方、前記(2)でも述べたように、ヒューズ三相1組に対して容量の異なる変圧器が2組並列に接続される場合も相当多い。この場合2組の変圧器の容量の差が大きく、しかも小さいほうで二次短絡を生じたときは、一次電流がヒューズ定格電流の3倍以下という場合も考えられるが、最小しゃ断電流が定格電流の2倍であればokで3倍であればoutのときは事実上少なく、またこの場合には変圧器二次側の結線を少し確実にして二次側直接短絡を防止すれば実用上支障ない。

変圧器内部事故は一般に一次側巻線の短絡にまで発展して大電流となるので問題ない。

一方小電流しゃ断性能に関してしゃ断試験の立場から見ると、小電流になるほど溶断時間が長くなり、試験回路の機器の過熱の問題、また試験の記録時間が長くなるなどの問題のため非常に試験が困難になる。

以上の諸点より、当社のCL形ヒューズではJEC-113に定める定格電流の3倍以下のしゃ断試験は行なっていない。3倍までで実用上十分と考えている。

(4) 定格しゃ断容量

定格表2.1に示すように最大級のしゃ断容量を有し、一般にはこれ以上の短絡容量をもつ回路は現在のところまずないので、しゃ断容量についてはめんどうな計算をして検討する必要はない。

(5) ヒューズによる変圧器励磁電流の開閉

結論的に言うと、据付条件、開閉条件などについて検討し、開路時のアーカで地絡あるいは相間短絡を生じないことが十分わかっているれば、変圧器励磁電流程度の開閉はしてよいであろう。しかし極力避けるほうが安全である。

3.3 CLS形ヒューズ

(1) 一般

CLS形電力ヒューズは電動機、起動器の短絡保護用に開発したも

のであるから、必ず接触器あるいは真空しゃ断器と組合わせて使用し、ヒューズの S 定格電流の 7 倍以下の過負荷は図 2.14 の過負荷耐量（短時間許容特性）以内に開放するよう、ヒューズ定格電流および接触器などの继電器の電流時間を選定する必要がある。（次項に協調の詳細を示す）

このため CLS 形ヒューズの定格電流は、電動機の起動特性、接触器の继電器を含めた動作時間特性によって変わるので、他の一般的電力ヒューズのような推し定格表は作成できないが、参考までに電動機起動時間 10 秒以下で、接触器は十分短時間特性をもっており、その動作特性は自由に変化できると仮定した場合の定格表を表 3.1 に示す。

（2）電力ヒューズと接触器との動作協調

電力ヒューズと接触器などと組合わせ「コンビネーションスイッチ」として使用する場合の動作協調図を図 3.1 に示す。

協調条件は

a. $I_M \leq I_N$

電動機の全負荷電流は、ヒューズの SA 定格電流より小さくなければならない。

b. $I_R \geq I_A (T_R \leq T_A)$

接触器の定格しゃ断電流は、保護リレーを含めた接触器の最小動作特性とヒューズの全しゃ断特性の交点の電流より大であること。

c. $I_{MIN} \leq I_B$

ヒューズの最小しゃ断電流以下の電流は、接触器により開放すること。

d. $I_L < I_C (T_C > T_L)$

電動機の拘束電流は、ヒューズでなく接触器が開放できる範囲にあること。

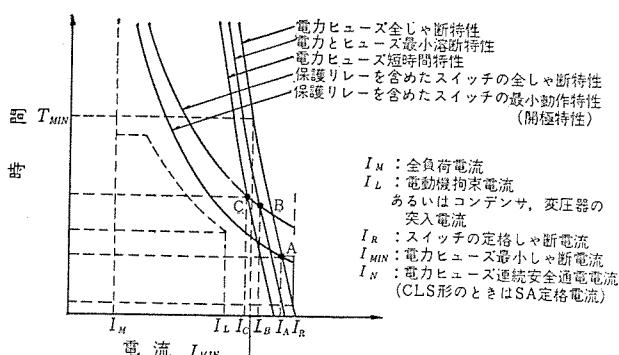


図 3.1 ヒューズと接触器の動作協調
Co-ordination between fuse and contactor.

ること。

e. 起動電流または突入電流時間特性が保護リレーを含めた接触器の最小動作特性より下側にあること。

f. 回路の短絡容量以下において、接触器は機械的強度（電磁力）の点でヒューズの最大限流波高値（図 2.17）に耐えるものであること。また、熱的強度（大電流領域）の点で全しゃ断 $\int i^2 dt$ （表 2.3）に耐えるものであること。

以上である。CLS 形ヒューズの場合の協調上の数値を表 3.3 に示す。

3.4 FLN 形ヒューズの応用

（1）取付方法

ヒューズの両端の端子に、ねじれや曲げがかかるないように注意し、またむりな振動はできるかぎりヒューズに伝わらないようにして導体あるいは機器に直接取り付ける。水平、垂直など取り付けの向きは自由であるが、ヒューズが動作したとき、動作表示装置が見えやすい向きになるよう注意しなければならない。

（2）ヒューズの選定法

（a）ヒューズ単独で、短絡保護に使用できる。

このヒューズは 3 本、あるいは 2 本一組として 600 V 以下の三相、あるいは単相回路短絡保護用に使用できる。このヒューズの定格電流は、使用の便利を考え全負荷電流と等しい定格電流のヒューズがエレメントの損傷なく安全に連続使用できるよう、普通のヒューズより低い定格電流値にしてあるので、全負荷電流と等しい定格電流のヒューズが使用できる。なお、モータの起動電流は、定格電流の 6 倍を 10 秒間流し得る過電流耐量を持っている。もしそれ以上大きい起動電流

表 3.3 CLS 形ヒューズの動作協調上の数値
Values for type CLS current-limiting fuse on the co-ordination.

	電力形ヒューズ定格電流	
	100 SA	200 SA
全負荷電流 I_M	100 A 以下	200 A 以下
ヒューズの最小しゃ断電流 I_{MIN}	700 A	1,400 A
I_{MIN} の最大しゃ断時間 T_{MIN}	25 秒	20 秒
許容拘束電流 I_L 時間 T_L	1,000 A-0.4 秒	2,000 A-0.4 秒
スイッチのしゃ断電流 I_R における最小動作時間 T_A	4,400 A-0.017 秒	4,400 A-0.13 秒
44kA(対称実効値) におけるスイッチの 0.5 サイクルの過電流強度	21 kA 以上	35 kA 以上

表 3.4 FLN 形ヒューズと NF しゃ断器の組合せ
Combining type FLN current-limiting fuses with no-fuse breakers.

ヒューズ	ヒューズ			ヒューズと組合わせるノーヒューズしゃ断器		
	形名	定格電圧 V	定格電流 A	定格しゃ断電流非対称実効値 A	フレームの大きさ A	定格電流 A
FLN-60×50		500/600	50	100,000*	100	15, 20, 30, 40, 50
FLN-60×100		500/600	100	100,000	100	60, 75, 90, 100
					225	75, 90, 100
FLN-60×225		500/600	225	100,000	225	125, 150, 175, 200, 225
					400	125, 150, 175, 200, 225
					600	125, 150, 175, 200, 225
FLN-60×400		500/600	400	100,000	400	250, 300, 350, 400
					600	250, 300, 350, 400
FLN-60×600		500/600	600	100,000	600	450, 500, 600
FLN-60×800		500/600	800	100,000	800	500, 600, 800

が流れるときには図2.20短時間許容特性を参考にして、エレメントの損傷しないヒューズ定格を使用する。

(b) NF保護用に使用できる。

表3.4に示す組合せで、NFシャンク保護に使用できる。この場合図2.22のシャンク特性曲線と対比してノーヒューズの動作特性時間チェック、確認しておくことが望ましい。

3.5 FLK形ネットワーク用ヒューズの応用

負荷電流は安全に流し、事故時はケーブルの過負荷耐量、短絡時間許容特性、被保護シャンクあるいはヒューズの動作時間特性以内にしゃ断して、適当なヒューズ定格を選定しなければならない。

これらについては適当なシステム設計によって選定を行なうことができる。

4. むすび

以上、低圧ネットワーク用250/500Vから高圧7.2kVまでの限流ヒューズについて述べた。回路に事故電流が流れた場合、限流ヒューズは溶断発弧のあと急速に限流しゃ断をするため、実際に流れる電流

は、回路固有の故障電流に比べて一般にきわめてわずかであり、したがってヒューズ自身そのしゃ断容量に比べて非常に小形に設計できるのみでなく、事故電流をおさえ、その拡大を最小に押さえるので、過電流強度の低い設備でも十分使用でき、設備全般の経済化に役立つものである。今後この種限流ヒューズはますます必要度が高まっていくことと思う。本文をご参考のうえ、当社限流ヒューズを広くご利用願いたい。またこれら技術資料および製品についてお気付きの点は、ご教示、ごべんたついただき、さらに配電用ヒューズの進歩に貢献したいと考えるものである。

参考文献

- (1) 岩崎、太田：7.2kV CL形限流ヒューズ、三菱電機技報、41, 1177~1184(昭42)
- (2) 岩崎、本部：新形CLS、CLE形限流ヒューズ、三菱電機技報、39, 28~31(昭40)
- (3) 岩崎、小林、岩崎(晴)：低圧速動ヒューズ、三菱電機、34, 1~11(昭35)

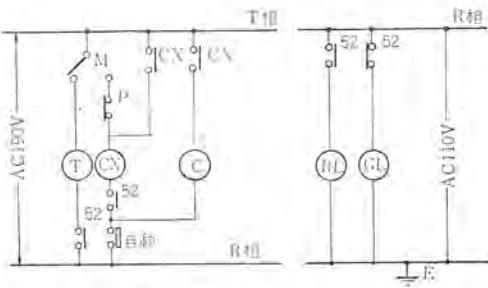


図 2.4 ネットワーク プロテクタ 展開接続図例
Typical schematic diagram of the network protector.

位相点検電器（三菱 CNP-1 形）の外観を示す。これら主制御継電器・位相点検電器は、補助継電器と組み合わせて投入・しゃ断をするよう構成されているが、その制御回路の一例を図 2.4 に示す。

2.2 三菱 CNM-1 形主制御継電器

(1) 構造および原理

三菱 CNM-1 形主制御継電器は、図 2.5、図 2.3(a) に示すよろな構造の双方向接点式 3 相誘導形電力継電器である。この継電器は、中央に大形回転 ドラム を置き、その周囲に 3 個の誘導形電磁要素と 2 個の制動磁石を配し、これを共通のベース 上にのせたものである。

回転 ドラム は、アルミ製で 3 個の電磁要素の発生する磁界と、ドラム表面の渦電流によりトルクを受けて回転する。この ドラム に固定された軸は水平 2 点支持されており、この軸の一端に、双子形可動接点が取付けられている。双子形可動接点は正面向って右側に動いて、投入回路付勢接点 C (CLC 接点) を閉じ、左側に動いてしゃ断回路付勢接点 T (TC 接点) を閉じる。

双子形可動接点の反対側に、長さの異なる 3 枚の板ばねがあり、この板ばねのそりの量をストップ位置の変更により変えて、逆電力しゃ断時のリレー感度を変える。また可動部回転軸のまわりには、渦巻ばねが取付けられており、可動部が C 接点閉の方向に動くとき、渦巻ばねがしづり込まれて過電圧投入時のリレー感度を変えるようになっている。詳細については後述する。

この継電器は前述の 3 個の電磁石が発生するトルクの和によって、可動部の回転エネルギーを得るわけで、その動作特性は、各電磁要素への入力の導入法により大きく変わる。ネットワーク 電圧 e_2 を基準として電圧コイル PC に加え、フェージング電圧 Δe をフェージングコイル PhC に、ネットワーク プロテクタ 通過電流 i を電流コイル CC に加えて、 e_2 基準、 Δe および i の大きさ、位相を判別する電力方向要素として構成してあり、フェージングコイル PhC および電流コイル CC は同一鉄心上に巻かれている。また 3 相 ネットワーク プロテクタ として、3 個の要素に各相入電圧および入電流を導入する。(図 2.6, 2.7)

このばあいのトルクは、トリップ方向に対しては、

$$T_T = k_A E_A I_A \cos(\varphi_{CA} + \theta_{CA}) + k_B E_B I_B \cos(\varphi_{CB} + \theta_{CB}) + k_C E_C I_C \cos(\varphi_{CC} + \theta_{CC}) \quad (2.2)$$

閉成方向に対しては

$$T_C = l_A E_A \Delta E_A \cos(\varphi_{PA} + \theta_{PA}) + l_B E_B \Delta E_B \cos(\varphi_{PB} + \theta_{PB}) + l_C E_C \Delta E_C \cos(\varphi_{PC} + \theta_{PC}) \quad (2.3)$$

となる。ここで



図 2.5 CNM-1 形主制御継電器（内部）
Type CNM-1 master relay (internal construction).

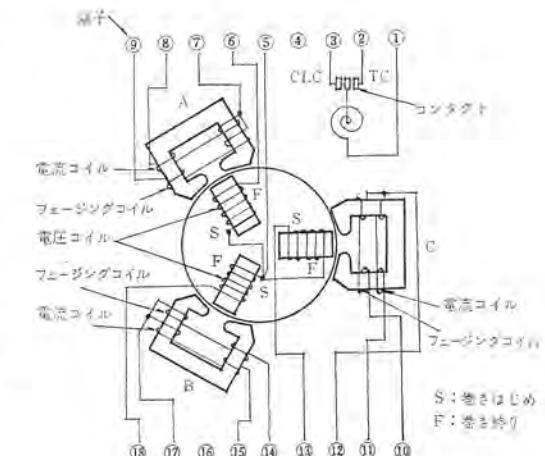


図 2.6 CNM-1 形継電器内部接続図（裏面図）
Schematic diagram of the interior of type CNM-1 network master relay (rear view).

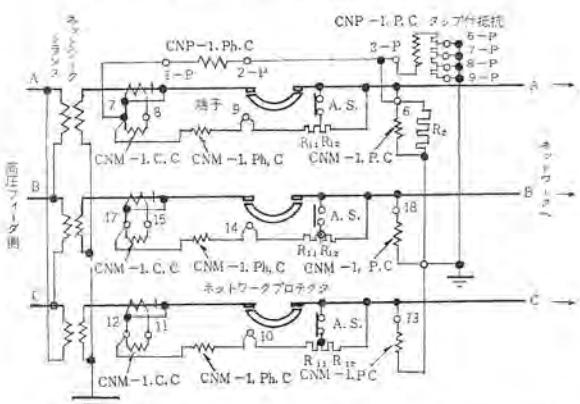


図 2.7 CNM-1, CNP-1 形継電器組合せ外部接続図
External connection of types CNM-1, CNP-1 relays.

E_A, E_B, E_C : 各相入電圧実効値 (e_2 実効値)

I_A, I_B, I_C : 各相入電流実効値 (I 実効値)

$\Delta E_A, \Delta E_B, \Delta E_C$: 各相入フェージング電圧実効値 (Δe 実効値)

k_A, k_B, k_C : 定数
 I_A, I_B, I_C :

$\varphi_{CA}, \varphi_{CB}, \varphi_{CC}$: 同一相 E, I 間の位相角

$\varphi_{CA}, \varphi_{CB}, \varphi_{CC}$: $E-I$ 位相特性角

$\theta_{PA}, \theta_{PB}, \theta_{PC}$: 同一相 $E, \Delta E$ 間の位相角

$\theta_{PA}, \theta_{PB}, \theta_{PC}$: $E-\Delta E$ 位相特性角

ふつうは 3 相ほぼ対称に構成されるので、3 相対称状態においては、

$$T_T = k E I \cos(\theta_C + \varphi_C) \quad (2.3)$$

ただし $k = k_A = k_B = k_C$

$\theta_C = \theta_{CA} = \theta_{CB} = \theta_{CC}$ など

$$T_C = l E \cdot \Delta E \cos(\theta_P + \varphi_P)$$

ただし $l = l_A = l_B = l_C$

$\theta_P = \theta_{PA} = \theta_{PB} = \theta_{PC}$ など

となる。すなわち ネットワーク プロテクタ を通過する 3 相電力の方向を監視していることになる。上記のトリップ方向のトルク T_T は、板ばねによって T 接点閉成方向に働くのを妨げられ、

$$T_T \geq k_{LS} \quad (k_{LS} : \text{板ばねの反抗力}) \quad (2.4)$$

のとき T 接点を閉成する。

また、閉成方向のトルク T_C は、渦巻ばねにより C 接点閉成方向に働くのを妨げられ

$$Tc \geq l_{ss} \quad (l_{ss} : \text{渦巻ばねの反抗方向}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

のときC接点を閉成する。これらの反抗力は逆向きであり、双方とも独自に調整できるようになっている。

(2) 特性

上記説明から明らかのように、本総電器の特性は、 e_2 を基準としたネットワーク電流 i の位相特性および同じく e_2 基準のフェージング電圧 Δe の位相特性によって代表される。

その代表特性例を図2.8および図2.9(a)(b)に示す。図2.8は過電圧投入特性を示し、ネットワーク側電圧 $e_2=110\text{ V}$ を基準とし、フェービング電圧 Δe が同相で 0.8 V 程度以上でC接点閉成することを表わしている。図2.9(a)(b)は逆電力しゃ断特性を示し、ネットワーク側電圧 $e_2=110\text{ V}$ を基準とし、プロテクタを通過する逆電流がCT定格電流の $0.2\sim0.3\%$ 程度でT接点が閉成するよう設計されている。

これら過電圧投入、逆電力しゃ断両特性とも、その最小動作値は、上述のように渦巻ばねおよび板ばねによって調整可能である。本継電器は上述のように電力方向リレーであるが、ネットワークプロテクタとして、 e_2 が低い場合にも逆電力がなければ閉成できるよう $e_2 - \Delta e$ 特性を特長あるものとしている。

すなわち式 (2.3) に示すトルクのほかに e_2 の 2 乗に比例し、 Δe に
関係しない、いわゆるクリーピングトルクを発生せしめ、この方向をトリ
ップ方向に働かせる。また可動部のバランスを適当にとることにより
 e_2 、 Δe とも無入力のとき、可動部が C 接点側に倒れるようにしてお
く、つまり可動部の位置エネルギーを利用するわけである。

$$T' \tau = k'E_2 \Delta E - E_2^2 + k_c \approx k_{LS} \quad \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

上記の関係を e_2 - Δe 座標で表わすと図 2.10 のようになる。通常の電力方向要素では、図の点線のようにしかならないから、無電圧投入は必ずしも常に可能ではないが、 e_2^2 なるトリップ方向 (C 接点開方向) クリーピングトルクの導入、および可動部不平衡による C 接点側への倒れを利用することにより、定格 e_2 電圧付近で過電圧投

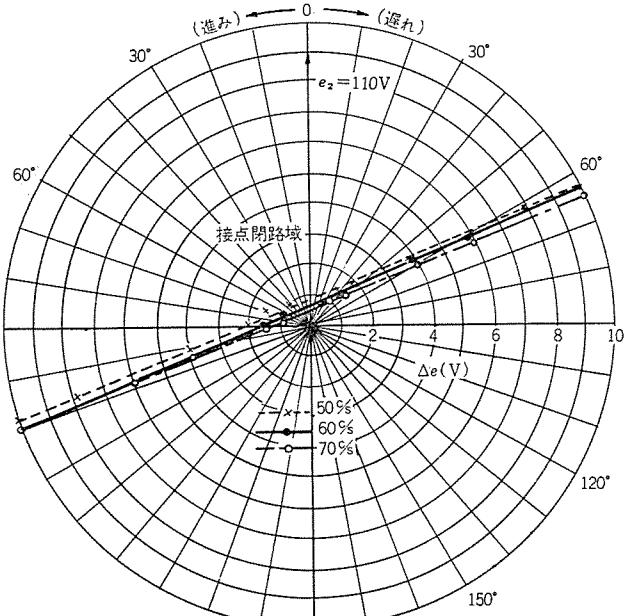
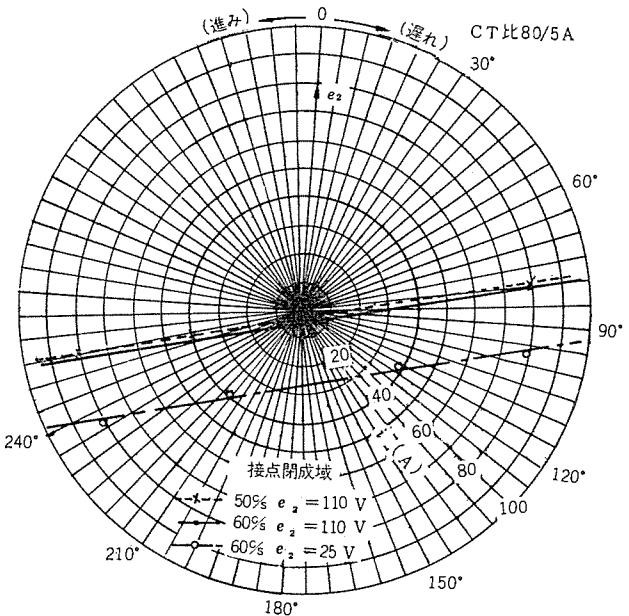
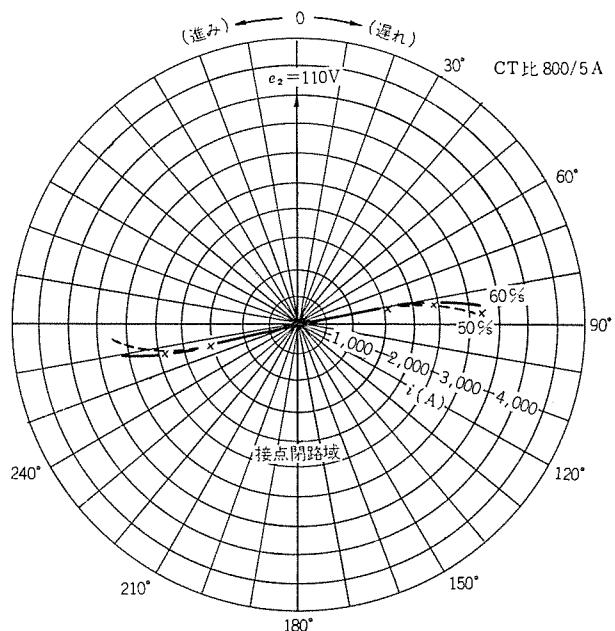


図 2.8 CNM-1 形主制御继電器過電圧投入位相特性
Overvoltage closing characteristics of type CNM-1 master relay



(a) CNM-1形主制御継電器逆電力しゃ断位相特性



(b) CNM-1 形主制御継電器逆電力しゃ断位相特性

図 2.9 CNM-1 形主制御继電器逆電力しゃ断位相特性
Reverse power tripping characteristics of type CNM-1 master relay.

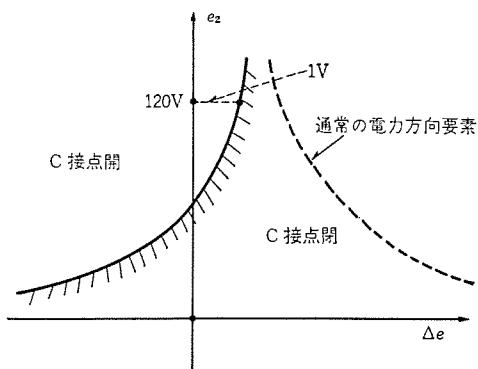


図 2.10 CNM-1 形継電器 e_2 - Δe 特性
 e_2 - Δe characteristic of the type CNM-1 network master relay.

入を行ない、かつ無電圧投入が可能となる。

上記のことから逆にネットワーク電圧 e_2 があり、逆電力が流れればトリップ方向のトルクが発生し、これが可動部のバランス位置を越える程度であれば、可動部は T 接点側に倒れることになって可動部の適当な慣性とあいまって、一種のメモリー効果を与えられた形となる。これはプロテクタ至近端の事故に対して有効である。

2.3 三菱 CNP-1 (2) 形位相点検継電器

位相点検継電器の機能については 2.1 節において略述したが、これについて補説する。

ネットワークプロテクタ開の状態から Δe の存在により過電圧投入を行なったとき、プロテクタ通過電流は

$$i = \Delta e / Z_F + Z_N \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

となる。ここで

$$\Delta e = e_1 - e_2 : \text{フェージング電圧}$$

Z_F : フィーダ側インピーダンス

Z_N : ネットワーク側インピーダンス

とする。

いまもし、フェージング電圧 Δe がネットワーク電圧 e_2 に対して遅れており、フィーダおよびネットワークの合成インピーダンスの力率角が遅れであれば、ネットワーク電流はネットワーク電圧 e_2 に対して 90° 以上遅れとなり、図 2.9(a)(b) の逆電力しゃ断特性のしゃ断範囲にはいる。したがってこの場合、 Δe が e_2 に対して 90° 以内の遅れで過電圧投入を行なっても、電流が逆向きを検出してトリップすることとなる。これをポンピングと称する。位相点検継電器は、このポンピング防止のための継電器であって、ネットワーク電圧 e_2 に対し、フェージング電圧 Δe が 90° 付近の進みのとき、投入するような位相特性を有することが必要である。

三菱 CNP-1 (2) 形位相点検継電器は、三菱 CNM-1 形主制御継電器とほぼ同一構造を有する単相電力継電器である。ただしこの場合には 3 相系統の A 相 e_2 相電圧、A 相フェージング電圧を導入することにしている(図 2.11)。また CNP-2 形継電器は A 相 e_2 線間電圧、A 相フェージング電圧を導入している。本継電器の動作トルクは、下式で与えられる。

$$T = mE_2 \Delta E \cos(\phi - \theta) \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

ただし m : 定数

ϕ : e_2 と Δe との間の位相差角

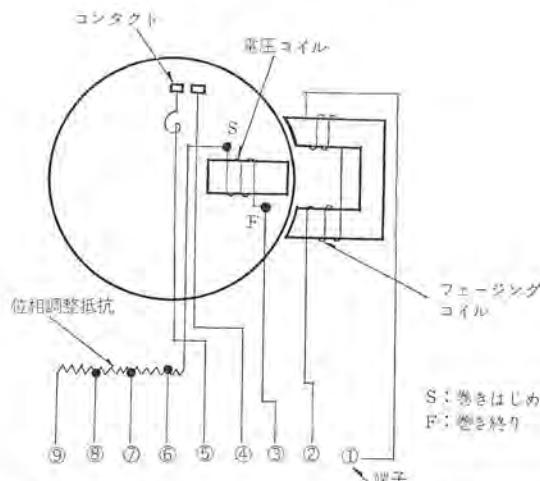


図 2.11 CNP-1 (2) 形継電器内部接続図(裏面図)
Schematic diagram of the interior of type CNP-1 (2) network phasing relay (rear view).

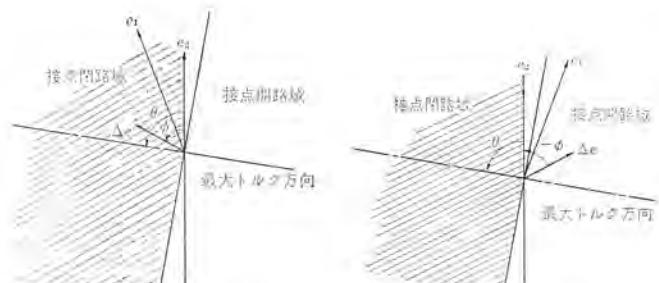


図 2.12 CNP-1 形位相点検継電器の動作原理ベクトル図
Vector diagram of type CNP-1 network phasing relay.

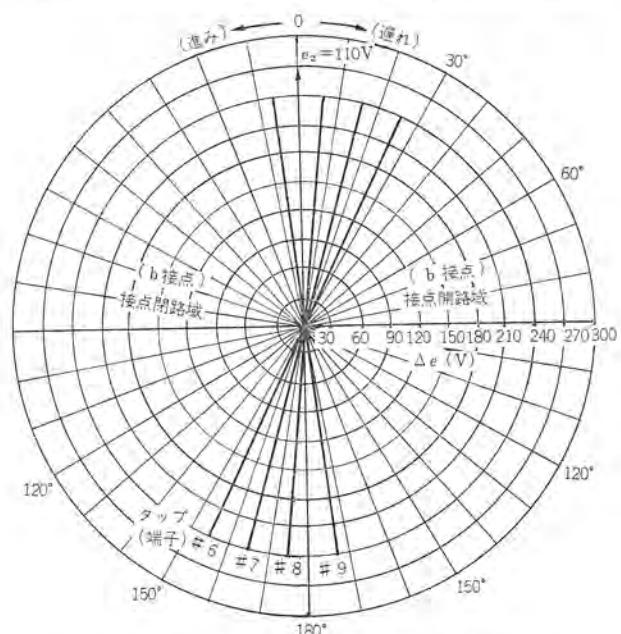


図 2.13 CNP-1 形位相点検継電器位相特性
Phasing characteristics of type CNP-1 phasing relay.

表 2.1 ネットワーク継電器標準
Standards of network protector relay.

項目	CNM-1	CNP-1	CNP-2
過電圧投入特性	$e_2 = 110, 210/\sqrt{3} \text{ V}$, Δe 同相で, $1.0 \text{ V} \pm 0.1 \text{ V}$ 以下で, CLC 接点開放 (0.5~2.0V までスプリング調整可一点固定)	$e_2 = 110, 210/\sqrt{3} \text{ V}$, Δe が 90° 遅れ $0.4 \text{ V} \pm 0.1 \text{ V}$ で接点開放 (スプリング調整可)	$e_2 = 210 \text{ V}$, Δe が 90° 遅れ $0.7 \text{ V} \pm 0.1 \text{ V}$ で接点開放 (スプリング調整可)
逆電力しゃ断特性	$e_2 = 110, 210/\sqrt{3} \text{ V}$, 180° 遅れ電流が定格値の 0.3% 以下で TC 接点閉成 (板バネにより $0.2\sim10\%$ まで調整可一点固定)	—	—
無電圧投入特性	$e_2 = 0, e_1$ が $0\sim250 \text{ V}$ の範囲で CLC 接点閉成	$e_2 = 0, e_1 = 0\sim130 \text{ V}$ の範囲で CLC 接点閉成	$e_2 = 0, e_1 = 0\sim250 \text{ V}$ の範囲で CLC 接点閉成
過電圧投入位相特性	e_2 より Δe が進み 25° で最高感度。ただし R_{11} により調整可能	e_2 より Δe が遅れ 92.5° で最高感度。ただし位相調整抵抗タップで調整可能	e_2 より Δe が遅れ 110° で最高感度。ただし位相調整抵抗タップで調整可能
逆電力しゃ断位相特性	逆位相より 10° 進みで最高感度。ただし $R_{11}+R_{12}$ により調整可能	—	—
トランス線	入, V	入	V

θ : 最大トルクを与える位相差角

動作原理ベクトル図を図2.12に示す。また前述の動作条件を満足するため、図2.13に示すような位相特性を有する。接点は主制御继電器のC接点と直列に接続されてポンピング防止シーケンスを形成する。(図2.4参照)

三菱ネットワーク继電器の標準をとりまとめて表2.1に示す。

3. ネットワーク继電器の各種系統への適用

従来ネットワーク系統といえば、低圧側入接続3相4線式レギュラーネットワークが代表的なものであった。最近は各種の系統およびトランス結線方式が考慮されているので、それらに対処したリレー方式について述べる。

3.1 低圧入接続3相4線式ネットワーク

この接続はもっとも代表的であり、すでに図2.7にその接続を示している。

この場合は対称3相構成であり、各相相電圧と相電流とを導入して各相電力に比例したトルクの代数和でリレーを動作させる。したがって、この場合のリレー動作は2.2節(1)に示すように、単相電力リレーとして取扱うことができる。

3.2 低圧△接続3相3線式ネットワーク

この接続はあまり一般的ではないが、既設の配電電圧との関係で210Vの回路が考慮の対象となる。この場合も、上記と同様の继電器を適用するが、位相点検继電器としては△電圧を使用するCNP-2形が適当である。

3.3 低圧異容量V接続3相4線式ネットワーク

この接続は単相異容量の変圧器を2台V接続して、ネットワクトランスとし、その一方の相(共用相)に中間タップを設けて中性線を引出し、この中性相(N相)を利用して単相負荷を接続する。

一例を図3.1に示す。

(1) 入力導入法

異容量V接続系統は一種の不平衡系統となるので、その入力導入法は種々の変形が考えられる。とくに問題となるのは、逆電力しゃ断のための入力であって、その方法として下記の4種があげられる。

(a) $E_A I_A$ 方式

$$T_T \propto E_A I_A + E_B I_B + E_C I_C$$

(b) $E_\Delta I_A$ 方式 (1)

$$T_T \propto E_{AB} I_A + E_{BC} I_B + E_{CA} I_C$$

(c) $E_\Delta I_A$ 方式 (2)

$$T_T \propto E_{AC} I_A + E_{BA} I_B + E_{CB} I_C$$

(d) $E_\Delta I_\Delta$ 方式

$$T_T \propto E_{AB} I_{AB} + E_{BC} I_{BC} + E_{CA} I_{CA}$$

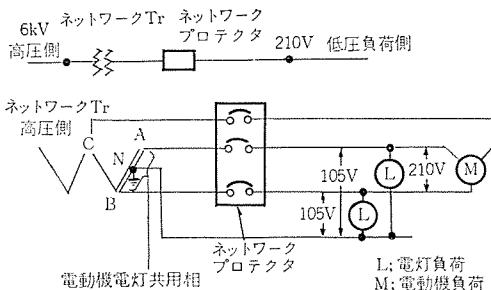


図3.1 異容量V接続ネットワーク例
Typical V-connected network system.

ネットワーク主制御继電器として、要求される諸条件を残らずあげるとするならば下記の6条件となる。

- (a) 高圧側事故で動作すること。
- (b) 低圧側事故で動作しないこと。
- (c) 負荷電流で動作しないこと。
- (d) フィーダ系統に充電容量があるばあいも高圧側への逆流で動作すること。
- (e) 逆励磁電流しゃ断すること。
- (f) 平衡化電流の影響を受けないこと。

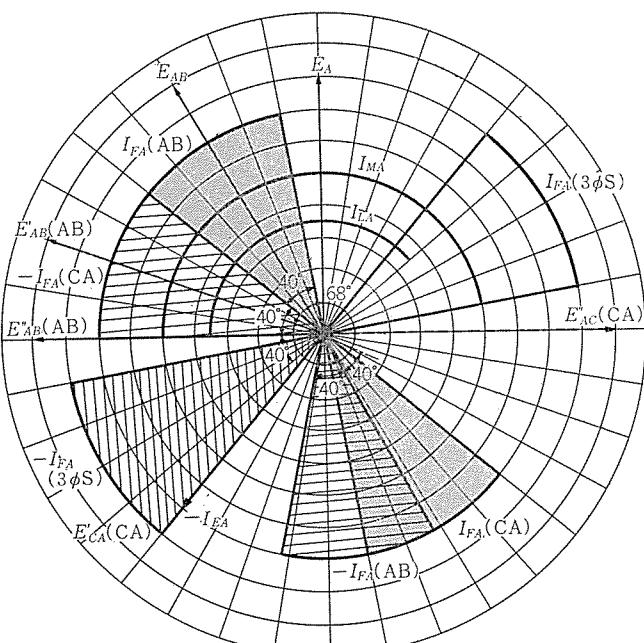
上記条件中(f)は、次に項を改めて詳述することにし、前5項目について前述の4方式について検討した結果を表3.1に示す。

これによれば、 $E_\Delta I_A$ 方式(1)は短絡事故の高低圧側判別に問題があり、 $E_\Delta I_A$ 方式(2)は一次系統充電電流しゃ断が不可能であり、 $E_\Delta I_\Delta$ 方式は単相負荷率許容範囲が小さい(とくに遅れ率許容範囲が狭い)など、 $E_\Delta I_A$ 方式以外の方式は、 $E_\Delta I_A$ 方式に比べて欠点が大きい。結局 $E_\Delta I_A$ 方式が上記目的をもっともよく満足することとなる。

$E_\Delta I_A$ 方式における負荷電流(3相、単相)逆励磁電流、高圧側短絡電流、低圧側短絡電流などの向きの例をA相のばあいについてベクトル表示すると、図3.2のようになる。他の相についても同様に表現できる。これら入力が继電器位相特性の範囲内にあるかどうかを判定し、3相総合して最終的に继電器動作-不動作を判定する。

(2) 平衡化電流のリレー動作への影響と対策

V接続低圧ネットワーク特有の現象としては、ネットワクトランス側(フィーダ側)を解放した際中性相電流が流れ、この位相および大きさが見かけ上ネットワーク側へ向って流れる形となって、ネットワクリレー動



I_{MA} A相3相負荷電流

I_{LA} A相単相負荷電流

$-I_{eE}$ A相逆励磁電流

$-I_{FA}$ 高圧短絡時のA相電流

I_{FA} 低圧短絡時のA相電流

E_{CA} 高圧短絡時のCA間電圧

E_{CA}' 低圧短絡時のCA間電圧

電流・電圧の末尾の()内の文字は短絡の相を示す

図3.2 異容量V接続ネットワークリレー電流ベクトル図
Vector diagram in V-connected network protector relay.

表 3.1 各方式ネットワーキリレー入力導入法比較表
Comparison of input lead-in method of various types of network relays.

方 式	相 別	逆励磁電流 しゃ断	一次系統充電電流 しゃ断	高 壓 事 故 判 別				低 壓 事 故 判 別				許 容 負 荷 力 率		平衡化電流の 影 韵	総 合
				3φ短絡	A B 短 絡	B C 短 絡	C A 短 絡	3φ短絡	A B 短 絡	B C 短 絡	C A 短 絡	単相負荷	3相負荷		
EAIA	A相	EAIa	○	○	○	○	—	×	○	○	—	×	すすみ おくれ 60°~80°	すすみ おくれ 90°~80°	×
	B相	EBIB	○	○	○	×	○	—	○	×	○	—	すすみ おくれ 60°~50°	すすみ おくれ 90°~80°	×
	C相	ECAIC	×	○	○	—	×	○	○	—	×	○	—	すすみ おくれ 90°~80°	○
	総合	Σ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	すすみ おくれ 60°~50°	すすみ おくれ 90°~80°	平衡化電流の影響 あり。単相負荷力 率範囲大
EΔIA-(2)	A相	EABIA	○	○	×	○	—	×	×	○	—	×	すすみ おくれ 60°~80°	すすみ おくれ 90°~50°	×
	B相	EBCIB	○	○	○	×	○	—	○	×	○	—	すすみ おくれ 60°~20°	すすみ おくれ 90°~60°	×
	C相	ECAIC	×	○	×	—	×	○	×	—	×	○	—	すすみ おくれ 90°~50°	○
	総合	Σ	○	○	○	△	△	△	○	○	△	△	すすみ おくれ 60°~20°	すすみ おくれ 90°~50°	短絡事故判別に問 題あり。平衡化電流 の影響もあり
EΔIA-(2)	A相	EACIA	○	×	○	○	—	○	○	○	—	○	すすみ おくれ 40°~80°	すすみ おくれ 60°~80°	×
	B相	EBAIB	○	×	○	○	○	—	○	○	○	—	すすみ おくれ 60°~80°	すすみ おくれ 70°~80°	×
	C相	EBAIC	○	×	○	—	○	○	○	—	○	○	すすみ おくれ 70°~80°	○	一次系統充電電流 しゃ断不能。平衡 化電流の影響あり
	総合	Σ	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	すすみ おくれ 40°~80°	すすみ おくれ 60°~80°	×
EΔIA	A相	EABIA	○	○	○	○	×	○	○	○	—	×	すすみ おくれ 60°~80°	すすみ おくれ 90°~80°	○
	B相	EBCIB	×	○	○	×	○	○	○	×	○	○	すすみ おくれ 60°~20°	すすみ おくれ 90°~80°	×
	C相	ECAIC	○	○	○	○	×	○	○	○	×	○	すすみ おくれ 40°~80°	すすみ おくれ 90°~80°	×
	総合	Σ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	すすみ おくれ 40°~20°	すすみ おくれ 90°~80°	平衡化電流の影響 あり。単相負荷力 率範囲小

注: ○ 問題なし △ 一部問題あり × 問題あり — 動作上関係なし

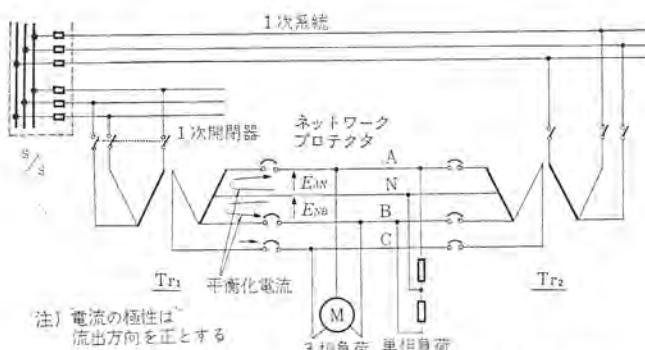


図 3.3 異容量V接続ネットワークにおける平衡化電流
Balancing current in V connected network system.

作に影響をおぼすことがある。

中性相電流は、図3.3において E_{AN} , E_{BN} に電圧差 E_{BL} を生じている場合、トランジン一次側開放したときに E_{AN} , E_{BN} を平衡させようとして流れる電流である。この電流を平衡化電流と呼ぶことにする。この平衡化電流 I_{BL} は、 E_{AN} , E_{BN} の不均衡度および線路（中性線を含む）インピーダンスによって、その大きさ位相が定まる。

この平衡化電流は E_{AN} , E_{BN} 相互間の関係により、ネットワーキリレーの順電流方向に流れることがあり、この大きさがトランジン励磁電流をしぶぐ大きさとなるため、逆励磁電流しゃ断が不可能となる場合もある。その模様を図3.4(a)～(b)に示す。これによれば、位相特性の異なる二つのリレー、A, Bを用意してもしゃ断不可能となる場合が生ずる。とくに E_{AN} と E_{BN} とが同相で、 E_{AN} が E_{BN} より

大きさが小さい場合、および E_{AN} が E_{BN} より進みの場合不動作となる場合がある。

上述の平衡化電流は、トランジン励磁電流に重じようして流れる成分であり、これを励磁電流と分離して考えてよいほど正弦波分である。すなわち各相の電流を I_A , I_B , I_C 、励磁電流を $-I_{eA}$, $-I_{eB}$, $-I_{eC}$ 、中性相電流を I_N 、平衡化電流を I_{BL} とすれば

$$\left. \begin{array}{l} \text{A相} \quad I_A = -I_{eA} + I_{BL} \\ \text{B相} \quad I_B = -I_{eB} + I_{BL} \\ \text{C相} \quad I_C = -I_{eC} \\ \text{N相} \quad I_N = -2I_{BL} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (3.1)$$

となる。

リレー入力としては、従来のように各相電流をそのまま導入せず、中性相電流の1/2をA相入力、B相入力に加えてやれば、平衡化電流の影響を取除くことができる。すなわち

$$\left. \begin{array}{l} \text{A相} \quad I_A + I_N/2 = -I_{eA} \\ \text{B相} \quad I_B + I_N/2 = -I_{eB} \\ \text{C相} \quad I_C = -I_{eC} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (3.2)$$

となって、平衡化電流はリレー入力に表われない。

平衡化電流を含んだリレー入力に中性相電流の補償を行ない、励磁電流に近い波形を得たオシログラムを図3.5に示す。この方式をとくにN相補償と称しており、変Vネットワーク系において、必要な場合には効果的な手段である。この方式のCT接続を図3.6に示す。

この方式において低圧側事故中、とくにN相と他のA, B, C相

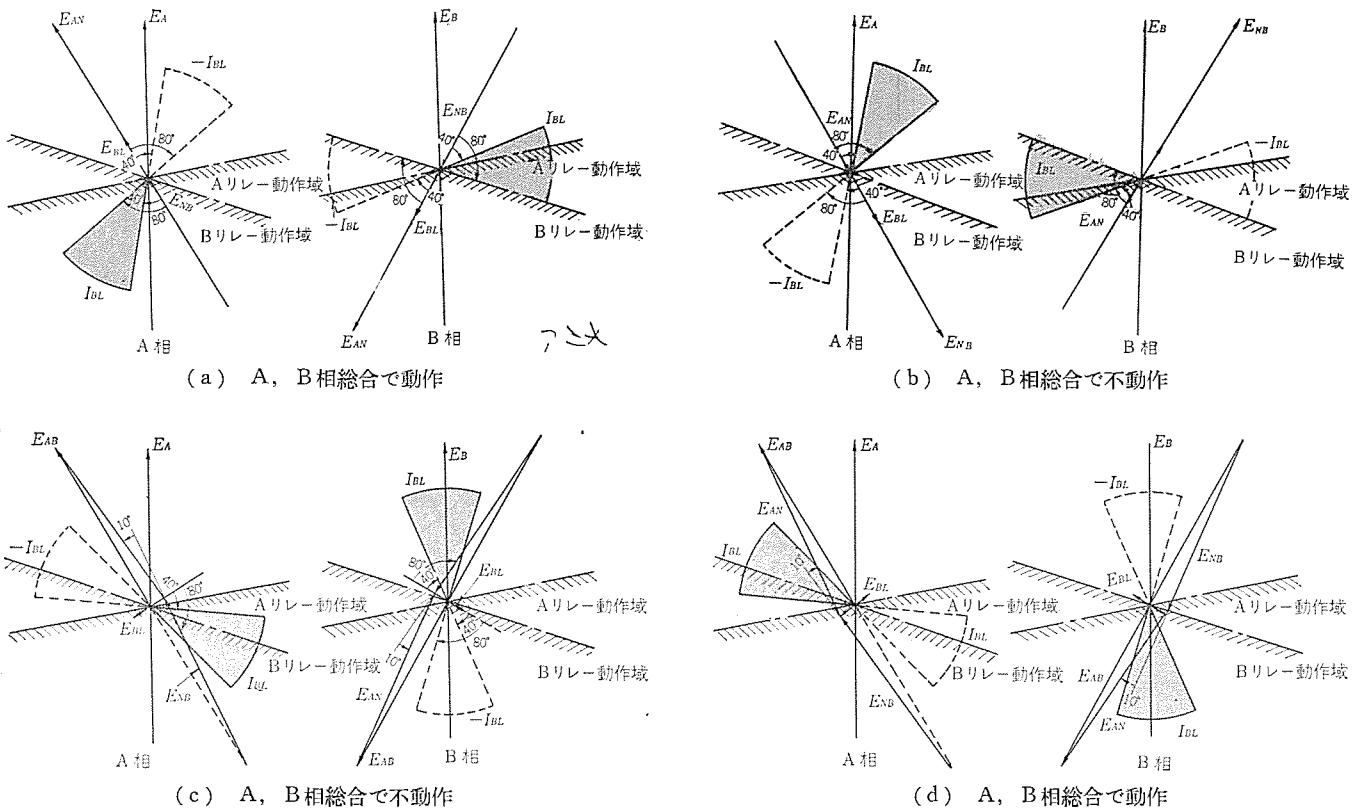


図 3.4 異容量V接続ネットワーク 平衡化電流ベクトル図
Vector diagrams of balancing current in V connected network.

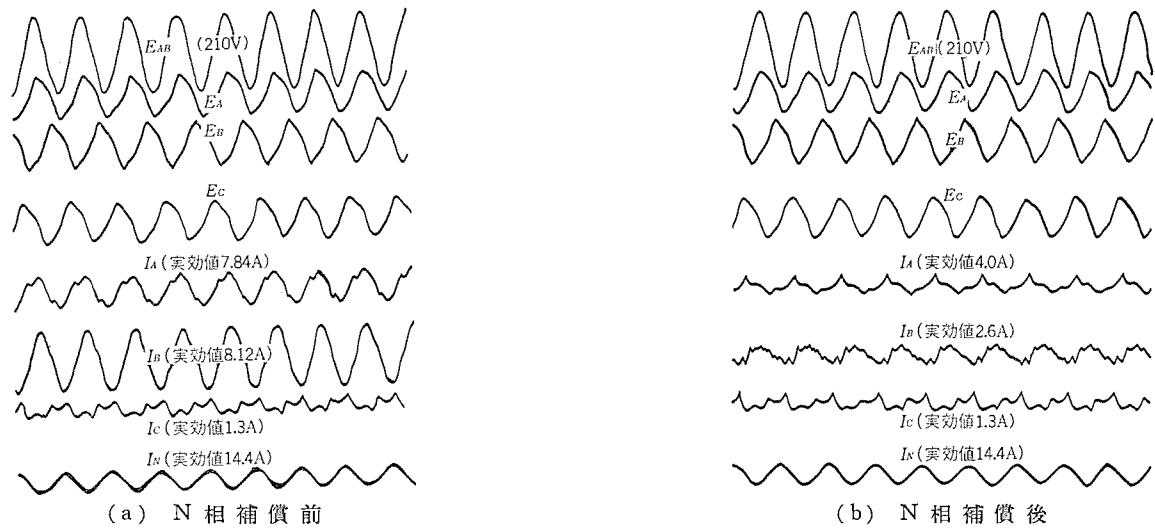


図 3.5 N相補償方式オシログラム例
Example of oscillograms of neutral compensated system.

にまたがる短絡故障について検討した結果について説明する。

AN相短絡の場合、A相より低圧側向けの電流を i_A 、B相より低圧側向けの電流を i_B とすれば、 k を定数として

$$i_N = -i_A - ki_A \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

N相補償の原理により、A相、B相リレー入力 I_A 、 I_B はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} I_A &= i_A + 1/2i_N = (1+k)i_A/2 \\ I_B &= i_B + 1/2i_N = -(1/k+1)i_B/2 \\ I_C &= i_C \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.4)$$

となる。すなわち i_A 、 i_B の大小関係にかかわらず、 I_A 、 I_B はそれぞれ i_A 、 i_B と同相である。

これらの関係を考慮して、AN相短絡時の電流ベクトル図は図3.7

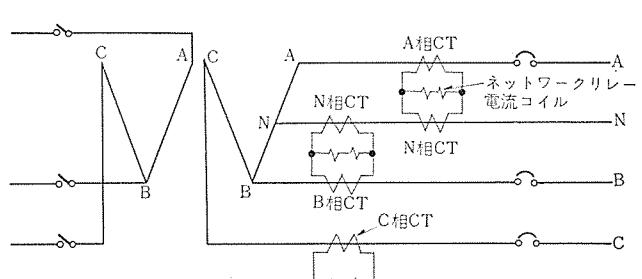
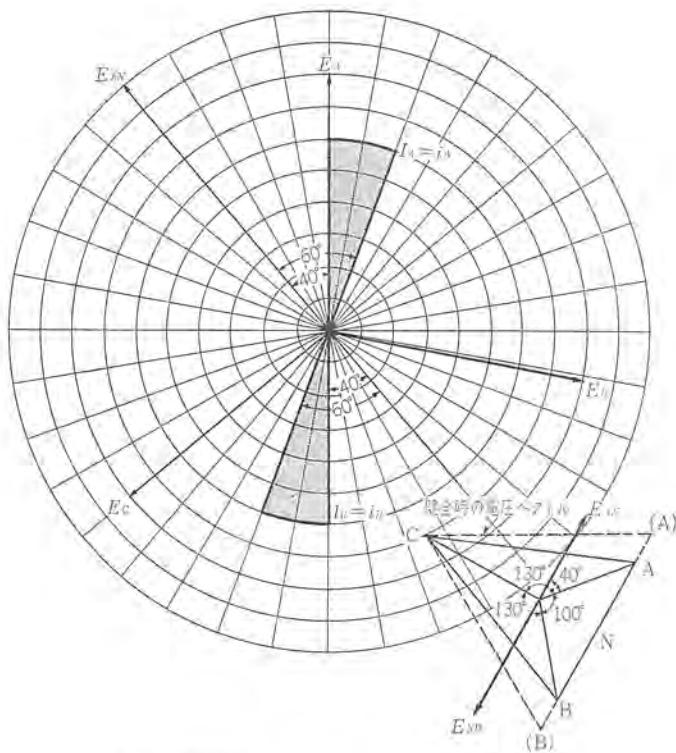
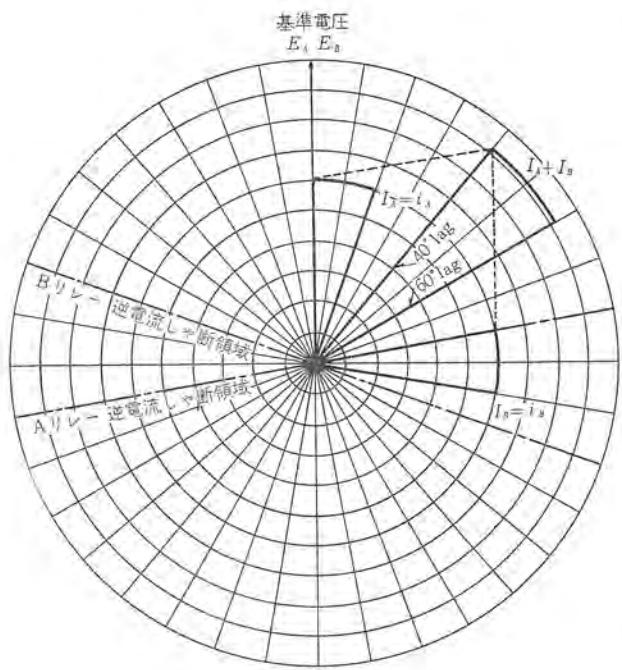


図 3.6 異容量V接続ネットワーク用N相補償式ネットワーク
Neutral phase compensated network relay for different capacity V connection network.



(a) AN 短絡時 BN 短絡時
ただし $E_{AN} = E_{BN} = 70\%$ $|i_A| = |i_B|$



(b) AN 短絡時 BN 短絡時
ただし $E_{AN} = E_{BN} = 70\%$ $|i_A| = |i_B|$

図 3.7 異容量V接続ネットワーキレー低圧側事故時ベクトル図
Current vectors on the network side fault in V-connected network.

(a) のようであり、これを E_A 基準の電流に書きかえてリレートルクの表現としたものを図 3.7(b) に示す。トルクは不動作側に発生していることが明らかである。BN 相短絡についても同様である。

3.4 高圧ネットワーク系統

高圧ネットワーク系統へは、現在のネットワーク继電器をそのまま適用できるが、この際、PT 2次電圧をリレー入力電圧として使用するため、フェージング回路のための電圧供給用 PT の精度に、注意を払う必要がある。

4. む す び

以下最近のネットワーク继電器について概要を説明した。ネットワークプロテクタリレーは他の保護继電器と異なり、一種の自動復旧装置の性格を有し、その入力条件も特異であり、使用条件も過酷である。ためにその構造、動作については、独自の見方が必要となる。今後ともこの特殊性を考慮して開発改良に努めたいと考える。

終りにネットワーキレー方式の開発改良に關し、種々ご指導を賜わった関係電力会社各位に深甚な謝意を表する。

ノーヒューズレーザ断器とバンキングおよびネットワーク

和田 宏康*

No-Fuse Breaker Used as a Section Breakers in Low Voltage Banking or Networks System

Fukuyama Works Hiroyasu WADA

No-fuse breakers were originally designed to protect indoor wiring. But they are now used in many cases for the interruption of low voltage distribution circuits, operating as low voltage automatic section breakers on banking systems and on network systems. In the present practice, those used for section switches can be built with a 400 A frame type B, which means much improvement over old units. They have such features as simple handling with easy reclosing, reliable operation with feasibility of confirming the operation, capability of closing and opening the load current and possibility of manufacturing large capacity ones.

1. まえがき

ノーヒューズレーザ断器は、本来屋内配線保護用に設計製作されたレーザ断器であるが、後述するような特長により、低圧配電回路レーザ断器として使用されることも多い。

ノーヒューズレーザ断器には、現在表1.1のような種類のものが製作されている。

つぎに、ノーヒューズレーザ断器が、低圧バンキング方式および低圧ネットワーク方式の低圧線自動区分レーザ断器として、使用された例を示す。

表 1.1 ノーヒューズレーザ断器の種類と定格
List of no-fuse breakers in production.

名 称	フレーム式 (A)	定格電流 (A)	定格レーザ断容量(A)(非対称実効値)		
			AC 220 V	AC 460 V	AC 550 V
NF形 ノーヒューズ レーザ断器	30	3~30	2,500	2,500	—
	50-B	15~50	7,500	7,500	5,000
	100-B	15~100	20,000	15,000	15,000
	225-G	100~225	40,000	30,000	25,000
	400-B	250~400	50,000	35,000	30,000
	600-B	450~600	50,000	35,000	30,000
	800-B	700~800	50,000	35,000	30,000
	1,000	1,000	50,000	35,000	30,000
	1,200	1,200	50,000	35,000	30,000
	1,600	1,200~1,600	75,000	60,000	50,000
NFT形 トライバック レーザ断器	2,000	1,800~2,000	75,000	60,000	50,000
	100	15~100	150,000	100,000	100,000
	225	125~225	150,000	100,000	100,000
	400	250~400	150,000	100,000	100,000
	600	450~600	150,000	100,000	100,000

2. バンキング用区分開閉器

低圧バンキング方式の低圧線に設置し、故障区間分離ならびに過電流保護を行なうもので、図2.1に示すように変圧器に直結する方式と、図2.2に示すように変圧器に直結しない方式とがあるが、図2.1の方式は、区分開閉器の数が多くなるので通常図2.2の方式が多く用いられる。

いずれのばあいも、変圧器のカスケーディング(Cascading)を防止する目的から、区分開閉器の動作は、変圧器の一次側ヒューズと協調し

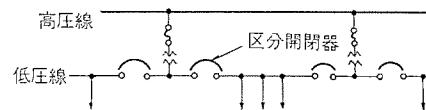


図 2.1 直結式 バンキング 区分開閉器
Banking section switch directly connected to transformer.

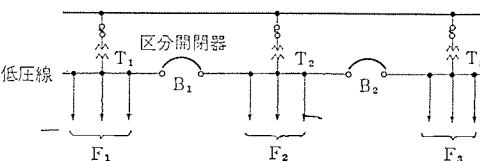


図 2.2 トランスに直結しない バンキング 区分開閉器
Banking section switch not directly connected to a transformer.

ていなければならぬ。つまり、区分開閉器の容量は、一次側ヒューズより速く動作するものでなければならず、他方、電力融通のためには、区分開閉器の容量は十分なものでなければならない。

図2.2で、フィーダーF₁群がオーバーロードになったとき、変圧器T₁からのみでなくT₂、T₃からも電力が融通されるので、区分開閉器B₁の容量は、変圧器T₁の容量からだけで定まるのではなく全系統の潮流分布を考えなければならない。

架空線式バンキング方式のばあい、架線張力などの関係から、低圧幹線の容量はあまり大きくできないので融通可能電流に限界がある。

図2.3は、一次側ヒューズとの協調および融通予定電流確保の2点を満足するように考慮された区分開閉器特性の一例を示す。

また図2.4には、最近製作納入されたバンキング用区分開閉器の外観を示し、そのおもな仕様を表2.1に示す。

なおこの区分開閉器のシャンク部には、NF形ノーヒューズレーザ断器400AフレームB形を使用し、表示ランプは、ノーヒューズレーザ断器に内蔵の警報・補助接点により制御される。

このように、区分開閉器にヒューズを用いないでノーヒューズレーザ断器を用いるのは、つぎのような利点があるからである。

- (1) 取扱いが簡単で再投入が容易である。
- (2) 電気的動作表示・補助接点による制御および電圧引きはずコイルによる遠方引きはずし等、NF形ノーヒューズレーザ断器の豊富な付属装置が利用できる。
- (3) 動作が確実である。ヒューズと異なり動作の確認試験ができる。

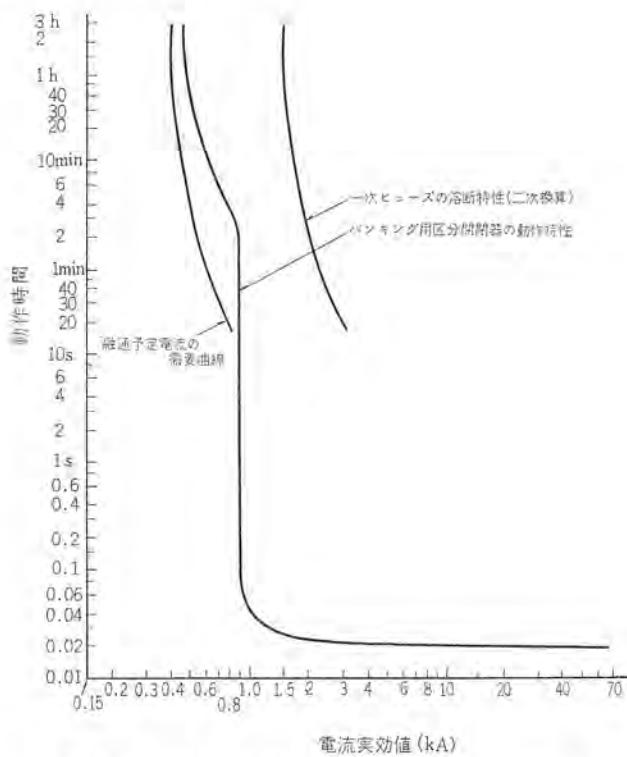


図 2.3 一次ヒューズの溶断特性(二次換算) バンキング用区分開閉器の動作特性

Fusing characteristics of primary fuse (secondary conversions) operating characteristics of banking section switch.



図 2.4 低圧バンキング用区分開閉器
Section switch for low voltage banking system.

表 2.1 バンキング用区分開閉器の仕様例
Example of specification of section switch for banking.

項目	仕様
定格電圧	220 V
定格電流	共用線 300 A 動力線 150 A
周波数	50/60 c/s
定格しゃ断容量	30,000 A
適用変圧器バンク	3×75 kVA 特殊 V 結線
引きはすし特性	300 % 電流引きはすし 5秒以内 200 % 電流引きはすし(ホットスタート) 15~30分 150 % 電流連続通電不動作
開閉耐久回数	6,000 回

るので安心して使用できる。

- (4) 負荷開閉ができる。
- (5) 大容量のものが可能である(1,600 A程度まで)。

3. ネットワーク用区分しゃ断器

低圧ネットワーク方式では、常時2系統以上の高圧配電線から比較的大きいネットワーク変圧器を経て低圧配電網に供電されるの

で、低圧線故障区分しゃ断器に要求されるしゃ断容量が大きくなり、妥当な経済性をもってこれを処理することが困難とみられていた。

しかし、低圧線に区分しゃ断器を設けないと、低圧線事故時にネットワーク網から切り離されるネットワーク変圧器の範囲が拡大するおそれがあり、事故時電力融通を確保するため常時余裕のある設計を行なわねばならず、利用率の悪いものとなるきらいがある。

このため、最近低圧しゃ断器の性能向上とヒューズドレーカなどの発達に伴い、ネットワーク区分しゃ断器を設置して、事故時にネットワークから切離されるネットワーク変圧器のバンク数を局限し、十分無停電供給を行なう利用率のよい設計ができるものと考える。

最近製作納入されたものに、架空線式三相4線低圧ネットワーク方式の低圧線に設置し、故障区間分離ならびに過電流保護を行なうものがある。

図3.1はその外観を示し、そのおもな仕様をつぎに示す。

定格電圧: 220 V

定格電流: 300 A

周波数: 50/60 c/s

定格しゃ断容量: 30,000 A

引きはすし特性: 450 A 不動作

562 A 50~120分動作

900 A 5~10分動作

4,000 A 2秒以上で動作

6,000 A 5サイクル以内で動作

この特性は、ネットワークプロジェクトと協調するように考慮されたものである。

また、この区分しゃ断器はしゃ断部にNF形ノーヒューズしゃ断器400 AフレームB形を使用し、箱の下部に延長した外部操作取っ手により操作できる。

このように区分自動しゃ断器としては、ノーヒューズしゃ断器あるいは限流ヒューズを内蔵したTRI-PACしゃ断器が用いられ、それらの利点はバンキング用区分開閉器の項でのべたとおりである。



図 3.1 低圧ネットワーク用区分しゃ断器
Section breaker for secondary network system.

4. むすび

このように、ノーヒューズしゃ断器が配電回路に使用された例は従来もあったが、それらはせいぜい200 A程度のもので、ヒューズとスイッチの組合せで代用できるものであった。しかし、400 A程度をこえる回路においてはスイッチの開閉容量から、負荷断路器として使用する限界をこえるようになり、変圧器一次側の開閉によらなければならぬ不便があった。ノーヒューズしゃ断器を用いれば、このような点も解決され、さらに本文で述べた利点もあるので、今後この分野へのノーヒューズしゃ断器の活用が期待される。

最近の二次計測

武田 克巳*・牧野 節夫*

New Secondary Measurement

Fukuyama Works Katsumi TAKETA・Setsuo MAKINO

Recent increasing trend of distribution lines is to set up networks to elevate reliability of power service. In the power distribution to office buildings power supply at low voltage is on the increase. Transaction of power in this connection is made by the measurement on the secondary side at low voltage, which needs measuring instruments to suit the purpose. They shall be special ones different from the apparatus used for the primary side measurement in the past.

Under the circumstances new watthour meters and associated instruments required for the secondary measurement have been developed and made public in this article.

1. まえがき

最近、配電方式は次のようにかわりつつある。

- (1) 信頼度向上のためネットワーク配電方式の採用。
- (2) 配電容量増加のため高圧側を 20 kV のような高圧化。
- (3) 低圧側容量増加のため低圧側電圧の 400 V のような格上げ。
- (4) 負荷の種類、容量増加にともなう単相 3 線、三相 4 線式の採用とその共用化。
- (5) 美観上のための地中配電化。

上記の最もよくとりあげられるのは都市であり、都市のなかでもビルディングの乱立する都心で、配電方式をこのようにかえないと必要な電力が供給できないという情況になりつつある。このような配電方式の変更にともない、電力量の取引も従来と変わった形態となざるを得なくなり、電力量を計量する電力量計もこの取引にあつた計器が必要であり、ここに新しい二次計測方式が生じてきたわけであり、これに使用する電力量計を主体として以下述べる。

2. 最近の二次計測の特長

最近の配電の特長は都市配電に見られ、とくにこのうちビルディングの配電に著しい進歩がある。

2.1 低圧側の計測

ネットワークを組む場合、種々の方式があるが、図 2.1 に示すようなゼネラルネットワークを考えてみれば明らかなように、二次側は共通配線となるため、電力供給を受ける需要家個々に電力量計を設けなければ計測できない。このことは電力量が増加しても低圧側で電力量を測定するしか方法がないことを示している。

2.2 負荷の複雑化

大きいビルディングを例にとってみれば明らかなように、一つのビルディングには空調装置のための電動機・エレベーター、それらの制御装置・照明器具・電熱器・小型電動機と負荷の種類が多く、配電も三相 4 線・三相 3 線・単相 3 線・単相 2 線と種類が非常に多く、負荷のかかりぐあいも各相のバランスをとるということはできず、アンバランスの負荷を計測する必要がある。

2.3 三相 4 線による 400 V 配線化

前項の負荷の複雑化にともない三相 4 線の配電がとりあげられているが、さらに負荷容量の増加にともない配電電圧を 400 V として

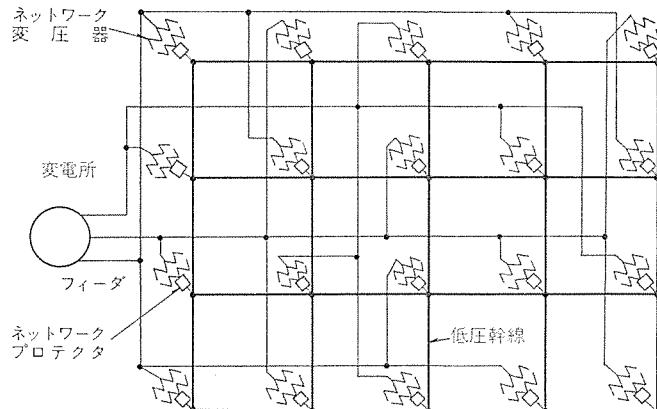


図 2.1 ゼネラルネットワーク
General network.

対応するようになった。ゆえに、計測も 400 V の三相 4 線式の計器が必要となってきた。一方、負荷容量が大きくなり、取引も 500 kW を越え精密計器を使用し、さらにネットワークを組むことにもない数回路の総合計測をしなければならなくなり、変成器または計器のパルスによる合成装置も三相 4 線で必要となってきた。

2.4 取引電力量の増大

一単位当たりの供給電力量が増大すれば一次側の電圧も従来の 6 kV より上昇させて、たとえば 20 kV として対処しなければならなくなり、また負荷の複雑化にともない配線も V 結線等がとりあげられ、これも、変圧器の取付上異容量で V 結線を行ない配電もネットワークを組むようになる。このようになると計測も複雑化し、どのように各相の負荷バランスが狂っても、正しく計量するような特殊な電力量計も必要となってくる。

3. 異容量 V 結線方式

3.1 異容量 V 結線配電方式と電力量測定

異容量 V 結線配電方式とは、単相 3 線および三相 3 線の負荷を同時に使用できる△結線三相 4 線式回路の一種で、変圧器の据付面積を少なくするために、変圧器を 2 個とし V 結線したもので、単相 3 線の電力を受け持つ変圧器の容量を他の変圧器の容量より大きくしたものである。

したがって、異容量 V 結線三相 4 線式の電力量測定は、△結線三相 4 線式とまったく同じで、ブロンデルの定理より 3 個の単相電力測

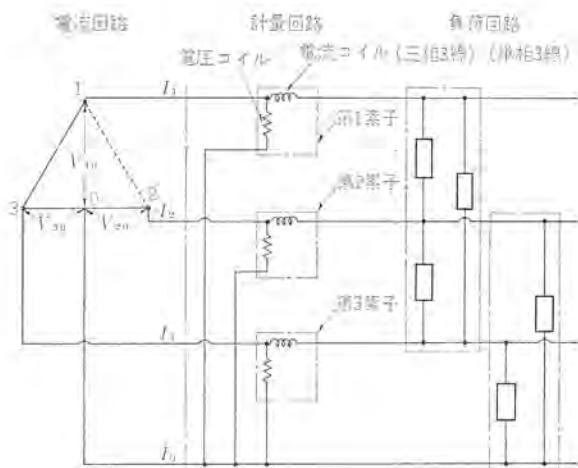
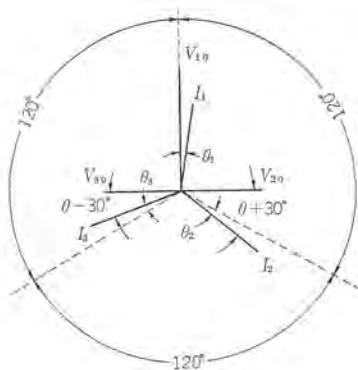


図 3.1 異容量V結線の電力測定回路
Watthour measurement of V connection circuit.



V_{10} : 第1素子の電圧回路に加わる電圧
 V_{20} : 第2素子の電圧回路に加わる電圧
 V_{30} : 第3素子の電圧回路に加わる電圧
 I_1 : 第1素子の電流回路に流れる電流
 I_2 : 第2素子の電流回路に流れる電流
 I_3 : 第3素子の電流回路に流れる電流
 θ_1 : 電流 I_1 の遅れ角
 θ_2 : 電流 I_2 の遅れ角
 θ_3 : 電流 I_3 の遅れ角

図 3.2 YUS-51 形電力量計
のベクトル図
Vector diagram of type YUS-51 watthour meter.



図 3.3 YUS-51 形電力量計
Type YUS-51 watthour meter.

定素子があればよい。

しかし、図 3.1 に示すように電力測定素子に加わる電圧が同じにはならず、この点においてY結線三相4線式と異なる。

電力量計の接続が図 3.1 のようになっている場合の電力 W は、各電圧および電流の位相関係が、図 3.2 のようになっているから式 (3.1) で示される。

$$W = V_{10}I_1 \cos \theta_1 + V_{20}I_2 \cos(\theta_2 + 30^\circ) + V_{30}I_3 \cos(\theta_3 + 30^\circ) \quad (3.1)$$

このように、3素子の電力量計では、電圧・電流の平衡、不平衡にかかわらず理論誤差なしに測定できる。

3.2 YUS-51 形電力量計の構造および特性

YUS-51 形電力量計は、異容量V結線三相4線式回路の電力量を測定する計器である。その構造はY結線三相4線式回路用のYUS-1形と同じく、金属ベース、ガラスカバーの表面取付用計器で、3個の駆動用電磁石、2枚の回転円板、2個の制動磁石で構成されている。計量装置は指針形で、軸受は二重宝石方式である。駆動用電磁石

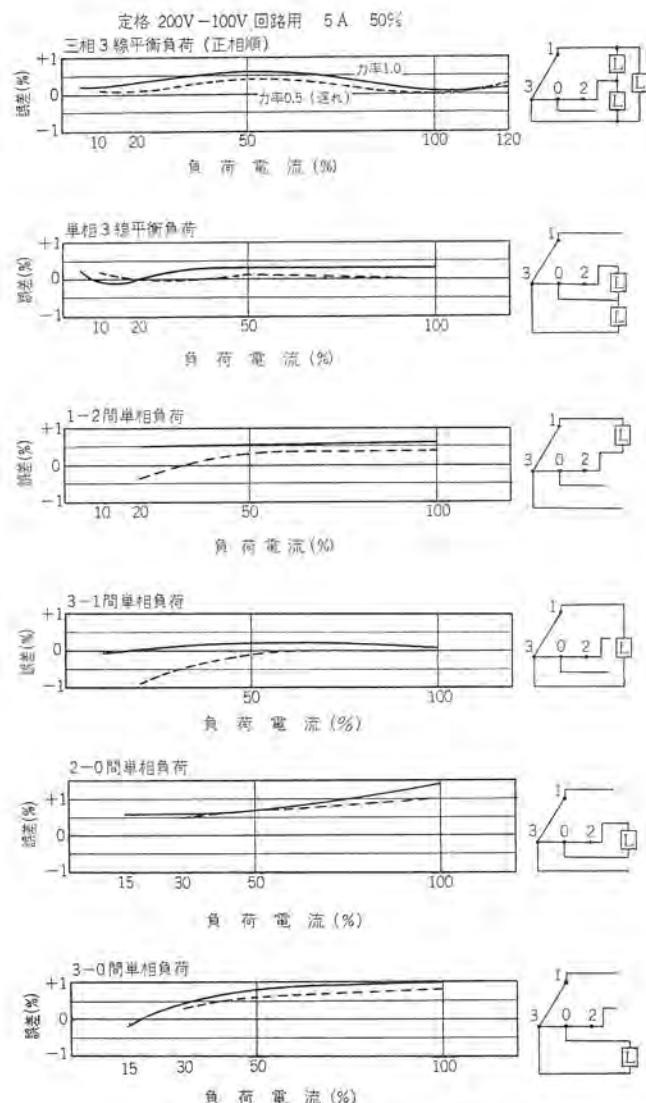


図 3.4 YUS-51 形電力量計の負荷特性
Load characteristics of type YUS-51 watthour meter.

は、上部円板に1個、下部円板に2個、電磁石相互の干渉が少なくなるように配置している。2個の制動磁石は、上部円板に対称に配置して軸受に加わる横推力を小さくしている。

図 3.2 に示すように、回路の電圧が平衡している場合、上部の第一素子の電圧コイルには、下部の第2および第3素子の電圧コイルに加わる電圧の $\sqrt{3}$ 倍の電圧が加わるが、3個の電磁石は同じ仕様でできており、もしかやまって電圧回路を誤接続したばあいでも、電圧コイルの過熱焼損の心配はない。

異容量V結線三相4線式用電力量計については、JIS 規格に規定されていないため、YUS-51 形電力量計は準拠すべき JIS 規格がないが、負荷特性をはじめ、電圧特性・周波数特性・温度特性・始動電流等の一般特性は、すべて JIS C 1212-1955 精密交流積算電力計*に適合しているから、精密電力量計と称してもよい計器といえる。

図 3.4 に YUS-51 形電力量計の代表的な負荷特性を示す。

* 計量法改正により、積算電力計は電力量計に、積算無効電力計は無効電力量計に名称が変更された。

4. パルス合成計量方式

スポットネットワークにおけるパルス合成計量方式は、ネットワーク変圧器二次側に分岐接続された負荷回路（多回路）のそれぞれに発信装置付き電力量計を取付け、これから発信したパルスを合成して総合電

力量を計量するとともに、最大需要電力表示装置および瞬間力率算定用表示装置を動作させ、電力料金取引の計量を行なう方式であり、図4.1はそのブロックダイヤグラム（図は6回路の場合を単線結線図で示している）である。図において

WH : YUS-1 Dr 形三相4線式発信装置付き精密電力量計

VH : RY-1 Dr 形三相4線式発信装置付き無効電力量計

WH パルス合成器 : TZ-60 USF-D 形6回路電力量表示器

VH パルス合成器 : TZ-60 RYF-D 形6回路無効電力量表示器

DM : HK-4 形最大需要電力表示装置付き精密電力量計

表示器 : MK-WV 形電力量・無効電力量表示器

TS : TC-42 形 タイムスイッチ

二次負荷回路は、ネットワーク変成器により240/415Vの三相4線式回路となっており、WHおよびVHはそれぞれCTを付属している。WHおよびVHは、各回路の電力量および無効電力量を表示するとともに、これに比例したパルスを生ずる発信装置を有している。各回路のWHおよびVHより発信されたパルスは、前者はTZ-60 USF-D形、後者はTZ-60 RYF-D形で合成され、多回路総合の電力量ならびに無効電力量を表示する。このTZ-60 USF-D形・TZ-60 RYF-D形は、また総合電力量および総合無効電力量に比例したパルスを発信する装置を有しており、HK-4形はTZ-60 USF-D形よりパルスを受けて、昼夜間連続の総合最大需要電力および総合電力量を表示する。

MK-WV形は、TZ-60 USF-D形およびTZ-60 RYF-D形よりパルスを受けて、総合電力量ならびに総合無効電力量を表示するが、TC-42形タイムスイッチにより瞬間のみ動作し瞬間力率の算定に使用される。

パルス合成計量方式では、二次側各回路の電力量を計量する方式であるため、

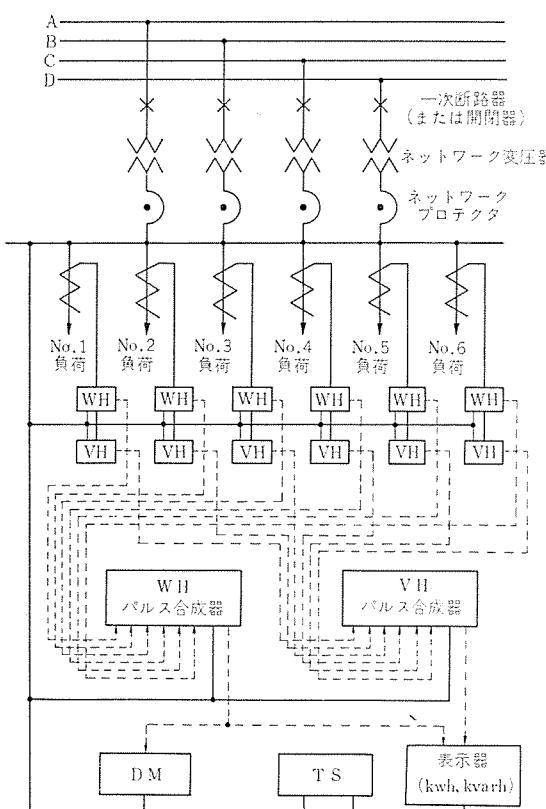


図4.1 スポットネットワークパルス合成方式（6回路合成）
Pulse totalizing system of spot network (total of 6 circuits).

(1) 各回路の電力量の読み取りができる。

(2) たとえば、6回路中1回路のみが動作している状態で、この負荷が非常に小さい場合にも、総合電力量計量に影響を与えることがないなどの特長を有している。

次にパルス合成計量方式に使用されている各機器について述べる。

4.1 YUS-1 Dr 形三相4線式発信装置付き精密電力量計

図4.2に外観を示しているが、YUS-1 Dr 形は、三相4線式Y結線回路に使用される精密電力量計で3素子2枚円板で構成されている。特性はJIS C 1212-1955精密積算電力量計に余裕をもって合格し、また駆動トルクが大きく、超硬質ステンレス鋼球と二重の宝石からなる下部軸受ならびに計量装置は、指針形で4個の宝石を使用していること等により、長期にわたり安定した動作が期待できる。

定格（図4.2に使用されたものを代表として示す）

電圧 240/415 (V)

電流 5 (A)

周波数 50 (c/s)

計器定数 500 (rev/kwh)

パルス発信装置は、計器に機械的負担のまったくかからないトランジスタを使用した当社独得のD形発信装置を備えている。D形発信装置は、トランジスタ発信回路の二つの電磁結合コイル間に、計器回転子にとりつけたみぞ入りしゃへい羽根車をそう入し、これによって発振のON・OFFを行ない外部にパルスをとり出すようにしたもので、計器本体の誤差等にはまったく影響を与えないという特長を有している。

4.2 RY-1 Dr 形三相4線式発信装置付き無効電力量計

図4.3に外観を示しているが、RY-1 Dr 形は、三相4線式Y回路に使用される無効電力量計で、3素子2枚円板で構成されている。特性はJIS C 1230-1963積算無効電力量計に余裕をもって合格するとともに、JISに定められたA-2方式であるため電圧や負荷の不平衡による理論誤差を生じない。

この計器も駆動トルクが大きく、また軸受および計量装置等は、前記YUS-1 Dr 形と同じであるため、機械的良度も大きく安定度のよい計器である。パルス発信装置は、YUS-1 Dr 形と同一のD形発信装置を備えている。

定格（図4.3に使用されたものを代表として示す）

電圧 240/415 (V)

電流 5 (A)

周波数 50 (c/s)

計器定数 500 (rev/kvarh)

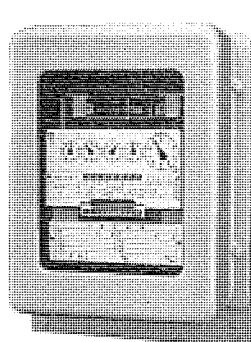


図4.2 YUS-1 Dr 形精密電力量計

Type YUS-1 Dr precision watt-hour meter.

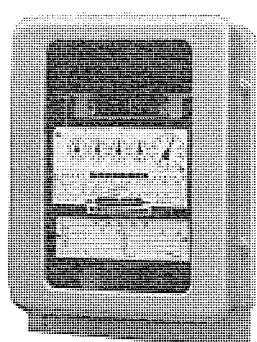


図4.3 RY-1 Dr 形無効電力量計

Type RY-1 Dr varhour meter.



図 4.4 TZ-60 USF-D 形 6 回路電力量表示器
TZ-60 RYF-D 形 6 回路無効電力量表示器
Type TZ-60 USF-D 6 circuits watthour totalizer, (Type TZ-60 RYF-D 6 circuits varhour totalizer.)

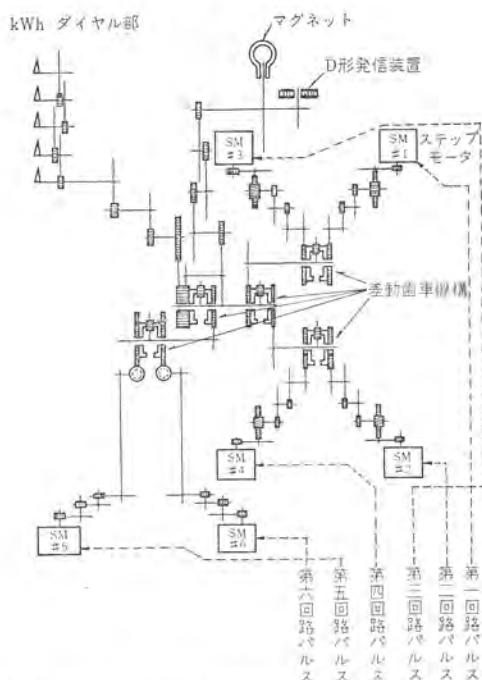


図 4.5 TZ-60 USF-D 形 6 回路電力量表示器, TZ-60 RYF-D 形 6 回路無効電力量表示器の機構図
Mechanism of type TZ-60 USF-D 6-circuits watthour totalizer and type TZ-60 RYF-D 6-circuits varhour totalizer.

4.3 TZ-60 USF-D 形 6 回路電力量表示器

TZ-60 RYF-D 形 6 回路無効電力量表示器

図 4.4, 4.5 に外観・構造を示しているが、この計器は各 WH および VH の円板に追従回転する 6 個のステップモータ (SM 1~SM 6) と、この回転を合成する「差動歯車機構」、総合電力量を示す「kwh ダイヤル部分」、総合電力量をパルス化する D 形発信装置等から構成されている。

また、この計器は回転母体たる WH および VH に対し、特性上その他にまったく影響を与えない、器内において総合回路間の相互干渉ではなく、また kwh あたりの受信パルス数が多いので不連続回転誤差が少ない。その他、変成比の異なる回路の総合、各回路間の加算減算が自由に行なえるなど、多くの特長を有している。

標準補助電源 110 (V), 50 または 60 (c/s)

4.4 HK-4 形最大需要電力表示装置付き精密電力量計

この計器もステップモータが回転駆動源であり、これにより動作する最大需要電力表示器、TZ-60 USF-D と同一指示する kwh ダイヤル、時限装置等からなり、電力会社に多数納入している HK 形系最大需要電力計とまったく同一の機能・構造である。

標準定格 最大目盛 = 定格負荷の約 126 %, 30 分時限

標準補助電源 110 (V), 50 または 60 (c/s)



図 4.6 HK-4 形最大需要電力表示装置付き精密電力量計
Type HK-4 maximum demand precision watthour meter.



図 4.7 MK-WV 形電力量、無効電力量表示器
Type MK-WV watthour, varhour indicator.



図 4.8 TC-42 形同期電動機式タイムスイッチ
Type TC-42 time switch.

表 4.1 TC-42 形同期電動機式タイムスイッチ仕様一覧
Specification table of type TC-42 synchronous motor time switch.

時計の方式	テンプ付同期電動機式
時計の精度	常時：商用周波数の変差に比例 停電時：±10 分/6 時間
目盛板	24 時間目盛板
昼間計量時間	8 時～22 時
開閉器定格	AC 110 V 5 A
制御電源	110 V 50 c/s
停電補償時間	6 時間以上

4.5 MK-WV 形電力量、無効電力量表示器

この計器は、電力量表示と無効電力量表示が 1 台の計器で現字形計量器に並べて表示できるものである。月間の昼間平均力率は、月間の昼間の積算電力量と無効電力量から計算されるが、従来、2 台の計器に分けて計算していたが、この計器であると 1 台の計器の読み取りで可能となり、さらに現字形計量器であるので読み取りが容易となる。なお、この計器は発信器と受量器とのパルス伝送は、トランジスタ発信器とステップモータとの組合せによる完全無接点式で、パルス数が非常に多く得られるため高精度で長寿命なことと、ステップモータのトルクが大きいので動作が確実で安定しているなどの特長を有する。

4.6 TC-42 形同期電動機式タイムスイッチ

このタイムスイッチは、電力会社と大口需要家との間で月間昼間平均力率により電力取引を行なう場合に使用するものである。タイムスイッチは、時計装置と繼電器で構成され、時計装置により繼電器を自動制御し、繼電器により昼間のみ昼間計量用計器を計量させる。時間装置はてんぶ付き同期電動機式で、當時は小形同期電動機で、動作すると同時に停電補償用てんぶ時計の駆動源であるぜんまいを一定量巻込み、停電時は自動的にてんぶ時計に切換わり停電補償を行なう。したがって、従来のてんぶ時計式に比べ機構堅固で、當時は安定し

た商用周波数により動作するので、精度も一段とよくなっている。

5. 電流合成 CT 計量方式

スポットネットワーク方式における低圧二次側計量装置としての多回路電流合成 CT 計量方式は、図 5.1 に示すようなブロックダイヤグラム(6 回路の場合を単線結線図で示す)である。これは低圧二次側各回路へ、CW-40 MT 形一次 CT (1,000/5 A ~ 4,000/5 A 貫通形) を介して、その二次線を CC-15 形合成 CT の一次側へ加え、それぞれの負荷電流に比例した電流をこの合成 CT で合成し、かつ、その合成 CT の二次側を電力量計・無効電力量計などの計器へ接続し、計量を行なう方式である。

図 5.1 における YUS-1 Dr 形精密電力量計、RY-1 Dr 形無効電力量計、HK-4 形最大需要電力量計、TC-42 形タイムスイッチ、および MK-WV 形表示器については前述のパルス合成方式に使用している製品と同一であるから、ここでは説明を省略する。以下合成 CT 装置 (CW-40 MT 形一次 CT + CC-15 形合成 CT をいう) について説明する。

5.1 CW-40 MT 形一次 CT

変流比は 1,000/5 A, 1,500/5 A, 2,000/5 A, 3,000/5 A, 4,000/5 A の単一比、5 定格、定格負担は合成 CT の二次側における数値で、15 VA、階級は一次 CT の一次側から合成 CT の二次側を見た数値で 0.5 M 級とし、最高電圧は 0.46 kV、過電流強度は 40 倍である。

構造は、鉄心には方向性ケイ素鋼帯による巻鉄心(ノンカットコア)

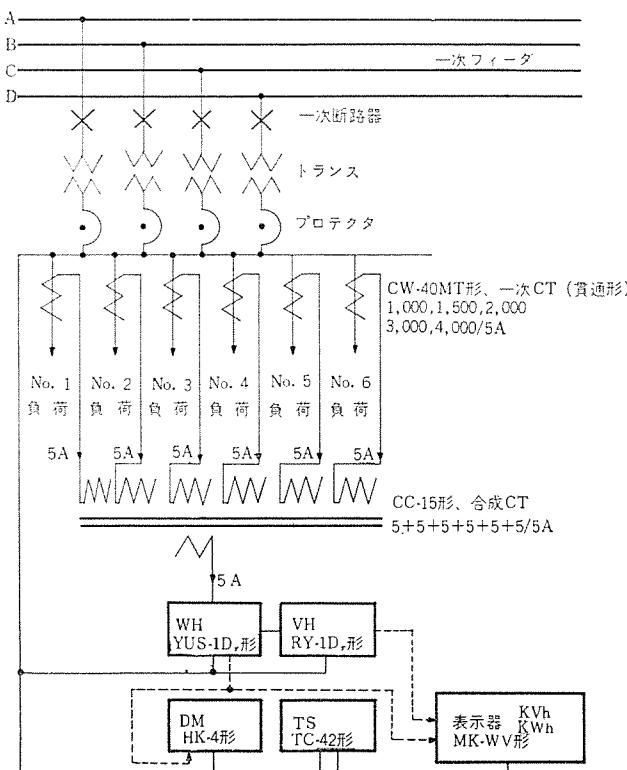


図 5.1 スポットネットワーク電流合成 CT 方式
CT totalizing system of spot network (total of 6 circuits).

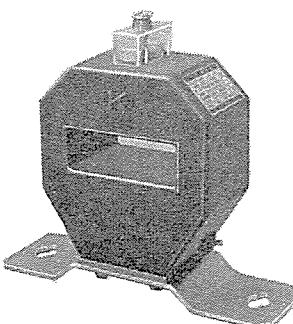


図 5.2 CW-40 MT 形
一次 CT
Type CW-40 MT current
transformer.

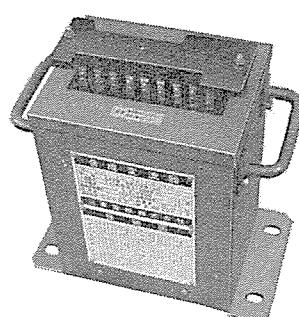


図 5.3 CC-15 形合成 CT
Type CC-15 totalizing current
transformer.

を使用し、二次巻線と鉄心を、当社独得のエポキシレジンで全モールドした絶縁信頼度の高い角窓貫通形 CT となっている。

5.2 CC-15 形合成 CT

合成回路は 2, 3, 4, 5 および 6 回路で、これを 1 台の合成 CT でタップ切換えによりすべての回路を共用できる方式とし、定格負担は 15 VA、階級は一次 CT の一次側から合成 CT の二次側をみた数値で 0.5 M 級とし、最高電圧は 0.46 kV、過電流強度は 40 倍である。

構造は、鉄心には方向性ケイ素鋼帯によるカットコアを使用し、2 ~ 6 回路まで合成できるよう特殊な巻線を施し、特殊絶縁ワニス含浸処理を行ない薄鋼板ケースに収納してある。上部の端子板を 2, 3, 4, 5 および 6 回路ごとに取換えることにより、タップ切換えを行なうと同時に、端子板へ回路数表示を行なうことができ、かつ端子板へ封印装置を設けてある。

また、一次 CT と合成 CT を接続するリード線は、消費 VA を往復 2.5 VA 程度に規定し、リード線の VA 変化による一次 CT の特性変化を押えている。

5.3 合成 CT 装置の代表的特長

(1) 特性的には一次 CT と合成 CT を組合わせた状態で 0.5 M 級を満足する。

(2) 一次 CT は、当社独得のエポキシレジンによる全モールドを行なっているので絶縁信頼度が高い。

(3) 合成 CT は、特殊巻線を行なっているので 2, 3, 4, 5 および 6 回路まで 1 台で共用できる。

(4) 合成 CT は、負荷電流のアンバランスによる特性変化を防止するため特殊巻線を行なっているので、均一な特性を有する。

6. む す び

わが国のビルディングにおける 400 V 級配電の普及発達はめざましく、また、ネットワーク方式についても各電力会社で研究・調査・実施が進められている現状であるが、これらの発達に伴って、当然、電力量取引用の計量装置の合理化も必要なわけで、上述は東京電力で計画されている副都心配電計画に基づく計量装置開発依頼を受けて、当社で鋭意開発したものであり、今後これらの計量装置の発展が期待される。

最近の配電用変圧器

木野崎泰三*

The Latest Distribution Transformers

Nagoya Works Taizô KINOSAKI

Power demands in cities are ever increasing. As a countermeasure for it and also answers to the requirement on reliability in power supply and on the improvement of exterior views of the distribution system, much study has been made on the conventional 6 kV overhead lines. This has resulted in the revision of temperature rise limit of pole transformers, reduction in weight and size of the units by changing them into sealed-up construction, betterment of the appearance through the self-containing cutouts and protective devices, and building inexpensive transformers for underground distribution lines, all being the trials to modernize the existing facilities to cope with the progress of the world.

1. まえがき

都市における電力需要の増加、供給信頼性への要求の高度化は、従来広く使用されていた 6 kV 架空配電方式に限界がみられ、各電力会社とも種々の配電線近代化方式につき検討を進めている。これにともない変圧器にも新しい形が出現しつつある。都市配電近代化で要求される事項は

- (1) 負荷密度増大に対する供給力の確保
- (2) 供給信頼性
- (3) 近代都市にマッチした外観
- (4) 経済性

などである。

負荷密度の増大は柱上変圧器の大容量化となり、装柱容量の関係から変圧器の小形軽量化への要求が強くなっている。材料および製作技術の進歩と、これにともなう温度上昇限度の引き上げにより大幅な小形軽量化が可能になり、一部電力会社では単柱に 400 kVA まで装柱している。しかしこのような改良では供給力に限界があるので電圧の格上げ、地中化も検討されている。供給信頼性に対する要求の高度化は、架空配電線におけるネットワーク化とともに地中配電によるネットワーク化・ループ化が検討され、ネットワーク変圧器、各種保護装置を内蔵した地中変圧器、CSP 変圧器(保護装置付変圧器)が製作されている。

近代都市にマッチした配電線にするため、配電線の地中化・地中配電用変圧器が広く検討されている。また従来から使用されている

架空配電線の外観改良も進められている。

表 1.1 はこれら配電線近代化用変圧器をまとめたものである。これら変圧器の中には、今後さらに改良研究されるべきものも多いが以下当社の現状につき述べる。

2. 変圧器の小形軽量化

2.1 温度上昇限度の緩和

変圧器の出力は、絶縁物の温度上昇によって制限される。変圧器を小形化するには、絶縁物とくに絶縁紙の耐熱性を向上させることが有効である。当社はアミン類添加の耐熱絶縁紙の研究をいち早く進め、昭和 38 年から耐熱絶縁紙⁽¹⁾ (商品名 HI-L 絶縁紙) を採用した変圧器を全面的に製作している。耐熱絶縁紙使用変圧器は、従来のクラフト紙使用変圧器に比べ温度上昇 10 deg アップでほぼ同程度の寿命を期待でき、海外向けとしては、温度上昇限度 65 deg でかなり製作している。一方国内では、規格の関係もあり従来は温度上昇限度を 55 deg におさえ、過負荷耐量のみ表 2.1 のとおり大きくなり、実質的に 110 % 連続運転が可能であるとしてきた。

供給力確保のため変圧器の小形軽量化を望んでいる各電力会社では、耐熱絶縁紙使用による小形化に注目を示し、すでに一部採用に至っている。温度上昇限度の 10 deg アップは放熱面積を約 15~20 % 低減することができるので、温度上昇限度の関係で寸法が大きくなっている 50 kVA 以上の変圧器では大幅な小形化が可能である。

2.2 シート巻線

配電用変圧器の巻線としては、丸線または平角線を長方形状に巻

表 2.1 耐熱絶縁紙使用変圧器とクラフト紙使用変圧器の過負荷耐量特性

Over load characteristics of transformer using stabilized paper and non-stabilized paper.

過負荷時間	過負荷前負荷 (%)	負荷 (%)					
		(a) (一般の A 種絶縁)			(b) (HI-L 絶縁)		
		90	70	50	90	70	50
1	133	139	145	146	152	157	
2	120	125	129	133	138	142	
4	110	114	115	123	126	127	
8	106	107	107	116	117	117	
24	100	100	100	110	110	110	

表 1.1 配電線近代化用変圧器の種類
Kind of transformer for modernization of distribution line.

変圧器の名称	目的	用途
65 deg rise 変圧器	変圧器の小形化	50 kVA 以上の全変圧器
密封形柱上変圧器	架空配電線の装柱容量の増大	架空配電地区で容量をあげたい場合
ポールトップ変圧器 ポールインサイド変圧器 ポールベイス変圧器	架空配電線の外観改良 架空配電線の外観改良 架空配電線の外観改良	架空配電を美しくしたい場合 架空配電を美しくしたい場合 架空配電を美しくしたい場合
地下設置変圧器	地中配電化	地下配電で地下孔を使用できる地区
地上設置変圧器	地中配電の安価化	地下配電で地上に機器を置く空間のある地区

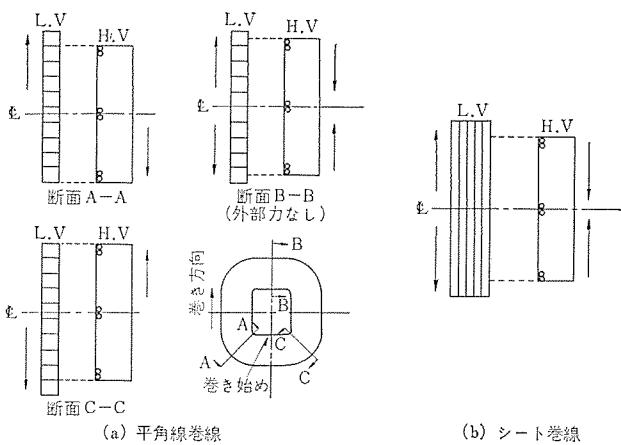


図 2.1 シート巻線と平角線巻線の機械力の比較
Comparison of mechanical force in sheet winding with rectangular wire winding.

く方式が広く用いられている。この巻線はらせん巻きであるため、電流が大きくなると高低圧コイルの磁気中心を合わせにくくなり、軸方向の機械力が発生しやすく、局部的にはコイルを分解する力が発生する。一方シート巻線では、シート巻線側を他巻線より若干幅広くすることにより、コイルに加わる機械力を導体自身の引張力でもたせることができる。これらの関係を図 2.1 に示す。この結果シート巻線では、短絡時の機械力にもたせるためのコイル保持具類を簡略化し、小形軽量化することが可能になる。また巻線の自動化の点においても、シート巻線はすぐれており今後の発展が期待されている。

2.3 タップなし変圧器、単三専用変圧器

配電線の強化が進むにつれ電圧降下も少なくなり、従来用いられていた 5% タップに代わり 2.5% タップ変圧器、さらにタップなし変圧器へと進みつつある。また単三配電の普及とともに、変圧器も単二単三共用ばかりではなく単三専用品が用いられるようになった。これらは、変圧器の小形化というよりむしろ点検の簡略化の意味が大きい。

2.4 密封形柱上変圧器

変圧器の温度があがると、中の空気および絶縁油が膨張する。柱上変圧器は、ガスケット類で密封されているため温度の変化により内圧が変化する。通常の過負荷運転程度の範囲では、ケースが変形しないようケースの強度と空間スペースを適切に選んでいる。この空間スペースをなくし、ケース形状を変圧器中身に適合した構造とすれば、大幅な小形化が可能である。図 2.2 は、従来の変圧器と密封形柱上変圧器のスペースの利用状況を示したものである。図 2.4 は、2.1～2.3 節に記した小形化の諸条件を取り入れた密封形柱上変圧器と、従来の変圧器の比較写真である。ブッシングは、変圧器背面の上下に取りついているため正面からは目だたない構造となっている。密封形柱上変圧器は重量で 25%，寸法で 15～25% 小形軽量である。この変圧器では小形化の諸条件のほか、

(1) ケースを完全密封構造とし、温度の変化による絶縁油の膨張・収縮はケースにもうけたダイヤフラムで調節する。この結果油の劣化は少なくなる。

(2) ブッシングが破壊した場合は密封のままで取りかえが可能である。

など取扱いが簡単で点検の必要な少ない機器としている。油の膨張につれ変形するダイヤフラム構造は従来品と最も異なる点である。この点の信頼性を確認するため、油温上昇 70～90 deg に相当する変形を 3,000 回実施している。この試験は、周囲温度、30°C において全負荷連続運転に引き続き、150% 負荷で 4 時間以上の過負荷を毎日 1 回、8 年間くり返した場合に相当している。

3. 架空配電線外観改良用変圧器

架空配電線の外観改良の一環として、柱上変圧器の構造検討が進められている。従来はカットアウトが変圧器と別置されていたが、変圧器と各種保護装置を一体化して装柱を簡略化する方向にある。この方式は当社が CSP 変圧器⁽²⁾としてシリーズ化し、海外へ約 8,000 台の納入実績のある製品と類似した点が多い。CSP 変圧器では、

(1) 変圧器過負荷保護用の二次側しゃ断器

(2) 配電線保護用の一次側ヒューズ

(3) 雷害保護用のアレスタ

を一体化しているが、この変圧器類では変圧器切り離し用の一次側スイッチをつけ、アレスタを省略するものが検討されている。外観改良

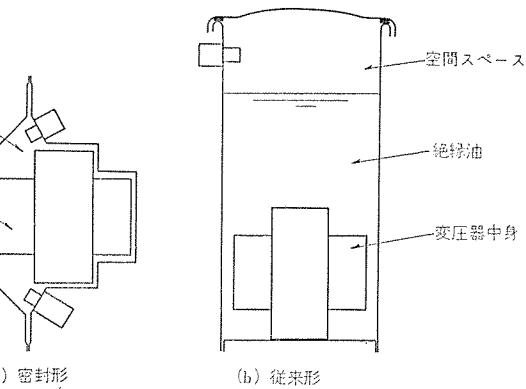


図 2.2 密封形柱上変圧器と従来形柱上変圧器との空間利用比較
Comparison between space utilization of sealed pole transformer and conventional pole transformer.

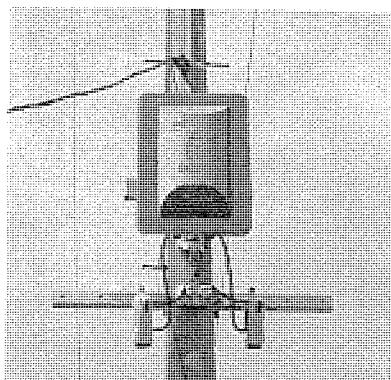


図 2.3 密封形柱上変圧器の装柱状況
Installation of sealed pole transformer.

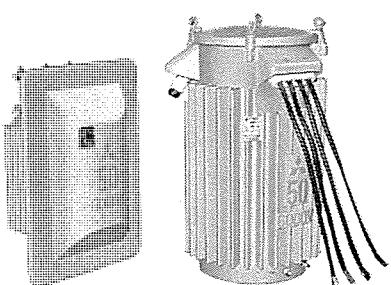


図 2.4 密封形柱上変圧器と従来形柱上変圧器の比較
(単相 6 kV 50 kVA)
Comparison of sealed pole transformer and conventional pole transformer.

用変圧器として、電柱の上部または下部に取りつけるものはアメリカなどでも製品化されている。当社は、金属電柱の内部に設置できる細長い構造の変圧器を提案しており、内径 270 mm の電柱に 20 kV A まで装柱可能である。

4. 地中配電用変圧器

配電線の外観改良法として、配電線および配電用機器全体を地中に設置するものが最もすぐれているが、設置場所・経済性などを考慮し、変圧器の構造としては、

- (1) 地下設置形
- (2) 半地下設置形
- (3) 地上設置形

が製作されている。

4.1 地下設置変圧器

地下設置変圧器は設置場所が限定されること、また分岐点をできるだけ少なくすることなどのため、大形変圧器の採用が経済的である。小容量変圧器を地下へ設置したい場合は、保護装置などを簡略化した地下埋設変圧器がもちいられる。地下設置変圧器としてとくに考慮しなければならない点は、

- (1) 地下運転中の温度上昇特性
- (2) 地下運転に耐える高低圧ブッシング
- (3) 地下運転に耐えるケース
- (4) 保護装置

などである。

(a) 温度上昇特性

地下設置変圧器の熱放散は、

- (i) 設置孔の壁をとおり土壤への熱放散
- (ii) 換気などによる気中への熱放散

がある。空気の対流が十分に行なわれる場合は、周囲温度として大気を、空気の対流が行なわれない場合は、周囲温度として土壤を考える必要がある。土壤を周囲温度と考える場合は、寿命におよぼす等価周囲温度は大気に比べ 5~10 deg 低いと考えてよい。土壤中への熱放散は、放置孔を球、土壤の表面温度は変化しないものと仮定することにより式(4.1)で表わされる⁽³⁾⁽⁴⁾。

$$\Delta T = \rho w (1/d - 1/d') / 4\pi \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

w : 土壤中へ放散される熱量 (W)

ρ : 土壤の熱抵抗 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)

d : 球の半径 (cm)

d' : 地表より球埋設深さの 2 倍 (cm)

ΔT : 球表面の温度上昇 ($^{\circ}\text{C}$)

式(4.1)は、地下埋設機器の温度上昇が寸法に逆比例することを示している。一方地上機器では、表面積すなわち寸法の 2 乗に逆比例するから、大容量変圧器ほど地下埋設により温度上昇の条件がわるくなる。図 4.1 は、設置孔(上部は密封)の温度上昇と損失の関係の一例を示したものである。この実測結果は土壤抵抗 $\rho = 70$ ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$) 程度に相当する。耐熱絶縁紙を使用した温度上昇 55 deg の変圧器では、設置孔の温度上昇約 20 deg 程度までゆるされるので、図 4.1 の設置孔では、損失 400 W すなわち約 20 kVA 程度の変圧器まで連続運転ができる。変圧器の大きさいっぽいの設置孔中に変圧器を密封した場合、変圧器容量の大きなものでは、利用率を低下させないと温度が過度に上昇する。今標準の屋外用変圧器に比べ、幅・奥行・高さとも 100 mm 大きい設置孔の中に変圧器を密封

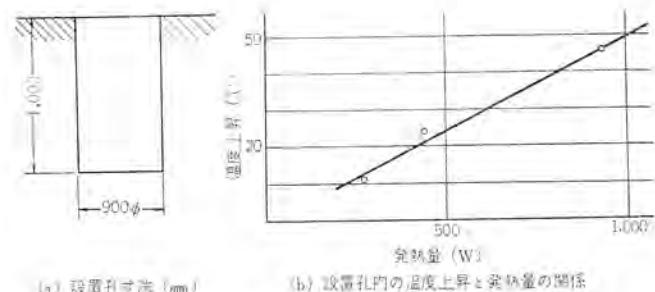


図 4.1 設置孔内の温度上昇と発熱量の関係
Relation between temperature rise of vault and losses.

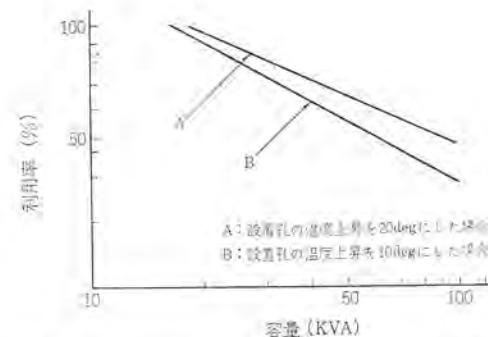


図 4.2 変圧器外形に適合した設置孔における変圧器容量と利用率の関係
Relation between capacity and utilization factor at a vault fitting to transformer outline.



図 4.3 地下埋設変圧器用高圧ブッシング
High voltage bushing for buried transformer.

した場合の利用率低下的度合を図 4.2 に示す。変圧器寸法に合った設置孔でとくに換気を考えていない場合は、容量 15 kVA 程度が限度である。実際の地下設置変圧器では、保護装置を取付けたり、ケーブル接続のためのスペースを取ったりするため、設置孔が大きくなり温度上昇により制限される容量も若干大きくなる。以上地下設置変圧器では、何らかの換気を考えることが温度上昇の点から必要になる。

(b) ブッシング

ゴム、プラスチックケーブル用としては、テーピング方式の「スタッフィングボックス」が、紙ケーブルには、「ワイヤリングストリーブ」が広くもちいられている。地下設置変圧器では、あらかじめある程度大きな地下孔に変圧器を入れ、容量不足の際変圧器のみ取り換えることを考え着脱自由な端子を開発した。図 4.3 はその外観である。

低圧ブッシングは、変圧器の使用状態を考えると分岐箱を別置する場合と、変圧器で直接分岐する場合とが考えられる。前者に相当するものとして、3 心用モールドブッシングを図 4.4 に示す。一方後者に相当するものとして、モールコネクタがある。

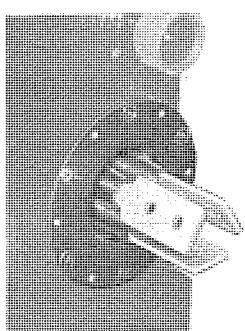


図 4.4 地下埋設変圧器用低圧
ブッシング
Low voltage bushing for buried
transformer.

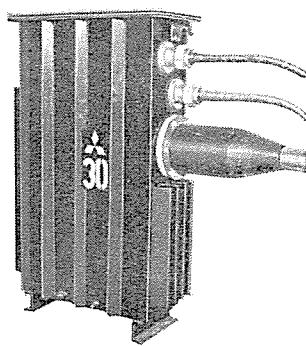


図 4.5 道路脇設置用埋設変圧器
Buried transformer.

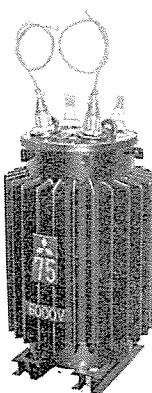


図 4.6 半地下変圧器
Semi-buried transformer.

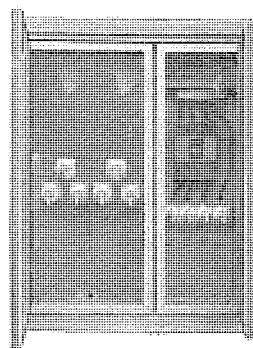


図 4.7 地上設置変圧器
(50 kVA + 10 kVA 結線)
Pad mounted transformer.

(c) ケース

変圧器を地下に設置する場合、ケースなど金属部分の腐食が問題になる。ケースの形状を単純にして塗り替えが容易な構造とするとともに、鋼板に耐候性高張力鋼を、塗装はタルエポキシ系とするなど防食対策を施している。

(d) 保護装置

地中配電は信頼性を要求される地区に多いこと、ケーブルの接続にスペースを取るので、機器を一体化するのが合理的であることなどから、保護装置を取付けたものが多い。保護装置としては、一次側の断路器または開閉器、一次側ヒューズ、二次側しゃ断器、二次側リミッタなどがあり、必要に応じ取捨選択されている。

図 4.5 は、道路脇に設置するため幅のせまい構造とした地下埋設変圧器の例である。

4.2 半地下変圧器

変圧器の一部を地面上に出すことにより、地下埋設変圧器で問題になるケーブル接続部の耐水性・温度上昇を緩和することができる。半地下変圧器は、これらの長所を生かしたもので、架空配電用にも地中配電用にも使用される。図 4.6 は半地下変圧器の一例である。

4.3 地上設置変圧器（パッドマウント変圧器）

地中配電方式は、架空配電方式に比べて、かなりのコスト高になる。このコスト高を極力おさえるために、中層建築の住宅地域など土地に余裕のある場合は、機器のみ地上へ設置することが考えられる。パッドマウント変圧器は、各種保護装置と変圧器を一つのケースに

おさめた地上設置形配電用変圧器である。地上設置の場合、

- (1) 周囲の環境にマッチした形態・塗装色であること。
- (2) 外観を簡潔にし、外部よりいたずらされない構造とすること。
- (3) 安全であること。

など考慮する必要がある。図 4.7 はその一例である。

5. む す び

負荷密度の増大・都市美化に対する要求、地中配電など配電事情の変化により要求される新しい変圧器について主として記した。これらの変圧器の多くはまだ試用段階にあり、構造的にもさらに改良が進められつつある。

このような配電事情の変遷にマッチした新しい形の変圧器を、経済的に製造できるよう努力をつづけ、配電技術の向上に役だちたいと願っている。

参 考 文 献

- (1) 白井ほか：三菱電機, 36, No. 4, 10 (昭 37)
- (2) 木野崎：三菱電機, 35, No. 11, 29 (昭 36)
- (3) J. H. NEHER : The Temperature Rise of Buried Cables and Pipes, AIEE, 68, 8 (1949)
- (4) N. R. Schultze : Underground Distribution Thermal Tests in the PHOENIX AREA, IEEE, paper No. 31, 66-392.

三菱配電用避雷器

永井信夫*

Mitsubishi Autovalve Lightning Arresters for Distribution Lines

Itami Works Nobuo NAGAI

Since the commencement of manufacturing type LV lightning arresters for distribution lines in 1930, Mitsubishi has produced the lightning arresters of almost all kinds of ratings up to present. All these products have operated with success, proving that they have very high reliability from the past experiences.

The article deals with lightning arresters used on distribution lines with their application guide as a nucleus of description. It reports the special tests conducted on type LV-GL arresters and discusses a number of problems coming across in the maintenance together with suggestions of solving them.

1. まえがき

三菱オートバルブ避雷器は、昭和5年に配電用LV形の製作を開始して以来、発電所用を含めたあらゆる定格の避雷器を製作して今日に至っており、その信頼性は長年の実績により裏付けされている。保護機器としての避雷装置は、異常電圧により動作したばあいその責務に十分耐えうる信頼度をもっていなければならぬが、これは衝撃電圧発生装置、衝撃電流発生装置、大電力短絡発電機などを含む膨大な試験設備があって初めて確かめうる特性で、配電用避雷器でもこれら各種の試験を繰返し実施し性能の確立されたものでなければ、かえって事故の原因になったり、保護の役目を果さないということが起こり得る。

当社ではこのような観点から、信頼度の高い保護機器製作に努力しており、JEC規格に準拠するにとどまらず、多数の特殊な性能試験を実施して適用上の検討を行なっている。

本稿では配電用避雷器に関し試験結果の報告を含めてその概要を述べ、適用上の参考に供したい。

2. 配電用避雷器の概要

2.1 配電用避雷器の特性と適用指針

低圧回路を含めた22kV以下の配電系統用三菱避雷器の適用定格と形名を表2.1に示す。

公称放電電流2,500AのLV-GL形⁽¹⁾⁽²⁾避雷器が、配電用避雷器として440V~6.6kV系、および11.4kV三相4線式多重接地系に

表2.1 三菱配電用避雷器の適用表
Application guide of Mitsubishi distribution valve lightning arresters.

避雷器定格電圧 系統	—	440V	650V	1.4kV	2.1kV	2.8kV	4.2kV	8.4kV	8.4kV	10kV	12kV	14kV	22kV	
公称放電電流 または用法	110V 220	110V 220	440V	750V 以下	1.1kV	1.65kV	2.2kV	3.3kV	6.6kV	10.4kV 主保護 第一種セイセイ	10.4kV 主保護 第一種セイセイ	11kV	22kV	
5kA (発電所および配電用変電機保護)														
2.5kA (配電用)														
低圧用														
高低混触保護用 静電放電器														

使用される。6.6kV系統の重汚損地区用としては耐塩さら(III)を取付けたLV-GL耐塩形避雷器(図2.2)も製作している。3.3kV、6.6kV系避雷器で被保護機器の耐圧が低いばあい、または配電用変電所機器保護等の目的で性能向上を望むばあいは、C-CRギャップ方式により放電特性が低減され、放電耐量も大きいSV-GH形5,000A避雷器が適用される。

22kV配電用、11.4kV三相4線式系統保護用としては、高電圧になるので汚損問題等も考慮し、上記のように高性能をもつSV-GH⁽³⁾⁽⁴⁾形5,000A避雷器が適用され、信頼度の高い絶縁協調が得られる。

110V、220Vおよび信号回路等の低圧回路保護用としては、BV形避雷器が屋内用として適用される。

電気設備技術基準(昭和40年6月)による高低混触防止用の放電



図2.1 LV-GL形8.4kV避雷器
(S形金具付)
Type LV-GL 8.4 kV arrester with type S mounting bracket.



図2.2 耐塩ざら付 LV-GL形8.4kV避雷器
Type LV-GL contamination-proof 8.4 kV arresters.



図2.3 BV形低圧用避雷器
Type BV secondary lightning arresters.

表 2.2 三菱配電用避雷器特性表
Performance characteristics of Mitsubishi distribution valve lightning arresters.

避雷器形名	定格電圧 kV	使用回路電圧	商用周波放電開始電圧 kV 以上	電擊放電開始電圧 kV crest 以下		制限電圧 kV crest 以下			放電耐量	
				100 %	0.5 μs	1,500 A	2,500 A	5,000 A	衝撃波	長方形波
SV-GH 形 (公称放電電流 5,000 A)	28	22 kV	42	86	100	—	85	100	—	—
	14	11 kV	21	46	53	—	43	50	—	—
	12	10.4 kV 高抵抗 單一接地	18	45	54	—	37	43	4×10 μs 65 kA	2 ms 150 A
	10	10.4 kV 低抵抗 單一接地	15	40	46	—	31	36	2 回	20 回
	8.4	6.6 kV および 10.4 kV 多重接地	12.6	24	31	—	25	30	—	—
	4.2	3.3 kV	6.3	12	16	—	13	15	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LV-GL 形 (公称放電電流 2,500 A)	8.4	6.6 kV および 10.4 kV 多重接地	12.6	33(標準特性 28)	38(標準特性 33)	—	28	32	—	—
	4.2	3.3 kV	6.3	17(標準特性 14)	20(標準特性 17)	—	14	16	—	—
	2.8	2.2 kV	5	12	—	—	11	13	4×10 μs	2 ms
	2.1	1.65 kV	4	10	—	—	11	13	10 kA	150 A
	1.4	1.1 kV	3	8	—	—	7.5	9	2 回	20 回
	0.65	0.75 kV 以下	2.5	6	—	4.5	5	6	—	—
	0.44	0.44 kV 以下	0.8 以上 1.32 以下	2.2	—	2.6	3.0	—	—	—
BV 形 (低圧用)	AC 220 V DC 110 V	DC の場合 (短絡容量 0.5 A) 以下の場合は DC 250 V まで 使用できる	1	2.5	—	1.7	—	—	4×10 μs 10 kA	—
LV-GA 形 (静電放電器)	6.6	6.6 kV	12.6 kV 以上 18 kV 以下	標準特性 24	標準特性 31	30	—	—	—	—
	3.3	3.3 kV	6.3 kV 以上 9 kV 以下	標準特性 12	標準特性 16	15	—	—	—	—

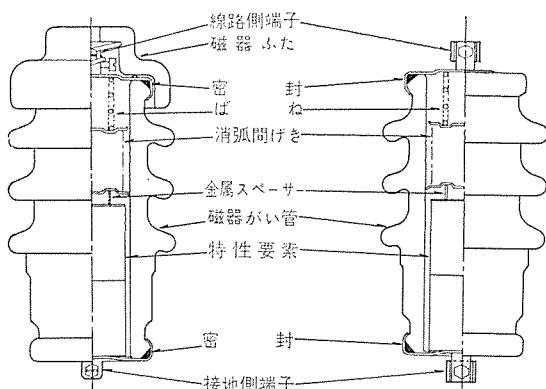


図 2.4 LV-GL 形, SV-GH 形 オートバルブ 避雷器の内部構造図

Cutaway view of type LV-GL and type SV-GH Autovalve lightning arresters.

器として回路電圧の 3 倍以下で放電する機器が要求されるが、3.3 kV, 6.6 kV 用としては LV-GA 形静電放電器が適用され、440 V 用としては LV-GL 形 440 V 避雷器がそのままで放電器としての必要性能を満足する。これらの避雷器の特性を一覧にして示せば表 2.2 のとおりである。三菱オートバルブ避雷器は弁形構造の避雷器であり、低圧用 BV 形(屋内用)を除けばすべて屋内外いずれにも使用でき、性能上からは密封形避雷器を対象として規定された JEC-156 規格に十分裕度をもつものである。

2.2 避雷器の構造

三菱オートバルブ避雷器は、直列ギャップと特性要素を避雷器要素とし、密封容器に収納して構成されている。

LV-GL 形, SV-GH 形避雷器, LV-GA 形静電放電器の直列ギャップ構造と動作原理

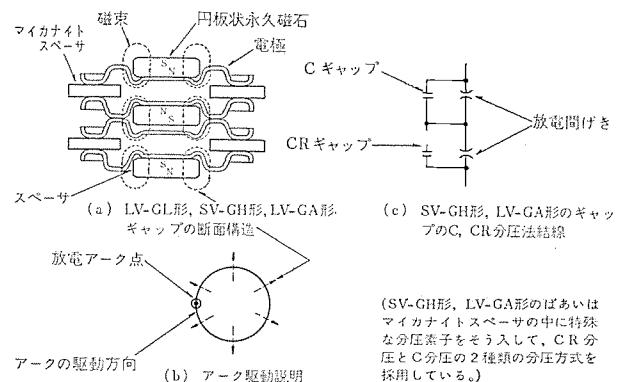
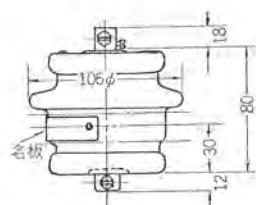


図 2.5 LV-GL 形, SV-GH 形, LV-GA 形の直列ギャップ構造と動作原理

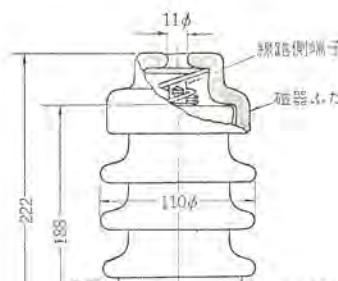
Constructions and operation principles of series gaps of type LV-GL, SV-GH and LV-GA arresters.

ギャップ構造は、図 2.5 に示すように円板状永久磁石を電極背後に装着し、放電間げき部分に生じる動作時のアーカーに直交磁界を作用させ、アーカーを電極間で円運動させる永久磁石消弧方式を採用している。さらに、SV-GH 形避雷器と LV-GA 形静電放電器の直列ギャップは、C, CR ギャップと呼ばれる特殊な分圧素子を電極間のマイカナイトスペーサー中に包含している。これは、C ギャップと CR ギャップを適正枚数混合して適用すれば、商用周波電圧に対しては静電容量により印加電圧を均等分圧し、衝撃電圧に対しては CR ギャップに大きな電圧が印加されることを利用して、組み合わせギャップ全体の放電特性をきわめて設定できる特長がある。

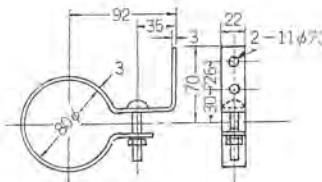
BV 形低圧用避雷器は、屋内用として透明容器に収納されているのでその状態が外から観察でき、保守上の便宜を計っている。直列ギャップは、高誘電率のスペーサーで隔てられた 6 個の放電端を持った構造になっており、このスペーサーがイオン照射の役目をするので衝撃比



(a) 定格電圧 440 V,
650 V, 750 V 重量 1 kg



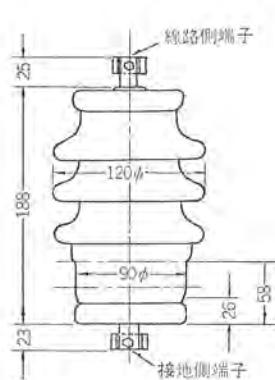
(b) 定格電圧 8.4 kV
重量 2.55 kg



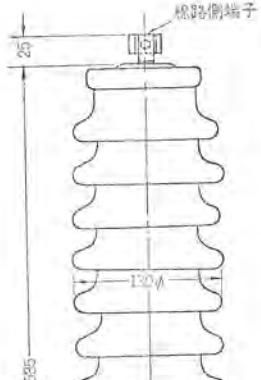
(c) S形支持金具 重量 0.23kg

図 2.6 LV-GL 形定格 8.4 kV および低圧用避雷器外形寸法
Outline dimensions of 8.5 kV and secondary type LV-GL lightning arresters.

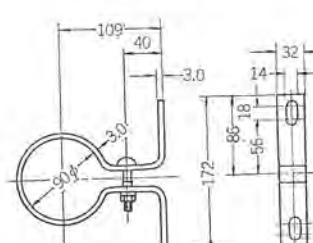
Outline dimensions of 8.5 kV and secondary type LV-GL lightning arresters.



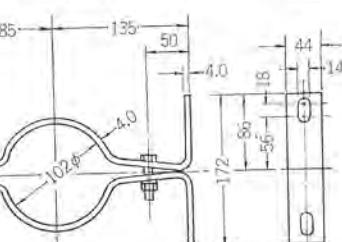
(a) 定格電圧 8.4 kV
重量 3.5 kg



(c) 定格電圧 28 kV
重量 11kg



(b) H形支持金具 (定格電圧 12kV 以下用)



(d) T形支持金具 (定格電圧 14 kV, 28 kV 用)

図 2.7 SV-GH 形定格 28 kV および 8.4 kV 避雷器外形寸法
Outline dimensions of type SV-GH 28 kV and 8.4 kV arresters.

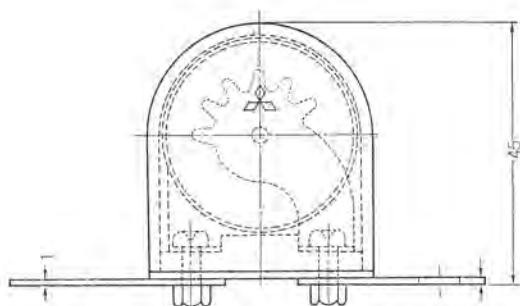
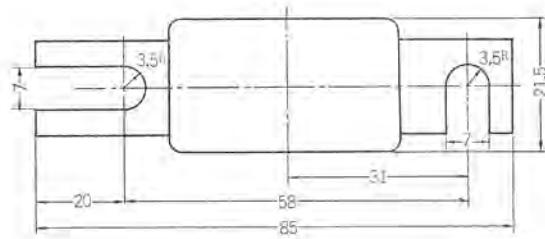


図 2.8 BV 形避雷器の外形寸法
Outline dimensions of type BV arrester.

が良好で、急しゅんな衝撃波から商用周波電圧に至るまではほとんど同一の電圧で放電する。

3. 配電用避雷器の特殊試験結果

配電用弁形避雷器は、JEC-156 によれば誘導雷保護を主対象とし公称放電電流 2,500A のものが通常適用される。一方「配電線耐雷設計基準⁽⁵⁾」によれば、配電用避雷器の放電電流は統計的に 1,000A 以下を基準として考えてさしつかえない。これらの思想により、JEC-156 の 2,500 A 避雷器の仕様を満足すれば、配電用避雷器として適合することになるが、実系統での動作条件を考慮すれば、規格外の動作責務能力を検討しておくことも適用上有力な参考資料を提供する意味で重要なことである。

LV-GL 形避雷器につき実施した参考試験⁽⁶⁾⁽⁷⁾について要点を述べる。

(1) 短絡容量の大きな回路での動作責務試験

JEC-156 の思想は、弁形避雷器は構造上統流値が一定値以内に制限されることから、一定の短絡容量での試験を行なえば、無限大容量の回路での動作を検証したことになるとの考えに基づいている。しかしながら、最近は制限電圧が低くなる傾向にあり、2,500 A 避雷器に規定された 700 A の短絡容量では、やや不十分で少なくとも 1,200 A 回路での動作を検討する必要がある。

当社では短絡容量 10,000 A 回路での動作責務試験を行ない、事実上無限大容量の系統まで適用可能であることを確認すると同時に、1,200 A 回路での動作責務と 10,000 A 回路での動作責務が実質的に同一であることも立証した。

(2) 衝撃大電流による動作責務試験

JEC-156 によれば、2,500 A 避雷器は衝撃電流 2,500 A ($8 \times 20 \mu s$) で動作責務試験を行なうことになっているが、同一電流波形で波高値 10,000 A までの動作責務試験を実施し、統流しゃ断に成功した。

(3) 長波尾衝撃電流による動作責務試験

雷撃電流中の長波尾成分に対する動作責務能力を検証する試験を行なった。衝撃電流波形 $35 \times 150 \mu s$ とし、波高値 2,500 A による動作責務試験において同逆極性とともに統流しゃ断に成功した。この 2,500 A という値は、実系統での避雷器動作を考えればきわめて過

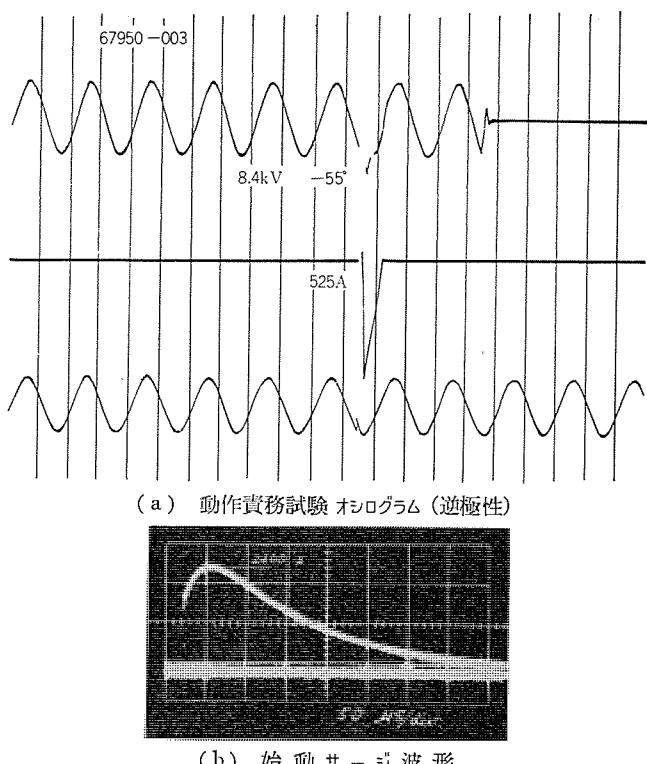


図 3.1 LV-GL 形 8.4 kV 避雷器の長波尾 サージによる動作責務試験結果
Test results of operating duty test by means of long duration surge.

酷側で試験していると考えられ、したがって長波尾成分の電流に対しても十分な処理能力を有していることがわかる。図 3.1 に逆極性のばあいの動作責務 オシログラム 例と始動 サージ 波形を示す。

(4) 機圧上昇試験

定格 8.4 kV に対し印加電圧 12 kV まで続流しや断したデータがある。

(5) 進相動作責務試験

中性点非接地系において、常規状態で一相だけ避雷器が動作するばあいを考えて進相回路での動作責務試験を行ない、続流しや断を確認している。

(6) 放電耐量試験

JEC-156 規格値の 10 kA ($4 \times 10 \mu\text{s}$) に対し、20 kA を 1 分間隔で連続 50 回印加し耐えた記録がある。

4. 配電用避雷器の保守上の問題点とその検討

配電用避雷器の保守は外観点検と絶縁抵抗測定を主体にして行ない、かつがい管表面を清浄状態に保つのが望ましい。

配電系統への実際の適用にあたっては、これらの避雷器は広範囲に多数取付けられることが多く、保守は事実上外部からの点検によることが多いと考えられる。したがって避雷器はできるかぎり信頼度の高いものを適用する必要があり、当社では 3 章で記載したように高性能を確保するとともに、構造上からは真空試験による気密構造試験を配電用避雷器全製品について実施するなど、厳重な品質管理を行なって品質を保証している。また、LV-GL 形および SV-GH 形避雷器は、万一直撃雷などの定格外の過酷な動作により破損したばあいを想定し、破損時に接地側金属ふたに穴があく構造として防爆効果をもたせ、同時にこれが破損状態の検出にもなるようにして保守上の便宜を計っている。

配電用避雷器は、JEC-156 にも明記されているように、経済性も考慮して性能を規定されており、JEC の思想を尊重すれば上記のように万一の破損状態をも考慮した保守方法を検討しておくことはきわめて有益と考えられる。これらの状況から、当社では配電用避雷器の付属品として避雷器用 アイソレータ をとくに開発した。

これは標準としては避雷器の接地側に取付けられ（図 4.1 参照）、避雷器が正規の動作をするかぎりは単なる導体として使役し、責務外動作により避雷器が破損したとき アイソレータ の絶縁筒部分が破損し、一定の無電圧時間があれば接地側の リード 線が自重で落下するようになっている。したがって、アイソレータ を取付けておけばその破損により故障避雷器を目視で検出できると同時に、再閉路に際し破損避雷器の接地側 リード 線を切り離し状態におくため、系統からの自動的な切り離しが行なえる。

この アイソレータ の動作特性は次のように設定されている。すなわち、実系統における過去の配電用避雷器破損状況を調べると、再閉路を不成功にする故障避雷器には異相地絡による 100~200 A 程度の商用周波電流が流通しているものが多い⁽⁸⁾。また、避雷器が破損し続流しや断不成功のとき他相では事故がなく、故障避雷器に一線地絡電流のみが流れればあいは、直列 ギャップ が溶着しないため再閉路には成功する。

以上の検討結果より、アイソレータ の動作特性としては、破損避雷器に 100~200 A 程度の電流が流通したばあいを想定して設定している。アイソレータ の動作時間特性を図 4.2 に示す。また、アイソレータ の



図 4.1 アイソレータ を取付けた LV-GL 形定格 8.4 kV 避雷器
Type LV-GL 8.4 kV lightning arrester with isolating device (isolator).

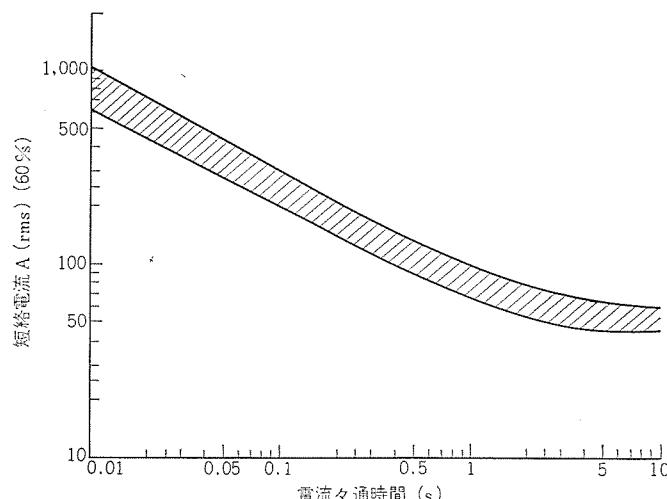


図 4.2 短絡電流流通による アイソレータ 動作時間特性
Performance characteristics of isolating device (isolator).

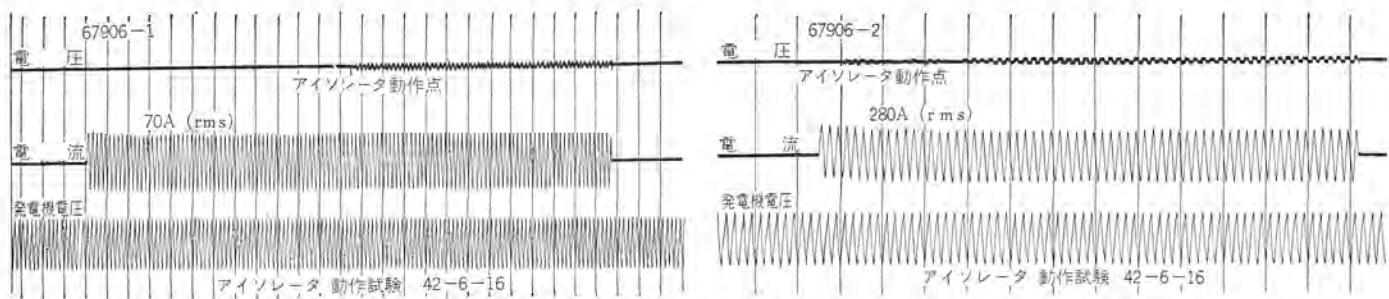


図 4.3 アイソレータ動作試験オシログラム
Typical test result oscillograms of isolating device.

動作試験オシロを 70 A および 280 A 電流回路について図 4.3 に示すが、アイソレータ使用の目的から考え予想される電流値に対して十分協調がとれている。このアイソレータ取付けにより、配電用避雷器の保守上の問題点はすべて解決されたといえよう。

5. む す び

三菱配電用避雷器の適用指針について述べた。その要点は次のとおりである。

(1) 配電用避雷器としては公称放電電流 2,500 A 避雷器が適用の対象となるが、変電機器を保護するばあいで性能の向上を望むばあい、また、被保護機器の耐圧が低いとき、さらに、11.4 kV, 22 kVなどの電圧の高い系統では汚損問題等も考慮し、5,000 A 避雷器が適用対象となる。

(2) 配電用避雷器は広範囲に多数取付けられるので、保守面からも信頼度の高い避雷器を使用すべきである。

LV-GL 形避雷器は各種の試験を行なって高性能が確認されているが、アイソレータを取付けければ直撃雷などで避雷器が破損しても外観による検出とリード線切り離しが可能であり、適用上このきわめて

まれな条件の処置も考慮したことになる。

(3) 低圧用 440 V 回路用 LV-GL 形避雷器は、高低混触保護の放電器としても使用できる。

(4) 低圧回路保護としては LV-GL 形、または BV 形 (100 V, 200 V 室内取付用) 避雷器が適用対象となる。配電用避雷器の概要について記載したが、正しい避雷器の選定により効果的な耐雷設計の行なわれることを期待する。

参 考 文 献

- (1) 加藤ほか：三菱電機技報 39, No. 5, 656 (昭 39)
- (2) 岡田ほか：電連大 926 (昭 40)
- (3) 岡田ほか：電連大 669 (昭 42)
- (4) 岡田ほか：三菱電機技報 41, No. 3, 469 (昭 42)
- (5) 電力中央研究所：配電線耐雷設計基準要綱 (昭 38)
- (6) 岡田ほか：電連大 509 (昭 41)
- (7) 岡田ほか：三菱電機技報 40, No. 9, 1512 (昭 41)
- (8) 伊藤：東海支部電連大 5a-C-5 (昭 41)

真空しゃ断器の大電流しゃ断現象

伊藤利朗*・大倉敏幹**

High Current Interruption Phenomena in Vacuum Interrupters

Central Research Laboratory Toshio ITÔ・Toshimoto OHKURA

Various phenomena observed in breaking up high current by vacuum interrupters have been studied and given physical explanation for them. As a result of experiments, it has been found that the interrupting capacity increases with the increase in the diameter of contacts and also with the application of magnetic flux in parallel with the direction of arc, thus the consumption of contacts being restrained to the limit.

These phenomena can be explained clearly through the analysis of the extinction process of metallic vapor produced together with the arc and also of magnetism driving effect of longitudinal magnetic flux.

1. まえがき

真空しゃ断器がわが国で電力の開閉に応用され出したのは比較的新しく、1964年ごろから高圧モータスイッチとして用いられたのを初めとする。しかしその後の進展はいちじるしく、現在ではその開閉容量の増大に伴ない、配電用スイッチのあるいはしゃ断器としての地位を固めようとしている。

当社でも1964年にすでに製品化に成功し、現在では金属そら形と称する当社独自の構造のもので、3.6/7.2 kV-25/5.0 MVAのコンタクタ用スイッチから、3.6/7.2 kV-150/250 MVAのしゃ断器用スイッチに至るまでの広範囲の定格のものを系列化することに成功している。

本論文は、以上の真空しゃ断器を開発するにあたって行なってきた研究のうち、しゃ断現象の研究に関するもので、とくに大電流をしゃ断する場合に生じる現象を論じたものである。

2章では、しゃ断現象の研究に利用した合成等価試験回路について論じ、とくに真空しゃ断器では合成回路の適用が合理的で、しかも容易であることを強調している。

3章では、試験結果として、接点径としゃ断能力との関係、緩磁束印加の効果、光学的観測の結果などについて述べている。

4章では、3章で得られた結果を理論的に考察し、とくに緩磁束の効果、接点径としゃ断能力との関係などについて、独自の観点に立った明確な解釈を与えていた。

2. 実験モデルと実験方法

実験モデルとしては光学的測定を必要とする場合を除いて次の2種類のものを使用した。

(1) 図2.1(a)に示したように消弧室(アーチシールド)と外囲器とを一体として金属で構成し、その両側に絶縁部分を対称的に配置したもの。

(2) 図2.1(b)に示したように絶縁部分を片側のみに寄せたもの。

これらのモデルはいずれも消弧室と外囲器とを一体として金属で構成したもので、従来のアーチシールドと外囲器とを別々に構成するものに比べて消弧室を非常に大きくすることができる。したがってしゃ断に対して非常に好都合であり、かつ特性のバラツキが少なく安定

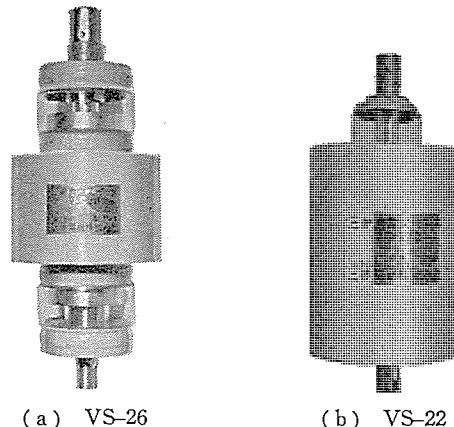


図2.1 実験に使用した真空しゃ断器
Vacuum interrupters in experiment.

している。この構造のものは金属そら形真空しゃ断器と称してすでに製品化しているが、しゃ断現象の研究用としても

(a) 消弧室(アーチシールド)あるいは接点の大きさを容易に変えることができる。

(b) しゃ断時のアーチシールドの温度を外部から測定することができる。

(c) 適当な方法で外部からアーチの動きを観測することができる。

などの理由で非常に好都合であった。

実験用の試験回路としては、アーチ電圧が低いこと、アーチ時間がほぼ半サイクルであること、などの真空しゃ断器固有の特性に注目して、Weil回路方式による合成等価試験方法を採用した。図2.2は試験回路ブロックの線図である。以下に各部の動作を簡単に説明する。

まず直流高圧電源から充電抵抗Rを通して電圧源コンデンサCsを充電する。つぎに電流源(短絡発電機)Gから限流リクトルL、補助しゃ断器Sh、供試しゃ断器Spを通して、大電流 I_m を半波だけ流す。これと同期してShおよびSpを開けば、ほぼ半サイクルのアーチ時間が得られる。電流零点直前に火花間げき下を点火し、Csを限流リクトルLsを通して投入し、振動電流 i_s を I_m に重じょうして流す。 I_m と i_s との極性の関係から、電流零点はSpよりもShのほうがわずかに早く、Spの電流零点直前で電流源回路が切り離され

る。やがて S_p は電流零点に達し、極間に電圧源回路の電圧が印加され、しゃ断能が検証される。電流しゃ断後は C_s , F , リアクトル L を通して振動回路が形成され、極間には交流電圧が印加される。

試験条件の選定については、筆者らを含む数多くの研究者⁽¹⁾⁽²⁾によって確認されている真空しゃ断器の特性、すなわち

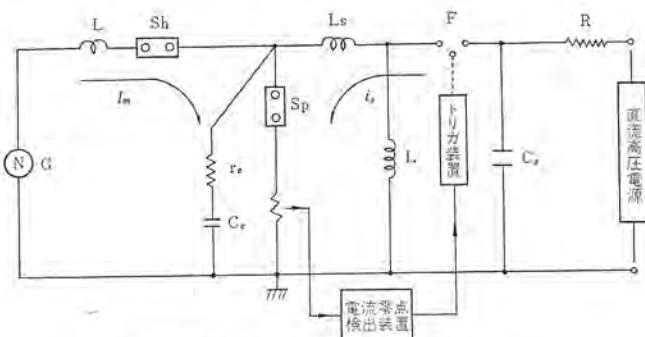


図 2.2 合成等価試験回路
Circuit diagram of synthetic equipment test.

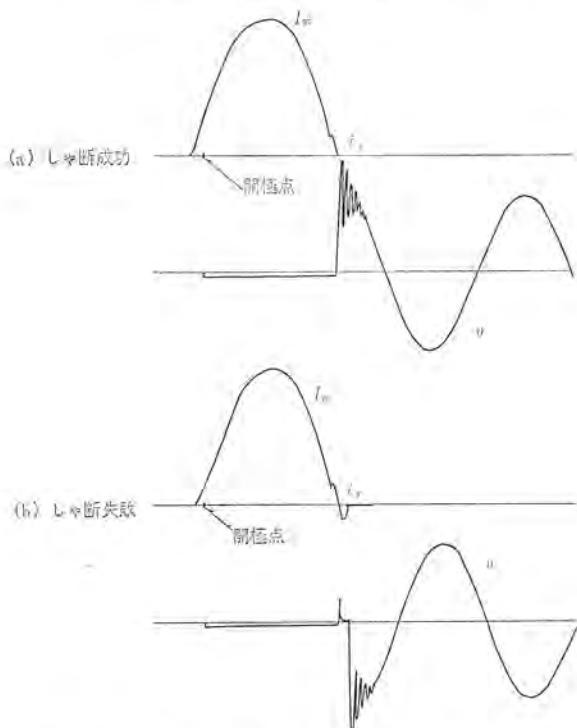


図 2.3 合成等価試験で得られる代表的オシログラム
Typical oscillograms obtained in the synthetic equipment test.

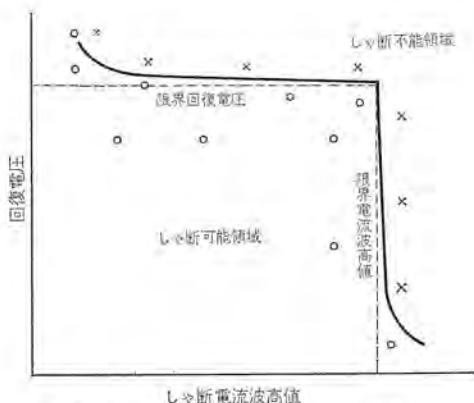


図 2.4 真空しゃ断器のしゃ断特性
Interrupting characteristics of a vacuum interrupter.

(1) しゃ断性能は零点前の電流傾斜にあまり影響されず、電流波高値およびアーク時間（アークエネルギー）にかなり依存している。

(2) また零点後の再起電圧の上昇率には影響されず、回復電圧波高値のみに影響される。

などを考慮して、電流波高値および C_s の充電電圧（実回路の瞬時回復電圧に対応するもの）を主要変数とし、他の条件については次のような簡単な設定を行ない試験を容易にした。

すなわち限流リアクトル L の値は電流波高値に適当に対応させて、2 mH と 4 mH の段階に選定し、再起電圧調整用の抵抗 r_e およびコンデンサ C_e については L が 4 mH のときに、浮遊容量も含めて再起電圧の周波数が 15 kc、振幅率が 1.3 になるように固定した。 i_s の周波数は 500 c/s とし、 C_s , L の振動周波数は商用周波数 60 c/s に一致させた。またアーク時間については上述の理由から I_m に直流分を含ませ、実回路よりも過酷であると推定される 12 msec を選んだ。

図 2.3 はしゃ断電流、電圧の典型的な波形を示したものである。

以上の試験で得られた結果は、図 2.4 に示すような図表、すなわちしゃ断電流を横軸、回復電圧を縦軸とした図表上にしゃ断成（○印）否（×印）でプロットされ、○および×の集合の境界として、しゃ断限界線が求められた。数多くの試験結果を以上のような図で表現し、それらを検討したところ、しゃ断限界は図 2.4 に示すようにほぼ長方形的な形状となることが判明した。そこで筆者らは、境界線に対応する電流および電圧を、それぞれ限界電流波高値および限界回復電圧と呼び、しゃ断性能を簡単に表現する場合の便を計っている。

なお電気的測定と同時にアークの動きを観測することは、しゃ断現象の究明に対して非常に有力な武器となるので、外部から光学的に観測可能な窓付アークシールドを取付けた特殊モデルを製作し、光学測定を行なった。その結果、しゃ断現象の究明に非常に役立つ資料が得られた。

3. 実験結果

3.1 接点径としゃ断能力

限界しゃ断電流が何によって定まるかは非常に興味あることである。筆者らは接点径、接点材質、アークシールドの材質と大きさ、真空室容積、などとの関係を詳細に求めたが、その結果、次のような重要な事実が判明した。図 3.1 の直線 (1) は接点径と限界しゃ断電流との関係を示したものである。両対数目盛において限界しゃ断電流と接点径との間にはかなりのバラツキはあるが、明らかに強い関数関係が成立している。すなわち接点径 d と限界しゃ断電流 i_s の間には

$$i_s \propto d^{1.3-1.4}$$

という関係が成立する。図 3.1 には接点材質、アークシールドの大きさおよび材質、真空室容積などの異なるモデルの結果も含まれているが、これらと限界しゃ断電流との間にはほとんど相関関係が認められないことも注目すべきことである。これらはむしろ限界回復電圧のほうに関係していることが最近判明しているが、これについては別の機会にゆずることにする。

3.2 電流とアーク電圧との関係

小電流アークの場合は、アーク電圧は電流にかかわらず一定とされているが、大電流アークではある電流値を越すと、アーク電圧が異常に増大する現象が認められる。図 3.2 は小電流アークと大電流アークのアーク電圧をそれぞれ示したものである。

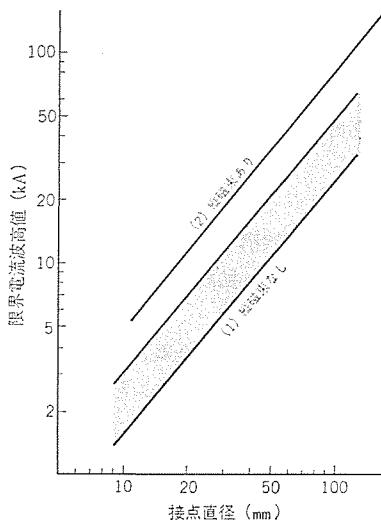


図 3.1 接点直径と限界電流の関係
Diameter of electrodes vs the maximum interrupting current.

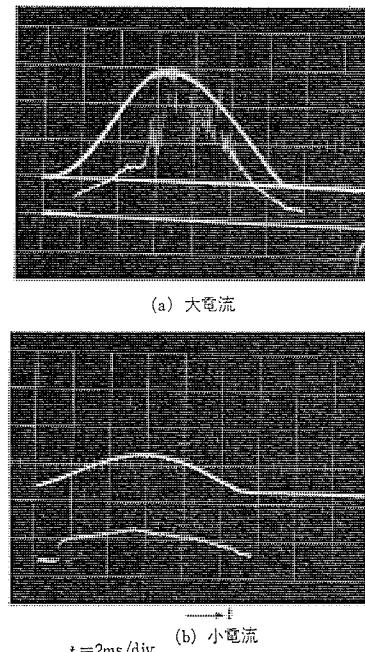


図 3.2 アーク電圧の代表的オシログラム
Typical oscillograms of arc voltage.

図 3.3 は接点径の異なる（接点材質は同じ）2種類のしゃ断器について、アーク電流波高値と最大アーク電圧との関係を示したものである。電流がある一定値を越すとアーク電圧が不連続的に上昇することが、明確に示されている。また不連続点に対応する電流値は接点径によって大いに異なり、接点径が大きいほど電流値が大きいことも明らかにされている。たとえば図 3.3 に示すようにしゃ断器（A）では、8~10 kA、しゃ断器（B）では 15~20 kA で不連続点が生じている。不連続的変化後のアーク電圧は電流とともにますます増大し、数 10 kA の電流値になると 200 V 程度になる。

ここで注意すべきことは、このアーク電圧が上昇する現象としゃ断不能の現象とに密接な関係があることである。すなわちアーク電圧が不連続的に上昇する点に対応する電流波高値は、図 3.1 の直線（1）に示される限界電流波高値にかなり近いという関係がある。いいかえれば、アーク電圧が不連続的に上昇する時点は、そのしゃ断器がすでにしゃ断限界に近づいた時点であることを意味する。たとえば図 3.3 に示したしゃ断器（A）では 10~12 kA、しゃ断器（B）では 20~25 kA が限界電流波高値であった。

3.3 縦磁界の効果

真空しゃ断器に縦磁界（電流と平行な磁界）を外部から印加すると、その磁束密度とともにアーク電圧の異常な上昇をきたす電流値が増大し、しゃ断限界も同時に増大するという興味ある現象がある。

図 3.4 は大電流アークに縦磁束を加えた場合の、アーク電圧波形を示したものである。縦磁束を加えた場合は、アーク電圧は非常に低く、不連続的に上昇する現象はまったく認められない。この現象がなぜ生ずるのかを明確にするため、筆者らはアークの光学的測定を行なってみたが、その結果、アークの動きが磁束の有無でまったく異なることが判明した。図 3.5 は 9,000 駒/sec の速さで撮影した大電流しゃ断時の写真的一こま（駒）である。縦磁束を加えない場合はアークが一方向のみに片寄り接点空間外に飛び出している。これに対して縦磁束を加えた場合は、アークが接点空間内に閉じ込められているこ

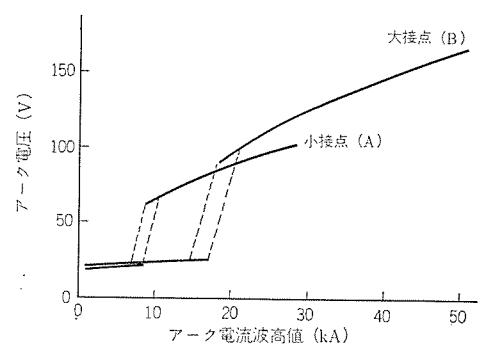


図 3.3 アーク電流（波高値）とアーク電圧の関係
Arc current vs. arc voltage.

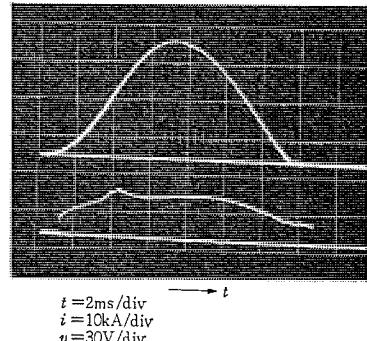


図 3.4 縦磁束を加えた場合のアーク電圧波形
Arc voltage under parallel magnetic flux.

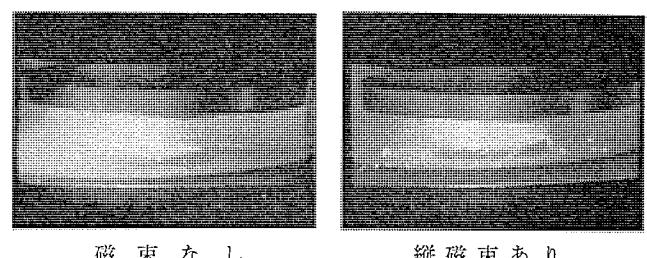


図 3.5 大電流アークの高速度写真
Typical high speed photographs of high current arc.

とがはっきりと認められる。

さらに連続写真でアークの動きを詳細に観測すると、縦磁束のない場合は、アークがますます一方向のみに片寄り、電流零点近傍では接点空間からかなり離れたアーキシールド近傍にまで達する。そして図 3.2 に示したようなアーク電圧波形と対応させた場合、アークが接点空間から飛び出した時点と、アーク電圧が急上昇はじめる時点とは時間的に非常に良く一致する。

一方縦磁束を加えた場合、接点中心部から接点周辺部に向って高速度で放射状に移動する多数の陰極点が観測され、それらは接点周辺部において縦磁束による強力な回転力を受けて急速に消滅する。

接点中心部では新らしい陰極点がつぎつぎと発生し、アーク期間を通じて陰極点の生成、消滅がさかんに繰り返される。その結果、全体としてはアークは接点空間内に閉じ込められ、接点空間外に飛び出するような現象はまったく認められない。このときの電流値とアーク電圧との関係を示すと図 3.6 のようになり、電流とともにアーク電圧はわずかに上昇する程度で図 3.2 に示したような不連続的変化はまったく認められない。

ここでとくに注目すべきことは、しゃ断能力が格段と増大するこ

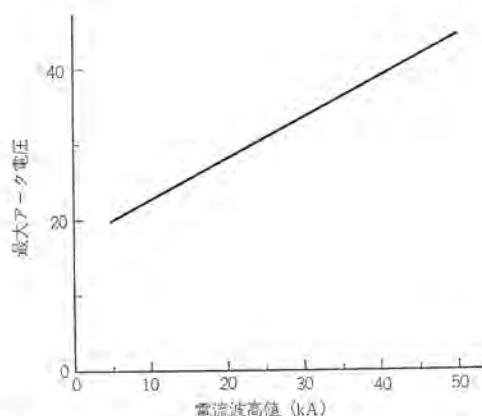


図 3.6 縦磁束印加時の最大アーカ電圧と電流波高値
Relation between the maximum arc voltage and current peak under parallel magnetic flux.

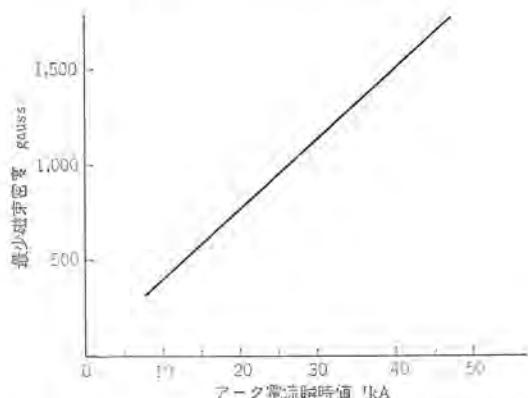


図 3.7 アーカの集束に必要な最小磁束密度と電流の関係
Minimum flux density required to confine the arc.

とある。たとえば実験に用いた、シャンク（A）では 10~12 kA が 20 kA に、シャンク（B）では 20~25 kA が 40~50 kA にそれぞれ限界シャンク電流が増大した。他の異なる接点径のシャンクについても同様の実験を行なったが、いずれも 1.5~2 倍にシャンク能力が増大した。この場合の接点径と限界シャンク電流との関係を示すと図 3.1 の直線（2）のようになる。磁束がない場合に比べてシャンク能力が増大するだけでなく、実験結果のばらつきが非常に小さくなることも、シャンクの信頼度を増加させるという点で特筆すべきことであろう。

なおこのような有効な縦磁束効果を得るために必要な最少磁束密度は、電流値によって異なる。図 3.7 は電流値との必要最少磁束密度との関係を示したものである。

4. 実験結果の検討

真空中スイッチ中のアーカが金属蒸気を媒体として発生していることは周知であるが、金属蒸気の蒸気圧に関しては、報告された測定結果がまったく存在しない現状である。しかしながらアーカの主要部分がかなり高い輝度のプラズマであること、イオンは電子と金属蒸気との衝突だからしか生じないこと、などから推定すると、Paschen の法則における $(pd)_{\min}$ (p は圧力、 d は空間の代表的長さ) よりもかなり高気圧側の蒸気圧であることは明らかである。

これに対して、シャンク零点後の耐電圧が非常に高い状態では、 $(pd)_{\min}$ よりかなり低い蒸気圧すなわち高真空状態でなければな

らないことも明らかである。

以上の二つの事柄から推定すると、真空スイッチのシャンク現象とは、アーカ期間中に高密度で存在していた金属蒸気が電流零点近傍で急速に消滅し、遂には零点後の高真空状態が電極間に達成される現象であると解釈される。

そこで以下に金属蒸気が消滅していく機構を検討しよう。

接点空間に充満した金属蒸気の消滅機構としては、接点の表面へ拡散し吸着される機構と、接点間空間外へ拡散し、アーカシールドその他に吸着させる機構の二つが考えられる。

まず接点表面における吸着を考えてみると、金属表面に衝突する粒子が確率 1 で吸着されるのではなく、はね返ってふたたび接点空間にもどされる確率がある。粒子が吸着される確率のことを吸着係数というが、この値は常温で 0.9, 15°C で 0.8 程度とかなり 1 に近い値であることが報告されている⁽²⁾。このように吸着係数は温度の関数であるから、接点表面の温度を問題にする必要がある。しかし図 3.5 に示すような光学測定の結果から、接点表面の平均温度は、この係数を 1 よりはるかに小さくするまでには達していないものと判断される。したがって接点表面は非常に有効な金属蒸気の吸着面となっていると推定される。

そこで次に金属蒸気が接点間にかなり密に存在するアーカ期間中に、これが接点表面へと拡散し吸着される過程を考察してみよう。簡単のために図 4.1 に示すように接点空間の粒子密度 n は接点の軸方向 (x 方向) だけに変化し、接点表面でゼロであるような一次元モデルを考えると、基礎方程式として次のような拡散方程式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial n}{\partial x} = \frac{\partial n}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここで t は時間、 D は拡散係数である。拡散係数 D は粒子の熱運動による平均速度を \bar{c} 、粒子の平均自由行程を λ とすると、

$$D = \bar{c} \lambda / 3 \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

で表わされる。さらに粒子の平均自由行程 λ は、粒子の半径 r_g の関数として、

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2} \pi r_g^3 n} \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

で表わされる。

式 (4.2), (4.3) からわかるように、拡散係数 D は粒子密度 n の関数となるから、厳密には式 (4.1) の解を得ることはできない。しかしここで論じている定性的な議論では、ごく近似的な解を得るだけで十分であるから、一応 D を定数と考えて、式 (4.1) から近似的な消滅時定数 τ を求めると、



図 4.1 一次元モデル
One dimensional model.

$$\tau = \frac{d^2}{\pi^2 n} \quad \dots \dots \dots \quad (4.5)$$

が得られる。ここに d は接点間げき長である。

アーク期間中には高輝度のプラズマが存在するという事実にもとづいて、金属蒸気圧力 ρ を 1 mmHg 程度と仮定し、また粒子温度 T を 10,000 K⁽²⁾ と仮定して、式(4.5)から τ を推定すると、接点間げき長 d が 1 cm の銅接点空間の場合には、6 μs となる。このことは、接点表面が非常に有効な吸着面となっていることを意味している。

つぎに接点表面の単位面積へ単位時間内に流入する粒子数 I' を同様な方法で求めると、

$$\Gamma = \frac{\pi}{d} n D = \frac{1}{12\sqrt{2}} \frac{1}{r_a^2} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad \dots \dots \dots \quad (4.6)$$

となる。

式(4.6)は Γ' が近似的には粒子密度 n のような関数にならないことを明らかにしている。

したがって表面積 s が与えられると、 d が一定の場合、接点表面上で処理しうる粒子数が定まってしまう。したがってアーチ電流が増大すれば、それによって発生する蒸気量も多くなり、これが接点表面上で処理し得なくなった時点で、ついには接点空間外へ飛び出すようになり、ついにはアーチの主要部分の一部が接点空間外に形成されることになる。

そこで次に アークの プラズマ部分が、接点空間外に飛び出した場合の金属蒸気の消滅過程について考察すると、この場合金属蒸気は三次元的にあらゆる方向に拡散し、その大部分は アークシールドに吸着される。この現象を近似的に考察するため、前述の一次元モデルを拡張して、球対称な三次元モデルを考えると、粒子の消滅時定数 τ' として、次のような関係式が得られる。

ここで R はアーチのプラズマ部分から吸着面までの距離である。

いま R を アークシールドの半径と考えると、通常のしゃ断器では、 R/d は 10 倍程度であるから、 τ' は前述の τ の 100 倍程度となる。すなわち粒子の消滅時定数が、接点空間内の場合に比べて極端に大きくなるので、外部に飛び出す金属蒸気が累積される結果となり、ついにはしゃ断不能に陥るものと考えられる。

以上で接点径（表面積）と限界しゃ断電流との関係が定性的に明らかにされをわけである。

以上の説明から、帰結される興味あることは、接点空間内に \oplus ゲマのできるだけ多くを閉じ込めれば、それだけしゃ断能力を上昇できるということである。したがって実験結果が示すように縦方向磁界の賦与がこのような閉じ込めに有効であるとすれば、縦磁界の印加がしゃ断能力を著しく増大させることになる。そこで以下に縦磁束の効果について考察しよう。

一般に真空アーカは、外部磁界がない場合でも自己磁気駆動の作用によって、図4.2に示すような半径方向へのわん曲が生じ、陰極点も半径方向の外側へと駆動される。これに縦磁束Bが加わると、わん曲したアーカの直角方向成分に対して点(a)では紙面に直角な \oplus 方向に、点(b)では \ominus 方向に駆動される。その結果アーカにねじり作用が生じてアーカ通路が引き延ばされる。図4.3はこのようなねじられた状態のアーカを図4.2の(c)の方向から見た場合の図である。図からわかるように、アーカには縦磁束に対して傾斜が生じる。その結果新たに \ominus 方向に磁気駆動が作用し、図4.2のわん曲

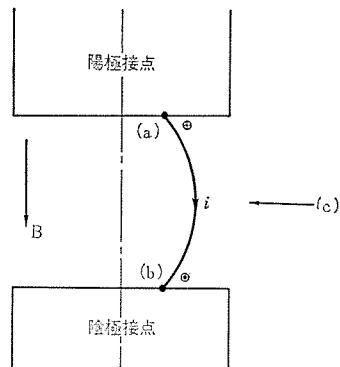


図 4.2 磁束とアークとの関係
Interaction between arc and magnetic flux.

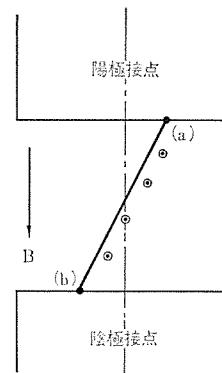


図 4.3 磁束とアークとの関係
Interaction between arc and magnetic flux.

がますます増加する。結局アーチはねじり作用で引き延ばされると同時に、急速に外方に駆動されることになる。

一般に大電流の真空アーカーでは多数の並列アーカーが形成され、電極表面の広範囲な部分にそれらが分布している。さて前述の縦磁束の効果は、周辺部にいくほど顕著になるので、電流は通路が長くて不安定な周辺アーカーから、中心部に存在するアーカー通路に移行する結果、周辺部のアーカーは消滅し、中心部に多くの安定なアーカー通路が形成されるようになる。このようにして中心部のアーカー電流密度が増すと、中心部では新しい陰極点が次々と発生し、実効的にアーカーが中心部に閉じ込められた形となる。

以上の考察の妥当性は 3.3 節の図 3.5 に示した高速撮影の結果からも確かめられている。また図 4.4 は実験後の接点表面の写真を示したもので、図に現われているアーチのこん(痕)跡からも上に説明したアーチの働きが確認できる。さらに磁束密度が十分であれば、アーチ電圧の上昇が認められないという実験結果もこれを裏付けるものであろう。

なお縦磁束の印加は次のような付帯的な効果も生じることもここで強調したい。すなわち、上述のようにして中心部で新たに発生した陰極点は、やがて周辺部に移行し、ここでふたたび縦磁束の効果を受ける。その結果、全アーカ期間を通じて陰極点の生成消滅がさかんに繰り返され、接点の全表面が有効に利用され、接点の消耗が極度に減少することになる。このことは、縦磁束印加法が実用的に非常に有効であることを意味している。

これに対して、縦磁束のない場合は、自己磁気駆動でアーカが外部へ駆動される現象と、前述した金属蒸気の発生率と接点表面での吸着能力との間のバランスのくずれによる金属蒸気の飛び出しの現象とが相まって、接点周辺部に不安定¹⁾をアーカが形成され、比較的低



(a) 接点表面



(b) 接点側面

図 4.4 縦磁束を印加した場合の接点表面上でのカソードスポットのこん跡
Traces of cathode spots on an electrode surface within the magnetic field.



図 4.5 縦磁束のない場合のアーカーのこん跡
Traces of arc on an electrode surface without the magnetic field.

い電流でも、アーカーの主要部分が接点外部に形成されるようになる。図 3.5 の高速度写真はこの現象を明確に示している。このような状態になると、アーカー電圧が急激に上昇し、エネルギー入力も急激に増大する。エネルギー入力が増大すれば金属蒸気の発生が多くなることは、接点の消耗量からも証明されているが、これがアーカー空間の金属蒸気密度をますます高くする。その結果、前述したように金属粒

子の消滅時定数の極端に大きい接点外部に金属蒸気が累積し、ついにはしゃ断不能におちいる。

図 4.5 は縦磁束のない場合の大電流しゃ断後のアーカーのこん跡を示す写真である。接点表面はその一部分しか有効に利用されず、アーカーが一方向にのみ片寄る現象がよく示されている。以上の説明によって縦磁束のない場合、アーカー電圧が異常に上昇する現象と、縦磁束のある場合に比べて著しくしゃ断能力の低下する現象が証明された。

なお磁束のない場合はこのようにアーカーの動きが非常に不安定であるから、しゃ断限界のバラツキの大きいことも当然考えられるであろう。

5. むすび

真空しゃ断器の大電流しゃ断現象に関する詳細な実験を行なった結果、

1. 真空しゃ断器のしゃ断能力は接点の大きさとともに増大すること。
 2. しゃ断限界近くでアーカー電圧の急激な上昇が認められること。
 3. 外部からアーカーに平行な磁束を印加することによってしゃ断能力の増大が期待でき、しかも接点の消耗が抑制され、しゃ断能力の信頼度も増加する。
- などが明らかにされた。

そしてこれらの結果は、すべて接点表面での金属蒸気の吸着の有効性、および接点外空間での金属蒸気の消滅のおそを証明するとともに、縦磁束のアーカー駆動効果を明らかにすれば、非常に明確に説明できることを述べた。

これらのこととは、真空しゃ断器に大きな電流しゃ断能力が期待できることを示すものであり、筆者らは現在より大容量のスイッチの開発に努力を傾けている。

参考文献

- (1) 伊藤、大倉：三菱電機技報、36、No. 11, 1347 (昭 37)
- (2) T. H. Lee : Vacuum Arcs and Vacuum Circuit Interrupters C. G. R. E. paper No. 121, 1966



特許と新案

加工装置

考案者 斎藤 長男

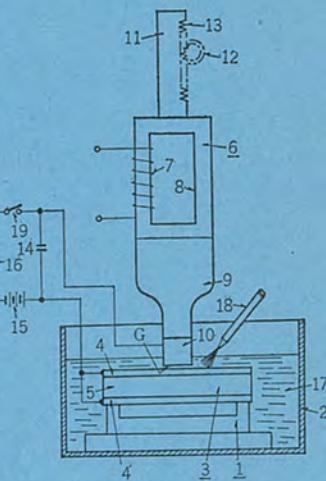
この考案は、プリントモータの回転子のように金属板と非金属板とが重合された被加工体に、きりなどでは穴明けできない複雑な形の穴を加工するのに適した加工装置に関するものである。

図において、(1)は絶縁台、(2)は加工そう(槽)、(3)は被加工体で、金属板(4)(4')、間に非金属板(5)を重合したものである。(6)は超音波振動装置、(9)は振幅拡大子、(10)は工具で、被加工体(3)に間げき(隙)Gを介して対向する。(14)は直流電源(15)によって充電されるコンデンサで、その正極端は金属板(4)(4')に、またその負極端は工具(10)にそれぞれ接続される。(18)は間げきGにし(砥)粒を含む水、油などの加工液を噴射するノズルである。

この考案の加工装置は、被加工体(3)の金属板(4)(4')に対しては、コンデンサ(14)による放電加工と、超音波振動装置(6)および加工液中のし粒によるこう(叩)打作用と併用して、また被加工体(3)の非金属板(5)に対しては、超音波振動装置(6)およびし粒によるこう打作用でそれぞれ加工するものであり、金属板と非金属板とを含む被加工体に対し、複雑な形状の穴を迅速に能率良く加工す

ることができる。

(実用新案第808159号)(中林記)



充電発電機用電圧調整装置

発明者 宮崎秀夫

この発明は、とくに内燃機関により駆動される自動車に積載され、機関で駆動される充電用交流発電機の電圧調整装置に関するものである。

図1において、(1)は回転界磁線輪(2)と固定された星形発電線輪(3)を有する三相交流発電機で内燃機関により回転される。(5)は全波整流器(4)を介して前記発電機の整流出力により充電される蓄電池、(6)は常閉接点(7)と発電機の整流出力電圧の印加される電磁線輪(9)とを有する定電圧調整器で前記常閉接点(7)の開放時に界磁電流を抑制するために常閉接点(7)と並列に抵抗(12)が設けられている。(10)は前記発電機の中性点に接続される電磁線輪(15)常開接点(11)常閉接点(14)および前記両接点(11)、(14)間に設けられ接地された切換可動接点(22)を有する電磁継電器である。ここで、キーイッチ(8)を閉合し界磁線輪を蓄電池にて励磁するとともに発電機を起動させると発電機出力電圧は増大する。他方キーイッチの閉合により充電表示灯(13)は点灯し蓄電池がまだ充電されていない状態を示すが、発電機出力電圧が所定値まで上昇し、その整流出力により蓄電池が充電を開始すると、電磁線輪(15)に印加される中性点出力も所定値に達し電磁継電器(10)が働き、常閉接点(14)を開き常開接点(11)を閉合するので、充電表示灯は消灯し以後発電機の整流

出力により蓄電池(5)は充電を継続する。蓄電池の充電中に発電機出力が所定値以上に上昇すると定電圧調整器(6)が作動し、常閉接点(7)を開放して界磁線輪(2)の励磁回路に抵抗(12)をそう入し発電機出力電圧を減少する。すなわち蓄電池が充電を開始すると充電表示灯が消灯して充電されつつあることを明示するとともに発電機出力電圧を常に調整した蓄電池を最適の状態で充電するようにしたものである。

(特許第460982号)(古沢記)

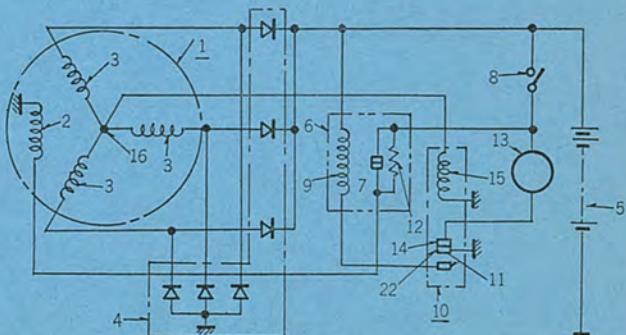


図1

特許と新案

電気ルータの安全装置

考案者 入江厚

この考案は木材のみぞ切り、面取り加工、ありみぞ切りなどを行なう電気ルータにおいて、不使用時には電動機のスイッチをオフ位置に錠止めし、また誤まってスイッチを投入しても、カッタ軸を拘束してその回転を阻止し、人体を事故から守るようにしたものである。

すなわち、図1および図2において、(1)は一对の取っ手(2)、(2)とつば部(3)とを有する外胴、(5)は下半部にねじ(6)を有する電動機の緑鉄、(7)は上記ねじ(6)にら(螺)合され上記緑鉄(5)を外胴(1)に支承する調整子、(8)はカッタ、(11)は上部ブラケット、(12)は支持わくで、その辺(13)(14)(15)には切欠部(16)(17)(18)が形成されている。(19)は電機子軸(9)の上端中心に設けられ上記ブラケット(11)から突出する扁平係合部、(20)は一端首部を上記切欠部(16)に、他端(22)を切欠部(18)にそれぞれ遊合された移動自在なしゅう(摺)動子であって、その中央部には上記扁平係合部(19)が回転可能にかん(嵌)合する円孔(23)と回転不能にかん合する長孔(24)とが形成されている。また、上記しゅう動子(20)には上記幅広な切欠部(17)内を移動する停止片(25)が、さらに図4に示すように長孔

(24)が扁平係合部(19)にかん合する位置で支持わく(12)の辺(15)と係合する停止子(26)が形成されている。(28)はスイッチ、(30)はスイッチの操作レバーである。

スイッチ(28)を切って電動機を停止させているときは、しゅう動子(20)を図3の一点鎖線位置まで移動させておく。この状態では図4(ロ)に示すように停止子(26)が辺(15)に係合してしゅう動子(20)の復帰を阻止し、また長孔(24)が扁平係合部(19)にかん合して電機子軸(9)の回転を不能にしている。したがって、スイッチ(28)は停止片(25)によってオフ位置に錠止めされることになり、操作レバー(30)を操作してもスイッチ(28)が投入されることはない。作業を開始するときは、しゅう動子(20)を持ち上げてこれを図3の実線位置および図4(イ)の状態に復帰させる。これによって、スイッチ(28)の切換えが許され、かつ扁平係合部(19)が円孔(23)にかん合して電機子軸(9)の回転が可能となる。

(新案登録第792941号) (幸島記)

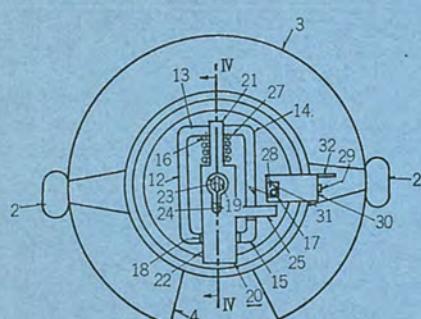


図 1

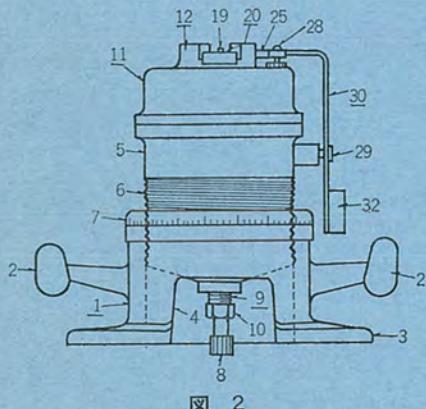


図 2

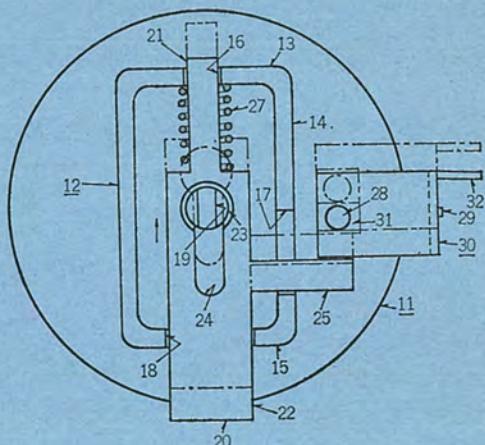


図 3

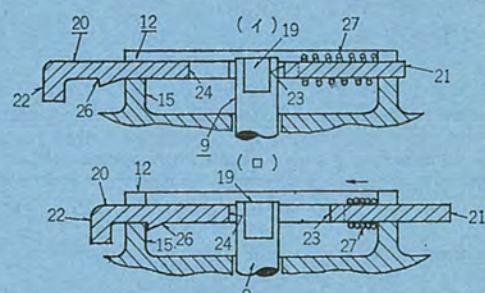


図 4

半導体素子の放射線効果とその応用

奥 泰二*・堀江 和夫**

Radiation Effects in Semiconductor Devices and Their Applications

Kitaitami Works

Taiji OKU

Central Research Laboratory

Kazuo HORIE

Selected Si diodes have been irradiated mainly by gamma rays from cobalt-60. Changes in lifetime and other characteristics are presented in terms of integrated gamma ray flux. The annealing behavior in the lifetime is also reported. From such data the introduction rate of the A-center in the phosphorus doped N-type base region, pulled from the melt and aluminum-alloyed, is found to be 2.2×10^{-3} defects/cm³ per photons/cm². In the float-zoned and phosphorus doped N-type base with a gallium diffused junction, the introduction rate of the E-center is much less than that in float-zoned N-type crystals with no junction, and the A-center seems to be the dominant recombination center. The radiation effects on Si diodes can be made use of for exposure meters. To study the lifetime control in the thyristor, changes in turn-off-time, turn-on-time and other characteristics have been investigated as a function of the integrated gamma ray flux.

1. まえがき

原子炉、高エネルギー粒子加速装置および Van Allen 帯を飛ぶ人工衛星などの発達により、半導体素子が放射線にさらされる機会があつてきた。半導体は放射線により著しく損傷を受け、その特性が劣化するため、劣化の程度や放射線損傷防止の方法などを知る必要がある。また逆に、放射線が物質の性質を変えることに着目すると、物質に新しい性質を与えて新材料を開発するという面でも興味がある。最近わが国においても放射線照射装置の充実とともに、放射線の利用が広まり、放射線化学工業、医学および食品照射などの農業関係でも活発な研究が行なわれている。ここでは Si 半導体素子の損傷を調べるとともに、放射線効果を積極的に利用することを目的とした研究について報告する。なお放射線効果には、イオン化効果・表面効果・原子変位効果などがあるが、ここでは永久効果である原子変位効果について調べた結果を述べる。

まず最初に、いろいろなダイオードに対する放射線効果と、それを利用した照射線量の測定、つぎに高周波用サイリスタの ライフタイム制御に対する放射線の応用について紹介する。

2. Si に対する放射線の原子変位効果

Si における原子変位の過程は他の半導体や金属と本質的には同じで、変位エネルギー (12~25 eV) 以上の運動エネルギーが Si 原子に与えられると、原子は本来の位置からはじき出されて格子間原子 (以下 I と略す) と原子空孔 (以下 V と略す) とから成るフレンケル欠陥ができる。

放射線として粒子線を用いた場合は直接入射粒子が、また γ 線の場合は主としてコントラント効果による電子が Si 原子と衝突してエネルギーを与える。入射粒子の質量が違うと格子原子に与えられるエネルギーが異なり、フレンケル欠陥を作るための放射線の しきいエネルギーは異なる。電子線の場合は約 250 keV であるが、陽子線や中性子線では約 200 eV と非常に小さい。ちなみに Van Allen 帯における電子のエネルギーは 0.3~1 MeV で、陽子のエネルギーは 10~500 MeV であるから、じゅうぶん Si 中の原子変位を起こすことができる。

中性子は荷電をもたないためクーロン相互作用によるエネルギー損失がなく、直接原子にエネルギーを与えるため、はじき出された原子は大きなエネルギーをもち、次々と原子をはじき出すカスケード過程が起こり、複雑な欠陥ができる。これに対して 1 MeV 程度の電子線や γ 線では 1 個の電子が 1 個の原子をはじき出しフレンケル欠陥をつくるだけで簡単であり、また欠陥が結晶中で一様に分布するため実験にはよく用いられる。

Si 中に形成された I および V のふるまいは一般に複雑であるが、数種類の場合が詳しく調べられている。I は非常に動きやすく、4°K でも動くことができるとされ⁽¹⁾、V もまた、荷電状態によって異なるが、60~180°K 以上で動くことができるとされ⁽²⁾、室温では I と V が孤立して安定に存在することができず、不純物原子と結合したものや同種の欠陥の結合したものとして存在する⁽³⁾。これらの欠陥は半導体中では禁止帯に不純物準位を作り、キャリア濃度の変化、少数キャリアの ライフタイムの減少、キャリアの移動度の減少、光学的特性の変化、その他の物理的性質の変化をもたらす。

室温照射で Si 中にできるおもな欠陥は $E_a - 0.17$ eV の準位をもつ A-中心 [O(酸素)+V]、 $E_a - 0.4$ eV の E-中心 [P(りん)+V] と $E_a - 0.4$ eV および $E_V + \sim 0.25$ eV の C-中心および J-中心 [V+V] と呼ばれるものが知られている。A-中心は引上法で作った O を多く含む Si (以下 CZ-Si と略す) 中で多くでき、E-中心はフローティングジーン精製法で作った O の量の少ない Si (以下 FZ-Si と略す) でドナーとして P を含むものに多くできる。その他 Al を含む P 型 FZ-Si 中では置換型 Al (以下 Al₃ と略す) と V の対がおもにできることが ESR の実験で観測されている。

I のふるまいについてはまだよく知られていないが、Al を含む P 型 FZ-Si 中で I は Al と位置を交換し、Al は格子間原子として追い出されてドナーとなっているという報告がある⁽⁴⁾。これらの欠陥がそのおもなものであり、ほかにもたくさんのが欠陥が ESR の測定により、その存在が確かめられている。また電気的測定からも数種の不純物準位がみつけられたが、まだ欠陥の構造との対応がついていない。

3. 放射線効果の測定

放射線の照射による Si の物理的性質の変化の中でも、少数キャリアのライフタイムの減少がもっとも敏感である。ここで照射実験に用いた素子はすべて N 型 Si を基板としたもので、N 型領域に注入された少数キャリアのライフタイムを測定することにより放射線効果を調べている。ライフタイムは素子のリバースリカバータイムとの比例関係から求まる。放射線照射によるライフタイムの変化は次の式で表わされる。

$$\Delta \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0} = \Delta(E_B) \sigma v f(E_r - E_F) \phi = K \phi \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

$$N_r = \Delta(E_B) \phi \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

であり、また Loferski たち⁽⁴⁾によると、N 型 Si 中で再結合中心が禁止帯の中心より上にあるときは次のような式になる。

$E_F < E_r$ のとき

$$\Delta(1/\tau) = \Delta(E_B) \phi \sigma_h v_h \exp[(E_F - E_r)/kT] \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$E_F > E_r$ のとき

$$\Delta(1/\tau) = \Delta(E_B) \phi \sigma_h v_h \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

ただし τ ：ライフタイム、 τ_0 ：照射前のライフタイム、 K ：損傷係数、 N_r ：放射線によってできた再結合中心の数、 $\Delta(E_B)$ ：単位照射線量による再結合中心導入率、 ϕ ：照射線量、 σ_h ：少数キャリア（正孔）に対する捕獲断面積、 v_h ：正孔の熱運動速度、 E_r ：再結合中心のエネルギー準位、 E_F ：フェルミ準位、 $f(E_r - E_F)$ ：再結合中心が多数キャリアで占められる確率、 k ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度。

式 (3.1) は照射後フェルミ準位の変化が無視できるときには $\Delta(1/\tau)$ と ϕ が比例することを示している。ただし K は放射線の種類とエネルギー、半導体の種類と型、不純物の量、照射温度や測定温度などによって影響されることに注意する必要がある。

4. 素子の性質と放射線の種類

表 4.1 は照射実験に用いた Si 素子で、すべて P をドナーとして含む N 型 Si を基板とするものである。基板はその製作法によりとくに含有する O の量が異なる。それらの基板にいろいろな P 型不純物を合金または拡散することによって素子を形成している。とくに Au-D (計算機用ダイオード) にはスイッチング速度をあげるために Au を含ませてある。FZ-T は 100 A 級サイリスタで図 4.1 に示すような 4 層構造をもち三つの接合を含んでいる。J₁、J₂ は P 型不純物を同時に拡散して作り、J₃ はその後に作られた合金または拡散接合である。表 4.2 は用いた放射線の種類を示す。実験にはおもに ⁶⁰Co

表 4.1 Si 素子の性質
Properties of Si devices.

素子の 記号	ベース基板の性質			接合の型	τ_0 μs	備考	
	結晶の製法	含有酸素量 cm ⁻³	構成量 cm ⁻³				
CZ-D	引上法	5×10^{17}	$\sim 3 \times 10^{14}$	—	合金	$5 \sim 10$	ダイオード
Au-D	フローティングドーン法	$10^{14} \sim 10^{15}$	$\sim 1.6 \times 10^{14}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	Au 拡散	~ 0.1	ダイオード
FZ-D	フローティングドーン法	$10^{14} \sim 10^{15}$	$\sim 3 \times 10^{14}$	—	拡散	~ 4	ダイオード
FZ-T	フローティングドーン法	$10^{14} \sim 10^{15}$	$\sim 3 \times 10^{14}$	—	拡散	—	サイリスタ

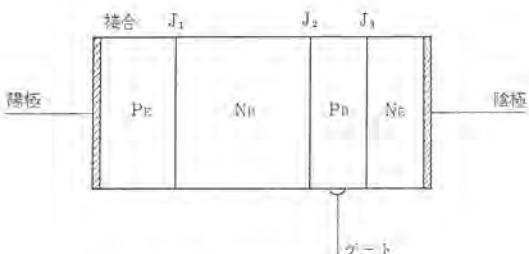


図 4.1 サイリスタの4層構造
PNPN structure of thyristor.

表 4.2 放射線の種類
Sources of radiation.

放射線源	放射線	エネルギー MeV	照射線量率 電子/cm ² ·sec
⁶⁰ Co	γ 線	1.25	$0.95 \sim 1.1 \times 10^6$ (R/h)
パンデグラフ	電子線	1.5	2.5×10^{12}
電子ライナック	電子線	5	4.35×10^{11} (平均値) 5×10^{15} (最高値)

の γ 線を使用し、電子線照射も比較のため行なった。照射方法は、パンデグラフの場合は電子線を照射方向に垂直に振動させ、電子線束を空間的に均一にして一定の照射線量率で行なっている。電子ライナックの場合は空間的電子線密度の分布による照射線量の誤差をさけるため、電子線の広がり以上の幅で、素子を一定速度で移動させて行なった。したがって照射線量率は 0 から最高値まであらゆる値をとる。

5. 放射線照射実験

放射線の照射と測定は室温で行ない、その他の照射条件は表 4.2 に示すとおりである。

5.1 ダイオードの γ 線照射効果

5.1.1 ライフタイム

γ 線照射線量によるダイオードの $\Delta(1/\tau)$ の変化を図 5.1 に示す。すべてのダイオードは照射線量の増加により $\Delta(1/\tau)$ が増加 (τ が減少) する。各測定点は同種の 3 本のダイオードの平均値とそのばらつきを示している。

CZ-D は $9 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^8$ R の範囲で照射したが 10^7 R 以下では $\Delta(1/\tau)$ が照射線量に比例していない。しかし約 10^5 R の予備照射を

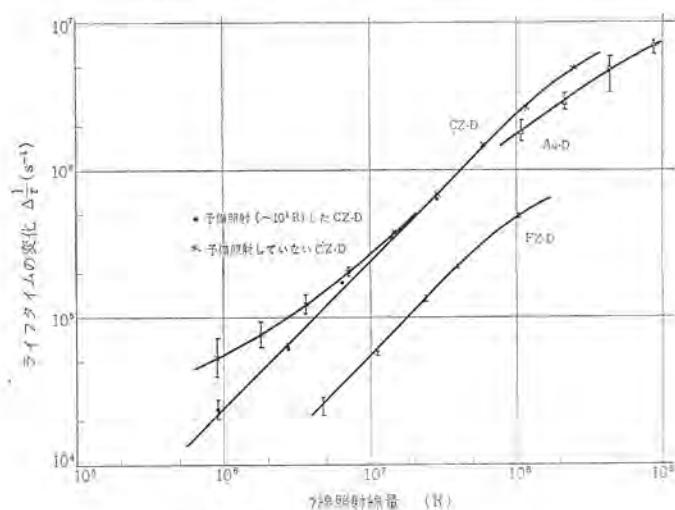


図 5.1 Si ダイオードの $\Delta(1/\tau)$ の変化
Changes of $\Delta(1/\tau)$ for silicon diodes.

表 5.1 Si ダイオードの損傷係数
Damage coefficients of Si diodes.

素子	放射線 MeV	損傷係数 K	
		sec^{-1}/R	$\text{sec}^{-1}/\text{電子}(\gamma\text{光子})\text{数}/\text{cm}^2$
CZ-D	γ 線(1.25)	2.45×10^{-2}	1.56×10^{-11}
	電子線(1.5)	—	3.5×10^{-9}
	電子線(5)	—	9.4×10^{-9}
FZ-D	γ 線(1.25)	5.5×10^{-3}	3.5×10^{-12}
Au-D	γ 線(1.25)	$\approx 1.7 \times 10^{-2}$	$\approx 1.1 \times 10^{-11}$

した素子では照射線量に比例して増加する。これは 10^5R (またはそれ以下) の照射によってダイオードのリバースリカバリータイムが急に減少するため τ がみかけ上急に減少し、その後リバースリカバリータイムが一定の損傷係数で減少することによる。これはまた図 5.2 で示す接合容量に急激な減少をもたらす効果と同じ原因によるものと思われる。なお $\Delta(1/\tau)$ の測定値のばらつきは予備照射をした素子のほうが多い。照射線量が 10^8R 以上になると $\Delta(1/\tau)$ は照射線量に比例しなくなる。このようにある照射線量以上で飽和するのは、再結合中心の数が照射線量に比例しなくなるのではなく、式(3.1)に示すようにフェルミ準位の変化による影響であると考えられる。

FZ-D は $4.8 \times 10^6 \sim 1.1 \times 10^9\text{R}$ の照射を行なったが、 $\Delta(1/\tau)$ は照射線量に比例し、約 $7 \times 10^7\text{R}$ 以上になると飽和はじめる。 $\Delta(1/\tau)$ ～ ϕ 曲線の直線部分から求めた損傷係数を表 5.1 に示す。照射線量の単位は、R および γ 光子数/ cm^2 によるものを示してある。ここで損傷係数を比較すると、FZ-D のほうが CZ-D よりかなり小さく、Si 単結晶に対する照射効果とまったく逆である。2 章でも述べたように、Si 単結晶の場合 A-中心と E-中心がおもにできるが、O の量の少ない FZ-Si では、CZ-Si より多くの E-中心ができる、E-中心のほうが正孔捕獲断面積が大きいいため FZ-Si の損傷係数が大きいという結果になる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。なお最近報告された電子、正孔に対する捕獲断面積は A-中心では $\sigma_e \approx 2 \times 10^{-10}\text{cm}^2$ 、 $\sigma_h = 1.5 \times 10^{-14}\text{cm}^2$ 、E-中心では $\sigma_h = 1.1 \times 10^{-13}\text{cm}^2$ である⁽⁶⁾。Si 単結晶における再結合中心の導入率 $\Delta(E_B)$ はホール係数の測定から求められており⁽⁷⁾⁽⁸⁾、A-中心の $\Delta(E_B)$ は P が約 10^{14}cm^{-3} 以下では O の量によらずほぼ一定値を示し、 $1 \sim 1.3 \times 10^{-3}\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$ であり、FZ-Si で P が約 10^{15}cm^{-3} 以上になると A-中心の $\Delta(E_B)$ は小さくなるようである。また E-中心の $\Delta(E_B)$ は FZ-Si の場合 P の量の増加に強く依存し、P を約 $3 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ 含むもので約 $4 \times 10^{-4}\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$ である。CZ-Si では約 $10^{-5}\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$ の値が報告されている。これらの値は表 5.2 に示す。ただし、電気特性の測定では $E_C - 0.4\text{eV}$ に存在する E-中心以外の準位 (C および B 中心) を分離することができないので、各測定値はそれらの平均した値となっているが、ESR の測定によると $E_C - 0.4\text{eV}$ の準位は E-中心が多いため、この準位を E-中心として扱っている。

Si ダイオードの場合 FZ-D で損傷係数が小さくなつた理由としては次のものが考らえられる。PN 接合を作る際 CZ-D の場合は Al の合金温度は比較的低く時間も短いことと、階段接合のため N 層の性質はもとの結晶の性質に近いと考えられるが、FZ-D の場合は Ga の拡散温度が高く長時間を要するため、N 層の性質はもとの性質となり異なるものとなるであろう。またこのような傾斜接合では接合の中心から N 層に入るにしたがい Ga の量が減るとはいえ、接合中心では Ga は基板の P と同じ量を含んでいる。そのほか長時間の熱過程で他の不純物の混入や転位の発生等も考えられ、これらが

表 5.2 P(りん)を約 $3 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ 含む Si 単結晶中の再結合中心導入率 [ホール係数による測定。 ^{60}Co γ 線(1.25 MeV) 照射]
Introductions rates of recombination centers in ^{60}Co gamma-irradiated Si single crystals containing phosphorus concentrations of about $3 \times 10^{14}/\text{cm}^3$. (by measurements of Hall coefficient)

Si 単結晶	再結合中心の導入率 $\Delta(E_B)$ $\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$		実験者 (参考文献)
	A-中心	E-中心	
CZ-Si	$\sim 1 \times 10^{-3}$	$\sim 1 \times 10^{-5}$	E. Sonder, L. C. Templeton (7)
FZ-Si	$\sim 1 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$	E. Sonder, L. C. Templeton (7)
	1.3×10^{-3}	$2 \sim 4 \times 10^{-4}$	H. Saito, M. Hirota (8)

表 5.3 Si ダイオードの再結合中心導入率
Introduction rates of recombination centers in gamma- or electron-irradiated Si diodes.

素子	放射線 MeV	再結合中心の導入率 $\Delta(E_B)$		計算に用いた σ_h (cm^2)	備考
		cm^{-3}/R	$\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$		
CZ-D	γ 線(1.25)	3.5×10^6	2.2×10^{-3}	1.5×10^{-14}	A-中心が主
	電子線(1.5)	—	0.5		
	電子線(5)	—	1.33		
FZ-D	γ 線(1.25)	5.0×10^3	3.2×10^{-6}	E-中心のとき 1.1×10^{-13}	A-中心が主 と考えられる
		7.0×10^5	4.5×10^{-4}	A-中心のとき 1.5×10^{-14}	

レンケル欠陥を吸収する確率が増すため、A-中心や E-中心の $\Delta(E_B)$ が減少すると考えられる。式(3.3)により σ_h が与えられると $\Delta(E_B)$ が求まるが、CZ-D で A-中心の σ_h を用いると $\Delta(E_B)$ は $2.2 \times 10^{-3}\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$ となる。これは CZ-Si における値 $\sim 1 \times 10^{-3}\text{cm}^{-3}/\gamma\text{光子数}/\text{cm}^2$ とほぼ一致する。FZ-D では再結合中心の種類は不明だが、E-中心や A-中心と同程度の σ_h を仮定したときの $\Delta(E_B)$ の値を表 5.3 に示す。いずれにしても FZ-Si における $\Delta(E_B)$ よりも小さい。なお 5.3 節に示す焼鉈効果から FZ-D においても A-中心がおもにできていると考えてよいようである。

Au-D では τ_0 が小さく $\Delta(1/\tau)$ が照射線量に比例する部分が観測できず、素子によるばらつきも大きい。みかけ上損傷係数は $\phi^{-\frac{1}{3}}$ に比例しているようだが、代表値として照射線量が $1 \times 10^8\text{R}$ のときの値を表 5.1 に示してある。Au-D は B や Au の拡散過程をもつが FZ-D に比べて大きな損傷係数を示す。この理由は不明だが不純物と V の複雑な相互作用が期待される。たとえば $\text{Au}_i + \text{V} \rightarrow \text{Au}_s$ などの格子間型欠陥と置換型欠陥の再配列なども含まれるであろう。

5.1.2 他の特性

(1) 接合容量

図 5.2 は CZ-D で電圧を加えないときの接合容量の γ 線照射による変化を示す。接合容量は少ない照射線量で急激に減少しそれ以上の照射ではほとんど変化が認められない。この急な変化は $1.8 \times 10^5\text{R}$ 以下の照射量で起こっており、変化量は素子によって異なるが、照射した 10 本の素子では図 5.2 で示す範囲にはいる。この接合容量 (C) の電圧特性の一例を図 5.3 に示す。階段接合では計算によると $C \propto \{N_D/(V + V_D)\}^n$ (N_D は基板のドナー濃度、 V_D は拡散電位) で表わされ、 $n=1/2$ の特性をもち、合金型接合をもつ CZ-D でもほぼ同じ特性をもっているが、 γ 線照射により変化がみられ照射前の実測値 $n=0.56$ が照射後 $n=0.46$ に減少している。この場合も図 5.2 と同じく $1.8 \times 10^5\text{R}$ 以下で急に変化し、照射量の増加によってほとんど変化を示さない。これはベース基板全体の放射線効

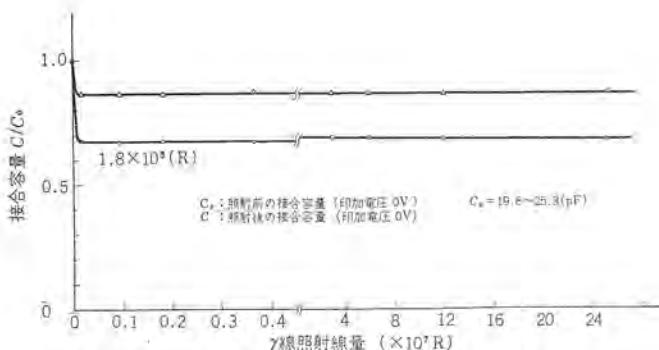


図 5.2 Si ダイオードの接合容量と γ 線照射線量の関係
Normalized junction capacitance as a function of gamma ray dose for Si diodes.

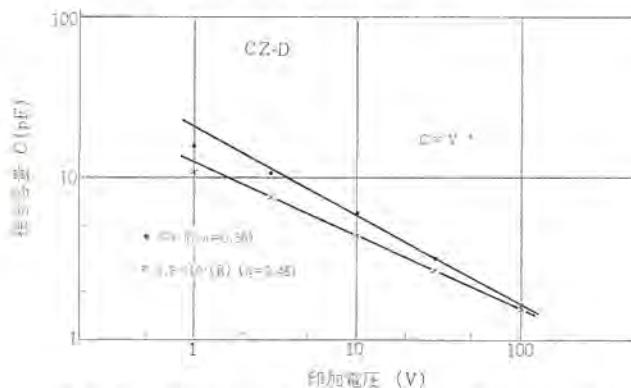


図 5.3 γ 線照射した Si ダイオードの接合容量と印加電圧
Junction capacitance vs. applied voltage for gamma irradiated Si diode.

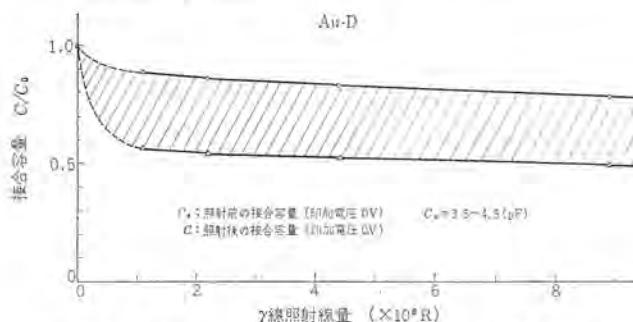


図 5.4 Si ダイオードの接合容量と γ 線照射線量の関係
Normalized junction capacitance as a function of gamma ray dose for Si diodes.

果によるとは考えられず、接合面の近くにおける空間電荷 (N 層では N_D^+ ……だいたいドナー濃度 N_D に等しい) が減少したものと考えられる。接合面は Al 合金し、再結晶する際熱過程を経るため複雑で、たとえば O の集った SiO_4 はドナーとして働き、照射によってできる V と相互作用し、 $\text{SiO}_4^+ + V \rightarrow \text{SiO}_3 + (V + O)$ の変化をしたり、N 層に少し混入した格子間型 Al (以下 Al_i と略す) があれば $\text{Al}_i^+ + V \rightarrow \text{Al}_s^-$ の変化も起こるであろう。これらの変化を仮定すると明らかに SiO_4 や Al_i の量程度の空間電荷の減少をもたらす。

Au-D の γ 線照射による接合容量の変化は図 5.4、図 5.5 に示す。測定を行なった照射線量 $1.1 \sim 8.9 \times 10^8 \text{ R}$ の範囲では接合容量はゆるやかな減少を示す。 $1.1 \times 10^8 \text{ R}$ 以下の照射線量での変化の割合は素子によって異なり、照射した 5 本の素子では図 5.4 で示す範囲にはいる。Au-D は拡散接合をもつが、Au の拡散や γ 線照射により N 層の比抵抗が大きくなり図 5.5 からもわかるように PIN 接合に近く、接合部分の不純物濃度こう配の減少、空間電荷の減少な

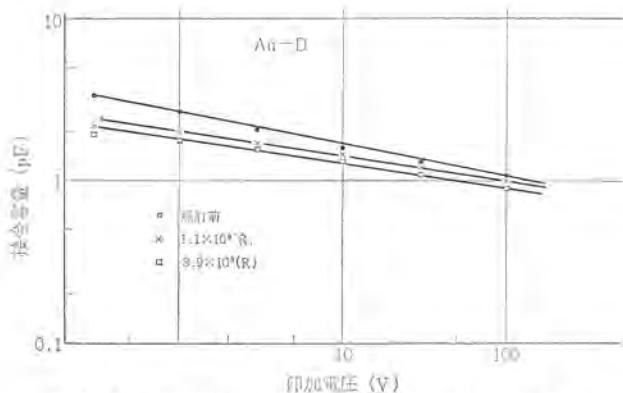


図 5.5 γ 線照射した Si ダイオードの接合容量と印加電圧
Junction capacitance vs. applied voltage to gamma irradiated Si diode.

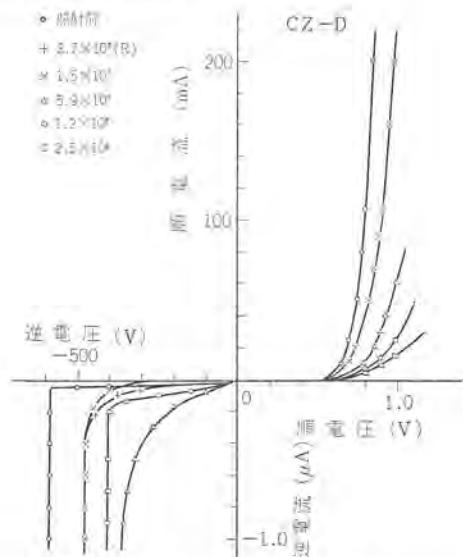


図 5.6 γ 線照射による Si ダイオードの電圧-電流特性の変化
Gamma ray induced changes in voltage-current characteristics of Si diode.

によって特性の変化が説明される。

(2) 電圧-電流特性

図 5.6 は CZ-D の電圧-電流特性である。順電流は照射線量を増加することによって、著しく減少する。これは N 型ベース基板の比抵抗の増加により、接合部分にかかる電圧が減少するためと考えられる。これからベース基板の厚い素子のほうが順電流の劣化が大きいことがわかる。逆方向特性の劣化は順方向特性よりも少ない照射線量によって起こる。劣化の傾向は素子によって異なるが、ある値の逆電圧を与えると急に耐圧を失い、そのままこわれてしまったり、ある程度まで回復したりし再現性がない。CZ-D のような階段接合をもつ素子は接合部分の電界が大きいため、格子欠陥を介したトンネル効果などにより逆電流が流れ、電流が格子欠陥の近くに集中するため発熱による破壊も起こっていると考えられる。また逆電流を流しているときに、徐々に回復する傾向を示すのは、発熱による格子欠陥の焼却が一部で起こっているとも考えられる。

図 5.7 は Au-D の特性である。順特性、逆特性とも放射線による変化は非常に小さく、とくに逆耐圧は CZ-D とは反対に増加している。Au-D はゆるい傾斜接合をもち、再結合中心として Au を含むため N 層は比抵抗がかなり大きくなっている。放射線によってできる再結合中心による影響が小さいため、順電流の劣化が小さく、逆特性では接合部分の電界が小さいこと、N 層の抵抗増加により N

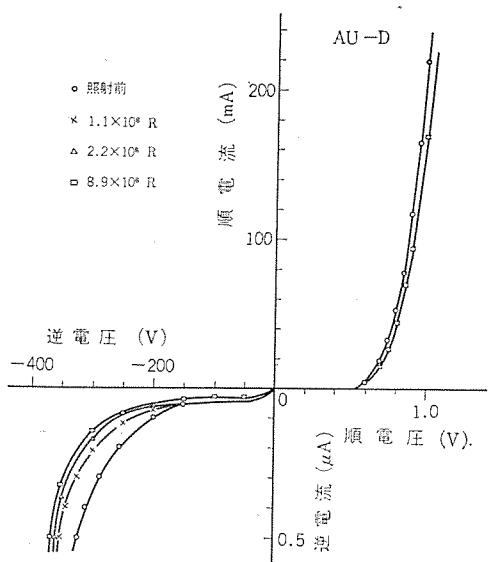


図 5.7 γ 線照射による Si ダイオードの電圧-電流特性の変化
Gamma ray induced changes in voltage-current characteristics of Si diode.

層にかかる電圧が大きくなるため耐圧が増加すると考えられる。

5.2 ダイオードの電子線照射効果

γ 線による照射効果はおもにコンプトン電子によるもので、電子線照射と同じ効果を与えると思われる。比較のために 1.5 MeV および 5 MeV のエネルギーをもつ電子線の照射を行なった。照射条件は表 4.2 に示す。図 5.8 は CZ-D のライフタイム変化を示す。どの放射線によっても、 $\Delta(1/\tau)$ は照射線量に比例して増加しているが損傷係数はかなり異なる。各損傷係数は表 5.1 にまとめてある。これはまたダイオードに等価な照射効果を与える照射線量が異なることを示す。表 5.4 に示すように同程度のエネルギーをもつとき、 γ 線に比べて電子線が約 200 倍効率が大きい。表 5.4 に示す比率は放射線の種類やエネルギーによるフレンケル欠陥の生成率の違いによる考

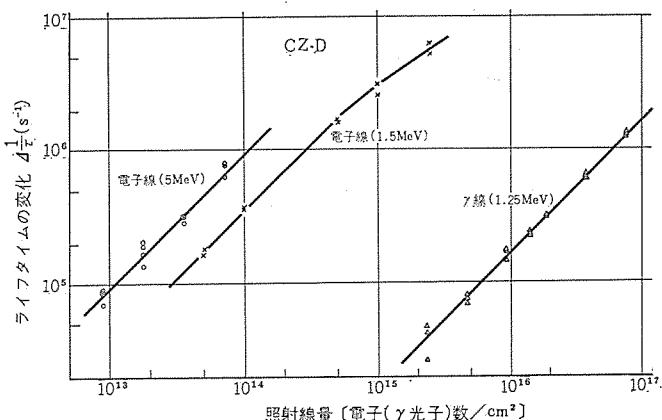


図 5.8 電子線または γ 線照射によるダイオードの $\Delta(1/\tau)$ の変化
Changes of $\Delta(1/\tau)$ for electron or gamma irradiated Si diode.

表 5.4 CZ-D に等価な照射効果 $\{\Delta(1/\tau)\}$ を与える
照射線量の比

Exposure ratio for equivalent radiation effect $\{\Delta(1/\tau)\}$ of Si diode CZ-D.

放射線 MeV	等しい照射効果を与える照射線量の比		
	γ 線 (1.25)	1	224
電子線 (1.5)	0.0045	1	2.7
電子線 (5)	0.0017	0.37	1

えると、CZ-D 以外の素子に対しても同じ比率を適用してよいだろう。

5.3 焼鈍効果

(1) CZ-D

図 5.9 は γ 線を 2.5×10^{18} R 照射した CZ-D のライフタイムの焼鈍曲線である。縦軸は γ 線照射によってできた再結合中心が、熱処理後残っている割合(非焼鈍率)を示す。10 分間の等時焼鈍を 300°C まで行なうと 120°C 付近からゆるやかな逆焼鈍を示す。続いて 330°C で等温焼鈍を行なうと 20 分後まで大きく逆焼鈍しその後急激に減少する。このような逆焼鈍は照射した Si 単結晶においてもみられ⁽⁵⁾、CZ-Si の特長とされている。このように熱処理によって新しく再結合中心ができるくわしい機構は不明であるが、ESR や赤外吸収の実験⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾によると、A-中心も C-中心も 300°C 付近から焼鈍しあげるとされており、これらを考えると等温焼鈍でみられる逆焼鈍過程では、A-中心の一部が解離し、正孔捕獲断面積の大きい再結合中心(たとえば C-中心)を作り、それらが過渡的に共存しているものと思われる。その後 A-中心が解離したり、移動して O に捕えられ $\text{V} + \text{O}_2$ となって消滅するのであろう。この等温焼鈍曲線を対数目盛で書きなおすと図 5.10 のようになり、逆焼鈍の終わった後は非焼鈍率は指数関数的に減少し、この焼鈍は一次反応と考えられる。焼鈍の活性化エネルギーは 1.8 eV となり、これは赤外吸収

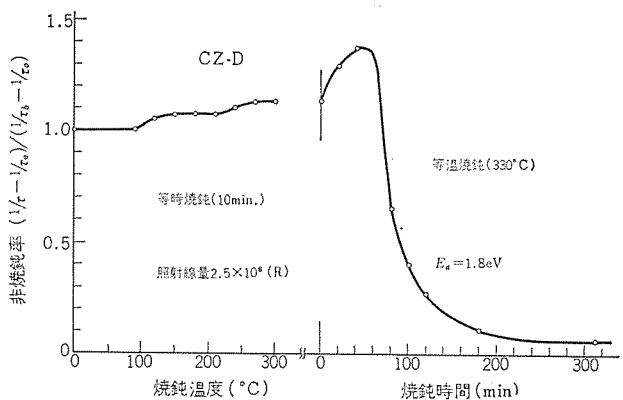


図 5.9 γ 線照射した Si ダイオードの等時焼鈍曲線と
それに続く等温焼鈍曲線
Isochronal and subsequent isothermal annealing curves of gamma irradiated CZ-D diode.

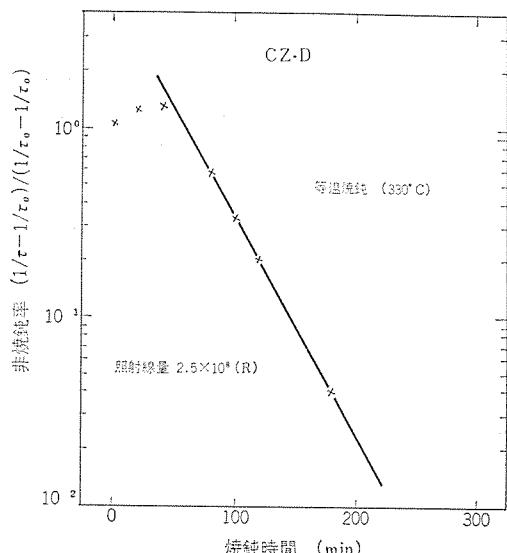


図 5.10 γ 線照射した Si ダイオードの等温焼鈍曲線
Isothermal annealing curve of gamma irradiated Si diode.

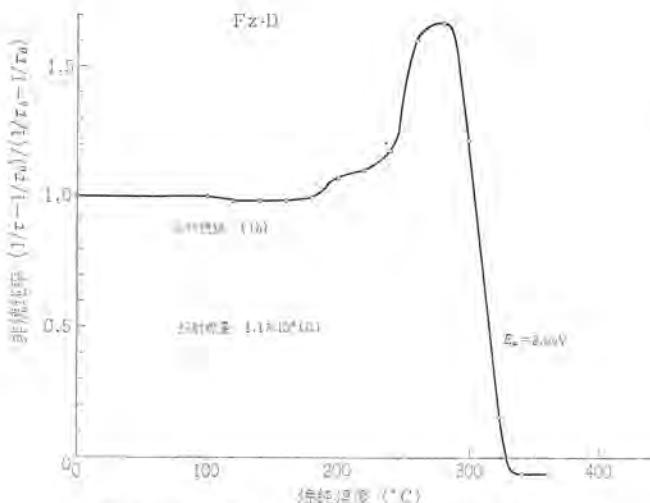


図 5.11 γ 線照射した Si ダイオード等時焼純曲線
Isochronal annealing curve of gamma irradiated Si diode.

(ii) で観測されている A-中心の焼純の活性化エネルギー 2.1 eV に近い値であり、CZ-D では A-中心がおもにできていると考えてよいようである。

(2) FZ-D

図 5.11 は γ 線を 1.1×10^6 R 照射した FZ-D のライフタイムの 1 時間での等時焼純曲線である。約 200°C からはじまって 280°C でピークを示す大きな逆焼純が見られる。このような逆焼純は照射した FZ-Si 単結晶ではみられないものである。これは 5.1.1 項でも述べたように、長時間の熱過程によって N 層に新しくできた不純物に V が捕えられ、約 200°C から V が解離し、高温で安定な A-中心や C-中心などをを作るため逆焼純が起こると考えられる。なお V を捕えている不純物の一つとして Ga が考えられる。たとえば ESR の実験によると同じ III 族元素である Al を含む FZ-Si 中で $(V + Al)_n^-$ が多くできている。Ga も同様のふるまいをすると考えると $Ga^- + V \rightarrow (V + Ga)_n^-$ となり荷電に変化はなく、ライフタイムや他の電気的性質にあまり影響を与えることなく V だけを減少させる。逆焼純が終わった後 280°C 以上での焼純の活性化エネルギーは 2.0 eV で CZ-D の値に近く、FZ-D でも A-中心がおもにできていると考えられる。

6. 半導体の放射線効果の応用

6.1 大強度放射線用照射線量計

図 5.1 と図 5.8 で示した $\gamma(1/\tau)$ 照射線量の比例関係を利用すると、 τ の測定によって照射線量を測定することができる。測定範囲は CZ-D を ^{60}Co の γ 線に用いたときは、 $10^6 \sim 10^8$ R であるが、Si 結晶の種類と不純物の量を変えることによって変化する。放射線のエネルギー依存性は図 5.8 に示すとおりだが、照射線量率依存性は γ 線で調べたところ、 $10^4 \sim 3 \times 10^6$ R/h の範囲では認められない。また温度に対して安定で図 5.9 や図 5.11 からもわかるように 100 ～ 150°C 程度でも変化が少なく、室温で 220 日間放置したものではフェーディングがみられなかった。放射線検出部分は 1 mm³ 以下で、全体の体積は 2.5 φ × 7.5 mm と小さいため、取扱いが便利である。CZ-D を照射線量計として利用した一例はさきに報告してある⁽¹¹⁾。

6.2 ライフタイムの制御

図 5.1 に示したように照射線量に比例した再結合中心を作ることができるので、ライフタイムを任意の値まで減少させることができる。したがって高速スイッチ用素子を作るのに利用できる。従来高速スイ

ッチ用素子のライフタイムの制御には Au 拡散や急冷が行なわれているが、放射線照射による方法は素子の完成品の性質を制御できるので便利である。またライフタイムの正確な制御を必要とする素子では、他の方法より簡単なので放射線照射法が期待される。このような素子としては高周波用サイリスタがある。

7. 高周波用サイリスタに対する放射線の応用

7.1 サイリスタの特性

最近サイリスタの特性は向上し、大容量化・高耐圧化が進んでいるが、一方高周波特性をもつ素子も開発されている。

たとえば高周波インバータ用サイリスタでは dv/dt 特性、 di/dt 特性、スイッチング時間などの動的特性がその機能上本質的に重要な特性である。

スイッチング時間を決めるのはおもにターンオフ時間であり、商用周波数領域で使用される素子では数十 μ s、インバータ用素子では十数 μ s のターンオフ時間をもっている。また 20 ～ 30 kc の超音波領域の周波数発振を行なうには数 μ s のターンオフ時間が要求される。サイリスタの構造は図 4.1 に示してあるが、ターンオフ時間は N_B 層のライフタイムに強く依存し、ライフタイムの減少により、ターンオフ時間を短くすることができる⁽¹²⁾。しかしライフタイムの減少によって、 dv/dt 特性は改善されるが、順電圧降下の増大、ゲート点弧電流の増大、ターンオン時間の増加などの傾向がみられ、高周波出力素子として好ましくない変化を与える。これらの変化はライフタイムの減少にともない電流増幅率 α が減少することによって起こると考えられるが、ライフタイムを短くし α を大きく保つには N_B 層、 P_B 層の厚みをできるだけ薄くする必要があり、これはある大きさの順逆耐圧をうるために適当に厚い N_B 層を必要とすることと相反する。したがって適当な設計に対して、必要以上にライフタイムを短くすることは避けねばならない。そのためには正確なライフタイムの制御が必要である。

7.2 サイリスタの γ 線照射効果

ここでは 100 A 級のサイリスタで急冷を行なった素子と行なっていない素子についての実験結果を紹介する。

(1) ターンオフ時間

ターンオフ時間は、順方向電流がしゃ断されてからふたたび順方向阻止能力を回復するに必要な時間であり、測定等条件により、著しく変わる。図 7.1 はターンオフ時間と順電圧降下の γ 線照射による変化を示す。測定等条件は図中に示すとおりである。ターンオフ時間は、 γ 線照射線量の増加によって急激に変化し、 4×10^7 R の照射により、

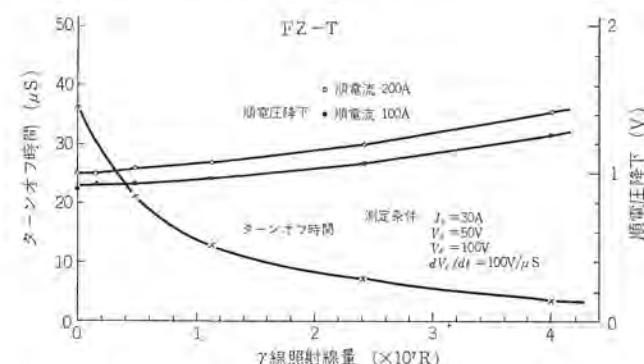


図 7.1 γ 線照射によるサイリスタのターンオフ時間と順電圧降下の変化

Change in turn-off-time and forward voltage with gamma irradiation for thyristor.

38 μ s から 3.8 μ s に減少している。順電圧降下は増加するが、この照射線量の範囲では劣化の程度は大きくない。ターンオフ時間と N_B 層のライフタイムの関係は、その照射効果から、照射線量をパラメータとして得られ、図 7.2 のようになる。7.1節に述べたように、ターンオフ時間は N_B 層のライフタイムに強く依存していることがわかる。したがって損傷係数と図 7.2 を知ることによって、 γ 線照射によって得られるターンオフ時間を予想することができる。これを急冷法によってターンオフ時間を約 8 μ s まで減少した素子について行なったのが図 7.3 で、計算値と実測値はよく一致している。したがって急冷を行なった素子に対しても、急冷をしない素子と同じ損傷係数を使ってもよいようである。順電圧降下の劣化は急冷しないものと同様あまり大きくない。なおターンオフ時間は同一素子においても使用条件によって異なるが、中でも高周波インバータ回路で問題になるのは接合部温度の上昇と dV_F/dt の増大による影響である。図 7.4 にすべての測定条件を同一にしたときのターンオフ時間の温度特性を示す。 γ 線照射だけを行なった素子は、急冷を行なった後に γ 線照射をした素子よりも温度依存性が大きい。これは主として N_B 層のライフタイムの温度特性によるものと思われ、再結合中心のエネルギー準

位の違いによるものらしい。

(2) ターンオン時間

ターンオン時間は、ゲートに電流パルスが加わってから導通状態になるまでの時間であり、定義としては図 7.5 に示すように陽極電圧が阻止状態の 10% に下がるまでの時間 t_{on} であらわす。 t_{on} はまた遅れ時間 t_d と立ち上がり時間 t_r に分けられ、 t_d はゲート電流を増加することによって減少する。またゲート電流のパルス幅が t_d 以下ではターンオンしない。ここではゲート電流 400 mA、パルス幅 10 μ s のときのターンオン特性の一例を示している。 t_{on} は図 7.5 に示すように、 γ 線を照射することにより著しく増加する。高周波インバータ用素子では、ターンオン時間が長いと、スイッチング損失を増加させ周波数を制限することになるので、できるだけ短いことが望ましい。しかし短いターンオフ時間も必要であり、これらは照射により相反する傾向を示す。ターンオフ時間とターンオン時間を γ 線照射線量をパラメータとして図 7.6 に示す。 γ 線照射によりターンオフ時間をある値以下になると、ターンオン時間が急に長くなり照射線量の限界が存在する。ターンオン特性はキャリアのライフタイムのほかに素子の構造によって決まるので、高周波用の素子では、できるだけ短いターンオン時

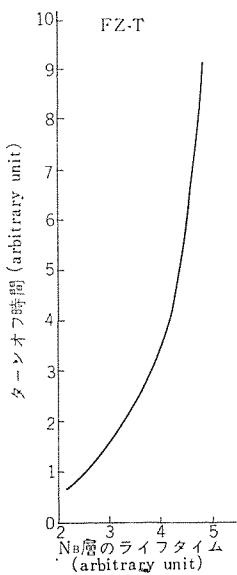


図 7.2 γ 線照射したサイリスタの N_B 層のライフタイムとターンオフ時間の関係

Turn-off-time vs. life-time in N_B layer of gamma irradiated thyristor.

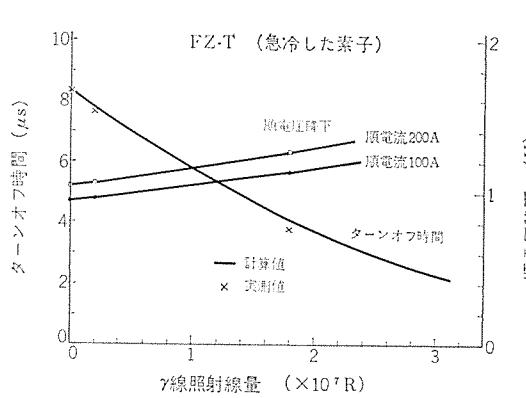


図 7.3 γ 線照射による急冷したサイリスタのターンオフ時間と順電圧降下の変化
Changes in turn-off-time and forward voltage with gamma-irradiation for quenched thyristor.

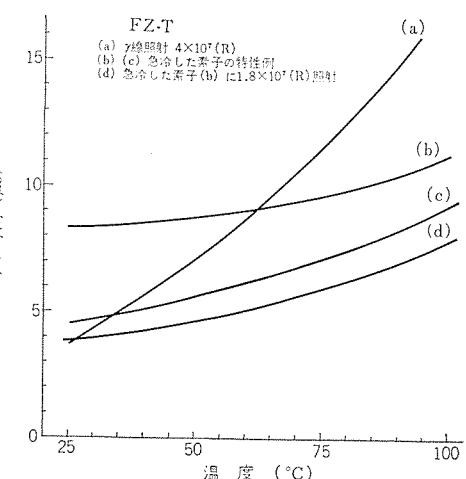


図 7.4 サイリスタのターンオフ時間の温度依存性
Turn-off-time as a function of temperature for thyristor.

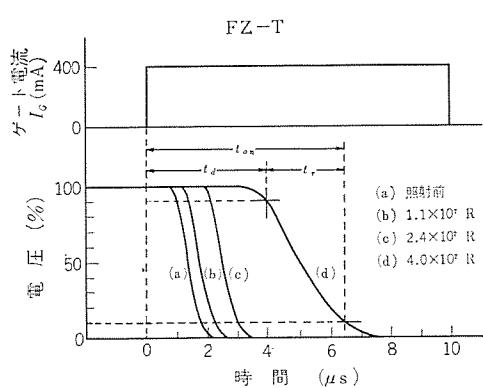


図 7.5 γ 線を照射したサイリスタのターンオン特性

Turn-on characteristics in gamma irradiated thyristor.

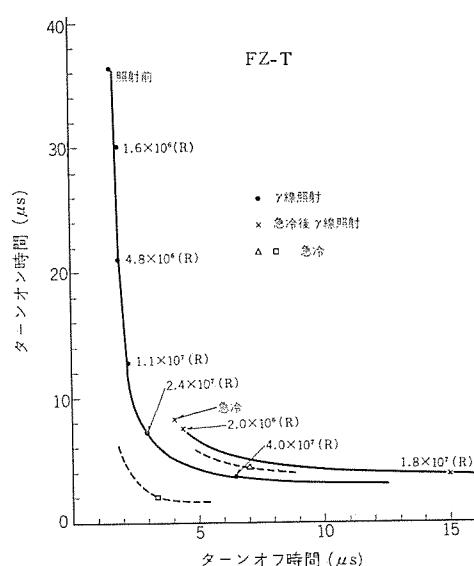


図 7.6 γ 線を照射したサイリスタのターンオフ時間とターンオン時間の関係
Turn-off-time vs. turn-on-time of gamma irradiated thyristor.

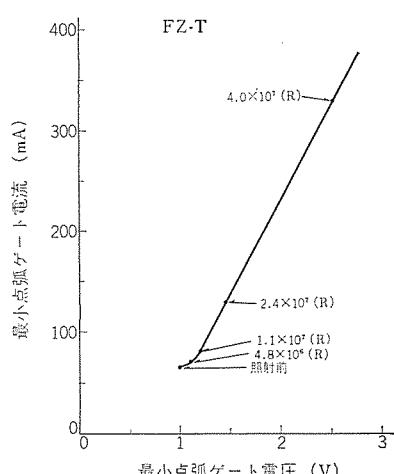


図 7.7 γ 線を照射したサイリスタの最小点弧ゲート電流と電圧
Minimum gate current vs. gate voltage of gamma irradiated thyristor.

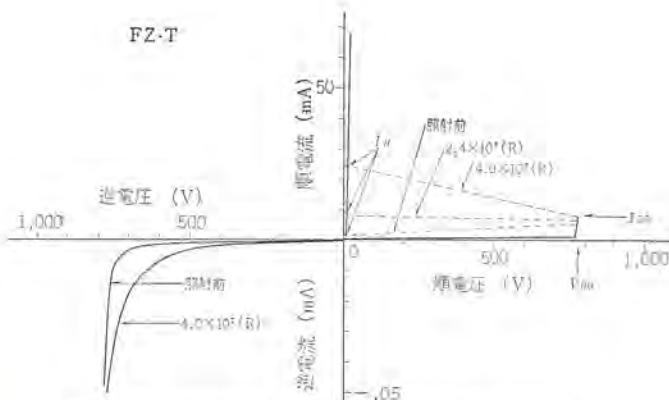


図 7.8 γ 線照射によるサイリスタの電圧-電流特性の変化
Gamma ray induced changes in voltage-current characteristics of thyristor.

間をうるよう設計する必要がある。この素子に対しては、 γ 線照射線量の限度は 2.5×10^7 R と思われるが、急冷した素子では急冷の程度によって異なる。

(3) ゲート点弧特性

ゲート点弧特性はターンオン特性と密接な関係があることは先にも述べたが、素子をターンオンさせるには一定値以上のゲート電流を必要とする。この最小点弧 ゲート電流、電圧の γ 線照射による変化を図 7.7 に示す。これは照射のみを行なった素子の特性であるが、ゲート特性は γ 線照射により急激に劣化する。しかし 2.5×10^7 R 程度の照射では、ゲート入力は十分定格以下である。

(4) 静特性

図 7.8 はサイリスタのゲート回路を開放したときの電流-電圧特性と γ 線照射による変化の一例を示す。逆方向特性は照射線量が少ないとときは変化がみとめられず、 4×10^7 R の照射で逆電流の増加をみた。これは逆電圧をささえている接合 J_1 (図 4.1 参照) 付近にできた再結合中心の増加によるキャリア発生電流の増加によると考えられる。順方向特性では、順漏れ電流、ブレークオーバー電圧 (V_{BO}) には変化が認められなかった。ブレークオーバー電流 (I_{BO}) は少し増加し、保持電流 (I_H) の増加はかなり大きく、 2.4×10^7 R 以上の照射で I_H は I_{BO} 以上になる。これらは、 γ 線照射により、電流増幅率が減少するため、必要な増幅率をうるための電流値が増すこと、 I_H の増加はまた、ターンオフがすみやかになることを意味する。なお導通状態における特性としては、順電圧降下についてさきに図 7.1 で示してある。

以上の結果から、サイリスタでは γ 線照射による静特性的変化は小さく、主としてターンオフ特性とターンオン特性の変化が著しいことがわかる。

8. む す び

Si ダイオードの γ 線照射効果と焼純効果を調べた結果、合金型ダイオードでは、もとの基板の照射効果と大体同じであるが、拡散型ダイオードでは、もとの基板とまったく異なる照射効果を示す。これは拡散された不純物や長時間の熱過程による結晶内部の変化による。たとえば P を含みかつ O の量の少ない N 型基板を用いても、照射によ

りできる E-中心の数は少なく、A-中心のほうがライフトタイムにきく。ダイオード特性の劣化は、合金型の逆耐圧の減少がまず起こり、次にライフトタイム、順特性の劣化が起こる。拡散接合をもち Au を拡散した素子はとくに放射線に強く、前者に比べて 2 けた以上の照射線量に耐えるしまた逆特性は向上する。放射線効果の応用としては、素子を大強度放射線用の照射線量計として使える。また高周波用の素子、たとえばサイリスタのライフトタイムの制御も可能である。その他高周波用サイリスタの設計の基礎データとして放射線効果を利用できる。終わりに、 γ 線照射実験を行なうにあたり、いろいろお世話になった大阪大学産業科学研究所の川西教授はじめ研究員のかたがたに深厚の謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) G. D. Watkins : Interstitial Group III Atoms Produced by Electron Irradiation at $\sim 10^6$ K Silicon, Bull. Am. Phys. Soc., 9, 48 (1964)
- (2) G. D. Watkins : An EPR Study of the Lattice Vacancy in Silicon, J. Phys. Soc. Japan, 18, (Suppl. II) 22 (1963)
- (3) G. D. Watkins, J. W. Corbett : Electron Paramagnetic Resonance of Defects in Irradiated Silicon, Disc., Faraday Soc., No. 31, 86 (1961)
- (4) J. J. Loferski, P. Rappaport : Electron-Bombardment Induced Recombination Centers in Germanium J. Appl. Phys., 30, 1181 (1959)
- (5) T. Nakano, Y. Inuishi : Effects of Dosage and Impurities on Radiation Damage of Carrier Life Time in Si, J. Phys. Soc. Japan, 19, 851 (1964)
- (6) M. Hirata, M. Hirata, H. Saito : Recombination Centers in Gamma-Irradiated Silicon, J. Appl. Phys., 37, 1867 (1966)
- (7) E. Sonder, L. C. Templeton : Gamma Irradiation of Silicon. II. Levels in n-Type Float-Zone Material, J. Appl. Phys., 34, 3295 (1963)
- (8) H. Saito, M. Hirata : "Nature of Radiation Defects in Silicon Single Crystals" Japan. J. Appl. Phys. 2, 678 (1963)
- (9) J. W. Corbett, G. D. Watkins, R. S. McDonald : New Oxygen Infrared Bands in Annealed Irradiated Silicon, Phys. Rev., 135, 1381 (1964)
- (10) G. D. Watkins, J. W. Corbett : Defects in Irradiated Silicon : Electron Paramagnetic Resonance of the Divacancy, Phys. Rev., 138, 543 (1965)
- (11) 田中修, 堀江和夫, 池田洋 : 照射線量計 メリック, 三菱電機技報 41, 829 (昭 42)
- (12) 清水潤治, 中田仗祐, 蒲生浩 : サイリスタのスイッチング機構, 三菱電機技報 39, 19 (昭 40)

プログラム書きかえ問題への COBOL の応用

首藤 勝*・魚田 勝臣*・斎藤 知子*

Application of COBOL to Reprogramming

Kamakura Works Masaru SUDÔ・Katsuomi UOTA・Tomoko SAITÔ

Reprogramming poses an important problem in replacing a model of computer with another model because of the labor for rewriting programs and of the time required for processing them. To reduce the reprogramming labor, a translator, named TRANSBOL, has been developed as a tool for automatizing the reprogramming process. It works on MELCOM-1530, translating the source programs written in MELCOM-1530 SIA into MELCOM-3100 MACRO-CODER.

TRANSBOL itself is written in COBOL and has proved, through the processing on rewriting compilers, that COBOL is of use for such applications as well.

1. まえがき

電子計算機が普及し、ときがたつにつれ、計算機を利用する側でも機種の変更——2代目の計算機の導入——が行なわれる例がふえてきた。このような場合には、それにともなって、そのときまでに前機種のために作成した数多くのプログラムを新機種に流用できるかどうかが大きな問題となる。FORTRAN, COBOLなどのいわゆる問題向き言語は元来プログラミングの簡易化の目的で生まれたものであるが、それらの一つの余徳として異機種間でのプログラム流用の容易さがあげられている。しかしながら、そのような問題向き言語を採用していた場合でも、機種交代に際してすべてのプログラムを完全無修正で新機種に活用できることは保証されていないのが通例である。まして、それよりレベルの低いアセンブラー言語を採用していた場合には、ほとんどプログラムの書きかえが要求されることになる。つまり、機種交代にともなう再プログラミングの問題が大きいのである。

このことは、計算機の使用者側だけの問題ではなく、計算機ソフトウェアを作り供給する立場からも大きな問題となる。現在の計算機の基本ソフトウェア（スーパーバイザ、コンパイラ、アセンブラー、その他のユーティリティプログラム、応用プログラム類）は、アセンブラー言語より高レベルの言語で書かれないので通例であるから、機種交代にともなう再プログラミングの問題はソフトウェア作成側にとっても重大なのである。もちろんこの問題を解決あるいは軽減するための方策、試みは種々なされている。基本ソフトウェアを問題向き言語で書くこと、基本ソフトウェアを新しい機械に適合した形で生み出すようなソフトウェアジェネレータを作ることなどの努力は積まれているが、筆者の知る範囲では今のところ国内で実用されている基本ソフトウェアについては、そのような方法によって実際に作られた例はないようである。

MELCOM-3100 のソフトウェア整備にあたって、許された期間が短かかったことのために、この再プログラミングのために数々の方策が考えられ実施された。ここでは、その実例の一つとして前機種である MELCOM-1530 用としてすでに使用されているプログラム（アセンブラーレベルの言語で書かれているもの）を、新しい計算機 MELCOM-3100 用に変換する仕事を、MELCOM-3100 が使用可能となる前に、MELCOM-1530 を利用して実施した例について報告する。これはソフトウェア作成のいくつかの新しい試みの一つであるが、このプログラム書きかえの道具として COBOL を使用した点に特長がある。

2. 再プログラミング問題の対策

2.1 再プログラミングの機械化の方法

機種交代にともなう再プログラミングを従来どおり人力で処理しようとすれば、かなり大きな労力と時間を費すことを覚悟せねばならない。これを機械化して能率よく処理することが問題解決の有力なきとなることは当然期待される。このために現在までにも種々の試みがされているが、その方法は大きく分けると次の三つになると考えられる。

(1) シミュレーション法（模擬法）

計算機 A を計算機 B で置きかえるとして、計算機 A 用のプログラムが多数ある。これをできるだけそのまま計算機 B で利用するため、計算機 B で計算機 A の個々の命令（言語レベルは種々とりうる）を解釈し実行するようなプログラムを作る方法がある。

この方法によればプログラムの修正は不要であるが、計算機 B の中にシミュレーション用のプログラムが居る（ときにはハードウェアのたすけでこれを行なうこともあるが）と、命令（群）を逐一解釈することになるため、空間的、時間的にともにロスがあり、予先デバッグなどには用いられているが本格的に活用するには計算機 B がかなり大規模でないと実用的でない。

(2) ジェネレーション法（生成法）

これは、プログラム言語（および機械の性質）を適当な方法で表現し、実現すべき機能に関する情報を与えて、これらから求めるソフトウェアを作り出すような、プログラムジェネレータを準備しておき、新しい機械に対してもすみやかにソフトウェアを作ろうという方法である。実際にはたとえばコンパイラのようなものがその対象となり、これを実現するための基礎的な検討や簡単な実験はされているがまだ実用段階ではない。

(3) トランスレーション法（変換法）

これは、計算機 A 用のプログラムを計算機 B 用のプログラムに変えることをできるだけ効率よくやろうとする方法で、その過程に計算機を利用することができれている。この方法は種々の言語レベルで行なうことができ、一般的に言って同種の言語間では変換プロセスそのものは言語レベルが高いほど（たとえば FORTRAN-A → FORTRAN-B）簡単であると考えられる。（実際には問題向き言語よりレベルの低い言語の場合のほうが再プログラミングの問題は大きいので）

あるが。)

2.2 MELCOM-3100 での一例

はじめに述べたように、MELCOM-3100 のソフトウェア整備にあたっては、期間を短縮するためにいろいろな工夫がなされたが、その中で上記の分類では、変換法にはいる方法を用いた部分がある。これについて以下に説明する。

MELCOM-1530 から MELCOM-3100 への移行で自動処理を導入するにあたって、その対象をここではアセンブラー言語のソースレベル間（つまり、MELCOM-1530 SIA から MELCOM-3100 MACRO-CODER への変換）に置いた。その理由のおもなものは、

(1) MELCOM-1530 と MELCOM-3100 とはアセンブラー言語レベル以上で、できるだけの互換性をもたせてソフトウェアが構成されていること。

(2) MELCOM-3100 は MELCOM-1530 と異なってファミリーシステムで、そのファミリー内で上向きのデータおよびプログラム流用性が要求されている。また入出力機構は両計算機でかなりの隔りをもつ部分があるので、オブジェクトレベルでの変換には多分の文脈解析を要し、自動化の努力は現実的でないこと。

(3) MELCOM-3100 で備えるべき基本ソフトウェアの多くは MELCOM-1530 で実用化されているものの論理を流用して十分であること、そしてそれらは MELCOM-1530 のアセンブラー言語 SIA で書かれており、MELCOM-3100 に応用するにあたり、自動変換処理後1回の再アセンブルを実施するとしても全体からみて十分効果があると考えられること。

このような方針をとったことにより、われわれのやろうとしているプログラムの自動変換は次の性質をもつ段階にある、といえる。

(1) レベルのほぼ等しい言語間の処理である。

(2) ソース言語同士の変換処理である。

(3) 両言語の形は同じ類形に属し、命令の多くは、1対1の対応関係で結ばれるが、一部には、1対nの対応関係で結ばれる変換もある。それらには明確なルールが与えられる。

この変換用プログラムは、当初 MELCOM-1530 COBOL コンパイラの主要な部分を MELCOM-3100 用として活用するための道具として開発されることになった。しかし、他の多くの MELCOM-1530 用のプログラム類が同様の方法で、その主要部分のプログラム論理が MELCOM-3100 用として流用可能であることから、利用範囲はさらに広げられることになった。

自動変換用の道具を作るにあたって、それをどのような言語で書いて作るか、ということが問題となる。プログラムの自動変換を機能とするトランスレータの性質として、どんな言語からどんな言語への変換をするものか、そして自身はどんな言語で書かれているかが重要なパラメータとなるのである。従来、この種のトランスレータはアセンブラー言語（あるいはそれより低レベルの言語）で書かれるのが通例であった。われわれのもつコンパイラ、アセンブラー類も一部の実験用のものを除いては従来その例外ではなかった。今回この変換用プログラムを作るにあたって、現在世の中で使われているプログラム言語のうち最もレベルの高いものに属する COBOL を用いて書くことにした。その理由は、COBOL のもつプログラミングの容易さを生かして、短期間にこの変換用プログラムを作成、実用することと、COBOL のような高レベルの問題向き言語をトランスレータのようないわゆるシステムプログラム作成の道具として使用してみて、その実用性をためすことにあつた。

3. 変換用プログラム TRANSBOL の概要

3.1 変換用プログラムの機能範囲

変換用プログラムにどれだけの機能をもたせるかは、基本設計の問題であるが、一般的にいってなるべく多くのことが自由にできることが望ましい。これは当然であるが、変換過程の入力側と出力側の言語の性質が隔たっているほど、また変換用プログラムにきめのこまかい仕事をさせようとするほど、変換用プログラムの負担が重くなる。われわれはこの基本設計の段階で次の二つの方針をとった。

(1) 機能範囲に拡張性をもたせる。

(2) 変換以外の機能をある程度もたせる。

これらについて以下に説明する。

(1)では、当初のこのプログラムの目的が、MELCOM-1530 COBOL システムを MELCOM-3100 COBOL システムに書きかえるための道具ということであったので、コンパイラの書きかえに焦点をしぶり、MELCOM-3100 COBOL で使用しているアセンブラー言語 (MELCOM-1530 SIA) の命令のみを対象とする変換機能にとどめた。そしてそれが実現されたならば他に転用されることが明らかであったので、当初から変換プログラムの構造、プログラム中で使用する種々のテーブル類をかなり自由に作れる設計法をとった。その結果、最終的には機械的に変換処理できる SIA 命令はすべて自動変換の対象とすることことができた。

(2)では、この変換プログラムを単能のものにせずに、変換処理以外にファイル更新に近い機能をもたせることにより、プログラム修正の手続きを便利に速く誤りなく行なうことなどをねらった。カードデッキを対象とした手操作の多いプログラム修正処理ばかりでなく、磁気テープを対象とする一連の操作もできる機能をもたせたのである。

この変換用プログラムの構造などの詳しい説明にはいる前に、これが使われるときの処理の流れの例を図示しておく。変換用プログラムの処理は、カードベースの入力ストリームに制御されるオペレーティングシステムに類似したかたちをとることを通常とする。図 3.1 が変換用プログラムの一使用例である。図中、変換用プログラムのあとに被変換プログラムである SIA ソースカードデッキが置かれ、制御用プログラム、コントロールカード、付帯処理指示のための指示カードがそれぞれ要所に置かれていることが示されている。また、カード群の横に描かれた磁気テープ、

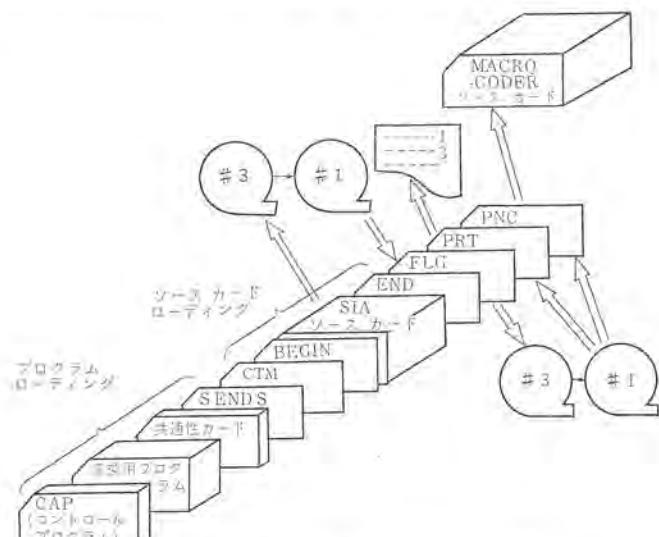


図 3.1 変換用プログラムの一使用例
Example of TRANSBOL operation.

プリントの記号は、おののの指示カードの指示により行なわれる処理の流れを示している。

3.2 変換用プログラムの構成

変換用プログラムは、一つの制御部に多数の単位プログラムが接続された形態をとっている。単位プログラムの多くは互に独立であり、これをさらに付加することによりプログラム全体の機能をさらに充実拡大することが可能である。変換用プログラムの動作は、まず制御部で読みとられたコントロール情報に従って単位プログラムのどれかが選ばれて働き、その部分の仕事を終えるとまたび制御部にもどるというサイクルをくり返しながら、変換作業を進行させる機構をとる。

制御部は、変換のルールを与えられてのちの処理に備えて種々の準備を行なう部分と、プログラム操作を便利にする目的で組み込まれた部分とから成る。

変換用プログラム全体の構成と処理の流れは図3.2によって理解できよう。

変換用プログラムに組み込まれている単位プログラムは、次の7個である。

- (1) CTM (Card to Mag-Tape)
- (2) FLG (Flag Supplement)
- (3) PRT (Print)
- (4) PRG (Program Modification)
- (5) MTM (Mag-Tape to Mag-Tape)
- (6) PNC (Card Punch)
- (7) CMP (Compare Card and Mag-Tape)

おののの単位プログラムの機能については後述するが、大略は図3.2で示されているように、FLGがプログラム変換の主役を演じ、そのあとの修正をPRGが受けもつ形となっている。他のものは処理の流れの前段階・後段階にあって自動処理を便利にする補助機能をもつものと考えればよい。

変換の方法としては、ここでは前述のように割合い単純な場合を

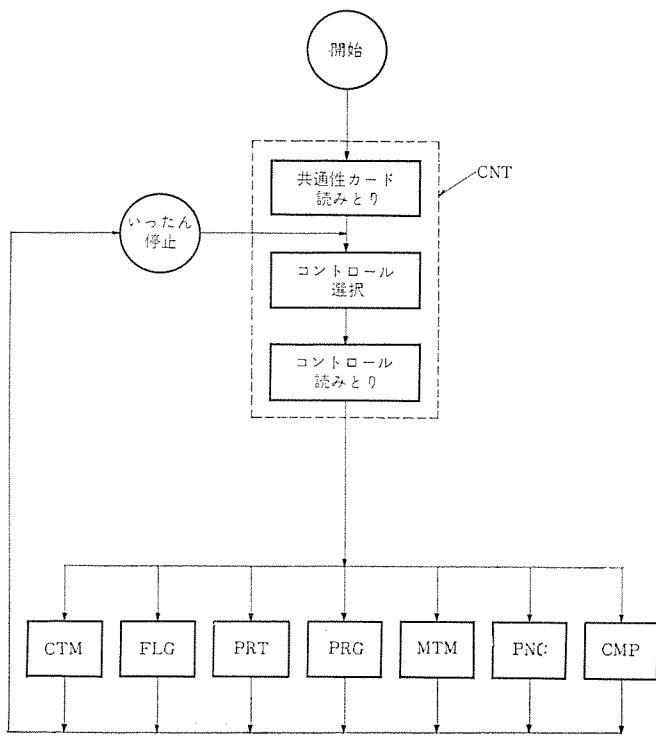


図3.2 変換用プログラムの処理の流れ
Main flow of TRANSBOL.

扱っているので、被変換ソースプログラムの各ステートメントにFlagを付加し、そこにプログラム変換過程の入力側のみで通用するもの、出力側のみで通用するもの、両側で通用するもの、などの指標を入れておき、それにもとづいて各種の処理を行なう方法をとっている。このFlagはステートメントの演算コードとの対応で表にまとめられている。この表をカードに一定の形式でせん(穿)孔したものが共通性カードと呼ばれ、図3.1のように、変換処理の最初に与えられることになっている。変換用プログラムが作られた当初にはこの表は根幹部分があらかじめプログラムちゅうに組み込まれ、追加部分をカードで与えることになっていたが、MELCOM-1530 SIAからMELCOM-3100 MACRO-CODERへの変換と機能が固定された現在では必要な表をプログラム中に入れてしまって、操作のたびに共通性カードを使う必要をなくしてある。

変換過程の一部分にはステートメントの単なる取捨・置きかえにとどまらずに、10ステップ以上にわたるプログラムシーケンスを生成することまでやらせているところがある。それにともなって、オペランドやロケーションのアドレスも必要に応じて生成され使用されるよう、通常のコンパイラに似た処理を行なっている。ただ、これらは実用上あくまで変換の規則を簡潔に与えうる範囲にとどめてあるので、ステートメント自体をプログラムの流れの中で書きかえて使っているような被変換プログラムに対しては通用しない。そのような場合にはプログラム論理の解析をやる必要があるからである。

以上のように、変換用プログラムTRANSBOLでは、変換の方法に関する情報を、一部は共通性カード(またはそれと同様に扱われる表)の形で、一部は単位プログラムFLGの機能として与えている。これらを変更することにより、変換用プログラム全体の機能を修正することが可能である。

単位プログラムFLGを最初に実行することによってMACRO-CODERのプログラムができあがるのであるが、実際には前述のようなプログラム論理にたちいたった修正を加える必要が生じることがある。これを処理するために単位プログラムPRGが使われる。この修正処理はいくつかのステートメントのそう入・削除・置きかえの組み合せとなっている。そこで各ステートメントがもっているシーケンスナンバをたよりとして、テーブファイル更新の形でこの修正処理をおこなわせる。

3.3 各機能単位プログラム

3.3.1 CTM (Card to Mag-Tape)

被変換プログラムのソースカードを読んで磁気テープに書き込む。その際にソースステートメントのシーケンス番号を50おきの番号に打ちなおすこと、各ソースステートメントにFlag部分を付加し、そこに0(共通性不明を示す)を入れること、およびソースプログラム全体を1ファイルと扱いラベルTRANSBOLを付けることをおこなう。CTMで得られるレコードの形式は図3.3に示すとおりである。

3.3.2 FLG (Flag Supplement)

CTMで作られたテーブファイルを読み、各ステートメントを対象としてそのFlagをしらべ、Flagが0のもののみをとりあげて共通性の関係から所要のステートメント(群)を作り、Flag付けをおこなって磁気テープに書き出す。現用のプログラムではFlagとして次のものを用いている。

0……共通性不明

1……MELCOM-1530およびMELCOM-3100に共通なもの(変換処理不要)。

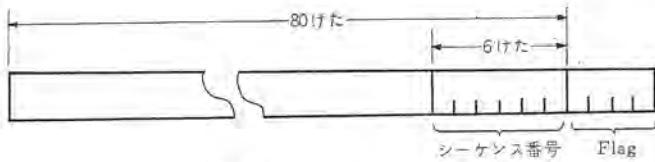


図 3.3 レコードの形式
Record format.

[変換前]					FLG
LOC.	OP.	TYPE	V.F.		
NI	RS	B1	1		0
START	+				
	SET		NL/3		0
	YOME	RDTN	(NI)/(WI)/30/ER/EOF		0

[変換後]				
NI	RS	BI		1
START	+			
	SET		NL/3	1
	YOME	SET	S++/(NI)	3
		INS	T++/S++/S-0001+5	3
S-0001	RDTN		0##/WI/30/ER/EOF	3

図 3.4 変換処理の一例
Example of translation process.

2 MELCOM-1530 のみに通用するもの (変換不能)。

3 MELCOM-3100 のみに通用するもの。あるいは
変換によって作られたもの。

Flag が 1 または 3 となったプログラムはそのまま MELCOM-3100 に
通用する。FLG で行なう変換の一例を図 3.4 に示す。

3.3.3 PRT (Print)

磁気テープの内容をプリントする。各頁に表題として INSTRUCTION CHECK LIST を入れページ番号を付ける。プリントの内容は、
レコード番号、内容、シーケンス番号および Flag である。プリントにあ
る Flag の値に応じてプリントするか、しないかの選択を各レコード
について行なうよう指定できる。

3.3.4 PRG (Program Modification)

磁気テープに書かれたファイルの内容をカードから与えられる情報に
基づいて更新し、新しいテープファイルを書き出す。更新の過程ではそ
う入・変換・削除がシーケンス番号を参照して行なわれる。この結果
得られたレコードには Flag 3 が付けられる。

3.3.5 MTM (Mag-Tape to Mag-Tape)

磁気テープファイルを読み、各レコードについてシーケンス番号をあ
らためて打ちなおして新しいテープファイルを書き出す。ファイル中の全レ
コードを対象とする。

3.3.6 PNP (Card Punch)

磁気テープファイルを読み、レコードの Flag 部分以外の 80 けたの内
容をカードにパンチする。PRT と同様に、Flag の値に応じて選択的
に出力を行なうことができる。

3.3.7 CMP (Compare Card and Mag-Tape)

カードと磁気テープを読んでレコードの内容を照合し、不一致のとき
レコードの内容をプリントする。PRT, PNP と同時に、Flag の値に応
じて選択的に働きさせることができる。

4. COBOL の応用について

変換用プログラム TRANSBOL の作成にあたって、この種の用途
に事務データ処理用言語 COBOL がどの程度使えるかをためす意図
があったので、COBOL を用いたことは前述のとおりである。

できあがったプログラムは、ソースプログラム (COBOL) にして合計約
600 行、そのうち、DATA DIVISION が約 250 行を占めるものと
なった。オブジェクトプログラムとしては MELCOM-1530 で約 11 K 語
(IOCS および表のエリアを含む) を占めるものとなっている。

変換用プログラムを一つの COBOL プログラムとしてながめたとき、
いくつかの特長がある。これについて以下に説明する。

(1) 1 けたを要素とする表が扱われており、これにともなって、
DATA DIVISION で OCCURS, VALUE, REDEFINES がひん
ぱんに使用され、PROCEDURE DIVISION で一次元の Subscripted Name の形で参照されている。

(2) 動詞は大部分のものが使用されているが、四則演算では
SUBTRACT, MULTIPLY, DIVIDE が使用されていない。

(3) 命令の整形のために MOVE CORRESPONDING が使用
され、効果をあげている。

(4) 修飾名が多い。これは MOVE CORRESPONDING の利
用と関連する。一つには変換過程の考え方を理解しやすい形で整理
したことのために、同名のデータがよく現われることによる。

(5) IF 文に複合条件がよく使われている。

IF C₁ OR C₂ AND C₃

C₁, C₂, C₃ は Simple Condition, たとえば
A GREATER THAN B

といった形。

(6) EXAMINE がフィールドの文字おきかえに使用されている。
EXAMINE は使い方によっては記号処理にかなり利用度が高いと
考えられる。

EXAMINE A REPLACING FIRST @@ BY @@
ABC/##/DEF → ABC/O##/DEF

(7) PERFORM は

PERFORM A THRU B ~ TIMES

の形のものが使用されている。

(8) Condition 名として、レベル番号 88 のものが Multiple
Branch のための Table Looking で使用されている。

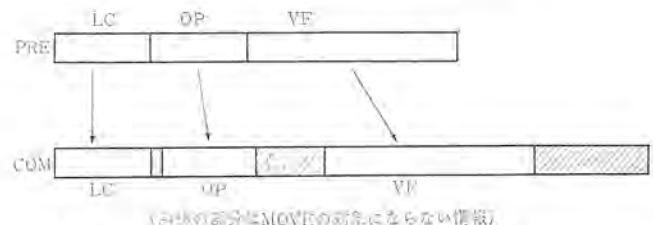


図 4.1 “MOVE CORRESPONDING”ステートメントの使用例
Example of “MOVE CORRESPONDING” statement.

5. む す び

プログラム書きかえの手数を軽減するための道具の一つとして変換
用プログラムを作って利用している例について紹介した。

プログラム変換は、被変換プログラムが技巧をこらした（とくにプログ
ラム自身を変えるような）ものであるほど自動化を完全に施すこと

が困難となる。そのため文脈解析は行なわず、ローカルに規則を明確に与えうる範囲にとどめたが、この程度のものでも十分に利用でき、処理の確実さ・時間の短縮の点で寄与するところが大きかった。

COBOL を用いて変換用プログラムを書いたことにより、変換用プログラム作成速度を上げるとともに、その論理が見やすく修正拡充の容易な形で道具をうることができた意味は大きい。またこのような目的で COBOL が十分使えることがわかったが、COBOL プログラムの特長の項で述べたことから、この種の目的にそぐ言語のもつべき性質のいくつかがは握できた。

参考文献

- (1) 日本電子工業振興協会 : MELCOM 1530 COBOL (文法編) (昭 41-3)
- (2) 日本電子工業振興協会 : MELCOM 1530 COBOL (コンパイラ編) (昭 41-3)
- (3) MELCOM COBOL 説明書 [3360-030 <6610> 版] (昭 41-10)

正 誤 表

VOL. 41 No. 9 に掲載の論文 “関西電力(株)大阪発電所 2号機向け火力発電所起動停止シーケンスモニタシステム”

ページ	訂正個所	誤	正
1113	左側下から 7行めおよび 6行め	……重油バーナ点火後高圧給水加熱器を生かし、……	……重油バーナ点火後、高圧給水加熱器の給水出入口弁を開き、……

寒冷地向け車両用変圧器

南角英男*・鶴田敬二*

Transformers for Rolling Stock Running in Hokkaido

Itami Works Hideo NANKAKU・Keiji TSURUTA

As a part of the third long range plan of the Japanese National Railways, electrification of lines took place in Hokkaido a few years ago. In November, 1966, a portion of Hakodate main line, 7.6 km in length, was completed as a trial district. An electrification system put into practice is of single phase, commercial frequency of 50 cycles AC. On the line run ED 75501 AC locomotives and 711 series AC electric coaches. Type TM-13 main transformer is mounted on the 711 series AC electric coaches and designed specially to operate in the snowy and bitterly cold district, introducing the latest design engineering. It is of a shell type form-fit construction with special consideration to withstand the severe working conditions in spite of small sized and lightweight.

1. まえがき

日本国有鉄道第3次長期計画の一環として、北海道電化が着工され⁽¹⁾、昭和41年11月にはすでに函館本線の銭函—手稻間7.6kmが試験線区として完成した。電化方式は単相20kV、商用周波(50c/s)の交流電化で、試験線区の開設とともにED 75501号交流機関車に引き続き711系交流電車(図1.1)が投入された。これらの電気車両は近年急速に進歩してきた大電力用サイリスタを主回路に採用して電圧制御を行なう、いわゆるサイリスタ制御方式の交流専用車である。さらに北海道の冬期における特殊性を十分考慮して、耐寒耐雪対策が施されている。



図1.1 711系北海道交流電車
711 Series-AC electric coaches running in Hokkaido.

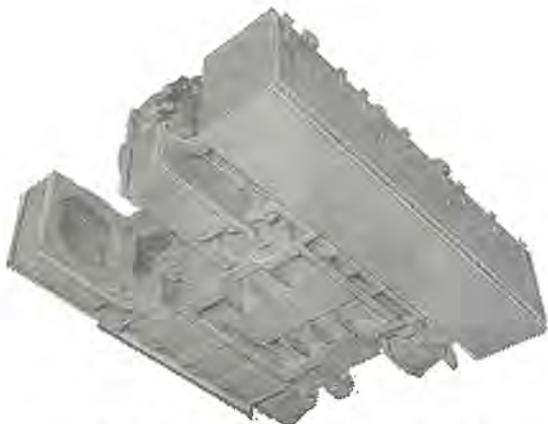


図1.2 711系電車用主変圧整流装置
Main transformer-rectifier for 711 series-AC electric coaches.

これら交流電気車にとう(搭)載されている主変圧器は、それぞれTM 12形およびTM 13形主変圧器であって、国鉄の交流電化以来ED 45, EF 70, ED 74, ED 75, ED 76, 421系, 471系, 481系, 473系, 423系および東海道新幹線電車などの国鉄主要交流電気車に積載されて、種々の新機軸を生み、最も多くの製作実績を有して好評を博している当社独特の外鉄形フォームフィット構造車両用変圧器である⁽²⁾。車両用変圧器の具備すべき第一の条件は小形、軽量、堅ろうなどであるが、外鉄形フォームフィット構造はこれらの条件を本質的に満足し得る。

TM 12形およびTM 13形主変圧器はこれらの特長のほかに、とくに耐寒耐雪性にも重点を置き設計、製作されている。ED 75501号交流機関車用TM 12形主変圧器についてはすでに発表されている⁽³⁾ので本文では、711系交流電車用TM 13形主変圧器についてとくに耐寒耐雪性に重点を置き、その概要を紹介し、ご参考に供したいと思う。

2. 設計条件

2.1 気象条件

現在の北海道電化工事区間は小樽—旭川間である。旭川は北海道でも最も寒冷な地域であって、1902年(1月25日)に-41.0°Cの最低気温を記録している(国内最低記録)⁽⁴⁾。

旭川における日最低気温の月平均値は図2.1に示すように、1月が最低で-15°C、日最高気温の月平均値は8月が最高で27.4°Cである。また雪については初雪が平均して10月26日終雪が平均して5月1日であり、降雪期間が長い。最も雪の多い月は1月で10~50cmの積雪があり、最高降雪量は12時間で1.34mといわれている。

711系電車はこのようなきびしい気象条件下で使用され、しかも停車、休車中といえども屋外に置かれ、外部保温その他の対策はほどこされない。そのため床下に設置される電気品に対する条件としては、これら気象条件がそのまま与えられている。すなわち機器の設計条件としての周囲温度は最低-35°C、最高40°Cで、とくに雪害、凍結害に対して考慮がはらわれていなければならぬ。

2.2 新しい一体構造(主変圧整流装置)

当社ははやくから、化学工業用途の整流装置として、整流器と変圧器を一体構造としたレクチフォーマを数多く納入して、実績を有しているが⁽⁵⁾、これを車両用に適用しても多くの特長が発揮される。す

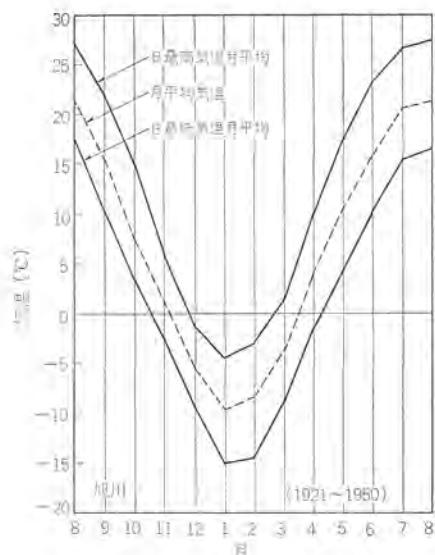


図 2.1 旭川の気温
Atmospheric temperature at Asahikawa.

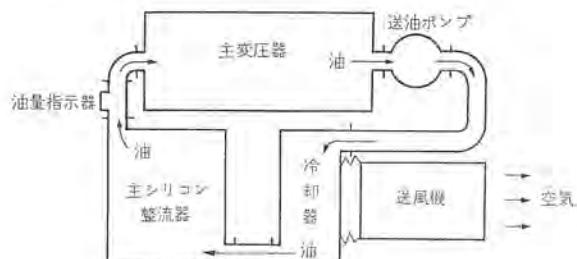


図 2.2 車両用レクチファーマ
Rectiformer for rolling stock.

なむち車両用レクチファーマ(図2.2)は

(1) 耐じんあい雪害構造

シリコン整流器の冷却は冷却油を媒体として行なわれる。従来の直接風冷式シリコン整流器にくらべ、じんあい害や雪害に対して強い。さらに主平滑リクトルも内蔵することによって、装置の入出力端子は交流入力端子と直流出力端子のみになり、接続端子を最小限にとどめているため耐雪構造に適している。

(2) 冷却系統構成機器の減少

冷却系統は主変圧器・主整流器・主平滑リクトルの冷却を集中的に行なうので冷却系統が単純化され、個数も少なくなる。

(3) 点検保守費の低減

(1), (2)項の理由から保守の手数が減る。

(4) 小形、軽量

従来の個別配置機器を一体構造としているため、機器間の配線も不要となり、さらに冷却系統の単純化などにより、小形・軽量となる。

(5) ぎ(蟻)装の簡単化

従来、主変圧器・主整流器・主平滑リクトルがそれぞれ別個にぎ装されていたが、変換装置を1単位としたぎ装ですみさらに機器間の配線が不要となる。

(6) 素子冷却の均一化

シリコン整流器は風冷式に比較して素子の使用温度が均一化される。

(7) 整流器熱特性の改善

風冷式にくらべて整流器の熱時定数がはるかに大きいため、冷却

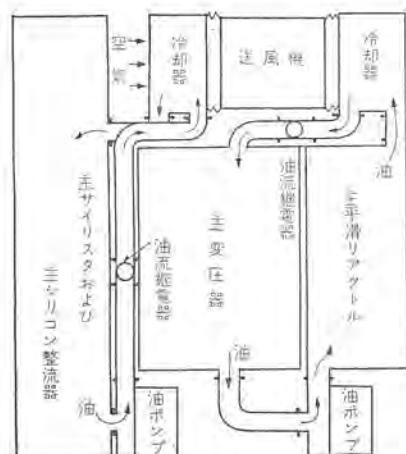


図 2.3 主変圧整流装置
Main transformer-rectifier.

用送風機停止事故を生じても直ちに電車を止めることなく運転することができる。

などの特長を有しており、当社ははやくからこの研究を進めていた⁽⁶⁾。

711系電車では先にも述べたように、主回路にサイリスタが使用される。サイリスタを油冷式にした場合、冷却油の最高許容温度を55°C、最高周囲温度を40°Cすなわち許容温度上界を15degと考えなければならないのに対して、変圧器の冷却油の実際の温度上界は40~50degくらいであるから、これらを共通油冷にすることはかえって重量寸法の増加をきたし不経済となる。

そこで711系電車では主変圧整流装置と称して、図2.3のようにサイリスタとシリコン整流器を一体にした主整流装置の冷却系統と主変圧器の冷却系統とを別個の油冷系統として、冷却用送風機を共用して各機器を一体化した構造とした。このようにすることによって前記の特長が失われることはない。

さらに従来F種絶縁などの乾式で製作されていた主平滑リクトルを油冷式として、主変圧器と共通油冷を行なうこととした。主平滑リクトルの油冷化は若干の重量の増加をきたすが、雨雪、じんあい害などのおそれを完全に排除することができ、また主変圧器・主サイリスタ・主シリコン整流器・主平滑リクトルの一体化に際して、それらの電気的接続をすべて絶縁油中あるいは密閉タクト中で行なうことによって、従来しばしば懸念されていた接続個所あるいは端子板における雨雪、じんあい害などのおそれも一掃することができる。

2.3 送風機の凍結防止

送風機としては風量・風圧の関係で最も効率のよい軸流ファンが用いられているが、羽根とケーシングの間の間げきが小さいため、従来から冬期はこの部分の凍結の可能性があった。この対策としては送風機そのものに対策を求めるほかに、その原因である雪・水の浸入を極力防止すると同時に、浸入した水が送風機内に停留することがないようにすることも肝要である。この意味において、送風機は整流器用冷却器と変圧器用冷却器の中間に配置して、送風機は風出口側に水が排出されるように約1.5°の傾斜を有して取付けられるようにした。さらに送風機自身には融氷用ヒータを取り付けることとしたが、これらの方法は現地試験において好成績が得られている⁽⁷⁾。

3. 寒冷地用不燃性絶縁油

車両用変圧器は電力用のそれと異なり、運転・停止が非常にひん

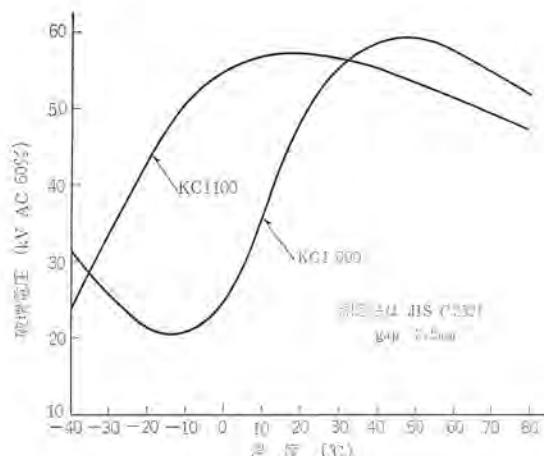


図 3.1 不燃性油の破壊電圧-温度特性
Break down voltage-temperature characteristic of nonflammable oil.

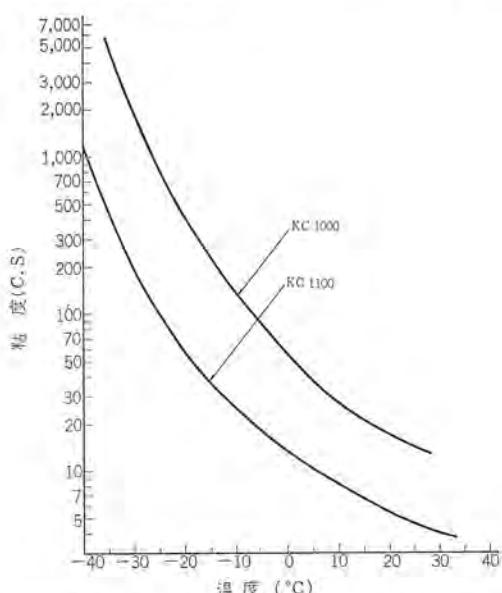


図 3.2 不燃性油の粘度-温度特性
Viscosity-temperature characteristic of nonflammable oil.

ばんに行なわれるものであり、低温時における変圧器の冷状態での運動を考慮しておかねばならない。

従来から使用されている変圧器の使用材料の低温特性についてはほぼ解明されているが、なかには使用しにくい材料もあり、それらについては開発の必要性があった。そのおもなものとして、不燃性絶縁油がある。

従来の電車用主変圧器に用いられていた不燃性絶縁油 KC1000 は図 3.1 に示すように、破壊電圧は 10°C くらいから急激に低下し -10°C ～ -20°C で最低となり、その値はこの種の不燃性絶縁油の保守基準である 25 kV を下まわっている。さらに粘度は図 3.2 に示すように -35°C で約 5000 cS であり、低温における粘度が非常に高い。破壊電圧の低下は設計的には絶縁距離の増大をきたし、粘度の増大は送油ポンプの性能に影響し、これらはいずれも変圧器の重量・寸法の著しい増大をきたすことになり好ましくない。

とくに粘度の増大は送油ポンプの起動を困難にし、さらに送油ポンプが起動しても循環油量はゼロという事態が発生する。この場合、発熱体である巻線、鉄心付近の油は運転開始と同時に温度が上昇し、粘度も低下するが、配管、冷却器内部の油は依然として低温で高粘度のままであり、油の循環が阻害され、冷却はまったく行なわれな

表 3.1 KC1000 および KC1100 の特性比較
Comparison of characteristics of KC1000 and KC1100.

	KC1000	KC1100
外観	無色ないし淡黄色透明	無色ないし淡黄色透明
比重	$1.51 \sim 1.53$	$1.41 \sim 1.46$
粘度 (C.S.)	30°C 50°C 75°C	$9.0 \sim 13.0$ $2.0 \sim 4.0$
流動点 (°C)	-30 以下	-40 以下
全酸化 (KOH mg/gr)	0.01 以下	0.01 以下
遊離塩化物 (PPm)	0.5 以下	0.5 以下
燃焼性	なし	なし
蒸発量 (%)	2 以下	3 以下
誘電率 $50^{\circ}\text{C}, 50\text{ c/s}$	4.3 ～ 4.6	5.1 ～ 5.4
誘電正接 $50^{\circ}\text{C}, 50\text{ c/s}$	0.05 以下	0.05 以下
体積抵抗率 $(\Omega\text{-cm}), 50^{\circ}\text{C}, 50\text{ c/s}$	1×10^{12} 以上	1×10^{12} 以上
絶縁破壊電圧 (kV) 2.5mm, 常温	45 kV 以上	45 kV 以上

い状態となる。

これらのこととを解決するためには低温特性のすぐれた不燃性絶縁油の開発が必要であった。当社は油ポンプの設計その他を考慮して、KC1000 に準じたもので -35°C 以上の温度で粘度 500 cS 以下、破壊電圧 25 kV 以上の特性を有した不燃性絶縁油を目標に鐘淵化学と共同研究の結果 KC1100 の開発に成功した。

表 3.1 に今回開発された不燃性絶縁油 KC1100 と従来の KC1000 との特性を比較して示す。KC1100 の絶縁破壊電圧および粘度の温度特性はそれぞれ図 3.1 および図 3.2 に示すとおりで、 -35°C において絶縁破壊電圧 28 kV 、粘度 430 cS の特性を有している。

一般に不燃性絶縁油は塩化ジフェニルと塩化ベンジルの混合体であり、有機材料に対する溶解度が大きい。KC1100 は KC1000 に比べて、塩化ジフェニルと塩化ベンジルの混合比および各成分の塩化度が異なっており、さらに第 3 成分が添加されているなど成分的に異なっているため、他の使用材料に対しては当然ながら害の有無を調査しておかねばならないが、試験の結果、現在使用中の材料に対しては有害と認められるものはなかった。

4. 変圧器仕様

電車積載用の変圧器には従来から不燃性絶縁油が使用されているが、TM13 形変圧器は厳寒地向けとしてとくに前章で述べた寒冷地用不燃性絶縁油 KC1100 が使用されることになった。絶縁油の蒸発防止、保守の簡易化などをはかるために窒素封入密封形を採用し、また車両用変圧器として好適な外鉄形 フォームフィット構造を採用したこととは従来と変わりはない。

図 1.2 および図 4.1 はそれぞれ主変圧整流装置および TM13 形主変圧器の完成写真である。

変圧器仕様

形 式 TM13 形、外鉄形、フォームフィット構造



図 4.1 TM13 形主変圧器
Type TM13 main transformer.

送油風冷式、窒素封入密封式
平滑 リアクトル 内蔵、主変圧整流装置式

定 格	連続定格
相 数	単相
周 波 数	50/60 c/s
定格容量	一次側 863 kVA 二次側 803 kVA 三次側 60 kVA
電 圧	一次側 20,000 V 二次側 365 V × 2 三次側 211-225-309*-393*V
電 流	一次側 43.2 A 二次側 1,100 A 三次側 284-267-229*-229*A

* ただし冬季（周囲温度0°C以下）は冬期定格として三次側に下記の定格が追加できる。

三次側	90 kVA 309-393 V 229 A
-----	------------------------------

規 格	JRS 規格 (SE-319)
整流方式	ダブルウェイ方式 (2分割位相制御)
循環油量	700 l/min
冷式風量	90 m³/min
総 重 量	3,110 kg (絶縁油および送風機を除く)
給 油 量	585 l

5. 構 造

711系電車の主回路は図5.1に示すとおり、サイリスタを用いて主回路電流を連続位相制御する方式が採用され、主変圧器の二次巻線は高調波・力率・経済性などの観点から2分割されている。したがって、三次巻線をも含めると4巻線変圧器ということができる。また耐寒耐雪構造の点から、主変圧器に平滑リアクトルを内蔵し、さらに主サイリスタを内蔵した主シリコン整流器を一体構造とし、冷却用送風機を共用した主変圧整流装置が採用されていることは2章で述べたとおりである。

5.1 卷線配置と鉄心

車両用として軽量、かつ小形とするため、外鉄形フォームフィット構造・送油風冷式変圧器を採用しているが、一般に外鉄形変圧器はコイル枚数が少ないため、コイル幅が大きく、コイル間の対向面が広い。そのため合成直列静電容量が大きくかつ大地静電容量が小さい。したがって衝撃電圧侵入に対して巻線内の初期電位分布が本質的に良好であり、したがって電位振動もわずかである。

図5.2は鉄心と巻線の関係を示す説明図であり、図5.3は巻線配置を示す。図5.3からあきらかに一次巻線は4群に分割され、それぞれのグループは直列に接続されている。二次巻線は前述したように2分割巻線であるが、この1巻線はさらに2分割されてそれぞれ直列に接続されている。外鉄形変圧器はこのように交互配置のグループ数をある程度自由に選択することができ、電車性能を決定する一要素である転流リアクタンスを比較的広範囲に選定することができる。

三次巻線は一次巻線の中央に配置して、三次巻線の電圧変動が小さくなるように、また二次巻線からの転流の影響ができるだけ小さ

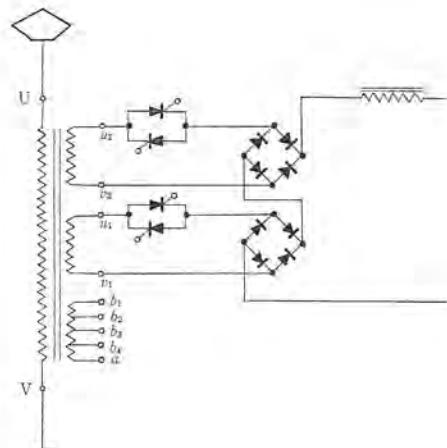


図 5.1 主変圧整流装置の接続
Connection of main transformer-rectifier.

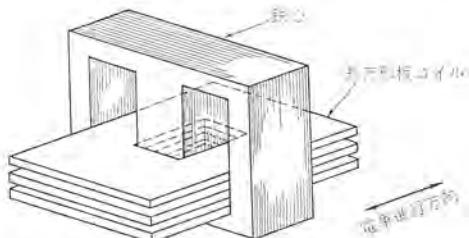


図 5.2 鉄心と巻線配置 Core and coil arrangement.

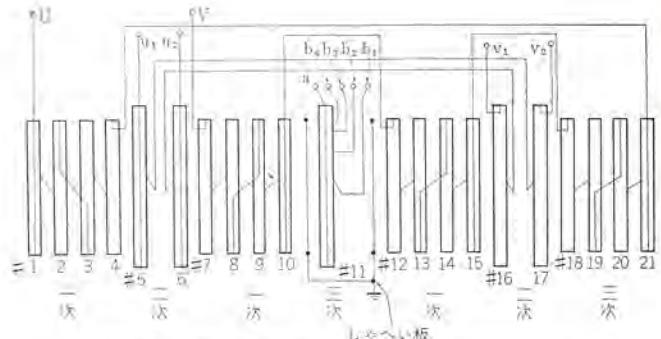


図 5.3 卷線配置 Winding arrangement.

くなるように考慮されている。三次巻線は一次巻線からの異常電圧移行を防止するために一次巻線との間にしゃへい板を設けてこれを接地している。

鉄心には特性のすぐれた一方向性冷間圧延けい素鋼帯を使用している。このすぐれた特性を十分發揮し得るように、45°カッティングの額縁形鉄心が採用されている。また外鉄形フォームフィット構造の特長の一つであるが、鉄心はタンクによって締め付けられる構造となっているため鉄心締め付けボルトを必要としない。したがって鉄心に穴をあけることはまったく行なわれないために磁束の流れがみだされることはなく、一方向性の特長を十分發揮し得る。

5.2 本体構造

図5.4は車両用変圧器の中身を示したものである。

外鉄形フォームフィット構造であるから、タンクは上部・下部タンクの二つの部分に分かれている。組立に際しては各コイルを下部タンクの底板上にコイル受台を介して垂直に立て、鉄心を方形コイルの外周ならびに内側に額縁状に所定の高さだけ積み上げる。なお、鉄心は下部タンク上縁に設けられたフランジとコイル内側に渡された鉄心ささ



図 5.4 車両用変圧器の中身構造
Interior view of transformer.

え板の上にはさみ木を介して直接積み上げられる。鉄心を所定の高さだけ積み上げたのち、鉄心上縁とコイルの間にタングウェッジと称するステンレス製のくさびを打ち込んで、コイルを鉄心に強固に支持している。

上記作業後上部タンクを徐々にかぶせて、最後に上部、下部タンクに設けられたフランジの4周をアスペストパンキングを介して溶接する。したがって下部タンクのフランジと上部タンク側板の一部を変形して作った鉄心押え金によって強固に締め付けられることになる。なお鉄心と上部タンクの間にはブレースと称する木製のくさびがそう入されており、変圧器本体を横倒しにした場合変圧器中身は上記ブレースを介して上部タンク側板にかかることになる。

タンク強度を考える場合、荷重として上記中身重量のほかに、振動による加速度、さらに完全密封であるので変圧器温度上昇による内部圧力上昇の荷重をすべて考慮しても、前述の溶接構造のみで十分安全側であるが、電車用でしかも床下つり上げ設置という条件から、タンク側面に連結ビームを設けて上部および下部タンクと一体になるように溶接し、安全度をさらに高めるように考慮されている。

コンサーベータは車両用として与えられた空間を最大限に利用するため上部タンクに直接取付けられ、この部分は車体床下のはりの間にそう入されるようになっている。また変圧器高さを有効に利用するためと、重量軽減のためにコンサーベータの底板は上部タンクの側板と共に用されている。

コンサーベータ容積は-35°Cから油の使用最高温度に若干の余裕をみた値で決定されている。

図2.3は冷却油の循環系統を示すものであるが、変圧器および平滑リクトル内部で発生した熱は冷却油によって運び出され、冷却器によって強制空冷される。外鉄形フォームフィット変圧器はタンクと鉄心間のスペースがきわめて小さく、絶縁油は大部分巻線内部をとおって冷却作用を行なうので冷却効果がよく、とくに強制油循環の送油式にはきわめて有利である。

5.3 主変圧整流装置としての構造

図5.5に主変圧整流装置の外形図を示す。冷却油の循環系統は図2.3に示すとおり、シリコン整流装置と変圧器関係の油は別系統になっている。主変圧器から流出した冷却油は油ポンプにはいり、平滑リクトルに送りこまれる。この過程において熱せられた油は変圧器用冷却器に流入して冷却され、ふたたび変圧器に帰る。一方シリコン整流装置の冷却油はシリコン整流装置から油ポンプを経て、整流

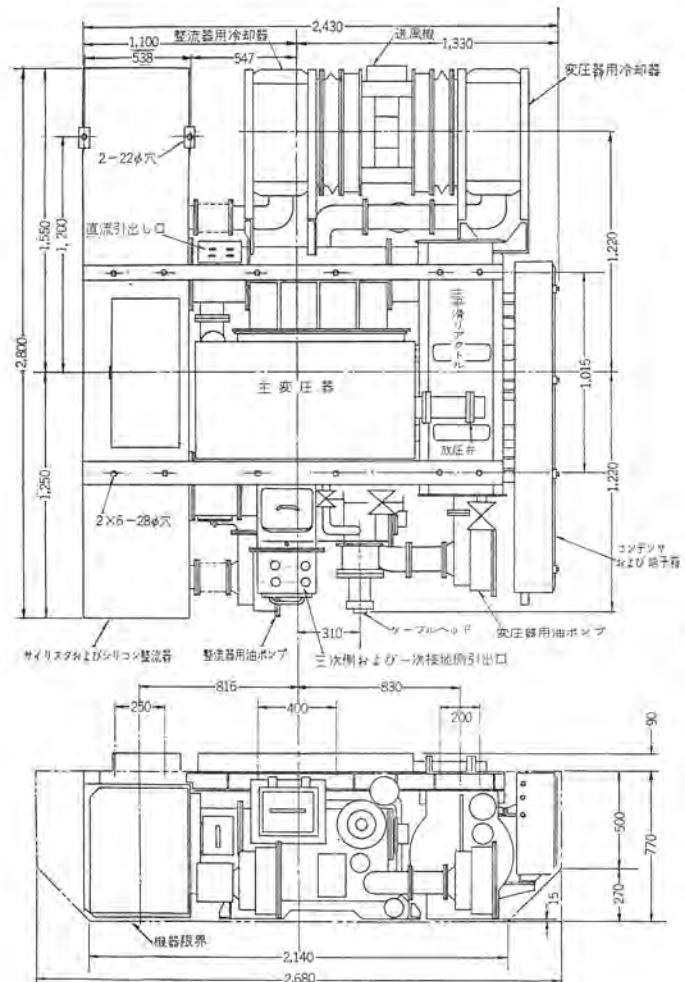


図 5.5 主変圧整流装置外形
Outline of Main transformer-rectifier.

器用冷却器にはいり、冷却された油がふたたび整流装置に帰るようになっている。変圧器用冷却器および整流器用冷却器はこの中間に配置された強力な送風器によって共通に冷却される。また整流器側および変圧器側の油配管の途中にはそれぞれ油流遮断器が取付けられており、万一の油流停止事故に際しての保護がなされている。

一次側線路端はケーブルヘッドによって接続され、接地端子は三次側端子と同一箇所に引き出されているが、二次側端子は変圧器側面に引き出され、整流装置箱の側面に引き出された整流器端子と密閉気中ダクト内で接続されている。整流装置を出た直流のプラス端子は変圧器内部をとおってその側面に設けられた平滑リクトルの端子に接続される。平滑リクトルのもう一方の端子もこれと同一箇所まで導びかれており、整流装置から引き出されている直流マイナス端子と一対で直流端子を形成している。これら端子の接続はすべて同一の密閉気中接続箱内で行なわれる。したがってこの装置では図5.1に示す主回路結線がすべてなされており、車体取付時のぎ装は非常に簡単になるばかりでなく、これら接続がすべて油中あるいは密閉接続箱内にて行なわれているので、雨雪、じんあいなどに対する害から免れることができる。

6. 主要付属品

6.1 冷却器

整流器側冷却器および変圧器側冷却器とともにTM10形変圧器、TM12形変圧器などでも使用して好評を得ている、軽量でしかも冷却性能のすぐれたアルミハイフィン管を使用した冷却器を採用してい

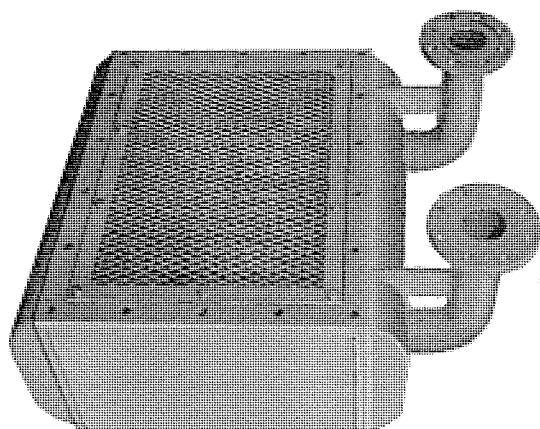


図 6.1 冷却器 Oil cooler.

表 6.1 冷却器性能
Cooler performance.

		絶流器側	変圧器側
熱交換量	kW	12	44
空気側	風量 m ³ /min	90	90
	入口温度 °C	40	47 (基準 32)
油側	循環油量 m ³ /min	0.4	0.7
	入口温度 °C	55	80
圧力損失	空気側 mmAg	35	35
	油側 min oil	2	6

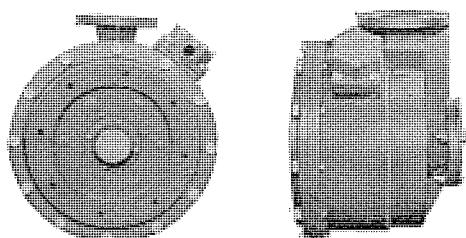


図 6.2 電動油ポンプ Oil pump.

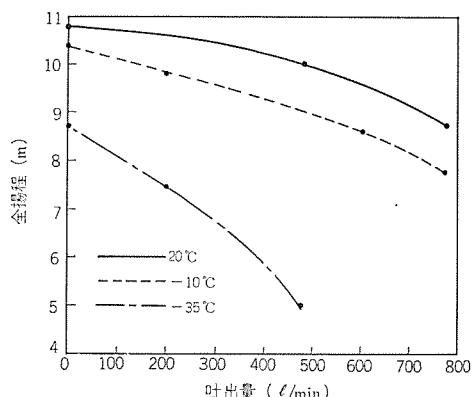


図 6.3 ポンプ特性 Characteristics of oil pump.

る。図 6.1 は冷却器の外観である。それぞれの冷却器性能は表 6.1 のとおりである。

6.2 電動油ポンプ

電動油ポンプは電動機とポンプが一体となって同一ケーシング内に納められ、全閉形となっているものを使用しており、軸部やその他の部分からの油もれの心配がない構造となっている。

この油ポンプは 50 c/s, 60 c/s の共用油ポンプであり、さらに 50

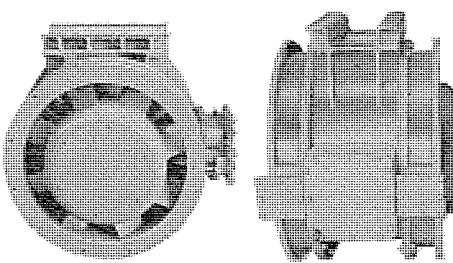


図 6.4 電動送風機
Electric blower with heater.

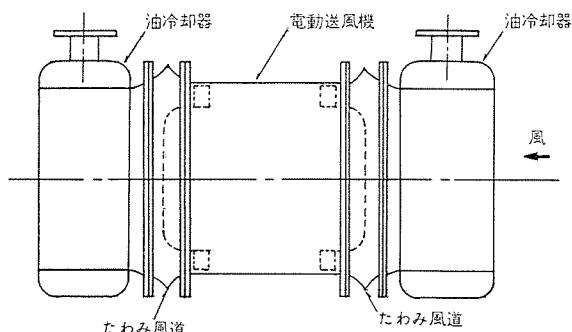


図 6.5 冷却装置配置
Arrangement of cooling equipment.

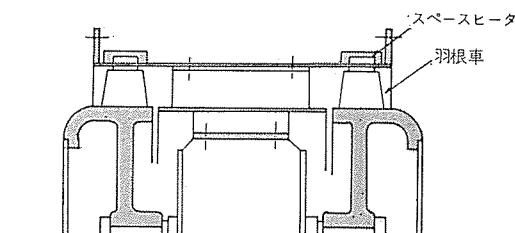


図 6.6 電動送風機構造
Blower construction.

c/s 時は不燃性油 kc 1100 を使用して、-35°Cにおいて 200 l/min 前後の流量を確保する必要があり、重量・寸法はかなり増大することになるが、従来铸物性であったポンケーシングなどを鉄板溶接構造に変更、さらにアクシャルエアギャップモータの採用などによりかなり軽減されている。

図 6.2 に電動油ポンプの外観を示す。仕様は下記のとおりであるが、とくに温度変化による Q-H 特性を図 6.3 に示す。

仕 様 単相 50/60 c/s, 200/220 V, 4/5 kW

50 c/s 時 全揚程 8.0 m (使用液柱) 吐出量 700 l/min
使用液 kc 1100

6.3 電動送風機

電動送風機は 2 段軸流形である。図 6.4 に電動送風機の外観を示す。

電動送風機の凍結防止策としては、雪および水分を送風機内に侵入、残留させないことが最も効果的であり、図 6.5 は凍結防止を考慮した冷却装置の配置である。送風機は分割された冷却器の間に配置され、冷却器に侵入した雪は送風機前面の冷却器で溶解され、一部は冷却器に堆積されて、送風機に到達する雪は非常に少なくなる。また送風機に流入する空気は冷却器で暖められるため、送風機に侵入した雪は溶解され、冷却装置を傾斜させることにより (約 1.5°), 溶解された水はすみやかに外部へ流出される。しかし送風機内への雪の侵入を皆無にすることは不可能であり、万一凍結した際

にそなえて送風機自身に溶解装置を設けておくことが必要である。

図 6.6 は送風機の羽根車に対向するケーシング周囲にスペースヒータを設けた構造を示す。

仕様は次のとおりである。

単相 50/60 c/s, 200/220 V, 2.2 kW

風圧 65 mm 風量 90 m³/min

ヒータ 5 kW × 2 個

6.4 保護继電器類

主変圧器の保護のために図 6.7 および図 6.8 に示すような油流继電器および温度继電器が変圧器に取付けられている。従来この種のものは、指針を有する直視形のメータにマイクロスイッチあるいは接点を内蔵したものが使用されていたが、吸湿に対して考慮されていないため、厳寒地においては接点の凍結の可能性があり好ましくない。TM 13 形主変圧器に使用されているこれら继電器は警報接点の凍結防止を主体に開発されたものであるが、さらに電車用で床下に設置されるため、冬期の融雪、除雪作業なども考慮して、直視形をやめて単に警報接点のみとされている。

油流继電器は接点にリードスイッチが用いられており、この取付け台の角度によって警報設定値が調節できる。

また温度继電器は接点としてマイクロスイッチが用いられているが、凍結防止の目的でケースを密閉構造とし、内部に吸湿剤を封入している。



図 6.7 油流继電器 Oil-flow relay.



図 6.8 温度继電器 Thermal relay.

7. 主平滑リアクトル

主変圧器には図 7.1 に示すような主平滑リアクトルが内蔵されているが、仕様は次のとおりである。

方 式 内鉄形 主変圧器に内蔵

冷却方式 送油風冷式

定 格 インダクタンス mH 2 以上 (1,100 A 時)
1.25 以上 (2,400 A 時)

電 流 A 1,100

回路電圧 V 直流 657 (20 kV 受電時)

周 波 数 c/s 2 × 50/2 × 60

脈流率 % 30 (1,100 A 時)

規 格 JRS (SE 319, SE 227 A)

鉄心入り直流リアクトルは、一般に負荷電圧が大きくなると鉄心の



図 7.1 平滑リアクトル
Smoothing reactor.

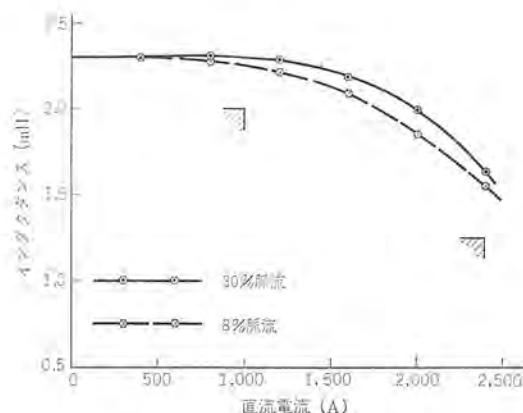


図 7.2 電流一インダクタンス特性
Current-inductance characteristics.

飽和現象により、空心インダクタンスに近くなりインダクタンスが低下する。したがって、このような仕様の場合には空心時でも適当なリアクタンスが確保できるようにしておけばむだな設計をしなくてすむ。

この平滑リアクトルは中央脚にコイルを有する脚鉄心構造が採用され空げきは中央脚に設けられ、各鉄心ブロックおよび絶縁板は騒音防止の目的から接着剤によって固定せられている。

図 7.2 はインダクタンスの実測値を示したものである。

8. 試験結果

試験は JNR 規格にしたがって行なわれたが、十分規格を満足している。おもな試験結果のみを示す。

8.1 変圧器特性

定格電圧、定格容量における特性は次のとおりである。

無負荷損失 860 W

負荷損失 30,649 W

リアクトル損失 12,000 W (計算値)

全損失 43,509 W

励磁電流 0.575 %

二次側換算リアクタンス

$(U-V)/(u_1-v_1)$ 0.0221 Ω

$(U-V)/(u_2-v_2)$ 0.0218 Ω

$(U-V)/(u_1-v_2)$ 0.0637 Ω

二次側換算実効抵抗 (75°C 換算)

$(U-V)/(u_1-v_1)$	0.00884 Ω
$(U-V)/(u_2-v_2)$	0.00883 Ω
$(U-V)/(u_1-v_2)$	0.0229 Ω

8.2 温度上昇試験

温度上昇試験の結果は次のとおりである。

油温度上昇

一次巻線温度上昇	38 deg
二次巻線温度上昇	55.6 deg
三次巻線温度上昇 (60 kVA)	67 deg
三次巻線温度上昇 (冬期定格)	58.7 deg
平滑 リアクトル巻線温度上昇	
定格脈流率にて	67.5 deg
微小脈流率にて	65.5 deg

9. む す び

以上耐寒耐雪構造を重点におき、最初の北海道向け 711 系電車用 TM 13 形主変圧器（主変圧整流装置）について概要を述べた。この変圧器は従来の変圧器に比べれば相当ざん新な設計がなされている。たとえば、寒冷地用不燃性油の開発、耐寒構造保護器の開発、平滑 リアクトルの内蔵、共通冷却扇によるシリコン整流器との共通冷却、さらに主回路機器の一体構造などがそれである。とくに送風機の凍結問題に関しては昭和 41 年 1 月 30 日から 1 週間にわたって現地旭川において各種の試験が行なわれた。

北海道の交流電化の夢は大きく、今後の発展が期待されるが、本変圧器がこれとほぼ同時期に納入された ED 75501 号交流機関車用 TM 12 形主変圧器とともに、今後の量産とあいまって、北海道交流電化の一環として貢献できることは、われわれの喜びとするところである。

終わりに本変圧器製作の機会と、絶えず種々有益なご助言と便宜を与えていただいた国鉄の関係者のかたがたに紙上を借りて厚くお礼を申し述べる。

また協同設計会議の席上、終始熱心にご討議いただいた日立、東芝の技術者のかたがたにも感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 水野：鉄道電化設備、電気鉄道、7, No. 20, 10~18(昭 41)
- (2) 南角他：最近の車両用変圧器、三菱電機技報、39, No. 12, 117~126 (昭 40)
- (3) 三橋他：国鉄向け サイリスタ制御 ED 75501 号交流電気機関車、三菱電機技報、41, No. 2, 281~292 (昭 42)
- (4) 理科年表 昭和 36 年
- (5) 小林他：電気化学用大電流 レクチフォーマ、三菱電機技報、39, No. 5, 20~28 (昭 40)
- (6) 南角他：車両用変圧器、電気公論、41, No. 9, 47~58(昭 40)
- (7) 南角他：最近の車両用変圧器の諸問題、三菱電機技報、41, No. 2, 293~301 (昭 42)

KW-級 パルス 進行 波 管

建石 昌彦*・橋本 勉*・竹延 真哉*・武田 文雄*・岩越 和太*

KW-Level Pulsed Traveling Wave Tubes

Central Research Laboratory

Masahiko TATEISHI・Tsutomu HASHIMOTO・Masaya TAKENOB
Fumio TAKEDA・Kazuhiro IWAKOSHI

As the power tube in the linear accelerator, a high power pulsed klystron has been used in general. But as its driving tube, a klystron, a planar tube or a traveling wave tube has been used. They have respectively merits and demerits. Nevertheless, the traveling wave tube is unparalleled in the point of easy handling. On the part of Mitsubishi study has been made to develop helix type traveling tubes that have much wider frequency band than the klystron and planar tube and are well adaptable to our purposes with the features of other tubes retained.

The article describes the design and characteristics of the pulsed traveling wave tube with a power output of 1 kW but one having a 3 kW power output is completed, too.

1. まえがき

加速器の最終出力管としては、一般に大電力パルスクライストロンが使用されているが、この前段用としては、クライストロン板極管および進行波管等が用いられている。そして、おののの管種には一長一短があるが、小形で取扱いが容易であるという点では、進行波管がすぐれている。われわれは、これらの点とともに、さらに他の用途へのん用性という点で、クライストロン、板極管よりも周波数帯域の非常に広いヘリックス形の進行波管の開発を進めていたが、今度開発を完了したので報告する。

なお、本文では出力1 kW のものに限定しているが、現在出力3 kW のパルス進行波管も完成している。

2. 概要

このパルス進行波管の特長は、次の各点である。

(1) 周波数帯域が非常に広い。

測定器の関係で、特性の測定は不十分であるが、だいたい 2 Gc ~4 Gc の 1 オクターブに及ぶ周波数帯域を有する。

(2) 機械的強度が大である。

管球は、金属とセラミックからなる構造を有するため、従来の外周器がガラスの管球にくらべて、強度は大である。

(3) 小形で取扱いが非常に簡単である。

電子ビームの集束には、永久周期磁石 (P. P. M.) が使用されてい

表 2. 1 T. W. T.-3 W 100 の仕様
Specification of T. W. T.-3 W 100.

周 波 数	2.7~3.3 Gc
陰極電圧 (せんこうしょく)	-7.5 kV
陰極電流 (せんこうじゆ)	1.3 A
パービアンス	2×10^{-6} A/V ^{3/2}
高周波出力 (最小せんこうしょく)	1 kW
小信号利得 (最小)	35 dB
飽和利得 (最小)	30 dB
Duty	1 %
ビームの集束	P. P. M. (永久周期磁石)

るので、小形である。また、高周波電力の入出力は、直接結合方式で、ヘリックスと同軸内部導体が直結しているから特性が良好で、かつ、取扱いが簡単である。表 2. 1 に、本文で説明するパルス進行波管 (3 W 100) の仕様を示す。

3. 電子銃⁽¹⁾

電子銃は変形 Pierce 形で、設計においては次の点に留意した。

(1) 所要のパービアンスが得られること。

(2) 長寿命のため、陰極放射電流密度が均一であること。

(3) 所要のビーム径で、ラミナー性が良好なこと。

しかし、従来の設計理論をもってしては、これらのすべてを満足させることは容易なことではない。とくに高パービアンス電子銃の場合には不可能に近い。

この解決策として、(1)の所要パービアンスと(2)の陰極放射電流密度の均一化は陰極面での電界分布 (Laplace 解) を Picquendar-Cahen の理論⁽²⁾から与えられる所要値を満足させることにより満たし、また、(3)のビーム径とラミナー性は、予想されるビーム線上での電位分布を Langmuir 電位に一致させることと、間接的には、(2)を満足させることにより、良い特性が得られることを期待することにした。

所要ビーム径や陰極許容電流密度等を考慮して、Pierce の電子銃理論⁽³⁾から求めた電子銃定数は

集束半角 (θ_0) 28°30'

曲率半径比 (\bar{r}_c/\bar{r}_a) 2.1

一方、Picquendar 等の理論より与えられる所要パービアンスを満足し、かつ、陰極放射電流密度分布が均一になるための必要条件は、陰極中心での電界 E_0 と陰極面電界分布がそれぞれ次式を満足することである。

$$E_0 = \frac{3050}{r_c} \left[\frac{I}{C(\theta_0) \cdot T(\theta_0, \bar{r}_c/\bar{r}_a)} \right]^{2/3} \quad (3.1)$$

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\sin \theta/2}{\sin \theta_0/2} \right)^{1/3} \left[\frac{J(\theta, \bar{r}_c/\bar{r}_a)}{J(\theta_0, \bar{r}_c/\bar{r}_a)} \right] d\theta \quad (3.2)$$

ここで、 I ：陰極放射電流、 r_c ：陰極半径

C, T, J および E/E_0 は θ_0 および \bar{r}_c/\bar{r}_a の関数で Picquendar 等

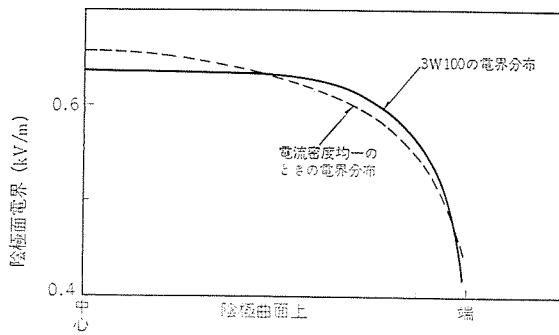


図 3.1 陰極面上の電界分布
Electric field distribution on the cathode surface.

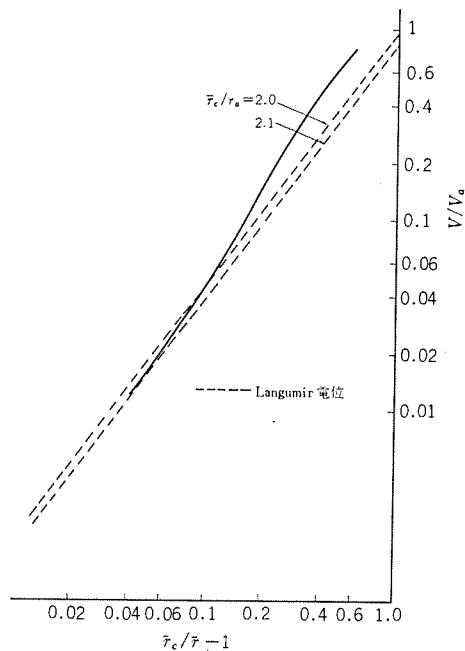


図 3.2 電子銃のビーム縁での電位分布
Potential distribution on the beam edge in electron gun.

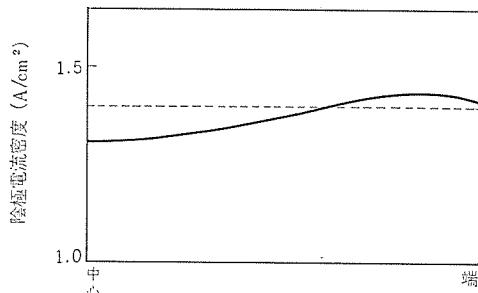


図 3.3 陰極放射電流密度
Cathode emission current density.

により図示されている。

これらの式に、前記の値を代入して求めた結果を図 3.1 に点線で示す。この電界分布を陰極面で満足し、予想されるビーム縁上の電位分布が Langmuir 電位に一致するような電極形状をデジタル計算機を使って求めた。このようにして得た電子銃の特性を抵抗回路網を使って解析した結果は、ビームのラミナー性の点で多少不十分であったが、他はほぼ期待どおりのものが得られた。ラミナー性については陰極曲率半径を変えることによって改善することができた。

最終的な電極形状での陰極面電界分布、およびビーム縁上の電位分布を図 3.1 と図 3.2 に示す。また陰極面電界分布から求めた陰極放射電流密度分布を図 3.3 に示す。

4. 回路設計

4.1 ヘリックス寸法

進行波管の能率に関しては、 $C=0.14$ までは C に比例することが証明されている。そして、この場合次の関係式が成立する⁽⁴⁾。

$$P = k_0 \theta C P_0 \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

ここで P : 高周波出力

P_0 : 直流入力

k_0 : 無損失時の能率係数で、この場合 $k_0=2$ 程度である。

C : 利得 パラメータ

θ : Cutler によって実験的に与えられたもの⁽⁵⁾で、

図 4.5 に与えられている。

$-10 \log \theta = 3$ (dB) と選ぶと、式 (4.1) は、

$$P = C P_0 \quad \dots \dots \dots \quad (4.2)$$

となり、 C が能率を表わすことになる。

表 2.1 に示した特性をうるためには、 $P_0=1.5$ kW とすると、 $C \geq 0.154$ となる必要がある。

C は次のように与えられる⁽⁶⁾。

$$C^3 = 126.4 \left(\frac{k}{\gamma} K_s \right) F (1 + bc) P_v \quad \dots \dots \dots \quad (4.3)$$

ここで、 $k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$

ω : 角周波数

μ_0 : 真空中の透磁率

ϵ_0 : 真空中の誘電率

F : 結合インピーダンスの低減係数

K_s : シースヘリックスの結合インピーダンス

γ : 径方向伝ば定数

b : 速度 パラメーター

P_v : パービアンス

したがって、 $K_s k / \gamma \geq 24$ 、Fletcher のグラフから $\gamma a \leq 1.05$ 。設計基準としては、次のように選んだ。

周波数 (f) 3,000 Mc

(γa) 1.0

ヘリックスの支持は、図 4.1 に示すように 3 本の石英棒によって支持することにした。この場合、金属外囲器の径は次の点を考慮して決定した。

(1) 磁界強度

径が小さいほど、大きな磁界発生が容易になる。

(2) 機械的強度

組立時、径が小さいと、ヘリックスのそう入が非常に困難になるとともに、管球の強度は径が大きいほど大である。

(3) 結合インピーダンスへの影響

径が小さくなると、McMurtry⁽⁷⁾が計算しているように、低減係

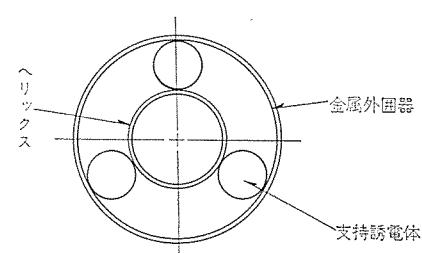


図 4.1 ヘリックス構造
Construction of helix.

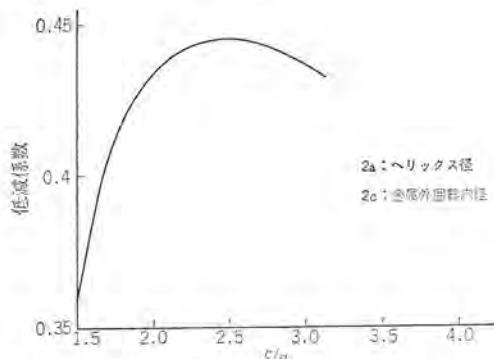


図 4.2 金属外囲器の径に対する結合インピーダンスの低減係数
Reduction factor of coupling impedance as a function of the radius of metal shield.

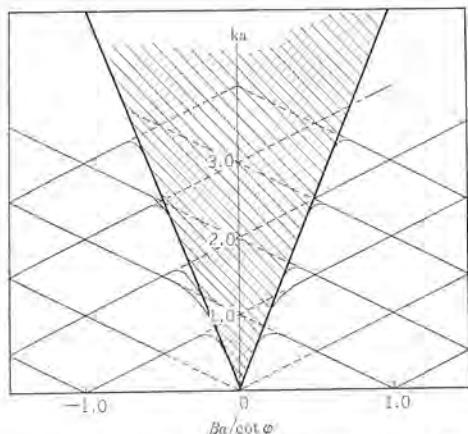


図 4.3 理想 ヘリックスの ω - β 線図 ($\cot \phi = 5$)
 ω - β diagram of sheath helix ($\cot \phi = 5$).

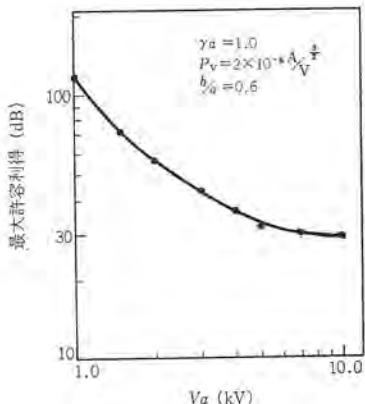


図 4.4 ヘリックス電圧に対する無損失部の最大利得
Maximum gain in no-loss section as a function of helix voltage.

数が小さくなるが、一方支持誘電体の径は小さくなり、低減係数は大きくなる⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

ここでは、(3)の結合インピーダンスの低減係数が妥当な点を見出し、それについて、(1)および(2)の条件を考慮して決定した。

図 4.2 に結合インピーダンスの低減係数 F を金属外囲器の径を変えて示す。ここで、ヘリックスと金属外囲器との間の等価誘電率としては、次の式(4.4)を用いた。

$$2\epsilon_r^* = 1 + (\epsilon^* - 1)P + \left(1 + \left(\frac{1}{\epsilon^*} - 1\right)P\right)^{-1} \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

ここで、 $P = 3(C - a)/4(C + a)$

ϵ^* : 支持誘電体の比誘電率

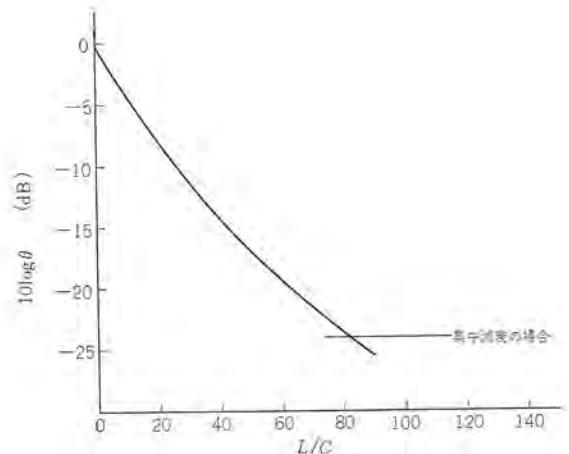


図 4.5 分布回路損失による能率の減少率
Effect of uniform loss on power efficiency.

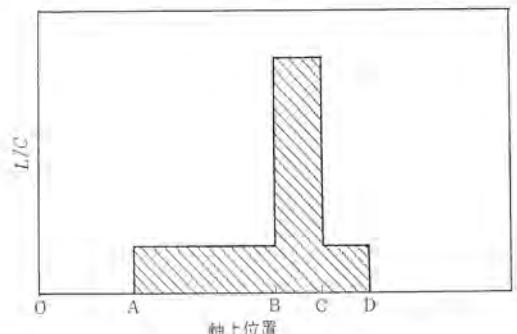


図 4.6 管軸に沿っての損失分布
Loss distributions along the tube axis.

ϵ_r^* : 等価比誘電率

a : ヘリックス半径

C : 金属外囲器の内半径

図 5.4 から、低減係数 F は、非常にゆるやかな極値を示し、 $C/a \geq 1.9$ では高周波特性に対する影響は小さい。

4.2 出力側における無損失部の許容長

進行波管の遅波回路として、広帯域性の点では最良のものと考えられるヘリックスも、高出力管になると問題がある。すなわち、ヘリックス電圧 5 kV 以上における不安定さである⁽¹¹⁾。

ヘリックスの ω - β 線図を図 4.3 に示す。非常に多くの空間高調波を含んでいるが、この中で、とくに重要なのは $n = -1$ 次の空間高調波で後進波と呼ばれるもので、位相速度と群速度が逆方向のため、電子ビームによる本質的フィードバック機構を有する。このために、無損失部分を長くすると、後進波発振を起こし、不安定な動作になる。この現象は、ビーム電圧が高くなるにつれて、ますます顕著になる⁽¹²⁾。

図 4.4 に $\gamma a = 1.0$ 、パービアンス $P_v = 2.0 \times 10^{-6} A/V^{3/2}$ 、ビーム径のヘリックスに対する比 $b/a = 0.6$ の場合の無損失部の最大許容利得を示す。このため、出力部の無損失部における利得は制限され、高利得および高出力のヘリックス型進行波管を作成することが困難になってくる。

次に、出力部における利得に関しては、Cutler の実験⁽¹³⁾があり、彼は最大出力をうるためにには、次の条件が必要であることを述べている。

C を利得 パラメーター、 L を回路波長当たりの減衰量 (dB) として、損失係数 L/C を有する一様な損失部に統いて、少なくとも次式で与えられる小信号利得が必要である。

が、いずれも、ビーム径の細い、かつパービアンスの低いものに限られている。さらに、理論的な取扱いにおいては、磁界は、正弦波的変化をし、磁界せん頭値は一様であると仮定している。

したがって、この場合のように、ビーム径が比較的大く、高パービアンスの場合は非常に問題である。さらに、電子ビームの磁界への入射点付近では、磁界も乱れ、一様な磁界せん頭値をうることは不可能である。したがって、何らかの方法で電子ビームを測定することが必要であった。必要な測定事項は次の各点である。

- (1) ビームの外径
 - (2) ビーム内の電流密度
 - (3) ビームのラミネ性

しかし、これら全部を正確に測定することは非常に困難で、ファラデー・ケージにしても、ビーム径が細いために精度の点で問題になる。ここでは、比較的簡単で、かつ精度という点で問題の少ないアーチャーを移動させて、測定する方法をとった。

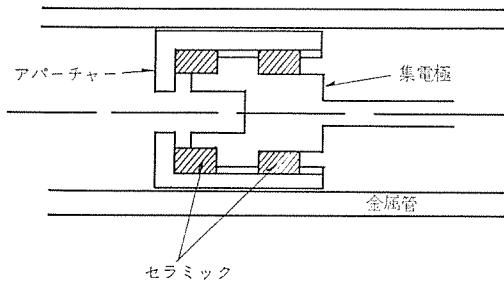


図 6.1 ビームテスト管の可動部
Moving parts of beam test tube.

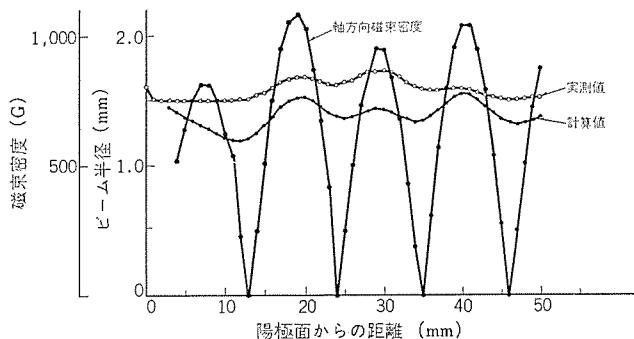


図 6.2 ビーム 径の測定値と計算値の比較
 Comparison between measured value and calculated value of beam radius.

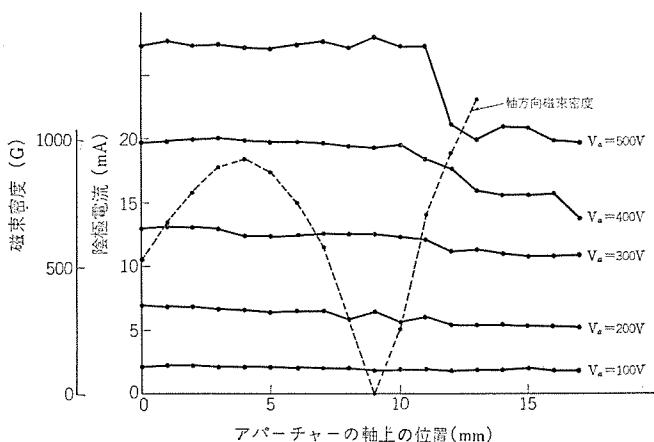


図 6.3 磁気鏡の影響
Influence of magnetic mirror.

図 6.1 に作成した実験管の概略を示す。アーチャーは管に沿って移動し、管と電気的に接続している。アーチャーを透過した電流は、管より絶縁されたコレクタに集められる。

全電流を I_t およびコレクタに達した電流を I_c とすると、ビーム外半径は、ビーム内の電流密度を一様と仮定することにより、

ここで、 d : アパートヤーの半径

図 6.2 に測定値および計算値の一例を示す。横軸にアーチャーの軸上の位置を示す。実線が測定値で、点線が計算値である。図中波形になっているのは、軸方向の磁束密度の測定値である。

計算値と実測値の間に相当の差があるが、これについては、実験におけるビーム内の電流密度が均一の仮定によるものか、または計算値において、軸方向磁束密度のみを考慮したことによる誤差か、目下検討中で後日詳細については報告する。

なお、進行波管の動作とはほとんど関係はないが、上記電子ビームの実験ちゅう、磁気鏡の現象が測定されたので付記する。

P. P. M. では、磁界分布が、ちょうど プラズマ 等に利用されている、磁気鏡が起こるようになっている。このため、低いビーム電圧においては、電子が磁界によってピンチされ、周囲の電界を乱し、電圧-電流特性が乱れる。図 6.3 に測定した磁気鏡の現象の一例を示す。横軸はアーチャーの軸上の位置で、点線は軸方向の磁束密度で、測定は陽極電圧、 $V_a = 100 \text{ V}, 200 \text{ V}, 300 \text{ V}, 400 \text{ V}$ および 500 V について行なった。縦軸はこの場合の全電流の変化を示す。

陽極電圧が、100 V または 200 V 程度の低い場合は、磁界の第 1 の山を透過できないが、300 V～500 V となると、第 1 と第 2 の山の間に電子がピンチされることがわかる。

7. 高周波特性

図 7.1 に、高周波入力に対するパルス出力を示す。

図 7.2 にビーム電圧 7 kV の場合のパルス出力を各周波数に対して示す。

図 7.3 にビーム電圧 7 kV の場合の小信号利得および大信号利得を各周波数に対して示す。

測定装置の関係で十分な測定はできなかったが、2章に示した仕様は十分に満足している。

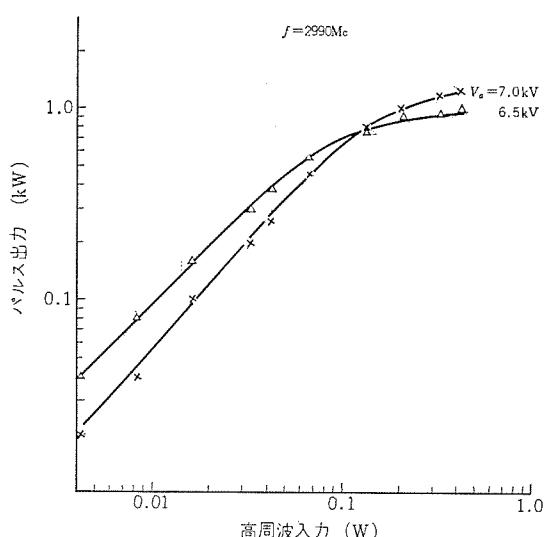


図 7.1 高周波入力に対するパルス出力
Power output vs. power input characteristics.

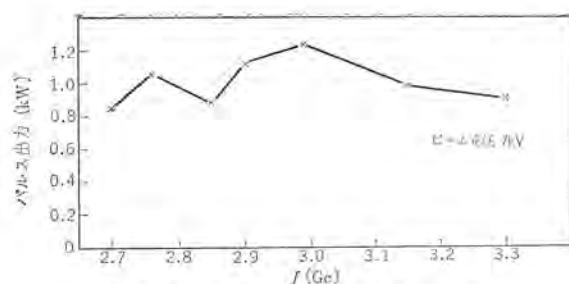


図 7.2 周波数に対するパルス出力
Power output dependence upon frequency.

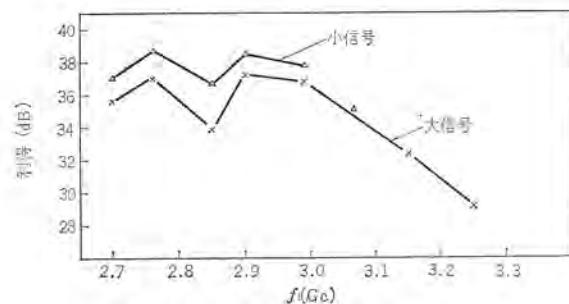


図 7.3 周波数に対する利得
Power gain dependence upon frequency.

8. むすび

当社で開発したパルス進行波管(3W 100)について、設計および特性について、従来報告されているものよりも異なる点に重点をおいて述べた。まだ測定装置の関係で、十分な特性の測定ができていないが、一応、初期の目標に達したと思う。

進行波管開発研究について、ご指導ご支援を賜わった数多くの関係各位に深く感謝いたします。 (昭 42-7-28 受付)

参考文献

- (1) 竹延、建石：ピアース電子銃の陽極孔の補正、電装委資料 (昭 42)
- (2) J. E. Picquendar, O. Cahen : Les Méthodes D'étude Théorique de la Focalisation du Type "O", Rev. Tech.
- C. F. T. H., 32, 8 (1960)
- (3) J. R. Pierce : Theory and Design of Electron Beam, D. Van Nostrand Co. Inc. (1949)
- (4) 小山：進行波管、通研叢書(丸善)
- (5) Cutler : Factors Affecting Traveling Wave Tube Power Capacity, Trans. of I. R. E. PGED-3, 9, June (1953)
- (6) 萩、寺田：進行波管の動作パラメータ、信学誌, 45, 1563 (昭 37)
- (7) B. J. McMurtry : Fundamental Interaction Impedance of a Helix surrounded by a Dielectric and Metal Shield, Trans. of T. R. E., ED-9, 210 (1962)
- (8) P. K. Tien : Traveling Wave Tube Helix Impedance, Proc. of I. R. E., 41, 1617 (1953)
- (9) 西原ほか：有限厚の誘電体で囲まれたら線インピーダンス、マ真委資料 (昭 38)
- (10) 橋本、建石：メタルシールドヘリックスにおける誘電体の影響、電装委資料 (昭 41)
- (11) Chodrow ほか : Cross-Wound Twin Helix for Traveling Wave Tubes, J. A. P., 26, 33 (1955)
- (12) 橋本、建石：(電装委で発表予定)
- (13) Cutler : 前出
- (14) G. Landauer : Die Wendelleitung mit Koaxialer, Zylindrischer Dämpfungsschicht, A. E. Ü., 11, 267 (1957)
- (15) 戸田：進行波管用減衰器、マ真委資料 (昭 35)
- (16) 橋本、武田、建石：カーボンを塗付した3本の誘電体棒で支持したヘリックスの伝ば定数、電装委資料 (昭 42)
- (17) J. R. Pierce : Traveling Wave Tubes, D. Van Nostrand Co. Inc. (1950)
- (18) 萩、寺田：電子ビームの周期微界集束、電装委資料 (昭 40)
- (19) F. Stezer and W. W. Siekanowicz : The Design of Periodic Permanent Magnets for Focusing of Electron Beams, R. C. A. Rev. 18, 39 (1957)
- (20) O. T. Puri : A High-Power Periodically Focused Traveling Wave Tubes, Proc. I. R. E. 46, 441 (1958)

新形中容量 SF_6 ガスしゃ断器

潮 恒郎*・田辺俊雄**

New Intermediate Capacity SF_6 Gas Circuit Breakers

Itami Works Tsunero USHIO・Toshio TANABE

SF_6 gas circuit breakers of intermediate capacities have been completed recently. They operate on, what is called, Puffer system in which a flow of arc-suppressing gas is produced with a piston that starts moving as soon as the contacts are opened. They are simple in construction, and yet have very high interrupting performance, which has successfully met severe conditions of systems and environment of installation, answering also practicability in the service. Following the marked development of a series of large capacity gas circuit breakers, the completion of these intermediate capacity units has drawn been attention of the circles to the SF_6 gas circuit breakers.

1. まえがき

SF_6 ガスのすぐれたしゃ断性能と絶縁耐力を利用したガスしゃ断器は、わが国でも実用段階に入り、昭和40年夏にその一号機が運転開始されて以来、その優秀性が各方面において認識され急速に運転台数が増加してきている。

これらは短絡電流 50 kA 以上をしゃ断し、1 しゃ断点で 84 kV 以上の定格電圧を持つ最大容量のしゃ断器であり、さらに近距離線路故障や異相地絡、脱調しゃ断等の非常に過酷な再起電圧条件に対しても十分な性能を有するものである。 SF_6 ガスの吹付けは、いわゆる常時充気式であって高圧ガスを低圧空間に放出する二重ガス圧方式を採用し、操作には油圧操作機構を採用したもので、72 kV から 500 kV におよぶ各電圧に対してユニット化されたシリーズが完成している⁽¹⁾。

当社ではこの大容量しゃ断器の完成と前後して、しゃ断電流約 30 kA の中容量級のしゃ断器に関して、 SF_6 ガスの優秀な特性を利用することを検討していたが、構造が簡単なパッファ方式によって、十分なしゃ断性能を発揮するしゃ断器を開発し⁽²⁾、この度製品化することに成功した。

これは中容量級とはいえ、4 気圧の単一ガス圧による 1 しゃ断点で、84 kV, 3,500 MVA のしゃ断性能を有し、再起電圧は、JEC-145 の II 号はむろんのこと、近距離線路故障のしゃ断等も全然問題ないなど、きわめてすぐれたしゃ断性能を持つものである。

操作機構には、当社のすべての油しゃ断器で標準品として使用している圧縮空気操作機構を採用しているので、操作音も小さく油しゃ断器と同等程度であり、小形軽量・無火災などの特長とあいまって、都心環境条件にも十分適合するものとして高く評価されている。

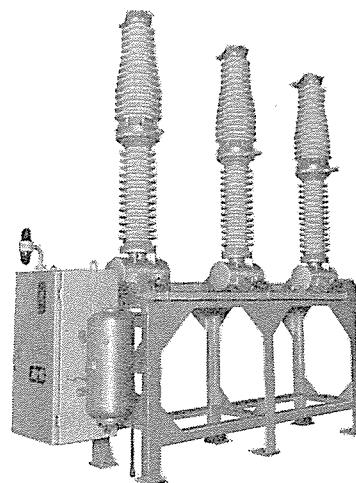
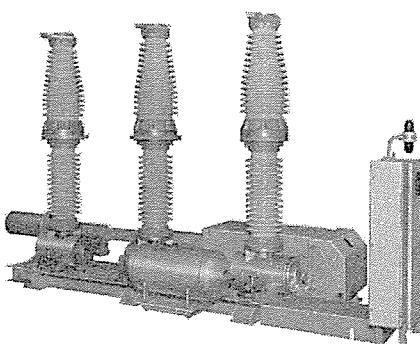
また、60, 70 kV 級の開閉設備が地下や屋内に設置される近年の傾向に呼応して、架台上にしゃ断部を取付けた屋外用と、直接床面に取付ける屋内用との二つの標準を製品化し、昭和42年7月、各電力会社の形式試験を好評のうちに終了したので、ここにその構造・性能などについて紹介する。

2. 定 格

定格事項を表 2.1 に示し、屋外用・屋内用の外形写真を図 2.1、図 2.2 に、またそれぞれの外形寸法を図 2.3、図 2.4 に示す。

表 2.1 定格事項
Rating items.

形 名	70 SFL 350	
定格電圧 kV	72	84
定格電流 A	1200	2000 3000
定格しゃ断容量 MVA		3500
定格再起電圧		JEC-145 II 号
定格投入電流 kA	76.5	65.5
定格短時間電流 kA	28.1	24.1
定格しゃ断時間 c/s	5	
定格操作圧力 (空気)	15 気圧	
定格ガス圧	4 気圧	
標準動作責務	O-(1分)-CO(3分)CO	
絶縁階級 (号)	60	70

図 2.1 屋外用外形写真
Exterior view of outdoor unit.図 2.2 屋内用外形写真
Exterior view of indoor unit.

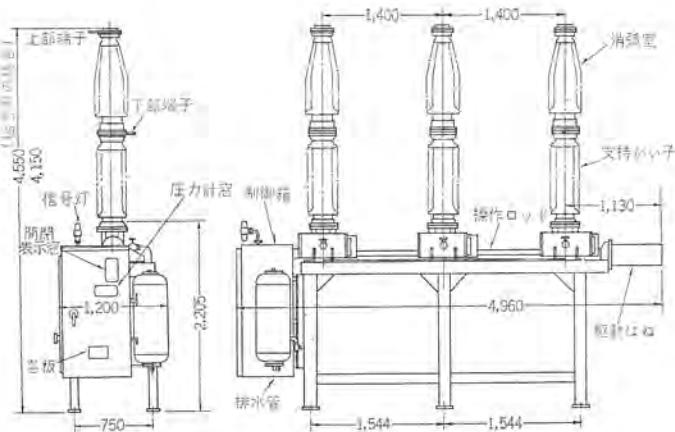


図 2.3 屋外用外形図
Outline dimensions of outdoor unit.

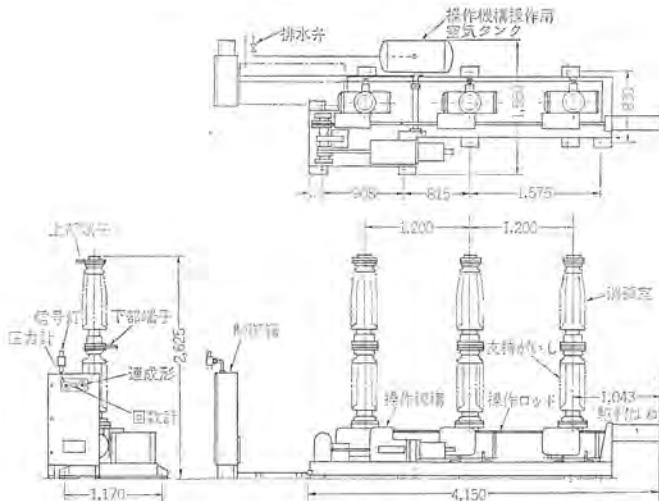


図 2.4 屋内用外形図
Outline dimensions of indoor unit.

3. 構造および動作

3.1 消弧部

図 3.1 にその投入状態の、また図 3.2 に引はずし状態の断面を示す。

SF₆ガスは図示の空間全体に封入されていて、各相のガスは、その下部タンクに接続されている配管によって連絡されている。

上端子板に固定コンタクトが取付けられていて、その先端発弧部は取はずし可能な構造となっている。

可動コンタクトはフインガ方式によって固定コンタクトの外周と接触していて、ピストンシリンダと固定されているので支持がい管内部にある絶縁操作棒を介して駆動力が伝達されると、シリンダ部と一体となって運動する。このシリンダの外周に固定部と連結するフインガ方式のしゃう動部があって、下部端子に電気接続を行なっている。また絶縁ノズルが発弧部を囲んでシリンダに取付けられており、SF₆ガスの流れのガイドになっている。

しゃ断の際には外部にあるばねによって可動コンタクトとピストンシリンダが同時に引下げられて、図中の空間A内のSF₆ガスがノズルを通して発弧点に吹付けられてアーカーを吹消す。可動コンタクトの中央にアーカーホーンがあり、これにアーカーが移るので主コンタクトの消耗はほとんどない。しゃ断後可動コンタクトは図 3.2 のように下部に引留められ極間の耐圧を保つ。

このように引はずしの際に、可動部分は全ストロークまで一気に動

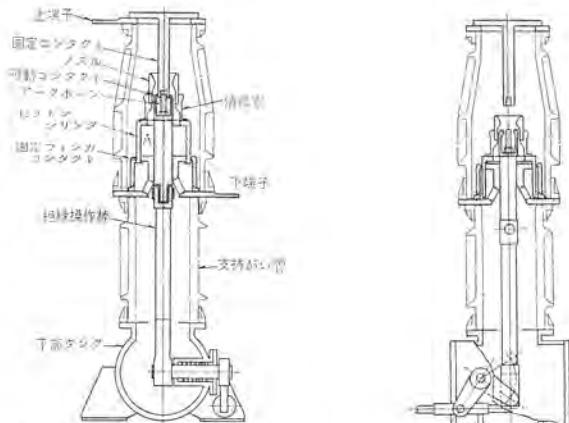


図 3.1 しゃ断部断面(投入状態)
Cross section of interrupter (closed state).

図 3.2 しゃ断部断面(開極状態)
Cross section of interrupter (tripped state).

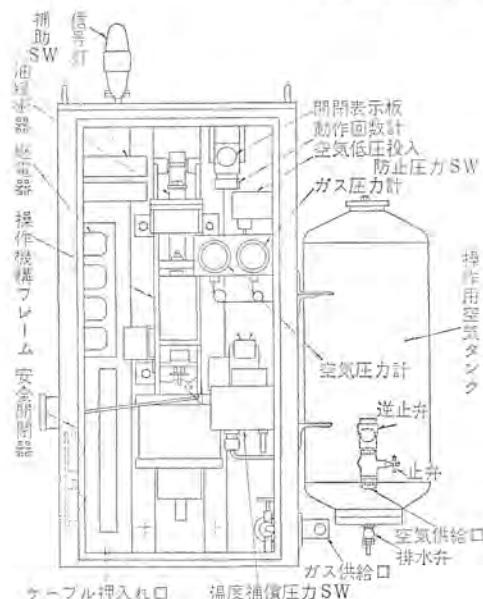


図 3.3 操作箱
Operation cabinet.

く単純動作であって、しゃ断に適当な位置でいったん止まり、電流しゃ断後再び断路距離まで開離するといふいわゆる二段モーションは行なわないし、十分のしゃ断能力があるのでいかなるしゃ断条件においても、極間に抵抗を並列にそう入して再起電圧の抑制を行なう必要もないので、動作はきわめて簡単であり、構造上も非常に簡単に吹付弁などもなく、高い信頼性を持っているものである。

投入の際には外部にある圧縮空気操作機構により可動コンタクトは上方に駆動され、固定コンタクトと係合し、周囲のSF₆ガスが空間Aに流入して投入を完了する。

このように、引はずしおよび投入の駆動力源は大気空間に設置されているので、下部タンク部において回転軸を介してその周囲で気密を保ち、SF₆ガス空間への駆動力の伝達を行なっている。

3.2 操作部

3.2.1 屋外用

図 2.3 に示すように、架台の右側に駆動ばねがあり、引きはずし時には水平操作ロッドをこれによって右側に駆動してしゃ断部を引きはずす。水平ロッドの左端には圧縮空気操作機構が連結されていて、投入の際には15気圧の圧縮空気によって水平ロッドを左側に動かしてしゃ断部を投入する。この操作機構のわく体の上に、引き

はずし時の衝撃を緩和するための油緩衝装置が取付けてある。

操作箱の中には図3.3に示すように、圧縮空気操作機構のほかに、補助回転スイッチ、ガスおよび空気の圧力計、圧力スイッチなどが収納されており、その外側には投入用の空気タンクが取付けてある。

3.2.2 屋内用

図2.4に示すように、駆動ばねの位置は屋外用の場合と同様であるが、投入用の圧縮空気操作機構は水平に設置され、水平操作棒との間は回転軸で連結されている。この回転軸の中央には引きはずし用の緩衝装置があり、また投入用の空気タンクは操作機構の反対側に置かれている。本体と離れた位置に制御箱がおかれて、この内部に指示計器類、制御器類が収納されており、手動引きはずしもこの制御箱から行なえる。またこの制御箱は図2.4の位置に限定されているわけではなくて、設置場所の制約条件に適合するようにしゃ断器本体に対して任意の位置に設置できる。

3.2.3 AL形圧縮空気操作機構

このしゃ断器の操作機構は、当社のすべての油しゃ断器に標準として用いられているAL形圧縮空気操作機構であって、長年にわたる多数の実績によってその優秀性が高く評価されているものである。操作機構部分を図3.4、図3.5に示す。

ピストン棒は、フレームの内にある端金具につながっていて、端金具には2本のピンAとEがあり、ピンAは投入リンクと端金具をつないでいるとともに、その両端にローラを付け、これがフレームの案内の中を動くようになっている。投入リンクの他端のピンCは、スラストリンクと中間リンクとを投入リンクにつなぎ、前者はピンBを経て操作棒の端金具と連結され、後者はピンDによって引きはずし自由レバーにつながっていて、ピンBの両端は、ピンAと同じようにローラが付けられ同じ案内の中を垂直に運動する。

引きはずし自由レバーは、フレームに固定した軸の回りに回転でき、一方の端にあるローラがトリガとかかるようになっている。投入位置で、このトリガがローラを抑え、保持掛け金がピストン棒の端金具の

ピンEにかかれば、しゃ断器は機械的に投入位置に保持される。

引きはずし動作を行なうには、引きはずしコイルの動作でトリガがたたかれ、引きはずし自由レバーのローラからはずれると、引きはずし自由レバーは自由に回転でき、しゃ断器のばねの力で図3.5(a)の位置すなわち引きはずし自由位置に動き、操作ピストンの位置と関係なくしゃ断動作ができる、操作シリンダに高圧空気があっても完全にしゃ断できる。この位置で投入リンクは、ピンAを中心とし時計方向に回転するから、このリンクの一部に付けられたキッカが保持掛けがねの先端に当たり、ばねに逆らってこれピンEをからはずす。

シリンダ内に高圧空気がないときは、この動作でピストンは下部の復帰ばねによって押し上げられ、図3.4(b)に示す全開位置に達し、このときレバー系は、再び引きはずし自由レバーを回転させローラとトリガがかかるようにする。この位置から高圧空気がシリンダ内に送られると、引きはずし自由レバーが固定されているので、ピンBとピンAは3個のリンクを経て機械的に連結され、ピストンはしゃ断器を投入し投入の最後で、ピンEは保持掛けがねにかかり、全体は機械的に保持される。

AL機構のピストン上面への圧縮空気を制御する制御弁部分を図3.6に示す。

投入指令により電磁弁が励磁されると、上弁と下弁が下方に動き下弁から圧縮空気が小ピストンおよび排気弁の上面に送られて、主弁が開き排気弁が閉るので、空気は主弁を通してシリンダに入り、これによってピストンが下に移動してコンタクトを投入する。投入の完了により電磁弁の励磁が切れると、上弁と下弁が元に復帰するので小ピストンと排気弁の上面から空気が排出されるので主弁は復帰し、主ピストン上面の空気も排気弁を通して外部に排出される。

3.3 ガス密度制御

SF₆ガスは、4.5気圧(20°C)に封じ切りされているので、温度の変化によって圧力は図3.7に示すように変化するが、このしゃ断器で斜線の範囲を使用する。万一外部にガスが漏れた場合には、約

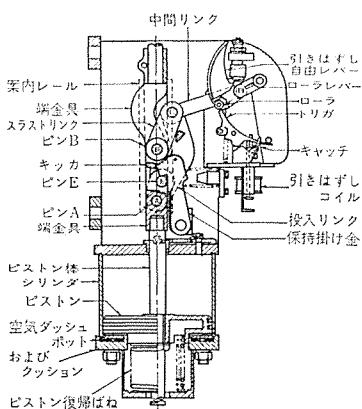
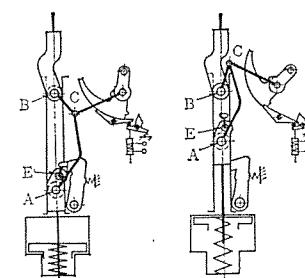


図3.4 操作機構
Operating mechanism.



(a) 引きはずし自由位置 (b) 全開位置

図3.5 操作機構
Operating mechanism.

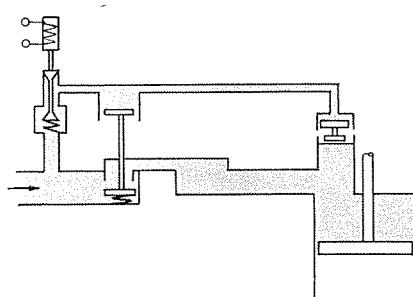
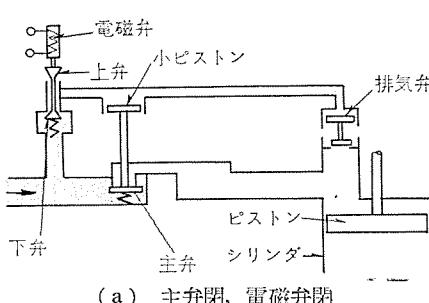


図3.6 制御弁
Control valve.

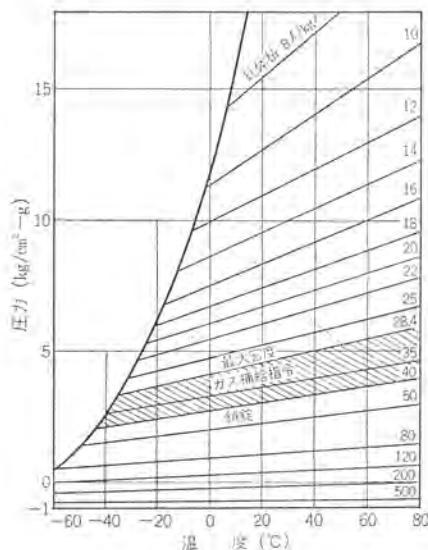


図 3.7 SF_6 ガスの圧力-温度特性
Pressure-temperature characteristics of SF_6 gas.

1気圧 ガス圧が下がったときに、ガス補給指令回路がセットされるが、普通ガス漏れは非常に緩慢なので、ガス補給は、指令後長時間経過してから行なわれてもなんら支障ない。急激なガスの放出、またはガス補給が非常に遅れた場合は、約3気圧(20°C)になった所で鎖錠回路がセットされる。この圧力スイッチは、温度によってその設定値が図 3.7 のガスの性質と同様に変化するように、温度補償されたものを使用している。

なお、 SF_6 ガスは、低い密度で使用しているので寒冷時にも液化しない。

表 4.1 溫度上昇試験結果
Result of temperature rise test.

通電電流 2,000 A		周波数 60 サイクル	
測定器	熱電対自動記録温度計	接続導体	13×75mm ²
1	54	32	55
2	52	30	55
3	45	23	55
4	44	22	55
5	47	25	55
6	45	23	55
7	52	30	55
8	53	31	(40)
9	60	28	(40)
10	50	28	(40)
11	72	50	30 以上
12	65	43	30 以上
13	22	—	—
通電時間	8 時間		
封入ガス圧	4.0 kg/cm ² G(22°C)		

4. 試験結果

JEC-145 および電気事業連合会統一規格 (B-112) により規定された項目につき、参考試験を含めて各種の試験を実施しているが、そのうちおもなものを以下に記す。

4.1 溫度上昇試験

2,000 A 通電の場合の温度上昇試験結果を表 4.1 に示し、その測定箇所を図 4.1 に示す。 SF_6 ガスのすぐれた伝熱特性により、規格値に対して十分余裕ある値となっている。さらに固定コンタクト部分を一部取りかえるだけで、3,000 A 用も可能であることを確認しているが、これは固定部であるので、しゃ断性能に何らの影響を及ぼさずに対応電流を 2,000 A から 3,000 A に格上げが可能である。

なお、 SF_6 ガスは、きわめて不活性なガスで酸化、腐食の作用が皆無であり、ガス自身も安定しているから、 SF_6 ガス中の接触子は、空気中の接触子に比べてはるかに高い温度上昇をとることができ、したがって、従来のしゃ断器に比べて潜在的な大きい過負荷能力があるわけである。

4.2 しゃ断試験

4.2.1 短絡電流しゃ断試験

本しゃ断器は駆動ばねによって引きはすし力を与えられ、パッファによりガス圧を発生するので、いわゆる他力形消弧を行なうものなので最大しゃ断容量における試験が最も重要となる。表 4.2 に JEC-145 再起電圧 II 号において、しゃ断電流は定格値の 110% で行った試験条件を示し、そのうち CO 動作時のオシログラムを一例として図 4.2 に示し、その再起電圧波形を図 4.3(a) に示す。

4.2.2 進み電流しゃ断試験

SF_6 ガスの絶縁耐力が高いことから進み電流しゃ断時の無再点弧しゃ断可能な電圧も、他のしゃ断器に比べて高くなり、この形のし

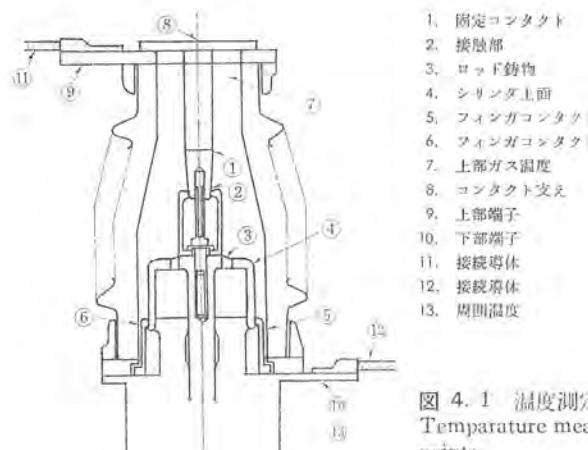


図 4.1 温度測定箇所
Temperature measuring points.

表 4.2 短絡しゃ断試験
Short circuit interruption test.

試験動作 実験 負荷	試験操作 圧力 %	試験操作 圧力 %	試験相	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			投入電流 kA	アーキ時間 c/s	しゃ断時間 c/s
				対称分 kA	直流分 %			周波数 kc/s	振幅率	上界率 kV/μs			
				31.5	0	95	62						
O 1分 CO 3分 CO	100	15	C	30.8	30	93	62	4	1.8	1.3	—	0.95	3.1
				30.6	10	93	62			77		1.2	3.3
				—	—	—	—			1.3	59	1.0	3.1
				—	—	—	—			—	—	—	—

や断器では線間最大電圧においても、無再点弧・無再発弧である。

表 4.3 に結果を示す。

4.2.3 変圧器励磁電流しゃ断試験

SF_6 ガスは、その特異な熱特性から、大電流しゃ断に対して偉力を発揮するばかりでなく、きわめて低い電流レベルに至るまでアーチが安定に保たれる性質がある。このため、変圧器励磁電流のような、小電流をしゃ断するときも電流さい断レベルは非常に低く、したがって、しゃ断後の異常電圧も他の形のしゃ断器の場合に比較してきわめて低く、当社での測定結果ではその試験電圧に対する倍数は、最大で1.4でとなっている。

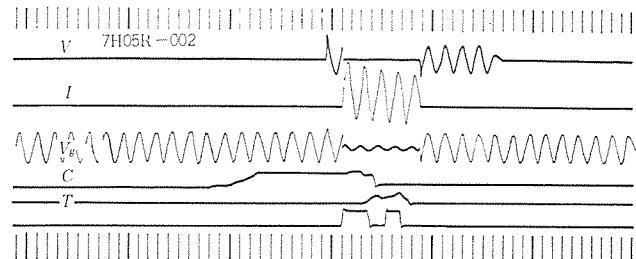


図 4.2 短絡しゃ断試験オシログラムの1例 (CO動作)
Oscillogram of short circuit interruption test.

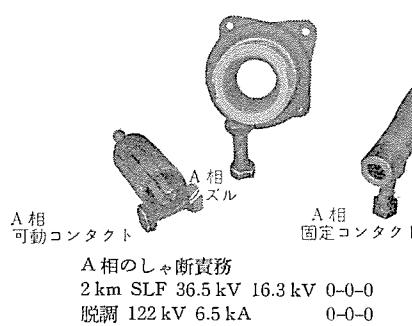


表 4.3 進み電流しゃ断試験
Leading current interruption test.

試験電圧 kV	しゃ断電流 A	再点弧回数 回	再発弧回数 回	試験回数 回	しゃ断時の過渡電圧倍数	備考
84	5	0	0	12	1以下	しゃ断位相は、各電流とも $\pi/6$ 間隔で位相制御した。
	12	0	0	12	1以下	
	30	0	0	12	1以下	
	60	0	0	12	1以下	
	140	0	0	12	1以下	

注 (1) 試験周波数 60 c/s

(2) 試験電圧 $84 \text{ kV} \times \sqrt{3} / \sqrt{3} = 84 \text{ kV}$ (線間電圧)

これらの試験結果を表 4.4 にまとめて示す。

4.2.4 特殊条件におけるしゃ断試験

脱調しゃ断、異相地絡しゃ断、および近距離線路故障しゃ断など

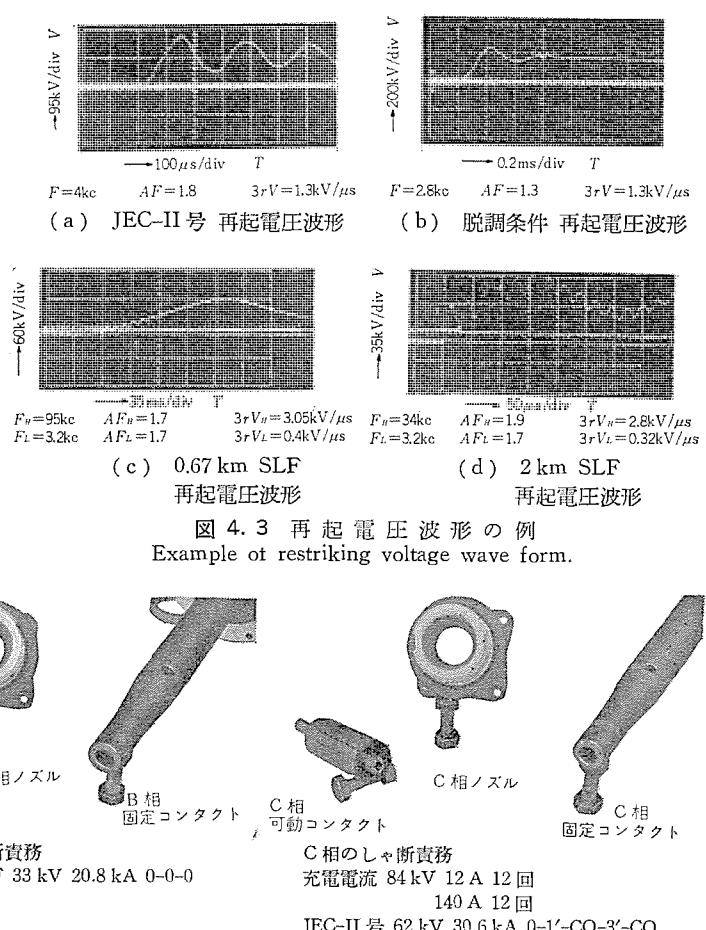


図 4.3 再起電圧波形の例
Example of restriking voltage wave form.

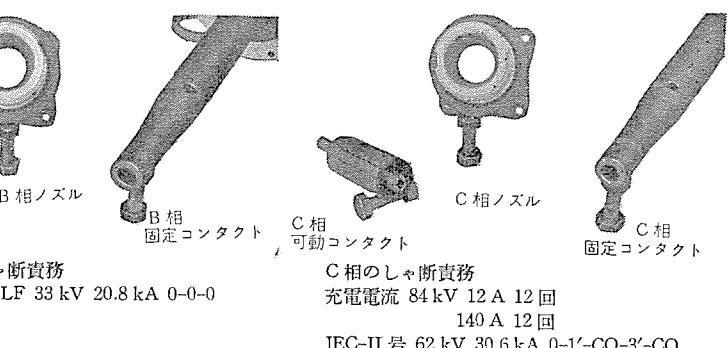


図 4.4 短絡試験後のコンタクト類の状況
States of contacts after short circuit tests.

表 4.4 変圧器励磁電流しゃ断試験
Transformer exciting current interruption test.

試験電圧 kV	しゃ断電流 A	動作責務	試験回数 回	しゃ断時の最高過渡電圧倍数	備考
60	4	O	12	1.35	しゃ断位相を各電流とも $\pi/6$ 間隔で位相制御した。
	14	O	18	1.35	
	200~800	CO	6	1.4	

注 しゃ断時の過渡電圧倍数は、試験電圧波高値に対する倍数で表示

表 4.5 脱調しゃ断試験
Step out interruption test.

動作責務	操作電圧 %	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			アーチ時間 c/s	しゃ断時間 c/s
		対称分 kA	直流分 %			周波数 kc	振幅率	上昇率 kV/μs		
0	100	6.5	0	98	122	2.8	1.3	1.3	1.0	3.15
0	100	6.5	0	98	122	2.8	1.3	1.3	0.9	3.05
0	100	6.5	0	98	122	2.8	1.3	1.3	0.8	2.95

表 4.6 近距離線路故障しゃ断試験
Interruption test of fault current in short distance line.

	動作責務	操作電圧 %	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			アーチ時間 c/s	しゃ断時間 c/s
			対称分 kA	直流分 %			周波数 kc	振幅率	上昇率 kV/μs		
0.67 km 相当	0	100	20.8	0	96	33	H 9.5	H 1.7	H 3.05	1.3	3.45
	0		20.8	0	96	33				1.2	3.35
	0		20.8	0	96	33				1.1	3.25
2.0 km 相当	0	100	16.3	0	96	36.5	H 34	H 1.9	H 2.8	1.2	3.35
	0		16.3	0	96	36.5				1.1	3.25
	0		16.3	0	96	36.5				1.3	3.45

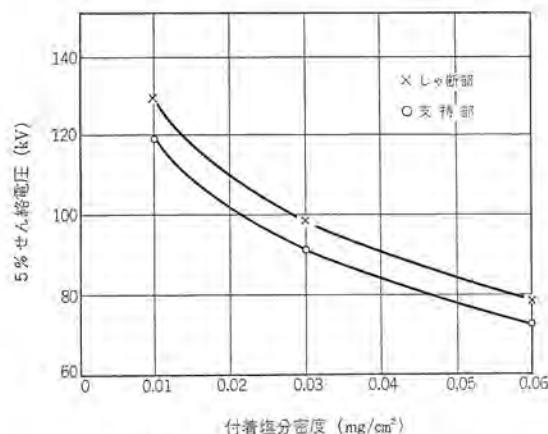


図 4.5 汚損試験結果
付着塩分密度に対する 5% せん(等価)電圧の特性曲線
Contamination test result.
Characteristics of 5% equivalent salt density vs. salt density.

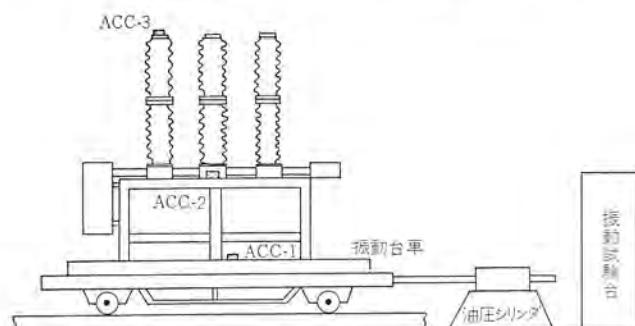


図 4.6 振動試験概略図
Vibration test arrangement.

表 4.7 連続負荷電流しゃ断試験条件
Condition of continuous load current interruption.

動作	電圧 kV	電流 kA	アーケット時間	回数	動作時間間隔
CO	60	3	最大	1,200	約45秒ごと
CO	73	2	任意	50	約45秒ごと

表 4.8 操作音測定結果 (単位 ボン)
Result of operating sound measurement.

動作方向		しゃ断器からの距離	10 m	20 m	40 m
A	投入	82	76	72	
	引きはずし	82	75	72	
B	投入	83	75	72	
	引きはずし	84	76	72	

方向Aは相間方向
Bはライン方向
A
○
○
B
○
○

に対しても、このしゃ断器では驚異的な偉力を發揮している。表 4.5 に脱調試験の条件を示し、表 4.6 に近距離短絡故障しゃ断試験の条件を示す。また極間再起電圧の波形を図 4.3 に示すが、(b) は脱調しゃ断時のものであり、同図(c)および(d)は近距離線路故障しゃ断時の複周波数の再起電圧である。当所では、これらの実負荷試験に加えて、Weil 氏等価試験回路を用いて、さらに厳密な試験を繰り返し行なっているが、いずれもきわめて良好な結果を得ている。これら各種試験後のコンタクトの状況を図 4.4 に示すが、いずれも損傷は軽微で、引き続き十分使用可能の状態にある。

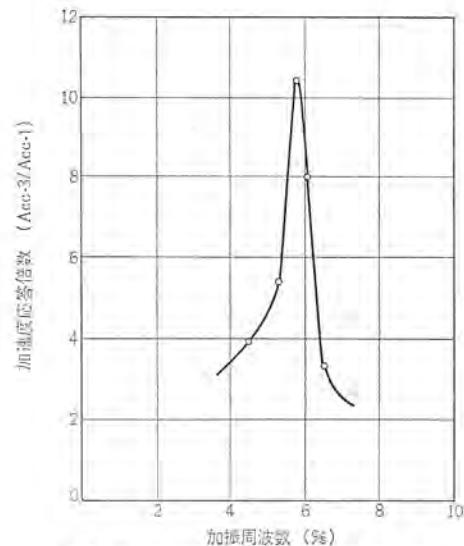


図 4.7 加速度応答倍数の周波数特性
Frequency characteristics of multiplied acceleration response.

表 4.9 汚損試験 (等価霧中試験法による)
Contamination test (by equivalent fog test)

回数	しゃ断部			支持部		
	付着塩分密度 mg/cm ²			付着塩分密度 mg/cm ²		
	0.01	0.03	0.06	0.01	0.03	0.06
せん(閃)電圧 (kV)	1	134	118	88	132	117
	2	137	115	88	145	97
	3	136	106	84	154	92
	4	140	111	93	148	103
	5	145	98	90	138	93
	6	145	104	91	125	119
	7	144	108	86	118	103
	8	132	112	77	153	108
	9	139	103	82	140	108
	10	151	112	87	128	115
平均値		140.3	108.7	86.6	138.1	105.5
標準偏差		6.2	6.5	5.2	11.7	8.8
5% せん(等価)電圧		129.5	98	78	119	91
						74

表 4.10 振動試験結果
Vibration test result.

加振周波数 c/s	台車加速度 ACC-1, G	梁台加速度 ACC-2, G	先端加速度 ACC-3, G	加速度応答倍数
4.5	0.283	0.305	1.10	3.9
5.2	0.316	0.342	1.67	5.3
5.8	0.341	0.382	3.52	10.3
6.0	0.253	0.297	2.12	8.0
6.5	0.388	0.424	1.25	3.2

4.2.5 SF₆ ガス安定性確認試験

SF₆ ガスのしゃ断性能が、多数回の連続しゃ断によって変化しないことを確認するため、表 4.7 の条件で負荷電流開閉を行なった。試験続行中、随时アーケット時間と開閉特性をチェックし、いずれも異常のないことを確認した。また試験終了後ただちに極間に、交流 160 kV を 1 分間印加し絶縁耐力にも変化のないことを実証した。さらに SF₆ ガスを質量分析したが低位ふっ化物の生成もきわめて微量であり、SF₆ ガスがきわめて安定性の高いものであることを確認した。

4.3 操作時騒音測定

このしゃ断器では、排気ガスを外部へ放出することがないため、騒音は金属音が主である。投入の際には圧縮空気を用い投入完了時に排気するが、所要量が少なく排気も徐々に行なうので騒音はきわめて低く、使用に当たり設置場所の制約を受けることはないと考えられる。表4.8に測定結果を示す。

4.4 汚損特性

近年、開閉設備の設置場所が、海岸からの塩水や、工業じんかい汚損される場合が増加しつつあるが、このしゃ断器では汚損地域用には、下ひだつきがい管を使用したものを推奨しており、図2.1の屋外用外形写真は下ひだつきがい管を採用したものである。表4.9および図4.5に等価霧中試験方法による試験結果を示す。

4.5 振動試験結果

内圧を受けるがい管を積み重ねた形のしゃ断器ではとくにその地震に対する強度が問題となる。当社では耐地震性能の検証方法を色々と検討しているが⁽³⁾、共振周波数における0.3Gの連続加振や、計算機による共振三波およびエルセント地震波形による応答計算のいずれの結果からも、十分な耐震性能のあることを確認した。図4.6に振動試験の概略図を示し結果を表4.10および図4.7に示す。

5. 特長

以上述べてきたように、このしゃ断器はすぐれた性能を多く持っているが特長としてまとめると以下の如くである。

5.1すぐれたしゃ断性能

4気圧のパッファ式一点しゃ断でありながら、そのしゃ断性能はきわめて高く、72/84kV, 3,500MVA定格でJEC(145)II号の再起電圧特性を持ち、さらに急しゅんな再起電圧を生ずる近距離線路故障に対しても十分なしゃ断性能を示し、異相地絡や脱調しゃ断などの過酷な条件に対しても優秀な性能を持つ。

5.2 絶縁協調性良好

SF₆ガス中の電流さい断レベルは著しく低く、変圧器励磁電流のようなおくれ電流のしゃ断に対しても、有害な異常電圧は発生しない。また充電電流のしゃ断もSF₆ガスの高い絶縁性により、線間電圧に至るまで無再点弧である。

5.3 低操作音

引きはずしの際に排気ガスを外部に放出することがないため、爆発的騒音はまったくない。したがって、都心や人家に近い屋外に設置されても騒音に対する配慮はまったく不要である。

5.4 簡単な構造と縮小された寸法

SF₆ガスを使用しているので、84kVを一点でしゃ断できるうえに、しゃ断部と並列に抵抗器や抵抗しゃ断点を設ける必要はなく、

消弧室の部品は、他のどの形のしゃ断器よりも数少なく、しかも簡単な構造である。ガスを吹き付ける部分は、コンタクトと一体のピストンがあるだけで吹付用の弁などではなく、高い信頼性を持っている。

さらに、消弧室部分はほとんどアルミニウム合金を採用して軽量であり、分解点検作業もきわめて容易であり、また、使用ガス圧が比較的低いので、小形軽量の部品で構成されて、十分な耐圧強度の信頼性を持っている。

5.5 良好な耐震特性

消弧部は、がい管によって大地電位部分から支持されているが、上述のように簡単で軽量な部品によって形成されているため、地震に対する安全性は非常に高くなっている。地上最大の地震に対しても数倍の強度的裕度を持っている。

5.6 高い安全性

SF₆ガスは、無害無臭で、化学的にきわめて安全かつ不活性であるので、生理的安全性はもちろんのこと、不燃性であり、むしろ卓越した消火剤として知られるものであるから、屋内用として用いられても何ら危険はない。

5.7 余裕のある過負荷能力

コンタクトはまったく不活性のSF₆ガス中に常時包まれているため、高温時にも金属の酸化はなく温度上昇許容値は空気中のコンタクトと比べて高くとれるから、空気しゃ断器などと同一規格で製作されているSF₆ガスしゃ断器は、潜在的に過負荷能力が大きいといえる。

6. むすび

以上記したように、パッファ式の中容量ガスしゃ断器が完成し、しかもその性能は、近来強く要求されるようになったきびしい系統条件、実用条件、ならびに設置環境条件などのあらゆる要求を完全に満足するものである。大容量のSF₆ガスしゃ断器シリーズの好調な生産の増大に加えて、この簡単なパッファ式中容量器が完成したことによって、当社のガスしゃ断器はますます業界の注目するところとなっており、この中容量器に対してもすでにかなりの受注を得ている。

筆をおくに当たって、このしゃ断器の開発および製品化にあたってご尽力賜わった関係各位に紙上をもって心から謝意を表する次第である。

(昭42-9-4受付)

参考文献

- (1) 富永、森岡：三菱電機技報 39, 971 (昭42)
- (2) 潮、田辺：電学連大 612 (昭42)
- (3) 大谷、高橋：電学連大 659, 660 (昭42)

最近登録された当社の特許

名 称	登録日	特許番号	発 明 者	関係場所
通信衛星姿勢制御方式	41-11-2	483817	岡本正彦・西野 功	本 電 子
サーチューラー	41-11-14	484642	中原昭次郎・川端俊一郎	鎌倉 仓库
電解加工装置	41-11-25	485569	前田祐雄・斎藤長男	名 古 屋
放電加工用電極	41-11-25	485591	上田時芳	名 古 屋
ソリッド抵抗体の製造法	41-11-29	318761	佐藤五郎	中央研究所
金属体の穿孔方法	41-12-17	486836	斎藤長男	名 古 屋
電磁クラッチの制御装置	41-12-21	487039	浅野哲正	姫路 船
フィルム状位相差板の製造方法	41-12-21	487035	井出平三郎・依田 功	大 丹
螢光体	41-12-21	487036	栗津健三・松永 数	中央研究所
電波方向探知装置	41-12-21	487037	喜連川隆・武市吉博	鎌倉 仓库
サーチューラー	41-12-21	487038	水沢丕雄	中原昭次郎・川端俊一郎
くま取り線輪形電動機	41-12-21	487040	野口昌介	名 古 屋
衝撃性雜音除去回路	41-12-27	487579	西谷芳久	京 都
線形イオン加速器における荷電粒子束軌道修正装置	41-12-27	487529	永井昭夫・藤田彪太	中央研究所
螢光灯の塗膜形成方法	42- 1-12	487939	上山善司 大田重吉	大 丹 船
自動減磁装置	42- 1-14	488050	西山賢明・水田和幸	姫路 丹
トランジスタ結合論理回路	42- 1-14	488099	山本隆一	北 伊 丹
多気筒内燃機関の点火装置	42- 1-18	488459	日野利之	姫路 丹
電解加工装置	42- 1-23	488578	吉田太郎	名 古 屋
光学的検出装置	42- 1-23	488690	金森剛明	鎌田 伊 丹
放電間隙装置	42- 2- 6	488945	鎌田隆好	伊 丹
電解加工装置	42- 2- 6	488950	前田祐雄・斎藤長男	名 古 屋
ソリッド抵抗体の製造法	42- 2- 9	318918	佐藤五郎	中央研究所
コロナ防止用半導体層を有する高圧電機巻線の絶縁処理方法	42- 2-14	489115	早川隆昭	名 古 屋
走行鉄塔	42- 2-14	489112	宮城 晃・瀬原田三郎	稻 沢
電力用しゃ断器	42- 2-20	489442	亀山三平・伊藤利朗	伊 丹
二線式遠隔操作のプレストーク式送受信機	42- 2-20	489443	大倉敏幹	通信機製作所
近接検知装置	42- 2-20	489444	大西熊一・小野 基	稻 沢
パラメトリック増幅装置	42- 2-20	489445	都竹 尚・渡辺史郎	通信機製作所
接点装置	42- 2-20	489446	渡部 優・川口義弘	戸 戸
方向比較パイロット継電装置	42- 2-20	489447	山内成周	神 神
光導電セルの製造方法	42- 2-23	489628	三上一郎	福 山
車両用直流発電装置	42- 2-23	489665	武田克己	姫 路
変流器	42- 2-27	489914	諸永茂雄	丹 船
電流一致感心マトリックス記憶装置	42- 2-27	489946	長野光佑・福田清司	船 船
螢光放電灯	42- 3- 9	490591	井手平三郎・水上益良	大 丹
自動消磁装置	42- 3- 9	490566	大田重吉	大 名 古
エータオル	42- 3-13	490693	吉田太郎・首藤佑吉	大 馬 倉
計数器	42- 3-14	490781	服部信道・森田清司	群 鎌
電場発光用螢光体の製造方法	42- 3-24	491109	坂尾正義	中央研究所
正逆回転を指示する2相サーボモータ形回転計	42- 3-24	491108	栗津健三・大川 公	神 戸
高インピーダンス接地系統用パイロット継電装置	42- 3-24	491110	岡本孝治	神 戸
高インピーダンス接地系統用パイロット継電装置	42- 3-24	491111	森 健	神 戸
高インピーダンス接地系統用パイロット継電装置	42- 3-24	491112	森 健	神 戸
零相変流器	42- 3-30	491533	森 健・寺田 真	神 戸
静止形表子線保護継電装置	42- 3-30	491538	森 健・松本忠士	神 戸
近接式無接点スイッチ	42- 3-30	491543	森 健・下迫賀生	神 戸
E面折曲げマジックT	42- 3-30	491598	吉田太郎・三浦守生	名 古 屋
レーダ図形の面積選別装置	42- 3-31	491606	渡辺 優・篠原英男	通信機製作所
超音波探傷機用雜音信号除去方式	42- 3-31	491760	上村康雄	通信機製作所
電波切換装置	42- 4-10	492184	内海堅志	鎌倉 仓库
半導体装置の鎌着法	42- 4-12	482201	尾形陸奥男	通信機製作所
しゃ断器操作装置	42- 4-12	492218	清水潤治・中田仗祐	北 伊 丹
			米沢克昌・佐藤邦彦	伊 丹

新製品紹介

電気温水器

さきに発売された深夜電力利用家庭用小形温水器の延長として、おもに業務用ならびに一般家庭の風呂用に需要を求める中形温水器を開発し BP-1801, BP-1802, BR-3101 形の 3 機種はすでに発売し、さらに 42 年 11 月には BR-2201 形を発売した。

(a) BP-1801 形深夜電力利用温水器

有効タンク容量は、標準家族 4 人が炊事その他日常の湯の使用と、風呂用にも使うことができる 180 l とし、標準方式は押上式であるが、シスタンクを付ければシスタンク方式にもできる。

万一お湯を全部使い切ってしまっても、40 l 分を沸かせる 100 V 1 kW の一般電源を使用した屋間ヒーターが付いており、残湯量が 40 l になると、パイロットランプが点灯して知らせるようになっている。タンク材料はすべてステンレス (SUS-28) を使っており、衛生的で半永久的に使うことができる。安全性については押上方式、液体膨張式速切形温度調節器、および温度ヒューズを取付けた三重安全方式、また万一ケースやタンクに漏電がある場合、4 V 以上の漏えい電圧がかかると自動的に電源をしゃ断する漏電検出自動しゃ断器付である。

外観は前面に木目模様の塗装鋼板を使用し、家庭の台所や飲食店のカウンター等に置いても、人目を引くシックなデザインにまとめあげている。とくに中形であるので、据付場所がある程度限定されると考え、左右どちらでも配管できる構造にしてある。

(b) BP-1802 形深夜電力利用温水器

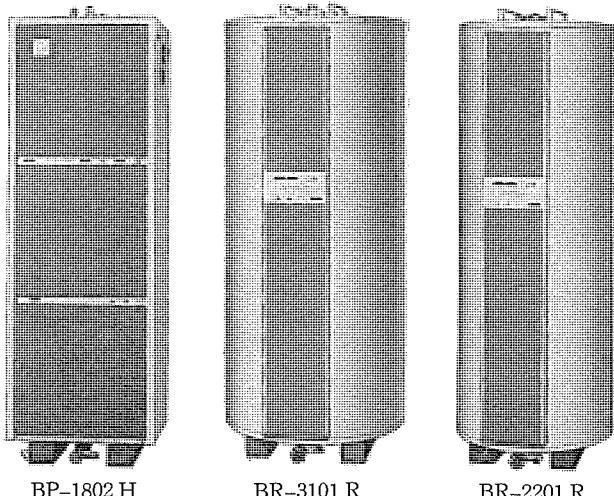
BP-1801 形の改良品で、外観仕様はさきに発表した BP-1801 形を踏襲している。おもな改良点は、ヒータ容量を 3 kW に上げ、風呂用に使った場合、さらに安全性を向上させる目的で絶縁パイプを給水・給湯側に内蔵させている。

客先の希望によっては、屋間ヒーターおよび漏電検出自動しゃ断器付の仕様のものもある。また厳寒時配管が凍結しても安全のように安全弁を付けてある。

(c) BR-2201 形深夜電力利用温水器

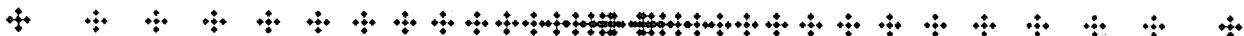
BP-1802 形より 40 l 湯量をふやした 20 l の温水器で、多人数の家庭でも風呂用として使え、飲食店業の業務用としてももちろん十分使える容量である。外形は丸形としコンパクトなデザインにまとめてある。

ヒータ容量は 3 kW、タンクはさびずに衛生的な SUS-28 を使用しており、保温性の優秀な高級ガラスウールで熱絶縁している。湯量が多いので数カ所で湯を使われることから、給水はシスタンク方式である。



仕様一覧表

	BP-1801	BP-1802 S	BP-1802 H	BR-2201 S	BR-2201 R	BR-2201 H	BR-3101 S	BR-3101 R	BR-3101 H
形 (給水方式)	押上 (CHバルブ)	押上 (CHバルブ)	押上 (CHバルブ)	シスタンク	シスタンク	シスタンク	シスタンク	シスタンク	シスタンク
タンク容量 l	180	180	180	220	220	220	310	310	310
ヒータ容量	200 V 2 kW 100 V 1 kW	200 V 3 kW 100 V 1 kW	200 V 3 kW 100 V 1 kW	200 V 3 kW	200 V 3 kW 100 V 1 kW	200 V 3 kW 100 V 1 kW	200 V 4 kW	200 V 4 kW	200 V 4 kW 100 V 1 kW
残湯表示 l	40	40	40	40	40	40	40	40	40
絶縁パイプ	別付	内蔵	内蔵	内蔵	内蔵	内蔵	内蔵	内蔵	内蔵
安全弁	なし	付	付	付	付	付	付	付	付
漏電検出自動しゃ断器	付	なし	付	なし	付	付	なし	付	付
外形寸法 mm (幅×奥行×高さ)	540×545×1,730	540×545×1,730	540×545×1,730	576×619×1,678	576×619×1,678	576×619×1,678	670×715×1,678	670×715×1,678	670×715×1,678



新製品紹介

安全性に関してはシスタンク方式であるので、タンク内は常に満水になっていることと、液体膨張式速切形温度調節器・温度ヒューズを付けた三重安全装置である。また、ケースやタンクに漏電があっても安全なように、給湯・給水側に絶縁パイプを内蔵させ、客先のご希望によっては、漏電検出自動シャン断器を付けた仕様のものもある。残湯量が40lになると、パイロットランプの点灯で知らせる湯量表示う

シテが、BP-1801・BP-1802と同様に付いている。

(d) BR-3101形深夜電力利用温水器

外観・仕様とも BR-2201 と全く同じで、タンク容量が 310 l の温水器である。

[插圖製作所]

大口需要家用電力取引用計量盤完成

大口電力取引において各種の計量方式が確立され、これに使用する計器を収納したキュービクル形自立式の計量盤を開発した。

計量盤には、屋内用・屋外用・表面取付形計器用・埋込取付形計器用の4種類の様式があり、計量方式には、一般大口・深夜電力・自発受給・多回路総合用その他として二十数種におよぶ仕様があり、おののおのの用途に応じて発信装置付の精密電力量計・特別精密電力量計・最大需要電力計・無効電力量計・記録積算計器・タイムスイッチ・積算量受量器・パルス合成器その他を組合わせて使用できるようになっている。

これらの計器は テストターミナル を介して結線されているので、計器用変圧変流器からの二次配線は 7 心ケーブル によって テストターミナル に結線すればよく、 また計器の試験が容易に行なわれる構造になって いる。



大口需要家用電力取引用計量盤

〔福山製作所〕

NEWS FLASH

■ 理研向け 50 cm 空心 $\sqrt{2}\pi$ ベータ線スペクトロメータの完成

日本で初めて空心形ベータ線スペクトロメータを完成した。半径 50 cm の理化学研究所設置用と半径 75 cm の東大核研設置用の 2 台を同時に製作した。前者の装置の概略と性能を報告する。放射線のうちのガムマ線とベータ線のエネルギーを求める方法は種々あるが、ベータ線スペクトロメータもその一つである。

ベータ線には 2 種類あり、連続ベータ線と内部転換電子である。連続ベータ線は原子核から直接でてくる電子であり、内部転換電子は核から出たガムマ線と、核外電子と相互作用の結果生じたものである。内部転換電子のエネルギーを知ることにより、ガムマ線のエネルギーを知ることができる。

原子核分光学（放射線のエネルギーを求める、原子核内のエネルギー準位を知り、原子核内の状態を解析しようとする学問）の進歩に伴い、内部転換電子のエネルギー準位がかなり近接しているものがあることがわかり、高分解能の装置が要求されるようになった。

荷電粒子は、磁界中で進行方向に対して垂直方向に力を受けて、進行方向は変わるが速さ・運動量・運動エネルギーは変化しない。

この力はローレンツの力と呼ばれ、電荷の大きさ、粒子の速さおよび磁界強度に依存している。したがって、速さと磁界強度が異なれば荷電粒子の方向の変わり方も違ってくる。

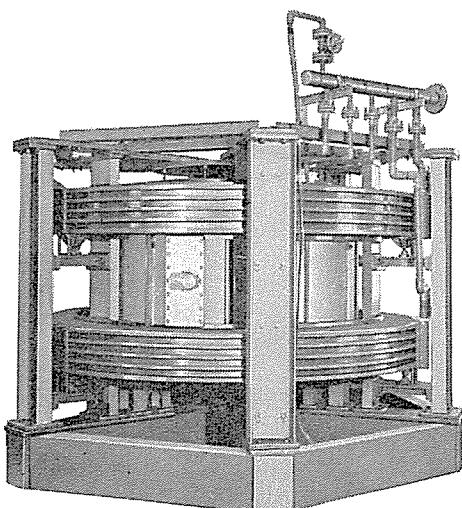


図 1 ベータ線スペクトロメータ本体

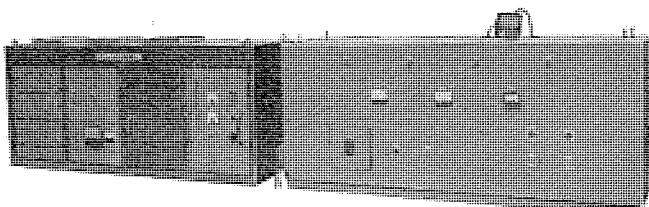


図 2 電源

ベータ線スペクトロメータは、この原理をベータ線すなわち放射線の一種である電子線に応用し、そのエネルギーを求める装置である。

磁界中でベータ線は半径 r の円周に沿って運動する。磁界分布を適当に選んで、円周上的一点を出発した同じ運動量を持ったベータ線が、 $\sqrt{2}\pi$ の位置で集束するようにしてある。集まる位置はベータ線の運動量の大きさに応じて異なり、半径方向に並ぶ。したがって、運動量の異なる二種類の粒子群が一点から出ても、集束位置では隔たったところに各々の群は集まる。

分解能は装置が異なれば変わり、この値は装置の性能の一つを表わすことになる。日本にある装置では、0.1%の分解能を出したのが最良のものであった。ここで述べる装置は0.05%の分解能を保証し、0.01%の分解能も出せる可能性を持っている。

磁界は電磁石によって作られ、鉄心使用のものと空心コイルのみからなるものの 2 種類あり、日本には鉄心使用のものしかなかった。

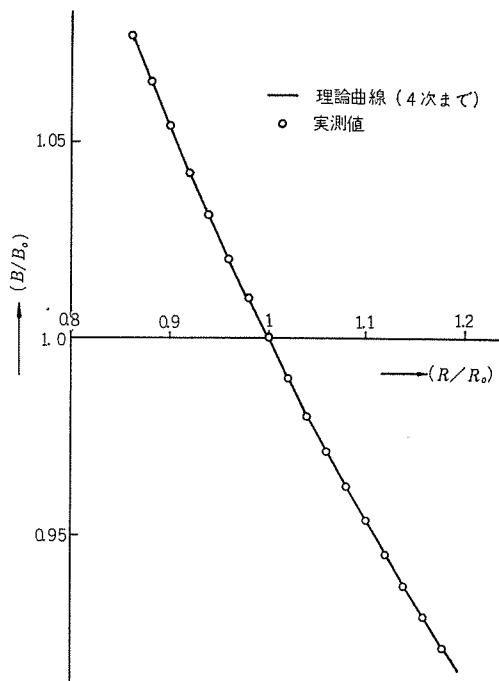


図 3 磁界分布の様子

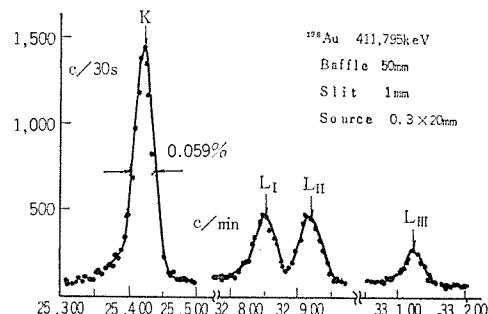


図 4 198Au の K, L₁, L₂, L₃ 内部転換電子のスペクトル測定



鉄心電磁石では、磁気履歴のためエネルギーの絶対測定精度があがらないこと、鉄の磁化の仕方が均一でないこと、磁界分布はおもに磁極面の形状で決まるが、最適磁界分布を作る極面がわかつても、加工が困難であることなどがあり、高分解能の装置には適さない。

空心電磁石は、電流に対し磁界強度および分布が一義的に決まる。主要な問題点はコイルの製作精度であり、非磁性材料を使わなければならぬこと。低エネルギーベータ線の測定では、コイルの作る磁界強度が小さくなるため、外部磁界（地磁気や人工磁界）による磁界分布のじょう乱などである。われわれは高分解能に適した装置として空心形を選んだ。この電磁石は大中小の3対の主コイルから成り、最適磁界分布を作るような配置になっている。

磁界測定はフラックスゲート方式の磁界測定器で行ない、結果は図3に示してある。

コイルわく・真空箱などは、Al製で強度を必要とするところにのみ、磁的に厳選した黄銅またはステンレスを使用してある。

コイルの温度は $20^{\circ}\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 以内に制御してある。温度変化によるコイルの変形を防ぐためである。

ヘルムホルツコイルで、じょう乱静磁界のみを上下・南北・東西方向に沿って $1/10^3$ 程度まで消している。

電源は 10^{-5} ステップ電流可変であり、あらかじめ設定したプログラムに従って自動的にスペクトルを測定し、プリンターからデータが打ち出される。電流安定度は、工場調整時は $\pm 5 \times 10^{-5}$ 程度であったが、現地では近接放送局の強力な電波が電源に誘導され、安定度がおちたので、フィルタを入れて $5 \times 10^{-5}/\text{h}$ の安定度を実現できた。

^{198}Au のK, L₁, L₂, L₃内部転換電子スペクトルの一例を図4に示してある。

現状で約0.06%の分解能（国内最高）を得ている。さらに同一線源を用いて0.025%の分解能が実現されたが、このスペクトルは省略する。

〔中央研究所〕

■ 尖頭出力25MW—超大電力バルスクライストロンの完成

今回当社で開発したバルスクライストロンPV-2014は、使用周波数3,000Mc帯（2,700Mc～3,100Mc）において尖頭出力25MWを有し、国内ではもちろんその例はなく、世界でも最大級のバルスクライストロンである。

このクライストロンの開発には技術的にかなり困難なものを含んでいたが、われわれはフランスのトムソン・ヴァリアン社と技術提携し、約1年（41年8月着手—42年8月完成）という短期間でこれを開発した。

バルスクライストロンには、線型加速器用とレーダ用とがあるが、今回開発したクライストロンは線型加速器用である。線型加速器は核物理研究・放射性同位元素の製造・特殊樹脂の製造・食品工業・ガンの治療などと広い分野に応用されつつあるが、最近の線型加速器は高エネルギー化・高出力化・高性能化の傾向にあり、この結果性能・価格

保守などの面からできるだけ大電力のクライストロンを最少数使用するほうが有利になってくる。5MW級のクライストロンは当社を含めて国内でも市販されているが、上記の必要性から従来の5倍の出力のクライストロンの開発を行なった。

開発したバルスクライストロンPV-2014のおもな性能を紹介すると次のとおりである。

（1）大電力：尖頭出力=25MW

平均出力=30kW

（2）高能率：能率=40%以上

（3）高利得：利得=55dB以上

（4）高信頼性：2個の出力窓を具備、蒸発冷却方式の採用

（5）長寿命：マッシュ形陰極の採用

このように従来の性能をはるかに上回るクライストロンを短期間に再現性をもって開発し得たということは、当社の製造技術が世界のレベルに到達したことを示すものと思う。

〔中央研究所〕

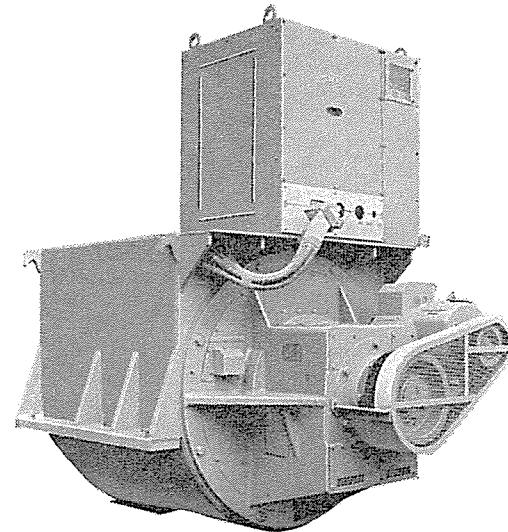


大電力 パルスクライストロン

■ ニュージランド国鉄納めディーゼル電気機関車用主交流発電機セット完成

ニュージランド国鉄より受注した、わが国最初の交流式ディーゼル電気機関車用の主交流発電機セット全60台のうち、最初の数台があいついで完成、好調のうちに工場試験を終えた。主シリコン整流器、ディーゼルエンジンとの組合せ試験も終え、現在三菱重工（株）三原で車体に組み込み機関車としての試験を行なっている。

通常この種の発電機には特殊直流発電機が用いられているが、これを三相交流発電機とシリコン整流器の組み合せに置きかえたもので、保守点検が簡単、高効率等直流機にはない多くの特長をそなえている。



ニュージランド 国鉄納め交流式 ディーゼル 電気機関車用
主発電機 セット および補助発電機

この発電機としての特長は、

- (1) メインティナンスフリーをさらに徹底的にするため発電機はブラシレス励磁方式を採用している。
- (2) 主発電機・交流励磁機・回転整流器・主シリコン整流器をコンパクトにまとめて一つのファンで冷却を行ない、また分解組立のため回転子の引き抜きはとくに容易な構造としている。
- (3) 定出力制御方式は交流発電機のもつ固有の特性をたくみに利用した簡潔・堅固な方式で、電圧・電流の広い範囲で安定した性能をもち、エンジンのもつ馬力を有効に利用できる。
- (4) 補助発電機も交流発電機とシリコン整流器の組合せとし、整流子の保守のわざらわしさを省いている。

などである。

おもな定格事項は次のとおり。(規格はすべて BS)

主発電機: 697 kW (735 kVA), 360 V, 8 P, 1,300 rpm, 電機子 B
種, 界磁 F 種, ブラシレス方式
交流励磁機: 6.0 kW (6.3 kVA), 190 V, 16 P, 1,300 rpm, B 種
補助発電機: 4.5 kW (4.75/5.18 kVA), 90/99 V, 6 P, 1,150/2,580
rpm, B 種

今後 ディーゼルエンジンの高速大容量化がさらにすすめば、現在の直流式もいずれ小形軽量な交流式に移るものと思われ、その意味でも今回の機関車の成績は各国関係者から注目されていると言えよう。

[長崎製作所]

■ 八幡製鉄株式会社堺製鉄所向けわが国最初の 全サイリスタレオナード方式採用 塊圧延設備用電機品一式完成

当社では、かねて八幡製鉄(株)から同社堺製鉄所向けとして受注製作中であった、"全サイリスタレオナード方式の板用分塊圧延設備用電機品一式"の現地据付けを行ない無事試圧延を終了した。

従来、補助電動機や部分的にサイリスタ電源を採用された実績はあるが、今回のように駆動電源すべてに使用したサイリスタレオナード方式の分塊圧延設備はわが国初のもので、主電動機の容量は水平ロール 5,500 馬力 2 台、縦ロール 4,000 馬力 1 台となっている。

これらの主電動機ならびに補助電動機を駆動するサイリスタ電源は、数量 26 台、総容量約 20,000 kW に達し、わが国はもちろん欧州にも前例のない大容量サイリスタ電源設備である。なお、試圧延の結果はきわめて好調で、サイリスタレオナード方式の特長である速応性を遺憾なく発揮し、その卓越した歯切れのよい制御性能は、オペレータから歓迎され、今後の堺製鉄所の増産に寄与することと期待されている。

仕 様

主電動機	水平ロール	4,100 kW	直流電動機	2 台
	縦ロール	3,000 kW	直流電動機	1 台
サイリスタ	水平ロール用サイリスタ	4,500 kW		2 台
	縦ロール用サイリスタ	3,300 kW		1 台

[神戸製作所]

[伊丹製作所]

次号予定

三菱電機技報 Vol. 41. No. 12.

研究特集

《特集論文》

- Zn Se ZnTe の結晶製作とその性質
Ga As レーザダイオードの諸特性
シリコン結晶中の異常欠陥
超電導コイル
プラスチック模型による水車発電機フレームの剛性実験
電車制御用多相多重サイリスタ DC チョッパ
小形電動機の半導体速度制御
ストリップ線路可逆フェライト移相器
S バンド 25 MW パルスライストロップ PV-2014
原子炉用極低温照射装置
純水中での金属の腐食
けい光ランプ陰極の損耗機構
- 《普通論文》
VHF-UHF 帯小形サーキュレータ
ホーンリフレクターアンテナ系の高姿態波特性
大阪市城東ポンプステーション制御装置
全シリコン固体化 DC-DC コンバータレス 400 Mc/FM 移動用無線電話装置
ME-04D21 形 400 Mc 帯多重無線装置

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉 弘毅
副委員長	片岡 高示
常任委員	明石 精
"	石川 理一
"	上田 重夫
"	宇佐見 重夫
"	大野 寛孝
"	神崎 達
"	北川 和人
"	小堀 富次
"	鈴木 正材
"	祖父江 晴秋
"	山田 栄一
"	横山 茂
"	尾畠 喜行
"	黒田 忠光
"	南日 達郎
"	林界 寿
"	松元 雄藏
"	和田 義勝

(以上 50 音順)

昭和 42 年 11 月 22 日印刷 昭和 42 年 11 月 25 日発行
「禁無断転載」定価 1 部 金 100 円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 小倉 弘毅
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社
印刷者 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋 武夫
発行所 三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内)
(電) 03-212-6111

発売元 株式会社オーム社書店
東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (電) 03-291-0912 搬送東京 20018

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本社 東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地
(三菱電機ビル) (電) 03-212-6111

大阪営業所	大阪市北区梅田町 8・西阪神ビル (電) 06-312-1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町 3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台営業所	仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山営業所	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 0764-31-3151
広島営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松営業所	高松市鶴屋町 5 番地の 1 (電) 0878-51-0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 06-314-1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町 3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡商品営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台商品営業所	仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山商品営業所	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 0764-31-3151
広島商品営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町 5 番地の 1 (電) 0878-51-0001
新潟営業所	新潟市東大通 1 丁目 12 番地・北陸ビル (電) 0252-45-2151
中央家電営業所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
城北家電営業所	東京都文京区大塚 3 丁目 3 番 1 号・新茗渓ビル (電) 03-944-6311
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻 3 丁目 10 番 3 号
城西家電営業所	三菱電機世田谷ビル (電) 03-411-8181
横浜家電営業所	東京都杉並区清水 1 丁目 10 番 1 号 (電) 03-392-6823
大宮家電営業所	横浜市中区富士見町 3 番地 4 (電) 045-251-2226
千葉家電営業所	大宮市寿能町 1 丁目 37 番地・大宮公園ビル (電) 0486-41-5324 43-4116-0156
静岡出張所	千葉市新宿町 2 丁目 49 番地 三菱電機千葉ビル (電) 0472-27-5486~8
長崎出張所	静岡市七間町 9 番地の 10・池田ビル (電) 0542-53-9186
岡山出張所	長崎市大黒町 3 番 1 号・長崎産業交通ビル (電) 0958-23-6101
船橋出張所	岡山市西長瀬字村北 122 番地の 1 三菱電機岡山ビル (電) 0862-24-0331
中央研究所	船橋市山手 1 丁目 1 番 1 号・日本建鉄内 (電) 0474-31-1111
商品研究所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 06-481-8021
神戸製作所	鎌倉市大船 2 丁目 14 番 40 号 (電) 0467-6-6111
伊丹製作所	神戸市和田崎町 3 丁目 10 番地の 1 (電) 078-67-5041
三田工場	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 06-481-8021
長崎製作所	三田市三輪町字父々部 85 (電) 07956-4371
福沢製作所	長崎市丸尾町 6 番 14 号 (電) 0958-23-6211
和歌山製作所	福沢市井之口 1100 番地 (電) 0587-32-4121
鎌倉製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 0734-23-7231
通信機製作所	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 0467-6-1111
北伊丹製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 06-481-8021
熊本工場	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 0727-72-5131
名古屋製作所	熊本市市原町弓削 720 番地の 3
福岡製作所	名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 052-721-2111
福山製作所	福岡市今宿青木 6 90 番地 (電) 092-88-0431
姫路製作所	福山市緑町 1 番 8 号 (電) 0849-2-2800
相模製作所	姫路市千代田町 840 番地 (電) 0792-23-1251
世田谷工場	相模原市小山字久保 224 (電) 0427-72-5131
静岡製作所	東京都世田谷区池尻 3 丁目 1 番 15 号 (電) 03-414-8111
中津川製作所	静岡市小鹿 110 番地 (電) 0542-85-1111
大船製作所	中津川市駒場町 1 番 3 号 (電) 05736-5-2121
郡山製作所	鎌倉市大船 5 丁目 1 番 1 号 (電) 0467-6-6111
群馬製作所	郡山市栄町 2 番 25 号 (電) 02492-2-1220
藤岡工場	群馬県新田郡尾島町大字岩松 800 番地 (電) 027652-4311
京都製作所	藤岡市本郷字別所 (電) 02742-2-1185
ラジオ工場	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所 1 (電) 075-92-4171
札幌営業所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 06-481-8021
札幌工場	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 0122-22-3976