

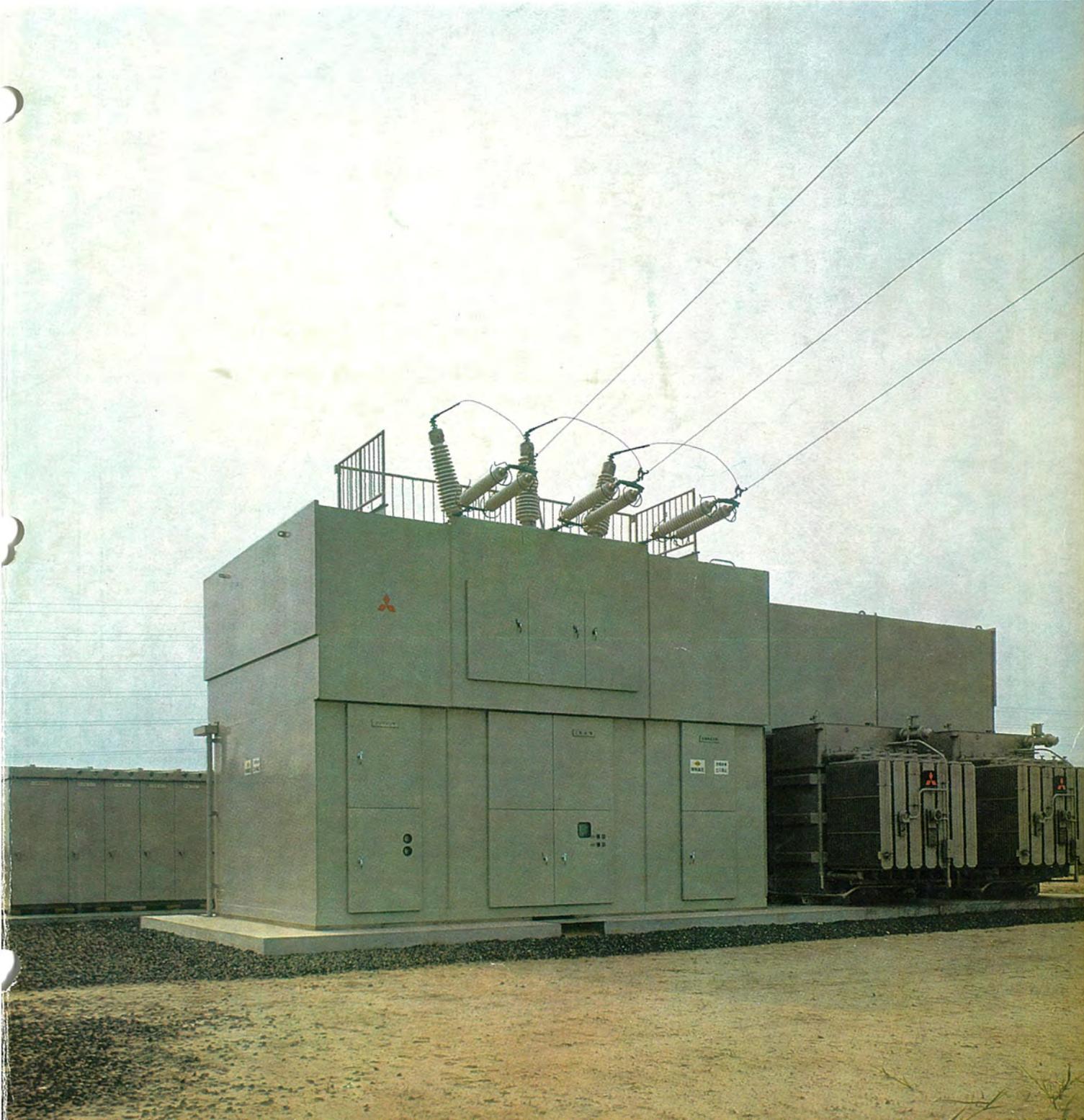
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.42 June 1968

変電機器特集

6

東邦ガス(上野工場)納め80.5kVキュービクル開閉装置





変電機器特集

目次

《特集論文》

工場配電設備の近代化	小滝喜久二	785
工場の新しい受配電管理	長町恒資・島田政代士・美濃順一	792
受配電系統における保護方式	天野恒	803
変動負荷による電圧変動	芝滝寿宏	810
受電用変圧器	菅寿郎・石井昭二	815
10~100 kV 特高キュービクル	田和穰・平河宏元	827
高圧真空スイッチ管応用開閉装置	梁川美孝	837
キュービクル内蔵の計器用変成器	長野光佑	845
低圧配電装置および機器	竹内孝治・久保修造	849
CNF 形分電盤および NC 形コントロールセンタ	田野康男	853
バスダクト配線方式の適用	堀田滋矩	858
抵抗溶接機用電源設備	馬場利彦	865

《普通論文》

大形レクチフロードライブ設備	神田政典	873
MELCOM-9100 システムシリーズ方式設計	松本大四・坂和磨・飯川昭一	877
定電圧交流アーク溶接機を用いた無被包溶接法	山本利雄・島田弥・竹内友彦・鶴飼順	888

《技術講座》

メーザ、レーザで代表される新しい技術分野 —量子エレクトロニクス(1)—	安藤滋	895
--------------------------------------	-----	-----

《新製品紹介》

BDF-26 形生ビールディスペンサー・風向・風速データ処理装置・画期的ミシン針定位置停止装置付きクラッチモートル開発・抵抗溶接機用イグナイトロンに代る新機種 三菱大電力用サイリスタスタック発売	904
---	-----

《ニュースフラッシュ》

伊勢丹百貨店納め 10,000 kVA 不燃性油入送油水冷式変圧器完成・高速大容量直流電動機の世界記録品完成・MHD 発電用ダクトーセミホット・ウォール発電ダクトー・宇宙通信機用ヘリウム冷凍機試作完成・わが国最高速 360 m/min エレベータの実運転に成功	909
--	-----

《特許と新案》

電解加工装置・電解加工装置・爆圧成形法	871
---------------------	-----

《表紙》

東邦ガス(上野工場)納め 80.5 kV キュービクル開閉装置
 写真は 80.5 kV 600 A シャ断容量 3,500 MVA の屋外形キュービクル開閉装置である。

工場の受変電設備は地価の高騰、海岸地帯への進出による塩害、大気汚損の問題があり、通年無停電操作を行なうため、高度の信頼性と安全性、縮小が要求される。受変電設備を開鎖形(キュービクル化)にする目的は、いつに機器の安全性および信頼性の向上とコンパクト化にある。

- このキュービクルのおもな特色は、次の点にある。
1. キュービクル用の機器を開発し、縮小化を計った。
 2. 主回路のおもな機器間には、接地隔壁を設け、事故波及の防止、保守点検の安全性を計り、JEM-1114-F 級に準ずる構造とし、また 20~30 kV 級の開鎖形配電盤の電力会社規格にも準ずるものである。
 3. キュービクルを密封構造とし、汚損外気に対処した。
 4. キュービクルを工場で、総組立および試験を行なったのち出荷されるので、現地据付工事が簡単で信頼度が高い。





SPECIAL EDITION OF EQUIPMENTS FOR SUBSTATION AND DISTRIBUTION LINE EQUIPMENT

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Modernization of Power Supplies to Industrial Plants.....	K. Kotaki...785
Uptodate Control System of Industrial Power Distribution.....	N. Nagamachi • M. Shimada • J. Mino...792
Protecting Relaying of Receiving Substations and Distribution Lines.....	H. Amano...803
Voltage Dip and Flicker due to Load Fluctuation.....	T. Shibataki...810
Receiving Transformers.....	H. Kan • S. Ishii...815
High Voltage Cubicles, 10~100 kV.....	Y. Tawa • H. Hirakawa...827
High Voltage Vacuum Interrupter Switchgear and its Application.....	Y. Yanagawa...837
Instrument Transformers for Cubicle.....	K. Nagano...845
Low Voltage Power Centers and Related Apparatus.....	T. Takeuchi • S. Kubo...849
Type CNF Distribution Panels and Type NC Control Centers.....	Y. Machino...853
Application of Low Voltage Bus Ducts.....	S. Hotta...858
Power Supply for Resistance Welders.....	T. Baba...865

TECHNICAL PAPERS

Large Capacity Rectiflow Drive.....	M. Kanda...873
MELCOM-9100 System Series (1) —System Design—.....	H. Matsumoto • K. Ban • S. Iikawa...877
No-Gas Arc Welding Method using Constant Potential AC Arc Welders	T. Yamamoto • W. Shimada • T. Takeuchi • J. Ukai...888

TECHNICAL LECTURE

New Frontier Represented by Maser and Laser —Quantitative Electronics (1)—.....	S. Ando...895
---	---------------

NEW PRODUCTS	904
--------------	-----

NEWS FLASH	909
------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL	871
--------------------------	-----

COVER :

Shown above is outdoor cubicle switchgear rated 80.5 kV 600 A with interrupting capacity of 3,500 MVA. Power receiving equipment of factories is to meet problems of rising costs of lands for the sites, salt contamination when it is located near a seaside, and air pollution due to public nuisance. Under the circumstances, high reliability and safety and also compactness are demanded on it to ensure uninterrupted power supply in operation.

The purpose of constructing the substation equipment into enclosed type-cubicle is to satisfy the above requirements.

The cubicle switchgear referred to has the following features in the main.

1. The size is reduced through the development of instruments suitable for cubicle.
2. Among the principal apparatus of the main circuits are provided grounding barriers so as to prevent the spread of faults and to aim at the safety in maintenance and inspection. This design also makes the construction to conform to the JEM-1114-class semi "F" and to comply with the power companys' standards for enclosed switchgears, 20~30 kV.
3. Sealed-off structure of the cubicle is to cope with contaminated atmosphere.
4. Complete assembling and test at the factory prior to shipment eases the erection in the field and elevate the reliability.

UDC 621.316:658.2

工場配電設備の近代化

小滝 喜久二

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 785～791

近代産業の発達にともない、工場の新設・増強・改善が計画され、電力の需用がしだいに増大し、受電容量および設備容量が増大するとともに、工場設備も著しく近代化、高度化される傾向にある。

工場電源設備としても、受電々圧・工場配電々圧の1ステップ以上の昇圧化、変圧器容量も10MV A程度のものが多数使用される傾向にある。これに対する近代化として配電系統に対しては、スポットネットワーク配電方式の導入、機器に対しては高信頼度、保守の簡易化、監視制御の自動化、等について最近の傾向を述べる。



UDC 621.314.2

受電用変圧器

管 寿郎・石井昭二

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 815～826

電力需要の増大にともない、大口需要家の受電設備の容量・電圧も増大の一途をたどって、すでに受電用変圧器として、十数万kVA 275kVのものまで、設置されるようになってきた。一方変圧器の仕様も複雑化してきている。この論文では、最近の受電用変圧器の傾向などについて解説した。



UDC 621.316:658.262

工場の新しい受配電管理

長町 恒資・島田 政代士・美濃 順一

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 792～802

電力は工場の活動源であり、電力の供給停止は工場の諸活動の停止を意味すると称しても過言ではない。したがって、企業としての工場の管理運営上常に安定した電力を負荷に供給し得るよう経済的に、かつ効果的に管理するということはきわめて重要な意義を有する。この電力を負荷へ供給する受配電設備を受配電システムとしての管理という観点から

- (1) 電力の質的管理
- (2) 電力の量的管理
- (3) 保安管理

についての考察を行ない、具体化手段としての最近の器具・装置・手法について述べてある。



UDC 621.316.26

10～100kV特高キュービクル

田和 稔・平河宏之

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 827～836

最近とくに一般化してきた特高キュービクルは、電力設備の主要機器・主回路および低圧制御回路を一括し、閉鎖保護した総合装置であり、小形・高信頼性・高安全性を特長としている。その用途、形式は多岐にわたっているが、保守点検の安全性と事故波及の防止にとくに考慮を払い、10～100kVまで一貫した考え方で準F級と呼称する特高キュービクルを標準化し、キュービクル収納用内蔵機器の使用により業界最小寸法をもって、多様な要求に対処する体制を整えた。



UDC 621.316.925

受配電系統における保護方式

天野 恒

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 803～809

一般工場・ビルなど特高または高圧で受電している系統の保護方式は設備容量、受電電圧・負荷の種類などの違いにより大幅に異なってくる。とくに最近では設備容量の拡張、受電電圧の格上げにともないますます複雑になっていく傾向にある。

本文はこれら受配電系統の保護方式を立案計画する際の参考に供するもので、特高受電回路、高圧受電回路および構内配電系統について、現在行なわれているおもな保護方式の概要を述べたものである。



UDC 621.316.5:533.5

高圧真空スイッチ管応用開閉装置

梁川 美孝

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 837～844

真空スイッチ管の開発、製品化により、これを応用したしゃ断器・電磁接触器が完成し、小形軽量な点、アークが外部に出ないこと等によって、従来の開閉装置に比べて比較的小さいスペースに収納できるため、1面に2～4段積とすることができ床面積は大幅に減少された。

また真空スイッチ管応用品の長寿命であること、主接点の保守点検はまったく不要であること、数十回以上の短絡しゃ断に耐えること等のすぐれた特長とあいまって、今後数年のうちに大部分の開閉装置が、これに置き換えられるものと予測されている。



UDC 621.3.015

変動負荷による電圧変動

芝滝 寿宏

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 810～814

近年ますます成長の度を高めている工場生産設備の中には、アーク炉・ミルモータをはじめ、大きな負荷変動を伴うものがあり、これによる系統電圧変動が増大する傾向にある。一方、事務および産業部門における計算機の導入や、一般家庭におけるテレビ等家電品の著しい普及と相まって、以前から問題視されてきた照明のちらつきはもとより、その他の一般機器への悪影響の点から、電圧変動がきびしく制限される傾向にある。この点にかんがみ、本稿は、負荷変動の様相と各種機器への電圧変動の影響を中心に電圧変動問題全般について概説した。工場配電系統計画ないしは変動負荷による電圧変動対策を検討される際のご参考になれば幸である。



UDC 621.314.21:621.316.36

キュービクル内蔵の計器用変成器

長野光佑

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 845～848

キュービクル内蔵の計器用変成器を一般用の計器用変成器からとくととりあげ、その対比を主体にして、その特長・構造および試験につき詳述した。油入形計器用変圧器・乾式計器用変圧器・乾式変流器がその主体になるので、項目をの三つにわけ説明した。なおむすびに今後の方向に簡単にふれ、計器用変成器の方向を示した。



UDC 621.316.34.027.2:621.316.5

低圧配電装置および機器

竹内孝治・久保修造

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 849～852

一般工場動力の低圧動力回路、ビルの電源設備等の大形化、近代化にともない、それらに適用される低圧配電装置および機器も年々大容量化される傾向にある。低圧パワーセンタでも、定格電流5,000AのDB-150形ACBを標準系列に加え、またノーヒューズしゃ断器については2,000A定格、および限流ヒューズと組合わせたトライバックしゃ断器でこれに対処している。

DB形ACBでは、しゃ断器本体との機械的連けいをなくし、保守の容易なCX投入方式を開発し採用している。低圧パワーセンタの導体は標準設計としてアルミ導体を採用し、数多く○の実績をあげている。

UDC 621.313.333.1:621.316.718.5

大形レクチフロードライブ設置

神田政典

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 873～876

誘導電動機9,000kWという大容量のレクチフロー設備を納入したのでその概要を記述する。本設備は20MVAの交流発電機を駆動するため、発電機周波数変動を±0.1%以下の高精度としている。速度検出はビート方式を使用し、さらにバックアップとして通常の指速発電機を使用した。加減速時には二次電力回収用の直流電動機が過電圧または過電流となるのを防止するよう考慮している。停止時には、直流電動機を励磁機として、誘導電動機にダイナミックブレーキをかけ急速に停止するようにしている。

UDC 621.316.34

CNF形分電盤およびNC形コントロールセンタ

町野康男

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 853～857

低圧動力回路のもっとも一般的な配電設備である、CNF形分電盤やNC形コントロールセンタは、計画の容易なこと、安全性の高いこと、融通性の大きいことなどの点から、近年ますますその需要が高まってきた。発電所・鉄鋼設備の補機電動機用、あるいは石油・紙その他の各種プラントの、低圧誘導電動機用制御盤など、この種の制御盤は設備容量や建設費、あるいは休止損失などを考慮して、種々の形式の機器が検討され、またいろいろの形の盤が組み合わされている。本論文ではこのような低圧盤電源設備の計画上の諸問題を中心に融通性のある形式や、特○長のある構造を、製作例を中心に紹介したい。

UDC 681.142

MELCOM-9100システム・シリーズ(1) 一方式設計一

松本大四・坂 和磨・飯川昭一

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 877～887

オンラインリアルタイムシステムを対象にして、規模・価格・性能の幅広い範囲をカバーすることを目標にしたMELCOM-9100計算機システムシリーズの設計思想および方式設計を述べている。とくにハードウェアとソフトウェアの統一設計、広範な共通性、将来の技術進歩に対する発展性を考慮した設計が強調されている。

方式設計はオンラインリアルタイムシステムの要求から抽出された設計目標から展開され、計算機資源の動的な割付の概念、およびきわめて高いモジュラリティを持つシステム構○成の概念が導入されている。

UDC 621.316.35

バスダクト配線方式の適用

堀田滋矩

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 858～864

低圧バスダクトは、工場・ビルなどの幹線に盛んに使用されるようになったが幹線に限られるケースが多い。これは経済的採算によるものであるが、アルミ導体なら定格電流400A以上は金属管工事よりも経済的である。しかもアルミ導体は、電食に関する技術対策も向上し、銅導体と同様安心して使用できることを紹介するほかバスダクト計画に必要な諸事項として、定格電流の選定・短絡電流・電圧降下・自動しゃ断器の設置・布設径路・特殊環境に対する考慮などについて述べたものである。

UDC 621.791.75

定電圧交流アーク溶接機を用いた無被包アーク溶接法

山本利雄・島田 弥・竹内友彦・鷓飼 順

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 888～894

最近、軟鋼の半自動溶接法の一種として、複合心線により被包ガスを用いないで溶接を行なう無被包アーク溶接法が開発され、現在交流アーク溶接機(垂下特性)と可変速心線送給装置を組み合わせた方式により実用されているが、アークスタートがやや困難であるなど、溶接作業性の点で問題がある。そこでアーク長の自己制御作用を利用できる交流定電圧電源に、定速度あるいは可変速心線送給装置を組み合わせた方式によって溶接を行なったが、この結果、電源特性に適当な垂下度を持たせれば作業性が著しく改善され、溶接継手性能もすぐれていることが明らか○になった。この研究結果をもとにしてMN-500形 定電圧交流溶接機 を開発した。

UDC 621.791.76.03:621.311.6

抵抗溶接機用電源設備

馬場利彦

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 865～869

抵抗溶接機は、今日、自動車、鉄道車両、航空機産業をはじめ多くの産業界で高生産性を有する加工法として広く一般に利用されている。

一方抵抗溶接機は一般電気機器に比べ多くの場合、単相負荷である、力率がきわめて悪い、溶接時大電力を必要とする、溶接電流の持続時間のきわめて少ない断続負荷である等々電力供給上好ましくない特長を持っている。不適当な電源設備では機器が満足に動作せず溶接不良など重大な障害が生じ予裕を取ると不経済になるので、各種抵抗溶接機の概要と電源設備の選定法について述べる。

UDC 538.61

メーザ、レーザーで代表される新しい技術分野 ——量子エレクトロニクス——

安東 滋

三菱電機技報 Vol.42・No.6・P 895～903

メーザ、レーザー、オプティカル・パンピングおよびその応用分野をまとめて量子エレクトロニクスと呼んでいる。当社も早くからこの分野の新製品開発につとめ、レーザー測距装置、レーザー、レーグ、レーザー無接触ならい計測装置、磁力計などを実用化している。一種の技術革命として次々に新技術が生れる分野であるから、今後ますます有望な新製品の出現が期待される。この講座ではこれらの分野の総合的な展望を試みるとともに、企業における技術分野としての諸問題を検討していきたい○

工場配電設備の近代化

小滝 喜久二*

Modernization of Power Supplies to Industrial Plants

Head Office Kikuji KOTAKI

With the progress of modern industries, plants are newly built, reinforced and improved. This induces not only gradual increase of power demands, power receiving capacities and scales of productive arrangements, but also modernizing factory equipment and turning it to a higher grade. As for power supplies to the plants, it becomes necessary to step up the receiving voltage to extra high tension one, and also to raise the low voltage distribution lines one step higher rating respectively. In line with the trend, transformer capacities undergo such a change as to the extent of 10 MVA at many installations. The article, in reference to the above, describes introduction of spot networks and a good many number of up to date developments on the apparatus.

1. ま え が き

近代産業の発達に伴い、工場の新設・増強・改善が計画され、電力の需要がしだいに増大し、受電容量および設備容量が増加するとともに、工場設備も著しく近代化・高度化される傾向にある。

工場電源設備としても受電電圧は特高受電 (20~80 kV) となり、工場配電電圧も 3 kV が 6~20 kV, 200 V が 400 V と 1 ステップ以上の昇圧化が盛んであり、変圧器容量も 10 MVA 程度のものが多数使用される。したがって使用する配電系統・機器も高信頼度で、保守面においても定電圧・無停電、操作方式も自動化され、制御も集中監視制御が実施され、迅速確実な運営が行なわれ、保守管理面も安全容易となり利用価値を十分に発揮させている。

工場用配電設備は工場の規模・内容・用途により広範囲で、高電圧もあれば、低電圧もあり、大容量もあれば、小容量もあるが、電力利用の機器に対するエネルギー供給源として、いずれであろうとも高性能・高信頼性を要求される、とくに最近の如く低電圧小容量と言えども、負荷設備の自動制御の高精度・無停電化等の要求が多い。

とくに最近の工場配電設備の傾向として

(1) 配電系統としての供給信頼度のいっそうの向上

工場配電線の信頼度向上としてケーブル化が盛んであるが、地中線の性格上必ず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・ループ配電方式等信頼度の高い配電方式が採用される。

(2) 配電設備の信頼度の向上と保守の簡易さ (機器の重量・寸法の縮小化)

機器の信頼度の向上は、変圧器の乾式変圧器の採用や、密封式・全装可搬式等シャ断器においては、ガスシャ断器・真空シャ断器等で完全無保守と言えるくらいの信頼度の高い機器が開発されたが、これらを総合して配電設備として見た場合、最も高信頼度を要求されるのは母線であって、この母線の信頼度向上のため、絶縁母線または閉鎖母線にするための装置として、特高キューピクル・メタルクラッド閉鎖形配電盤が採用される。閉鎖形配電盤は、受配電設備の閉鎖装置として最も信頼性があり、最も経済性があり、かつ確実な運転、簡易な保守、建物に調和したスタイルに加えて据付面積の縮小などの理由により、完全に金属で包まれ、接地された固定した構造と、簡単に移動できる電力シャ断器などにより構成されている。

(3) 配電系統・設備の合理的集中監視制御方式とすぐれた自動制御方式の採用

電力需要に対応する設備の増大化に伴って、工場電源設備管理の自動化・高度化はもちろん負荷設備管理とともに、多重使用を目的に計画されるべきであり、とくに最近電子計算機の発展とともに、コンピューティングローガーとして実施されねばならない。

本文には最近の工場電源設備についての傾向の一端を述べる。

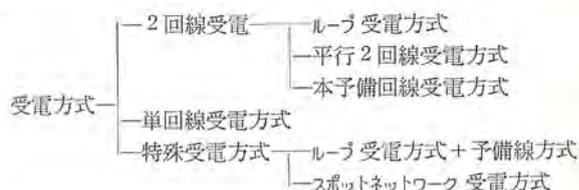
2. 受配電回路方式

2.1 受電電圧と回路方式

受電回路は受電電圧により、次のごとき階級のものがあり、また受電電圧と設備容量との関係は、次例のとおりであるが、

契約電力	受電電圧例
1,000 kW 未満	6.6 kV または 3.3 kV
1,000 kW 以上 10,000 kW 未満	11 kV 以上
10,000 kW 以上	66 kV 以上

各工場の地理的条件、各電力会社の電力供給規定の制約も受けるので、最終的には需要者と電力会社との話し合いによって決定される。とくに最近では、工場合理化の一環として設備容量の増大により、特高受電が非常に増大した。また、受電方式には従来次の方式がある。



2回線受電方式は、単回線受電方式に比し、信頼度の点ではまさることはもちろんである。とくに最近では、信頼度の向上と経済性より、ループ受電方式とスポットネットワーク受電方式が検討される。

2.2 ループ受電方式

密集した工場地帯または市街地のように、ビル地帯の送電系統は、ほとんどケーブル系統のループ受電の方式がよく採用されている。図 2.1 のごとく、電力会社からの送電線に各工場の特高母線が直列に入り送電線の一部として形成されるもので、送電線または他の工場の故障によりループ回路が分離されても、1回線受電となり、

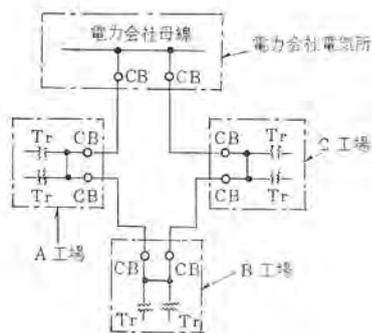


図 2.1 ループ配電
Loop wiring.

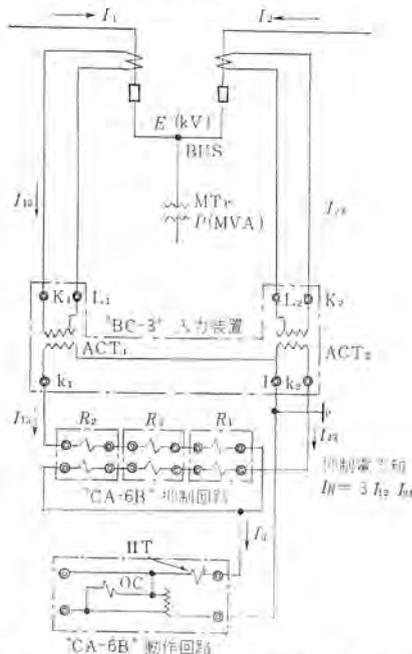


図 2.2 CA-6B 形比率差動継電器と BC-3 形入力装置の組み合わせによる簡易母線保護方式
Simple bus system in combination of type CA-6B differential relay and type BC-3 input device.

そのまま配電可能であるから専用 2 回線受電と同様な安定度は高いが、各ビルの特高母線は送電線の一部となるので、受電用遮断器およびその他主回路機器の仕様決定およびその運用にあたっては、電力会社側と協調を取る必要がある。とくに保護装置としては、各電気所の距離が短いことが多いためパイロットワイヤリレー方式が採用される。もちろんパイロットワイヤリレー方式は、電力会社供給になることが多いが、リレー方式によっては簡単な母線保護方式を設置する必要がある。このためにループ系統につながる需要家変電所、あるいは 2 回線受電式需要家変電所の高圧側母線を簡易かつ確実に保護する方式について述べる。図 2.2 に示すごとく受電回路の CT と飽和変成器を用いて故障電流の大きさによって比率特性の違う飽和比率差動特性をもち、直流分に対しては感度がとくに下がるように、CT 誤差の影響も押え、変圧器の過渡突入電流に対しても安定になるよう設計された CA-6B 形比率差動継電器と、BC-3 形入力装置とを組み合わせ使用している。図 2.3 に比率差動特性例を示す。

2.3 スポットネットワーク受電方式

スポットネットワーク方式は、図 2.4 に示すようにあい異なる一次ファイダから供給されるネットワーク変圧器を 1 個所に集めて、その二次側を共通母線に接続したもので、1 ファイダ 停電時でも、負荷設備は無停電となるように設計されている。一般に 3 回線以上の一次ファイダ

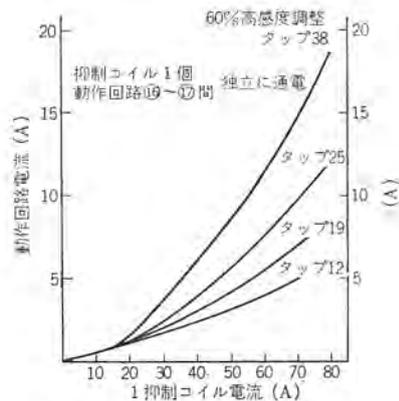


図 2.3 CA-6B 形継電器比率差動特性
Type CA-6B relay ratio differential characteristics.

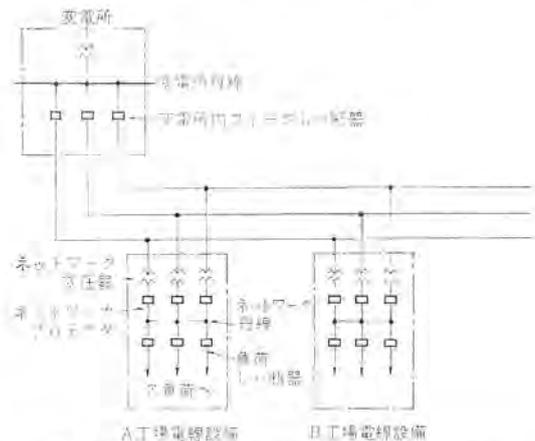


図 2.4 スポットネットワーク配電方式の基本パターン
Basic pattern of spot network distribution system.

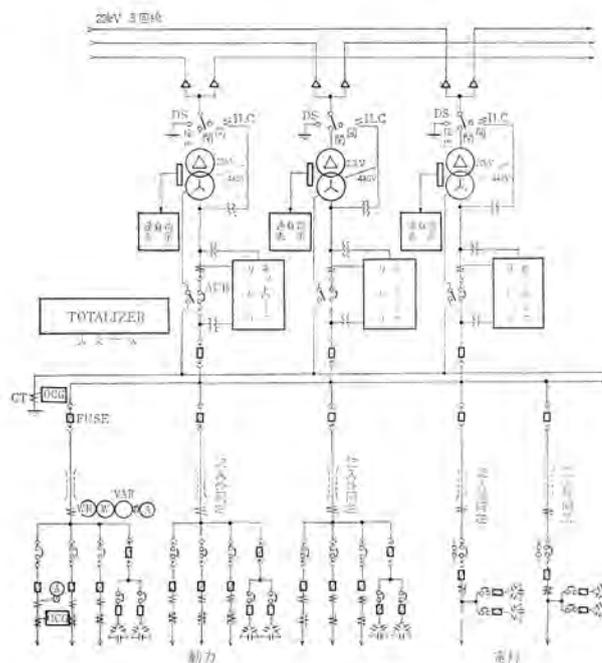


図 2.5 スポットネットワーク受電設備スケルトン例
Example of skeleton diagram for spot network receiving system.

により系統構成とされ、以下に述べるような特長を有し、都心部の高層ビル街や大工場群等、高度に集中化した大容量負荷地域に対する供給、受電方式として有利なものである。図 2.5 は本方式における受電側設備のスケルトンを示す。

(1) 信頼度が高い

基本的に、一次ファイダ1回線の停電に対しても、負荷側は無停電供給できるように設計され、供給支障の生じる機会がきわめて少なくなる。

(2) 電圧変動が小さい

スポットネットワークを構成するネットワーク変圧器の負荷分担が均等化され、常時の電圧維持はもとより、負荷変動時にも、電圧の変動が小である。

(3) 自動運転である

ネットワークプロテクタは、いくつかの自動機能を有して、系統の事故発生・復旧等に対してまったく自動的に運転され、設備管理の合理化、無人化に対する貢献は大きい。

(4) ケーブルアレンジメントのフレキシビリティ

T分岐を前提として考えれば、ケーブルこう(互)長は短縮され、かつループ配電方式等にくらべ、はるかに計画上のフレキシビリティが高い。

(5) 特高側保護設備の簡略化

ネットワークプロテクタを用いることによって、一次側特高系統の事故検出・保護が二次側で行なわれ、特高側としては、変電所出口に短絡および地絡事故の保護設備を備えるのみでよいから、総合的に据付面積の減少になる。

しかし、スポットネットワーク方式は、高度の総合技術を要する設備であって、その採用にあたってはつぎのような点に注意を払うことが必要である。

(a) 低圧側のしゃ断容量が大きくなる。

(b) ネットワーク変圧器からネットワークプロテクタを経て、母線に至る間は本方式の最重要部分であり、バスダクト構造にするなど、無事故化をはかる必要がある。

(c) バスダクトは、二次側短絡に耐える構造とする必要がある。

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ァイダが生じて、負荷設備に対しては、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、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、ネットワーク継電器・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、以下のような機能を果たすものである。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2.1に示すとおりである。

2.3.1 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2.6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がある。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

表 2.1 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	e_2 i $\theta = e_2 i$
2. 無電圧投入……(ネットワーク側無電圧、ファイ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——再投入とボンピング防止)	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 i_{lim}
5. 手動操作……表3.2参照	—

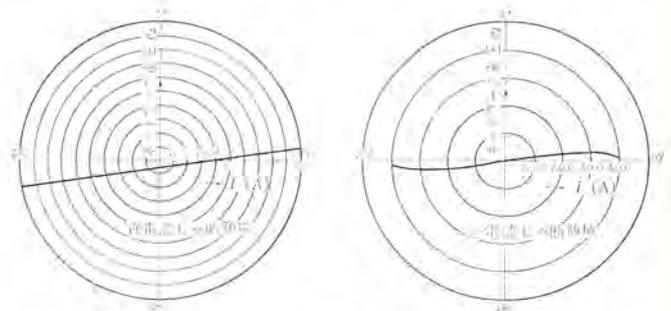


図 2.6 ネットワークプロテクタ逆電流しゃ断特性の例
Typical tripping characteristics of network protectors.

ない。それは、もし低圧側事故に対して動作すれば、全負荷設備が停電することになるからである。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、ある程度の限界は避けられない。しかし、その特性は、一般のネットワークにおいては、実用上なら問題ないと考えられている。

2.3.2 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ァイダが停電の場合、いずれかのファイダが充電されると、そのファイダにつながれているネットワークプロテクタが開路する特性である。

2.3.3 過電圧投入特性

一次ファイダが故障で、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、ファイ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

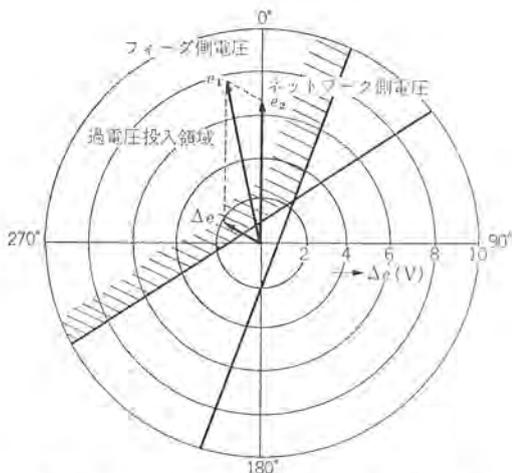


図 2.7 ネットワークプロテクタ 過電圧投入特性の例
Typical closing characteristics of network protectors.

同相で、大きさは約 1 V、位相は e_2 より $30 \sim 40^\circ$ 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、前述の逆電流シャ断領域にはいるように流れるため、ネットワークプロテクタは、過電圧投入逆電流シャ断をくり返す、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 2.7 は、プロテクタの過電圧投入特性の一例を示す。

2.4 工場配電方式

工場配電方式には種々あるが、これを大別すると次のごとくである。

- (1) 放射状配電方式
- (2) 予備線方式
 - 一次側切換
 - 二次側切換
- (3) ループ方式
- (4) ネットワーク方式
 - スポットネットワーク方式
 - レギュラネットワーク方式

配電方式の決定に際しては負荷の種類、要求される信頼度の度合、建設費、既設設備の事情等をよく検討して決定しなければならないが、現在の一般工場配電に採用されているのはほとんどが、放射状配電方式でたまに予備線方式・ループ方式を部分的に採用しているところのみられる程度であるが、今後の工場合理化対策として信頼度向上からみれば、ループ方式またはネットワーク方式の導入が期待され、ループ方式・スポットネットワーク方式は前述のごとくであり、レギュラネットワーク方式について述べる。

図 2.8 はレギュラネットワーク方式で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、一回線のフィーダが停電しても、おのお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、全負荷に供給できるように設計され、停電時間の延引を避けるために、大急ぎに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もできる。このように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。電圧変動の小さいこと、負荷の増加等融通性に富むことが特長で、ネットワークプロテクタ等は前述の特性と同一である。

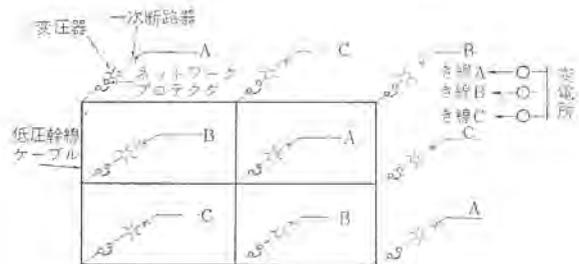


図 2.8 レギュラネットワーク配電方式の基本パターン
Basic pattern of regular networks.

2.5 高圧回路接地保護 (6~3 kV 回路)

回路の接地方式は地絡保護の難易や異常電圧の大きさなど問題であるが、今までは地絡電流 500 mA 以上を制限した旧工作物規程の習慣により、計器用変圧器接地方式が多く採用されてきたが、最近では、電源容量の増大や配電線が多数ケーブルにより配電されているため、充電電流の大きさも数十 A 以上となって関次地絡・共振などによる異常電圧発生のお機会は多くなっている。異常電圧の発生は絶縁の寿命を短くし、絶縁破壊または回路の破損が生ずることが多くなり、回転電機では絶縁に使用できる広さが限られているため、電圧と寿命の関係はとくに激しくせりあっている。最近の高圧回路の接地は異常電圧を 3 倍程度以下に抑えるため充電電流により 10, 50, 100 A の接地方式を標準に採用している。

方式としては電源変圧器のあるところでは変圧器二次を人にして中性点に接地抵抗器をそう入している。また母線のみのところでは接地変圧器と接地抵抗器によっている。時間定格としては短時間定格であるため形状も小形になっている。

2.6 400 V 回路接地保護

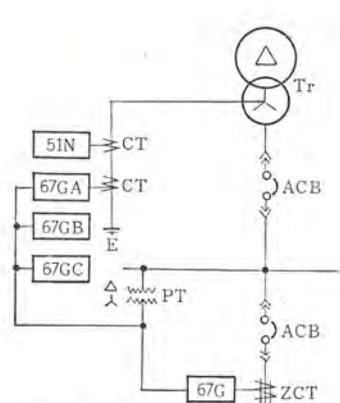
最近、配電設備の節減 (200 V 配電に比べて) 400 V 級電動機の使用、中間電圧の変圧器の省略等で動力幹線として 420 V 三相 3 線式、電灯幹線は 420/242 V 三相 4 線式が採用されているが、その接地方式については変圧器二次側の中性点直接接地が最もよく、利点としては

- (1) 非接地式に比べて回路に発生する異常電圧を低減できるので故障率が下がる。
- (2) 日常の操作のとき三相の理想的な電圧のバランスがとれる。
- (3) 配電線の対地電圧を常時 240 V 程度に抑えることができるので、対地絶縁が低減できる。
- (4) 接地事故による損失の軽減、故障点の敏速な選択シャ断回轉機巻線の保護ができる。
- (5) 変圧器の混触事故の際、対地電圧の上昇を防止できる。

以上により中性点接地方式が採用されている。選択接地保護継電方式としては、図 2.9 に示すごとく回路で接地電流約 500 mA 以上の選択接地を検出し、最大接地電流 500 A 以上に耐えるものを製作している。ただし選択接地をあまり高感度にするにより、常時動作し運転に支障をきたすことのないよう計画すべきで、配電線 CT の三次回路または残留回路を使用することにより、接地過電流継電器のみで約 20 日程度の検出であれば簡単に運転に支障がない保護方式が得られる。

2.7 低圧過電流保護

低圧交流回路の保護方式は「縦続」と「選択」の 2 種類がある。2 方式の唯一の理由は経済性だけである。低圧交流気中シャ断器の縦続配列を図 2.10 に示す。故障点に事故発生すれば A, B 各シャ断器には同一の故障電流が流れる。B シャ断器は故障電流が定格し



51 N.....過電流継電器, ×時限継電器より
Tr.....一次開路
67 GA))
67 GB)) A, B, C 相母線継電器
67 GC))
67 G.....選択接地継電器

図 2.9 400 V 回路の選択接地方式
Selective ground system of 400 V circuit.

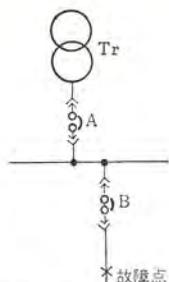


図 2.10 継続回路
Cascade circuit.

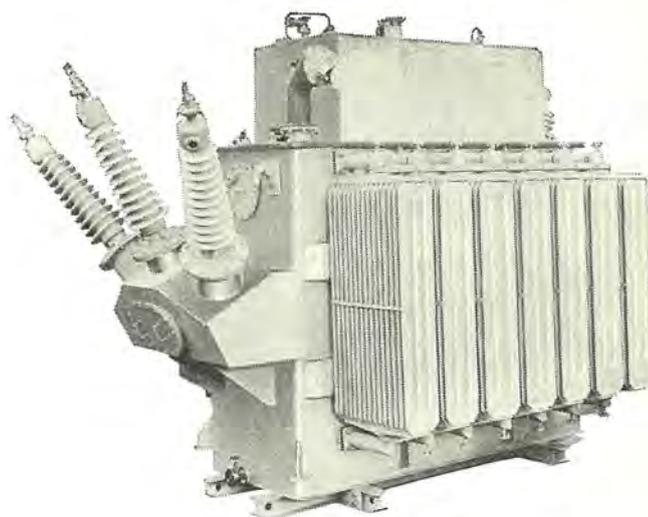


図 3.1 全装可搬式変圧器
三相 5,000 kVA 60/3.45 kV 60 c/s
Fully equipped mobile transformer.

しゃ断容量を超過しており、Aしゃ断器は少なくともA点における故障電流をしゃ断できるしゃ断容量を持つ必要がある。縦続方式は費用が安いことが特長であるが、欠点は配電回路に故障が生ずると全系統または大きい部分を停電させることである。

大形気中しゃ断器を縦続配列するのに必要な条件は、

- (1) 故障電流値以上の定格投入電流値が必要である。
- (2) 縦続段数は2をこえてはならない。
- (3) メーカーが縦続配列に使用するのを推奨した気中しゃ断器であること。
- (4) Aしゃ断器は全系統の十分なしゃ断容量を持つこと。
- (5) Bしゃ断器は全系統の1/2以上のしゃ断容量を持つこと。
- (6) Bしゃ断器は縦続引きはずした場合は、必ず点検してから再閉路したほうがよい。
- (7) Bしゃ断器は人体に危険がないよう電気操作にしたほうがよい。

縦続配列に使用するしゃ断器はすべて瞬時引きはずしと過電流の程度に対応する限時引きはずしを持ち、Aしゃ断器の瞬時引きはずしは、Bしゃ断器の定格しゃ断容量より十分低い電流、たとえば80%に整定するように、縦続方式の動作を確実にする必要がある。現在当社ではDB形気中しゃ断器が縦続方式に使用され、モールドケース形のしゃ断器は縦続にはできず、その場合の故障電流がしゃ断器の定格しゃ断容量にあるときのみ使用できる。

3. 機 器

3.1 変圧器

変圧器については、全装可搬式・キュービクル直結形・ケーブル直結形・負荷時タップ切換器・油入変圧器の劣化防止装置、とくに乾式変圧器についてはとくに下記の点がすぐれ、採用が非常に多くなってきた。

- (1) 不燃性・非爆発性である。
- (2) 受電設備全体として、重量や据付面積が縮小化された。
- (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、将来とも発展の可能性が大である。

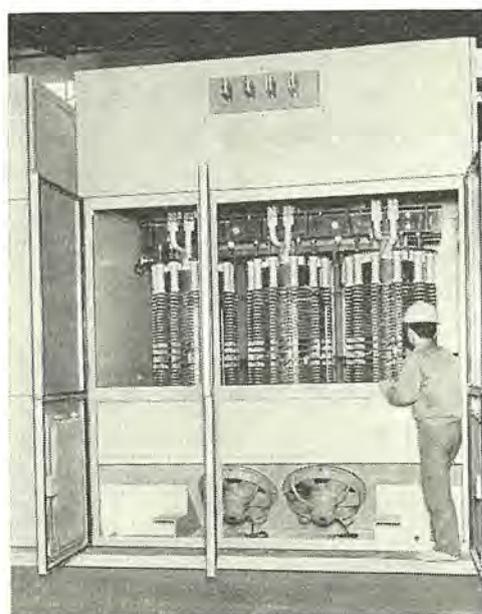


図 3.2 乾式風冷式変圧器
三相 3,000 kVA 22/3.45 kV 50 c/s
Dry type air cooled transformer.

次に設置条件としては、

- (1) 騒音および振動
変圧器から発生する公害は騒音と振動である。普通の変圧器では、負荷には無関係で、電圧がかかっている限り同一レベルの値である。振動はそれ自体では害になることはまずないが、振動によって発生する二次音が問題となることがある。

- (a) 変圧器鉄心の設計を考慮する(低騒音変圧器)
- (b) 防音タンクとする
- (c) しゃ音壁
- (d) 屋内設置

- (2) 潮風・じんあい

塩じん害対策としては、がいしの表面漏えい長の増大、活線洗浄、シリコンコンパウンドの塗布といった消極的対策と、がいし類をしゃへいする積極的対策と両方ある。前者の対策としては、ブッシングの絶縁階級を一段上げて表面漏えい長を増大する方法、または下ひだ付きがいし等耐塩害ブッシングも多く使われる。後者の対策としては、

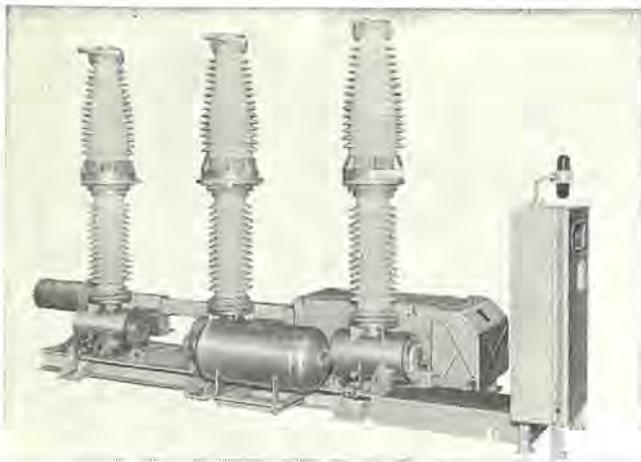


図 3.3 SF₆ガスしゃ断器 (室内用)
72/84 kV 3,500 MVA 2,000 A
SF₆ gas circuit breaker.

屋内設置、電圧の低い場合はバスダクト構造、高いときにはキューピクル直結形、ケーブル直結形構造とする。

(3) 腐食性ガス

塩素ガス・亜硫酸ガス・アンモニアガスなどの腐食性ガスがある場合には、金属部分の腐食が激しいために材質を変更したり、特殊構造としたり、特殊塗装をするなどの対策を構じなければならない。

3.2 しゃ断器

しゃ断器の縮小化と保守の簡便については、材料の進歩、設計製作技術の向上ならびに新技術の開発によって長足の進歩を遂げ、設置空間の有効利用の面に大きな飛躍を見せている。

すなわち、従来の油しゃ断器・磁気しゃ断器・空気しゃ断器において、寸法重量の縮小ならびに価格の合理化が進む一方、新形しゃ断器として特高しゃ断器に六ふっかいおう (SF₆) ガスを使用したガスしゃ断器が使用されている。SF₆ガスは絶縁耐力が空気の2~3倍、アークしゃ断能力は空気の100倍と考えられているきわめてしゃ断器にとって有効なガスであり、大電流しゃ断や、再起電圧上昇率のきびしい条件においてその効果をとくに発揮する。とくに小形軽量で構造簡単であり、排気による騒音が皆無であり、キューピクルに入れた際にも排気空気による内圧上昇がなく、したがってキューピクル装置の構造も軽量・簡単化できるなどの特性がある。またSF₆ガスは無色無臭で生理的に無害であるばかりでなく、化学的に不活性・不燃性であり、むしろ有効な消火剤として使用されるものである。図3.3にSF₆ガスしゃ断器 (屋内用) の外観を示す。次に高圧しゃ断器としては真空しゃ断器の出現である。真空中の絶縁耐力・しゃ断能力がすぐれたものであることは、1920年代より解明されていたが、最近の真空技術、接点材料の進歩により真空問題・異常電圧問題が解決され実用された。特長として、

(1) 短かい間げきで大きな絶縁耐力を有することができるので、開閉距離は少なくすみ、高速度開閉を行なうことができる。

(2) 金属蒸気が急速に拡散されるので絶縁回復特性にすぐれ、しゃ断は最初の零点で行なわれる。したがってアーク時間は0.5サイクル以下となり、また小電流しゃ断時にもアーク時間が伸びるということはない。

(3) アーク電圧が数十Vと非常に低いため、接点消耗は他のしゃ断器にくらべ一段と少なく長寿命である。また接点部の保守点検が不要なので保守・点検は激減される。

(4) しゃ断が真空中で行なわれるため、ガスあるいは油形し

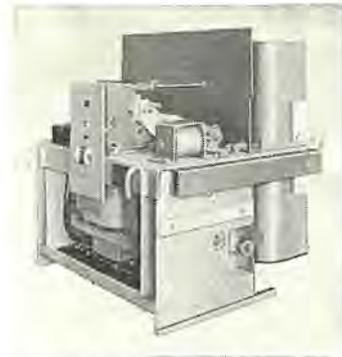


図 3.4 真空しゃ断器
7.2/3.6 kV 600 A 150/100 MVA
Vacuum circuit breaker.

しゃ断器のような爆発音がない。

(5) しゃ断部が密閉構造であるから、しゃ断性能に外部の影響を受けることなくまた火災や爆発の心配がない。

(6) 従来のしゃ断器にくらべ、画期的に小形軽量化される。

真空しゃ断器は上記のごとく数多くの利点を有しており、その応用範囲も広いものがあるが、とくに保守・点検の不要、火災や爆発の心配がないことにより化学工場や船舶・ビルディングとしてまた長寿命・コンデンサ電流の開閉にすぐれていることにより、コンデンサバンクの開閉用として用いられている。図3.4に真空しゃ断器の外観を示す。

3.3 避雷器

保護機器としての避雷装置は、異常電圧により動作した場合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ないが、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つてはじめて確かめうる特性で、配電用避雷器もこれら各種の試験を繰り返して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うる。このように避雷器の適用にあたっては、十分に性能の検証されている信頼度の高い機器を選定することが、適正な絶縁協調をうるための必要条件である。

避雷器の適用上、保守上の注意事項として当社オートバルブ避雷器は、

- (1) 短絡容量に適用上の限界がない。
- (2) 制限電圧が低過ぎないため安定したしゃ断能力が得られる。
- (3) 進相回路での動作責務にも問題がない。

等の特長を有しており、また使用条件が化学工場等でパッキンや金属ふたの劣化を促進するふんい気での使用や塩風を著しく受ける地域での使用には、がい管表面へのシリコンコンパウンド塗布や短期間の定期的な清掃などの特別の保守を行なうことが望ましい。シリコンコンパウンド塗布は汚損・塩害の著しい地区に有効で、0.2~1.0 mm厚塗布で約10年の寿命がある。また6.6 kV用としては耐塩さらを取り付けた避雷器があり、重汚損地区に選ばれる。これは耐汚損対策としてのシリコンコンパウンド塗布が、定期的な塗りかえ作業を必要とすることから実施不可能なばあいがあるため、無保守を前提にして考案されたものである。図3.5に耐塩さら付避雷器の外観を示す。

3.4 配電盤

配電盤の機能である監視・制御・保護の機能は受変配電設備の大容量化・高度化にともなって、ますます重要度を増しつつある。

これに応じて自動制御方式・集中監視制御方式の採用が積極的に

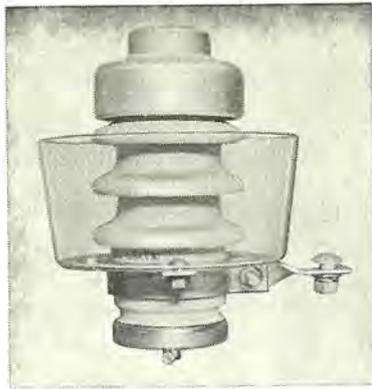


図 3.5 耐塩さら付 LV-GL 形 8.4 kV 避雷器
Type LV-GL 8.4 kV arrester with salt resisting bowl.

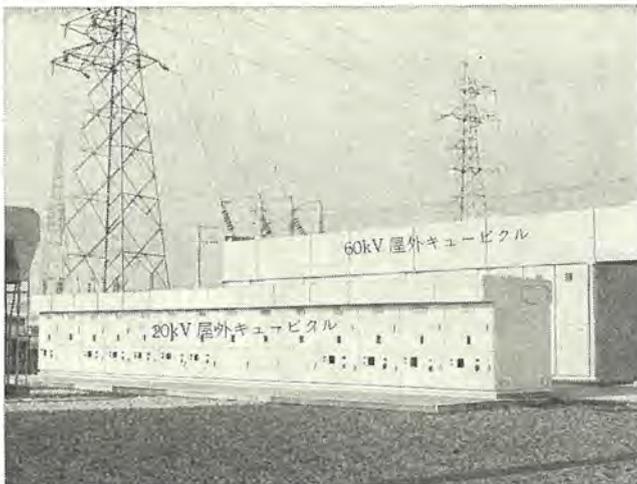


図 3.6 TO 形 10 kV 屋外 キュービクル
Type TO 10 kV outdoor cubicle.

取り入れられているが、最近とくにエレクトロニクス技術の導入が数年前から主としてデータ処理装置の採用という面から検討され、部分的には使用されているが計算機の発達とともに電力システムの合理的運用と信頼度向上の要望が出てきて、計算機が単なるデータ処理だけでなく、総合的な自動監視制御のための機器として使用、すなわちコンピューティングロガーとして実施されつつある。

構造面ではエレクトロニクスの導入、シャ断器技術の進歩を背景に縮小化・単位化が強力に推進されている。とくに具体的には計器数の削減、記録計器の活用、最大指示計の活用、故障記録計の使用、選択方式の採用、測定スキミング装置の使用、グラフィックパネルの採用、自動制御装置の採用等が強力に推進されている。

電源設備の信頼度向上、保守の簡便、据付面積の縮小、汚損対策(塩害、じんあい)、美観等で閉鎖形配電盤が数多く使用される。

閉鎖配電盤の特性としては、

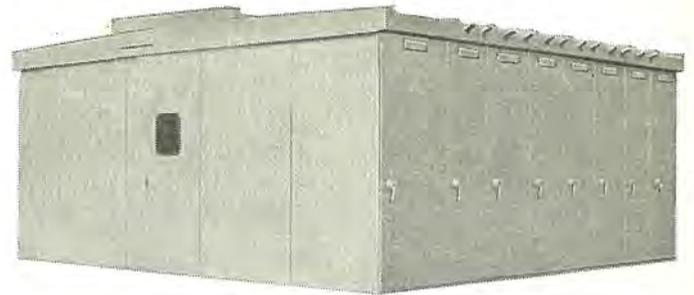


図 3.7 屋外用 メタルクラッド
Outdoor metalclad switchgear.

(1) 充電部が露出していないゆえ、信頼度は絶対的で誤動作防止装置を完備しているから保守は安全である。

(2) 設備全体が接地金属箱内に収納され、装置の主要機器相互間は鋼板パリアで隔離された構造で、操作および保守にあたってきわめて安全度高く、機器自体の保護が十分なされている。

(3) 合理的設計によってコンパクトにできるので、据付面積が小さく、据付作業も容易で、かつ工期も短時間で済むので建設費が節約され、また外観は美しく洗練されている。

(4) 工場で完全に組み立てられ、完全試験までを一貫して工場で行なえるから装置全体がよくバランスして高度の性能を有している。

(5) 上述の閉鎖性・安全性とともに、内部収納機器に信頼性あるものを使用することにより無人化が容易である。

(6) 設備は単位化・標準化されて互換性を有するため、増設移設がきわめて簡単である。

受変配電設備近代化の要求にマッチしており、その適用範囲も、110 kV 特高キュービクルから、低圧電動機制御用のコントロールセンターまでおよび、内部収納機器も最近のシャ断器・断路器・CT・PT等の技術的成果できわめて多様性をもっている。

図 3.6 は特高キュービクルの外観、図 3.7 はメタルクラッドの外観を示す。

4. む す び

以上工場配電設備の近代化に対する最近の傾向を無統制に、概略的に説明したが、最近は新しい技術の開発、新しい材料の発明が著しいものがある。使用者に満足していただく電力機器の開発と製造技術の発展につとめることは、メーカー技術者の責任であり、これに対しご支援をいただくとともに、本文を工場電源設備の計画のご参考に供したいと考える次第である。

参 考 文 献

- (1) 森ほか：三菱電機技報 41, No. 11 (昭 42)

工場の新しい受配電管理

長町 恒資*・島田政代士*・美濃 順一*

Uptodate Control System of Industrial Power Distribution

Kôbe Works Hisashi NAGAMACHI・Masayoshi SHIMADA・Junichi MINO

Electric power is an energy source of productive plants. It is not exaggeration to say that suspension of power supply is stop of every industrial activity. In other words enormous amounts of investments on factories fail to work to the purposes if power is not supplied. From the above viewpoint, it is vitally important to have rational control in feeding power of good quality to industrial load with high dependability, economy and effect. To realize it the following functions are called for, (1) Qualitative control of power, (2) Quantitative control of power and (3) control of safety of power distribution systems.

The article describes the latest apparatus as the means to reach the goal.

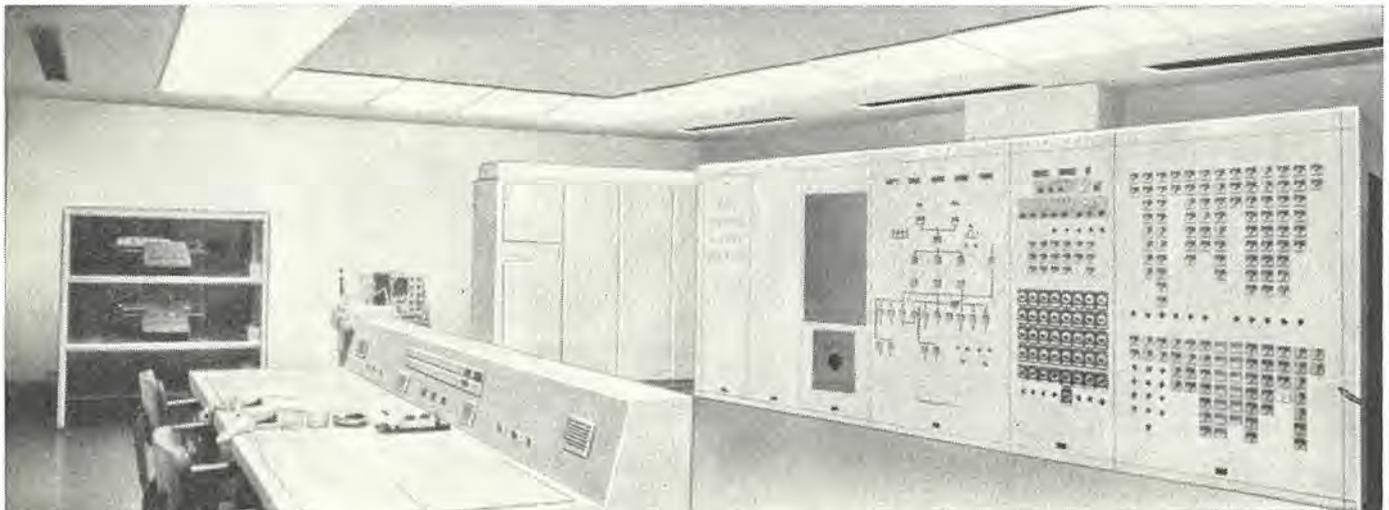


図 1.1 計算機を導入した中央管制室 Central control room using computing logger.

1. ま え が き

一般工場における主動力源は電力に依存している。したがって電力は工場の活動源であり、電力の供給停止は工場の諸活動の停止を意味すると称しても過言ではない。一方受配電設備、電力料金、その他維持運営に対する投資額も相当多額に達するため、企業としての工場の管理運営上、常に良質の電力を高信頼度をもって負荷に供給し得るよう合理的に、かつ効果的に管理するということはきわめて重要な意義を有する。

今後工場における受配電管理はますます自動化、合理化されていくと考えられるが、以下に“受配電システムとしての管理”という観点に立つての考察を行ない、次いで最新の管理装置を紹介し、受配電管理の合理化計画の参考に供したいと考える次第である。

2. 受配電管理

2.1 受配電システム

受配電設備は電力供給源から電力を受け、負荷に適した電圧レベルに変換供給する設備の総称であり、電力供給源としては電力供給業者から電力供給を受ける受電端と、自家用発電設備がこれに相当する。したがって受配電設備は“電力エネルギーの変換流通システム”として全体をとらえることができよう。

一般工場の受配電設備は、多種多様の装置・機器によって構成され、各装置・機器の設置場所も工場内各場所に分散配置されるのが普通であるが、受配電設備はシステムである以上、これら装置・機器の単なる集合であってはならないのである。

各装置・機器は受配電システム全体の中の一構成要素として考えられなければ、調和のとれたシステムが期待できないためであり、また各装置・機器としてはおのおの単独に特有の機能を有しているのではあるが、いずれの装置も他との関連なく独立してその機能を発揮しているわけではなく、システムの中で必ず互いに他と直接・間接に関連しあい、相互に密接な関連を有し合っているためである。

受配電管理に際しては、常にシステムとして全体を掌握し、電力エネルギーの変換流通システムとしての管理運営の観点から設備全体をながめ、システムが常に安定して高能率でかつ経済的であり、バランスのとれた状態に保てるよう心がけて管理されねばならない。

2.2 受配電管理項目

受配電管理の目標は負荷が要求する電力の質および量を、常に高信頼度・高能率でしかも経済的に供給することであり、このためには負荷の実態は握、設備の全体的は握が必須条件になる。負荷需要は動的なものであり、短期的にもまた長期的にも変動推移するものであるから、システムとしてはこれに対処しうる柔軟性を持った安定した状態に保たれねばならない。

システム状況の把握にはなんらかの情報が必要であるが、情報源となるものは電気量である電圧 (V)、電流 (I)、電力 (P)、無効電力 (Q)、周波数 (F) に集約され、これら情報はさらに V、P、Q、F に集約され得る。そこでシステムとしてはこれら V、P、Q、F の時間的変動を適確には握し、これらを常に最も望ましい状態にあるよう合理的に管理してやればよいことになる。

一般工場においては、これらの情報のうち F に関しては状況の把握にとどまり工場内では制御でき得ない性格のものであり、他の量とは性格の異なる別格のもので、これの完全管理は電力供給業者の手にゆだねざるを得ないであろう。ただし状況は握が必要であることはもちろんである。

以上のことから、一般工場における受配電管理項目としては、次の4項目があるとしてよからう。

- (1) 電圧管理
- (2) 電力管理
- (3) 無効電力管理
- (4) 周波数管理

また時間的な観点からは

- (1) 平常管理
- (2) 緊急時管理

の2種に大別することができ、さらに性格別からは

- (1) 質的管理
- (2) 量的管理
- (3) 保安管理

の3種に分類することができる。本文では後者の分類にしたがって順に説明を進めることにする。

- (1) 質的管理……(V, F)

電力の質は電圧と周波数で決定される。この中周波数管理については、前述のとおり工場内では制御でき得ない性格のものであり、状況は握し、参考情報として管理せざるを得ない。

電圧管理は申すまでもなく、一次系統電圧変動および負荷変動に伴って変化する電圧を、各所の各機器の定格電圧を超過させることなく、常に負荷が要求する電圧に一定に保つよう管理運営することであり、工場内系統全体の電圧を監視制御しなければならない。調整方法としては、受電用変電所での一括調整と負荷点での local 調整があるが、具体装置としては負荷時タップ切換装置、誘導電圧調整器が主体となり側面的にコンデンサ等による無効電力調整、単独・並列切換え等による系統インピーダンス変更等がある。

- (2) 量的管理

まず現在の負荷の種類・特性・量を曜日・季節に応じて十分つかみ、次いで将来の設備計画より長期的負荷変化を予測することから量的管理が始まると称して過言ではない。負荷の把握は負荷リストを作成すると同時に曜日ごと、季節ごとの代表的な負荷曲線を作成し、あわせて需要率・負荷率・不平等等の統計量を算出しておけば負荷の量的把握が明確になり、契約電力・増設時のバンク容量決定等が合理的に行ないうる。調整としては負荷の同時起動の回避、非重要負荷の一時的制限、無効電力調整による受電力率の改善等電力、無効電力の合理的運用により、できうるかぎり低い契約電力で工場負荷をまかなえるよう管理するのが経済的である。

また各機器の高効率運転を考慮し、変圧器運転台数の調整、自家発電を有する場合可能な範囲で受電電力・自家発電電力の配分を調整することも考慮しなければならない問題である。ただし注意すべきは

負荷設備増強による需要電力の絶対増加に対しては恒久的な増加として対処し、いたずらに負荷制限のみを優先させるべきではなく、負荷の重要性を十分検討して受配電設備容量の増量、契約電力更新等を行なわねばならない。

(3) 保安管理

事故発生時等の緊急時の管理は、災害に直接関連するため受配電管理の最重要項目の一つである。

緊急時対策としては平常時緊急時の操作基準を作成し、日ごろからの訓練が必要なることはもちろんであるが、事故発生の早期発見、事故の拡大防止、停電時間の短縮化を計るため保護装置の完備、予備回線による送電、非常用電源の設置等系統上の配慮が必要であるが、重要個所、重要回線ほどこれらの諸設備を完備させておき、全体としてバラスのとれたものにしておくというシステム上の協調がたいせつである。

なお保護装置の主体となる保護継電器、保護継電方式の詳細および系統構成の詳細については別講に述べられているので、本文では省略する。

このほか緊急時の通信連絡網の確保、制御電源の確保、および保安灯ならびに保安動力確保の体制をととのえておくことも忘れてはならない保安管理の一つである。

2.3 管理手法の最近の傾向

最近の傾向としては企業としての要請もあり、管理の高能率化、合理化であり、今後ともこの傾向は変わることがないであろう。具体的に言えば自動化、集中管理化である。

集中管理により

- (1) 総合判断によるシステムの合理的運用
- (2) 高能率管理による労力の削減

のメリットを見出し、自動化により

- (1) 誤判断、誤操作の防止
- (2) 確実性確保、迅速化による信頼度向上
- (3) 管理労力の消滅

のメリットを見出し、自動化の傾向である。

以上のようなメリットを見出すための合理的な管理体制への段階は、次のようなステップで行なわれよう。

- (1) 各所の諸設備ごとの局部的自動化
- (2) 総合判断・指令の中心は人間とした集中管理システム
(ローカル設備は完全自動化、または遠隔化)

(3) 総合判断・指令まで自動化した完全自動集中管理システム
(1)の段階においては管理用装置として各種の自動制御装置が主体となり、(2)の段階においては、(1)のうえにさらに各種の自動記録計器、遠方監視制御装置の活用が効果的で、(3)の段階においては(1)、(2)をベースとし計算機の導入が必要となるであろう。以上本章では受配電管理について、主としてその考え方、管理項目、最近の傾向について考察したが以下の3章において最新管理用装置について記述する。

3. 新しい管理用装置

3.1 自動制御装置

3.1.1 自動保安監視装置

- (1) 電源自動切換装置

図3.1に示すような常用、予備の2回線受電を行なっている場合、常用回線停電時、自動的に予備回線に切換え停電時間の短縮を

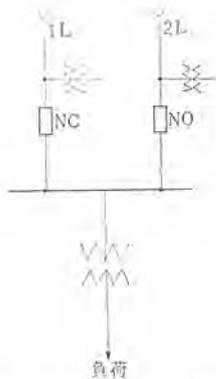


図 3.1 常用予備切換形式
Automatic change-over system between ordinary use supply and reserve one.

計る装置である。予備回線に切換える具体的なプログラムは、PT の位置とか、予備回線の性格により異なってくるが、一例を示せば次のとおりである。

- (1) 常用回線停電で常用回線しゃ断器開放
- (2) 予備回線に電圧有りの条件で予備線しゃ断器投入
- (3) 常時回線に電圧がくればふたたび常用回線しゃ断器を投入後予備回線しゃ断器を開放

なお自変電所構内事故時には、この自動切換えはロックする必要があることはもちろんであり、構内事故検出用として距離継電器または電圧抑制式過電流継電器を使用している。この種の装置は変電回線のみならず、構内の重要負荷回線に対しても同様な考え方で適用することができる。

(2) 自動負荷制御装置

自家用電力系統において需給バランスを破る要因には、次のようなものがある。

- (1) 受電回線のしゃ断 (受電変圧器事故を含む)
- (2) 自家発電機の停止

このような事態が発生した場合、速やかに負荷制限を実施し系統の需給バランスを保つことが必要である。この装置は上述の条件を起動要素として、しゃ断された電源が事故発生以前に供給していた電力に相当する負荷をしゃ断することにより、需給バランスを保たんとするものであり、しゃ断負荷の選択・組合せを任意に行なえるようプログラムボードを内蔵している。この装置のブロック図を図 3.2 に示す。

なおこの装置は前述のような緊急時のみならず、需要電力計と組合わせ負荷制御を行なわせることにより、需要電力の自動制御にも応用することができる。ただこの種の負荷制御方式は、負荷しゃ断器の開閉により行なうものであるから段階的な制御とならざるを得ない。このため、実際の適用にあたっては負荷の性格と協調のとれたものとする必要がある。

(3) 逆電力しゃ断装置

化学、紡績、パルプ等のプロセス制御を行なっている工場等では、プロセスラインの中の機器が短時間といえども停止すると、全プロセスに影響を与え工場としてばう大な損失を招くため、重要負荷に対しては瞬時の停電も許されないのである。

このような工場では、重要負荷に対しては無停電供給を維持する目的をもって買電系統と自家発と並列運転を行なわしめている。

買電←→自家発の並列運転を行なっている系統において、買電側が停電等の事故によって受電不能になった場合は、自家発はいま

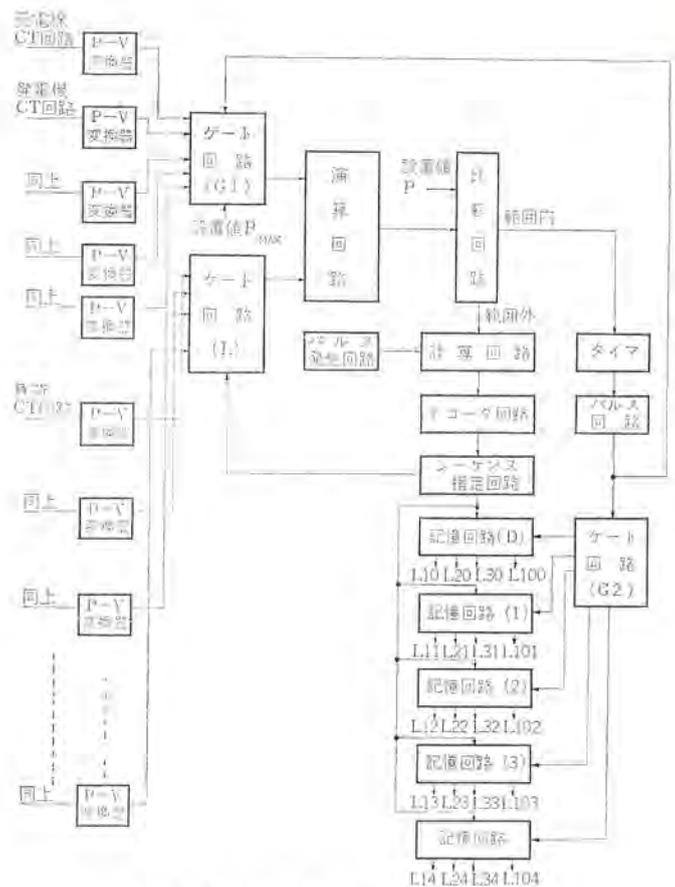


図 3.2 負荷制限装置ブロック図
Block diagram of load limiting equipment.

での受電電力分をすべて負担しなければならないので、一度に負荷が急増することになり、場合によっては自家発の自動しゃ断を招き工場電力系統の全停という最悪ケースをひきおこす。このような事故を未然に防止するために、受電電力系統の停電事故をすみやかに検出して、これにより自家発系統の系統分離を行なうとか、重要負荷のみを残し、非重要負荷は切り離し、選択しゃ断せしめるとかの方式が採られている。

当社では以上のような大事故を未然に防止し、重要負荷には無停電で電力供給を続けさせるため、逆電力しゃ断装置を準備している。本装置は遠方の上位変電所でのしゃ断器開放時のように、受電点で有効電力が逆送になった場合は、高速度有効電力リレー #67P でこれを検出し、送電線の短絡事故時等無効電力が逆送になった場合は、別に用意されている高速度無効電力リレー #67Q によりこれを検出し、他方受電系統からは必ず一定以上の電力を受電するものとし、これが規定値以下になった場合は専用送電線の無警告停電等の停電事故と考え、高速不足電流リレー #37R で受電電力不足をもあわせて検出する方式で、系統動揺時の不要動作防止のための不足電圧リレーによるストッパー、並列投入時の同期化電流による不要動作防止のための時限リレー等も兼ねそなえており、幅 500 のパネル 1 面にまとめられた装置である。

3.1.2 自動制御装置

(1) デマンド制御装置

デマンド制御は受電設備の最大需要電力を契約値以下に押えつつ、負荷の需要を最大限に満たし設備を効果的に運用するという電力の合理的な使用を計るためのものである。本用途のためコスト的にもスペース的にも手軽に使用でき、かつ最大限の管理効果をねらって開発

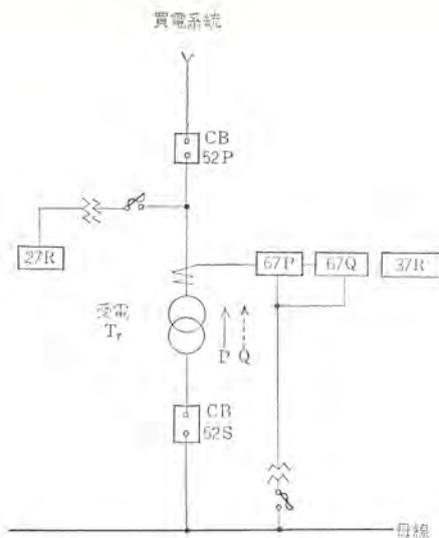


図 3.3 逆電力検出しゃ断回路スケルトン
Single line diagram for detecting reverse power flow.

されたものが HK-S 形警報 デマンドメータで、発信装置付き電力量計と組合わせて使用する。本装置には、

- (a) 最大需要電力表示
- (b) 負荷トリップ用接点
- (c) 許容負荷表示ダイヤル
- (d) 警報 (ブザー), 表示 (赤ランプ)

等が装備され、かつ発信器 (電力量計) からの信号受信は、パルス形式となっているため、遠隔地での計測が可能であるという特長を有している。図 3.4 および表 3.1 におのおの動作原理、動作説明を示す。

(2) 自動電圧制御装置

電圧変動は秒オーダー以下のサイクルで、変動を繰り返すいわゆる電圧フリッカと、これより長時間のオーダーで変動する通常の電圧変動があり、前者に対しては系統検討を含む相当大がかりな対策が必要であるが、他稿に詳述されているので本文では割愛し、後者に対する装置について説明する。

電圧調整方法としては 2.2 節に記したように、受電用変電所における一括調整方法と、各負荷点での local 調整方法とがあり、最終目的から考えれば後者によるのが有利と言えようが、装置の分散による費用高の点と、保守・管理の点から実際問題としては困難な面が多い。

この点に対する一般的な方策としては、各負荷点の負荷の性格と、おのおの点での電圧変動状況とを十分検討ののち、変電所において一括制御を行なったのちもなお不十分な負荷点 (電子装置を主体とするような負荷) に対しては、local 制御を併用する方策であり、一括制御を行なう必要がないような工場においては、局部的に local 制御のみを採用する方策である。

装置としては負荷時タップ切替装置と誘導電圧調整装置が主体であって、自家発はその容量の関係から電圧規正用には使用されないのが普通である。

図 3.5 および図 3.6 におのおの自動制御装置の中核になる調整リレーの外観を示すが、本リレーはいずれも半導体を使用し、静止化されているため次のような特長を有している。

- (a) 半導体を使用しているため信頼性が高く耐震性が增大している。

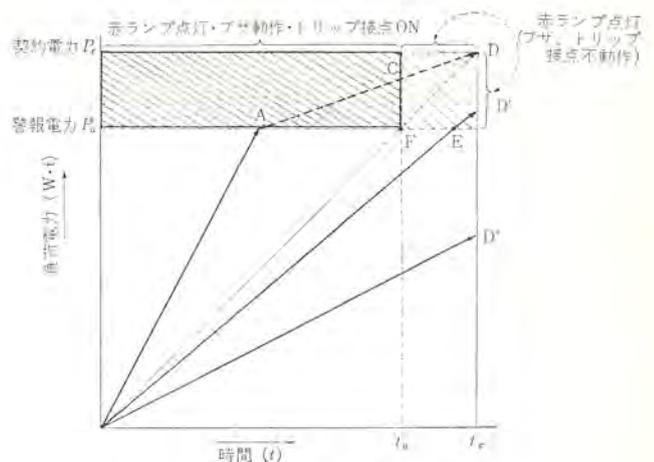


図 3.4 動作説明図
Illustrative drawing of the equipment action.

表 3.1 HK-2 BSM, HK-4 BSM の警報管制動作
Alarm control action of HK-4 BSM, HK-2 BSM.

負荷の状況	頭初負荷の大きさ	警報・管制	許容負荷の標示
O → A (A → C, D)	頭初負荷 > 契約電力 (OA) (OFD)	<ul style="list-style-type: none"> ・ A点にて警報発生 (赤ランプ, ブザー, 接点動作) ・ 許容負荷ダイヤルの指針を基準に負荷を低減させると C点でブザーがやんで赤ランプ点呼のみとなり, D点 (押し手が O 復帰する時点) に至り, ランプも消灯し平常にもどる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 警報発生時にダイヤル目盛値は契約電力に対する % 値で, その後に契約電力に達するまで積算時間内に使用できる負荷を示す。
O → D'	警報電力 < 頭初負荷 (ランプ) (OD') < 契約電力	<ul style="list-style-type: none"> ・ E点で赤ランプのみが点灯する。D'点でランプ消灯。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ E点で 100% 以上の標示をしており, OED' の親跡では負荷を低減する必要のないことを示す。
O → D''	警報電力 > 頭初負荷 (ランプ) (OD'')	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一需要時限中赤ランプブザーとも動作せず平常状態のままである。 	



図 3.5 LAA-3 B-D 形積分形電圧調整継電器
Type LAA-3 B-D voltage regulating relay.

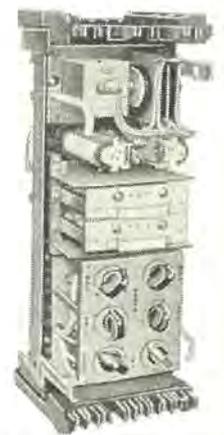


図 3.6 LAB-2-D 形電圧調整継電器
Type LAB-2-D voltage regulating relay.

- (b) 寿命は半永久的である。
- (c) PT の所要負担が小さい。
- (d) 取扱いおよび保守が簡単である。

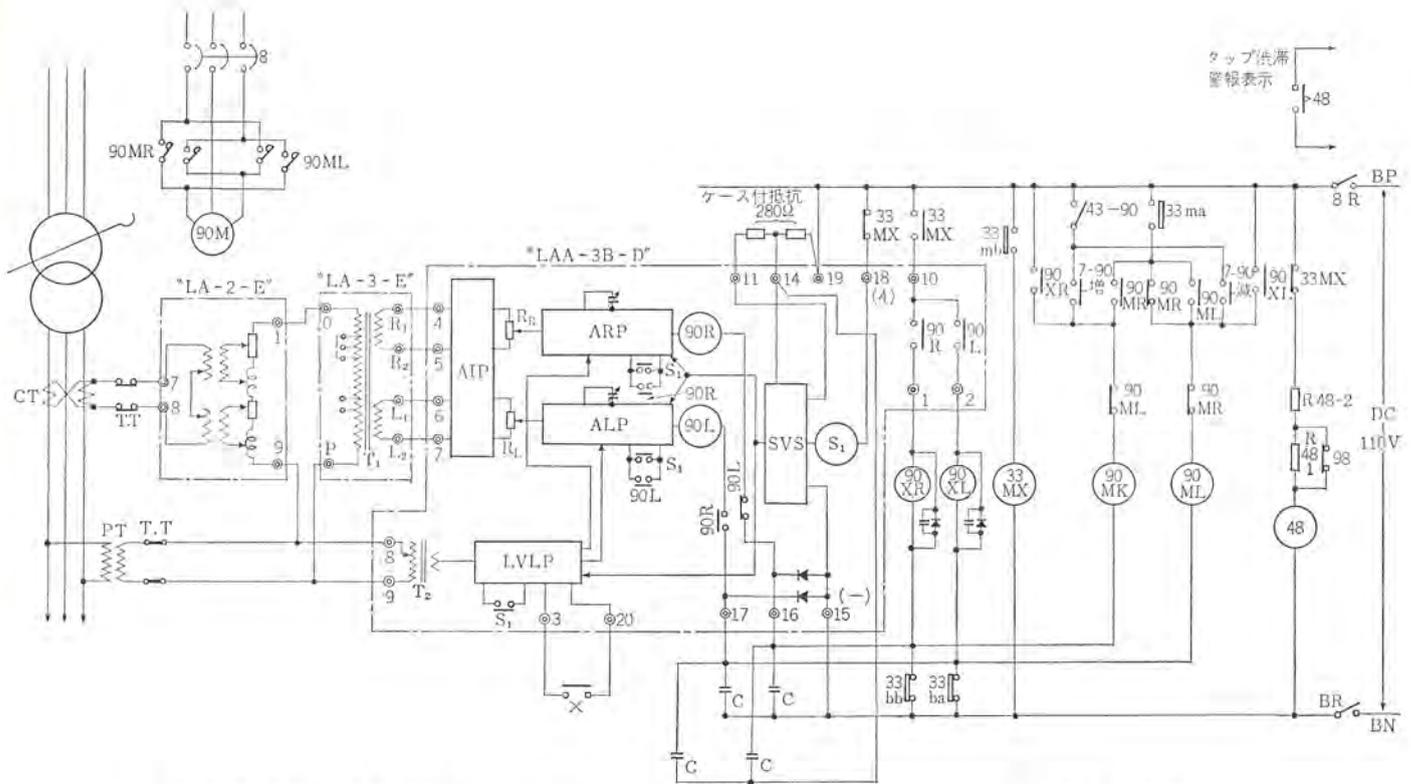


図 3.7 LAA-3-B-D 形継電器外部接続例 Example of external connection of type LAA-3-B-D relay.

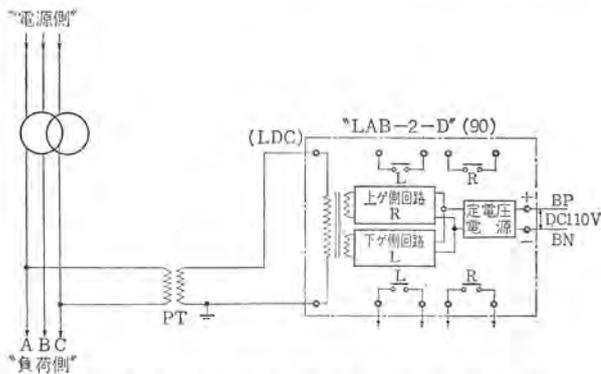


図 3.8 LAB-2-D 形継電器外部接続例 Example of external connection of type LAB-2-D relay.

(3) 無効電力制御装置

工場における無効電力制御の目的は次のとおりである。

- 電圧料金の節減
- 電圧降下の軽減
- 設備の有効利用
- 損失の軽減

無効電力供給源としては電力用コンデンサ、同期機が用いられる。このうち前者は無効電力供給源用としての専用器であるが、後者は特殊な場合を除いて主目的はむしろ他の用途であり、機器の有効利用の点から無効電力供給源としても併用されているもので、設置場所も local 設置となる。電力用コンデンサ設置については自動電圧制御装置と同様最終目的から考えれば、local に分散設置するのが有利であるが、費用・管理・制御の面から受電用変電所、大容量負荷端に集中設置する方が一般的である。当社では力率改善用コンデンサ自動制御装置として、無効電力検出方式および順序投入方式を採用した標準装置を準備している。

無効電力検出方式を採用しているのは、力率検出方式の欠点であ



図 3.9 力率改善用コンデンサ自動制御装置 Automatic control equipment for power factor improving condenser.

る小電力領域でのハンティングがないこと、電力料金の中の力率料金も実際は1ヶ月分の無効電力の積算値と、有効電力の積算値によって平均力率を算出することが多いこと、および制御しようとするコンデンサ容量と検出量である kVAR の関係が完全に linear な関係にあり、simple な制御系になることなど、力率改善用コンデンサの制御方式としては、本方式が最も合理的であるためである。同期機（主として自家発）がある工場では、総合的な観点から無効電力源として有効に利用するための自動無効電力調整装置 (AQR) がある。本装置は発電機の無効電力を Q 、有効電力を P とすれば、

$$Q = a + bP + cP^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

a, b, c は可調整定数

という特性で運転し、発電機を無効電力源として制御して設備の合理的運用を計るものである。

b, c なる定数を 0 に整定すれば、発電機は一定の無効電力を発生

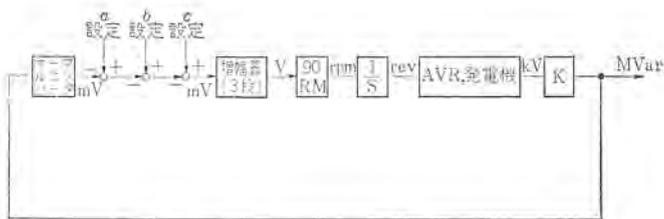


図 3.10 AQR 制御系統ブロック図
Block diagram of control system of AQR.

するよう制御されることになる。AQR を使用した場合には、発電機電圧も無効電力も相当大幅に変動することになるため、おのおのリミッタを設け機器が規定限界値をこえないよう配慮されている。

3.2 遠方監視制御装置 (SVC)

3.2.1 遠方監視制御装置適用の考え方

(1) 遠方監視制御装置採用の利点

近年、企業の合理的運営のため遠方監視制御装置が必要欠くべからざるものになってきた。

工場設備の増大に伴い、受配電設備、負荷設備が増加し、それらが工場管理所より遠く離れた所に設けられるとか、受配電設備等が1個所にまとめて設置されなくなり数箇所、10 数個所に分散して設けられると、工場全体の経済的運営を考慮しつつそれら受配電設備等を経済的かつ確実に運転する必要が生じてくる。すなわち系統が複雑かつ大規模になるにつれ、従来の受配電設備の管理方法ではむしろ損失を生ずることになり、効果的な集中的管理システムが生まれてくる。

遠方監視制御装置は、運転員のいる所から遠く離れた所に設けられる機器の監視・制御を高価になることなく、任意・確実・迅速に行なうことを目的としたもので、小は1個所の受配電設備、あるいは負荷設備の運転・停止に関する監視と制御を行なうものから、大は1~10 数個所の変電所、負荷設備の運転に関する制御、状態監視、計測、さらに記録を中央制御所から集中的に行なうことができるもの、すなわち集中的管理システムを実現するものまで、その規模については範囲が広いが、上述のように企業の合理化に最も効果のあるものである。つぎに上記遠方監視制御装置の利点を要約して記す。

- (a) 遠方に設けられた種々の設備をあたかも現地にいるがごとく任意に制御、監視することができる。
- (b) 分散した機器の集中監視制御を行なうことができる。それによって系統全体の運営を確実、迅速かつ効果的に行なうことができる。
- (c) したがって運転経費の節約をきわめて短期間かつ確実に行なうことができる。
- (d) さらに人員の効果的配置を行なうことができる。
- (e) 自動化装置と結合させることにより、運転員の過大な負担を軽減することができる。

(2) 遠方監視制御装置設置のための準備

つぎに上記のような企業合理化に効果のある遠方監視制御装置 (SVC=Supervisory Control Equipment の略) を設置するための準備について述べる。なお説明の都合上、SVC の対象を工場受電変電所とする。

- (a) 変電所無人化計画、集中制御計画を立案する。
まず無人化して SVC を採用する変電所の設置計画を立案する。
- (b) 変電所 (被制御所となる) の自動化を推進する。
変電所自体の保護の点および SVC を小形化しかつ信頼度を上げ

るため、被制御所となる変電所の自動化を極力すすめる。最低減1人制御方式化する。

(c) 遠方監視・制御・計測項目を決める。

つぎに制御所にて操作のできる機器 (制御項目)、状態あるいは警報表示する項目 (監視項目)、計測必要項目 (計測項目) を決める。

上記項目数は SVC の規模・大きさ・複雑さなどに直接関連するものであるから、変電所の重要度、保守点検体制などを参考にして決める。

(d) 連絡線を施設する。

a で述べた将来計画に基づき制御所を決め、連絡線を施設する。連絡線の仕様は制御所被制御所間の距離、信号の伝送速度、SVC の方式などによって決められる。

(e) SVC 用電源を準備する。

(3) 遠方監視制御、計測項目について

SVC 設置計画にあたってむずかしいものの一つは、前記(2)の(c)にあげた項目の決定である。最近では変電所自身の自動化の進歩に比例して遠方監視制御計測項目は統合されている。その例を表 3.2 に示す。なお表 3.2 に示す項目は図 3.11 に示す受電設備に関するものである。

3.2.2 遠方監視制御装置 (SVC) 適用の仕方

遠方監視制御装置が通常のいわゆる配電盤と相違する点は、監視制御盤と被制御所間の距離が長いということである。そのため連絡線施設に要する費用を、いかに低減するかということから種々の方法が考えられるのである。しかし一般に SVC の方法を決定するには、制御所~被制御所間の距離、遠方監視制御、計測項目の数と

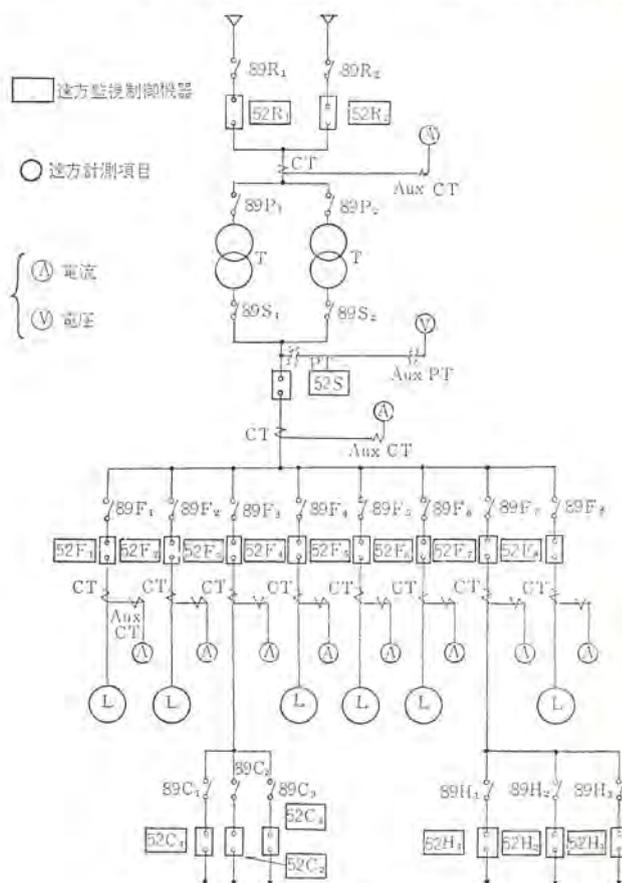


図 3.11 受電設備単線結線図
Single line diagram of receiving substation.

表 3.2 遠方監視制御計測項目一覧
List of supervisory control items.

No.	遠方制御項目	選択スイッチ 記入文字	操 作
1	受電しゃ断器 1号	52R ₁	入・切
2	受電しゃ断器 2号	52R ₂	入・切
3	変圧器二次しゃ断器	52S	入・切
4	き電しゃ断器 1号	52F ₁	入・切
5	き電しゃ断器 2号	52F ₂	入・切
6	き電しゃ断器 3号	52F ₃	入・切
7	き電しゃ断器 4号	52F ₄	入・切
8	き電しゃ断器 5号	52F ₅	入・切
9	き電しゃ断器 6号	52F ₆	入・切
10	き電しゃ断器 7号	52F ₇	入・切
11	き電しゃ断器 8号	52F ₈	入・切
12	コンデンサしゃ断器 1号	52C ₁	入・切
13	コンデンサしゃ断器 2号	52C ₂	入・切
14	発電機しゃ断器	52G	入・切
15	母線連絡しゃ断器	52B	入・切
16	屋上き電しゃ断器 1号	52H ₁	入・切
17	屋上き電しゃ断器 2号	52H ₂	入・切
18	屋上き電しゃ断器 3号	52H ₃	入・切

No.	遠方監視項目	表示灯	警 報			備 考
			Fl	Bl	Bz	
1	受電しゃ断器 1号	R1, GI	○			52R ₁
2	受電しゃ断器 2号	R1, GI	○			52R ₂
3	変圧器二次しゃ断器	R1, GI	○			52S
4	き電しゃ断器 1号	R1, GI	○			52F ₁
5	き電しゃ断器 2号	R1, GI	○			52F ₂
6	き電しゃ断器 3号	R1, GI	○			52F ₃
7	き電しゃ断器 4号	R1, GI	○			52F ₄
8	き電しゃ断器 5号	R1, GI	○			52F ₅
9	き電しゃ断器 6号	R1, GI	○			52F ₆
10	き電しゃ断器 7号	R1, GI	○			52F ₇
11	き電しゃ断器 8号	R1, GI	○			52F ₈
12	コンデンサしゃ断器 1号	R1, GI	○			52C ₁
13	コンデンサしゃ断器 2号	R1, GI	○			52C ₂
14	発電機しゃ断器	R1, GI	○			52G
15	母線連絡しゃ断器	R1, GI	○			52B
16	屋上き電しゃ断器	R1, GI	○			52H ₁
17	屋上き電しゃ断器	R1, GI	○			52H ₂
18	屋上き電しゃ断器	R1, GI	○			52H ₃
19	過電流	「過電流」	○	○		
20	接地	「接地」	○	○		
21	低電圧	「低電圧」	○	○		
22	過電圧	「過電圧」	○	○		
23	変圧器故障	「Tr故障」	○		○	
24	直接	「直接」	○		○	
25	発電機故障	「発電機」	○	○		
26	空気系故障	「空気系」	○		○	

No.	遠方計測項目	目 盛	略 号	計測の種類
1	特高電流	0~200 A	RA	選択時外
2	主変圧器二次電圧	0~4.5 kV	SV	選択時外
3	主変圧器二次電流	0~1,200 A	SA	選択時外
4	主変圧器二次電力	0~9 MW	SW	選 択
5	主変圧器二次無効電力	-4.5~0~4.5 MVAR	SVAR	選 択
6	き電電流 1号	0~300 A	FA ₁	選 択
7	き電電流 2号	0~200 A	FA ₂	選 択
8	き電電流 3号	0~100 A	FA ₃	選 択
9	き電電流 4号	0~100 A	FA ₄	選 択
10	き電電流 5号	0~200 A	FA ₅	選 択
11	き電電流 6号	0~200 A	FA ₆	選 択
12	き電電流 7号	0~200 A	FA ₇	選 択
13	き電電流 8号	0~200 A	FA ₈	選 択
14	屋上き電電流 1号	0~50 A	HA ₁	選 択
15	屋上き電電流 2号	0~100 A	HA ₂	選 択
16	屋上き電電流 3号	0~100 A	HA ₃	選 択

内容、信号伝送時間の制限、利用しうる連絡線の仕様およびその条件、価格など種々の検討要因があるので、簡単に最も適当した方式の装置を決めるわけにいかないが、簡単な目安をつぎに記す。

(1) 制御、監視、計測項目が多くても距離が短い(100~200 m程度)場合。

各項目ごとに専用線を施設する。それはたとえば心線径1.2 mmφ、心線数200本といったものとなる。

これは上記例と逆に距離が300~400 mでも、項目数が2~3項目の場合に適用されるが、要は連絡線に要する費用がきわめて安くすむ場合の方式である。

(2) 制御監視項目数が少なく(10項目程度)、一方距離が長い(2, 300 m~10 km以内)場合。

(a) 連絡線(心線径0.9~1.2 mmφ)を2P(4心)施設し、三菱F形(周波数対応形)SVCを使用する。この装置の構造および概要は図3.12, 3.13に示すとおりである。

(3) 制御監視項目数が多く(10~140項目程度)かつ計測項目も多数あり、一方距離が長い(2, 300 m~15 km)場合。

(a) 連絡線(心線径0.9~1.0 mmφ)を6P施設し、三菱多段多重式SVCを使用する。

この方式の装置は、

- (i) 連絡線がわずか6P(12心)であるが、容量が大きい。
- (ii) 常時数項目の計測をすることができる。
- (iii) 制御、監視に要する時間がきわめて短い(約0.5 s)。
- (iv) きわめて信頼度が高く長寿命である。
- (v) 保守、点検が容易である。

など多くの特長および使用実績をもつものであり、その構造および概要を図3.14, 3.15に示す。

この方式は、上記6Pの連絡線をさらに延長することにより、約10個所の変電所の集中監視制御を行なうことができる。例として図3.16に受配電所6個所の集中監視制御装置の制御盤を示す。

(b) 連絡線が1~2Pしか利用できず、制御監視項目数も多い(約20~120項目程度)場合。距離は約20 km以下。三菱トランジスタ形符号式SVCを使用する。ただし、前記三菱多段多重式に比べ装置は複雑になる。その外観を図3.17に示す。

3.3 自動監視記録装置

3.3.1 記録計器

諸データの記録管理は、受配電管理の最も基本的な必須項目であり、本用途に自動記録計器を使用すれば、次のようなメリットを見出すことができ合理的な管理が可能となる。

- (1) 労力の軽減
- (2) 計器の読み誤り、記録誤りが皆無になり正確な信頼度の高いデータ管理が可能となる。

当社の受配電管理用自動記録計の中最新のものをピックアップして紹介すれば次のとおりである。

- (1) G-23S形 多要素ペン書き式記録計
(2要素形, 3要素形)
- (2) TZ-20, 60形 多回路総合量測定用計器
(2回路~6回路加算)
- (3) MZ形 多回路用印字式記録電力量計
(2回路用, 4回路用, 22回路用)
- (4) GZ-2, GH-3形 需要電力記録計
- (5) MZ-6, 61形 小形印字式記録電力量計

3.3.2 電力量遠方計測記録装置

受電変電所の日常業務の中で大きなスペースを占めるものに電力量の記録がある。電力量の記録は定時刻に行ない、かつ正確でなければならないので、運転員にとって負担の大きい業務である。これをきわめて容易かつ安価に低減する方法として、遠方監視制御装置と組み合わせて使用する電力量遠方計測記録装置がある。

本装置の特長は遠方監視制御装置の一部を構成するものであるが、選択式電力量遠方計測装置と記録装置とからなっており、単独に使用できることで、衝流発信器付積算電力計の出力パルスを被制御所側にて蓄積しておき、制御所からの呼び出し指令に応じて被制御所

から蓄積しただけのパルス数、すなわち積算電力量を制御所に送信し、制御所ではそれを受信すれば計数・記録し、印字機（ライプリンター）によって印字記録するものである。その概要を図 3.25 に示す。制御所からの呼び出しは時計からの時刻パルスによる「自動」と、任意時刻に任意項目呼び出し可能な「手動」の2方法が可能であり、スイッチにより切換えてくる。

記録用紙には

日、時、被制御所名（集中監視制御の場合必要）、項目名（同一被制御所で複数個のWHを計測、記録する場合に必要）、電力量（前回計測との差額分）を記録できるようになっている。



図 3.12 F 形 SVC 構造図
Type F supervisory control equipment.

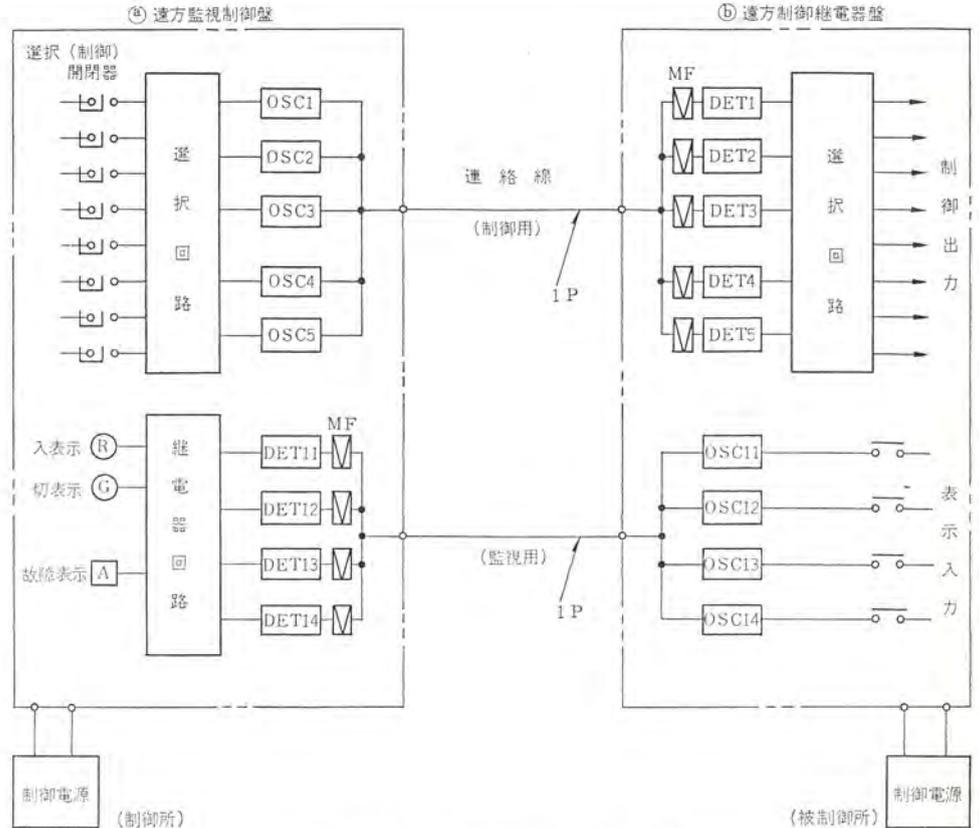


図 3.13 F 形遠方監視制御装置概要
Outline of type F supervisory control equipment.

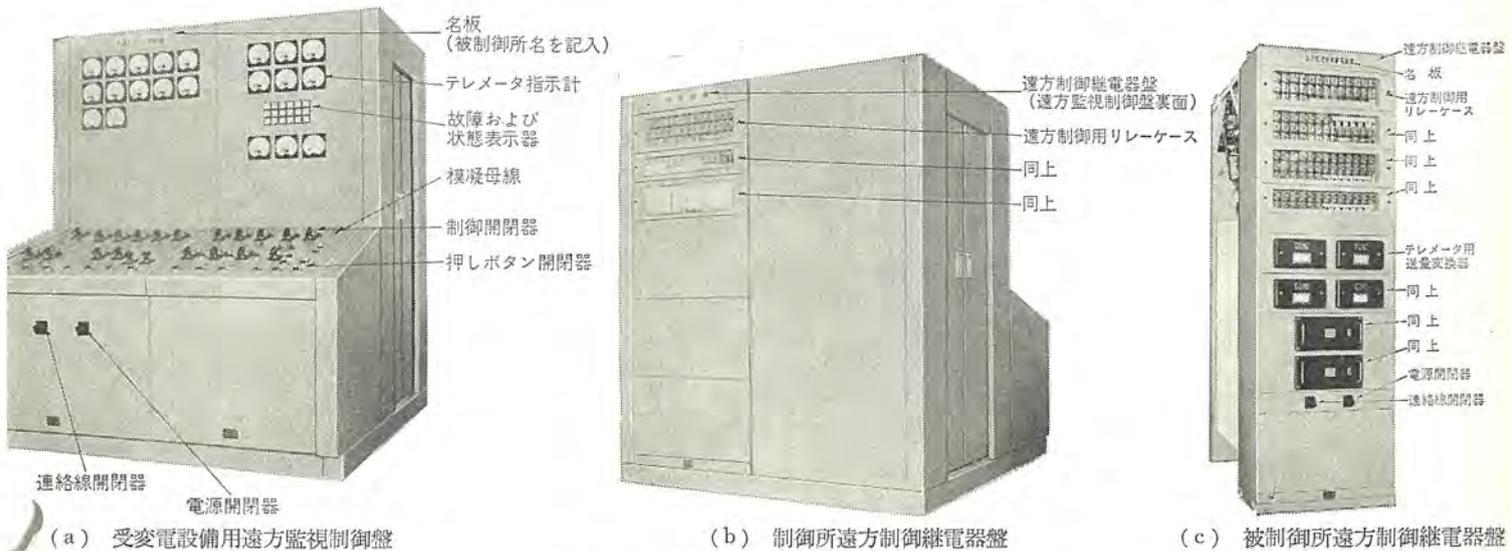


図 3.14 多段多重式 SVC 装置概要図
Exterior view of multistage multiplex system SVC.

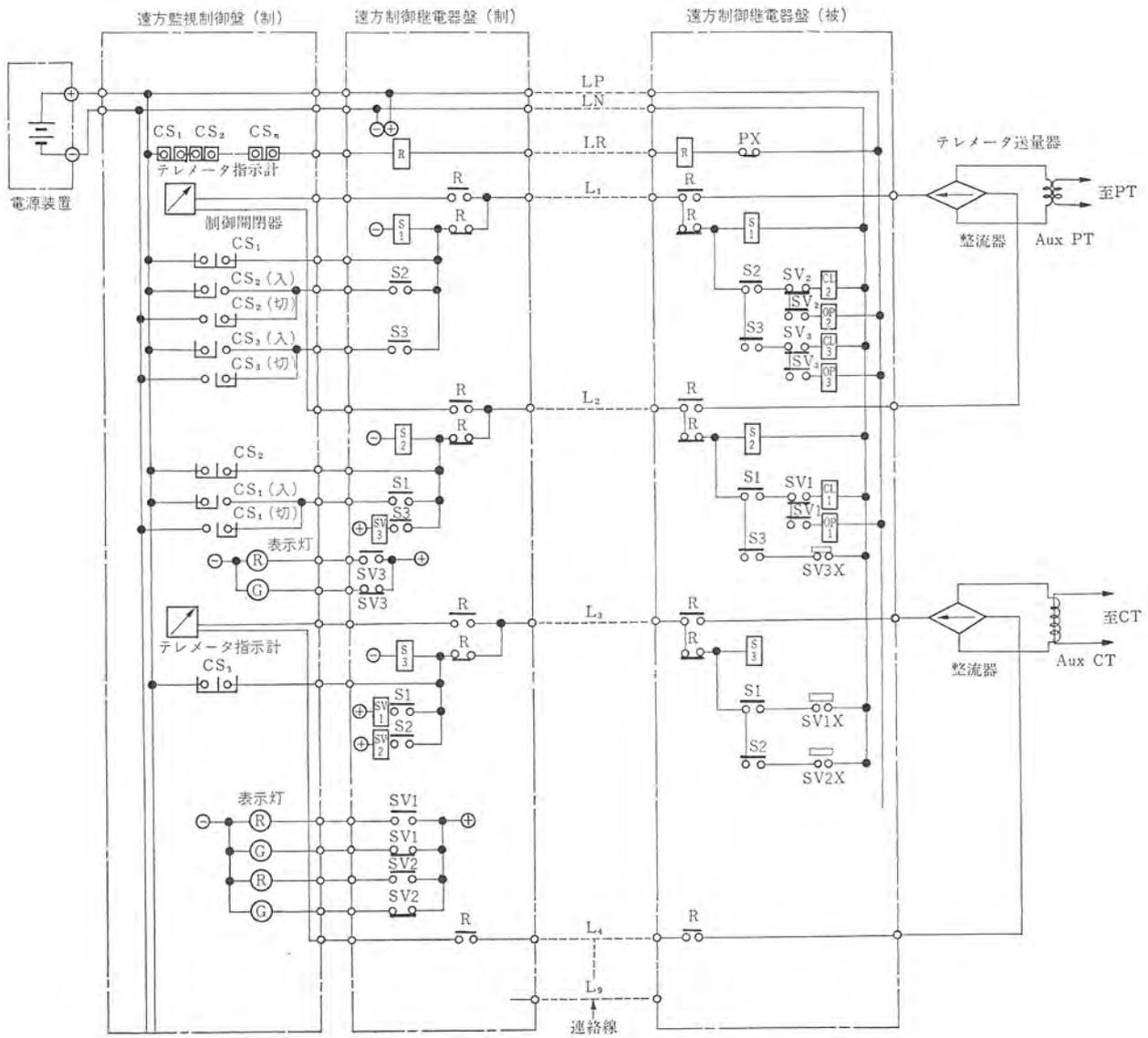


図 3.15 多段多重式 SVC 装置概要図
Outline of multistage multiplex system SVC.

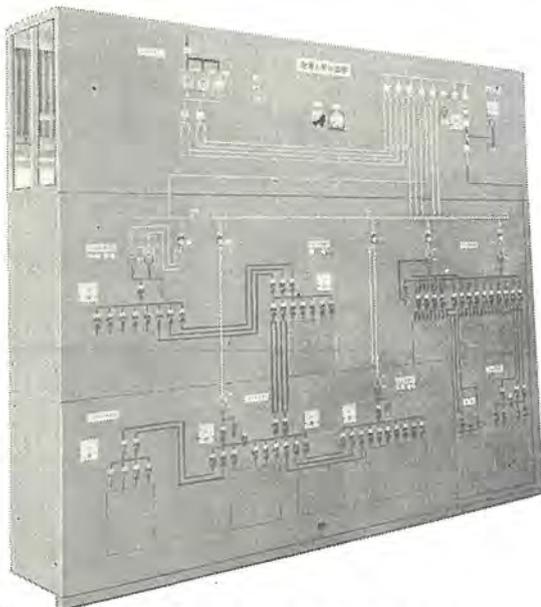


図 3.16 集中監視制御盤外観
Exterior view of central control panel.



図 3.17 符号式 SVC 继电器盤外観
Exterior view of relay panel of pulse cord system SVC.



図 3.18 G-23 S 形多要素ペン書き記録計
Type G-23 S multi-elements recording meter.



図 3.19 TZ-4形 4回路総合最大需要電力計
Type TZ-4 maximum demand meter for adding up four signals from outside.

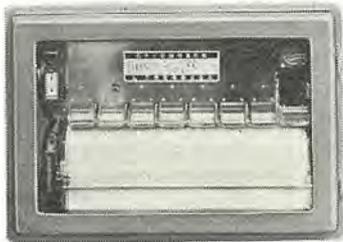


図 3.20 MZ-221 形多回路用印字式記録電力計 (22回路用)
Type MZ-221 multi-elements recording watt-hour meter (for 22 circuits).



図 3.21 HK-2 SM 形警報デマンドメータ
Type HK-2 SM maximum demand meter with alarming circuit.

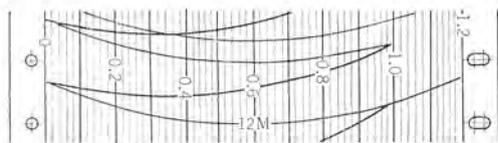


図 3.22 GH-2, GH-3 形需要電力記録計用記録用紙
Typical recording chart of type GH-2, GH-3 recording demand meter.



図 3.23 MZ-61 C 形小形印字式記録電力計
Type MZ-61 C small sized recording watt-hour meter.



図 3.24 MZ-6, MZ-61 形小形印字式記録電力計記録様式
Typical recording chart of type MZ-6, MZ-61 small sized recording watt-hour meter.

図 3.26 は数個所の被制御所の電力量遠方計測記録装置の受信側装置を示すものである。

3.3.3 デジタルテレメータ

中央制御、管理のために各所に散在する測定点のデータを中央に伝送する装置にデジタルテレメータ装置があるが、当社では直送式 (TM-1100 形) と搬送回線を使用して伝送する搬送式 (TM-1100 形) とが準備されているが、おのおのの方式を要約すれば次のとおりで

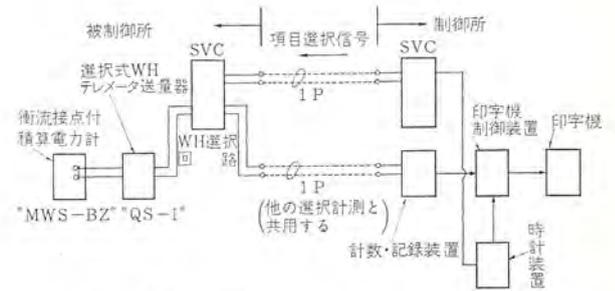


図 3.25 電力量遠方計測記録装置ブロック図
Block diagram of remote watt-hour recording equipment.



図 3.26 電力量遠方計測記録装置
Exterior view of remote watt-hour recording equipment.

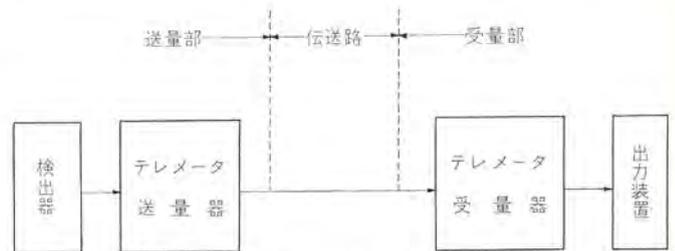


図 3.27 テレメータ構成
System diagram of telemeter.



図 3.28 デジタル表示器
Exterior view of digital indicator.

ある。

(1) 直送式

多線式線路を使用して符号を時間的に並列に伝送するもので、比較的短距離の伝送に適した方式

(2) 搬送式

信号線 (2本) を使用して符号を時間的に直列に伝送するもので、比較的長距離の伝送に適した方式

テレメータは図 3.27 に示すように検出器、テレメータ送量器、テレメータ受量器、出力装置により構成されているが、各部の機能は次のとおりである。

検出器……測定量を検出 2 進 10 進の電気符号に変換

テレメータ送量器……該当電気符号、伝送路に適した方法で選出する。

テレメータ受量器……送量器から伝送されてきた信号を出力装置に

給合させる。

出力装置……デジタル表示器、アナログ指示計、アナログ記録計、印字装置（タイプライター等）、計算機。

なおデータ伝送は通常どおり各項目各制御線を準備する直送式とするが、中央監視制御盤の縮小化を計るための選択デジタル計測装



図 3.29 MELDAP-8000 形 計算機 外観
Type MELDAP-8000 exterior view of computer.

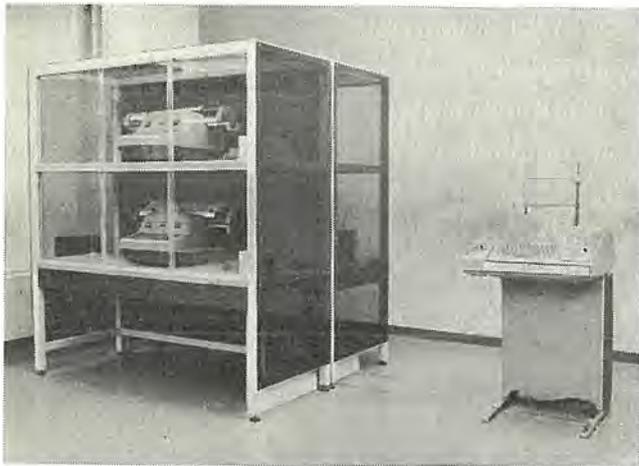


図 3.30 万能入出力装置および出力タイプライター 外観
Exterior view of output typewriter for computer.

表 3.3 計算機導入形式
Computer introduction form.

分類	計算機の使用法
A	データロギングが主体でいくらかのプログラムコントロールを行なわせているもの。
B	計算機自体が電気管理系統のモニターであるとともに、監視制御の主体となっているもの。
C	従来形の監視制御盤で通常の監視制御を行なうとともに、さらに計算機を用いてより高級な監視制御を行なわせるもの。

置も準備されていることを付記して置く。

3.3.4 データロガー

工場の規模が大規模となり、測点記録項目数が増加してくると単なる自動記録計の集合取付けのみでは、そのデータ集計計算整理に大変な労力を要し、集計ミスも考えられ管理上支障をきたす場合がある。このような工場においてデータロガーを導入し、データ集計・整理・作表を自動化せしめれば労力軽減上もまたデータの信頼度も格段に向上し効果的な管理が期待できる。

さらにオンラインで計算機を使用することによって工場の受配電システムの総括自動集中管理を行なわせるために、コンピューティングロガーを導入し、きわめて合理的な管理が可能となる場合があり、当社ではすでに数箇所での実績を有し、現在ではもう実用化の段階にはいっていると称して過言ではなからう。

データロガー導入に関しては、どの程度までの機能を受け持たせるかということ、およびシステム中でどのような位置を占めさせるかによりシステム諸機器の様相が変化するが、導入形式を分類すれば表 3.3 のとおりである。いずれの場合にも導入に際してはシステムの合理的計画と協調がたいせつである。

3. む す び

きびしい国際情勢下のもとに各企業の各分野では、ますます合理化されていくであろうが、この意味において本文が少しでも受配電管理の近代化、合理化計画の参考にできれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 室田ほか：三菱電機技報，39，No. 5（昭40）
- (2) 長町ほか：オーム，第2号，55（昭43）

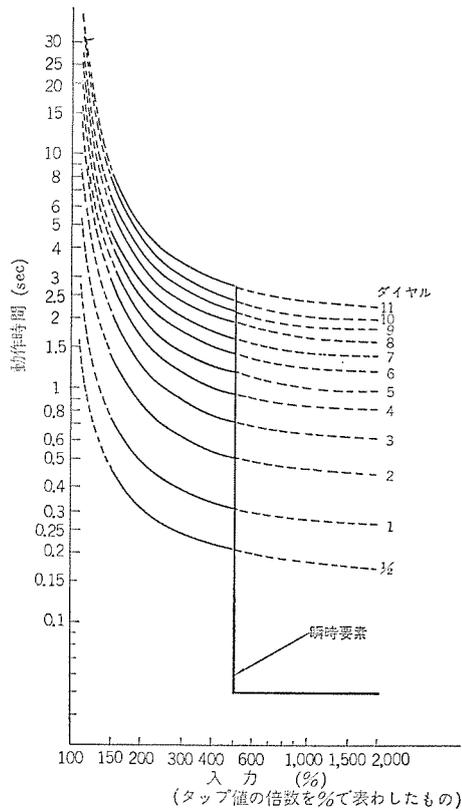


図 2.2 CO-6I 形過電流継電器動作時間特性
Typical operating time characteristics of type CO-6I relay.

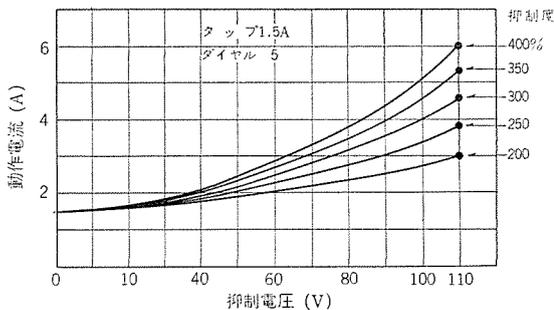


図 2.3 COR-1 形継電器動作値特性
Typical operating time characteristics of type COR-1 relay.

短絡保護：CO-6I 形過電流継電器

地絡保護：COG-2 形小勢力過電流継電器

が標準に用いられる。CO-6I 形継電器は瞬時要素を内蔵した誘導円板形過電流継電器で、動作値は瞬時要素、反限時要素おののおの単独に整定可能である。これの適用にあたっては

- (1) 電力会社送電端継電器との協調
- (2) 変圧器二次側短絡時の時限協調

を考慮して、瞬時要素は変圧器一次側の短絡事故のみに応動し、変圧器二次側の短絡時は反限時要素で動作させるように整定する。

図 2.2 は CO-6I 形継電器の動作時間特性を示したものである。

その他、変圧器一次側と二次側の短絡を区別する方式として図 2.3 の動作特性を有する COR-1 形電圧抑制付過電流継電器を使用する方式、SFU-2 形高速度三相不足電圧継電器を併用する方式などが実用されている。

地絡保護に用いられる COG-2 形継電器は、とくに消費 VA を小さくした誘導円板形過電流継電器で、このような用途には 0.25~1.0 A タップの継電器を使用する。整定は電力会社側の中性点地絡電流の大きさによって決まる。この電流値は通常 100 A が採用されて

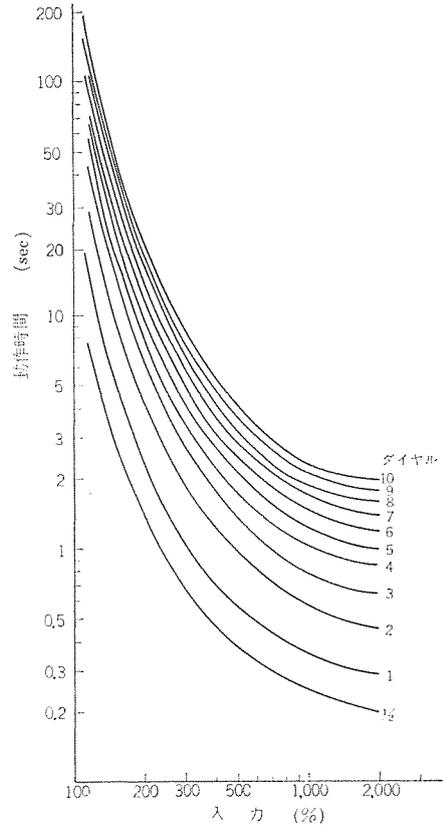


図 2.4 COG-2 形過電流継電器動作時間特性
Typical operating time characteristics of type COG-2 relay.

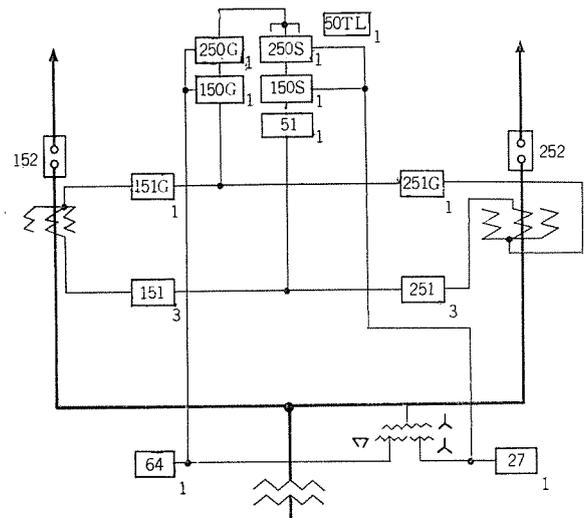


図 2.5 回線選択保護方式単線結線図
Skeleton diagram of selective relaying.

いる。いま CT 比 400/5 A の残留回路に COG-2 形継電器を接続すれば、完全地絡故障時には継電器に 1.25 A 流れることになる。30% 地絡検出を目標にすれば、0.375 A すなわち COG-2 形継電器の有するタップでは、0.35 A タップ以下に整定すれば検出可能である。図 2.4 は COG-2 形継電器の動作時間特性を示したものである。

2.1.3 回線選択保護

並行 2 回線受電方式には回線選択保護が選用される。図 2.5 に選用例を示すが、この方式は電力会社送電端の継電方式に合わせる必要がある。最近では選択短絡継電器に距離継電器を使用したインピーダンスバランス方式が採用されているが、詳細な説明は本文の目的よりははざれるので省略する。

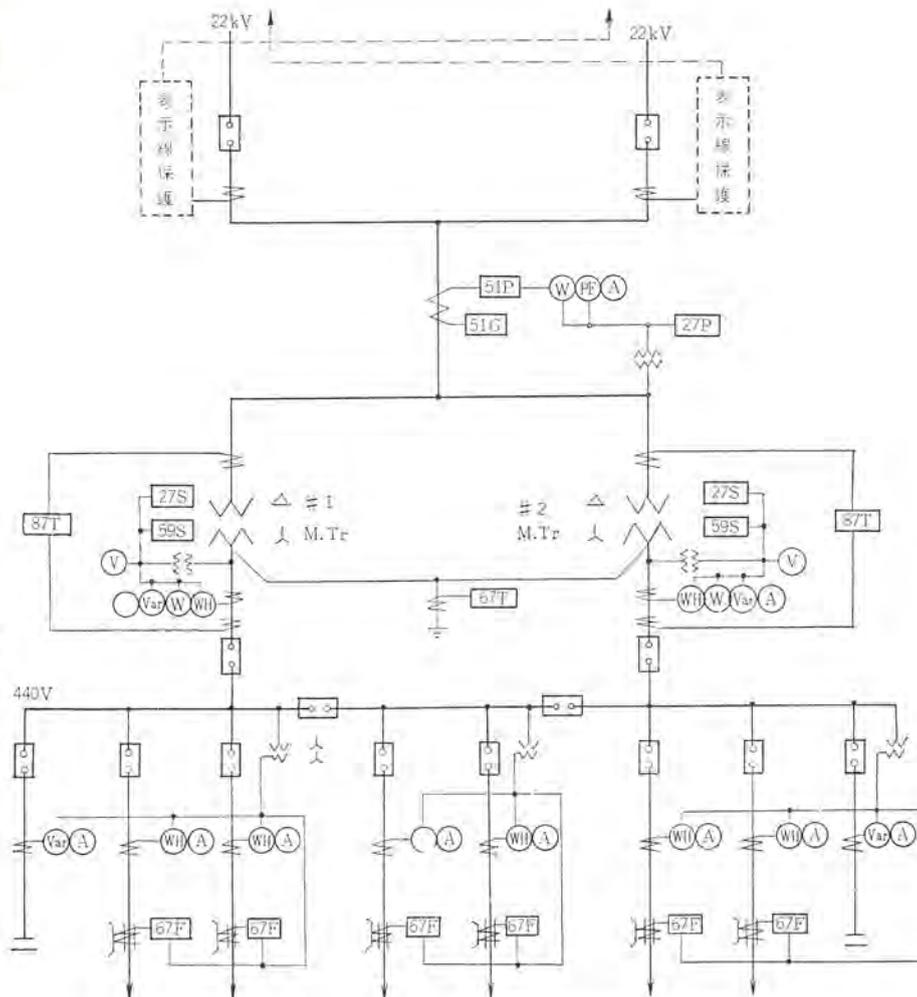


図 2.6 自家用受電設備 (22 kV ループ受電) 単線結線図
Skeleton diagram of 22 kV loop system receiving substation.

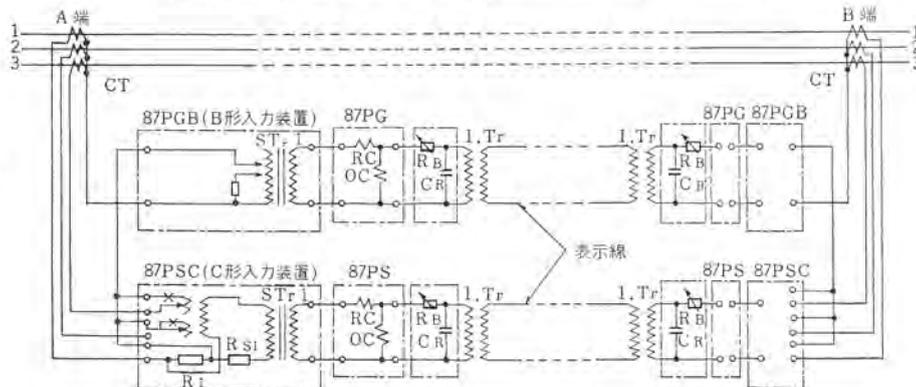


図 2.7 HCB-4 形継電装置による抵抗接地系表示線保護継電装置
Type HCB-4 pilot wire relaying for resistance grounded system.

2.1.4 表示線保護

ループ受電は主として大都市の地中ケーブル系統に採用されているが、この保護方式には表示線保護が適用される。図 2.6 はループ受電方式の代表例、図 2.7 は HCB-4 形表示線継電装置の原理をそれぞれ示したものである。この方式で負荷の容量が小さくて変圧器の一次側、二次側事故を区別できるばあいは、図 2.6 にも示したように表示線継電装置の保護範囲に構内保護も含めている。

2.1.5 自家用発電機と並列運転するばあい

自家用発電機と電力会社系統と並列運転を行なっている受電回路では、次のばあいも併せて検討する必要がある。

(1) 電力会社系統の事故



図 2.8 PDA 形および PDB 形電力方向継電器
Type PDA and PDB directional power relay.

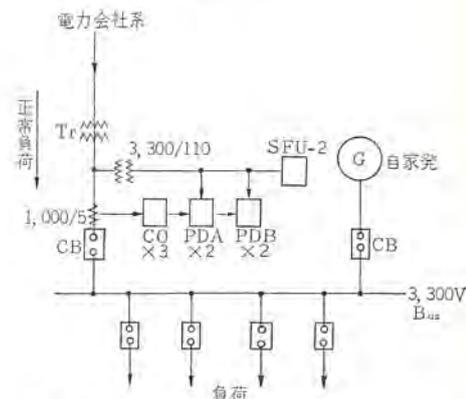


図 2.9 PDA 形および PDB 形継電器適用例
Application of type PDA and PDB relay.

(2) 電力会社系統の停電

この目的のためには図 2.8 に示す PDA 形および PDB 形電力方向継電器を使用する。PDA 形・PDB 形いずれの継電器も高速度誘導環形継電要素を用いた電力方向継電器で、PDA 形は有効分電力に PDB 形は無効分電力に、それぞれ応動するよう位相特性を考慮したものである。

図 2.9 は PDA 形および PDB 形継電器の適用例を示したものである。図示するように自家発系が常時電力会社系と並列接続され、正常負荷時は電力会社系より受電しているものとする。いまこのような状態で電力会社系が停電したとすると、電力は自家発系より電力会社系に流出することになるから、ただちに電力会社系を切離して自家発系を保護する必要がある。この目的のためには、PDA 形継電器が逆方向有効分電力を検出して保護動作を行なう。

また電力会社系に短絡事故が発生したばあいは、系統の故障相電圧は低下し、かつ遅相無効分電力が自家発系より電力会社系に供給されることになるから、同様にただちに電力会社系を切離す必要がある。この目的のためには PDB 形継電器が流出遅相無効分電力を検出して保護動作を行なう。

いま PDA 形継電器を 200 kW の逆電力に選定したとすると、PT 比 3,300/110 V、CT 比 1,000/5 A のとき

$$I_R = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3,300} \times \frac{5}{1,000} = 0.175 \text{ (A)}$$

すなわち、PDA 形継電器としては、110 V のとき 0.175 A で最小動作すればよい。PDA 形および PDB 形継電器は通常は限時継電器と組み合わせて使用する。

その他、電力会社系統の停電の際にも逆流が生じない系統では、SFA-4 形不足電流継電器 (0.5 A~1.5 A) を使用して無電流検出を行ない保護する。この場合は、KF-1 形周波数継電器と組み合わせ、受電回路の無電流と、周波数低下により電力会社系統を切離すとともに非重要負荷をしゃ断する。

2.2 特高構内保護

2.2.1 母線保護

1 回線受電方式では、受電回路の保護そのものが構内保護となっているため、通常は行なっていない。しかし、並行 2 回線受電・ループ受電では電力系統の事故と区別するなんらかの対策が必要である。このため並行 2 回線受電では、両回線の和電流を電力方向継電器または過電流継電器に導入して構内保護を行なわせたり、ループ受電では、前述のように表示線継電装置に構内保護を含めさせたりしている。それでも受電容量の大なる回路では構内事故の区別が困難のため、母線保護専用の装置が必要となる。

BP-280 形簡易母線保護装置は、このような回路を簡単かつ確実に保護する方式で、CA-6B 形比率差動継電器に故障検出用の SFU-2 形三相不足電圧継電器を組み合わせた部分差動方式である。短絡容量の大きい電力会社系統の線路事故では、大きな貫通電流が抑制力となって誤動作を防ぎ、構内母線事故では、この抑制力がなくなるよう接続されている。また変圧器一次側と二次側の事故の区別は電流および電圧の大ききで行なっている。この装置は受電送電線 2 本で、負荷側は変圧器で低圧側に接続されている母線であり、受電送電線にはそれぞれ変成比の等しい CT が設置されていることが必要である。そのばあい、この装置は 2 回線の CT 回路は直接接続しなくてもよいようになっている。図 2.10 はこの方式の原理を示したものである。

2.2.2 変圧器保護

変圧器の保護は、変圧器内蔵の機械的保護以外に比率差動継電器などによる電氣的保護も併せて行なっている。ただ小容量の変圧器

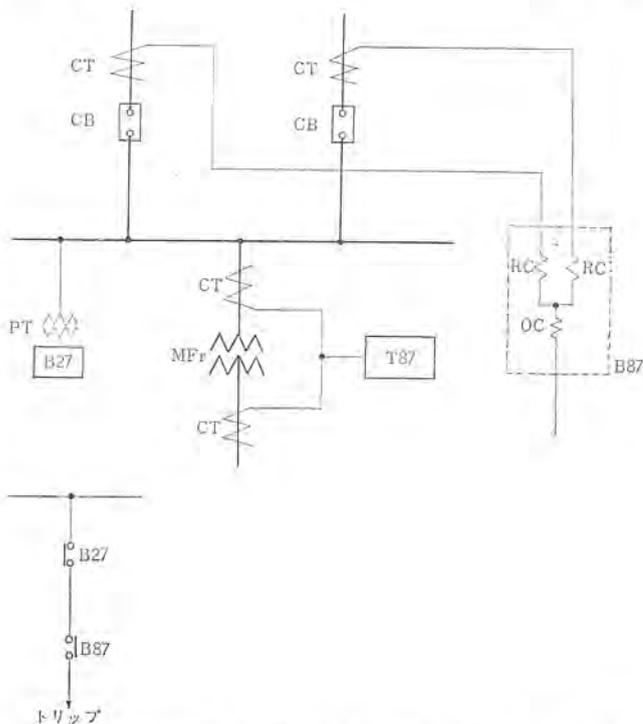


図 2.10 BP-280 形母線継電装置による簡易母線保護原理図
Type BP-280 simple bus protective scheme.

では経済的な理由で受電回路の過電流継電器を兼用させていることが多い。容量 1,500 kVA 程度以上 (技術基準によれば 5,000 kVA 以上) では、CAT 形比率差動継電器が適用される (図 2.11)。

CAT 形継電器は、変圧器高圧側の CT 二次電流と低圧側の CT 二次電流とは、ほぼ逆位相になるよう CT 回路が接続されており、常時はこの逆相に流れる電流によって継電器の動作力はなく、通過電流による抑制力だけあって継電器は常時抑制されている。一般に高圧側、低圧側の CT 二次電流は同一値にならないのであるが、図 2.12 に示すように CAT 形継電器では内蔵のタップにより、アンペアターンが同一値になるよう構成されている。

変圧器保護を行なうにあたり問題となる励磁突入電流に対しては、CAT 形継電器は主として動作時限 (0.2~0.5 秒) で誤動作を防止している。したがって高速度保護を要求される系統とか、動作時限だけでは励磁突入電流による誤動作を防止できない系統では、HUB-2 形第 2 高調波抑制付比率差動継電器が選定される。第 2 高調波抑制とは、励磁突入電流波形の分析の結果、励磁突入電流の高調波分



図 2.11 CAT 形比率差動継電器
Type CAT ratio differential relay.

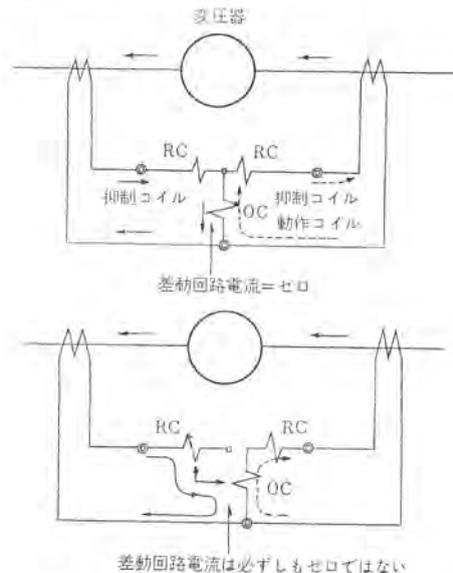


図 2.12 CAT 形継電器電流分布
Principle of type CAT relay.



図 2.13 HUB-2 形比率差動継電器
Type HUB-2 ratio differential relay.

表 2.1 励磁突入電流波形調波分析例
Example of harmonic analysis of magnetizing inrush current.

	励磁突入電流			内部故障電流	
	1サイクル目	2サイクル目	8サイクル目	CT不飽和	CT飽和
直流分	58	58	58	38	0
基本波	100	100	100	100	100
第2高調波	62	63	65	9	4
第3高調波	25	28	30	4	32
第4高調波	4	5	7	7	9
第5高調波	2	3	3	4	2

にはとくに第2高調波成分が多いことに着目したもので、この分析の一例を表2.1に示す。これによれば、励磁突入電流中の基本波に対する第2高調波成分の比が、他の高調波の基本波に対する比に比べて圧倒的に多く、内部故障では、この第2高調波成分が非常に少なくなっていることがわかる。また、各高調波成分の減衰率が各調波によってひどく異なるということはないので、第2高調波成分のみに注目すれば十分であることがわかる。

HUB-2形継電器は、この方法によったもので励磁突入電流が流れているときは、第2高調波通過特性を持つフィルタにより抑制効果を持たせ、通常の故障電流が流れるときは、第2高調波を除いた差動電流による動作電流を直流極性要素に加えて高速度動作を行なわせるようにしたものである。

3. 高圧受電回路の保護方式

高圧受電回路は電力会社配電線の末端にあり、特高受電回路に比べると比較的簡単な方式でいける。ただ高圧受電回路は直接需要場に接続されるため、保安上、とくに注意が必要であるとともに、需要家内事故では電力会社系統まで絶対に波及させないことを心がけねばならない。

まず短絡保護にはCOT-6I形瞬時要素付過電流継電器が使用される(図3.1)。これは2.1.2項で述べたCO-6I形継電器とほとんど同じ構造であるが、CT引きはずし方式のしゃ断器に適するよう制御回路が若干異なっている。高圧受電回路のしゃ断器引きはずし方式では、CT二次電流を直接しゃ断器引きはずしコイルに流す引きはずし方式が用いられているので、それに適したCOT-6I形を用いるのである。他にも無電圧引きはずし用のCON-6I形、交流電流引きはずし用のCOA-6I形などがある。動作時間特性は図2.2とまったく同じである。

高圧受電回路用の瞬時要素整定の一例として、ある電力会社が高圧需要家に推奨している基準を表3.1に示す。

これとは別に、単相変圧器を使用して、CO-6I形継電器が励磁



図 3.1 COT-6I 形過電流
継電器
Type COT-6I overcurrent relay.



図 3.2 LOE-2 形接地
継電器
Type LOE-2 ground relay.

突入電流に対してどのように応動するかをテストしたことがある。その結果は、表3.2に示すように、励磁突入電流は定格電流の1,000%以上流れているが、瞬時要素は500%以上に整定しておれば誤動作のおそれはまったくないことが分る。これは励磁電流特有のやせた波形と、時間とともに減衰するためと考えられる。

地絡保護にはトランジスタ式過電流継電器のLOE-2形接地継電器を用いる(図3.2)。電力会社配電線の中性点は変電所で高抵抗接地され、有効分地絡電流は約0.5A程度しか期待できない。しかし需要家内部の地絡事故の際は、配電系統の全充電電流が故障点に流入し、比較的大きな故障電流(1~10A程度)が得られる。LOE-2形接地継電器はこの電流により動作させるもので、零相変流器一次側で0.2~0.6Aの最小動作を有する高感度継電器である。

表 3.1 高圧受電用過電流継電器の整定例
Example of setting for overcurrent for 6.6 kV or 3.3 kV receiving equipment.

継電器の種類	用途	動作整定値	限時整定値	備 考
過電流継電器	一般負荷	契約最大電力の120~170%	定限時部分で0.2秒以下とし0.1秒を標準とする。	しゃ断器の引きはずし方式に変流器の二次電流を利用するもの(CTトリップ方式)では継電器動作時にしゃ断器の動作が不確実とならないよう、しゃ断器、ブランチャートリップ動作値を考慮しタップ値を整定する。
	変動負荷	契約最大電力の200~250%	定限時部分で0.2秒以下とする。	
瞬時要素が付いているもの	一般負荷	瞬時要素分契約最大電力の110~150%	1秒以下	変圧器の突入電流や電動機の始動電流などで動作しないようにする。
	変動負荷	瞬時要素分契約最大電力の500~1,500%	瞬 時	

表 3.2 瞬時要素の変圧器励磁突入電流に対する応動状況
Response of instantaneous element against transformer magnetizing inrush current.

変圧器容量	使用CT比	励磁突入電流最大値(実効値換算)			瞬時要素整定値		結 果
		CT一次側	CT二次側換算	全負荷電流に対する倍率	整定値	全負荷電流に対する倍率	
75 kVA	20/5	約 140 A	約 35 A	約 1,200 %	10 A	約 400 %	50回のテスト中誤動作なし 表示のみでたもの数例
100 kVA	20/5	約 200 A	約 50 A	約 1,300 %	10 A	約 300 %	46回のテスト中誤動作なし 表示のみでたもの約30%
133 kVA	20/5	約 210 A	約 52.5 A	約 1,000 %	10 A	約 200 %	22回のテスト中誤動作1回 表示のみでたもの約40%
133 kVA	20/5	約 210 A	約 52.5 A	約 1,000 %	20 A	約 400 %	104回のテスト中誤動作なし 表示のみでたもの約20%

高圧受電回路の接地継電器は、上述のように高感度のため不要動作のトラブルが比較的多くきかれる。この原因は大きく分けて次の2項目になる。

(1) シャ断器投入時、刃の不そろいによる過渡残留誤差電流による誤動作、およびこのばあいのサージ誘導電圧による誤動作

(2) 需要家内部の充電電流が大きいため、電力会社配電システムの事故にも応動して誤動作

このうち(1)に対しては、LOE-2形継電器は動作時間を0.2~0.3秒として限時で逃がっているが、それでも解決しないばあいは、シャ断器投入後一定時間(約1秒位)経過後、PT側電源回路を接続するようにすれば解決できる。また(2)に対しては、需要家内の全充電電流の200%ぐらいのタウ値に整定することを推奨する。とくにケーブルがあればこの電流は予想外に多く、一例として、6.6kV 3心ケーブル 38mm² 200mの充電電流を計算すれば、約0.3Aもある。このばあい、LOE-2形継電器の整定は、0.6A程度にする必要がある。もし0.3A以下に整定してあれば誤動作の機会は十分にでてくる。

4. 配電システムの保護方式

4.1 高圧配電線保護方式

需要家内の配電方式はほとんどが放射状である。配電電圧は6.6kVまたは3.3kVの高圧であるが、ビルなどでは22kV受電したものを直接400Vの低圧で配電することもある。

高圧配電線の短絡保護には、前述のCO-6I形継電器から瞬時要素を除いたCO-6形過電流継電器を用いる。瞬時要素を付加すれば、受電端の過電流継電器と協調がとりにくくなるので付加しないほうがよい。

地絡保護は接地方式により異なってくるが、大部分は電力会社配電システムと同様に接地変圧器で接地し、有効地絡電流を0.5A程度に制限している。通信線への誘導障害がなければこの電流は大きいほうが保護方式上望ましいし、地絡事故時の異常電圧の抑制にもなるので、一部の需要家では有効地絡電流を1~10A程度まで増大しているところもある。

図4.1および図4.2は地絡方向継電器を使用した地絡保護の原理説明図である。たとえば図4.1においてF点に地絡事故が発生したと仮定すれば、事故の程度に応じて接地変圧器の二次開放三角形端子間に図4.2に示すような零相電圧が現われる。また、事故回線には図4.1に示す零相電流が流れるので、これを継電器に流すよ

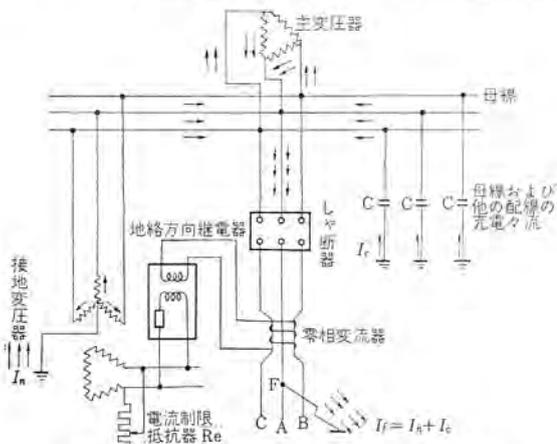


図4.1 CWG-3形地絡方向継電器動作説明図
Principle of type CWG-3 directional ground relay.

う接続すれば継電器は零相電力の大きさ、方向に応じて接点を閉じ事故回線を選択することができる。ただ故障電流は前述のように非常に小さいので、この目的に使用する継電器は、とくに配電線保護専用の高感度なCWG-3形地絡方向継電器(図4.3)が使用される。

CWG-3形継電器は図4.4に動作特性を示すように継電器に零相電圧110V印加されているとき、それと同相の零相電流が零相変流器一次側で約0.2A程度流れると確実に事故回線を選択することができる。なお有効分電流を大きくとっている系統では、CWG-3形継電器の耐振性を増すために感度を若干落して使用することもある。このばあいでも、衝撃・振動による誤動作を防止するためCV-8形地絡過電圧継電器(図4.5)を併用することが望ましい。

CV-8形継電器のタウ値は、20Vまたは25Vに整定するが、地絡抵抗検出値は図4.6に示すように充電電流の多い系統では低

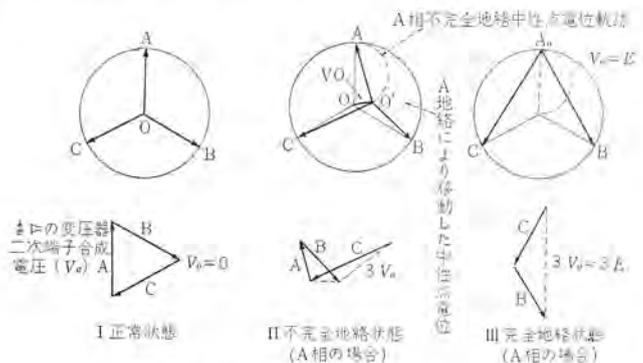


図4.2 地絡事故時の零相電圧
Zero phase sequence voltage at ground fault.



図4.3 CWG-3形地絡方向継電器
Type CWG-3 directional ground relay.

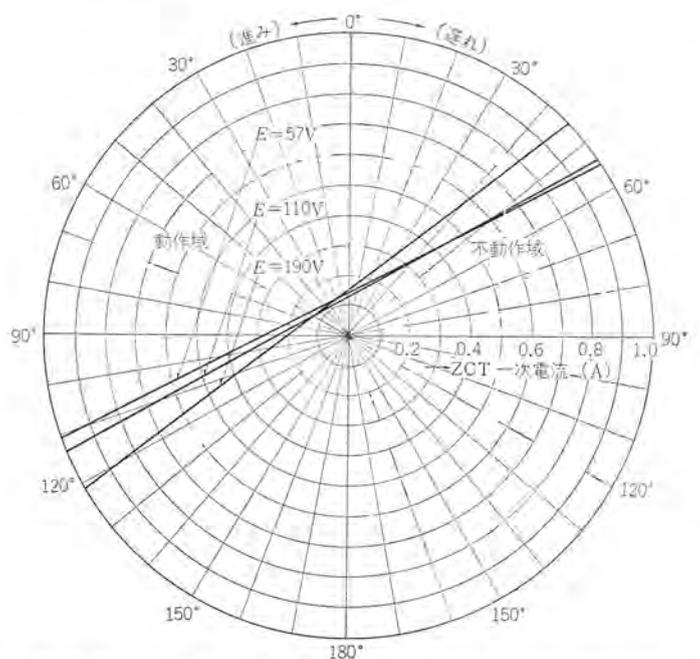


図4.4 CWG-3形地絡方向継電器位相特性(ZCTとの組合せ)
Phase characteristics of type CWG-3 directional ground relay.



図 4.5 CV-8 形地絡過電圧継電器
Type CV-8 overvoltage relay.

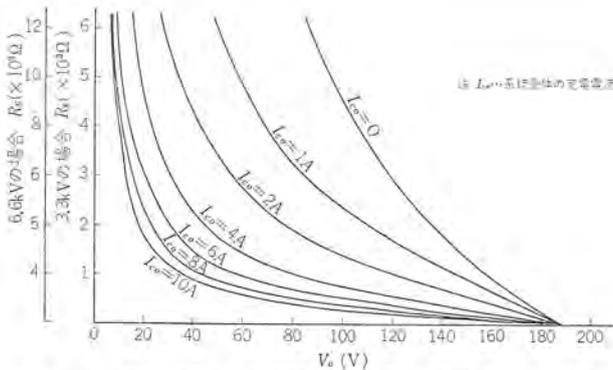


図 4.6 配電系統 1 線地絡時の地絡抵抗 (Rg)-接地変圧器
二次出力電圧 (Vo) 特性
Characteristic of Rg-V₀ at ground fault.

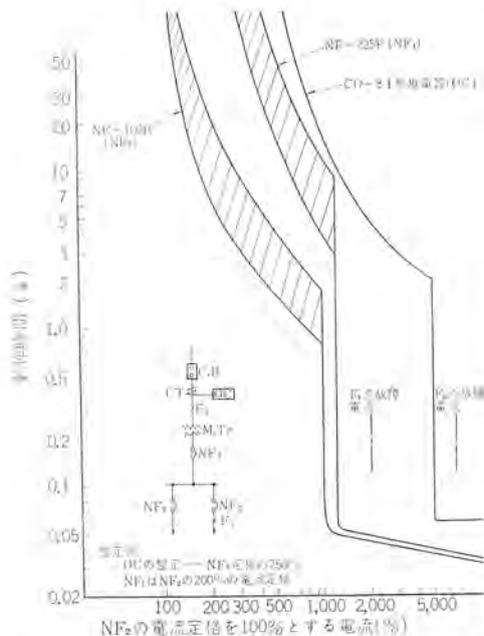


図 4.7 過電流継電器と低圧側しゃ断器との動作時間協調例
Example of co-ordination between overcurrent relay
and circuit breaker of low voltage circuit.

なくなってくる。たとえば、充電電流 10 A の系統で 25 V に整定してあれば、CV-8 形継電器の地絡抵抗検出値は 6.6 kV 系で約 2.8 Ω、3.3 kV 系で約 1.4 kΩ となる。

なお電力会社では、充電電流の多い系統で地絡方向継電器の感度を上げるため、母線継電器方式・昇圧方式などが採用されているが需要家ではあまり実施されていない。

4.2 低圧配電線保護方式

低圧配電線の保護には、いわゆる保護継電器は使用されず、DB

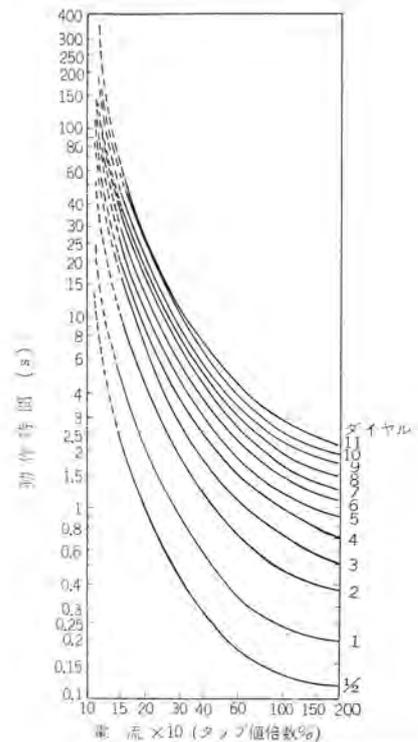


図 4.8 CO-8 形過電流継電器動作時間特性
Typical operating time characteristics of type CO-8 relay.

形低圧気中しゃ断器または NF 形ノーヒューズしゃ断器内蔵の過電流引きはずし装置で短絡保護を行なう。ただ、400 V 配電の地絡保護には有効接地方式のため、専用の保護継電器を設置することがある。

短絡保護を行なうばあい、高圧側の過電流継電器との協調が必要で、とくに低圧側末端の事故では短絡電流が小さく、DB 形または NF 形しゃ断器過電流引きはずしの長限時整定範囲にはいることがある。高圧側過電流継電器の限時整定は、送電側の継電器との関係であり長くともれないので、この点よく検討する必要がある。協調の一例として図 4.7 を示す。負荷側から電源にむかって順次限時を長くし、各動作時間特性が交叉したり、重畳しないようにすることが必要である。ただ低圧回路では、カスケード方式を行なうことがあるので、短絡事故では上記の原則からはずれることもある。

なお図 4.7 では、高圧側過電流継電器に図 4.8 のように反限時特性の強い CO-8I 形を使用したものを示している。

400 V 配電線では、三相 4 線式中性点直接接地方式が主として採用されている。このため、1 線地絡時の地絡電流による火災や感電事故を防ぐための保護が必要である。これに対して、LOE-2 形接地継電器と CWG-4 形地絡方向継電器の 2 種類あるが、低圧回路では充電電流の影響が少ないので、高感度・高速度保護の点から LOE-2 形が適している。電気溶接機の負荷のように直流分を含んだ系統では、LOE-2 形継電器は誤動作のおそれがあるので、感度を下げた使用を考慮が必要である。

5. む す び

受配電系統保護方式の現状をまとめたものであるが、何分広範囲のことなので舌足らずの面もあったと考える。いくらかでも今後の計画にご参考となれば甚幸である。

変動負荷による電圧変動

芝 滝 寿 宏*

Voltage Dip and Flicker due to Load Fluctuation

Kôbe Works Toshihiro SHIBATAKI

Among productive facilities of factories which grow a large scale year after year, there are a number of apparatus accompanied by a large load fluctuation, e. g. arc furnaces and mill motors.

The load fluctuation, then, tend to bring about changes of system voltages. On the other hand, introduction of computers to office work and industries and marked diffusion of TV sets and household appliances to homes have come to hate the voltage changes because of bad influence on the operation of apparatus aside from flicker of lights. Some countermeasures are now in demand.

The article discusses the problem of fluctuation of voltages caused by variation of load and of influence on various apparatus. Information thus given is hoped for referencs to the design of plant wiring and for establishment of some means to obviate the trouble.

1. ま え が き

負荷の急変に伴う系統電圧の変動は、従来、主として製鋼産業におけるアーク炉によって、照明にもたらされるちらつきの問題を中心として考えられてきたが、近年の一般家庭における著しい電化設備の普及・工場や事務所における電子計算機の導入・ITV等精密管理機器の普及等により、単に照明の面のみにとどまらず、一般機器への影響も含めて、いっそう電圧変動の少ない良質の電気が要求されるようになってきている。

一方、産業界における電力設備も急テンポで成長しつつあり、これらの中には、当然、大きな負荷変動、急激な負荷変動を伴うものも多く含まれており、片や、より高品質の電気を要求する反面、他方では電圧変動を導く変動負荷もますます増大化しているのが現状である。

変動負荷による電圧変動は、一言にして言えば負荷の無効電力変動の大きさと、系統容量の相対的關係によってもたらされるものであり、変動負荷に対して系統容量を十分大とするように系統設備を拡充すれば、電圧変動をわずかに抑制することができるわけであるが、これには多大の費用を要するので、一般には変動負荷の近くで、極力電圧変動を小さくするような方策が講じられている。

これらの点にかんがみ、本文では電圧変動の発生源と考えられる変動負荷の種類、およびそれらの負荷変動の様相、ならびに電源電圧変動の各種機器への影響を中心として、電圧変動の計算とその防止方法について概観する。

2. 変動負荷の種類とその負荷変動の様相

電力系統の電圧変動は短絡故障や開閉サージ、あるいは発電機の運転条件の変更等、系統自体からの原因によっても発生するが、ここでは、対象を通常設置されている各種の電圧調整装置が、十分追従し得ないような程度の速さ、あるいは大きさの変動を生じる工場の負荷設備について扱うことにする。

一般家庭や商店でも、近ごろはかなりの容量のポンプなどがある絶えず起動・停止を繰り返す、電圧変動を生じる原因となるような負荷も存在しないわけではないが、一般に、このような種類の住宅・商業地域における負荷変動は、配電系統の限られた地域にお

る電圧変動を誘起するに止まり、かつその値も十分小さい。

2.1 アーク炉

粗鋼生産工程におけるアーク炉の役割はきわめて大きく、容量・設置台数ともにますます増大する傾向にあり、すでに200~250t級(炉変圧器容量30~40MVA)のものが実用化される段階に至っている。

アーク炉は、一工程を通じての平均負荷率・平均力率ともに高く、電力系統の負荷としては歓迎すべきものであるが、起動初期の溶解期には、たな落ちによって電極間がひん繁に短絡され、炉変圧器二次側短絡の状態となるため、低力率の大幅な負荷変動を生じ、系統電圧変動の原因となる。アーク炉の負荷動揺はきわめて不規則に発生し、また炉の運転特性・スクラップの品質・炉変圧器二次電圧等、種々の要素が関連して統計的手法を用いても、なお実際の様相を明確には握ることは困難であるが、先年、わが国においても大々的な調査委員会が設けられ、その動揺の様相がほぼ明らかにされた⁽¹⁾。

これによると、アーク炉の負荷動揺とそれに伴う電圧変動の様相は、概略次のように結論されている。

一般に、起動直後は大きさひん度とも最もはげしく、時間が経過するにしたがって漸減するが、追鋼後はふたたびはげしくなる。その後精錬期にはいれば、アーク長が安定するためきわめて変動が少ないが、石灰石などの投入の際、一時的にふたたびはげしくなる。これらの変動は、一般に毎分数十回~10数回の割合で発生する。大きく急激な変化のうえに、毎秒1~数10回発生する速い振動(サイクリックフリッカ)が重なっている。

また、溶解期においてアークがスクラップで短絡されたと推定される時の炉の実効インピーダンスは、炉変圧器を含めて30t炉の例で $50+j(30\sim35)\%$ 、50t炉の例で $(34\sim47)+j(45\sim68)\%$ である。(いずれも炉変圧器容量ベースの一相あたりの値である。)

図2.1に250t炉の電力・無効電力変動の例を示す。アーク炉の負荷変動による電圧変動は、その成分に数サイクル前後のサイクリック成分が多く含まれていることから、照明のちらつきに対する影響が大である。

2.2 ミルモータ

ミルモータの負荷は、圧延されるインゴットがはいったり出たりするたびに変動するが、そのパターンは一般に規則正しいものである。ミ

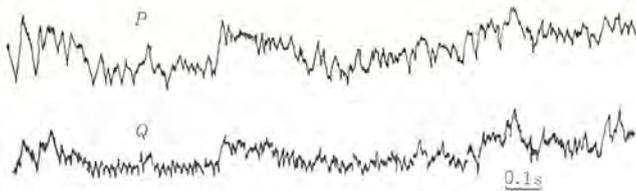


図 2.1 250t 炉電力、無効電力変動オシロ例
Example of oscillograms of load fluctuation of 250 t arc furnace.

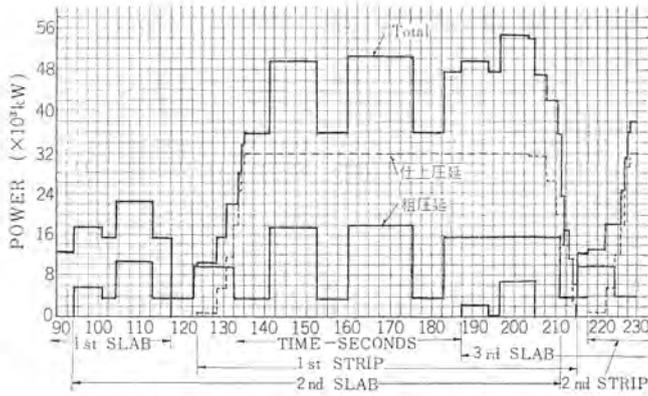


図 2.2 ホットストリップミル負荷変動の例
Example of load fluctuation of hot strip mill.

ルモータの負荷そのものは機械的な圧延作業であり、負荷からの無効電力の要求はないが、ミルモータとして同期電動機が用いられる場合、その脱調を防止するために励磁を強めることが必要である。このため、ミルモータ端子からみれば、無効電力も同時に変動することとなり電圧変動を生じる。また、直流電動機による場合には全体として整流器負荷となり、電力、無効電力ともに変動する。

ミルモータの負荷変動は、比較的ゆっくりしているの、照明のちらつきを感じるということはむしろ少なく、不規則な変動でちらつきを感じる成分を多く含んでいるアーク炉とはおむきを異にしている。しかし、一群の負荷設備中に占める比率が大きく、変動幅も大きいため電力潮流の変化をひき起こし、そのため付近の系統電圧が変動することとなり、他の一般機器への影響は大である。

ミルモータの負荷変動の様相は設備により異なるが、一例を示せば図 2.2 のようになり、一般に繰り返し周期は 1~3 分、負荷の立上りおよび立下りは 5~20 秒である。図 2.2 は電力変動のみ示しているが、無効電力もこれとほぼ同様の変動をする。

2.3 一般モータの起動

誘導電動機にしる同期電動機にしる、いずれにしても起動時の突入電流は定格電流の 5~10 倍となり、その力率も 25~50% ときわめて低く、このためモータ起動時には電圧が著しく低下する。これを考えると、モータの起動は電圧変動の原因の中でも相当の割合を占めるものと考えられる。にもかかわらず、従来ごく一部を除いて、この問題がそう大きく扱われなかったのは、近年に至るまで系統に大容量電動機の、しかもひん繁な起動停止を繰り返すような負荷が少なかったこと、電源系統容量が大きかったことによるものと思われる。

近年、ビル等においても高層化に伴ない、冷機関係の電動機容量がきわめて大きくなってきているので、起動方法については、十分検討する必要がでてきた。

通常モータ起動時の電圧変動の近似計算には、起動電流を定格電流の 6~7 倍、力率は 35% 程度にとればよいとされている⁽²⁾。

2.4 溶接機

溶接機は ON よりも OFF の時間の長い負荷率の低い負荷であるが、電圧変動源としては影響の大きいものである。一般には、工場の総設備のごく一部でしかないため、問題となることは少ないが、溶接機負荷がその地区の負荷全体に占める割合が大になれば、一般機器への影響を考慮する必要が生じる。

3. 電圧変動の各種機器への影響および許容限界

前節に述べたような、各種の変動負荷によってもたらされる電圧変動の影響としては、従来、一般家庭・工場・事務所等における電灯照明のちらつきと、工場のはん用電動機の特長変化が考えられてきたが、近年、一般家庭におけるテレビ・工場における ITV の普及、事務所・工場における電子計算機の導入等により、これらの機器への影響も検討されねばならなくなってきた。

3.1 照明

照明における電圧変動の最大の問題はちらつき（光束変化）である。照明のちらつき感を対象とした電圧変動の許容限界については、これまでも、いくつかの限界曲線が発表されているが、まだ統一されたものはない。これは、作業条件器具等の相異により、ちらつきを感じる度合が異なり、したがって電圧変動に対する許容値に対する考え方が異なることによるものと推察される。

図 3.1 に、これらのなかからわが国で行なわれたものを、図 3.2 に、アメリカにおける代表例で、わが国でも比較的よく用いられている Utilities Coordinated Research Report (1937) のものを示した。これらによると、いずれも最も不愉快に感じるちらつきは毎

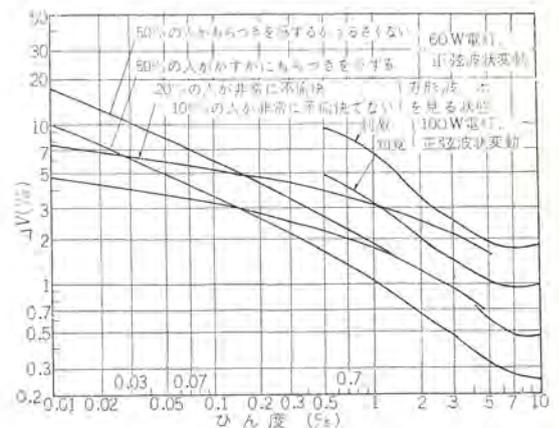


図 3.1 ちらつき限界曲線
Permissible lamp flicker.

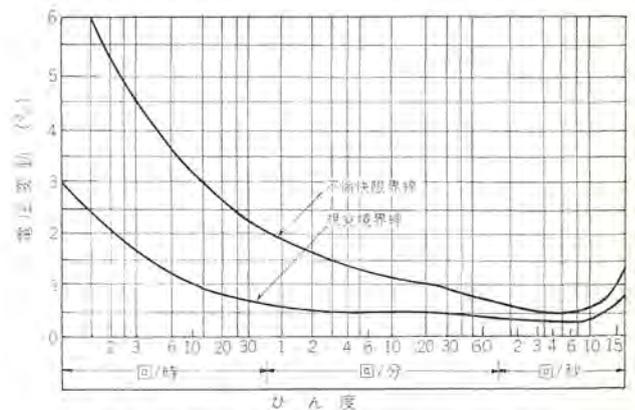


図 3.2 U. C. R. Report の電圧変動限界曲線
Permissible voltage fluctuation (UCR Report).

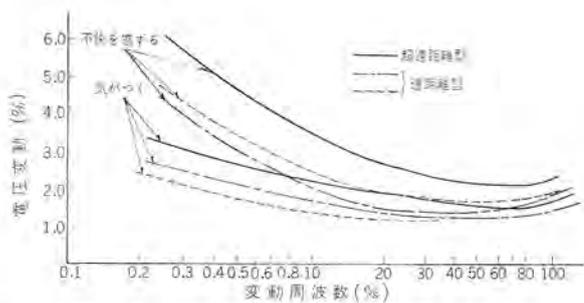


図 3.3 電圧変動がテレビの画像に及ぼす影響
Effect of voltage fluctuation on raster variation of TV.

表 3.1 はん用電動機の電圧変化に対する特性への影響
Variation of motor-characteristics due to terminal voltage change.

特 性	電 圧 の 変 化	
	110 %	90 %
起動トルクおよび最大トルク	+21 %	-19 %
同期速度	変化なし	変化なし
全負荷時速度	+1.0 %	-1.5 %
すべり	+17 %	+23 %
全負荷時効率	+0.5~1	-2
3/4 負荷時効率	微量の変化あり	微量の変化あり
1/2 負荷時効率	-1~2	+1~2
全負荷時力率	-3 %	+1 %
3/4 負荷時力率	-4 %	+2~3 %
1/2 負荷時力率	-5~6 %	+4~5 %
起動電流	+10~12 %	-12~12 %
全負荷電流	-12 %	+11 %
温度上昇	-3~4 deg	+6~7 deg
最大負荷	+21 %	-19 %
騒音	+微量	-微量

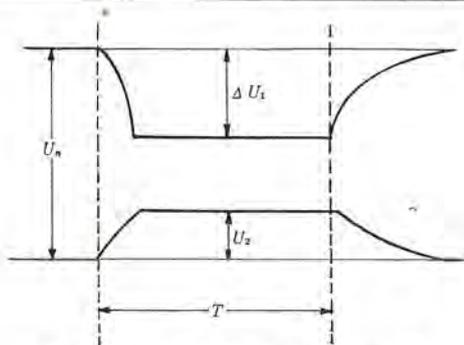


図 3.4 正相・逆相電圧変動
Positive and negative-sequence voltage fluctuation.

秒 4 ~ 7 回のものであることがわかる。

図 3.1 および図 3.2 は、白熱電灯を対象としたものであるが、けい光灯のほうがちらつきの少ないことが知られており、毎秒 0.15 秒間だけ電圧を落してちらつきを出し、視覚試験をしたところ、けい光灯で 10 % の電圧降下したときのちらつきが、白熱電球の電圧降下 3 % 時のそれに相当するという報告が出されている⁽³⁾。

3.2 テレビ

家庭用テレビの電源電圧が変動すると、一般にラスター(画面の大きさ)および輝度に変化があらわれる。ラスターの変化は、水平方向・垂直方向にほぼ同じ程度に影響をうけるが、ブラウン管の電子銃にかかる高圧電圧が低くなれば、偏向電力も少なくてすむため、画面の大きさの変動率は電圧変動率よりも少なくてすむことになる。また、輝度の変化は電圧変動のほぼ 2 乗に比例すると考えられる。

電圧変動がテレビの画像におよぼす影響を定量的に調査したものはあまり多くはないが、その一つとして、図 3.3 が報告されており⁽⁴⁾、毎秒 3 ~ 8 回程度の変動の影響が最も大きく、この付近の電

圧変動幅を 1.5 % 以内とすれば問題がないようである。また、筆者らの見聞しているところでは、トランジスタ式のほうが、真空管式に比べていく分電圧変動に敏感なようである。

3.3 ITV

ITV(工業用テレビ)では、通常撮像機部にはスタビライザを内蔵しているため、数サイクル程度までの電圧変動は ±10 % 程度まで吸収され、画像にひずみを生じないが、受像機部は、一般にスタビライザを内蔵しないので、家庭用標準形テレビと同様の影響を受けることになる。一般に ITV の設置に対しては、受像機部電源にはスタビライザを設置するのが原則とされている。

3.4 回転機

比較的ゆっくりした電源電圧の変動に対する交流電動機特性変化は、一般によく知られている電圧特性に従って回転速度が変動し、起動時間の延引→過熱というような影響を生じる。表 3.1 にはん用電動機の ±10 % の電圧変化に対する特性への影響を示す⁽¹⁾。また、周波数や電圧の不規則な変動は、回転むらとなってあらわれる。

アーク炉のように、負荷変動が不平衡短絡によるような場合には、系統に逆相電流が発生し、近傍のタービン発電機の温度上昇を招いたり、振動を生じたりする可能性がある。逆相電流の許容限度は、通常の $\int I_2^2 dt \leq K$ によって定められるのが普通である。この点にかんがみ、最近 CIGRE において電圧変動の評価に逆相電圧分をも導入しようとする動きが見られている⁽⁵⁾。すなわち、図 3.4 に示すように、 U_n を常時正相電圧、 ΔU_1 を正相電圧変動分(平均値)、 U_2 を変動時に発生する逆相電圧平均値とすると、電圧変動を

$$\alpha = \frac{\Delta U_1}{U_n}$$

$$\lambda = \frac{U_2}{U_n - \Delta U_1} = \frac{U_2}{(1 - \alpha) U_n}$$

と、電圧変動の継続時間 T の 3 要素によって表現しようとするものである。この評価方法については、今後検討が進められていくものと考えられるが、現在のところ α が 10 % 以上の場合について検討がなされているもようである。

本評価方法では、さらに電圧低下(dip)の負荷への影響度を示す要素として、equivalent interruption time T_{CE} を提唱している。これは、電圧変動前の負荷を P_i 、電圧低下が発生してからもとの負荷状態に戻るまでの経過時間を τ 、時間 τ 中の電力を $p = f(t)$ とするとき、

$$T_{CE} = \int_0^{\tau} \frac{P_i - p}{P_i} dt$$

と定義されている。同期機については、その他に過渡動揺に伴なう位相角動揺もあり、いわゆる安定度の検討も必要であるが、一般に 10 % 程度の電圧変動を考えてもたかだか 2° 以内の変動で、とくに問題は生じていない。

3.5 電子応用装置

計算機をはじめ電子応用装置への電圧変動、とくにサイクリックな変動についての影響に関する定量的な把握は困難で、支障の程度のあらわし方もむずかしいが、電源電圧許容幅の目安として表 3.2 の値が示されている⁽¹⁾。

近年、事務管理や計算機制御のために導入されることの多くなったデジタル計算機については、電源電圧の変動が論理回路や記憶回路にまで波及すると、誤計算や記憶間違いを引き起こすので、十分注意を要する。とくにパルス的な変動は、誤計算に結びつく確率が

表 3.2 各種電子応用機器の電圧変動許容値
Permissible voltage flicker of electronic apparatus.

機器の種類	説明	電源電圧変動許容値
アナログコンピュータ	定電圧装置を使用し 高圧直流電源は	±10% に対し、定電圧装置の出力電圧1%以下 交流入力±20% に対し、出力1/3,000 以下とする。
トランジスタ デイ ジタル計算機	直接測定値に影響す ることはないが	±0.5% ぐらいに保つこと。 パルスの電圧変動は動作に非常な 害あり。
模 写 電 送	定電圧装置を用いて	その出力電圧変動を ±20% にお さえる。
写 真 電 送	定電圧装置を用いて	その出力電圧変動を ±2% にお さえる。
搬送式制御装置	マイクロ波による中 継装置などの制御に 用いられているもの としては engine set を用いて	±3% 以内とする。
マイクロ波中継装置	長い時間の変動 短時間の変動	±2% 0.2%

きわめて高い。この種の電子装置は、ほとんど例外なく定電圧装置を用いており、中でも計算機関係は、M-G 装置により電源をしゃへいするのが原則である。

3.6 電解負荷

電解負荷はバッテリーとしての性格をもつ負荷で、逆起電力+抵抗の形で考えることができ、電圧変動に比例して電流変化が発生し、電解槽内の化学変化はそのつど変化しているわけであるが、電解工程の出力(製品)の品質は、電流の積分としてあらわれてくるので、電圧変動の製品への影響は緩和され、問題となることが少ないもようである。

しかし電解工程の制御系の応答速度が、数サイクルの電源変動の周期と比較し得る値であるときには、制御系ハンティングの生じる可能性がある。これを防止しつつ電流変化を抑えるためには、制御系の時定数を十分速くすることが必要であるが、化学工程を含むため、あまり大きな効果は期待できないと考えられる。

3.7 サイリスタ負荷

直流電動機等への電源としてサイリスタが負荷に含まれている場合には、電源電圧の異常低下時に失弧現象が発生し、エレメント破壊の可能性があるが、当社の場合40%程度の電圧低下に対しても失弧しないように製作されているので、実用上電源電圧変動による素子破壊の心配はないと考えてよい。

4. 電圧変動の計算法

一般に、 $R+jX$ なるインピーダンスを通して、電力 P 、無効電力 Q (遅れ力率：正)を送電しているときの電圧降下 ΔV は、

$$\Delta V \approx PR + QX$$

で与えられる。通常の電力系統においては、 R は X に比べて十分小さく $\Delta V \approx QX$ を考慮してよい場合が多い。このような場合には、負荷の無効電力変動を電流変動 ΔI_e としてその変動負荷点に加え、系統のすべての起電力を零として図4.1に示すような等価回路によって電圧変動値 ΔV を求めることができる。

この際、系統中の同期機は次の基準によって取扱うのがよい⁽⁶⁾。

(1) 電圧変動の計算に用いる同期機の等価リアクタンス x_{eq} は、図4.2のとおりであるが、おおよその見当として、

$$\text{動揺周波数 } 1 \sim 3 \text{ c/s} \quad x_{eq} = x_d'$$

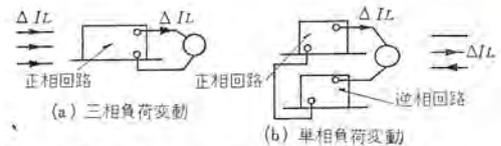


図 4.1 電圧変動計算回路
Equivalent circuits for voltage flicker calculation.

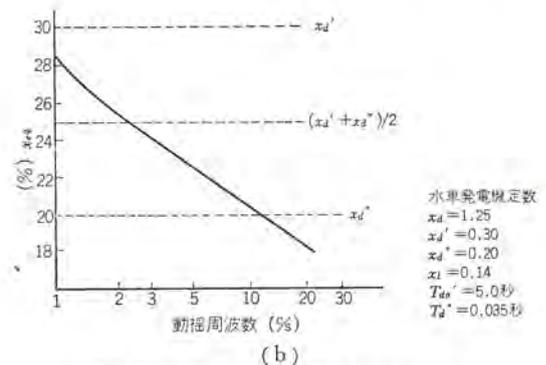
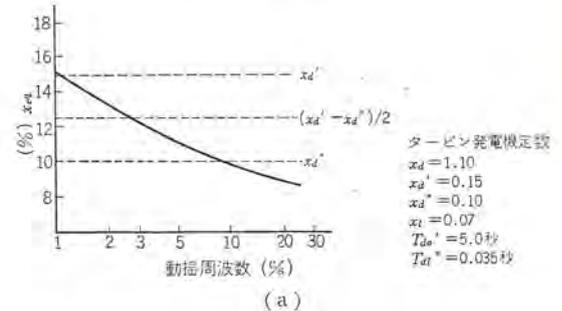


図 4.2 発電機等価リアクタンス
Generator equivalent reactance.

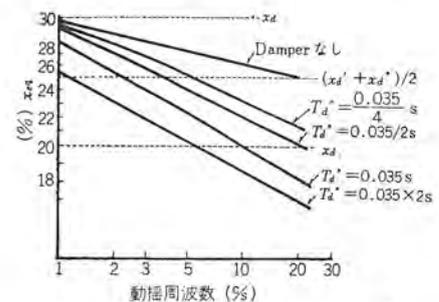


図 4.3 T_{d1}'' の x_{eq} に対する影響
Effect of T_{d1}'' on x_{eq} .

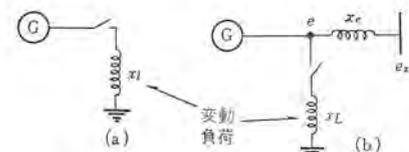


図 4.4 同期機と負荷
Synchronous machines and load.

$$\begin{aligned} \text{動揺周波数 } 3 \sim 10 \text{ c/s} & \quad x_{eq} = (x_d' + x_d'')/2 \\ 10 \text{ c/s 以上} & \quad x_{eq} = x_d'' \end{aligned}$$

として計算すれば、その結果は安全側である。

(2) 制動回路の時定数 T_{d1}'' による x_{eq} の変化は、図4.3のようになる。おおよその見当として、標準の T_{d1}'' (通常0.035秒)をもつものに対して、

$$T_{d1}'' \text{ の小さいものでは } x_{eq} = 1.1 \times \text{標準値}$$

T_d'' の大きいものでは $x_{eq} = 0.9 \times$ 標準値

としてよい。

(3) 上記の事柄は図 4.4 (a) のように単独機の場合に対するものであるが、同図 (b) のように外部リアクタンス x_e を通じて大電力系統に接続されている場合は、負荷変動の周期 f に対する等価リアクタンス x_{eq} は、動揺周期が $f \times T_{dz}' / T_{do}'$ に対する単独機の値を用いればよい。ここに、 $T_{dz}' = \frac{x_d' + x_e}{x_d + x_e} T_{do}'$ である。

(4) 同期機の T_{do}' が標準値 (5.0 秒) と異なるときは、

動揺周期 f に対する x_{eq} は、 $f \times \frac{T_{do}'}{5.0}$ なる動揺周期に対する値を図 4.2 により求めればよい。

5. 電圧変動防止法

変動負荷による電圧変動は、前節に見るように電圧変動の問題となっている点を流れる無効電力 Q と、リアクタンス X の積によって与えられる。したがって電圧変動の軽減のためには、

(1) 変動負荷母線と電圧変動を低減したい母線との間に低域ろ波回路を設けて負荷の変動無効電力が母線に波及しないようにする。

(2) 系統リアクタンス X を小さくする。

(3) 変動負荷系統と一般機器を電氣的に絶縁する。

のいずれかによらなければならない。

(1) の方法で最も有効なのは、同期調相機のリアクタンスと緩衝リアクトルにより低域ろ波回路を形成する方法で、たとえば図 5.1 のように接続される。緩衝リアクトルの無効損失は同期調相機によって供給される。この方法はいかなる形の電圧変動にも応じることができ、かつ効果の大きいことで最もすぐれた対策とされている。この方法の詳細は、次の直列コンデンサ法とともに文献(6)に紹介されているので、ここでは説明を省略する。

この方法の代案として、変動負荷の近傍に同期機のある場合、負荷変動時にその励磁を制御して、負荷の要求する無効電力変動分を供給するように計画する方法があり、おもに製鉄圧延工場等で効果のあるものである。

(2) の方法は直列コンデンサによる系統リアクタンスを補償する方法、あるいは供給電圧の格上げ、系統構成の変更によって代表される。

(1), (2) の方法は、変動負荷の影響が系統に波及しないようにすることを主目的にしているが、第 3 の方法は、変動負荷とその他の一般機器の系統を電氣的に絶縁するものであって、代表的なのは M-G セットである。この方法は、変動負荷と同居している工場

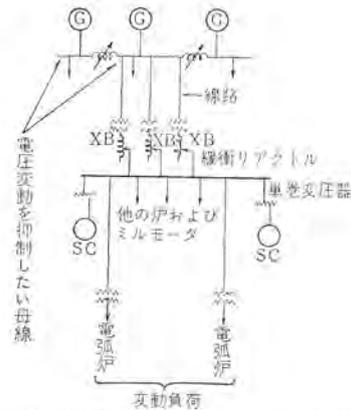


図 5.1 同期調相機と緩衝リアクトルによる軽減法の例
Reduction by mean of synchronous condensers and buffer reactors.

の一般機器への電圧変動防止に有効である。とくに、計算機設備には必ずと言ってよいほど適用されている。

6. む す び

以上、主として工場電気設備のうち負荷変動を伴う負荷について、それらの変動の様相、および負荷変動に基因する電圧の変動とそれが他の一般機器に及ぼす影響を中心として、各機器からみた電圧変動の許容限度の考え方、電圧変動の計算ならびにその防止方法について概観してきたが、限られた紙面の中に比較的広範囲の話題を取扱うことになって、そのおのおのについては説明が不十分なところもあることと思う。そのような点については別の機会に稿を改めたいと考えるが、本文が工場の設備や配電系統(自家発、受電系統を含む)における変動負荷問題、および電圧変動対策を検討するときのご参考にできれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 電気学会技術報告第 69 号 (昭 40)
- (2) Westinghouse : Electric Utility Eng'g Reference Book 3, (Distribution Systems) (1959)
- (3) 高島, 増田 : 三菱電機 32, 9 (昭 33)
- (4) 真田 : 電力 43, 1 (昭 34) p. 268
- (5) CIGRE SC No. 19 Report (1966) No. 335
- (6) 馬場 : 三菱電機 32, 2 (昭 33)

受電用変圧器

菅 寿郎*・石井 昭二*

Receiving Transformers

Itami Works Hisao KAN・Shôji ISHII

With ever increasing demands of electric power, substation equipment of large power users continues to increase in the capacity and voltage. It has come to pass that receiving transformers of more than 100,000 kVA at 275 kV are installed. In company with the changes the specification of transformers has become quite complicated. According to environmental conditions of the installations a number of limitations are involved in the determination of the specification. The article describes, in view of the above, selection of the rating, special design features and the latest trend of the subject matter so as to furnish potential users of transformers with helpful information.

1. ま え が き

電力需要の増大にともない、大口需要家の受電設備の容量・電圧も増大の一途をたどり、すでに受電用変圧器として、十数万 kVA、超高圧のものまで設置されるようになってきた。一方、変圧器の仕様面についても、負荷側からの要求も高度となるとともに、設置場所の環境も制約条件が増してきている関係で、次第に複雑化する傾向にある。それで、本文では受電用変圧器について、定格の選定・特殊仕様・最近の傾向などについて解説し、変圧器使用者のご参考に供したいと考える。

2. 受電用変圧器の定格の選定

2.1 容量・相数・バンク数の選定

受電用変圧器の容量・相数・バンク数などおもな定格の選定にあたっては、当面想定される負荷曲線はもちろん、将来の需要増加、変圧器の運転能率、価格・据付面積、変圧器事故の発生などの非常事態における必要供給能力、変圧器の過負荷耐量など、多くのファクタを考慮しなければならない。

まず容量については、負荷をその性質と分布状態に応じていくつかの負荷群に分け、その群ごとの全負荷容量・需要率などから各群の需要電力をもとめ、これらの合計電力・不等率・負荷の力率・能率より変圧器の kVA が求められる。ここで、この所要 kVA を、どのような変圧器何バンクで構成するかが問題となる。

最近の変圧器は、信頼度がきわめて高く、供給支障のような大事故の発生する可能性はきわめて少ないとは言うものの、一般の受電設備において、変圧器に事故がないことを想定して計画をすすめることは、やはり危険であり、万一の場合1台の変圧器に事故が発生しても、負荷供給に支障のないように計画をたてておくことが、実際的であろうと思われる。

このような、ある程度予備能力を有する変電設備を構成するのに33%容量の単相器4台を使用する場合と、100%容量の三相器2台を使用する場合があります。その優劣は古くから論じられてきたところである。変圧器のみの価格を考えれば、単相器4台のほうが若干有利であるが、全体的にみると、次のような理由から、三相器のほうが有利と思われる。

(a) 三相器のほうが単相器の場合より、スイッチヤ・鉄構・配線

などが簡単になる。

(b) 据付面積も三相器のほうが小さい。

(c) 能率も三相器のほうが元来高いうえに、軽負荷で運転できるため、最高能率点近くで運転できる可能性が大きく、また非常時の過負荷耐量も大きくなる。

(d) とくに、負荷時タップ切替変圧器の場合には、標準のタップ切替器はほとんど三相器用であるため、単相器は非常に不利になる。

このような理由から、最近では、単相器の使用されることは、きわめてまれで、ほとんどが三相変圧器である。一般に、三相器のバンク数は、最終計画段階で3バンク以上程度とするのが普通で、バンク数が増せば三相器の有利性はさらに増してくる。なお、最近では、耐熱性を改善した耐熱処理絶縁紙を使用した変圧器も現われており⁽¹⁾、この種の変圧器は、温度上昇を既存のものより10°C高くとることができるので、約10%程度過負荷することができるし、また一般の変圧器であっても、短時間の過負荷耐量⁽²⁾、あるいは周囲温度が低いときの過負荷耐量⁽²⁾など、ある程度の過負荷能力を有しているので、変圧器の容量決定にあたって、これらのファクタを十分考慮すれば、変圧器の能力を生かした経済的な受電設備を設計することができる。なお、変圧器の容量については、現在 JEC-168 (1966) によって、標準値がきめられているので、この中から選ぶこ

表 2.1 変圧器の標準容量
Standard transformer capacities.

単相変圧器の標準容量					(kVA)
1	15	150	1,500	15,000	
2	20	200	2,000	20,000	
3	30	300	3,000	30,000	
5	50	500	5,000	50,000	
7.5	75	750	7,500		
10	100	1,000	10,000		

三相変圧器の標準容量					(kVA)
	15	150	1,500	15,000	(120,000)
	20	200	2,000	20,000	150,000
	30	300	3,000	30,000	(180,000)
	50	500	4,500	45,000	200,000
	7.5	750	6,000	60,000	(50,000)
	10	1,000	7,500	75,000	60,000
					(90,000)
					100,000

(注) かっこ内標準

とが望ましい。表 2.1 は、その一覧を示す。

2.2 電圧と結線

受電電圧は契約最大電力に応じて、電力会社によっておおよその値がきめられており、その一例を表 2.2 に示す。したがって、受電電力に応じて、変圧器の一次電圧は定まり、電圧定格としては、定格電圧以外に適当なタップをそなえたものとなる。

標準的なタップ電圧は JEC-168 によって定められており、その値は表 2.3 に示すとおりである。電圧をとくに一定に保つ必要があるような負荷の場合には、負荷時タップ切換変圧器とする必要がある。いずれにしても、タップ電圧の範囲を大きくすることは、変圧器の等価容量を増大することになるので、必要最少限におさえておくことが経済的である。なお変圧器は、一般に 5% の過励磁までしか保証されていないので、タップ電圧の設定に当たっては、運転中の過励磁をなるべくこの値以下にするよう考慮しなければならない。

結線については、並列運転または接地方式などにより必然的に結線方式が決まってしまう場合のほかは、三角結線・星形結線のいずれを使用してもさしつかえない。一般に、電圧 100 kV 以上の巻線

では、星形結線のほうが経済的であり、また負荷時タップ切換器がつく場合は、現在市場にある切換器がほとんど星形結線の中性点用であるので、必然的に星形結線となることが多い。星形結線の場合、中性点端子は、接地上の要求がなければとくに外部へ引き出す必要はないが、引き出さない場合、サージ電圧の三相同時侵入によって、中性点電位が線路側よりも上昇することがあるので、100 kV 級以上では中性点を外部へ引き出し、適当な保護機器で保護するのが普通である。一次巻線・二次巻線とも星形結線の変圧器については、通常、安定巻線（三次めくら三角結線巻線）を設ける必要がある。その容量は、非有効接地系統に使用される変圧器の場合は、一・二次巻線の 20%、有効接地系統に使用される変圧器の場合は、30% 程度にとっておけば安全側にある。ただし、一・二次巻線とも中性点を引き出していない場合は、安定巻線に零相電流が環流することがないので、安定巻線の容量としては、励磁電流中の第 3 高調波分のみを循環させればよいので、きわめて小さくてよいし、また内鉄形三相三脚鉄心を使用した変圧器では省略してもよい。

単相器 3 台を使って三相バンクを形成する場合には、三角-三角結線としておけば、1 台故障の場合でも、V 結線にして、ある程度の負荷を供給できる利点がある。しかし結線は、三相平衡負荷がかかる場合でも、電圧が不平衡となって、回転機などは悪影響をうけることがあるので、十分検討する必要がある。

2.3 絶縁階級の選定

変圧器は、一定の絶縁耐力を有するよう設計されており、したがって、変圧器にかかる異常電圧がこの絶縁レベル以下におさえられるよう、保護装置によって保護されねばならない。わが国では、送電系統に非有効接地系統が多く、したがって、変圧器のほとんどは全絶縁が施されている。しかし、電圧階級が上昇するにつれて、なるべく絶縁を合理化して、経済的な変圧器を製作する必要がある。140 kV 以上では、中性点絶縁低下あるいは低減絶縁を採用している。表 2.4 は、わが国の電力系統で使用されている変圧器の絶縁階級の一覧である。

保護装置としては、保護ギャップと避雷器があるが、保護ギャップは、急しゅん(峻)波に対する絶縁協調が十分でないなど種々の欠点があるので⁽³⁾、変圧器の保護は避雷器によらなければならない。なお中性点も、避雷器で保護するのが本来の方法であるが、中性点に生ずる電圧は急しゅん波頭のものはないので、やむを得ない場合は、保護ギャップでも絶縁協調は保つことができる。

変圧器と避雷器の距離は、距離が大きくなると、変圧器端子の電圧が避雷器端子の電圧よりも上昇することがあるので、なるべく近いほうが望ましい。変圧器と避雷器の距離と、電位上昇の関係を図 2.1 に示す。なお特殊な例として、エレファント変圧器⁽⁴⁾においては、

表 2.2 契約最大電力と供給電圧
Maximum demands and supply voltages.

供給者	東京電力	中部電力	関西電力
契約電力			
1,000 kW 未満	—	3.3kV または 6.6kV	3.3kV または 6.6kV
1,000 kW 以上	—	11kV 以上	11kV 以上
2,000 kW 未満	6.6kV	11kV 以上	11kV 以上
10,000 kW 未満	11kV または 22kV	11kV 以上	11kV 以上
10,000 kW 以上	66kV	11kV 以上	11kV 以上
50,000 kW 以上	154kV	11kV 以上	11kV 以上

表 2.3 標準定格電圧および標準タップ電圧
Standard rated and tap voltages.

分類注 1)	一次電圧 (%) 注 2)	二次電圧 (%) 注 2)
A	注 3) 参照	F 115/R 110/F 105 または F 110/R 105/F 100 注 4)
B	F 115/R 110/F 105 (F 115)/F 110/R 105/F 100 または (F 110)/F 105/R 100/F 95	R 110 または R 105 注 4)
C	(F 115)/F 110/R 105/F 100 または (F 110)/F 105/R 100/F 95	R 115 または R 110 注 4)
D	F 115/F 110/R 105/100/95	注 6) 参照

注 1) 変圧器の分類は下表による。

注 2) 本表の電圧値は、公称回路電圧を 1.1 で除した値に対する百分率で表わしてある。

注 3) A 種変圧器の定格一次電圧は、電圧変動率を考慮して、発電機端子電圧より 0~5% 低い値を選定する。

注 4) 負荷端までの送電距離の短い場合に適用する。

注 5) かつこ内のタップ電圧は、一次回路電圧が 77 kV 以下の場合に適用する。

注 6) D 種変圧器の定格二次電圧は、105 V および 210 V とする。

備考：本表では、ステップ電圧を 5% としているが、変圧器の使用条件によってはステップ電圧を 2.5% としてもさしつかえない。ただし、その場合、タップ範囲は本表の値をこえず、かつ、タップ数は(基準タップを含めて) 5 以下とすることが望ましい。

略号	分類
A	発電機電圧から高圧または特別高圧に昇する変圧器
B	特別高圧から他の特別高圧に降する変圧器
C	特別高圧または高圧から高圧に降する変圧器
D	高圧から低圧に降する変圧器

表 2.4 わが国の変圧器の絶縁階級
Insulation levels of transformers used in Japan.

公称電圧 kV	絶縁階級(号)		接地方式
	線路間	中性点	
275	220	30 (フロートするときは 80)	有効接地
220	170	30 (フロートするときは 60)	有効接地
187	140	30 (フロートするときは 60)	有効接地
154	140	100 または 80	非有効接地
110	100	100	非有効接地
77	70	70	非有効接地
66	60	60	非有効接地
33	30	30	非有効接地
22	20	20	非有効接地
11	10	10	非有効接地

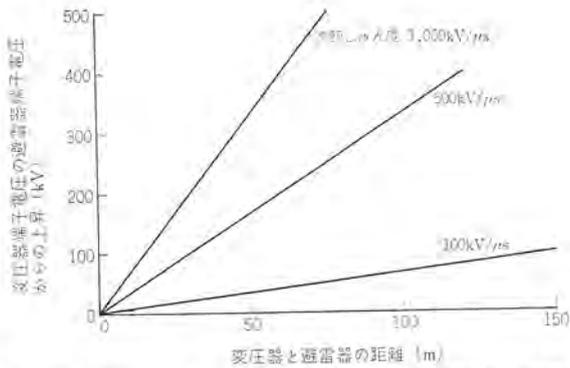


図 2.1 変圧器と避雷器の距離と変圧器端子電圧上昇の関係
Transformer terminal voltage rise over arrester protective level according to distances between transformer and arrester.

変圧器端子が気中へ出ていないため、避雷器をとりつけることができず、したがって変圧器の絶縁協調については、個々のケースにおいて検討する必要があり、近接雷を防止するための送電線のしゃへい、とくに保護レベルを下げた避雷器の採用、変圧器絶縁階級の上昇などの方法がとられることもある。

その他、絶縁協調上考慮すべきことに、一次側から二次側へ移行する異常電圧、いわゆる移行電圧がある。変圧器の二次回路が、まったく雷にさらされる可能性のない回路であっても、一次側に侵入した異常電圧が、変圧器を介して二次側へ侵入し、変圧器の二次巻線やそれに接続された機器の絶縁を脅かす可能性があるため、十分注意しなければならない。この移行電圧には、変圧器の変圧作用によって移行する電磁移行成分と、一・二次巻線の静電容量による結合のために移行する静電移行成分がある。後者は、二次側にコンデンサを接続することによって容易に抑制できるが、電磁分は減少しないので、やはり避雷器で保護しなければならない。このような理由で一般に二次側にはリ・リア・ツォパと称するコンデンサと避雷器を組み合わせたものを設けることが広く行なわれている。

2.4 冷却方式の選定

変圧器は、容量が増すにつれて、熱放散の困難さが増すため、大容量器になるほど能率のよい冷却方式を採用しなければならない。したがって、容量によって、採用する冷却方式が変わってくるのは当然である。現在わが国で使用されている冷却媒体は、ほとんどの場合空気であり、その場合の冷却方式と、その適用範囲は、ほぼ表 2.5 のとおりである。もちろんこれは一応のめやすであって、使用する条件によってかなり変わることがある。

使用の面から考えれば、油入自冷式がもっとも簡単であるが、あまり大容量器に自冷式を適用すると、価格の上昇、据付面積の増大などを招き不経済となるので、冷却方式の選定は、十分検討しなければならない。

強制冷却の場合については、最近では冷却器の能率も改善されてきて、強制冷却に要する電力は少なくなっている。たとえば、油入風冷式では、補機損失は変圧器全損失の 1~2%、送油風冷式では、3~6%程度にすぎないので、一般に冷却補機は常時運転しておいたほうが、変圧器の温度が低く保たれるので、過負荷耐量も増すし、変圧器の寿命の面からも好ましいと言える。また、変圧器の負荷がある程度大きければ、補機電力よりも、温度が下がることによる銅損の減少のほうが大きくなって、全体的にみてかえって経済的となることも多い。

油入自冷式の場合、将来負荷の増加が予想されるようなときには、

表 2.5 冷却方式と適用範囲
Transformer cooling methods and their applicable kVA ranges.

冷却方式	放 熱 器	容量範囲 kVA
油入自冷式	タンク表面のみ	25 以下
油入自冷式	冷却ひれ付	25~50
油入自冷式	冷却管つき	50~500
油入自冷式	放熱器 (いわゆる detachable radiator)	500~30,000
油入風冷式	放熱器+冷却扇	20,000~50,000
送油風冷式	ユニットクーラー	30,000 以上

表 2.6 冷却器全停時の短時間許容負荷
Permissible short time rating in case of all auxiliary cooling.

負 荷	冷却器停止時の油温		
	70°C	50°C	30°C
100%	30 分	1 時間	1.5 時間
75%	1 時間	1.5 時間	2 時間
50%	1.3 時間	2 時間	3.5 時間

あらかじめ将来風冷にする可能性があることを製作者に指示しておけば、ラジエータの配置などをそれに適したように考慮しておくので、必要に応じて将来冷却扇のみを追加することによって、容易に 20%前後の増容量を行なうことができる。

わが国で使用されている送油風冷式変圧器は、一般に、冷却補機が電源喪失などのために全停したような場合、連続負荷耐量がないのが普通である。しかしながら、変圧器は熱容量の大きな機器であるため、短時間であれば、冷却補機が全停しても、ある程度負荷をかけることができる。表 2.6 はその値を示すもので、この時間以内に電源が回復すれば、変圧器を線路から切り離す必要はなく、連続した負荷供給を行なうことができる。

冷却器あるいは放熱器の一部が故障したような場合は、負荷が全負荷より多少小さければ、そのまま運転してさしつかえない。その限度は下式により与えられる。

$$P = \sqrt{1 - \frac{n(1+R)}{NR}} \times 100$$

ただし P: 連続許容負荷 %

N: 冷却器または放熱器の全台数

n: 故障した冷却器または放熱器の台数

R: 銅損対鉄損の比 (不明のときは 2 とれば安全側である)

以上、主として空気冷却の場合についてのべたが、冷却媒体としては他に水をあげることができる。周知のように水は最もすぐれた冷却媒体であり、これが無制限に使用できる場合には、変圧器を水冷式とすれば最もコンパクトに設計できる。しかし、最近では水の使用は制限されることが多く、水冷式の使用されるケースは少なくなってきた。水冷の場合の所要冷却水量は、損失 1kW 当たり、約 100 l/h であり、おおよそのめやすとして 10 MVA 器で 8 t/h、50 MVA で 40 t/h、100 MVA 器で 70 t/h 程度である。

最近では、水も使用できず、また空気冷却も騒音や設置条件のために使用できないというような困難な設置条件のことがある。この場合のために使用されはじめてるのが水の蒸発の潜熱を使用した冷却である。蒸発の潜熱を利用すれば、1 l 当たり 500 kcal 以上の熱を処理することができ、単なる水冷式の場合の 10 kcal/l 程度にくらべ、水の使用量は大幅に減少する。これの具体例としては、冷却塔式変圧器があるが、これについては後述する。

2.5 変圧器の諸特性の選定

最近の変圧器は、鉄心に良質のけい素鋼板を使用しているため、鉄損は以前に比べ非常に少なくなり、銅損と鉄損の比、いわゆる損失比は大きくなって、3~4程度となっている。したがって、最高効率負荷は50~60%負荷のあたりにある。

変圧器の諸特性の中で、インピーダンスは、変圧器の設計全体にもっとも大きな影響を与えるファクタであるが、これは電圧階級によって変圧器としての最適値があり、その値はほぼ表2.7のとおりである。乾式変圧器では、絶縁を空気にたよっているため絶縁距離が大きく、したがってインピーダンスの値は、油入変圧器に比べ50%前後大きくなる。

インピーダンスの上限は電圧変動率で、下限はしゃ断器のしゃ断容量でおさえられ、その範囲の中でインピーダンスを選定するわけであるが、できるだけ標準的なインピーダンスを使用することが、製作者にとって望ましいことである。なお変圧器の諸特性については、表2.8に示すような裕度が定められており、とくにインピーダンスについては、この裕度を考慮に入れてしゃ断容量や電圧変動率を検討する必要がある。

表 2.7 回路電圧とインピーダンスの関係
Standard impedance values.

回路公称電圧 kV	標準インピーダンス %
275	14
220	12
187	10
154	11
110	9
77	7.5
66	7.5
33	5.5
22	5.5
11	4.5

表 2.8 変圧器諸特性の裕度
Tolerance of various transformer characteristics.

種	類	裕度
規約	効率 (η%)	$-\frac{1}{10}(100-\eta)(\%)$
全	損失	保証値の $+\frac{1}{10}$
無	負荷損	保証値の $+\frac{1}{7}$
負	荷損	保証値の $+\frac{1}{7}$
インピーダンス電圧(二巻線変圧器、基準タップの値)		保証値の $\pm\frac{1}{10}$
電	圧変動率	保証値の $+\frac{1}{7}$
無	負荷電流	保証値の $+\frac{3}{10}$

3. 設置条件による特殊な構造

3.1 ビル用変圧器

ビル用受変電設備は近年めまぐるしく変ぼうしつつある。昔の単独設置方式から、電力供給の信頼度と安全性向上および占有面積の縮小化をそなえたキュービクル一括収納方式に変わってきた。したがって変圧器も小形化・不燃化を要求され、とくに火災のおそれをまったくなくしたH種絶縁乾式変圧器は高く評価されている。また不燃化の条件を満たす不燃性油入変圧器も製作されている。

当社では、特高受電のビル用変圧器として、H種乾式変圧器をはじめ、油入キュービクル直結形変圧器としてもビルの特殊性にマッチした形で多数の納入実績をもっている。

3.1.1 乾式変圧器

ビル用変圧器としてH種乾式変圧器は最もすぐれた変圧器で、とくにその特長とする点は、

- (1) 不燃性・非爆発性である。
- (2) 受電設備全体として、重量や据付面積が縮少できる。
- (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将来とも発展の可能性が大である。

H種乾式変圧器は、ガラス繊維・マイカテープ・がいし等の耐熱性絶縁物で絶縁されたコイルを鉄心に装着し、耐熱性ワニス(シリコンまたはドリル樹脂)で含浸し組み立てられたものである。ドリル樹脂は、シリコン樹脂にかわるものとして開発されたもので、シリコンに比べ高温における接着力が大であるため、コイル含浸ワニス、ガラス積層品・マイカ板などの積層ワニス、ガラス巻線の焼付ワニス等に使用している。高温特性がよいことは機器の機械力を大とし、短絡時の衝撃に対しても信頼度が向上される。ビル用としては一般に1,000 kVA以上は風冷式を標準とし、キュービクルに組み込んだ場合、わくの一部分が風どうをかねる構造としている。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り付け、冷却風は直接コイルに吹き付けられ、排気口はキュービクル上部に設け、直接ダクトで外部に放出される構造としている。変圧器のタップ切換は正面とびらをあげ簡単に切換できるようにしている。図3.1は風冷式乾式変圧器をキュービクルに組み込んだ状態を示す。

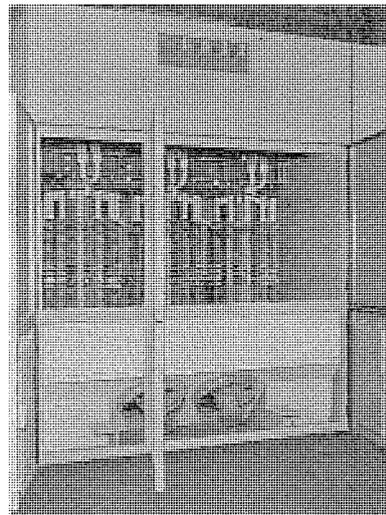


図 3.1 風冷式乾式変圧器三相 3,000 kVA
50 c/s 22/3.45 kV

3,000 kVA 22 kV forced-air cooled dry type transformer.

3.1.2 不燃性油入変圧器

油入変圧器には鉱油入と不燃性油入があるが、不燃性油入変圧器は火災予防上乾式を用いた方が、電圧が60 kV以上のときとか、安価な設備にしたいときに採用される。不燃性油は有機物に対する溶解作用が強いので、これを用いた変圧器は、パッキン・ワニス・塗料・接着剤などの副材料が耐不燃性油用の特別なものを使用しているほかは、鉱油入とほとんど同じような構造・寸法で製作される。また特性上・保守上完全密封をたてまえとし、また現地で不燃性油を扱う繁雑さをさけるため、可能な限り完全組立輸送することをたてまえとしている。当社での不燃性油は、5塩化ジフェニールと3塩化ペンゼンの混合液に反応抑制用の特殊添加剤を加えたものを用い、ダイヤコールと名づけられている。ビル用としての形は不燃性油入・鉱油

入とも 3.2 項のキュービクル直結形として製作されるものが多い。

3.1.3 クーリングタワー式変圧器

ビルの地下を利用し、比較的容量の大きな変圧器を設置する場合など、最近クーリングタワー方式の送油水冷式変圧器が採用されるようになった。この方式には直接循環方式・地下二そう(槽)方式・地下一そう方式などがあるが、運転経費の節減を計る必要から、図 3.2 のように地下に熱交換器、屋上に冷却塔を設置した直接循環方式が採用されている。この方式では変圧器を冷却し温度上昇した油は、油ポンプによって水冷式冷却器に送油され、冷却水によって熱交換され再び変圧器に戻る循環が行なわれる。一方の冷却器内で油の熱を奪った温水は、循環水ポンプによって地下より屋上の冷却塔に送水され、冷却塔で外気により冷却して、冷却器にかえる循環が行なわれる。この方式では冷却水は屋上に設置された冷却塔の位置エネルギーをそのまま利用しているため、水循環ポンプは送水管内の摩擦損失と、冷却塔内の水頭差だけを供給すればよい。また他の方式のように地下に水そうを設ける必要がないので、床面積は非常に小さくなり経済的に有利である。しかしこの場合は冷却管に常時大きな水圧がかかるので、冷却器の冷却管を図 3.3 (b) のように二重構造にし、万一の場合でも直接変圧器の油系統に漏水しないように考慮されている。

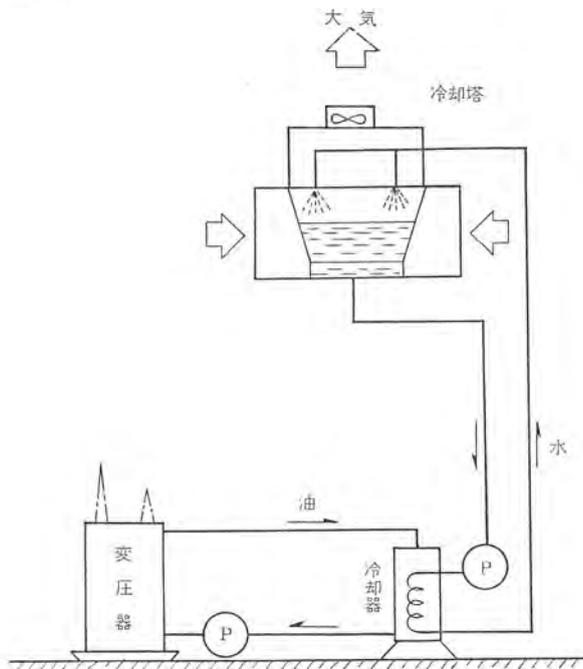
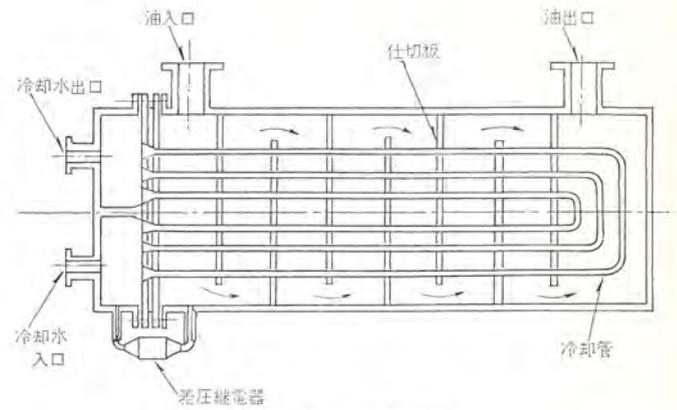


図 3.2 地下変電所での水冷式の直接循環方式
Underground transformer cooled by direct circulation type cooling tower system.

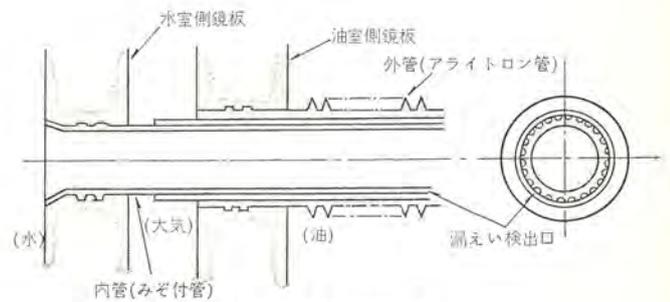
3.2 キュービクル直結形変圧器

工場・ビルの受変電設備のキュービクル化に伴い最近多く用いられるようになった構造である。これは図 3.4 に示すように高圧側は特高キュービクル内へそう入し、低圧側は特高キュービクル内にそう入するか、または反対側でバスダクトで閉鎖配電盤と接続した構造である。電圧は 60, 70 kV 級まではすでに一般化されたが、最近 110 kV キュービクル用も製作中である。プッシングは図 3.4 のように屋内乾式コンデンサ形とし小形化され、キュービクル全体として非常にコンパクトにまとまるようにくふうしている。

この点以外は標準の油入変圧器と異なる点はないが、変電所全体から見ると、充電部がまったく露出していないので安全で、かつプ



(a) 冷却器内部構造



(b) 二重冷却管詳細

図 3.3 水冷式油冷却器
Oil-water heat exchanger.

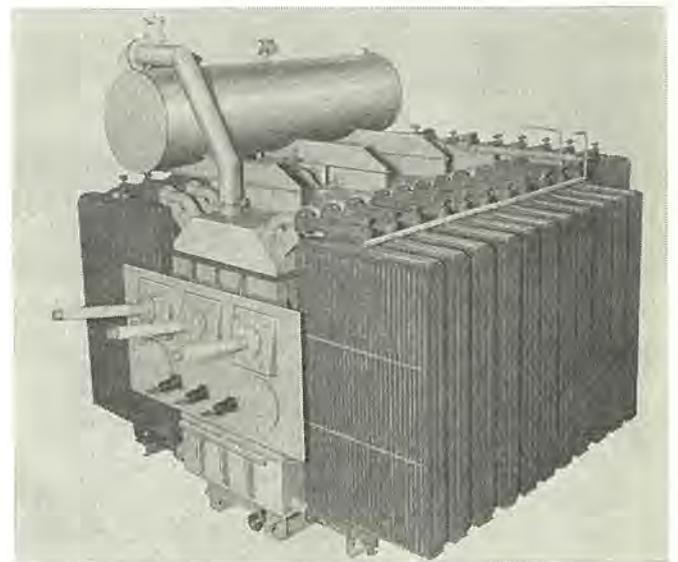


図 3.4 キュービクル直結式変圧器三相 30,000 kVA
50 c/s 66/11 kV

30 MVA 66 kV transformer with throat for direct connection with high voltage cubicle.

ッシングに対する塩じん害対策も不用となり、信頼性の向上、敷地面積の縮小、外観の美しさ等かずかずの利点をもっている。

3.3 ケーブル直結形(エレファント形)変圧器

この形はケーブルと変圧器を直接接続する構造であり、充電部の露出個所がないため、敷地面積の大幅な縮小・安全性の向上・塩害・じん害などの汚損に対しても適している。

ケーブルと変圧器を結合する方式は種々あるが、当社では図 3.5 (b) のように間接式とするのを標準としている。間接式は変圧器とケーブルとの据付時期の差、試験方法の相違のトラブルもなく、変圧器

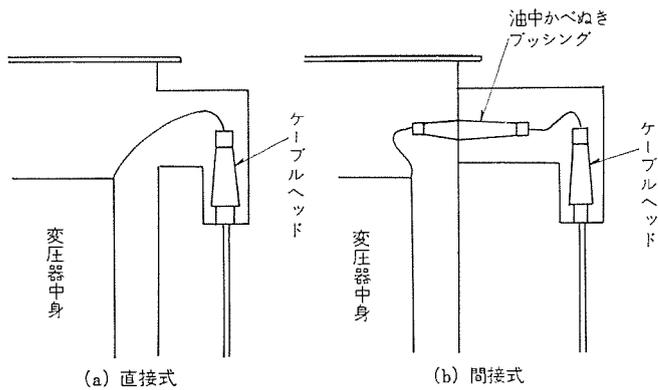
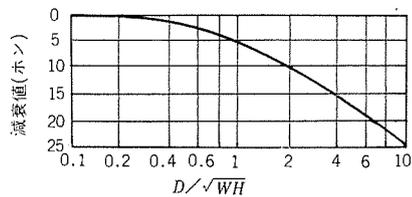


図 3.5 変圧器とケーブルの接続方法
Direct connection on methods of transformer and cable.



ただし D =タンクより測定点までの距離
 W =タンクの長さ
 H =タンクの高さ

図 3.6 変圧器騒音の距離による減衰特性
Attenuation of transformer noise with distance.

とケーブルメカとの責任分界点ははっきりしている。60 kV 以上はケーブル接続室は油入であるが、20 kV 以下では、油を入れる必要もないので変圧器価格の上昇も少なく、二次盤との距離がある場合などに、バスダクト代のわりに容易に採用できる。

3.4 全装可搬形変圧器

これは、輸送時は通常取りはずされるブッシングや放熱器などを取付け、完全組立の状態でも輸送できるように製作されたもので、現地組立作業が不用となり、据付後すぐに使用できる。この形はすでにだいぶ普及されてきているが、けい素鋼板の進歩・絶縁構成の合理化等で変圧器が小形化された結果、最近では 70 kV 10,000 kVA 程度まで製作可能である。

3.5 低騒音方式

最近変圧器の騒音が公害として問題になるケースが多くなっているが、騒音は変圧器に鉄心を使用している限り避けられないものであり、普通の変圧器では負荷に無関係で、電圧がかかっている限り同一レベルの値である。変圧器の騒音レベルの測定法およびその基準値は、JEM-1117 および JEM-1118 に定められている。工場地帯の工場では、周囲に民家が少ないので騒音が問題となることはほとんどないが、ビルや住宅地近くに設置される上水道設備ではよく問題になる。音は図 3.6 のように距離により減衰するが、これはだいたいのめやすで変電所の地形・周囲の建屋・キュービクルの配置により相異なる。一般に変圧器による騒音値をとくに低くするには次の方法が採用される。

(1) 変圧器鉄心の設計を考慮する。

変圧器の騒音は、いわゆる鉄心の磁わい(歪)によるものが最も大きいものであるから、磁束密度を下げ、さらに鉄心が共振しないように鉄心の固有振動数をずらす。しかしこの方法は変圧器の経済性を低下させるため、3~5 ホン程度が限度である。

(2) 防音壁付変圧器

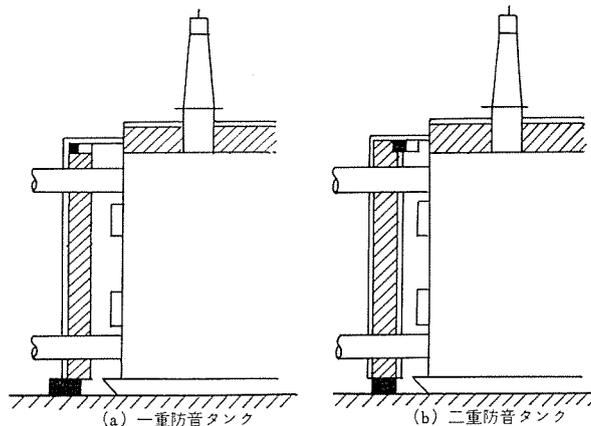


図 3.7 防音タンクの原理図
Sound-proof enclosure construction.

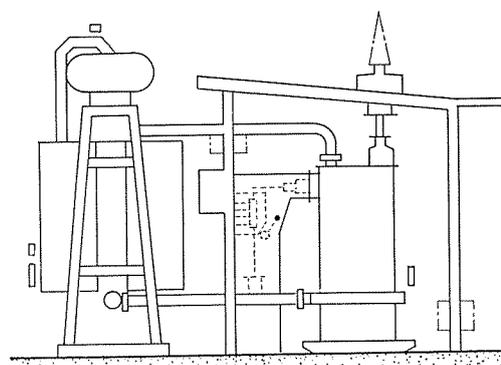


図 3.8 コンクリート防音変圧器の構造
Low sound level transformer with concrete sound enclosure.

防音壁には図 3.7 (a) のような一重防音壁と、(b) のような二重防音壁がある。これは鋼板製防音壁を基礎および本体上部より防震支持し、防音壁内部にはタンク壁との間に、音のビルドアップを少なくするため吸音材をはりつけてある。(a) で約 10 ホン (b) で 15~20 ホン 程度の減衰効果がある。この方法は変圧器自体はそれほど大きくならずかなりの効果があるのでよく採用されている。

(3) シャ音壁

変圧器の周囲に L 字形またはコ字形のへい(塀)を建て、音響エネルギーを支障のない方向に放射して特定の方向の騒音レベルを下げる方法である。壁の材料にれんが・コンクリートなどを使用すれば壁を透過する音は問題にならないが、へいの上部または端部からの音の回折によりその効果は実用上 10 ホン程度である。

(4) コンクリート防音壁

変圧器をコンクリートの建屋の中に収納するもので、原理的には屋内形変圧器と同じであるが、天井や周囲の壁などに吸音材をはりつけるなどしており 20 ホン以上の減衰が可能である。この方式では変圧器を送油自冷式として、放熱器だけ屋外設置されることが多い。また電圧の高い場合にはブッシングの引出し方法に特別の考慮が払われる。一般に屋内設置の場合には、変圧器の振動によって構造物が振動して生じる二次音にも注意しなければならない。これを防止するには、変圧器の下に防震ゴムを敷いたり、建屋の床を強固にしたり、振動する可能性のあるものの振動数を変圧器の振動数からずらすなどの方法を構じる必要がある。図 3.8 はコンクリート防音変圧器の構造を示す。

4. 変圧器の付属装置

変圧器の付属装置としては、変圧器の形式・容量・用途等によって今日見られるような多種類の付属装置が具体化されている。付属装置はその目的により次のようなものがある。

(1) 変圧器の機能を発揮させるためのもの、ブッシング・タップ切換器・冷却装置など。

(2) 運転保守の便宜をはかるためのもの、名板・油劣化防止装置・温度測定装置・バルブなど。

(3) 内部事故を検出し事故の拡大を防ぐもの、保護装置・放圧装置など。

以下当社の油入受電用変圧器を対象とした付属品の種類と、特長・取付基準・油劣化防止方式の詳細について述べてみる。

4.1 付属品の種類と取付基準

(1) 定格名板

標準として取付ける。取付位置は高圧側を標準とし、この面を正面側とする。

(2) 社章板

標準として取付ける。取付けは定格名板と同じ側を標準とする。

(3) 温度計

標準として棒状アルコール温度計と、最高指針付き、警報接点付きダイヤル温度計を取付ける。万一不良による取換えの場合は、変圧器本体油を抜かずに取換えできるように感温部を二重構造としている。また屋外使用による耐候性のほかに変圧器の振動に対して指示に狂いのないよう、指示盤を完全に密封し、湿気の侵入を防止するとともに、防震ゴムを介して取付け変圧器の振動をシャ断する構造としている。

(4) 油面計

標準としてダイヤル形油面低下警報接点付油面計（マグネット方式）を取付ける。とくに小容量の場合は棒状油面計を取付ける。ダイヤル形のは地上から見やすいように、ダイヤルを斜下向になる構造になっている。

(5) 衝撃圧力継電器

(6) のブッフホルツ継電器のいずれかを標準として取付ける。窒素密封式・RV式窒素封入装置付の場合は、SP形衝撃圧力継電器を取付けるのが標準である。

この継電器の特長は、内部事故が大きくて圧力上昇が速いほど短時間で動作するという反時限性を持ち、常時の内圧値に無関係に感度を上げることができる点であり、非常に信頼度の高い継電器である。他の保護装置にみられる誤動作の心配もない。またコンサバタをもたない変圧器にも手軽に取付けることもできる。

(6) ブッフホルツ継電器

開放形（ブリーザ方式）変圧器およびとくに指定のあった場合に取付けられる。

この継電器の特長は、巻線事故のほかに鉄心の積層間絶縁破壊、金属部におけるうず電流による局部的加熱、あるいは油面低下など初期の比較的軽微な事故を第一段のガス室にて検出できる利点があるが、油中の空気や窒素がガス室にたまり、アラーム接点を働かせて誤動作を起こすことがあるので、窒素密封式などの比較的圧力変化の大きい場合には使用しないほうがよい。

(7) 油ろ過弁・排油弁

標準として一式取付けられる。排油弁・検油弁は標準として下部

排油弁と兼用とする。とくに下部ろ過弁のサイズの大きい場合は小形の検油弁が別に取付けられる。

(8) 放熱器

冷却方式は注文によって選定される。一般に自冷式放熱器を本体に取付けるので標準であるが、別置にする場合もあり冷却方式に関連して決まる。当社自冷式放熱器はシーム溶接式にて製作されるパネル形放熱器で、外観もよく油入風冷式とする場合は通風状態も良好である。

(9) 放熱器弁

標準として自冷式放熱器の上下エルボと本体タンク間に取付けられる。放熱器の交換に際しては上下バルブを閉じ本体油を抜かずに作業ができる。

(10) ベース

舟底形ベースを標準として取付ける。車輪付きは指定により採用される。この場合はフランジ車輪と平車輪の別、レールゲージ・移動方向を明示する必要がある。

(11) 基礎ボルト

標準としてL形基礎ボルトを取付ける。寸法は容量（重量）により当社標準が決められている。

(12) 接地端子

標準として変圧器の正面側ベース上に取付けられる。縮付形を標準とし、寸法は容量・電圧により標準が定められている。とくに形状・寸法・取付位置を定められる場合は指定する必要がある。

(13) 放圧管

標準として取付ける。現地真空注油時には放圧膜を取りはずす必要のない耐真空構造になっている。寸法は容量・電圧により標準が定められている。また放圧膜破壊警報装置付のものは注文により取付ける。油入エレファント室のある場合はエレファント室にも標準として取付けられる。

(14) 無負荷タップ切換器

一般にタップ電圧のある場合はもちろん取付けられる。タップ切換は外部の取手によって切換えられるのが標準である。

(15) 総体つり手

標準として取付ける。重量の重いものは総体つり手をタンク下部に取付け、つり手板の下面がジャッキボスを兼ねる構造となっている。

(16) はしご

標準として取付けない。ただし容量の大きい変圧器および付属品の日常点検上必要な場合は取付ける。

(17) ブッシング

変圧器からの口出し方式はブッシングか、エレファント形か、バスダクト方式かをまず指定する必要がある。線路ブッシングの絶縁階級は巻線の絶縁階級と同一であり、がいしの色は白色が標準である。また線路側ブッシングには保護ギヤップをつけないのが標準である。

耐塩害特性の必要とされる場合は、ブッシングの絶縁階級、または汚損特性、活線洗浄を行なう場合は管理する汚損度を指定する必要がある。当社では30kV以上のブッシングはすべてOT形コンデンサブッシングを、30kV未満はPO形油入単一ブッシングが標準として使用される。コンデンサブッシングは胴径が細く耐塩害特性が油入形に比べ非常にすぐれている。

キュービクル直結形の場合は、屋内用乾式コンデンサブッシングおよび乾式単一形を使用するのが標準である。

(18) 主回路端子

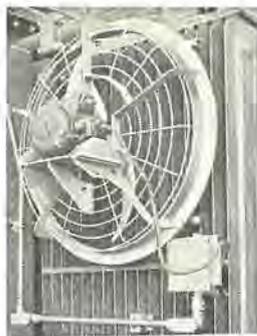


図 4.1 冷却扇
Cooling fan.

注文により取付ける。端子の種類は締付端子（クラブ形）・圧縮端子・圧着端子（パンチ形）・銅管端子などがあるが、端子の種類・サイズを指定する必要がある。低圧側の電流の大きい場合は銅板に接続されることが多いので、銅板寸法を指定する必要がある。

(19) 保護回路端子箱

保護回路端子箱までの配線・配管を含め標準として取付ける。端子記号・電線の色別は JEM 規格に準拠している。

(20) 絶縁油

標準として必要油量を全量供給する。絶縁油は JIS C-2320, 2号である。とくに製造業者あるいは自給する場合はその旨指定する必要がある。

(21) プッシュ型変流器

注文により取付ける。変流器の仕様としては個数・変流比・定格負担・誤差階級、必要な場合は過電流定数の指定が必要である。

(22) 遠隔温度指示用素子

注文により取付ける。これは配電盤にて変圧器の油、あるいは巻線の温度を監視するためのもので、変圧器本体に被測定素子抵抗線を埋込んで、温度による抵抗の変化をブリッジまたは比率計によって指示するものである。素子抵抗線は Pt 50Ω (0°C において) が標準である。

(23) 冷却扇

風冷式の場合に取付けられる。この場合電源の指定が必要である。自冷式変圧器に将来冷却扇を付けて増量させる場合は放熱器の配列に注意して製作する必要があるので、あらかじめ指定しておくほうが無難である。

取付構造は図 4.1 に示すように簡単に取付けられ、羽は 2 枚羽で騒音の少ないのが特長である。

(24) 送油ポンプ・油流指示器

送油式の場合に取付けられる。油ポンプは電源の指定が必要である。油流指示器は油の流れが止った場合閉となる接点付きを標準として取り付ける。

(25) その他

負荷時タップ切換器付きの場合の活線浄油機・つり上げ装置・冷却装置用のクーラー盤などは注文により取り付けられるものである。

4.2 油劣化防止装置

油入変圧器における油の役割は周知のとおり絶縁と、冷却を兼ねるものであり、その油が劣化することはそれだけ変圧器の耐久度を低下させることになる。絶縁油は酸化・吸湿により劣化するので、これを防ぎ油を常に新鮮な状態に保つ目的で種々の油劣化防止装置が採用されているが、以下当社で採用しているおもな方式につ

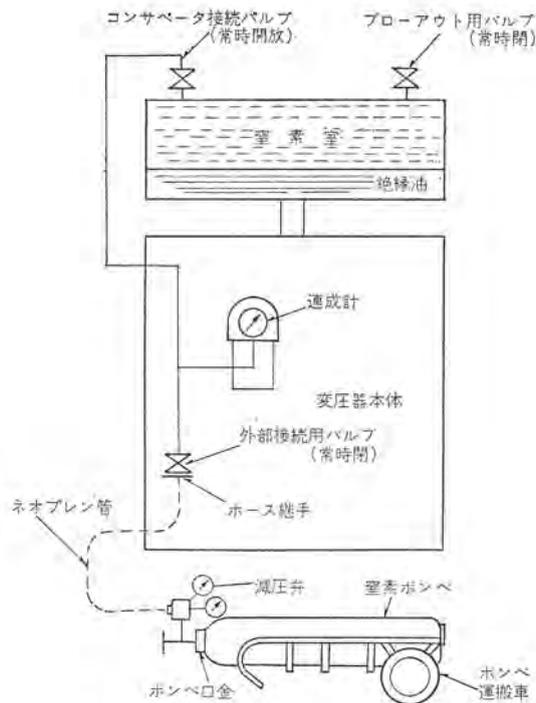


図 4.2 完全密封式窒素封入装置構造図
Nitrogen sealed-off type transformer.

いて述べてみる。

(1) 完全密封式窒素封入装置

これは変圧器外箱上部、またはコンサベータ油面上の空間に窒素を封入して密封し、完全に大気とシャ断する方式である。窒素室は油の膨張・収縮による空間の体積変化によって生じる圧力変動が一定の値以下になるように窒素室の容積を大きく選定したものであり、コンサベータのみでは容積が不足する場合には、別に窒素室を設けることもある。この方式は、窒素封入式のうち最も簡単な方式で保守点検もきわめて容易である。標準付属品として本体には窒素圧力の監視用として連成計、および油温度-窒素圧力特性曲線名板が取付けられ、窒素補給用として、減圧弁・窒素ポンプ・ポンプ運搬車を付属している。この方式は容量 15,000 kVA 程度までの変圧器に採用している。

図 4.2 はこの方式の概略構造を示す。

(2) ポンプ式窒素封入装置 (RV 形)

この装置は、変圧器コンサベータ油面上の空間に窒素を封入し、呼吸作用による窒素の消耗を付属の窒素ポンプより減圧弁を経て自動的に補給するもので、つねに純度の高い窒素が充てんされている。コンサベータ内の窒素圧力が、0.03~0.05 kg/cm² から 0.37 kg/cm² の範囲では、窒素ガスの出入はなく密閉された状態にあり、圧力が 0.03 kg/cm² 以下にさがったときは、減圧弁が開いてポンプより窒素ガスが補給される。油が膨張して内圧が 0.37 kg/cm² 以上になると放圧弁が動作して窒素ガスを放出する。また万一の場合の保護として、コンサベータ圧力が 0.4 kg/cm² 以上または -0.17 kg/cm² 以下であると警報を発するようになっており、またポンプ圧力が 150 気圧から 15 気圧に低下した場合も、ポンプ取換え準備の警報を発するようにしている。

この装置の特長はとくに大きなコンサベータを必要とせず、窒素封入装置も小形軽量であり大容量変圧器にも簡単に取付けできる点である。本装置は容量 15,000 kVA 程度以上に採用している。



図 4.3 RV形ポンベ式窒素封入装置外観
Type RV nitrogen seal equipment using nitrogen cylinder and reducing valves.

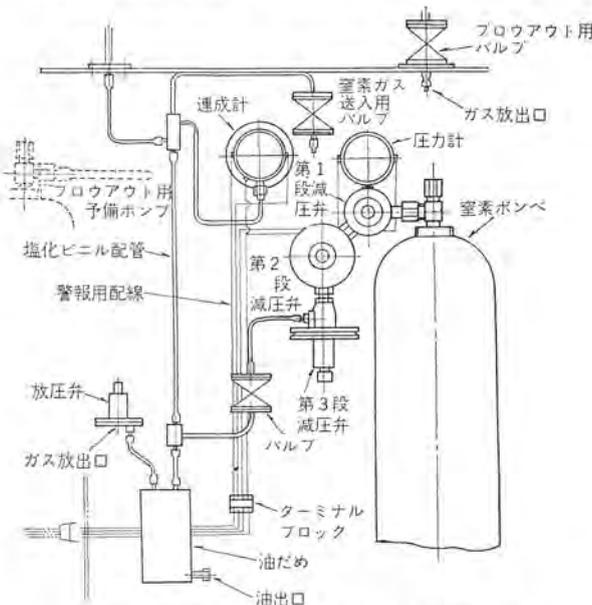


図 4.4 RV形ポンベ式窒素封入装置配管
Connection of type RV nitrogen seal equipment.

図 4.3 はこの装置の外観図，図 4.4 はその接続方法を示す。

(3) 隔膜式油劣化防止装置

この装置は、コンサーバタ内に耐油性の合成ゴム製の袋を設け、油の膨張・収縮はゴム袋の形状変化によって補償して、空気と油の接触を完全に断とうとする方式である。その構造は図 4.5 に示すように、コンサーバタ内にはゴム袋を除くすべての部分に絶縁油が充満しており、絶縁油と外気は完全にシャ断されている。ゴム袋は酸素を透過しにくく、またとくに繰り返し変形に耐える材料で製作されている。またゴム袋はフリーザを通じて外気と通じており、ゴム袋内に湿気が侵入しないようになっている。

このほか万一ゴム袋が破損して空気がコンサーバタ内に侵入した場合には、これを検出する気体検出装置が設けられている。この装置の特長は窒素ガスを使用しないため、絶縁油中にガスが溶解しないこと、また外部に特別な付属装置を必要とせず、据付面積が小さく保守点検が容易なことである。

この装置は比較的容量の大きい変圧器で、とくに注文のあった場合に取付けるものとしている。

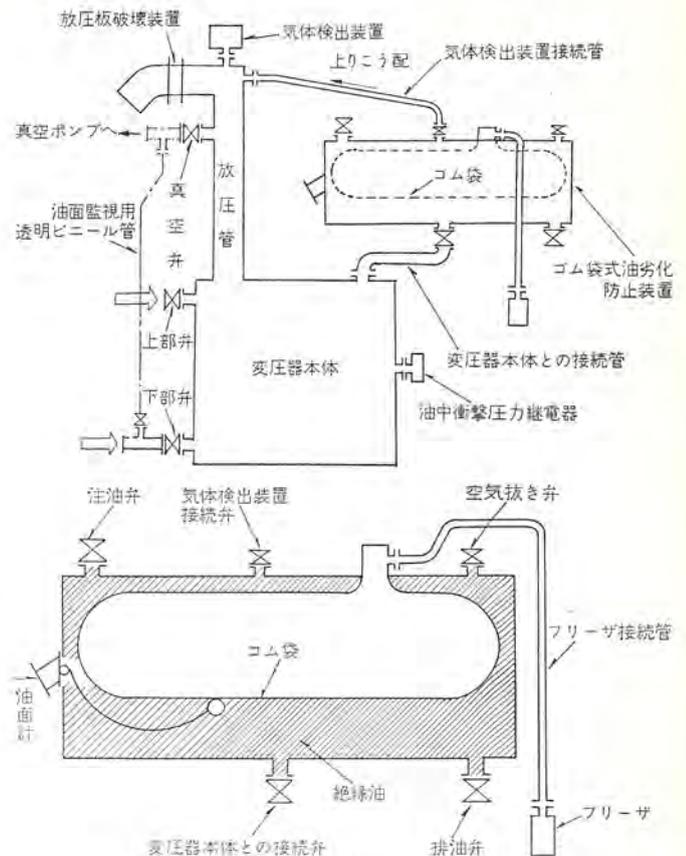


図 4.5 ゴム袋式油劣化防止装置構造図
Rubber bag type conservator.

(4) 吸着剤方式

この方式は、吸着剤により油に含まれている有機酸、および溶油性不純物ならびに水分を吸着・除去させることにより、油の劣化促進を防止させる方式であり、開放形コンサーバタ（フリーザ式）と併用される。この目的に使用される吸着剤としては活性アルミナを使用している。この活性アルミナをトリタ（活性アルミナを収納する箱）に収納し、変圧器本体側面に放熱器と同じ要領で取り付け、変圧器内の油の対流作用によって油が活性アルミナ層を循環するようにしている。一般に電力用変圧器では、負荷使用条件により若干異なるが、だいたい1～2%（油100kgに対して活性アルミナ1kgを1%と呼ぶ）を充てんすることにより、約10年程度再生あるいは、取換えの必要はない。この方式もとくに注文のある場合に取付けるものとしている。

(5) 開放形コンサーバタ方式（フリーザ式）

空気中の水分吸収を防止するため、コンサーバタの通気孔入口に吸湿剤呼吸器を用いる。この装置の要点は、吸湿剤の寿命を長くするよう大気中からシャ断させ吸入空気の湿気を除去する点で、当社ではビニールスポンジフィルタと油および活性アルミナを用いて大気とシャ断しており、これは防じん作用も兼ねている。

この方式は構造簡単で故障がなく安価であるが、数年に1回は油を再生または取換えねばならないので、特高変圧器では上記(1)～(4)項のいずれかの方式を採用するようにしている。

(6) 浮動ガスタンク式窒素封入装置（GT形）

ガスタンク式窒素封入装置は、コンサーバタ内の空間を利用して窒素を封入し、油面の変動に伴う窒素ガスの容積変化に対し、別にガスタンク式可変容積の窒素調整装置を設置し、配管で接続した方式である。すなわち図 4.6 のように倒立したコップ状の浮動タンクを油中に直

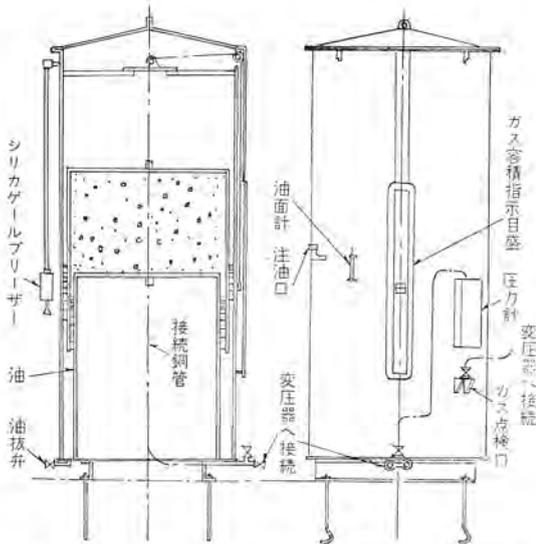


図 4.6 GT 形 ガスタンク 式窒素封入装置構造図
Diving bell type nitrogen seal equipment type GT.

立させ、この浮動タンクの上下動により容積調整を自動的に行なうようにし、油で空気と窒素とのシャ断層を形成したものである。この装置の特長は コンサバータ 圧力を 0.015 kg/cm^2 前後に調整され、他の形式の窒素封入装置に比べ封入圧力の小さいことと常に一定圧力で必ず大気圧以上となっている点である。しかし別置形式であるため、かなりの床面積をとるので現在では既納品と形式を合わせる必要のある場合以外は採用しないのを標準としている。

5. 負荷時タップ切替器

負荷時タップ切替器 (LTC) は、変圧器を線路から切り離すことなしに、変圧比を変える装置で、最近急激に普及してきた変圧器付属品である。

LTC は、その切替原理からみて、二種類に大別することができる。すなわち、LTC は、変圧器のタップを負荷を切り離さずに変化させてゆく装置であるので、切替の過程において、必ず2タップの間を橋絡する瞬間があり、この場合にタップ間に過大な短絡電流が流れないように、限流インピーダンスを介して橋絡してやる必要がある。このインピーダンスとして、抵抗を用いるものと、リアクトルを用いるものがあり、前者を抵抗式、後者をリアクトル式と呼んで分類している。前者は主として欧州で発達したものであり、後者はアメリカで広く使用されてきたものである。双方一長一短があるため、現在わが国では、両方とも使用されているが、抵抗式のほうが高電圧用のものを製作しやすいため、受電用変圧器ではその利点を活かして抵抗式が採用されることが多くなってきた。抵抗式の LTC は、そのほとんどが星形結線の中性点に使用する形式のもので、したがって LTC をとりつける巻線の結線は、必然的に星形結線にしなければならない場合が多い。表 5.1 は、当社で現在使用している負荷時タップ切替器の一覧である。また図 5.1 は、代表的な抵抗式 LTC である西独 MR 社の F 形タップ切替器を示す。

LTC は一般に、タップの選択作用を行なうタップ選択器と呼ばれるスイッチと、負荷電流の開閉を行なう負荷開閉器と呼ばれるスイッチより成っている。前者は、通常変圧器の本体の油と同じ油中に設けられており、この部分は電流の開閉を行なわないから、保守は不要である。後者は、通常油入りの開閉器で、電流の開閉によって、

表 5.1 当社負荷時タップ切替器の一覧
Mitsubishi on-load tap changers.

形名	種類	定格電流 A	電圧階級	注
URS	リアクトル式	400	6号以下	
URA	リアクトル式	400	6号以下	
MRC	抵抗式	200	30号以下	気中負荷開閉器
MRBC	抵抗式	200	30号以下	三角結線用
MRD	抵抗式	400	140号以下	
MRF	抵抗式	800	140号以下	



図 5.1 MRF 形抵抗式負荷時タップ切替器
Resistance type on-load tap changer type MRF.

接点の消耗、油の汚損などを生じるので、ある程度の保守を必要とする。したがって保守点検が容易に行なえるような設計としてあるのが普通である。また、気中開閉器を使用して、油の汚損の問題をなくした LTC もある。油の汚損の問題は、また、活線浄油装置を使用すればある程度解決することができる。

LTC を変圧器に適用する場合に、根本的な二つの方式として、電圧調整装置を主変圧器と別に設置する。別置形負荷時電圧調整器 (LRA) 方式と、LTC を直接主変圧器にとりつけた負荷時タップ切替変圧器 (LRT) 方式の二つがある。前者は、LTC 普及の初期に、しばしば使用された方式であるが、LRA 自体の価格が高くなるために LRT に比べて経済的に不利であること、LTC の信頼度が向上して、とくに別置式とする必要が少なくなってきたこと、などの理由から、最近では使用されることが少なくなり、LRT が広く使用されるようになってきた。ただし、受電用変圧器の場合、たとえば負荷の一部のみに電圧調整を行なえばよいというような条件であれば、主変圧器は単純な受電変圧器とし、電圧調整をすべき負荷だけに小容量の LRA を適用するほうが安価となる場合もあるので、検討する必要がある。

LTC の変圧器への適用方式の分類には、また、直接式と間接式がある。前者は、主回路の負荷電流を直接 LTC で開閉するものであり、後者は、主回路の電流電圧値を直列変圧器などを介して LTC に適した値に変成して切替を行なうものである。一般には、前者のほうが経済的であるが、変圧器の定格によっては、後者も検討しなければならないこともある。

LRTの定格については、電気協同研究会の負荷時タップ切替器実用性能向上委員会（通称LR委）によって、ある程度標準化⁽⁵⁾されているので、仕様を決定する場合には、これを参考とすることが望ましい。

6. 変圧器の現地試験

変圧器は変電所の機器の中で最も重要なものであるから、その試験は慎重に行なう必要がある。変圧器の試験は、メーカーの工場で行なわれる工場試験と、据付現場において実施される現地試験とがある。工場試験は指定した仕様を満足するかの試験をするもので、現地試験は据付け終了後実際の運転にはいる前に異常の有無をみるための現地点検試験、技術基準に基づいて実施する官庁試験、実際に運転にはいつてからも定期的な保守のために実施する保守・点検試験がある。

ここでは現地官庁試験に際しての参考として、加圧試験と、温度上昇試験について簡単に説明する。

6.1 加圧試験

被試験器の絶縁状態が良好であるかを確かめて行なうことが大切である。電源波形はなるべく正弦波に近いこと、および充電電流のため電圧変動が過大とならないよう、電源は十分に大きいことが必要である。現地で試験用変圧器を用いて、加圧試験を行なう場合、被試験変圧器の有する静電容量の大きさによっては、試験用変圧器の巻数比から計算された電圧より高い電圧が、被試験変圧器の端子にかかるおそれがある。

したがって、万一の場合を考えて、試験電圧より10%高い放電電圧に整定した球キャップを、被試験変圧器に並列に設けることが望ましい。また、万一絶縁破壊を起こしたとき、試験用変圧器を損傷しないように、その端子に抵抗またはリアクタンスを直列にそう入して、故障電流を制限する。

試験装置の例として、次のようなものがある。

- | | |
|-----------------|-----------------|
| (1) 発生電圧：100 kV | 容量：100 kVA |
| 二次電流：1 A | 電源電圧：210 V |
| (2) 発生電圧：200 kV | 容量：300 kVA |
| 二次電流：1.5 A | 電源電圧：3.3/6.6 kV |
| (3) 発生電圧：100 kV | 容量：300 kVA |
| 二次電流：3 A | 電源電圧：3.3/6.6 kV |

試験電圧の測定には、計器用変圧器を用いる方法、試験用変圧器三次電圧により測定する方法、球キャップにより測定する方法などがあるが、測定精度運搬の容易さなどにより球キャップによる方法が、最も一般に行なわれている。

試験に際しての注意

- (1) 試験装置を用意する。
- (2) 被試験回路の選定被試験品の各端子を一括し、被試験端子、対地間に試験電圧を加える。そのとき、試験されない回路は分離し、接地しておく。
- (3) 試験前にメガテストを実施し、記録する。
- (4) 試験回路の電圧を徐々に上げ、規定の電圧を規定の時間かける。
- (5) 試験中、数回、試験電圧・充電電流などを記録する。
- (6) 規定時間後、異常のないことを確認して電圧を下げる。

表 6.1 は官庁試験における試験電圧を示す。

表 6.1 官庁認可試験時絶縁耐力試験電圧値
Test voltage values of government approval
test at site.

	最大使用電圧 V	試験電圧 V	試験時間
1	$E \leq 7,000$	$1.5 E$ (ただし最低 500)	連続 10 分間
2	$7,000 < E \leq 15,000$ (中性点多重接地)	$0.92 E$	
3	$7,000 < E \leq 50,000$ (2を除く)	$1.25 E$ (最低 11,000)	
4	$50,000 < E$ (中性点非接地)	$1.25 E$ (最低 63,000)	
5	$50,000 < E$ (中性点接地、ただし6以外)	$1.1 E$ (最低 63,000)	
6	$170,000 < E$ (中性点直接接地)	$0.72 E$	
7	上記以外の巻線	$1.1 E$ (最低 63,000)	

(注) E は最大使用電圧

6.2 温度上昇試験

温度試験は、定格容量で連続、あるいは、定められた時間使用した場合、油および巻線の温度上昇限度が、規定の限度内にあるかどうかを確かめるために行なう試験であるが、とくに現場で実施する場合、メーカーの工場で行なうように簡単にできないことが多いので、現場の電源設備と、供試変圧器の仕様とを考慮して、適切な方法を採用しなければならない。温度試験のための負荷法としては、実負荷法・等価負荷法・返還負荷法の種類があるが、ここでは現地で最もよく行なわれている等価法と、タップ差による返還負荷法について説明する。温度上昇の限度としては、JEC-168(1966)に規定されているとおりである。

(1) 等価法

変圧器の全損失のうち、負荷損のみを供給して試験する方法で、次の三つの方法がある。

- (a) 全損失を負荷損とみなして、これを供給する方法。
- (b) 試験時使用する冷却面積を減らさず、負荷損のみを供給する方法。
- (c) 負荷損のみ供給して、冷却面積を減らす方法。

いずれの場合でも、この方法では、一方の巻線を短絡して他方の巻線から負荷損を供給するので、供試変圧器のインピーダンス電圧に相当する電圧が必要であり、試験電源としては供試変圧器の定格出力のインピーダンス分の容量が必要である。

$$\text{電源容量} = \frac{\text{変圧器容量(kVA)} \times \% \text{インピーダンス}}{100} \times \frac{\text{全損失}}{\text{銅損失}}$$

(全損失供給の場合)

全損失を生ぜしめる電流 I_S は、無負荷損を W_F 、75°C に換算した負荷損を W_C 、定格電流を I_n とすれば、

$$I_S = I_n \times \sqrt{\frac{W_F + W_C}{W_C}} = \alpha I_n$$

となる。ただし、 W_F が大きすぎたがって α が大きくなる場合には $\alpha < 1.2$ 程度にとどめるのが望ましい。試験設備の都合で、定格全損失以下の損失を供給して試験する場合には、次の方法で補正する。

全損失を供給できないときは、放熱器または冷却器の一部を閉止して(放熱器弁を閉じて)試験を行なう。閉止すべき放熱器の数 k は下式で求める。

$$k' = (A_T + kA_R) \cdot \left(1 - \frac{W}{W_a + W_i}\right) / A_R \text{ (個)}$$

A_T = 外箱の有効冷却面積

A_R = 放熱器 1 個の冷却面積

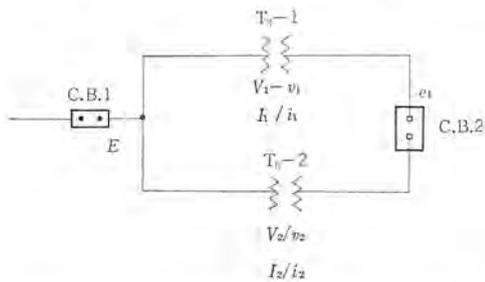
k = 放熱器の数

W_a, W_i = 75°C における銅損および鉄損

W = 試験時の供給損失

(2) タップ差電圧を利用する返還負荷法

同一変圧器が 2 台ある場合、無負荷損供給の電源のみ準備し、負荷損の供給は供試変圧器のタップ電位差を利用して、循環電流を流すことによって行なう方法である。この場合、電源としては、供試変圧器の定格電圧を供給でき、タップ差による差電流と、2 台分の無負荷電流の和だけ供給できる容量でよい。しかし、一般にタップ差電圧は供試変圧器のインピーダンス電圧を 100% 補償することができ



	被試験 TR TR-1	補助 TR TR-2
タップ電圧 (名板記入値)	V_1	V_2
電流 (名板記入値)	I_1	I_2
タップ電圧 (名板記入値)	v_1	v_2
電流 (名板記入値)	i_1	i_2
上記のインピーダンス (%)	z_1	z_2
受電電圧	E	

ないので、不足損失分は(1)項のような補正をしなければならない。

$$e_1 = E \cdot \frac{V_1}{v_1}, \quad e_2 = E \cdot \frac{V_2}{v_2}$$

しゃ断器 (C, B2) を投入したとき、差電圧 ($e_1 - e_2$) によって生ずる循環電流 I_0 は次のようになる。

$$I_0 = \frac{e_1 - e_2}{\frac{V_1 \cdot z_1}{100 \cdot i_1} + \frac{V_2 \cdot z_2}{100 \cdot i_2}}$$

この試験の場合、タップ巻線のついている側より励磁すると、タップを下げた変圧器が、過励磁になる場合があるので、この過励磁の限度は、105%程度におさえるのが望ましい。タップ巻線のない側の電源が準備できる場合は、タップ巻線のない側より励磁するほうがよい。

7. む す び

最近の受電用変圧器について、定格の選定、その他ご使用者が日常関係される事柄について述べてみた。何らかの参考となれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 白井ほか：添加剤による耐熱絶縁紙の開発，三菱電機 36, No. 4.
- (2) 電気学会技術報告 17 号「油入変圧器運転指針」(昭 32-6)
- (3) 電気学会変圧器専門委技術レポート「変圧器ブッシングの保護ギヤップについて」電気学会雑誌 84, No. 6.
- (4) Herlitz, Knudsen : Surge Protection of Electrical Equipment Connected to Overhead Lines Through Cables, CIGRE 324 (1952)
- (5) 電気協同研究 20, No. 5, 21, No. 5.

10~100 kV 特高キュービクル

田和 稷*・平河 宏之*

High Voltage Cubicles 10~100 kV

Itami Works Yutaka TAWA・Hiroyuki HIRAKAWA

High voltage cubicles, which have come into popular use recently, are setups enclosing en bloc in protected housings necessary switchgear for the principal apparatus, principal circuits and low voltage control circuits of electric power systems. Their distinctive features are small size, high dependability and high degree of safety. Their types and applications are manifold.

With particular consideration given to the safety in maintenance and inspection and to measures preventing the spread of faults, high voltage cubicles called semi class F have been standardized throughout 10~100 kV ratings. The apparatus to be contained in the cubicle are designed especially compact to occupy the least spaces. As a result the cubicle completed has the smallest dimensions among those built in this country.

1. ま え が き

わが国における電力需要の動向はめざましいものがあり、ビル受変電設備は20~30 kV 級から60~70 kV 級へと、また、産業工場、電鉄変電所、水道事業場なども設備容量が増大して60~70 kV 級、さらにはこれをこえて100~140 kV 級へと大形化していく傾向にある。これに呼応して電力会社の発変電所がつつぎと建設されている。

参考として各電力会社における受電容量と電圧の関係を表1.1に示す。

一方これらの自家用ならびに事業用の特別高圧電力設備の建設にあたっては、ビルに設けられるものについては建築上の制約を受けるため占有面積および高さが限定され、また工場の海岸埋立地への進出などにより塩害その他の悪環境対策などが問題となる場合が多い。また、事故発生時の停電による業務上、営業上に及ぼす影響の

表 1.1 契約最大電力と供給電圧
Contracted maximum power vs. supply standard voltage.

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

表 1.2 わが国における特高キュービクル製作実績
List of actually built high voltage cubicles in Japan.

用途	電圧 kV
ビル	22, 33, 66
産業工場	22, 33, 66, 77, 110
産業工場	送配電設備
産業工場	自家発電設備
水道事業	22, 33
鉄道事業	22, 33, 66, 77
病院	22, 33
学校	22, 33
電力会社	送配電設備
電力会社	発電機回路設備
電力会社	調相設備

重大性を考えれば設備の信頼性と耐久性が要望され、さらに無人化による維持費の節減を要求される場合も多くなった。キュービクルはこれらの条件を満足すべく製作されたもので、その普及は最近めざましいものがある。

わが国における特高キュービクルの製作実績は表1.2のように用途、電圧に多岐にわたっているが基本的要素については共通点が多く、ここでは一般性のある実例をあげ構造、構成について概説することにする。

2. キュービクルの概要

閉鎖配電盤とは主回路、および制御用二次回路を含み、少なくとも上面および四周を接地金属にておおったものと定義され、回路の単位区画ごとに閉鎖されているものを単位閉鎖配電盤という。単位閉鎖配電盤の構造としては、JEM-1114「単位閉鎖配電盤の形」(表

表 2.1 JEM-1114による単位閉鎖配電盤の形
Types of single unit enclosed switchboards according to JEM-1114.

単位閉鎖配電盤の形	具備すべき条件	おもな効能				
			A	B	C	D
○○○○○○○1	単位回路区分ごとに装置が一括して接地金属箱内に収納されていること。	保守員の安全、機器の保全および事故拡大防止				
○○○○○○○2	主回路側と監視制御盤側とを接地金属隔壁により隔離すること。	操作の安全				
○○○○○○○3	しゃ断器の閉路状態では断器が操作できないようなインタロックを設けること。	しゃ断器保守の便宜性				
○○○○○○○4	しゃ断器は搬出できる構造であること。	保守員の安全、機器の保全および事故の局限化				
○○○○○○○5	しゃ断器はその主回路および制御回路に自動連結式断路部を有する抽出形であること。	絶縁強化				
○○○○○○○6	主回路のおもな機器は相互に接地金属隔壁または絶縁壁により隔離すること。					
○○○○○○○7	主回路の導電部(母線・接続線・接続部等)は十分絶縁すること。					

2. 1) として条件1より7までの条件累積式にA形からG形の閉鎖配電盤が示されて用途に応じて選べるようにされている。

これはアメリカ規格のUSAS (旧 NEMA SG-5) 「メタルクラッドスイッチギヤ」に相通じるところが多く、これに比較するとJEM規格のG形単位閉鎖配電盤がメタルクラッドスイッチギヤ(メタクラ)で、A形からF形までがキュービクルスイッチギヤ(キュービクル)であることになる。

JEM-1114の具備すべき条件を大別すると閉鎖保護構造の程度区分と、収納しゃ断器の保守・点検の難易度とに分類されるが、しゃ断器に関しては受電用の場合はその動作ひん度、保守ひん度は少なくむしろ通常の保守点検の安全性を考慮するならば、条件6の「主回路のおもな機器は相互に接地金属壁、または絶縁壁により隔離すること」を要件と考え、当社の10~100kV級の特高キュービクルに一貫した思想で設計され、条件6を満たすよう製作されている。そこで、C形またはD形プラス条件6という意味で「準F形」と呼称している。なおこの規格は、閉鎖程度としゃ断器の扱いが混在しているため、整理するべく見直しが行なわれている。

当社の特高キュービクルの特長は下記のとおりで、とくに保守点検面の容易性、安全性と縮小化に考慮を払っている。

(1) 特高主回路と低圧制御回路間、および主要内蔵機器相互間は接地金属壁を設け事故波及の防止、保守点検の安全性と容易さを計っている。

(2) キュービクル収納用の内蔵機器を用い、コンパクトな設計とし、据付面積・容積が小さくすむ。

(3) バランスのとれた構成、品質と高い信頼性により保守ひん度を少なくできる。

(4) 屋外式の場合、密閉式として塩害、大気汚損に対処している。

(5) 工場で総組立・試験を行なって分割運送を行なうため現地における据付工期を短縮でき、信頼性が高い。

(6) 外観は体裁よく、周囲にマッチするよう考慮が払われている。

3. キュービクルの内蔵機器

キュービクルには、しゃ断器、断路器、励磁電流断路器、避雷器、計器用変成器、取引用変成器、受配電ケーブル、および付属品(終端箱・分岐箱など)、母線電圧検知器、母線、接地母線などと、圧縮空気発生装置、空気配管、低圧制御回路配線器具、低圧配線などが内蔵されている。キュービクルの内蔵機器は、キュービクル収納用として設計されたもので、とくに保守点検の簡便化、キュービクルの小形化に考慮が払われている。

3.1 しゃ断器

特高キュービクルに収納するしゃ断器は、10~30kV級は横吹付式空気しゃ断器、60~70kV級はノズル形空気しゃ断器、またはガスしゃ断器が使用される。

10~30kV級横吹付式のC形空気しゃ断器は、とくにキュービクル用に設計され多方面にわたり多数の実績を有し、直列断路部を持たずしゃ断部で断路部をも兼ねる一点切りで、JEC-145の規定による定格再起電圧II号を保証できるものである。そのため構造が簡単で信頼度が高く、保守点検も簡単に消弧室をはずすことなく接触部を外から点検でき、操作機構はすべて前面保守ができるように配置されている。またこの方式のしゃ断器は大電流、大容量しゃ断のもの設計が容易で定格電流600~6,000A、しゃ断容量750~2,500

表 3.1 しゃ断器の定格事項
Ratings of circuit breakers.

(a) 10~30kV 級横吹付式C形空気しゃ断器

形 式	定 格 電 圧 kV	定 格 電 流 A	定 格 しゃ断容量 MVA	絶 縁 階 級 号	CO 1 回に 使用する空気消費 量 l
10-C-75	12	600・1,200・2,000・3,000	750	10 A	455
10-C-100	12	600・1,200・2,000・3,000	1,000	10 A	455
10-C-150	12	1,200・2,000・4,000	1,500	10 A	455
10-C-250	12	5,000・6,000	2,000	10 A	1,000
20-C-100 L	24	600・1,200・2,000・3,000	1,000	20 B	455
20-C-150 L	24	600・1,200・2,000・3,000	1,500	20 B	455
20-C-250 L	24	5,000・6,000	2,500	20 B	1,000
30-C-100 L	36	600・1,200・1,500	1,000	30 B	800
30-C-150 L	36	600・1,200・1,500	1,500	30 B	800
30-C-250 L	36	1,200・1,500・2,000	2,500	30 B	800

定格操作圧力 : 15 kg/cm²
 しゃ断器空気タンク容量 : CO 1 回
 動作責務 : 甲号または乙号
 定格しゃ断時間 : 5c/s
 定格再起電圧 : II号

(b) 60~70kV 級軸方向吹付式Y形空気しゃ断器

形 式	定 格 電 圧 kV	定 格 電 流 A	定 格 しゃ断容量 MVA	絶 縁 階 級 号	CO 1 回に 使用する空気消費 量 l
70-Y-250	72	600・1,200	2,500	60	1,950
	84			70	
70-Y-350	72	600・1,200	3,500	60	1,950
	84			70	

定格操作圧力 : 15 kg/cm²
 しゃ断器空気タンク容量 : CO 1 回
 動作責務 : 甲号
 定格しゃ断時間 : 3c/s
 定格再起電圧 : I号

(c) 60~70kV 級 SFL 形ガスしゃ断器

形 式	70-SFL-350 形 パッファ形 SF ₆ ガスしゃ断器
定 格 電 圧	72/84 kV
定 格 電 流	600/1,200 A
定 格 しゃ 断 容 量	3,500 MVA
絶 縁 階 級	60 号/70 号
備 考	圧縮空気操作 (15 kg/cm ²)

MVA のものを製作している。

60~70kV 級 軸方向吹付式しゃ断器は、好評のY形しゃ断器をキュービクル収納用として設計したものであり、性能は安全でコンパクトにアレンジできる。

また60~70kV 級ガスしゃ断器は、消弧媒体に消弧性能のすぐれたSF₆ ガスを使用したパッファ式のしゃ断器で、動作時の操作音は油しゃ断器なみに低く、SF₆ 中で消弧を行なうので接触子の寿命が長く、ガス圧も3気圧と低いので保守点検を簡単にしている。各しゃ断器の定格については表 3.1 に一括して示す。

3.2 断路器

キュービクル収納用断路器は、10~30kV 級は一般の垂直一点切り無れい(振)回式の断路器で、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取りつけ、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されたもので、断路器接触部は銀メッキ面接触とし、短時間電流に対し十分な強度を有するものである。

壁抜きブッシングには、エポキシ樹脂含浸の乾式コンデンサ形を採用している。これの特長としては、

(1) コンデンサ形のため、表面電位分布を均一にできるので胴径を細くできる。したがってブッシング形変流器が小さくなり、低一次電流のものを製作可能となる。

(2) 従来の磁器に比べ重量が約1/2と軽量になり、取扱いが容易でインパクトな荷重に対して強い。

この特性を生かし、60~100 kV級の断路器にはブッシングを回転させる方式を採用している。この方式は母線室と、各内蔵機器間に隔壁がはいり断路器を開路することによりそのコンパートメントを完全に充電部から隔離できるので安全な保守点検ができ、キュービクルを縮小できる。断路器の接触部は銀-銀接触とし、短時間電流によって接触圧のあがるリバースルー形としている。

この回転形断路器は、20・30 kV級の電力会社送電用二重母線キュービクルにも採用されて、以前より使用されているテレスコープ形とともに、キュービクル縮小化に大きな役割をはたしている。

3.3 励磁電流開閉断路器

変圧器が2バンク以上の場合、各変圧器一次にしゃ断器を設け変圧器事故時の選択しゃ断、および随時の負荷しゃ断を行なうのが理想であるが変圧器の信頼性は非常に高度となり、占有面積、保守点検の簡便化、および設備費節約などのため一次しゃ断器は省略されることがほとんどで、バンクの過負荷しゃ断は変圧器二次しゃ断器によって行ない一次には励磁電流開閉断路器を設け、これによって全バンクを停止することなく、主変圧器の切替を行なう方式が採用されている。

10~30 kV系統に使用される励磁電流開閉断路器は、垂直切り断路器にダイオン消弧装置と速切り機構を組合せることにより、励磁電流の開閉を確実にこなえるものがある。60~100 kV系統においては回転形断路器とSF₆ガス消弧装置を組合せたもので、各要素を操作機構により連結する方式をとり、キュービクル収納用として構成の自由度を大きくしている。

いずれの場合も開閉操作は強力なばね装置によって駆動され、手動または動力操作機構はこのばねを付勢させるだけのものである。断路器の開閉速度は一定となり、また開閉動作途中では止らない確実な機械的保持機構となっているため、万一操作電源や圧縮空気が喪失状態となってもその性能を失なわないものとなっている。

表3.2に励磁電流開閉断路器の仕様を示す。

3.4 変流器

特高キュービクルに使用される変流器は、定格電流と短時間電流の比が大きくなるものが多いため、ブッシング形変流器が標準として使用される。受電用の回路に使用されるものは、たとえばビル用の場合など変圧器の単器容量が最大5,000 kVA程度となるので、一次電流は20 kV系統で131 A、30 kV系統で88 Aと非常に小さい。ブッシング形は一次導体が1ターンとなるため二次巻線数に制限を受け、誤差精度の確保が困難である。しかし壁抜きブッシングをエポキシ樹脂含浸コンデンサ形とすることにより、変流器の内径を小さくすることができるので、誤差補償法を施すことによって一次小電流のものの製作、および精度、負担の向上を計れるようになった。

また、スペースによっては一次導体、2ターンのものも適当に用いることができる。代表的なブッシング形変流器の仕様を表3.3に示す。

3.5 計器用変圧器

キュービクルに収納される計器用変圧器は、10・20 kV級には乾式を、

表3.2 励磁電流開閉用断路器の定格
Rating of disconnecting switches for exciting current of TR.

形 式	LCB-EX 形		VLB-EX 形	
	24	36	72	84
定 格 電 圧 kV	24	36	72	84
定 格 電 流 A	600	600	400	400
絶 縁 階 級 号	20 B	30 B	60	70
励磁電流開閉可能な変圧器容量 kVA	5,000	5,000	30,000	30,000
備 考	遠方手動または圧縮空気操作 (15 kg/cm ²)			

表3.3 変流器
Current transformers.

形 式	変 流 比 A	定 格 容 量 VA	
		確 度 階 級	
		1.0 級	3.0 級
BB 形 または BS 形 (ブッシング形)	70/5	—	15
	100/5	—	25
	150/5	15	40
	200/5	25	40
	300/5	40	40
	400/5	40	40
	500/5	40	40
	600/5	40	40
	750/5	40	40
	1,000/5	40	40
	1,200/5	40	40
	1,500/5	40	40
2,000/5	40	40	
3,000/5	40	40	
4,000/5	40	40	
5,000/5	40	40	

過電流強度は収納しゃ断器と同等とする。

表3.4 計器用変圧器
Potential transformers.

形 式	EV-1 形	EV-2 形	TH-3 形	TH-6 形	TH-7 形
電 圧 比 V	11,000 / 110 √3 / √3	22,000 / 110 √3 / √3	33,000 / 110 √3 / √3	66,000 / 110 √3 / √3	77,000 / 110 √3 / √3
容 量 VA	200	200	200	200	200
確 度 階 級	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
絶 縁 階 級 号	10 B	20 B	30	60	70
備 考	乾 式	乾 式	油 入	油 入	池 入

30 kV をこえる系統には油入式(鉱油または不燃性油)を標準としている。乾式計器用変圧器は単相形で、乾式のため油入式に要する付属装置がないため、小形になると同時に設置に方向性がなく、どの向きにも設置できキュービクル収納用としてすぐれたものである。製品的には新しいものではあるが、品質は安定してきて十分信頼できるものとなっている。

油入式計器用変圧器は、三相形と単相形とがあり、キュービクルの全体の構成から使い分けられている。この形は、内鉄形構造であり密封式を標準としているので絶縁油の含浸、劣化がなく保守が容易である。(表3.4)

3.6 母線電圧検知器

特高回路に電圧が印加されているかどうかを検知するためのもので、特高回路より特定の距離に置かれたアンテナの静電誘導電圧を増幅し、リレーを動作させ表示灯により電圧の有無を指示するものである。この特長はアンテナ式であるので、この装置に対する母線側保護装置が不要であり、受電端の電圧検知が容易に行なえるものである。したがってビルなどの受電回路で、他のPT要素の不要な場合にこの検知器が有効である。またこの装置の増幅回路はトランジスタが使

表 3.5 母線電圧検知器
Bus voltage detector.

形 式	PA-2A 形	
電 圧 検 知 範 囲	本器調整時の母線電圧の +15% ~ -5%	
制 御 電 源	DC 90~140 V	
定 格	連 続	
アンテナと母線の距離	BIL 75 kV	144 mm
	BIL 125 kV	273 mm
	BIL 170 kV	400 mm
	BIL 350 kV	928 mm
	BIL 400 kV	1,068 mm

表 3.6 避雷器
Lightning arresters.

形 式	SV-W ₂ 形		SV-WL 形		
定 格 電 圧 (kV)	14	28	42	84	98
衝 撃 波 放 電 開 始 電 圧 (kV)(100%)	40	80	120	216	252
AC 放 電 開 始 電 圧 (kV)	23	46	69	138	161
制 限 電 圧 10 kA(kV)	43	90	129	281	328
備 考	頭部がいし形	頭部がいし形	頭部がいし形		

表 3.7 圧縮空気発生装置
Compressed air producing devices.

形 式	CA-KAA 形複交流式		
定 格 圧 力	30 kg/cm ²		
供 給 圧 力	15 kg/cm ²		
コ ン プ レ ッ サ	空冷式 2 段圧縮式		
操 作 電 圧	3φ AC 200 V, 400 V, 440 V		
主 空 気 タ ン ク 容 量 (l)	200, 300, 400, 700		
電 動 機 出 力 (kW)	2×0.75	2×2.2	2×5.5
定 格 吐 出 量 (l/min)(50 c/s)	2×41	2×93	2×320

用されており、連続仕様において寿命に半永久的である。概略仕様は表 3.5 のとおりである。

3.7 避雷器

避雷器は、外雷ばかりでなく内雷をも吸収し、系統の事故を減少させるとともに絶縁設計を合理化しようというものであり、高い信頼性が要求されるものである。

当社の避雷器は、並列抵抗を有する直列キヤップ内に強力な永久磁石を装置し、アークに絶えず一定の放射状磁界を作用させて、これを旋回させる方式の永久磁石消弧式オートバルブ避雷器で、外雷および危険な開閉サージに対し機器絶縁を最も有効、経済的に保護できる避雷器となっている。10~30 kV 系統用には、頭部がいし形とし、線路側のフラッシュがないためキュービクル用として空間占有率の良いものとなっている。表 3.6 に代表的な避雷器の特性を示す。

3.8 圧縮空気発生装置

キュービクル内においてシャ断器の操作および消弧用と、断路器操作などに圧縮空気を必要とする。シャ断器の高圧絶縁物に有機物が使用されていたり、配管内水分の凍結などの問題から圧縮空気としては清浄、乾燥した空気が要求される。そのために油入分離装置を完全にし、シャ断器、断路器などの操作気圧が 15 kg/cm² であるが、一次空気タンク 定格圧力を 30 kg/cm² とし十分な圧力差の減圧装置を使用し、乾燥空気を得ている。

キュービクル 収納用圧縮空気装置は、複交流式としてコンプレッサ（空気圧縮機）2 台と主空気タンク 1 個、および各付属品からなり、空気圧縮機は、圧縮機の機能上常時 2 台並列運転とし、保守点検時はいずれか 1 台の単独運転の行なえるよう考慮されている。空気配管、および排水管は、キュービクル内部において合理的に配管され、漏気率は全空気系統について約 5%/24 時間程度となっている。

空気圧縮機および主空気タンクの容量は、収納シャ断器の台数、動作回数などによって定まり、各シャ断器の CO 動作時の所要空気量は表 3.1 に示されているとおりである。また断路器は空気操作とした場合でも、CO 1 回に消費する空気量は約 40 l（大気圧換算）程度である。なお空気シャ断器はそれ自身のタンクで CO 動作 1 回が可能である。表 3.7 に圧縮空気発生装置の仕様を示す。

3.9 取引用変成器

電力取引用変圧器はほとんど電力会社の標準品の支給を受けることになり、外形・構造の種類が多いが標準は鉱油入りである。しかし需要家側の要望次第では不燃性油入となる場合もある。

3.10 特高ケーブルおよび付属品

特高ケーブルには、10~30 kV 級は SL ケーブル、BN ケーブル、低ガス圧ケーブルなど、60~100 kV 級は OF ケーブル、高ガス圧ケーブルが使用される。受電用ケーブルの場合電力ケーブル、および付属品（終端箱、および 3 心の場合は分岐箱）は電力会社から支給されるもので、その引込、端末処理、および取付作業も電力会社が施行する。またループ受電方式でパイロットワイヤリレー方式を採用する場合は、受電ケーブルに交流器、零相交流器をそう入するが、これも電力会社の供給施行となっている。このケーブルの端末処理寸法は各電力会社により異なっており、統一の望まれるところである。

3.11 母線、接続導体および接地母線

母線、および接続導体は合理的に配置し、スペースを小さくすると同時に異常電圧・負荷電流・故障電流に対して、熱的・機械的に安定な構造とし、絶縁は空気・磁器・エポキシ樹脂により信頼度の高いものとしている。また変圧器、シャ断器など、運転あるいは操作によって震動を生ずる機器との接続にはたわみ導体を使用し、機械的衝撃を吸収する構造としている。

接地母線はキュービクルのわく組を一括して設けられており、わく組に銅製の接地母線取付座がろう付けされ、これに接地母線をボルト締めしているため、接地母線とわく組は良好な接触を保っている。また接地線の接地母線への接続は、クランプ端子により行なう構造としている。

3.12 低圧配線

低圧配線には 600 V ビニル電線 2.0 mm² を一般に使用し、とびらへのわたり線にはたわみ性心線を使用している。配線方式はダクト配線、管配線、クリート配線を併用し、ビニル電線に高圧ビニルチューブをかぶせて絶縁の補強を施し、配線接続部はすべて圧着端子を使用し、ハンダによる接続は行なっていない。なお配線の色別は特殊仕様を除き JEM-1122 に準拠している。

4. 特高キュービクルの構成

4.1 10・20 kV 配電用キュービクル

11 kV 配電は大規模な産業工場において採用されることが多く、自家発電設備を備える関係で、回路のシャ断容量も 750~1,500 MV A と大容量を必要とする場合が多くなった。一般に 10 kV 級のシャ断器は、500 MVA 以下は油シャ断器・磁気シャ断器が有利で小

形にもなるが、500 MVA を越えるものは空気しゃ断器の製作が容易であり、ここでは空気しゃ断器収納のキュービクルについて記す。

配電用の回路に使用されるしゃ断器は、台数も多く、動作ひん度も多くなるため、主回路および制御回路に自動連結式断路部をもった引出形が採用されることが多い。当社では、12 kV、1,000 MVA 600~3,000 A の空気しゃ断器を引出形として製作している。

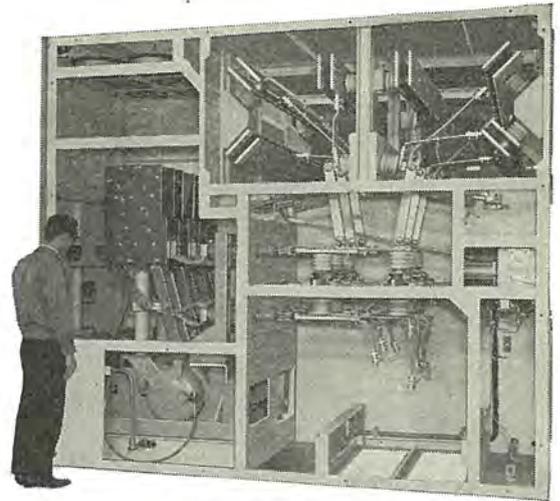
また、負荷の重要性から、受電・自家発を無停電にて切換えたり、無停電保守の面から二重母線方式をとる場合がある。図 4. 1 は製鉄工場納入の単一母線 F 形 10 kV 配電用キュービクルで、図 4. 2 はインドの化学工場納入の 4,000 A 二重母線方式のものである。図 4. 3、4. 4 に一般的なキュービクルの構成・寸法を示す。

なお、20・30 kV 級の配電もあり、自家発電設備を有するところで、しゃ断容量は 1,500 MV A 程度となる。図 4. 5 は製鉄工場納入の 20 kV 配電用キュービクルの構成を示す。

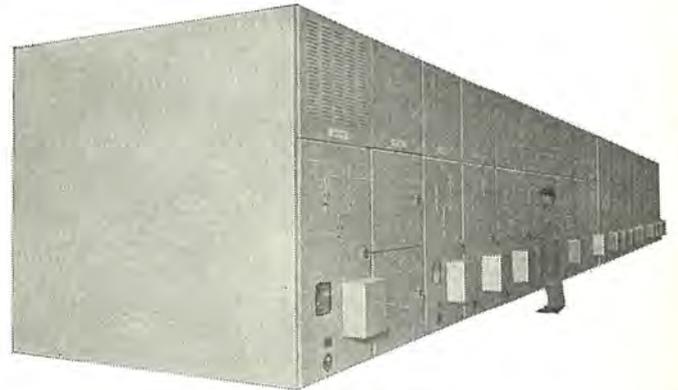
4. 2 20・30、60・70 kV ビル用 受変電キュービクル

ビル用受変電設備は屋内に設置されることがほとんどで、とくに縮小化と不燃化が要求される。受電容量が 2,000 kVA を越える場合、おおむね特高受電となり、設備機器が大形となるのでキュービクル方式の採用は常識となっている。また最近ビルは大形化し、60 kV の受電を行なうところが現われている。

なお不燃化の点から収納されるしゃ断器は、油なししゃ断器（空

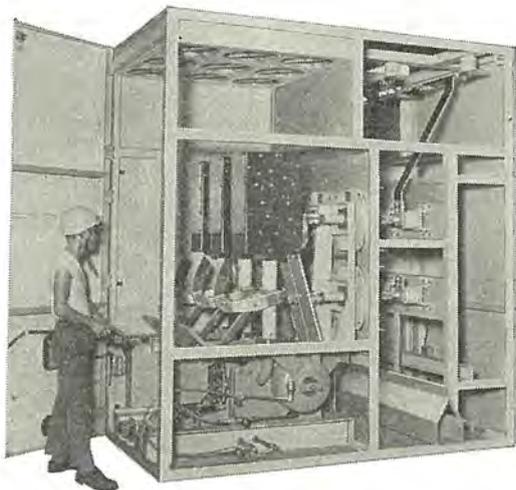


(a) 工場組立状態



(b) 配列状態

図 4. 2 化学工場納入二重母線 F 形 10 kV キュービクル
11.5 kV 4,000 A 二重母線 1,000 MVA.
Class "F" distribution cubicles rated 10 kV for chemical works 11.5 kV 4,000 A double bus system 1,000 MVA.

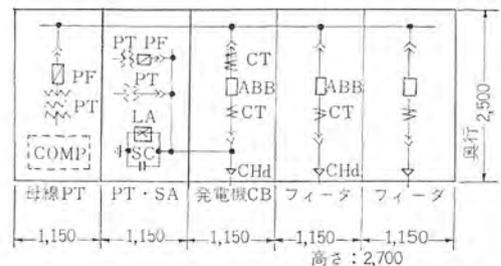


(a) 工場組立状態

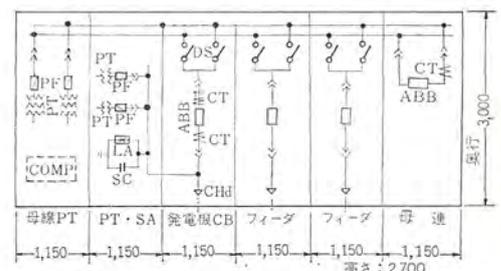


(b) 配列状態

図 4. 1 製鉄工場納入単一母線 F 形 10 kV キュービクル
11.5 kV 2,000 A 単一母線 1,000 MVA
Class "F" distribution cubicles rated 10 kV for iron foundry, 11.5 kV 2,000 A single bus system 1,000 MVA.

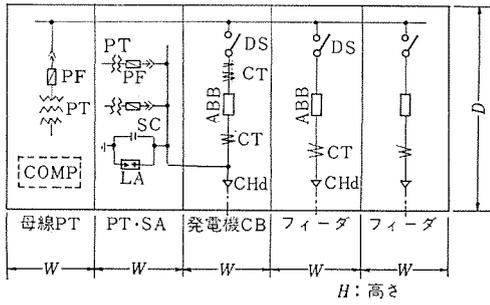


(a) 単一母線 11.5 kV 2,000 A 1,000 MVA



(b) 二重母線 11.5 kV 4,000 A 1,000 MVA

図 4. 3 F 形 10 kV キュービクル の構成
Plan of 10 kV class "F" cubicles.



しゃ断容量 MVA	定格電流 A	外形寸法 mm		
		W	H	D
1,500	4,000	1,500	3,000	3,000
2,500	5,000	2,000	3,000	3,000

図 4.4 D形 10 kV 1,500 または 2,500 MVA キュービクルの構成
Plan of 11.5 kV 1,500 or 2,500 MVA cubicles class "D".

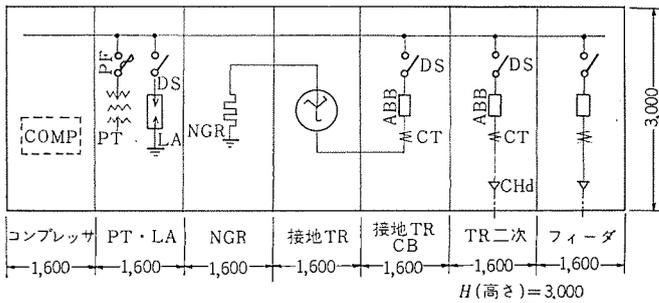


図 4.5 20 kV 工場自家発電回路用キュービクルの構成
23 kV 1,200 A 1,500 MVA
Plan of 20 kV distribution cubicles for factory use.

気しゃ断器・ガスしゃ断器など)が使用され、主変圧器も不燃性油入または鉱油入を使用の場合は、防火壁が設けられることもある。油入変圧器はいずれの場合も内鉄形窒素封入密封式で、高圧側ラッキングはタンク側面に取付け、キュービクルの背面は直結する構造となっており、充電部以外のタンク・放熱器などの部分は露出している。

20・30 kV 級の場合は、重量・占有面積の面から乾式変圧器とする場合があり、500 kVA をこえるものは強制風冷式となる。送風ダクトはキュービクルわく組に設けられており、排気ダクトを要するが、難燃性、非爆発性で有害ガスを発しないなどの特長を有する。

受電方式は、20・30 kV 級ではルーフ方式がほとんどで、60 kV 級もルーフ化が進められている。ルーフの受電方式・保護方式は供給電力会社によって異なり、受電キュービクルの構成・寸法も異なる。

しゃ断器は、受電用のため台数も少なく動作回数も少ないので、20・30 kV 級では搬出可能形空気しゃ断器とし、JEM 規格の D 形(準 F 形)がほとんどで、60・70 kV 級では、空気しゃ断器またはガスしゃ断器が使用され、大形となるため固定形とし、キュービクル内で精密点検が行なえる C 形(準 F 形)となっている。図 4.6、4.7 に現地据付状態を、図 4.8~4.10 に 20~60 kV 級キュービクルの構成、外形寸法を示す。

4.3 電力会社 20・30 kV 送電用キュービクル

東京電力では、以前より 20 kV 送電用キュービクルが規格化され、キュービクルの縮小化が計られてビルなどの一般建築物に容易に変電所の建設が可能となった。最近、電力会社において 20・30 kV 特高キュービクルを採用するところが多くなった。その仕様は各電力会社によって異なり、またメカの標準などと多岐にわたっていたものを、

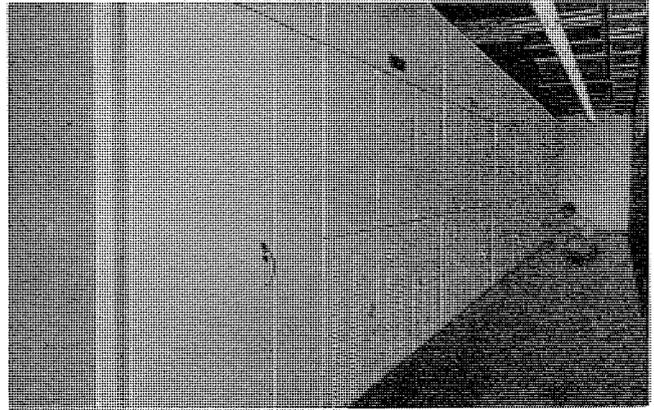


図 4.6 20 kV 屋内形ビル用受変電キュービクル(乾式変圧器使用)
Installation of 20 kV cubicles for building use
(Using dry type TR).

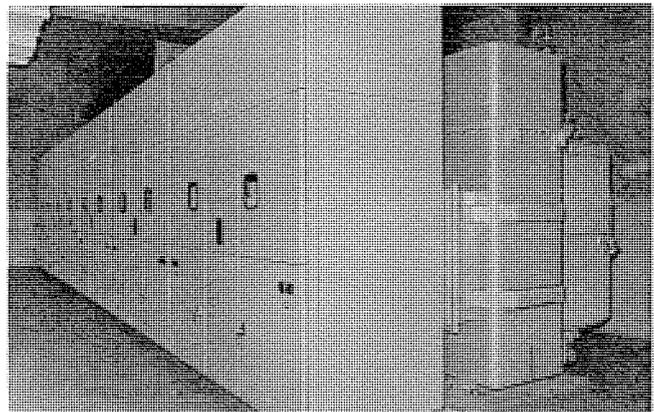
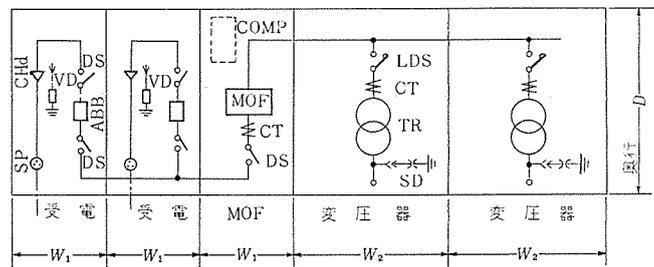


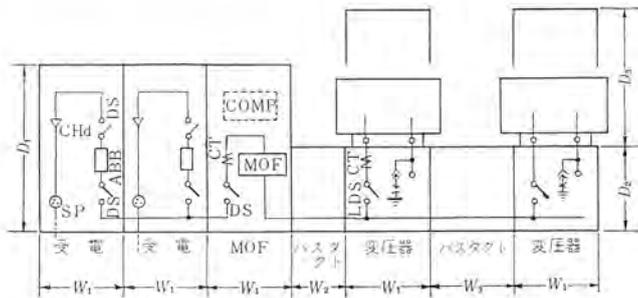
図 4.7 20 kV 屋内形ビル用受変電キュービクル(油入変圧器使用)
Installation of 20 kV cubicles for building use
(Using oil immersed type TR).



電圧 kV	外形寸法 mm		
	W ₁	H	D
22	1,400	2,500	2,700
33	1,750	3,200	3,400

TR 変圧比	寸法 W ₂ (mm)			
	22/3.3 または 6.6 kV			33/3.3 または 6.6 kV
	50 c/s	60 c/s	60 c/s	
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	
3,500	2,600	2,500	3,000	
4,000	2,700	2,600	3,100	
5,000	2,800	2,700	3,100	

図 4.8 20・30 kV ビル用屋内形受変電キュービクルの構成
(乾式変圧器使用)
Plan of 20・30 kV cubicles indoor type for building use
(Using dry type TR).



電圧 kV	外形寸法 mm			
	W	D ₁	D ₂	H
22	1,400	2,500	1,050	2,700
33	1,750	3,200	1,250	3,400

TR 変圧比	寸法 mm								
	22/3.3 または 6.6 kV 50 c/s			22/3.3 または 6.6 kV 60 c/s			33/3.3 または 6.6 kV 60 c/s		
TR kVA	W ₂	W ₃	D ₃	W ₂	W ₃	D ₃	W ₂	W ₃	D ₃
1,000	700	800	2,160	700	800	2,160	500	500	2,160
1,500	700	900	2,160	700	900	2,060	600	600	2,200
2,000	800	1,100	2,400	800	1,000	2,300	600	700	2,300
2,500	800	1,200	2,480	800	1,400	2,300	700	800	2,380
3,000	800	1,500	2,480	800	1,200	2,480	700	1,200	2,420
3,500	900	1,660	2,520	800	1,500	2,480	700	1,200	2,520
4,000	900	1,600	2,560	900	1,600	2,520	700	1,300	2,560

図 4.9 20・30 kV ビル用屋内形受変電キュービクルの構成 (油入変圧器使用)
Plan of 20・30 kV cubicles for building use (Using oil immersed TR).

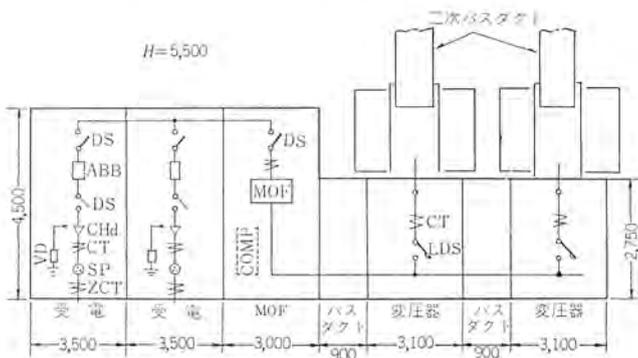


図 4.10 60 kV ビル用屋内形キュービクルの構成
Plan of 60 kV cubicles indoor type for building use.

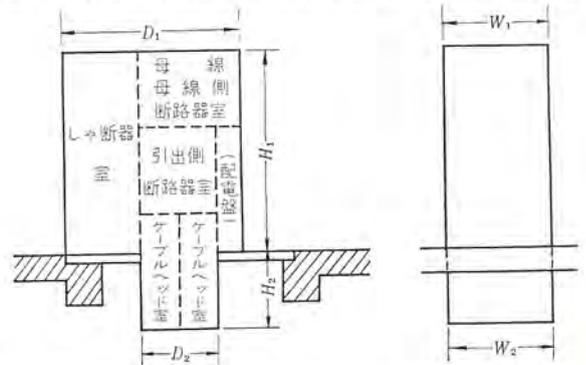
はん用性の高いものについてその実用性能の向上と設計施行の標準化、および合理化による価格低減を計ることを目的として、電気協同研究会の特高キュービクル規格委員会において進められていたが、このほど、「電力会社特高キュービクル規格要項および試験規格」がまとめられた。

キュービクルの形はD形に条件6が加えられたもので、計器・継電器などをキュービクルとびらに取り付け、別置配電盤を省略したこと、2回線送電ケーブル引出部保守点検が容易に行なえる特長もっている。図 4.11 は単位キュービクルの主回路構成と定格の概略を示すもので、単一母線・二重母線とも4種類に分類されている。図 4.12 はエポキシ樹脂性ラッシングを使用した場合の送電用キュービクルの構成・寸法を図 4.13 に工場組立状態を示す。

用途	単一母線用	二重母線用	おもな機器ならびに定格	
			22kV用	33kV用
変圧器 一次用			ABB: 24kV 2,000A 1,000MVA DS: 24kV 2,000A 3PIT 手動 BCT: 2,000 23kV 1,000/5A 40VA L01E	ABB: 36kV 1,200A 1,500MVA DS: 36kV 1,200A 3PIT 手動 BCT: 1,200 34.5kV 600/5A 40VA L01E
母線 連絡用			ABB: 24kV 2,000A 1,000MVA DS: 24kV 2,000A 3PIT 手動 BCT: 2,000 23kV 1,000/5A 40VA L01E	ABB: 36kV 1,200A 1,500MVA DS: 36kV 1,200A 3PIT 手動 BCT: 1,200 34.5kV 600/5A 40VA L01E
送電 線用			ABB: 24kV 600A 1,000MVA DS: 24kV 600A 3PIT 手動 BCT: 600 23kV 300/5A または 400/200/5A 40VA	ABB: 36kV 600A 1,500MVA DS: 36kV 600A 3PIT 手動 BCT: 600 34.5kV 300/5A または 400/200/5A 40VA
補助 用			PT: 22,000/110/110V 3x 200/200VA LA: 28kV 10kA PF: 23kV 1,000MVA (母線分)	PT: 33,000/110/110V 3x 200/200VA LA: 42kV 10kA PF: 34.5kV 1,000MVA (母線分)

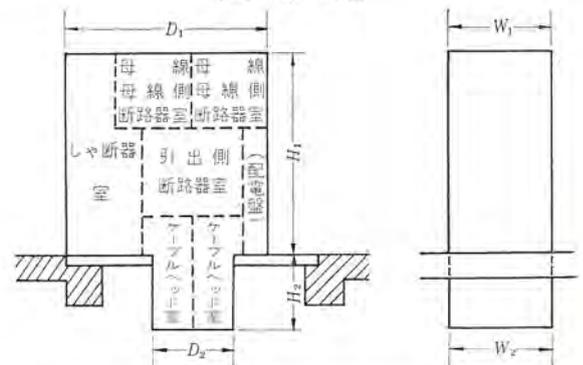
・図中点線は機器室間の金属隔壁の入れ方を示す。
・主母線の定格は、22 kV 用は 23 kV 2,000(1,200) A 絶縁階級 20 B 号、33 kV 用は、34.5 kV 1,200 A 絶縁階級 30 B 号。

図 4.11 20・30 kV 電力会社送配電用キュービクルの構成要素
Units of 20・30 kV transmission cubicles for power company use.



電圧 kV	寸法 mm	W ₁	H ₁	D ₁	W ₂	H ₂	D ₂
22		1,400	2,800	2,500	1,400	1,000	1,200
33		1,800	3,600	3,600	1,800	1,200	1,600

(a) 単一母線



電圧 kV	寸法 mm	W ₁	H ₁	D ₁	W ₂	H ₂	D ₂
22		1,400	2,800	2,800	1,400	1,000	1,200
33		1,800	4,000	3,600	1,800	1,200	1,600

(b) 二重母線

図 4.12 20・30 kV 電力会社送配電用キュービクルの構成
Construction of 20・30 kV transmission cubicles for power company use.

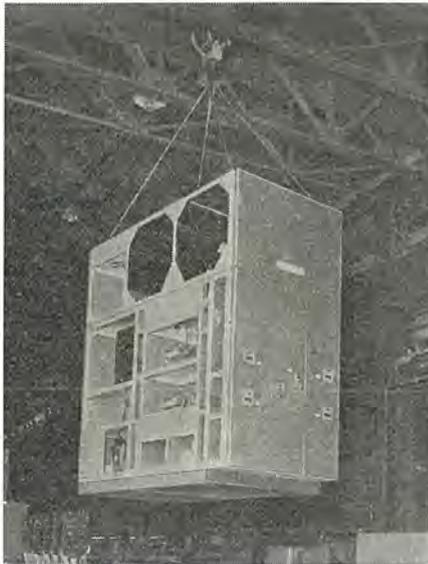


図 4.13 20 kV 電力会社送電用キュービクル工場組立状態
23 kV 2,000 A 二重母線 1,000 MVA

Setup of 20 kV transmission cubicle for power company use at factory.

23 kV 2,000 A double bus system 1,000 MVA.

4.4 20~100 kV 受変電用屋外キュービクル

屋外用キュービクルは、塩害・じん害・鳥獣害などおよび気象条件による害より電気設備を保護し経年劣化を防ぐとともに、据付スペースの縮小化、据付工期の短縮、増設工事の容易さが要求される。

当社の特高屋外キュービクルは、密閉式とし汚損外気に対処しており、海岸より 300 m 程度の海浜工業地帯にある製鉄工場に設置された 70 kV 屋外キュービクルにおいて、パイロットがいしを立てて重汚損地帯における密閉式キュービクルのしゃへい効果を検証したところ 図 4.14 の結果を得た。キュービクル内部に設置されたパイロットがいしの蓄積汚損度は著るしく低く、2~3 年は絶縁物に対する保守を行わなくてもよい程度、しゃへい効果は顕著であった。このことは、塩害、大気汚損が問題化している昨今、とくに好ましい形式といえる。

受電線は地中線の場合と架空線の場合とがあり、架空線の場合、キュービクル天井に架空線引止め部を設けることにより、送電鉄塔より直接引込みが容易となるので、キュービクル外露出部の主回路絶縁材料の使用数を限定することができ、活線洗じょう装置などの二次設備を限定することが可能である。

主変圧器の高圧側ラッキングは、変圧器タンクの側面より出されキュービクル背面よりそう入し、閉鎖保護を行なうとともに据付スペースの減少を計っている。

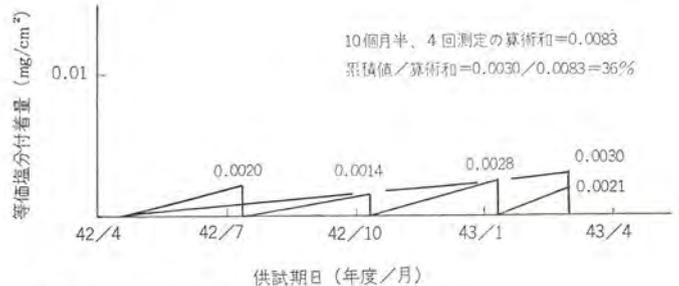
しゃ断器は 20・30 kV 級は搬出可能な空気しゃ断器を、60・70 kV 級は固定形の空気しゃ断器およびガスしゃ断器を標準としており、JEM 規格の D 形または C 形プラス条件 6 の準 F 形となっている。とくに 60~100 kV キュービクルには、壁抜きラッキングを兼ねる回転形の断路器を使用し小形化を計るとともに、断路器を開路することにより、そのコンパートメントを完全に主回路から分離できるため、安全に機器の保守点検が可能である。これは 20・30 kV 級キュービクルの考え方を、そのまま 60~100 kV 級キュービクルにも拡大したもので、当社のキュービクル方式の特色となっている。

図 4.15 に化学工場納入の 70 kV キュービクルの据付状態を、図 4.17 に製鉄工場向け油しゃ断器収納の 100 kV キュービクルの主回

路構成を示す。図 4.16 に一般的な 60・70 kV 屋外受変電キュービクルの構成と外形寸法を示す。

4.5 電鉄変電所用 20~70 kV キュービクル

最近、輸送力の増強、近代化のため国鉄・私鉄ともに電鉄用変電所の増設・新設がさかに行なわれている。一方変電所用地の点で



・測定場所：海岸から約 300 m の製鉄工場

・キュービクル外部環境：

10 ヶ月半、4 回測定の算術和=0.744

10 ヶ月半の累積値=0.934

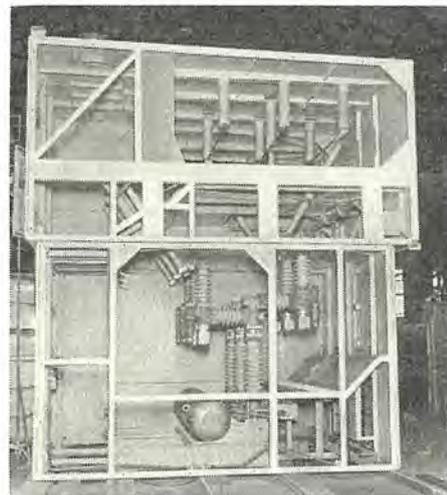
累積値/算術和=0.934/0.744=125%

供試がいしは、降雨による洗じょう効果がないように設置

・測定法は、がいし付着の汚損物を蒸留水に溶かし、その固有抵抗より等価塩分付着量に換算。

・測定後のがいしを洗じょうし、再度測定を行なったところ、等価塩分付着量 0.0009 mg/cm² を得た。

図 4.14 キュービクル内がいしの等価塩分付着量測定結果
Measurement results of equivalent salt value attached to insulators in cubicle.

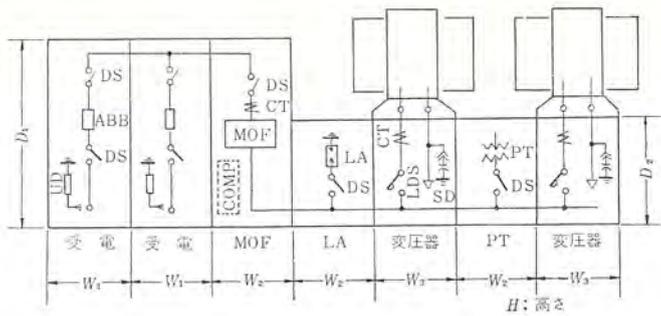


(a) 準 F 形 70 kV キュービクル工場組立状態



(b) 現地据付状態

図 4.15 化学工場納入の 70 kV 受変電用屋外キュービクル
80 kV 600 A 3,500 MVA 空気しゃ断器収納
Installation of 70 kV cubicles outdoor type for chemical factory use
80.5 kV 600 A 3,500 MVA ABB installed.



電圧 kV	外形寸法 mm						備考
	W ₁	W ₂	W ₃	D ₁	D ₂	H	
66	3,100	3,100	3,000	4,300	2,300	5,500	空気しゃ断器収納のとき
	3,600						ガスしゃ断器収納のとき
77	3,500	3,500	3,500	4,500	2,500	5,500	空気しゃ断器収納のとき
	4,000						ガスしゃ断器収納のとき

図 4.16 60・70 kV 受変電用屋外キュービクルの構成
Plan of 60・70 kV cubicles outdoor use.



図 4.18 移動変電所用キュービクル

23 kV 600 A 1,000 MVA
Setup of 20 kV cubicles on wheels 23 kV 600 A 1,000 MVA.

電所が使用されはじめ、新しい分野として期待される。図 4.18 にその外観を示す。

4.6 発電機主回路用キュービクル

電力需要の急進に呼応して各電力会社は、大規模な火力発電所・

水力発電所が建造されている。発電事情も最近では火力が主で、水力はピーク時の供給用として使用されており、またその建設場所・機能上から無人化の傾向があり、キュービクル方式を採用するところが見られるようになった。とくに揚水発電所においては、単機容量が増大し、10~20 kV 級で 5,000 A におよぶものもあり、しゃ断容量も 2,500 MVA に達している。

当社のこの級の電圧に使用している一連の横吹付式空気しゃ断器は、大電流・大しゃ断容量のものので製作が容易で、構造がきわめてシンプルとなり、

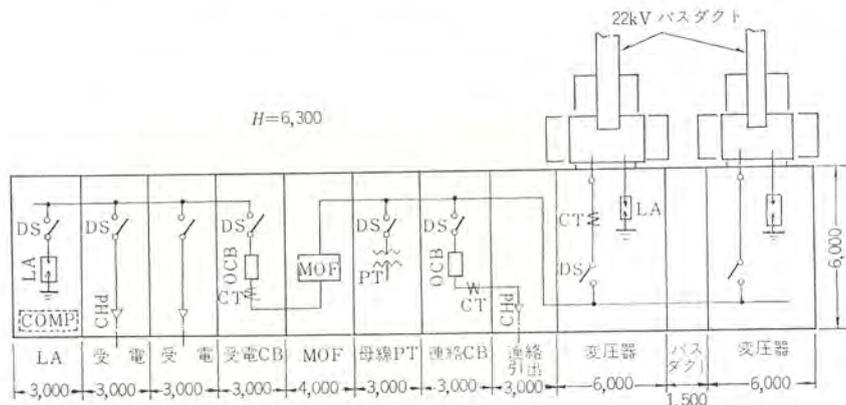


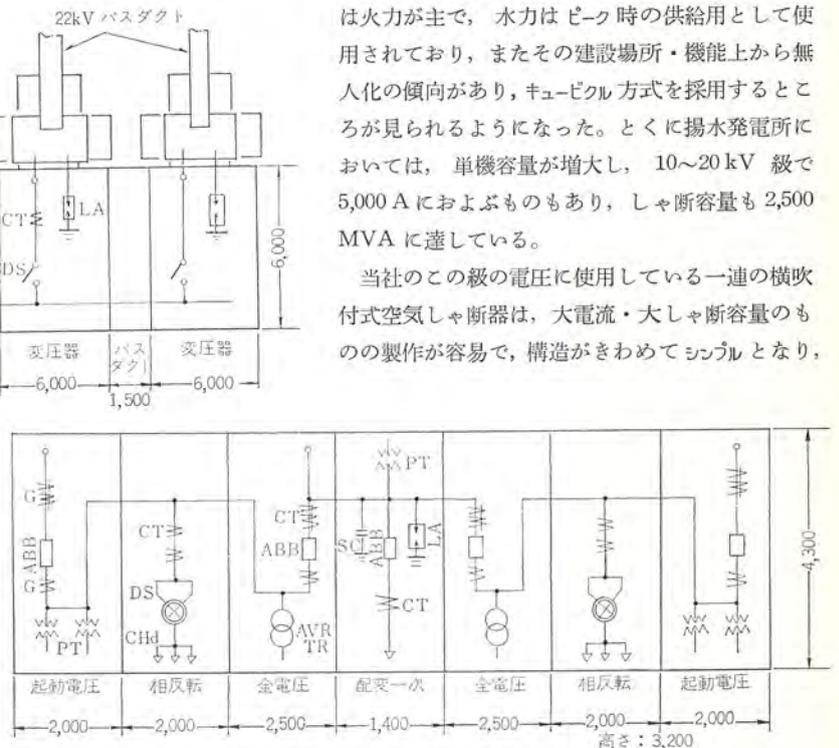
図 4.17 製鉄工場納入 100 kV 屋外キュービクル
Form of 100 kV cubicles outdoor type for iron foundry.

問題となる場合が多く、キュービクル方式を採用するところが多くなってきた。すなわち、変電所が住宅地隣接の場合が多く、バンクを朝晩開閉操作を行なうので騒音の問題が生ずる。また用地の問題より小形化が要求される。キュービクルに収納されたしゃ断器は排気口側で 10 ホーン、反対側で約 20 ホーンのしゃ音効果があり、また、周波数成分の高い領域が大幅に減衰するため、不快音がなくなり、キュービクルの配置を考慮することによってかなりの効果が得られる。

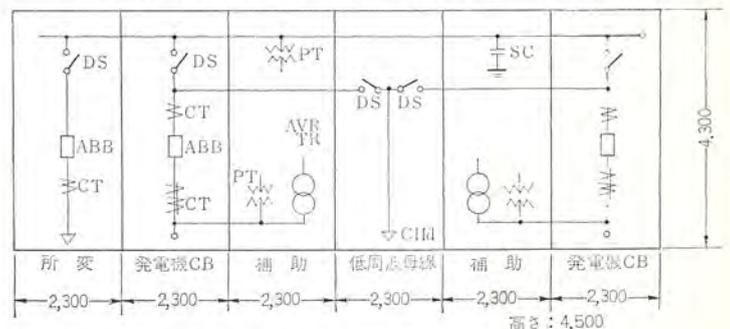
受電しゃ断器を有する場合、バンクの一次に励磁電流開閉用断路器を使用し、過負荷保護を二次側しゃ断器で行なう方法もキュービクル方式の場合可能となり、騒音の点から有利な方式である。

また、60・70 kV 級の受変電回路においては、当社独自の SF₆ ガスを消弧媒体に使用したガスしゃ断器の使用により、油しゃ断器なみの操作音で、しかも不燃性、不爆発性の変電所を設置しうる。

最近、このキュービクル方式の特長を生かした移動変



(a) 半電圧起動の場合 13.2 kV 5,000 A 2,000 MVA



(b) 低周波起動の場合 15.4 kV 5,000 A 2,500 MVA

図 4.19 揚水発電所用キュービクルの構成
Plan of 10 kV 5,000 A cubicles for pumping up power station.

本来キュービクル用として設計されたもので、すでに20年近い実績を有し、この種の使用に最適といえる。現在10~20 kV 5,000 A (自冷) 6,000 A (風冷) 2,500 MVA のものまで製作している。図4.19に揚水発電所向けの大容量キュービクルの構成を示す。

その他、この大電流大しゃ断量のキュービクルの用途として、一次変電所の三次回路設備(調相設備)として使用されている。

また、大容量発電所においては、発電機主回路に離相母線が採用されるが、この母線から分岐してPT・リッジ吸収器を収納した一相単位に分離された離相形のキュービクルが広く採用されており、発電機下のデットスペースに据付けられることが多い。

5. む す び

特高キュービクルは、電力設備の主要機器・主回路および低圧制御回路を一括し閉鎖保護した総合装置であり、設備全体として、バランスのとれた実用性能を満足するものでなければならず、これらは各内蔵機器担当者の絶大な協力なくしてはなし得ないものであり、ここに関係各位に感謝の意を表するものである。

以上、最近の特高キュービクルの傾向・構成を一般的な例をあげ概説したわけであるが、紙面の都合で外形寸法などは一例に止まり、不十分ではあるが、この種の電気設備計画になんらかの参考に供されれば幸いである。

高圧真空スイッチ管応用開閉装置

梁川美孝*

High Voltage Vacuum-Interrupter Switchgear and Its Applications

Kobe Works Yoshitaka YANAGAWA

Development of vacuum switch tubes into regular production has brought about the completion of circuit breakers and electromagnetic contactors as their applications. Their features of small sizes and lightweight and confinement of arc within the tube enable them to be equipped in relatively small spaces compared with conventional switchgear. As many as four feeding circuit can be mounted in a unit so as to cut down the floor space a great deal. There are further advantages of long life, elimination of troubles in the maintenance and inspection of contacts, and endurance against several tens of short circuit interruptions. It is anticipated that most of switchgear is replaced by the new devices referred to.

1. ま え が き

最近の地価上昇に伴い、変電所建設用地の確保はむずかしくなり、また深刻なる人手不足の折から、必要にして十分なる保守員が期待できず、電気機器に対しても小形化・無保守化・無人化の要求はますます強まってきている。

こうした状況の中で、当社は在来の電気機器の小形化に努力し、他社に先がけて油入しゃ断器を使用した2段積キュービクル開閉装置や、気中電磁接触器を用いた2段積コンプレッションスタータを開発し、需要家各位の好評を得ている。

しかしながら従来の大気・油等をしゃ断媒体としたしゃ断器類は本質的に小形化には限度がある。また大気を媒体とするもの(磁気しゃ断器、気中電磁接触器、低圧の気中しゃ断器等がこれに相当する)は、油を使用せず不燃性である点、また保守点検が比較的容易である点では、すぐれているが、腐食性ガスや塩害などの影響をうける所で、使用される場合には、とくに小電流定格のものでは主接点の保守に大きな労力が払われている。

油をしゃ断媒体とする油入しゃ断器も安価であること、丈夫であること、周囲の悪い環境に左右されないこと等で、最も親しまれているがやはり油という可燃物を持っていること、保守点検がわずらわしいこと等の欠点も有している。

こうした状況の中で、近年真空スイッチ応用製品が実用段階に入り、小形軽量なこと、アークが外部に出ないことによって、在来の開閉装置に比べて比較的小さいスペースに収納できるため、閉鎖配電盤1面に2~4段積が可能となり、床面積は大幅に縮小された。

また主接点は真空密閉容器内で開閉されるため、周囲の悪いふんい気の影響を直接受けることはなく、信頼性は向上し、従来の気中開閉器類の場合に、非常な労力をかけていた主接点の保守はまったく省略しうる。

なお一般に真空スイッチ管応用製品は、操作が簡単のため寿命も比較的長く、また短絡電流をしゃ断した場合でも、そのまま数十回以上使用可能であり、一般の開閉装置に比べて主接点以外の保守回数も大幅に減少される。

以上のことからして真空スイッチ管応用製品は、現代の要求に適合した比較的低価格な開閉装置であり、今後数年のうちに現在の開閉装置のかなりの部分が置き換えられると予測されている。

2. 真空スイッチ管応用開閉装置シリーズ

開閉装置としては表2.1に示すように4種類に分類できるが、主として電気室等に、集合して設置せられる列立形開閉装置としてのWV形メタルクラッド・FV形キュービクル開閉装置と、主として現場などで、機側に単独に設置せられるLVM形・FC-V形真空配電箱の2系列に大別せられる。

2.1 特長

しゃ断器・接触器等真空スイッチ管応用製品自体として

- (1) 小形軽量であり取扱い・据付が簡単である。
- (2) しゃ断部は完全密閉構造であり、保守点検が不要でまた火災等の危険がない。

表2.1 三菱真空スイッチ管応用開閉装置
Mitsubishi vacuum switchgear line.

開閉装置形名	収納真空スイッチ応用品	定 格	ユニット構成	操作方法
WV形 メタルクラッド (JEM 114-G級)	VKG形 真空しゃ断器 (1面にCTとも最大4基電 収納可能)	7.2/3.6kV 250/150MVA 1,200, 600A 150/100MVA 600A	母線 VCB CT	電磁手動操作 ①DC投入 DC引きはずし ②AC200V シリコン投入 コンデンサ引き はずし
EV形 キュービクル (JEM 114-E級)	VP形 真空コンプレッ ションスイッチ (1面にCTとも最大4基電 回路収納可能)	7.2/3.6kV 50(500) / 25(250)MVA 200A 注) ()は限流 ヒューズ定格	母線 PF VC CT	電磁操作のみ ①AC200V/ 100V コンテ ンサ投入 コンデンサ引き はずし ②DC投入 DC引外し 注) 非常用手動 引きはずしあり
LVM形 真空配電箱 (JEM 1007)	VM形 真空電磁接触器 (1箱に1台お よび限流ヒュ ーズCT, PT 収納)	7.2/3.6kV 50/25MVA 200A	VC PF PT CT	電磁操作のみ AC200V コンデンサ投入 コンデンサ引き はずし 注) 非常用手動 引きはずしあり
FC-V形 真空配電箱	VM形 真空電磁接触器 (1箱に1台お よび限流ヒュ ーズCT, PT 収納)	7.2/3.6kV 50(500) / 25(250)MVA 注) ()は限流 ヒューズ定格 200A	VC PF PT CT	電磁操作のみ AC 200V コンデンサ投入 コンデンサ引き はずし 注) 非常用手動 引きはずしあり

(3) 高速度・高ひん度開閉に適し、長寿命であり、またしゃ断電流を数十回以上しゃ断できる。

(4) しゃ断性能がすぐれており、電流値・回路条件に関係なくアーク時間は6サイクル以下であり、きわめて速いしゃ断が可能である。

(5) アークしゃ断は真空容器中で行なわれるので、大電流しゃ断時の騒音はわずかである。

など数々のすぐれた特長を有し、また開閉装置全体として

(a) 1面に2~4回路しゃ断器等を収納でき床面積は大幅に縮小される。

(b) しゃ断器等は軽量であるために自動連結式として出し入れは比較的容易であり、また操作によるショックも少ないので開閉装置自体を軽量化できる。

などの特長を有することになる。

2.2 多段積開閉装置の特質

従来の主として1面に1台のしゃ断器を収納した形式のものとは比べて、多段積開閉装置の設計については多少異なるところがあるので、以下に当社の多段積開閉装置設計上の要点について説明する。

(1) 据付・点検が容易であること。

多段積開閉装置は、2~4段にしゃ断器・接触器等を収納しているため、点検するものが比較的高い位置に配置されることになる。したがってこれら機器の保守点検を容易にするために、しゃ断器・接触器はもちろん点検取換えを必要とする高圧ヒューズ類・避雷器等は自動連結式であるが、または別に自動連結式の断路部を有することが望ましい。すなわち表2.2のJEM-1114“単位閉鎖配電盤の形”による等級の少なくともE級に相当するものが必要となる。

またしゃ断器・接触器等を比較的高所に収納するために、適切に設計せられたリフト(吊上装置)が必要であるのはもちろんであるが、これらの機器を点検のため外部へそのつど引出すことはわずらわしく、できれば盤内に試験位置を持つ構造が望ましい。

また多段積開閉装置は、比較的多数の機器なり回路なりが1面に収納されるために、母線の位置は据付点検に便利な位置に置くことが必要である。とくに2重母線・切換母線等においては、せっかく母線を休止状態にし得たとしても、危険で点検できないのでは無意味である。

他方一連の開閉装置であっても、輸送の関係上2~3面単位で分割され、現地で据付ける場合には、これらの共通母線を接続する必

要がある。

その際すでに組み立てられてある各機器や接続導体を、取りはずさなければ母線の接続が困難な場合に余分の労力を要し、せっかく据付組立が簡単である単位閉鎖配電盤としての特長の一つを失うことになる。これらはとくに切換母線などのように断路器が使用される場合に問題となるので注意を要する。

母線以外の各き電回路も同様であって、多段積回路のうちの一つを点検もしくは増設を行なうような場合に、他の回路を停電することなく点検・据付が安全に行なえることも、負荷の性質によっては要求されることもあるので、この場合には、単位閉鎖配電盤の形のF級もしくは、それ相応の隔壁等を設けうる構造にしておくことが望ましい。

(2) 事故の拡大防止

1面に2~4き電回路収納する多段積開閉装置においては、不慮の事故が一部に発生した場合その影響を受ける範囲も当然拡大され、事故き電回路のみでなく健全な他回線まで災害がおよぶことになる。

元來閉鎖配電盤は、接地金属隔壁内に一括して各機器を収納しているため、外部からの異物とか、小動物等が充電部に触れることがなく、また収納機器自体も電氣的・機械的に信頼度が高く、また油などの可燃物を必要としない乾式のものが登場してきたために、閉鎖配電盤内での事故発生確率はほとんどないと言えるが、その波及を受ける範囲の大きいことにかんがみ事故の拡大防止には一段と留意する必要がある。

事故の拡大防止策としては

(1) 積極的に事故の発生を抑える方法

(2) 発生した事故を他に極力波及させない方法

とがあり(1)としては使用機器はすべて不燃物・難燃物を使用した信頼性のあるものを選定し、母線その他充電部も同様信頼性のある絶縁物で十分に絶縁することが望まれる。

一般に閉鎖配電盤内の事故としては、地絡事故が多く、絶縁不十分のために不幸にして短絡事故に移行拡大されるケースがあり、事故を地絡の段階で食い止めることは最も有効であろう。

また不幸にして短絡事故を生じた場合には、そのアークが他の機器に直接触れないように、主要機器間には接地金属隔壁を設けて隔離し、また接地金属板と機器との間にも十分な距離を置くよう考慮することが望ましい。

すなわち単位閉鎖配電盤の形のG級に相当することが望ましく、図2.1にその概略構造図を示す。ただし使用回路の重要性・経済

表 2.2 JEM-1114 単位閉鎖配電盤の形
Type of unit metal-enclosed switchgear by JEM-1114.

単位閉鎖配電盤の形							具備すべき条件
A	B	C	D	E	F	G	
○	○	○	○	○	○	○	1 単位回路区分ごとに装置が一括して接地金属箱内に收容されていること
—	○	○	○	○	○	○	2 主回路側と監視制御盤間とを接地金属隔壁により隔離すること
—	—	○	○	○	○	○	3 しゃ断器の開閉状態では断路器が操作できないようなインターロックを設けること
—	—	—	○	○	○	○	4 しゃ断器は搬出できる構造であること
—	—	—	—	○	○	○	5 しゃ断器はその主回路および制御回路に自動連結式断路部を有する抽出形であること
—	—	—	—	—	○	○	6 主回路のおもな機器は相互に接地金属隔壁または絶縁壁により隔離すること
—	—	—	—	—	—	○	7 主回路の導電部(母線, 接続線, 接続部等)は十分絶縁すること

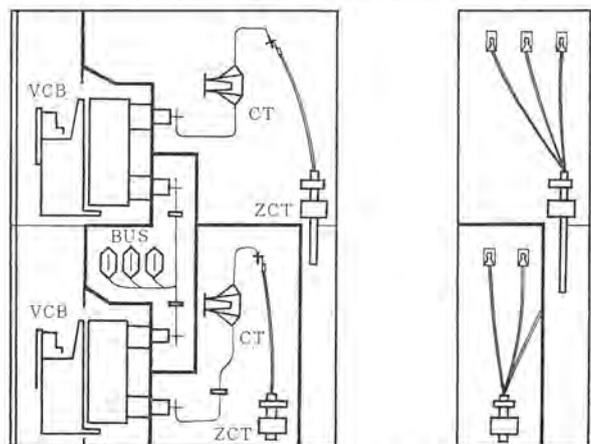


図 2.1 代表的メタルクラッド開閉装置断面図
Cross Sectional view of typical metalclad switchgear.

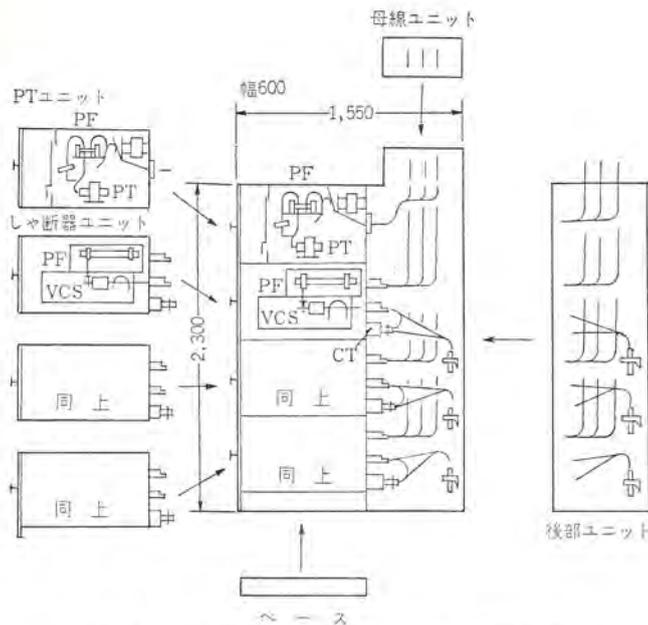


図 2.2 代表的キュービクル開閉装置断面
Cross Sectional view of typical cubicle switchgear
constructed with basic modules.

性等により上記条件が満足しにくい場合にも、1) 充電部の絶縁を行なうか、2) 各機器相互間に接地金属隔壁を設けるかの、いずれか一方の防止策は必ず設けることは必要であろう。

(3) ハウジングのモジュール化

多段積開閉装置においては、各段に収納する機器は使用回路により異なり、1面の開閉装置と言ってもその組み合わせは多岐にわたることになる。

このために、従来のようにアングル等で構成したハウジングに各所に仕切りを設けて各機器を収納する構造では、標準化による生産は困難であり、また仕様の変更に応じて徹底的な処置をとることができず、ひいては納期遅延となって需要家各位に迷惑をかけることになる。

そのため多段積開閉装置においては、しゃ断器・電磁接触器・計器用変圧器・操作用変圧器等に対応するモジュールを作成し、適宜必要なモジュールユニットを組み合わせ、一連の開閉装置を構成することが良策と考えられる。

図 2.2 は上述のモジュール方式による EV 形キュービクル開閉装置の構成の一例を示すもので、図示のように計器用変圧器ユニット・しゃ断器ユニット・母線ユニット・後部ユニット・ベースの各モジュールを集合して組み立てられる。

したがって標準化による仕込生産を行なえるため、納期の短縮・仕様変更に対する柔軟性を有するのみでなく、各モジュールの品質向上・互換性の向上により、さらに安定した製品を生み出すことが可能となる。

(4) ハウジングの軽量化

多段積開閉装置としては、1面に軽量とは言え比較的多数の機器を収納するため、全体としてみればかなりの重量になることが考えられる。

そのため収納機器をさらに軽量化すると同時に、ハウジングも必要な強度を有することはもちろんであるが、できるだけ軽量化するためにアングル等を使用せず、鋼板・軽量形鋼等を極力使用し、母線等も軽量のアルミ合金導体を標準としている。

3. WV 形メタルクラッド開閉装置

WV 形メタルクラッド開閉装置は、高圧大容量の VKG 形真空しゃ断器を収納したメタルクラッド開閉装置であって、一般用と軽負荷用の 2 系列に分けられる。

多段積開閉装置においては、収納するしゃ断器その他の機器は小形化されているが、一般に複数以上のケーブル接続が行なわれるのでその端末処理に必要なスペースがとりにくくなる。

したがって開閉装置に接続されるケーブルによって構造が抑制されるため、一般用としては 2 段積を標準とし、600 A 以下のしゃ断器定格でケーブルサイズが 150 mm² 程度までの回路に使用されるものを軽負荷用として 3 段積としている。いずれも前述したように多段積開閉装置の特質より閉鎖配電盤の形式の G 級相当の構造とし、それぞれモジュール化されたユニットを適宜組み合わせ構成している。

3.1 定格

表 3.1 WV 形メタルクラッド開閉装置定格
Ratings of Type WV metalclad switchgear.

規格 (形式)	用途	定格電圧 kV	絶縁階級 号	定格電流 A	母線定格 電流 A	定格短時間 電流 kA
JEM-1153	軽負荷用	6.9	6 A	600	600 1,200 1,800	16.0
JEM-1114-G	一般用	3.45		600 1,200 (2,000)	600 1,200 2,000 (3,000)	24.1 (40.1)

注) () 内は本文説明参照

表 3.2 VKG 形真空しゃ断器定格
Ratings of Type VKG vacuum circuit breakers.

要目	形名	6-VKG-15	6-VKG-25
準拠規格		JEC-145	
定格電圧 kV		3.6, 7.2	
絶縁階級(号)		6	
定格電流 A		600	1,200, 600
定格しゃ断容量 MVA	7.2 kV 3.6 kV	150 100	250 150
定格短時間電流 kA	7.2 kV 3.6 kV	13.1 17.5	21.9 26.2
定格しゃ断時間 (サイクル)		3	
無負荷投入時間 s		0.15	
重量 kg		150	190



図 3.1 VKG 形真空しゃ断器
Type VKG vacuum circuit breakers.

開閉装置の定格は、一般に収納しゃ断器の定格に即して決定され表 3.1 に示す定格を有している。

軽負荷用としての3段積開閉装置は、7.2 kV 150 MVA, 3.6 kV 100 MVA 600 A の6-VKG-15 形真空しゃ断器を対象としているので、開閉装置の定格もそのしゃ断器の定格と対応させてある。

一般用としての2段積開閉装置は、現在の他機種の大容量しゃ断器との列立、また近い将来の大容量真空しゃ断器の実現を考慮して、主母線定格は3,000 A まで、短時間定格としては7.2 kV 500 MVA, 3.6 kV 250 MVA までに相当するものまで使用可能としてある。

表 3.2 に現在製作中の VKG 形真空しゃ断器の定格と図 3.1 (a), (b) にそれぞれのしゃ断器の外観を示す。

3.2 一般用(2段積)開閉装置

3.2.1 標準形式

図 3.2 に2段積開閉装置の外観を示す。その基本構成は図 3.3 に示すように主体機器を収納する前部ユニットとそれに付随する後部ユニットからなる。

計器用変圧器・避雷器ユニット・しゃ断器ユニットと同一の寸法・思想で構成されており、任意の場所においてしゃ断器ユニットと置き換える。

しゃ断器・計器用変圧器・避雷器はいずれも自動連結式もしくは自動連結式の断路部を有しており、いずれの場合でも、断路部開の

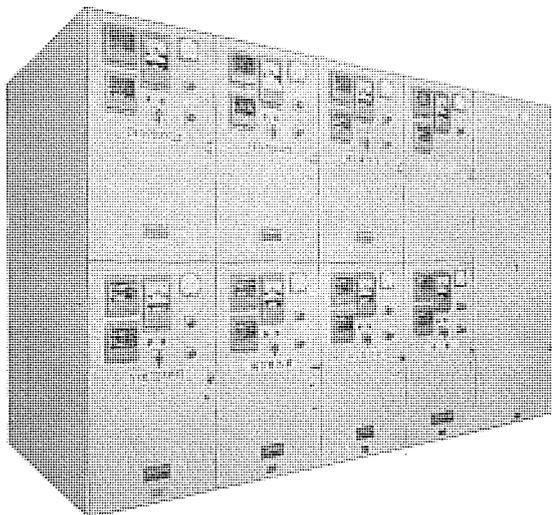


図 3.2 WV 形メタルクラッド開閉装置(2段積)
Type WV metalclad switchgear housing two circuits.

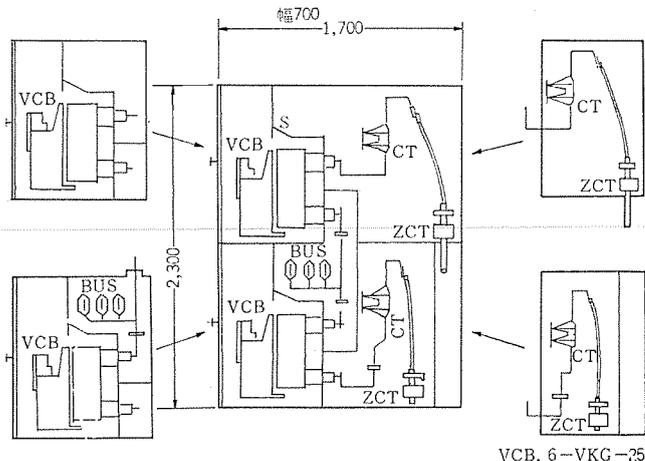


図 3.3 WV 形メタルクラッド開閉装置基本断面図
Cross Sectional view of typical WV metalclad switchgear constructed with basic modules.

状態で開閉装置前面のとびらを閉めうる構造となっている。

図 3.3 から明らかなように、しゃ断器・避雷器・計器用変圧器などの主体機器室・母線室・ケーブル室と接地金属隔壁にて隔離されており、また母線は、しゃ断器室内にある前部カバー・上部カバーの双方より据付・点検作業が行ないうる構造となっている。

また主体機器を収納する前部ユニットは、上下とも同一の構造となっているので上部にも予備の母線室を有し、後述する各種の変形母線方式に対する適応性も有しており、また必要に応じて4,000 A ぐらいの母線定格電流のものでも上下に2分割して配置できる。

図 3.4 は標準形式を中心とした2段積メタルクラッド開閉装置の一例を示す。

3.2.2 応用形式

真空しゃ断器は、従来のしゃ断器と比較してすぐれたしゃ断性能を有し、信頼性も向上していると同時に本体の保守点検ひん度も少なくてすむために、しゃ断器の保守点検を考慮した母線形式を採用することは必ずしも必要ではなく、前述の標準形式を採用した最も簡単な単母線形式が多く採用されている。

しかし負荷の特性、すなわち給電の連続性とか合理的な負荷配分等から、図 3.5 に示す2重母線形式・補助母線形式が採用される場合もある。図 3.5 (a) の2重母線形式の場合に、従来のしゃ断器を使用した場合には、必然的に外形寸法が大きくなってしたが、2

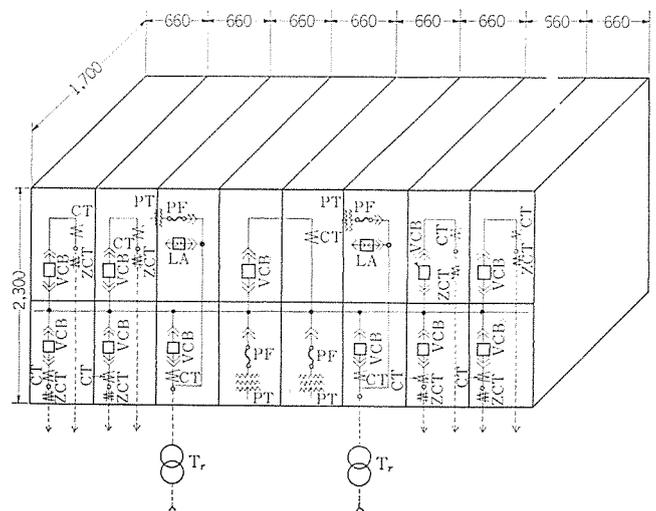


図 3.4 代表的メタルクラッド開閉装置配列(2段積)
Typical arrangement of metalclad switchgear housing two circuits.

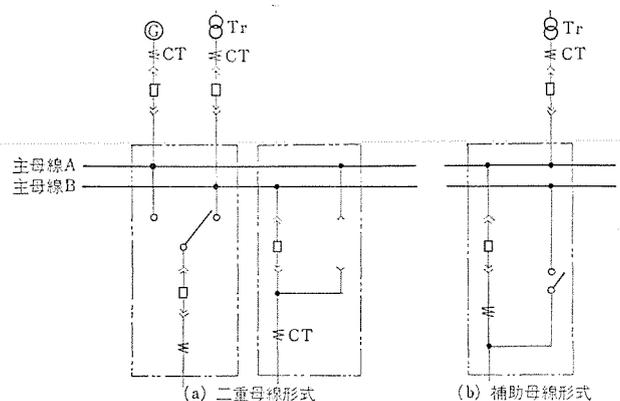


図 3.5 複母線形式
Multiple bus arrangement.

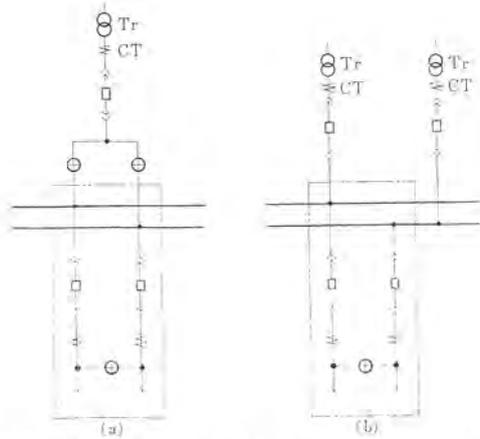


図 3.6 2 回線バイパス断路器母線形式
Multiple bus arrangement with by-pass disconnecting switches.

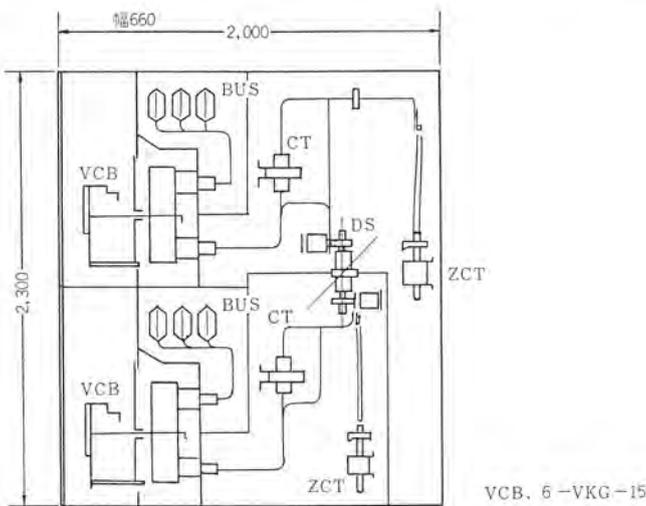


図 3.7 WV 形 メタルクラッド 開閉装置断面図 (2 回線 バイパス 断路器使用)

Cross sectional view of WV metalclad switchgear housing two circuits and by-pass disconnecting switches.

段積の場合には図 2.1 の上段スペースにも母線を設け、そのしゃ断器の代りに切換式の断路器を設けるか、または断路器を使用せず上下のしゃ断器を必要に応じて交互に入れ換える方式も、標準寸法で設計可能である。

また補助母線形式の場合でも、同様上段のスペースに補助母線を設けることによって標準寸法で設計しうる。

これらはいずれも 2 段積開閉装置の特長を生かして、従来品よりも小さい外形寸法で製作できるが、1面に1き電回路しか収納できないので床面積の縮少という点では十分でない。

ただし母線容量が制約を受ける奥行寸法いかんによっては、これらを 2 段積とか両面形とかとして 1 面 2 き電収納は可能である。

図 3.6 は き電しゃ断器の点検とか増設が無停電にて行なえる利点から、最近発表されている 2 回線 バイパス 断路器を使用した母線形式である。

この母線形式の場合には

(1) き電しゃ断器の点検の際に、各き電線の実負荷容量に対して余裕を持って配置せられた 2 回路の き電回路をバイパス 断路器で接続し、次に点検する側のしゃ断器を引出して行なう。

(2) 母線を点検したり、き電回路の増設を行なう場合には、すべてのバイパス 断路器を投入し 負荷を片側の母線に移して無電圧に



図 3.8 WV 形 メタルクラッド 開閉装置 (3 段積)
Type WV metalclad switchgear housing three circuits.

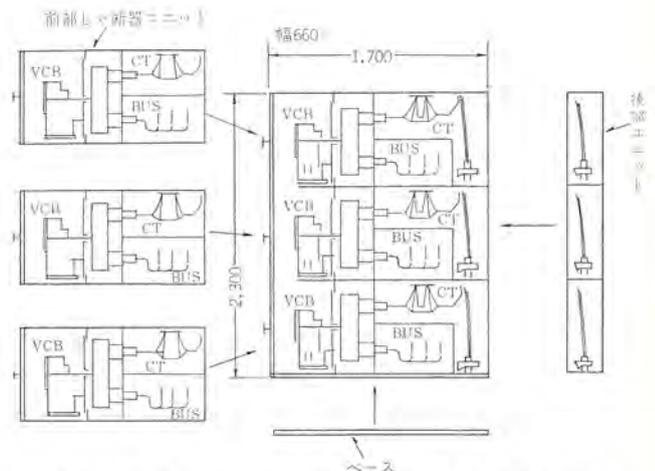


図 3.9 WV 形 メタルクラッド 開閉装置基本断面図
Cross sectional view of typical WV metalclad switchgear constructed with basic modules.

なったほうのしゃ断器を引出して行なうことができるため、上述の 2 重母線形式・補助母線形式と同等の操作が行なえることになる。

そのうえ外形寸法をたいして変えることもなく、1面に2き電収納可能であり、断路器の数量も半分となしうることができて経済的である。

図 3.7 はこの 2 回線 バイパス 断路器方式に応用した G 級の 2 段積開閉装置の応用形式であって、各主要機器は接地金属隔壁にてしゃへいしやすいよう断器も回転形を採用し、またこの方式の特長を生かすために、母線の据付・点検は前部からしゃ断器引出しの有無に関係なく行なえる構造としてある。

3.3 軽負荷用 (3 段積) 開閉装置

前述のように WV 形 メタルクラッド 開閉装置は、2 段積を標準としているが比較的小容量負荷の場合とか、き電数多くてスペースの関係上外形寸法に制約を受ける場合には、3 段積としたほうが得策な場合がある。

軽負荷用 メタルクラッド 開閉装置は、この目的のために設計しているものであってかなりの実績を有している。

図 3.8 はその外観の一例であり、その構成は図 3.9 に示すよう

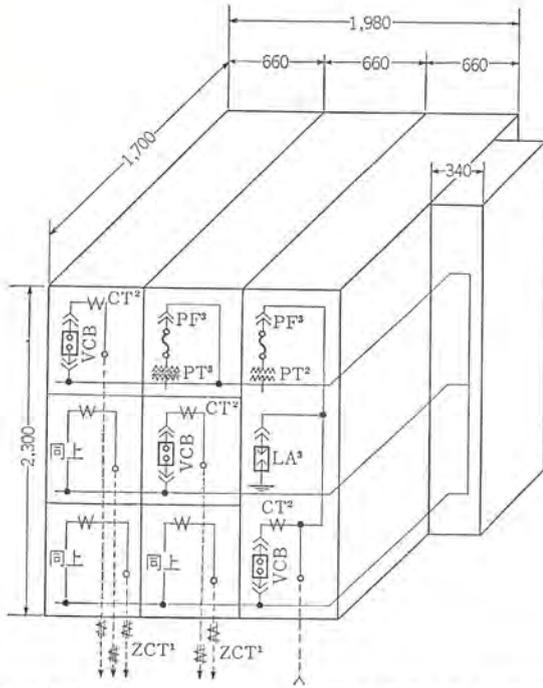


図 3.10 代表的メタルクラッド開閉装置配列 (3段積)
Typical arrangement of metalclad switchgear housed three circuits.

にモジュール化された3個の主要機器ユニットと後部ユニットからなり、前部の主要機器ユニットは、しゃ断器の場合を示しているが、同一の外形寸法で製作された避雷器ユニット・計器用変圧器ユニットを適宜配置して任意の構成が行なえることは、一般用の2段積開閉装置と同様である。

場合によっては最上段のユニットを取りはずし、これを2段積開閉装置として高さ制限のある場所を使用することも可能である。

3段積開閉装置として使用する場合には母線は各段に設けてあるので、これ等を接続する母線箱が必要であるほか、比較的狭い場所内においてケーブルの端末処理を行ない、しかも事故の拡大防止のため、主要機器間には接地金属隔壁を設けているため、零相変流器を使用する場合にはこれをピット内に設置するようにしている。

ただし奥行寸法を多少大きくすれば、盤内に零相変流器を設けることが可能であり、またケーブル寸法が100 mm²をこえる場合も接



図 4.1 EV形キュービクル開閉装置
Type EV cubicle switchgear.

続することができる。

図 3.10 はこの標準形式を応用した代表的な受変電設備の一例である。

4. EV形キュービクル開閉装置

EV形キュービクル開閉装置は、主として小容量の電動機・変圧器・コンデンサの集合開閉装置として、比較的高価なしゃ断器を使用せず、電磁接触器と限流ヒューズの組合わせすなわちコンビネーションスイッチを用いたコントロールセンタ形式の開閉装置である。

その外観は図 4.1 に示すが、その構成は前掲の図 2.2 のように各種のモジュールを主体として構成され、いわゆる4段積としている。

4段積の場合には、前述の2~3段積のWV形メタルクラッド開閉装置と異なって、一般的に各き電回路を接地金属隔壁で隔離することは困難で、いたずらに外形寸法を大きくしたり、保守点検に不便であったりするし、また頭初の目的の低価格ということに反する結果となりかねない。

したがって各き電回路間の隔壁はまったく設けていないが、主体機器を収納する前部ユニットは、各個隔離しかつ母線および接続導体は充電部が露出しないよう絶縁を施し、事故の拡大防止をはかっている。

そのため JEM-1114-E 級の開閉装置であるが F, G 級の特長も

表 4.1 EV形キュービクル開閉装置定格
Ratings of Type EV cubicle switchgear.

規 格 (形 式)	定格電圧 kV	定格電流 A	母線定格電流 A	絶縁階級	定格しゃ断容量 MVA
JEM-1153	6.9	200	600	6B	500
JEM-1114-E	3.45			3B	250

表 4.2 VP形, VM形真空電磁接触器定格
Ratings of Type VP, VM vacuum contactors.

要 目	形 名	6-VP-5	3-VP-2
規 格	JEM-1167		
定 格 電 圧 kV		7.2	3.6
定 格 電 流 A		200	
定 格 しゃ 断 容 量 MVA		50	25
定 格 短 時 間 電 流 kA	0.5 s	4.4	
	0.5 サイクル	33	
開 閉 容 量 (級)		A	
開 閉 頻 繁 度 (号)		2	
寿 命 (万回)	電 気 的	25	
	機 械 的	25	
絶 縁 階 級 (号)		6B	3B

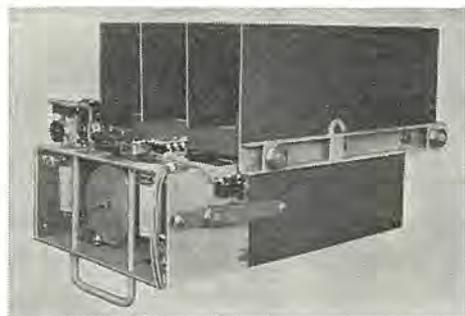


図 4.2 VP形コンビネーションスイッチ
Type VP combination switch.

合わせ持っていると言えるし、また回路の特殊事情によって、増設等の際に無停電でケーブルの詰込み等を安全に行なえるように、各き電回路間に絶縁バリヤを設けて隔離することも可能である。

また限流ヒューズを使用しているために、ヒューズの取換え等が容易に行なえるように、コンビネーションスイッチの引出しはとくに簡単に行なえるように本体はできるだけ軽量とし、引出しに要する力はわずかで特殊工具等は必要ではない。

いずれにしても、引出形のコンビネーションスイッチとして4段階の開閉装置を構成しているので、とくに据付面積に制限のある場所には最適のキュービクル開閉装置である。

4.1 定格

EV形キュービクル開閉装置の定格は、表4.1に示すように収納する電磁接触器と限流ヒューズの定格により決ってくる。

限流ヒューズとしては7.2kV 500MVA, 3.6kV 250MVA(いずれも対称表示)を有しており、電流定格は200Aまでであるが、最大負荷として電動機の場合750kW, 変圧器の場合1,000kVAまで使用しうる。

表4.2はVP形コンビネーションスイッチの電磁接触器単体の定格を、図4.2にその外観を示す。

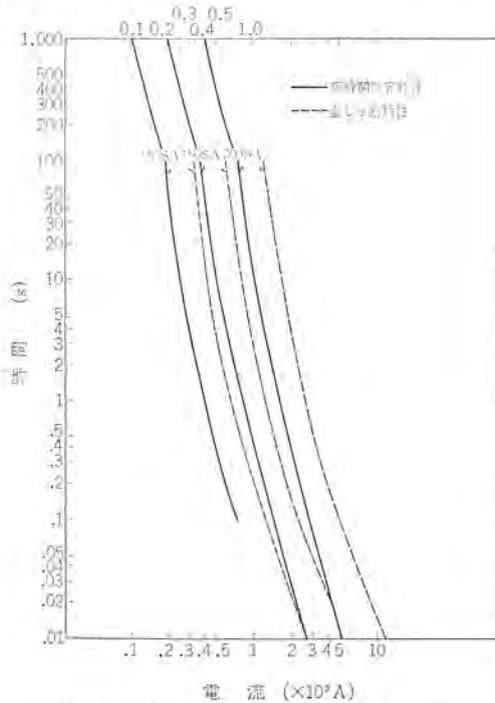


図4.3 CLS形限流ヒューズ特性曲線
Characteristic curves of Type CLS current limiting fuse.

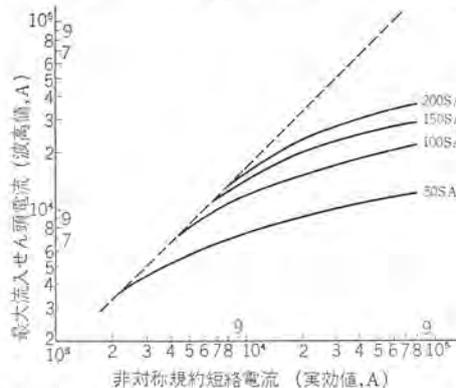


図4.4 CLS形限流ヒューズ限流特性曲線
Current-limiting curves of Type CLS current limiting fuse.

4.2 ヒューズの選定および接触器の短時間定格

コンビネーションスイッチは、電動機・変圧器等の過負荷保護は熱動継電器と電磁接触器とによって行ない、回路の短絡は限流ヒューズによって保護するようにしているため、限流ヒューズは

(a) 短絡保護専用であって、電磁接触器のしゃ断能力のある範囲ではできるだけヒューズは溶断しないように、

(b) 電動機負荷の場合には、その起動電流の影響をうけることなく、またひんぱんに起こる過酷な冷熱サイクルによって劣化しないように、

(c) 変圧器負荷の場合には、その励磁突入電流によって溶断しないような特性のものを選定する必要がある。

現在使用しているCLS形限流ヒューズの特性を、図4.3, 4.4に示す。

またヒューズとしては、できるだけ限流効果の大きい限流形を使用することが望ましい。

すなわち図4.5に示すように回路に完全短絡が生じた場合には、図中の破線で示した大短絡電流が流れ、電磁接触器に機械的・熱的ストレスを加えるばかりでなく、その後に接続される計器用変流器・ケーブル・負荷にも悪影響を及ぼす。

この場合限流ヒューズを使用していれば、限流ヒューズ独特の高い

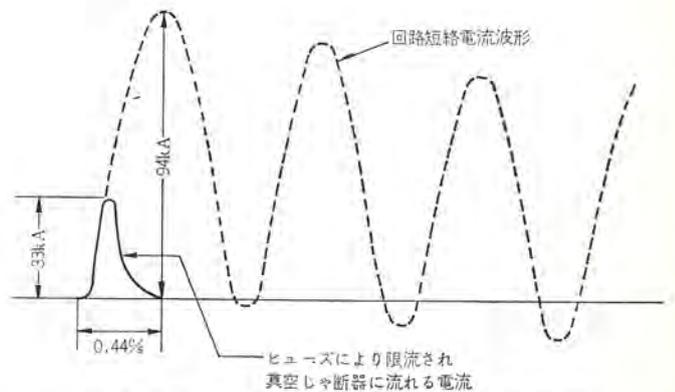


図4.5 CLS形限流ヒューズ限流動作特性
Current-limiting action of Type CLS current-limiting fuse.

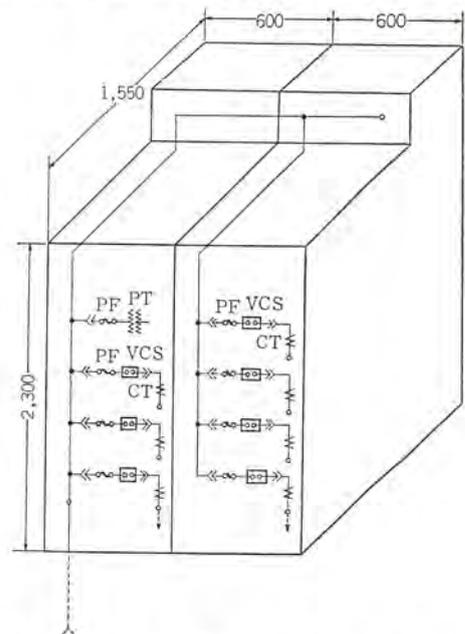


図4.6 代表的キュービクル開閉装置配列
Typical arrangement of cubicle switchgear housing four circuits.

アーク電圧によって図中の実線で示した値に電流値をしぼり、またきわめて早い時間にしゃ断してしまふことができる。

図 4.4 に示すように、その限流効果はヒューズの定格電流によって異なるが、大きい電流定格のものほど効果は薄れてくる。

最も限流効果の劣る 200 A 定格のヒューズの場合、ヒューズの最大短絡電流が流れるような場合で約 33 kA の電流が 0.5 サイクル程度流れるので、VP 形コンビネーションスイッチはこの電流によって機械的損傷をうけたり、接点が溶着したりしないように確かめているので、短絡が発生してヒューズが溶断した場合でも、そのまま支障なく使用することができる。

4.3 標準形式

開閉装置の標準形式は、標準き電盤を中心として設計されるのは前述のとおりであって、EV 形キュービクル開閉装置の標準形式は前掲図 2.2 の最上段の計器用変圧器ユニットをしゃ断器ユニットに換えたものであり、必要に応じて受電盤等が設計される。

VP 形電磁接触器の操作はコンデンサーを使用しており、また機能としてはラッチ式に属するものであって、操作容量はコンデンサーの充電のために 1 A を 5 秒程度通電しうればよいので、とくに操作用変圧器を必要とせず計器用変圧器で兼用でき、また保持用のための電力消費も不要である。

図 2.2 に示すように、計器用変圧器も接触器と同一の外形寸法を持つモジュール化されたユニットであって、任意の位置にそう入でき、そのため計器用変圧器の一次ヒューズは自動連結式の断路部を有している。図 4.6 は EV 形キュービクル開閉装置の一例を示すが、このほか異なった開閉装置と列立して設計することも可能である。

5. 真空配電箱および真空コンビネーションスイッチ箱

以上集合形の開閉装置につき説明してきたが、工場の機器配置等によっては、とくに中央電気室に集合形開閉装置を設置せず、機別に簡単な開閉器箱を設けて制御される場合も多々ある。

この目的のために真空電磁接触器を内蔵した LVM 形真空配電箱と、これに限流ヒューズを加えた FC-V 形コンビネーションスイッチ箱が使用される。

5.1 2VM 形真空配電箱

表 2.1 に示すように、小形軽量に設計された VM 形電磁接触器と操作用（計器用）変圧器・変流器を一括して鋼板製の外箱に収納し、図 5.1 に外観を示すように前面に電流計その他必要なる熱動

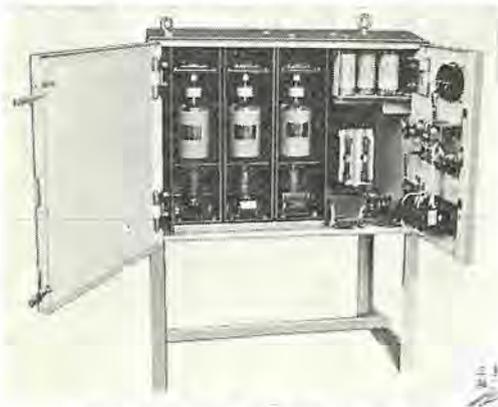


図 5.1 2VM 形真空配電箱
Type 2 VM switch box.

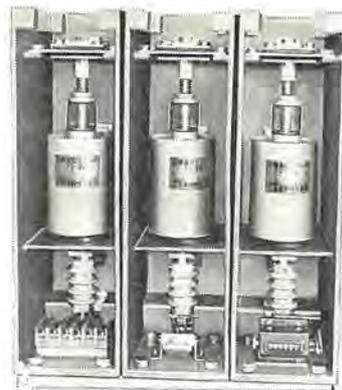


図 5.2 VM 形電磁接触器
Type VM magnetic contactor.

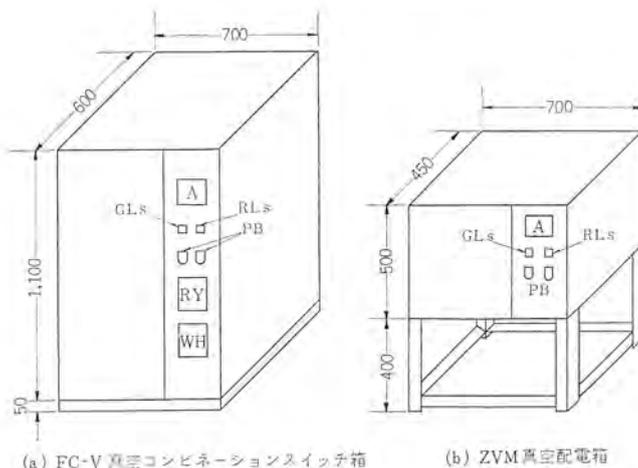


図 5.3 真空配電箱外形図
Outline dimensions of switch boxes.

継電器・操作スイッチ等を設けた両開きとびらを有しており、内部の点検に便利な構造となっている。

VM 形電磁接触器の外観は、図 5.2 に示すが前述の VP 形電磁接触器とまったく同一の定格を有しており、ただ真空スイッチ管が垂直に配置されているところが異なっている。

5.2 FC-V 形真空コンビネーションスイッチ箱

表 2.1 に示すように、電磁接触器のほかに限流ヒューズを装置しているほかは、上述の LVM 形真空配電箱と同等であるが、真空電磁接触器の短時間定格電流と協調しうる限流ヒューズを有しているので、EX 形キュービクル開閉装置同様、十分な保護協調が行なえるようにした。図 5.3 に外形を示すが、場合によってはこれを段積とすることが可能である。

6. む す び

従来夢のしゃ断器として理想化されていた真空スイッチ応用品が実用化され、これを応用した種々の開閉装置が製作されている。

現在真空スイッチ管応用品としては 6/3 kV で、また比較的中容量級までが実用されているにすぎないが、ここ 1~2 年のうちに大容量のもの、またさらに高電圧のものも実用段階にはいる予定であって、真空スイッチ管応用品の数々のすぐれた特長によって、今後ますます普及し、近い将来大部分の開閉装置がこれに置き換えられると予測される。

キュービクル内蔵の計器用変成器

長野 光 佑*

Instrument Transformers for Cubicle

Itami Works Kôsuke NAGANO

Of instrument transformers those to be contained in cubicles call for small sizes and lightweight as their primary requisites in addition to the condition for indoor use. Thus they require somewhat different performance from that of other types.

Apart from the question of insulation characteristic, transformers used to put great weight on their costs in comparison with outline construction. However, when they are applied to cubicles, their outline construction comes to have an important bearing on the costs of the cubicles and need more consideration than the costs themselves. Based on this conception, the outlines and interior constructions of oil immersed type and dry type instrument transformers and of current transformers are described herein.

1. ま え が き

変成器のうちキュービクル内蔵をとりあげた場合、屋内用である以外に小形軽量が第一条件となり、他の変成器とは多少異なった性能が要求される。従来、変成器は絶縁特性は別として、外形構造に比し、コストに大きな比重がおかれた。ところが、キュービクル内蔵となると変成器の外形構造はキュービクルのコストに影響し、変成器のコスト以上に影響することが多く、変成器のコスト以上に考慮を払う必要がある。以上のような点に留意し、油入形の計器用変圧器、乾式の計器用変圧器、変流器の外形・内部構造を詳述する。

2. 油入形計器用変圧器

2.1 外形

油入形はキュービクル内蔵の場合、不燃性油を用いるのが普通で、絶縁材料・パッキング・塗料などが特殊となる。また、外形寸法を小さくするため計器用変圧器内の油量をできるかぎり少量にする必要がある。絶縁は20kV級、10kV級とはいえ充てん絶縁方式をとり、コンパクトな構造をとる。図2.1、2.2は一般用の場合と、キュービクル



◀ 図 2.1 TH-2 形
計器用変圧器
22 kV 級
Type TH-2 potential
transformer 22 kV class.



▶ 図 2.2 CSF-2 形
計器用変圧器
22 kV 級
Type CSF-2 potential
transformer 22 kV class.

表 2.1 キュービクル内蔵 PT と一般用 PT との比較
Comparison between potential transformer contained
in a cubicle and that in general use.

形名	電圧 V	負担, 誤差	油量 l	高さ	床面積	備考
TH-2	$22,000/\sqrt{3} / 110/\sqrt{3}$	200 VA	60	1,100	470×585	一般用
CBF-2		1.0 級	26	1,050	415×585	キュービクル用

内蔵用の場合との比較の一例であるが、その仕様の詳細は表 2.1 で、外形・油量に十分な考慮をはらっていることに注意してほしい。また、三相の場合にも同様である(図 2.3, 2.4 を参照)。

2.2 内部構造

一般の場合は図 2.5, 2.6 のようにタンク上部ないしはコンパ

図 2.3 TH-23 X 形計器用
変圧器 22 kV 級
Type TH-23 X potential
transformer 22 kV class.

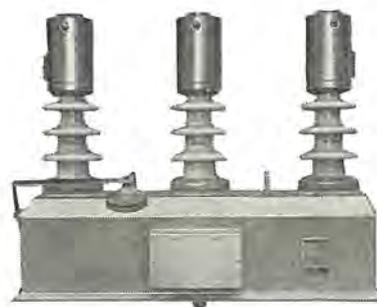
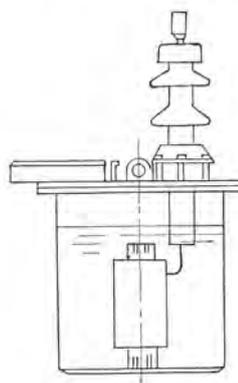
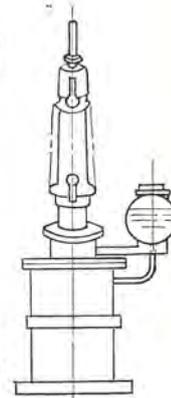


図 2.4 THF-23 X 形
計器用変圧器
22 kV 級
Type THF-23 X potential
transformer 22 kV.



◀ 図 2.5 タンク形
計器用変圧器
Tank type potential
transformer.



▶ 図 2.6 タンク形
計器用変圧器
Tank type potential
transformer.

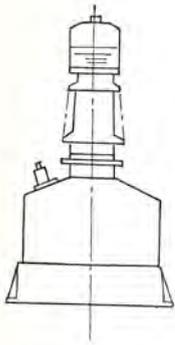


図 2.7 キュービクル用計器用変圧器
Potential transformer for cubicle use.

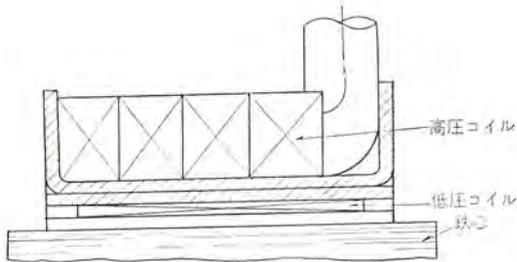


図 2.8 絶縁構造
Insulation structure.

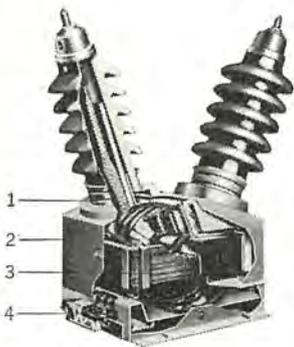


図 2.9 内部構造
Interior construction.

- 1 ブッシング
- 2 タンク
- 3 鉄心
- 4 ターミナル

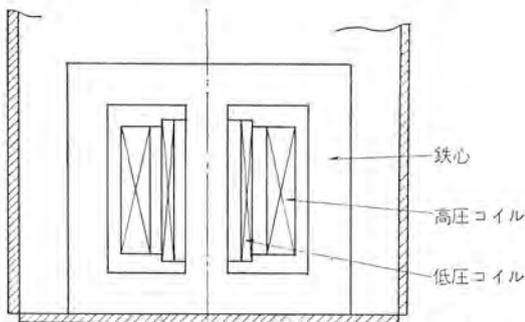


図 2.10 一般用 PT の内部構造
Interior construction of potential transformer for general use.

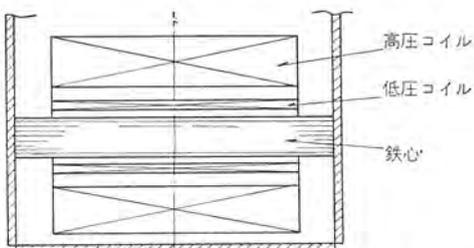


図 2.11 キュービクル用 PT の内部構造
Interior construction of potential transformer for cubicle use.
ターにより膨張室をとるが、キュービクル内蔵の場合は油量が少ないため、ブッシング頭部で膨張室をとり外形の縮小をはかっている(図 2.7 参照)。絶縁構造は図 2.8, 2.9 で充てん絶縁構造をとっている。

る。また、コイル・鉄心の配置も一般用の場合と異なっていることに注意。図 2.10 では変圧器と同じであるが、キュービクル用の場合は鉄心が横倒しとなり図 2.11 となる。

3. 乾式計器用変圧器

3.1 外形

油入形に比べ完全なる充てん絶縁がとれるため、外形重量がいちじるしく小さくなる。しかし、乾式の場合充てん不十分、クラックなどの問題があり、これが発生した場合、絶縁性能に致命的な影響を与えるので、十分なる製造管理とともに綿密な試験が必要である。当社ではこれらの点に留意し、あとで詳述するがコロナ試験・サージコロナ試験を行ない、完全なる管理を行なっている。樹脂の材料はエポキシレジンで、外形は図 3.1, 3.2 である。油入形に比べると表 3.1 のように寸法が小さくなるとともに、充電部が油入形に比べて小さいことにも乾式のよい点がある。

3.2 構造

高压コイルを含浸用レジンで含浸し、そののち低压コイルと組合わ



図 3.1 EV-2 形計器用変圧器
22 kV 級
Type EV-2 potential transformer
22 kV class.



図 3.2 EV-2 X 形計器用変圧器 22 kV 級
Type EV-2 X potential transformer 22 kV class.

表 3.1 乾式 PT と油入形 PT との比較
(キュービクル内蔵用)

Comparison between dry type potential transformer and oil immersed type one (for use in cubicle).

形名	電圧	負担, 誤差	重量 kg	高さ	床面積	備考
CLF-2	22,000/110	200 VA	230	900	690×700	油入
EV-2		i.0 級	45	460	350×265	乾式

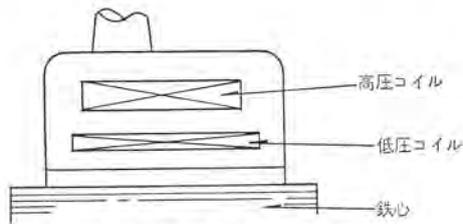


図 3.3 内部構造
Interior construction.

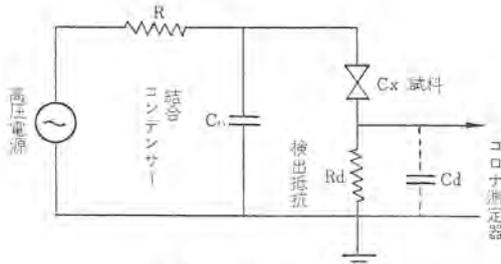


図 3.4 測定回路
Measurement circuit.

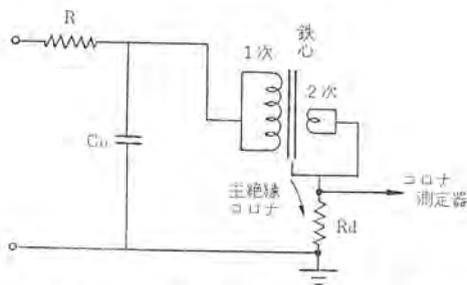


図 3.5 主絶縁コロナ測定回路
Corona measurement circuit of main insulation.

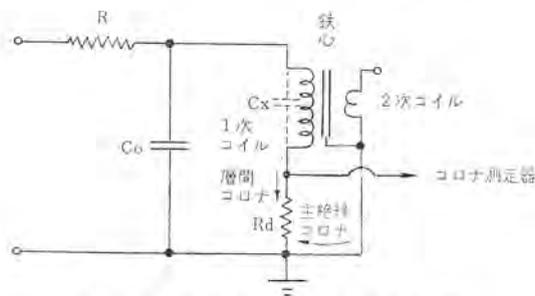


図 3.6 層間絶縁コロナ測定回路
Corona measurement circuit of layer insulation.

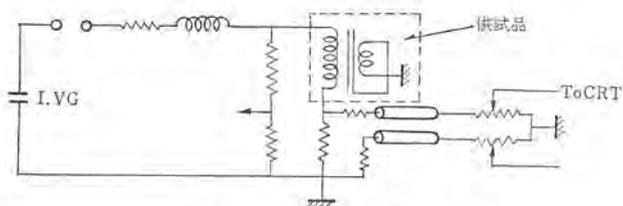


図 3.7 サージ測定回路
Surge measurement circuit.

せて注型用レジンでモールドする。コイルおよび鉄心配置は図 3.3 で、20 kV 級になると鉄心とコイル部分との空けきでコロナ放電がおこる可能性があるので注意を要する。

3.3 試験

乾式は油入形に比べ含浸不良の問題がある。これをきびしく管理

するためには、商用周波でコロナ開始電圧および消滅電圧を測定する必要がある。また、衝撃波に対しては油入に比べ試験用に傷がついたとき、乾式は回復力がないので衝撃波に耐えたという確認だけでなく、傷がついていないことをも確認しなければならない。これを判定するためにはサージコロナを識別することが肝要である。キュービクル内蔵乾式 PT は、以上のようなきびしい試験に合格し、なお油入形よりも小形軽量になることを要求される。

3.3.1 コロナ試験回路および原理

図 3.4 において試料 C_x にコロナ放電が生ずると、試料両端には瞬間的に δ_V だけの電圧降下が生じ、このとき試料に現われるコロナの放電電荷量を Q_a とすると

$$\delta_V = Q_a / (C_x + C_0 \cdot C_d / C_0 + C_d)$$

となり、このとき、検出抵抗 R_d の両端には

$$V_d(t) = Q_a / (C_x + C_d + C_0 \cdot C_d / C_0) \cdot e^{-at} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$1/a = R_d (C_d + C_x \cdot C_0 / C_x + C_0)$$

の電圧が生じる。すなわち、波頭がきわめて急しゅん(峻)で、その波高値は Q_a および C_x, C_d, C_0 などで決まる大きさを有し、波尾が検出回路系の時定数で減衰するコロナパルス電圧である。この PT の絶縁は一次(高压)コイル層間の絶縁と、一次コイルと二次(低压)コイルおよび鉄心との間の絶縁(ここでは主絶縁と呼ぶことにする)にわけることができる。層間絶縁はその厚さがきわめて薄く、コロナが発すればコロナ劣化による層間破壊の起こることが考えられる。これに対して主絶縁ではその厚さが十分厚く、コロナ劣化による主絶縁破壊は層間絶縁の場合に比し大きな裕度がある。したがって発生するコロナを問題にする場合には、主絶縁で発生するコロナと層間絶縁で発生するコロナを区別して考える必要がある。当社では、主絶縁コロナは図 3.5、層間コロナは図 3.6 の回路で測定し、図 3.5、3.6 に同一極性の電圧が加えられた場合に主絶縁コロナと層間絶縁コロナとは、コロナパルスの極性が反対になることから、主絶縁コロナと層間絶縁コロナとを区別して検出している。

3.3.2 衝撃波耐電圧試験

前述したように乾式 PT に衝撃波を加えることは、たいへん危険なことで、それにより PT に傷がついているかいないかを判定することが重要である。それには従来の試験法の検出感度をあげサージコロナを識別する必要がある。

(1) 従来の方法

従来インパルス耐圧試験回路としては図 3.7 に示すような回路であるが、この回路はこの種の PT の試験においては電圧印加時の急しゅん波頭による充電電流にくらべ、故障検出に役立つ後続電流が小さいため故障検出感度が低下するきらいがある。

(2) 感度上昇の方法

考えられる感度上昇方法は、

- (a) 充電電流存在期間はオシロがオーバースケールするのを承知のうえオシログラフの感度を上昇させる(オーバースケール法)。
- (b) ショット(Rs)に並列にコンデンサをそう入し充電電流を側路させる(側路コンデンサ法)。
- (c) 検出回路をブリッジ回路とし充電電流を打消す方法(差動法)。

などがある。以上のうち(a)のオーバースケール法では波頭部の数 μs 間でオシログラムが得られないため、波頭部分についてまったく情報が得られず不完全である。また、(b)の側路コンデンサ法は電気学会の技術報にも PT の試験回路として提案されており、容易に実施で

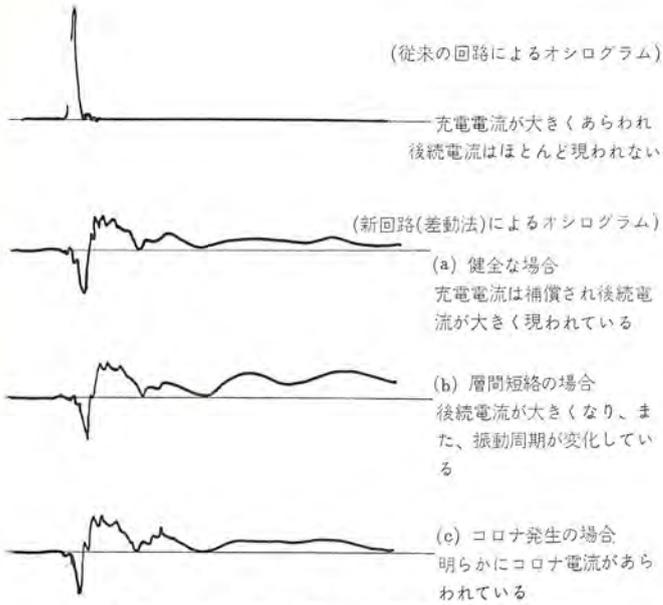


図 3.8 従来の回路と差動法回路の比較
Comparison between conventional circuit and differential method circuit.

きる方法であるが、波尾に直流分の重畳する層間短絡には感度が向上するが、コロナ発生の場合には、コロナ電流も側路コンデンサで側路されるため、検出感度が向上しないという欠点をもっている。したがって、(c)の差動法がこの種のPTにはもっとも適しているが、実施が少し困難である点が欠点である。当社の場合には、この種のPTは差動法により管理している(図3.8参照)。

4. 変 流 器

キュービクル内蔵の場合は、屋内用であるとともにブッシングが使用さ



図 4.1 (キュービクル内蔵) ブチルゴム変流器
Butyl rubber current transformers (contained in a cubicle).

れているので、変流器は乾式のブッシングCTとなるのが普通である。ブッシングCTであるので、CT自体の絶縁性能はPTほど重要ではないが、一次側のターン数が1ターンなので、一次電流が低い場合特性面に困難さがある。当社ではブチルゴムモールドを標準にし(図4.1)、特性は低電流域では当社独特の二重鉄心変流器を使用し対処している。

5. む す び

以上、キュービクル内蔵を主体に変成器を説明してきたが、近年の技術進歩ははげしく、変電方式がキュービクルよりCSSやGJSといったものになりつつあるこのごろ、変成器もそれに適した構造にすぐ変わるものと思う。次回、この種の表題で投稿する機会を得たときには、おそらく、この種のPT・CTが王座をしめ、実用の主力になっているのではないかと推察される。

低圧配電装置および機器

竹内 孝治*・久保 修造*

Low Voltage Power Centers and Related Apparatus

Kôbe Works Takaharu TAKEUCHI・Shuzo KUBO

Low voltage power circuits of factories and power supply equipment of large buildings are becoming large and modern year after year. This trend has brought about increase in the capacity of low voltage distribution arrangements. In the category of low voltage power centers, a type DB-150 ACB rated 5,000 A, has been added to standard series.

No-fuse breakers with a current rating of 2,000 A have been developed, but to cope with increasing burdens under short circuit faults, Tripac breakers, combination of no-fuse breakers and current limiting fuses, have been produced. About a type DB ACB, a CX closing system having easy maintenance and no mechanical interlocking with a breaker main assembly has been manufactured.

For the conductors of the low voltage power center are used aluminium as a standard material with satisfying results.

1. ま え が き

近年一般工場動力設備ならびにビルの受変電設備等の近代化、大容量化にともない、それらの低圧配電用開閉装置として以下に述べる低圧パワーセンタが広く採用されるようになった。

低圧パワーセンタは、主回路系統保護機器等を閉鎖形キューピクルに納め機器保護はもちろんのこと、人蓄に対する安全性、据付面積の縮小、保守点検の容易さ等を特長として、電源と機械配置場所等負荷の中心に配置されて、低圧電力の配電を行なうものである。

また配電線の過負荷、短絡電流からの保護を目的とするものに、ノーヒューズしゃ断器がある。その体裁がスマートで現代感覚にマッチしており、形状も小形で操作がきわめて簡単で、保守にもほとんど手数を要しない等の大きな特長を備えているため、年々その需要が増加し、また容量的にも大形化している。

2. 低圧パワーセンタ

パワーセンタとは、AC 600 V 以下の低圧中容量の電動機負荷等に対し、気中しゃ断器、計器用変成器等の主回路器具を負荷の中心部に電源変圧器等と一体にまとめたもので、次に述べる特長を有している。



乾式変圧器1台
受電用しゃ断器1台 } 収納
給電用しゃ断器1台 }

図 2.1 低圧パワーセンタ
Low voltage power center.

る。図 2.1 に標準的な低圧パワーセンタの外観を示す。

2.1 特長および標準形式

(1) 気中しゃ断器は主回路・制御回路とも自動連結式断路部を持つ引出し構造である。

(2) しゃ断器の引出し機構は閉鎖3段式と称する構造で、接続・試験・断路のいずれの位置にもとびらを閉じた状態で置くことができるので、保守面でも非常に便利である。

(3) キューピクルは最高電圧 600 V、最大電流 5,000 A までの各種 DB 形低圧気中しゃ断器を収納するもので、同定格のしゃ断は互いに互換性を有している。

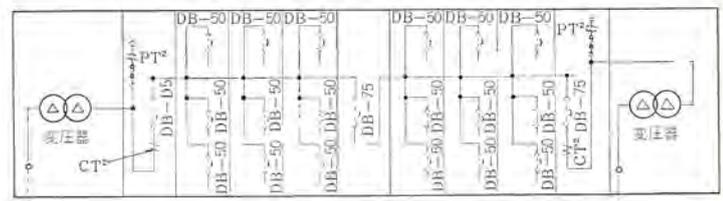
(4) しゃ断器の引出し機構については、運転上、保守上の安全を期し種々の機械的鎖錠装置を備えている。

(5) しゃ断器の引出し機構をはじめ、箱内各部分は細部に至るまで合理的な設計と標準化がなされており、プレハブ式フレーム構造となっているので、種々の要求に応じ得るとともに将来の増設も容易である。

図 2.2 に DB-75、DB-50 形 ACB を使用した標準形式のパワーセンタの一例を示す。

2.2 回路構成および外形寸法

気中しゃ断器の外形寸法は定格電圧、最大定格電流、定格しゃ断電流によって異なるが、図 2.5 に DB-25、DB-50 形 ACB を使用



回路方式	3φ3W式
設備容量	変圧器 3φ 1,500 kVA~2,000 kVA 乾式 車輪付 一次電圧 6kV あるいは 3kV 二次電圧 480 V
主母線走路	2,000~3,000 A
引出し	一次高圧引出し ケーブルで下部より 低圧フィーダ引出し ケーブルで下部より

図 2.2 標準形式のパワーセンタ (2バンクの例)
Standard type power center (example of two banks).

した標準き(鎖)電盤, DB-75形ACBを使用した変圧器2次盤の回路構成, 外形寸法を示す。

ビル等のように動力負荷のほかかなりの単相電灯負荷がある所では, 三相4線式とするのが普通で, 中性相として普通1/3容量の

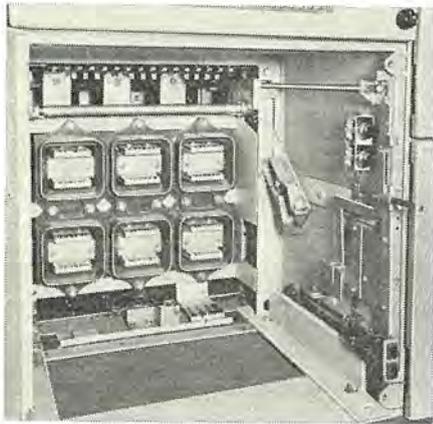
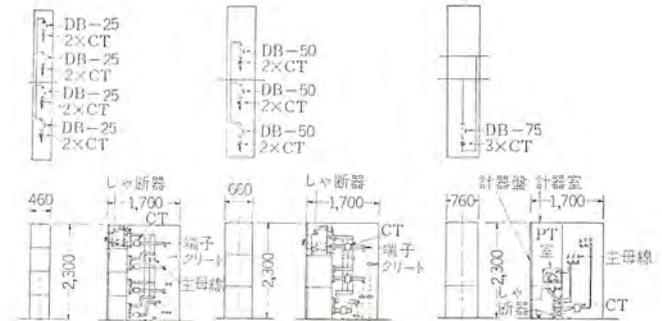


図 2.3 DB-75形しゃ断器キュービクルしゃ断器室内部
Interior of breaker chamber of type DB-75 circuit breaker cubicle.

母線を設けている。この場合, 中性相処理のため盤幅340を各しゃ断器盤に追加して, そこで中性相母線より刃形開閉器を通して各フィータに引出している。またビルの場合には400V三相4線式で直接接地方式が多く, 接地検出のために各フィータにZCT(零相変流器)を設け, フィータ引出しはバスタクトが多いので, このような場合, 1面当りの収納しゃ断器の台数は少なくなり, またキュービクルの奥行寸法も大きくなる。



DB-25形き(鎖)電盤の一例 DB-50形き電盤の一例 DB-75形受電盤の一例

図 2.5 標準き電盤, 受電盤
Standard type feeder cubicle and receiving cubicle.

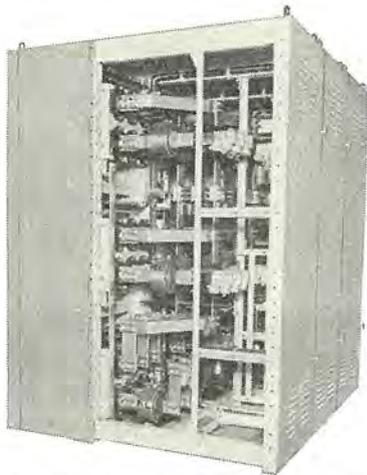


図 2.4 しゃ断器キュービクル内部(側面板をはずした所)
Interior of circuit breaker cubicle (side plate removed).

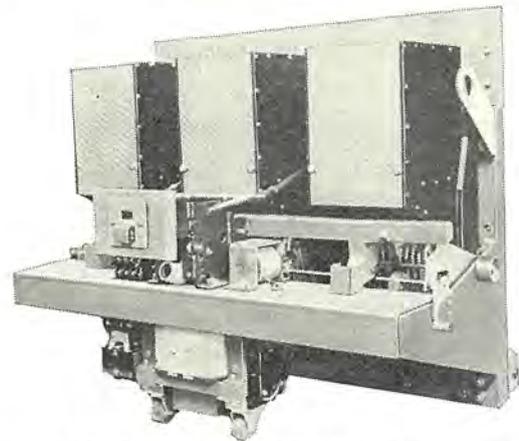


図 2.6 閉鎖3段引出形DB-150形気中しゃ断器
Three position draw-out type DB-150 low voltage power circuit breaker.

表 2.1 DB形気中しゃ断器交流定格
Ratings of type DB low voltage power circuit breakers for AC use.

形式記号	定格電圧 V 50/50 c/s	定格電流 A		定格しゃ断電流 kA		定格投入電流 kA
		閉鎖箱内空気温度 55°C 以下の状態におけるもの		短絡発生後 1/2 サイクルにおける電流		
		最大値	最小値	非対称(RMS)三相平均値	対称値	
DB-25	600	600	40	30	25	51
	550		100	35	30	69※
	250		150	50	42	97※
DB-50	600	1,600	200	50	42	97
	500		350	60	50	115※
	250		600	75	65	150※
DB-75	600	3,000	2,000	75	65	150
	500		75	65	150	
	250		100	85	195※	
DB-100	600	4,000	3,000	100	85	195
	500		100	85	195	
	250		150	130	300※	
DB-150	600	5,000	4,000	100	85	195
	500		100	85	195	
	250		150	130	300※	

備考 最大設計電圧を示す
直列コイル定格電流の標準値(A)は 40, 50, 70, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1,000, 1,200, 1,600, 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, 5,000
(1) 3極, 三相短絡しゃ断の場合を示す.
(2) 短絡力率 0.15 以上の場合を示す.
(3) 短絡時引きはずし要素付の場合, ならびに後備しゃ断方式の場合は別表による.
※印は瞬時引きはずし要素の場合.

表 2.2 選択しゃ断方式に対する定格短時間電流および連続定格電流
Ratings for selective application.

形式記号	定格電圧 V	定格短時間電流 kA			連続定格電流範囲 A		
		短絡発生後1/2サイクルにおける電流			0.1秒 短限時帯	0.2秒 短限時帯	0.4秒 短限時帯
		0.1秒 短限時帯	0.2秒 短限時帯	0.4秒 短限時帯			
DB-25	600	25	25	25	175	200	250
	500	30	30	25	~	~	~
	250	40	35	25	600	600	600
DB-50	600	50	50	50	350	400	500
	500	60	55	50	~	~	~
	250	65	60	50	1,600	1,600	1,600
DB-75	600	75	75	75	2,000	2,000	2,000
	500	75	75	75	~	~	~
	250	90	80	75	3,000	3,000	3,000
DB-100	600	100	100	100	4,000	4,000	4,000
	500	100	100	100	~	~	~
	250	130	115	100	~	~	~
DB-150	600	100	100	100	5,000	5,000	5,000
	500	100	100	100	~	~	~
	250	130	115	100	~	~	~

(注) 同路短絡電流は定格短時間電流を越えないこと。

表 2.3 後備しゃ断方式に対する短絡電流限界値
Ratings for cascade application.

形式記号	600 V		500 V		250 V	
	非対称三相平均値	対称値	非対称三相平均値	対称値	非対称三相平均値	対称値
DB-25	50,000	42,000	70,000	60,000	100,000	85,000
DB-50	100,000	85,000	100,000	85,000	120,000	100,000
DB-75	100,000	85,000	100,000	85,000	150,000	130,000
DB-100	100,000	85,000	100,000	85,000	150,000	130,000
DB-150	100,000	85,000	100,000	85,000	150,000	130,000

(注) 1. 連続定格電流は表 4.1 参照のこと。
2. 過電流引きはらずし装置が同時引きはらずし要素をもつ場合にのみ適用できる。

2.3 低圧気中しゃ断器

パワーセンタ用低圧気中しゃ断器として最も適したDB系列しゃ断器はすでに多数納入してきたが、最近の系統容量の増大に伴う機器容量大形化に対処するため、定格電流 AC 5,000 A の DB-150 形を系列に加えた。図 2.6 に写真を示す。表 2.1, 2.2, 2.3 に DB 系列の標準定格を示す。

2.3.1 適用

パワーセンタ用しゃ断器は、受電・母線連絡・電動機負荷回路・電灯負荷回路・コンデンサバンク回路等多くの用途があるが、それぞれについて、使用条件・保護条件を考慮したうえで適切なしゃ断器を選定する必要がある。これらについては、しゃ断器選定上の基準として考慮すべき事項を先に本誌にて詳しく述べたので、これを参照されたい⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

2.3.2 付属装置

上記のようにパワーセンタ用しゃ断器には、各種の性能および特性が要求されるがこれを全うするために、次の付属装置を用意している。

- (1) 直列過電流引きはらずし装置
- (2) 電圧引きはらずし装置
- (3) 不足電圧引きはらずし装置
- (4) 補助スイッチ
- (5) 自動しゃ断警報装置
- (6) 電氣的ロックアウト装置
- (7) 投入操作用電磁ツルノイドに機構ならびに制御継電装置
- (8) 交流投入操作用シリコン整流器

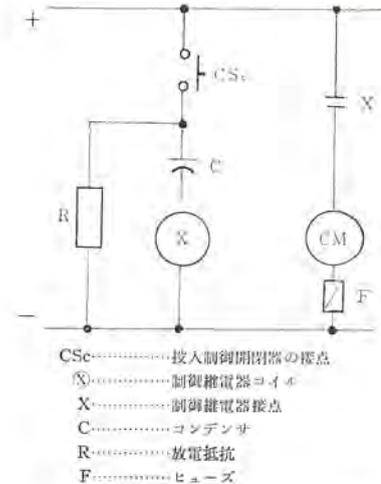


図 2.7 CX方式投入操作基本回路図
Schematic diagram of the operation control circuit.

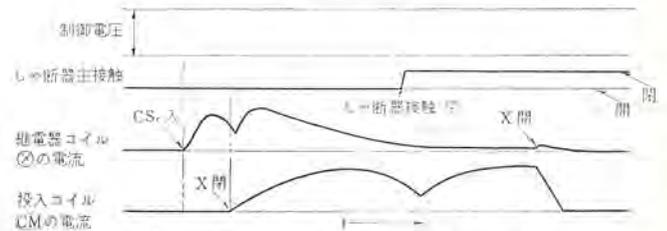


図 2.8 しゃ断器投入動作時のオシログラム (代表例)
Oscillogram of the closing operation.

(9) 手動投入操作装置

2.3.3 XC投入制御継電装置

近年、投入制御継電装置として、コンデンサ、電磁接触器および抵抗を使用したCX方式の継電装置を採用しているので、これについて説明を加えておく。

標準回路および動作オシログラムの一例を図 2.7, 2.8 に示す。動作は、

- (1) 投入制御開閉器 CSc を閉じれば、コンデンサ C の充電電流によって、継電器 X が励磁されその接点 X を閉じる。
- (2) 投入操作コイル X が励磁され、しゃ断器を投入する。一方コイル X に流れるコンデンサ C の充電電流は、時間とともに減少し継電器 X の落下電流以下になれば、接点 X は開放しコイル X の励磁を断つ。
- (3) 投入制御開閉器 CSc を開放することによってのみコンデンサ C の放電が抵抗 R を通じて行なわれ、電氣的に復帰状態となるので完全に電氣的引きはらずし自由方式を満足する。

このCX方式は、標準の電磁接触器とコンデンサおよび抵抗を組合せたものであり、しゃ断器本体との機械的な連けがなく、単純化されているため、調整も不要で保守も容易である。

2.4 収納器具

パワーセンタには、それぞれ下記仕様のもを収納している。

(1) 主変圧器

主変圧器は通常 300~2,000 kVA の H 種絶縁乾式変圧器を標準としており、車輪付きでキュービクル搬入形としている。乾式変圧器は万一変圧器に事故が生じても、火災を生じたりして被害がほかえ波及する危険性がない。また油入変圧器に比べ、重量、外形寸法が大幅に小さく、貴重な据付空間を大幅に節約することができる。自冷式が普通であるが、1,500 kVA 以上の場合には風冷式もみられる。

風冷式の場合、変圧器本体に冷却用ファンをつける場合もあり、冷却用ファンを別置形として同じキュービクル内に収納して変圧器風筒と連結する場合もある。変圧器一次側は高圧あるいは特高となるため、変圧器キュービクル正面とびらには錠前をつけて安全を期している。

(2) 計器用変流器，零相変流器

計器用変流器は貫通形で、ブチルゴムモールド形のBB形CTを使用している。一次電流が3,000 Aを超過する大電流の場合はダイレジン含浸形TW-O形CTを使用している。いずれもCTは内部を導体が貫通し、導体に固定されている。ビル等の三相4線直接接地式では、各フェーダにブチルゴムモールド形のZCTを設け、接地検出を行なう場合が多い。ケーブル引出しの場合は貫通形、バスダクト引出しの場合には一次導体付きのZCTを使用する。

(3) 計器用変圧器および一次ヒューズ

PTはダイレジン含浸形のTV-M形、PT一次ヒューズは電流制限形電力ヒューズで、PL-E形600 V，2 A，シャ断電流100 kA（非対称実効値）であり、両者は一つの台車に組み込まれ、引出し構造となっており、保守・点検に便利な設計となっている。

(4) 母線導体

母線および接続導体は導電率5.5% IACS以上の電気用アルミ合金帯を標準設計として使用している。導体は裸導体であり、主としてフェノール樹脂積層板等の有機絶縁物で支持され、シャ断器の定格シャ断電流と協調した熱的、電磁力による機械的強度を考慮して設計されている。導体の接続部は銀メッキを行ない、規定の締付けトルクでボルト締めされている。母線の温度上昇限度については、JEM 1153 閉鎖配電盤の“周囲温度最高40°Cとして、銀-銀接触の場合、導体および導体接続部の温度上昇限度は55°C”を準用している。

3. NF形ノーヒューズシャ断器，NFT形 トライパックシャ断器

ノーヒューズシャ断器は配線の過負荷、短絡電流からの保護を目的として開発されたもので、近年設備容量の増大につれて定格電流の大きなものの需要も多くJEM規格には1,000 Aフレームのものまでであるが、現在ではこれをはるかにこえた2,000 Aフレームのものも製作されており、シャ断容量もAC 220 Vで、75 kA，AC 460 Vで60 kAという大きな値となっている。

また最近では低電圧配電路の設備容量が増し、事故発生時の短絡電流は著しく大きく、ノーヒューズシャ断器のシャ断能力を上まわるようになった。NFT形トライパックシャ断器は、このようなシャ断容量の不足を完全に補うために、回路の過電流や短絡電流に対して保護す

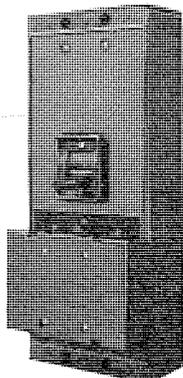


図 3.1 NFT-600形トライパックシャ断器
Type NFT-600 tripac circuit breaker.

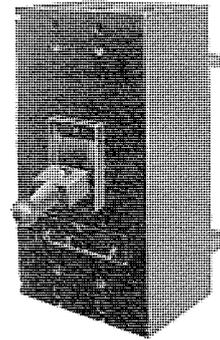


図 3.2 NF-2000形ノーヒューズシャ断器
Type NF-2000 no-fuse breaker.

表 3.1 ノーヒューズシャ断器の種類と定格
Interrupting and continuous ratings of no-fuse breaker.

名 称	フ レ ム 式 A	定 格 電 流 A	定 格 シャ 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 シャ断器	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 トライパック シャ断器	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

るノーヒューズシャ断器と、大シャ断容量を有するFLT形限流ヒューズを小形にまとめたもので、AC 220 Vで150 kA，AC 460 Vで100 kAのきわめて大きいシャ断容量を持ったモールドケースの気中シャ断器である。表 3.1 にノーヒューズシャ断器の各種定格を示す。

4. む す び

以上低圧パワーセンタおよびノーヒューズシャ断器，トライパックシャ断器についてその概略を述べたが、低圧配電装置は現在もなお発展の途上にあり、今後さらに新しい形のものおよび大容量のものが実用に供されることであろう。このような情勢の中にあつて、われわれは絶えずよりよい製品の開発に努力するとともに、実用性能面の向上のために、なおいっそうの改善に努め事故皆無の保護装置を提供しなければならない。

参 考 文 献

- (1) 勝田，竹内：DB-75，DB-100形低圧気中シャ断器 三菱電機，35，No. 7 (昭36)
- (2) 勝田：DB形シャ断器による船舶電気回路の保護 三菱電機，33，No. 5 (昭34)
- (3) 勝田，竹内：DB形低圧気中シャ断器 三菱電機技報，38，No. 4

CNF 形分電盤および NC 形コントロールセンタ

町野 康 男*

Type CNF Distribution Panels and Type NC Control Centers

Nagoya Works Yasuo MACHINO

Type CNF distribution panels and type NC control centers, the most general distribution equipment of low voltage power circuits, are increasing in their demands of late because of their merits of ease in planning, high degree of safety and great flexibility. In their application to auxiliary motor operation of power stations and steel mills or to control of low voltage induction motors of various industrial plants such as oil and paper manufacture, much discussion is needed to the selection and combination of many types of switch gears in consideration of the capacity of installations, construction costs and losses at a standstill. The article describes such low voltage power supply equipment as given above of its type, features and other points to give aid to planning.

1. ま え が き

発電所・工場・ビルなどの低圧配電設備や、誘導電動機の集中制御装置として、利用されている NC 形コントロールセンタや CNF 形分電盤は、すでに最も一般的な低圧閉鎖形動力盤として利用されている。計画の容易さ、大きな安全性と信頼性、保守点検の容易なことなどは、その他の種々の特長に加えて、近年さらにその真価を発揮している。

最近はまだ標準化された形式が量産体系の製造ラインにのって、コストダウンのメリットを大いに発揮しつつも、ユーザ側のプラントの特殊な要求に合わせて、種々の仕様のものが開発されて、素材の標準化を軸としたいろいろの形式のもので生産されている。現状における NC 形コントロールセンタならびに CNF 形分電盤の新しい特長をあげれば、

(1) プラントにおける低圧誘導電動機制御装置の計画を非常に容易に、また短期間に計画し、設備できることである。

(2) プラント設備が大形化し、各機器の単位装置が複雑な有機体として連けられているため、小容量の補機電動機の制御装置と言っても、信頼性や安全性については非常に大きなものが要求されることである。NC 形コントロールセンタは、この点に関しても常に改良研究が加えられてきたことである。

(3) さらに近年、プラントの要求がそれぞれのプラントの特性に合わせて多様化しているが、あらゆる要求に応じられるよう素材標準を中心とした融通性のある形になってきたことである。

本論文では、低圧制御設備を CNF 形分電盤ならびに NC 形コントロールセンタで計画する場合の、主として電源部分の諸問題を中心に融通性のある形式や特長ある構造の詳細を紹介したい。

2. 低圧システムの計画と盤の構造

昭和 38 年電気学会に工場配電専門委員会が設立され、日本の工場配電の現状について調査が行なわれた。昭和 40 年これが電気学会より「工場配電の現状調査報告」として発行された。本資料は日本の工場配電に関する事情を知り、または技術上の問題を知る手がかりとして貴重であるが、本論文においてもこの調査報告書のデータを参考資料として比較検討しつつ説明をしたい。

2.1 動力変圧器の容量

表 2.1 動力変圧器の容量
Capacity of power transformer.

二次電圧 kVA	製 作 例 (%)			学会データ
	200 V	400 V	計	
300 以下	47	5	19	16
500 以下	41	25	30	32
750 以下	12	45	34	24
1,000 以下	0	17	11	10
1,500 以下	0	8	6	7
以上不明	0	0	0	1

電気学会調査報告(以下調査報告という。)によると、200 V 級では 500 kVA が、400 V 級では 750 kVA が最も多く設備されている。NC 形コントロールセンタあるいは CNF 形分電盤の電源設備となった動力変圧器の過去 2 年間の調査によると、表 2.1 のとおりである。(プラント内において数種あるものは代表値を選んだ。)変圧器の設備容量の大きさは、近年ますます大形化の方向にあり、二次フィーダのシャ断器や分岐シャ断器のシャ断容量に重大な関係をもつものであるが、この関係については 3.3 節にのべる。

2.2 動力変圧器の二次定格電圧

400 V 級ではサイクルによる区別がはっきりしており、50 c/s 420 V、60 c/s 440 V、460 V がもっとも一般的である。調査報告でもべられているとおり、電圧設計の問題は、使用電圧に変圧する変圧器の一次側タップをいかに選ぶか、一次二次フィーダの電圧降下をいかに設計するかによってきまる。フィーダの電圧降下は 2.4 節でのべるロードセンタやバスダクト方式を採用したサブステーションでは、ほとんど無視されるので、コントロールセンタの電源電圧は変圧器二次定格電圧以下になることは少ない。

このことはコントロールセンタに収納されている電磁開閉器のコイルにかかる制御電圧にも影響があり、一般には過電圧に対する考慮のほうが必要になる場合が多い。

実際に NC 形コントロールセンタの場合にも、操作変圧器のタップは、460 V 440 V/110 V 60 c/s、420 V 400 V/100 V 50 c/s 用に製作されている。

2.3 動力変圧器二次しゃ断器

変圧器の二次しゃ断器の選定は、二次フィーダの形式や数などとともに、低圧配電回路に非常に重要な意味をもっている。

二次系統の選択しゃ断を必要としない場合で、二次フィーダのしゃ断器に十分なしゃ断容量があれば、変圧器二次しゃ断器を省略して図2.1のようなバスダクトを応用した非常にコンパクトで、しかも安全性の高い形にまとめることができる。この場合には、コントロールセンタのユニット2段分(L2形)がフィーダしゃ断器用として利用されるため、二次フィーダ盤を別に設ける必要はなくなる。一般には図2.2のようなCNF分電盤がフィーダパネルとして発電所や装置工業に広く利用されている。形式と外形寸法およびフィーダ数の一例を表2.2にあげる。

過去2カ年のデータによると、上記のように二次フィーダをかねた二次しゃ断器にNF形ノーヒューズしゃ断器(以下NFBという。)を使用して、負荷グループを分岐する例が全製作例の50%以上にもな

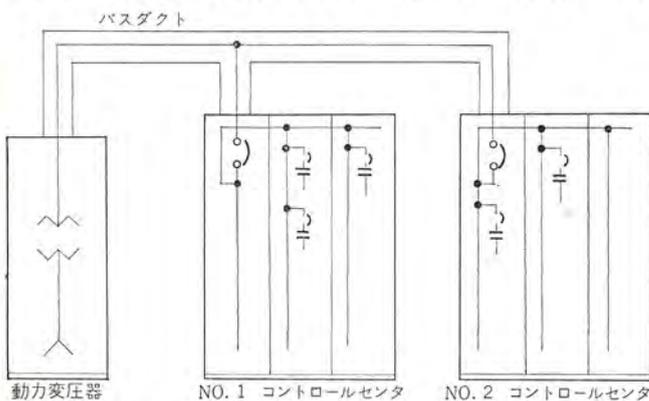


図 2.1 二次しゃ断器を収納したコントロールセンタ群
Control center group with the secondary circuit breaker.



図 2.2 CNF 分電盤
Type CNF feeder panel.

表 2.2 CNF 分電盤フィーダの取付個数
Number of feeders in Type CNF distribution panel.

形 式	外 形 寸 法 奥行 520 高さ 2,300	フ ィ ー ダ 個 数		母 線 容 量 (A)
		NF 400	800	
CNF-23 N	幅 510	3	2	1,200
CNF-23 W	幅 760	7	6	1,200
CNF-23 A	幅 760	9	6	2,000

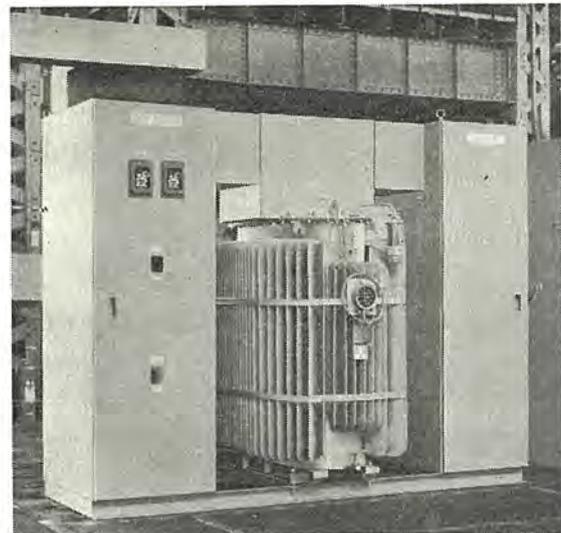


図 2.3 ロードセンタ
Load center.

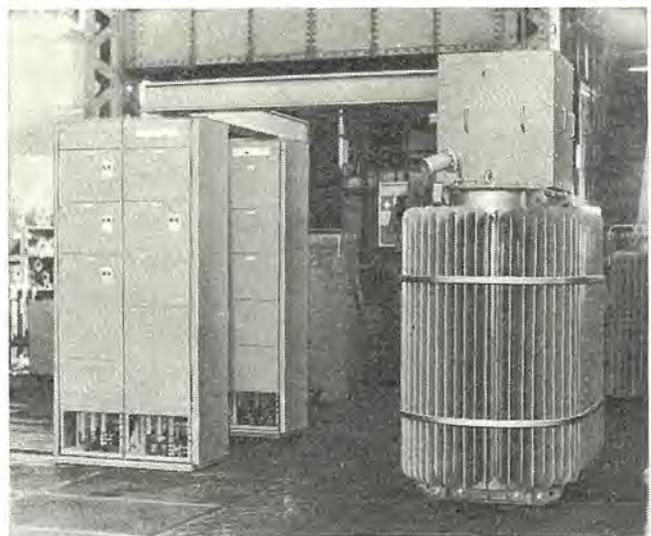


図 2.4 ロードセンタとコントロールセンタ群
Load center and control center group.

り、一例を400V級500~1,000kVA変圧器の場合にとると、NF600AFが4~5フィーダとした変電設備が最も一般的である。ちなみに二次フィーダの1回路あたりの施設の建設費が最低になる数値を試算すると、200Vで100kVA、400Vで200kVAになっていることが調査報告でものべられている。

2.4 ロードセンタ形式

近年サブステーションの標準形式として工場組立てのロードセンタ形式、または一次盤やバスダクトと組み合わせられる図2.3のような形式が非常に増加している。図2.4もその一例で、変圧器の二次フィーダはバスダクトにより直接NC形コントロールセンタの水平母線に接続されている。また各グループの上部2段ユニット(L2形)には、NF400B形あるいは600B形ノーヒューズしゃ断器が収納されてフィーダしゃ断器となっている。

2.5 動力変圧器の二次しゃ断器に気中しゃ断器を使用する場合 2.5.1 選択しゃ断を行なわせる場合

動力変圧器の二次しゃ断器に、気中しゃ断器を利用してNC形コントロールセンタのユニットのNFBとの選択しゃ断を行なわせる場合は、気中しゃ断器を短時間要素付きとし、NFBにはその回路を十分にしゃ断できるフレームを選定することが必要である。分岐回路に用いら

れるような小定格電流の NFB は、一般にしゃ断容量が小さいのが普通である。NC 形コントロールセンタの場合には、5 段あるいは 8 段積みの最小段ユニットに収納できる 100 B 形あるいは 100 E 形フレームで、220 V の場合それぞれ 30,000 A、20,000 A、400 V 級では 20,000 A、15,000 A のしゃ断容量（“0”1 回のしゃ断試験）をもっているが、この方式で製作する場合は分岐用しゃ断器にも余裕をもたせるため、限流リアクトルなどと併用して、200 V 級で 20,000 A、400 V 級で 15,000 A の値まで限流して計画するのが一般的である。

2.5.2 バックアップ方式

400 V 級で 1,000 kVA をこえる大容量変電設備では、コントロールセンタのユニット分岐しゃ断器のしゃ断容量不足を補うため、二次しゃ断器にしゃ断容量の大きな気中しゃ断器を使用することがある。

ところが分岐用ノーヒューズしゃ断器のしゃ断容量の不足をバックアップする目的で、動力変圧器の二次しゃ断器に気中しゃ断器を使用することは、前項でのべたように二次しゃ断器に NF 形しゃ断器を用いる場合よりもバックアップの効果は少ない。これは分岐しゃ断器のノーヒューズの開極時間（定格しゃ断電流において約 1 c/s 以下）に比べて、気中しゃ断器のしゃ断時間（瞬時付きでも 1.5 c/s 以上）が長いため、重畳しゃ断の効果がまったく期待できないからである。このような場合は、3.3 節でのべる限流ヒューズを組み込んだ NFT 形トライバックしゃ断器を使用することが非常に有効である。

3. コントロールセンタの規格と仕様

NC 形コントロールセンタを内部の規格の面から検討して、計画上の要点をあげてみるとつぎのような事項がある。規格としては“NEMA SECTION III Part 22 Motor Control Center”“ASA-15.55 Control Center”“JEM-1195 コントロールセンタ”などである。

3.1 定格電流

水平母線・垂直母線の定格電流はそれぞれ表 3.1 のとおりである。ところが実際には電源系統のいろいろの仕様により、多系統の母線が同一キュービクル内に混在することがあり、NC 形コントロールセンタにおいては、各種の形式と定格の母線が標準箱に収納され標準化されて多方面に利用されている。

図 3.1 (a) はフィーダ用 NFB を NC 形コントロールセンタグループの上部 L 2 形ユニットに収納したもので、通常 400 B または 600 B 形が使用される。この場合のフィーダの電源側の引込み母線は箱前面の母線室が利用され、フィーダ二次側のグループ内水平母線は、箱後面の母線室を貫通して、各垂直母線に電源を供給している。

もし NC 形コントロールセンタが両面形の場合は、そのフィーダの裏側も分岐用ユニットとして利用でき、非常に効率的な母線形式である。図 3.1 (b) は二つのグループの母線連絡用しゃ断器を前記と同様に一つの箱内の前後両母線室を利用して配置したもので、とくに連絡母線盤を必要としない NC 形コントロールセンタ母線室の大きな特長である。

3.2 母線短時間電流

一般に表 3.2 のとおり規格化されている。水平・垂直母線とも、母線間隔・母線ささえ間距離・母線厚さなどから熱的・機械的強度が計算されており、NC 形コントロールセンタの場合は、NEMA 法により必要な母線ささえの支持間隔を決定して取付けている。

3.3 しゃ断器容量の検討

コントロールセンタユニットのしゃ断容量については、調査報告でもとく

表 3.1 コントロールセンタ定格電流
Rated current of control center.

日 本	水 平	4, 6, 8, 10, 12×10 ² A
	JEM-1195	垂 直
ア メ リ カ	水 平	6, 8, 10, 12×10 ² A
	NEMA	垂 直
三 菱	水 平	4, 6, 8, 12, 16×10 ² A
	NC 形	垂 直

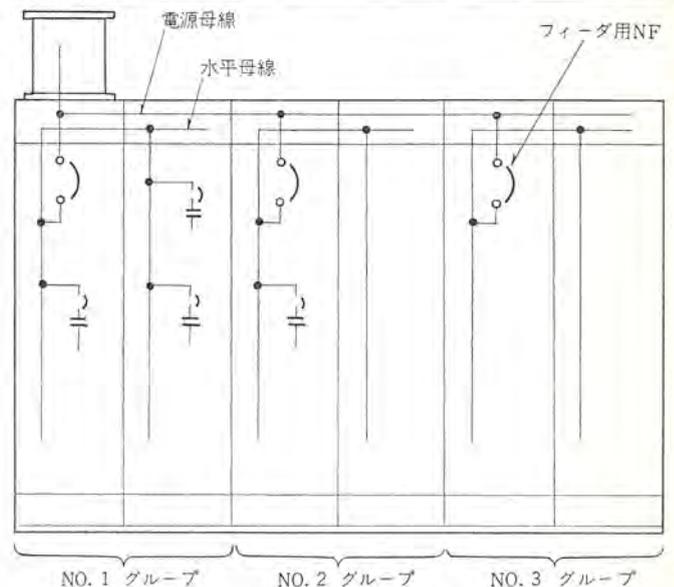


図 3.1 (a) NC 形コントロールセンタ母線
(a) Horizontal bus of Type NC control center.

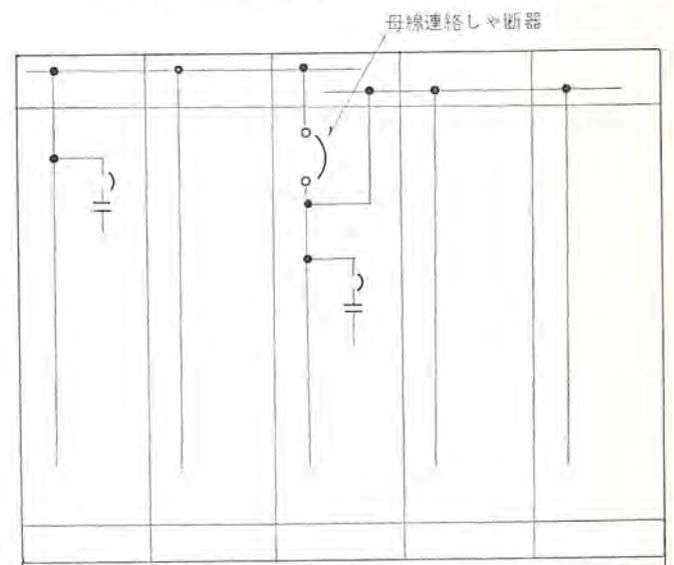


図 3.1 (b) NC 形コントロールセンタの連絡母線
(b) Bus tie of Type NC control center.

に重要な問題としてとりあげられて、次のように記述されている。すなわち「低圧モータスタータのしゃ断器は、電源になる使用電圧設備（変電所）が大きいために、しゃ断容量が不足する場合がある。」さらに「このしゃ断器は数が多く全工場に散在するから、高価なしゃ断容量の十分ある機器を設備したり、完全に保護を行なうことが困難である。」と述べている。これは一つは低圧系統におけるしゃ断容量の検討が十分詳細に行なわれていないこともあって、調査報告

表 3.2 コントロールセンタ定格短絡時間電流
Rated short circuit current of control center.

日 本 JEM-1195	10, 15, 20, 30, 40×10 ³ A 実効値 1 秒間
ア メ リ カ NEMA	10, 14, 22, 30, 40×10 ³ A 3 秒
三 菱 NC 形	10, 15, 20, 30, 50×10 ³ A 1 秒

表 3.3 低圧回路の短絡電流の計算
Calculation of short circuit current on low voltage circuit.

計算に用いるインピーダンス	工 場 数
変圧器インピーダンス	47
変圧器+線路インピーダンス	8
詳 細 計 算	17
計 算 し な い	26
そ の 他	14
計	112

のデータでも表 3.3 のとおりであり、また実際に実インピーダンスが非常には握しがたいのが実情である。調査報告はなお、「低圧回路の設計は建設費と万一事故発生時の休止損失を比較して適当にバランスをさせなければならないから、短絡容量を略算して、不足するものを一概に悪いとはいえない。信頼度を分析しても、もっとも経済的な設計法を確立する必要がある。」と結んでいる。このような意見に対して NEMA 規格の性能基準は、かなり具体的表現をもって、休止損失を最少にしつつ経済的に設計すべき思想が明らかであり、つぎにその要点をしめす。

3.3.1 NC 形コントロールセンタのシャ断容量

NC 形コントロールセンタの場合も、とびら・ユニットケース・ユニット内配線や器具の取付構造に検討を加えつつ、三相シャ断 1 回における十分なシャ断容量をもった NF の形式を選定して、効果的な保護ができるよう定格値を定めている。

さらに前述したように、電源用の NF シャ断器あるいはファイダ用 NF シャ断容量との縦続接続により、さらに安全にバックアップ保護の効果をあげている。最小積段数の S1 形ユニット (240 m/m 形 8 段積式) に収納できる NF-100 E 形シャ断器は JEM-1195 規格、あるいは NEMA 規格の条件では 460 V 20,000 A のシャ断容量を持ち、NF-600 B 形電源用シャ断器との縦続接続では、460 V 1,000 kVA 用の分岐シャ断器として実験的に安全であることが確かめられており、また数多くの実績をもって石油化学工業など各種の装置工業に供されている。

3.3.2 限流ヒューズの利用

近年電源設備が大形化して、分岐用の小形 NFB のシャ断容量を大幅に上回る短絡電流が流れる場合には、100 kA ものシャ断容量をもった限流ヒューズが分岐シャ断器のバックアップとして見直されてきた。限流ヒューズは定格シャ断電流値の付近では限流効果も大きく、高速シャ断して非常に良好な特性である。

ところが通常の負荷端では回路インピーダンスに押えられて限流ヒューズの数十倍程度の短絡電流しか流れないが、この場合は限流効果

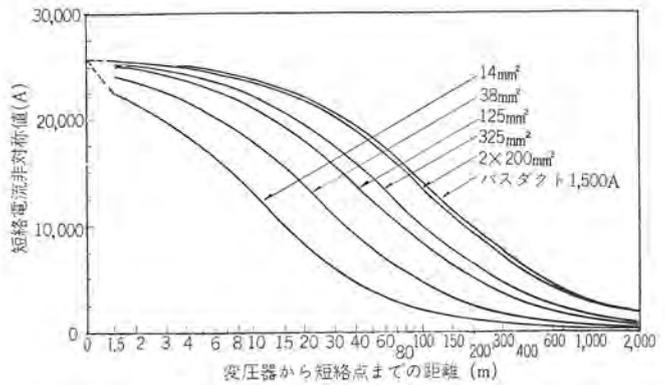


図 3.2 短絡電流曲線
Characteristic of Short circuit current.

表 3.4 高圧シャ断容量ユニット
High rupturing capacity units.

段 数	kW		ユニット形名	ユニットシャ断容量	
	200 V	400 V		200 V	400 V
L 1 (360)	7.5	11	L 1-10 TMO 3 N	100 kA	100 kA
L 1 (360)	19	30	L 1-10 TMO 7 N	100 kA	100 kA
L 2 (720)	25	45	L 2-22 FM 10 N	50 kA	30 kA
L 2 (720)	37	75	L 2-22 FM 15 N	50 kA	40 kA
L 3 (1,080)	75	150	L 3-40 BM 30 N	75 kA	40 kA

が少なく、かえってヒューズの動作時間が長く、コントロールセンタ内の機器に大きな熱的損傷をあたえることも考えられる。

実際にコントロールセンタの電源母線の所で想定される大きな短絡電流も、コントロールセンタの外部引出端子台付近では、盤内配線のインピーダンスによって数十%程度にも限流されることが実験的にも確かめられ、たとえば図 3.2 のとおりである。いままでシャ断器とヒューズは、どちらか一方で回路を保護する場合、せり合いするものと考えられていたが、おのおのがその特長を十分に生かし互いに相手の不足しているところを補うよう組み合わせられるならば、大きな成果が得られることがわかって、外国においてもアメリカやヨーロッパにおいてすでに実用化されており、この種のシャ断器により電力の需要に応じた大容量の電源も一個所に集中して設置でき、小形・安全かつ経済的に回路の保護が行なえるようになった。これがトライバックシャ断器を利用した NC 形コントロールセンタである。

3.4 トライバックシャ断器の適用

CNF 形分電盤のファイダ用シャ断器、あるいは NC 形コントロールセンタの分岐用シャ断器にトライバックシャ断器を利用すると、単体で 100 kA 以上のシャ断容量をもっているの、シャ断容量の点ではまったく問題ない。さらに短絡電流シャ断時の通過エネルギー I^2dt はシャ断器はもちろん、接続される電線や機器に損傷を与えないよう十分に限流することができ、表 3.4 のようにコントロールセンタのユニットが標準化されている。

電源シャ断器やファイダシャ断器にトライバックシャ断器を用いて、分岐用シャ断器に NF 形シャ断器を使用して、カスケード接続をさせることは、NF-NF のカスケードと同じくきわめて重要なことである。

トライバックシャ断器は本来が高速度限流ヒューズと、NFB のカスケード保護をその原理としているものであるから、電源シャ断器にトライバックシャ断器を使用して、シャ断時間が分岐シャ断器の NFB の

表 3.5 NFT にカスケーディングされる NFB のしゃ断容量
NFB rupturing capacity cascading on NFT.

分岐 NFB	NFT 形トライパックしゃ断器	
	NFT 400	NFT 600
NF-100 E	20,000	20,000
NF-100 B	30,000	30,000
NF-225 G	60,000	60,000

開極時間より短かく、かつそのしゃ断の際の通過電流が NFB の短時間電流耐量よりも小さくなるならば、カスケードしゃ断は非常に有効で、NFB・NFB の場合よりもさらに効果的である。表 3.5 はその一例である。

今電源トライパックしゃ断器の電磁引きはずし領域を調整して、クロスポイント電流値を比較的低電流領域に移せば、カスケードのしゃ断可能限界はさらに向上するものと推定され、数万 A の短絡電流領域に対しても、小形の分岐 NFB で十分回路保護ができる方式が開発され、非常に経済的な低圧分電設備、あるいはコントロールセンタが製作

されるものと思われる。

4. む す び

以上、電気学会の工場配電専門委員会調査報告および各国の規格と対比しながら、CNF 形分電盤、NC 形コントロールセンタおよびロードセンタの各種を紹介した。残念ながら現状では低圧配電設備としてまだまだ未解決の事項も多く、今後さらに研究・開発をすすめて、配電設備が進歩改善され、経済的で安全な機器を製作しなければならない。さらに本論文では割愛したが、

- (1) 屋外形・防食形・防じん形などの特殊環境に使用される設備。
- (2) 600 V 以下の中性点接地と地絡検出器。
- (3) 休止損失を防ぐための非常切換回路や電磁開閉器の落下防止の対策。

など数々の問題があるが、いずれ稿をあらためて詳述したい。
(昭 43-4-3 受付)

参 考 文 献

- (1) 工場配電専門委員会：電気学会技術報告 第 77 号 (昭 41)

バスダクト配線方式の適用

堀田 滋 矩*

Application of Low Voltage Bus Ducts

Nagoya Works Shigenori HOTTA

Low voltage bus ducts are now in frequent use for feeder lines in factories and large buildings. Their application has been mostly limited to the main lines for economical reason. But when aluminium conductors are need for the installation rated above 400 A, it is more economical to set up the bus ducts than metallic conduits. Corrosion was a problem that harassed engineers with aluminium in the past, but it has been mostly done away with by ingenious measures. Now the aluminium is applicable in the same way as copper. The article describes, as well as the introduction of the above fact, various necessary items in the planning of bus ducts such as selection of rated current, short circuit current, voltage drop, installation of automatic circuit breakers, processes of laying and conditions calling for special consideration.

1. ま え が き

低圧バスダクトは、新しい配線材として登場し、工場・ビルなどにおける受配電設備の近代化、受配容量の増大、ネットワーク方式の検討に不可欠なものになってきた。しかしバスダクトは反面、需要家各位から「高価なため大電流幹線にしか使えない。」と評価されてきた。

本文では、バスダクト工事と金属管工事との経済的比較をし、現段階におけるバスダクトの優位点を確認のうえ、計画時に必要な技術的事項をのべ、バスダクト需要家各位のご参考に供したい。

2. バスダクト配線の経済的比較

大電流幹線にしかバスダクトは引き合わないと言われるが、はたして定格電流何アンペアが金属管工事と経済比較をしたときの限界になるか、つぎの資料を紹介する。

このデータは、給電線の材料費と工事費とを単に比較したものである。金属管工事の場合、給電線の回路数が増せば各分岐ごとにしゃ断器を設置するため経費増しとなり、室内占有面積も大きくなる。また、幹線の回路数が多くなると、運用上や保守上の問題も起こる。バスダクトは金属管工事よりも長寿命であるので、設置時の工事費が多少高くても、年経費を考慮すると次のような結論になる。

(1) アルミ 導体 バスダクトの定格電流 400 A 以上は金属管工事より経済的。

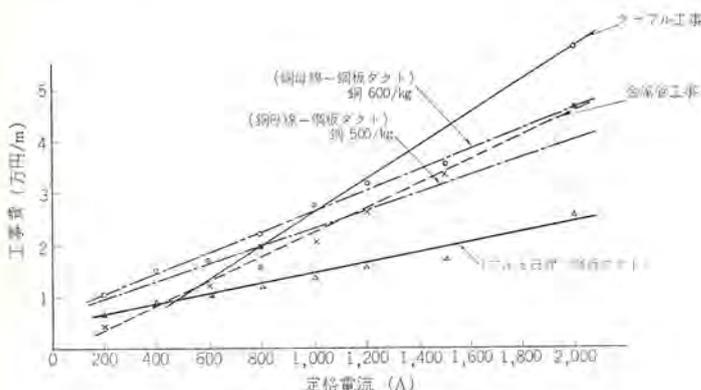


図 2.1 給電線工事費の比較

Comparison of construction costs of various feeder lines.

(2) 銅導体 バスダクトの定格電流 1,000 A 以上は金属管工事より経済的。

金属管工事は現地で配管・通線工事が実施されるため、人件費の高騰により工事費は今後も高くなると考えられる。一方バスダクトは、単位長が工場で作成されているので、現地では据付工事のみで、通線費はまったく必要としないし、メカの研究と需要増加により価格は下がる余地がある。このため将来は、もっと小電流域までバスダクトが使用される見通しである。

3. 適用上の注意事項

バスダクトを適用するさい、必要と考えられる事項について述べる。

3.1 アルミ 導体と銅導体の選定

アルミ 導体は、銅導体の価格高騰にもなう暫定的な代替材料のように考えられているが、そのようなものではない。アルミ 導体をバスダクトに採用したときに問題とされる技術事項はつぎのように解決されており、一般室内では、銅導体とまったく同等に使用できる状態になっている。

導体接続部分の表面処理

一般にアルミ 導体接続部分の表面処理は、銀めっきまたははずめっきが実施される。JIS C 8364 バスダクト電気設備技術基準では、Ag, Sn, Cd めっきの3種類が認められている。電気的接触抵抗は、 $Ag \rightarrow Sn \rightarrow Cd$ めっきの順となり、Ag めっきがすぐれている。しかし夏期における高温高湿・布設ふんい気が臨海工業地域に属している状態が多いわが国の条件は、電食問題を提起する。電食を発生するふんい気における電気的接触抵抗は、 $Cd \rightarrow Sn \rightarrow Ag$ の順序となる。

これは、電食の発生原理と考えられる、ある電解質溶液に対する両金属の電位が異なるため局部電池が形成され、電流が流れ、低電位の金属が溶解する現象を考えると容易に理解される。各種電解溶液に対する、Ag, Sn, Cd めっきについて電位を求めると図 3.1 のようになる。導体接続部分のテストピースで、高温・高湿 (90°, RH 100%)、塩水噴霧テストを実施し、外観・接触抵抗・重量変化を測定した結果も図 3.1 から容易に推定される結論と同じであった。

この結果、当社では、バスダクトのように恒久布設物として使用するものは電気的接触抵抗よりも電食問題を重く見て、特殊めっき (Cd 系) を実施している。

表 2.1 給電線工事費の比較
Comparison of construction costs of various feeder lines.

工 事 種	定格電流 (A)	条 件	材 料 費 (円)				工 事 費 (円)			総 計 (円)
			電 線	電 線 管	付 属 品	計	※ 配 管 費	※ 通 線 費	計	
金 属 管 工 事	200	600 V ビニル電線 125 ² 3 本を厚鋼電線管(70)にそ う入 40°C 197 A	A 団 681-/m 98,100	442 m 21,200	電線管の 23% 4,880	124,180	14,200	62,500	76,700	200,880
	400	600 V ビニル電線 125 ² 3 本を厚鋼電線管(70)にそ う入 40°C 197 A 2 回路	196,200	42,400	9,750	248,350	28,400	125,000	153,400	401,750
	600	600 V ビニル電線 125 ² 3 本を厚鋼電線管(70)にそ う入 40°C 197 A 3 回路	294,300	63,600	14,640	372,540	42,600	187,500	230,100	602,640
	800	100 V ビニル電線 125 ² 3 本を厚鋼電線管(70)にそ う入 40°C 197 A 4 回路	392,400	84,800	19,500	496,700	56,800	250,000	306,800	803,500
	1,000	100 V ビニル電線 125 ² 3 本を厚鋼電線管(70)にそ う入 40°C 197 A 5 回路	490,500	106,000	24,400	620,900	71,000	312,500	383,500	1,004,400
	1,200	600 V ビニル電線 250 ² ×3 本を厚鋼電線管(82)にそ う入 4 回路 40°C 1,275 A	A 団 1,321-/m 761,000	516 m 99,100	22,800	882,900	93,800	306,500	400,300	1,283,200
	1,500	600 V ビニル電線 250 ² ×3 本を厚鋼電線管(82)にそ う入 5 回路 40°C 1,275 A 5 回路	952,000	123,800	28,400	1,104,200	117,000	384,000	501,000	1,605,200
	2,000	600 V ビニル電線 250 ² ×3 本を厚鋼電線管(82)にそ う入 7 回路 40°C 1,275 A 7 回路	1,332,000	173,200	39,850	1,545,050	164,000	537,000	701,000	2,246,050
バ ス ダ ク ト 工 事 (銅 母 線 銅 板 ダ ク ト)	200	最終需要者価格	433,000		14,400	447,400	56,800		56,800	504,200
	400	最終需要者価格	630,000		14,400	644,400	71,000		71,000	715,400
	600	最終需要者価格	708,000		14,400	722,400	85,250		85,250	807,650
	800	最終需要者価格	964,000		14,400	978,400	99,500		99,500	1,077,900
バ ス ダ ク ト 工 事 (銅 母 線 銅 板 ダ ク ト)	1,000	最終需要者価格	1,180,000		14,400	1,194,400	120,800		120,800	1,315,200
	1,200	最終需要者価格	1,359,000		14,400	1,409,400	142,000		142,000	1,551,400
	1,500	最終需要者価格	1,509,000		14,400	1,523,400	171,000		171,000	1,694,400
	2,000	最終需要者価格	2,355,000		14,000	2,369,400	213,000		213,000	2,582,400
バ ス ダ ク ト 工 事 (ア ル ミ 母 線 銅 板 ダ ク ト)	200	最終需要者価格	302,000		14,400	316,400	56,800		56,800	373,200
	400	最終需要者価格	346,000		14,400	360,400	71,000		71,000	431,400
	600	最終需要者価格	396,000		14,400	410,400	85,250		85,250	495,650
	800	最終需要者価格	494,000		14,000	508,400	99,500		99,500	607,900
	1,000	最終需要者価格	550,000		14,000	564,400	120,800		120,800	685,200
	1,200	最終需要者価格	597,500		14,000	611,900	142,000		142,000	753,900
	1,500	最終需要者価格	654,000		14,400	668,400	171,000		171,000	839,400
	2,000	最終需要者価格	970,000		14,400	984,400	213,000		213,000	1,197,400

(注) ※印は日本電設工業会出版 電気設備工事費の積算指針を参照した。

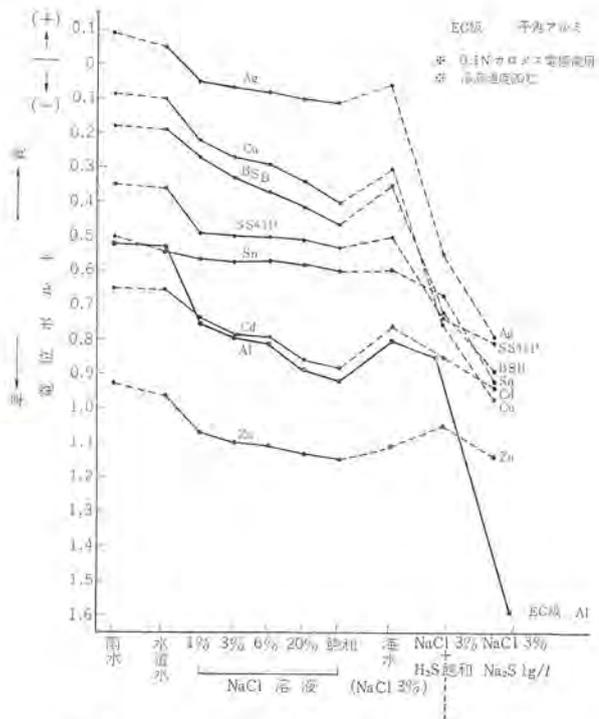


図 3.1 アルミ導体の各種電解溶液に対する電位
Potential of aluminium conductor against various kinds of electrolytic solution.

導体接続部分の締付ボルト座金は、すべて亜鉛有色クロメート処理を施している。また締付ボルトは、鋼製ボルトを採用しているため、アルミ導体に電流を流したとき導体温度の上昇にともない、鋼製ボルトとアルミ導体との熱膨脹係数の差により、アルミ導体に圧縮応力、鋼製ボルトに引張応力を誘発する。この冷→熱サイクルを繰り返したとき、アルミ導体にクリープを生じないように特殊な厚肉大座金を採用している。この特殊厚肉大座金は、アルミ導体にたとえクリープを生じて導体締付力を減少させない非線形特性を持たせたさら形ばね座金と種々組み合わせ、ヒートサイクルを実施したが差のない優秀なものである。

アルミ導体は、クリープの発生しやすいF材を避け、1/2H硬質のものを採用している。また、締付けトルクについても種々検討を加え、表3.1の値に設定している。この適正締付けトルクは、確実に布設現場で実施されるよう、低圧バスダクトを納入のさい適正締付けトルクに調整したレンチを貸出している。また、導体接続部分の接触面には、電解質溶液の浸入を防止するためにアルミ導体用導電性ジョイントコンパウンドを、接続直前にうすく塗りボルト締めを実施している。

ブライグイン差し込み部は、導体接続部分と同様、導電性ジョイントコンパウンドを使用している。差し込み回数が高いとメッキ部分の摩耗を招くが、50回程度は問題を生じないめっき処理が施されている。

この値より高い差し込み回数回数のときは、差し込み部を設けなくてもボルト締め接続を採用する。

アルミ導体用ジョイントコンパウンドは、種々のものが発売されており、試験の結果、それぞれかなり相違した特長を持っているため、バスダクト出荷のさい、ジョイントコンパウンドを当社から添付するようにしている。

上記のような対策がアルミ導体を実施されており、当社の低圧バスダクトは、アルミ導体の製品については昭和38年より実施しており、納入件数も約180件に達している。

表 3.1 導体締付ボルトの締付基準
Standard of fastening strength of conductor bolting.

締付けボルト (鋼製)	適正締付け力 kg/ボルト(鋼製)		※適正締付けトルク kg-cm	
	アルミ導体	銅導体	アルミ導体	銅導体
W 3/8	600	800	190	230
W 1/2	1,200	1,450	450	550

表 3.2 アルミ導体・銅導体バスダクト導体温度上昇値
Temperature rise values of aluminium and copper conductor bus ducts.

(注) JIS C 2364 の規定温度上昇値 (deg) 55°C

定格電流 (A)	導体寸法 (mm)	導体温度上昇の一例		定格電流 (A)	導体温度上昇の一例	
		周囲温度	温度上昇値 (deg)		周囲温度 (°C)	温度上昇値 (deg)
200	6.5×25	—	—	200	17	25
400	6.5×50	24	35	400	17	29
600	6.5×76	24	35	600	17	43
800	6.5×125	25	37	800	33	43
1,000	6.5×150	24	41	1,000	14	50
1,200	10×125	25	48	1,200	15	50
1,500	10×150	28	51	1,500	15	53
2,000	13×150	24	55	1,500	15	53

(a) アルミ導体

(b) 銅導体

表 3.3 アルミ導体・銅導体バスダクト連続許容通電電流
Continuous allowable passing current of aluminium and copper conductor bus ducts.

定格電流 (A)	導体温度 95°C(周囲温度 40°C) になる連続通電電流 (A)	定格電流 (A)	導体温度 95°C(周囲温度 40°C) になる連続通電電流 (A)
400	500	200	295
600	752	400	550
800	975	600	680
1,000	1,155	800	900
1,200	1,290	1,000	1,050
1,500	1,555	1,200	1,260
2,000	2,000	1,500	1,500

(a) アルミ導体

(b) 銅導体

$$I_1 = I_0 \sqrt{1 + \frac{\theta_1}{\theta_0}}$$

I_1 : 許容温度 θ_1 (温度上昇 55 deg) における連続通電電流

I_0 : 定格電流値

θ_0 : 定格電流通電時の温度上昇値

θ_1 : 許容温度 θ_1 と θ_0 との温度差

表 3.4 アルミ導体・銅導体バスダクトの電流減率
Current reduction rate of aluminium and copper conductor bus ducts.

周囲温度 (°C)	10	20	30	40	50	60	70
てい減率 (%)	124	117	109	100	90	80	68

$$K = \sqrt{\frac{95 - \theta}{55}}$$

K : てい減係数
 θ : 周囲温度 °C

3.2 定格電流の選定

(1) 幹線

負荷電流から定格電流を決定するのは言うまでもないが、幹線に使用するバスダクトは、将来増設される負荷を考慮し電源変圧器の二次定格電流にマッチする選定を実施したほうが、簡単・確実である。

(2) 分岐

分岐バスダクトの定格電流は、負荷電流から決定する。この場合、分岐バスダクトの定格電流が、幹線バスダクトを保護するため、施設さ

れた自動しゃ断器の定格電流の1/3以下の場合には、分岐点に分岐バスダクト保護用の自動しゃ断器を設置しなければならない。これは、分岐バスダクトのみでなく、幹線バスダクトを布設途中から定格電流を低減する場合にも適用される。

バスダクトの導体温度は、JIS C 8364で基準周囲温度40°C、温度上昇55 degと規定されており、導体温度は連続95°Cを認めている。このため、周囲温度が40°Cより高い所に適用するときは、定格電流を低減させる必要がある。

3.3 定格短絡電流の検討

短絡事故のとき、バスダクトに流れる事故電流を検討し、定格短絡電流を超過しないことを確認する。

事故電流が、メカ保証値の定格短絡電流を超過すると、事故時に発生する電磁力により、ダクト内部に配列した導体支持物を破壊したり、導体を変形したりする。事故電流は、その発生状態により非常にむずかしくなるので、ここでは、変圧器二次ブッシング以降にバ

スダクト布設をした場合の三相短絡電流を概算法で計算し、表3.5に示す。

表中、変圧器から短絡点までの距離が0mの欄が、変圧器二次ブッシングにおける短絡点であり、事故電流は最大となる。最近変圧器の%Zは小さくなる傾向にあり、パラレル接続のケースもあるため事故電流は増大する。もし事故電流が、バスダクト定格短絡電流を上回るさいは、必要な定格短絡電流をメカに指定願いたい。

3.4 電圧降下の検討

内線工事基準で、電圧降下は幹線および分岐回路において、それぞれ標準電圧の2%以下とするのを原則としている。配線こう(亘)長が長い場合こう長により4~6%まで認めている。

バスダクト回路において、バスダクト定格電流に等しい負荷電流を流した場合、各負荷の力率に対する電圧降下を図3.2でまとめたので参照願いたい。

表 3.5 アルミ母線・銅母線バスダクト工事の短絡電流(対称値)概算
Approximate calculated short circuit current in aluminum and copper bus duct construction.

- (注) 1. 電源変圧器以前の系統リアクタンスは無限大とみて計算した。
2. AC 220V および AC 440V 回路と等 10m 以下の P. U. 抵抗は P. U. リアクタンスにくらべ小さいので無視して計算した。
P. U. は Per Unit の略で P. U. インピーダンス法で計算をした。

配線方式	電 源 変 圧 器			バ ス ダ ク ト (BF形およびBP形)					変 圧 器 から 短 絡 点 までの 距 離 (m)							
	容 量 kVA	%Z	P. U. リアクタ ンス 1,000kVA base	定格電流 A	リアクタンス ×10 ⁻³ Ω/3m	P. U. リアクタ ンス長さ3m 1,000kVA base	交 流 抵 抗 ×10 ⁻³ Ω/3m	P. U. 抵 抗 長さ3m 1,000kVA base	0	3	6	10	20	50	100	
三相3線 220 V 60 c/s	100	2.7	0.27	400	0.592	0.01224	0.469	0.00970	9,700	9,300	8,900	8,240	7,350	5,240	3,495	
	150	2.7	0.18	600	0.451	0.00932	0.248	0.00531	14,600	18,860	13,200	12,440	10,730	7,590	5,050	
	200	2.8	0.14	600	0.451	0.00932	0.248	0.00531	18,750	17,600	16,560	15,240	13,800	8,525	5,430	
	250	3.1	0.124	800	0.312	0.00645	0.203	0.00420	21,200	20,052	19,200	18,000	15,600	10,800	7,150	
	300	3.4	0.113	1,000	0.262	0.00542	0.147	0.00304	23,200	22,200	21,200	20,000	17,370	12,500	8,460	
	400	3.9	0.0975	1,200	0.250	0.00517	0.102	0.00211	26,900	25,600	24,400	22,900	19,800	14,000	9,400	
	500	4.0	0.08	1,500	0.242	0.00500	0.074	0.00153	32,800	30,900	29,200	27,100	23,000	15,850	10,400	
	750	4.0	0.0533	2,000	0.235	0.00486	0.058	0.00120	51,500	45,200	41,650	37,800	30,500	19,000	12,620	
	1,000	4.2	0.042	3,000												
	440 V 60 c/s	100	2.7	0.27	200	0.693	0.00358	0.795	0.00410	4,860	4,800	4,740	4,650	4,380	3,910	3,180
		150	2.7	0.18	200	0.693	0.00358	0.795	0.00410	7,320	7,150	7,020	6,860	6,450	5,260	3,980
		200	2.8	0.14	400	0.592	0.00305	0.469	0.00242	9,400	9,190	8,940	8,800	8,150	6,740	5,150
		250	3.1	0.124	400	0.592	0.00305	0.469	0.00242	10,600	10,340	10,100	9,770	9,050	7,320	5,475
		300	3.4	0.113	400	0.592	0.00305	0.469	0.00242	11,600	11,310	11,000	10,650	9,800	7,800	5,710
400		3.9	0.0975	600	0.451	0.00232	0.248	0.00128	13,420	13,300	12,860	12,450	11,550	9,540	7,300	
500		4.0	0.08	800	0.312	0.00161	0.203	0.00105	16,400	16,100	15,800	15,400	14,400	12,050	9,550	
750		4.0	0.08	1,000	0.262	0.00135	0.147	0.00076	24,600	24,050	23,480	22,650	21,000	17,300	12,770	
1,000		4.2	0.042	1,500	0.242	0.00125	0.074	0.00038	31,300	30,400	29,500	28,400	26,000	20,860	15,100	

(a) アルミ母線

配線方式	電 源 変 圧 器			バ ス ダ ク ト (BF形およびBP形)					変 圧 器 から 短 絡 点 までの 距 離 (m)							
	容 量 kVA	%Z	P. U. リアクタ ンス 1,000kVA base	定格電流 A	リアクタンス ×10 ⁻³ Ω/3m	P. U. リアクタ ンス長さ3m 1,000kVA base	交 流 抵 抗 ×10 ⁻³ Ω/3m	P. U. 抵 抗 長さ3m 1,000kVA base	0	3	6	10	20	50	100	
三相3線 220 V 60 c/s	100	2.7	0.27	400	0.548	0.01135	0.361	0.00747	9,700	9,320	8,970	8,530	7,520	5,520	3,780	
	150	2.7	0.18	600	0.480	0.00993	0.240	0.00496	14,600	13,820	13,150	12,320	10,700	7,380	4,900	
	200	2.8	0.14	600	0.480	0.00993	0.240	0.00496	18,750	17,500	16,400	15,200	12,640	8,320	5,260	
	250	3.1	0.124	800	0.378	0.00783	0.145	0.00300	21,200	19,900	19,000	17,500	14,800	10,160	6,575	
	300	3.4	0.113	1,000	0.341	0.00705	0.121	0.00250	23,200	21,820	20,620	19,250	16,350	12,700	7,350	
	400	3.9	0.0975	1,200	0.295	0.00610	0.104	0.00207	26,900	25,300	23,900	22,300	18,900	13,000	8,500	
	500	4.0	0.08	1,500	0.265	0.00548	0.0923	0.00191	32,800	30,700	28,900	26,700	22,500	15,370	9,700	
	750	4.0	0.0533	2,000	0.240	0.00496	0.0665	0.00138	51,500	45,500	42,200	37,500	30,400	19,200	11,770	
	1,000	4.2	0.042	3,000												
	440 V 60 c/s	100	2.7	0.27	200	0.693	0.00359	0.898	0.00465	4,860	4,800	4,730	4,660	4,470	3,980	3,370
		150	2.7	0.18	200	0.693	0.00359	0.898	0.00465	7,320	7,150	7,000	6,850	6,450	5,470	4,370
		200	2.8	0.14	400	0.548	0.00283	0.361	0.00187	9,400	9,180	8,920	8,780	8,270	7,220	5,590
		250	3.1	0.124	400	0.548	0.00283	0.361	0.00187	10,600	10,370	10,100	9,820	9,200	7,670	6,000
		300	3.4	0.113	400	0.548	0.00283	0.361	0.00187	11,600	11,360	11,070	10,720	9,950	8,180	6,330
400		4.0	0.0975	600	0.480	0.00248	0.240	0.00124	13,420	13,120	12,800	12,400	11,500	9,450	7,280	
500		4.0	0.08	800	0.378	0.00195	0.145	0.00075	16,400	16,030	15,600	15,200	14,130	11,680	9,050	
750		4.0	0.0533	1,000	0.341	0.00176	0.121	0.00063	24,600	24,000	23,200	22,300	20,300	15,700	11,800	
1,000		4.2	0.042	1,500	0.265	0.00137	0.0923	0.00048	31,300	30,300	21,300	28,100	25,600	20,230	15,000	

(b) 銅母線

バスダクト 電路の電圧降下は、下式で計算する。

$$\text{電圧降下} = I(R \cos \theta + X \sin \theta) \dots \dots \dots (3.1)$$

式中、 I : バスダクト に流れる 負荷電流 (A)

R : 電路の 交流抵抗 (Ω)

X : 電路の リアクタンス (Ω)

$\cos \theta$: 負荷力率

$\sin \theta$: 負荷の 無効力率

式 (3.1) の電圧降下は、相電圧であるので、線間電圧降下を求めるには、三相回路は $\sqrt{3}$ 倍、単相回路では 2 倍する必要がある。計算した電圧降下の値が、“内線工事基準”におさまらないときは、次の方法を検討する。

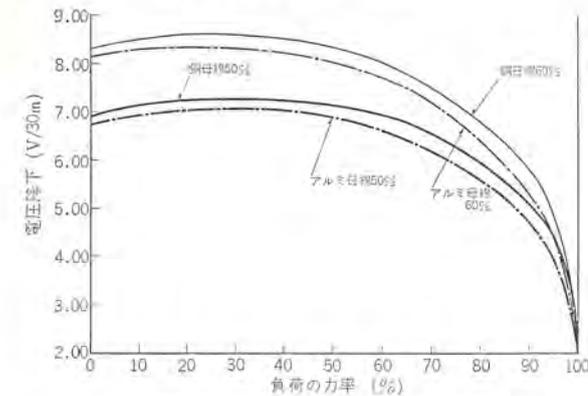
- (1) 負荷力率を改善する。
- (2) フィーダの長さをできるだけ短くする。

(3) 定格電流をワンサイズ上げたもので計画する。

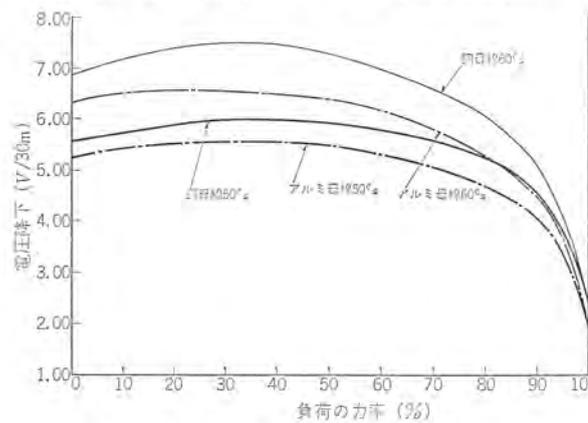
(4) ローインピダンスバスダクトを計画する。

このうち、負荷力率を改善する項目については、コンデンサが使用される。

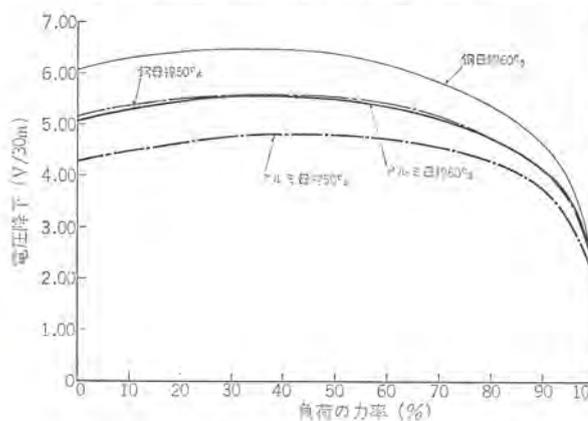
コンデンサを配電システムのいろいろな負荷群の中にそう入すると、他のおくれ力率の負荷に無効電力を供給するので、外部の電力供給系



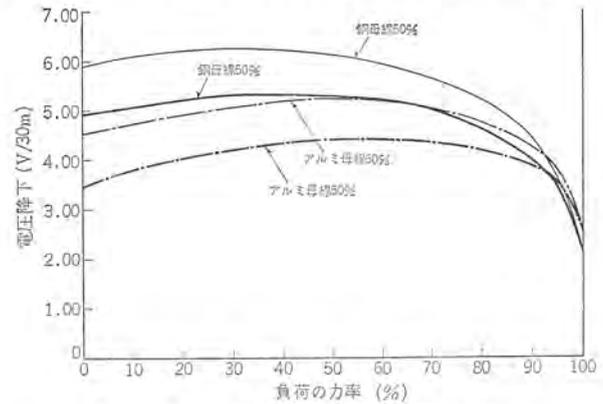
(a) 定格電流 2,000 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s



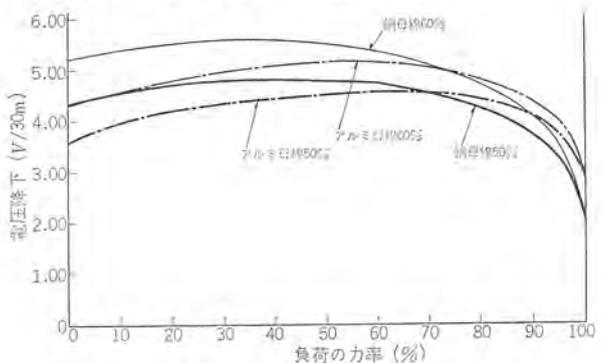
(b) 定格電流 1,500 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s



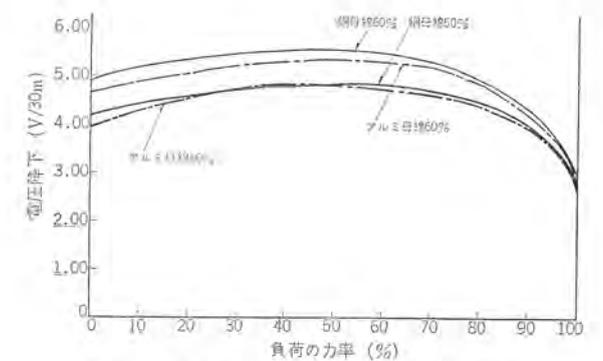
(c) 定格電流 1,200 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s



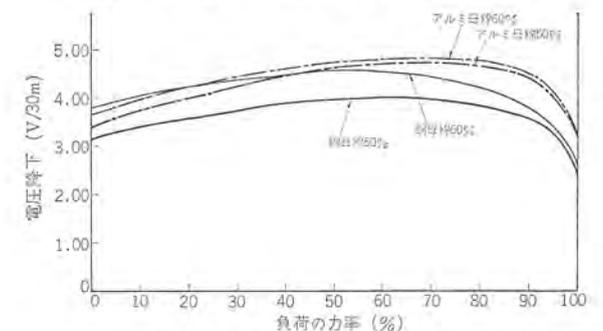
(d) 定格電流 1,000 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s



(e) 定格電流 800 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s



(f) 定格電流 600 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s



(g) 定格電流 400 A 三相 3 線 60 c/s 50 c/s

注) この電圧降下は三相 3 線式 50 c/s 60 c/s 電路において長さ 30 m の末端に集中負荷をかけた場合である。

図 3.2 電圧降下特性曲線

Voltage drop characteristic curves.

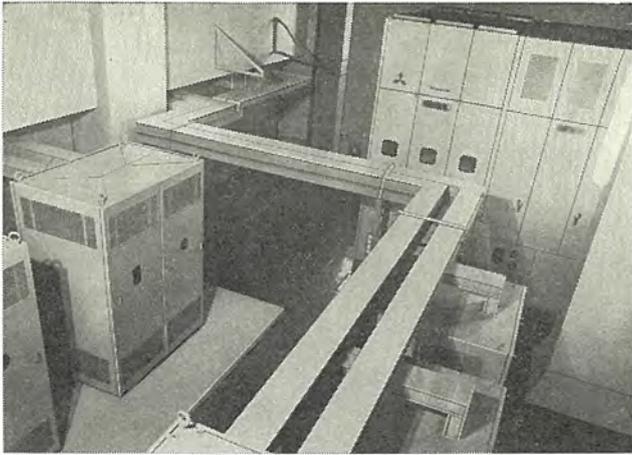


図 (a)

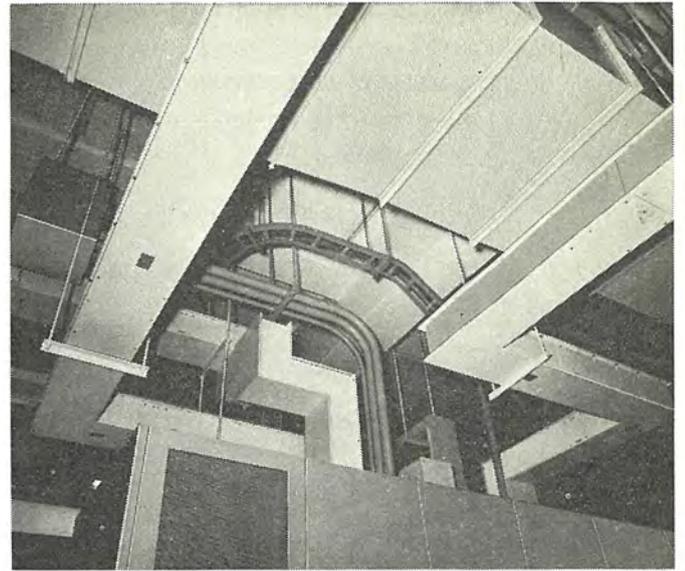


図 (d)

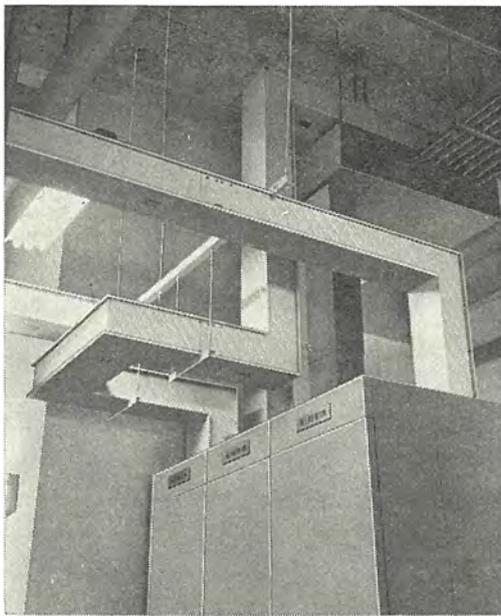


図 (b)

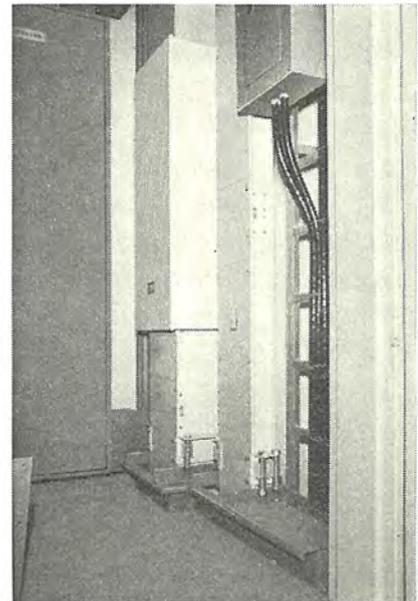


図 (e)

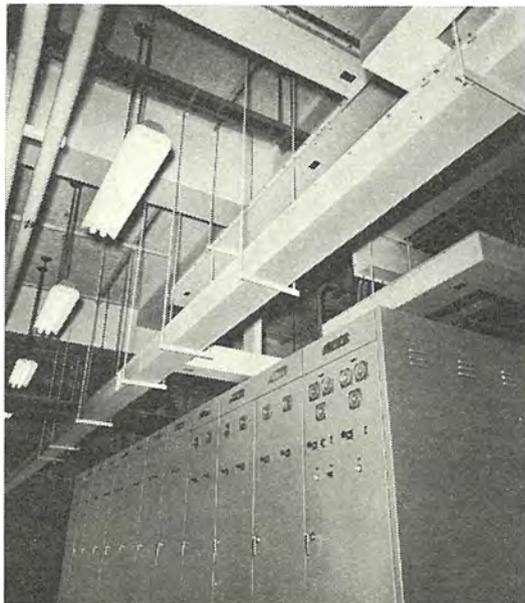


図 (c)

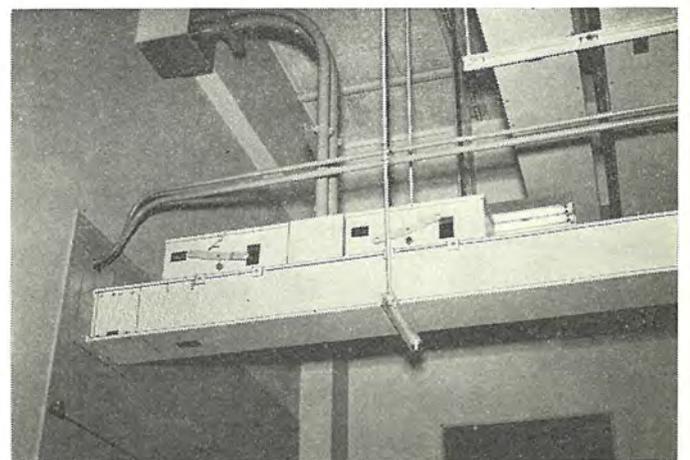


図 (f)

図 3.3 バスタクトの布設例
Example of bus duct laying.

統からの無効電力供給を減少させ、系統の力率改善の役目を果たす。しかも、コンデンサ自身のエネルギー損失は非常に小さい。

コンデンサの追加によって得られる系統容量の増加は

$$\Delta \text{kVA} = C \text{kVA} \times \sin \theta_1 \dots\dots\dots (3.2)$$

力率改善による線路電流の減少率は

$$\% \Delta I_R = \left(1 - \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}\right) \times 100 \dots\dots\dots (3.3)$$

コンデンサを、各負荷ごとに設けず、変圧器の二次側に設置したときの電圧上昇の近似値は

$$V_c(\%) = \frac{\text{コンデンサ kVA}}{\text{変圧器 kVA}} \times \text{変圧器の \% リアクタンス} \dots\dots\dots (3.4)$$

力率改善による電力損失の減少は、

$$\text{損失の減少} = \left[1 - \left(\frac{\text{初めの力率}}{\text{改善された力率}}\right)^2\right] \times \text{初めの力率} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\text{電力損失} = \left(\frac{\text{初めの力率}}{\text{改善された力率}}\right)^2 \times \text{初めの電力損失} \dots\dots\dots (3.6)$$

ただし、C kVA：コンデンサ kVA

$\cos \theta_1$ ：コンデンサ設置前の負荷力率

$\sin \theta_1$ ：コンデンサ設置前の負荷無効力率

$\cos \theta_2$ ：改善後の負荷力率

3.4 自動しゃ断器の設置

(1) 幹線の保護

バスダクト定格電流に相当する定格の自動しゃ断器の設置が望ましい。ただし、自動しゃ断器の定格に該当するものがない場合は、バスダクト定格電流の150%を越えないものを選定する。

この自動しゃ断器には、当社のDB-25形・DB-50形低圧気中しゃ断器、NFT形トライパックしゃ断器、またはNF形ノーヒューズしゃ断器がよい。

(2) 分岐回路の保護

バスダクトから、電路を分岐する場合には、分岐点に自動しゃ断器を設置する。ただし、バスダクトの導体を保護する自動しゃ断器が、分岐用プラグイン器具から引き出された電線を保護できる場合は、省略することができる。分岐用しゃ断器のしゃ断容量は表3.4を利用しても概略選定できる。

3.5 布設経路の決定

バスダクト配線方式は、金属管工事と違って各ユニットごとに製品が

工場で組立て済みのため、現地では単にバスダクトを布設図ルートに従い接続し、所定位置に設置する方式で、現場加工はしないのが原則である。このため変圧器・変圧器盤・コントロールセンターなど機器間の配置、および建屋との関連寸法を布設計画時に判然と取り決めなければならない。建屋の寸法精度はcm単位であるので機器間の主要寸法は実測をすることが望ましい。バスダクトは、現地で切断加工がむずかしいので、布設計画そのものが工事の良否難易を決定する。

エキスパンションストレートバスダクトを、寸法調整に使用すれば ± 50 mm寸法調整ができる。また長手方向ばかりでなく、可どう(撓)自在なエキスパンションバスダクトも製作できるが高価になる。

3.6 特殊環境に対する考慮

(1) 電気設備技術基準

バスダクトは、展開した場所および点検できるいんべい場所に対する使用は認められているが、点検できないいんべい場所(189条)の使用は認められていない。また300Vを超過する屋外電線路に、屋外用バスダクトを使用するとき(第101条、226条)は、所轄通商産業局長あて基準外工事の申請書を提出することになっている。

(2) 電氣的騒音

放送局のスタジオ・研究所・ホテルなど、騒音を極度に嫌う場所に、バスダクトを設置するときは、室内からなるべく距離をとって布設することが望ましい。バスダクトのこの欠点を防止したものに、絶縁導体バスダクトがある。この方式による電氣的騒音は20~40phonで今後広く使用される傾向にある。

(3) 超高層ビル

超高層ビルの垂直立上り幹線には、現行バスダクトはパイプ母線が使われているが、将来は絶縁導体バスダクトになるものと思われる。絶縁導体バスダクトの技術的詳細説明については、開発も近く終るので、別の機会に発表する予定である。

4. む す び

以上、低圧バスダクトについて、アルミ導体処理の技術向上と、経済性による急速な普及化が行なわれていること。つぎに、布設計画をするさいに必要な技術的諸事項について説明を加え、需要家各位の参考に供した。

新しいアイデアによる絶縁導体バスダクトについては、稿を改めて発表した。

抵抗溶接機用電源設備

馬場利彦*

Power supply for Resistance Welder

Itami Works Toshihiko BABA

Electric resistance welders are now in popular use in various industries such as of automobiles, railway rolling stock and aircraft as equipment to promote high productivity. However, they have a drawback of very low power factor in comparison with other electric apparatus in general, because of single phase loading in most cases. They need high current in welding, but the load is of interrupted nature of very short period. This fact is unfavorable from the viewpoint of power supply. There are several problems involved in the selection of the power supply equipment. If the capacity is inadequate, satisfactory welding is hardly expected, whereas too large a margin in the design results in poor economy. This article describes the outline of the welders and selection of proper models to meet the purposes.

1. 抵抗溶接機の種類と電気特性

1.1 抵抗溶接機の原理

抵抗溶接機は図 1.1 に示すように、電源から開閉装置を経て溶接変圧器へ電力が供給され、溶接変圧器によって低電圧大電流に変換されてから二次導体、溶接電極によって被溶接物に所要の溶接電流が通電される。この場合溶接変圧器一次側入力容量 P は溶接変圧器二次無負荷電圧 E_z 、溶接電流 I_z とすれば、

$$P = E_z I_z \times 10^{-3} \text{ kVA} \dots \dots \dots (1.1)$$

溶接電流は溶接現象の性質上きわめて短時間通電する場合が多く、図 1.2 は基本的な時間シーケンスを示す。 t_s は圧接時間で溶接の初めに電極が加圧され、溶接電流の流れはじめるまでの時間、 t_w は溶接時間で溶接電流の流れている時間、 t_h は保持時間で溶接電流が止まってからのち、電極が加圧している時間、 t_0 は休止時間で次の溶接が始まるまでの時間である。この場合、溶接機の使用率 α は

$$\alpha = \frac{t_w}{t_s + t_w + t_h + t_0} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (1.2)$$

で表わされる。すなわち 1 回の溶接サイクル中の通電時間の割合で抵抗溶接機の電氣的容量を比較、称呼する場合、上述の入力容量と使用率を併記しなければ意味がない。1 回の溶接サイクル中の使用率は、抵抗溶接機の種類・形状・被溶接物等により異なるので簡単に溶接機の容量を比較する場合不便なことが多いので、わが国の JIS 規格をはじめ諸外国でも一般に 50% 使用率に換算した容量で表示される。換算は次式で行なわれる。

$$P_{50} = P \sqrt{\frac{\alpha}{50}} \dots \dots \dots (1.3)$$

したがって電源設備を検討するにあたって式 (1.1) で表わされる入力容量 P が電圧降下を決定する基本となり、式 (1.3) で表わされる

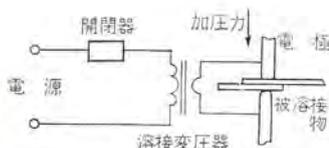


図 1.1 抵抗溶接機の原理
Principle of resistance welder.

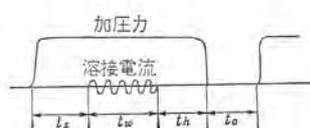


図 1.2 時間シーケンス
Time sequence.

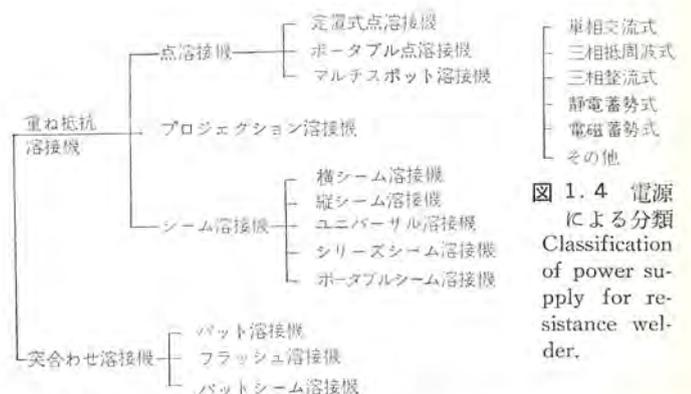


図 1.4 電源による分類
Classification of power supply for resistance welder.

図 1.3 抵抗溶接機の種類
Classification of resistance welder.

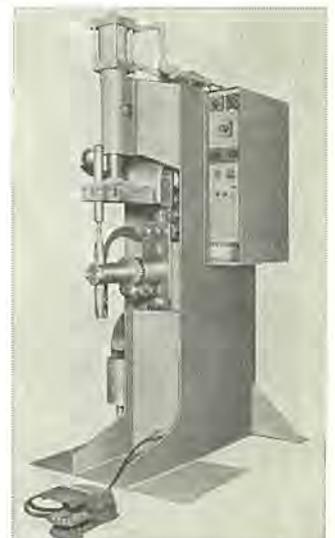


図 1.5 定置式点溶接機
Spot welder.

使用率の容量 P_{50} が熱容量を決定する基本となる。

1.2 抵抗溶接機の種類

抵抗溶接機には多くの種類があるが代表的な機器を分類すれば図 1.3 のように分類され、一方溶接電流を発生する電源から分類すれば図 1.4 のように分類される。

1.3 点溶接機

点溶接機は図 1.1 に示される。ように 2 枚または 3 枚の板を重ね合わせ上下から電極チップで加圧し、その間に大電流を短時間通

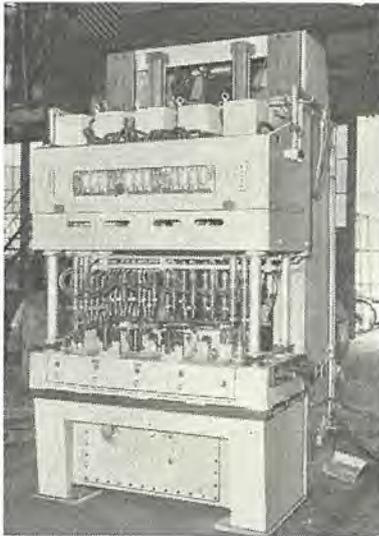


図 1.6 プレスタイプマルチ溶接機
Press type multiple spot welder.

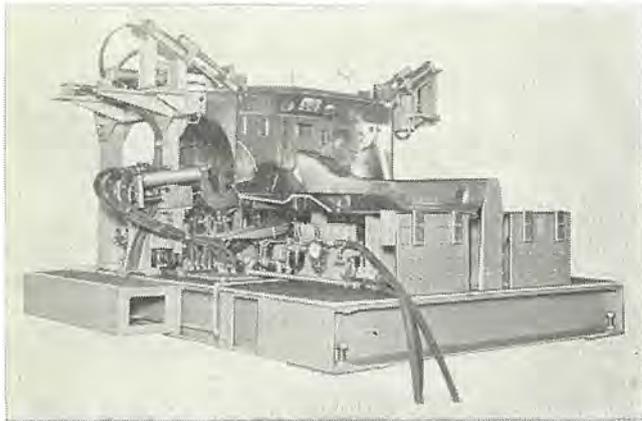


図 1.7 テーブルトップタイプマルチ溶接機
Table top type multiple spot welder.

表 1.1 抵抗点溶接機の電気特性
Electrical characteristics of spot welder.

定置式	ふところ寸法		定格容量	最大入力		溶接電流	使用率	二次インピーダンス	力率
	深さ	間隔		60 c/s	60 c/s				
	mm	mm	kVA	kVA	A	%	$\mu\Omega$	%	
式	300	200	12.5	30	9,000	8.7	352	46	
	600	200	25	63	12,000	7.9	449	43	
	600	200	50	130	18,000	7.4	413	43	
	400	200	75	235	25,000	5.1	373	39	
	1,200	200	100	410	25,000	3.0	655	39	
ポータブル			55	160	10,000	6.5	1,600	74	
			75	230	12,000	5.5	1,600	55	

表 1.2 点溶接条件
Welding condition of spot welding.

板厚	軟鋼板			軽合金		
	電流	時間	加圧力	電流	時間	加圧力
mm	A	c/s	kg	A	c/s	kg
0.4	5,200	5	115	14,000	4	180
0.6	6,600	7	150	17,000	6	230
1.2	9,800	12	270	22,000	10	320
1.6	11,500	16	360	24,000	10	350
2.3	15,000	24	580	32,000	12	450
3.2	17,400	32	820	35,000	15	550

電し抵抗発熱によって板を局部的に溶融させ接合する方法である。定置式点溶接機は、溶接機を固定し被溶接物を移動させる溶接機で図 1.5 に一例を示す。

ポータブル点溶接機は前者とは逆に被溶接物を固定し、溶接機を移動させて溶接する装置で、被溶接物が大きい場合に多く用いられる。自動車の車体の組立に非常に多く利用されている。溶接機を移動させるため、溶接変圧器より溶接ガンと呼ばれる電極まで 2m 近いケーブルで接続されるので、定置式に比べ同一の溶接電流を得るのに約 4 倍近い入力電力を必要とする。

マルチスポット溶接機は、1 台の溶接機に多数の電極を配置し、一度に多数の点溶接を行なう自動溶接機であり、近年生産性の向上を計るため自動車をはじめ家庭電気品などの多量生産される業界での溶接に多く用いられる。プレスタイプ、テーブルトップタイプ等その形態は種々あるが、溶接点数が多い場合溶接変圧器を三相に接続したり順次通電させ入力電力を少なくするような考慮がされている。表 1.1 に代表的な点溶接機の電気特性、表 1.2 に溶接条件を示す。

1.4 プロジェクション溶接機

プロジェクション溶接は点溶接の変形と考えることができる。図 1.8 のように被溶接物に突起を作り電流の集中、熱バランスを得ながら加圧力を加えて溶接する方法で、多くの特長を持つので広く利用されている。プロジェクション溶接機は特殊な電極が自由に取付けうる構造をしており、多くのプロジェクションに均一に加圧する必要から、高い機械的強度と精度を有するほか、溶接電流も点溶接機に比べ多く流れるのが普通で、入力容量も大きくなる。表 1.3 に代表的なプロジェクション溶接機の定格を示す。

1.5 シーム溶接機

シーム溶接は、図 1.10 のように 2 枚の円板電極の間に被溶接物をはさみ、加圧した状態で電極を回転させながら通電し溶接していく方法で、溶接部は連続した溶接ができるので油密・水密・気密を要するときに用いられる。シーム溶接は点溶接を連続して行なって

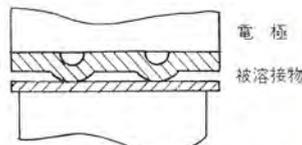


図 1.8 プロジェクション溶接原理
Principle of projection welding.

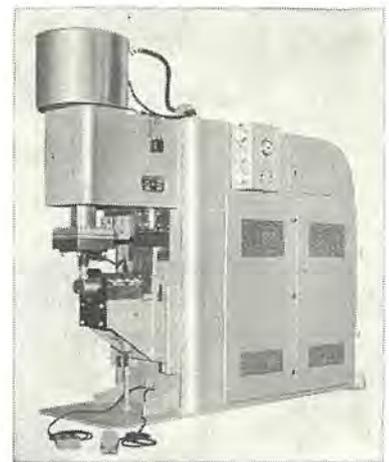


図 1.9 プロジェクション溶接機
Projection welder.

表 1.3 プロジェクション溶接機
Ratings of projection welder.

定格容量	ふところ深さ	ブラテン間隔	溶接電流	負荷抵抗	最大加圧力	最大入力
kVA	mm	mm	A	$\mu\Omega$	kg	kVA
15	200	200	12,500	100+10 j	300	
25	250	200	20,000	50+10 j	450	
45	300	300	35,000	30+10 j	1,000	270
70	350	350	43,000	25+10 j	2,000	
100	350	350	50,000	20+10 j	3,000	530

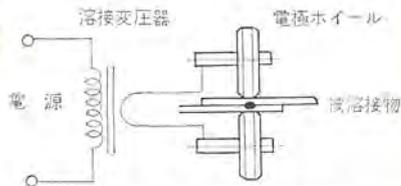


図 1.10 シーム溶接機の原理
1.10 Principle of seam welding.

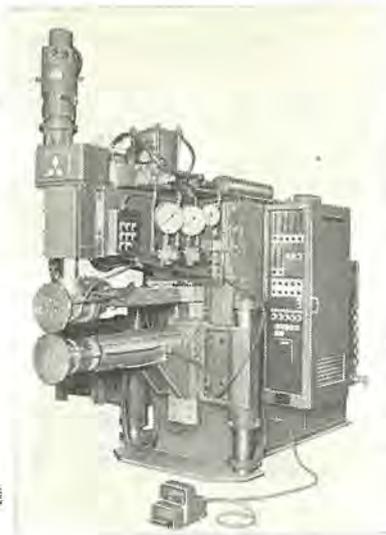


図 1.11 シーム溶接機
Seam welder.



図 1.14 三相
低周波 スポット
溶接機
Three phase
spot welder.

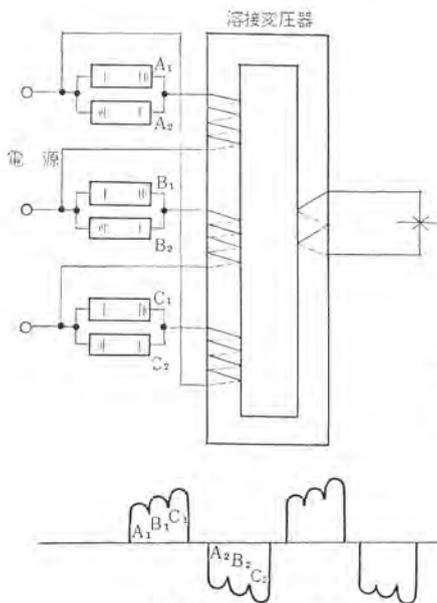


図 1.12 三相低周
波式の原理
Principle of three
phase welder.

図 1.13 三相低周波式溶接電流波形
Current wave form of three phase welder.

いると考えられ、すでに溶接された点に近接して次の点を溶接するため分流効果があるので点溶接にくらべ約2倍の電流を必要とする。したがってシーム溶接機は一般に入力容量が大きく、使用率もまた30~50%程度になる機械が多い。

1.6 3相低周波式溶接機

溶接機を電源より分類すれば図1.4のように分類され単相交流式と、三相低周波式が最も一般的に利用されている。三相溶接機は図1.12に原理を示す。三相電源を用い各相にそれぞれ逆並列接続されたイグナイトロン開閉器を接続し、その出力を溶接変圧器につなぐ。6本のイグナイトロン $A_1A_2B_1B_2C_1C_2$ は、制御タイマによって $A_1B_1C_1$ が適当回数通電し続いて $A_2B_2C_2$ が適当回数通電する。したがって二次に流れる溶接電流波形としては、図1.13のように電源周波数に比較し、低い周波数の電流となるので三相低周波式といわれるゆえんである。

抵抗溶接機は二次回路が大きいループを形成し、リアクタンスが大きいので力率が悪く一次入力も大きくなるのが普通であるが、三相低周波式溶接機はリアクタンスによる損失が少ないので力率および入力電力が少なくなるほか、三相電力負荷となり給電上も好ましいので、

表 1.4 三相溶接機の電気特性
Electrical characteristics of three phase welder.

ふところ寸法		定格容量	最大入力	溶接電流	使用率	インピーダンス	力率
深さ	間隔						
mm	mm	kVA	kVA	A	%	$\mu\Omega$	%
900	250	75	250	60,000	4.7	403	81
1,200	250	150	540	100,000	3.9	526	81

軽合金の溶接をはじめ 大形機器は点溶接機・シーム溶接機・プロジェクトン溶接機として各方面に広く用いられつつある。表1.4はおもな三相溶接機の電気特性を示す。通常単相溶接機にくらべ数分の一の入力電力である。

2. 溶接機用電源設備

抵抗溶接機は、ひん度の高いものでは毎秒10回程度より10秒間に1回程度まで数サイクルから30サイクル程度の短時間通電するのみで、他の期間休止する負荷である。通電時は大電力を消費するので非常に変動の大きい負荷であり、また一般に低力率の電力負荷であるので、電灯照明へのフリッカをはじめ、他の電気機器へも影響を与える。また溶接強度の低下、溶接機の動作の不円滑など問題も多い。

抵抗溶接機の JIS 規格 (JIS C 9305) によれば定格一次電圧 (無負荷電圧) は、200 V または 400 V で最大負荷時一次電圧は 180 V または 380 V と定められているが、一般には守られていない場合が多い。溶接機用電源設備容量を検討する場合、熱的容量のほかに電源の電圧降下について考慮する必要があり、一般に後者によって電源設備は左右される。電源電圧の変動をきたす要因としては、

- (1) 自他の抵抗溶接機の通電による電圧降下
- (2) 電力会社よりの供給電圧の変動

が考えられるが、普通軟鋼の抵抗溶接に対し溶接強度は溶接電流のほか、通電時間・加圧力・電極など多くの因子が影響を与えるが、それらを一定とした場合溶接電流の変動許容値として10%、すなわち電圧降下の許容値として10%が適当と考えられている。電力会社からの供給電圧の変動については、近年の抵抗溶接機は制御回路に定電流装置を内蔵させ、影響を受けぬように設計されている機器が多いが、もし内蔵されていなければ配慮せねばならない。軽合金その他溶接電流の変動に鋭敏な金属の溶接では電圧降下の許容値は5%以内に止めねばならない。

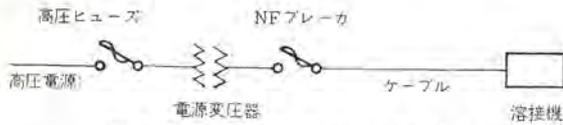


図 2.1 溶接機用電源回路図

Schematic diagram of power supply for resistance welder.

表 2.1 変圧器のインピーダンス
Impedance of power transformers.

一次電圧 容量 kVA	3.3 kV		6.6 kV		11 kV		22 kV	
	% R	% X	% R	% X	% R	% X	% R	% X
1 ~ 10	2.4	2.0	2.5	3.0				
10 ~ 100	1.2	3.0	1.3	4.0	1.5	5.0	1.8	6.8
100 ~ 1,000	0.8	4.0	0.3	5.0	1.0	5.8	1.1	6.5
1,000 ~ 5,000					0.7	6.8	0.8	7.8

表 2.2 電線のインピーダンス
Impedance of cable wires.

公称 断面 mm ²	銅製電線管		非磁性電線管			
	600 V ゴム 絶縁電線	600 V ビニール線	600 V ゴム絶縁電線		600 V ビニール線	
	60 サイクル	60 サイクル	50 サイクル	60 サイクル	50 サイクル	60 サイクル
14	13.15	13.13	13.0	13.0	13.0	13.0
22	8.45	8.42	8.24	8.25	8.23	8.24
30	6.50	6.43	6.24	6.26	6.23	6.26
38	5.24	5.16	4.92	4.95	4.90	4.94
50	4.26	4.17	3.87	3.92	3.85	3.88
60	3.32	3.45	3.13	3.17	3.10	3.15
80	2.84	2.84	2.44	2.50	2.41	2.46
100	2.45	2.45	1.98	2.05	1.95	2.01
125	2.21	2.21	1.67	1.76	1.63	1.71
150	1.97	1.97	1.43	1.53	1.39	1.48
200	1.83	1.83	1.23	1.34	1.18	1.28
250	1.73	1.73	1.08	1.21	1.03	1.14
325	1.68	1.68	0.985	1.12	0.927	1.05
400	1.64	1.64	0.927	1.07	0.866	1.00
500	1.62	1.62	0.891	1.04	0.827	0.964

mΩ/10m

2.1 1 台の溶接機用電源設備

図 2.1 のように使用される溶接機が 1 台でここに専用電源を設ける場合には、熱的等価容量 P_e を算出する。

$$P_e = P\sqrt{\alpha} \dots\dots\dots (2.1)$$

P : 一次入力容量 α : 使用率

この熱的等価容量に耐える電源変圧器および配線ケーブル、しゃ断器等を選定することが第 1 条件である。

次に電圧降下を検討する。電圧降下は、電源変圧器自身と変圧器から溶接機までのケーブルによるものが多いが、変圧器内部の電圧降下 ΔV は次式で計算される。

$$\Delta V \% = \frac{P}{P_t} (R(\%) \cos \theta + X(\%) \sin \theta) \dots\dots\dots (2.2)$$

θ : 溶接機の力率角

P_t : 電源変圧器容量

P : 溶接時一次入力容量

一般に市販されている標準変圧器の % R, % X を示すと表 2.1 のようになる。電源変圧器から溶接機までの配線は、バスケット配線・管内配線・ケーブル配線等が用いられるが、簡単なケーブル配線が用い

られることが多く、溶接時の一次電流は一般に大きいのでケーブルは密着させるほか、電源変圧器と溶接機までの距離を短くしインピーダンスの低下につとめなければならない。ケーブルにおける電圧降下 ΔV は次式で計算される。

$$\Delta V = 2 \frac{P}{V} l (r \cos \theta + x \sin \theta) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$x = 2 \pi f \left(0.05 + 0.4605 \log \frac{2D}{d} \right) 10^{-6} \Omega / m \dots\dots\dots (2.4)$$

d : 電線の直径(cm), D : 電線の中心距離(cm),
 l : 電線の長さ(片道)(cm) V : 一次回路電圧(V),
 r : 抵抗(Ω), x : リアクタンス(Ω)

溶接機電源電圧は、当然ながら 400 V を採用するのがケーブルの電圧降下より経済的であり、表 2.2 に電線のインピーダンスを示す。

これら電源変圧器とケーブルの電圧降下の和が、10% 以内になるように選定すればよく、電源変圧器一次側の電圧変動が無視できない場合は、この割合だけ少なくしておく必要がある。上述の計算のほか、簡単には 50% 使用率の溶接機容量を、そのまま電源変圧器の容量とし、この容量に対応するケーブルを使用する方法が経験的に電圧降下と熱容量を合わせた電源容量決定法として知られている。電源変圧器およびケーブル、溶接機の電気的保護装置として経済性、操作性を合わせて考えたとき、小容量では電源変圧器一次側は高圧ヒューズ、二次回路は NF ブレーカを用いることが多い。

図 2.1 の回路において、高圧ヒューズのしゃ断容量は電源側のインピーダンスを用いて算出せねばならないが、NF ブレーカは次の方法で選定すればよい。しゃ断容量は電源変圧器の二次短絡に耐える容量を選ぶすなわち電源変圧器容量を % Z で除した値以上とし、電流定格は次の方法で決まる。すなわち熱等価容量 P_e より等価連続定格電流 I_e を求める。

$$I_e = P_e / V \dots\dots\dots (2.5)$$

V : 負荷時溶接機一次電圧

この電流 I_e を基とし 100 A フレーム以下では 1.7 倍、225 A フレーム以上では 1.3 倍の定格電流を選定する。これは 1 回の溶接時間が 1 分以上または使用率 40% 以下の低いときに適用し、シーム溶接機のように平均使用率の高い場合は、100 A フレーム以下は 1.5 倍、225 A フレーム以上では 1.15 倍の定格電流の NF ブレーカを選定すればよい。限時特性は溶接時一次電流で瞬時引きはずしがトリップせず、1 回の溶接時間の 5~10 倍の時間で動作するものが好ましい。過渡現象のともなう溶接機では、瞬時引きはずしが動作しないように注意する必要がある。

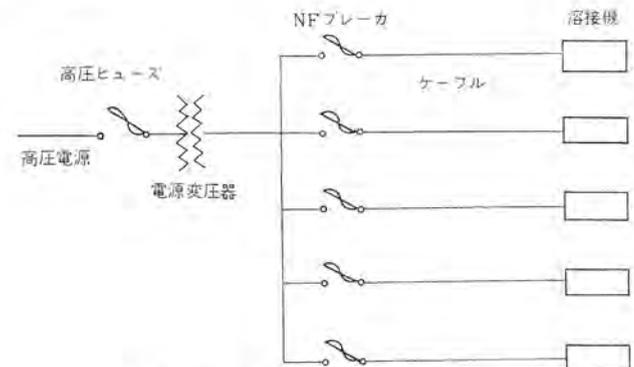


図 2.2 溶接機用電源回路図
Schematic diagram of multiple power supplies for resistance welder.

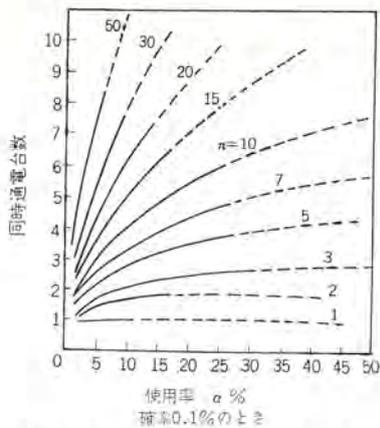


図 2.3 同時通電台数
Allowable number of sets in loading the welder simultaneously.

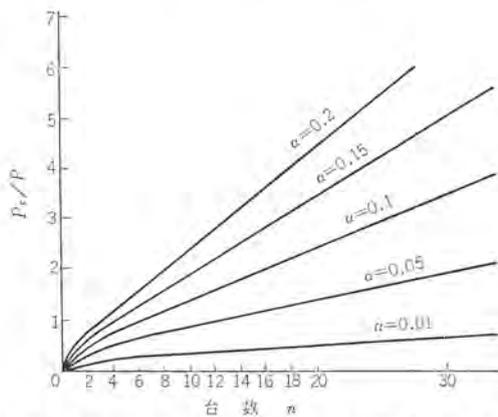


図 2.4 使用率と等価熱容量の関係
Relation between duty cycle and equivalent thermal capacity.

2.2 多数の溶接機用電源設備

図 2.2 のように多数の溶接機を 1 台の電源変圧器より給電する場合、溶接機がそれぞれインターロックされず自由に運転する場合、何台か同時に通電することが考えられる。たとえば使用率 5% の溶接機 10 台使用する場合、10 台同時に通電されることもあり、1 台または 2 台通電するときもある。10 台同時に通電する確率は、

$$X^{10} = 0.05^{10}$$

となり、非常に小さい値となる。このときにも電源電圧降下を 10% 以内にしようとするならば、非常に大きい電源設備を必要とする。したがって一般に製品の品質上、目的に応じて 10% 以上電圧降下して溶接強度が低下しても許容する値、たとえば 0.1% と定め、確率がこの値になる同時通電する台数を求め、この台数に応じた電源設備を設けると経済的になる。n 台中 k 台が同時通電する確率 P_a は使用率 α の時次式で算出される。

$$P_a = nC_k \alpha^k (1-\alpha)^{n-k} \dots \dots \dots (2.6)$$

以上の基本的な考え方を基に、確率 0.1% の場合の使用率と溶接機台数より同時通電する台数を図 2.3 に示す。ここで求めた台

数が同時に通電した場合、10% 以内に電圧降下が収まる電源変圧器、およびケーブルを設ければよい。一方電源変圧器およびケーブルの熱容量についてはすべての溶接機の入力容量 P および使用率 α が同一の場合は次式で計算される。

(1) n 台が同時に通電せず順次通電するとき

$$P_e = P\sqrt{n\alpha} \dots \dots \dots (2.7)$$

(2) n 台が必ず同時に通電するとき

$$P_e = nP\sqrt{\alpha} \dots \dots \dots (2.8)$$

(3) n 台の溶接機が自由に通電するとき

$$P_e = P\sqrt{n\alpha(1-\alpha) + n^2\alpha^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

図 2.4 は使用率 α と台数 n と P_e/P の関係を示すが、使用率が低い場合、台数の増加にくらべ等価熱容量はあまり増加しない。これは電源の電流はあまり変動せず、1 台当たり αP なる電力を取るので多数のポータブル溶接機を使用するようなとき、適当な台数ごとに三相にバランスするように接続して有利であるといえる。

図 2.4 のように 1 台の電源変圧器に多数の溶接機を接続する場合、溶接機保護用 NF ブレーカ等は各溶接機にそれぞれ設けることが必要で、共通に大容量のブレーカを設けても保護しないので注意を要する。各溶接機の容量および使用率が異なる場合の電源容量の選定は困難であるが、大略次の方法で算出すればよい。等価使用率 α_u および等価容量 P_u を算出し、この溶接機が n 台あるものとして前述の方法で算出する。

$$P_u = \frac{(P_1^2\alpha_1 + P_2^2\alpha_2 + \dots) - F}{P_1\alpha_1 + P_2\alpha_2} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$F = \frac{3}{2} \left[P_1^2\alpha_1^2 + P_2^2\alpha_2^2 + \dots - \frac{1}{n} (P_1\alpha_1 + P_2\alpha_2 + \dots)^2 \right] \dots (2.11)$$

$$\alpha_u = \frac{(P_1\alpha_1 + P_2\alpha_2 + \dots)}{nP_u} \dots \dots \dots (2.12)$$

3. む す び

抵抗溶接機は、現在産業界の要求にマッチして、今後ともますます多く用いられると考えられる。紙面の都合で概略しか紹介できなかったが、溶接機および電源設備は詳細に解析された文献も多いので、参考にされ抵抗溶接機を活用されることを希望する。

参 考 文 献

- (1) 大隅, 松原, 馬場, 越智: 軽合金用三相低周波点溶接機, 三菱電機技報 37, 1, 134 (昭 38)
- (2) Three phase balanced load resistance welder, W. J. 26 (1949)
- (3) Circuit analysis of frequency changer welders, W. J. 26 (1949)
- (4) A. I. E. E. Power supply for resistance welder.
- (5) 多数の溶接機が接続される Δ または V 結線の三相電源の熱容量の算定, 溶接学会 33 (昭 39)
- (6) 抵抗溶接機への電力供給, 溶接技術 (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
自動利得調整装置	42-6-19	496128	内海堅志・三城健児	鎌倉製作所
会計機などの自動用紙送給装置	42-6-30	496864	MAM社(フランス)と共同 出願	鎌倉製作所
位相変調装置	42-7-7	497246	細野 勇	伊丹製作所
ダイヤモンド形単層巻コイル	42-7-7	497247	足立 覚・加行征一	長崎製作所
方向距離継電装置	42-7-7	497248	北浦孝一	神戸製作所
距離継電装置	42-7-7	497249	北浦孝一	神戸製作所
方向距離継電装置	42-7-7	497250	北浦孝一	神戸製作所
速度制御装置	42-7-7	497251	大野栄一・川畑隆夫	中央研究所
列車無線用トンネル内導波線路	42-7-7	497370	阿部 修・前田 力	通信機製作所
磁心記憶装置	42-7-10	497404	中村 弘・井手平三郎 水上益良	相模製作所
磁気円板記憶装置における浮動ヘッドの上下機構	42-7-18	497827	磯崎 真・東山 昇 阿蘇正一	鎌倉製作所
サーキュレータ	42-7-18	497834	中原昭次郎・川端俊一郎	鎌倉製作所
3相同期機の自動装置	42-7-19	497913	古賀信勝	神戸製作所
信号変換装置	42-7-19	497974	三木隆雄	姫路製作所
吸排気型換気扇	42-7-24	498189	白石和雄	中津川製作所
けい光膜塗装用組成物	42-7-28	498339	粟津健三・酒井 武	中央研究所
内燃機関用ピストン潤滑剤	42-8-1	498585	三木隆雄	姫路製作所
パルス周波数変調増幅器	42-8-4	498613	長沢保明	神戸製作所
多端子再閉路装置	42-8-21	499440	森 健	神戸製作所
リアクタンス継電装置	42-8-21	499441	三上一郎	神戸製作所
複合特性を有する誘導形電磁継電装置	42-8-21	499442	三上一郎	神戸製作所
電圧平衡継電器	42-8-21	499443	下迫賀生	神戸製作所
高インピーダンス接地系統用地絡相検出装置	42-8-21	499444	古谷昭雄・鈴木健治	神戸製作所
BF ₃ 比例計数管	42-8-21	499445	石井武美	中央研究所
短絡故障検出装置	42-8-21	499446	中村欽一	神戸製作所
多重母線保護装置	42-8-21	499447	久松章三	神戸製作所
多重母線保護装置	42-8-21	499448	森 健・久松章三	神戸製作所
優先しゃ断継電装置	42-8-21	499449	三上一郎	神戸製作所
優先しゃ断継電装置	42-8-21	499450	三上一郎	神戸製作所
自動制御装置	42-8-21	499451	川畑隆夫	中央研究所
レーダにおける移動目標検出方式	42-8-21	499453	山内信次・柴田信之	通信機製作所
自動制御装置	42-8-21	499454	川畑隆夫	中央研究所
信号路制御装置	42-8-21	499455	玉真哲雄・角谷桂一	通信機製作所
タイムスイッチの時刻設定方式	42-8-21	499439	神本義明・元木義明	群馬製作所
パルス分配型乗算器の桁数縮小方式	42-8-21	499452	小島一男・松本大四	鎌倉製作所
可動翼水車の推力軸受保護装置	42-8-30	499932	安藤錠治・梅名茂男	神戸製作所
噛み合いクラッチ制御装置	42-8-30	499933	浅野哲正	姫路製作所
真空スイッチの裁断電流抑制装置	42-8-30	499935	伊藤利朗・大倉敏幹	中央研究所
多重母線保護装置	42-8-30	499937	森 健・寺田 真	神戸製作所
弁制御装置	42-8-30	499938	加来政博	長崎製作所
機関点火用信号発生装置	42-8-30	499939	日野利之	姫路製作所
電圧調整装置	42-8-30	499942	浅野哲正	姫路製作所
自吸式ポンプ	42-8-30	499934	武井久夫・服部信道 森田清司	群馬製作所
アイスクリームフリーザー	42-8-30	499936	小原英一・高沢正二	商品研究所
変圧器の過渡異常電圧抑制装置	42-8-30	499940	氷室昌美	商品研究所
変圧器の過渡異常電圧抑制装置	42-8-30	499941	氷室昌美	商品研究所



特許と新案

電解加工装置

発明者 吉田 太郎

この発明は、加工間げきにおけるアーク放電の発生を防止し、加工用電極と被加工面の損傷事故を解消した電解加工装置に関するものである。

従来、電解加工において、電解液中にごみや金属粉が混入していると、この混入物を介して短絡がおこり、これがアーク放電に移行することがある。これによって電極と被加工面が著しく損傷する欠点がある。

この発明は、上記欠点を除去しようとするもので、実施例を図面について説明すると、図2(a)において、時点(i)で制御極付整流器(5)を、時点(ii)で同(6)をそれぞれ点弧すれば、変圧器の一次巻線に印加される電圧は太線で示すようになり、したがって、加工間げき(13)を流れる電流は(b)に示すように90°の周期で断続する。

このため、サーボ装置(22)による送り制御が不正確で、被加工体(11)と電極(12)とが短絡した場合にも、また加工間げき(13)に供給される電解液中にごみや金属粉が混入して短絡した場合にも、この短絡は次に電流がシャ断された期間中に解消され、アーク放電に移行することはない。つぎに前記(5)(6)の点弧制御角を常時90°に保持しておけば、(11)と(12)間の電圧は常時等しくなり、したがって、(13)を流れる電流は(13)における抵抗値によって変化する。そうして変圧器の一次巻線に流れる電流は前記電流変化に比例して変化し、変成器の二次巻線(16)にはその変化に比例した信号が発生し、したがって、サーボ装置(22)は前記加工間げきが大きいきはそれを小さくするように、また小さいときはそれを大きくするように電極(11)の送りを制御するものである。(特許第488578号)(古沢記)

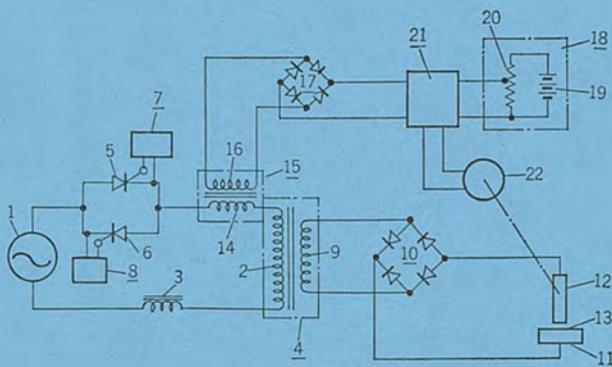


図 1

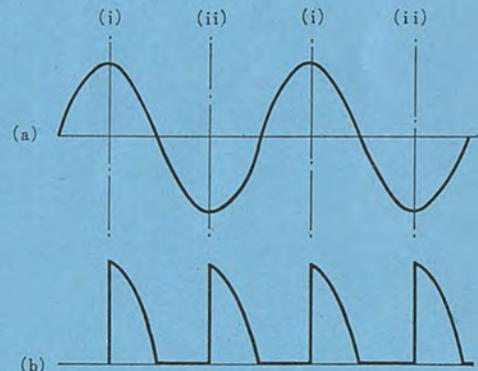


図 2

電解加工装置

発明者 前田 祐雄・齋藤 長男

この発明は、被加工体に加工間げきを介して加工用電極を相対向し、この加工間げきにおける電解作用により、被加工体に加工用電極と相似な形の穴、おう(凹)部等を形成する電解加工装置に関するものである。

図1はこの発明の実施例を示す回路図、図2は図1に示す装置における加工間げき部分の電流波形を示す線図、図3は作動説明図である。図において、(1)は直流電源、(2)は加工さう、(3)は抵抗(4)を介し電源の正極に接続された被加工体、(7)は加工間げき(8)を介し被加工体に対向する加工用電極(6)の電極板、(9)は電極板を電源(1)の負極に接続する回路にある回転スイッチ、(17)は一方の入力端を可変抵抗(16)の正端(18)に他方の入力端をその負端に

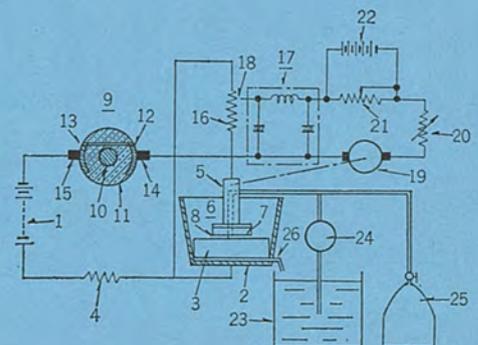


図 1

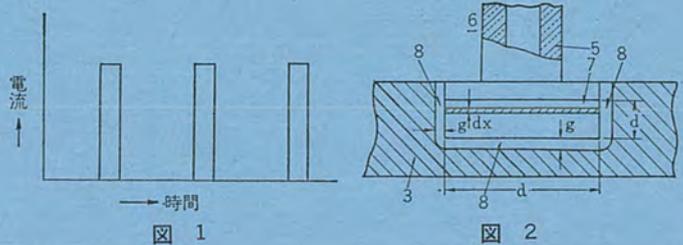
特許と新案

接続した平滑回路、(19)はこの平滑回路の出力端間に接続されたサーボ電動機であって加工用電極(6)に連係、それを上下に移動制御して加工間げきを調整する。(23)は電解液そう、(24)は液を加工間げきへ供給するポンプ、(25)は液中に炭酸ガスを圧入するポンプである。

前記のように構成された装置において、ポンプ(24)により加工間げきに炭酸ガスを圧入した電解液を供給しながら、回転スイッチ(a)により間げき(8)に図2に示した間欠的(矩)形波の電流が供給され、これにより電解作用が行なわれる。加工間げきが次第に大きくなり抵抗が増せば、電動機(19)が回転して加工電極を被加工体に近づけ、間げきをこれの大きさに調整する。この動作を繰り返して被加工体(3)に所定深さのおう部を形成する。従来のこの種の装置では、一

般に被加工面が液流の条こん(痕)その他により平滑な面をうることはむずかしいが、この発明では、電解液に圧入された気体炭酸ガスが電解液流を激しくかく乱し、液は被加工面の各部と均一に接触して面をきわめて平滑に加工するものである。

(特許第 488950 号) (古沢記)



爆 圧 成 形 法

発 明 者 前 田 祐 雄・齋 藤 長 男

この発明は、放電電極間に爆発性混合物を配置し、放電電極の放電時にその放電エネルギーにより爆発性混合物を爆発させ、放電エネルギーと化学反応エネルギーとを併用して金属板等の塑性加工を行なうものである。上記爆発性混合物内に放電エネルギーによって加熱される点火素子を設け、この点火素子により爆発性混合物全体を同時爆発させるようにしたものである。

すなわち、図1において(1)は加工液(2)が満たされた容器、(3)(3)はこの容器中に設けられた放電電極、(4)(5)は放電用コンデンサおよびインダクタンス、(6)は放電電極に配置された助爆筒、(7)は成形加工される金属板、(8)は成形用の型である。図2にお

いて、(61)はたとえば硝酸アンモンと軽油の混合物からなる爆発性混合物、(62)はこれを収容する外筒で、爆発速度を速めるために数十気圧程度の耐圧をもつように作られている。(63)は上記爆発性混合物(61)内に設けられた点火素子、(64)は外筒(62)の両側面に設けられた点火素子(63)の端子板である。そしてこのようにすれば放電電極(3)(3)が放電するとその放電通路内にある助爆筒(6)の点火素子(63)は放電エネルギーによって急激に加熱され、爆発性混合物(61)全体を同時に反応させるので、放電エネルギーと化学反応エネルギーとを効果的に併用して金属板(7)を型(8)とおりに成形加工することができる。なお、この場合爆発性混合物(61)全体の化学反応が、まだ完全に終了していないうちに助爆筒(6)が吹き飛んでしまえば、化学反応エネルギーを有効に利用できず、このため放電回路における放電用コンデンサ(4)の静電容量やインダクタンス(5)の値を、適当に選定して放電時間および放電電流波形を調整する必要がある。

この発明によれば、上記爆発性混合物内に上記放電エネルギーにより加熱される金属線、金属はく等の点火素子を設けることにより、爆発性混合物全体を同時に爆発させ、化学反応エネルギーを効果的に利用してエネルギーの利用率を高め、塑性加工を容易に行なうことができる。(特許第 493819 号) (古沢記)

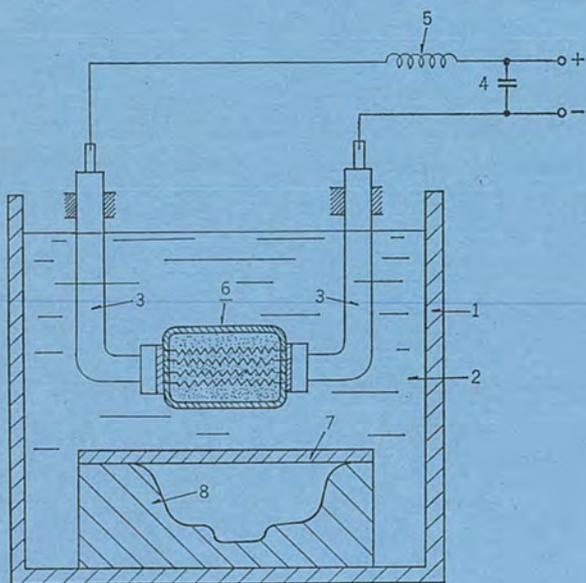


図 1

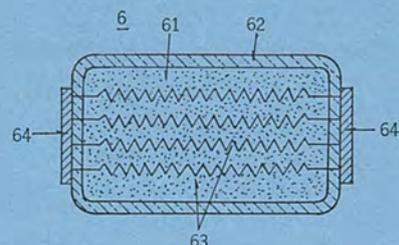


図 2

大形レクチフロードライブ設備

神田政典*

Large Capacity Rectiflow Drive

Nagasaki Works Masanori KANDA

A good number of Rectiflow drive have been built since the development in 1960 for use with kilns, fans, pumps and motor generator sets because of their good efficiencies and high precision in speed control. Recently a large capacity Rectiflow drive set, in direct connection to a 9,000 kW induction motor for driving a 20 MVA synchronous generator, has been delivered to Itami Works of the Company. In this installation the frequency variation of generator is held at high precision of below ± 0.1 cycle. Speed detection is made by a beat system and further an ordinary speed generator is provided to back it up. Consideration is given to prevent overvoltage or overcurrent caused on a DC motor during acceleration or deceleration. In stopping, the DC motor is used as an exciter and dynamic brake is applied to the induction motor to effect immediate halt.

1. ま え が き

レクチフロードライブは、昭和35年開発以来、その効率の良さと高精度の速度制御の観点より、キルン、ファン、ポンプ、MGセット等々に数多く製作されてきたが、今回当社伊丹製作所に納入した大形変圧器試験設備MG駆動用9,000kW直結形レクチフロードライブセットは、その容量からも記録的なものである。

2. 装置の概要

2.1 装置の概要

本レクチフロードライブセットは、大形変圧器試験用20MVA同期発電機を駆動するもので、起動時は誘導電動機を液体抵抗器により加速し、45c/sに達したところで自動的にレクチフロードライブに切替えるようになっている。また50c/sと60c/sにおいては ± 0.1 c/sという高精度が要求されており、速度の検出にはビート方式を採用している。駆動軸系のGD²も980 T-M²と非常に大きく、停止制動には、誘導電動機のダイナミックブレーキを採用しており、その直流電源には、レクチフロードライブ系の直流電動機の発生電圧を使用し、停電停止時にも支障なきよう考慮が払われている。

2.2 装置の構成および主機定格仕様

主機定格仕様

主発電機：20MVA同期発電機



図 2.1 20 MVA 発電機駆動用レクチフロードライブ
Rectiflow drive for 20 MVA generator.

3相, 13.2kV, 50/60 c/s, 12P

主電動機：9,000kW 誘導電動機

3相, 6.6kV, 60 c/s, 10P, 巻線形

副電動機：2,900kW 直流電動機

1,045V, 500/600rpm, 最高650rpm

制御仕様

A外乱：周波数変動 ± 1 c/s, 0.01サイクル/sec以下

負荷変動 0~7.1MW, 0.2MW/sec以下

B仕様：50c/s, 60c/sにて精度 ± 0.1 c/s

変圧器のヒートラン試験用

45~65c/sも連続制御可能

変圧器の周波数特性試験用

3. 制御装置の構成

3.1 速度検出装置

50c/s, 60c/sにおいては、 ± 0.1 c/sの精度を満足できるように当社鎌倉製作所製の精密速度検出装置を使用し、速度をMP-8HI形電磁式ピックアップにて検出し、その出力600P/Rと水晶発信器からの基準周波数のビートを取る方式を採用した。

3.2 起 動

起動時は、主誘導電動機をWR-6R形液体抵抗器にて加速し、45c/s速度に達した時点でレクチフロー運転に切替えるようになっている。なお切替えは、誘導電動機の二次電圧より直流電動機の発生電圧のほうが、やや上回る状態で行なわれるよう、直流電動機の発生電圧と速度とを検出している。

また速度設定が50c/sあるいは60c/sになっていれば、45c/sよりPGで加速し設定速度近くまで達した後、自動的に精密速度検出装置に切替えが行なわれる。

3.3 速度設定変更

系のGD²が大きいので加速時もあることながら、減速時には、とくに制動トルクもないことから速度の応答は比較的遅い。したがって速度の設定を急変すると、実際には速度はあまり変化してないにもかかわらず界磁電流の応答が速いため、速度設定上昇の場合は過電流を、また下降の場合は過電圧を直流電動機の電機子回路に誘起し、場合によってはシリコン整流器をこわしたり直流電動機にっ

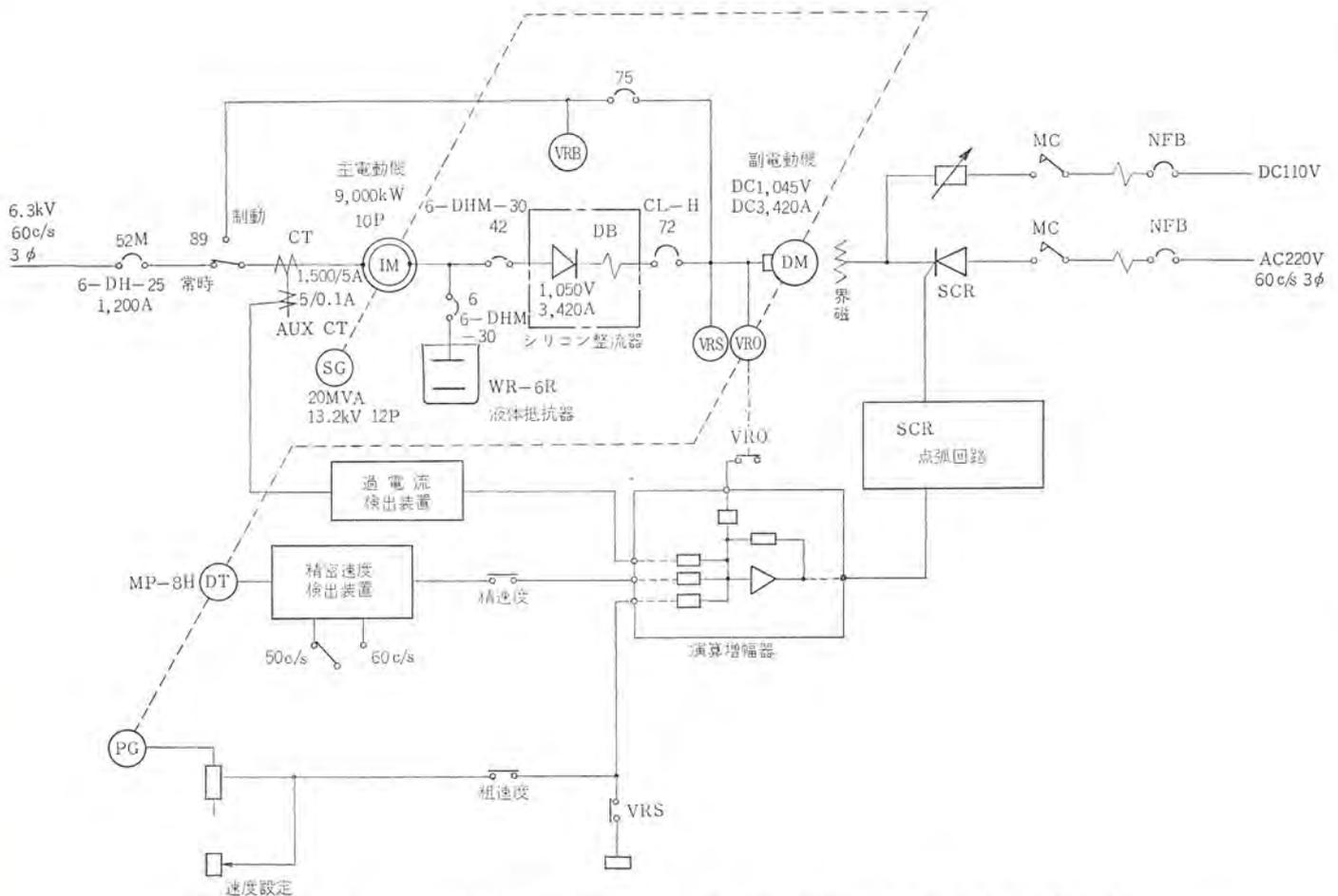


図 3.1 9,000 kW レクチフロードライブ 単線系統図

Skeleton diagram of 9,000 kW Rectiflow drive.

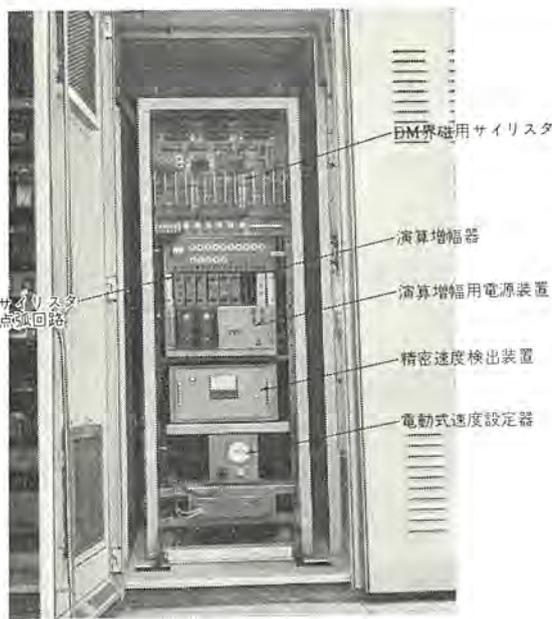


図 3.2 制御盤内部
Interior of Control panel.

機子電圧を検出し、この電圧が一定以上になると、しばらくの間界磁電流を小さくして負荷の減速を待つという方式を採用している。

この場合問題となるのは速度設定上昇よりむしろ下降の場合で、しかも粗速度から自動で精速度に切替えたときである。図 3.3 はそのときの状況を示す。たとえば 61 c/s で粗速度から精速度 60 c/s に切替えが行なわれたとすると、精速度検出装置は粗速度検出装置に比較してゲインが大きいので、そのままにしておくと直流電動機の電機子電圧は 0 点に達し過電圧を生ずる危険があるので、1,100 V 以上になると過電圧リレーを動作させて一時強制的に 50 c/s 界磁に押し、減速を待つ。60 c/s 速度において 50 c/s 界磁を与えると、DM 電機子電圧は 1,020 V くらいになる。しばらく減速時間において、50 c/s 強制界磁を釈放しふたたび精密速度検出装置を生かす。この際、なお過電圧リレーが作動すれば、上記の動作を繰り返すことになり、また作動しなければ、界磁曲線は C→E から F 点に移り、F→G の精密速度検出装置の界磁曲線に従って精密 60 c/s への切替えが行なわれる。

一方電動式速度設定器は、手ダウンすることにより回転角の変化速度を緩慢にし、実際の加速度に近づけるようにしている。また設定下降の場合は、電動機の減速時間がその加速時間に比較して長いことを考慮して間けつ運転することにより、実際の減速時間に合致するようにしている。

3.4 保護

レクチフロー 直流回路の過電流保護としては、過電流リレー-#76 直流しゃ断器内蔵過電流引きはずし装置、シリコン 速応動ヒューズの 3 段で図 3.4 のように協調保護が考慮されている。なおシリコン整流器と

ラッシュオーバーの原因となることが予想される。

これを防止するために本装置では、電動速度設定器を手ダウンすることにより変化速度を緩慢にし、実際の軸の加減速速度に近づける一方主誘導電動機の一次電流を検定し、電流が一定以上になれば、その超過量に応じて電流を減らすよう直流電動機界磁回路に負き(饋)還を行なっている。また過電圧防止に対しては、直流電動機電

直流電動機の過電流強度については、前者のそれのほうが小でありシリコンの過負荷耐量特性に合わせて過電流保護協調が考えられている。

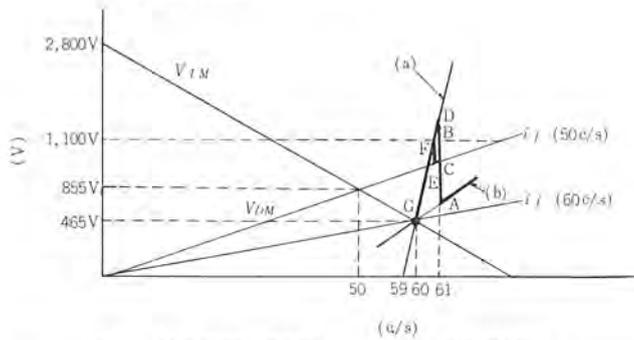
3.5 制動停止

本駆動軸系はGD²が非常に大きいので、そのままにしておくと、停止まで相当の時間がかかる。このことは停電停止時においてはベアリングの焼付きにつながることであり、この対策として制動停止時間と、制動電源の確保が最重要問題となる。本装置では停止時には主誘導電動機によりダイナミックブレーキをかけ、その直流電源確保には直流電動機の発生電圧を使用している。

制動トルク T は

$$T = \frac{3I_1^2 \times m^2 R}{R^2 + (X_2 + X_m)^2} \quad (\text{同期ワット})$$

$$X_2 = 0.481 \Omega$$



V_{DM}: IM 二次電圧 (直流側) V_{DM}: DM 発生電圧
(a): 60 c/s における精密速度検出装置の特性 (b): 60 c/s における PG の特性

図 3.3 速度の精粗切換

Exchange point of minute and rough speed.

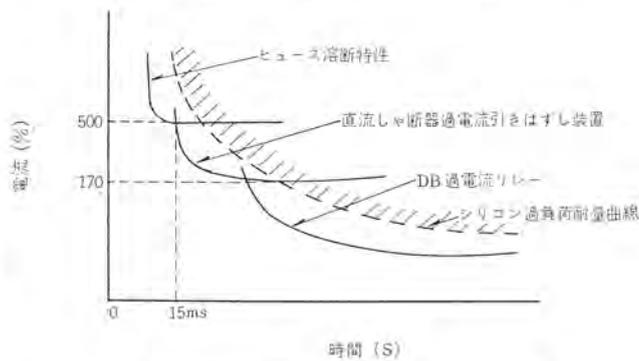


図 3.4 シリコン整流器の保護協調曲線
Protecting curves of silicon rectifier.

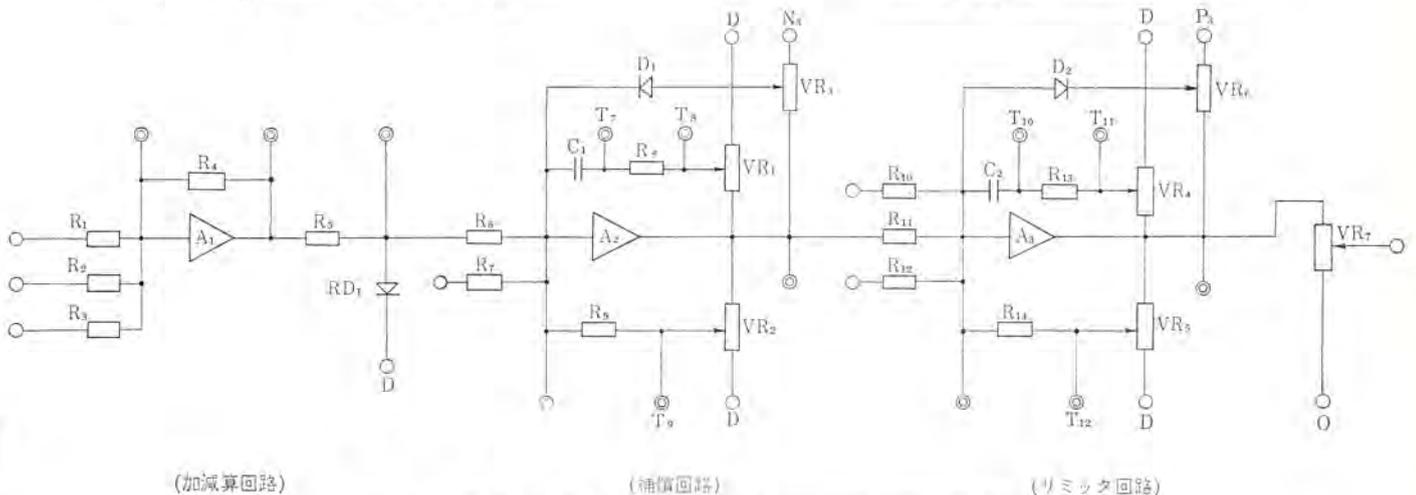


図 3.7 演算増幅器回路 Operational amplifier circuit.

$$X_m = 16.3 \Omega$$

$$I_D = 920 \text{ A (IM 定格値)}$$

$$R = R_2 / (1 - S)$$

$$(R_2 = \text{制動時の IM 二次抵抗値})$$

図 3.6 は制動トルク曲線を示す。図で r_2 は R_2 を二次側に換算した値である。今 $r_2 = 0.57$ とし、左図より平均トルク 10,000 kW とし制動時間を計算すると

$$t = \frac{980 \times N}{375 \times T} \approx 200 \text{ sec} \quad \text{となる。}$$

3.6 速度制御装置故障検出回路

実際の速度と速度検出装置の差がある一定以上になった場合は、自動速度制御装置の故障として警報を出すようになっている。

3.7 演算増幅器

自動制御系のゲイン定数や時定数の調整が容易にできるように、

図 3.7 に示す演算増幅器回路を設けた。図からわかるように、加

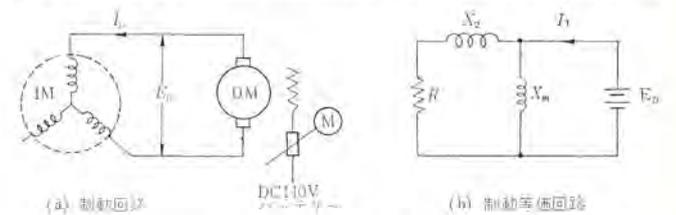


図 3.5 制動回路
Braking circuits.

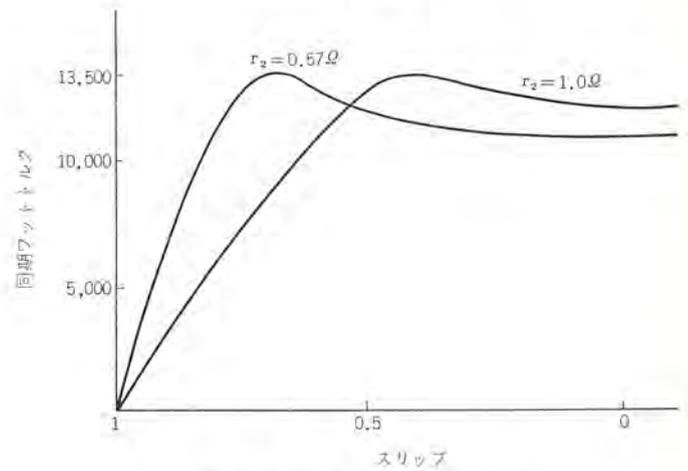


図 3.6 制動トルク曲線
Braking torque characteristic curves.

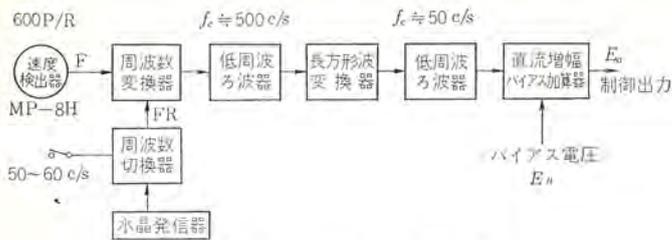


図 3.8 精密速度検出装置
Minute speed detector.

減算回路、補償回路、リミッタ回路に分かれており、動自制御系の定数調整とともに、直流電動機の過電圧過電流なることを防止している。

3.8 精密速度検出装置

精密速度検出装置は図 3.8 に示す構成となっている。

検出装置の性能は下記のとおりである。

- 精度 0.65 rpm (0.065 c/s)
- リップル電圧 500 rpm で 200 c/s 成分 -25 db
- 応答速度 0.02 sec

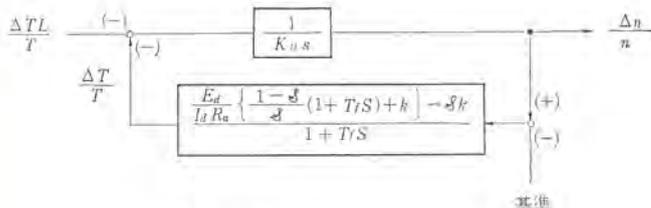
4. ボード線図

自動速度制御系のブロック線図を図 4.1 に示す。

$n=600$ rpm における開放回路の伝達関数は

$$\frac{1}{13605} \cdot \frac{600(1+0.1s)}{1+0.67s}$$

これをボード線図に描くと図 4.2 のようになり、安定な特性である。



- K_M : 慣性定数
- $\frac{E_a}{I_a R_a}$: レクチフロー-直流回路のゲイン定数
- k : 速度比較部分のゲイン
- T_f : 直流機昇磁時定数
- g : スリップ
- T : トルク
- n : 回転数

図 4.1 ブロック線図
Block diagram.

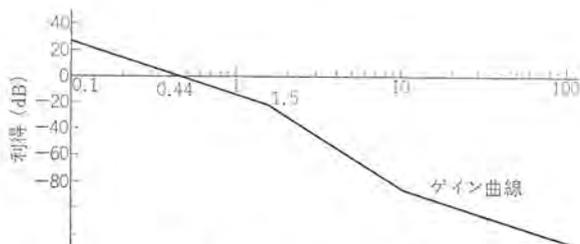


図 4.2 ボード線図
Bode diagram.

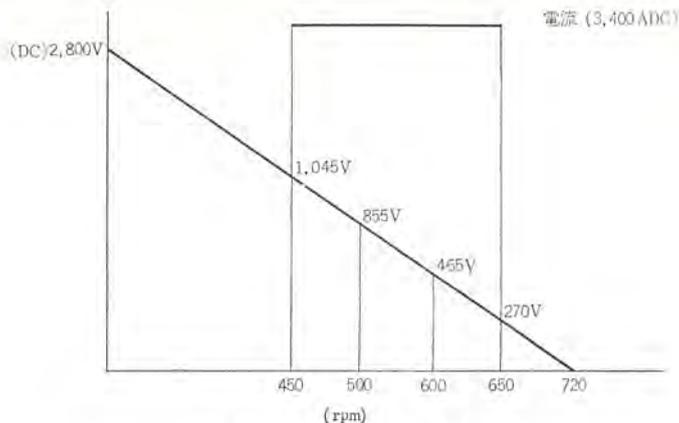


図 5.1 速度出力特性
Speed-output characteristic.

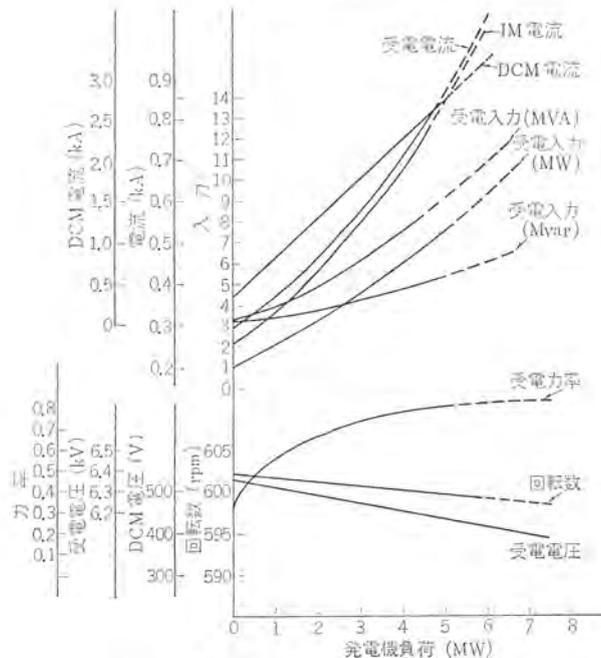


図 5.2 負荷特性曲線
Load characteristic curves.

5. 測定データおよびレクチフローの仕様

試験した結果図 5.1, 5.2 のような結果をえた。図 5.1 にみられるように、レクチフローは定出力特性を示している。

6. むすび

レクチフロードライブとしては画期的な大容量のものであるため、直流電動機および整流器の保護装置は厳重なものとし、また、速度検出には十分な検討を行ない、良好な結果がえられた。今後同種の速度制御装置として静止セルビウス装置等も出てくると思われるが、これらの製作にあたっては、今回の資料、記録を活用したいと考えている。

終わりに、この装置の製作、試験について種々指導いただいた関係各位に心から謝意を表します。

参考文献

- (1) 武田, 新良, 九里: 三菱電機技報, 35, No. 11 (昭36)

MELCOM-9100 システム シリーズ (1) —方式設計—

松本 大四*・坂 和磨*・飯川 昭一*

MELCOM-9100 System Series (1) —System Design—

Kamakura Works Hiroshi MATSUMOTO・Kazuma BAN・Shoichi IKAWA

This paper describes a system design of a series of computers, MELCOM-9100 System Series, for on-line real-time applications, covering a wide range from small to average scale total systems.

Emphasis is placed on a unified design of hardware and software, a compatible design of intra-and-inter systems, and an open-ended design for future technical advances.

The concepts of dynamic allocation of computing resources and highly modular system organization are introduced to fulfil the design objectives extracted from the requirements for the on-line real-time applications.

1. ま え が き

最近の電子計算機適用面の拡大, 計算機技術の進歩は著しく, これに伴って計算機適用の質的高度化がもたらされている。

なかでも情報を発生場所でただちに収集し, 処理を施し, 結果をまたただちに使用場所へフィードバックして提供するオンラインリアルタイムシステムの進展がめざましく, 計算機制御システムから経営情報システム, さらに計算機利用に新しい面を開拓しつつあるタイムシェアリングシステムに至るまで広い分野にわたって浸透し発展を続けている。

当社もプロセスの計算機制御はもちろん, さらに MELCOM-1600 システムシリーズを主力にして広くオンラインリアルタイムシステムの分野に努力を傾注し, 総合システム自動化 (TOTAL SYSTEM CONTROL) を計る「国鉄郡山操車場自動化システム」, 広範なデータ通信網と直結した「神奈川県企業庁相模川水系総合管理システム」, 生産情報管理システム (PRODUCTION INFORMATION & CONTROL SYSTEM) としての「オンライン生産工程管理システム」など, 各方面の需要にこたえ, 多くの実績をもつことができた。

このたび, このような実績と経験から得られた技術の積み重ねをもとに, 新しいシステム技術, 計算機技術の進歩をとり入れて, これからのオンラインリアルタイムシステムの要求にこたえ, その発展の基柱となる新しい計算機システムシリーズ「MELCOM-9100 システムシリーズ」を開発し, 市場に送り出すことになった。

本文では MELCOM-9100 システムシリーズの設計思想, およびオンラインリアルタイムシステムの要求から抽出されたシステム概念に基づく方式設計を, グループ 30 を中心にして紹介する。なおハードウェア, ソフトウェアの設計の細部については引続き別稿が予定されているので, そ

ちらに譲ることとする。

2. オンラインリアルタイムシステムの動向は握

高度化した計算機適用の中でもとくに著しい発展を見せているオンラインリアルタイムシステムの動向には, 大きく次の三つがある。

(1) 計算機制御の進展

制御への計算機適用は, 科学技術計算, 事務データ処理とならんで計算機発展のはじめから着目されていたが, そのために必要な計算機技術, システム技術の充実をみるまでは本格的適用に至らず, むしろ特殊な適用分野であるとして, 一般の計算機適用とは対立的, 閉鎖的にすら考えられていた。

しかし, その後の急速な計算機技術, システム技術の進歩により, 計算機制御もようやく本格的実用の段階に至りつつある。計算機技術面では, 計算機制御の発展に必要な技術も後述するタイムシェアリングシステムの技術と共通性を持ち, 広くオンラインリアルタイムシステムに必要な計算機技術として融合されてきている。

一方システム技術の面でも経営情報システムのように, システム制御のための情報システム (INFORMATION & CONTROL SYSTEM) の概念の中に統一されるに至っている。これとともに計算機制御も従来までの閉鎖性を脱し, オンラインリアルタイム情報システムへの適用の大きな流れに組み込まれ, 急速にして大幅な進展を見せようとしている。

(2) システム統合化の推進

近年における社会の大幅な成長発展は, 広範な情報をもとに迅速・適確な意志決定を必要とし, 工場単位・企業単位の経営情報システムはもちろん, さらに国・都市にまたがる情報サービスなどのより広範な情報システムを要求している。

これに伴い情報システムの構成は企業活動の各分野別に本社—工場—プラントを結びつけるような縦方向の統合とともに, エンジニアリング—購買—生産—販売などの関連分野を結びつけるような横方向の統合と, 各方面にわたってシステムの統合化を旨として進んでいる。

一方このようなシステムの統合化にあたって, 情報のレベル選別と最適配分を考慮して, 遠隔計算機を含んだ多重計算機を階層構造に組み合わせた計算機複合システムもとり上げられている。

たとえば計算機制御の本格的実用は, 単に従来のシステムの一部を計算機で置き換えただけでなく, 積極的に利益を追求するために制



図 1.1 MELCOM-9100 システム シリーズ グループ 30
MELCOM-9100 system series group 30.

御の質の向上を要求し、プラントに直結する直接デジタル制御 (DD C) 計算機、さらにその設定値を最適化する計算機、工場プラント全体の管理を行なう計算機と、多重計算機を階層的に配置して、統合情報システムを実現することにより、計算機の真価を發揮させることを必要としている。

(3) タイムシェアリングシステムの導入

大学、研究所において計算機使用の際の不便さを解決するため、あたかも使用者が計算機を専有しているのと同じように使えることを目的として開発したタイムシェアリングシステムは、多数の人間が計算機と対話しながら、人間の問題解決の助けに計算機の情報処理能力を利用するという可能性をもたらし、計算機適用の新しい局面を開拓しているほか、情報処理能力の共同利用による情報ユーティリティ (INFORMATION UTILITY) にまで発展をみせようとしている。

このタイムシェアリングシステムは、計算機の情報処理能力を共同利用するオンラインリアルタイムシステムであり、計算機制御のための技術とも共通な計算機技術をもとにしているため、これからのオンラインリアルタイムシステムの技術の大きな推進力となると考えられる。

3. MELCOM-9100 システム シリーズの基本思想

MELCOM-9100 システム シリーズは、上述のような動向のは握に基づいて、「計算機制御を含めたオンラインリアルタイムシステムへの適用を、統一した設計構想により展開された計算機システム群でカバーすること」を基本思想として開発されたものである。開発にあたっては、今までの技術の蓄積のうえに、オンラインリアルタイムシステムに要求される新しい計算機技術を取り入れて、統一されたシステム概念を打出している。MELCOM-9100 システム シリーズは次のようなグループ、モデルから構成される。

(1) グループへの展開

システム シリーズは単独システムで各種用途にマッチしたものであるとともに、計算機を階層構造に配置した計算機複合システムによる統合システムにおいて、各レベルに適した計算機を提供するため「グループ10」、「グループ30」、「グループ50」の互いに規模、価格、性能の異なるスペクトラムをカバーする三つのグループから構成される。

大きなグループは統合システムの中心計算機としてタイムシェアリングシステムにも発展するものであり、小さなグループは、計算機制御における直接デジタル制御用計算機、遠隔端末計算機などの末端計算機となるものである。

今後さらにシステム シリーズは、三つのグループを中核にして新しいグループへの発展も考慮している。

(2) モデルへの展開

システム シリーズの各グループは、適用システムによって要求される情報処理機能に応じて、つねに最適な計算機システムを提供できるように、情報処理機能の異なるモデル群に展開している。これによりグループを行とし、モデルを列とするグループモデルマトリックスを構成することとなる。

たとえば一つのグループの中から、科学技術計算の処理機能が重視される適用システムに対しては、浮動小数点の処理機能の高いモデルが選ばれて提供されることになる。

4. 設計方針

方式設計の基本として貫ぬかれている方針は、次の三つである。

(1) 計算機システムの統一的設計 (UNIFIED DESIGN)

計算機適用の高度化は計算機システムの使用にコントロールプログラムを不可欠ならしめている。このため従来まで採られていたように計算機システムを直接ハードウェア、ソフトウェアに分離して、独立に設計することはシステムのあるべき姿を展開するに当ってむしろ有害であり、システムの形をゆがめることにもなる。この点から方式設計の発展を図4.1(a)に示されるように、計算機システムをハードウェアをコントロールプログラムでつみ込んだ多層構造 (MULTI-LAYER STRUCTURE) として統一には握することに置き、多層構造レベルの調和とバランスを追求している。

また計算機システムが適用に合わせて、つねに最適な機能を發揮できるものに仕上げるため、エクステンシブルマシン (EXTENSIBLE MACHINE) の概念に基づく接近を行なっている。すなわちコントロールプログラムを図4.1(b)のようにさらに二つの層 (LAYER) からなるものとし、基本コントロールプログラム、拡張コントロールプログラムによる多層構造としている。

このうち基本コントロールプログラムはハードウェアにより実現される機能と同一視し、基本コントロールプログラムとハードウェアを合わせて MELCOM-9100 システム シリーズのベーシックマシン (BASIC MACHINE) として統一して設計している。

ベーシックマシン設計の眼目は、ベーシックマシンの提供する処理機能により、いかなる適用に対しても容易に機能を拡張できるエクステンシブルマシン (EXTENSIBLE MACHINE) とすることに置いている。

したがって方式設計の手順は計算機システムに必要とされる情報処理機能とその性格を抽出した後、これをいかに実現するかの手段の選択として、多層構造の各レベルへの分担を割付ける方法によって行なっている。この結果、MELCOM-9100 システム シリーズの方式設計はハードウェア、ソフトウェア両面にわたってまったく同時に進められた。

この際ベーシックマシンの輪郭、ベーシックマシンにおけるハードウェア、ソフトウェアの分担と実現の手段は、必要とされる処理能力の規模・性能・価格によって決められ、ワイアドロジック (WIRED LOGIC)、マイクロプログラミング (MICRO-PROGRAMMING)、マクロプログラミング (MACRO-PROGRAMMING) を使い分けており、同一シリーズの中でも多くの異なる選択が存在している。

(2) 共通性と標準化 (COMPATIBLE DESIGN)

システム シリーズ内のグループ、モデルの間では、あらゆるところで共通性の概念を重視している (INTRA-SYSTEM COMPATIBILITY)。さらにより広い範囲での他機種との共通性 (INTER-SYSTEM COMPATIBILITY)、将来に対する共通性 (LONG RANGE COMPATIBILITY) をも重視しており、国内および世界的な標準化の方向を最重点で考慮している。

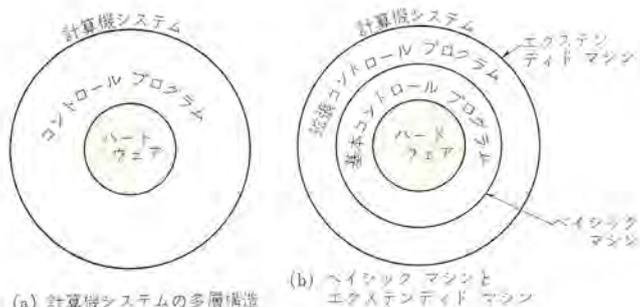


図 4.1 計算機システムの多層構造
Multi-layer structure of computer system.

システムシリーズ内の共通性としては、まずソフトウェアの互換性があげられ、計算機システムの財産として積み上げられるソフトウェアは、すべてのグループ、モデルを通じて共通に使用できるようにしている。このほかデータ、入出力接続インタフェース、入出力機器についても共通性を持たせた設計がなされている。

より広い、将来をも含めた共通性については、コード、キヤラクタセット、計算機と通信回線との接続をも含めた入出力インタフェース、プログラム言語などについて標準化の方向を設計にあたって広く採用している。

(3) 技術の発展性 (OPEN-ENDED DESIGN)

計算機技術の進歩は著しく早く、次々と新しい技術進歩が生まれている。このような技術進歩に歩調を合わせ、技術進歩の成果を次々と導入していけることが、使用者にとっては長期にわたってつねに新鮮な計算機システムの使用を可能にし、計算機システムのライフサイクルを大きく拡張するために何よりも重要である。

MELCOM-9100 システムシリーズは、過去の貴重な経験にかんがみ、とくにこの点に注意して設計を進め、技術進歩の成果を導入して、技術の積み重ねの強みを発揮できることを方針としている。たとえば、現実には得られる技術のみに執着して問題の解決を計ることを避け、問題の正統的解決により、技術進歩に対する発展性を持たせる立場を取っている。

5. 設計目標

方式設計の具体的目標としてとり上げられたポイントを以下に示す。

(1) 運転の継続と保安

オンラインリアルタイムシステムの計算機システムは、システムの機能遂行のための主要構成ユニットであり、システムの中に埋め込まれている。したがって、計算機がシステムにおいて真価を発揮して有用であるほど、計算機システムに対しては異常時に対する保安と連続的な運転の継続が要求される。すなわち、つねに運転を継続できる、頼りになる計算機システムでなくてはならないことが強調される。

(2) ダイレクトアクセスと実時間応答

オンラインリアルタイムシステムは、計算機と情報発生個所、情報使用個所が直結されるダイレクトアクセスであり、処理要求が発生してから、その処理結果が得られるまでの経過時間が実時間でなくてはならない。たとえば、計算機制御システムで経過時間が定められた時間を越えて遅滞すると、システムに致命的損害を与えることもあり、きびしい実時間制限がある。また、タイムシェアリングシステムのように人間との交互作用のあるシステムでは、人間をいらいださせ、システムの本質をそこうことになる。

しかも、処理要求の発生は計算機でスケジュールできないのが普通であり、多数の処理要求の集中することが多く、このときでも定められた時間内に実時間で応答できなくてはならない。

(3) マルチアクセスと多目的使用

オンラインリアルタイムシステムでは、システムの統合化が進むにつれ、一つの計算機システムで多くの直接関連のない処理を行なうことが要求される。

たとえばタイムシェアリングシステムでは、数多くのターミナルから使用者がおのおのの独立な処理を依頼するマルチアクセス (MULTI-ACCESS) を行なう。また、小規模な計算機制御システムでもオンライン制御の処理と併行して、制御系の解析などの科学技術計算、新しい制

御プログラムの開発を行なうことが必要となり、制御のための処理を1人の使用者と考えた場合、同時に二人の使用者によるマルチアクセスが行なわれる。

したがって、各使用者に対しては迅速な実時間応答を守りながら、同時に複数の使用者からの処理が、相互に不必要な干渉なく行なえるよう保護ができなくてはならない。

(4) ファイル

計算機システムが情報処理システムといわれる重要な機能として、情報の統合・保存・維持がある。このように情報が統合され、規則正しく配列保存されているものをファイルという。ファイルの内容には、データおよびプログラムがある。

オンラインリアルタイムシステムでは、とくにこのファイルの重要性が高い。たとえば、プロセスの計算機制御でもプロセスからの処理要求に応じて実行される多くのプログラムが、ファイルとして計算機システムに保有されているのが普通である。さらにマルチアクセスを行なう統合化されたシステムでは、各使用者の必要とするデータおよびプログラムはすべてまとめて保有され、データベース (DATA BASE) として大量のファイルが必要とする。そのファイルを簡単にアクセスでき、共同利用できると同時に、相互に不必要な干渉により破壊されるのを防ぐことが必要になる。

(5) 柔軟性と拡張性

発展を続ける計算機適用の中でも、とくにオンラインリアルタイムシステムでは、新しい適用システムが次々と生まれており、システムの必要とする処理能力も大きく変化する。したがって、計算機システムはつねに最も適合し、かつ調和した処理能力、構成を提供できる柔軟性が必要である。またシステムは成長し発展するのがつねであり、従来までの処理量が増加するだけでなく、新しい処理が追加される。計算機システムは、その能力、機能を要求に合わせて拡張できることが必要であり、とくにシステムの運転を停止せずに、その拡張のなされることが望まれる。

6. 設計構想

上述の設計目標を達成するためになされた設計の構想および導入されたシステム概念のポイントを次に述べる。

6.1 パラレルプロセッシングと動的割付け

6.1.1 情報処理資源としての計算機システム

オンラインリアルタイムシステムにおける計算機システムは、使用者が処理を依頼したとき、望みの処理能力を提供するものと考えられる。すなわち、情報処理能力という資源を保有していて、使用者が必要とするときに必要な量だけの資源を提供するものとは握できる。この情報処理資源を構成しているものは、使用者から見てプロセッサ、メモリ、ファイルであり、ファイルに保有されているプログラム、データも資源とみなされる (図 6.1)。さらに、物理的にはプロセッサ、メモリのほか、入出力チャネル、外部記憶装置、入出力装置にわかれる。

ここで注目すべきは、各使用者が必要とする情報処理資源の量は、使用者によって非常に異なることである。たとえば、ある使用者の処理はメモリが少なくよく、他の使用者は大きなメモリ領域を必要とすること、あるいは、ある使用者は入出力動作が多くプロセッサをあまり使用しないが、他の使用者は演算処理が多く、プロセッサをくり返し必要とするなどの差がある。

さらに、各使用者による情報処理資源の所要量も処理の進行中に大きく変動する。たとえば、プロセスの計算機制御ではプロセスという

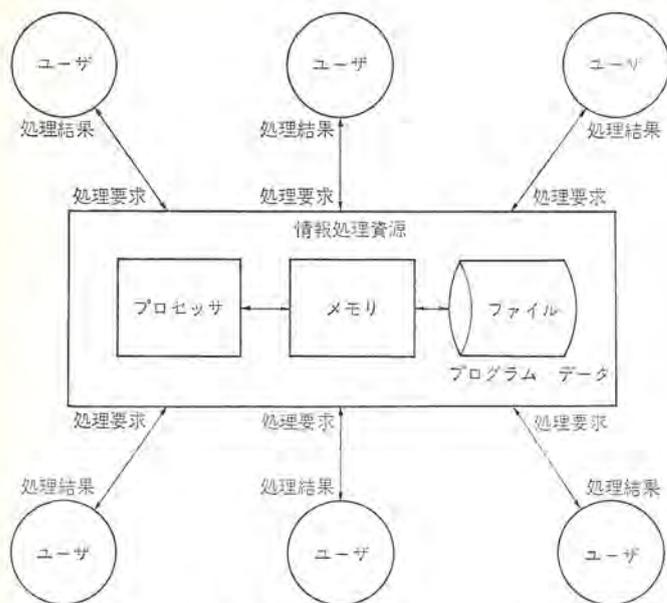


図 6.1 情報処理資源としての計算機
Computing resource for information processing.

使用者から信頼される処理の進行ステップは、プラントの動き、状態により進行過程の必要な資源の量が動的に定められる。

また、人間と計算機の相互作用を必要とするシステムでは、人間によって処理ステップが指定され、ステップとステップの間に人間の判断もはいる得、それに応じて処理の進行に必要な資源の量も変動する。

以上でわかるように、情報処理資源の需要はきわめてダイナミックに変動する。

6.1.2 資源の動的割付けとパラレルプロセッシング

複数の使用者が、一つの計算機を同時に利用し、見かけじょう情報処理資源を専有しているのと同じ使用が許されるマルチアクセスを実現し、しかも各使用者から依頼される処理ステップに対し、迅速な実時間応答を確保するためには、物理的には限られた情報処理資源をできるだけ多重利用 (MULTIPLEXING) し有効に使うことが必要である。

このためたとえば、

(1) 一つの処理ステップに対して資源を割付け、なお資源に余りがあれば余った資源を他の処理ステップに割付ける。

(2) 一つの処理ステップが外部で定められた条件が整うまで待つとか、入出力動作によるデータの得られるまで待つなどにより資源の使用を必要としなくなったときは、処理ステップを中断し、あいた資源を他の処理ステップへ割付ける。

(3) より緊急な優先度の高い処理ステップが資源を必要としたとき、優先度の低い処理ステップを中断し、この資源を優先度の高いものに割付ける。

など、時分割 (TIME DIVISION)、空間分割 (SPACE DIVISION) により、情報処理資源を多重利用 (MULTIPLEXING) するための動的な情報処理資源の割付けを行ない、つねに資源の保有量と所有量とをできるだけバランスさせて、資源を有効に利用し、多くの処理ステップを併行して進行させるパラレルプロセッシング (PARALLEL PROCESSING) が効果的である。

6.1.3 動的割付けの設計構想

(1) 資源の動的割付けの方式

(a) ダイナミックリロケーション

プログラムを変更することなく、プログラムをメモリのどこに入れても

実行できる、ダイナミックリロケーションの機能を持たせる。これによりメモリの動的割付けが迅速に行なえる。

(b) プログラム切替えの迅速化

プログラムはしばしば中断され、他のプログラムに切り換えられる。そのため、プログラムの切替えに必要な状態量を集中化すること、プログラムの種類に応じて演算レジスタを多重に設置することを採用している。これによりプロセッサの迅速なる動的割付けを可能にする。

(c) ファイル割付けの実行時での決定

ファイルの動的割付けを行なうため、ファイル記憶装置およびファイルと使用者のリンクは、実行時に使用者からの指示により決める方式を採用している。また、それを容易にするため、ファイルには多重レベルのツリー構造 (TREE STRUCTURE) を持たせている。

(2) 資源の共有の方式

(a) セグメンテーション

異なる使用者間で、メモリ上のプログラム、およびデータの共有を計るため、ダイナミックリロケーションに加えてセグメンテーションの機能を持たせている。

(b) ファイルの共有

システムに存在するファイルは、すべてマスターディレクトリ (MASTER DIRECTORY) をルートとするツリー構造になっており、使用者間で共有できるようにしている。

(3) 資源の保護方式

(a) メモリ保護

各使用者間の誤まった干渉により、メモリの内容が破壊されるのを防ぐ。このため、動的に保護領域を設定できるメモリ保護方式を採用している。

(b) ファイル保護

すべてのファイルに、そのファイルへのアクセスを許される使用者が登録されていて、許可されていない使用者のアクセスによりファイルの破壊されるのを防ぐ方式を採用している。また、同一ファイルを同時にアクセスすることによる干渉を防ぐため、交通整理を行なう機能も備えている。

6.2 モジュラリティ構成

6.2.1 ビルディングブロック

適用システムによって必要な情報処理資源の種類と量は大きく異なり、つねに最適な資源を構成できること、システムの拡大に応じて必要とされる資源の量を各資源ごとにふやしていけることが、システムの柔軟性、拡張性から要求される。このためには、情報処理資源の構成をできるだけブロック単位で用意しておき、ビルディングブロックで計算機システムを構成することが効果的である。

6.2.2 分割 (PARTITION)

システムの運転を絶対に停止してはならないようなきびしい運転の継続要求は、故障が起こらないようにする信頼度の追求とともに、二重構成などの多重系構成により対処される。この際、系の構成が固定的であれば系の一部に故障が起きることにより、すべての系を新しい系にスイッチングする必要がある。このためシステムの運転停止の可能性を大にし、すべての系を二重に持つ必要が生じ経済的でない。

これに対し、システムの構成を細かいシステム構成ユニットに分割 (PARTITION) しておき、故障したシステムユニットのみのスイッチング、切り落しを行なうことにより、より信頼性の高いシステムを経済的に構成でき、しかも、機能縮小したフォールバック (FALL BACK) 運転も可能になる。

6.2.3 モジュラリティの設計構想

以上のビルディングブロック、システムの分割の目的を満たすため、システム構成には完全なモジュラリティ構成を採用している。以下に、モジュラリティ方式の設計の構想を述べる。

(1) 機能モジュールへの分割方式

メモリモジュール、プロセッサモジュール、I/Oプロセッサモジュール、I/Oコントロールモジュール、I/Oデバイスの五つの機能モジュールに分け、これらの組合せで、システムを構成する。またソフトウェアにも機能モジュールの考え方を取り入れている。

(2) モジュールの接続方式

システム構成の自由度を制約することがないように、ソフトウェア、ハードウェアすべてのモジュール間の接続仕様の標準化を計り、スタンダードインタフェース(STANDARD INTERFACE)としている。

(3) モジュール間のコミュニケーション方式

モジュール間のコミュニケーション方式は、システム構成が拡張されても、コミュニケーションのための伝送遅れによる機能低下を起こさないこと、およびモジュール単位で独立して将来の技術進歩を導入できる発展性の点から、非同期方式(ASYNCHRONOUS)を原則として採用している。

7. グループ30の方式設計

7.1 概要

グループ30はMELCOM-9100システムシリーズのなかで中規模のスケールをカバーし、計算機制御、データ通信制御、科学技術計算、などのほか計算機複合システムの一環としてトータルシステムを構成するなど、広範囲の要求と新しい適用分野の開発にこたえるものである。

さらにオンラインリアルタイムシステムの発展を推進する計算機技術の母体であるタイムシェアリングシステムへのステップとして、端末数が少ない小規模なマルチアクセスを行なうペイシクタイムシェアリングシステムを構成し、その実用化と今後の技術発展への足がかりを与えるものである。

他のグループとはプログラム、データ、入出力インタフェース、入出力装置の互換性を持ち、大形グループの基本的機能を共通に備えているので、大形グループのシステムへの移行もそのまま可能である。表7.1にグループ30基本モデルの仕様一覧を示す。

7.2 ハードウェアの論理構造

7.2.1 情報の単位

MELCOM-9100システムシリーズで取り扱える情報の最小単位はビットであるが、一方入出力装置、データ通信回線からの情報は通常キヤラクタ(字)が単位として扱われ、人間と計算機の情報交換の基本になっている。MELCOM-9100システムシリーズではキヤラクタを8ビットのバイト(BYTE)で表現し、情報の単位としている。キヤラクタのコードについては国内のみならず世界的にも標準化の方向として採り上げられている8ビットコードを採用している。さらに大きな情報の単位としては2バイト(16ビット)のワード(語)を設けている。

図7.1にこれらの情報の単位を示す。

メモリのアドレッシングは情報の単位であるバイト、ワードのいずれでも行なえるようにしている。

7.2.2 データ形式

演算処理の対象となるオペランドのデータ形式は、演算処理の内容に応じて選択される。データ形式にはデータの長さが、演算命令の種類によって前もって定められている固定長形式と演算命令の中のオペランド長指定フィールドにより定める可変長形式とを設け、いずれも

表 7.1 グループ30仕様一覧
Specification of group 30.

項目	内容
メモリ	
サイクルタイム	0.8 μ s
読出し幅	10ビット(2バイト)
最大記憶容量	131kバイト(45kワード)
プロセッサ	
命令数	基本64(最大128)
命令形式	6種(RR, RS, RI, RX, SI, SS)
アドレス方式	直接オペランド、直接アドレス、間接アドレス ベースアドレス、相対アドレス、インデックスアドレス
命令実行モード	特権モード、ユーザモード、リロケーションモード 絶対モード、プログラムテストモード、診断モード
演算レジスタ	16レジスタ
データ形式	固定2進(ワード、ダブルワード)、固定10進(可変調) 浮動2進(ダブルワード、カルテットワード) 論理(バイト、ワード、ダブルワード、可変調バイト)
演算速度	加算 1.4 μ s (RR), 2.5 μ s (RS) 乗算 8.4 μ s 除算 11.2 μ s
割込み	16レベル
自動アドレス変換	ダイナミックリロケーション
入出力チャンネル	
マルチプレクサ	64サブチャンネル 8トラック
ハイスピード マルチプレクサ	256サブチャンネル 8トラック
セレクタ	1サブチャンネル 8トラック
ダイレクト入出力	ダイレクトコミュニケーション ダイレクトコントロールチャンネル

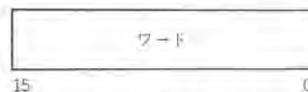
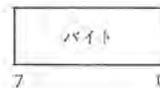


図 7.1 情報の単位
Information unit.

情報の単位であるバイト、ワードから構成している。

データ形式には次のものがある。

固定小数点演算

固定長

2進数 ワード、ダブルワード(2ワード)

可変長

10進数 1~16バイト

浮動小数点演算(固定長のみ)

短精度 ダブルワード(2ワード)

長精度 カルテットワード(4ワード)

論理演算

固定長

バイト、ワード、ダブルワード(2ワード)

(レジスタ中のオペランドはビット単位で演算可能)

可変長

可変長 バイト 1~256バイト

図7.2にこれらのデータ形式を示す。このうち浮動小数点演算、可変長演算は拡張機能として基本モデルに付加されるものである。

7.2.3 演算レジスタ

固定長の固定小数点演算、論理演算のためにアキュムレータレジスタ、アキュムレータ拡張レジスタがあるほか、アキュムレータ、インデックスレジスタ、ベースレジスタなど各種の用途に使用できるはん用レジスタがある。はん用レジスタは3個を1グループとして基本モデルで4セット用意している。浮動小数点演算のためには浮動小数点レジスタ、浮動小数点拡張レジスタがある。

7.2.4 命令形式

命令はワード(2バイト)を単位とする可変長で、1ワード長、2ワード長、3ワード長、4ワード長の別があり、図7.3に示すような六つの命令形式を基本にしている。

RR形式、RS形式、RI形式、RX形式により、レジスタとレジスタの間のオペレーション、レジスタと命令自身に持っているオペランドとのオペレーション、レジスタとメモリとの間のオペレーションなどの各種が可能になっている。とくにRS形式は1ワード(2バイト)という短い命令長でありながら、メモリからオペランドをアクセスしてオペレーションを行なうことができる。

SS形式はメモリとメモリとの間のオペレーションを指定する。そのほ

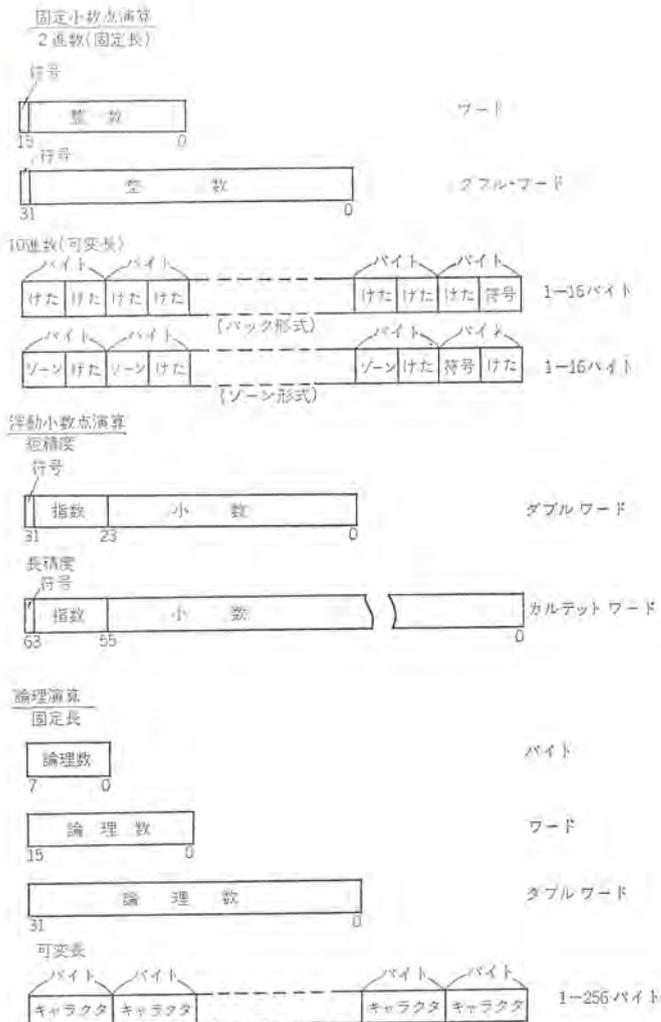


図 7.2 データ形式 Data format.

か命令形式上の配慮として共通プログラムとして使用するための RE-ENTRANT コーディングを可能にする設計がなされている。命令のオペレーション指定部は将来の拡張のために十分な余裕を残してあるが、使用していないものに対してはプログラムチェックの割込みが発生するようにしている。

7.2.5 命令実行制御

命令の実行を制御するために必要な情報は、すべて「プログラムステータスワード」(PROGRAM STATUS WORD)と呼ぶレジスタに集中保持する方式を採用している。これにより各種の命令実行モードも指定される。

命令実行モードには「特権モード」と「ユーザモード」の別を設けている。特権モードはすべての命令セットを実行することができ、コントロールプログラムで使用する。ユーザモードは一般の使用者のプログラムを実行するために設けられているもので、システムの運転に重大な影響を持ち、使用者が勝手に乱用しては困る命令(入出力命令、割込制御命令、プログラムステータスワードを入れ換える命令など)の使用が禁止されている。もし誤まって使用しようとするとうプログラムチェックの割込みが発生するようにしている。

重要な命令実行モードには、このほか自動アドレス変換を行なう「リロケーションモード」とアドレス変換を行なわない「絶対番地モード」の別が設けられている。図7.4はプログラムステータスワードを示す。

7.2.6 自動アドレス変換

セグメンテーションとダイナミックリロケーションを自動的に行なうことを可能にする二次元アドレス変換方式を採用している。グループ30では、セグメント指定とそれに対応したマッピングレジスタを組合わせた簡単な方式で行なう。このとき命令のオペランドアドレスはコアメモリアドレスとは独立したロジカルアドレス(論理アドレス)とみなされ、実行時に自動アドレス変換機構により実際のコアメモリをアクセスするためのフィジカルアドレス(物理アドレス)に変換される。図7.5にグループ30におけるこの変換過程を示す。

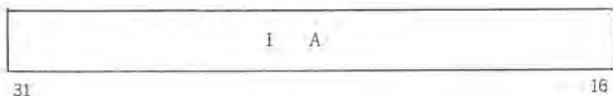
7.2.7 メモリ保護

基本のメモリ保護機能としてメモリに1k(1,024)バイトのページロック単位で2ビットのメモリロックパターン(封錠パターン)をつける方式を

ワード	ワード	ワード	ワード
OP ₁	T ₁	L ₁	
OP ₂	T ₂	L ₂	
OP ₁	T ₁		V ₂
OP ₁	T ₁	OP ₂	Δ ₂
OP ₁	T ₁	OP ₂	L ₁
OP ₁	T ₁	OP ₂	
OP ₁	T ₁	OP ₂	
		L ₁ + L ₂	A ₁
			A ₂

(注) OP₁, OP₂: オペレーション指定
 T₁: レジスタ指定
 L: データの長さ指定
 L₁, L₂: データの長さ指定
 I₂: 数値
 D₂: 相対アドレス
 V₂: 数値
 Δ₁, Δ₂: アドレス

図 7.3 命令形式 Instruction format.



- CC : コンディションコード
- MM : マシンチェックマスク
- SM : システムマスク
- W/R : ウェイト/ラシニング
- RP : レジスタポインタ
- C/E : 内部コードモード
- R/A : リロケーション/絶対番地モード
- U/P : ユーザ/特権モード
- KEY : 保護キー
- IA : 命令アドレス

図 7.4 プログラムステータスワード
Program status word.

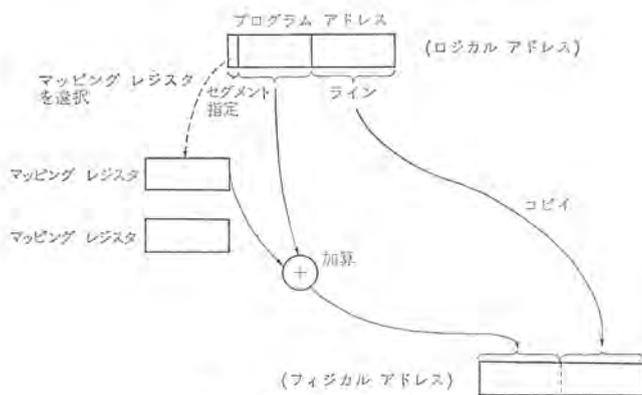


図 7.5 アドレス変換の過程
Address mapping Process.

表 7.2 割込みの種類
Interrupt groups.

割込み名称	内容
エマージェンシーチェック	モジュールの電源異常、温度異常などの環境条件のチェック
マシンチェック	パリティエラー、シーケンスエラーなどの機械故障チェック
プログラムチェック	不正命令、不正アドレス、メモリ保護などの不正プログラムのチェック
スーパーバイザコール	ユーザプログラムからコントロールプログラムへの要求、ステータススイッチ
入出力	入出力チャンネル、入出力装置からの割込み
ダイレクトコントロールチャンネル	ダイレクトコントロールチャンネルからの割込み
外部	タイマ、オペレータリクエストなどのほか各種外部信号による割込み
デバッグ	プログラムのデバッグのためのトレイス割込み
保守	保守モードにある装置、保守員のリクエスト
診断	自動診断のための内部割込み

採っていて、動的なメモリ保護領域の設定、不連続な保護領域の設定、四つの保護レベルの指定が可能になっている。さらに自動アドレス変換と組合わせたアクセス保護の機能も付加できるようにしている。

7.2.8 割込み

割込みが発生すると自動的にプロセッサのプログラムステータスワードが入れ換えられ、瞬時に命令実行モード、プログラムの進行状況がいつでも切り換わる。割込みの要因には多数あるが、大別して10種に分類されている。表7.2にその内容を示す。

とくにハードウェアで故障が検出されたときに起こる機械チェック割込みに関しては、故障の原因と発生個所の診断を行なうため、その時点のハードウェア各所の状態情報が発生要因の明細とともに診断レジスタ(DIAGNOSTIC REGISTER)に集められた後メモリ上に記録されるようにしている。

7.2.9 タイマ (TIMER)

インタバルタイマ、リアルタイムクロックに使用する高速タイマを用意している。タイマはメモリ上にタイマレジスタワードが設定され、自動的にインクリメントされる。外部からの信号のカウントにも使用できる。タイマは1個が内蔵されているが、さらに16個まで増設できるようにになっている。

7.2.10 入出力制御

独立したチャンネル指令プログラム(チャンネルプログラム)により、プロセッサと並行して動作できる入出力チャンネル制御方式を採用している。チャンネルプログラムはいくつかのチャンネルコマンドから構成され、プロセッサの命令で開始されると以後はチャンネルによりプロセッサとは独立して実行される。この方式によりコマンドチェーン、データチェーンが行なわれるほか、入出力装置側の状態によるチャンネルプログラム内の条件分岐、無条件分岐も可能になっている。図7.6にチャンネルコマンドを示す。

入出力チャンネルには次の3種がある。

(1) セレクトチャンネル

磁気ディスク、ドラム、磁気テープなどの比較的高速な入出力装置の制御に使用する。プロセッサとは独立なI/Oプロセッサモジュールとなっている。

(2) マルチプレクサチャンネル

低速の入出力装置を多数同時に制御できる。グループ30では最大64のサブチャンネルを持ち、各サブチャンネルが同時に動作する。多重データ通信制御装置を介して通信回線と接続したときは、各サブチャンネルに各回線が対応し同時に併行して動作できる。グループ30ではプロセッサモジュールに内蔵されている。

(3) ハイスピードマルチプレクサチャンネル

マルチプレクサチャンネルと同様に多数の中低速入出力装置を同時性もたせて制御する。最大256のサブチャンネルを持っており、I/Oプロセッサモジュールとしてプロセッサと独立している。

7.2.11 入出力インタフェイス

入出力チャンネルとI/Oコントロールモジュールである入出力制御装置との接続仕様は標準化された、スタンダードインタフェイスとなっており、シリーズを通じて共通である。したがってシリーズ間で入出力装置の完全な互換性があり、システム設置後にプロセッサの入換え、入出力装置の入換えなどの変更も容易となっている。

とくにスタンダードインタフェイスの仕様については国内における標準化の動向を取り入れて設計しているため、当社計算機シリーズはもちろんで、他機種に至るまで互換性の範囲が大幅に拡張されている。

7.2.12 ダイレクト入出力

計算機と外界との結合をより密接にするため、入出力チャンネル以外に、プロセッサ内部と直接外部との情報のやりとり、信号の伝達を行なうダイレクト入出力の機能がダイレクトコントロールチャンネルとして設けられている。またとくに複合計算機システムの構成において、プロセッサとプロセッサを結合して直接情報のやりとりを行なうためにダイレクトコミュニケーションの機構を備えている。

7.2.13 システム構成

完全なモジュラリティ方式を採用している。構成モジュールを表7.3にまとめて示す。

システムはメモリモジュールを中心にプロセッサモジュール、I/Oプロセッサモジュールを接続し、さらにI/Oコントロールモジュールを通して入出力装置群が接続されて構成する。

グループ30ではメモリモジュールは5個までの接続インタフェースを持つ。このインタフェースも入出力インタフェースと同様に標準化しているので、プロセッサモジュール、I/Oプロセッサモジュールを自由に組み合わせることができる。したがってコアメモリを二つのシステム間で共有したシェアメモリのほか、さらにモジュール間の接続路にスイッチング機能を持たせてメモリモジュール、プロセッサモジュール、I/Oプロセッサモジュールを多重化して持つ複合構成にも展開できる。図7.7にその基本構成を示す。

7.2.14 多重システム構成

多重計算機システムによる複合システム構成のため各種の方式が可能になっている。表7.4にその内容を示す。

7.2.15 構成制御と再構成

構成にはシステム分割(PARTITION)方式を徹底して採用している。さらにシステム構成ユニットに故障が発生したことを伝達する信号(MALFUNCTION ALERT SIGNAL)が直接外部に得られるように設計している。この信号をもとにエマージェンシー割込み(緊急割込み)により故障の認識を行ない、故障ユニットを代換えユニットにスイッチングして運転を継続すること、または故障ユニットを切り離し縮小構成でのフォールバック(Fall Back)運転を継続するなどの再構成のための構成制御を行なうことができる。

構成制御の単位はシステムの機能モジュール単位だけでなく、メモリモジュールのようにモジュール内部にまでおよんで配慮している。たとえばメモリはメモリモジュール内のコアスタックの単位で再構成が可能であり、メモリ容量の縮小のみで運転が継続できる。図7.8にメモリモジュール再構成の例を示す。

7.2.16 診断と保守

機械チェック割込みの際の診断レジスタによる故障の認識と診断のほか、診断命令(DIAGNOSTIC INSTRUCTION)を用意しており、任意のクロックサイクルでハードウェア内部の動作状態を凍結して分析できる方式を採用しており、さらに詳細な診断が自動的にできるようになっている。また故障したユニットの保守をシステムの再構成に引続き、オンライン運転を続行しながら行なえるよう考慮されている。

7.3 オペレーティングシステムの論理構造

情報処理資源である計算機システムが情報システムの一環となって有効に利用されるにあたっては、ベーシックマシンであるハードウェア、基本コントロールプログラムとともにこのマシンの機能を拡張する各種コントロールプログラム、サービスプログラム、ランゲージトランスレイタ、ライブラリプログラム、ユーザズプログラムなどが一体となって動作することとなる。

このように計算機システムが情報システムユニットとして有効に動作

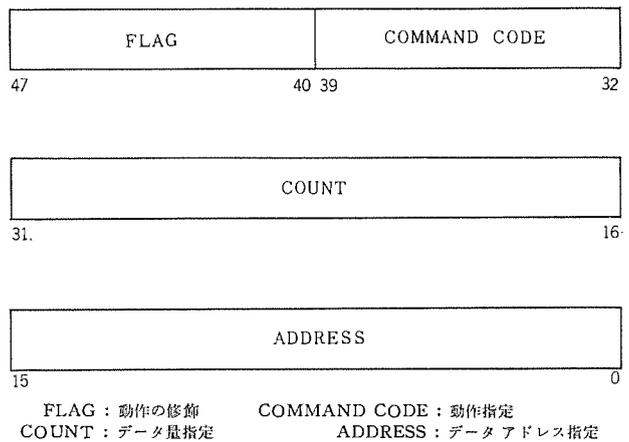


図 7.6 チャンネルコマンド Channel command.

表 7.3 構成モジュール一覧
Component module.

モジュール	内 容
メモリモジュール	コアメモリ メモリコントロール メモリアドレスレジスタ メモリデータレジスタ
プロセッサモジュール	プログラム制御ユニット 演算論理ユニット レジスタブロック 16レジスタ マルチプレクサチャンネル制御
I/Oプロセッサモジュール	セレクタチャンネル ハイスピードマルチプレクサチャンネル
I/Oコントロールモジュールおよび入出力装置	磁気ディスク、磁気ドラム 磁気テープ カード読取装置、カードせん孔装置 紙テープ読取装置、紙テープせん孔装置 ラインプリンタ、タイプライタ 通信制御装置 ターミナルコントローラ プロセス入出力制御装置 グラフィックディスプレイ 端末装置 問い合わせタイプライタ、ターミナルディスプレイ データコレクタ、オペレータコンソール など各種

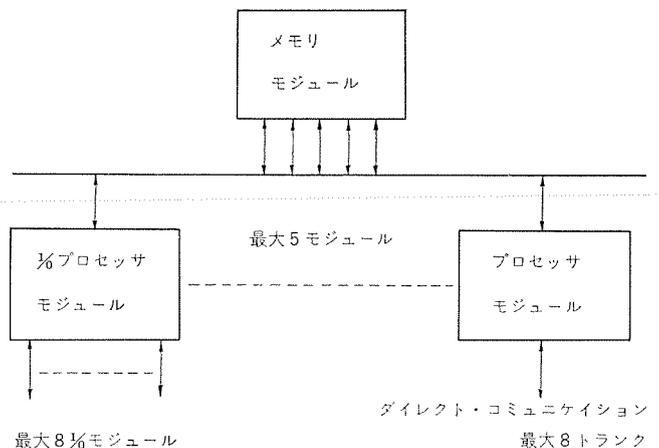
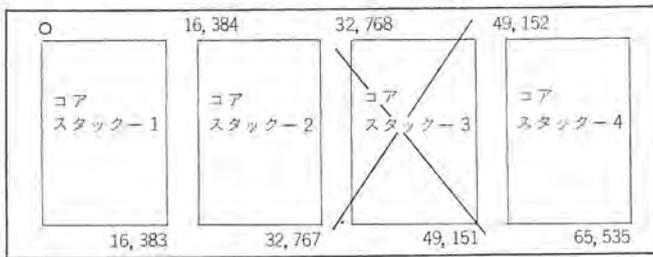


図 7.7 基本構成(グループ30)
Basic system configuration (Group 30).

表 7.4 複合システム構成方式
Facilities for complex-system organization.

方式	内容
シェアードメモリ	メモリモジュールの共有
ダイレクトコミュニケーション	プロセッサモジュールの結合による情報交換
チャンネル結合	メモリモジュールの結合による情報交換
シェアード I/O コントロール	入出力制御装置を共有することにより入出力装置をプールする
シェアード I/O	入出力装置を共有することにより情報交換

再構成前 (コア・スタック 3 故障発生)



再構成後

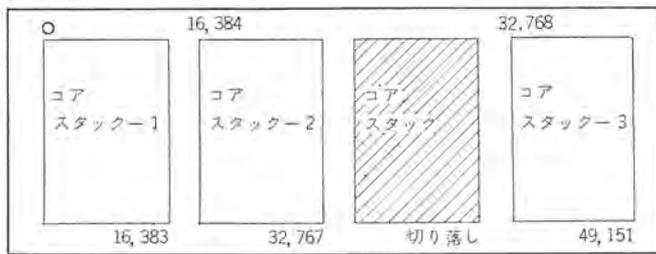


図 7.8 メモリモジュール再構成
Example of memory module reconfiguration.

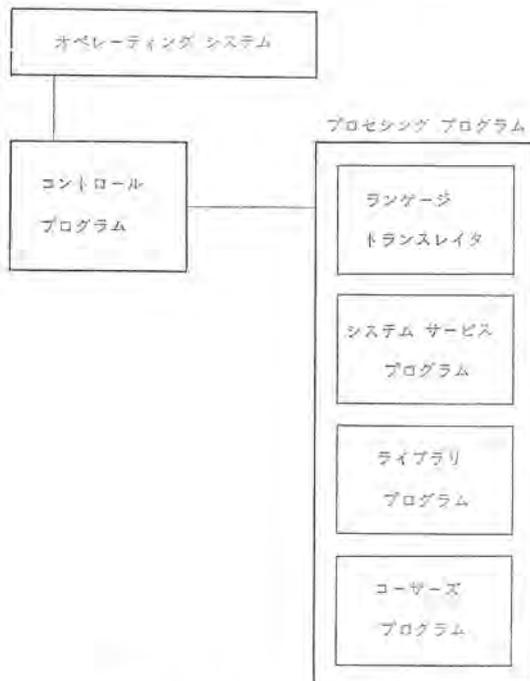


図 7.9 オペレーティングシステムの構成
Structure of operating system.

するために体系的にまとめられているすべてのソフトウェア群をオペレーティングシステムと呼んでいる。

MELCOM-9100 システムシリーズのオペレーティングシステムはタイムシェアリングオペレーティングシステム (T. S. O. S.) と名付けており、コントロールプログラムを頂点とする秩序のとれたソフトウェア体系が設計された。

T. S. O. S の設計の目標は次の三つである。

- (1) 情報処理資源の効果的 (EFFECTIVE) 運用と管理をはかる。
- (2) 情報処理資源の能率的 (EFFICIENT) 運用と管理をはかる。
- (3) 情報処理資源の使いやすく便利 (EASY) な利用手段を提供する。

7.3.1 オペレーティングシステムの構成

T. S. O. S. の構成を図 7.9 に示す。すなわちコントロールプログラムおよびサービスプログラム、ランゲージトランスレイタ、ライブラリ、ユーザプログラムなどの種各プロセッシングプログラムから構成されている。

7.3.2 オペレーティングシステムのジェネレーションと発展

オペレーティングシステムは情報システムユニットとして、適用システムに必要とされる機能、適用システムの拡張に合わせていつでも発展しているオープンエンド (OPEN ENDED) としている。すなわち適用システムにおけるハードウェア構成、運転方式、所要機能にマッチしたオペレーティングシステム体系を作り出すこと、作り出された体系のもとにさらにコントロールプログラムの拡張、ライブラリ、ユーザプログラムなどプロセッシングプログラムの登録更新によるオペレーティングシステムの拡張、更新を可能にしている。

このためシステムジェネレータ (SYSTEM GENERATOR)、メンテナンスプログラム (MAINTENANCE PROGRAM) が用意されている。

7.3.3 コントロールプログラム

以下にハードウェアの方式設計と関連の深いコントロールプログラムの論理構造について述べる。

コントロールプログラムの方式設計は情報処理資源の多重利用 (MULTIPLIXING) による並列プロセッシングを実現するに際して、複数の使用者が計算機システムをマルチアクセスした場合にでも、自分以外の使用者を意識せずに各使用者が自分だけで計算機システムを専有していると思わせるため、各使用者に提供された情報処理資源だけで、「見かけじょうの計算機システム」を作り上げるという概念を採用している。

すなわちコントロールプログラムは実際には一つしかないハードウェア上の計算機システムから、ソフトウェア的にシミュレートすることにより見かけじょう複数個の計算機システムを作り出して、使用者に割り付ける。この様子を図 7.10 に示す。

コントロールプログラムを構成するモジュールとその機能は次のようになる。

(1) システムスーパーバイザ (SYSTEM SUPERVISOR)

各使用者からの要求に応じて動的な資源の割り付けを行ない、「見かけじょうの計算機システム」を作るとともに、いくつかの使用者間で同一資源を共有することによる干渉の問題を解決するため、資源利用の交通整理を行なうなど、資源を統括的に管理する。

このとき「見かけじょうの計算機システム」に割り付けられた資源と、そこで実行しうるプログラムの性格などのわくを CAPABILITY LIST にしたがって定め、「見かけじょうの計算機システム」間で不都合な干渉を防ぐ方式を採っている。とくにプロセッサという資源の割付

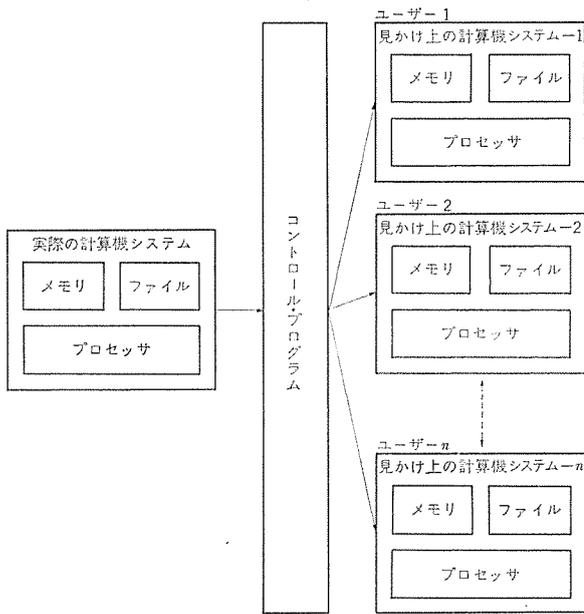


図 7.10 コントロールプログラムと見かけじょうの計算機システム
Virtual computer system and control program.

けは後述するタスクディスパッチャ (TASK DISPATCHER) によって行なう。

さらにシステム構成ユニットの故障および回復に伴って資源の状態を管理し、システムの構成制御を行なうモジュールも含んでいる。

(2) スーパーバイザ (SUPERVISOR)

与えられた資源を有効に利用するため、「見かけじょうの計算機システム」のおおのにスーパーバイザが用意される。

このように、「見かけじょうの計算機システム」のおおのに異なったスーパーバイザがあるため、互いに性格の異なるユーザーを同時に扱うことが容易に可能となっている。スーパーバイザは一般にジョブコントロール (JOB CONTROL), タスクコントロール (TASK CONTROL) から構成される。

(a) ジョブコントロール (JOB CONTROL)

使用者からの処理の要求はジョブとして認識される。ジョブはその処理の段階でジョブステップに分割される。このジョブステップへの分割は実行時に定めるものが多く、使用者とのコミュニケーションまたはプラントからの信号により行なわれる。このためジョブコントロールには各種のコマンドランゲージその他の機能が用意されていて、ジョブの進行の制御をダイナミックに行なうことが可能になっている。

(b) タスクコントロール (TASK CONTROL)

ジョブステップが計算機システムにおいて処理すべき仕事の単位とし

表 7.5 拡張命令の代表例
Representative meta instructions.

拡張命令	内容
FORK	タスクを起動する
QUIT	タスクを終了する
WAIT	指定された事象の発生までタスクを停止させる
JOIN	指定された事象の発生を報告する
LOCK	指定する計算機資源の使用を要求する
UNLOCK	指定された計算機資源の使用が終了したことを報告する
ASSIGN	指定する計算機資源の割当てを要求する
RELEASE	指定された計算機資源の割当てを放棄する
EXECUTE I/O	入出力動作の実行を I/O プロセッサに要求する

て認識されたときこれをタスクと呼ぶ。タスクは実行中サブタスクを作ることができ、タスクツリー (TASK TREE) が作られる。これらタスク、サブタスクの発生とタスク、サブタスク間の同期、情報交換およびタスク、サブタスクの終了などの処理を受け持つのがタスクコントロールである。

これらのタスク、サブタスクは計算機システムに一つしかないタスクリストに登録される。

一方システムスーパーバイザの一部であるタスクディスパッチャはタスクリスト中のタスク群に対して、情報処理資源に余裕のあるかぎり、実行可能なタスクを並列に進める。情報処理資源に余裕がなくても優先度の高いタスクの場合は、優先度の低いタスクをシステムファイルにロールアウトして優先度の高いタスクを進行させる。すなわちマルチタスクオペレーションによりパラレルプロセッシングを行なう。

(3) ファイルコントロール (FILE CONTROL)

タスクの進行に伴い、各種入出力装置とコアメモリとの間での情報交換が必要になる。これを受持つのがファイルコントロールである。ファイルコントロールの下では、すべての入出力装置はファイル記憶装置 (FILE STORAGE) としては握られ、ファイルの構造だけに依存し、入出力装置の種類、構造などに依存しない情報交換のサービスが提供される。

また磁気ディスク、磁気ドラムなどの外部記憶装置中のファイルは多重レベルのツリー構造をもち、シンボリックネームによりアクセスすることができる。これらのファイルについてはあらかじめ登録されている使用者のみがアクセスを許されるようになっており、ハードウェアエラーのみならずプログラムの誤まり、オペレーションの誤まりその他によるファイルの破壊を防ぐ配慮がなされている。

7.3.4 拡張命令 (META-INSTRUCTION)

コントロールプログラムによって拡張された計算機システムでは、ハードウェアが備えている機械語命令に加え、パラレルプロセッシングと資源の割付け、入出力動作などを行なうための拡張命令 (META-INSTRUCTION) がコントロールプログラムにより用意されることになる。表 7.5 にこれらのうち基本コントロールプログラムによりベシックマシンに用意されている拡張命令の代表例を示す。

8. む す び

MELCOM-9100 システムシリーズの基本思想および方式設計を紹介した。方式設計ではハードウェアとソフトウェアの分担とバランスを重視した統一的设计、広範な共通性、将来の技術進歩に対する発展性を考慮した設計が強調されている。また適用の高度化に伴い、よりいっそう強く要求されるシステムの信頼性は、ハードウェアのみの配慮では十分でないため、方式設計の重要な側面として考慮している。

とくに設計の基本態度として重視したのは、従来の計算機がハードウェアのみで性能/価格比を追求し、低価格をハードウェア機能の簡略に頼る結果がソフトウェアにしわ寄せされ、ソフトウェアを含めたシステム性能の低下、ソフトウェアコストの上昇を招く傾向が強かったのに対し、ソフトウェアを含めたシステム全体の性能/価格比を追求する立場である。今後この方向は適用の高度化によるソフトウェア量の増大、IC (集積回路) の進展に引続く LSI (LARGE SCALE INTEGRATION) の時代のハードウェア技術の革新を迎えて、いっそう重要になると考えられ、ハードウェアとソフトウェアの統一的设计がますます強く要求されよう。ここで紹介した方式設計は今後の進むべき方向に対する技術の積み重ねのステップとなるものである。

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
エレベータの扉装置	42-11-6	836521	三矢周夫・乾 昌雄	稲沢製作所
巻上げ機の速度指令装置	42-11-6	836523	木内 修	長崎製作所
換気扉	42-11-6	836520	入沢諄三	中津川製作所
回転ブラシ	42-11-6	836522	武井久夫・服部信道	群馬製作所
船舶用気体膨張式すべり台	42-11-6	836526	宇川 彰 大久保貫一	相模製作所 (中央研究所)
船舶用膨張式すべり台の投下装置	42-11-6	836527	大久保貫一	相模製作所
石油燃焼器	42-11-6	836528	赤羽根正夫・根岸宜匡	静岡製作所
エアタオル	42-11-6	836531	服部信道・森田清司 杉田 信	群馬製作所
発熱ホビンの取り付け装置	42-11-6	836532	米本春夫・山田光美	郡山製作所
可搬形毛糸編機	42-11-6	836533	奥田文一・服部信道	群馬製作所
可搬形毛糸編機	42-11-6	836534	服部信道	群馬製作所
蒸気アイロンのベース	42-11-17	837041	日比野秀雄・霜田政雄 橋本正則	群馬製作所
巻取材料の切断検出装置	42-11-17	837039	安斎広成	神戸製作所
制御装置	42-11-17	837040	御厨英喜	長崎製作所
回転電機の排水装置	42-11-17	837042	長島四郎・松原 博	伊丹製作所
回転電機の冷却風取入装置	42-11-17	837043	平野昭二	伊丹製作所
カム装置	42-12-13	838210	木内 修	長崎製作所
水冷却器の開閉装置	42-12-13	838212	西本嘉尹	和歌山製作所
インバータ保護装置	42-12-13	838213	民井精三	通信機製作所
トランスインバータ起動回路	42-12-13	838214	民井精三・坂西定雄	通信機製作所
電弧の支持装置	42-12-13	838217	内海晴之・川口一二三 安孫子博・山本利栄 田口 堅	伊丹製作所
フロート弁	42-12-13	838218	三浦鎌一・芝 昌義 小川栄治	名古屋製作所
冷水器	42-12-13	838219	三津沢武夫	和歌山製作所
6抵抗式負荷時タップ切換器	42-12-13	838220	嶋 裕史・松本 進	伊丹製作所
開閉装置	42-12-13	838221	釘本龍雄	姫路製作所
内燃機関点火信号発生装置	42-12-13	838222	浅山嘉明	姫路製作所
直流電力制御装置	42-12-13	838223	大野栄一・赤松昌彦	中央研究所
直流電力制御装置	42-12-13	838224	大野栄一・赤松昌彦	中央研究所
テレビ受像機	42-12-13	838226	坂上義和	京都製作所
機関点火用信号発生装置	42-12-13	838227	浅山嘉明	姫路製作所
無接点継電装置	42-12-13	838228	北岡 隆・永岡 栄	伊丹製作所
負荷時電圧調整器	42-12-13	838229	菅寿 郎・平井正好	伊丹製作所
電気暖房器の温度表示装置	42-12-13	838215	慶野長治・中村富家	群馬製作所
冷蔵庫の除霜水蒸気装置	42-12-13	838216	中原四郎・木下忠男	静岡製作所
換気扉	42-12-13	838225	白石和雄	中津川製作所
電気掃除機	42-12-13	838230	河合 登	本 社
通信機などの筐体	42-12-13	838232	浜口道雄・堅田賢二	通信機製作所
切換接触装置	42-12-13	838233	嶋 裕史	伊丹製作所
蓋体支持装置	42-12-13	838234	首藤佑吉・伊藤鉄寿	名古屋製作所
時計装置	42-12-13	838235	武田克巳・新川成美	福山製作所
送受話器コードの巻込み装置	42-12-13	838236	前田良雄・甲破賢吉	中央研究所
変圧器	42-12-13	838237	松原彰雄・杉田保彦	名古屋製作所
電磁継電器の制御装置	42-12-13	838238	井上信義	長崎製作所
電気時計装置	42-12-13	838241	佐藤安俊	福山製作所
半導体制御整流素子の制御装置	42-12-13	838244	岡 久雄・細野 勇	北伊丹製作所
しゃ断器	42-12-13	838245	山内高雄	伊丹製作所
計器用磁気軸受装置	42-12-13	838246	池田 浩	福山製作所
自動車用エレベータ	42-12-13	838247	瀬原田三郎	稲沢製作所
広帯域真空計	42-12-13	838248	藤永 敦・中村 貢	中央研究所
制御極付半導体整流素子の制御回路	42-12-13	838685	飯田隆彦	北伊丹製作所

定電圧交流アーク溶接機を用いた無被包アーク溶接法

山本 利雄*・島田 弥**・竹内 友彦***・鷗飼 順***

No-Gas Arc Welding Method using Constant Potential AC Arc Welders

Central Research Laboratory Toshio YAMAMOTO・Wataru SHIMADA
Nagoya Works Tomohiko TAKEUCHI・Jun Ukai

A no-gas arc welding method using a combined wire has been developed in the field of semi-automatic welding of mild steel. Though AC arc welders having drooping characteristic and equipped with variable wire feeding speed control are in general use for the purpose, difficulty in arc starting is drawback in the operation. To obviate the trouble a constant potential AC arc welder with constant or variable wire feeding control has been studied because self regulation of arc length is considered good for stable operation.

As a result, the stability improves remarkably to bring about successful welding joints with the new contrivance referred to, thus type MN-500 constant potential AC arc welder being brought to completion.

1. ま え が き

最近、心線内部に粉末状フラックスを包み込んだ複合心線を用いて、被包ガスあるいはフラックスの助けをかりずに大気中で溶接を行なう無被包アーク溶接法が開発され、現在の交流アーク溶接機(垂下特性)と可変速心線送給装置を組み合わせたACDP方式によって用いられている。その原理はフラックス中のシールドガス発生剤および造し(滓)剤の働きによって、空気中の酸素あるいは窒素と溶融鉄との反応を防止し、フラックス中の脱酸剤、脱窒剤の働きにより溶鋼中に吸収された酸素、窒素を除去して良好な溶着部を得るものである。

ところで、このフラックス中には脱酸、脱窒剤、造し(滓)剤などのほかにアーク安定剤が含まれており、そのうえ被覆溶接棒による手溶接の場合よりも高い電流密度で使用するので、電源には必ずしも手溶接の場合ほど高い無負荷電圧は必要でなく、またアーク長の制御能力および溶接作業性の観点からも定電圧溶接電源を用いるACCP方式のほうがすぐれていると考えられる。

しかし、逆にACCP方式では溶接電流波形が零になる期間が発生し、この間に外気の侵入による継手性能の低下などが考えられるので、これらを確認するため、適当な垂下度を有する交流定電圧電源に定速度、あるいは可変速心線送給装置を組み合わせたACDP方式により溶接を行ない、ACDP方式による溶接結果と比較検討した。

2. 実験装置、供試材料および実験方法

2.1 実験装置

実験装置の概略図を図2.1に示す。

定電圧交流アーク溶接機：500 A 定格

直列リアクトル

心線送給装置：定速度心線送給装置、アーク電圧制御心線送給装置

溶接用走行台車

送風機：最大風速 12 m/s

可動鉄片形交流電流計

可動鉄片形交流電圧計

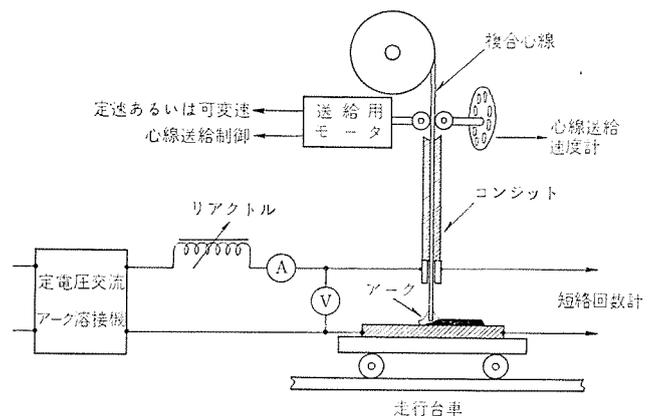


図 2.1 実験装置概略図
Schematic diagram of the apparatus.

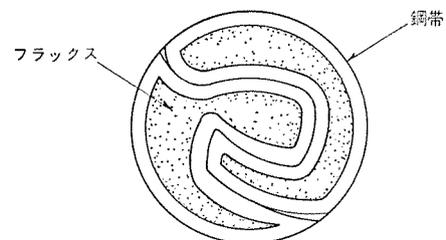


図 2.2 複合心線の断面形状の一例
Example of the section of no-gas welding wire.

心線送給速度計 (当社試作品)

短絡回数計 (当社試作品)

2.2 供試材料

無被包アーク溶接心線：3.2 mm φ 市販品，心線重量 42 g/m，
(鋼帯重量 35 g/m)

溶接心線は図 2.2 のような断面形状を有する複合心線で、コア状になった鋼帯と、金属沸化物、金属炭酸塩、脱窒性元素、金属酸化物およびその他の合金元素を含むフラックスとからなっている、その化学組成の一例を表 2.1 に示す。

軟鋼母板：SS 41 p, 12 mm t, 表面はショットブラスト処理

2.3 実験方法

交流定電圧電源の二次側回路にリアクトル L を接続して、図 2.3 に

表 2.1 鋼帯およびフラックスの化学組成 (重量パーセント)
Chemical composition of bared steel and flux.

鋼 帯	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
	0.06	<0.001	0.37	0.004	0.014	0.06	0.02	0.009%
フラックス	Si	F	Mn	Ni	Ca	Mg	Fe	Al
	0.55	16.2	2.7	0.024	21.4	10.6	14.5	15.9
フラックス	Cu	Mo	Na					
	0.06	0.02	0.07					

フラックスの場合は化合物を分解した化学組成を示す。

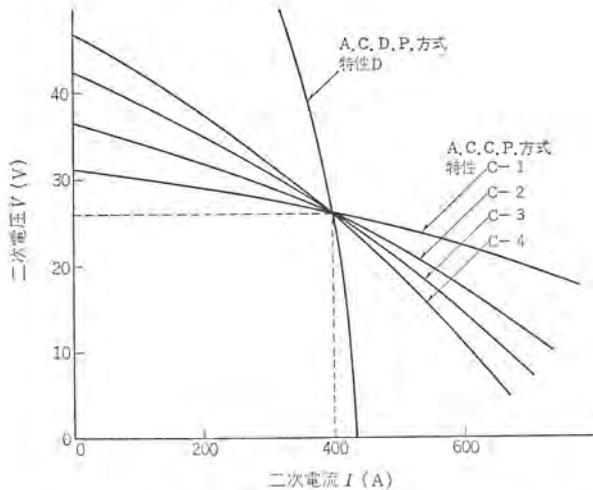


図 2.3 実験用溶接電源の特性曲線
Characteristic curves of the welder.

示すように垂下度を変化させた溶接電源と定速度心線送給装置、あるいはアーク電圧心線送給装置を組み合わせた ACCP 方式によって種々の溶接電流、溶接電圧で溶接を行ない、電源垂下度および風速が、アークの安定性、スパッタリング、ビード形状、溶接部の X 線検査結果、かたさ、窒素含有量、衝撃値などにおよぼす影響について ACDP 方式の場合と比較検討した。溶接方法としては溶接トーチを母板に垂直に固定し、走行台車にとりつけた軟鋼板にシングルビードを置く全自動方式を用いた。また半自動方式により継手溶接を行ない、継手性能を検討するとともに、小電流条件で立て向きおよび横向きの溶接を行ない、溶接作業性、消弧現象などについて ACDP 方式と比較検討した。

3. 実験結果および考察

3.1 適正溶接条件の選定

前述の全自動溶接方式により軟鋼板上にシングルビードを置き、アークの安定性、スパッタリング、ビード形状、X線検査結果などにより、図 2.3 の特性 C-2 の ACCP 方式と特性 D の ACDP 方式の適正溶接条件範囲を求めた。その結果を図 3.1 に示す。

一般に溶接電圧が増大するとアーク長は長くなるが、これにともない心線中のフラックスの被包作用が悪くなり、大気中の酸素、窒素が直接溶着金属に作用して溶着金属中に気孔が発生する原因となり、また溶着金属の機械的性質を低下させる。このような適正溶接電圧の上限 a は、主として溶着金属中のフローホールの発生によって決まるが、図から明らかなように、特性 C-2 と特性 D とで大差ない。

これに対し、適正電圧下限 b は主として心線が母材に突込み作業の継続が困難になる、いわゆるパティング現象の発生によって決まるが、曲線 b₁ に示すように特性 C-2 のほうがかなり低い。これは特性 C-2 では電源のアーク長自己制御作用が有効に働き、また短

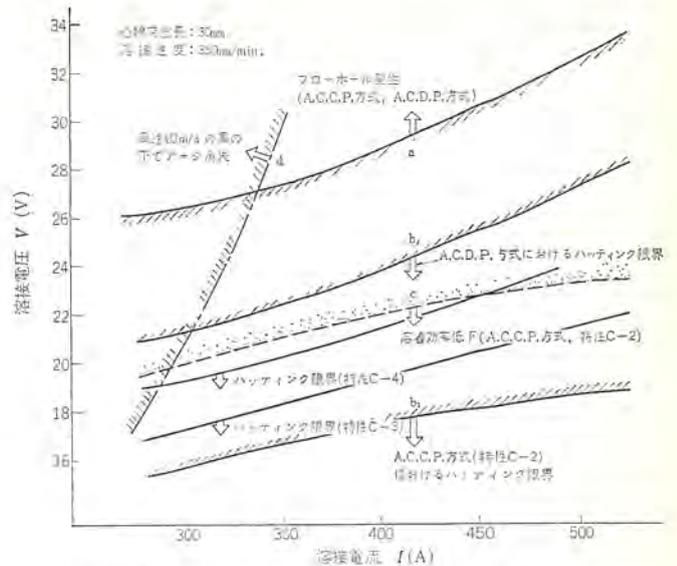


図 3.1 A.C.C.P.方式と A.C.D.P.方式による
適正溶接条件範囲
Appropriate welding conditions for A.C.D.P. process
and A.C.C.P. process.

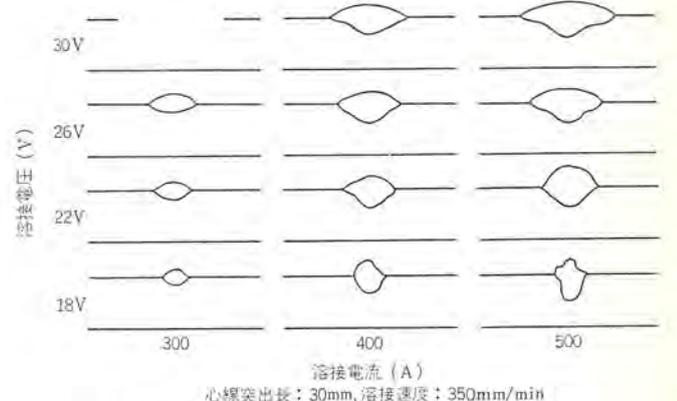


図 3.2 A.C.C.P.方式による溶込み形状
Penetration shapes obtained by A.C.C.P. process.

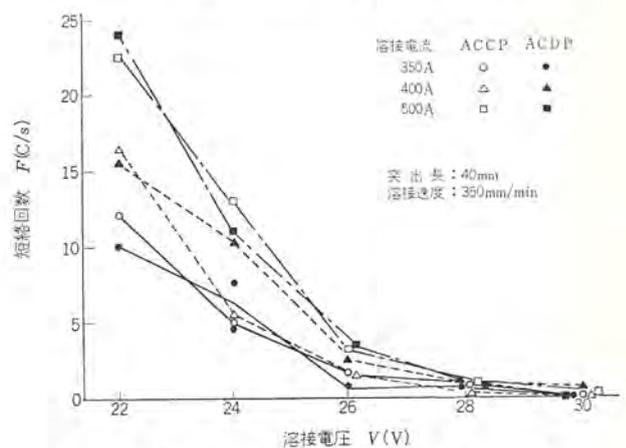


図 3.3 溶接電圧に対する短絡回数の変化
Variation of short circuit frequency with that of
welding voltage.

絡時に大電流が流れるのでパティングがおこらないためである。溶着効率低下曲線 c 以下の条件では、大粒のスパッタが発生するようになり、図 3.2 に示すようにビード形状が著しく小さく、かつ不ぞろいになるので実用は困難である。

このスパッタの発生原因としては、図 3.3 に示すように溶接電圧

を低くすると短絡回数が著しく増加していることから、短絡一再点弧の過程で生じるものであると考えられる。これに関してはすでに著者らの報告⁽¹⁾がある。

このように ACCP 方式では適正溶接電圧範囲が広く、かつ、低電圧条件における作業性も良好であるので、半自動溶接作業においてはコンジットの摩擦抵抗の変化に伴う心線送給速度の変動および溶接トーチの上下移動に対してパッシングを起こすことがなく、またアークスタート性も ACDP 方式に比べて良好である。小電流条件においては、曲線 d に示すように溶接電圧が比較的高い場合に、溶接部近傍に 10 m/s の風を吹きつけるとアークが消失するので作業の継続が困難である。

3.2 溶接現象におよぼす電源のリアクタンス、極性および風速の影響

3.2.1 電源のリアクタンスの影響

3.1 節で述べたように ACCP 電源ではアーク長の自己制御作用が ACDP 電源より有効に働き、作業性が改善されることが明らかになった。しかし ACCP 電源のように垂下度が小さい場合は、電源の無負荷電圧が低いので、図 3.4 に示すように溶接電流が零になる期間が長くなり、この期間に心線中のフラックスの被包効果が低下して、溶着金属の性質が悪くなることも考えられたので、ここでは電源の垂下度を種々変化して溶接を行ない、垂下度の変化に対する溶着部の諸性質について検討した。

溶接作業性については、図 3.1 に示すように垂下度を低くするにつれてパッシングをおこす溶接電圧下限も低くなるので、アークスタートおよび溶接作業中の適正範囲が広がって作業性は安定する。しかし、この方法では電流密度が通常の MIG 溶接の約 1/2 程度で小さく、また断面形状が複雑で溶滴の移行現象が MIG 溶接の場合と異なるため、電源の垂下度が小さすぎるとアーク長の変動に伴う溶接電流の変動が大きくなり、場合によってはビード外観が悪くなることもある。とくに溶接電圧が低くて瞬間的短絡が発生するような条件では、スパッタ損失が著しく大きくなった。以上のことから、ACCP 方式における電源の垂下度は本実験においては $\frac{2V}{100A}$ から $\frac{6V}{100A}$ の範囲が適当であることがわかった。

特性 C-2 および特性 D による溶込み形状の比較結果を図 3.5 に示すが、これを要約すると、

- (1) ビード幅は全般に特性 D によるもののほうがわずかに広い。
- (2) 溶込み深さは特性 C-2 のほうがやや浅く(約 0.8 mm 程度)、特性 D のほうが中央溶込みの傾向がやや強い。
- (3) 余盛高さは大略同程度である。

以上のように溶込み形状は電源垂下度によってほとんど変化がなかった。しかしとくに再点弧電圧の高い複合心線を用いて低い溶接電圧で溶接を行なうと、ACCP 方式によるビードの余盛が著しく小

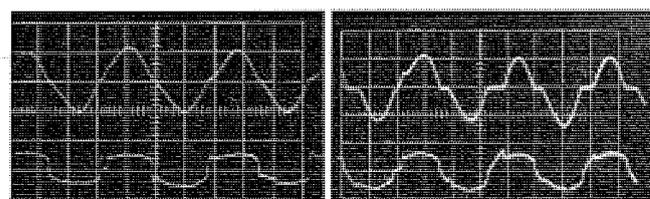


図 3.4 ACCP 方式の垂下度の変化に対する電流、電圧波形の変化

Variation of wave shapes of welding voltage and current with the change of drooping character of welder (ACCP process).

さくなるのが観察された。これは ACCP 方式では無負荷電圧があまり高くないため、再点弧電圧が高いと電流波形の零期間が長くなり、その期間に短絡をおこす機会が多くなって、短絡によるスパッタ損失も増加するためであると解釈される。これを防止するためにも、前述のように適当な垂下度を持たせた ACCP 電源の使用が望ましいと考えられる。

電源の垂下度を変えた場合の溶着金属のかたさ、衝撃値および窒素含有量を図 3.6 に示す。その結果を要約すると、

- (1) 溶着金属のかたさは溶接電圧を高くするにつれて低下する。また垂下度が小さいほど多少かたくなる傾向がみられる。
- (2) 溶着金属中の窒素含有量については、Hcl 可溶性窒素含有量は溶接電圧に対して一定であり、Hcl 不溶性窒素は溶接電圧を高くするにつれて著しく増加する。垂下度が小さくすると全窒素含有量は多少増大するが、顕著な差はみられなかった。

(3) 溶着金属の衝撃値は実験の条件範囲では溶接電圧が高いほど高くなり、電源の垂下度に対しては顕著な差はみられなかった。

一般に溶着金属中の窒素含有量が増加すると溶着金属のかたさは増し、衝撃値は減少するといわれているが、図 3.6 の場合は、すでに報告されているように⁽²⁾窒素含有量以外に、Si, Mn, Al などの合金元素の含有量も変化しているため、溶着金属の窒素含有量とのかたさ、衝撃値との関係が一般の場合と異なるものと考えられる。

心線突出長さの効果を ACCP 方式と、ACDP 方式について検討するとつぎのようである。

- (1) 同一電流、電圧条件では、突出長が長くなるにつれてビード幅が狭くなり、余盛高さおよび溶込み深さが大きくなるが、両方式による差はない。

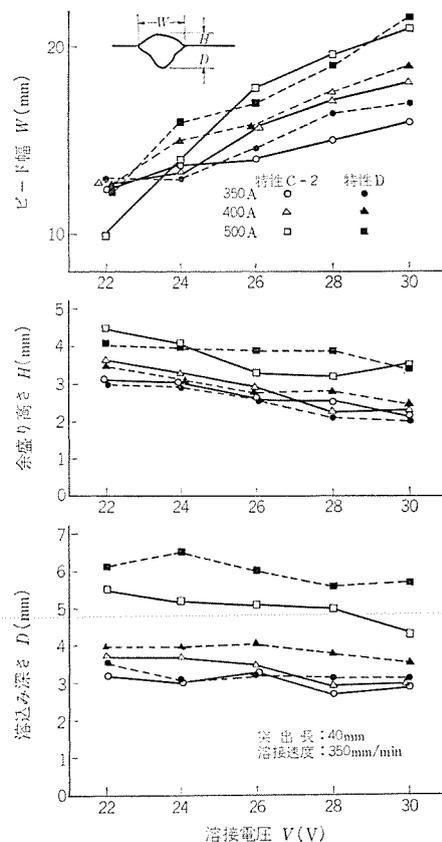


図 3.5 特性 C-2, 特性 D 電源を用いた場合の溶込み寸法
Dimensions of penetration obtained by the electric sources with curve C-2 and curve D.

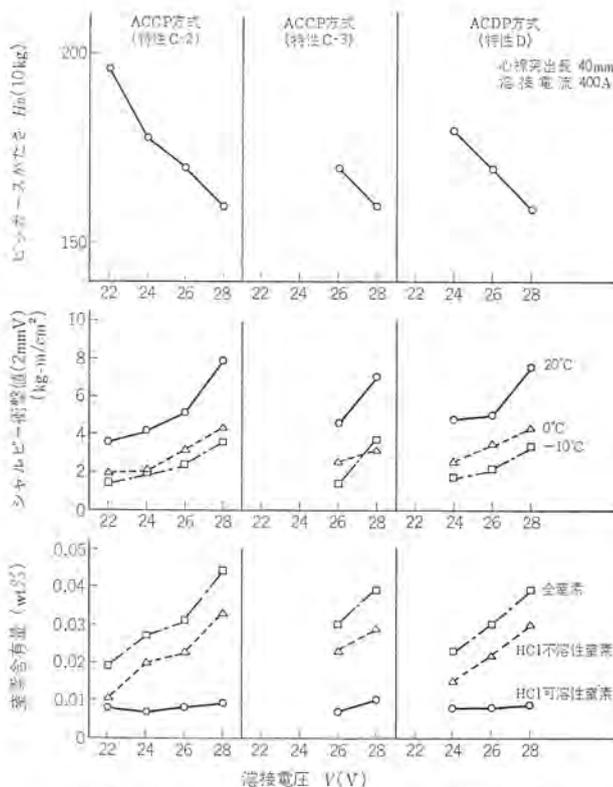


図 3.6 電源の垂下度に対する溶着金属の諸性質の変化
Variation of properties of the welded metal with the characteristics of the welder.

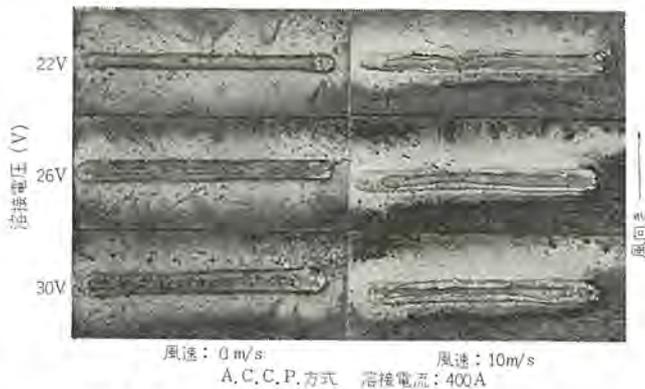


図 3.7 ビード外観におよぼす風速の影響
Influence of wind on bead on bead appearance.

(2) 突出長が 30 mm 以下では、いずれの方式でもブローホールが発生する。

(3) 心線溶融速度および短絡回数 (10 ms 以上) は突出長が長くなるにつれて直線的に増加するが、両方式では差がない。

3.2.2 風速の影響

溶着部近傍に 0 m/s~12 m/s の風を吹きつけた状態で、ACCP 方式により溶着した場合のビード外観の一例を図 3.7 に示す。風を吹きつけるとビード頂部のスラグのかぶりが悪くなり、また心線移行金属の一部は風に吹かれてスパッタ損失となり、溶着効率は低下するが、X 線検査結果にはまったく異常がなかった。

溶着電流が 400 A 程度であれば、風による消弧などの現象はほとんど認められないが、特性 C-1 のように垂下度が著しく小さい場合には、電流波形が零の期間に短絡が発生しやすくなり、電流・電圧波形が不規則になる。300 A あるいはそれ以下の小電流で溶着電圧が高い条件では、風を吹きつけると消弧が発生するので、図 3.8 に示すように溶着金属はかなり硬化する。なお風を吹きつけない条

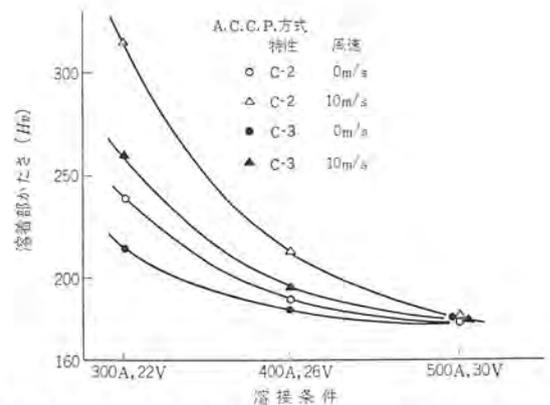


図 3.8 溶着条件による溶着部のかたさの変化
Variation of hardness of the deposited metal according to welding condition.

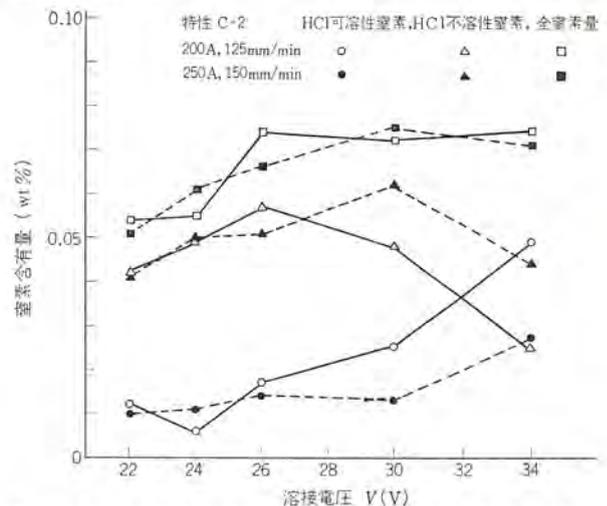


図 3.9 小電流条件による溶着金属の窒素含有量
Nitrogen content of the deposited metal welded on small welding current.

件でも、小電流条件では電流波形が零の期間が長くしかも一般に消弧がおりやすいので、図 3.9 に示すように溶着金属中の窒素含有量は大電流条件と比較するとはるかに多くなっている。

3.2.3 極性効果

ACCP 電源を単相全波整流した直流電源を用いて溶接を行ない、ACCP 方式における極性の効果を求めた。その結果、極性の相違は X 線検査結果には影響をおよぼさないことがわかった。またスパッタは図 3.10 に示すように逆極性の場合、大粒のものが多数発生するのに対し、正極性の場合はスパッタの発生がほとんどなく、交流ではその中間程度になることが明らかになった。心線溶融速度は極性によってはほとんど差がみられなかった。

200 A、あるいは 250 A 程度の小電流条件で溶接を行なうと、図 3.11 に示すように、母材が負の極性、すなわち逆極性においては半サイクルの消弧が発生するが、消弧が発生しないサイクルにおいても再点弧電圧が高くなっており、定性的には短絡をおこす機会が多いと考えられ、このことが大電流条件においても逆極性でスパッタが多い原因になっていると考えられる。

3.3 半自動溶接作業性の検討

全自動方式による結果を実作業について検討するため、半自動方式による溶着実験を行なった。板厚 16 mm の軟鋼板に図 3.12 に示すような開先をとり、特性 C-2、C-3 の ACCP 方式、および特性 D の ACDP 方式によって表側を 3 層溶着後、裏側を約 7 mm は

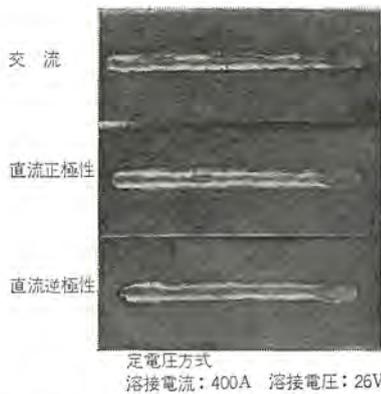


図 3.10 スパッタ生成におよぼす極性効果
Effect of polarity on spatter formation.

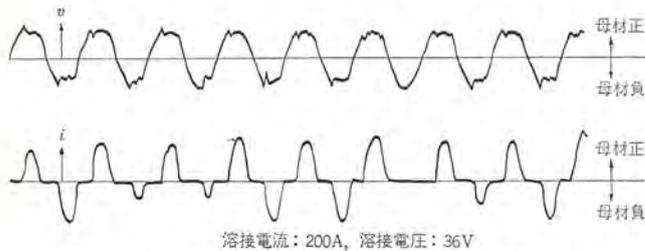


図 3.11 小電流条件における消弧現象 (ACCP 方式)
Arc extinction on small welding current (ACCP process).

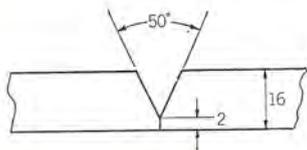
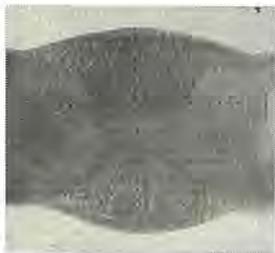


図 3.12 開先形状
Shape of the groove.



ACCP 方式
溶接電流: 400 A

図 3.13 溶接継手の溶込み形状
Penetration shape of the welded joint.

つり、2層溶接した。溶接電流は 400 A、心線突出長は約 40 mm とし、溶接電圧を種々変化させた。その結果の一例を図 3.13 に示す。特性 D の場合は、溶接電圧 24 V の条件ではアークスタートがかなりむずかしく、電圧のつまみを約 28 V に調整してアークスタートした後、溶接電圧を 24 V に調整したが、作業中にパッシングを発生することがあった。

特性 C-2 の場合は溶接電圧を 24 V に保ってもパッシングはまったくおこらなかったが、溶接電圧をさらに低下させるとスパッタの発生が多くなる。これらの溶接継手の引張試験結果では、方式・溶接条件いかににかかわらずすべて母線で破断した。また、曲げ試験結果では、すべて 180° 曲げが可能であり、溶接部にはまったく欠陥がなかった。

複合心線を用いる無被包アーク溶接法は、従来の被覆棒による手溶接の代わりに立て向き、横向き溶接に用いられることも考えられるので、200 A 程度の小電流条件により立て向きおよび横向き溶接を行ない、特性 C-2、C-3 と特性 D による作業性を比較検討した。溶接作業状況の一例を図 3.14 に示す。溶接電流は溶接姿勢、試験片の寸法形状などにより適宜選ぶ必要があるが、溶接電圧は 25 V



図 3.14 横向き溶接作業状況
View of horizontal welding operation.



ACCP 方式
溶接電流 180 A
溶接電圧 24 V

図 3.15 立て向き上進隅肉溶接ビード
Bead shape of vertical up fillet welding.

程度におさえたいほうが溶接結果がよく、それ以上にするとブローホールが発生するおそれがあり、とくに隅肉溶接や V 開先の溶接のときには溶込み不足を生じるおそれがある。図 3.15 に示すように、適正条件の範囲内では特性 C-2、C-3 および特性 D のいずれの場合も良好な溶接結果が得られた。

その作業性を比較するとつぎのとおりである。

(1) アークスタートは、特性 C-2 では電圧のいかににかかわらず容易であるが、特性 D では電圧が 24~25 V のときの送給設定のままではむずかしく、28~29 V 程度に設定してスタートした後 24~25 V に再調整する必要がある。

(2) 心線の送給がスムーズな場合は、作業性は同程度であるが、心線とコンジットあるいはトーチとの摩擦力が大きくなると、特性 D では 2~3 秒程度のパッシングをひんばんにおこし、作業の継続が困難になるのに対し、特性 C-2、C-3 の場合はおよそ 10 秒おきに 0.2 秒程度の消弧が発生するが作業性には影響しなかった。X 線検査の結果では、この消弧はブローホールの発生に影響をおよぼしていない。

(3) 横向き、および立て向き上進溶接はいずれの方式でも可能であるが、立て向き下進溶接では溶接部のブローホールを防止することができなかった。

4. 結果の総括

以上の実験結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) ACCP 方式と ACDP 方式による溶接結果を比較すると、適正電圧上限は同程度であるが、適正電圧下限は CP 方式のほうが

低く、このためアークスタートが容易であり、また溶接作業中にパッチングをおこすこともなく作業性はより良好である。

(2) 溶着金属のかたさは溶接電圧が高くなるにつれて低下する。また窒素含有量は溶接電圧が高くなるにつれて増加する。溶着金属の衝撃値は実験の範囲内では電圧が高いほど高くなる。

(3) 特性 C-2 のように垂下度がかかなり小さい場合は、無負荷電圧が低いため、電流波形が零の期間が現われるが、検討の結果(2)に述べた溶着金属の諸性質にはほとんど影響をおよぼさないことがわかった。またビード溶込み形状も ACDP 方式の場合と大差ない。

(4) 特性 C-1 のように垂下度が小さ過ぎると溶接電流の変動が大きくなり、ビードムラができることがあり、また短絡によるスパッタ損失が大きくなる。とくに再点弧電圧の高い心線を用いた場合にはスパッタ損失のため、ビードが著しく小さくなる。これらの結果から、電源としては $\frac{2V}{100A}$ から $\frac{6V}{100A}$ 程度の範囲内の垂下度を有した ACCP 電源が望ましい。

(5) ACCP 方式において 400 A 程度の電流値の場合は、風速 10 m/s 程度の風の下でも溶接部の性質は劣下しない。しかし 300 A 以下の条件では消弧が発生し、作業の継続が困難となり、溶着部の性質も多少影響をうける。

(6) ACCP 方式では、母材が負の極性においては心線中のアーク安定剤が有効に働かないため、再点弧電圧が高く、半サイクルの消弧がおこりやすい。このため単相全波整流した直流逆極性で溶接を行なうと大粒のスパッタが発生するが、正極性ではスパッタが少なく、交流ではその中間程度のスパッタが発生する。

(7) 小電流条件における横向き、立て向き溶接の作業性は、ACDP 方式では設定電圧を高くしないとアークスタートがむずかしく、またコンジットのつまりなどがあるとさかんにパッチングをおこすのに対し、ACCP 方式では、0.2 秒程度の消弧をおこしはするが作業の継続は可能であり、またこの消弧はブローホルの発生には影響していない。

以上の実験結果から、ACCP 方式が ACDP 方式に比べて溶接作業性の観点からすぐれていることが明らかになった。

5. MN 形定電圧交流アーク溶接機

以上に述べた実験結果を参考にして、無被包アーク溶接用電源として MN-500 形定電圧交流アーク溶接機を開発した。

5.1 特性

MN-500 形定電圧交流アーク溶接機の仕様を表 5.1 に、外観を図 5.1 に示す。本機的设计にあたっておもに検討した事項について述べる。

5.1.1 定格電流、使用率

直径 3.2 mm の無被包アーク溶接心線の使用最大電流に対応して定格電流は 500 A とし、使用電流範囲は 300~500 A とし、溶接電圧調整範囲を決定した。使用率は半自動溶接への適用をおもに考え、JIS-S-4301 規定の交流アーク溶接機と同じく 60% とした。

5.1.2 定格負荷電圧

溶接機の二次端子間の電圧 E_t は

$$E_t = (E_A + IR) + jIX$$

E_A : アーク電圧

IR : 溶接ケーブル中の抵抗降下

IX : 溶接ケーブル中のリアクタンス降下

表 5.1 MN-500 形定電圧交流アーク溶接機仕様
Specification of MN-500 constant voltage AC arc welder.

形 式	MN-500	
定格一次電圧 (V)	200	
定格周波数 (c/s)	50	60
定格二次電流 (A)	500	
定格使用率 (%)	60	
定格負荷電圧 (V)	35 (リアクタンス分 0)	
定格一次入力 (kVA)	23	
定格一次入力 (kW)	16	
外形寸法 (mm)	400(W)×655(D)×605(H)	
重 量 (kg)	100	
絶縁階級	H 種	



図 5.1 MN-500 形定電圧交流アーク溶接機
Type MN-500 constant potential AC arc welder.

JIS-C-4301 規定の交流アーク溶接機では、500 A 定格の製品は $(E_A + IR) = 40V$, $IX = 12V$, at 50 c/s, 10V at 60 c/s と規定されているが、これはおもに造船所のようにケーブル長を長くして使用する場合を対象としている。無被包アーク溶接において、溶接電流 500 A のときの適正アーク電圧は 26~30 V であり、MN-500 形交流アーク溶接機では、無被包アーク溶接専用用途であることを考慮して(使用ケーブル長が短くなる)定格負荷電圧は 35 V、抵抗分のみとし、リアクタンス降下は無視した。

5.1.3 外部特性

MN-500 形交流アーク溶接機の外部特性を図 5.2 に示す。この垂下度は 3 章の溶接現象の項でも説明したようにアークの特性に影響し、垂下度が小さ過ぎると電流の変動が大きしかもアークが消失しやすく、逆に垂下度が大きすぎると短絡電流が少なくなりアークの起動性は、および低アーク電圧におけるアークの安定性が悪くなる。本機では溶接機内部に適当なインダクタンスを持たせ、約 3 V/100 A の垂下度となるように設計した。

5.2 構造

図 5.3, 5.4 にタップ切換器の外観および構造をそれぞれ示す。

5.2.1 タップ切換器

MN-500 形交流アーク溶接機では、出力電圧の調整はタップ切換によって行なうようになっている。このタップ切換は一次側 4 タップ、二次側 4 タップの $4 \times 4 = 16$ とおりを約 1 V 間隔で行なうようになっている。すなわち溶接機前面下部に取付けられている四つの端子へ溶接ケーブル、アースケーブルのケーブルジョイントを差込むことにより、4 とおりの組み合わせで約 4 V の間隔で粗調整を行ない、微調整は、

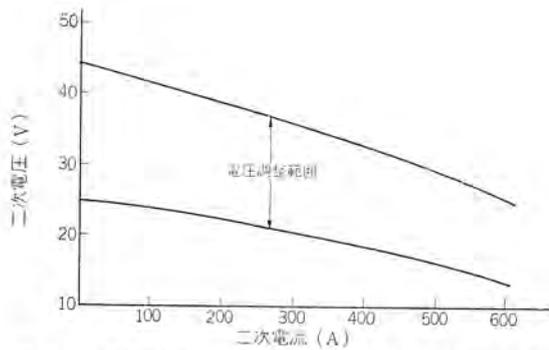


図 5.2 MN-500 形交流アーク溶接機外部特性
Characteristic of type MN-500 AC arc welder.



図 5.3 タップ切換器の外観
Tap changer.

図 5.3 に示すタップ切換器により約 1V 間隔に調整できるようにしてある。

これに用いるタップ切換器としては、停止位置における可動接触子と固定接触子間の安定な接触と、軽いタップ切換操作ができることが重要である。この点にとくに注目して、図 5.4 に示すように円筒形固定接触子の側面に可動接触子をばねで押えつけ、接触面 A、B での圧力が均等にかかるようにすると同時に、可動接触子を回転形構造にして切換時の作動力を低減するようにしたが、この構造は

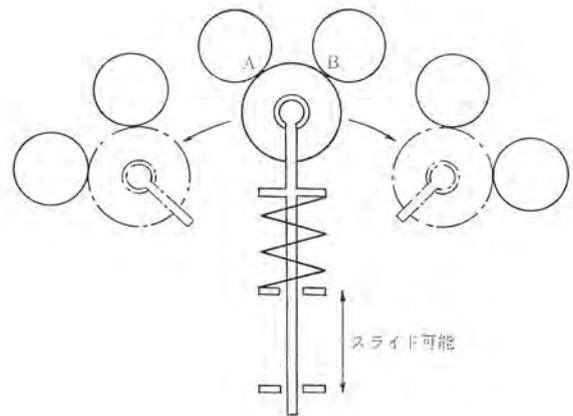


図 5.4 タップ切換器の構造
Construction of the tap changer.

取扱いが容易で、かつ確実な動作ができる利点がある（実用新案出願中）。

5.2.2 主変圧器

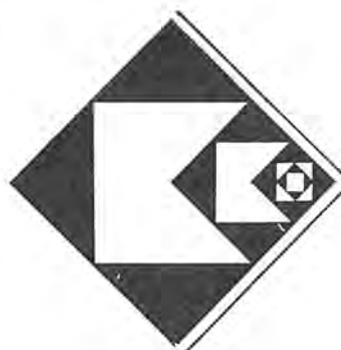
主変圧器にはアルミ巻線を使用し、シリコンワニス処理による H 種絶縁構造とし、前項で述べた外部特性を満足するために一次、二次コイル間を適正に配置し、所要のインダクタンスをうるようにした。

以上に述べた MN-500 形定電圧交流アーク溶接機は、当社製の CN-500 形複合心線送給装置および MV-500 形溶接トーチと組み合わせることによって従来の方式より作業性の改善された溶接装置として使用することができる。

この研究にあたり、種々ご協力いただいた三菱重工本社品田課長代理・横浜造船所尾上工場長付に対し、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 山本、島田、竹内、鶴飼：三菱電機技報 40, 1,598 (昭 41)
- (2) 堀内：無被包アーク溶接における窒素の吸収について、溶接学会、溶接冶金、溶接法合同研究委員会資料 (昭 42)



技術講座

メーザ，レーザで代表される新しい技術分野 —量子エレクトロニクス(1)—

安 東 滋*

1. ま え が き

1955年 C. H. Townes らによって初めてアンモニア分子線メーザが成功してから、マイクロ波の低雑音増幅器、超安定周波数発振器として各種のメーザが発達した。また1960年 T. H. Maiman が初めてルビーレーザの発振に成功して以来、レーザ発振波長は、動作物質が固体・液体・気体のものを全部あわせて数百種類をかぞえ、紫外線からサブミリ波に及ぶ広い領域でコヒーレントなレーザ光が得られ、通信・レーダ・計測・加工・医療その他あらゆる分野に新しい応用が開拓されつつある。さらに1950年ころから A. Kastler, H. G. Dehmelt らによってオプティカルポンピング(Optical Pumping)という分野が発展し、弱い磁場の超高感度測定、超安定周波数標準に应用されている。

最近、以上のような分野をまとめて量子エレクトロニクスと呼んでいる。当社も早くからこの分野の新製品開発につとめ、レーザ測距装置、レーザレーダ、レーザ無接触ならぬ計測装置、地球磁場測定用の各種磁力計などを開発している。一種の技術革命として次々に新技術が生まれる分野であるから、今後ますます有望な新製品の出現が期待される。この講座ではこの分野の総合的な展望を試みるとともに、企業における技術分野としての諸問題を検討していきたい。4回にわたって連載する内容としては次のように予定している。

(1) オプティカルポンピング

やや一般性の少ないこの技術分野を最初にとりあげて説明する理由は、典型的な量子エレクトロニクス技術であること、すなわちこの分野を詳細に説明していくことによって、量子エレクトロニクス技術の特長が浮き彫りにされるからである。各種の技術を巧妙に組み合わせることにより効果をあげる一例として、超高感度の磁場測定器をあげたい。分光光学、磁気共鳴の技術を組み合わせると比較的単純な構成により地球磁場の強さを100万分の1の精度で検出する。

量子エレクトロニクスのうちでは、この分野は学問的に完成の域に近く、成果の応用分野を開拓すべき時期である。

(2) メーザ，レーザとその応用

量子エレクトロニクスの中心になるのは何といたってもメーザ、レーザ技術である。分光光学でよく知られている誘導ふく射によりコヒーレントな電磁波を生成する具体的な手段として、空どう(洞)共振器、ファブリペロー(Fabry Perot)干渉計等の中に原子系をそう入するというアイデアにもとづいている。一種の“コロッパスの卵”ともいえる単純明快なアイデアによって従来不可能だったコヒーレントな電磁波、とくに光の生成放出が可能になった。

応用方面もきわめて広いが、他の分野の全般的な技術水準の向上をまわってはじめて可能になるようなものも多い。たとえばコヒーレントなレーザ光を通信に应用することが一つの大きな課題になっているが、今後の変調・復調・伝送等の技術の進歩にまつところが大きい。

(3) ホログラフィーとその応用

レーザの出現によって初めて可能になった技術の一つにホログラフィーがある。レーザ光によりレンズのような光学系を用いなくて物体の像を作る技術で、将来エレクトロニクス全般の技術水準が向上すれば情報処理、ディスプレイ、計測等への応用が次々とひらけてくる可能性がある。

(4) 量子エレクトロニクスの今後の方向

レーザ技術はかつて実現されなかったほど高いふく射エネルギー密度の光を実現し、物質との相互作用から種々の非線形現象が観察されるようになった。光のてい(通)倍、混合、パラメトリック発振などがいかに通信、計測その他の分野に应用されるかが今後の重要な課題になる。

2. 量子エレクトロニクスの特長

最初に量子エレクトロニクスの定義について述べたい。エレクトロニクスの一種であって、エレクトロンがおもな役割をするわけであるが、量子的な性質をもっとも観察しやすい状態、すなわちエレクトロンが原子、分子にとらわれた状態で電磁波と相互作用を行なう現象を研究し、通信、計測その他科学のあらゆる分野に应用する学問、技術であると定義されている。真空管・トランジスタ・ダイオード・サイリスタなどにおいては、エレクトロンは自由な状態にあり、原子にとらわれていない。中でもフォトトランジスタ・フォトダイオード・クライストロンなどは電磁波と関係するが、自由電子が主役であるから量子エレクトロニクスにははまらない。

今世紀の初め古典物理学から量子力学へと発展したころ、古典物理学で説明できない重大な矛盾の一つは原子スペクトルであった。水素原子核のまわりを電子が回るというモデルにただ一つの簡単な仮説——全系のエネルギーは、ある最少の単位(エネルギー量子)の整数倍の値しかとりえないということ——を付け加えるだけで原子スペクトルが明快に説明でき、それがいとぐちとなって量子力学のみごとな体系が組上げられてきた。量子エレクトロニクスにおいては、原子および分子スペクトルがもう一度積極的にとり上げられ、活用されている。それがどのようなとりあげ方をされているかを少し考えてみたい。

自然科学が今日のように発達してくると、自然現象を単に観察し、

理解するだけでは飛躍的な発展は望めない。量子エレクトロニクスにおいては原子・分子の単なる観察、理解にとどまらず、種々の条件を積極的に原子・分子に与え、その状態を思いのままに制御しようとする技術であることを忘れるわけにはいかない。

最近大きな進歩をとげているものの中にいわゆる極限技術と呼ばれるものがある。極低温、超高温、超高压、超高磁場、超高速などを生成し、利用する分野である。量子エレクトロニクスはこれら技術と比較されるとき、次のような特長が明確になってくる。量子エレクトロニクスではいろいろな技術——放電・けい光・偏光・磁気共鳴・電磁波の干渉と回折、エレクトロルミネッセンスなど——を利用するが、その一つ一つは従来からよく理解されているものである。ただその組み合わせに意味があり、今まで行なわれなかった巧妙な組み合わせによって不可能なことを可能にするところに特長がある。後に説明するオプティカルパンプング、レーザ技術はその典型的な例であるといえよう。

したがってこの分野の研究はアイデアが尊重され、能率よく迅速に行なう必要があり、当然特許は重視される。この分野の競争の激しいアメリカでは、何かアイデアが浮かんだらたとえ休日でもただちに実験しないと人に先をこされると言われるほどである。

3. オプティカルパンプング

オプティカルパンプングという題名はおそらく大部分の読者にとっては耳新しいものであろう。またレーザについて知識のある読者にとっては、レーザの励起方法の一つであるオプティカルパンプングとまぎらわしいものと思われる。レーザ励起法に使われるものと似てはいるが独立した一つの技術分野であり、この分野の開拓者である Alfred Kastler は学問体系として完成させた業績⁽¹⁾により1966年ノーベル物理学賞を得ている。

オプティカルパンプングの応用機としては第1に超高感度の磁力計をあげたい。後にのべる図3.1のようなきわめて簡単な装置によって地球磁場(日本では約0.46G)の全磁力を0.2γG(1γG=10⁻⁶G)程度の精度で、またその変化を0.01γG以上の感度で測定することができる。磁力計としては従来種々のものが実用化されてきたが、連続的に磁場強さの一方成分を測定できるものとしてフラックスゲート磁力計があり、感度は約0.5γGである。また連続測定はできないが0.2γGくらいの精度をもつプロトン磁力計が地磁気測定の標準器として用いられてきた。したがって近年、地磁気測定用として標準測定、地下資源(鉄・石油等)、沈船、機雷等探索などにこの種の磁力計が進出しつつある。

第2には安定度が1日に10⁻¹¹以上の周波数標準があげられる。これは歴史的に有名なアンモニアの吸収式原子時計、アンモニアレーザに比べ装置は非常に小形なのに安定度ははるかによいものである。現在では標準電波発信、電波航法、天体および人工衛星の運動観測などの基準発振器として用いられている。時間の国際標準は現在すでに天文学的方法から原子周波数標準にきりかえられ、逆に天体運動の時間的不整が検出される有様である。

このようにオプティカルパンプングは二つの重要な応用機を生み出したが、共通にいえることはいずれも本質的に絶対測定ということである。温度、気圧、重力、その他の外的条件に影響を受けにくい原子の内部状態間の共鳴を利用し、通常の技術を巧妙に組み合わせるこ

とにより10⁻⁶~10⁻¹²の変化を問題にする高度の測定を可能にした。

3.1 オプティカルパンプングの原理

量子エレクトロニクスとはエレクトロンが、原子・分子にとらわれた状態での電磁波との相互作用に関するものと述べたが、オプティカルパンプングでは単原子気体に限られ、その一番外側の電子と光の相互作用である。真空中を運動している原子、すなわち自由原子(固体のように作相互作用をおよぼす他の原子にとりかこまれていない自由な原子)は、電磁波を吸収・放出する場合、どんな波長のものでもよいということはなく、ある規則性をもった特定の波長だけが許される場合が多い。

そのことからたとえば図3.1のようにCsの自由原子は線で示される特定のエネルギー状態、²S_{1/2}, ²P_{1/2}, ²P_{3/2}, ²S_{3/2}, ²D_{1/2}, ²D_{3/2}……(エネルギーの低い順)をもっており、ある規則に従ってこれらの状態のエネルギーの差 E=hν (Eは原子のエネルギー、hはプランクの定数)をとったとき、振動数νの光を吸収または放出すると説明される。

Na, K, Rb, Csなどのアルカリ金属では共通に、一番エネルギーの低い状態(基底状態)が²S_{1/2}、次に低い状態が²P_{1/2}(第1励起状態)で、この間のエネルギー差 E₂-E₁=hν に相当する光をD₁線と呼ぶ。D₁線とD₂線(²S_{1/2}, ²P_{3/2}間に相当)からなるD線は、われわれの生活になじみの深いもので、食塩に炎をあてたときに出るものとか、道路照明などに最近用いられるナトリウムランプの黄色い光である。D₁線の吸収・放出に際しての原子状態の変化、いいかえれば²S_{1/2}と²P_{1/2}の差は一番外側のいわゆる価電子の状態変化だけにより、そのことが周期率表第一族の前述の元素に共通であることと符合する。価電子を“光る電子”と呼ぶことがあるのもこの間の事情と通じる。

次にもう少し詳しく原子のエネルギー状態を説明するために、²S_{1/2}, ²P_{1/2}などの符号の意味を説明したい。S, P, D……などの文字は外側の電子の軌道角運動量Lがそれぞれ単位の0, 1, 2……倍であることを示す。電子はほかにスピン角運動量S(電荷をもった粒子の自転による角運動量と考えるとわかりやすい)を1個当たり単位の±1/2倍もっており、原子の閉殻(価電子より内側の電氣的に中和状態にある殻状電子)内のもは正負互いに消し合って全スピン角運動量はゼロである。したがって原子全体の角運動量を内部量子数J=L+Sで表わし、右下に書く。²S_{1/2}の右下の $\frac{1}{2}$ はL=0, S= $\frac{1}{2}$, J= $\frac{1}{2}$ を、また²P_{1/2}の $\frac{1}{2}$ はL=1, S= $-\frac{1}{2}$, J= $\frac{1}{2}$ をそれぞれ表わす。左上の数字は多重度といって、この場合アルカリ金属は1個で

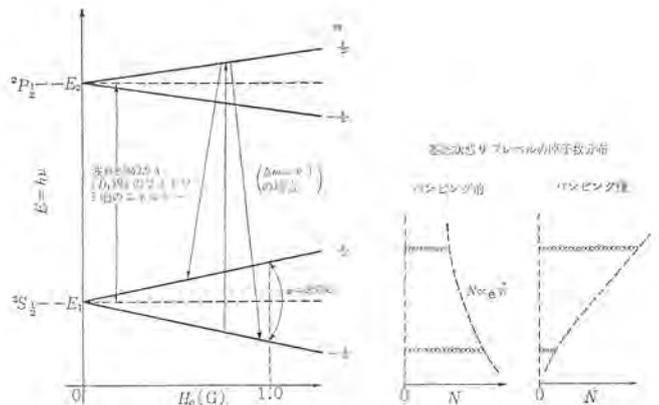


図3.1 Csのオプティカルパンプング原理図

価電子1個であるから、 L と S の組み合わせでできる J は2種類、すなわち軌道角運動量に対してスピンの同方向または異方向の2種に限られることを表わす(“2重に縮退している”などともいう)。

一般に内部量子数 J の原子に地磁気程度の弱い磁場をかけるとエネルギー状態は $(2J+1)$ 個のサブレベルに分かれ、その間隔はおおよそかけられた磁場の強さ H_0 に比例する(正常ゼーマン効果)。Csの $^2S_{1/2}$ の場合 $J=1/2$ 、 $(2J+1)=2$ で間隔は1G当たり350kcである。このように原子のエネルギー状態は各量が単位(量子と呼ぶ)の整数または半整数倍しかとり得ず、それらの組み合わせによってきまるとする量子力学的原理によって、原子・分子のミクロの現象が支配されている。

磁場をかけたときのサブレベル分岐も次のような方向の量子化であると考えられる。すなわち、原子全体の角運動量ベクトルは、その磁場方向成分(磁気量子数) m が単位の整数倍だけ異なるようなとびとびの方向だけが可能である。 $^2S_{1/2}$ 、 $^2P_{1/2}$ の場合は $m=\pm\frac{1}{2}$ の二とおり、 $^2P_{3/2}$ の場合は $m=\frac{3}{2}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $-\frac{1}{2}$ 、 $-\frac{3}{2}$ の四とおりの方向が可能で、おのおのサブレベルに対応する。

サブレベルの間隔が磁場に比例するいわゆるゼーマン効果は、次のように考えると理解しやすい。すなわち軌道およびスピン角運動を合成した内部量子数 J に対応する磁気能率が、磁場の中で才差運動を行っており、その周波数(ラモア周波数)が磁場に比例して1Gあたり350kcである。

$^2S_{1/2}$ にある原子に D_1 線を照射すると、1個の原子は1個の D_1 線光子(光の量子)を吸収して $^2P_{1/2}$ に励起される。この原子が自然に D_1 線を放出(いわゆる自然ふく射)して $^2S_{1/2}$ にもどる確率 A は次式で与えられる。

$$A = \frac{64\pi^4\nu^3}{3hc^3} |\mu_{a,b}|^2$$

ここで ν は D_1 線の振動数、 C は光の速度、 $\mu_{a,b}$ は状態 a, b (ここでは $^2S_{1/2}$ 、 $^2P_{1/2}$ 問の双極子能率のマトリックス要素と呼ばれるものである。原子が励起状態にとどまる平均時間(寿命)は $1/A$ となり、 a, b 間が D_1 線のような近赤外線では 10^{-8} 秒、マイクロ波では数日にもなる。

自然ふく射に対し、 $^2P_{1/2}$ に励起された原子が D_1 線に誘導されて、さらに D_1 線を放出し、 $^2S_{1/2}$ にもどる過程を誘導ふく射というが、 D_1 線のふく射エネルギー密度が単位の大きさのとき誘導される確率を B とすると

$$\frac{A}{B} = \frac{8\pi h\nu^3}{C^3}$$

この式からわかるように、光のように ν の高い場合は自然ふく射が強くなり、マイクロ波などのように低い ν では誘導ふく射が強い。また B は $^2S_{1/2}$ の原子が D_1 線を吸収する確率にも等しい。したがって1個の原子が $^2S_{1/2}$ から $^2P_{1/2}$ へ励起される確率よりは、 $^2P_{1/2}$ から $^2S_{1/2}$ へ落ちる確率のほうがはるかに大きいので、原子の密度は基底状態が圧倒的に大きく、励起状態は非常に小さい。また基底状態の原子にラモア周波数の交流磁界をかけるとサブレベル間の誘導ふく射、吸収による原子の移動を容易に起こすことができ、一方サブレベル $1/2$ から $-1/2$ への自然ふく射は、前述のように非常に確率が小さい。

容器の中に封じ込められたアルカリ金属蒸気の原子を考えると、ラ

モア周波数の交流磁界を印加しなくても器壁や他の原子との衝突によってサブレベルの間を移動し、その原子密度 N はボルツマンの法則に従う。すなわちサブレベル $1/2$ 、 $-1/2$ の原子密度を N_1 、 N_2 とすると、

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

ΔE はラモア周波数に対応するエネルギーを表わす。温度は室温で $T=300^\circ\text{K}$ 、 ΔE は350kc相当とすると、

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp(-5 \times 10^{-8}) \approx 1.000000$$

すなわちサブレベルには原子がほとんど均等に分布していることがわかる。

透明な真空容器の中に純粋な金属セシウムを少量封入すると、室温付近では 10^{-6} mmHg くらいの蒸気圧のCsが自由原子の状態で空間に充滿している。この容器にCsの D_1 線を照射する場合、円偏光を用いると量子力学の選択規則に従い、円偏光の向きによって励起の際の磁気量子数の増加 Δm が $+1$ または -1 に限られる。

たとえば $\Delta m = +1$ に相当する向きの円偏光では、図3.1の $^2S_{1/2}$ の $-\frac{1}{2}$ から $^2P_{1/2}$ の $\frac{1}{2}$ への励起だけが起り、他の励起($^2S_{1/2}$ の $-\frac{1}{2}$ から $^2P_{1/2}$ の $-\frac{1}{2}$ 、 $^2S_{1/2}$ の $\frac{1}{2}$ から $^2P_{1/2}$ の $\frac{1}{2}$ および $-\frac{1}{2}$)は起らない。いったん $^2P_{1/2}$ に励起された原子はすぐに D_1 線を放出して $^2S_{1/2}$ にもどるが、この過程は自然ふく射であるので $^2S_{1/2}$ の $\frac{1}{2}$ と $-\frac{1}{2}$ へ落ちる確率は等しい。 $^2S_{1/2}$ のサブレベル $\frac{1}{2}$ は D_1 線によって励起されない非吸収レベルで、自然ふく射によって原子がはいる一方であるので、だんだん原子の密度が増加して図3.1の一番右の図のような状態が実現し、これを D_1 線でパンピングされたと称している。

パンピングされると必ずしもエネルギーの高いレベル($m = \frac{1}{2}$)の原子密度が増加するとはかぎらず、 $\Delta m = -1$ の円偏光を用いると低いほうのレベル($m = -\frac{1}{2}$)が非吸収レベルとなって密度が増加する。このように D_1 線によるパンピングによって非吸収レベルの原子密度が増加し、吸収レベルの原子密度が減少することは D_1 線に対する透過率の増加を意味する。

原子が全部非吸収レベルに集ってしまったとしたら、 D_1 線に対して完全に透明になるわけである。このような状態にラモア周波数の交流磁界をかけてやると前述のように非吸収レベルから吸収レベルへの原子の移動が起り、ふたたび吸収レベルに原子が存在するようになるので透過率は低下する。

図3.2はオプティカルパンピングの実験装置であり、この装置によって重要な二おりの現象が観察される。第1の現象は前述の D_1 線に対する透過率の変化で、これを図のようにオシロスコープ上にえがかせたものは透過光のスピンの磁気共鳴吸収波形と呼ばれる。Csの D 線を放出する光源からの光をレンズで平行にし、 D_1 フィルターで D_1 線以外の光を除き、円偏光にして吸収セルに入射させる。吸収セルは真空にしてCs金属を封入したもので、適当な温度でCsの蒸気が充滿しており、磁界中で円偏光 D_1 線を照射されるとパンピングにより透明となる。

一方RFコイルには一定周波数 f_0 のRFを印加しておき、ヘルムホ

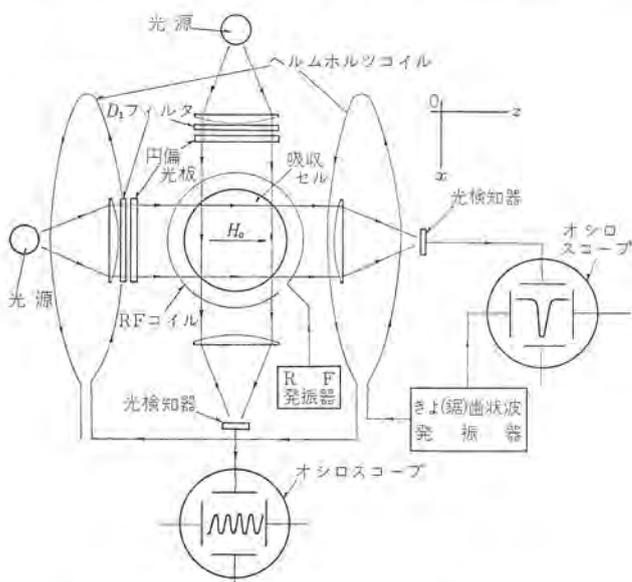


図 3.2 Cs, Rb のオプティカルポンピング実験装置

ルツコイルで磁場をきよ(鋸)歯的に変えながら光検知器の出力をオシロスコープで監視する。磁場に対し f_0 がラモア周波数でない間は、セルは透明で光検知器の出力は大きいが、

$$f_0(\text{kc}) = 350(\text{kc} \cdot \text{G}) \cdot H_0(\text{G})$$

を満足する点で急に非吸収レベルから吸収レベルへの原子の移動が起こり、透過率が低下して光検知器出力は減少する。この状態を共鳴状態と呼ぶ。共鳴点を過ぎるとふたたび原子は非吸収レベルに集り、光検知器の出力は大きくなる。図 3.7 はこのようなスピン磁気共鳴吸収の観測波形の一例である。このような吸収波形を用い、 f_0 を知れば H_0 がわかり磁場測定が可能である。スピン磁気共鳴吸収波形を利用して H_0 に対応する f_0 に自動的に周波数を制御する形の磁力計(自動周波数制御形磁力計、図 3.11 参照)も実用化されている。

透過光のスピン磁気共鳴吸収において注目すべきことは、Cs 原子系のポンピングによる原子の偏在が全体として磁化 Mz を生じ、光の強さの吸収分 Sz (磁場方向を z 軸にとり、 z 方向の光の信号という意味) と一次の関係にあることである。

$$Sz = \frac{Pz}{2} \{ (N_1 + N_2) - Mz \}, Mz = N_1 - N_2$$

Pz は吸収レベルの原子 1 個あたり吸収される光の強さである。このことから、ある方向の Cs 原子の磁化はそれに比例したその方向の光の強さの変化を与えるという、一般的な原理をひき出すことができる。

第 2 の現象は D_1 線のラモア周波数変調である。図 3.2 のように H_0 と直角方向(この方向に x 軸をとる)に光源からの円偏光線 D_1 を通して光検知器で監視すると、共鳴状態において変調を観測することができる。このことはラモア周波数の印加によって全原子の才差運動が位相をそろえて行なわれ、 x 方向の磁化 Mx が週期的に変化するため、前述の原理によって光の強さ Sx も変調を受けるものと考えられる。

$$Sx = \frac{1}{2} \{ (Px_1 + Px_2) (N_1 + N_2) - (Px_1 - Px_2) Mz \}$$

$$Mx \propto \cos(2\pi f_0 t + \phi)$$

Px_1, Px_2 はそれぞれ非吸収および吸収レベルの原子 1 個あたり吸収される光の強さである。

このようにセルを透過した D_1 線を監視して共鳴吸収やラモア周波数変調を観測する場合、 Sz, Sx は蒸気圧が高すぎると吸収が強すぎて小さく、低すぎると吸収が少なすぎて小さい。最適の蒸気圧は原子が偏在していない状態で透過率が約 50% を示すあたりで、長さが 5 cm くらいの吸収セルについて最適の温度は Cs 25°C, Rb⁸⁵ 45°C, Rb⁸⁷ 55°C 前後で、これらに対応する蒸気圧はいずれも 10⁻⁶ mmHg 付近である。

光源としては能率よくポンピングを行なうため、 D 線の半値幅のせまいものが要求される。通常のスペクトル観測用ランプでは励起 Cs 原子から出た光が冷たい Cs 原子に吸収され、スペクトル線の中央がへこんで半値幅の広がるいわゆる自己吸収が起こっていることが多い。中空のガラス球に金属 Cs と放電用の希ガスを封入して高周波で励起すると、表皮効果により表面に近いところが輝度が高くなり自己吸収を防ぐことができる。

3.2 磁力計

オプティカルポンピングを利用した磁力計にはいろいろあるが、代表的なものは原子発振器形と周波数自動制御形である。前者は構成が簡単なうえに磁場変化に対する応答が速く、とくに Cs, Rb を動作物質にするものがすぐれている。

図 3.2 の実験装置では z 方向の D_1 線がポンピングによる原子の偏在を起させ、 x 方向の D_1 線はポンピングの能力はなくラモア周波数変調を監視する役をもつ。しかし図 3.3 のように磁場と 45° の方向に向ければ、単一の光学系でポンピングと変調の監視をかねることができ、光検知器は原子の偏在による直流信号とラモア周波数変調による交流信号を同時に検知可能である。このうち交流信号を増幅し、位相を調整して吸収セルの RF コイルに印加すれば光学系を含んだ発振系が形成され、吸収セルの位置の磁場の強さ H_0 に比例する周波数 (Cs では 1 G あたり 350 kc) で発振する。この出力と安定度の高い発振器出力のビートをとり、ビート周波数をレートメーターで電圧に変換すれば磁場の微小な変化を知ることができる。

図 3.4 に Cs 原子発振器の感度測定データを示す。ヘルムホルツコイルによって磁力計に微弱な交流磁界をかけ、出力変化を記録したものの

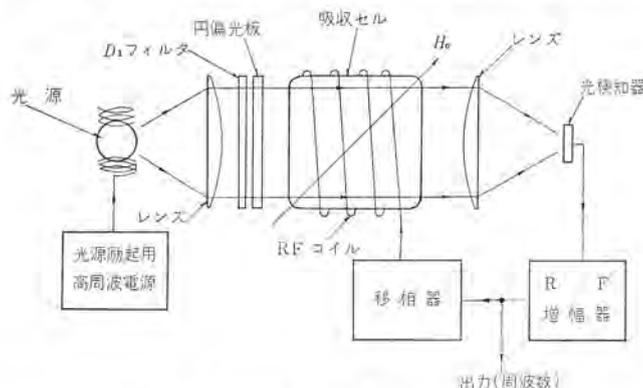


図 3.3 Cs, Rb の原子発振器形磁力計

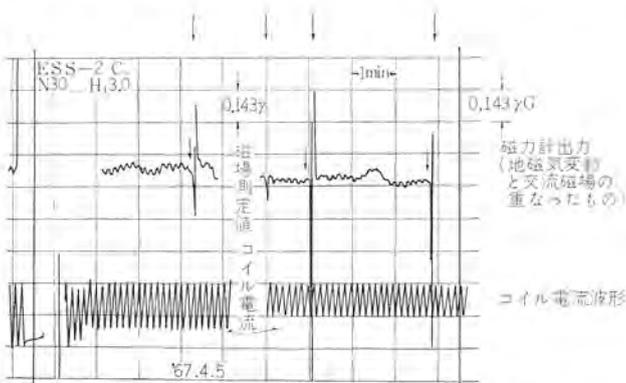


図 3.4 Cs 原子発振器形磁力計の感度 (矢印の大きな変化は近くの道路の自動車通過などによるもの)



図 3.5 ロケット積載用磁力計 (高空の超低周波磁波観測用として東大宇宙航空研究所に納入されたもの)

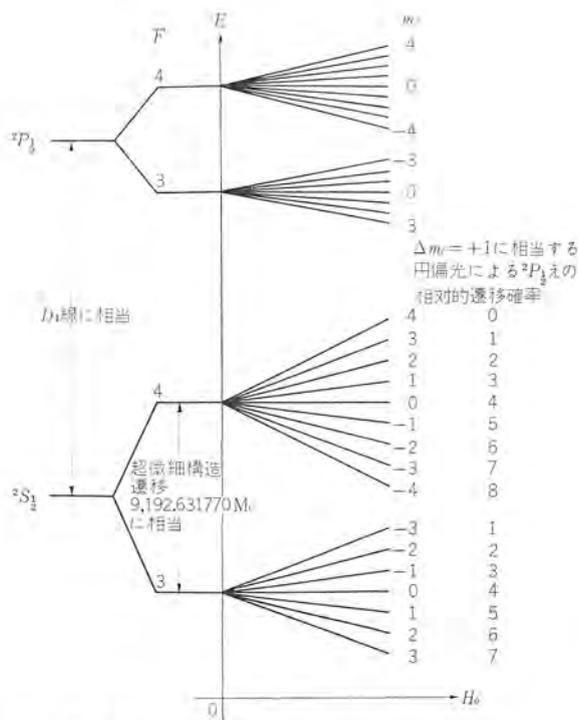


図 3.6 Cs のエネルギー図における超微細構造

で、0.01 γ G 程度の感度があることを示している。

図 3.5 は Cs 原子発振器形磁力計の一つの応用である ロケット積載用磁力計である。太陽からの荷電粒子の流れによって地球の磁力線が閉じて地球磁気圏を形成し、その中における電磁波の振動を測定するのに用いられた。マイクロ波の空どう共振器と同様の共振であるが、大きいために周波数は 100 c/s 以下になるので超低周波磁波観測と呼ばれている。原子発振器の応答は 500 c/s 近くまでであり、感度も高く小形軽量なのでこのようなロケット観測用磁力計として最適である。

図 3.4 における磁場と光軸の角度の関係から明らかなように、図 3.4 の原子発振器は光軸が磁場と 45° をなすときが S/N が最大で、 0° 、 90° では発振は停止し、動作範囲はおおよそ $10 \sim 80^\circ$ である。また発振状態にあるとき光学系を逆方向に向けると、交流磁界と光の変調信号の位相関係が 180° 変わるので、移相器を調整しないかぎり発振は停止する。このように磁力計に対する磁場の角度には死角があり、ロケットなど移動機器に積載する場合に問題になる。

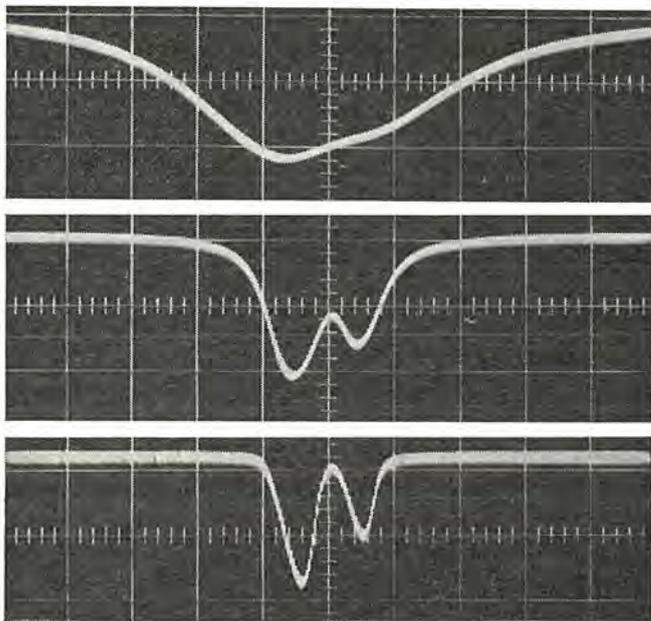
Cs, Rb の磁力計では出力周波数が温度、光の強さ、磁場との角度の変化によってわずかにシフトすることがある。その原因は種々考えられ複雑であるが、原子の超微細構造が大きな影響を及ぼしている。原子の磁気能率としては軌道、電子スピンがあることを前に述べたが、Rb, Cs の原子核にもわずかではあるが、磁気能率が存在し核スピンと呼ばれる。核スピン量子数 I と内部量子数 J との和を超微細構造量子数 $F (= I \pm J)$ と呼び、内部量子数の場合と同様一つの状態が $(2F+1)$ 重に縮退していて、磁場をかけるとそれだけの分岐を生ずる。

図 3.6 に示すように Cs の $^2S_{1/2}$ 、 $^2P_{1/2}$ の状態はそれぞれ $F=4, 3$ のいわゆる超微細構造レベルに分かれ、磁場をかけるとおのおのがそれぞれ 9 本、7 本のサブレベルに分岐する。 $^2S_{1/2}$ のサブレベル間隔は $F=4$ が 8 個所、 $F=3$ が 6 個所あるが、これらが全部わずかに周波数が異なり、図 3.7 に示すようないわゆる超微細構造スペクトルを示す。図 3.1 ではサブレベル $\frac{1}{2}$ と $-\frac{1}{2}$ の間隔に相当する単一周波数の吸収線を考えていたが、厳密に考えると Cs で 14 本のわずかに周波数が異なる吸収線の集まりである。

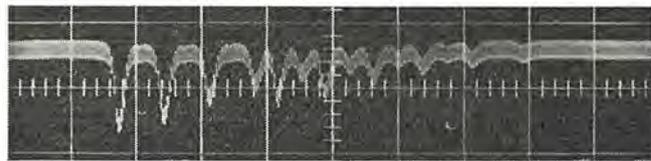
図 3.7 の写真は Cs のスピン磁気共鳴吸収の一例である。磁場の強さを一定にして、RF 交流磁界の強さを小さくするほど超微細構造スペクトルの分離はよくなる。図 3.7 (a) は下へいくほど交流磁界が小さくなっていて、 $F=4, 3$ の 2 群の分離が認められる。各線の周波数差の割合 (ν/ν_0) は磁場に比例するので、図 3.7 (b) のように比較的大きな磁場をかけると 14 本の全部が分離される。

Cs, Rb 磁力計の動作状態では、複数の超微細構造スペクトル線から合成される吸収または変調信号を利用しているので、温度・光の強さ・磁場との角度の変化によって各スペクトル線の相対的強度が変わり合成信号のピーク周波数がずれる可能性がある⁽²⁾。したがって感度は高くても、磁場の絶対値に対する確度はそれほど高くない。この点超微細構造をもたない He の磁力計には、この種のシフトがないと考えられる。

オプティカルポンピングの原理を説明してきたが、ここで漏えい(洩)効果ともいべき緩和現象について説明したい。実際には原子の器壁との衝突などによって非吸収準位から吸収準位への遷移が起り、



(a) $H_0=3.72\text{ G}$



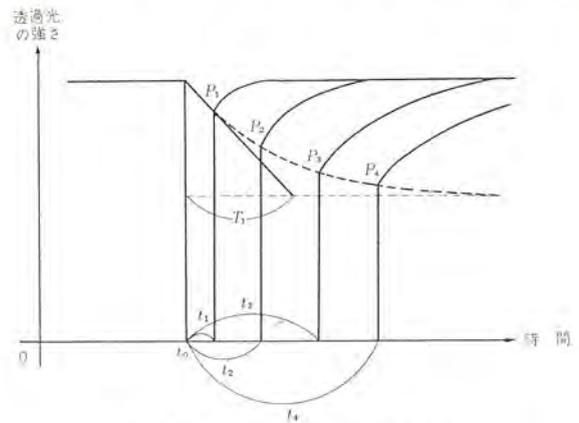
(b) $H_0=16.86\text{ G}$ 実線・点線がそれぞれ $F=4, 3$ のスペクトルを示す

図 3.7 Cs D_1 光のスピンの磁気共鳴吸収の超微細構造スペクトル

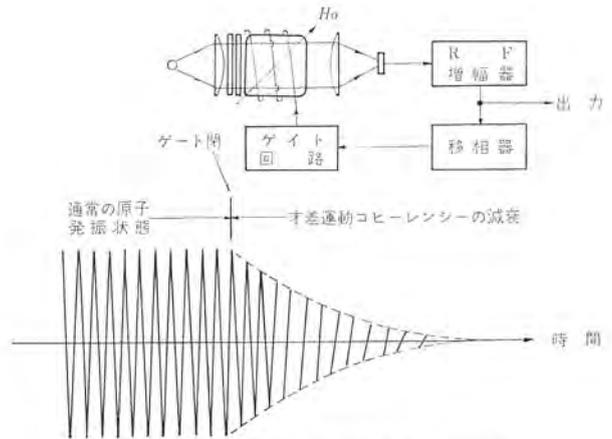
そのような緩和（漏えい）が激しいほど原子分布のかたよりが起こりにくく、スピンの磁気共鳴吸収、ラモア周波数変調の信号も小さい。アルカリ金属の吸収セルでは、直径 10 cm 程度のもので常温において空間を動きまわる原子は毎秒 10,000 回程度壁と衝突する。通常のガラスの場合 1 回衝突すれば確実に緩和するといわれ、一方 D_1 線の強さは普通 1 原子あたりの励起回数が毎秒 1,000 くらいなので、かたよりは少なく、信号も検出可能な最低限界に近い。

後年 ノーベル賞を受賞した Kastler とそのグループがこの緩和を少なくする方法を偶然発見したエピソードがある。彼らは Na を単なるガラス容器に封入した吸収セルを用いてオプティカルポンピングの実験を行っていたが、信号があまりにも小さいので失望していた。ある日吸収セルを調製する真空系のリークで誤って水素ガスのはいった吸収セルができ、そのスピンの磁気共鳴信号が大きかったことからパフーガスによる緩和防止法が発見された。

H_2, Ne, A, He などのガスは磁気能率をもたずアルカリ金属原子



(a) Franzen 法⁽³⁾によるたて緩和時間 T_1 の測定



(b) 久保の方法⁽⁴⁾によるよこ緩和時間 T_2 の測定

図 3.8 緩和時間の測定

と衝突しても緩和の効果はなく、このようないわゆるパフーガスをつめることにより、アルカリ金属原子の壁との衝突回数を著しくへらし、大きな信号が観測できるようになった。また吸収セルの内面に、衝突による緩和の起こらないような物質（たとえば高級パラフィン類）のライニングを施すことによっても同様の効果がある。

緩和の大小を示す尺度として、いったん成立した原子のかたよりが自然になくなる時定数を“たて緩和時間 T_1 ”と呼ぶ。図 3.8(a) によって Franzen 法⁽³⁾による T_1 の測定を説明する。吸収セルにポンピング光をあてて平衡状態に達したところである時間（たとえば t_1 ）光を中断する。このとき原子のかたよりはある程度緩和していて透過光の強さはふたたび光がはいったときには初めの値より少し下がった点（たとえば P_1 ）から時間とともに増加しはじめ、やがて初めの強さにもどる。時間を変えてこの測定をくり返し、 t_1, t_2, t_3, \dots に対する P_1, P_2, P_3, \dots なる点を連ねてゆけば T_1 をきめることができる。

Rb, Cs の直径 10 cm くらいの吸収セルでパフーガスまたはライニングにより $T_1=0.1\sim 0.3$ 秒程度が得られ、ライニングしたセルにパフーガスを入れると 0.5 秒も可能である。このときポンピングによる D_1 線の透過率変化は 20%にも達し、きわめて大きなスピンの磁気共

鳴吸収信号が観測できる。

原子のかたよりに関するたて緩和のほか、原子の才差運動の位相がだんだん不ぞろいになる時定数が、“よて緩和時間 T_2 ” と呼ばれる。この測定法にはいろいろあるが、一例として図 3.8 (b) により久保の方法⁽⁴⁾について説明する。

原子発振器形磁力計の RF コイルの前にゲイト回路をそう入して発振状態で瞬間的に RF 交流磁場をきり、ラモア周波数変調波形が減衰していく過程を観測する。同一のセルについて同一の条件で T_1 , T_2 を測定すると、 T_2 は大体 T_1 の 1/5~1/10 程度であるが、このことから次のことがわかる。

よて緩和はたて緩和の主原因である器壁、他原子との衝突によっても起こり得るが、 T_2 が T_1 よりかなり小さいことからもっとほかの原因、すなわちアルカリ金属原子同志の衝突によって起こると考えられる。非吸収レベルの原子と吸収レベルの原子が衝突して入れ換わったとしても原子系全体のかたよりに変わりなく、したがってたて緩和の原因にはならないが、才差運動の位相は乱される。

このような緩和機構は動作物質、バッファガス、ライニング材料などの原子・分子の化学的構造と密接な関係があり、有力な化学的研究手段を提供してくれる。たとえばポリエチレンの水素を重水素で置換してライニング材料としての T_1 を比較するとかなりの増加がみられ、これは原子核の磁気能率の差が原因とみなされる。

日本でも神戸大学 神田教授、峯本氏らによってこのような方法で種々の物質の化学的研究が進められ⁽⁵⁾、最近の研究によると峯本氏は図 3.9 のようなセルにより、レーザに用いられるルビー結晶に対する Cs の T_1 を測定し、ルビーの Cr^{3+} イオン濃度が増加すると T_1 が減少することを観測した⁽⁶⁾。この方法は同一のセルの中に数種の試料を封入し、条件の再現性をよくして測定精度をあげた点が特長である。

Rb, Cs の磁力計について詳細に説明したが、超微細構造をもたない He^4 の磁力計について説明したい。図 3.10 に He^4 のエネルギー図を示す。アルカリ金属の場合との違いは、基底状態より上位の比較的寿命の長い準安定状態 2^3S_1 のゼーマン分岐を利用していることである。 He^4 は核の磁気能率がなく超微細構造を示さないので、 $m=0, +1$ 間と $m=0, -1$ 間の周波数 (1G あたり 2.8 Mc) が厳密

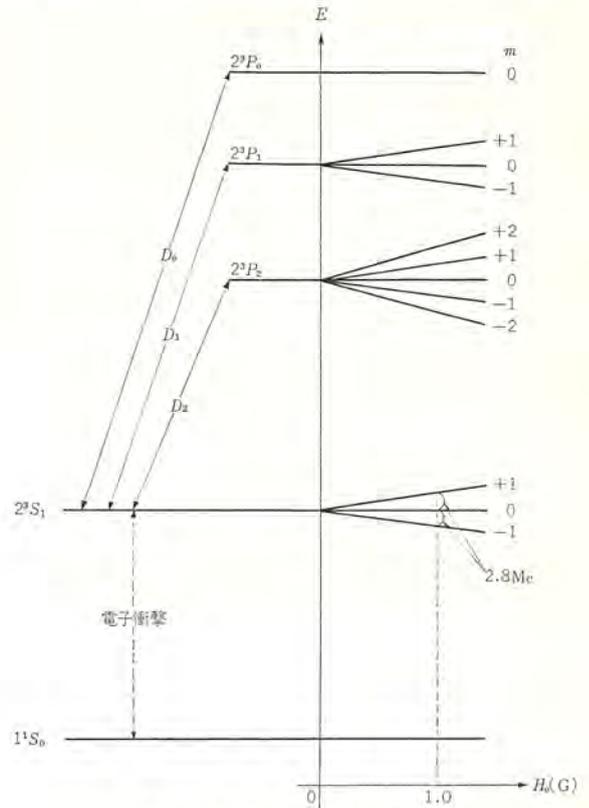


図 3.10 He^4 のエネルギー図

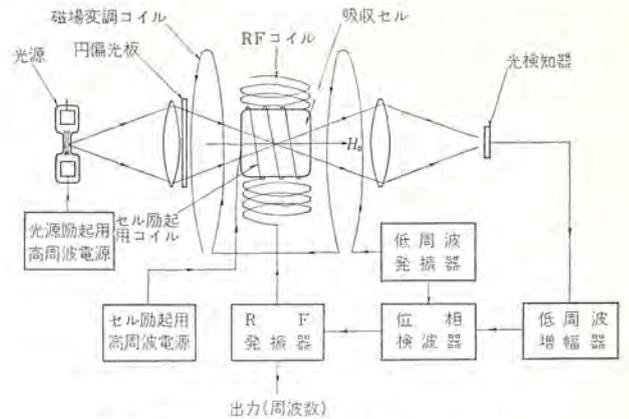


図 3.11 He^4 の周波数自動制御形磁力計

に等しく、前述のようにシフトを生じない。

しかし吸収セル内の He^4+1 原子をできるだけ多く 2^3S_1 状態に集めておくため、吸収セルを高周波放電させておく必要がある。放電によって保たれる 2^3S_1 状態の寿命は 1 ms 程度であるので、緩和時間 T_1 もそれより短かく、Rb, Cs にくらべるとスピン磁気共鳴吸収信号はかなり小さい。またラモア周波数変調の信号はほとんど観測にかからないほど小さく、原子発振器形磁力計は不可能で、図 3.11 のようなスピン磁気共鳴吸収のピーク周波数に、自動的に制御される周波数自動制御形磁力計が実用化されている⁽⁷⁾。

He 磁力計と Rb, Cs 磁力計の性能、得失を比較すると、第 1 に Rb, Cs 磁力計は感度が高い点がすぐれ、 He 磁力計は絶対値の確度の高い点がすぐれている。応答の速さは原子発振器形がしゃ断周波数 300~500 c/s に対し、自動周波数制御形は 10 c/s 程度にとどま

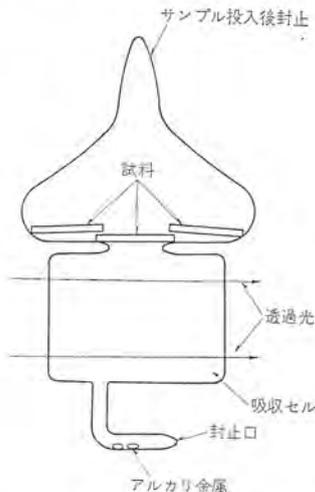


図 3.9 峯本氏の吸収セル

表 3.1 オプティカルポンピングによる磁力計動作物質の特性一覧

元 素	自然の存在比 %	核 ス ピ ン I	超微細構造スペクトルの数	0.5 G における隣り同志の超微細構造スベクトルの周波数差 c/s	1 G あたりのラーモア周波数 kc	ポンピング光波長 μ	動作最適温度 °C
Na ²³	100.0	$\frac{3}{2}$	6 ($F=2, 4$) ($F=1, 2$)	138	700	0.5896	120~140
K ³⁹ K ⁴¹	93.2 6.8	$\frac{3}{2}$	6 ($F=2, 4$) ($F=1, 2$)	531 1,005	700	0.7699	約 80
Rb ⁸⁵ Rb ⁸⁷	72.7 27.3	$\frac{5}{2}$ $\frac{3}{2}$	10 ($F=3, 6$) ($F=2, 4$) 6 ($F=2, 4$) ($F=1, 2$)	36 36	466.7 700	0.7948	40~50 50~60
Cs ¹³³	100.0	$\frac{7}{2}$	14 ($F=4, 8$) ($F=3, 8$)	6.7	350	0.8943	20~35
He ⁴	~100	0	1	0	2,800	1.08	とくに制限なし
He ³	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁴ (原子炉で人工的に作ったものを用いる)	$\frac{1}{2}$	1 (1^1S_0) 2 (2^3S_1) 3 (2^3S_1) 3 ($F=3, 2$)	0	(1^1S_0) 3.2 (2^3S_1) 3,800 ($F=1, 2$) (2^3S_1) 1,900 ($F=3, 2$)	1.08	とくに制限なし

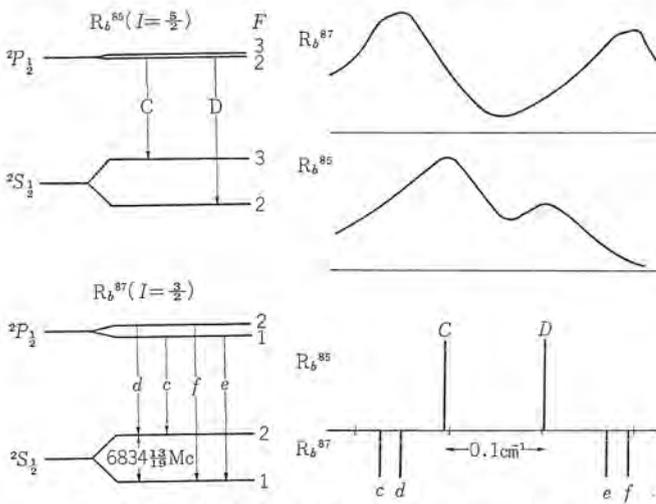


図 3.12 Rb⁸⁷, Rb⁸⁵ の D₁ 線に関するエネルギー図と超微細構造スペクトル

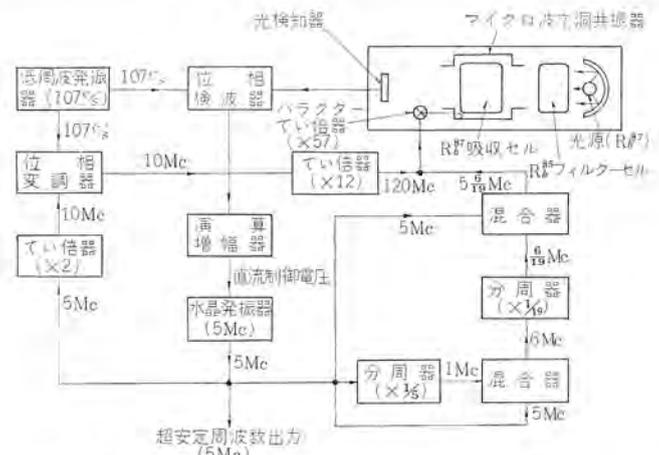


図 3.13 Rb 超安定周波数標準の一例 (アメリカ Varian Associates の製品)

るので He 磁力計が劣る。構成は Rb, Cs の原子発振器形に対し He の自動周波数形はかなり複雑である。しかしアルカリ金属の場合、吸収セルの蒸気圧を最適値に保つため温度制御が必要であるが、He はその必要がない。

表 3.1 に磁力計に使用しうる動作物質の特性を示す。アルカリ金属のうちでは Rb, Cs 以外に Na, K も使用可能であるが、動作温度がやや高く、ランプも比較的高い温度なのでガラスの腐食の問題が生じる。アルカリ金属のうちでは、Cs が超微細構造スペクトルの周波数差がかなり小さく、スペクトル数が多い効果を差引いてもシフトの点で有利である。He³ の 1^1S_0 は核スピンだけによる共鳴吸収で、周波数も低いが原子発振が可能であったという報告がある。

3.3 周波数標準

オプティカルポンピングの第2の重要な応用として、超高安定周波数標

準があることは前に述べたが、Rb を動作物質とするものについて原理、構成を説明したい。図 3.12 に示すように、Rb⁸⁵ と Rb⁸⁷ の D₁ 線自身の超微細構造スペクトルは、同位元素効果 (Rb⁸⁵ と Rb⁸⁷ は核外電子の数は同じで原子量が異なり、原子スペクトルの周波数がわずかにずれる) によるずれを生じている。

図 3.13 の光学系では光源から出る Rb⁸⁷ D₁ 線の光を Rb⁸⁵ のセル (フィルターセル) を通すことにより、スペクトル線 c, d は弱くなり e, f 線はあまり弱められない。このことは Rb⁸⁷ の c, d 線が強い Rb⁸⁵ の c 線に近いので吸収され、Rb⁸⁵ の D 線の吸収は比較的弱く e, f 線からも少しはなれていることによる。

Rb⁸⁷ の吸収セルでは F=1 のレベルが強く励起され、F=2 はほとんど励起されないため、オプティカルポンピングにより原子は F=1 から F=2 に移動して吸収セルは透明度を増す。吸収セルはマイクロ波空

どう共振器内にあり、 $F=1, 2$ 間の周波数に相当する $6834\frac{13}{19}$ Mc のマイクロ波を印加すると、原子の $F=2$ から 1 への移動が可能になり、透明度が低下する。マイクロ波の周波数を前後に掃引すると、超微細構造遷移 ($F=1, 2$ 間) 周波数のところに共鳴吸収の谷ができ、図 3.13 のような周波数自動制御回路によって高度の周波数安定化が可能になる。 10^{-11} ~ 10^{-12} /日の周波数安定度が得られ、前述のように各種の周波数および時間の標準を支配するようになってきた。

周波数標準の国産化については、残念ながら欧米にくらべおくれしている。とくにアメリカではコンパクトで信頼性の高いものが商品として多く出されており、日本で使われているもの(約 20 台前後と推定される)の大部分はアメリカ製である。用途としては先に述べたもの以外にも宇宙通信、人工衛星の追尾、航空関係のレーダなどにますます安定度の高い周波数標準が要求されるようになっており、国産化の必要性が高まっている。これに対し電気学会の原子発振器専門委員会(委員長 東京工業大学福与教授)が 42 年に設置され、国産化を目指して精力的な活動が開始されている。

3.4 まとめ

以上で概略の原理・特長・構成・用途を理解していただけたことと思うが、オプティカルポンピングの説明を終わる前に、量子エレクトロニクス技術として重要な特長をあげておきたい。それは次のように要約される。

- (1) 自由原子のスペクトルを利用した標準的な絶対測定法である。
- (2) 外乱に対する独立性(緩和の防止など)を保つ有効手段が確立されている。
- (3) 非吸収レベルから吸収レベルへ原子が移動すると、すぐにパ

ンピング光によって励起される。これは一種の増幅現象で、その利得は両方の周波数の比に相当する(たとえば磁力計の場合 D_1 線周波数とローマ周波数の比は 10^9 ~ 10^{10} になる)。光学系にこれだけの利得を内蔵することは S/N の向上、装置の小形化単純化に役たっている。

参考文献

- (1) Alfred Kastler : Physics Today, Sept., 34 (1967)
 - (2) S. Ando : Japan. J. Appl. Phys., 4, 10, 793 (1965)
 - (3) W. Franzen : Phys. Rev., 115, 850 (1959)
 - (4) 久保, 大川, 渡辺 : 日本物理学会第 23 回年会講演(予稿集 3, 148, 昭和 43 年 4 月)
 - (5) T. Kanda and T. Minemoto : J. Phys. Soc. Japan, 20, 1532 (1965)
 - (6) 峯本, 柴田 : 第 15 回応用物理学関係連合講演会講演(講演予稿集 1, 80, 昭和 43 年 3 月)
 - (7) 安東, 久保, 大川, 西川, 稲荷 : 日本物理学会第 21 回年会講演(予稿集 210, 昭和 41 年 4 月)
- (総合的なもの)

Robert Bernheim : Optical Pumping, W. A. Benjamin Inc., 1965

P. A. Grivet and L. Malnar : Measurement of Weak Magnetic Fields by Magnetic Resonance, Advances in Electronics and Electron Physics, Vol. 23, Academic Press, 1967



新製品紹介

BDF-25形生ビールディスペンサー

近年のビール需要増大はめざましく、たる詰め生ビールの販売量増加にもなって、特別の付属設備を必要とせず、安価で取り扱いの容易な生ビールの冷却供給装置の開発要望が多く、今回フィールドテストを経て、BDF-26形生ビールディスペンサーの一般市販を開始した。

BDF-26形は、生ビールの冷却供給に際して実用上に生じる種々な問題点を、多年の研究と実用試験により解明克服した新方式採用の新規な新製品で、市場にて従来より多く用いられている砕氷投入方式の生ビール冷却器に比べて、大幅に維持費が安く、手間を要しないことに加え、つぎのような数々の特長をもっている。

取り扱いは従来使用の砕氷投入方式と同様に、炭酸ガスで加圧した生ビールたるを本機にホース配管接続するだけでよく、業者間で言われていた生ビールのあわ切り3年の経験が不要となり、正しい取り扱いによって、だれにでも簡単容易に、理想的な状態の美味な生ビールを冷却供給することのできる製品である。

■ 特長

- (1) 理想的なクリーム状の細かいあわが、理想的な割合で取り出せ、まったく手間がかからずに、いつも新鮮なおいしい生ビールが供給できる。
- (2) 当社の優秀な冷凍装置を使用しているため、冷却力は抜群で、しかも電源は家庭用の100Vを使用できる。
- (3) 小形、コンパクトにまとめているため、据付場所をとらず、移動も簡単自由でどこにでも据付できる。
- (4) 一昼夜そのまま放置しておいても、冷却管内はいつもたる内と同じ条件になっており、気抜けや味の悪くなる心配はまったくない。
- (5) カウンターほか主要部分はSVS-27ステンレス製で、きわめて

衛生的である。

(6) 自動温度調節器付きのため、電気代は1日17円(1kWhを10.5円としたとき)でたいへん経済的でもある。

■ 仕様

- 電源：単相 100V 50/60 c/s
- 消費電力：200/220 W
- 標準電流：2.9/2.8 A
- 外形寸法：424幅×424奥行×870高さ(mm)
- 圧縮機：全密閉形 130 W
- 冷却能力：200 kcal/h
- 生ビール取出量：20 lたる 2たる/1時間(予冷完了後)
- 製品重量：46 kg



BDF-26形生ビールディスペンサー

[和歌山製作所]

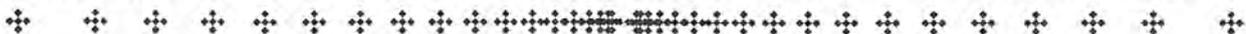
風向・風速データ処理装置

貨車操車場を新規に建設する場合、とくにハンパードでは、貨車転走の線路方向・線路こう配などを決定するために、各種の気象データ(風向ひん度・風速ひん度など)を必要とする。従来は現地で採取し、風向・風速記録から目で読み取って整理分類し、ひん度分布を作成していたが、これには膨大な労力を必要とした。

ここに紹介する「風向・風速データ処理装置」は、上記の読み取り・整理分類と言う人手に頼っていた作業を自動化したもので、国鉄技術研究所のご指導により試作1号機を開発し、このほど納入した。装置の概略ブロックを図1に示す。



図1 風向・風速データ処理装置ブロック図



NEWS FLASH

■ 伊勢丹百貨店納め 10,000 kVA 不燃性油入送油水冷式変圧器完成

伊勢丹百貨店納め 10,000 kVA 三相不燃性油入変圧器を完成した。この種のものでは、わが国における記録的な大容量・高電圧のものである。

この変圧器はビル地下に設置するため、つぎのような特長をもっている。

(1) 絶縁油には、当社において多くの製作実績をもち、信頼性のある三菱不燃性「ダイクロール」合成油を採用しているため、火災の危険がまったくない。

(2) 搬入条件を考え、とくにコンパクトな構造に設計し、全装可搬形としているので据付工期が短縮された。

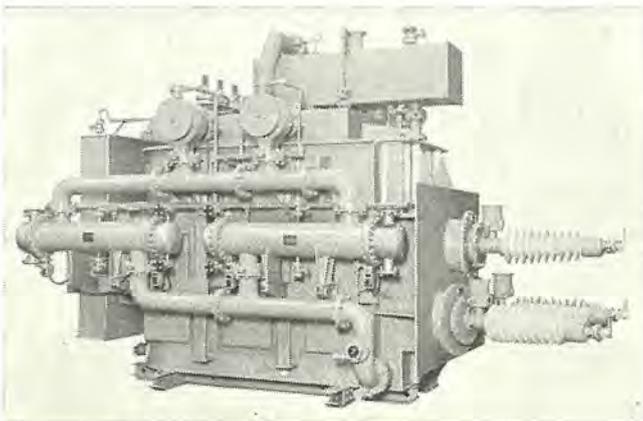
(3) 受変電設備の据付面積を縮小し、建屋面積の有効利用をはかるため、66 kV 側ブッシングはタンク側面より引き出し特高キュービクルと直結する構造とした。

(4) 3.3 kV 側はバスダクトにより閉鎖配電盤と結合し、通電部分は完全にしゃ蔽しているため保守点検時感電の危険がない。

(5) この種の変圧器は一般に自冷式が多く採用されるが、放熱器の占める面積が大きいため、送油水冷式とし小形化をはかった。

冷却水の供給は、一般冷房用に設置された屋上のクーリングタワーより行なう方式を採用した。この方式ではクーリングタワーの位置エネルギをそのまま利用できるため、水循環ポンプは送水管内の動圧損失(摩擦損失)のみ供給すればよく、運転電力損失は従来の1/2以下となった。冷却器には常時水圧が約7 kg/cm²加わるが、万一冷却管が破損した場合でも、油系統に浸水することがまったくない特殊構造を採用した。

不燃性油入変圧器は従来 500 kVA 以下のものに多く用いられていたが、最近のひん発するビル火災に対処して、大容量の特別高圧用変圧器に採用される気運となった。



伊勢丹百貨店へ納めた
10,000 KVA 不燃性油入送油水冷式変圧器

当社においても、現在 7,500 kVA 60 号、10,000 kVA 10 号を製作中であり、また 5,000 kVA 20 号が計画されている。

今回完成した変圧器のおもな仕様はつぎのとおりである。

相数	: 三相
周波数	: 50 c/s
容量	: 10,000 kVA
電圧	: 66 kV, 3.3 kV
形式	: 送油水冷式, 全装可搬形

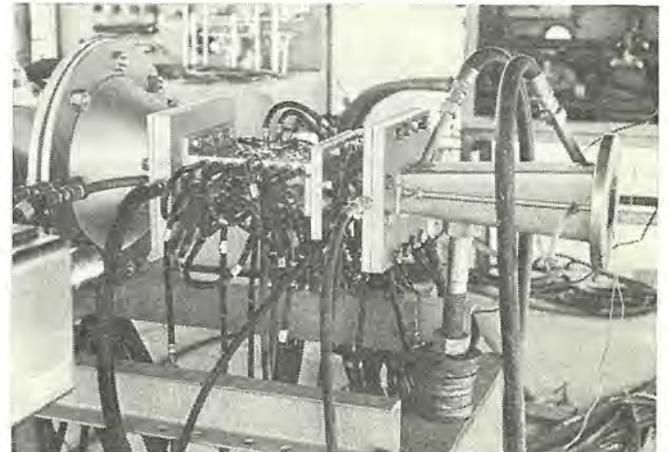
[伊丹製作所]

■ MHD 発電用ダクト

——セミホットウォール発電ダクト——

実用可能な MHD 発電用ダクトの開発をめざして、発電ダクトを構成する絶縁壁・電極を、その材料の許容温度まで冷却して使用する、いわゆる、セミホットウォール発電ダクトの開発研究を行なっていたが、このたび長時間の運転に耐える画期的な発電ダクトの開発に成功し、MHD 発電実用化に一步前進した。

長時間運転用の発電ダクトとしては、水冷壁ダクトが主として考えられるが、この方式の発電ダクトは熱損失・電圧降下が大きいこと、陰極表面で電流がスポット状に集束して実効的な導電率が低下すること、水冷壁の構造が複雑であること、シード材であるカリウムが器壁に付着し絶縁劣化をおこすことなど、多くの問題点を有し、実用の発電ダクトとして十分とはいえなかった。したがって、セミホットウォール発電ダクトの開発が急がれていたが、構成材である耐火材をその材料の許容温度以下に冷却することが技術的にかなり困難である



開発したセミホットウォール MHD 発電ダクト

こと、耐火材の形状寸法により製作上制約をうけるうえに熱衝撃性が悪く、これまで実用発電ダクトの可能性が困難視されていた。

当社で開発したセミホットウォール発電ダクトは、このような欠陥を除去するために、絶縁壁を構成する耐火材を多数の小片に分割し、小片の背面をおのおの冷却金属板とろう付接着させて、1枚の絶縁壁を構成するというユニークな構成法を採用している。この発電ダクトは、器壁を構成する耐火材を小片に分割してその準位長さを減じているので、熱衝撃抵抗性を大幅に改善することができるとともに、耐火材の裏面をメタライズして金属板とろう付接着しているので、冷却効果・機械的強度を増すことができる。また、器壁を構成する耐火材は、同形状を有する六角柱・直方体などの単純な形状の小片であるため、密度の均一な耐火材を安価に製造できるとともに、任意の形状・寸法を有する発電ダクトを容易に製造できる。写真は開発したセミホットウォール発電ダクトを燃焼器に設置しているところで、器壁の耐熱衝撃性・耐熱性・耐食性・耐摩耗性および耐熱電極の特性を試験した。試験の結果によれば、耐熱性・耐熱衝撃性・シード材中のカリウムに対する耐食性とも良好で、長時間の運転に使用できることが判明している。

[中央研究所]

■ 高速大容量直流電動機の世界記録品完成

記録的な大容量高速の直流電動機を完成した。本機は電機子巻線方式に2重重ね巻を採用し、セグメント電圧を下げ、従来この種の直流機で問題となった整流問題を解決するとともに、界磁つなぎには独特のバランス結線方式を適用して、各極ブラシアーム電流を平滑化して整流能力を向上させた。この種の直流機の限界出力は、容量(kW)×回転速度(rpm)の値が $4\sim 4.5 \times 10^6$ 程度のもので実績として示されていたが、今回は当社の豊富な実績に基づいた綿密な設計と工作により、この値が 6×10^6 でも問題ないことを確かめ、直流機の設計技術史上に残る世界記録を樹立した。

連続定格 2,250 kW (過負荷定格 3,000 kW)
750 V, 1,800 rpm, 他励、補償巻線付単電機子、



高速大容量 2,250 kW 1,800 rpm 直流電動機

F種(Nomex)絶縁、開放管通風、両ペダスタル軸受、強制給油潤滑

[神戸製作所]

■ 宇宙通信機器用ヘリウム冷凍機試作完成

人工衛星を仲介するいわゆる宇宙通信システムでは、通信容量の多重化とともに、送受信装置に対するS/N比改善の要求がますます高度化しつつある。このような要求から地上局用の増幅装置についても低雑音化が急速に進められ、極低温領域で動作する多段パラメトリック増幅装置、あるいはメーザ増幅装置の実用化が促進されてきた。

当社においても、電子技術(鎌倉製作所電子機器研究部)と低温技術(中央研究所)を融合させて、バランスのとれた新しい極低雑音増幅装置の開発につとめていたが、昨年8月試作機が完成し実用の見とおしが得られたので、今回はこの試作装置のうち冷却系の概要と特長について紹介する。

この冷却系の主要部は、衛星通信地上局用アンテナに積載するパラメトリック増幅器用ロード形小形密閉式ヘリウム冷凍機で、4.2°K(液体ヘリウム温度)において、1W以上の冷却能力をもつ冷凍方式は、すでに二十数基の市販実績をもつ三菱UL-80形ヘリウム液化装置と同じく、信頼度が高く長時間の無保守運転に適する。このほか、アンテナの衛星追尾運動に適するようposition freeに設計され、またアンテナの局限された空間にも容易に設置できるようにきわめてコンパクトに製作されている。

図1に、この冷却系のフローダイヤグラムを示すが、この系は冷凍機ユニット・圧縮機ユニットおよび計測制御盤から構成される。冷凍機ユニットは、膨脹エンジン・熱交換器・J-T弁・クロスヘッドおよびパラメトリック増幅器冷却部などからなり、その低温部は断熱真空そう(槽)に納められている。図2に冷凍機ユニットの外観を示す。ヘリウムガスの液化および冷却は、圧縮ヘリウムガスのエンジンによる断熱膨脹・J-

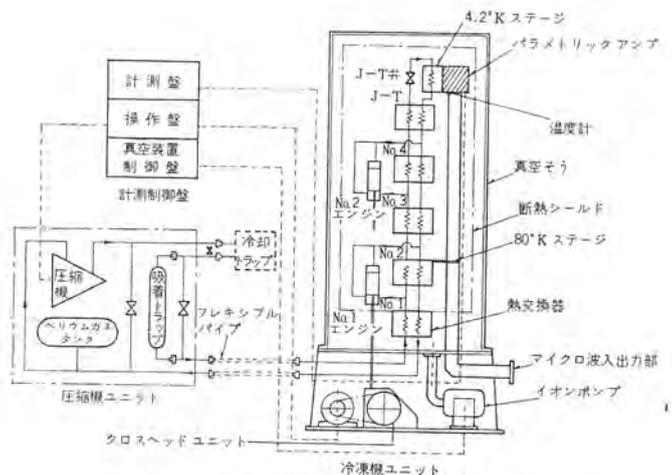


図1 液体ヘリウム冷却系フローダイヤグラム



図 2 極低雑音増幅装置用循環式液体ヘリウム冷却系冷却装置本体外観

T弁によるなど、エントロピー膨張によって行なわれる。すなわち、エンジンの低圧低温の排気ヘリウムガスを熱交換器の二次側に流して、一次側の高圧ガスを予冷し、J-T膨張によって4.2°Kのヘリウムミストを生成して、4.2°Kステージのパラメトリック増幅器本体を冷却する。この際、ヘリウムミストの液相分が熱負荷を吸収して蒸発し、低温ヘリウムガスとなって熱交換器の二次側に帰り常温になって機外に出る。したがって、被冷却体は正しく液体ヘリウム温度に保たれ、出力変動によっても温度レベルが変わることはない。機外に出たヘリウムガスは圧縮機により圧縮され、再び冷凍機に供給される。一方膨張エンジンで遂行されるヘリウムガスの仕事は、ピストン棒を介して本体下部のクロスヘッドモータに伝達吸収される。

試作機はすでに7カ月間にわたって種々の試験が行なわれ、この間に20%過速度連続運転による膨張エンジンの耐久試験、冷却部の振動試験および騒音温定などにより、あらゆる実用性を確認した。本機のおもな仕様はつぎのとおりである。

- 冷凍能力： 4.2°Kにおいて1W
- 起動時間： 増幅器装着時 12時間

- 無負荷時 5時間
- 動作圧力： 16 atm
- エンジン回転数： 30 rpm
- 冷却装置本体：外形寸法 350 mmφ×1,130 mmH
- 重量 110 kg

この極低雑音増幅装置は、今後ますます多様化する宇宙通信系になくてはならないシステムとして、各方面に活躍することを期待されている。

[中央研究所]

■ わが国最高速 360 m/min エレベータの実運転に成功

超高層ビル時代を迎え、稲沢製作所では昨年1月すでに業界にさきがけて、300 m/minの超高速エレベータの実運転に成功、標準系列を確立し、さらにそれ以上の速度のものの開発を行なってきたが、本年4月360 m/minエレベータの実運転を成功裏に完了した。360 m/minのエレベータと300 m/minのエレベータでは、速度の増加こそ20%であるが、かご内の振動騒音はほぼ倍増する傾向がある。今回の実運転では、それらを150 m/min程度のエレベータなみにおさえることができた。また最高速に達した後、減速停止するまでの距離は360 m/minでは、300 m/minの場合の32 mに対し45 mにもなり、走行階数に応じて最適の速度パターンを自動選択し、最短時間で乗りごちよく正確に着床させる必要があるが、この点についても、三菱独自の最適速度選択用計算回路の効果がいかんなく発揮され、快適な乗りごちを実現できた。今回の成功により当社超高速エレベータ技術はさらに一歩前進し、300 m/minをこえる超高速エレベータの需要にこたえる準備がすべてできあがった。

[稲沢製作所]

次号予定

三菱電機技報 Vol. 42, No. 7.

工作機用電機品特集

《特集論文》

- 工作機用交流電動機
- 工作機用直流機
- 電動油ポンプ
- 工作機用電磁クラッチ・ブレーキ
- 工作機用電動機・速度制御
- なちい制御装置
- 数値制御装置
- 工作機用電磁制御器具
- 工作機用半導体応用制御器具
- 消磁装置

《普通論文》

- 観測用 ロケット とう載電子機器
- パケージ形 シリコン 整流器変電所
- MELCOM-9100 システム(2)ーグループ 30 のハードウェア
- トランジスタ形自己照合符合式遠方監視制御装置
- 150 Mc/FM 50 W 全シリコン 固体化 ニュースカー 連絡用無線装置

《技術講座》

- 量子エレクトロニクス(2)ーメーザ、レーザとその応用ー

三菱電機技報編集委員会

- 委員長 小倉弘毅
 副委員長 片岡高示
 常任委員 明石精一
 " 上田重夫
 " 宇佐見重夫
 " 大野寛孝
 " 神崎遼人
 " 北川和人
 " 小堀富次雄
 " 鈴木正材
 " 祖父江晴秋
 " 山田栄一
 " 横山茂行
 委員 尾畑喜光
 " 黒田忠光
 " 南日達郎
 " 林昇寿
 " 松元雄蔵
 " 和田義勝
 (以上印音順)

昭和43年 6月22日印刷 昭和43年 6月25日発行
 「禁無漸転載」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3丁目12番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル内)
 (電) 03-212-6111 (内線 3818)

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
 (電) 03-291-0912 振替東京 20018

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目12番地
 (三菱電機ビル) (電) 03-212-6111

大阪営業所	大阪市北区梅田町8・西阪神ビル (電) 06-312-1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡営業所	福岡市天神2-12-1・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌営業所	札幌市北二条西4-1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台営業所	仙台市大町4-175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山営業所	富山市桜木町1-29・明治生命館 (電) 0764-31-8211
広島営業所	広島市中町7-32・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松営業所	高松市鶴屋町5-1 (電) 0878-51-0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2-12・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8-1 (電) 06-344-1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡商品営業所	福岡市天神2-12-1・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4-1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台商品営業所	仙台市大町4-175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山商品営業所	富山市桜木町1-29・明治生命館 (電) 0764-31-8211
広島商品営業所	広島市中町7-32・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町5-1 (電) 0878-51-0001
新潟営業所	新潟市東大通1-12・北陸ビル (電) 0252-45-2151
中央家電営業所	東京都千代田区丸の内2-12・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
城北家電営業所	東京都文京区大塚3-3-1・新茗溪ビル (電) 03-944-6311
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻3-10-3 三菱電機世田谷ビル (電) 03-411-8181
城西家電営業所	東京都杉並区清水1-10-1 (電) 03-392-6823
横浜家電営業所	横浜市中区富士見町3-4 (電) 045-251-2226
大宮家電営業所	大宮市寿能町1-37・大宮公園ビル (電) 0486-41-5324 43-4116・0156
千葉家電営業所	千葉市新宿町2-49・三菱電機千葉ビル (電) 0472-27-5486~8
静岡出張所	静岡市七間町9-10・池田ビル (電) 0542-53-9186
長崎出張所	長崎市大黒町3-1・長崎産業交通ビル (電) 0958-23-6101
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北122-1 三菱電機岡山ビル (電) 0862-24-0331
中央研究所	尼崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
商品研究所	鎌倉市大船2-14-40 (電) 0467-6-6111
神戸製作所	神戸市和田崎町3-10-1 (電) 078-67-5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
三田工場	三田市三輪町字父々部85 (電) 07956-4371
長崎製作所	長崎市丸尾町6-14 (電) 0958-23-6211
稲沢製作所	稲沢市井之口1100 (電) 0587-32-4121
和歌山製作所	和歌山市岡町91 (電) 0734-23-7231
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325 (電) 0467-6-1111
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1 (電) 0727-72-5131
熊本工場	熊本市竜田町弓削720 (電) 0963-62-7211~3
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18-1 (電) 052-721-2111
福岡製作所	福岡市今宿青木690 (電) 092-88-0431
福山市製作所	福山市緑町1-8 (電) 0849-21-3211
姫路製作所	姫路市千代田町840 (電) 0792-23-1251
相模製作所	相模原市小山字久保224 (電) 0427-72-5131
世田谷工場	東京都世田谷区池尻3-1-15 (電) 03-414-8111
静岡製作所	静岡市小鹿110 (電) 0542-85-1111
中津川製作所	中津川市駒場町1-3 (電) 05736-5-2121
大船製作所	鎌倉市大船5-1-1 (電) 0467-6-6111
郡山製作所	郡山市栄町2-25 (電) 02492-2-1220
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800 (電) 0276-22-4311
藤岡工場	藤岡市本郷字別町1173 (電) 02742-2-1185
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小学区所1 (電) 075-921-4111
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
札幌営業所	札幌市北二条東12-98 (電) 0122-22-3976
札幌工場	