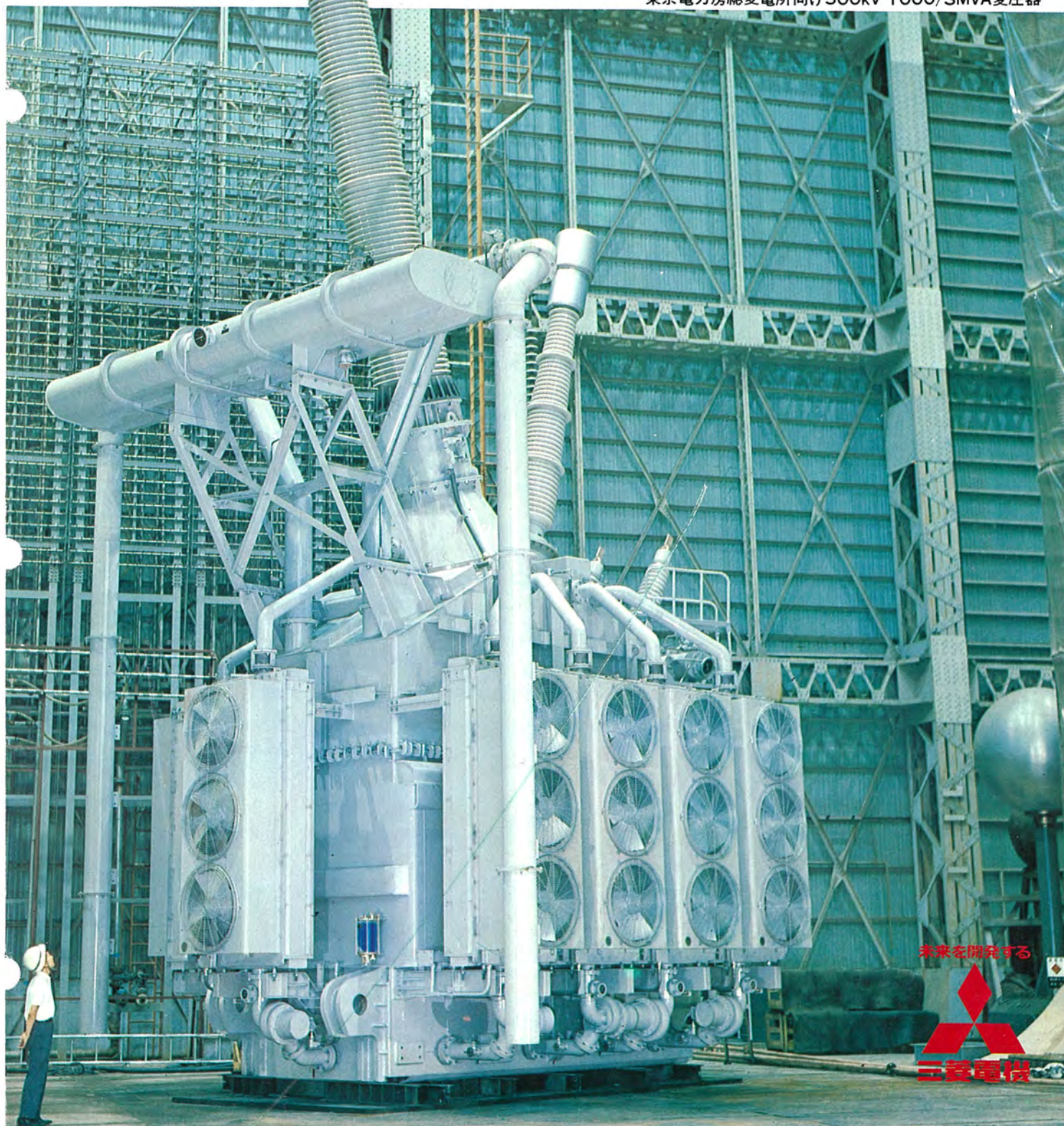


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.45 September 1971
500kV機器／住宅の空調特集

9

東京電力房総変電所向け500kV 1000/3MVA変圧器



未来を開発する





500 kV 機器特集／住宅の空調特集

目次

《500 kV 機器特集論文》

500 kV 機器特集号に寄せて	福田 節雄	1067
500 kV 機器について	村上 有	1068
500 kV 超々高圧外鉄形変圧器	田村良平・神谷友清・菅 寿郎・三浦良和・富永雅久	1071
500 kV 1,000 MVA 単巻変圧器	岩崎晴光・青木俊之・瀬藤憲治・山田雄治・玉木栄一	1078
500 kV SF ₆ ガスしゃ断器	富永正太郎・大野 玲・松田節之	1084
500 kV 変流器	神谷友清・鶴田敬二・三浦良和・佐藤辰夫	1089
500 kV 用ブッシング	深沢 肇・岸田光弘・水谷良市・伊奈照夫・岡野治行・斎藤 徹	1094
500 kV 大容量変電機器の開発	石田四男・藤本 純・神谷友清・富永正太郎・山内 敦・左近一郎	1105
500 kV 縮小形ガス絶縁開閉装置	山本 健・西川國治・潮 恒朗・森岡昭二	1114
500 kV 避雷器	鎌田隆好・永井信夫・荻野一夫・加来 勲	1120
500 kV 用保護継電装置	三上一郎・北浦孝一・古谷昭雄・天野 恒・鈴木健治・高田信治・小林 茂	1126
500 kV 変電所用監視制御装置	寺 田 真・仁科重雄・矢野恒雄	1141

《住宅の空調特集論文》

住宅と空調システム	小原英一・小林恵治・清水 誠	1151
電子計算機による冷暖房熱負荷計算	笠置 紘・大槻昭義	1157
プレハブ住宅の冷暖房環境	山崎起助・湯山 荃・大塚信夫	1163
ヒートポンプ式冷暖房	岩崎善彦・玉山 敬	1168
MICS 燃焼方式応用のガス暖房機器	今井 進・斎藤辰夫	1177
深夜電力利用の蓄熱暖房器と給湯器具	馬淵公作・桜井信捷	1183
暖房センタの提案	小原英一・小林恵治・石塚幹夫・生井講蔵	1185
生活と換気	入沢淳三・吉野昌孝	1193

《普通論文》

火力発電所のタービン自動昇速方式の現状	新谷 範夫・仁科秀夫・横須賀良夫	1201
ヒューズ形 IC リードオンリメモリー装置	磯崎 真・阪尾正義・小笠原光孝・山本勝 敬	1211

《新製品紹介》

リミストップ G シリーズ—ミシン針定位停止装置—・ヒートポンプチラーユニット AWH 形	1217
---	------

《ニュースフラッシュ》

大容量配電変電所用全静止形継電装置完成・東京電力(株)鹿島発電所4号機600 MW タービン発電機完成、2号機は試運転を開始・インド国鉄向け7 GHz 通信装置完成・輸出用同期電動機あいついで完成・新形母線保護リレー装置製品化・ビレット2段つり上げ用リフティングマグネット・盤面スペース1/4のオールトラ バランス保護リレー装置完成	1219
--	------

《特許と新案》

バダクト・電解加工装置・超電導合金・空調調和装置	1149&1199
--------------------------	-----------

《表紙》

表紙 1 東京電力(株)房総変電所向け 500 kV 1,000/3 MVA 変圧器

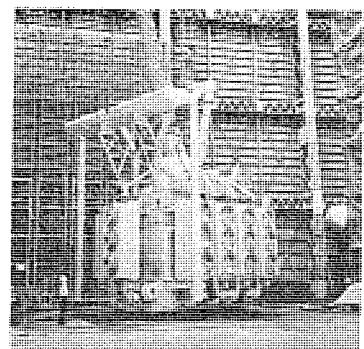
日本において運転される最初の 500 kV 変圧器として、当社伊丹製作所において製作中の、500 kV バンク容量 1,000 MVA 単相単巻変圧器の 9 台のうち 5 号器の工場組立状態である。

この変圧器は、実用器の製作に先立ち、まったく同一設計の先行器を製作、絶縁破壊試験を行なって 500 kV 送電に対する絶縁検証を行なったほか、耐震特性その他に対しても新しく詳細な検討を加え、500 kV 送電用変圧器に要求されるきわめて高い信頼度を満足するよう設計製作を行なった。(詳細は本文参照)

表紙 2 三菱 500 kV 用 SF₆ ガスしゃ断器

表紙 3 三菱住宅設備コア

表紙 4 三菱台所セット





SPECIAL EDITION : (1) 500 kV CLASS ELECTRIC APPARATUS
(2) RESIDENTIAL AIR CONDITIONING

CONTENTS**SPECIALLY COLLECTED PAPERS (1)**

On a Special Number of 500 kV Electric Apparatus.....	S. Fukuda.....	1067
500 kV Class Apparatus.....	T. Murakami.....	1068
Extra High Voltage 500 kV Transformers.....	R. Tamura • T. Kamiya • H. Kan • Y. Miura • M. Tominaga.....	1071
500 kV 1,000 MVA Autotransformers.....	H. Iwasaki • T. Aoki • K. Setoh • Y. Yamada • E. Tamaki.....	1078
500 kV SF ₆ Gas Circuit Breakers.....	S. Tominaga • A. Ôno • S. Matsuda.....	1084
500 kV Current Transformers.....	T. Kamiya • K. Tsuruta • Y. Miura • T. Sato.....	1089
500 kV Bushings.....	H. Fukazawa • M. Kishida • R. Mizutani • T. Ina • H. Okano • T. Saitou.....	1094
Development of 500 kV Heavy Current Substation Equipment.....	Y. Ishida • J. Fujimoto • T. Kamiya • S. Tominaga • A. Yamauchi • I. Sakon.....	1105
500 kV Compact Gas Insulated Substations.....	T. Yamamoto • K. Nishikawa • T. Ushio • S. Morioka.....	1114
500 kV Lightning Arresters.....	T. Kamada • N. Nagai • K. Ogino • I. Kaku.....	1120
Protective Relaying Scheme for 500 kV Systems.....	I. Mikami • K. Kitaura • A. Furuya • H. Amano • K. Suzuki • N. Takata • S. Kobayashi.....	1126
Control and Supervisory Equipment for 500 kV Class Substations.....	M. Terada • S. Nishina • T. Yano.....	1141

SPECIALLY COLLECTED PAPERS (2)

Residential Air-Conditioning System.....	E. O'hara • K. Kobayashi • M. Shimizu.....	1151
Heat Load Calculation of Air-Conditioning with Computers.....	H. Kasagi • A. Ootsuki.....	1157
Air Cooling and Heating Conditions in Prefabricated Houses.....	K. Yamazaki • H. Yuyama • N. Ôtsuka.....	1163
Heat Pump Type Air Conditioners.....	Y. Iwasaki • S. Tamayama.....	1168
Gas Heating Equipment applying MICS Devices.....	S. Imai • T. Saitou.....	1177
Storage Type Heating Devices and Water Heaters making use of Midnight Power.....	K. Mabuchi • N. Sakurai.....	1183
Proposition of Residential Heating System.....	E. O'hara • K. Kobayashi • M. Ishizuka • K. Namai.....	1185
Life and Ventilation.....	J. Irizawa • M. Yoshino.....	1193

TECHNICAL PAPERS

Turbine Automatic Start-up Systems of Thermal Power Plants.....	N. Shintani • H. Nishina • Y. Yokosuka.....	1201
Fusible Link Programmable IC Read Only Memory.....	S. Isozaki • M. Sakao • M. Ogasawara • K. Yamamoto.....	1211

NEW PRODUCTS	1217
---------------------------	------

NEWS FLASH	1219
-------------------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL	1149 & 1199
---------------------------------------	-------------

COVER :

500 kV 1,000/3 MVA Transformers for Boso Substation of the Tokyo Electric Power Co.

Illustrated here is a unit No. 5 of nine single phase autotransformers rated 500 kV with a bank capacity of 1,000 MVA, now under construction in Mitsubishi Itami Works. These transformers are the first to operate in Japan at this extra high voltage. Prior to the construction of regular units a pilot model of entirely the same design was built and was given insulation breakdown test so as to certify the insulation strength against 500 kV transmission voltage. In addition, thorough studies were newly made on earthquake-proof strength and other requisites. Based on the information thus made available, design and manufacture of 500 kV transformers were proceeded to meet extremely high reliability called for.

UDC 621.314/.316.027.8

500kV 機器について。

村上 有

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1068～1070

500kV送電の運転開始を来年にひかえ、機器製作者の立場より500kV機器の絶縁の問題、期待される信頼度の要求に対する考え方、大電源地域と需要地都市間の大容量送電に対する機器開発・製作の態度、わが国の立地条件による機器縮小化の方向、これらの機器の耐震特性における製作者の考え方について述べる。



UDC 621.314.224

500kV 変流器

神谷友清・鶴田敬二・三浦良和・佐藤辰夫

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1089～1093

500kVがいし形変流器で、とくに問題となるのは、高速度リレーから要求されるすぐれた過渡特性、および500kV送電系統の重要性のために要求されるすぐれた耐震性能である。この二つの問題を中心にして500kV変流器の構造・耐震特性も含め、最近の研究成果について記述してある。



UDC 621.314.042.53

500kV 超々高圧外鉄形変圧器

田村良平・神谷友清・菅 寿郎・三浦良和・富永雅久

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1071～1077

変圧器メーカー待望の500kV送電運用が47年には実現する。当社は大容量高電圧変圧器をユニークな外鉄形変圧器構造で多年製作し、今日までその優秀性を常に実証して業界に認められ、第一位のマーケットシェアを保持、記録品を納入してきた。500kV変圧器についてもいち早くその開発に着手し、新絶縁技術を確認し、海外に多数の超々高圧変圧器を輸出して着実に技術の基礎を固めてきた。500kV変圧器設計製作に問題となる課題を論じ、三菱外鉄形変圧器が特に超々高圧変圧器、大容量変圧器に適合するゆえんを説明し、最後にさらに将来の1,000kVあるいは2,000MVA変圧器の製作にそなえて、変圧器新工場の建設が進められて



いることを付言している。

UDC 621.315.62.027.8

500kV 用 ブッシング

深沢 肇・岸田光弘・水谷良市・伊奈照夫・岡野治行・斉藤 徹

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1094～1104

日本における500kV送電に使用されるブッシングは、過酷な塩害を考慮して、長大な8mがい管を使用し、変圧器用・壁ぬき用として使用されるが、これらの構造について紹介し、電気的特性・耐震特性などの実用性に立脚した信頼性を確認したデータを紹介する。



UDC 621.314.223

500kV 1,000MVA 単巻変圧器

岩崎晴光・青木俊之・瀬藤憲治・山田雄治・玉置栄一

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1078～1083

わが国においても、いよいよ500kV送電が昭和47年に運用のはこびとなった。当社は、わが国初の275kV超高压変圧器を昭和27年に納入以来、多数の超高压変圧器を製作し、また種々の超々高圧変圧器を海外に輸出してきた。これら変圧器のすぐれた性能・品質・運転実績により、東京電力より500kV変圧器1,000MVA×3バンク分を受注し、現在順次製作・試験中である。この変圧器製作に先だち、納入品とまったく同一設計の試作器で、種々の一般試験に加えて長時間過電圧試験・コロナ試験・絶縁破壊試験などの詳細な試験を行なって、製品の信頼性を確認した。本文



ではこの変圧器の概要について報告する。

UDC 621.314/.316.027.8

500kV 大容量変電機器の開発

石田四男・藤本 純・神谷友清・富永正太郎・山内 敦・左近一郎

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1105～1113

わが国の高度の経済成長と社会情勢の進展にともない、今後の送電技術の問題点である電源の大容量・遠隔地化と都市の過密化に対処するため、大容量送電技術の開発がとり上げられ、その一環として送電線に接続される変電機器の通電容量を画期的に増大する新技術の開発を東京電力株式会社を中心となって強力に推進することになった。

このうち、変電機器については、しゃ断器・断路器・変流器・壁ぬきブッシングを対象にとりあげ、8,000Aおよび12,000Aを目標に東京電力株式会社と電機メーカー各社との共同研究の形で進められ、そのうち三菱電機株式会社との間で進められた開発は昭和46年3月目標通りきわめて好成績で完了したので、その概要を紹介する。



UDC 621.316.57.064.242

500kV SF₆ ガスしゃ断器

富永正太郎・大野 玲・松田節之

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1084～1088

500kV用として、500-SFH-50形がいし形ガスしゃ断器、および500-SFHT-50形接地タンク形ガスしゃ断器を開発した。これらのしゃ断器は500kVしゃ断器の標準仕様に準じて設計され、各種の試験を実施した信頼性の高い製品で、いつでも供給できるものである。この論文に構造動作を紹介するとともに主な試験結果を紹介する。



UDC 621.316.5.048:621.311.4

500kV 縮小形ガス絶縁開閉装置

山本 健・西川國治・潮 恒朗・森岡昭二

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1114～1119

三菱電機は日本におけるガスしゃ断器の唯一の先発メーカーとして確固たる地位を築いてきたが、一方ではこの技術の応用拡張であるガス絶縁変電所 (Gas Insulated Substation, GIS) についても77kVより関西電力(株)と共同研究を開始し、77kV・154kVにおいてはわが国最初のGISを完成し、すでに実用化の時代にはいっている。

さらに、2～3年後に開始される500kV送電にとって、500kV GISの適用は必ず(須)のことと考えられ、再び関西電力との共同研究で世界で初めての500kV GIS単相試験装置を完成し、広範な研究を行なって成果をみたので、そのおもなものを発表する。



UDC 621.316.933

500kV 避雷器

鎌田隆好・永井信夫・荻野一夫・加来 勲

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1120～1125

500kV 発電所の絶縁設計は、避雷器を根幹として行なわれるが、500kV 発電所の場合にはBILの低減率が大きいので、避雷器に課せられる責務は非常に過酷なものとなる。特に、わが国の500kV 避雷器には、放電特性の上・下限値の設定および定格電圧での開閉サージ動作責務試験等、世界的にみても最高級の特性が要求されている。当社ではこれらの過酷な仕様を満足する、SF₆ガス消弧式500kV 避雷器を完成した。

本論文はこの避雷器の構造、特性および実用性能面に関する検討結果などについて述べている。



UDC 621.316.925

500kV 用保護継電装置

三上一郎・北浦孝一・古谷昭雄・天野 恒・鈴木健治・高田信治・小林茂

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1126～1140

500kV 系統の保護継電装置は、従来装置に比べて信頼度・性能面でいっそうの向上を要望されている。

本文は、500kV 系統保護の特異性を明らかにし、それを克服した新技術の開発状況について、1 サイクル動作のマイクロキャリヤリレー、完全自動点検を施した母線保護装置、1,000MVA変圧器の保護装置等の研究成果を記述している。

なお、これら保護装置の実系統における動作を検証するため、最近、完成された500kV 模擬送電線の概



要についても紹介している。

UDC 621.311.4-5

500kV 変電所用監視制御装置

寺田 真・仁科重雄・矢野恒雄

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1141～1147

500kV 級変電所に適用される監視・制御装置について、展望し、現状と将来予想される方向性を述べたものである。

特に500kV 級変電所においては、規模の大形化、内容の高度化・複雑化、動作の高信頼度化、操作の簡素化が特に必要となるので、これらの点を考慮して、これら装置に課すべき条件を整理・再確認し、適用の姿を予想したものである。特に計算機による変電所制御について、その概要を紹介する。



UDC 697.912

住宅と空調システム

小原英一・小林恵治・清水 誠

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1151～1156

最近の著しい生活レベルの向上にともない、住宅を空調和により衛生的かつ快適な環境にしようとする気運、およびその必要性に対する一般の認識が高まってきている。しかし、実際に住宅に空調和システムを取入れる場合に、どのようなことを考慮しなければならないかについては一般の知識はまだ非常に浅い。

そこで、これらの認識・知識をさらに高めさせるために、本論文では住宅における空調和の必要性を唱えるとともに、各空調和システムとその特性を記し、地域気象条件・建物の構造様式などを考慮して、住宅それぞれに適合した特性をもつ空調和シ



ステムを選択すべきであることを述べる。

UDC 681.3.06: 697.911/914

電子計算機による冷暖房熱負荷計算

笠置 紘・大槻昭義

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1157～1162

冷暖房装置がビル・住宅を問わず必要条件となるにつれて、空調和設備設計の基礎である冷暖房熱負荷計算を機械化し、設計の正確さとスピード化、人手不足に対処しようという動きが現われ、各方面での計算例などが紹介されてきている。この冷暖房熱負荷計算プログラムは、各種住宅およびビルの熱負荷を詳細に計算して開発すべき冷暖房機の機種系列の検討、ランニングコスト計算および空調シミュレーションの足がかりにしようとしているが、もちろん上述した設計業務にも使用できる。計算は指定した月・時刻・気象条件ごとに定常熱負荷を算出し、ブロックの



使用も可能である。計算時間はIBM 360で24時間一条件で住宅約10秒、ビルで20～30秒である。

UDC 69.002.2: 697.11: 697.91

プレハブ住宅の冷暖房環境

山崎起助・湯山 莖・大塚信夫

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1163～1167

最近、木造プレハブ住宅の普及率はめざましく増大しており、従来の木造住宅に比べて気密性・断熱性が向上している。また住宅によせる関心も「単なる住いの場」から「より快適な住いの場」へと変化しており、快適な居住環境を実現するために空調機器の役割はますます重要になってきた。そこで適正な空調機器を選定するために、プレハブ住宅の暖房および冷房環境の実測を行ない、つぎのような特性を得た。熱負荷は従来考えられていた値よりかなり小さく、暖房時約104kcal/m²h、冷房時約70kcal/m²h、換気回数は家屋全体では非常に小さく0.6回、熱容量は単位



壁面積当たり約2.3kcal/m²℃などである。

UDC 697.71+697.97

ヒートポンプ式冷暖房

岩崎善彦・玉山 学

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1168～1176

最近都心部において公害を出さない冷暖房装置として空気を熱源とするヒートポンプが多く用いられるようになってきているが、操作および保守の容易なことから、中小規模の住宅にも普及しはじめてきている。本文では空気を熱源とするヒートポンプとして新しく冷媒回路にHi/Re/Liシステムを採用した空対水ヒートポンプCRAH形、ES形、空対空ヒートポンプとしてGCH・GUH形を開発したのでその仕様、構造、性能等を紹介し需要家各位のご参考に供した。



UDC 683.945/97: 697.245: 662.6/9

MICS燃焼方式応用のガス暖房機器

今井 進・斉藤辰夫

三菱電機技報 Vol. 45・No. 9・P1177～1182

MICS燃焼方式を応用し、大多数をしめる平均的な日本の住宅に適合する暖房機器として、クリーンヒータ、クリーンファーンを開発した。クリーンヒータは昨年のバインドタイプMICSを応用したものに加え、本年度はリニヤタイプMICSを応用した機種も含めシリーズを完成させ、また給湯機能と暖房機能を一つの機器にコンパクトにまとめたクリーンファーンについて概略を記し、ガス暖房機器の登場の歴史を見、熱交換暖房機の有意性を室内空気汚染の観点等から記述した。



UDC 621.312" 344.22" : 697.27 : 662.995 : 644.62

深夜電力利用の蓄熱暖房器と給湯器具

馬淵公作・桜井信捷

三菱電機技報Vol.45・No.9・P1183～1184

昭和39年、深夜電力利用制度（その利用料金は通常電力の約半）が制定された。以来これを利用する電気製品としては、空調（暖房）器具としての蓄熱暖房器、給湯器具としての温水器があり年ごとに一般に普及認識されつゝある。本文では、これら製品についての概略を紹介する。



UDC 681.142 04 : 164 : 621.382

ヒューズ形ICリードオンリメモリー装置

磯崎 真・阪尾正義・小笠原光孝・山本勝敬

三菱電機技報Vol.45・No.9・P1211～1215

ヒューズつきトランジスタマトリクスによる内容書込可能なリードオンリメモリーIC素子のための自動内容書込装置を開発し、良好な結果を得た。

さらにこのメモリー素子の応用例として、中形電子計算機のマイクロプログラム制御用の高速リードオンリメモリー装置（容量37,632ビット）を開発し、アクセスタイム90nsの動作速度を得た。

なおこのメモリー装置は、実用の電子計算機に組込まれて長期連続か動試験をおこなっているが、試験開始後 50×10^6 ビット・時間を経過した現状まで故障・トラブルは発生していない。



UDC 697.38

暖房センタの提案

小原英一・小林恵治・石塚幹夫・生井講蔵

三菱電機技報Vol.45・No.9・P1185～1192

住宅空調の必要性は漸次高まり、高級住宅では必ずの要件となっている。とくに暖房は気候条件から要求され、生活環境の快適化を認めながらも設置費が高価なために普及が遅れている。この報告では、運転費は生活パターンに合致したもので解決するとしても設置費を安価にすることが必要であり、なかでも工事費を低減するのが第一要件であるとし、住宅建築と一体となった考え方がいるとしている。そして建築側の大きな協力により、住宅の中央部にコアを設けて暖房センタを入れ、全体の配管を短かくし、ダクトレスあるいは短いダクトで工事費を下げ、従来の



総工事費の70～80%ですませよう

UDC 644.5

生活と換気

入沢淳三・吉野昌孝

三菱電機技報Vol.45・No.9・P1193～1198

換気扇は人間の居住区へ新鮮な空気を供給する機器である。

この重要な機器も数年前までは、一般家庭に使われることなく工場や、倉庫に主として使われていた。しかし住宅構造・食生活等の変遷で、換気扇もちゅう（厨）房から居室・寝室へと急速に使われてきている。さらに、単なる空気の移動のみならず、吸気を主体とした簡易冷房ウインドファン、あるいは吸排気時に温度・湿度の交換を行なうロスナイにまで発展している。

この論文は、換気扇系列の変化と現在使われている換気扇の特長を説明したものである。



UDC 621.165—58 : 621.311.22

火力発電所のタービン自動昇速方式の現状

新谷範夫・仁科秀夫・横須賀良夫

三菱電機技報Vol.45・No.9・P1201～1210

最近電力各社において建設されている火力プラントは、ユニット容量の増大とともに、運転手順の合理化をねらった自動化への取組みが著しく、中でもタービンの自動昇速が盛んに研究・開発されている。本文では、昇速装置として、従来より使用されている“DACAガバナ”および最近開発された“EHタービンガバナ”を紹介するとともに、それら昇速装置を用いた昇速方式の例として、ワイヤードロジックとDACAガバナ、計算器とDACAガバナ、計算機とEHガバナの三つの組み合わせについて、実際のプラントを例にあげて解説した。



500 kV 機器特集号に寄せて

成蹊大学工学部 (工博)

福田 節 雄



わが国の電力界にとって、1970 年代はまさに 500 kV の時代である。来年には、その第 1 号として東京電力(株)の房総線が 500 kV の昇圧運転にはいる。これを追って、500 kV 設計の線路の建設や、500 kV への昇圧あるいは運転が続々として行なわれ、またそれに伴って 500 kV 変電所の建設や運用も相ついで始まるであろう。

わが国では、1950 年代の大水力開発時代に 275 kV 送変電が始まり、次の 1960 年代の大需要地辺縁に立地する大火力時代に移り、275 kV 施設がさらに強化され、これとともに大需要地を包む 275 kV 外輸も生立って、1970 年代の初めには 275 kV の基幹系統の現在にみる骨格ができていった。しかし、電力需要したがってまた電源容量の幾何級数的な激増の見通しを前にして、ようやく 275 kV をもってさらに今後に応じてはいけなとの判断の下に 500 kV 送変電の実施に至った。そして、1970 年 1 月には 275 kV の次段の標準電圧として JEC は公称電圧 500 kV、最高電圧 525/550 kV なる値を制定公布している。

このような推移のなかにあって、1950 年代の後半から 275 kV の次段の電圧の慎重な検討が関係専門家の間で始められたのであるが、それから数えると基礎研究から実証研究にわたり、約 15 年間の 500 kV 送変電実施のための準備期間があった。素直に言って、500 kV 実施に当たって少なくともその当初に、その主機器が国産品によってまかなわれるかどうか疑問視する向きも少なくなかったようである。しかし、わが国の重電機製作者がこの間によく電気事業者と協力され大きい技術力を発揮された結果、現在は、国産品をもってわが国の 500 kV 送変電が緒につくことを疑う向きはないのである。むしろ、わが国よりも数年先行して 500 kV 送変電を実施したアメリカに、わが国の 500 kV 機器が先行して輸出されている状況である。これはわが国電力技術にとって慶賀に堪えないところである。

筆者は冒頭に 1970 年代は 500 kV の時代であるとした。しかし、1970 年代の 10 年間においてもわが国の電力技術は引続いての大きな飛躍を要請される。全国的にみれば、わが国の需要の最大電力は、電気事業用に限っても、昭和 45 年度すなわち 1970 年度においては約 4,880 万 kW であるが、昭和 55 年度すなわち 1980 年度には約 1 兆 3,800 万 kW になると見通されている。すなわち、この間に最大電力は約 2.8 倍に増大する。これだけの需要電力に見合うだけのものの主幹送変電の量もこの間にやはりこのくらいの倍率で増加するであろう。もしこれだけのものを同じ 500 kV の電圧をも

って処理するとすれば、マクロにみて、常時の電流もこれだけの倍率をもって増強しなければならないであろう。現在建設されつつある 500 kV 架空線の回線当たりの常規電流は、その最大なものでは、おおよそ 3,000 A に及んでいる。さすれば、いささか乱暴のきらいはあるが、この常規電流を上と同じ倍率で格上げしなければならないとすれば、3,000 A の 2.8 倍となり 8,500 A となる。これからみても 500 kV 用の主機器には、変圧器も しゃ断器もその他すべての直列機器を含めて、8,000 A から 12,000 A までの連続容量が次々と要求されるであろう。

電力用機器は、とくに、単に設計性能にとどまらず実用性能のうえにおいて要求される性能を果しうるものでなければならない。500 kV 機器は、今までにはん用化し同時に実用性能上も確信がもたれてきた。275 kV 機器に対しほぼその 2 倍の電圧に対する絶縁性能ばかりでなく、同時にその 3 倍に近い電流に対する通電性能を単に設計上ばかりでなく、永年の実用上にこれを果してゆかなければならない。このことは、おそらく、現実に製作の責に当たっておられる技術者には、本来これは生やさしいことではないということが肌をもって感ぜられるところであろうと筆者は推察する。しかもわが国の土地狭少、地震多発といった他に類の少ない過酷な国土条件に見合うよう、機器のミニ化と耐震化をいっそうに強めながらこれらを果してゆかねばならない。この意味において、1970 年代は 500 kV 機器の製作者にとって、新たな挑戦の気持ちをかき立てられる時期といわざるを得ない。

しかしながら、1970 年代もいずれは 1980 年代に移るであろう。1980 年代における電力の生産また輸送の形態を推測すると、おそらくは 500 kV のさらにまた次段の、たとえば 1,100 kV といったいわゆる UHV が交直いずれにしろ要求されてくるものと思われる。われわれは 500 kV の送変電の実施に約 15 年間の準備を要した。社会のすべてが高速化することを考えても、次段の UHV 実施には少なくとも 10 年の準備期間が必要であろう。とすれば 1970 年代は、同時に、来たるべき交直 UHV の実施の準備時代といわざるを得ない。筆者の気持ちとしては、冒頭にのしした文句は次のようにこれを書き換えなければならない、すなわち、1970 年代は 500 kV の時代でありそしてまた次段 UHV の準備時代である。機器製作者もまた絶えず追われている次第である。

500 kV 機器について

村上 有*

500 kV Class Apparatus

Itami Works Tamotsu MURAKAMI

As the power demand grows expeditiously, the capacity of power transmission systems in Japan becomes hardly sufficient to supply power at 275 kV. It is reported 500 kV transmission will be realized next year. All electrical manufacturers are now busy providing for coming technical innovation to extra high voltage apparatus. The principal point to take into account is insulation, which must be studied from a new viewpoint.

The article describes the above problems, reliability of extrahigh voltage products, development of apparatus used for the high capacity transmission system connecting power sources areas and cities, trend of constructing apparatus compact coping with the conditions of location and the manufacturer's concept on earthquake-proof structure.

1. ま え が き

わが国の電力需要の伸びは、年間8～10%であって、従来の275 kV送電システムを基幹とした電力輸送網の容量不足から、次期送電電圧として約2倍の500 kVの送電電圧が採用されるに至った。

500 kV機器絶縁は、単に従来の技術の延長では解決されない絶縁協調と絶縁試験に多くの問題があり、新しい観点に立って、合理的な絶縁試験が行なわれなければならない。

われわれは機器製作者として、500 kV送電に関する新しい技術的諸問題を解決するとともに、わが国の特別な環境条件を入れた、使用者側の仕様を十分に考慮した機器の設計・製作を行なわなければならない。このような問題の諸点を列挙し、機器製作に対する製作者としての考え方を述べる。

2. 500 kV 絶縁の問題

われわれが従来の275 kV機器の製作に当たって以来、次期電圧として当初400 kV、ついで500 kVと機器開発に精進してきたが、まず当面の対象は高電圧化に対する絶縁の問題であった。275 kV機器では基準衝撃絶縁強度(BIL)と、これに対応するAC試験電圧は経験的根拠より定められていて、特に問題はなかった。しかし、約2倍の500 kV機器に関しては、BILの低減、開閉サージ耐電圧の必要性、信頼性より見た1分間AC耐電圧試験と長時間耐電圧試験との関連、内部部分放電と劣化、耐塩害特性避雷器の保護レベルと商用周波過電圧倍数の関連などの多くの問題が出された。現在では、次期の標準電圧として公称500 kV、最高電圧として525/550 kVが採用され⁽¹⁾、BILを変圧器で1,550 kV、シャ断器・変流器・断路器で1,800 kVとして製作されつつある⁽²⁾。500 kV系統では開閉サージの絶縁に及ぼす影響が275 kV系統以下より大きいので、開閉インパルス耐電圧を定める必要があり、BSIL (Basic Switching impulse insulation level) 1,200 kV⁽³⁾が採用されている。

機器の製作に当たっては絶縁設計上の電圧としてつぎの4種類について、使用条件を考慮しなければならない。

- (a) 通常の動作状態における商用周波数電圧
- (b) 商用周波数またはこれに近い持続性過電圧
- (c) 開閉過電圧

(d) 雷過電圧

(1) (a)の常規使用電圧における絶縁上で特に問題になるのは、変圧器・変流器・ブッシングおよびガス絶縁開閉装置(GIS)の固体絶縁物などであろう。500 kV機器については、従来の1分間AC耐電圧で保証するのでは信頼性に欠けるばあいも生じるので、長時間 $v-t$ 特性を考慮して、常規大地電圧の1.5倍程度の電圧で30分ないし2時間の長時間耐電圧試験によって検証する方法も採用されなければならない。また開発品に対して月単位の長時間課電を行なって劣化のないことを検証する必要がある。われわれは製品についてこれらの試験を行ない、十分な結果を得て実用上に問題のないことを確認している。

(2) 商用周波数またはこれに近い持続性過電圧として、商用周波電圧上昇がある。機器の絶縁試験電圧、避雷器の定格電圧の選定には線路シャ断時の電圧上昇、一線地絡時の健全相電圧上昇を考えなければならない。500 kV系統のモデルで試算された結果⁽²⁾によると、母線において1.33倍、送電線で1.37倍が現実の事故条件の最大値とされている。さらに過酷な条件としても1.5倍程度⁽³⁾であることから、常規大地電圧の1.5倍の電圧上昇を考えればよいことになる。500 kV避雷器の定格電圧420 kV($=525 \text{ kV}/\sqrt{3} \times 1.38$)は、妥当な値として採用されるが⁽²⁾、わが国のような耐塩害仕様のばあいには、特性として諸外国より特に優秀な避雷器を要求される。すなわち、雷インパルスおよび開閉インパルス保護レベルの選定に関連して、避雷器に対する仕様は過酷なものになるが、われわれはこの期待に答える避雷器の製作に成功している。運転電圧を500 kV～512.5 kV程度とすれば、系統最高許容電圧 U_m は525 kVであるが、運転目標電圧が525 kVとなるばあいには、 U_m は550 kVとなり、定格電圧420 kV避雷器はさらに過酷な条件を考えなければならない。

変圧器の商用周波耐電圧試験として持続性過電圧によって内部部分放電が発生し、常規大地電圧に復帰後も部分放電が消滅しない履歴現象もありうるので、前述の商用周波電圧上昇のばあいを考えて常規大地電圧の1.5倍、455 kV($=525 \text{ kV}/\sqrt{3} \times 1.5$)の2時間の長時間耐圧は、“有害な内部部分放電なし”で保証されなければならないと考えている。われわれは、変圧器・ブッシング変流器・GISなどについて、以上のような考え方の基盤に立ち、新製品の開発時には、より高い電圧とより長時間電圧を印加することによって、裕度の確

表 2.1 最高電圧が300 kV およびそれ以上の
機器に対する標準絶縁レベル
Basic insulation level for EHV system.

Highest voltage for equipment U_m (kV rms)	Base for p. u. values $U_m \sqrt{2} / \sqrt{3}$	Rated switching impulse withstand voltage (kV peak) (p. u.)	Rated lightning impulse withstand voltage (kV peak)	Ratio between lightning and switching impulse withstand voltage
300	24	750 (2.48)	850~950	1.13~1.27
362	296	850 (3.45) (2.86)	950~1,050	1.12~1.24
420	343	950 (3.20) (2.76)	1,050~1,175	1.12~1.24
525	429	1,050 (3.06) (2.45)	1,175~1,300~1,425	1.12~1.24~1.36
		1,175 (2.74)	1,300~1,425~1,550	1.11~1.21~1.32
765	625	1,300 (2.08)	1,425~1,550~1,800	1.10~1.19~1.38
		1,425 (2.28)	1,550~1,800~2,100	1.09~1.26~1.47
		1,550 (2.48)	1,800~1,950~2,400	1.16~1.26~1.55

認を行なっていて、別論文で述べるように十分に満足すべき結果をえている。

(3) 500 kV 送電には経済的な根拠によって、機器の絶縁レベルの低減が行なわれる。開閉および雷過電圧についての絶縁協調の考え方は、系統に発生する過電圧や保護装置の特性を考慮して、統計的な機器絶縁破壊や供給支障の発生確率と経済的に受け入れられるレベルに制限する条件のもとで、機器の絶縁レベルを選定しなければならない。開閉サージを抑制するためのシャ断器の再点弧防止と、抵抗投入方式を採用して開閉サージを2倍以下にする必要がある。断路器操作の開閉サージの発生は、避雷器の動作責務試験の条件を考慮しなければならない。IECの現在の標準(IEC Pub 71, 1967)の機器最高電圧525 kVに対して、インパルス耐圧(kV) 1,425・1,550・1,675・1,800、商用周波耐電圧(kV) 630・680・740・790が相応している。現在、この1対1の試験電圧の対応をやめる考えのもとで、IEC, TC 28による改訂案では、表2.1のように最高回路電圧525 kVに対して、開閉インパルス耐電圧(BSIL)を2クラスにわけ、おのおのについて雷インパルスの耐電圧(BIL)を三つ与えている。

しかし、系統の設計や雷および開閉過電圧の処理選択のために、表以外の組み合わせのほうが技術的・経済的である場合には、BILに1,675・1,800・1,950…の数値も選んでよいとされている。わが国の特殊環境条件として耐塩害を考えれば、避雷器の保護特性より、変圧器のBIL 1,550 kV、シャ断器・変流器・断路器の1,800 kVは妥当な値であって、開閉インパルスに対するBSIL 1,200 kVはIECの1,175 kVにほぼ等しい。

変圧器の開閉インパルスに対する内部主絶縁強度が、実物モデルでもインパルスの0.83以上であることが判明している⁽⁴⁾ので、ASA規格の1,290 kV(=1,550 kV×0.83)の試験電圧も妥当であると考えられる。変圧器に対する開閉インパルス試験も、系統に発生する開閉サージに耐えうることを検証する試験として、変圧器特有な波形の変(わい)歪はあるが、他の機器の開閉インパルス耐圧と同様に十分考慮して設計・製作されている。

3. 高信頼度化への要求

500 kV 送電系統は、わが国電力系統の基幹をなすものであり、従来の系統と比較して飛躍的な大電力輸送をになうものになる。こ

のため、万一事故除去に失敗すれば、その系統全体に及ぼす影響はきわめて大きく、大停電に結びつく可能性が高い。したがって、500 kV 送電系統においては系統構成・変電所母線構成・保護継電方式・安定度向上対策機器の採用などの各方面において、系統安定度の向上・事故波及防止対策がとられており、当社としても電力会社各位との密接な協力のもとに、別論文に述べるように保護継電装置の開発、あるいは特殊連系装置の開発⁽⁵⁾などを鋭意進めてきた。

さらに、上述のようないわゆるソフトウェア面における信頼度向上対策に加え、ハードウェアとしての各機器に対して、系統に対する要求に相応したきわめて高い信頼度を与えることが、われわれ機器製作者に課せられたもっとも重大な使命となる。各機器に要求されるこのような高い信頼性に対して、高電圧化あるいはそれに伴う大容量化は、構成部品数あるいは寸法を増大させることになる。たと

$$R = \exp \left(\sum_{i=1}^n \exp R_i \right)$$

で示されるので、部品数 n の増大に伴って、高い総合信頼度を得るためには、各部品信頼度を極端に高めなければならないことがわかる。

このため、500 kV 系統用各機器の開発・製品化に当たっては当社中央研究所・製作所技術部門の総力を結集して、基礎研究・製品開発を行なうとともに、製品製作に当たっては、作業環境の改善・整備に留意するとともに、工場作業管理・品質管理いずれの面にも抜本的検討を加え、万漏なきを期している。

4. 500 kV 大容量機器

わが国の電力需要は、10年間に2倍以上の増加率をもって急増をつづけるものと予想されており、このようなおうせいな電力需要を経済的に、かつ限られた立地条件のもとで満たすために、火力・原子力発電の大容量化が急速にすすめられると予想されている。これに伴って、500 kV 変圧器についても1,000~2,000 MVA級の大容量器が採用されると考えられ、現有設備の狭あい(隘)化が予想されるので、現在、兵庫県赤穂市に1,000 kV、2,000 MVA級変圧器の生産を予定した新大形変圧器工場の建設をすすめ、万全の態勢をとっている。

また、これらの大容量電源基地より大都市周辺の大需要地への電力輸送対策も重大な問題であり、送電ルート数の増加をもって対処することは、わが国の国土条件・地域開発の状況から不可能に近く、1回線あたりの送電容量をあげる大電流送電が早晚必要となると考えられている。

この情勢にかんがみ、当社においても東京電力との共同研究のもとに、別論文に述べるように、8,000 A・12,000 A級のシャ断器・変流器・壁ぬきブッシングなどの開発をすでに完了しており、要求に応じていつでも製品化できる態勢にある。

5. 縮小化—ガス絶縁開閉装置

送電電圧の上昇につれて、ますます発電所の規模が拡大しているが、わが国のような土地の狭いところでは、必然的に機器は縮小化の方向に進まなくてはならなかった。

たまたま、シャ断器の消弧媒体として使用するSF₆ガスの耐電圧特性が、きわめてすぐれていることに着目され、これを開閉装置の画期的な縮小化に利用することに大きい努力が払われてきたが、ついに70 kVから500 kVに至るまでの各電圧階級において、縮小形

ガス絶縁開閉装置が実用化されるに至った。

500 kV 送電用として要求される機器の高電圧大容量化、発電所の設備の立地条件が海岸に近いことによる塩害対策、わが国の土地狭小による送変電設備の用地難などの諸条件に適応する 500 kV 縮小形ガス絶縁開閉装置が必要となり、別論文に述べるように、関西電力と共同研究のもとに開発に成功している。

従来の大気中の長大な絶縁距離を、SF₆ガス中の大幅に縮小された絶縁距離に置きかえることにより、従来の開閉装置の占有体積を飛躍的に縮小することができるが、縮小化率としては、

$$\text{空間縮小率} = 10 / \text{運転電圧 kV}$$

500 kV では 1/50 程度になり、電圧が高くなるほど縮小率は大きくなる。しかし、この値は開閉装置部分のみのことで、変電所全体としては、変圧器や線路の結合もあって縮小効果はかなりうすめられるが、その効果は非常に大きい。このガス絶縁開閉装置は、機器自体のコストは従来方式に比べて高価になるが、用地費や建物費用の上昇のはげしい現状から、総合的にみれば、経済ベースにもとづいた大幅な縮小化を実現させる手段としておおいに期待される。

6. 耐震特性

最近のロサンゼルス地震によって、シルマー直交変換所等の電気機器に重大な被害を受けたことが報じられているが、わが国も世界有数の地震国であり、過去において地震によって電気機器が倒壊などの被害を受けた例が見うけられる。

500 kV 級電気所用機器が地震により被害を受けたい、それによる供給支障は広域かつ長期にわたるものと予想され、そのうえ、電圧上昇にともなうがいし長の長大化は、がいし形しゃ断器・避雷器・ブッシング・PT・CT などの共振周波数の低下による地震卓越周波数帯との一致を招くことになり、機器設計上従来の 0.5 G 水平力を考えた静的設計ではなく、実際の地震波を想定した動的解析による耐震検討が必要になる。当社では早くから各種機器の地震波に対する挙動について数値解析・モデル実験・実物加振試験による解析を行ない、その設計方針を確立しており、別論文に述べるように、耐震性能の問題となるすべての機器について、任意の地震波形が得られる加震台によって実体加震を行ない、十分な耐震性能を有していることを確認している。

さらに、今後は耐震上重要な基礎の運動に対する検討、また機器に対するもっとも適切な耐震設計基準の確立が強く望まれるところである。

参考文献

- (1) JEC-158 (昭 45)
- (2) 福田：電学誌，90，No. 12，p. 2,377 (昭 45)
- (3) 海津，尾崎：OHM，58，No. 1，p. 56
- (4) 電機学会技術報告 I 部，89 号，p. 27
- (5) 平山，馬場ほか：特殊連系装置の方式開発，三菱電機技報，45，No. 6，p. 805 (昭 46)

500 kV 超々高压外鉄形 変圧器

田村 良平*・神谷 友清*・菅 寿郎*
三浦 良和*・富永 雅久*

Extra High Voltage (500 kV) Transformers

Itami Works Ryôhei TAMURA・Tomokiyo KAMIYA・Hisao KAN
Yoshikazu MIURA・Masahisa TOMINAGA

A long cherished desire for 500 kV power transmission of transformer builders is now coming true in 1972. With its many year's experience of manufacturing unique shell form transformers of large capacities and high voltages, Mitsubishi has set up a firm foothold of being a number one supplier in this line and has delivered not a few record products to the electrical world. Beginning the development of 500 kV transformers long ago, the Company has mastered a new insulation technique and has been enjoying reputation of the purchasers' of extra high voltage units at home and abroad.

The article discusses the problems posed by the building of 500 kV extra high voltage transformers and verifies that the shell form unit is the most appropriate to meet the requirement. A few words are added that construction of a new factory is on foot in the Company to prepare for forthcoming need of 1,000 kV or 2,000 MVA apparatus.

1. ま え が き

昭和 27 年にわが国初の 超高压送電である 新北陸幹線が運転を開始してから 20 年、いよいよ来年度には待望の 500 kV 送電がわが国においても実施される運びとなった。

当社は上記新北陸幹線枚方変電所にわが国初の超高压変圧器を納入して以来、外鉄形変圧器の特長である サージプルーフ構造のすぐれた絶縁性能・信頼度と、フォームフィット構造・車両形構造・特別三相変圧器など、外鉄形変圧器の利点を生かした新技術を駆使して、あらゆる困難な要求にも答える変圧器を製作し、その高い運転信頼度とあいまって、常に大形高压変圧器のトップメーカーとして認められてきた。

超々高压変圧器の分野に対しても、当社はすでに昭和 32 年よりその開発に着手し、サージプルーフ絶縁構造にさらに改良を加え、コロナ特性・絶縁の均一性のすぐれた絶縁構造 (E 形絶縁) を開発、標準化を完了した。これにより、昭和 41 年にわが国で製作された最初の超々高压変圧器として メキシコ 納め 400 kV 変圧器第一陣を完成・出荷して以来、完成運転中ないし工場組立中の超々高压変圧器は表 1. 1 に示すように、合計 114 相 11,300 MVA に及んでいる。これらの変圧器は単相・三相・特別三相・単巻・三巻線・二巻線、さらには地下発電所用エレファント式変圧器などと考えられるあらゆる形

式をもうらしており、今後わが国において実施される 500 kV 送電

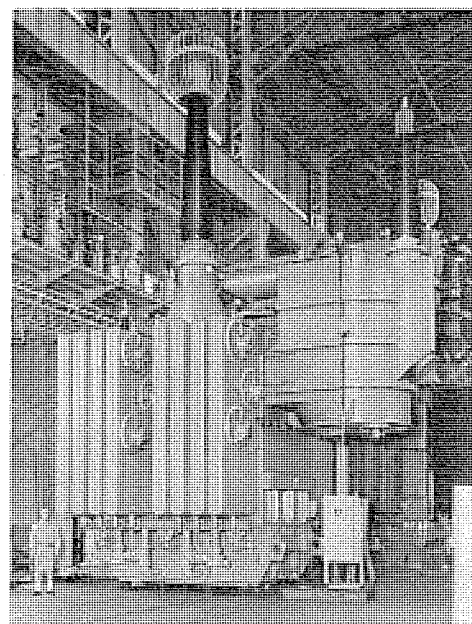


図 1. 1 南ア連邦向け単相 50 Hz 400 kV 333.3 MVA 変圧器
333.3 MVA Single phase 50 Hz Autotransformer
for the Republic of South Africa.

表 1. 1 超々高压変圧器納入実績表

Supply list of extra high voltage transformer.

	納 入 先	相 数	周波数 Hz	容 量 MVA	電 圧 kV	BIL kV	冷却方式	台 数	製作年度	備 考
1	C. F. E., Mexico (Malpaso P/S)	1	60	75	400/15	1,425	送油風冷	13	1966	
2	C. F. E., Mexico (Malpaso P/S)	3	60	50	400/115	1,425	送油風冷	2	1966	
3	超高压電力研究所 (武山研究所)	1	50	10	500/69	1,550	油入自冷	1	1966	
4	C. F. E., Mexico (Texcoco S/S ほか)	1	60	75/75/20	424/248/14.9	1,425	送油風冷	12	1967~1969	Auto TR LRA 付き
5	C. F. E., Mexico (Puebla S/S ほか)	1	60	75/75/20	400/115/13.8	1,425	送油風冷	8	1967	
6	C. F. E., Mexico (Puebla S/S ほか)	3	60	35	420	1,425	油入自冷	8	1967	分路リアクトル
7	ESCOM, South Africa (Apollo S/S)	1	50	333.3/333.3/6.67	400/275/22	1,425	送油風冷	6	1967	Auto TR LTO 付き
8	ESCOM, South Africa (Chirelston S/S)	3	50	400/400/0.5	400/275/22	1,425	送油風冷	2	1970	Auto TR LTO 付き
9	ETIBANK, Turkey	3	50	150/150/37	380/154/15.8	1,425	送油風冷	2	1970	Auto TR
10	CEMIG, Brasil (Taquaril S/S)	1	60	75/75/25	345/230/13.8	1,175	送油風冷	3	1971	Auto TR LTC 付き
11	東京電力株式会社 (房総 S/S)	1	50	$\frac{1,000}{3} / \frac{1,000}{3} / 100$	500/275/63	1,550	送油風冷	9	製作中	Auto TR LRA 付き
12	C. F. E., Mexico (Infiernillo P/S)	特 3	60/50	210	400/13.8-12.4	1,425	送油水冷	2	製作中	400 kV ケーブル直結
13	HIDRONOR S. A., Argentina (EL chocon P/S)	1	50	180/90/90	500/16/16	1,550	送油水冷	7	製作中	LTC 付き
14	C. F. E., Mexico (Infiernillo S/S)	1	60/50	60/60/16	400/230/13.8	1,425	送油水冷	7	1971	Auto TR LTC 付き

用変圧器の設計製作の経験として大いに寄与すると考えている。

さらに今後も続くであろう急速な電力需要の伸びに対処するため導入を予想される 1,000 kV 級送電用変圧器の開発もあわせ進行中で、また 1,000 kV 級 2,000 MVA 級変圧器のルーチン製作を対象とした新変圧器工場の建設を昭和 47 年前半に第 1 号器出荷予定のもとに着々とすすめており、今後の電力業界の発展に大いに貢献したい所存である。

本文では、三菱外鉄形超々高圧変圧器の特長を中心として、超々高圧変圧器の課題とその対応策についてその概要を述べる。

2. 超々高圧変圧器の主要課題

500 kV 変圧器は従来の 275 kV 級変圧器に比べて 2 倍の電圧で運転されるので、巻線そのほかに対する絶縁もそれに相当して強化する必要があることは自明の理であり、500 kV 変圧器の開発はとりもなおさず絶縁構造の開発と一般に解釈されている。しかしながら、たとえば 275 kV 級変電所用変圧器の標準容量 300 MVA にくらべ、500 kV 変圧器では 1,000 MVA 級が標準容量と考えられているように、電圧の上昇は必然的に単器容量の飛躍的増大を伴うことになる。この単器容量の増大は、超々高圧変圧器に対して絶縁上の困難さに加えて、漂遊損の増大・電磁機械力対策など多くの問題を同時に解決することを要求している。

さらに、超々高圧大容量化による変圧器・ブッシングの長大化は耐地震対策などの従来の変圧器ではあまり問題にされていなかった分野の検討を必要とするようになってきている。

このような超々高圧変圧器に課せられたもろもろの課題は、いずれも互いに独立して解決しうるものではなく、強い相互関連を有しており、各分野における深い基礎研究をベースとして、いかに 1 台の変圧器の中にバランスのとれた総合設計として盛り込んでゆくかが、当然のことながら強く要望される信頼性の高い超々高圧変圧器設計製作上の最重要点となる。

2.1 絶縁上の諸問題

500 kV 変圧器では、変圧器の体格に与える絶縁寸法の影響が非常に大きくなるため、絶縁寸法増大をできるだけ押えることが必要である。また、低減絶縁の採用に伴って常規電圧と試験電圧の比が小さくなるため、常規運転中にコロナ劣化のないことを検証するコロナ試験が導入され、さらに系統開閉時に生ずる開閉サージが雷インパルス電圧に近づくために必要とされる開閉インパルス耐圧などが、500 kV 変圧器絶縁設計上の重要事項になる。

2.1.1 絶縁の合理化

前述のように、絶縁レベルが上昇するに伴って絶縁寸法を増大しなければならないが、同一絶縁構成のままで単に絶縁寸法を増大しただけでは、絶縁耐力が寸法に比例して増大しないうえ、一般的に破壊のばらつきが大きくなりがちで、これがますます設計必要絶縁距離を増加させて変圧器を大幅に大形化することになる。

さらに、電力輸送のもっとも重要なポイントになる超々高圧変圧器に対して要求される極度に高い信頼度を満足するためにも、500 kV 級変圧器においては、従来よりもさらに改良を重ねた絶縁構造を開発することが必要である。

変圧器巻線のように比較的複雑な電極構造をもつ絶縁構成では、一般に電界が不平等になりやすいが、500 kV 級変圧器では絶縁寸法がかなり大きなものになるにもかかわらず、電極となるコイルの寸法は冷却その他の制約からあまり変化できないため、電界の不平等

性が大きくなり、これがまた絶縁寸法を増大させる。

この点を克服して、信頼度を上げながら、同時に絶縁寸法の増大を最小に押え、経済的なかつ輸送限界容量の大きい変圧器を製作するため、

(a) 電界集中の生じやすいコイル端部・静電板などに大きい曲率をもったしゃへい電極を設け、さらにその周辺を絶縁耐力が高く誘電率の大きい固体絶縁物でおおう。

(b) バリヤ絶縁物の合理化配置を行なって油げき(隙)が電界に対して平行になるようにするとともに、バリヤの配分に工夫をこらして油の絶縁耐力を有効に利用するとともに、全体的な電界の是正を行なう。また、バリヤ絶縁物の継ぎ目もテーパ継ぎとして不用の油げきがでるのを防ぐなどの改良を電界計算や油げきの耐電圧特性、実物による検証を繰り返すことによって達成しなければならない。

さらに、このような洗練された絶縁性能が、すべての変圧器の製作工程中にむらなく、安定して組み込まれていくことが信頼性の高い変圧器を生産するために不可欠のものである。

このためには、絶縁加工、組立工場の恒湿・恒温化、防じん設備、加工設備の自動化・高精度化、作業標準の確立・チェック方法・記録方法の確立などを行なって加工精度の向上、清浄化、作業ミスの防止の方策を Feeder Shop の末端に至るまで完備することはもちろん、開発段階においても、十分多数のモデルの製作試験を繰り返して検討を重ね、作業上困難を伴う部分の改良、作業方法の確立を行ない、製品に適用するまでに十分の De-bag を行なっておかなければならない。

2.1.2 内部コロナ

前述のように、500 kV 変圧器では、常規運転中に有害コロナを発生していないことを確認するため、常規電圧の 1.2~1.5 倍の電圧で内部コロナを測定することが行なわれている。

変圧器の内部コロナのうちには、接着剤中に生ずる小さなボイドに発生するボイドコロナのように、通常時間とともに減少・消滅して無害であると考えられるコロナを含み、また油中コロナであっても有害と判断されるのは 10^{-8} クーロン程度といわれているが、現在のところ、無害と断定する確実な根拠を求めがたいので、十分小さなコロナレベルとして、主として測定感度から決められた $25 \mu\text{V}$ または 10^{-10} クーロン程度の値が無コロナのレベルとされており、微少ボイドコロナの介在も十分に除去しなければならない。

変圧器の内部コロナの原因としては、変圧器内部に残存した気ほう(泡)の放電によって生ずるボイドコロナと、電界集中を生じた部分の絶縁油が破壊する油中コロナに分けられる。

ボイドコロナは、おもに脱気注油の不完全による残留気ほうや接着剤やワニス中に残存する微少気ほうの中に発生する。これらのコロナは、脱気注油方法の改良を行ない、ワニスや接着剤の材質の変更、ならびに使用量をへらすことによって防止できるが、これによって本来の接着機能をそこなうことがないように十分の注意が必要である。

また、電界のある部分にフェノール樹脂積層板などを使用する設計では、積層絶縁物内部の層割れに油が含浸されず、非常に大きなコロナを発生し、絶縁破壊に直結することがあるので、十分な注意を必要とする。

また、油中コロナは、電極のエッジや電界方向にのびた長い free oil space において試験電圧近傍で発生し、エネルギーがきわめて大きく、大きなヒステリシスを生じ、絶縁物への損傷を残すので、電界分布の改善や適正な油げき配置によって完全に防止しなければならない。

2.1.3 開閉サージ

変圧器に要求される開閉サージに対する絶縁耐力は、通常雷サージ電圧の80～85%程度である。

一般に、油中絶縁の開閉インパルス絶縁耐力は、不平等電界やグリープ的破壊の場合においては雷インパルスに対する耐力にくらべて相当低下することが認められているが、平等電界に近い貫通破壊においてはあまり低下しない。これは、開閉インパルス/AC耐圧の比においても同様に貫通破壊において高く(1.6～2.3)、沿面せん絡の場合には1.3～1.9程度に低下する。

このことから、先にのべたような合理化された絶縁構造においては問題になることは少ない。

2.2 大容量化対策

前述したように、500kV級変圧器においては単器容量が大幅に増大するが、これに対する検討も決して等閑視できない重要な事項である。

すなわち、単器容量の増大に伴って、空間漏えい(洩)磁束密度は、同一形状・同一インピーダンス器の場合にkVAの1/8乗に比例して増大するが、この空間漏えい磁束の増大は、短絡時の電磁機械力・漂遊損・局部加熱などの条件を過酷にし、さらに大容量器になるに伴って要求の強くなる高インピーダンス化の傾向や、車両輸送のための設計上の制約はこの傾向を助長し、とくに自己容量ベースでのインピーダンスが極端に高くなる単巻変圧器において著しい。

米国における500kV変圧器の事故例にも、この大容量化対策の不備のために9台全数の改造を余儀なくされた例も報告されている。

このような事態を防ぐためには、変圧器内漏えい磁束分布、これによって生ずる機械力・損失・冷却効果について、計算機による周到な計算・実測とのつき合わせを十分に行なって設計基準を確立する一方、容量増大に伴って高低圧群数(H-L数)を増加して1群あたりkVAの増大を適切な範囲に止め、空間磁束の急激な増加を防ぐ処置をとらなければならない。

2.3 単巻変圧器

わが国においては、従来有効接地系統は275ないし170kVの各地区系統における最高電圧にのみ採用されていたので、連系する高低圧両系統が有効接地系であることを必要とする単巻変圧器はほとんど用いられていない。しかし、500kV系の導入に伴ってこれと超高压系の連系に広く採用されることになるので、単巻変圧器における注意事項についてふれてみたい。

単巻変圧器は、低圧(分路巻線)を高圧巻線の一部として共用しているため、通過容量(pt)にくらべて自己容量(ps)が小さく($ps = pt \cdot \gamma = pt(1 - V_L/V_H)$ 、 γ : co-ratio)で済み、変圧器の小形化・高効率化などの面ですぐれているが、一面では巻線を共用するために分離巻線変圧器に比べて仕様上から受ける制約が設計に大きな影響を与える場合が多く、経済性を減殺してしまうことがあるので、仕様決定時に十分注意することが望ましい。

2.3.1 単巻変圧器のインピーダンス

通過容量 pt 、通過容量ベースでの%インピーダンス% zt の単巻変圧器は、内部で $pt \cdot \frac{\%zt}{100}$ のVARを消費しなければならないが、単巻変圧器の実際の容量は $ps = \gamma \cdot pt$ であるから自己容量ベースでのインピーダンス% zs は、

$$\%zs = \frac{pt \cdot \frac{\%zt}{100}}{ps} \cdot 100 = \frac{zt}{\gamma}$$

となる。たとえば、500/275kV、 $\%zt = 15\%$ の単巻変圧器は自己容量ベースでは

$$\%zs = \frac{1}{0.45} \times 15 = 33.3\%$$

という高インピーダンス変圧器になる。

このように、単巻変圧器ではあまり高いインピーダンスの変圧器を作することは困難で、一般に500/275kV単巻変圧器では12～14%程度が製作上の適正インピーダンスになる。

また、単巻変圧器にタップを設けた場合、タップによるインピーダンス変化は、タップによりco-ratio γ が変わること、後述するようにタップ巻線の占める割合が大きくなることから、分離巻線変圧器に比べて相当大きくなることがあるので注意が必要である。

2.3.2 単巻変圧器の電圧調整

単巻変圧器は低圧巻線を共用しているため、二巻線変圧器のように単純なタップ交換を行なうことができず、種々の電圧調整回路が採用されており、表2.1に示すように、各変圧器の使用に応じて使い分けられている。

いずれの方法をとる場合でも、タップコイルの大きさはほぼ通過容量 \times 調整幅だけの大きさを必要とし、主コイルの大きさがco-ratio倍に小さくなっているのに比べて比率的に大きくなるため、総合巻線容量の増大、タップコイルの電位振動対策の特別処置などで変圧器全体の経済性に大きく影響する。とくに、中性点切換えの場合にはタップ巻線およびタップ切換器の絶縁が容易になるが、鉄心磁束密度が変化するためにタップ幅が大きくなると、加速度的に経済性を悪化させる。

一般的にいて、単巻変圧器のタップ幅は $\pm 5\%$ 以内を推奨したい。

2.3.3 三次巻線の容量

単巻変圧器の三次巻線には、三次負荷をとらないで系統の零相インピーダンスの低下、高調波電流の環流のために設ける安定三次巻線と三次負荷をとる場合とがあり、諸外国の例では安定三次巻線で三次負荷は所内負荷程度になっているものが多く見られる。

安定巻線の容量は、分離巻線変圧器の場合には主巻線の1/3にとる場合が多い。これは、主巻線と安定巻線の熱的強度を一線地絡時電流分担に対して同等にするという考え方に立っており、この簡単な決め方でも分離巻線変圧器の場合には全体に及ぼす影響は少ないが、単巻変圧器の場合には安定巻線が主巻線と同等程度に大きくなって経済性にいちじるしく影響を与えるので、系統インピーダンスを考慮して実際に流れる三次電流によって安定巻線容量を決定することが望ましい。すなわち、外部事故時に単巻変圧器安定巻線に流れる零相電流の大きさは、最悪条件で、系統の $x_0/x_1 = 3.0$ として、

$$\text{高圧側一線地絡} \quad 300/(6z_P + 5z_{PT}) (p \cdot u)$$

$$\text{低圧側一線地絡} \quad 300/(6z_S + 5z_{ST}) (p \cdot u)$$

になる。ただし、

$$z_P, z_S: \text{系統のインピーダンス (高圧側・低圧側)}$$

$$z_{PT}, z_{ST}: \text{変圧器安定巻線のインピーダンス}$$

たとえば、500/275kVのバンク1,000MVA、 $z_{ST} = 40\%$ の単巻変圧器では、 $z_S = 7\%$ (14,000MVA)として、

$$1,000 \times 300 / (42 + 200) = 1,240 \text{ MVA}$$

で、一相あたり約410MVAとなる(瞬時容量)。

また、三次短絡の場合を考えると、所要短絡強度は、

$$1,000/0.4 = 2,500 \text{ MVA (830 MVA/相)}$$

表 2.1 単巻変圧器のタップ切換方式
Various tap changing methods of autotransformer.

	A	B	C	D	E	F	G
結線							
調整側	高圧側 低圧側	高圧側	低圧側	低圧側	高圧側 低圧側	低圧側	低圧側
長所	(1) タップコイルの絶縁が容易 (2) 三相器の場合三相タップ切換器が使用できる	(A) にくらべ巻線容量増加が少ない	巻線容量としてはもっとも少なくてすむ	(1) タップコイルの極性転換ができ、タップブリードが $\frac{1}{2}$ ですむ またタップ巻数が $\frac{1}{2}$ となり絶縁が容易	(1) 調整変圧器なしで運転可能 (LRA別置) (2) 三相タップ切換器が使用できる (3) 主変圧器の構造が簡単になる	(1) タップ切換器の電圧電流を任意にえらべる (2) タップ切換器の絶縁レベルが低い	(1) 調整変圧器なしで運転可能 (LRA別置) (2) タップ切換器の電圧電流を任意にえらべる
短所	(1) V/Tが変化する (三次電圧が変動する) (2) タップ幅が広がると巻線容量増大がいちじるしい。 (3) 転極切換をするためには調整幅が均等にならない	タップコイル、タップ切換器の絶縁はもっとも困難である	(1) 転極切換ができず タップコイル、タップブリードが複雑になり、絶縁も困難になりやすい	巻線容量はCにくらべ大きい	(1) V/Tが変化する (2) タップ幅が広がると巻線容量の増大がいちじるしい (3) 変圧器設置がやや複雑になる	(1) 直列変圧器励磁側への移行電圧が大きくなりやすい (2) LTC別置にはできない	(1) 経済的にはもっとも高価になる
適用例 (第1表)	3. 4. (無負荷切換)	7.		8, 10, 14	3. (負荷時切換) 11.		

になり、これを連続容量に換算すると、内蔵安定三次で三次短絡を考慮する必要がない場合に約 20 MVA であり、また三次短絡を相定する場合に約 40 MVA あればよい。

また、三次に負荷をとる場合には当然これに見合った三次連続容量に設計しなければならないが、単巻変圧器の場合には分路巻線電流は高低圧電流のベクトル差が流れることから分路巻線容量をも増大する必要があるので、三次容量および力率について実際に即した定格を決定する必要がある。

いま、500/275 kV, 1000 MVA/1000 MVA/3000 MVA 変圧器の分路巻線を計算すると、

- (1) 三次無負荷のとき 450 MVA (100 %)
- (2) 三次調相負荷で HV・LV より 1/2 ずつ VAR 流入のとき 502 MVA (112 %)
- (3) あらゆる条件を考えたとき (1000/700/300 MVA 負荷のとき) 615 MVA (137 %)

になる。

2.4 輸送限界容量

主として内陸部に設置される変電用ないしは水力発電所用変圧器は、その輸送制限からおのずと限界容量が定められる。とくに、500 kV 級変圧器になると絶縁寸法の占める部分が非常に大きくなるため、絶縁設計の巧拙、変圧器全体の構造が輸送制限の形状にうまく適合しているか否かによってかなり変動するが、当社外鉄形変圧器では単相 3 台 1 バックとして 500 kV/275 kV 単相変圧器の場合で、バック 1,500 MVA、また三巻線変圧器の場合でバック 750 MVA まで十分に輸送可能である。また、二分割構造を採用することによってこの容量を約 2 倍に増大することも可能である。

火力・原子力用変圧器の場合には海上輸送となり、輸送上の問題

より製作試験の設備上から決まるが、三相単器 2,000 MVA までは十分に製作および試験が可能な計画を進めている。(後述)

3. 三菱外鉄形 500 kV 変圧器の特長

当社では高電圧・大容量変圧器をすべて外鉄形構造で製作しており、500 kV 変圧器は、この外鉄形構造のメリットが最も大きく発揮される変圧器である。外鉄形変圧器の一般的な特長の詳細については、すでに周知のことと考えられるので、その要点のみをあげると、

- (1) 外鉄形変圧器の巻線は、幅広い、コイル当たり巻回数が多いコイルを少数枚対向接続して組立てられており、巻線内電位分布がよく、また幅広い静電板を巻線間あるいはコイル間に自由にそう

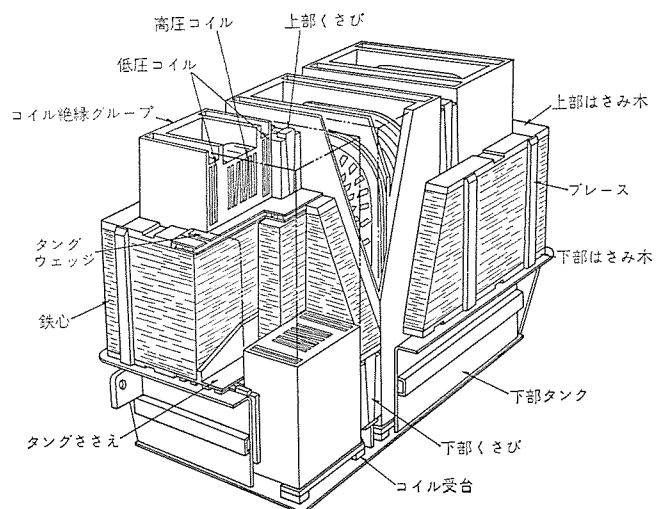


図 3.1 外鉄形変圧器内部構造
Construction of Form-Fit shell-form transformer.

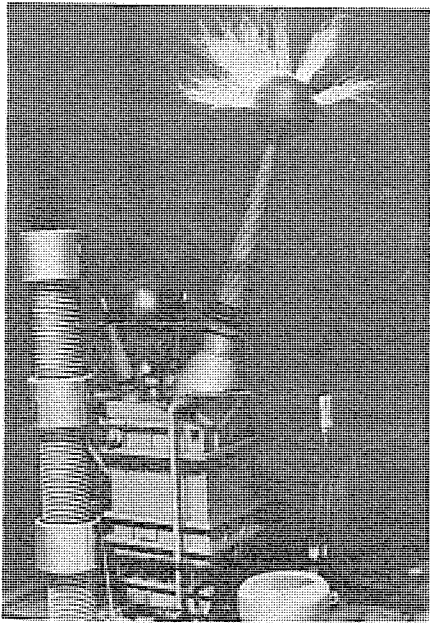


図 3.2 試験中の試作 735 kV 100 MVA 変圧器
735 kV 100 MVA transformer under overvoltage test.

入できるので、タップコイルなどの電位振動の抑制が容易である。

(2) 絶縁は巻線を包囲する構成であり、2.1.1～2.1.3項にのべた合理的絶縁構造を容易に実現できる。また、絶縁物として油浸紙以外にたとえばフェノール樹脂積層管などをまったく用いないので、コロナ発生のおそれがない。

(3) 高・中・低各巻線は交互配置されるので、巻線の結合群数を自由に選び得て設計の自由度が高く、タップ変化による磁束変化（インピーダンス・漂遊損を変化させる）もコイル配置の選定によって改善・制御することが容易である。

また、各コイルの並列・直列接続、タップの引出しが任意にできるので、大電流変圧器の製作や、単巻変圧器における各種タップ切換方式の適用、さらには 500 kV・275 kV 共用の変圧器などがきわめて容易に設計できる。

(4) 長円形のコイルを垂直配置し、その両面に設けた垂直の油ダクト内を油流は対流的に順方向に流れる構造で、油流の障害が少なく、またフォームフィットタイプとあいまって本質的にいわゆる Direct flow 形式になっているので、冷却特性にすぐれ、局部的な高温箇所が発生するおそれがない。

(5) 車両形構造において、外鉄形変圧器の形状は本来輸送制限寸法と一致して利用度が高いうえ、各巻線は長さ方向に順次配列されるので、三次巻線容量・電圧・中性点絶縁レベル・タップの有無などが設計上に最も重要な寸法制約となる輸送断面に影響を与えることがなく、各種の仕様に対して容易に対応できる。

(6) 長方形断面で単一軸の単純な鉄心構造をもち、フォームフィットタンクでボルト類を用いることなく、コイル・鉄心ともに強固に締付けられているので、ゆるみのおそれがなく、電磁機械力に対して本質的にじょうぶである。また、任意に横たおしができるので、地下 S/S、地下 P/S などの搬入・据付け条件が悪い地点、小さな輸送条件にも容易に対処できる。

など、500 kV 変圧器に好適な特長を有している。

3.1 500 kV 絶縁構造 (E 形絶縁)

500 kV 変圧器に要求される高い信頼度と、大容量変圧器の組立輸送を実現するためには、言うまでもなく、最小の絶縁寸法で高い

絶縁耐力を発揮する合理的な絶縁構造の完成が特に重要である。このような絶縁の合理化は、決して短時日のうちに完成しうるものではなく、豊富な変圧器製作経験を基礎にして、周到な計画のもとに、関連する広域な技術分野を動員して、長期にわたって検討・開発試験を繰返してはじめて達成しうるものである。

当社では、すでに 13 年以前、すなわち昭和 33 年に第 1 号超々高压変圧器を試作して以来、今日の 500 kV 変圧器の製作に対応するために信頼度が高く、かつ寸法利用度の高い絶縁構造の開発に全力を傾注し、数十台以上におよぶ実物大絶縁モデルの製作試験を中心にして BIL 1800 kV 短絡変圧器 2 台 (昭和 39 年)・420 kV 75 MVA 変圧器試作 (昭和 40 年) などの実物変圧器試作・試験を経て、超々高压変圧器に要求される仕様を完全に満たした信頼度の高い絶縁構造〈E 形絶縁〉を完成し、昭和 41 年より多くの超々高压変圧器を製作して海外に送り出している。

さらに、昭和 44 年の 735 kV 100 MVA 変圧器の製作破壊試験 (Imp. 1,800 kV, SWS, 1,500 kV OK, AC 1,010 kV プッシング 外) (せん(閃)、その後長期課電試験中

や、昭和 45 年末の 500 kV 333 MVA 変圧器の製作試験 (AC 1,134 kV, Imp. 2,320 kV 異状なし)

などの諸試験を通じて E 形絶縁構造のすぐれた絶縁性が遺憾なく証明されている。

特に、E 形絶縁構造の開発において特筆すべきことは、実際の製品における安全性に対して細心の注意を払ったことである。

すなわち、すべての場合に同じモデルを数台以上製作して各台間のばらつきについて詳細な検討を加えることはもちろん、工作中における工作の困難な点、誤りのはいりこみ余地などを徹底的にフォローアップして次回の試作にこれを改良し、さらには後述する工作設備もすべて開発段階においてこれを設備し、モデルと実オーダー器に完全な意味での等価性をもたせるなど、従来の観念におけるいわゆる開発試作ではなく、実際の変圧器に適用した場合にすべての製品にその性能が発揮されることを常に最重要視して開発をすすめ、絶対の自信をもって完成した絶縁構成である。

3.1.1 E 形絶縁構造

E 形絶縁の具体的構造の詳細についてはすでに報告しているので、本文では主要点について述べるにとどめる。(三菱電機技報 Vol. 41 No. 3 参照)

新しい外鉄形超々高压ならびに超高压絶縁の標準である E 形絶縁は、従来より当社電力用変圧器の標準構造としてその高い信頼性から好評を得てきた外鉄形サージラフ構造にさらに改良を加えたものであり、おもな改良点は下記のとおりである。

(1) 従来より電界に沿って配置されていた絶縁バリヤの配置に field mapping などの技術を利用してさらに洗練を加え、プレスボードの接合部 (絶縁ワッシャと絶縁チャネルの継ぎめなど) はテープ継ぎとして無用の油げきの発生を防止するとともに、全体として油げき配置に検討を加えて電界に対応した油げき長とし、かつ複合誘電率の変化を利用して電界集中を緩和する。

(2) 電界集中の生じやすい部分の電界緩和のため、コイル端部に平円形の紙巻シールド線を、また鉄心端部にはプレスボードではさみ込んだ大きな曲率半径をもった鉄心シールドを設けるとともに、コイル端部にはシールド線とよく密着するインディデュアルチャネルを配し、コイル端部での油中コロナの発生を防止している。

(3) 静電板は、プレスボードワッシャの間にアルミメタリコンまたは特殊

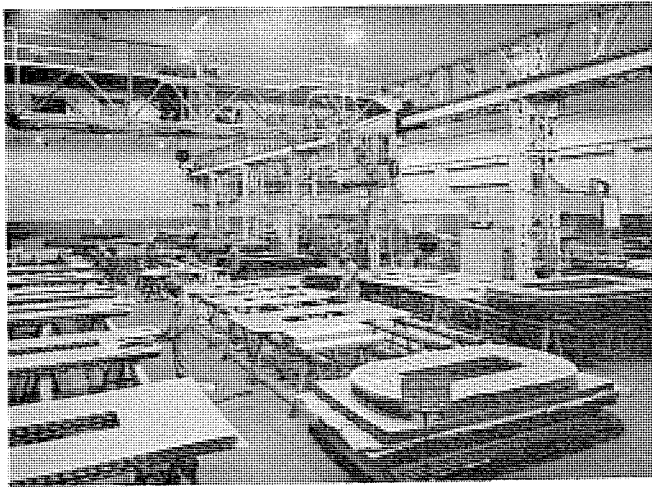


図 3.3 空調絶縁加工・組立工場
Air conditioned coil assembling factory.

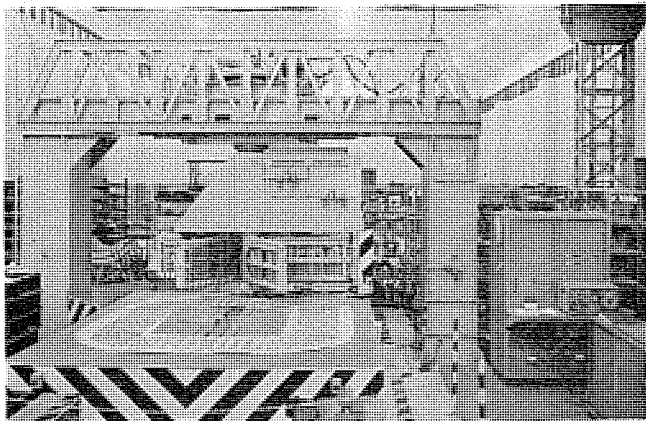


図 3.4 カルタ自動貼付装置
Automatic arrangement of oil duct spacers.

金網より成る電極をはさみ込み、ワッシャの端部の機械加工した半円形みぞに太いシールド線を埋め込んだうえ、さらにチャネルワッシャを重ねてプレスして絶縁体の部品とし、コイルに組込んで十分な絶縁性と電界是正作用をもたせている。

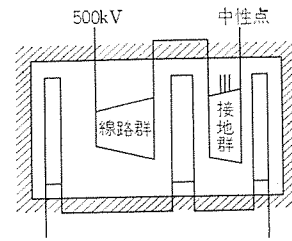
(4) コイルよりリードの引出部は弱点となりやすいが、この部分にはクレウ加工紙を用いて実物コイルに合わせて特殊チャネルを形成し、口出部分の弱点を完全にとり除いた。

(5) 全般的に加工精度を格段に上昇するとともに、使用プレスボードもホットプレスされたものを気密包装状態で加工空調室まで直接持ち込み、加工中の寸法変化・じんあいの付着を防止するなどして加工組立工程に大幅な改良を加えた。

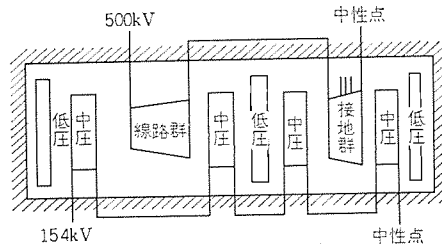
3.1.2 工作技術および設備

前節において強調したように、E形絶縁構造の特長を実際の製品において常に100%発揮させてきわめて高い信頼度を上げるためには、工作精度の向上・品質の一定化が不可欠である。

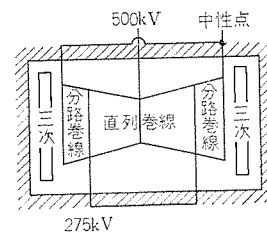
このためには絶縁物の加工・組立室を温度25~30°C、相対湿度30%の防じん空調とし、色彩調整を行なうなど周囲のふんい気、作業環境の改善を行なうほか、絶縁階級の上昇に伴って複雑多岐にわたる絶縁物の加工ミスを防止するため、設計書より直接電子計算機によって各部品一品ごとの作業伝票、集録表、組立のための寸法表を作成させるとともに、これよりアウトプットされるテープで直接駆動されるカルタ自動貼機などを導入して加工ミスの絶対防止、工程の合理化を行なっている。また、E形絶縁設計のために必要になっ



(a) 二巻線変圧器のとき



(b) 三巻線変圧器のとき



(c) 単巻変圧器のとき

図 3.5 巻線配置
Coil arrangement of shell-form transformer.

たプレスボード端部のテーパ加工専用機なども新しく開発設置している。

3.2 巻線配置

外鉄形超々高圧変圧器の巻線配置のうち、変電所用三巻線変圧器や発電所用二巻線変圧器においては、従来の超高圧変圧器の場合と同じように図3.5(a), (b)に示す配置または超大容量器の場合にはこれを対称に配置した8群構成が標準として採用される。

単巻変圧器の場合には比較的小容量を除いて図3.5(c)に示すつづみ形配置を主として採用している。この配置は図より明らかなように、高圧・中圧ライン端が他圧コイルにまったく対向せず、巻線間主絶縁が不要になり、スペースファクタが良好になるうえ、高電圧部分の電界分布が非常によく、対地主絶縁距離を小さくすることが可能である。

また、もれ磁束に対しても完全に対称になるため、タンクその他の構造物に発生する損失が少なく、高インピーダンス器になる単巻変圧器に適している。

上記のいずれの場合にも、タップを任意の位置から引き出すなどの設計上の自由度はきわめて高く、三次インピーダンスを任意に変更したり、また、たとえば小容量三次負荷をとる場合で、所要零相インピーダンスと三次しゃ断容量からの要求が合致しない場合には、三次各群のうちの一部を内蔵三次に結線し、一部を引出し三次として限流リアクトルを用いなくて両方の要求を満足させるなどの自由な設計が可能である。

3.3 大容量化対策

外鉄形変圧器では、容量が増大するのに伴い、高低圧群数を増して1群あたりアンペアターンをあまり増加しないで経済的な大容量変圧器を製作することができ、本質的に大容量変圧器に適していると

いえる。これに加えて、巻線の大部分が鉄心に囲まれ、もれ磁束やこれによって発生する損失・電磁機械力の解析も比較的容易に行なうことができ、電子計算機を用いてこれらの様相をきわめて正確に求められるようになっている。

また、各コイルは単純な転位でコイル内で完全に転位が完了するので、複雑な転位を行なう必要がなく、大電流巻線の場合には並列接続を行なってタップによるもれ磁束変化を最小にとどめることができるなど、大容量高インピーダンス器においても漂遊損失を極小にとどめることができる。

短絡時電磁機械力についても、外鉄形変圧器では巻線が鉄心・タンクによって強固に締め付けられて本質的に大きな強度をもっているうえ、短絡時過渡機械力の動的解析などの新しい手法を古くより実施して万全を期している。外鉄形変圧器の機械的強度の優秀性については、たとえば非常に過酷な短絡機械力を繰り返して受ける水銀整流器直流変換所用変圧器（電源開発 佐久間 F/C 納め）のすぐれた運転実績がこれを如実に示している。

3.4 組立輸送

外鉄形 フォームフィット 構造は構造的に車両形変圧器構造に適した形態をもっており、また重量寸法が小さくて横倒し可能、設計の自由度が高いなどの利点を有し、大容量変圧器の組立輸送のみならず、極度に制限された地点への組立輸送においては、とくに輸送寸法の制約がきびしくなるので、積載限界をいっばいにすみずみまで生かして設計でき、また前にのべたように低圧側・三次側の仕様が輸送寸法制限に影響を及ぼさない外鉄形変圧器が輸送限界を拡大するうえにおいてまさり、重量的にも後述 500 kV バック 1,000 MVA 単巻変圧器で輸送重量約 160 トンと鉄道大物車限界重量に対して十分の余裕を残している。

さらに、将来 ガス 絶縁変電所の採用などで三相器が採用される場合には、当社独特の特別三相式変圧器が有効に活用でき、またとくに条件の悪い地点への組立輸送には、外鉄形 フォームフィット 構造の特長を生かして単相あたりの鉄心および巻線群を並列二脚配置として継鉄部分で外部より分離・結合を可能にし、輸送重量を単相または特別三相のさらに 1/2 とした二分割輸送形単相または六分割輸送形特別三相変圧器の実用化を完了している。（東京電力安曇 F/S 納め）

4. 大形変圧器新工場

当社の大形変圧器は伊丹製作所において製作してきたが、伊丹製作所は海岸に面しておらず、大容量変圧器の出荷は鉄道輸送によってきた。この制約は大容量・超高圧変圧器の合理化開発をすすめる

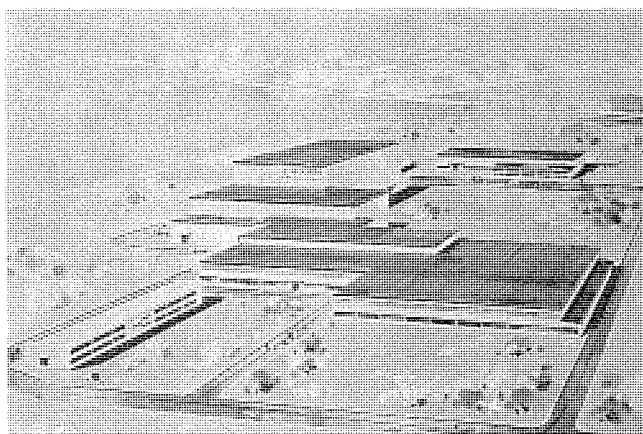


図 4.1 赤穂変圧器新工場
Mitsubishi New transformer factory.

一つの原動力として役立ってきたが、急速に大容量化する超大容量火力ならびに原子力発電所用変圧器については coast to coast 輸送が望ましいこと、および今後さらに発展する超々高圧超大容量化に対して信頼度の高い製品を短納期で多数を製作・納入するために、新しく理想的な変圧器工場の建設を着々とすすめている。

この新変圧器工場は、大形船が直接接岸でき、海運・陸運その他の周囲環境条件のよい兵庫県赤穂市に 43 万平方米の敷地を取得して建設中で、750~1,000 kV 級容量 2,000 MVA 級変圧器の製作・試験が可能で、工場レイアウトおよび設備には最新の工夫を種々こらした世界的にみても最大かつ最新鋭の工場であり、昭和 47 年前半には第 1 号器完成・出荷の計画で進行している。

5. む す び

500 kV 変圧器は、最高電圧の電力用変圧器であるとともに、容量が大きかつ極度に高い信頼度を要求されるなど、すべての分野においてきびしい条件をかかえ、最新鋭の設計・製作技術を駆使して成果の完ぺきを期すべき変圧器である。

幸い、当社は早期に 500 kV 級変圧器の開発をすすめ、最大の製作実績をもってわが国における 500 kV 送電の開始をむかえて、その第一番目の変電所用変圧器を製作する機会をもつことができた。今後とも、赤穂新鋭工場の完成を機にさらに研さん（鑽）をつづけ、よりいっそう電力業界の発展に寄与する所存である。

最後に、現在まで多くのご指導・ごべんたつをいただいた顧客各位に深甚の謝意を表してむすびとしたい。

500kV 1,000 MVA 単巻変圧器

岩崎 晴光*・青木 俊之**・瀬藤 憲治**
山田 雄治**・玉置 栄一**

500 kV 1,000 MVA Autotransformers

Itami Works Harumitsu IWASAKI・Toshiyuki AOKI・Kenji SETOH
Yuji YAMADA・Eiichi TAMAKI

500 kV power transmission that has been long desired in Japan is about to be realized in next year. Since building the first 275 kV extra-high voltage transformers in the circles of this country in 1952, Mitsubishi has had much experience in manufacturing a good many transformers at these voltages and exporting a variety of extra high voltage units of this kind. From successful results on these transformers having excellent performance and quality, the Tokyo Electric Power Company has placed an order with Mitsubishi for nine autotransformers to make up three 500 kV 1,000 MVA banks. They are being assembled, tested and shipped one after another. Prior to the manufacture, the Company built a unit of the entirely same design to give various type tests including a long time overvoltage test, corona test and insulation breakdown test, the reliability of the products being thus assured.

1. ま え が き

わが国における主幹系統は長年にわたって 275 kV であり、電力需要の急速な伸びに対しては、送電線を太くしたり 4 本導体化して送電熱容量を上げて電力輸送に対処してきた。しかし、最近のような大火力発電所群の出現にともなうルート当たりの輸送量の増大、輸送ルート用地の入手難の激化から、はん用化した 275 kV 系統では行詰り、次段の送電電圧として 500 kV が採用されることになり、各電力会社とも 500 kV 設計の送電線の建設などの具体的計画が着々と進められている現状である。

当社は、昭和 27 年にわが国最初の 275 kV 超高圧変圧器を関西電力枚方変電所に納入して以来、多数の超高圧変圧器を製作し、また昭和 41 年には超々高圧変圧器の国産第 1 号器としてメキシコ向け 400 kV 変圧器を納入し、その後多数の超々高圧変圧器を海外に輸出してきた。これら変圧器のすぐれた性能・品質と運転実績により、今回東京電力がわが国最初の 500 kV 送電に使用する超々高圧変圧器の 9 台（3 バック分）を受注した。このわが国最初の 500 kV 送電は、房総・千葉方面の大電力を都心に送電するために房総・新古河両変電所に 500 kV 変圧器各 3 バックを設け、この間約 90 km を 500 kV で送電するものである。

当社では、製作にあたり、納入品とまったく同一設計の試作器 1 台で種々の試験を完了させ、現在納入用の 9 台について順次製作・試験を行なっている。

本文では、この変圧器の概要について紹介する。

2. 変圧器の定格その他

(a) 主変圧器

形 式： 単相、単巻（三次巻線付き）
負荷時電圧調整器別置
送油風冷式、外鉄形 フォームフィット形
定格出力： 一次 1,000/3 MVA
二次 1,000/3 MVA
三次 300/3 MVA

定格電圧： 一次 $500/\sqrt{3}$ kV
二次 $275/\sqrt{3}$ kV
三次 63 kV
周波数： 50 Hz
インピーダンス： 一次—二次 14.0% (1,000/3 MVA 基準)
一次—三次 19.0% (300/3 MVA 基準)
二次—三次 12.0% (300/3 MVA 基準)
絶縁階級： 一次線路 BIL 1,550 kV
二次線路 200 号（耐塩害 2 号）
中性点 60 号
三 次 60 号（耐塩害 2 号）
騒 音： 85 dB 以下
概略重量： 油なし重量 191,000 kg
油 量 38,000 l
総重量 225,000 kg
輸送重量 160,000 kg

外形寸法（ブッシングを含む）：

床面積 7,150 mm × 9,340 mm
高 さ 16,990 mm

(b) 負荷時電圧調整器

形 式： 単相、中性点側接続、別置式、送油風冷式
外鉄形 フォームフィット形
電圧調整範囲： $50/\sqrt{3}$ kV (500 kV 側)
切換タップ点数： 23 点（±11 ステップ）
容 量： 19,680 kVA
電 圧： 励磁側 70.77 kV
調整側 $33.91/\sqrt{3}$ kV
周波数： 50 Hz
絶縁階級： 励磁巻線 60 号（耐塩害 2 号）
直列巻線 60 号
概略重量： 油なし重量 38,500 kg
油 量 15,350 l
総重量 52,300 kg

輸送重量 33,000 kg

外形寸法 (ブッシングを含む) :

床面積 5,990 mm×5,765 mm

高さ 5,445 mm

さきにも述べたように、この変圧器は、わが国初の 500 kV 送電に用いられる変圧器であり、また、500 kV 系統の重要性がきわめて高いことから、特に信頼性の確保に留意して、その仕様が決められている。

この変圧器は、275 kV 系統と 500 kV 系統の連系用として使用されるもので、両系統とも直接接地系統であることから、経済的で効率のよい単巻変圧器である。わが国では有効接地系統が少ないため、今まで 220 kV と 187 kV の連系用に単巻変圧器が用いられている程

度で、ごくわずかであったが、今後 500 kV 系統と 275 kV 系統との連系には、すべて単巻変圧器が使用されることになる。

単巻変圧器は、高・低圧巻線の一部を共用しているため、普通形変圧器のように簡単に電圧調整が行なえず、種々の電圧調整方式が考えられるが、今回は特に信頼度の向上を目的として、中性点切換方式で、かつ LTC は別置形式となっている。これは、万一 LTC にトラブルが生じて、別置 LTC を除いて、主変圧器のみでも運転可能とするためである。また、単巻変圧器の場合、通過容量に比べて自己容量が小さくなる利点を有するが、分路巻線には、一次・二次電流の差電流が流れるため、三次負荷をとる場合には、分路巻線容量を大きくする必要がある。本変圧器では三次負荷として調相設備が接続され、その VAR は一次・二次側より等分に供給される場合

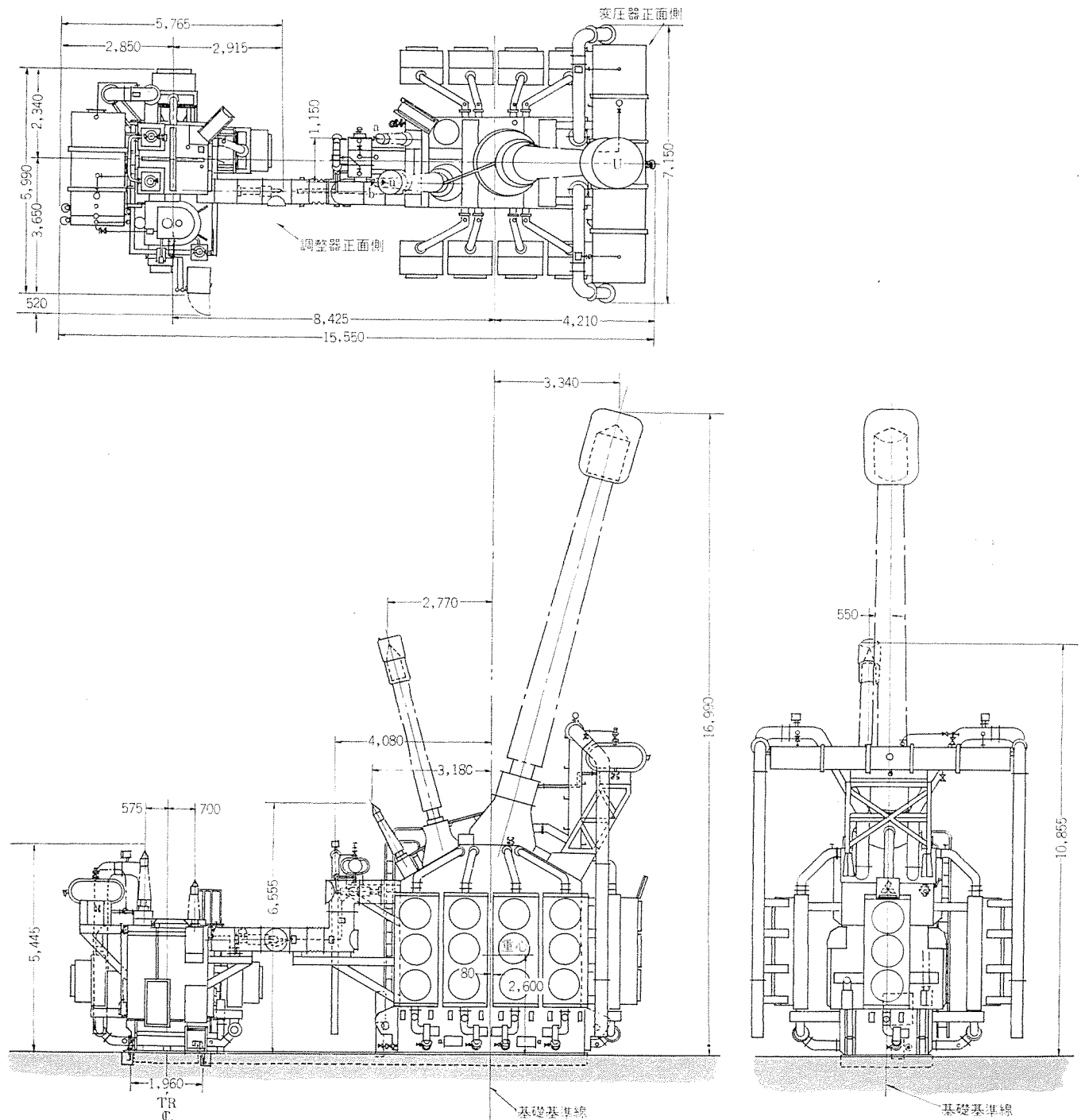


図 2.1 外形図

Outlines of main transformer and voltage regulator.

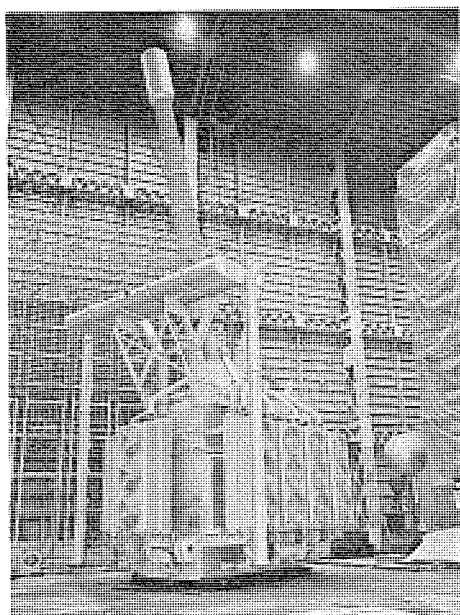


図 2.2 主変圧器
Main transformer.

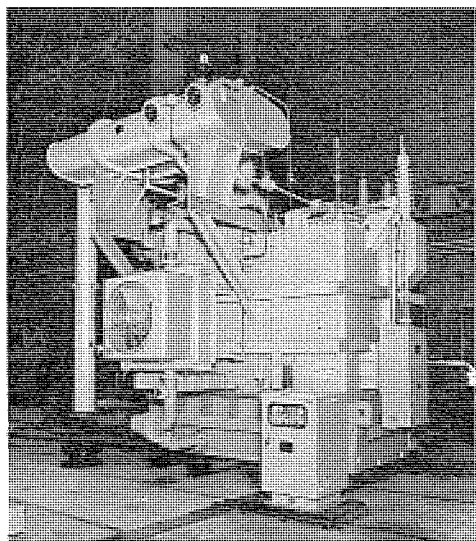


図 2.3 負荷時電圧調整器
Voltage regulator.

(二等辺三角形負荷)を考慮して、分路巻線を設計している。

図 2.1 は、主変圧器と負荷時電圧調整器の外形図で、図 2.2、2.3 はそれぞれの工場での完成写真である。

3. 特 性

3.1 電圧・電流

本変圧器は、図 3.1 に示すように、中性点側に別置電圧調整器を接続してタップ切換を行なう方式であるため、タップにより主変圧

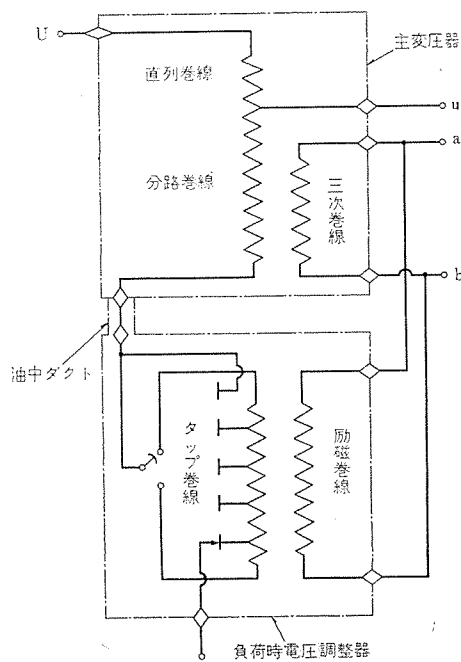


図 3.1 500 kV 単巻変圧器結線
Connection diagram of 500 kV autotransformer.

器の 1 ターン当たりの電圧 (V/T) が変化し、したがって鉄心の磁束密度 (励磁率) および三次電圧が変化する。また、タップ間電圧も一定でないため、定格電圧 500 kV と最高・最低タップ電圧との差も等しくならない。これらの関係を表 3.1 に示す。

単巻変圧器の場合、変圧器の自己容量 (P_s) と通過容量 (P_t) との関係は、

$$P_s = \frac{V_H - V_L}{V_H} P_t$$

V_H : 一次電圧
 V_L : 二次電圧

であるから、今の場合には 450 MVA であり、タップがなくて三次容量も小さい場合には、上記の容量で直列および分路巻線の設計をすればよいが、タップがあって三次容量も大きい場合には、巻線の容量をかなり大きく設計しなければならない。本変圧器について各巻線容量を計算すると、

$$\begin{aligned} \text{直列巻線} & 450 \text{ MVA} \times \frac{1209}{1155} = 470 \text{ MVA} \\ \text{分路巻線} & 450 \text{ MVA} \times \frac{1104}{945} = 525 \text{ MVA} \\ \text{三次巻線} & 300 \text{ MVA} \times \frac{1643}{1587} = 311 \text{ MVA} \end{aligned}$$

したがって、巻線の等価的な容量は、

$$\frac{470 + 525 + 311}{2} = 603 \text{ MVA}$$

となる。また、励磁率が定格タップ時に比べて 112.3% まで増加する
Voltage and current.

表 3.1 電圧・電流

タ ッ プ 位 置	一 次		二 次		三 次		三次無負荷時電流 A			三次定格負荷時電流 A			タ ッ プ 電 圧 kV	主 変 圧 器 率 %
	電 kV	流 A	電 kV	流 A	電 kV	流 A	共通巻線 タップ巻線	三次巻線	励磁巻線	共通巻線 タップ巻線	三次巻線	励磁巻線		
1	$527.7/\sqrt{3}$	1,094	$275/\sqrt{3}$	2,100	70.77	1,413	1,006	278	278	1,104	1,570	305	$-33.91/\sqrt{3}$	112.3
7	$511.8/\sqrt{3}$	1,128			66.31	1,508	971	122	122	1,076	1,574	135	$-14.44/\sqrt{3}$	105.2
12	$500/\sqrt{3}$	1,155			63.0	1,587	945	0	0	1,054	1,587	0	0	100
17	$489.3/\sqrt{3}$	1,180			60.01	1,667	920	116	116	1,034	1,609	130	$13.07/\sqrt{3}$	95.2
23	$477.7/\sqrt{3}$	1,209			56.77	1,762	891	247	247	1,011	1,643	280	$27.20/\sqrt{3}$	90.1

ことを考慮して設計しなければならないので、

$$603 \times 1.123 = 670 \text{ MVA}$$

すなわち、タップがなく二次巻線もない単巻変圧器と比べて、本変圧器は、 $670/450=1.51$ 倍に相当する。

3.2 インピーダンス

中性点に電圧調整器が接続されているため、組み合わせ状態での一次—二次・一次—三次・二次—三次間のインピーダンスは各変圧器単体でのインピーダンスから次のようにして求められる。すなわち、主変圧器単体でのインピーダンス測定値を三巻線に分離して、各巻線基準での Ω 値で表現したものを x_S, x_C, x_T とし、電圧調整器単体での測定値を、タップ巻線基準での Ω 値で表現したものを x_R とすれば、図3.2の等価回路となり、これから組み合わせ状態でのインピーダンスを、

X_{12} : 一次—二次間 インピーダンス

(一次から見た Ω 値)

X_{13} : 一次—三次間 インピーダンス

(一次から見た Ω 値)

X_{23} : 二次—三次間 インピーダンス

(二次から見た Ω 値)

とすれば、

$$X_{12} = x_S + \left(\frac{V_S}{V_R + V_C} \right)^2 (x_C + x_R) + \left\{ \frac{V_S \cdot V_R}{V_T (V_R + V_C)} \right\}^2 x_T$$

$$X_{13} = x_S + x_C + x_R + \left(\frac{V_S + V_C}{V_T} \right)^2 x_T$$

$$X_{23} = x_C + x_R + \left(\frac{V_C}{V_T} \right)^2 x_T$$

となる。本変圧器の場合の各インピーダンスのタップによる変化の様子

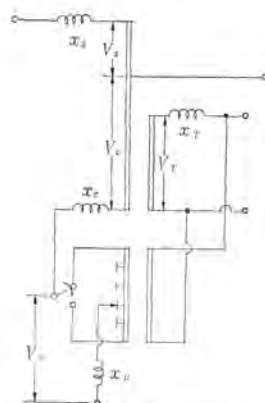


図 3.2 等価回路
Equivalent circuit.

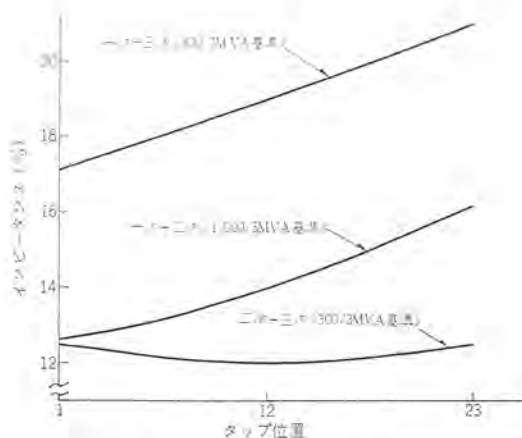


図 3.3 タップによるインピーダンス変化
Impedance vs. tap position.

を図3.3に示す。

一次—二次間のインピーダンス値14%は、通過容量1,000 MVA基準での値であり、この値は自己容量450 MVA基準でみた場合には31%となり、従来の変圧器と比べて非常に高いインピーダンスである。このため変圧器内部の漏えい(洩)磁束量、電磁機械力、コイル内および構造物体中の渦電流損失の増大などについても十分な検討をおこなった。

4. 構造

4.1 巻線構造

主変圧器のコイル配置を図4.1に示す。直列・分路巻線は、図のようにツジミ形に配置され、4群並列になっている。このように、線路端を中心に両側に並列巻線群を対称に配置すれば、線路端の巻線間主絶縁寸法は不要になり、また直列巻線と分路巻線の間も主絶縁でなく、その部のコイル間絶縁だけでよくなる。電界分布の上からも、線路端に電界が集中することもなく、したがって高い耐力の対地主絶縁を備えた段絶縁構成になっている。本器のようにインピーダンスが高い場合には漏えい磁束が多くなるが、これに対してもコイル配置が完全対称であるので、構造物等に発生する漂遊損失を少なくすることができる。

負荷時電圧調整器のコイル配置を図4.2に示す。タップ切換器には従来から使用して実績のある三相用MRF形タップ切換器を使用する関係上、タップコイルは2分割し、その1コイルにMRF形タップ切換器の切換開閉器1セクターを、他のコイルに残り2セクターを並列に接続する方式がとられている。また、主変圧器の中性点も図4.1に示すように2分割し、電圧調整器との間を二重導体2ブッシングを用いて接続し、電流が完全に分流するようになっている。

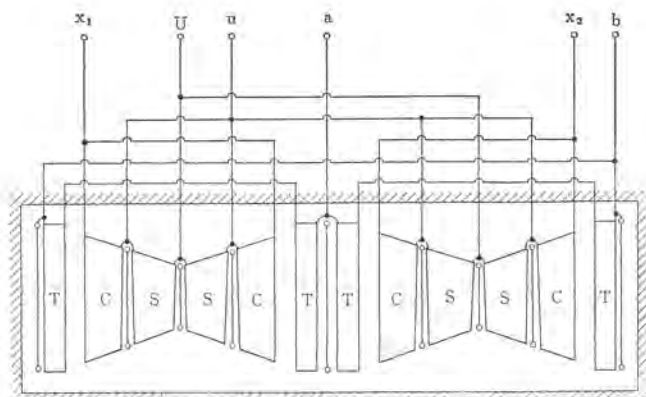


図 4.1 主変圧器コイル配置
Coil arrangement of main transformer.

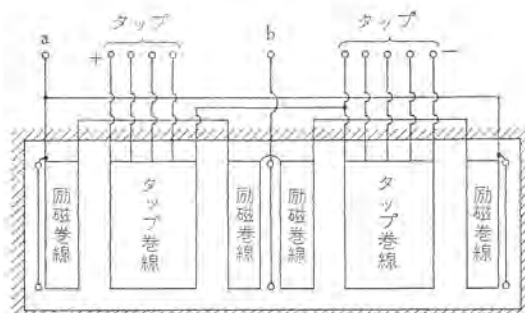


図 4.2 負荷時電圧調整器コイル配置
Coil arrangement of voltage regulator.

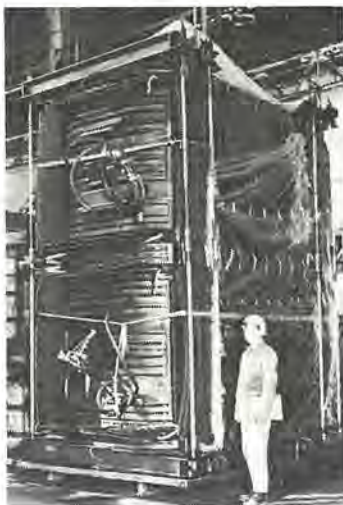


図 4.3 主変圧器のコイルグループ
Coil group of main transformer.

4.2 絶縁構成

絶縁構成としては、従来から超高圧変圧器に用いられている E 形絶縁を採用している。E 形絶縁は、サージブルー絶縁にさらに改良を加えて絶縁耐力およびコロナ開始電圧を改善したもので、設計的には下記の点に主眼がおかれている。

(a) 電界集中の生じやすいコイル端部に、半円形シールド線を設けて電界集中の緩和をはかる。

(b) 静電板端部にも曲率半径の大きい導体を設け、かつ誘電率および耐電圧の高いプレスボードで完全におおい、電界集中の緩和・耐圧上昇をはかる。

(c) 絶縁構成材となるプレスボード・ワッシャ・チャネル類の重なり部分はすべてテープ加工を行なって油げき(隙)貫通部分をなくする。

(d) 電界集中の生じやすいコイル近傍には、誘電率の高いプレスボードを多く配置し、コイルから遠ざかるにつれて、油ダクトの占める割合を多くし、全体的に電界の均等化をはかる。

このように、E 形絶縁は設計的に多くの改良がほどこされているが、これらの目的を実現するためには、巻線と絶縁物の寸法精度を向上することが必要であり、また絶縁物にテープ加工などの機械加工作業を行なうためにも、絶縁物の寸法を一定にコントロールする必要がある。このため、絶縁材料のプレスボードは、ホットプレス方式によって製作され、気密パッケージで輸送される LM(Low Moisture) プレスボードが採用され、絶縁物の加工・組立は空気調節をほどこした工場で行なわれている。これは、絶縁物の寸法精度向上とともに、巻線・絶縁物内にじんあいの混入を防ぐうえでも効果がある。また、各絶縁物寸法算出のミスを除くため、絶縁材料寸法計算には電子計算機が用いられ、加工設備の数値制御化などと製造設備・環境の改善にも大きな力が注がれている。外鉄形コイルの場合には積層絶縁物は全然使用されていないので、これによるボイドコロナの発生はないが、接着剤が一部に使用されるので、これによるボイドコロナの発生をおさえるために接着剤の材質の選定・使用量の減少などの細心の注意を払っている。

4.3 鉄心その他の中身構造

鉄心は、冷間圧延ケイ素鋼帯を使用し、額縁形に積み上げ、上部および下部タンクフランジで、全周を強固に締め付ける通常の外鉄形フォームフィット構造で、磁気特性の劣化が少なく、重量・油量が少なくすむなど、数々の特長を有している。

漏えい磁束によって構造物に発生する漂遊損については、漏えい磁束の大きさ・方向などを電子計算機を用いて詳細に算出し、最適量の磁気シールドをタンク内面・タンク(鉄心レッグ部)などに配置して漂遊損の発生を最小限におさえる設計がなされている。また、鉄心端部あるいはタンク内の突出部分で電界の集中するところには、シールドリングや接地板を設けて電界集中の緩和をはかっている。

4.4 ブッシング

ブッシングはすべて当社で経験豊富な油入コンデンサ形である。耐塩害仕様であるために 500 kV ブッシングの気中剛がい(碍)管は 8 m と非常に長いものが使用されている。このような長大がい管を使用する場合には耐震が問題になるが、当社では、8 m がい管について耐震試験装置を用いて各種試験を行なうと同時に、電子計算機による理論解析などで詳細に検討を行なった。これについては本号別稿に述べられているので省略するが、本変圧器の場合に 0.3 g 共振正弦 3 波(突印)のきびしい地震波に対しても 2 倍以上の安全率を有することが証明されている。

5. 試験

今回製作する変圧器は、わが国初の 500 kV 変圧器で、とくに信頼性の高い製品にする必要があるため、製品に先行して製品とまったく同一設計の試作器を製作した。この試作品で、一般の特性試験や耐電圧試験・温度上昇試験を実施した後、超々高圧変圧器で特に問題になるコロナレベルの測定・長時間過電圧試験などを行なった。最後に、絶縁破壊試験を実施して製品の信頼性を確認した。

5.1 試験電圧

絶縁試験のうち、商用周波耐電圧試験電圧をいかにすべきかについては、IEC においても明確にされておらず、また、わが国においても、電気学会試験電圧標準特別委員会検討中である。しかし本変圧器では、長年の実績がある 275 kV 変圧器の試験値 460 kV を比例的に延長した、 $460 \text{ kV} \times \frac{500}{275} = 840 \text{ kV}$ で試験しても十分に耐えることを一応の目安として設計をおこなった。

衝撃耐電圧試験値としては、各変圧器ごとに設置される高性能避雷器の保護性能(制限電圧 1,220 kV)と協調をとって 1,550 kV とし、開閉インパルス試験値については抵抗投入方式のシャ断器が採用され、開閉サージ電圧が常規対地電圧波高値の 2 倍以下に押えられ、避雷器の開閉サージに対する保護能力が 1,090 kV であることなどから 1,200 kV が採用された。

5.2 コロナ試験

長時間過電圧試験として 455 kV(常規電圧×1.5)で 1 時間、600 kV(常規電圧×2)で 5 分、455 kV で 1 時間の順序で連続して印加し、その間コロナ測定を行なった。コロナ測定には狭帯域測定器(ラジオノイズメータ)を用いて μV で表示する NEMA 法と、パルス電流を測定して pC で表示する ERA 法の両者を用い、高圧ブッシングのコンデンサはく(箔)の分圧タップより、同軸切換スイッチを用いて同時に測定した。その結果、長時間印加中レベルの変化はほとんど認められなかった。測定にあたって、気中コロナをおさえるため、高圧・中圧ブッシングに現地で用いる気中シールドより大きい球状シールドを設け、外部雑音レベルを下げるために十分にしゃへいされた超高圧実験室で行なった。

5.3 絶縁破壊試験

一般試験をすべて完了した後、まず交流破壊電圧試験を行なった。100% 試験電圧値 840 kV より 10% ずつ電圧を上げて試験したが、

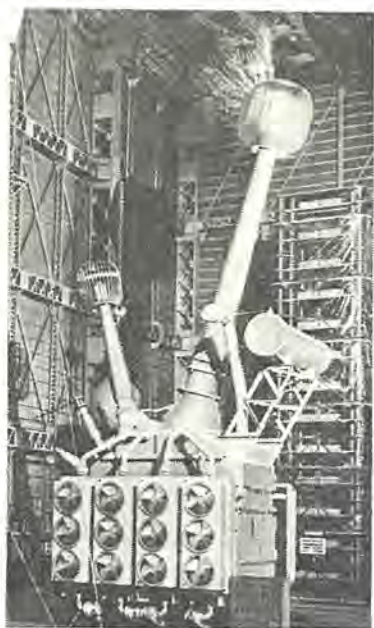


図 5.1 1,134 kV 誘導耐圧試験
1,134 kV induction test of main transformer.

表 5.1 交流電圧破壊試験
Breakdown test of power frequency voltage.

倍 %	誘導電圧 kV	試験時間 sec	コロナ測定値 NEMA 法 μV	結 果
100	840	34	4.5	絶縁破壊せず
110	925	34	176	絶縁破壊せず
120	1,010	34	176	絶縁破壊せず
130	1,090	34	—	絶縁破壊せず
135	1,134	34	316	絶縁破壊せず

試験設備の都合で 135% (1,134 kV) まで印加し、この値まで破壊しなかった。また、試験中 NEMA 法によるコロナ測定をおこなった。過電圧印加時には、間欠的に気中コロナが発生した (図 5.1) が、測定は発生の合間をみて行なった。また可視コロナの発生のない場合にも、若干の外部コロナを発生し、測定値が高くなっていると思われるので、840 kV については、実用器についてシールド等を改良し再測定を行なった (表 5.1)。135% までの交流破壊電圧試験後、常規電圧の 2 倍までの電圧で NEMA 法によるコロナ試験を行なったが、交流破壊電圧試験前の測定値と比較してほとんど変化が認め

表 5.2 衝撃電圧破壊試験
Breakdown test at impulse voltage.

倍 %	率	印加電圧 kV	印加回数	結 果
110		1,705	3	絶縁破壊せず
120		1,860	3	絶縁破壊せず
130		2,020	3	絶縁破壊せず
140		2,170	3	絶縁破壊せず
150		2,320	3	絶縁破壊せず

印加波形 $1 \times 40 \mu s$

られなかった。

この後、衝撃耐電圧破壊試験を 100% (1,550 kV) より 10% ステップで、各ステップ 3 回ずつ 150% まで試験を行なったが、破壊せず、その後のコロナ試験にも変化が認められなかった。

以上の経過で絶縁破壊試験を行なった後、解体して絶縁物のコロナこん跡を入念に調査したが、なんら異常がなく、さらに、油についても油中ガス分析などを行なって詳細に検討したが変化は認められず、絶縁に対する十分な信頼性のあることを確認した。

6. む す び

わが国初の 500 kV 送電に使用する東京電力(株) 向け 1,000 MVA 変圧器の概要を紹介した。製作に先立って製品と同一設計の試作器によって各種の試験を行ない、仕様を十分に満足することが確認された。

最後に、本変圧器製作に当たってご指導を賜った東京電力(株)のかたがたに深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 田村, 菅: 三菱電機技報 39, No. 5, 2 (昭 40)
- (2) 菅, 竹内, 平井, 但馬: 三菱電機技報 41, No. 3, 424 (昭 42)
- (3) 村上, 田村, 神谷: 三菱電機技報 41, No. 3, 409 (昭 42)
- (4) 坂田, 清水, 三浦, 西山: 三菱電機技報 41, No. 3, 418 (昭 42)
- (5) 岩崎, 青木, 三浦, 佐藤: 三菱電機技報 41, No. 3, 439 (昭 42)

500 kV SF₆ ガスしゃ断器

富永正太郎*・大野 玲*・松田 節之*

500 kV SF₆ Gas Circuit Breakers

Itami Works

Shōtarō TOMINAGA・Akira Ohno・Setsuyuki MATSUDA

A new era is dawning in this country to realize 500 kV power transmission. On this occasion, Mitsubishi has developed 500-SFH-50 conventional porcelain type SF₆ gas circuit breakers and 500-SFHT-50 grounded tank type SF₆ gas circuit breakers for use on the 500 kV system. The former is a part of the series of type SFH which has a good number of supply records at voltages below extra high voltage. The latter is modification of a grounded tank type unit developed for a gas insulated switchgear based on the SFH circuit breaker with bushings set up upright. It can be used to meet conditions of salt contamination hazard or at a special point.

They are products proved highly reliable after undergoing a number of examinations. The article introduces their test results as well as their construction and operation.

1. ま え が き

わが国においても 500 kV 送電を目前に控える時期に至っているが、当社において開発した 500 kV 用しゃ断器は SFH 形および SFHT 形 SF₆ ガスしゃ断器である。

500 kV 用 SFH 形 SF₆ ガスしゃ断器は、すでに超高压系統以下で多数の納入実績を有するがいし形 ガスしゃ断器である SFH 形シリーズの一環であり、さきに 500 kV 送電実証試験研究委員会の要請によって、超高压電力研究所 武山研究所に供試しているものの 4 点しゃ断化したものである。

一方、500 kV 用 SFHT 形 SF₆ ガスしゃ断器は、SFH 形しゃ断器を基にした ガス絶縁開閉装置用としてさきに開発・発表した⁽³⁾接地タンク形しゃ断器にブッシングを立てたものであり、耐塩害条件・据付場所条件等の要求によってしゃ断器単体としても使用できるものである。

このたび、新たに SFH 形および SFHT 形両者の 500 kV 用 SF₆ ガスしゃ断器を設計・製作し、諸特性試験を実施したので、ここに構造および試験結果の概略を紹介する。

2. 定 格 仕 様

表 2.1 に定格仕様の一覧を示す。これらの定格仕様は JEC-181 電力用交流しゃ断器および“500 kV しゃ断器の標準仕様”に準じている。図 2.1 に 500-SFH-50 形ガスしゃ断器、図 2.2 に 500-SFHT-50 形ガスしゃ断器の一相分の外観を示す。

表 2.1 500 kV ガスしゃ断器定格表
Ratings of 500 kV gas circuit breaker.

形 名	500-SFH-50, 500-SFHT-50
定 格 電 圧	kV 550
定 格 電 流	A 4,000, (8,000), (12,000)
定 格 周 波 数	Hz 50/60
定 格 し ゃ 断 電 流	kA 50
再 起 電 圧 上 昇 率	kV/μs 1.8
定 格 投 入 電 流	kA 125
定 格 短 時 間 電 流	kA 50
定 格 し ゃ 断 時 間	サイクル 2
無 負 荷 投 入 時 間	S 0.1
操 作 方 式	油圧操作
定 格 操 作 油 圧	kg/cm ² ・g 320
定 格 投 入 制 御 電 圧	V DC 100
定 格 引 き は ず し 電 圧	V DC 100
定 格 ガ ス 圧	高压側 15
	kg/cm ² ・g 2 (SFH) 3 (SFHT)
	低压側
標 準 動 作 責 務	高速度再投入
し ゃ 断 点 数	4

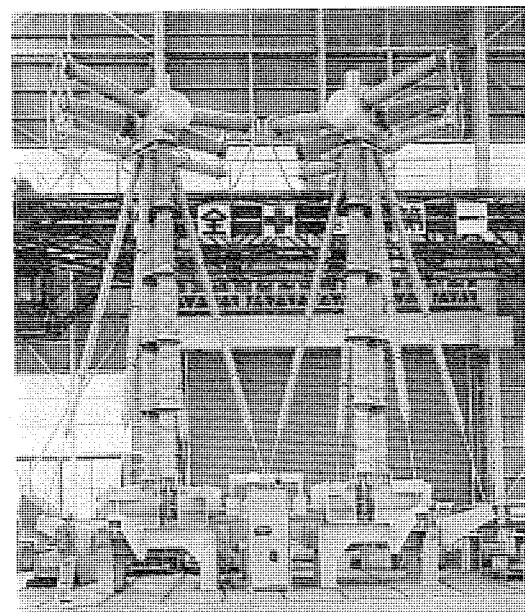


図 2.1 500-SFH-50 形ガスしゃ断器
One phase of 500-SFH-50 type SF₆ gas circuit breaker.

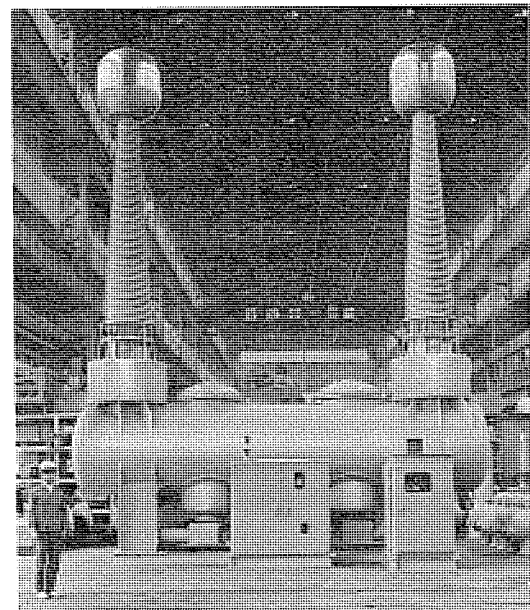


図 2.2 500-SFHT-50 形ガスしゃ断器
One phase of 500-SFHT-50 type SF₆ gas circuit breaker.

3. 構造および動作

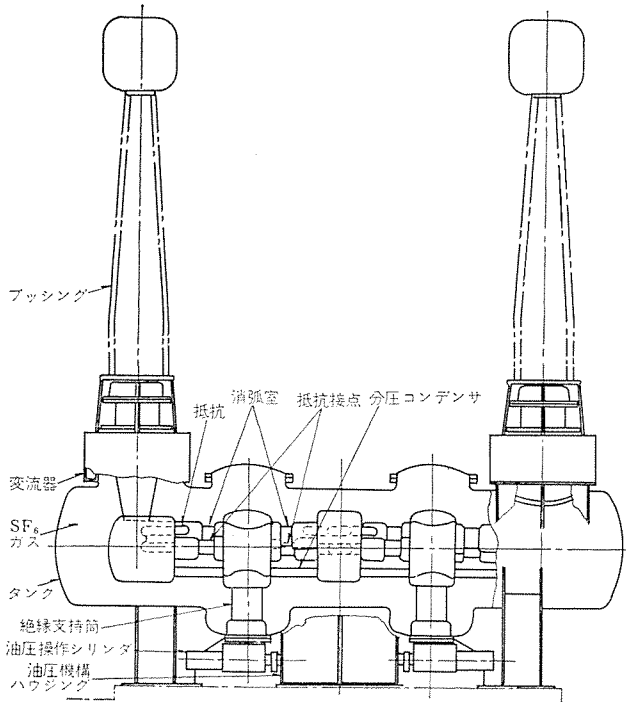


図 3.1 500-SFHT-50 形ガスしゃ断器構造図
Cross section of 500-SFHT-50 type gas circuit breaker.

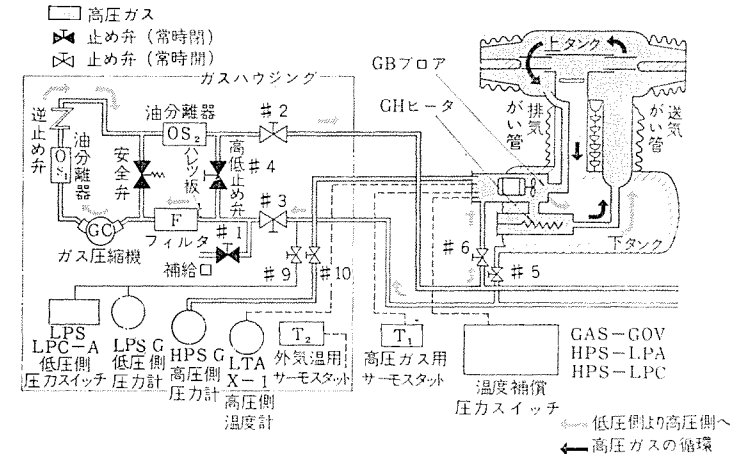


図 3.2 ガス系統図
Gas system of SF₆ gas circuit breaker.

動作説明

・この図は引きはずし状態を示す。(1相分を示す)

1. 投入動作

- (1) AF₁ 励磁
- (2) AF₁ が下がる
- (3) 高圧油が AH₀→AH₁₀→AH₆
- (4) AH₅ を閉じる AH₄ を開ける
- (5) 高圧油が AB→AH₄→C
- (6) C₃ を閉じる C₅ が降下 C₄ 開
- (7) 高圧油 AB, B→C→N (N₁ を閉じる)→M 油圧ピストン降下投入

2. 投入保持

- (1) 高圧油 AH₄→AH₁₁
- (2) AH₀ を閉じる
- (3) AH₅ を押したまま (自己保持)

3. 引きはずし動作

- (1) AF₂ 励磁
- (2) AH₂ 開 AH₅ の背圧を除く
- (3) AH₅ 昇 (開) AH₄ 昇 (閉)
- (4) 排油 AP→A, C→A, C₃, C₅ の背圧を除く
- (5) C₅ 昇→C₄ 昇 (閉) C₃ 昇 (開)
- (6) N の油を除く 排油 N→C₃→D
- (7) N₁ 下降 (開) 排油 M→N→D
- (8) 加速ばねにより油圧ピストン上昇しゃ断
- (9) (6)(7)の排油が終わると C₃N₁ は閉じる

4. 引きはずし自由動作

- (1) AF, AF₂ が同時に励磁されると AF₁ により高圧油が AH₀→AH₁₀→AH₆ AF₂ により高圧油が AH₀→A に抜け引きはずし動作をする。

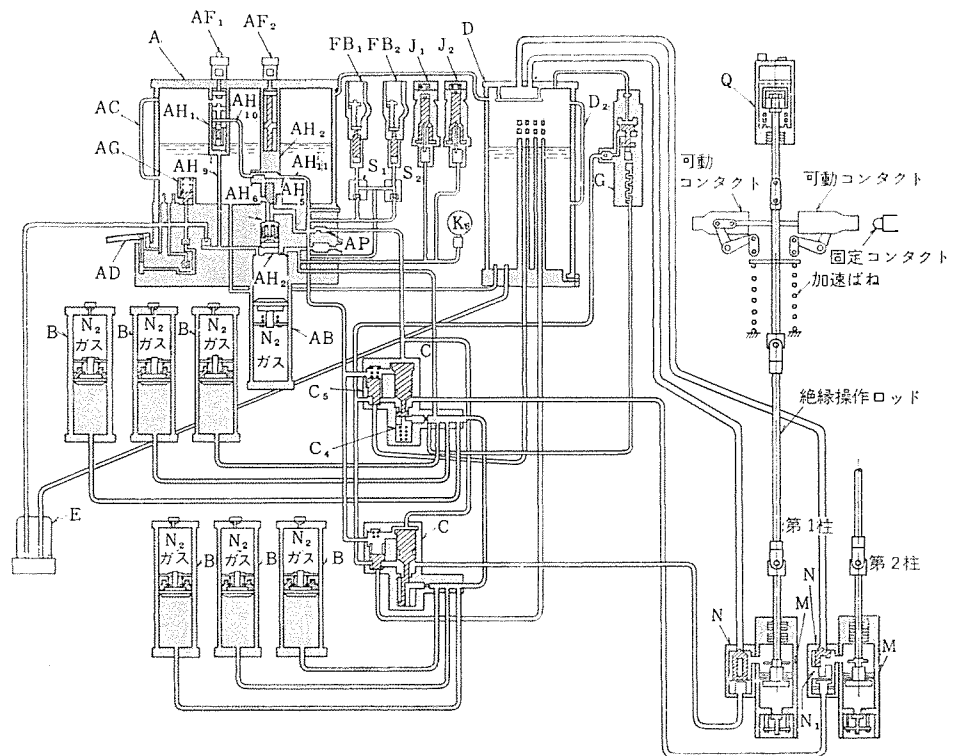


図 3.3 油圧操作機構系統図 (一例)

Oil hydraulic oil system of SF₆ gas circuit breaker.

記号	名称	記号	名称	記号	名称	記号	名称
A	操作ブロック	E	電動油圧ポンプ	M	油圧シリンダ	AH ₀	遮止弁
AB	アキュムレータ (0.6 l)	FB ₁	回転スイッチ用油圧シリンダ	N	高速排油弁	AH ₀	投入弁送油管
AC	油面計	AD	手動ポンプ	Q	ダッシュポット	AH ₁₀	投入制御油管
AF ₁	投入用電磁コイル	FB ₂	回転スイッチ用油圧シリンダ	AG	安全弁	AH ₁₁	自己保持制油管
AF ₂	引きはずし用電磁コイル	G	減圧弁	AH ₁	投入弁	AP	遮止弁
B	補助アキュムレータ	J ₁	圧カススイッチ (ポンプ用)	AH ₂	引きはずし弁	C ₃	排油弁
C	油圧リレー	J ₂	圧カススイッチ (鎖錠警報用)	AH ₃	低油圧引きはずし装置	C ₄	油圧シリンダ給油弁
D	油タンク	K ₅	圧力計	AH ₄	給油弁	C ₅	弁操作ピストン
D ₂	油面計	S ₁ , S ₂	回転スイッチ油圧シリンダ用ブロック	AH ₅	排油弁		

弧室絶縁物や支持絶縁物の外面は空気の代わりに絶縁性のよい SF₆ ガスに囲まれるために小形化され、コンパクトにまとめられ、さらにプッシング形変流器の取付けができる。操作機構・ガス系統制御は 500-SFH-50 と同様であり、動作もまったく同じである。

図 3. 2 に ガス 系統図、図 3. 3 に油圧操作機構系統図を示す。

3. 1 投入動作

油圧操作機構の投入弁を開くと、油圧シリンダ給油弁が開き、高压油を油圧シリンダに送り、加速ばねを圧縮するとともに投入動作が行なわれる。主接触子と並列に開閉サージ抑制用として一相約 1,000 Ω の投入抵抗素子とその接点 が設けられ、その接点は機械的に主接触子と連結され、主接触子よりも約 10 ms 早く接触する構造になっている。

3. 2 引きはずし動作

引きはずし弁を開くと、油圧シリンダ給油弁を閉じ、排油弁および高速排油弁を開いて油圧シリンダの油を高速に排油し、加速ばねに蓄積されていたエネルギーを解放することにより引きはずし動作が行なわれる。主接触子が駆動されるとともに排気弁が開き、高压ガスがアークに吹きつけて消弧する。このとき、主接触子固定側が一定ワイピング距離と可動接触子に追従するのに対し、抵抗接触子はただちに開くので、主接触子のほうがおくれて開極する。なお、排気弁はしゃ断完了のあとで閉じられ、極間の絶縁は高压ガス中で開極している接触子間で維持される。

3. 3 ガス系統制御

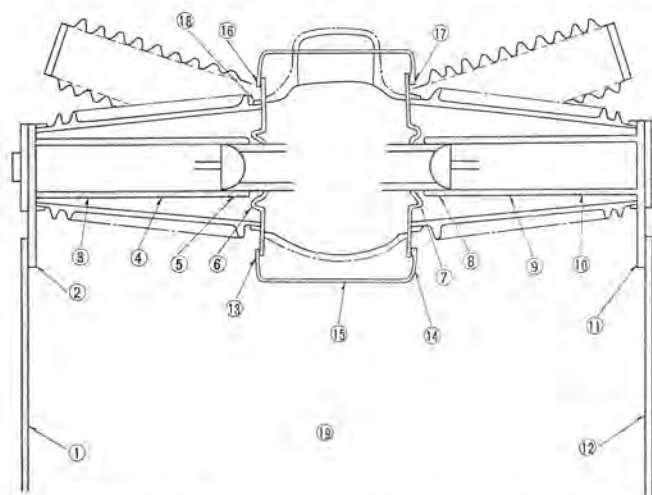
引きはずし動作時に高压側ガスが低压側に放出されるが、温度補償圧力スイッチによってガス圧縮機を運転して、高压側のガス圧を常に一定範囲のガス密度になるように制御する。

また、冬期の寒冷時に高压ガスの液化による圧力低下を防ぐため、強制加熱循環系統が設けられている。

大電流定格容量 (8,000 A・12,000 A) の場合には、強制冷却装置を付属させる。

4. 試験結果

JEC-181, 電気事業連合統一規格 (B-112) および 500 kV 送電特



- 1, 12: 端子より 1 m の導体
2, 11: 端子
3, 10: 固定コンタクトさきえ中央部
4, 9: 固定コンタクト接続部
5, 8: 主接触部
6, 7: フインガコンタクト接触部
13, 14, 16, 17: 外部導体接続部
15: 外部導体中間
18: がい管
19: 周囲温度

図 4. 1 温度測定点

Temperature rise measurement points of 500-SFH-50.

別委員会しゃ断器専門委員会において、決定された“500 kV しゃ断器標準仕様”にもとづいた項目について、各種の試験を実施しているが、そのうちのおもなものを以下に記す。

4. 1 温度上昇試験

500-SFH-50 形の温度上昇試験結果を表 4. 1 に、温度測定点を図 4. 1 に示す。

また、500-SFHT-50 形の温度上昇試験結果を表 4. 2 に、温度測定点を図 4. 2 に示す。

4. 2 耐電圧試験

SFH 形・SFHT 形ともに表 4. 3 の耐電圧試験を実施し、良好な結果を得ている。特に、SFHT 形には SF₆ ガス中で小形化を図ったために、大きな電氣的ストレスが加わる有機絶縁物の信頼性を検証するため、長期通電課電試験を実施している。また、万一ガス漏れのためにガス圧が大気圧に下がったときでも対地間は常規大地電圧の 1.3 倍に耐えることが検証されている。

表 4. 1 温度上昇試験結果
Results of temperature rise test of 500-SFH-50.

測定箇所	連続閉路試験後 (°C)		温度上昇規格値 (°C)
	測定値	上昇値	
1	105	77	30 以上
2	63	35	40 以下
3	71	43	65 以下
4	68	40	65 以下
5	65	37	65 以下
6	61	33	65 以下
7	62	34	65 以下
8	65	37	65 以下
9	67	39	65 以下
10	71	43	65 以下
11	62	34	40 以下
12	103	75	30 以上
13	63	35	40 以下
14	62	34	40 以下
15	53	25	70 以下
16	61	33	40 以下
17	63	35	40 以下
18	46	18	50 以下
19	28	—	-20~+40
通電時間	8 h		—
封入ガス圧	14 kg/cm ² (at 28°C)		—

供試器 : 4,000 A 用 1 柱
通電電流 : 4,000 A
周波数 : 60 Hz
測定器 : 熱電対自動記録温度計
接線導体 : 耐熱アルミ導体 1,000 mm²×2

表 4. 2 500-SFHT-50 形しゃ断器温度上昇試験結果
Results of temperature rise test of 500-SFHT-50.

測定箇所	測定値 °C	上昇値 deg	温度上昇規格値 deg
1. 端子より 1 m の導体	84	59	30 以上
2. 端子	61	36	65
3. プッシング内側端子	55	30	65
4. 消弧室端子	64	39	65
5. 固定接触子接続部	70	45	65
6. 主接触部	74	49	65
7. レッ動接触子接続部	66	41	65
8. 導体中央部	49	24	70
9. レッ動接触子接続部	65	40	65
10. 主接触部	75	50	65
11. 固定接触子接続部	71	46	65
12. 消弧室端子	65	40	65
13. 導体中央部	57	32	70

通電電流 : 4,000 A 60 Hz
通電時間 : 12 時間
ガス圧 : 定格
測定器 : 熱電対自動記録温度計

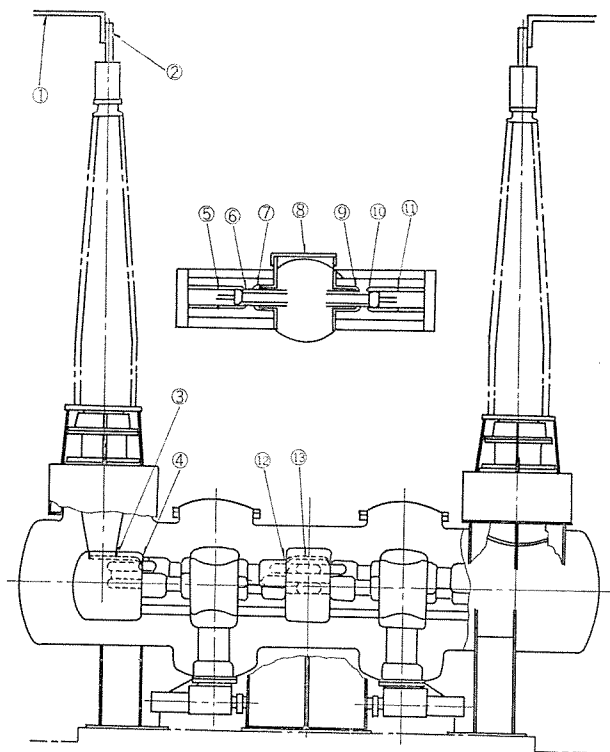


図 4.2 500-SFHT-50 温度測定点
Temperature rise measurement points of 500-SFHT-50.

なお、コロナ試験は、両者ともに常規対地電圧の1.3倍で実施している。特に、SFHT形に対してはERA-Ⅲ形コロナ試験器によって内部コロナを測定したが、有害なコロナの発生は認められなかった。

4.3 シャ断試験

実負荷および合成短絡シャ断試験結果を表4.4に、充電電流シャ断試験結果を表4.5に示す。特に、500kVシャ断器は投入抵抗を有しているが、線路短絡時・脱調時の投入条件を想定して試験し、投入抵抗体が多数回投入時の熱責務に耐えることを確認している。

4.4 耐震試験

500-SFH-50形は大形加振機によって、正弦波（共振3波等）、実地震波形（エルセントロ地震・新潟地震・埼玉地震等）で加振して、そ

表 4.3 耐電圧試験
Conditions of dielectric test.

種 別	区 分	対 地 間	極 間	条 件
商 用 周 波		840 kV	840 kV	乾燥 1分間 注水 10秒間
標 準 イ ン パ ル ス ($\pm 1 \times 40 \mu s$)		1,800 kV	$1,800 + \frac{550}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2}$ kV	乾燥 注水
開 閉 イ ン パ ル ス ($\pm 100 \times 2,500 \mu s$)		1,200 kV	1,200 kV	乾燥 注水

表 4.4 短絡シャ断試験
Short circuit interruption test.

試 験 の 種 類	動作責務	シャ断点数	シャ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	再 起 電 圧		投入電流 kA	アーク時間 サイクル	シャ断時間 サイクル	備 考
			対 称 分 kA	直 流 分 %			上 昇 率 kV/ μs	波 高 値 kV				
単 相 実 負 荷	O 0.35秒 CO CO	1	53.5	0	96	15.5	0.18	35	—	0.3	1.6	
			50.2	40	93				150	0.4	1.7	
			50.2	35	94				145	0.5	1.8	
単 相 実 負 荷	O 0.35秒 CO	2	3.5	0	97	225	2.6	570	—	0.5	1.8	
			3.5	55					9.1	0.5	1.8	
単 相 合 成	O O O	1	50	0	100	124	1.4	245	—	0.4	1.7	
									—	0.5	1.8	
									—	0.6	1.9	
単 相 合 成 (脱調条件)	O O O	1	25	0	100	191	1.7	340	—	0.3	1.6	
									—	0.4	1.7	
									—	0.5	1.8	
単 相 合 成 (SLF条件)	O O O	1	45	0	100	124	1.8	18	—	0.3	1.6	
									—	0.4	1.7	
									—	0.5	1.8	

注) 60 Hz, ロック圧にて実施

表 4.5 充電電流シャ断試験
Leading current interruption test.

シャ断点数	試 験 電 圧 kV	シャ断電流 A	再点弧回数 回	再発弧回数 回	試 験 回 数 回	シャ断時の過電 圧倍率	備 考
1	120	7.5	0	0	12	1以下	シャ断位相は各電流とも $\pi/6$ 間隔で位相制御した
		7.6	0	0	12	1以下	

注) 60 Hz, ロック圧にて実施

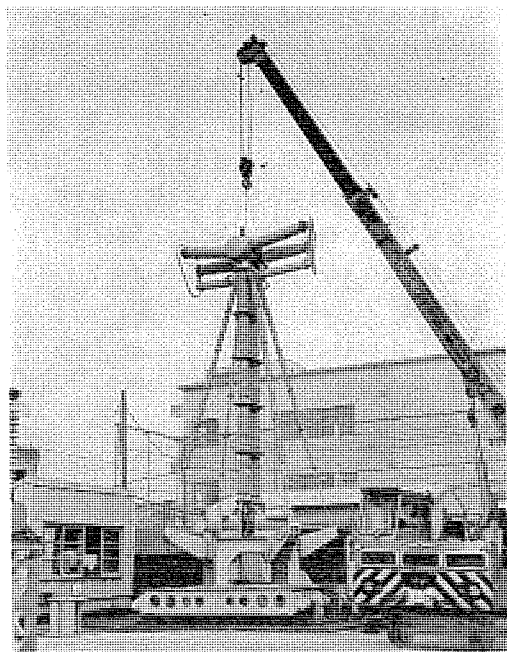


図 4.3 500-SFH-50 形しゃ断器加振状況
Under shaking test of 500-SFH-50 type gas circuit breaker.

の耐震強度を検証した。なお、その仕様および検証方法については、いまだ確定していないため、当社の考え方（参考文献参照）にもとづいて実施しているが、十分な耐震性能を有しているものと確信している。

また、500-SFHT-50 形については、もともと耐震性の良い構造であるが、耐震強度が問題になる耐塩害用ブッシングについては耐震試験を実施し、十分な耐震性能を有していることを確認している。図 4.3 に 500-SFH-50 の実加振試験状況を示す。

4.5 その他の試験

以上に述べた試験のほかに、 10^4 回連続開閉試験・汚損洗浄試験・短時間電流試験・耐寒試験・騒音特性試験等を実施し、良好な結果を得ている。

5. 特 長

以上に述べてきた 500 kV 用 SF_6 ガスしゃ断器は、つぎのような特長をもっている。

(1) すぐれたしゃ断性能

SF_6 ガスの常時充気式であり、短絡しゃ断性能はもちろん、近距離線路故障しゃ断・異相地絡しゃ断・脱調しゃ断に対してもすぐれた性能を有している。

(2) 低い過電圧発生

充電電流しゃ断はもちろん、変圧器励磁電流のような遅れ電流のしゃ断に対して有害な異常電圧を発生しない。なお、投入サージ抑制のために投入抵抗をもうけている。

(3) 低騒音

完全な密封構造であるために排気騒音がない。

(4) 小 形

しゃ断点数が少なく、コンパクトな構造である。

(5) 長期間保守点検の必要がない

SF_6 ガス中では接触子の消耗が非常に少なく、ほとんど接触子を取りかえる必要がない。

(6) 良好な耐震特性

大形加振機によって地震に対する安全性は十分に検証し、その安全性を確認している。

(7) 完全なユニット

1 台のしゃ断器に操作機構はもちろん、ガス圧縮機も備えた完全なユニット式であるので、長距離の高圧空気配管を行なう必要がない。

6. む す び

以上、500 kV 系統用 SF_6 ガスしゃ断器の概要について紹介した。これらのしゃ断器はすでに多数の実績のある超高圧以下のガスしゃ断器にもとづいたものであり、信頼性の高い製品がいつでも供給できる態勢にある。

終わりに、このガスしゃ断器の開発にあたって、各電力会社はじめ、関係先各位よりご指導ご協力を賜ったことを心から感謝するものである。

参 考 文 献

- (1) 瀬渡，渡辺，大野：三菱電機技報，43，376（昭 44）
- (2) 富永，森岡，大野，山内：三菱電機技報，44，637（昭 45）
- (3) 稲村，松田：三菱電機技報，44，1,156（昭 45）
- (4) 志村，高橋，篠原，奥津：三菱電機技報，43，1,675（昭 44）
- (5) 送電機能研究委員会：500 kV しゃ断器の標準仕様（昭 45-3）

500kV 変流器

神谷 友清*・鶴田 敬二*
三浦 良和*・佐藤 辰夫*

500kV Current Transformers

Itami Works Tomokiyo KAMIYA・Keiji TSURUTA
Yoshikazu MIURA・Tatsuo SATO

When roughly divided 500 kV current transformers are of two kinds : one is of a porcelain type for use with porcelain type circuit breakers and the other is of a bushing type to be combined with dead tank type circuit breakers or with enclosed gas insulated switches.

Of a number of interesting subjects concerning with 500 kV porcelain type units, the most outstanding are the transient characteristic required by high speed relays and excellent earthquake proofness to meet the high reliability of 500 kV system. These two subjects taken up as the center of a topic, description is made herein on the result of the latest study on the 500 kV current transformer together with its construction and resistance against salt contamination.

1. ま え が き

500 kV 変流器 (以下 CT と略す) には、大きく分けて、がいし形しゃ断器と組み合わせるがいし形と、タンク形しゃ断器または密閉ガス絶縁開閉装置 (GIS) と組み合わせるブッシング形の 2 種類あり、過渡特性のような両者に共通な事項と、耐震強度・耐塩特性等がいし形特有の事項と二つあるが、ここでは、がいし形 CT について述べる。

500 kV CT の主絶縁構造は、間にはく (箔) を入れたコンデンサブッシングと類似の構造になっているので、500 kV CT だからといって、とくに本質的に問題となることはなく、それよりも、高速度リレーから要求されるすぐれた過渡特性、動的な応答を考えた耐震性能、および絶縁厚さの増加による温度上昇である。

当社では、昭和 39 年より 500 kV CT の開発に着手し (図 1. 1),

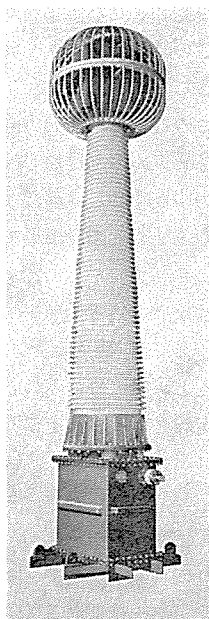


図 1. 1 500 kV 変流器
(昭和 40 年)
500 kV current transformer
(in 1965).

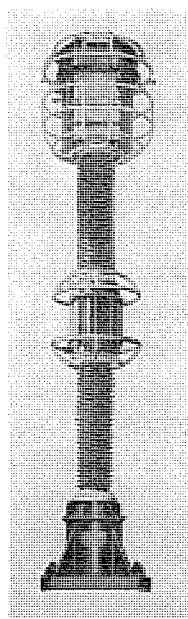


図 1. 2 カナダ BCH 納めカスケード形 500 kV 変流器
500 kV CT for BCH in Canada.

昭和 42 年には、カナダ BCH 向けに図 1. 2 の CT を製作し、さらに、東京電力 (株) との共同研究により 500 kV 12,000 A CT を製作し、本年 3 月には全試験を成功裏に完了した。これらの経験、超高圧以下の豊富な製作経験、および目前に迫った 500 kV 実用化を前にした最近の研究成果をもとに、過渡特性および耐震性能を中心に述べる。

2. 構 造

500 kV CT は図 2. 1 に示すように、大きく正立形・倒立形・カスケード形に分類できる。(a) の正立形は、超高圧では 3,000 A 程度以下の CT に多く見られる形であるが、一次導体が完全に主絶縁でおおわれているので、大電流になると温度上昇の面から (b) の倒立形が有利となる。しかし、この形は、鉄心が頭部ケース中にあるため頭部が非常に重くなるので、500 kV CT においては、耐震強度上ステーがいしによる補強などの対策が必要となるが、ステーがいしを付ける場合には、変電所の敷地、ステーがいしの強度などの制約があり実用面に問題がある。(c) の 1/2 カスケード形は、線路電圧の 1/2 に耐える CT を 2 段カスケードに接続したもので、絶縁物の量はおよそ $(1/2)^2 = 1/4$ になり、また熱的には問題はなくなるが、二次

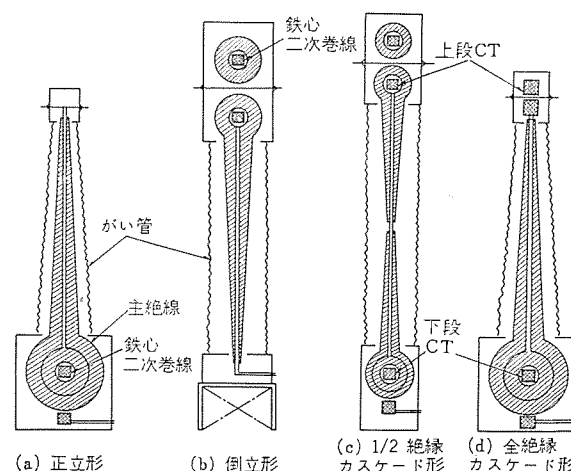


図 2. 1 500 kV 変流器の各種形式
Types of 500 kV CT.



図 2.2 500 kV 全絶縁 カスケード 形変流器, 12,000-6,000/1/1/1/1 A, 全高 10,400 mm, 8 m がい管使用
Full-insulated cascade type 500 kV CT 12,000-6,000/1/1/1/1 A, overall height 10,400 mm.

負担と、下段 CT のインピーダンスによって決まる頭部重量はあまり軽くないし、主絶縁があるので、その設計にスペース上の制約を受け、耐震上にもあまり有利でない。(d) の全絶縁カスケード形(図 2.2)は、絶縁的には(a)の正立形と同じで、カスケード形の利点はなくなるが、反面、上段 CT は設計上の自由度が増し、頭部重量も(c)にくらべて大幅に軽くできる。結局、500 kV CT においては、定格電流に応じて、(a)の正立形または(d)の全絶縁カスケード形が適している。

3. 過渡特性

500 kV 用高速度保護リレーと組み合わせられる CT は、一次側に直流分が重畳した短絡電流が流れたときの過渡特性について十分に検討を加えておかなければならない。CT に直流分が重畳した電流が流れると、鉄心中の磁束は、その直流分のために累積し、ついには鉄心飽和を生じて誤差が急増する。この現象、その対策、および 1½ CB 方式の特長について述べる。

(1) 直流分による磁束の増加と残留磁束

CT の等価回路は、鉄損分を無視して、図 3.1 のように表わされるが、直流分について数サイクルという短い時間の現象について考えるには、 i_0 も無視して考えれば十分である。 $R=R_{2t}+R_{2b}$, $L=L_{2t}+L_{2b}$ とすると、CT に i なる電流が流れたときの CT の誘起電圧は、 R と L の直列回路の誘起電圧

$$V(t)=Ri(t)+L\frac{di(t)}{dt} \quad (3.1)$$

となる。この誘起電圧を発生するための磁束 $\phi(t)$ は、

$$\phi(t) \propto \int_0^t v(t)dt = R \int_0^t i(t)dt + Li(t) + \phi_0 \quad (3.2)$$

ϕ_0 : $t=0$ のときの磁束(残留磁束)

となり、この式より、 $i(t)$ に直流分を含んでいると、 $R \int_0^t i(t)dt$ の項が大きくなり、磁束は増加することがわかる。100% 直流分が重畳した電流

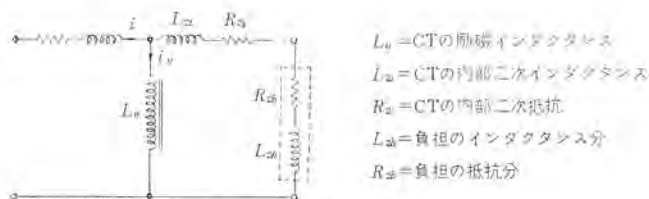


図 3.1 CT の等価回路
Equivalent circuit of CT.

表 3.1 直流分重畳による磁束の倍数(経過時間までの最大値)
Multiple of flux by superposition of DC component.

(60 Hz)

経過時間	負 担 $\cos \theta=1.0$				負 担 $\cos \theta=0.8$			
	0.1s	0.075s	0.05s	0.025s	0.1s	0.075s	0.05s	0.025s
1 サイクルまで	5.8	5.7	5.5	4.9	4.9	4.8	4.6	4.1
1.5	8.3	8.0	7.4	6.0	7.7	7.4	6.9	5.6
2	10.8	10.3	9.5	7.5	8.9	8.5	7.8	6.3
3	15.0	14.1	12.4	8.9	12.3	11.5	10.1	7.3
4	18.7	17.1	14.5	9.6	15.1	13.9	11.8	7.9
5	21.7	19.5	16.0	10.0	17.6	15.8	13.0	8.2

$$i(t)=I(e^{-t/T}-\cos \omega t) \quad (3.3)$$

が流れたとき、直流分重畳時の磁束を、交流分のみの定常状態のときの磁束と比較するには、式(3.3)を式(3.4)に代入して、計算すればよいから、

倍数 $M = \frac{\text{直流分重畳時の磁束の瞬時値}}{\text{交流分のみのときの最大磁束}}$

$$= \frac{RT + (L - RT)e^{-t/T}}{\sqrt{\left(\frac{R}{\omega}\right)^2 + L^2}} \cos\left(\omega t - \tan^{-1} \frac{R}{\omega L}\right) \quad (3.4)$$

ただし、 $t=0$ で $\phi_0=0$ とする

この式は、単調増加関数ではないので、そのときにおける値が最大値とはかぎらない。その時間までの最大値を計算して表 3.1 に示す。この表から直流分の磁束への影響は大きく、また時間の関数でもあり、たとえば、1.5 サイクルまで鉄心を飽和させないようにするには、交流分のみのときの 8.3 倍(直流分の時定数 0.1 秒、負担は純抵抗として)の鉄心断面積が必要となることがわかる。

式(3.2)中の ϕ_0 が残留磁束であり、この残留磁束と同方向の磁束を発生するような電流が流れると、残留磁束の分だけ鉄心は早く飽和することになるから、残留磁束は極力少なくしなければならない。残留磁束は、鉄心に微小ギャップを入れると、その反磁場によって最大磁束の 10% 以下になる。ただし、ギャップのために定常時の特性は少し悪くなるが、問題となることはない。

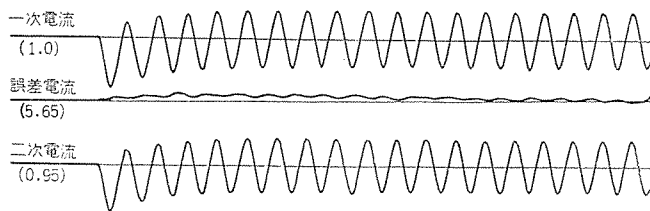
(2) 過渡過電流定数と鉄心断面積

(1) で述べたように、直流分が重畳すると、交流分のみのときの M 倍に磁束がふえるから、従来の過電流定数という表現を借りて、仮にこのときの過電流定数とすれば、

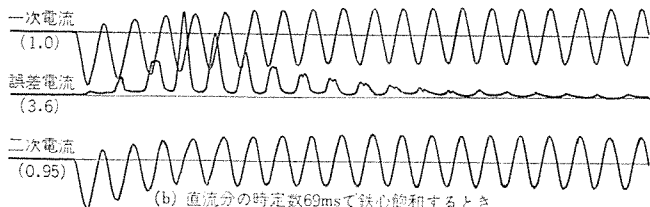
$$n' = M \times n$$

n : 従来の表現での過電流定数

となる。これは従来の過電流定数とちがって時間の関数でもあるので、過渡過電流定数というべきであろう。定格一次電流 4,000 A の場合を例にとれば、短絡電流 50 kA で、1.5 サイクルまで鉄心飽和が起こらないようにするには、直流分時定数 100 ms、負担率 1.0 として、



(a) 直流分の時定数36.4msで鉄心飽和しないとき



(b) 直流分の時定数69msで鉄心飽和するとき

供試変流器：12,000-6,000/1/1/1 A カスケード形
6,000/1 A タップ使用、一次電流 50 kA
左端の「 ϕ 」内の数値は一次電流を基準にしたときのオシロの倍率を示す

図 3.2 過渡特性オシログラム
Oscillogram of transient characteristics.

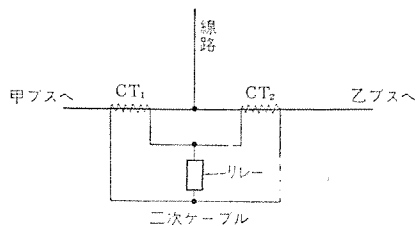


図 3.3 $1\frac{1}{2}$ CB 方式における変流器の結線
Connection of two current transformer in $1\frac{1}{2}$ CB system.

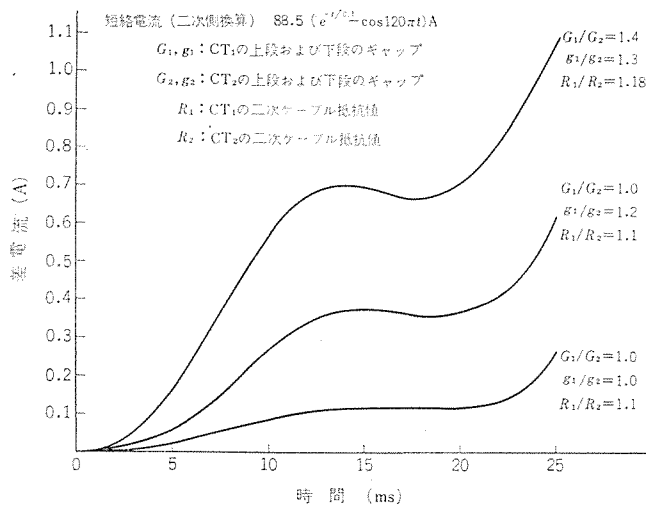


図 3.4 2 個の変流器の差電流
Differential current of two CTs.

$$n' = 8.3 \times \frac{50 \text{ kA}}{4 \text{ kA}} = 104$$

となる。従来品は $n=20$ であるから、5.2 倍の鉄心断面積が必要になり、断面積がふえると鉄心磁路長もふえるので、鉄心重量はさらに大きくなる。

鉄心断面積の大きさは、上に述べた過渡過電流定数のみでなく、負担 (VA) によっても変わる。CT の二次誘起電圧は、二次回路のインピーダンスに比例するので、磁束もインピーダンスに比例し、したがって、鉄心断面積 S は、

$$S \propto n' (VA + CT \text{ の内部 } VA)$$

となる。内部 VA は、一般に負担 VA とくらべて小さいので、鉄心断面積は、ほぼ $M \cdot n \cdot VA$ に比例することになる。

(3) 過渡時の特性

(1), (2) で述べたように、直流分が 100 % 重畳しても鉄心飽和が起こらないような CT の過渡特性について考えてみる。図 3.1 の等価回路で、励磁電流 i_0 (つまり誤差電流) に着目すると、 i_0 の直流分は、最初は 0 で徐々に増加し、そのうえに交流分の乗った電流になる。 L_0 は一定ではなく、磁束密度の関数であるので、時間がたてば、鉄心中の磁束は増加して L_0 は減少し、鉄心が飽和すると、ついには空心のインダクタンスになってしまうので、 i_0 は急増する。いったん飽和したあとは、ほぼ二次回路の時定数で飽和がとけていく。1.5 サイクルまで鉄心が飽和しないように製作されている、12,000-6,000/1 A カスケード形 CT の過渡特性の実測例を図 3.2 に示す。過渡時の誤差の表現方法は、まだ規格化されたものがなく、また過渡現象であるので、従来のように 1.0 級という呼び方もできない。一般に、500 kV 保護リレーは交流分のみで働くから、一次電流と二次電流の包絡線 (正および負のピーク値を結んでできる曲線) を引き、その幅で、一次電流と二次電流を比較するのも一方法である。この方法によると、図 3.3 の誤差は (a) の場合は 0.7 %, (b) の場合は 0.5 サイクルで 1.8 %, 1.0 サイクルで 4.2 %, 1.5 サイクルで 7.7 %, 2 サイクルで 9.4 % である。

一般に、パーセントで表示した CT の誤差は、過電流域のある段階までは少なく、鉄心飽和に近づくとき急激にふえるが、これは、鉄心の透磁率は 10,000 ガウス近くに最大値があるためである。したがって、鉄心が飽和さえしなければ、誤差は非常に小さいといえる。

(4) $1\frac{1}{2}$ CB 方式

500 kV 変電所の母線構成については、今までの 2 バス方式のほか $1\frac{1}{2}$ CB 方式も検討されている。この方式では、保護方式上および変電所機器配置上、線路端に CT を置くことが困難なため、2 個の CT の電流を突き合わせて線路電流を知ることになり、図 3.3 のような結線になる。この結線では、2 個の CT の差、および 2 個の CT をつなぐ二次ケーブルの長さの差 (つまり負担の差) によって、誤差電流が変わるという新しい問題が起こってくる。

電流の流れ方によっていろいろなケースが考えられるが、最も典型的な例として、甲バスから乙バスへ短絡電流が流れ、線路電流は 0 の場合を考えてみる。この場合には、リレーに流れる電流は 0 になるべきであるが、両 CT の特性差・負担差によっては電流は 0 にはならない。

正立形およびカスケード形 CT について、鉄心の励磁インダクタンスに微分透磁率 (磁束密度によって透磁率が変わる) の考え方を導入し、この現象を電子計算機を使って解析した。正立形にくらべ現象の複雑なカスケード形 4,000/5 A 100 VA 1.5 サイクルまで鉄心飽和が生じないように設計されている CT の計算結果の一部を図 3.4 に示す。これからみると、誤差 (とくに交流分誤差) 電流は非常に小さく、鉄心飽和が起こっていない範囲においては、両 CT の特性差・負担差が異常に大きくないかぎりには問題にならない値であろう。この図には示していないが、鉄心が飽和する領域になると、急激に差電流が増加し、図 3.2 (b) とどのような波形になるが、これは 2 個の CT に特性差または負担差があると、両 CT の飽和にいたる時間にほんのわずかな相違を生じ、一方の CT は飽和しているのに、他方の CT はまだ飽和していないという状態が生ずるためである。

4. 耐震強度

500 kV 送電系統の重要性からみて、500 kV CT の耐震強度は重要な研究課題である。500 kV CT は、とくに耐塩害を考慮したものでは、275 kV CT にくらべて高さは2倍以上にもなり、重量もはるかに増加するので、耐震強度について十分な解析・実験を行なって製作している。機器の耐震強度に対する考え方も、今までのように静的な荷重（たとえば、0.5 G の水平加速度）をもとにして考えていたのでは不十分であり、CT の機械的共振を考慮して実地震に対する動的な応答、あるいは CT が共振することも考えて（たとえば、共振正弦3波）各部の応力を知り、それらによって耐震強度を十分に検証しておく必要がある。当社では、超高压 CT 製作当初よりこの問題にとり組み、他のがいし形機器も含めて計算機による理論解析、および他社に先がけて設置した実地震波加振ができる大形加振機による実加振試験等をもとにし、条件の最もきびしい8 m がい管使用の500 kV CT を中心に耐震強度の向上・検証を行なった。理論的解析方法としては、CT を質量が連続的に、しかも不均一に分布している片持はり（梁）と考えて、このはりの振動を解析するという方法を採用した（詳しくは、本誌 プッシング 編参照）。

耐震試験は、図 4. 1 に示すように、8 m がい管使用の実製品（図 2. 2）とほぼ同じ形で行なった。実地震波・共振正弦3波の加振結果、500 kV プッシングの加振結果および理論解析より次のことが判明した。

（1）共振周波数

共振周波数は、がい管の大きさ・頭部重量等の諸元によって変わるのももちろんであるが、がい管取付部の曲げ剛性によっても変わる。本 CT での実測結果は 4.1 Hz であった。

（2）応力分布

がい管つけ根付近で最大で、長さ方向にほぼ直線的に分布する。本 CT では共振正弦3波のときの先端 1 g 当たりの最大応力 σ_{\max} は $44 \text{ kg/cm}^2/\text{g}$ であった。

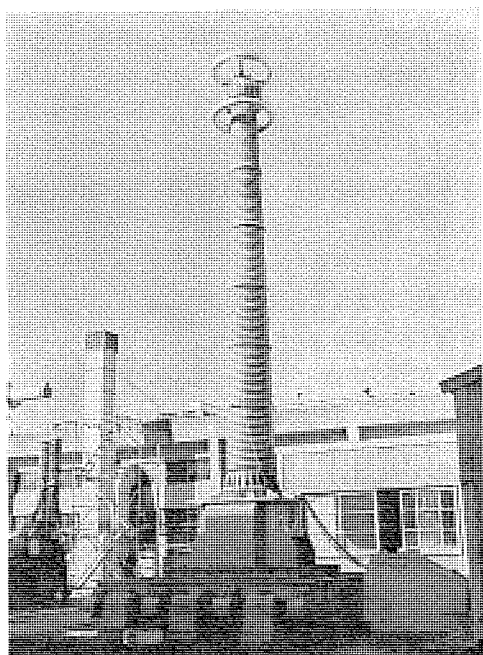


図 4. 1 加振試験中の 500 kV 変流器（図 2. 2 参照）
500 kV CT under shaking test.

（3）応答倍率

応答倍率は、先端加速度と加振台車加速度との比で表わされ、加振波形および加振加速度によって大きく異なる。加振波形による差は共振連続加振の場合が最も大きく、共振3波の場合には、連続加振の75～85%である。エルセントロ地震加振では、35～55%である。加振加速度による差は、加振加速度を上げると応答倍率が下がるということを実験的に検証した。これを振幅依存性と呼ぶこととするが、がいし形機器に特に顕著に現われることが他の実験からも判明した。本 CT の加振加速度 0.4～0.6 G での応答倍率は、次のような値となる。

共振連続	11 倍
共振正弦3波	9 倍
エルセントロ地震	6 倍
埼玉地震	3～4 倍
新潟地震	4～6 倍

（4）耐震強度

本 CT の 0.3 G 共振正弦3波のときの耐震強度は、応答倍率が9倍で、先端 1 g 当たりの発生ひずみは $44 \text{ kg/cm}^2/\text{g}$ であるので、振動最大応力は、

$$\sigma_{\max} = 0.3 \text{ g} \times 9 \text{ 倍} \times 44 \text{ kg/cm}^2/\text{g} = 119 \text{ kg/cm}^2$$

となり、またがい管の自重および頭部重量による圧縮応力 $\sigma_c = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ を考慮すると、がい管に発生する応力は

$$\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_c = 117 \text{ kg/cm}^2$$

となる。したがって、がい管の耐震曲げ破壊強度は 250 kg/cm^2 であるので、安全率 S は

$$S = \frac{250}{117} = 2.14 \text{ 倍}$$

となる。

（5）耐震設計上の留意点

500 kV がいし形 CT の耐震強度は、CT の仕様・頭部重量・架台およびタンクの構造によって変わる。耐震強度を少しでも上げるには、次のような点に気をつけなければならない。

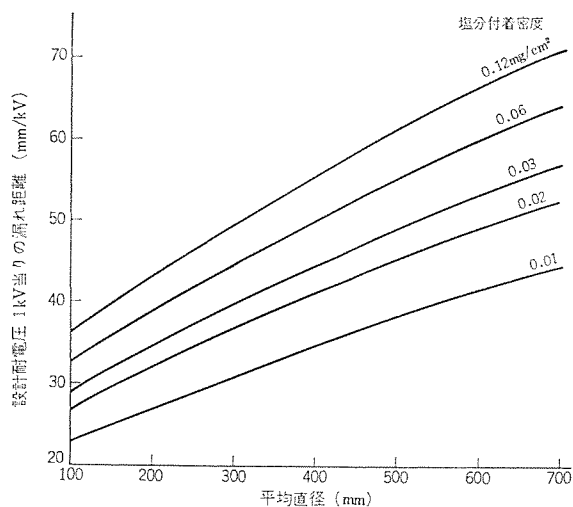
（a）頭部重量はできるだけ軽くする。これには、まず、カスケード形 CT においては上段 CT の所要鉄心断面積を小さくする。3章（2）で述べたように、鉄心断面積は、全 VA × 過渡過電流定数で決まるので、鉄心数は必要最少限にとどめ、かつその VA は少しでも減らし、過渡過電流定数も小さくする。

また、鉄心断面積は、BCT でよく知られているように、変流比が小さいものほど大きくなるので、変流比はできるかぎり大きくするとともに、二重変流比も、下の変流比では変流比が小さくなったのと同じことで、鉄心断面積の増加をきたすので、できるだけ止めるようにする。

このような仕様上の配慮とともに、構造的にも工夫を凝らして頭部を軽くする。

（b）下部タンクは、CT の共振周波数に大きく影響するので、強固な構造にする。500 kV CT は、架台なしでも充電部まで約 2 m もあるので、鉄構架台よりも、50 cm ほどの高さまで基礎を上げたほうがよいと思われる。

以上のような点に十分配慮すれば、500 kV がいし形 CT は、正立形、全絶縁カスケード形とも実地震波はもちろんのこと、0.3 G 共振3波相当の過酷な地震条件にも十分耐える強度を有する。



500 kV 送電特別委員会 塩害対策部会
「500 kV 送変電設備の耐塩害設計について」第 5.3-2 図

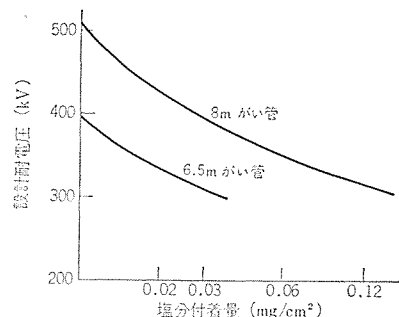
図 5.1 がい管類の汚損耐電圧の設計基準曲線
Required creepage distance of polluted insulators.

表 5.1 6.5 m・8.0 m がい管の諸元
Dimensions of 6.5 m and 8.0 m insulators.

がい管種類	6.5 m がい管	8.0 m がい管
全長 mm	6,500	8,000
有効長 mm	6,050	7,550
平均直径 mm	675	675
表面漏えい距離 mm	17,300	22,050
胴径 mm	上 420 下 800	上 420 下 800
笠径 mm	上 560 下 940	上 560 下 940
水切かさ	なし	5 枚
磁器重量 ton	1.9	2.3

5. 耐塩害特性

超高压以下の CT 用がい管の耐塩害設計基準は、電協研カーブ（電気協同研究 第 20 巻 2 号，第 6～10 図）であるが，500 kV CT は，500 kV 送電特別委員会塩害対策部会での検討結果（図 5.1）によるのが妥当と考えられる。ところで，国内における 500 kV CT 用



500 kV 送電特別委員会のカーブによる

図 5.2 6.5 m・8.0 m がい管の耐塩害特性
Withstanding voltage of 6.5 m and 8.0 m insulators.

がい管の種類は，現段階では，非塩害用として 4.3 m，耐塩害用として 6.5 m・8.0 m の 3 種類にかぎられている。6.5 m・8.0 m がい管の諸元を表 5.1 に示し，その耐塩害特性を図 5.2 に示す。

6. む す び

500 kV がいし形 CT について，重要な問題である 過渡特性および耐震強度を中心にその概要を述べたが，超高压での経験および昭和 39 年からの 500 kV CT の開発により

(1) 過渡特性については，正立形，全絶縁カスケード形とも鉄心さえ飽和しなければ誤差は非常に少ないこと。

(2) 耐震強度については，8 m がい管使用で 4,000 A 以上の全絶縁カスケード形 CT でも，十分な強度を有していること。

(3) 紙面の都合で本文では触れていないが 4,000 A 以上の CT の温度上昇，および，内部コロナ，耐電圧についてもなんら問題がないこと。

などがわかった。

500 kV 変電所には，タンク形しゃ断器や GIS も採用されるのであろうが，過渡特性についてはがいし形とまったく同一で，そのまま適用でき，目前に迫った 500 kV 送電に対して十分な基礎固めができた。

最後に，500 kV 12,000 A CT の共同研究の機会を与えていただいた東京電力(株)，および CT の理論解析・製作・試験にご協力いただいた社内の関係各位に感謝の意を表する。

500 kV 用ブッシング

深 沢 肇*・岸田 光弘*・水谷 良市*
伊 奈 照夫*・岡野 治行*・斎 藤 徹*

500 kV Bushings

Itami Works Hazime FUKAZAWA・Mitsuhiro KISHIDA・Ryooichi MIZUTANI
Teruo INA・Haruyuki OKANO・Tooru SAITOO

Bushings are vital components of such electric apparatus as transformers and circuit breakers. It is of no question that their reliability is demanded to be as high as that of the main assembly of the apparatus. Japan is an island country subjected to constant menace of typhoon and earthquake. Accordingly electric apparatus have to provide against it and bushings for use with the apparatus on 500 kV transmission lines are given special caution to protect them from failure. They are made up of porcelain tubes 8 m long when used for transformers and also for penetrating a wall. This paper describes their construction, electrical characteristics, mechanical strength against the earthquake and other information which insure the reliability derived from practice.

1. ま え が き

ブッシングは、変圧器・しゃ断器などの電気機器の口出部に使用され、電気の出入口の役めをはたす重要な部品であり、その信頼性は、本体機器と同様に高度なものが要求される。特に、500 kV 用においては、わが国の電力輸送の基幹をなすもので、十分な信頼性・安定性が必要である。

わが国の立地条件は、地理的に太平洋西北に位置する小さな島国で、台風の襲来が多く、機器の外部絶縁は過酷な塩害汚損にさらされて塩害事故の危険率が高く、また環太平洋地震帯に属する世界有数の地震国でもあって機器の地震破壊の危険もあり、機器の製作に当たってはあらゆる角度より検討を加えて十分な信頼性を確認しておく必要がある。

当社における 500 kV ブッシング研究は古くから行なわれており、すでに昭和 34 年に BIL 1,800 kV のブッシングの開発を完了し、以来、400 kV 用としてメキシコ・南アフリカ・トルコなどと多くの納入実績を有している。わが国の 500 kV 用としては、昭和 41 年に超高压電力研究所に 8 m がい管を使用した 500 kV 耐塩害用ブッシングを納入しており、本誌に報告済み⁽¹⁾であるが、昭和 47 年よりのわが国の本格的な 500 kV 送電開始を控えて耐震特性などのわが国特有の種々過酷な条件で信頼性を確認したので、あらためて紹介する。

500 kV ブッシングは、主として変圧器用に使用されるが、塩害にさらされるわが国の立地条件より、開閉機器を屋内方式あるいはガス絶縁方式とする場合も多くあると考えられ、これらに適用するブッシングについても言及したい。

2. 500 kV ブッシングの問題点

500 kV 用ブッシングの製作に対しては、従来の 275 kV 用以下のものと比べて、電圧が高く、寸法も大きく、要求される信頼性も高度なものであるが、500 kV 用として特に検討すべき問題は次の事項であろう。

(1) 内部絶縁に対する信頼性の確認

本来ブッシングは、内部絶縁に対してとくに高い、信頼性が必要であり、それを前提に設計されるが、内部コロナ・耐電圧特性について

は、過酷な条件を想定して実用器で十分に検討することが必要である。

(2) 外部絶縁に対する問題

外部絶縁は、系統に発生する異常電圧に耐え、しかも塩害汚損に対して、せん(閃)絡しない管理法を確立する必要がある。塩害汚損管理については、8 m がい管を使用し、管理限界値 0.03 mg/cm² として可能な活線洗浄法は確立されている。

系統に発生する異常電圧に対しては、がい管として長大な 8 m がい管を使用するため、特に問題にはならない。したがって、外部絶縁に関しては、ブッシングとしてあまり問題とすべき点はない。

(3) 地震に対する対策

8 m がい管を使用するわが国の 500 kV ブッシングは、共振周波数が低く、地震波の卓越周期に同期して共振する可能性が高く、機械的強度はクリティカルな条件にあり、地震対策は 500 kV ブッシングの最も重要な項目である。

ブッシングの耐震強度の検討は、過去に発生した地震波を詳細に調査し、将来に発生が予想される最大級の地震を想定し、ダイナミックな条件によって詳細に検討し、対策を考えるべきであろう。

3. 500 kV ブッシングの構造

500 kV ブッシングの絶縁方式は、信頼性の見地より、油浸紙コンデンサブッシングが採用される。当社では昭和 28 年ころより油浸紙コンデンサブッシングを製作しており、275 kV 以下では、変圧器用・油しゃ断器用・壁ぬき用などに数万本の実績を有している。330~500 kV の超々高压用においても、変圧器として百数十本の実績がある。

ブッシングの構造は、用途によって若干異なるが、基本的には同一構造であり、以下に変圧器用・ガス絶縁開閉装置用・壁ぬき用の構造について説明する。

3.1 変圧器用 500 kV ブッシング

変圧器用 500 kV ブッシングの概略構造を図 3.1 に示す。

変圧器用 500 kV ブッシングについては、本誌 Vol. 41・No. 3・1967 に紹介したので、詳細は省略するが、500 kV 用として特に考慮したのは、耐震特性の向上を考えて頭部々品重量の軽減をはかり、セクタクランプ方式のばね圧力を若干強くした点である。

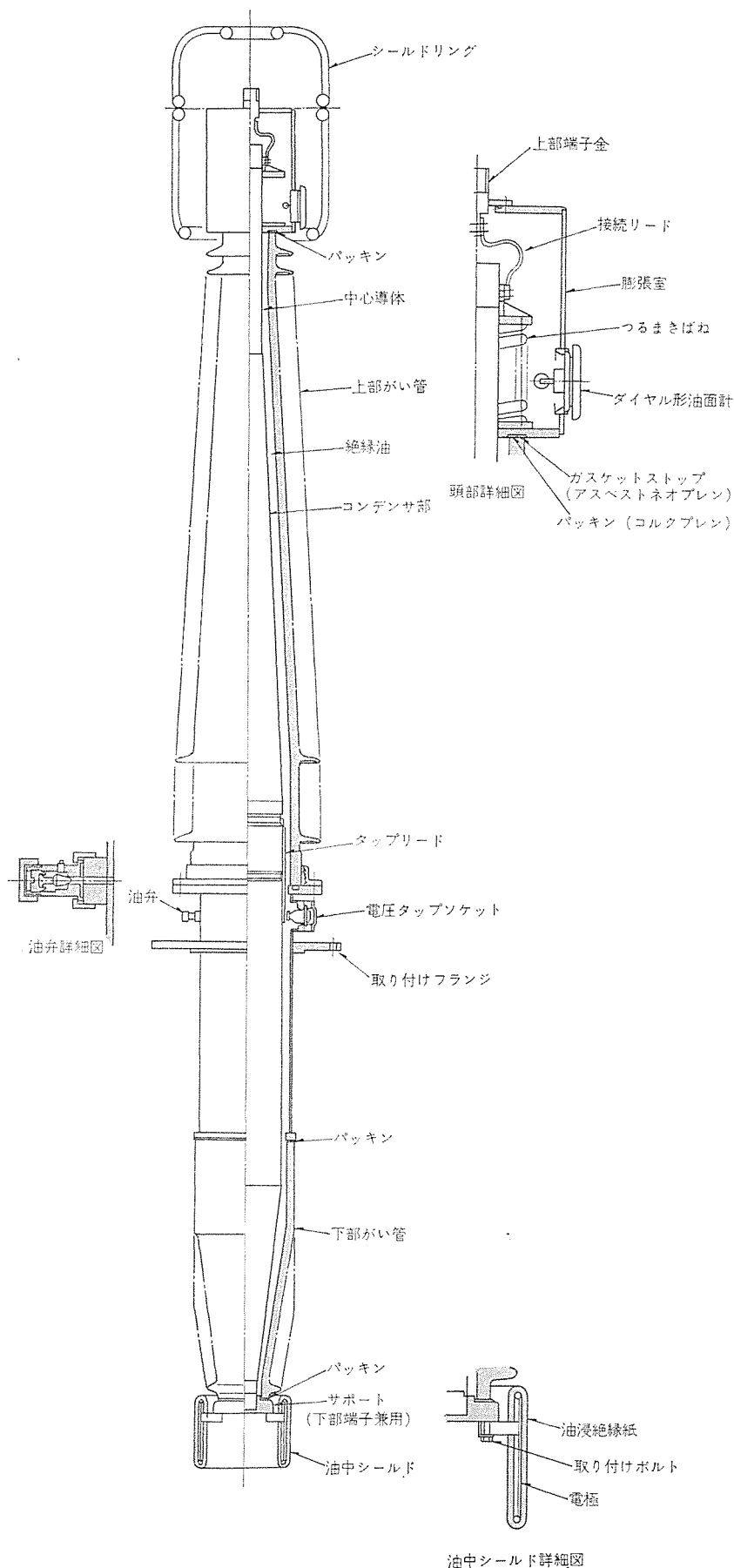


図 3.1 500 kV 変圧器用ブッシング構造図
Construction of 500 kV bushing for transformer.

3.2 ガス絶縁開閉装置用ブッシング

ガス絶縁開閉装置用ブッシングは、基本的には変圧器と同一であるが、下部の絶縁媒体が高圧力の絶縁性ガスであるため、下部端子部分のシールド形状を変え、また万一、高圧力の絶縁性ガスがブッシング内部に漏れて圧力が上昇してもブッシングの機能を失うことをさけるため、ブッシング金具部分に、内部異常圧力検出装置および頭部に放圧装置を設けた構造で、その他は変圧器用と同一である。

3.3 壁ぬきブッシング

500 kV 変電所を屋内方式とするのは、海岸の塩害汚損のきびしい地域において、開閉機器の汚損管理が確実に行ない得ない場合に採用されるが、この場合、架空送電線に接続する部分に壁ぬきブッシングが必要となる。500 kV 屋内開閉所の構造についてはまだはん(汎)用化された形状はないが、ブッシングの耐震強度の関係もあって 275 kV の場合のように自由に設計することはできない。

ブッシングとしての取付け方式は、図 3.2 に示す各方式が考えられる。

A の水平取付け方式は、275 kV 系統で多く採用されているが、500 kV 用の場合には屋外部がい管として 8 m の長大なものを使用するため、支持なしで水平方向に配置するには強度不足で、ステーが必要である。

B の垂直取付け方式は、開閉所の屋根を垂直に貫通する構造である。この方式は、ブッシング部分の地震時に加わる荷重が開閉所建屋によって大きくなることも考えられ、8 m がい管単体では、強度不足になり、ステーが必要と考えられる。

C の L 字形取付け方式は、屋外部の 8 m がい管は垂直方向に、屋内部の 6.5 m がい管は水平でも耐えるので、水平にした方式で、壁ぬきブッシングとしては独立した架台を設け、その上に油タンクを取り付け、この部分で壁を貫通する構造にしたものである。この方式の利点の一つは、ブッシングに加わる地震時の荷重が建屋に関係なくなり、ブッシング単独で解析できることである。

D の V 字形取付け方式は、L 字形取付け方式の屋内部ブッシングを垂直方向に立てて V 字形にしたもので、L 字形取付け方式の特長に加えて取付け架台を低くし、屋内部ブッシングの専有容積を小さくするなどのメリットもある。

8 m がい管の機械強度は後述するが、わが国の地震条件に対して共振を考えた場合にあまり裕度がなく、取付け角度も垂直より 15° 前後が限度であり、傾斜角度を大きくするか、水平にする場合、または建屋の壁または天井に取り付ける場合には、ステーを設ける必要があると考えられる。

500 kV ブッシングでステーを設けることは、塩害汚損せん絡の危険を増し、機械的設計条件を複雑化することによって信頼性が低下することになる。した

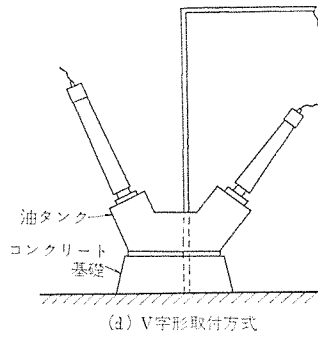
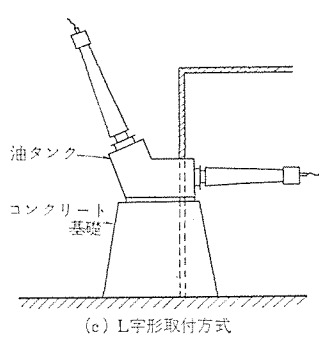
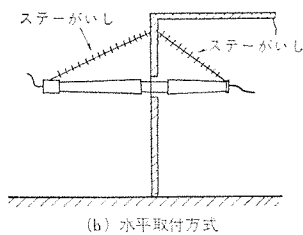
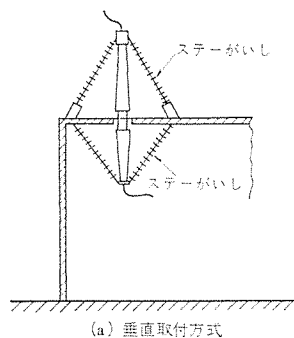


図 3.2 500 kV 壁ぬき ブッシング の方式

Mounting system of 500 kV wall bushing.

がって、壁ぬき ブッシングでは、L 字形取付け方式または V 字形取付け方式がすぐれていると考えられる。

L 字形取付け方式については東京電力(株)と共同研究を行ない、昭和46年3月に開発を完了した。

500 kV 用壁ぬき ブッシングは、上述のとおり、L 字形取付け方式・V 字形取付け方式が適しているが、東京電力(株)と共同開発した L 字形取付け方式について、詳細に紹介する。

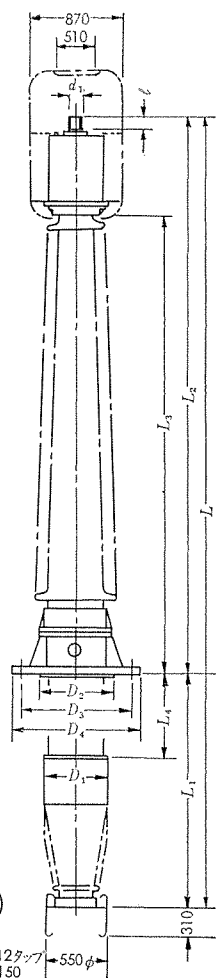
L 字形取付け方式壁ぬき ブッシングの構造は、屋内開閉所の壁部分に、独立した取付け架台を設け、その部分に屋外—屋内を貫通する油タンクを設置し、屋外部には8mがい管を使用した気中—油中ブッシングを垂直に近く取付け、屋内部には屋内汚損を考慮した、6.5mがい管の気中—油中ブッシングを水平方向に取付け、油タンク内部で接続し、絶縁油を充てんした構造である。開発したブッシングは定格

電流が12,000 Aであり、ブッシング中心導体に発生する損失を有効に放熱する必要があるため、油タンク内で各ブッシングの先端部相互を中空パイプで接続し、各ブッシングの中心導体内径部に絶縁油が流通する構造にして、中心導体内に発生した損失は、絶縁油が、中心導体内径部→ブッシング頭部→屋外部がい管内径部→油タンク内→屋内部がい管内径部→屋内部先端→ブッシング中心導体内径部に至る経路で環流して、頭部冷却フィンがい管表面・油タンク表面などより放熱する。したがって、ブッシング中央部と外周部の温度差が小さくなって最高点温度を低くすることが可能で、大容量の場合でも自冷方式で製作可能になり、信頼性が高い。

V 字形取付け方式は、屋外部と屋内部の先端の落差が少なく、L 字形取付け方式のように屋外・屋内連通する構造では対流が生じにくいので、この場合には、屋外部・屋内部で独自に対流する構造にする。

表 4.1 500 kV 変圧器用 ブッシング 標準寸法

Outline dimensions of 500 kV bushing for transformer.



行 番	使用区分	形式番号	定格電流 A	総重量 kg	全長 L	上部長 L ₂	充電部 までの高さ L ₃	下部長 L ₁	B. CT 取付部 L ₁	油中部 最大径 D ₁	取付けフランジ バック 面 D ₂	ボルト 内径 D ₃	ボルト 中心径 D ₄	ボルト 穴 径×個数	上部端子 ネジ径×長さ d ₁ -l	がい管諸元 有効長 有効長	漏れ距離	平均直径
1	一般 地区用	BN-31951-4	1,500	3,600	7,863	5,767	4,850	2,096	420	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65	4,050	10,300	580	
2		BN-31951-6	1,500	3,640	8,063	5,767	4,850	2,296	620	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
3		BN-31952-4	2,000	3,640	7,863	5,767	4,850	2,096	420	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
4		BN-31952-6	2,000	3,680	8,063	5,767	4,850	2,296	620	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
5	軽汚損 地区用	BN-31961-4	1,500	5,690	10,102	8,006	6,610	2,096	420	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65	6,050	17,300	675	
6		BN-31961-6	1,500	5,720	10,302	8,006	6,610	2,296	620	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
7		BN-31962-4	2,000	5,760	10,102	8,006	6,610	2,096	420	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
8		BN-31962-6	2,000	5,800	10,302	8,006	6,610	2,296	620	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
9	重汚損 地区用	BN-31971-4	1,500	6,540	11,440	9,344	8,120	2,096	420	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65	7,550	22,050	675	
10		BN-31971-6	1,500	6,582	11,640	9,344	8,120	2,296	620	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
11		BN-31972-4	2,000	6,600	11,440	9,344	8,120	2,096	420	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				
12		BN-31972-6	2,000	6,650	11,640	9,344	8,120	2,296	620	562	800	1,100	29×24	M 50×2-65				

4. 500 kV 用ブッシングの外形寸法

4.1 変圧器用ブッシング標準品外形寸法

当社が 500 kV 変圧器用として製作する標準品外形寸法を表 4.1 に示す。

4.2 500 kV 壁ぬき用ブッシング外形寸法

当社が 500 kV 壁ぬき用ブッシングとして推奨するのは、前述のとおり、L 字形取付け方式および V 字形取付け方式であるが、具体的な寸法を示せば、図 4.1 および図 4.2 のようになる。

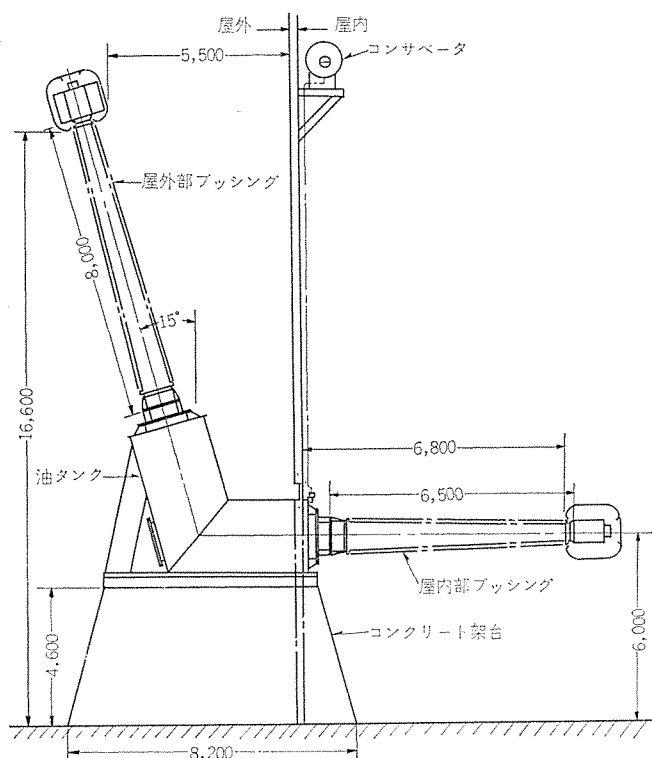


図 4.1 L 字形取付け方式 500 kV 壁ぬき ブッシングの外形寸法
Outline dimensions of L-mounting system 500 kV wall bushing.

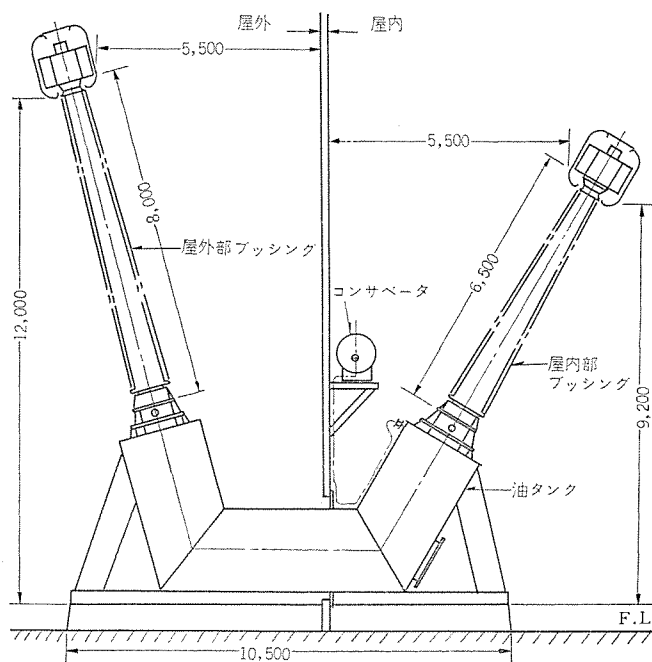


図 4.2 V 字形取付け方式 500 kV 壁ぬき ブッシングの外形寸法
Outline dimension of V-mounting system 500 kV wall bushing.

5. 500 kV 用ブッシングの電気的特性

5.1 500 kV 用ブッシングの絶縁設計基準

わが国 500 kV 送電系統の絶縁レベルは、まだ規格化されるには至っていないが、基準衝撃絶縁強度 (BIL) は変圧器 1,550 kV、シャ断器など線引込口機器 1,800 kV が妥当と考えられている。開閉インパルスは、1,200 kV が機器の耐電圧値として推奨されている⁽²⁾。ブッシングにおいては、基準衝撃絶縁強度 (BIL) は変圧器用 1,550 kV、ガス絶縁開閉機器用・壁ぬき用 1,800 kV とするのが妥当と考えられるが、ブッシングの重要性を考えて変圧器用・ガス絶縁開閉装置用の区別なく、次に示す絶縁強度を現時点の設計基準にしている。

商用周波耐電圧値	840 kV
衝撃波耐電圧値	1,800 kV
開閉インパルス耐電圧値	1,500 kV

商用周波耐電圧値 840 kV については、275 kV 系の 460 kV より比例的に求めた値で、東京電力(株)向け第 1 号変圧器において指定されたものである。

開閉インパルスに対しては系統より要求されるのは 1,200 kV であるが、油浸紙絶縁の開閉インパルス耐圧は BIL の 83 % に耐えると考えられており、裕度を見て設計基準としては 1,500 kV とした。

5.2 絶縁強度の検証法

ブッシングの絶縁強度の検討法は、275 kV 以下については、JEC-124 “ブッシング” の改訂版の JEC-183 “ブッシング” として示され、これに詳細に規定される予定である。しかし、500 kV 用についてはまだ規格化されないから、この規格に準じて表 5.1 に示す項目を確認し、さらに 500 kV 用としての重要性を考えて東京電力(株)房総変電所向けのブッシングについては、東京電力(株)のご指導を得て次の項目を行なっている。

(1) 長時間耐電圧試験

ブッシングの長年月の使用に十分耐えることを検証するための一つ

表 5.1 ブッシングの規格に準ずる試験項目
Test-item in accord with bushing standard.

試験項目	試験内容
1. 外観検査	
2. 寸法検査	
5. 温度試験	油タンク温度 90°C として定格電流通電
4. 加熱試験	ブッシング下部を 90°C とする
5. 絶縁抵抗測定	中心導体一取付けフランジ間
6. 誘電正接および静電容量測定	測定電圧一定格電圧の 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 倍
7. 商用周波耐電圧試験	乾燥状態 840 kV 1 分間 注水状態 840 kV 10 秒間
8. 衝撃波耐電圧試験	乾燥状態および注水状態で波形 $1 \times 40 \mu s$ の 1,800 kV の衝撃波を正負各 5 回印加
9. 電圧測定端子および試験用端子耐電圧試験	電圧タップ-商用周波耐電圧試験の誘導試験用端子-2,000 V 1 分間

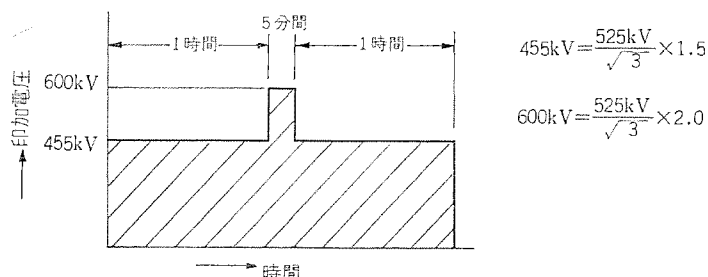


図 5.1 長時間耐電圧試験印加電圧プログラム
Long-time withstanding test of voltage program.

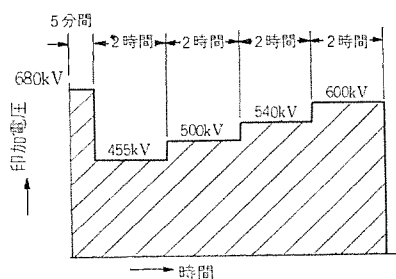


図 5.2 長時間過電圧試験印加電圧プログラム
Long-time over-voltage test of voltage program.

の手段として、図 5.1 に示すプログラムで電圧を印加し、内部コロナの変化を見る。

(2) 長時間過電圧試験

ブッシング常規対地電圧の 1.5～2.2 倍の電圧を図 5.2 に示すプログラムで電圧を印加し、内部コロナの変化を見る。

(3) 商用周波過電圧試験

ブッシングの商用周波耐電圧値は 840 kV であるが、さらに 840 kV の 110 %・120 %・130 %・140 % の電圧を各 1 分間印加し、どの電圧まで耐えるかを調査する。

(4) 衝撃波過電圧試験

ブッシングの衝撃波耐電圧値は 1,800 kV、変圧器用としては、1,550 kV であるが、1,550 kV の 110 %・120 %・130 %・140 %・150 % の $(1 \times 40) \mu s$ の波形で正波を各 3 回印加して限界耐圧値を確認する。

(5) 内部コロナの測定法

ブッシング内部コロナの測定法は、商用周波 455 kV・600 kV・455 kV を各 5 分間印加し、ERA-Ⅲ 形、コロナ検出器を用いて内部コロナの測定を行なう。内部コロナは、上記 (1)～(4) の各項目の前後で行なう。

(6) 汚損耐電圧試験・活線洗浄耐電圧試験

汚損耐電圧値は、汚損管理限界等価塩分付着量、 0.03 mg/cm^2 において、常規対地電圧の 1.2 倍の 364 kV であり、がい管において十分な試験が行なわれているが、さらにブッシング完成品について汚損特性を実測確認する。

汚損耐電圧試験は、がい管表面を等価塩分付着量 0.03 mg/cm^2 に汚損し、3 分後に 364 kV を局部アークが出なくなるまで印加し、これを 5 回くりかえす。活線洗浄耐電圧試験は、等価塩分付着量 0.03 mg/cm^2 に汚損した後、364 kV を印加し、実用される活線洗浄

表 6.1 500 kV 変圧器用 ブッシング 耐電圧試験結果
Test result of withstanding voltage of 500 kV bushing for transformer.

試 験 項 目	試 験 結 果
1. 外 観 検 査	異常なし
2. 寸 法 検 査	良好
3. 温 度 試 験	最高温度 75°C
4. 加 熱 試 験	異常なし
5. 絶 縁 抵 抗 試 験	$2,000 \text{ M}\Omega$ 以上
6. 誘電正接および静電容量測定	誘電正接 0.29% 静電容量 533 pF 525 kV まで変化なし
7. 商用周波耐電圧試験	異常なし
8. 衝撃波耐電圧試験	異常なし
9. 電圧測定端子および試験用端子耐電圧試験	異常なし
10. 長時間耐電圧試験	図 5.1 に示す印加電圧・時間で内部コロナの発生はなく、異常なし
11. 長時間過電圧試験	図 5.2 に示す印加電圧・時間で内部コロナの発生はなく、異常なし
12. 商用周波過電圧試験	$840 \text{ kV} \times 1.4 = 1,176 \text{ kV}$ 印加後の 600 kV における内部コロナは発生せず
13. 衝撃波過電圧試験	$1,550 \text{ kV} \times 1.5 = 2,325 \text{ kV}$ 正波 3 回印加後、600 kV における内部コロナは発生せず
14. 汚損耐電圧試験	がい管表面を等価塩分付着量 0.03 mg/cm^2 に汚損し、364 kV 5 分間印加し、5 回くりかえしてもせん絡せず
15. 汚損活線洗浄耐電圧試験 (日研製洗浄ノズル使用)	0.03 mg/cm^2 の汚損状態で 364 kV 印加し、活線洗浄を行ない、5 回くりかえしたがせん絡せず

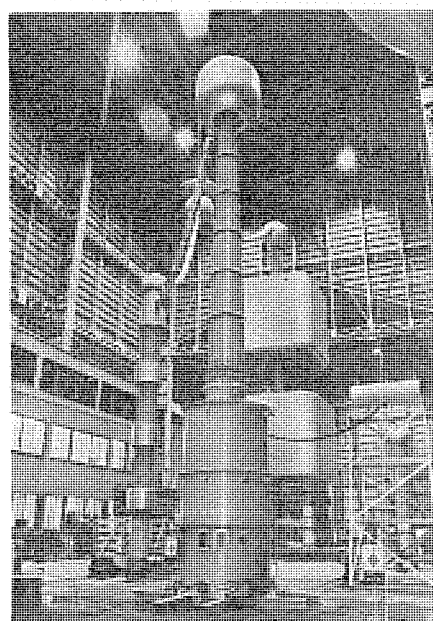


図 6.1 500 kV 変圧器用 ブッシング の耐電圧試験状況
Withstanding test of 500 kV bushing for transformer.

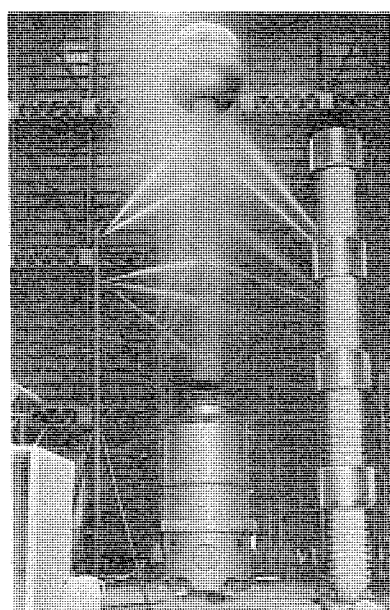


図 6.2 500 kV 変圧器用 ブッシング 汚損活線洗浄試験状況
Hot-line washing test of 500 kV bushing for transformer under contaminated condition.

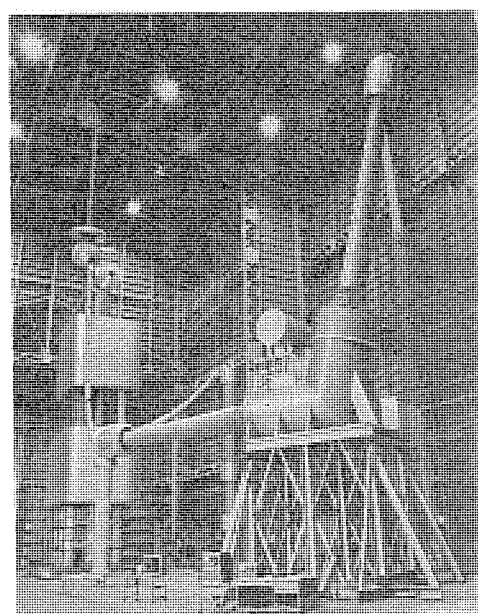


図 6.3 L 字形取付け方式 500 kV 壁ぬきブッシング 試験状況
L-mounting system 500 kV wall bushing.

ノズルで洗浄して耐える確認を5回くりかえす。

6. 実際のブッシングにおける試験結果

6.1 変圧器用ブッシングの試験結果

ブッシングの設計基準は、用途によって変わることはないから、500 kV 用ブッシングの設計条件の検証試験として5章に示す全項目について行なった結果を表6.1に示す。この結果、当社の500 kV 用ブッシングは、裕度のある特性を示し、きわめて信頼性の高いブッシングといえる。

図6.1に耐電圧試験の状況を示す写真をあげる。

図6.2に汚損活線洗浄試験の状況を示す写真をあげる。

6.2 壁ぬきブッシング

東京電力(株)と共同研究して開発したL字形取付け方式の500 kV 12,000 A 壁ぬきブッシングについても、過酷な条件で、各種試験を行なっているが、基本的な絶縁構造は変圧器と同一であり、設計基準も同一であるから、詳細については省略する。

図6.3にL字形取付け方式壁ぬきブッシングの試験状況を示す写真をあげる。

7. 機械的強度

8 m がい管を使用する500 kV 用ブッシングの機械的強度は、寸法的に長大なものになり、ブッシングの共振周波数が低くて地震波の卓越周波数に共振する可能性が高い。ブッシングに加わる荷重は、自重以外に

- (1) 短絡時の電磁機械力
- (2) 台風時の風圧荷重
- (3) 地震時の荷重
- (4) 接続する電線による荷重

などがあるが、相間距離が大きくて短絡電流も50 kA 程度であるため、短絡時の電磁機械力は小さく、また風圧荷重に対してもあまり大きな値にはならず、電線による荷重も接続の方向に注意して支持点までの距離を短くすれば、小さな値となるが、地震強度については慎重を期して検討すべきである。

従来、ブッシングに対する耐震強度について動的に解析された例はほとんどなく、静的な検討が一般的であった。275 kV 以下では、固有振動数が高くて共振を考える必要がなかったが、8 m がい管では、この点についてとくに慎重な検討を要する。

7.1 8 m がい管の耐震強度の理論的解析

(1) 振動方程式

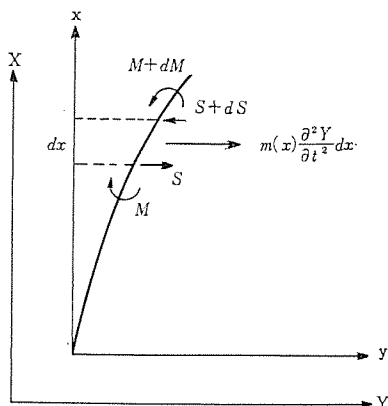


図 7.1 がい管の振動解析モデル
Model for vibration analysis of bushing.

ブッシングなどのように、質量が連続的にしかも不均一に分布している振動体の解析はかなりむずかしく、その解法も任意の質点数に分割しておのおのの影響係数を用いる方法、あるいは正規振動形の弾性曲線の形を仮定して、その最大位置エネルギーと弾性エネルギーとを計算し、この二つを等しく置くことによって振動数を求めるレーリ法などがある。

ここでは、ブッシングを1本の片持ちはり(梁)と考えて、はりの振動解析によく用いられる方法で解析を行なった。

図7.1においてX-Yを絶対座標系、x-yを取付け部あるいは大地を基準とした相対座標系で表わす。

取付け部に絶対座標系で、

$$Y = A_0 \sin \omega_0 t \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

の強制振動を加えたとする。この場合の運動方程式は、x点における力の釣合式を求めることにより、式(7.2)が導かれる。

$$m(x) dx \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} - dS = 0 \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

∴ $m(x) dx$: x点の質量

dS : せん断力

せん断力Sは、曲げモーメントをMとすると材料力学の公式より式(7.3)で与えられる。

$$S = \frac{\partial M}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

曲げモーメントMと相対変位yの間には式(7.4)のたわみ方程式が成り立つ。

$$M = -EI(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

∴ E : がい管のヤング率

$I(x)$: 断面二次モーメント

式(7.2)(7.3)(7.4)より式(7.5)が得られる。

$$m(x) dx \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right] dx = 0 \quad \dots\dots\dots (7.5)$$

絶対変位Yと相対変位yの間には、次の変換が可能である。

$$\left. \begin{aligned} Y &= y + A_0 \sin \omega_0 t \\ \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial y}{\partial t} + A_0 \omega_0 \cos \omega_0 t \\ \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} &= \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - A_0 \omega_0^2 \sin \omega_0 t \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (7.6)$$

式(7.5)を座標変換して相対座標系で表わすと、式(7.7)になる。

$$\begin{aligned} m(x) dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right] dx \\ = m(x) dx A_0 \omega_0^2 \sin \omega_0 t \quad \dots\dots\dots (7.7) \end{aligned}$$

式(7.7)において、定常状態では変位yは、時間tに対して正弦波振動をするので、式(7.8)と置くことができる。

$$y(x, t) = V(x) \sin \omega_0 t \quad \dots\dots\dots (7.8)$$

∴ V(x) : 振動モード

式(7.8)を式(7.7)に代入すると、式(7.9)になる。

$$m(x) V(x) \omega_0^2 + \frac{d^2}{dx^2} \left[EI(x) \frac{d^2 V(x)}{dx^2} \right] = m(x) A_0 \omega_0^2 \quad \dots\dots\dots (7.9)$$

境界条件は、

$$x=0 \text{ で } V(x)=0, \quad dV(x)/dx = \frac{1}{D} M(x)$$

$$x=l \text{ で } M(x)=0, \quad dM(x)/dx=0$$

∴ D : 取付け部の曲げ剛性

質量分布 $m(x)$, 断面二次モーメント $I(x)$ が与えられれば, 式(7.9)から振動モード $V(x)$ および角周波数 ω_0 を求めることができる。

次に, $y(x, t) = V(x) \cdot y(t)$ と置き変えて, 式(7.7)へ代入し, x で積分すると, 式(7.10)の方程式が得られる。

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} \int_0^l m(x) V(x) dx + y(t) \int_0^l \frac{d^2}{dx^2} \left[EI(x) \frac{d^2 V(x)}{dx^2} \right] dx = A_0 \omega_0^2 \sin \omega_0 t \cdot \int_0^l m(x) dx \quad (7.10)$$

実際の振動体では減衰項が存在するので, これを加味すると, ブッシングの方程式として式(7.11)が得られる。

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} \int_0^l m(x) V(x) dx + c \frac{dy(t)}{dt} + y(t) \int_0^l \frac{d^2}{dx^2} \left[EI(x) \frac{d^2 V(x)}{dx^2} \right] dx = f(t) \int_0^l m(x) dx \quad (7.11)$$

(2) 質量分布 $m(x)$

ブッシングの断面を図7.2に示すように, がい管のひだの質量, がい管胴部の質量, 絶縁油の質量, 胴体の質量など各部分について中心軸にとった座標 x について求める。

(a) がい管ひだの質量

がい管ひだの質量を x の関数で表わすのは困難であるが, 近似的に式(7.12)のように仮定する。すなわち, 近似的に単位長さ当たりの体積 V_1 を一次式で表わす。

$$V_1 = \alpha \gamma_5 + \beta \quad (7.12)$$

∴ α, β : ひだの形状によって求められる定数

式(7.12)を変形して x の関数で表わすと, 式(7.13)となる。

$$V_1 = \alpha a_5 + \beta - \alpha \frac{a_5 - b_5}{l} x \quad (7.13)$$

単位長さ当たりの質量 $m_1(x)$ は, 密度を ρ_G とすると, 式(7.14)をうる。

$$m_1(x) = \alpha \cdot \rho_G a_5 + \beta \cdot \rho_G - \alpha \rho_G \frac{a_5 - b_5}{l} x \quad (7.14)$$

(b) 胴部の質量

胴部の質量 $m_2(x)$ を同様な形状で表わすと, 式(7.15)のようになる。

$$m_2(x) = \pi \rho_G (a_5^2 - a_4^2) - \frac{2\pi \rho_G}{l} \{a_5(a_5 - b_5) - a_4(a_4 - b_4)\} x + \frac{\pi \rho_G}{l^2} \{(a_5 - b_5)^2 - (a_4 - b_4)^2\} x^2 \quad (7.15)$$

(c) 油の質量

油の密度を ρ_0 とすると, 単位長さ当たりの油の質量 $m_3(x)$ は式(7.16)になる。

$$m_3(x) = \pi \rho_0 (a_4^2 - a_3^2 + a_1^2) - \frac{2\pi \rho_0}{l} \{a_4(a_4 - b_4) - a(a_3 - b_3)\} x + \frac{\pi \rho_0}{l^2} \{(a_4 - b_4)^2 - (a_3 - b_3)^2\} x^2 \quad (7.16)$$

(d) 導体の質量

導体の質量の単位長さ当たりの質量 $m_4(x)$ は一定であり, 導体の密度を ρ_C とすると, 式(7.17)になる。

$$m_4(x) = \pi \rho_C (a_2^2 - a_1^2) \quad (7.17)$$

(e) 絶縁紙の質量

紙の質量を ρ_P とすると, 単位長さ当たりの紙の質量 $m_5(x)$ は式

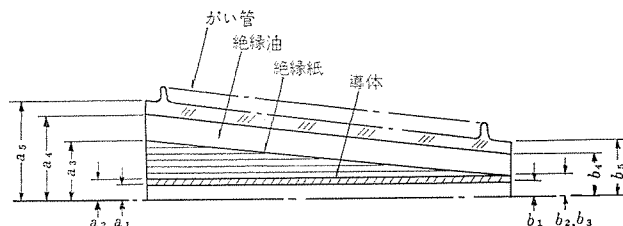


図 7.2 ブッシングの断面形状
Cross section of bushing.

(7.18) になる。

$$m_5(x) = \pi \rho_P (a_3^2 - a_2^2) - 2\pi \rho_P a_3 \frac{a_3 - b_3}{l} x + \pi \rho_P \frac{(a_3 - b_3)^2}{l^2} x^2 \quad (7.18)$$

(f) 質量分布 $m(x)$

単位長さ当たりの質量 $m(x)$ は, $m_1 \sim m_5$ までは加算することによって求められ, 式(7.19)のような二次式で表わされる。

$$m(x) = \sum_{i=1}^5 m_i(x) = m_0 + m_1 x + m_2 x^2 \quad (7.19)$$

$$\therefore m_0 = (\alpha \rho_G a_5 + \beta \rho_G) + \pi \rho_G (a_5^2 - a_4^2) + \pi \rho_0 (a_4^2 - a_3^2 + a_1^2) + \pi \rho_C (a_2^2 - a_1^2) + \pi \rho_P (a_3^2 - a_2^2)$$

$$m_1 = -\alpha \cdot \rho_G \cdot \frac{a_5 - b_5}{l} - \frac{2\pi \rho_G}{l} \{a_5(a_5 - b_5) - a_4(a_4 - b_4)\} - \frac{2\pi \rho_0}{l} \{a_4(a_4 - b_4) - a_3(a_3 - b_3)\} - 2\pi \rho_P a_3 \frac{a_3 - b_3}{l}$$

$$m_2 = \frac{\pi \rho_G}{l^2} \{(a_5 - b_5)^2 - (a_4 - b_4)^2\} + \frac{\pi \rho_0}{l^2} \{(a_4 - b_4)^2 - (a_3 - b_3)^2\} + \pi \rho_P \frac{(a_3 - b_3)^2}{l^2}$$

(3) 断面二次モーメント

断面二次モーメント $I(x)$ は, ひだ部分を省略してがい管胴径について考え, 導体の断面二次モーメントも省略すると, 式(7.20)をうる。

$$I(x) = \frac{\pi}{4} \left\{ \left(a_5 - \frac{a_5 - b_5}{l} x \right)^4 - \left(a_4 - \frac{a_4 - b_4}{l} x \right)^4 \right\} \quad (7.20)$$

7.2 8m がい管の諸定数

耐震強度を検証するに必要ながい管の定数は, セメント部の曲げ剛性, 取付け金具部の曲げ剛性, がい管のヤング率があり, 加振試験に先立って静荷重試験を行ない, 測定した。

静荷重試験は, 試料を固定剛壁に水平に取付け, 先端に油圧ジャッキで荷重をかけてがい管のひずみ, 取付け部の変位角の測定を行った。

変位角はオートコリメータによる光学的方法で測定した。印加荷重はロードセルによって荷重検出を行なった。

(1) がい管のヤング率

がい管のヤング率は, 次の関係式より求められる。

$$E = \frac{Fl}{\varepsilon Z} \quad (7.21)$$

∴ E : がい管ヤング率

F : 先端に加えた荷重

l : 先端からの距離

ε : 発生ひずみ

Z : 断面係数

断面係数 Z は, 形状によって定まる値であり, 円筒の場合には式(7.22)で与えられる。

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_0^4 - d_i^4}{d_0} \quad (7.22)$$

表 7.1 8 m がい管のヤング率実測結果
Young's modulus of porcelain bushing.

フランジ上面からの位置 cm	モーメント kg・cm	ひずみ値 μ	断面係数 cm ³	ヤング率 kg/cm ²
5	1.53×10^6	130	2.15×10^4	5.50×10^5
125	1.28×10^6	150	1.95×10^4	4.38×10^5
250	1.00×10^6	185	1.58×10^4	3.43×10^5
375	0.76×10^6	170	1.08×10^4	4.13×10^5
500	0.52×10^6	130	0.80×10^4	5.00×10^5
625	0.30×10^6	110	0.56×10^4	4.87×10^5
平均値→				4.55×10^5

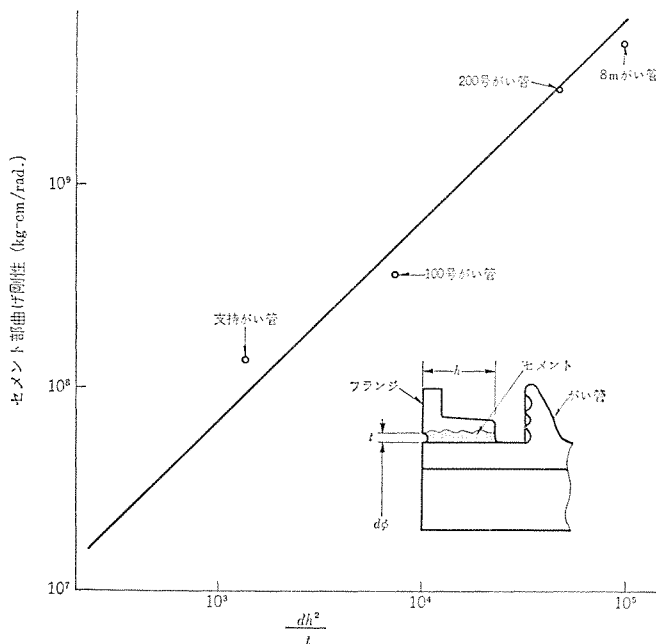


図 7.3 がい管のセメント部寸法と曲げ剛性
Dimensions of cemented part and bending strength of bushing.

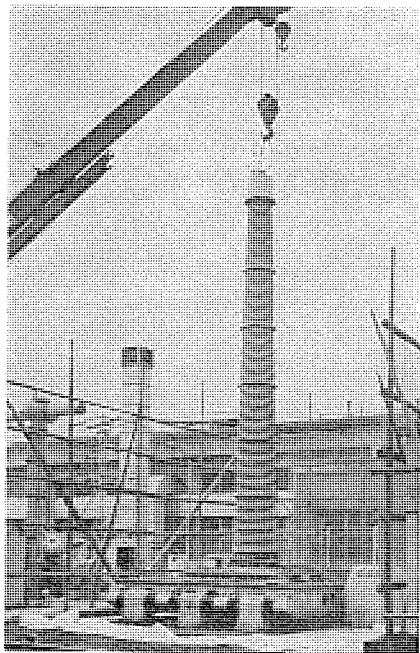


図 7.4 8 m がい管耐震試験状況
Under shaking test of 8 m bushing.

$\therefore d_0$: がい管外径
 d_i : がい管内径

$F \cdot l \cdot Z \cdot \varepsilon$ を測定することによってがい管のヤング率を求めるこ

とができる。試験を行なった 8 m がい管の測定結果は、表 7.1 に示すとおり平均ヤング率は $4.55 \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2$ であった。

(2) 取付け部の曲げ剛性

ブッシングの共振周波数に大きく作用する要因として、取付け部の曲げ剛性がある。取付け部の曲げ剛性は、がい管のセメント付け部・取付けフランジ部・取付け架台などの曲げ剛性である。曲げ剛性は単位 rad を曲げるのに必要な曲げモーメントで表わす。

セメント付け部の曲げ剛性については、データの信頼度をあげることに、実験式を得るために、100 kV 用がい管など 3 種類について測定した。その結果、セメント部の曲げ剛性の実験式として式 (7.23) を得た。

$$D_0 = 6.67 \times 10^{-4} \times \frac{dh^2}{t} \dots \dots \dots (7.23)$$

$\therefore D_0$: セメント部の曲げ剛性 (kg-cm/rad)

d : がい管の外径 (cm)

t : セメント厚さ (cm)

h : セメント長さ (cm)

図 7.3 にセメント部寸法と曲げ剛性の関係を示す。

7.3 8 m がい管の耐震試験

(1) 試験方法

耐震試験はできるだけ実機で行なうのが望ましいが、加振機の積載重量・加振能力・加振台の大きさなどの制約があるから、あらかじめ、理論的に解析して耐震強度に与える影響の少ない部分は省略し、ブッシングの実態に近い状態を模擬して試験した。

試料は、実機と同一条件にして、頭部に実機と等重量の部品をのせ、がい管内部には絶縁油を充てんして行なった。実際のブッシングでは中心導体が貫通しているが、強度にはほとんど関係しないので、強度試験では省略し、破壊試験では、センタクラップ圧力の関係も調査する目的で、中心導体を使用し、ばね圧力を加えて行なった。試験時の状態を図 7.4 に示す。

加振波形は、共振正弦波および各種地震波形をデータレコーダに記録させ、これを入力波形として、加振機を加振した。台車・がい管先端の加速度値およびひずみ値は動ひずみ(歪)計を用いてフォトコーダで記録した。加速度およびひずみの測定点の概略位置は図 7.5 に示す。

(2) 耐震試験項目

(a) 共振試験

ブッシングの共振周波数で連続加振し、減衰比率および応答を求める。加振加速度は、実地震と同程度にすることが望ましいが、疲労を極力少なくするために 0.1 G 程度とした。

(b) 強度試験

(i) 0.3 G 共振正弦波突印時の応答

(ii) 0.3 G EL-Centro 地震波の応答

(iii) その他の地震波の応答

(c) 破壊試験

がいし類を使用する機器の応答倍率は、加振加速度あるいは発生ひずみが大きくなると下がる現象、すなわち振幅依存性があるが、この傾向を実験的に求めるために破壊試験を行なった。加振速度は次のとおり、

(i) 共振正弦波突印 0.3~0.66 G

(ii) 共振正弦波連続加振 0.1~0.8 G

(3) 試験結果

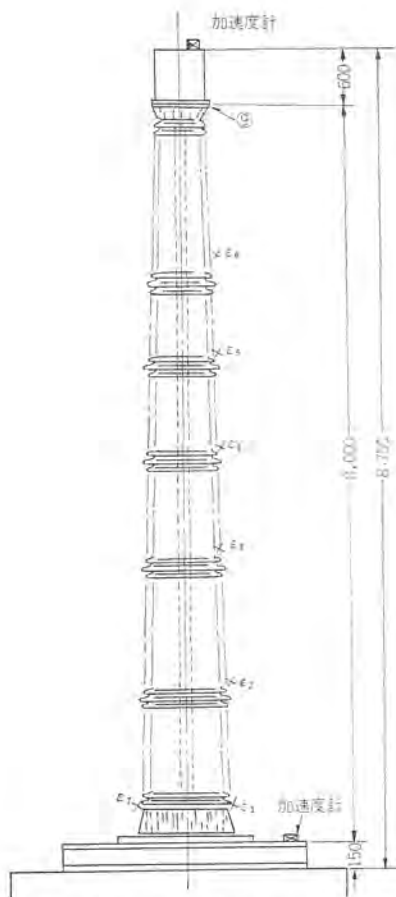


図 7.5 8 m がい管耐震試験時の加速度、ひずみゲージ貼付位置
Measured points of porcelain strains and accelerations at shaking test.

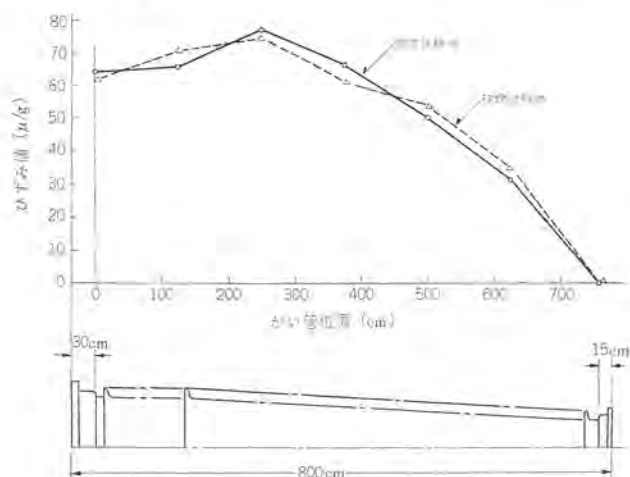


図 7.6 8 m がい管の先端 1 g 当たりのひずみ分布
Measured porcelain strain distribution per 1 g at the tip of bushing.

(a) 取付け部の曲げ剛性

$$D=1 \times 10^9 \text{ (kg-cm/rad)}$$

強度試験時、破壊試験時とも同一であった。

(b) 共振周波数

$$f_n=5 \text{ (Hz)}$$

強度試験時、破壊試験時とも同一であった。

(c) ひずみおよび応力分布

試験結果より先端 1 g 当たりのひずみを計算した軸方向の分布を
図 7.6 に示す。図 7.6 のひずみの値と、表 7.1 に示す実測した

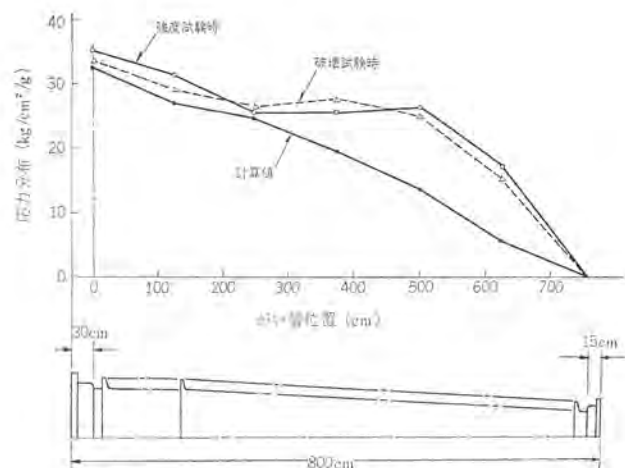


図 7.7 8 m がい管の先端 1 g 当たりの応力分布
Measured porcelain stress distribution per 1 g at the tip of bushing.

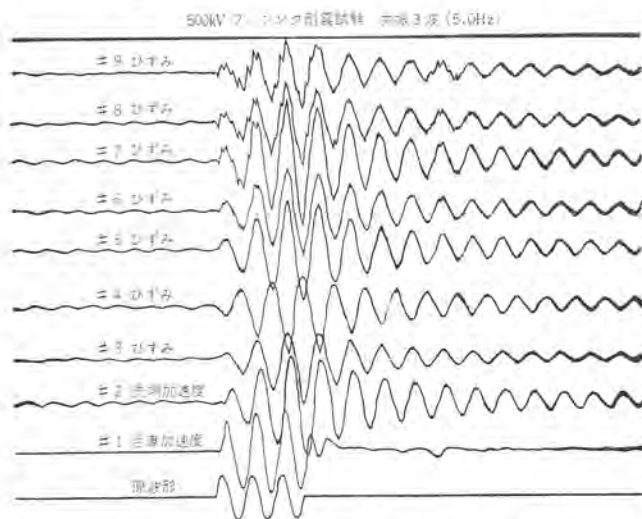


図 7.8 共振正弦 3 波突印時の波形の例
Response waveform of 500 kV bushing to three sine pulses.

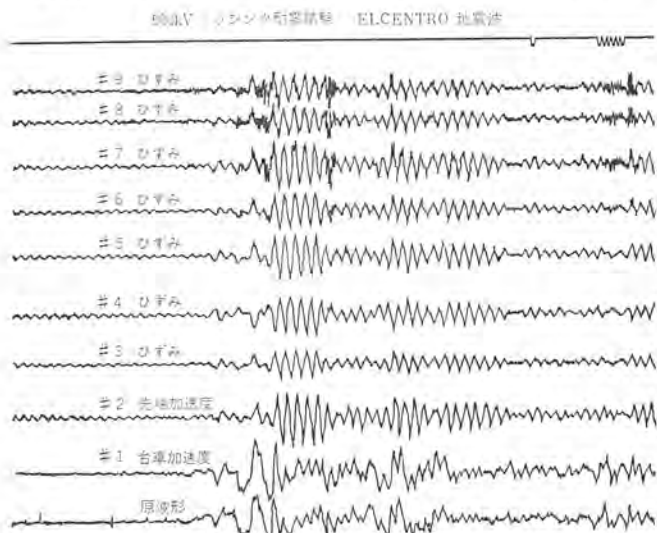


図 7.9 EL-Centro 地震波の波形の例
Example of response oscillogram of 500 kV bushing to EL-Centro earthquake.

ヤング率より先端 1 g 当たりの軸方向の応力分布を求めて、図 7.7
に示す。

共振正弦 3 波突印時の加振波形の例を、図 7.8 に示す。

EL-Centro 地震波の加振波形の例を、図 7.9 に示す。

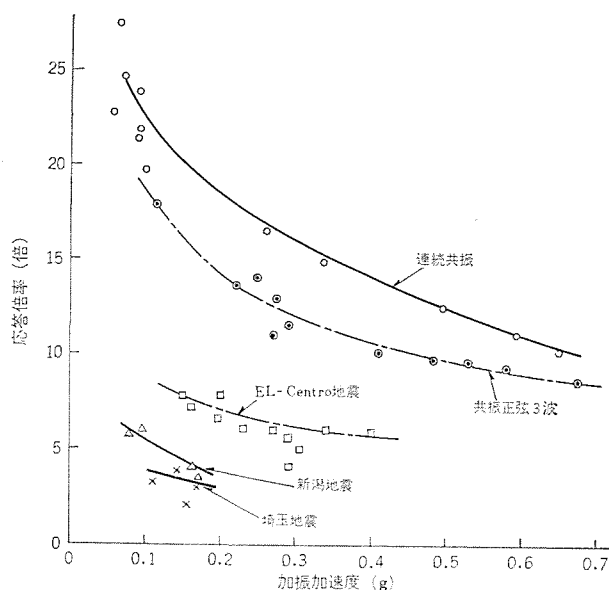


図 7.10 500 kV ブッシングの加振加速度と応答倍率の関係
Accel. response factor of 500 kV bushing vs. response multiplying factor of 500 kV bushing.

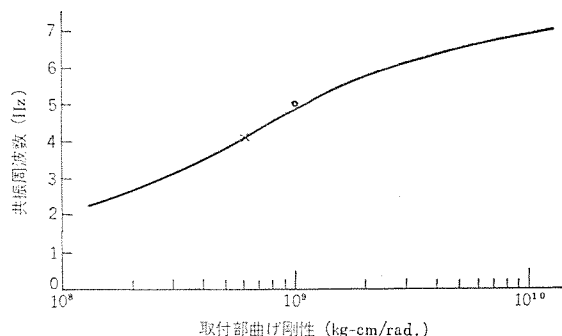


図 7.11 500 kV ブッシングの取付け部曲げ剛性と共振周波数の関係

Relation between natural frequency and bending strength of 500 kV bushing.

(d) 応答倍率

応答倍率は、加振機台車の加速度とブッシング先端加速度との比で表わすが、各加振波形による実測値を図 7.10 に示す。

(e) がい管破壊部分

正弦共振 3 波突印加振を 0.66 G まで行なった後、連続共振加振にて 0.8 G 程度まで加速度をあげて破壊試験を行なったが、連続加振加速度 0.6~0.65 G 前後で、共振周波数がずれ、応答倍率が急激に低下した。この現象は、試験後に点検した結果、セメント部に割れが発見されたことから、セメント部の剛性が低下したと思われる。

(4) 試験結果に対する考察

(a) 応力分布

がい管に発生するひずみの最大値は、図 7.6 に示すとおり、がい管下部より、2.50 cm の位置であるが、表 7.1 に示すようにがい管のヤング率にはかなりのばらつきがあり、一般にいわれている $5.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の一定数で取扱うことは危険であり、今回の検討には、実測した各部のヤング率より図 7.7 に示す応力分布を求めた。

この結果、最大応力発生部分は、計算どおりに下部フランジ上面であった。この場合の共振正弦 3 波突印時の先端 1 g 当たりの最大応力 α_{\max} は、安全側にみて $35 \text{ kg/cm}^2/\text{g}$ になる。

(b) 応答倍率

応答倍率は、図 7.10 に示すように、加振加速度を大きくすると、

減少する性質があり、(これを振幅依存性とよぶことにする)、ブッシングの耐震強度は、破壊寸前の応答倍率を基準にして行なうべきであることが確認され、また応答倍率は加振波形によっても異なり、500 kV 用ブッシングの場合には連続共振加振の場合にくらべて、正弦共振 3 波突印時で 75~85 %, EL-Centro 地震波で 35~55 % 程度になる。ブッシングとして、加振加速度 0.6 G における応答倍率の実測値は次に示す値であった。

連続共振加振	11 倍
共振正弦 3 波突印	9 倍
エルセントロ地震波	5~6 倍

(c) 取付け部の曲げ剛性

ブッシングの共振周波数は、がい管の大きさ・部品の重量による以外に、取付け部の曲げ剛性によっても大きく変わる。図 7.11 にその傾向を示す。

実際の地震波の卓越周波数は、1~3 Hz 程度のもが多く、この範囲をさける設計も、有効な地震対策であるが、実際には種々な制約がある。取付け部曲げ剛性についても、人為的に変化させることは現状では困難と考える。

(d) セメント部の強度

破壊試験で共振波連続加振した場合、がい管下部フランジのセメント部分に割れが発生して破壊した。磁器の応力と比較して若干低いと思われるが、耐震試験として過酷な荷重になり、疲労現象のために低下したと考えるのが妥当であろう。地震荷重は、発生確率の低い荷重で、疲労を考慮に入れる必要はなく、疲労のない状態での破壊強度を求めておくことは、さらに過酷な耐震仕様を検討に有効に利用できる。しかし、ブッシングとして 0.6~0.65 G までの信頼性があるデータが得られたので、実用上は十分と考えられる。

(e) センタクランプ方式の効果

センタクランプ方式は、ブッシング中心導体を利用して強力なバネでがい管に圧縮応力を加えて固定する方式であるが、圧縮応力はブッシング使用時の曲げ応力に対して引張側応力を減少させ、磁器の破壊強度をあげる効果である。逆に、圧縮側応力は大きくなるが、磁器の圧縮強度は非常に高く問題はない。

実験では、強度試験のときはセンタクランプなし、破壊試験ではセンタクランプ方式で行なったが、共振周波数・応答倍率に変化はなく、振動モードが変わらないことが証明されたとしてよく、センタクランプ方式は、耐震強度をあげる有効な手段であることが確認された。

7.4 500 kV ブッシングの地震時がい管に発生する応力

7.1~7.3 節に述べた耐震強度に関する理論解析、耐震試験の結果、わが国で 500 kV 用として使用される最も条件のきびしい 8 m がい管を使用したブッシングについて、地震時にがい管に発生する応力を求める。

耐震強度は、わが国において将来発生すると予想される最大の地震に耐えることが条件になるが、正確に予想するには資料に乏しく、不確定要素も多いため、ブッシングの耐震特性の検討に際して過去に発生した最大級の EL-Centro 地震波よりも相当過酷にはなるが、理論解析が行ないやすい、加振加速度 0.3 G の共振正弦 3 波を目安として検討を行なう。

(a) ブッシングの諸元

頭部々品重量	470 kg
がい管磁器部長さ	7,550 mm
センタクランプばね圧縮荷重	20,000 kg

表 7.2 500 kV ブッシングの各種荷重値
Maximum stress for static and dynamic force.

荷重の種類	条 件	部 分	がい管根元に加わるモーメント kg・m	がい管に発生する応力 kg/cm ²	応力の向き
自 重	—	ブッシング	4,370	21.0	↓
風 圧	60 m/s	ブッシング	5,150	24.8	○
		電 線	1,420	9.2	○
短絡機械力	50 kA	ブッシング	1,080	5.2	←→
		電 線	1,260	6.1	←→
地震機械力	0.3 G 共振正弦 3 波 突 印	ブッシング	—	126.0	←→
	0.6 G 共振正弦 3 波 突 印	ブッシング	—	189.0	←→

表 7.3 500 kV ブッシングの耐震強度
Safety factor of 500 kV bushing against earthquake and storm.

強 度	条 件	加速度応答倍率 倍	がい管に発生する最大応力 kg/cm ²	安 全 率
耐 震	0.3 G 共振正弦 3 波	12	127.4	1.96
	0.6 G 共振正弦 3 波	9	190.2	1.31
耐 風	60 m/s	—	57.6	4.33

ブッシング 取付け角度 垂直より 15° 傾斜
取付け部曲げ剛性 $1.0 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{rad}$
共振周波数 5 Hz

この諸元は 500 kV 12,000 A、壁ぬきブッシングにおける諸元であり、変圧器用ブッシング・ガス絶縁開閉装置用ブッシングの場合には、電流値として 12,000 A をこえることはないから、この場合が当社製ブッシングの過酷条件と考えてよい。

(b) 各荷重によるがい管に発生する応力

ブッシングに加わる曲げモーメントによって、がい管内部に発生する応力が最大になる部分は、がい管下部フランジ上面であるから、この部分の応力を求める。

(i) 15° 傾斜したときの自重により発生する応力

$$\sigma_s = 22 \text{ kg/cm}^2$$

(ii) センタクランプ方式による圧縮応力

$$\sigma_c = -21 \text{ kg/cm}^2$$

(iii) 0.3 G 共振正弦 3 波突印時の最大応力

$$\sigma_{a1} = 126 \text{ kg/cm}^2$$

(iv) 0.6 G 共振正弦 3 波突印時の最大応力

$$\sigma_2 = 189 \text{ kg/cm}^2$$

がい管内に発生する先端 1 g 当たりの最大応力は、図 6.9 より 35 kg/cm² であり、0.3 G 共振正弦 3 波突印時の応答倍率は図 7.10 より約 12 倍、0.6 G 共振正弦 3 波突印時には約 9 倍になるから、

$$\sigma_{a1} = 0.3 \times 12 \times 35 = 126 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{a2} = 0.6 \times 9 \times 35 = 189 \text{ kg/cm}^2$$

地震時にがい管内に発生する応力は

(i) 0.3 G のとき $\sigma_1 = \sigma_{a1} + \sigma_s - \sigma_c = 127 \text{ kg/cm}^2$

(ii) 0.6 G のとき $\sigma_2 = \sigma_{a2} + \sigma_s - \sigma_c = 190 \text{ kg/cm}^2$

7.5 500 kV ブッシングの機械的強度

ブッシングの使用時に加わる荷重は、地震荷重以外に、短絡時の電磁機械力・台風時の風圧荷重・接続する電線による荷重などがある。これらの条件を次のように仮定して計算する。

相間距離 5 m
短絡電流 50 kA
最大風速 60 m/s
接続電線 THAL 1,540 mm² 4 本、支持点 10 m

この条件で計算した結果を表 7.2 に示す。

ブッシングの機械的強度は、耐震強度（地震荷重および短絡機械力が重畳）、または耐風強度（風圧荷重および短絡機械力が重畳）のいずれに対しても耐えることが条件になる。

各荷重の方向がはっきりしているものは、ベクトルで加え、方向の定まらないものは算術和として求めた。

8 m がい管の地震荷重に対する曲げ破壊応力を、250 kg/cm² として安全率を計算すると、表 7.3 のようになり、0.3 G 共振正弦 3 波突印に対して約 2 倍の安全率がある。

この結果、500 kV 用ブッシングは、取付け部の曲げ剛性を高くとする構造にし、取付け角度を垂直より 15° 前後に取付けて使用するならば、ステーを設ける必要もなく、実用上十分な耐震強度を有すると考えられる。地震に関する研究がさらに進んで 500 kV 用の仕様を緩和できることになれば、取付け角度も 15° より大きくすることも可能であり、据付け上のメリットも出てくると考えられる。

500 kV 用ブッシングとしては、上に検討した 8 m がい管以外に軽汚損用として、6.5 m がい管を使用する場合も多いが、この場合の耐震強度は、がい管が短いために重心点が低くて曲げモーメントが小さくなり、また共振周波数も高くなり、機械的条件は大幅によくなって水平にしても十分な強度を有するので、特に問題にする必要はない。

8. む す び

以上、わが国において実用化される 500 kV 用ブッシングの耐電圧特性・耐震強度について詳細に検討してきたが、当社の 500 kV 用ブッシングは、内部コロナも全然発生せず十分な信頼性を持っているものと考えられる。

耐震特性についても十分な強度を有しており、取付け部の曲げ剛性、接続する電線の支持方法などを適切に配慮することによって、高度の信頼性が確保できると考えられる。

変圧器のように、本体機器が大きくて重量がある場合には、本体部分の曲げ剛性はほとんど関係しないものであり、取付けフランジを強固な構造にすることで十分と考えられる。

壁ぬきブッシングでは、建屋の振動系がブッシングに影響しない、独立して強度保証ができる。L 字形取付け方式または V 字形取付け方式を採用することによって、ステーなしで信頼性が高いものが得られる。

電流量に対する検討は省略しているが、当社製 500 kV ブッシングは、いずれもブッシング中心導体内径部とコンデンサ外周部を径路とする絶縁油対流がある構造であり、冷却特性は良好で、12,000 A の大電流用についても自冷方式が可能で、補機を使用しないために日常保守も容易で、この点における信頼性も高いと考えられる。

以上、変圧器用 500 kV ブッシングの実用化に当たっての各種信頼性検証試験、および壁ぬき用 500 kV 12,000 kV ブッシングの開発に対して、種々ご指導・ご教示をいただいた東京電力(株)各関係者に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 東、印藤、水谷、佐藤、岸田：超々高圧変圧器用ブッシング、三菱電機技報、41, No. 3 (昭 42)
- (2) 尾崎：500 kV 送電の絶縁設計について、5, 3 発電電所の絶縁レベルの検討、電気学会雑誌、90, No. 12 (昭 45)

500kV 大容量変電機器の開発

石田 四男*・藤本 純*
 神谷 友清**・富永 正太郎**
 山内 敦**・左近 一郎**

Development of 500kV Heavy Current Substation Equipment

Tokyo Electric Power Co. Yotsuo ISHIDA・Jun FUJIMOTO
 Mitsubishi Electric Corp., Itami Works Tomokiyo KAMIYA・Shotaro TOMINAGA
 Atsushi YAMAUCHI・Ichiro SAKON

With the high degree growth of economy and the advancement of the state of affairs in a community, technical problems of power transmission in future are considered roughly to be huge capacity power sources constructed in remote places and an increasing trend of overpopulation of cities. To cope with them the development of technique of large capacity power transmission is taken into account as an essential subject of study. As a part of it the Tokyo Electric Power Co. had promoted to use 500 kV extra high voltage transmission and develop new technique by which the current capacity of substation equipment can be epochally enlarged, in cooperation with several electric manufacturers.

In particular, circuit breakers, disconnecting switches, current transformers and wall bushings were given thorough study as target to be used for 8,000 A and 12,000 A system. Of them, those coming in the share of cooperation of Mitsubishi with Tokyo Electric Power were brought to completion last March as scheduled with success, the outline of which is introduced herein.

1. ま え が き

わが国の高度の経済成長と社会情勢の進展にともない、今後の送電技術の問題点は、電源の大容量・遠隔地化と都市の過密化の2点に集約されるものと考えられる。

上記に対する対策の一環として、東京電力(株)では昭和43年以降、送電線の用地節約と建設費の節減をはかるため、主要機器メーカーなどとそれぞれ共同して大容量送電技術の技術開発を推進中であるが、ここでは変電機器大容量化の技術開発について、東京電力と三菱電機との共同研究の成果の概要を紹介する。

開発目標としては、今後の大容量火力ないし原子力プラントの規模(1,000万kW程度になることが予想される)ならびに系統規模を長期的に見通して、500kVについては8,000Aおよび12,000A(従来の最大定格4,000Aの2倍および3倍)を選定した。また、275kV用諸機器についても同様の大容量化が必要になるので、これらについてもあわせて検討を行なった。

三菱電機との間の共同研究については、このうちシャ断器・断路器・変流器・壁ぬきブッシングを対象として開発をすすめ、昭和46年3月に目標どおり開発を完了し、所期の成果をおさめたものである。

2. 各 論

2.1 シャ断器

2.1.1 仕様事項

試作品の仕様は下記のとおりである。

定格電圧	550 kV
定格周波数	50 Hz
定格シャ断電流	50 kA
定格再起電圧	1.8 kV/ μ s

定格短時間電流	50 kA
定格投入電流	125 kA
定格開極時間	25 ms
定格シャ断時間	2 サイクル
無負荷投入時間	0.1 秒
定格操作油圧	320 kg/cm ²
定格制御電圧	DC 100 V
定格引きはずし電圧	DC 100 V
定格ガス圧(高圧)	15 kg/cm ²
定格ガス圧(低圧)	2 kg/cm ²
標準動作責務	0-θ-CO-1分-CO
絶縁階級	350 号
	商用周波 840 kV
	衝撃波 1,800 kV
	開閉 インパルス 1,090 kV
耐塩害強度	0.03 mg/cm ²
耐震強度	0.3 G 正弦3波共振

2.1.2 主たる検討事項

本シャ断器の試作にあたり、とくに次の検討を行なった。

(1) シャ断器構造の検討

(2) 冷却方式の検討

試験・検討の結果、同シャ断器はすでに製品化されているSF₆ガスを消弧媒体とする二重圧力式ガスシャ断器を強制冷却することにより、12,000Aまでの通電が可能であることが実証された。すなわち、シャ断器構造・メカニズム・シャ断部形状等のシャ断性能に直接関連する部分は従来と同一であり、通電部導体や端子部は熱容量を増大するように改造を施している。

また、シャ断器本体には新たにガス冷却装置を付属して、図2.1に示すように、ガスフロアにより強制循環して冷却装置でSF₆ガスを冷

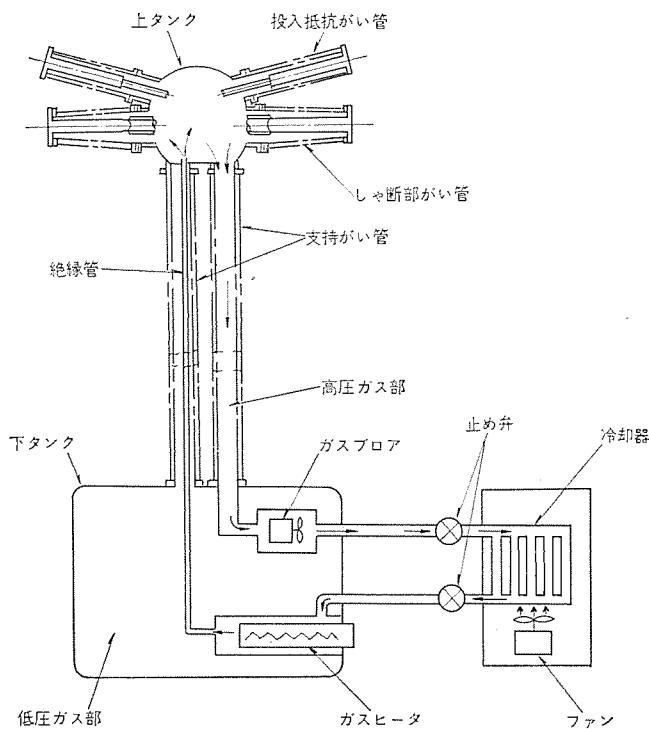


図 2.1 大電流容量用 ガスしゃ断器構造原理図
System diagram of construction of gas insulated circuit breaker.

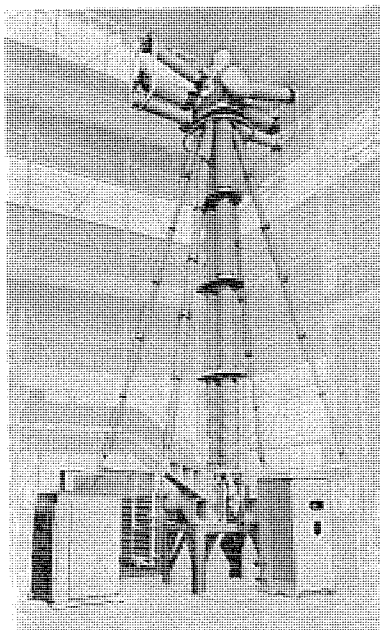


図 2.2 1 柱 外 観 図
Exterior view of one pole.

却する。

以上のようなしゃ断器構造および冷却方式の採用により、このしゃ断器は次のような特長を有している。

(a) しゃ断器構造・メカニズム・しゃ断部形状は従来のものと同一であり、基本的には従来のしゃ断器と同じしゃ断および投入性能が得られる。

(b) 冷却装置の容量を変えることにより、定格電流は 12,000 A 用のほかに 8,000 A 用も簡単に製作可能である。

(c) しゃ断器部品はほとんど従来品と同一部品が流用できるため、品質管理が容易であり、信頼性が高い。

今回の試作しゃ断器を図 2.2 に示す。なお、通電容量以外の性

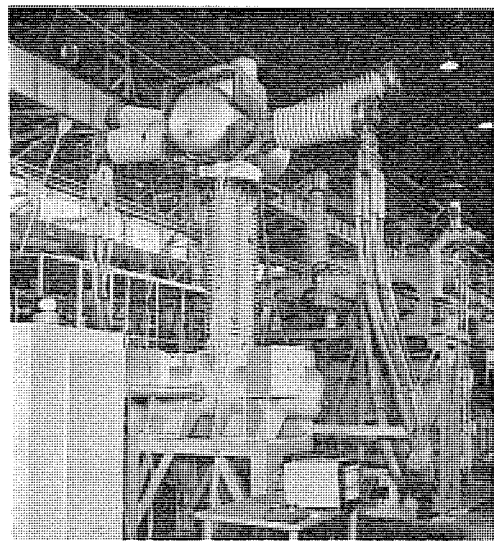


図 2.3 温度上昇試験
Temperature rise test.

表 2.1 温度上昇試験
Results of temperature rise test.

<div>電 流</div> <div>冷却器</div>	8,000 A		12,000 A		規 格 値 deg
	ファン：ON		ファン：ON		
	ブロー：ON		ブロー：ON		
	測 定 位 置	測定値 °C	上昇値 deg	測定値 °C	
1	81	57	171	138	30以上
2	53	29	90	57	65
3	51	27	82	49	—
4	50	26	83	50	65
5	47	23	82	49	65
6	44	20	70	37	65
7	45	21	70	37	65
8	49	25	85	52	65
9	51	27	85	52	65
10	52	28	82	49	—
11	51	27	84	51	65
12	79	55	159	126	30以上
13	54	29	79	46	50
14	49	25	77	44	50
15	46	22	73	40	65
16	49	25	79	46	65
17	40	16	65	32	—
18	45	21	73	40	—
19	44	20	75	42	65
20	50	26	84	51	65
21	33	9	50	17	—
22	28	4	39	6	—
23	33	9	48	15	—
24	24	—	33	—	−20〜40
通 電 時 間	8.0		8.0		—

通 電 電 流：8,000, 12,000 A

測 定 器：熱電対自動記録温度計

接 続 導 体：耐熱アルミ導体 (THAL) 1,510 mm²×4

周 波 数：60 Hz

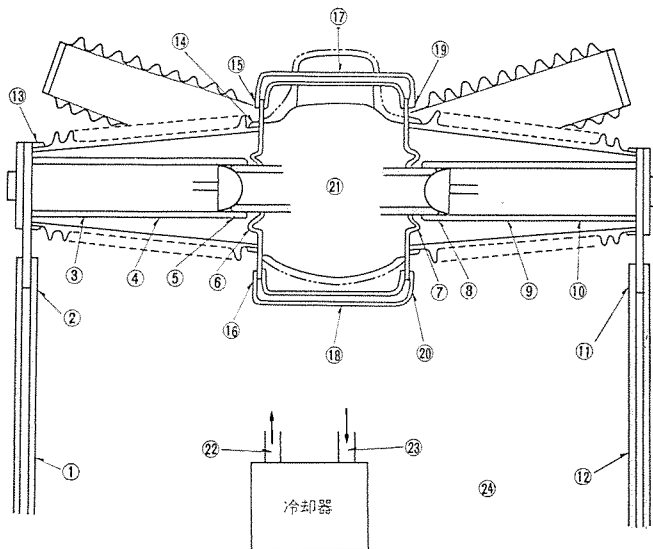
封 入 ガ ス 圧：14 kg/cm²・g (at 20°C)

能に関しては、まったく 4,000 A 以下の ガスしゃ断器と同一であるが、本共同研究において耐震試験、汚損および洗浄耐電圧試験を実施したので、その結果についても次の項で報告する。

2. 1. 3 試験結果

(1) 温度上昇試験

通電電流 8,000 A, 12,000 A における各部の温度上昇を測定した。その状況を図 2.3 に示す。この結果、通電電流 12,000 A においてコンタクト接触部の温度上昇値は約 50°C であり、規格値 65°C に対して十分余裕のあることが確認された。



- ①, ⑫ : 端子より 1 m 導体
 ②, ⑪ : 端 子
 ③, ⑩ : 固定コンタクトさき中央部
 ④, ⑨ : 固定コンタクト接触部
 ⑤, ⑧ : 主接線部
 ⑥, ⑦ : フィンガコンタクト接触部
 ⑬, ⑭ : 消コ室がい管フランジ
 ⑮, ⑯, ⑰, ⑱ : 外部導体接続部
 ⑲, ⑳ : 外部導体中央部
 ㉑ : ガス温
 ㉒, ㉓ : 冷却器出入口ガス温
 ㉔ : 周 温

図 2.4 温度測定位置
 Position of temperature rise measurement.

表 2.2 試験結果
 Results of salt contamination and hot line washing test.

試験箇所	使用 ノズル	試 験 条 件				洗 浄 電 圧 kV	等価霧中試験結果
		塩分付着量 mg/cm ²	洗 浄 水 固有抵抗 kΩ-m	風 速 m/s	洗 浄 電 圧 s		
支 持 部 (対 地 間)	10 m/s 用ノズル	0.12 実 着 (0.151)	5	0	30	390	5 % F.O.V=303 kV 50 % F.O.V=338 kV σ=21 kV (6.2 %)
		0.06 実 着 (0.068)	5	0	30	450	5 % F.O.V=356 kV 50 % F.O.V=391 kV σ=21 kV (5.4 %)
		0.03 実 着 (0.0385)	5	0	30	480 以上	5 % F.O.V=424 kV 50 % F.O.V=480 kV σ=33 kV (6.9 %)
					5	460	
				10	5	480 以上	
					3	0	
支 持 部 (支 持 が い 子 の み 汚 損)	—	0.03 実 着 (0.0385)	—	—	—	—	5 % F.O.V=425 kV 50 % F.O.V=476 kV σ=33 kV (6.5 %)

(注) 水 圧 : 30 kg/cm²
 実着塩分付着密度は、試験後の 3 箇所の平均値を示す。

試験結果を表 2.1 に、温度測定位置を図 2.4 に示す。

(2) 耐震試験

図 2.5 に示すように、実体加振試験を実施した。試験内容としては正弦波連続加振による共振特性試験、正弦 3 波共振および実地震波による加振である。

この結果、もっとも条件の悪い方向の加振時でも 0.3 G 正弦 3 波

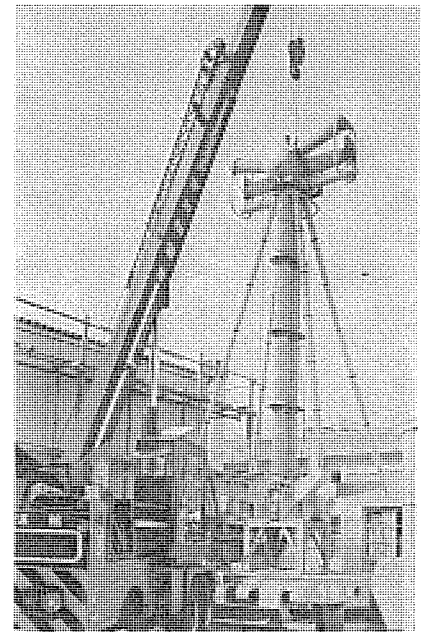


図 2.5 耐震試験 Vibration test.

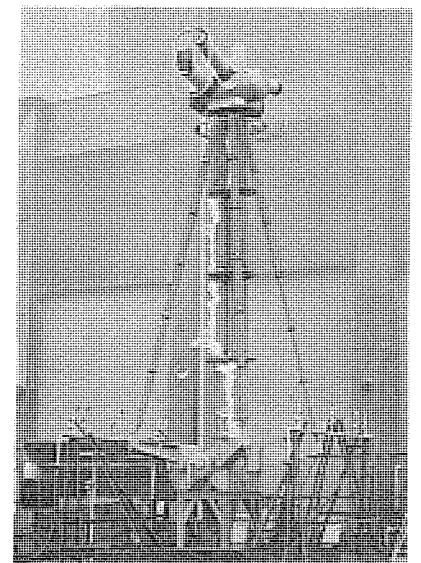


図 2.6 等価霧中試験 Salt contamination test.

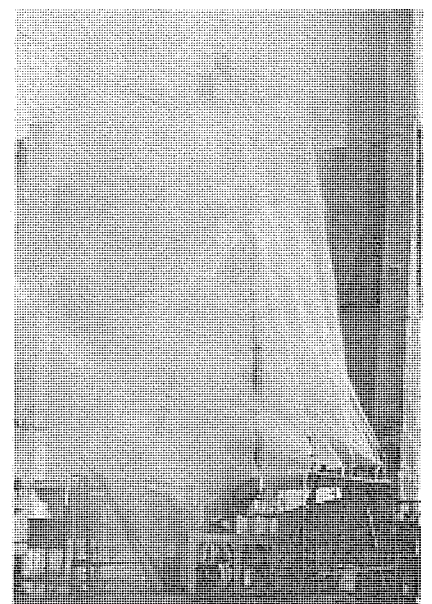


図 2.7 活線洗浄試験 Hot line washing test.

共振に耐え得ること、エルセントロ地震波 0.33 G においては約 1.8 倍の裕度のあることが確認された。

(3) 汚損および洗浄耐電圧試験

同しゃ断器の対地間の汚損、および洗浄耐電圧試験を日本碍子(株)小牧超高圧試験所で実施した。その試験状況を図 2. 6、2. 7 に示す。その結果を表 2. 2 に示す。

塩分付着量 0.03 mg/cm² において等価霧中 5 %せん(閃)絡電圧は約 440 kV、活線洗浄耐電圧は約 550 kV となり、一線地絡時の健全相対地電圧 364 kV($525 \times 1.2 / \sqrt{3}$) を十分満足することが確認された。

2. 2 断路器

2. 2. 1 仕様事項

試作品の仕様は下記のとおりである。

定格電圧	550 kV
定格電流	12,000 A
定格周波数	50 Hz

定格短時間電流	53 kA	2 秒
定格操作圧力	15 kg/cm ² -g	
定格制御電圧	DC 100 V	
絶縁階級	350 号	
衝撃波耐電圧	対 地	1,800 kV
	極 間	1,800+430 kV
商用周波耐電圧	対 地	乾 燥 840 kV
		注 水 840 kV
	極 間	乾 燥 840 kV
		注 水 840 kV
開閉 イmpルス 耐電圧	対 地	乾 燥 1,090 kV
		注 水 1,090 kV
	極 間	乾 燥 1,090 kV
		注 水 1,090 kV
耐塩害設計基準	汚損度	0.03 mg/cm ²

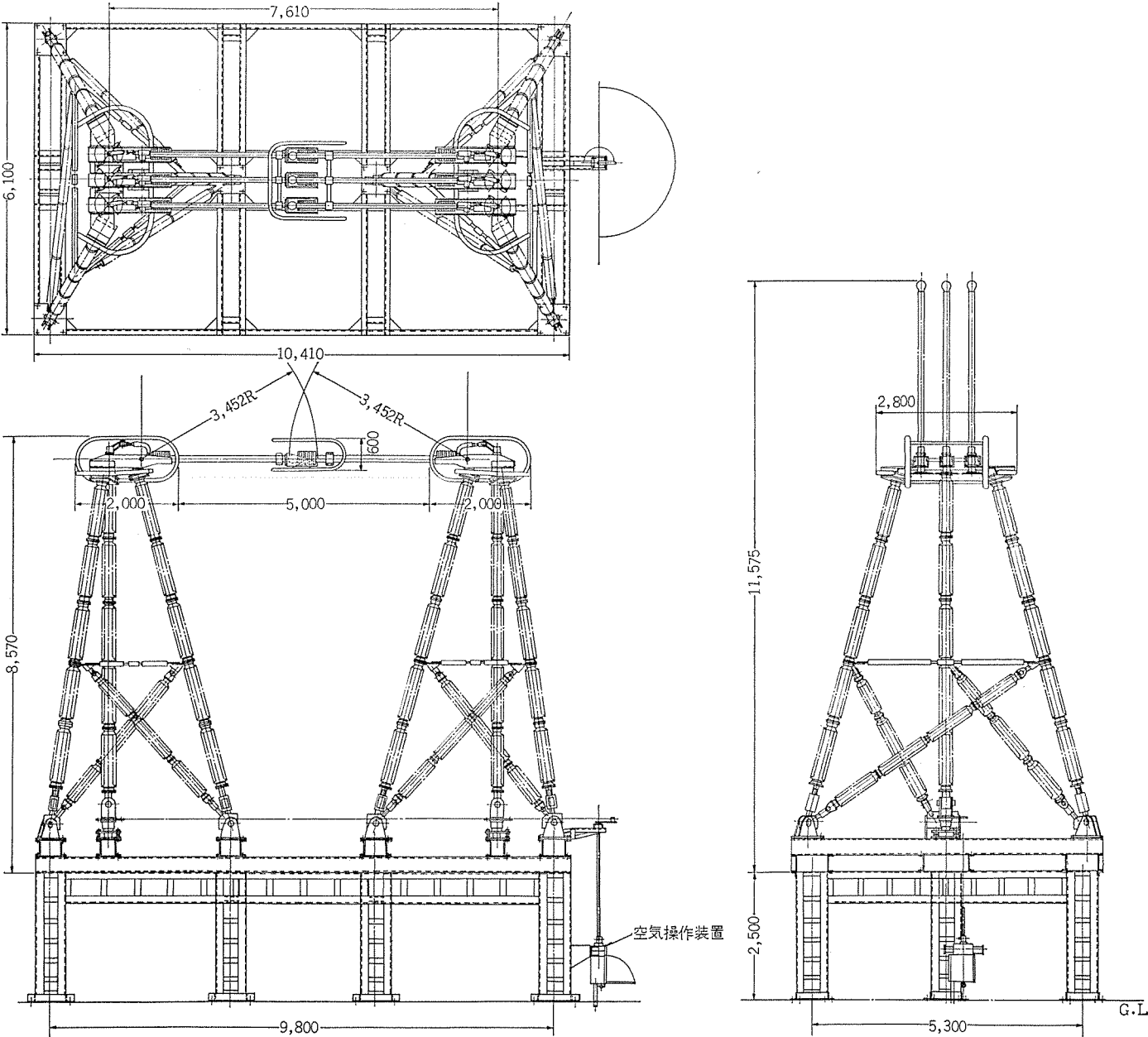


図 2. 8 550 kV 12,000 A 断路器単極外形図
Outline of 550 kV 12,000 A single pole disconnecting switch.

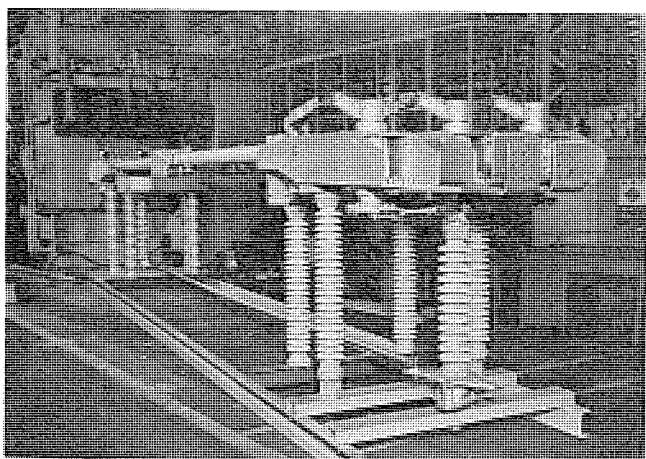


図 2.9 導電部ユニット 550 kV 12,000 A
Unit of line part.

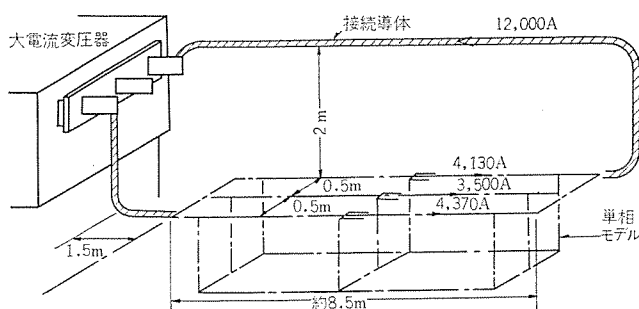


図 2.10 温度試験状況と電流分布
Temperature rise test and current distribution.

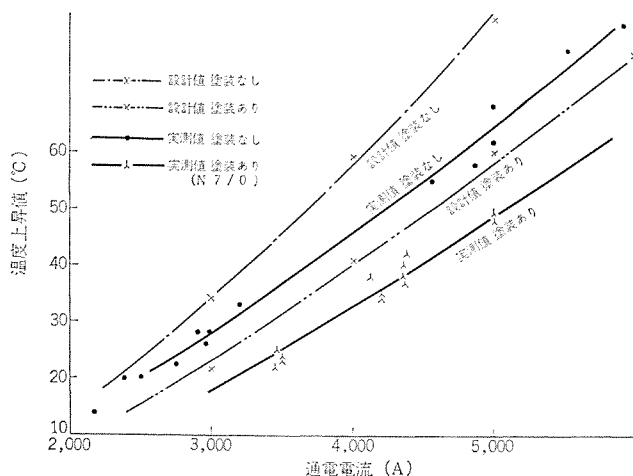


図 2.11 ブレード温度上昇特性
Relation between current and temperature rise of blade.

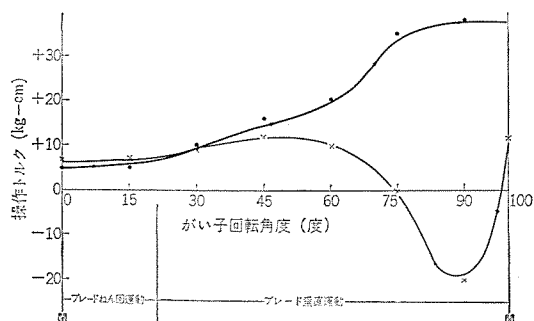


図 2.12 操作トルク特性
Operating torque curves.

汚損耐電圧 一線地絡時の健全相
対地電圧に耐える。

364 kV

耐震設計基準 0.3 G 共振正弦3波

2.2.2 主たる検討事項

本断路器の試作にあたり、次の検討を行なった。

- (a) 方式の検討
 - 〔在来形のサイズアップ
強制冷却方式の採否
ガス絶縁方式〕
- (b) 断路形式
 - 〔水平中心一点切り
パンタグラフ形
垂直中心一点切り〕

検討の結果、在来形の延長とし、垂直中心一点切りとし、三ブレード並列式の自然冷却方式を採用することになった。

実際面での問題点としては、大電流化対策として採った三ブレード方式で、電流分布がどのようになるかという点と耐震性能面にあった。電流分布は基礎実験により、ブレード間隔を適正にとることによって達成できることが明らかになり、耐震構造は支持がいし装置のストラクチャ化と、導電部の軽量化(アルミ化)により解決できることが判明した。

図 2.8 に 550 kV, 12,000 A の外形を示す。図 2.9 は温度試験用として準備中の単相ユニットである。

2.2.3 試験結果

(1) 温度試験

図 2.10 に示すような配置で試験を行ない、温度測定とともに電流分布も測定したが、中央部 30 %、端部 35 % という良好な電流分布になっている。

温度上昇の概要値としては、

ブレード部 最大 40°C

接触部 最大 40°C

であり、規格に対して十分な余裕が見られる。さらに、数回にわたる温度試験のデータを集約すると、図 2.11 に示すような電流温度特性が得られ、塗装効果が明確に出ている。

(2) 開閉特性

単相ユニットの手動操作トルクを測定したものを図 2.12 に示す。ねん(捻)回接触時には低い操作力であり、開極点で重くなる特性は、操作特性としては良好であり、在来形の空気操作器で十分良好な操作ができる。

(3) 耐震性能

耐震性能の検討は、従来より開閉機器関係で実施されてきた電子計算機のプログラムを使って行なった。計算結果は 0.3 G 正弦3波で、支持がいしは安全率 2.93 であった。操作用がいしは単柱のために安全率は 1.76 になっているが、がいしの強化によって 2.0 まで向上できる見とおしである。

2.3 変流器

2.3.1 仕様事項

試作品の仕様は下記のとおりである。

定格電圧	500 kV
最高回路電圧	550 kV
定格一次電流	12,000/6,000 A
定格二次電流	1/1/1 A
定格負担	60 VA(W) × 3 + 25 VA

誤差階級	1.0 級
過電流強度	50 kA (直流分 100 %)
過電流定数	上記過電流において 直流分時定数 0.1 秒で 1.5 サイクル 目まで、直流分時定数 0.03 秒で時 間に関係なく誤差 10 % 以内
耐塩害強度	0.03 mg/cm ³ (目標耐電圧 364 kV)
耐震強度	0.3 G 正弦 3 波共振

2.3.2 主たる検討事項

本変流器の試作にあたり、とくに検討を行なった事項として

- (a) 大電流化に対するもの
- (b) 耐震強度に対するもの
- (c) 直流分重畳に対する対策・残留磁束対策

の3項があげられるが、このうち、とくにAは今までにない(碍)子形変流器としては、まったく未経験の 12,000 A という大電流に対する対策であった。これら3項目は、互いに相反する要素を含んでおり、実用器として製作・使用上の見地をあわせて考えて総合設計を行なうことが重要なポイントになった。今回の試作品では、次項に示すような全絶縁カスケード形を採用することにした。

(1) 基本構造

従来の 275 kV, 4,000 A 級までの変流器においては鉄心を下部タンク内に収納し、一次巻線に主絶縁をほどとして下部タンクに引き込むいわゆる正立形と、鉄心・二次巻線に主絶縁を施して頭部タンク内に収納し、一次導体をこれに貫通させる倒立形とが採用されてきた。

今回の共同研究品においては、正立形は前項大電流化に伴う放熱の面から強制冷却を実施しなければ実現困難となり、また倒立形とした場合には、500 kV 絶縁に加えて直流分重畳による飽和对策のために鉄心の大幅増加を必要とし、頭部重量がぼう大になり、強力なステーがい子を設けて、これに耐震力の大部分を負担させることが必要になる。しかし、ステーがい子を設けることは、据付け面積がぼう大になり、またステーがい子張力・共振・汚損洗浄など技術的にも新しい問題を持ち込むことになる。

したがって、今回の共同研究試作品では、前記3項のバランスをとってできるだけ従来の CT の形態からはずれずに各要求を満たすよう、全絶縁カスケード接続方式を考え、採用することにした。この方式は、正立形の 100 A CT の頭部に 12,000-6,000/100 A の補助 CT を積載したものであり、この補助 CT はアンペアターンが 12,000, 6,000 AT と大きく、また絶縁を必要としないために小形で特性のすぐれたものが製作でき、従来のカスケード形 CT に見られたような特性の劣化をまねくことはない。今回の試作品の外形図を図 2.13 に示し、結線図を図 2.14 に示す。

(2) 耐震強度の検討

本変流器の試作にあたり、最も多くの検討を要したのは耐震性能の検討であった。従来の電気機器については、動的な耐震性能の検討はあまり行なわれておらず、そのうえ変流器はしゃ断器など異なり、分布定数条件となるために新しい理論解析・4 m がい管による静荷重試験・振動試験・フラジメント部分の曲げ剛性の測定などの実験を重ね、最後に実物と同一の変流器を用いて実測を行なった。0.3 G 共振 3 波突印では、がい管の耐震の曲げ破壊強度 250 kg/cm² に対して安全率 2.1 を予想していたが、実測結果は 2.14 であり、よい一致をみた。

(3) 残留磁束

いったん、直流分を含む故障電流を流して残留磁束を残すと、次いで同方向に直流分を含んだ故障電流が流れたときには、磁気飽和

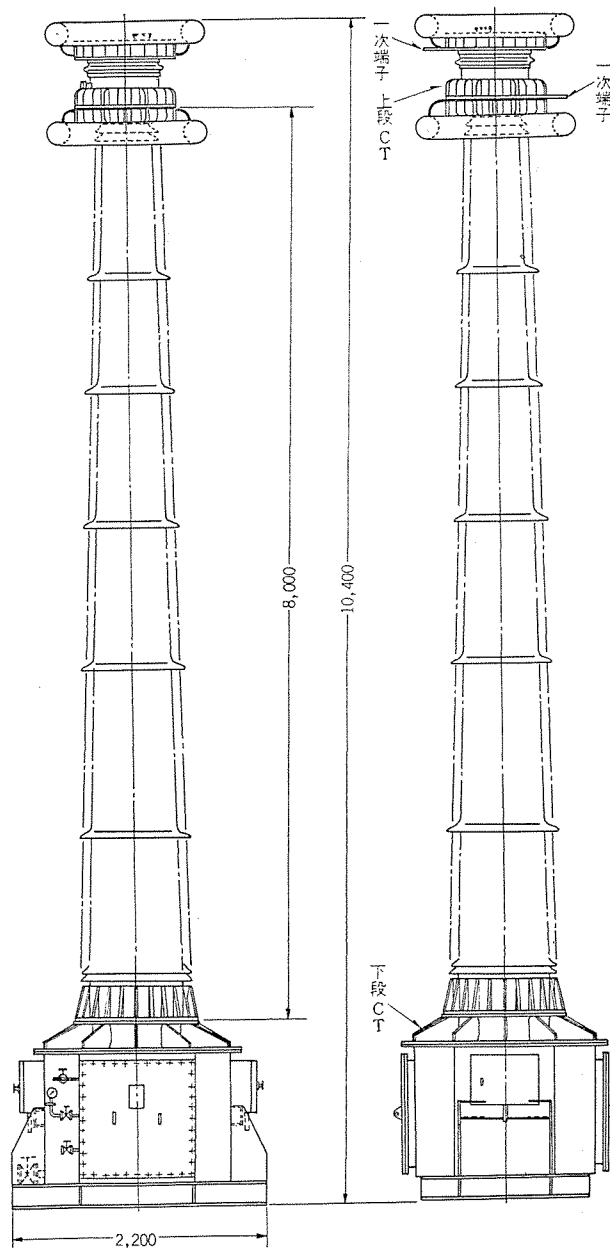


図 2.13 500 kV 12,000 A 変流器外形図
Outline of 500 kV 12,000 A CT.

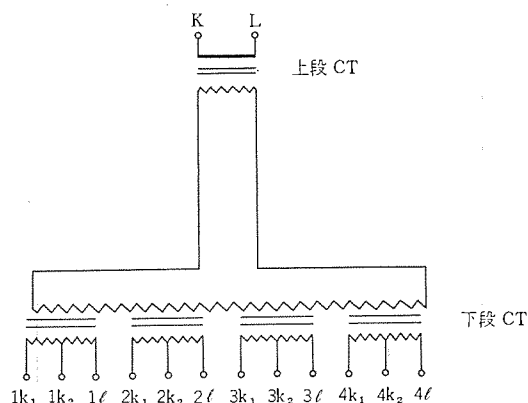


図 2.14 500 kV 12,000 A カスケード形変流器結線図
Connecting diagram of cascade type 500 kV 12,000 A CT.

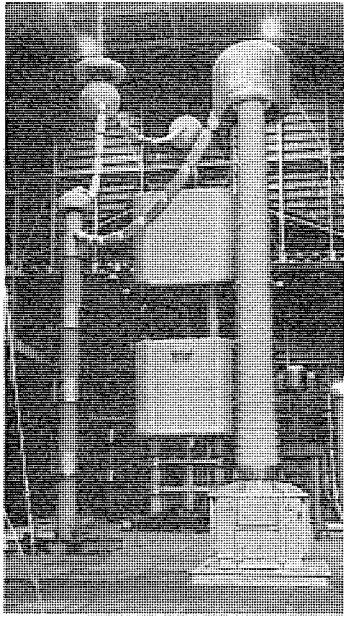


図 2.15 耐電圧試験中の 500 kV 12,000 A 変流器
500 kV 12,000 A CT under withstanding voltage test.

が早く生ずるようになるので、残留磁束は最小にしておく必要がある。これには鉄心にギャップを設ければよく、この点については、本変流器の設計に先だって各種ギャップを有するモデル鉄心を製作し、磁化特性の測定・変流器としての誤差特性の測定を行ない、その結果を十分に生かして本変流器の鉄心を設計・製作した結果、残留磁束は、最大飽和磁束の 10 % 以下に抑えることができた。

なお、空けき(隙)の設置方法として全磁束断面に対して設ける方法と、磁路の一部に設ける方法がある。後者の方法は、定格電流域以下における誤差に与える空けき長の影響が少なく設計が楽になるが、反面 Relay 用として重要な過電流域の誤差が大きくなる傾向がある。本試作品では十分なアンペアターンが取れ、定格電流以下の誤差は十分に小さくできるために前者の方法を採用した。

(4) 直流分重畳の影響

直流分を含む一次電流が流れる CT 鉄心は、二次負担抵抗分按比例して磁束密度が積分の形になり、磁気飽和を生ずることになる。この対策として鉄心断面積を等価回路による計算結果から直流分のない従来のものに比べて上段 4.9 倍、下段 8.9 倍に設計した。

(5) 大電流対策

本 CT は一次電流 12,000 A と従来の 3 倍以上の大電流になるため、温度上昇低減対策が必要になる。本試作品は全絶縁カスケード形としてできるだけ一次損失を減少するとともに、発生損失および外部導体よりの侵入熱量をいづれも金属伝熱によって冷却フィンに導びく方法を採用した。

2.3.3 試験結果

(1) 耐電圧試験(図 2.15)

AC	840 kV	1 分間
インパルス	+1,800 kV	5 回
開閉 インパルス	±1,200 kV	各 5 回
長時間耐圧	476 kV	1 時間
	635 kV	5 分
	476 kV	1 時間

いずれも異常は認められなかった。

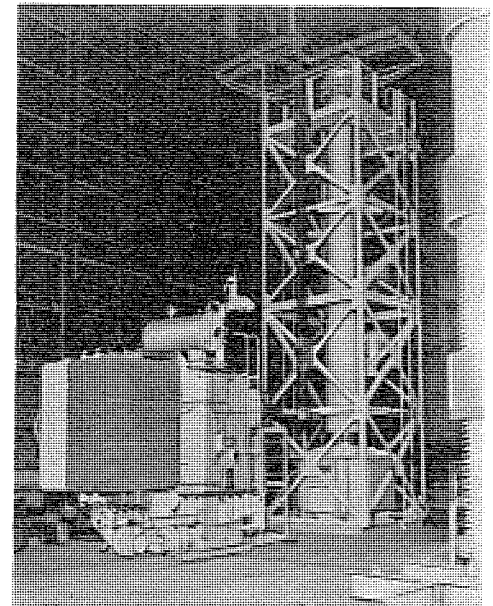


図 2.16 温度上昇試験中の 500 kV 12,000 A 変流器
500 kV 12,000 A CT under temperature rise test.

(2) 許容差試験

各鉄心とも JEC-143 1.0 級を満足した。

(3) 温度上昇試験(図 2.16)

変流比 12,000/1 A、二次巻線に定格負担 (60 VA×3+25 VA×1, 力率 1.0) を接続し、一次巻線に定格電流 12,000 A を、各部の温度が飽和するまで通電した一次端子の温度上昇は、47 deg、変流器の温度上昇最高点は上段 CT 二次巻線で 53 deg であった。

(4) 過電流試験

条件がきびしくなる 6,000 A タップに 50 kA (AC 分実効値) を通電してオシロで過電流時の特性を測定した。

直流分時定数 69 ms のとき誤差 1.5 サイクル 目まで -7.7 %
2 サイクル 目まで -9.4 %

直流分時定数 30 ms のとき誤差 最大 -1.0 %

なお、仕様では直流分の時定数は 100 ms となっているが、試験設備の都合で 69 ms が限度であった。しかし、試験電流波形を時間積分してみると、1.5 サイクル 目までは仕様値 2.05 kA-s に対して実測値 1.98 kA-s でほとんど差がなく、過度特性も満足すべき結果が得られた。

(5) 耐震試験

電気試験用試作品とは別に、構造・重量が同一の変流器で耐震試験を実施した。試験の結果は、

共振周波数	4.1 Hz
応答倍率	$\begin{cases} 11 \text{ 倍 (共振連続)} \\ 9 \text{ 倍 (共振正弦 3 波)} \\ 6 \text{ 倍 (エルセントロ 地震波)} \end{cases}$
耐震強度	がい管の耐震曲げ破壊強度 250 kg/cm ² に対して 0.3 G 共振正弦 3 波のときの安全率は 2.14 であった。

2.4 壁ぬきブッシング

2.4.1 仕様事項

大電流壁ぬきブッシングは次の仕様のもとに開発された。

定格電圧	550 kV
定格電流	12,000 A

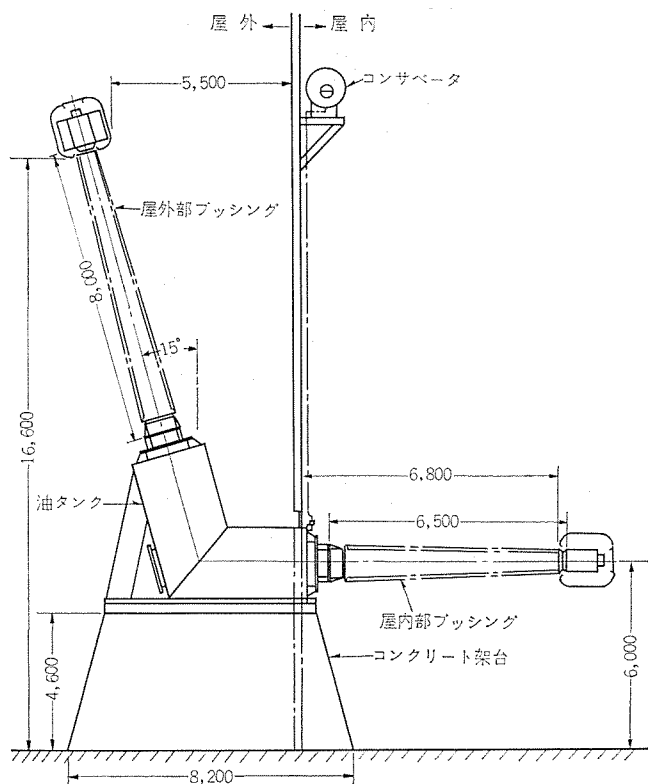


図 2.17 L 字形取付け方式 500 kV 壁ぬき ブッシング 外形寸法
Outline dimensions of L-mounting system 500 kV wall bushing.

絶縁強度

商用周波耐電圧	840 kV
衝撃波耐電圧	1,800 kV
開閉衝撃波耐電圧	1,200 kV

過電流強度

50 kV

耐塩害強度

耐電圧目標値	364 kV
許容等価塩分付着密度	屋外部 0.03 mg/cm ²
	屋内部 0.02 mg/cm ²

耐震強度

機器取付け部において 0.3 G の加速度を有する水平方向の正弦共振 3 波を突印し、十分な強度を有するものとする。

2.4.2 主たる検討事項

ブッシングとして特に検討を行なった事項としては、次の二項目があげられる。

- (a) 大電流化に対する検討
- (b) 耐震強度に対する検討

これらの項目は、500 kV 機器として要求される安定性・信頼性の見地より、不確定要素を含まない検討が必要である。

(1) 基本構造の検討

従来の壁ぬきブッシングの概念では、開閉所建屋の壁に直接取り付けられるものであるが、500 kV 耐塩害用のために屋外部は 8 m、屋内部は 6.5 m のがい管を使用する必要がある、500 kV 大電流機器として要求される信頼性を考慮すれば自立形（ステーなし）自冷方式が好ましく、これを前提として検討を行なった。12 kA の大電流に対して自冷方式とするには、ブッシング両端間に落差をとり、中心導体内径部と絶縁外周部において対流させて内部温度の均一化をはかる必要がある。

表 2.3 500 kV 壁ぬき ブッシングの機械的性能
Mechanical performance of 500 kV wall bushing.

	検 討 条 件		加速度応答倍率	がい管に発生する最大応力 kg/cm ²	安 全 率
屋 外 部	耐震	0.3 G 正弦 3 波 共 振	12	127.4	2.0
		0.6 G 正弦 3 波 共 振	9	190.2	1.3
	耐風	40 m/s	—	38.7	6.5
屋 内 部	耐震	0.3 G 正弦 3 波 共 振	12	88.5	2.8
		0.6 G 正弦 3 波 共 振	9	147.3	1.7

注 1) 表の結果はいずれも 50 kA の短絡機械力の重量を考慮している。
2) 接続電線は THAL 1,540 mm²×4 10 m のときの値である。

機械的強度の観点から長大な 8 m がい管を使用すれば、水平方向での取り付けは耐震仕様に対して強力なステーがい子が必要であり、また建屋の振動特性に対しても解析が必要になり、500 kV 用として要求される高度な信頼性の検証は不可能になる。垂直方向の取り付けを考えた場合、ブッシングは建屋天井を貫通する取付け方式になるので、この場合も建屋の振動特性の解析が必要であり、場合によっては強力なステーがい子が必要になり、詳細な信頼性の検討が不可能と思われる。

以上のような理由により、今回の共同研究試作品では従来の壁ぬきブッシングの概念にとらわれず、自立形（ステーなし）・自冷方式の前提条件を満足させる L 字形取付け方式を考案して試作を行なった。この方式は 8 m がい管を垂直方向に配してステーなしとし、屋内部は強度的に十分なために水平方向とし、取付け架台は建屋に關係しないブッシング独自の架台とした構造である。

この方式は、上記のような構造上の利点をもつと同時に、据え付けに際しては屋外部ブッシング・屋内部ブッシング・中間タンクを分離して取り扱うために変圧器ブッシングの取り付けと同様の作業で行なえるという作業上の利点をもつ。

開発したブッシングの外形形状を図 2.17 に示す。

(2) 耐震特性の検討

耐震特性については、500 kV 壁ぬきブッシングの開発にあたって最も多くの検討を要した。従来、電気機器に対するダイナミック耐震特性は研究されておらず、しかも電気的な条件により寸法が確定している 8 m がい管、6.5 m がい管を使用する制約があり、地震に対する機械的強度に余裕がなく、信頼性のある確認を得るためには詳細な理論解析を行ない実験データにより検証する必要がある。

ブッシングのように質量が連続的に、しかも不均一に分布している振動体の理論解析は困難なところが多くあるが、片持はり（梁）の振動体と考えて電子計算機による数値解法を用いた。理論解析の結果、共振周波数が取付け部の曲げ剛性によっても変わること、頭部重量を軽減することによって発生応力を下げること、あらかじめ適当な静的圧縮応力をセンタラップ方式でかけておくことによって、地震時の実応力を軽減できること等が解明できた。

基礎実験として耐塩 200 号がい管を用いて理論計算と実測データに対応させ、同時に、この結果よりがい類には加振加速度が大きくなると、応答倍率が低下する現象（これを振幅依存性と呼ぶことにする）が顕著にあらわれ、がい管の耐震強度の検討にはこの振幅依存性について詳細なデータが必要であることが判明した。

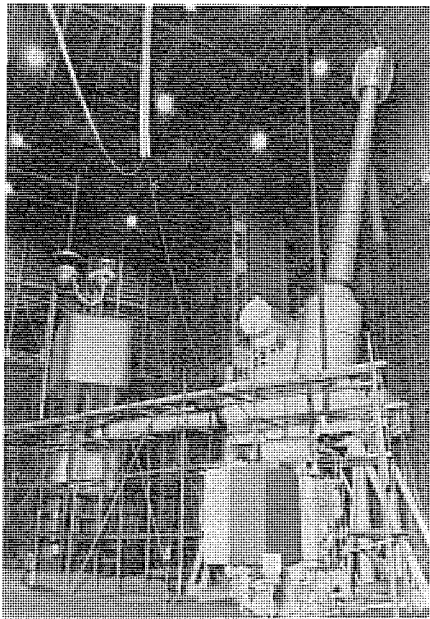


図 2.18 500 kV 12,000 A 壁ぬき ブッシング 温度上昇試験
Temperature rise test of wall bushing rated 500 kV 12,000 A.

500 kV ブッシングとしての耐震特性は、8 m がい管の振幅依存性を主体に破壊するまで振動試験を行ない、強度の限界を推定した。

ブッシングの使用状態における機械的性能は表 2.3 のとおりである。この結果、ブッシングの強度は 0.3 G 正弦共振で 2 倍の安全率があり、実用上十分な強度を有することが実証された。

(3) 大電流に対する対策

ブッシングに発生する損失は、中心導体に発生する抵抗損、接続部分の接触抵抗による損失、絶縁部分の誘電体損、構造部分のうず電流損などがあるが、最も大きいのは中心導体による抵抗損であり、この損失をいかに効果的に放熱するかがポイントと考え、試作品では屋外部・屋内部ブッシングの下部先端を接続し、ブッシング中心部と外

周部で対流が得られる構造とし、屋外部ブッシング頭部に冷却フィンを取り付けてがい管表面・中間タンク表面などより放熱する自冷方式とすることができる。

温度上昇試験状況を図 2.18 に示す。

2.4.3 試験結果

(1) 耐電圧試験

商用周波耐電圧試験	840 kV	1 分間
衝撃波耐電圧試験	1,800 kV	正, 負 各 5 回
開閉衝撃波耐電圧試験	1,300 kV	正, 負 各 5 回
長時間耐電圧試験	476 kV	1 時間
	635 kV	5 分間
	476 kV	1 時間

(2) 過電圧試験

衝撃波	2,200 kV	正, 負 各 5 回
開閉衝撃波 (波形 3 種類)	1,500 kV	正, 負 各 5 回

(3) 温度試験 (12,000 A 通電時)

最高点, 屋外部ブッシング頭部端子 44°C

以上の試験結果に示すとおり、L 字形取り付け方式とすることによってステーがい子のない自立形でブッシング独自で機械強度を保證でき、12,000 A という大電流にもかかわらず、自冷方式をとることができた。

3. む す び

日本の将来の大容量化と過密化の情勢を見通し、大容量送電技術の開発の一環として進められた大容量変電機器の開発は、上述してきたように、シャ断器・断路器・変流器・壁ぬきブッシングの各機器について画期的な 8,000 A および 12,000 A 定格の開発をすすめ、いずれについても 46 年 3 月に目標どおりの成果を収めて完了した。最後にあたり、東京電力株式会社、三菱電機株式会社の関係各位のご指導とご協力に感謝の意を表し筆をおくこととする。

500 kV 縮小形 ガス絶縁開閉装置

山本 健*・西川 國治**
潮 恒朗*・森岡 昭二**

500 kV Compact Gas Insulated Substations

Kansai Electric Power Co. Takeshi YAMAMOTO・Kuniharu NISHIKAWA
Mitsubishi Electric Corp., Itami Works Tsunero USHIO・Shoji MORIOKA

Mitsubishi is the first to build gas circuit breakers among the manufacturers in Japan and has been holding a firm foothold in the circles. On the other hand, the Company began cooperative study with the Kansai Electric Power Co. of gas insulated substations, application of this new technique obtained in gas circuit breaker development for 77 kV installations at the out set and completed them at voltages of not only 77 kV but of 154 kV ahead of other home electric machine makers. The new apparatus has now entered into practical operation.

It is, however, considered necessary to extend the application of the GIS to forthcoming 500 kV power transmission system. Cooperative work with the same power company was made on the subject and one phase of 500 kV GIS for long duration tests has been completed for the first time in the world as an achievement of extensive research.

1. ま え が き

わが国は、四囲が海で囲まれて国土が狭く、人口がちょう(稠)密で、しかもいくつかの大工業地帯に集中している。これらの需要地で大電力を供給する発電所は海岸地域に集中し、またこれを輸うものとして山間に揚水発電所が建設されている。一方、送変電設備の超々高圧化が進みつつあるが、これには経済性・信頼性および高度の性能が要求されるほか、わが国が欧米諸国と異なる特殊条件として次のような点があげられる。

- (1) 一回線当たりの送電電力が非常に大きい。
- (2) 海岸に近い電気所が多いために塩害がはなはだしい。
- (3) 耐震性能がきびしく要求される。
- (4) 用地取得が困難である。
- (5) 経済の急膨張による人件費の急騰と、人手不足が深刻化している。

これらの問題をすべて解決しつつ、500 kV 変電所を従来の技術の延長でつくることはきわめて困難であり、ここに縮小形 ガス絶縁変電所(以下 GIS と称す)採用の必要性が生ずる。

周知のように、三菱電機(株)は早くから SF_6 ガスの開閉機器への適用技術の確立に努力を注ぎ、昭和40年にわが国最初のガスしゃ断器を関西電力(株)に納入して以来、1,000台を越える生産実績を記録している。

一方、関西電力(株)と三菱電機(株)とは、77 kV より始めて550 kV に至る GIS について共同研究をおこなひ、77 kV・154 kV 級はすでに実用化の時代にはいつている⁽¹⁾⁽²⁾。

このたび、500 kV GIS の適用に関して広範な研究をおこなって成果をみたので、そのおもなものを述べる。

2. 実変電所の構想

2.1 基本構想

500 kV GIS を設計するにあたって、次のような基本構想を設定した。

(1) GIS が信頼性の面で、本質的にすぐれている特長を考えれば、在来方式の仕様・機器配置・保護方式などを踏襲することは、決して合理的ではないが、実用にはいつてから日も浅く、また500 kV 系統の重要性から考えて、当初は在来方式の延長で出発し、実績をみながら GIS 本来の特長を生かした合理化・集約化を考慮し、各種の多様な構成と配置に適用可能なように標準化を図る。

(2) 大容量発電所の併設変電所は2重母線・1しゃ断器方式を採用し、外輸線を形成する変電所は、その重要性・信頼性を考慮して、2重母線・1 $\frac{1}{2}$ しゃ断器方式を採用する。

(3) GIS と変圧器との接続は直結式かケーブル接続とするが、変電所引出口は気中架空線とする。機器配置については、発電所併設変電所の場合には、送電線の本数が少ない関係で母線長が短くなる同相集合配置とするが、外輸系統の変電所は従来どおり相混合方式とする。

また、機器の定格電流は、当初は4 kA であるが、将来6~8 kA に容易に発展できるように開発する。

(4) GIS の本質から、全構成部分が部分的に容易に取りはずせる必要はないが、しゃ断器を中心とした点検や、増設によるしゃ断器・断路器などの追加は、なるべく容易にできるように配置を考える。

(5) 相混合方式をとったための母線の長大化による避雷器の保護範囲と、GIS の本質からくるカーブ特性の平坦傾向および体積効果などを考え、母線を含めてすべての機器のBILを1,800 kV とする。

(6) 母線は、万一事故時の波及範囲を少なくするために、各相分離方式とし、据付時の調整・振動・変位などを吸収するベローズを設ける。

(7) ガスが大量に漏えいして大気圧に低下しても、通常の運転には支障のないような絶縁設計をおこなう。

(8) ガス区分は導体支持絶縁物が兼ねているので、区分数は信頼性と経済性のかねあいで決定される。実績が十分得られるまでは、点検性を考えて区分数を自由に増減できるように区分間にバルブを

表 2.1 定 格 表

Ratings of components of 500 kV GIS (gas insulated substation).

し ゃ 断 器	形 式	二重圧力式 SF ₆ ガスしゃ断器
	定 格 電 圧	kV 550
	定 格 電 流	A 4,000
	定 格 し 断 容 量	MVA 45,000
	定 格 し 断 時 間	サイクル 2
断 路 器	定 格 ガ ス 圧 力	kg/cm ² ・g 高圧側 15, 低圧側 3 (at 20°C)
	操 作 方 式	油 圧
	形 式	直線動作形 SF ₆ ガス絶縁方式
	定 格 電 圧	kV 550
	定 格 電 流	A 4,000
開 接 閉 器 地	定 格 短 時 間 電 流	kA 53
	定 格 ガ ス 圧 力	kg/cm ² ・g 3
	操 作 方 式	空 気
	形 式	直線動作形 SF ₆ ガス絶縁方式
	定 格 電 圧	kV 550
形 雷 器	定 格 短 時 間 電 流	kA 53
	定 格 ガ ス 圧 力	kg/cm ² ・g 3
	操 作 方 式	SF ₆ ガス消弧式
	定 格 電 圧	kV 420
	公 称 放 電 電 流	kA 10
変 計 器 用	特 別 動 作 真 効 率 電 容 量	μF 80
	定 格 ガ ス 圧 力	kg/cm ² ・g 3
	形 式	油入コンデンサ形
	定 格 電 圧	kV 525/√3
	定 格 負 担	VA 500
母 線	誤 差 階 級	級 1.0
	形 式	相分形 SF ₆ ガス絶縁方式
	定 格 電 圧	kV 550
	定 格 電 流	A 4,000
	定 格 短 時 間 電 流	kA 53
	定 格 ガ ス 圧 力	kg/cm ² ・g 3

設ける。

(9) ガスの強制循環はおこなわない方式とし、ガス区分ごとに吸着剤を設けてガス中の水分を低位に維持させる。この吸着剤は、その部分を点検しないかぎり、数十年間は効果がある量を封入する。

(10) 万一、せん(閃)絡事故が発生した場合の安全性を考えて、各ガス区分ごとに破裂板を設置する。

(11) 設置される地盤・基礎などとともに、各種のGISに対して耐震性能を十分検討できるような手段を開発しておく。

2.2 定 格

機器の定格は表 2.1 に示されるとおりである。

2.3 実変電所配置の一例

2重母線・1 $\frac{1}{2}$ しゃ断方式のGISの配置例を示すと、図 2.1 のようになる。重量が大きくて操作時に衝撃力を発生するしゃ断器を、なるべく下部に水平に配置するように考慮されているが、いろいろの変形が考えられる。

3. 試 験

GISの信頼性は、構成要素のそれによって左右されるので、高信頼度の構成機器の開発が先決であり、それに至る広範な基礎研究が必要であるが、これらについてはすでに発表された論文を参照されたい^{(3)~(10)}。ここでは主として500 kV GISモデルを用いた実用性能検証試験を中心に説明する。試験項目と実施要領の一覧は表 3.1

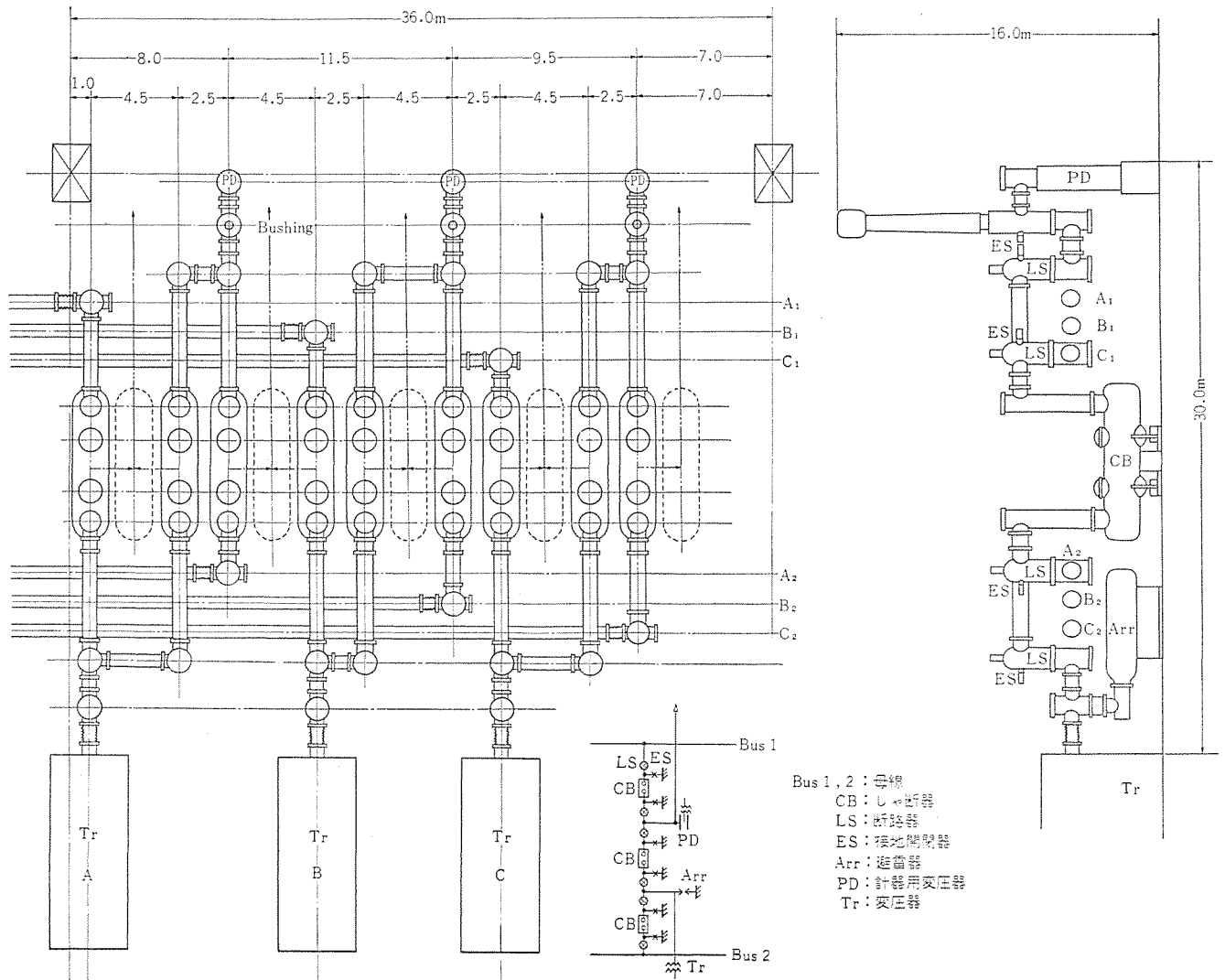


図 2.1 GIS 配置例

Example of GIS arrangement.

表 3.1 試験項目一覧

List of test items.

分 類	試 験 項 目	実 施 要 領
絶縁物試験	1 AC 過電圧長期課電試験	1.3 E (550 kV/ $\sqrt{3} \times 1.3 = 413$ kV) にて連続課電
	2 暴露試験・耐候性	① 尼東火力発電所にて暴露中 ② 三菱中研屋上および「Weatherometer」にて加速
	3 SF ₆ ガス中の金属粉の影響	70 号スパーサを金属粉のふん囲気中に入れた場合の耐電圧をしらべた
	4 変形時の耐電圧値の変化	ガス差圧 (2.5 kg/cm ² ・g \sim 9 kg/cm ² ・g) の部分を作って変形させたものに電圧印加する
実 用 性 能 試 験	環 境 条 件	暴露試験 長期間暴露して試験後各部を点検する
	絶 縁 性 能	AC 過電圧長期課電試験 1.3 E (413 kV) を長期間印加
		AC 短時間過電圧, 希ひん度印加 1.83 E (560 kV) 10 秒間印加 5 回
		開閉インパルス希ひん度繰り返し印加 1,030 kV 900 回を等価的に 1,350 kV 120 回印加
		雷インパルス希ひん度繰り返し印加 1,300 kV 90 回を等価的に 1,350 kV 80 回印加
		ガス圧 0 kg/cm ² ・g 時の過電圧印加 ガスを抜きとり, 0 kg/cm ² ・g とした状態で 1.3 E (413 kV) を印加する
		コロナ試験 1.5 E (477 kV) を印加して有害コロナを測定
		漏えい電流の測定 1.3 E を課電し, 漏えい電流の変化を測定する
	通 電 性 能	定格電流を通電したときの温度上昇 4,000 A 通電
		過負荷電流を通電したときの温度上昇 4,800 A 通電
	熱 的 性 能	高温維持試験 高温期に過負荷電流を連続通電して各部の熱劣化を加速させる
		低温維持試験 低温期に無負荷とし, さらにガスヒータを断にして, ガスの液化などの問題点を検証する
		ヒートサイクル試験 昼間通電・夜間停止を繰り返し (50 回) 熱的・機械的ストレスの影響をしらべる
	機 械 的 性 能	多ひん度操作 しゃ断器, 断路器を 10 ³ 回実施 しゃ断器は 4,800 A 数十 V をしゃ断する
		希ひん度操作 冬期約 1 カ月閉路状態を保持した後, 開動作を実施 (オシロ測定) し開閉特性を比較する
		開閉特性試験 試験の開始時と終了時に開閉特性を (投入引きはずし, 引きはずし自由, 再投入引きはずし自由など) 測定
		振動試験 操作時の振動, 組立時, ガス封入時の応力測定
	耐 震 性 能	装置全般に対する耐震強度 1/5 モデルを作って各種波形による加振を実施した
		耐震強度の計算方法の確立 モード法による計算とモデルの加振結果を比較しながら計算方法を確立
	気 密 性 能	ガス密度の継続的監視 装置全般について, ガス圧, 温度を記録しシール部分からのガス漏れの有無を監視する
		ガス組成分析および水分測定 試験期間を通じてガスの分解, 水分含有量を測定する
	ケ ー ブ ル 終 端 箱	熱・振動の伝達・油もれ時の影響 熱の伝達, 開閉時の振動の伝達を測定した油もれ時の耐電圧の変化を測定する
		作業性の検討 作業の難易, 工具, 作業量などの検討
	保 守 ・ 点 検	組立て, 分解, 切り放しの作業性
		保守・点検の周期などの検討

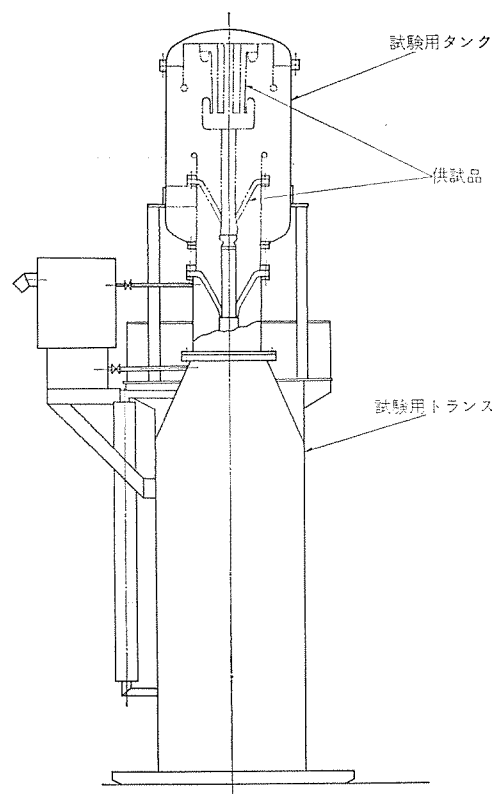


図 3.1 絶縁物の長期課電試験

Sectional view of voltage endurance test of insulators for 500 kV GIS.

に示されるとおりである。

3.1 絶縁物の試験

GIS に使用される絶縁物に関して新たに作成されたものとしては, 絶縁 スパーサ・しゃ断器等に使用される操作 ロッド・支持筒の実物についての長期課電試験と, 屋外にさらされる部分の絶縁物の耐候性に関する試験があげられる。

絶縁物の長期課電試験は図 3.1 に示されるように, 各種絶縁物について, 実際の GIS 内部と同形・同寸法のガス充てんされた試験室を特殊な試験用変圧器に直結して, 昭和 44 年 6 月より 550 kV $\times \frac{1.3}{\sqrt{3}} = 420$ kV の電圧を連続印加し, 46 年 4 月にいったん中断して, 交流 840 kV・衝撃電圧 1,800 kV・開閉サージ 1,250 kV を印加し, 耐圧値が, 初期と変化していないことを確認した。もちろん, コロナ試験・外観点検での異常はない。

また, ガス区分の作用も兼ねているスパーサに異常なガス差圧によるストレスが生じても, 耐電圧値に影響がないことを確認した。

絶縁物の耐候性試験としては, GIS に使用しているエポキシ樹脂注形品ならびに参考試料として他のエポキシ樹脂の注形試験片を, 関西電力尼東発電所構内・三菱電機伊丹製作所構内・セキノンランプを使用したウエザメータ試験装置内に暴露し, 前者は 3 カ月・6 カ月, 後者は 1,000 時間試験をおこなった後に機械的・電気的特性を調べたが, 現段階では実用上問題になるような変化は現われていない。

また, SF₆ ガス中の金属粉の影響, とくに絶縁物としてスパーサが存在する場合について基礎的な実験を行なったが, 微粉ではほとんど影響がないという結果が得られた。図 3.2 はその試験装置を示

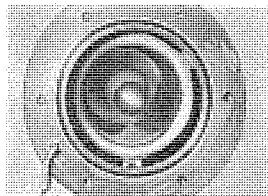


図 3.2 金属粉の影響試験
Research on free conducting particles.

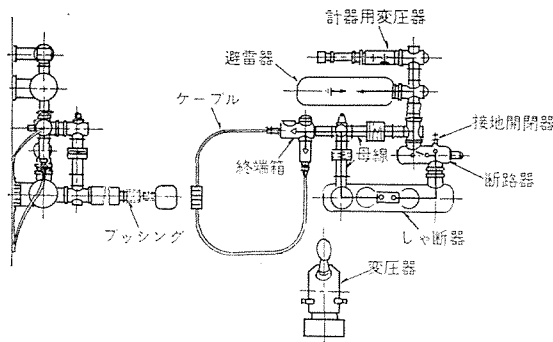


図 3.3 長期課電通電試験装置
500 kV GIS model for endurance test.

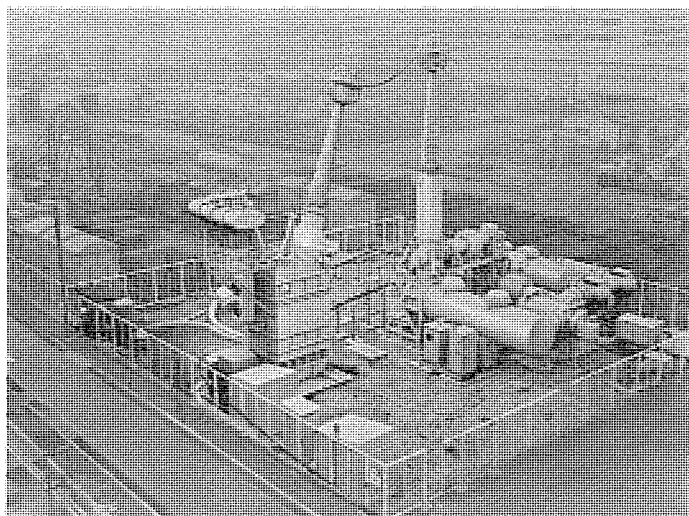


図 3.4 長期課電通電試験
500 kV GIS model under excessive-voltage and current running tests.

している。

3.2 500 kV GIS 単相試験装置による実用性能検証試験

3.2.1 GIS 単相試験装置

この試験装置は、500 kV GIS に用いられる機器のすべてを含んだ単相の装置であり（図 3.3）、この基本素子を用いて各種の GIS が構成される。各機器はすべて相分離式で、円筒状の導作を円錐形の固体絶縁物（スパーサ）で支持し、これを円筒状の接地された金属気密容器内に入れて、同軸円筒の電極配置にすることによって電界分布の均一化をはかり、内部に SF_6 ガスを充てんしたものである。スパーサは SF_6 ガス中で課電部を支持するとともに、各構成要素間の気密を保つ役目を兼ねている。なお、ケーブルおよびその接続部分は住友電工（株）の製品である。図 3.4 は長期課電通電試験中の本装置を示す。

しゃ断器は、高圧の SF_6 ガスを吹き付けて消弧する二重圧力式のガスしゃ断器であり、三菱電機が昭和 40 年以来多数の納入実績を持っている、がいし形大容量ガスしゃ断器を接地タンク内に収納した

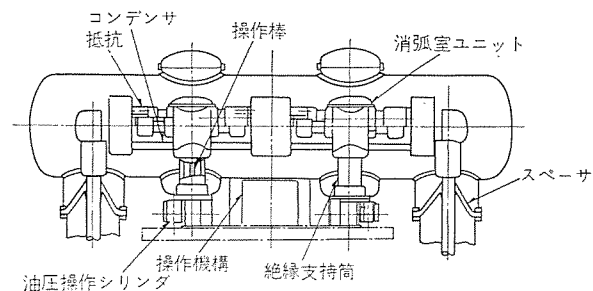


図 3.5 しゃ断器
Sectional view of circuit breaker.

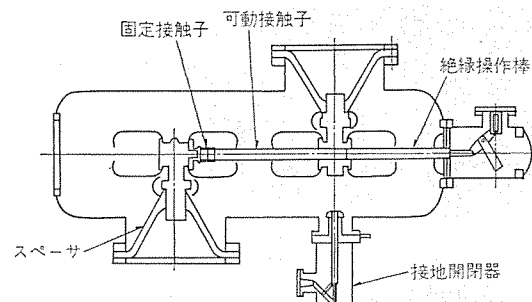


図 3.6 断路器および接地開閉器
Sectional view of disconnecting switch and grounding switch.

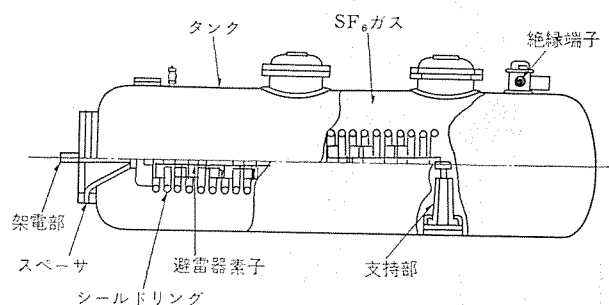


図 3.7 避雷器
Sectional view of arrester.

ものである。しゃ断点は全部で 4 点であり、2 しゃ断点ずつが対になって絶縁支持筒につけられている。しゃ断点と並列に抵抗投入部が設けられ、投入のさいの開閉サージを低減する。操作は油圧であり、支持絶縁筒内にある絶縁棒をへて接触子を動かす。（図 3.5）

断路器は、接触子が直線方向に短距離動く、いわゆる直線形の断路器で、接触部はすべてシールド電極でおおわれ、これによって電界を緩和している。操作は気密軸の回転によっておこなわれる。（図 3.6）

接地開閉器は、断路器とほぼ同様の構造をもち、GIS の構成に従って断路器のどちらかの接触子に対してつけられる。（図 3.6）

母線は、各相が独立した金属容器に入った、いわゆる相分離形である。500 kV GIS では構成によっては長い母線が要求されることがあり、数個の単位をつなぎ合わせる構造となり、内部導体の接続部はすべり接触またはたわみ導体によってつなぎ、容器はステンレスベローズによって接続して温度変化・据付け誤差による寸法変化にあっても気密が保たれるようにしてある。

避雷器は、 SF_6 ガスを消弧に用いる直列ギャップと特性要素を金属容器内に封入したものである。 SF_6 ギャップのすぐれた特性のためにギャップ数が少なく、接地容器に囲まれていてもギャップの電圧分布を比較的容易に改善することができる。長手方向の寸法を低減するために 3 個並列に配置し、電気的にそれらを直列に接続し、シールドに

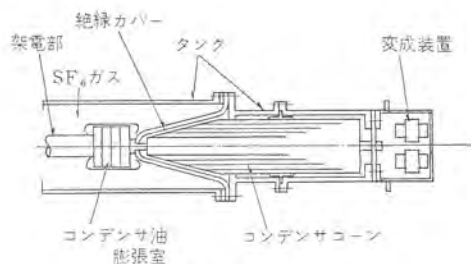


図 3.8 計器用変圧器

Sectional view of capacitive voltage transformer.

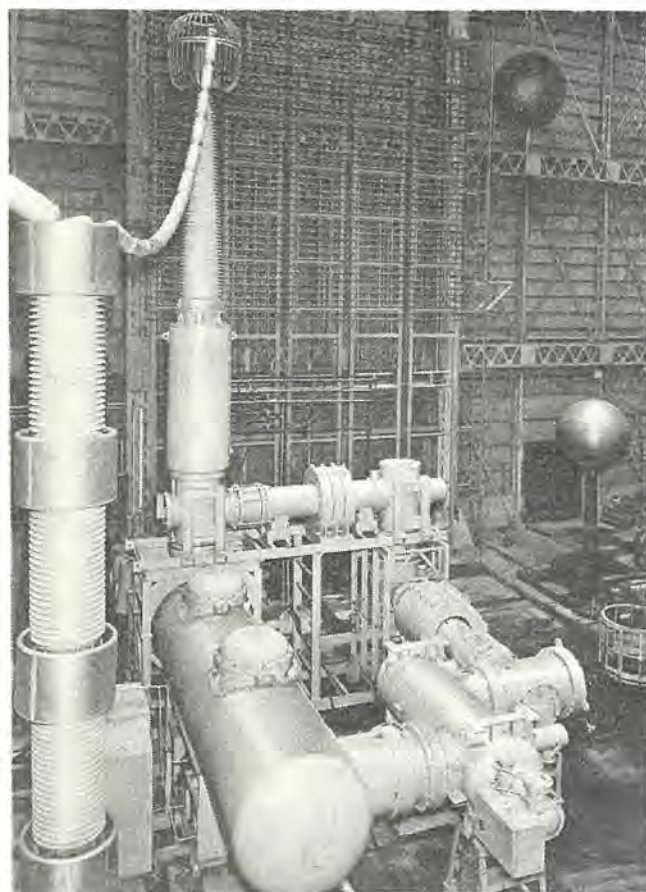


図 3.9 長期課電通電試験後の耐電圧試験
AC voltage tests after running tests.

表 3.2 温度上昇試験結果 (温度上昇値)
Test results of temperature rise.

測定場所	4,000 A	4,400 A	4,800 A
しゃ断器固定接触子	51°C	58°C	68°C
しゃ断器固定主接触部	50	57	67
しゃ断器固定可動接触子	49	56	67
しゃ断器固定高圧タンクガス温	50	57	68
しゃ断器固定接続導体	46	53	62
しゃ断器固定スベーク接続部	38	42	52
しゃ断器固定低圧タンクガス温	23	26	32
断路器可動接触子	38	43	51
断路器主接触部	45	51	62
断路器ガス温	22	26	32
母線接続部	33	38	43
母線ガス温	23	27	31
接続タンク上部	18	21	26
下部	15	17	19

よって電界緩和をはかっている。(図 3.7)

計器用変圧器はその特性を保証するために油入コンデンサ形であるが、GISの形状と適合するように円筒形にまいたコンデンサを用いており、固体絶縁の絶縁カバーによって油とSF₆ガスを完全に区分している。(図 3.8)

3.2.2 試験結果

開閉装置全般について、実系統で運転する場合に想定される各種の条件に対する実用性能試験、および期待寿命を全うすることができていることを検証するための各種の加速劣化試験を、下記のとおり実施した。

(1) 絶縁性能検証

(a) 機圧上昇など系統に発生するAC過電圧、系統に発生する雷サージ、および開閉サージのそれぞれの電圧値を、全寿命中に遭遇するであろう予想回数を装置全体に印加し、それに耐えることを検証し、異常は認められなかった。

(i) AC過電圧

事故時の最悪条件として、2回線同時しゃ断と1線地絡事故が重なった場合の里側過電圧を考慮して、582 kV (1.83 E) 10秒間5回を全装置に印加した。図 3.9 は試験実施中の外観を示している。

(ii) 開閉サージ・雷サージ

GISが30年間にわたって遭遇すると考えられる開閉サージ・雷サージ繰返し印加試験として、開閉サージ 1,030 kV 900回、雷サージ 1,300 kV 90回を印加する試験が考えられたが、試験時間を短縮するとともに試験条件をより過酷にするという考えで、これに代わる試験が検討された。ガス-固体絶縁に関するサージ疲労については、現在のところ決定的な理論がないが、種々の観点から検討した結果、つぎの値で試験を行なった。

すなわち、雷サージ 1,350 kV 80回 (1,300 kV 90回相当)

開閉サージ 1,350 kV 120回 (1,030 kV 900回相当)

計 200回を避雷器・計器用変圧器を除いた装置に一括印加した。

(b) ガス 0 kg/cm²・g における AC 電圧印加試験

不測の事故として、SF₆ガスが大量に漏えいした場合にも、常規運転に問題ないことを検証するためにガス圧を大気圧まで下げた状態で、全装置に 1.3 E を 10 分間印加した。

(2) 通電および熱的性能の検証

(a) 定格電流 (4 kA) または過負荷電流 (4.8 kA) を通電して、各部の温度上昇を測定し (表 3.2)、装置全体としての熱挙動をはあくした。

(b) 高温維持については高温期に過負荷電流を連続通電し、さらに熱劣化を加速するために、ガスヒータなどの外的手段によって過酷条件を与え、絶縁物・パッキングなどの熱劣化・熱変形をしらべた。

(c) 低温維持については、冬期に通電を停止して各部の異常を調べる。また、ガスヒータを断にして、保守管理上の限界を調べた。

(d) ヒートサイクル試験は、ストレス条件を過酷にするために、過負荷電流の通電・しゃ断を毎朝・夕しゃ断器によって実施した。ヒートサイクルは高温期・低温期に延 50 回程度実施し、繰返し温度変化による熱的または機械的ストレスによって各部に異常のないことを調べた。

(3) 機械的性能検証

(a) 期間中に 1,000 回以上の多ひん度操作 (4~4.8 kA の電流しゃ断を伴う) を行なって、各部の性能に異常が発生しないことを確認するとともに、冬期に約 50 日放置した後に開閉操作を行なって

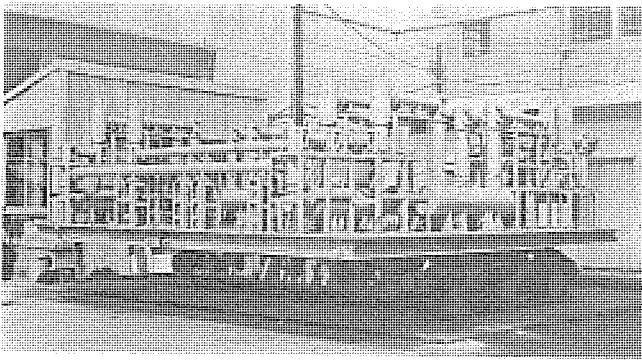


図 3.10 1/5 スケールモデルの加振試験
1/5 scaled down GIS model for shaking tests.

確実に操作しうることを検証した。

(b) 地震に対する強度については、500 kV GIS が 100 メートルを越える装置であり、また装置を構成している各要素が大形になり、その共振周波数が地震の卓越周波数に接近する可能性もあるため、標準的な機器配置について、計算による解析・モデル加振・部分的実物加振によって、総合的に装置全般についての耐震強度を検討することにした。

(i) モード法による計算

多質点系における自由度を 50 程度まで考えた運動方程式を立てて計算機で計算する方法で、モデル加振による結果と比較対照しながら検討を進め、最終的にはあらゆる機器配置について計算できる方式を確立した。

(ii) 1/5 スケールモデルによる加振

標準機器配置にもとづく 1/5 スケールモデルを作成し、各種波形による加振を行なって、装置の各点における共振周波数・応答倍率・応力等を測定し、モデルに対するモード法による計算結果と対比させた。図 3.10 はモデルを加振試験に供している様子を示している。

(iii) 実体加振

部分的に実物加振を行なって、計算結果とモデル加振結果の中へ取り入れた。

(4) ガス気密およびガス成分の検証

ガス密度およびガス漏えい量を定期的に測定して運転保守上の目安とするとともに、ガスの組成・水分含有量を測定して、低電圧の GIS と特に変わったことはないことを確認した。

(5) 終端箱におけるケーブル接続の作業性

GIS とケーブルを接続する場合の作業性・スペースについて検討するために、ケーブル接続方法を住友電工(株)の手により 2 とおり実施した。すなわち、ケーブル接続作業終了後に終端ケースをかぶせる方法と、組立てた終端ケースへ端末処理の完了したケーブルをそう入する方法とについて、作業性の比較を行なった。

また、この部分における熱伝達の挙動、開閉器の操作に伴う振動の伝達の影響を検証した。

(6) 保守点検

組立・解体・再組立を実施して、据付・保守・点検性能を検討した。

4. む す び

機器単体の性能確認、各種の使用材料の基礎的試験、および過酷な条件に対する実用性能の確認をすべて終了し、500 kV GIS については技術的には問題なく、採用できる見通しが得られた。

今後は機器配置の合理的集約や、GIS 本来の特長である信頼性の向上に裏づけされた、仕様面・システム構成面での合理化をはかり、あわせて製造技術の改善による経済性の追求が必要であろう。

また、GIS の特長である縮小化・高信頼性をさらに発揮させるためには、送電分野における管路気中送電方式のような技術革新が 1 日も早く実現することが期待される。

終わりに、この研究において、種々ご指導・ご協力をいただいた関係者各位に紙上をかりて深く謝意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 山本ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,119 (昭 45)
- (2) 森岡ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,164 (昭 45)
- (3) 潮：三菱電機技報，44，No. 9，1,113 (昭 45)
- (4) 鎌田ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,127 (昭 45)
- (5) 小鯛ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,143 (昭 45)
- (6) 金谷ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,152 (昭 45)
- (7) 稲村ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,156 (昭 45)
- (8) 長野ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,171 (昭 45)
- (9) 広岡ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,175 (昭 45)
- (10) 高橋ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,183 (昭 45)

500 kV 避雷器

鎌田 隆好*・永井 信夫*
萩野 一夫*・加来 勲*

500 kV Lightning Arresters

Itami Works Takayoshi KAMADA・Nobuo NAGAI
Kazuo OGINO・Isao KAKU

The insulation design of 500 kV power stations and substations shall be made based on the performance of lightning arresters. In the case of these stations referred to the reduction rate of BIL is so large that a very severe duty is to be imposed on the lightning arresters. Especially for 500 kV lightning arresters in Japan, the world highest class performance is demanded such as the setup of the upper and the lower limit of the sparkover characteristics and switching surge duty cycle tests at the arrester rated voltage. To meet these gruesome specifications, Mitsubishi has completed SF₆ gas arc-quenching type lightning arresters.

This paper describes the construction of these arresters together with their characteristics and results of studies on the practicable performance of them.

1. ま え が き

500 kV 発電所の絶縁設計は、275 kV 発電所の絶縁設計と同様に、避雷器を根幹として設計されるが、500 kV 発電所の場合には BIL の低減率が大きいので、避雷器に課せられる責務は非常に過酷なものとなる。

当社では、SF₆ ガスを消弧に応用する避雷器の研究に早くから着手しており、昭和 40 年 9 月には超高压電力研究所 武山研究所において、電力中央研究所により実施された開閉 サージ 動作責務試験に SF₆ 避雷器 ユニートを供試し⁽¹⁾、また昭和 43 年 2 月にふたたび武山研究所において実施された 断路器開閉 サージ を模擬した多重雷動作責務試験に供試し⁽²⁾、いずれもその高性能が実証されている。以上の実績をもとに、その後も 500 kV 避雷器用としていっそうの高性能化を図り、重責務処理能力を高めるため、高気圧 SF₆ ガスギャップ方式を採用した、SV-FB 形定格 420 kV 避雷器を完成したので、その概要を紹介する。

2. 500 kV 避雷器に要求される性能

避雷器の諸特性は系統の絶縁設計の基礎を与えるもので、特性決定にあたっては関連要因を十分に検討しておく必要がある、500 kV 避雷器の諸特性は 500 kV 送電特別委員会絶縁協調部会で検討されてきたが、本部会で推奨された数値をまとめると表 2. 1 のとおりである⁽³⁾。これらの特性は現在計画されている 500 kV 系統およびその将来形を対象として検討されたものであり、現在の避雷器規格 JEC-156 の延長として、500 kV 系を考えた場合の性能と比較すると、数段過酷な責務が課せられている。

避雷器が処理すべき責務は、系統電圧の上昇にともなって外雷よりも内雷の方が過酷となり、500 kV 避雷器への要求仕様も主として内雷処理を主体に検討されてきた。たとえば、シャ断器の無再点弧ならびに投入時に発生する サージ の大きさについては、抵抗投入により常規対地電圧波高値の 2.0 倍以下に抑制されるということは、きわめて常識的となっているが、避雷器の責務を考える場合には最過酷条件すなわち長距離無負荷送電線路の高速度再閉路時に、シャ

断器の抵抗投入失敗と一線地絡事故が重畳するという最悪事態を想定している。また、断路器での母線充電電流開閉時に発生する連続 サージ によって避雷器が動作すると、連続して流通する続流により過酷な動作責務が課せられることが知られているが、500 kV 避雷器には万一このサージで動作しても耐えられることが必要とされている。このように 500 kV 避雷器には機器の絶縁強度 (BIL) をできるだけ低く設定するという使命が課せられるとともに、これに付随して発生する開閉 サージ 動作責務に対し、最悪事態においても処理できるようにとの思想に基づいており、ある意味では問題点が避雷器

表 2. 1 500 kV 避雷器仕様推奨値 (絶縁協調部会)
(SV-FB 形定格電圧 420 kV 避雷器標準特性)
Standard characteristics of type SV-FB 420 kV lightning arrester.

定 格 電 圧		420 kV
放電開始電圧	衝擊電圧	上 限: 0.5 μ s で 1,340 kV 100 % 1,220 kV 下 限: 850 kV
	開閉サージ	波 形: 緩波頭衝擊電圧を用いて 10~1,000 μ s の V-t 曲線を求める。この範囲において 上 限: 1,090 kV 下 限: 850 kV
	交 流	50 または 60 Hz で 630 kVrms 以上
制 限 電 圧	公称放電電流	10 kA
	制 限 電 圧	10 kA において 1,220 kV 以下 なお 15 kA において 1,290 kV 以下 20 kA において 1,350 kV 以下を目標とする
動作責務試験	雷 サージ	始動放電電流: 10 kA 電源短絡電流: 30 kA 相当および 3 kA 相当
	開閉サージ	線 路 長: 200 km (14 kV 定格換算約 78 μ F) 電源短絡電流: 電源側において 3 kA および 30 kA 試 験 条 件: 避雷器設置は送受端側の双方について別試料を用いて実施する。 試験および合否判定: (a) 定格電圧では再点弧を 1 回許容する。 (b) 常時電圧 (定格 420 kV 避雷器に対し $525/\sqrt{3} \times 1.1 = 334$ kV の割合) で再点弧なし
	断路器サージ	1/2 サイクル ごとに交流電圧波高値付近で連続 40 回放電させ、続流シャ断を確認する。 交流試験電圧: 定格 420 kV 避雷器に対し $525/\sqrt{3} \times 1.05 = 320$ kV の割合

に集約されているともいえる。

これらの内容を具体的に示すと、まず避雷器の衝撃および緩波頭衝撃放電開始電圧に対して表 2. 1 のとおり放電開始電圧の下限値を規定し、放電開始電圧一時間特性を一定の幅をもった領域におさめようとしている。これは開閉サージに対して避雷器が放電する可能性を最少限にとどめることを意図したものである。

つぎに、制限電圧特性は DLR（定格電圧に対する公称放電電流流通時の制限電圧の比）が、JEC-156 では 3.36 であるのに対して 2.9 と 13% 程度低くなっている。

さらに、動作責務特性は雷サージに対するもの以外に、無負荷線路の高速度再開路サージを模擬した動作責務試験が規定されていることで、この開閉サージ動作責務試験は、試験時に避雷器に印加される電圧として、避雷器の定格電圧および常規対地電圧の二つを考慮しており、とくに定格電圧印加状態で実施する試験は、1 回の再点弧を許すとはいえ、避雷器責務としては処理すべきエネルギーと再起電圧の双方から考えてきわめて過酷なものである。また、断路器サージを模擬した動作責務試験では、40 回の連続動作（20 サイクル）に対して避雷器の続流しゃ断能力を検証しておくという重責務が課せられている。

これら一連の重責務試験は IEC, ANSI などの諸外国規格で要求されているものに比較しても、格段に過酷なものといえ、世界的にも最高級の特性が要求されている。

3. 構造

3. 1 内部構造と外形

図 3. 1 は SV-FB 形定格電圧 420 kV 避雷器の外観写真を示す。

図 3. 2 は避雷器内部構造図で、直列ギャップと特性要素からなる内部要素は 3 円柱に分割され、配設金具により電気的にはジグザグ状に直列接続されている。内部要素の 1 セクションは定格電圧 14 kV で、セクションごとに、並列に非直線抵抗体およびセラミックコンデンサからなる分圧要素が付加され、定格電圧 420 kV 避雷器の放電特性を制御している。500 kV 避雷器の放電特性は一定の幅に設定する必要があるので、放電値のばらつきを減少させる努力とともに、強制分圧によって放電値を所定の値に制御することが重要である。放電特性制御法としては、避雷器を図 3. 3 のような等価回路図で表わし、各種の分圧インピーダンス値を与えて電圧分担率を電子計算機で求め、あらかじめ定格電圧 420 kV 避雷器の放電特性を計算する方法を採用している。この方法では単位直列ギャップ（定格電圧 14 kV）の放電値のばらつきの評価、ストレイキャパシタンス値の設定に改善の余地はあるが、計算値と実測値との比較からある程度経験的な要素を加味すれば、両者は比較的よい一致を示す。がい管内には気圧 3 kg/cm²・g の SF₆ ガスが封入されており、直列ギャップでの消弧と内部要素の絶縁に共用されている。避雷器が外段積ユニットからなる場合には、ユニット間は金属パイプで SF₆ ガスが流通できるように連結されており、避雷器全体のガス状態を下部から監視できるようになっている。

ガスシール部分は、当社のガスしゃ断器における豊富な実績を生かして設計されているので、ガス漏れおよび水分の浸入は実用上まったく懸念する必要はない。また、SF₆ ガス中の水分あるいは分解ガスの除去のために、吸着剤がそう入されている。

3. 2 直列ギャップ

直列ギャップはグラファイト製電極と消弧性にすぐれたアセタル系材料からなる消弧室で構成され、直列ギャップの上下には一対の吹消コ

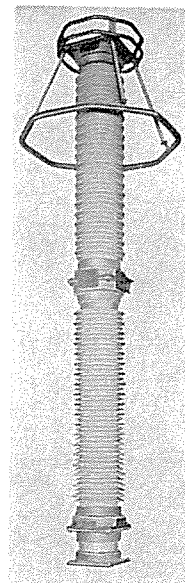


図 3. 1 SV-FB 形 定格電圧 420 kV 避雷器
Type SV-FB rated at 420 kV lightning arrester.

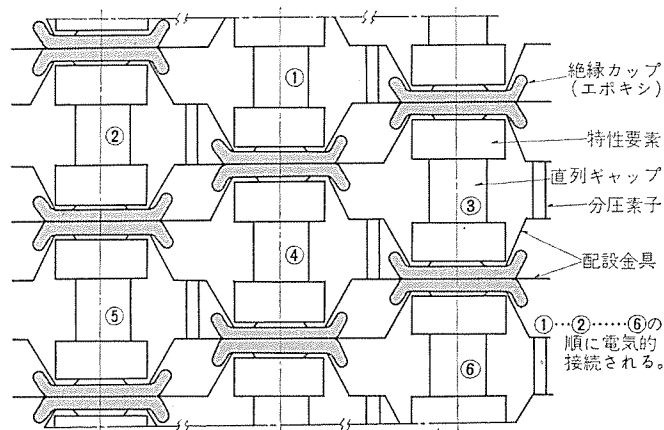


図 3. 2 内部構造図
Interior construction.

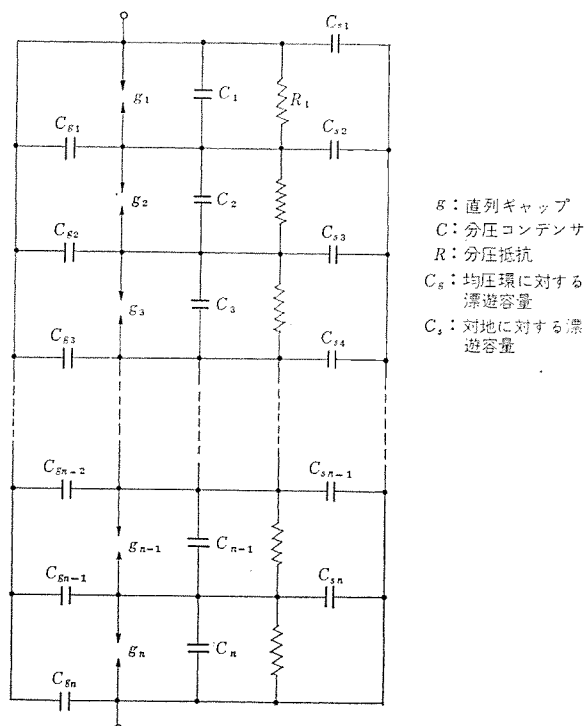


図 3. 3 避雷器の等価回路
Equivalent circuit of lightning arrester.

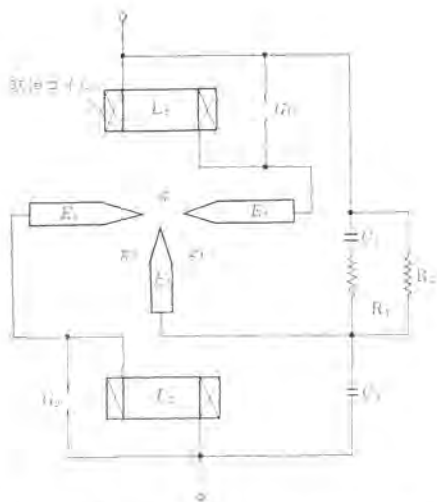


図 3.4 ユニットギャップの結線図
Connection diagram of unit gap.

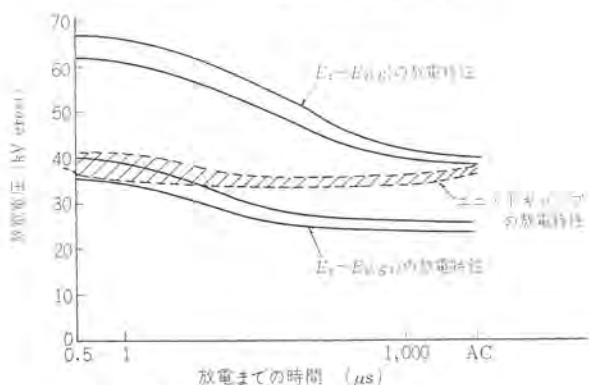


図 3.5 ユニットギャップの V-t 特性
V-t characteristics of unit gaps.

イルを備えているので、放電後の続流アークはすみやかに駆動伸張・消弧される。SF₆ 気体は大気中で空気の約 2.5～3 倍の絶縁耐力を有するのに対して約 100 倍の消弧性能を有するところから、開閉サージ処理等の過酷な責務を遂行するためにはきわめて好都合な消弧媒体である。しかし、一方では SF₆ 気体の強い電子親和力のために、放電特性を安定化させることが非常にむずかしいという欠点もあり、SF₆ 消弧直列ギャップの実用化のためには、まずこの点を解決する必要がある。図 3.4 は SV-FB 形直列ギャップの結線図を示す。このギャップでは、平らな V-t 特性を得るために、トリガ電極 E₃ を配して放電の安定と制御を行なっている。E₁, E₂ は主電極で、g は主ギャップ、g₁ はトリガギャップである。電極には、図示のように、コンデンサおよび抵抗が接続されているので、避雷器にサージ電圧が侵入すると、まずトリガギャップ g₁ が放電し、その後、全電圧が g₂ に印加され、g₁ のトリガ作用によって g₂ は時間遅れなく放電し、主ギャップ g の全放電に速やかに進展する。図 3.5 は定格電圧 14 kV ギャップに対するトリガギャップの効果を示すもので、主ギャップ g の放電特性は図示のようなトリガギャップ g₁ の放電によるトリガ作用によって平らな V-t 特性になっている。

このようなユニットギャップ放電特性の制御法と SF₆ 気体のすぐれた消弧性能の相乗作用とが、過酷な重責処理を可能にしている。

4. 特 性

SV-FB 形定格 420 kV 避雷器は、表 2.1 に示す推奨特性を満足するように設計・製作されているので、表 2.1 は 500 kV 避雷器の

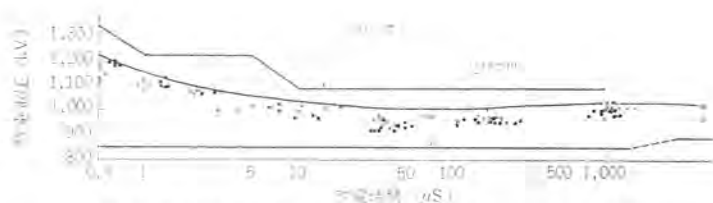


図 4.1 SV-FB 形 定格電圧 420 kV 避雷器の V-t 特性
V-t characteristics of type SV-FB 420 kV lightning arrester.

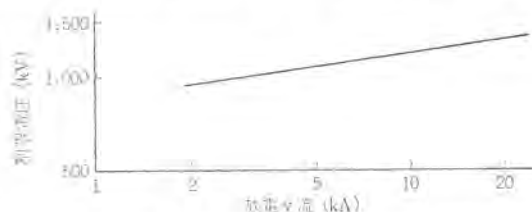


図 4.2 SV-FB 形 定格電圧 420 kV 避雷器の制限電圧特性
Discharge voltage characteristic of type SV-FB 420 kV lightning arrester.

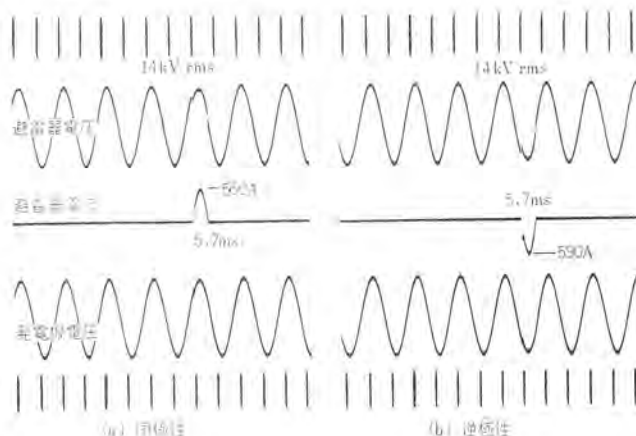


図 4.3 雷サージ動作責務試験オシログラム
Typical oscillograms of operating duty cycle test with lightning surge.

定格特性でもある。

以下、試験結果を中心に主要特性について述べる。

4.1 保護特性

図 4.1 は定格電圧 420 kV 避雷器の 0.5 μs から商用周波領域までの V-t 特性曲線を示す。また、図 4.2 には制限電圧特性を示す。これらは、いずれも規定値内に余裕をもって納まり、良好な特性であることがわかる。

4.2 動作責務特性

4.2.1 雷サージ動作責務特性

500 kV 避雷器の雷サージ動作責務は、開閉サージ動作責務と比較すると、処理エネルギーは格段に小さく、したがって十二分の裕度をもっている。

図 4.3 は、定格電圧 14 kV ユニット避雷器について、印加衝撃電流 10,000 A、電源短絡電流 3 kA 回路で実施した雷サージ動作責務試験オシログラムを示す。

4.2.2 再閉路サージ動作責務特性

500 kV 系統で発生する開閉サージで絶縁協調上問題になるのは、主としてシャ断器の再閉路サージであると考えられる。また、再点弧の防止は十二分に期待できることおよび再点弧サージより再閉路サージによる動作責務のほうが避雷器にとって過酷である⁽¹⁾ことから、500 kV 避雷器では、シャ断器の高速度再閉路を模擬した開閉

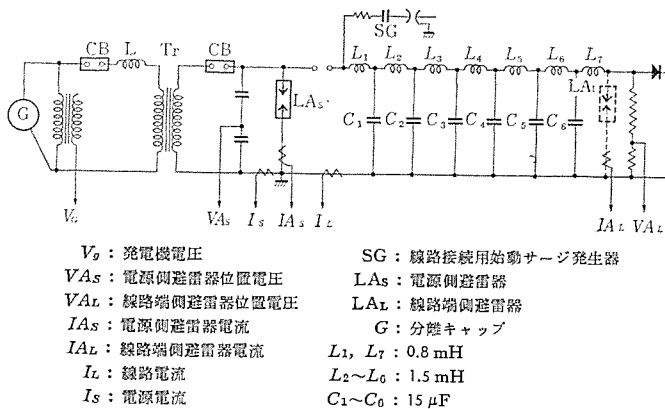


図 4.4 再閉路サージ動作責務試験回路
Circuit for operating duty cycle test with switching surge.

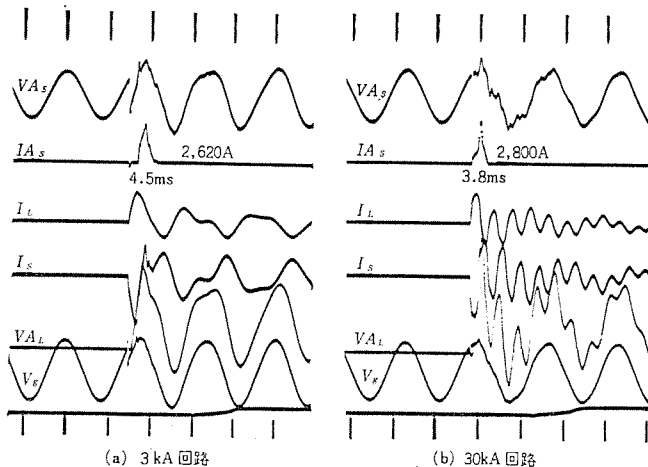


図 4.5 電源側避雷器の再閉路サージ動作責務試験 オシログラム
Typical oscillograms of operating duty cycle test with switching surge.

サージ動作責務試験を実施することが推奨されている。そこで、定格電圧 14 kV 避雷器ユニットを用いて図 4.4 の回路で試験を実施し、所定の責務を問題なく処理できることを確認した。図 4.5 は避雷器を電源側においた場合、図 4.6 は線路端側においた場合の、それぞれ電源短絡電流 3 kA および 30 kA 回路での動作責務試験のオシログラムを示すが、いずれも無再点弧で良好に続流をしゃ断している。なお、電源電圧は模擬線路接続時に定格電圧 14 kV になるように設定するので、線路接続前の電圧は 3 kA 回路で 11.9 kV (14 kV の 85 %)、30 kA 回路で 13.8 kV (98.5 %) になっているが、模擬線路は定格電圧 14 kV の波高値に充電されている。

図 4.4 の回路は、模擬線路の全静電容量 90 μ F、サージインピーダンス 10 Ω であるから、これを 500 kV 系統に換算すると、サージインピーダンス 300 Ω 、線路長 250 km に相当する。

4.2.3 断路器サージ動作責務特性

断路器で母線の小区間を開閉する際には、連続的なサージが発生するが、このサージの大きさは一般に常規対地電圧波高値の 2 倍以下であり、この電圧では避雷器は動作しない。しかしながら、回路構成によっては、2 倍を越えるようなサージの発生が予想され、この場合には避雷器の放電も起こり得るので、500 kV 避雷器では、断路器開閉サージを模擬して、連続 40 回 (20 サイクル) の動作責務が推奨されている。

図 4.7 は定格電圧 14 kV 避雷器を用いて実施した断路器サージ動作責務試験オシログラムを示すが、良好に続流をしゃ断しており、

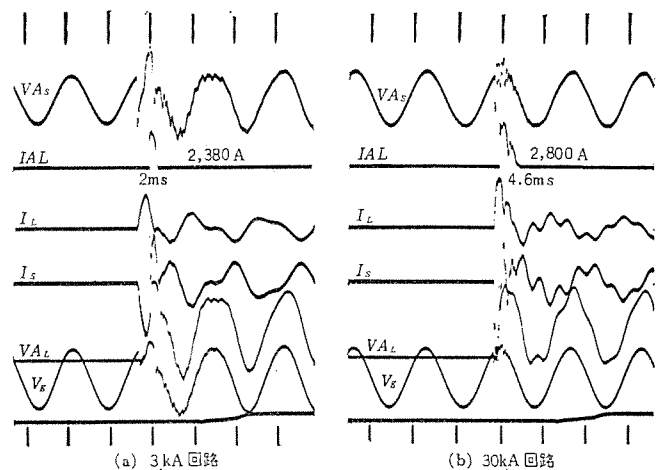


図 4.6 線路端側 避雷器の再閉路サージ動作責務試験 オシログラム
Typical oscillograms of operating duty cycle test with switching surge.

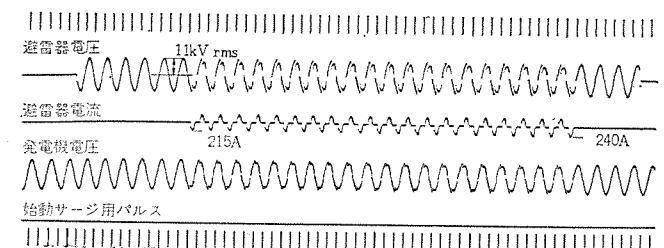


図 4.7 断路器サージ動作責務試験 オシログラム
Typical oscillograms of multiple repeated operating duty cycle test.

SV-FB 形避雷器が、この種の重責務にも十分耐え得ることがわかる。

4.3 汚損特性

500 kV 避雷器も、一般の避雷器とどのように塩害を考慮する場合とそうでない場合とに大別できる。しかしながら、塩害のない場合でもじんあい汚損や霧の発生による湿潤が考えられるので、非耐塩害形避雷器でもある程度の汚損塩害に耐える特性を具備する必要がある。これら両者の必要汚損特性を具体的に示すと、非耐塩害形は等価塩分付着密度 0.01 mg/cm² で通常の責務を遂行できるもの、耐塩害形は等価塩分付着密度 0.03 mg/cm² で定格電圧課圧状態での活線洗浄に耐え、かつ通常の責務を遂行できるものということになる。

耐塩害形避雷器の製作には、避雷器が内部に過絶縁できない直列ギャップを有し、この直列ギャップの放電電圧ががい管表面の汚損湿潤による表面電位分布変化の影響を受けて低下するので、他機器に比べるととくにむずかしい問題を含んでいる。このため、275 kV 系統以下の避雷器はシリコンコンパウンドを塗布して汚損塩害対策とするのが一般的であり、500 kV 避雷器も例外ではないが、最近保守用断路器の省略、シリコンコンパウンドの塗布および除去作業の省略のため、活線洗浄できる 500 kV 避雷器の開発が強く要望されはじめたので、500 kV 送電実証試験委員会で耐塩害形避雷器試験方法 (案) が提示されている。これに伴い、当社では耐塩害活線洗浄形避雷器を目下開発試験中である。

図 4.8 は非耐塩害形 500 kV 避雷器の等価霧中汚損放電特性を示すが、従来の 275 kV 系避雷器の汚損時における放電電圧の低下率から比べると格段に少なくなっている。このため、非塩害地区での一般の汚損湿潤に対しては、所定の責務を十分に遂行できるものと

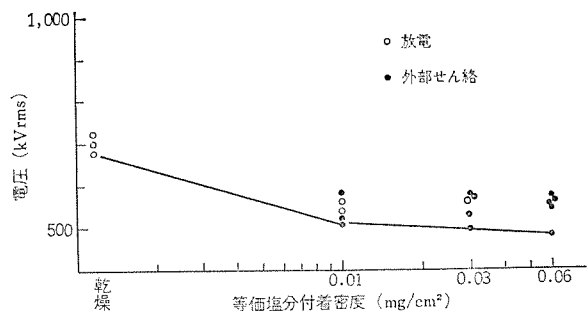


図 4.8 SV-FB 形 定格電圧 420 kV 避雷器の汚損放電特性
AC sparkover voltage characteristics of type SV-FB 420 kV lightning arrester under contaminated condition.



図 4.9 振動試験状況
View of vibration test.

考えられる。

4.4 耐震特性

昭和 39 年の新潟地震以来、電力機器の耐震性が大きくクローズアップされてき、従来の静的な強度検討のほかに、動的な耐震強度の検討が行なわれはじめた。500 kV 避雷器は高さが 8 m 程度あるため、固有振動数は数 Hz となり、一般に地震の周波数成分 (0.4 Hz~10 Hz) の中にはいってしまう。このため、共振に近い状態になることも考えられるので、その耐震性を十分に検討しておくことが必要である。

耐震強度の検討法には種々の方法があり⁽⁴⁾、また検討条件としても種々のものが考えられるが、わが国の 500 kV 機器の多くは、0.3 G の加速度をもつ共振周波数の正弦 3 波を突印する実体加振で、その性能が検証されている。

図 4.9 は当社の大形加振機を用いて実施した試作 500 kV 避雷器の実体による耐震試験状況を示すが、その試験結果は 0.3 g、共振周波数 3 波加振でも十分耐えているので、500 kV 避雷器の耐震強度は十分であるといえよう。

5. 実用性能

SF₆ ガスを使用した電気機器における実用性能上の諸問題としては、ガスの密封および漏れの管理・水分管理・SF₆ ガスの分解による分解生成物と使用材料の問題などがあげられる。これらは当社

における基礎的な研究・実機器での実験のもとに解決されており、さらに昭和 40 年以来多数製作・納入されているガスしゃ断器の運転実績等により、その長期間にわたる実用性能保証の裏付けがなされている。

また、SF₆ ガスを消弧に使用した避雷器も、すでに昭和 44 年以来問題なく実用運転にはいっているが、従来の避雷器に比べて比較的特殊なガスを使用しているので、これらの問題について簡単に紹介する。

5.1 SF₆ ガスの密封および漏れの管理

高気圧 SF₆ ガスの密封で特に注意を要するのは、ガス漏れと水分侵入の防止であろう。また、密封材料としては合成ゴム製 O リングが使用されているので、ゴム材料としては耐候性・高低温特性・耐分解ガス特性がすぐれ、水分透過率が小さいという条件をかね備えたものを選定する必要がある。さらに、O リングのつぶししろ、当たり面の面精度などの慎重な選定と厳重な品質管理が必要で、かつ最終的な組立状態での漏れ試験方法が確立されていなければならない。

このような事項に対する各種の試験結果⁽⁵⁾をもとにして O リング材質の選定ならびに当たり面の面精度を管理している。さらに、シールの安全を期するために O リングに液状ガスケットを併用している。また、組立作業中にシール面への異物のくい込み等がないように作業環境の整備や作業者の教育を実施しているのはもちろんである。

組立後の漏れの検査としては次の方法を実施している。

(1) 真空テスト

真空状態で長時間放置して真空度の低下が規定値以下であることを確認する。

(2) SF₆ リークテスト

SF₆ リークデテクタによって漏れ個所の有無を検査する。この試験によって、蓄積法によるガス漏れ量の定量的測定が可能である。蓄積法による漏れ試験は、シール個所をビニールなどで密封し、漏れ出た SF₆ ガスをこの中に蓄積し、SF₆ ガスの濃度を測定するもので、これによるリークデテクタの読みが管理限界内にあることを確認する。

5.2 水分管理

SF₆ ガス中の水分が直列ギャップの放電特性に影響をおよぼすことはほとんどないが、多量に水分があって絶縁物表面に結露すれば、絶縁耐力の低下をきたすことおよび動作時に分解生成物を生ずるために、水分量は一定レベル以下に管理する必要がある。

SF₆ ガス中の水分としては

- (1) 使用絶縁材料より放出されるもの
- (2) O リングを透過して侵入するもの
- (3) SF₆ ガス中に最初から混入しているもの

などが考えられるが、上記のうち (2)、(3) は微量であるので、避雷器容器内の吸着剤で十分に吸着される。(1) の使用絶縁材料については吸蔵水分の少ない絶縁材料を選定し、しかも組立前に十分に乾燥して水分を除去するが、さらに安全を考えて容器内の吸着剤はこれらの水分をすべて吸着できるだけの量を用いている。

避雷器内の許容水分量は、ガス圧力と 0°C の飽和水蒸気圧との関係から 3 kg/cm²・g の場合で体積比で 1,500 ppm であるが、製品については十分な安全性を見込んで、水分量 150 ppm で管理している。

5.3 分解生成物と使用材料の問題

SF₆ ガス中で放電が行なわれると、分解を生ずるが、大部分はきわめて短時間のうちに再結合し、再結合しないものは吸着剤によっ

表 5.1 SV-FB 避雷器 14 kV ユニット 動作時の アークエネルギー
Arc energy of type SV-FB arrester.

条 件	普通動作責務試験	開閉サージ動作責務試験	断り器サージ動作責務試験
シャ断電流平均	500~700 A	2,000~3,000 A	100~130 A
回 数	1 回	1 回	40 回
アークエネルギー	1.6~2.5 kWs	8~11 kWs	8~12 kWs

表 5.2 通電試験前後の ガス 分析結果
Analysis of SF₆ gas after discharge test.

生成量 (モル%)	SO ₂	SO ₂ F ₂	CF ₄	SiF ₄	CS ₂	CO ₂
試 験 前	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06
試 験 後	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.09

て除去していること、および耐分解ガス特性のすぐれた材料を選定・使用しているので、材料の劣化を生ずることはない。

避雷器では動作時の 95 % 以上のエネルギーが特性要素中で熱的に消費され、直列ギャップで消費されるエネルギーはきわめてわずかであること、しかも動作時の通電時間が 5 ms 前後と短いことから、1 回動作時あたりのアークエネルギーは非常に小さいことが理解できる。実際の動作責務による定格電圧 14 kV ユニットギャップあたりのアークエネルギーは、500 kV 避雷器の絶縁協調部会推奨値による試験結果から表 5.1 のとおりであり、これが実系統における動作時のエネルギーとして最大のものであると考えられる。

避雷器に使用する材料は、これらのエネルギーによる分解 SF₆ ガスに耐えるものでなければならず、使用材料の選定にあたっては、50 年以上の責務に相当すると思われる普通動作責務 100 回と開閉サージ動作責務 50 回分のエネルギーを実モデル避雷器に注入し、長時間の変異を外観・絶縁抵抗・沿面耐圧・引張り強度・抵抗値およびガス分析から調べている。

この結果では吸着剤をまったく使用しなかったにもかかわらず、材料には変化が認められなかった。とくに、特性要素 (SiC の焼結体) については X 線回折も実施しているが、化学的にも変異はまったく認められなかった。表 5.2 は試験前・後のガス分析結果を示すが、分解ガスの生成が微量であり、材料が分解ガスによって侵されていないことがわかる。

6. 保守・点検

従来の避雷器と同様に、絶縁抵抗あるいは漏れ電流の測定を年に 1~2 回実施するのが望ましい。なお、500 kV 避雷器は大形であるので、漏れ電流測定のほうが便利であろう。

このほか、ガス密度 (圧力) を管理する必要があるが、ガス密度の管理は避雷器に取付けられた温度補償圧力スイッチが図 6.1 の管理基準を下回れば警報回路を動作させるようになっているので、特に実施しなくても自動的に管理される。また、圧力計によって圧力を直接読みとれるようになっているので、これによって管理するこ

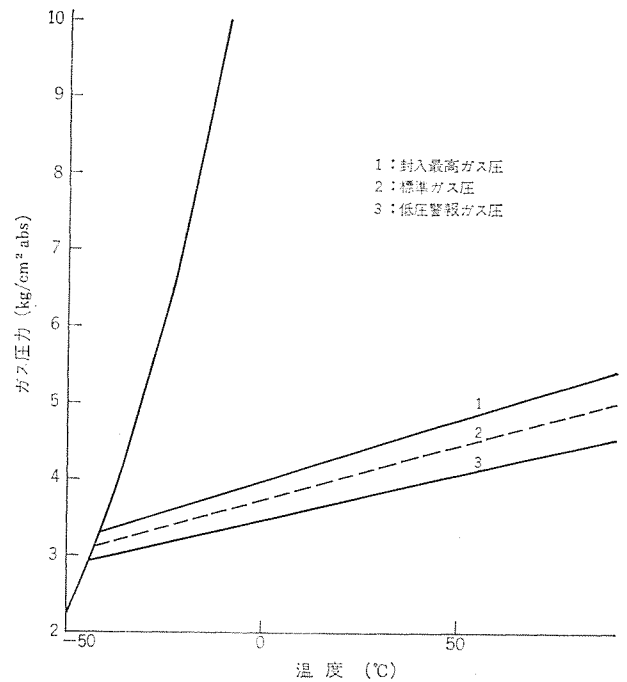


図 6.1 ガス密度管理範囲
Control diagram of gas density.

ともできる。

これらの漏れ電流計・圧力計等は、他の衝撃電流記録器・放電度数計等とともにケースに収納され、避雷器モニターとして避雷器の下部に設置される。

なお、図 6.1 からわかるように、使用 SF₆ ガス圧力は 3 kg/cm²・g であるので、JEC-156 の常規使用状態における周囲温度範囲 40°C ~ -20°C では SF₆ ガスの液化の心配はないが、ほぼ -40°C より周囲温度が低下するおそれのある場合には、別の対策が必要である。

7. む す び

以上、500 kV 用 SV-FB 形 避雷器の概要を述べたが、目前にひかえた 500 kV 送電運転時点においては、本避雷器が絶縁協調の基幹機器として、その使命をになうに十分なものであると確信している。しかしながら、耐塩害形避雷器の製品化等残された課題もあるので、今後とも有益な示唆を賜われれば幸いである。

筆をおくにあたって、本避雷器の製品化にご尽力願った関係各位に誌上をもって心から謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 尾崎、氏原：電学誌，86，No. 12，2,184 (昭 41)
- (2) 高梨：電学誌，90，No. 8，1,593 (昭 45)
- (3) 電中研：500 kV 送電に関する研究報告 (その 5) (昭 43)
- (4) 志村ほか：三菱電機技報，43，No. 12，1,675 (昭 44)
- (5) 小鯛ほか：三菱電機技報，44，No. 9，1,143 (昭 45)

500kV 用 保 護 継 電 装 置

三 上 一 郎*・北 浦 孝**

古 谷 昭 雄+・天 野 恒+

鈴 木 健 治+・高 田 信 治++・小 林 茂++

Protective Relaying Scheme for 500kV Systems

Head Office Ichirō MIKAMI

Kobe Works Kōichi KITaura・Akio FURUYA・Hisashi AMANO

Kenji SUZUKI

Communication Equipment Works Nobuharu TAKATA・Shigeru KOBAYASHI

Much higher reliability and excellent performance are demanded on protective relaying scheme for 500 kV systems in comparison with old engineering.

This article makes clear of the singularity of 500 kV system protection, and, in reference to the development of new engineering mastering the hardships encountered with it, describes the test results on micro carrier relays of one cycle operation, bus protective equipment provided with complete automatic inspection and protective equipment of 1,000 MVA transformers.

In addition, introduction is made to the outline of 500 kV ATL (artificial transmission line) completed recently for the attestation of the operation of the protective equipment on the actual system.

1. ま え が き

500 kV 系統の保護継電装置は、従来装置に比べて、信頼度・性能面でいっそうの向上を要望されている。

当社は、昭和43年の後半から本格的な研究に着手し、その後、

各電力会社の絶大な支援によって、送電線保護を初めとして、母線保護・変圧器保護等に関する諸研究を鋭意進めてきたが、昭和45年8月には中部電力 高根一信濃間に500 kV 送電線保護用の試作機設置、46年4月には東京電力房総変電所向け500 kV 用変圧器保護装置、および母線保護装置の製作開始等の実績をあげるに至った。

表 1.1 三菱500 kV 用 保護継電装置開発の歴史 (関連技術開発を含む)

History of Mitsubishi 500 kV relay engineerings.

No.	年号	西 暦	件 名	概 要	備 考	No.	年号	西 暦	件 名	概 要	備 考
1	35	1960	KLV 形トランジスタリレー納入 (国産第1号)	電圧2V以下検出, 110V連続可能な低電圧リレー	九電 直コン系	11	44	1969	500 kV 共同研究会発足	500 kV リレー方式についての本格的共同研究会発足	中部電力 関西電力
2	36	1961	搬送端局装置のトラ化, 異周波方向比較方式完成	端局装置の無保守無点検 (真空管→トランジスタ), 非電源対策	中国電 新宇都宮電所	12	45	1970	500 kV 模擬送電線完成	設備容量 650 kVA (7台) に UP 500 kV 模擬線完成	工場設備
3	37	1962	LBB 形位相比較比率差動プスプロ (トラ化プスプロ1号納入)	通常 CT 使用の高信頼性プスプロ	関 電 南越路変電所	13	45	1970	KPC-103 形オールトラキヤリヤリレー実系統使用	9項と同一仕様のを実系統に使用 (154 kV, 4.6 km 方向比較)	中部電 東名古屋～北刈谷
4	38	1963	マイクロ回線使用のキャリヤリレー納入	電力線搬送→マイクロ回線	四 電 西条一新居浜変電所	14	45	1970	火力オールトラ保護装置試作 (自動点検第1号)	火力発電所の省力化 自動点検付き, SCR トリップ	東電 横浜火力 フィールドテスト
5	38	1963	KKS-2 形四辺形特性距離リレー納入	負荷に応動しない理想特性 = 四辺形特性	国 鉄 東海道新幹線	15	45	1970	500 kV 用キャリヤリレー試作 (CPC 式極性比較方式)	位相比較方式の新方式開発 対向自動点検システム完備 (275 kV, 50 km, マイクロキャリヤ)	中部電 信濃～高根
6	39	1964	PHR 形可搬式送電線リレー納入	リレーロックがしにくくなり移動式リレー要求を満足 (オールトラ化)	中部電 各支店	16	45	1970	500 kV 用キャリヤリレー試作 (FM 式比率差動方式)	パイロット継電方式の流出電流対策付き	フィールドテスト
7	40	1965	KPC-101 形オールトラキヤリヤリレー完成	キャリヤリレーのオールトラ化1号 (154 kV, 157 km 方向比較)	関 電 八尾～大山 フィールドテスト	17	45	1970	275 kV 用オールトラキャリヤリレー試作 (自動点検付き方向比較)	完全2系列, プログラム制御による自動点検付き	関西電力 北大阪～城端 フィールドテスト
8	42	1967	MZS 形モリアクタンスリレー納入 (0.1Ωリアクタンスリレー)	短距離リアクタンス (従来 0.25 Ω→0.1 Ω)	各電力関係	18	46	1971	275 kV (500 kV) 用プスプロリレー納入 (TABS 形位相比較比率差動完成)	電圧差動 (一括), 流出電流対策付き位相比較比率差動 (分括), 1次側からの完全点検採用	東京電力 房総変電所他
9	43	1968	KPC-102 形オールトラキャリヤリレー完成	優先遮断, 零相循環電流対策付き方向比較, 整面 1/3 化成功 (154 kV, 38 km 方向比較)	中部電 西名古屋～大垣 フィールドテスト	19	46	1971	500 kV 用トランス保護リレー共同研究	比率差動 (87 T), 500 kV, 275 kV 側よりの完全後備自動点検監視付き	東京電力
10	43	1968	U 形ケースの完成 (縦長形ユニットケース)	オールトラ総合装置に適した横形ケースの9標準化	各オールトラ装置に適用						

一方、500 kV 系統の解析および各装置の高信頼度動作を検証するため、昭和45年6月には500 kV 系統定数を模擬した新模擬送電線設備を完成した。

以下、おのこの技術的な問題点について、項を追って検討するが、現在までのところ500 kV 用保護装置は、その大部分が静止化装置（オールラ装置）で設計されることになり、自動監視方式に関するソフト技術、半導体回路設計面におけるハード技術が、その成否を決定することが予想されている。当社は、昭和35年以来、静止形リレーの開発を進め、現在まで300機種、10,000台以上の実績を得ており、自動点検監視に関しても、45年度に総合装置5件の実績をおさめている。これらの開発を通して、基本技術として500 kV 継電装置の開発に結びつくものが多い。表2.1に500 kV 継電装置の開発に結びつく基礎技術の開発状況を含めてその歩みを紹介する。

2. 500 kV 系統保護の特異性と新技術について

500 kV 系統が従来の275 kV 系統とどう違うのか、500 kV 系統の特異点は何か、その解決策はどういう方向に向いているのか、といった面について、表2.1に要約する。

表2.1で明らかになるとく、500 kV 系統の特異性として、下記があげられる。

(1) 発電機ユニット大容量化に伴い、高速トリップが必要となり、直流分対策を考えた1サイクルリレーが必要となる。

(2) 故障電流が意外と少なくなり、1~2Aで正しいリーチを出す高感度距離リレーが必要である。

(3) 内部故障時、故障回線の両端の電流が、一端は非電源または流出することが起こりうるため、電流差動パイロットリレー方式が必

要となる。

(4) 超々高圧では、ループ系統構成ができにくいいため、両回線故障時、故障相だけを選択して断再閉路する、各相位相比較多相再閉路方式が普通となる。

(5) プス構成の一つの動きとして1 $\frac{1}{2}$ 方式が考えられているが、その場合、和電流CTに対する対策が必要となる。

(6) 当然のことながら、信頼度向上と保守の省力化のための自動監視機構を各装置に本格的にとり入れる気運にある。

(7) キャリヤリレーの信号伝送量が多くなり、電力線搬送からマイクロ伝送になる。このためマイクロ伝送特有の諸問題を検討し、その対策が必要となる。

なお、以上各項のうち(1)(2)(3)(6)は、従来の電磁形ではきわめて実現が困難であり、その達成のため静止化技術の採用が必要となるものである。

以上の問題点に対し、現在までの検討結果を以下各項で詳細記述するが、特筆すべき点として下記3点をあげることができる。

(a) マイクロ回線を使った電流差動パイロットリレー装置として、各相電流極性比較方式(CPC方式)および各相周波数変調電流差動方式(FM方式)の新形搬送保護継電装置を完成し、新500 kV 模擬線による形式テスト後、現地に据付けすることができた。

(b) E-I特性0.5A以上、動作スピード3/4サイクル以下の方向距離継電器を完成した。

(c) 内部事故時、流出があっても流出のない内部事故と同じ判定となる、きわめて信頼度の高い保護動作を行なうTABS形位相比較比率差動母線保護継電器を完成した。

3. 500 kV 送電線保護

3.1 500 kV 送電線の要求性能

500 kV 送電線が従来の275 kV 送電線に比較し、保護方式上、新たに要求される事項として下記がある。

(1) 動作スピードの高速度化

系統過渡安定度限界が6~9サイクル以内と予想されるため、リレー+しゃ断器=4サイクル以内が必要とされる。これを満足させるためには、最悪状態でも全端同時に2サイクル以内にリレー動作させるとともに、後備保護も主保護とほぼ同一性能にする、すなわち主保護の二重化が必要となる。

(2) 負荷電流の影響を考慮した電流感度の上昇と可変電源対策
ループ系が少なく、長距離送電線が多いため、CT二次定格5Aに対して最小故障電流が1.5~2Aと予想される。このため、負荷電流の影響を受けないで、このような小さな故障電流で十分動作できる継電器が必要となる。さらに、可変電源端子も予想されるため、特に負荷電流に影響されない高信頼度の可変電源対策が必要となる。

(3) 各相保護と多相再閉路

大電力送電線となるため、高安定送電を継続する必要がある。このため故障相を確実に検出できる各相単位の保護方式と多相再閉路が必要となる。

(4) 装置自体の信頼度向上と保守の省力化

系統の重要性から、保護装置を常に健全な状態に保つ必要がある。このため、不良発見率の高い自動監視装置を適用することが必要となる。さらに設備の増大、保守員の不足が激しくなり、保守・運用の省力化のために、上記自動監視装置とともに、リレー動作表示記録

表2.1 超々高圧の特異性と新技術
Singularity and their new engineerings for 500 kV systems.

No.	項目	500 kV	従来	新技術
①	発電機大容量化 系統安定低下 高速トリップ	リレー+しゃ断器 2 $\frac{1}{2}$ +2 $\frac{1}{2}$ =4 $\frac{1}{2}$	リレー+しゃ断器 3 $\frac{1}{2}$ +3 $\frac{1}{2}$ =6 $\frac{1}{2}$	1サイクルリレー開発 (直流分対策付)
②	故障電流小	1.5A	5A	高感度距離リレー開発
③	送電線放射状 片端電源			CPC方式 FM方式 PCM方式等 差動パイロットリレー開発
④	両回線故障時 全停対策必要			各相比較 多相再閉路 開発
⑤	1 1/2 CBによる 送電停止の防止			和電流CTの 過渡特性解析 新規母線方式 開発
⑥	信頼度向上 および保守省力化	リレー不正動作の 影響が少 (電力会社方針)	—	自動点検 常時監視
⑦	電力線搬送の 適用困難	マイクロ	アロキシンコイル カップリンダ コンデンサ ケーブル SET	波形伝送 技術開発 瞬断対策 の研究

(注) 〇印は静止化を必要とする

の自動化等が必要となる。

これら要求を満足した保護方式を上記(1), (2)を主体に紹介する。

3.2 各相位比較キャリアリレー

500 kV 送電線保護用として、自端電流の位相だけでなく、大きさも含めた信号を FS 変調し、マイクロ回線を利用して相手端へ伝送する位相比較キャリアリレーを完成した。現在、各電力会社とも、本方式を各相に設置して 500 kV 系へ使用する計画を持っている。なお、当社ではこの方式を CPC 形電流極性比較方式と称している。

(1) 動作原理

図 3.1 に本方式のブロック図を示す。CT 電流を電流電圧変換器 I-V で適当な大きさの電圧に変換し、レベル検出器 LEVEL-DET でく形波 V_{DET} に変換する。 V_{DET} は、図 3.2 に示すように LEVEL-DET のタップレベルを境に、電源端用は正極性側で、可変電源端は負極性側で論理信号 1-0 に変換するものである。この V_{DET} を信号伝送装置の電圧周波数変換器 VF で FS 変調し、LOW-PASS フィルタ LPF を介してマイクロ端局へ、0 ~ 4 kHz 帯の音声周波数で、マイクロ端局へ送る。

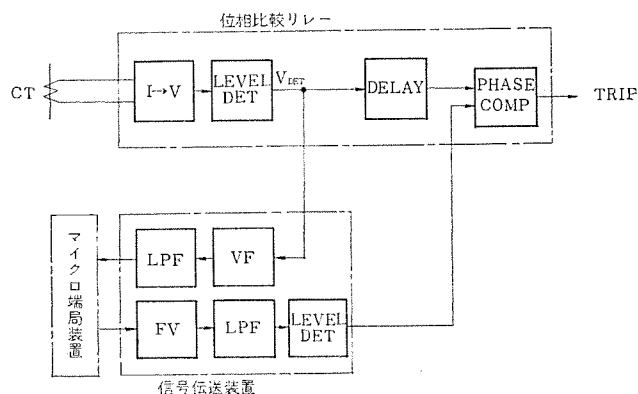


図 3.1 位相比較キャリアリレーブロック図
Block diagram of phase comparison carrier relaying system.

一方、伝送遅延補償回路 DELAY で、 V_{DET} をく形波のまま遅延させる。位相比較器 PHASE-COMP は、この遅延された V_{DET} と相手端から伝送されてきた、相手端の V_{DET} を復調したものと比較し、所定位相差以内のとき、トリップ信号を発生するものである。信号伝送装置内の復調は、音声周波数帯の信号を周波数電圧変換器 FV で復調し、フィルタ LPF を介して、零点レベル検出器 LEVEL-D ET でく形波に変換して行なわれる。

図 3.1 のブロック図を、対向で設置したときの系統故障に対する動作波形を図 3.3 に示す。A 端は電源端、B 端は可変電源端で、それぞれ図 3.2 のようにく形波 V_{DET} をつくり、伝送遅延は省略して示してある。 V_{DETA} と V_{DETB} の信号 1 はトリップ側に、0 はロック側に使用されている。図 3.3 の (a) は両端流入の内部事故で、 V_{DETA} と V_{DETB} の信号 1 の期間の重なりから判定時間 t を除いた期間がパルス状の信号 V_t としてあらわれる。これをパルスコネクしてトリップ信号 TRIP が得られる。

これらの判定は、図 3.1 の PHASE-COMP の中で行なわれる。(b) は貫通外部事故時のもので、 V_{DETA} と V_{DETB} の信号 1 の期間が一瞬も重ならないので、完全に不動作となる。図 (c) は一端流入の内部事故で、B 端では、電流がゼロのため、 V_{DETB} は連続 1 となって、 $[V_{DETA} \cdot V_{DETB}]$ と V_t は図 (a) と同様になり、確実にトリップ指令が発生する。B 端の電流がゼロでなくても、B 端のタップレベル以下の電流であれば、位相に無関係にトリップ指令が得られる。

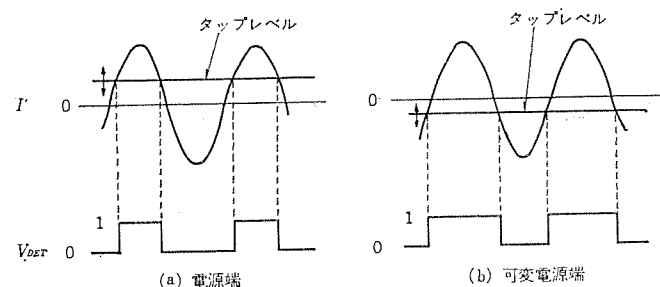


図 3.2 レベル検出回路の動作
Operation of level detector.

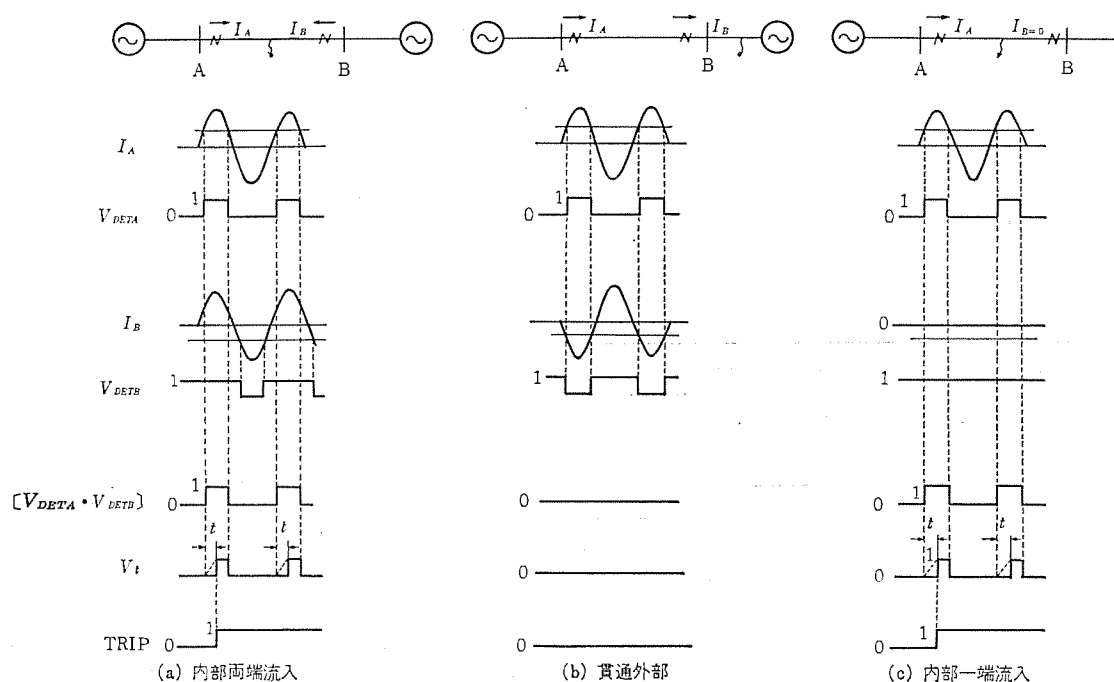


図 3.3 位相比較キャリアリレーの動作

Operations of phase comparison carrier relay.

したがって、内部事故時、非電源端からタップ値以下の電流が流出しても確実にトリップさせることができる。

(2) 方式の特長

従来の位相比較キャリアリレー、特に、可変電源端対策を施した位相比較キャリアリレーにくらべて、特に考慮を払った点は、動作スピードの高速度化である。このため、従来のように半波の位相比較だけでは限度があるので、図3.4に示すように、従来の半波位相比較に加えて、他の極性についての半波位相比較を設置し、その出力をOR接続にして、高速度化をねらった。最終トリップ指令としては、フェールセーフ用（誤動作防止）として、故障相検出リレーの動作を各相ごとに条件に入れることが予定されている。その他、従来のキャリアリレーに比較し、高速度に際し考慮した点は下記のとおりである。

(a) 非電源端の動作スピード遅延

従来は、別置の過電流リレー51Lの不動作を条件に非電源端制御（トリップ側信号強制送出）を行っていたが、通常の過電流リレーの復帰スピードは遅いため、常時潮流で51Lが動作していた場合、内部事故発生して無電流になったとき、51Lの復帰スピードだけトリップ時間が遅延していた。

本方式では、位相比較信号を従来のように電流の零点でなく、タップレベルで信号変換を行っているので、本質的に上記問題点は存在しなくなった。

(b) 電流位相急変時の誤動作

従来の伝送遅延補償回路は、図3.5(a)のようなCR回路を使用した動作時間 t 、復帰時間 t のタイマーによってく形波 V_{IN} を遅延させていた。しかし、波形Aのように形波は忠実に t 時間だけ遅らせることができるが、波形B、Cのように電流位相が急変したときの波形は異なった波形が V_{OUT} に生じる。これらは、いずれも急変前の信号状態が継続する傾向にある。このため、潮流のある状態から外部事故が発生、除去したとき、あるいは故障電流が反転したとき、位相比較リレーは誤動作する。これを防止するため従来では故障検出リレー動作後に位相比較を開始させるとか、外部故障検出リレー動作時に位相比較信号をロック側へ制御して、自端だけでなく相手端もロックしていた。したがって、これらの制御に必要な時間だけトリップは遅れていた。

この対策として、図3.5(b)のようなサンプリングパルス発生用発振器OSCとシフトレジスタを組み合わせたデジタル式遅延回路を使用し

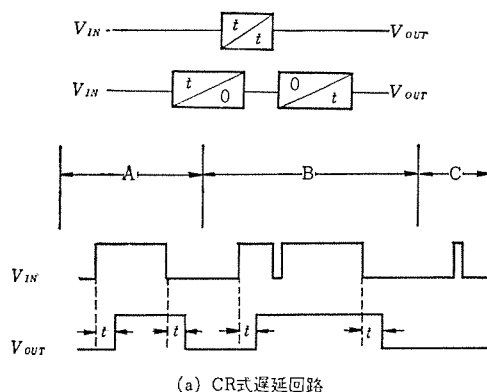
た。図は8ビットのシフトレジスタを使用した場合を示したもので、第1ビットのレジスタは、パルス V_S がきたときの V_{IN} の状態を記憶し、第2ビットのレジスタは、パルス V_S がきたときの第1ビットの状態を記憶する。このようにして、第8ビットまでシフトしてくると、第8ビットのレジスタの内容は、 V_{IN} を t 時間だけ遅らせたものとなる。ただし、この t 時間はパルス V_S の周波数を f (Hz)、ビットの数を n とすると、

$$t = \frac{n}{f} \text{ (s)} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

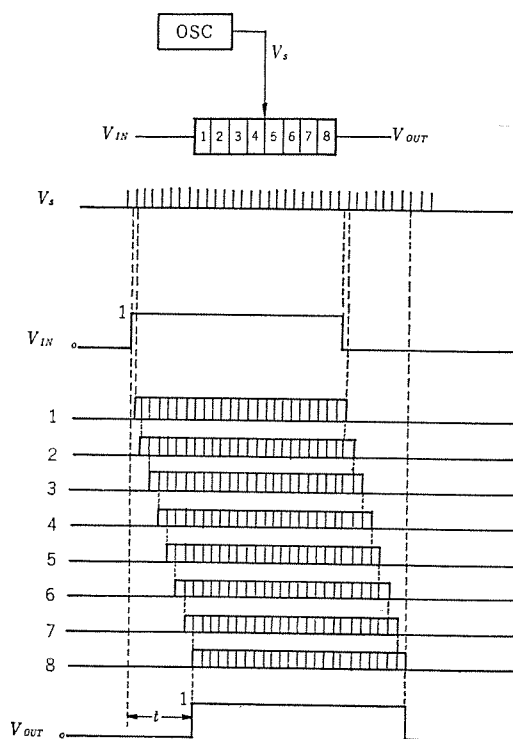
また、サンプリング誤差による最大誤差位相角 $\Delta\theta(^{\circ})$ は、系統周波数を f_0 (Hz)とすれば、

$$\Delta\theta = 360^{\circ} \times \frac{f_0}{f} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

となる。したがって、 $\Delta\theta$ を小さくするためには、サンプリングパルスの周波数 f を大きくすればよいが、ビット数 n が大きくなってしまうので、 $\Delta\theta$ を 2° 前後、すなわち $f=10$ kHz前後を使用している。この遅延回路を使用すれば、 $\Delta\theta$ 程度の誤差以内で忠実にどんな波形でも遅延させることができ、あらゆる電流の位相急変があっても、



(a) CR式遅延回路



(b) デジタル式遅延回路

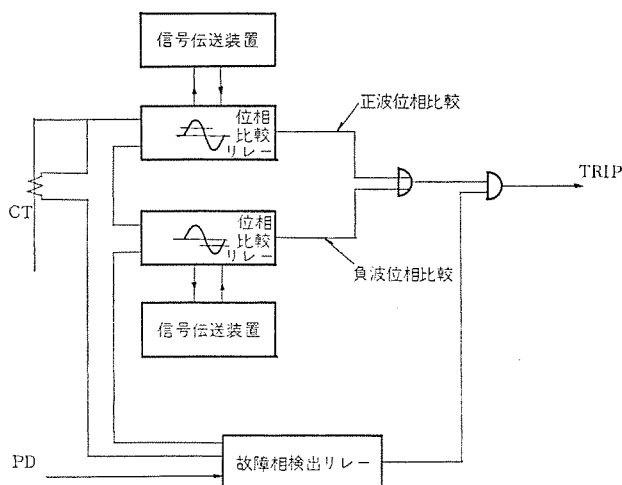


図 3.4 両波位相比較キャリアリレーのブロック図
Block diagram of double wave phase comparison carrier relay.

図 3.5 伝送遅延回路
Principle of wave delay circuit.

絶対に誤動作しないので、位相比較 リレー 単独でトリップ させる方式が使用可能となり、高速度化が容易となった。

(c) 過渡 DC 分による誤動作

500 kV では、特に故障電流に含まれる過渡 DC 分の時定数が大きく、100~500 ms と予想されている。DC 分は位相比較の原理上、正波比較側で動作側に影響するときは、負波比較側は必ず不動作側になるので、両波比較を AND で使用すれば絶対誤動作の心配はないが、動作スピードが遅れる。高速度化のため両波比較を OR にする必要があり、DC 分がどんな極性に加わっても、誤動作しないようにする必要がある。このため、ギャップ付きの電流電圧変換トランスを使用して、CT 二次電流を微分し DC 分の影響を除去した。すなわち、DC 分が 100 % はいった電流は、

$$I = I_m(e^{-\frac{t}{T}} - \cos \omega t) \dots\dots\dots (3.3)$$

T : 系統の時定数

であるから、ギャップ付きトランスの出力は、

$$E_x = X_m I_m \left(-\frac{1}{\omega T} e^{-\frac{t}{T}} + \sin \omega t \right) \dots\dots\dots (3.4)$$

X_m : 変換 インピーダンス

となって、DC 分は $\frac{1}{\omega T}$ に減衰する。この値を表 3.1 に示すが、時定数が大きいほど減衰効果が大きく、100 ms 以上の時定数では 3 % 以下となって、ほとんど DC 分がトランスの出力にあらわれない。したがって、両波比較を OR で構成しても誤動作の心配はない。

(d) 位相比較器の過渡現象による誤動作

位相比較器は、2 個の入力がともにトリップ側信号である期間を測定し、所定時間以上るとき連続出力を出すものであるが、この時間測定は、1 サイクルに 1 回しかできないので、連続信号とするためパルスコネクトをする必要がある。しかも、このパルスコネクトによる動作時間の遅れは許されないので、フリップフロップを利用し、DC 制御電

表 3.1 時定数と直流分減衰率
Relation between time constant and attenuation ratio of DC component.

T (s)	$\frac{1}{\omega T}$ (ω=377 の場合)
0.005	0.53
0.05	0.053
0.5	0.0053

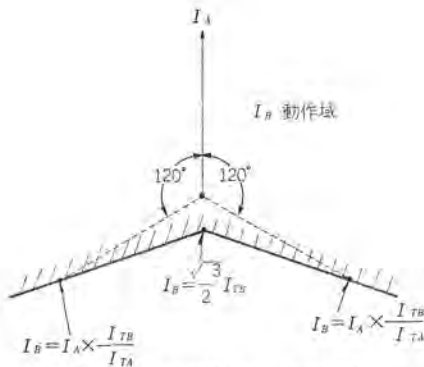
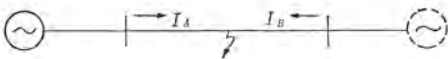


図 3.7 位相比較リレー 位相特性
Phase characteristic of phase comparison carrier relay.

圧の入・切や、DC 制御電圧の急変に対して誤動作しないような回路方式を採用した。

(3) 特性

(a) 動作スピード

両波比較 OR 構成の場合

位相比較器	$\begin{cases} 1/6 \sim 1/3 \text{ サイクル (両端同位相, 片端流入)} \\ 1/6 \sim 2/3 \text{ サイクル (動作限界付近)} \end{cases}$
伝送遅延	3.4 ms (1/1 CH 方式)

となり、総合トリップスピードは、これにトリップコイル までの補助リレーのスピードを加えたものとなる。図 3.6 に動作オシロを示す。

(b) 位相特性

図 3.7 は位相特性で、電源端の流入電流 I_A を基準に、可変電源端の電流 I_B の動作域を示したものである。A 端のタップ値を I_{TA}、B 端のタップ値を I_{TB} とすると

$$I_B = I_A \times \frac{I_{TB}}{I_{TA}} \dots\dots\dots (3.5)$$

の大きさの I_B の動作位相限界は ±120° になる。さらに $\frac{\sqrt{3}}{2} I_{TB}$ 以下の I_B であれば、どんな位相にあっても動作する。

(4) 信号伝送方式

各相位相比較を行ない、さらに両波比較を行なって、従来の音声周波数 1 チャネルで 1 FS 信号を伝送する方式 (1 CH 方式) を使用した場合、2 回線で 12 チャネルを使用する必要がある。このため、表 3.2 に示す 1/2 CH 方式を完成した。これは、1 チャネルで、正波比

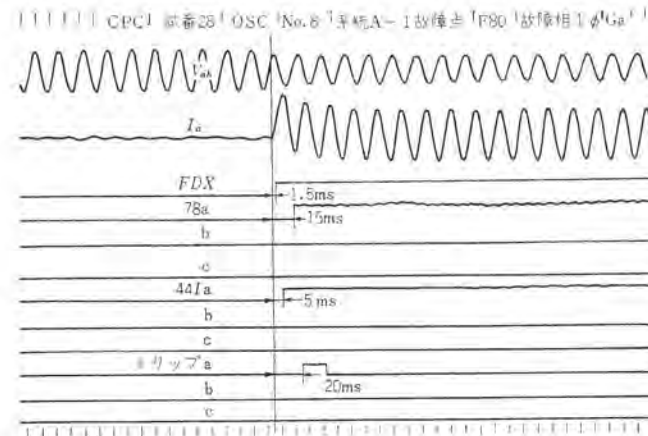


図 3.6 位相比較 キャリヤリレー の動作 オシロ
Oscillogram of phase comparison carrier relay.

表 3.2 位相比較リレーの信号伝送方式
Signal transmission system of phase comparison carrier relay.

方式	周波数配置	伝送時間		使用帯域幅 (正負両波 3 相分)
		MOD+DEM	マイク端局伝送路を含んだ MOD+DEM	
1/2 CH 方式		3.8ms	5.2ms 程度	3 CH
1 CH 方式		20ms	3.4ms 程度	6 CH

較用 FS 信号と負波比較用 FS 信号の 2 個を伝送する方式である。伝送時間は、600 ボー相当の信号伝送となるため、1 CH 方式にくらべて約 2 ms 遅くなるが、ジッターによる位相誤差は $\pm 5^\circ$ 以内にはいった。この 1/2 CH 方式を使用すれば、2 回線 6 チャンネルで、各相・両波比相比較の信号を伝送することができるが、1 CH 方式にくらべて 2 ms の遅延は総合動作スピードに影響するため、使用可能なチャンネル数があれば 1 CH 方式が適用される傾向にある。

3.3 各相電流差動キャリヤリレー

500 kV 送電線保護用として、自端電流波形を周波数変調し、マイクロ回線を利用して相手端へ伝送する電流差動リレーを完成した。現在、フィールドテスト中であるが、前記各相位相比較より保護性能が高いので注目されている。この方式を当社では FM 電流差動方式と称している。

(1) 動作原理

図 3.8 に本方式のブロック図を示す。CT 電流を、電流電圧変換器 I-V で適当な大きさの電圧に変換し、リミッタ LIM と基本波フィルタ BPF によって大きな入力電圧に対しては圧縮をして、基本波の状態で信号伝送装置へ渡す。信号伝送装置内の電圧周波数変換器 VF で、瞬時値に対応した周波数に FM 変調する。これを、LOW-PASS フィルタ LPF を介してマイクロ端局へ送る。VF の出力は、伝送遅延補償回路 DELAY で遅延させ、周波数電圧変換器 FV とフィルタ LPF を介して、電圧 V_A に復調させる。この V_A と、相手端から伝送され、FV・LPF によって復調された V_B とを加算器と減算器によって、 $V_A + V_B$ と $V_A - V_B$ を導出して、電流差動リレーへ渡す。これを比較器 DF とレベル検出器 DET によって、

$$|V_A + V_B| - k|V_A - V_B| > k \dots \dots (3.6)$$

のとき、トリップ信号を発生する。

図 3.8 のブロック図を対向で設置したときの、系統故障に対する動作波形を図 3.9 に示す。原理の説明上、伝送遅延は省略して示してあるが、 $V_A + V_B$ はいわゆる動作力に、 $V_A - V_B$ は抑制率 k ($k < 1$) 倍した抑制力に使用されている。図 3.9 (a) は両端流入の内部事故で、動作力大きく抑制力はゼロであるため TRIP 信号が得られる。(b) は貫通外部事故時のもので、動作力ゼロ、抑制力大で確実に不動作となる。(c) は 1 端流入の内部事故で、動作力・抑制力とも同じ大きさで発生しているが、抑制力は k によって縮小されるため、TRIP 信号が得られる。(c) の場合、 $I_A = 0$ で B 端から電流が流入しても、動作力・抑制力は同じであるから TRIP 信号が得られる。

(2) 方式の特長

電流差動方式であるため、位相

比較方式と違い非電源端の有無、内部事故時の流出電流の有無に関係なく、両端からの合成流入電流がタップ値以上あれば、確実に動作できる。したがって、位相比較キャリヤリレーで保護できない系統への適用が考えられる。本方式について、特に考慮した点は下記のとおりである。

(a) 飽和比率特性

VF 変換器のダイナミックレンジにはいるようにリミッタ LIM を使用し、さらに、貫通外部事故時の両端 CT とリレーの誤差によって生じる動作力を確実にロックできるように、抑制力として $k|V_A - V_B|$ を使用した。このため、パイロットワイヤリレーと同様な飽和比率特性が得られた。

(b) 伝送遅延方式

VF の出力を音声周波数の状態で、図 3.5 (b) のデジタル式遅延回路と同一原理の DELAY で遅延の後、FV、LPF を通して復調し、相手端からの信号も同一特性の FV、LPF を通して復調したため、自端の復調波 V_A と相手端復調波 V_B が同一過渡特性を持たせることができ、過渡的入力に対して誤動作しないようにした。

(c) 過渡 DC 分

BPF に直列共振回路を用いたため、故障電流中に含まれる DC 分は、ほとんど除去され、保護動作に支障のないようにした。

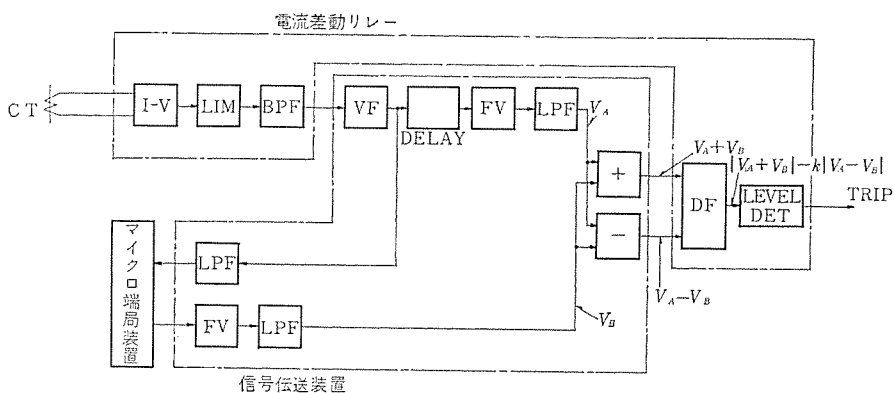


図 3.8 電流差動キャリヤリレーブロック図
Block diagram of current differential relaying system.

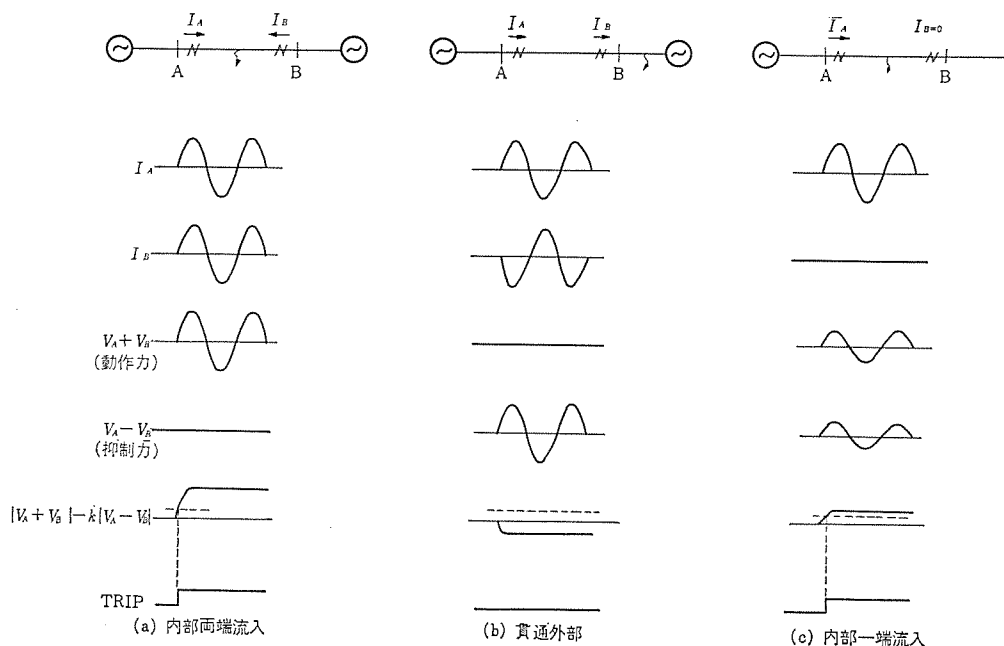


図 3.9 電流差動キャリヤリレーの動作 Operation of current differential relay.

(3) 特性

(a) 動作スピード

信号伝送装置込みで、タップ値の200%以上の流入に対して、2ms以下となった。

図3.10に動作オシロを示す。

(b) 比率特性

図3.11のような飽和比率特性になる。だいたい、タップ値の2.5～3倍程度の流出電流が内部事故時にあっても動作できることを示

(T) FM 試番28 OSC No.8 系統A-1 故障点 F80 故障相1φ Ga

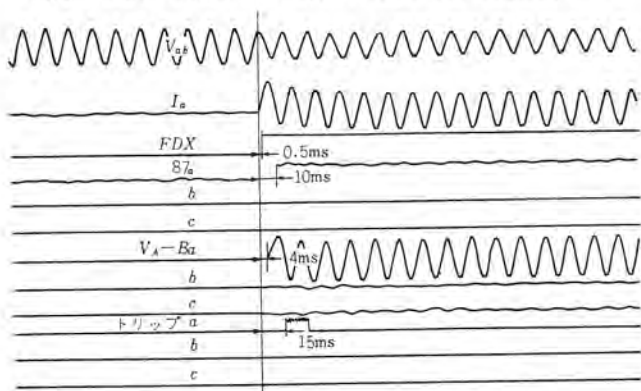


図3.10 電流差動キャリアリレーの動作オシロ
Oscillogram of phase comparison carrier relay.

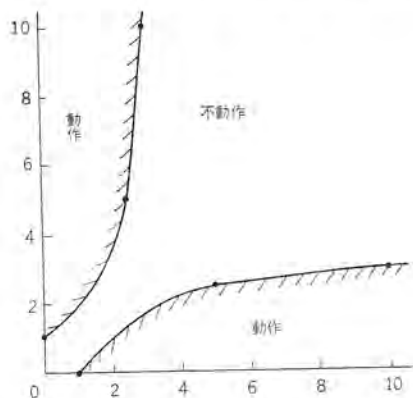


図3.11 電流差動リレーの比率差動特性
Ratio differential characteristics of current differential relay.

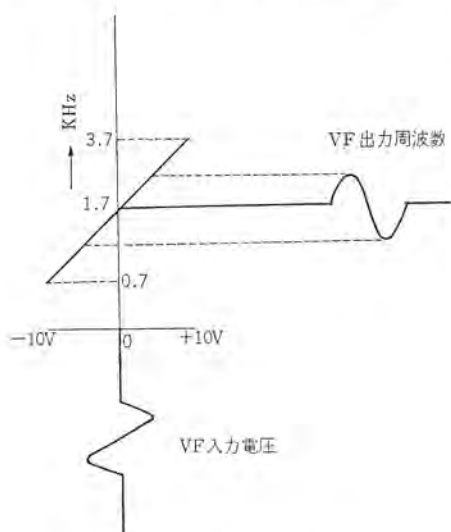


図3.12 VF変換器の特性
Characteristics of V-F converter.

しているので、位相比較方式にくらべて、差動効果が大きい。

(4) 信号伝送方式

音声周波数1チャンネルで、1相分の伝送波形を送信するようにし、周波数は、図3.12のように 1.7 ± 1 kHzにFM変調した。信号伝送時間はマイクロ端局を除いて、VF入力から相手端の復調用LPFの出力までで、3.5ms程度であった。

以上、両方式の盤面図を図3.13に示す。写真は1対向分を示し、おのおの、左からCPC方式・FM方式の盤面を示している。なお、これらにはおのおの自動的に対向テストを行なう自動点検機構がビルトインされている。

3.4 高速度・高感度距離継電器

500 kV送電線保護用として、高速度で電流感度の良い静止形距離継電器を完成した。高速度化・高感度化のために特に考慮した点を紹介する。

(1) 高速度化

静止形距離継電器は位相比較回路によって構成しているが、従来、正波の判定と負波の判定を図3.14(a)のようにANDで構成して、系統故障電流の過渡DC分による誤動作を防止していた。この継電器では、高速度化のために正波判定と負波判定をORで構成し、位相比較キャリアリレーと同様にギャップ付きトランスを通して電流入力を導入することによって、故障電流中の過渡DC分を除去した。また、位相比較回路も、位相比較キャリアリレーで使用したものと同一のトリップフロロウ式パルスコネクト回路を使用した。これによって、短絡・地



図3.13 超高压用キャリアリレー盤外観
Exterior of 500 kV carrier relaying system including one set of CPC and FM system.



(a) AND方式



(b) OR方式

図3.14 距離継電器の出力
Output of distance relay.

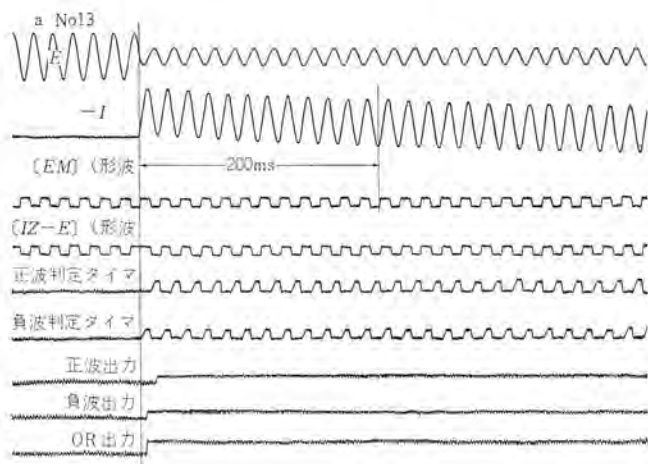


図 3.15 高速度距離継電器の動作 オシロ
Oscillogram of high speed distance relay.

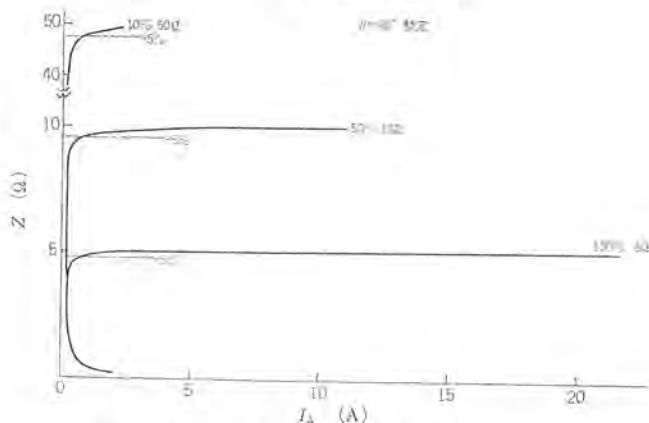


図 3.16 高速度距離継電器の E-I 特性
E-I characteristic of high speed distance relay.

絡それぞれについて、 E ・リアクタンス・プランダーの各種特性を高速度化できた。

動作スピードは、

整定角上 $1/4 \sim 1/2$ サイクル

動作限界付近 $1/4 \sim 3/4$ サイクル

となる。図 3.15 に動作オシロを示す。

(2) 電流感度の向上

高感度リレー 0.1 Ω リレーはすでに完成して実系統で使用されているが、この高感度回路を使用するとともに、電流入力トランスの電圧への変換係数を大きくすることによって、定格電流の 20% まで距離測定誤差を $\pm 5\%$ 以内にすることができた。図 3.16 に E-I 特性を示す。 V_A は、

CT 4 VA

PD 5 VA 程度である。

4. 500 kV 系統の母線構成と CT を含む諸問題

275 kV 以下の系統の変電所母線はおおむね 2 重化母線方式が採用されていたが、500 kV 系統構成の場合の母線方式については、4 分割 2 重母線方式・ $1\frac{1}{2}$ CB 母線方式・リング母線方式が新たに検討され、最終的に系統運用の自由度から、主として前 2 者にしぼられてきた。以下、それぞれの母線方式に対しての保護方式を検討する。

図 4.1 の 4 分割 2 重母線方式では、線路保護用としては線路リヤ断器母線側の CT 電流を、また、変圧器保護用としては、変圧器

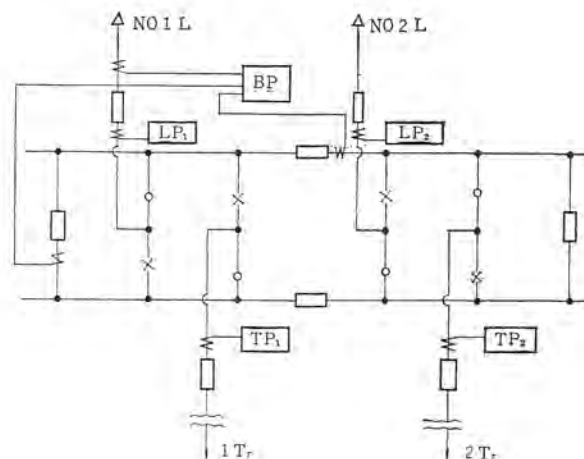


図 4.1 4 分割 2 重母線構成
Four divided double bus connection.

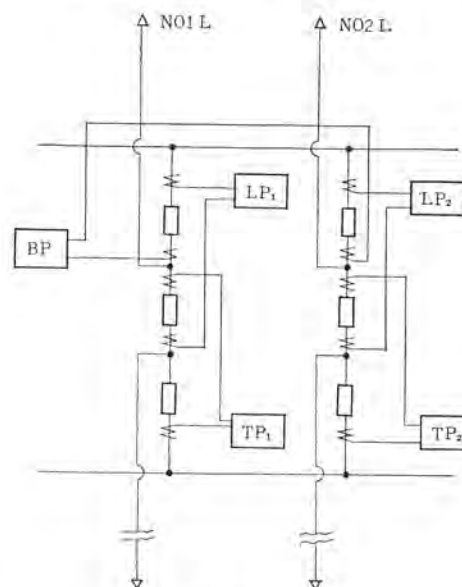


図 4.2 $1\frac{1}{2}$ 母線構成
One half bus connection.

連絡リヤ断器母線側の CT 電流のみを用いればよい。これに対して図 4.2 の $1\frac{1}{2}$ CB 母線では、線路保護用リレー・変圧器保護用リレーとも二つの CT の和電流を用いる必要があるため、これらの保護に対しては $1\frac{1}{2}$ CB 母線方式のほうが複雑になる。しかし母線保護に対しては、4 分割 2 重母線方式では線路および変圧器を甲母線および乙母線に切り換えるため、分割母線保護に対しては系統切り換えにより母線保護用 CT 二次回路の切り換えが必要であるが、 $1\frac{1}{2}$ CB 母線では切り換えができないために母線保護用 CT 二次回路の切り換えも必要でなくなる。

一方、500 kV 系統では短絡電流が大きく（将来 50 kA が予想されている）、また、機器も大容量になるので短絡電流の直流減衰時定数も相当長からうということで、「500 kV 系統用保護リレー用 CT として、従来の 275 kV 以下の系統で用いていた通常の CT でよいのか、特殊の CT が必要なのか」という問題を検討する必要がある。

すなわち、500 kV 系統では 50 kA の短絡電流に最悪の場合 100% の直流分が 100 ms 程度の時定数で重畳することが予想されている。

一方、リレーの判定時間は 1.5 サイクル～2 サイクルはかかると考えられるので、従来の CT では約 $1\frac{1}{2}$ サイクル程度で飽和することが予想

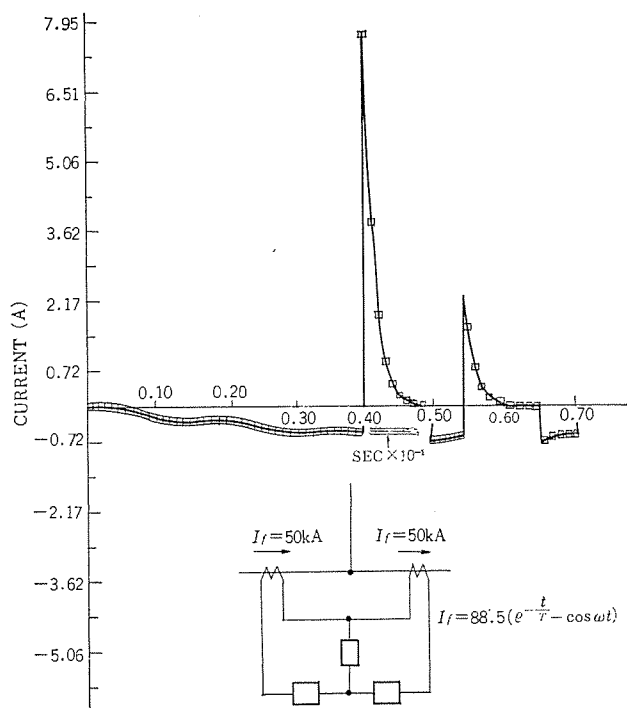


図 4.3 電算機による $1\frac{1}{2}$ CT 和電流 シミュレート の一例
Example of calculation wave for $1\frac{1}{2}$ CT's residual currents.

され、500 kV 系統保護用 CT として新しい仕様が必要となってきた。以下、その概略仕様の一例を示す。

コア数

- 送電線保護用 2 個
- 母線保護用 2 個
- (メータ用 1 個)

送電線保護用

- VA 100 VA (ケーブル抵抗が主体、リレーのみ 25 VA)
- 過電流域特性 残留磁束を考慮して 100 ms の DC 分に 2 サイクル間飽和しないこと。最大短絡故障電流 50 kA

比誤差、位相誤差 JEC どおり 1.0 級

母線保護用

- 電圧差動用 (a) 飽和電圧 600 V 以上
- (b) 励磁特性 300 V にて 0.2 A 以下
- (c) 巻線抵抗 1Ω 以下
- (d) 比誤差 1.0 級

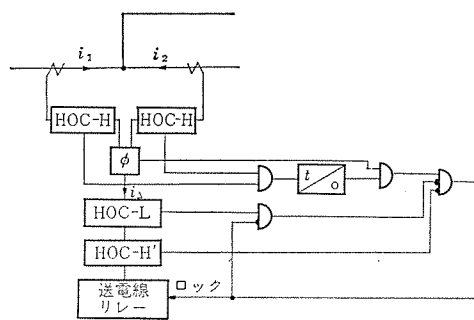
一般用

- (a) VA 100 VA
- (b) 過電流定数 $n > 20$
- (c) 比誤差 1.0 級

以上の仕様を満足させるため、CT の過電流定数としては、従来の表現で $n > 120$ 以上が必要であり、また故障しゃ断再投入後の CT 動作を考えると、第 1 回目のしゃ断時に残留磁束が残るので、これが残っていてもリレーが完全動作できるまでの 2 サイクル間は飽和しないようにする必要がある。このためにギャップ付きにする等の対策が必要となってきた。

上記の問題は母線方式に関係せず、短絡電流の増大と直流分時定数の増大のために生じた問題である。

この他に $1\frac{1}{2}$ CB 母線の場合は和 CT の過渡波形の不一致の問題が加わる。すなわち $1\frac{1}{2}$ 和 CT の外部故障時の過渡波形としては、計算機化によるシミュレーションを行なった結果、通常 CT であれば半



HOC-H : CT飽和限界電流に整定
 ϕ : 貫通時のみ動作
 HOC-L : 送電線リレー動作電流に整定
 (CT飽和前の貫通誤差電流に感応しないこと)
 HOC-H' : HOC-H と同一整定 (F2→F1移行時にロック解除するため)
 t : 0.5~1 サイクル

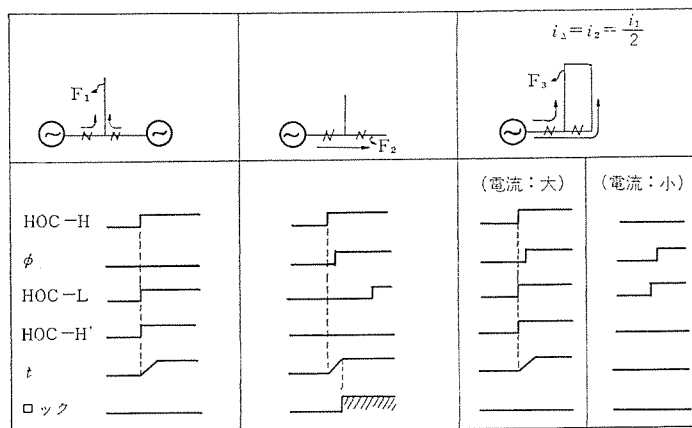


図 4.4 $1\frac{1}{2}$ CT 和電流 対策
Countermeasure of summarized error currents for $1\frac{1}{2}$ CT.

サイクル後に、ギャップ付き CT であれば 2 サイクル後に図 4.3 のような針状波性の誤差電流が発生することが明らかとなった。なお CT 飽和が生じない 2 サイクルまでは、その誤差は数 A の直流分で、交流分はほとんど表われていない。

このため、500 kV リレーに対する対策として、直流分についてはギャップトランスで行ない、CT 飽和後の針状波形の誤動作策は別途講ずる必要を生じた。

この対策として

(1) 2 個の和 CT のいずれにも大電流が発生した際、一定時間後主保護をロックし、基本波分発生でロックを解除する方法。

(2) 和電流と差電流の比率によりロックする方法が考えられるが、後者の方法は動作時間の遅い場合は問題ないが、高速ロックを行なおうとすると、内部故障でおのおのの CT に流れる電流の位相が違えば不必要ロックがかかるおそれがある。前者の方法を、具体的に示したものを図 4.4 に示す。

この方式は、(1)の方法に、両 CT の電流が貫通位相であることをロック条件に追加し、貫通時のみロックがかかるようにしたことと、ロック判定時間 t までに送電線リレーの電流感度以上の電流が和回路に流れているときは、不必要ロックさせないようにし、送電線リレーの動作を確実にした点に特長がある。

5. 500 kV 系統用母線保護

500 kV 系統用母線保護方式として、前章の $1\frac{1}{2}$ CB ブス、4 分割 2 重母線に適用する場合を考える。

図 5.1 (a) は、 $1\frac{1}{2}$ CB ブスの保護方式であり、CT の切り換えは

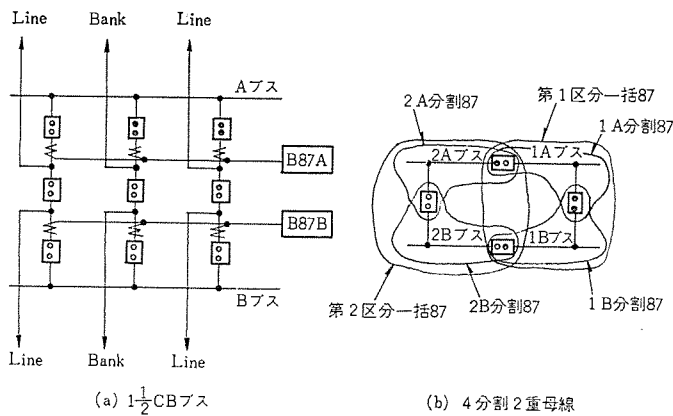


図 5.1 500 kV 母線保護方式の例
Examples of 500 kV bus protection.

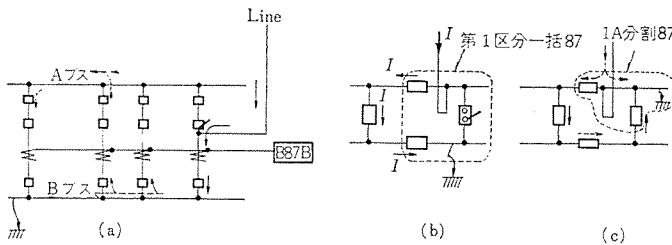


図 5.2 流出端のある内部事故の例
Examples of inner fault having out-flow fault current.

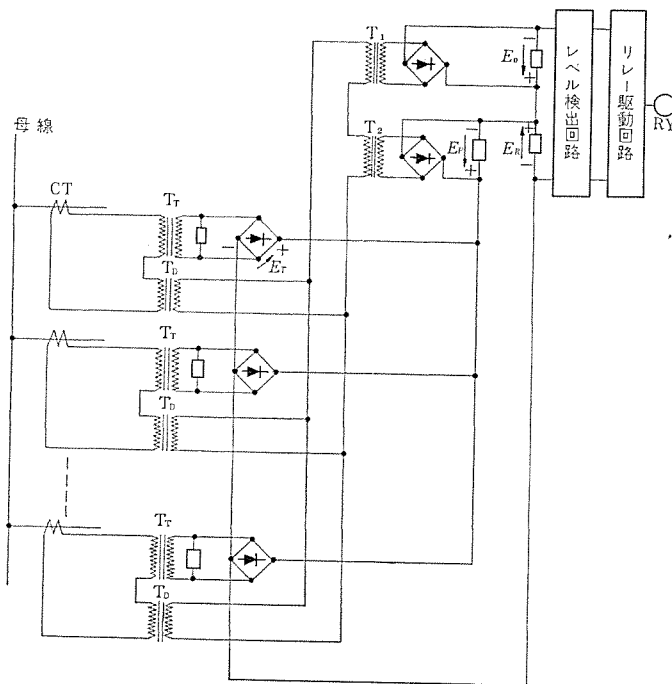
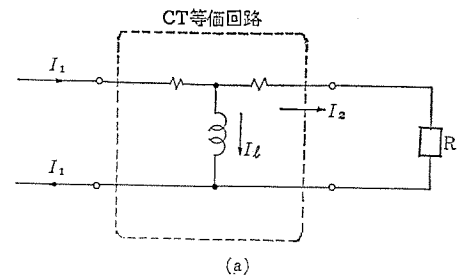


図 5.3 流出電流対策付き位相比較比率差動方式
Principal circuit of new phase comparison ratio differential bus protection relay.

不要となるので、電圧差動形リレー・電流差動形リレーいずれでも適用可能である。また、2重化装置として一方を前者、他方を後者として信頼性を向上させることもできる。

図 5.1 (b) は、4分割2重母線の保護方式であり、一括分割2重方式の母線保護装置2セットで保護するものである。

これら図 5.1 の母線保護を考えると、特に問題となるのは、流出端のある内部事故を確実に感度の低下なく検出する必要がある点である。図 5.2 は流出端のある内部事故例で、(a)に1 $\frac{1}{2}$ CBブ



斜線部分が誤差電流

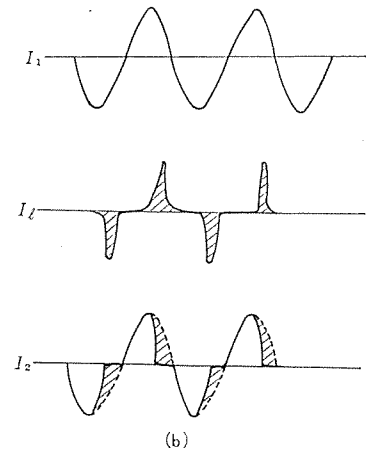


図 5.4 CT 飽和時の波形
Wave forms of secondary current of saturated current transformer.

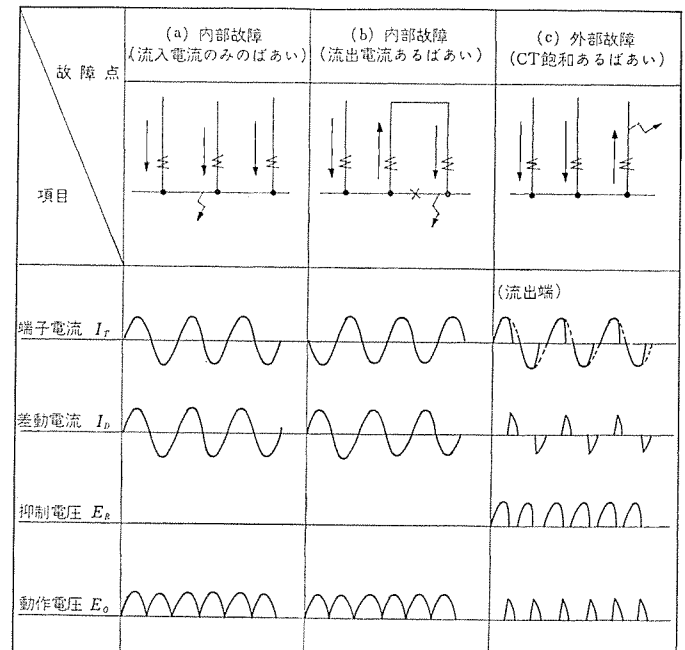


図 5.5 流出電流対策付き位相比較比率差動方式
電流、電圧波形図
Principal waves of new bus protective relay.

スの場合を、(b)に4分割2重母線の一括リレーに対する場合を、(c)は同じく分割リレーに対する場合を示しているが、最悪ケースとしては流入2、流出1を検出する必要がある。

このような流出電流のある内部事故を確実に検出する方法としては、電圧差動リレー（たとえば三菱LABS形リレー）が有効であるが、図 5.1 (b) の分割リレーとしては電圧差動リレーはCT二次の切り換えが不可能なことから適用できない。従来から最悪の流出電流あ

表 6.1 超々高圧用 単巻変圧器 保護継電方式の比較
Comparison table of EHV transformer protective scheme.

区 分		A	B	C	D	E
保護方式	図 1					
	使用継電器	第二高調波抑制付き比率差動継電器	比率差動継電器 (高調波抑制なし)	距離継電器	同 左	比率差動継電器 (高調波抑制なし)
動作時間		70ms	30ms	30ms	30ms	30ms
短絡検出	相間	可能	可能	可能	可能	可能
	層間	短絡層数による	不可	整定による	整定による	不可
	3次側	可能	不可	可能	可能	不可
地絡検出	端子付近	可能	可能	可能	可能	可能
	中性点付近	地絡点による	可能	整定による	整定による	可能
盲点		なし	ブッシング	なし	ブッシング	なし
瞬時突入電流対策		OK	不要	対策の要あり	対策の要あり	不要
CT		標準で可	①CT比を同一にする ②特性を均一にする	標準で可	標準で可	①CT比を同一にする ②特性を均一にする
PT (PD)		不要	不要	必要	必要	不要
タップチェンジャーの影響		比率感度に制限がある	なし	整定調整となる	整定調整となる	なし
総 合	問題点	①動作時間がおそい ②中性点付近の検出感度不足	①短絡故障検出不能	①内外部判定が あまい	同左	①断絡故障検出不能
	その対策	①距離継電器と組み合わせる ②OCGと組み合わせる	①A方式またはC/D方式と組み合わせる またはA方式と組み合わせる	①高圧、中圧の44のORとする またはA方式と組み合わせる	同左	①A方式またはC/D方式と組み合わせる
実用化にあたっての欠点		特に致命的なものなし	①盲点がある ②特別なCTが必要	①PT(PD)が必要	①盲点がある ②PT(PD)が必要	①特別なCTが必要

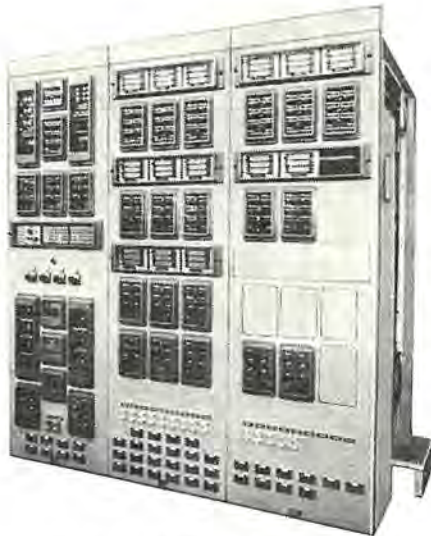


図 5.6 新母線保護継電器盤
New bus protective relaying panel.

る内部事故にも適用可能な母線保護リレーが望まれていたが、今般 500 kV 系クラスの保護用を主とした目的で、図 5.3 のような回路構成をもつ本格的な流出対策付き電流差動リレー（三菱 TABS 形リレー）を完成した。

通常 CT が飽和すれば、図 5.4 (a) のように抵抗負荷に流れる 2 次電流 I_2 は、励磁 (L 性) インピーダンスに流れる電流 I_L と 90° 差にあり、しかも励磁電流波は、二次電流 I_2 がピークとなるあたりで CT 飽和電圧に達して急激に流れはじめる特性をもつので、図 5.4 (b) のような波形となる。

図 5.3 の流出端対策付き電流差動リレーは、この点に着目したリレーであり、図 5.5 に示すような波形関係となる。すなわち、流出端があっても CT 飽和がなければ抑制電圧 E_R は差動電流 I_D の出力に打ち消されて 0 であり、CT が流出端で飽和すれば、図 5.5 (c) に示すように抑制電圧 E_R があらわれて強力にリレーの動作をロックする。

なお 500 kV CT の飽和特性が、図 5.4、5.5 (c) のようになることは、電子計算機のシミュレーションによって確認しており、また現在使用されている系統用 CT については大電流試験によって実証している。

500 kV 母線保護装置のもう一つの特長は、常時監視と自動点検により装置の不良を発見し、信頼度を高めることを考える点である。

この方面の研究も着々と進んでおり、図 5.6 に 4 分割 2 重バスの 1 分割分の保護装置例を示す。すなわち、図 5.6 は、図 5.1 (b) の 1A バス分の装置を示すもので、一括リレーとして三菱 LABS 形電圧差動リレー、分割リレーとして三菱 TABS 形流出電流端対策電流差動リレーを採用し、常時監視・自動点検（手動点検も可能）を組み込んだ母線保護装置の写真であり、14 端子分を収納している図である。

以上、500 kV 母線保護の概略と研究成果の要点を述べたが、CT の計算機解析結果、主リレーの詳細、常時監視と自動点検等については別途稿をあらためて詳しく発表する予定であるので、ここでは詳細を省略させていただくこととする。

6. 変圧器保護

500 kV 変圧器保護方式は 275 kV 系統以下の変圧器と比べて、

- (1) 単巻であり、かつ高インピーダンスのため、故障電流が小さい
- (2) 系統安定度維持上、高速シャ断が必要である

ということはあっても原理的には従来の方式となら変わらないと考える。ただし実際に適用するにあたっては米国における実施例でも、従来から製作されている第二高調波抑制付き比率差動継電器、(当社 HUB-2-D 形相当品) を二重化するとか、後備保護に距離継電器を用いて各種の方式を比較検討した結果を表 6.1 にまとめているが、さらに信頼度を向上させるため、常時監視および自動点検を付加させ、トランジスタ形にするなどが考慮されている。

わが国における実施例として、東京電力(株)と共同で検討し、同社房総変電所 500 kV 1,000 MVA 単巻変圧器保護用に製作中の装置について簡単に紹介する。この変圧器は図 6.1 に示すように調整変圧器を別置として、単巻変圧器本体には電圧調整タップを設けないもので、従来の考え方は若干変わった方式といえる。検討の結果のうちおもな事項を述べると、

- (1) 主変圧器と調整変圧器を一括にして比率差動保護として十分な感度をうることは困難である。したがって変圧器主保護を、

(a) 主変圧器差動保護

(b) 調整変圧器差動保護

の二つに分割し、それぞれ単独に保護することにした。なお 63 kV 側△接続母線の保護と二系列化を兼ねて、

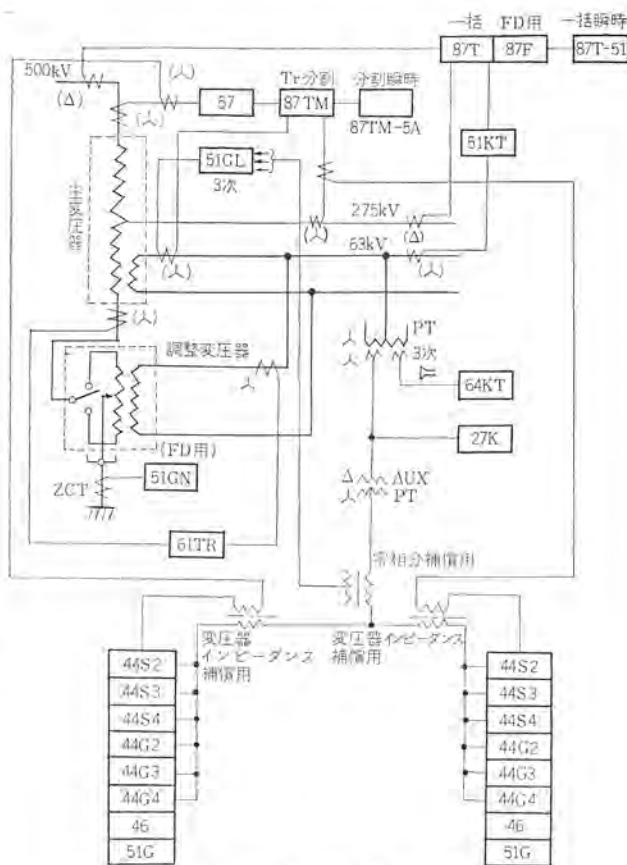


図 6.1 500 kV 単巻変圧器保護装置スケルトン
Skeleton of 500 kV autotransformer protective scheme.

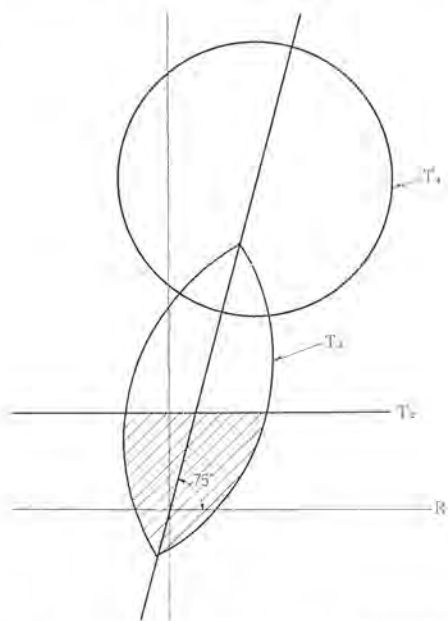


図 6.2 変圧器後備保護用距離継電器位相特性
Phase characteristic of transformer back up distance relaying scheme.

(c) 主変圧器・調整変圧器一括差動保護
を別途設けることにした。

(2) 500 kV 系統においては機器保護を系統保護の一部として考え、従来、誘導円板形過電流継電器で行っていた後備保護を距離継電器による高速度検出に代えた。その位相特性を図 6.2 に示す。

(3) 主変圧器と調整変圧器とを分離して保護するため、調整変

圧器保護としてはタップ幅±100%の変動を考慮しても保護可能な方式とする必要がある。調整変圧器の調整(共通)側、励磁側巻線各電流の分布をデジタル計算機により解析した結果、健全時には調整側巻線の電流は励磁側のそれに比べて大きく(3.62/1以上)、内部故障時にはこの値が一般に3.62/1以下となる傾向にある。またこれら二つの電流の位相差は健全時には同相または180°位相差付近にあり、内部故障時には90°または270°のほうへ移動することも明らかになった。これらのことより、調整変圧器保護には調整側電流と励磁側電流を比較して判断する電流平衡継電器を開発した。

以上いずれも全静止形とし、入力トランスを含めて、常時監視、自動点検を行ない、かつ自動点検については特性管理も行なっている。

7. 500 kV 系統保護上の特殊研究

500 kV 保護として送電線・母線・変圧器等の主保護技術について前述の諸成果をおさめたが、これらすべてに共通した特殊技術として再閉路方式、しゃ断器不動作方式、線路 PD 対策、および SC Rトリップ技術等を述べる。

7.1 再故障を考慮した再閉路方式

(1) 送電線の再閉路条件として現在用いられているものは、
1) 故障アークの消滅、2) 両端電源が同期を保たれている。の二つである。消アーク時間は線路電圧、再閉路区間の長さによって多少の差があるが、275 kV 系統では25~30サイクル程度である。一方電力系統の動揺周期は0.8~1.2秒程度であるので、この再投入時間は、送電電力動揺が最大値近くるとき、行なわれることになる。したがって再投入に成功すれば安定運転を継続できるが、再投入により再故障が発生した場合は不安定になる確率が多い。

ここで、再故障も考慮した再閉路方式として、

(a) 故障前の電力潮流が2回送電線の1回線故障、1回線しゃ断で再投入しない場合に安定である電力ならば、現在の再投入時間よりさらに遅らせて送電電力が最大値を越え、ふたたび初期送電電力までに減少したときに行なう方式。

(b) 上記の1回線故障、1回線しゃ断で不安定となる電力ならば、従来の消アーク時間最後に行なう方式という二つの方法が考えられる。

(2) 図 7.1 において2回線運転時の $P-\theta$ 曲線を(I)、1回線運転時の $P-\theta$ 曲線を(II)とする。 P_0, θ_0 で運転中故障が発生して送電電力がゼロとなると発電機は加速し、 θ_1 のとき1回線しゃ断され

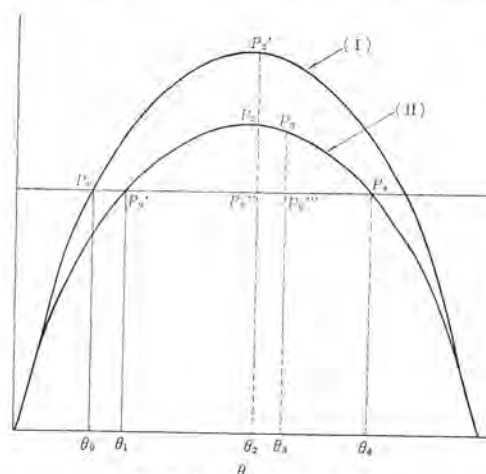


図 7.1 安定度曲線
Stability curves of new reclosing system.

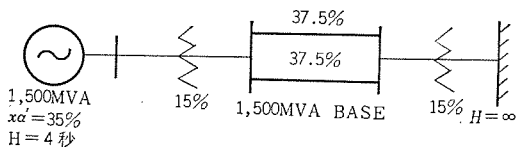


図 7.2 モデル系統 Model system.

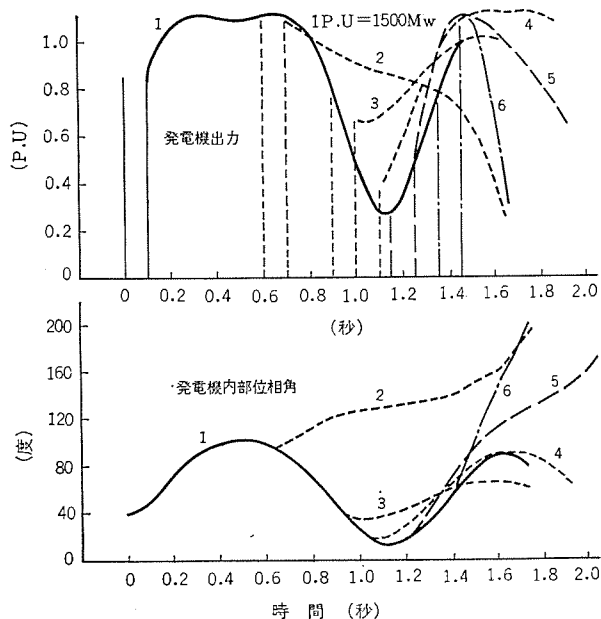


図 7.3 計算例
Calculation results of new reclosing system.

たとえ、そのときの電力は P_1 となり、 $P_0\theta_0P_1'$ の面積に相当する加速エネルギーのために発電機の増速は続くが、送電電力が P_0 以上の期間は減速エネルギーとして作用し、加速エネルギーに相当する面積と減速エネルギーに相当する面積が等しい点まで動揺する。 θ_2 で再投入し、成功すれば電力は P_2' となるので減速エネルギーが急増して安定となるが、再故障すれば θ_3 でしゃ断されても、さらに $P_0''\theta_2\theta_3P_0'''$ という加速エネルギーが加わり不安定となる。しかし再故障が、電力動揺がたとえば P_4 までいって、もどってきたとき θ_0 の点で、再投入、再故障してもなんら最初の振動条件とかわらないので安定ということである。

(3) 図 7.2 にモデル系統を示す。計算は交流計算盤による計算例を図 7.3 に示す。

(4) 以上、再故障も考慮した再閉路方式として、送電力 $P \leq P_0$ 初期送電電力、 $\Delta P/\Delta t < 0$ の条件で再投入する方式を述べたが、この方式は 500 kV 系統の再閉路方式として一つの有効な方法と考えられる。

7.2 シャ断器不動作対策と盲点事故対策

500 kV 系統では過渡安定度限界が 6～9 サイクル以内と予想されているため、シャ断器不動作や盲点事故による故障除去時間の遅れを極力なくす必要がある。さらに、シャ断器不動作や盲点事故による電気所の全停も防止する必要がある。すなわち、図 7.4 に示すような線路事故時の CB 不動作は、A 電気所の相手全端子が、DZ 2 段・3 段でしゃ断され A 電気所は全停となる。また、図 7.5 に示すような盲点事故時には母線事故として残るので、相手全端子が DZ 2 段でしゃ断され、やはり A 電気所は全停となる。これらはいずれも DZ 2 段・3 段によるため、故障除去時間も遅れる。

この対策として、シャ断器不動作にはトリップコイルの 2 重化、盲点

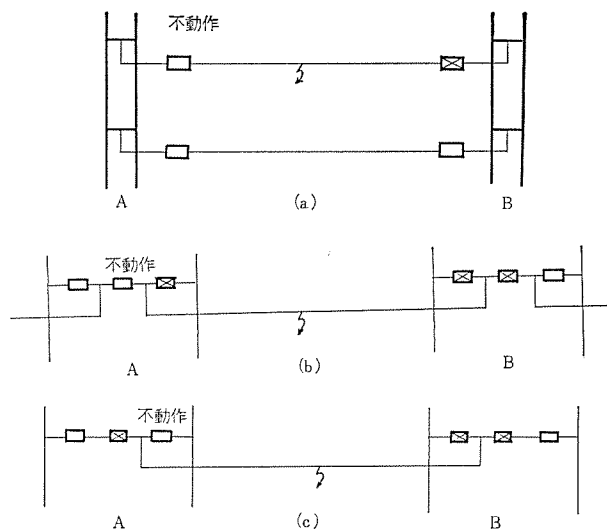


図 7.4 CB 不動作の例
Several cases of breaker-non-operating fault.

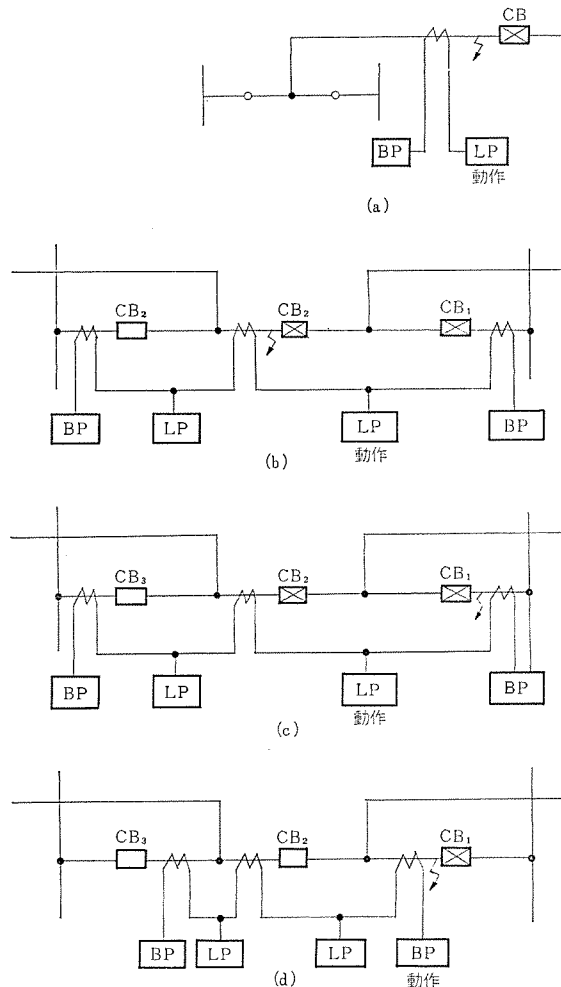


図 7.5 盲点事故の例
Several cases of blind fault.

事故には、CT をシャ断器の両側に設置することが最善策であるが、シャ断器不動作については、主コンタクトの線路事故を考えると、どうしてもローカルバックアップが必要となる。このローカルバックアップは、図 7.6 のように主保護リレー動作と電流検出リレー動作の継続によって、故障が除去されないものを検出して、自端の関係シャ断器と必要に応じて相手端のシャ断器も転送トリップさせようとするもので、転送トリップ方法としては、位相比較キャリアリレーを利用して、送信信

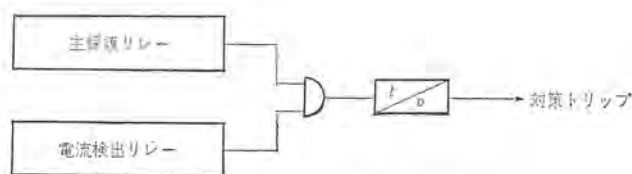


図 7.6 事故継続の確認寸法
How to check whether fault continues or not

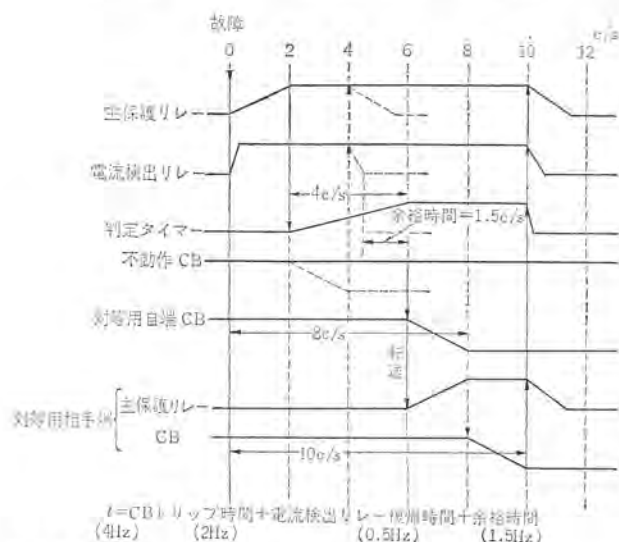


図 7.7 転送トリップを含む場合のCB不動作対策トリップ時間
Time charts of trip time at breaker-non-operation.

号を反転させたり、トリップ側信号を連続送出させる方法があるが、転送トリップ時間は位相比較キャリアリレーと同一の動作時間となる。故障継続確認時間 t は、

$t = \text{しゃ断器トリップ時間} + \text{電流検出リレー復帰時間} + \text{余裕時間}$ となるので、復帰時間を特に速くした電流検出リレーを使用すれば、 t を短くすることができる。現在、復帰時間 0.5 サイクル以下のリレーをつくることのできるの、しゃ断器トリップ時間を 2 サイクル、余裕時間を 1.5 サイクルとすると、 $t = 4$ サイクルとなり、図 7.7 のように自端しゃ断器 8 c/s、相手端しゃ断器 10 c/s 以内にトリップさせることが可能である。

7.3 1.5 CB 母線構成における線路 PD 対策

500 kV 系統の母線に 1.5 CB 母線構成を適用した場合、送電線保護リレーは、線路 PD から電圧入力を取り入れる必要がある。このため、3 相しゃ断時は完全に無電圧、再閉路無電圧中等に生じる 1 相欠相、2 相欠相時は図 7.8 のようになり、電圧を入力とした距離継電器・接地相検出継電器等が潮流で動作してしまう。

この対策として、線路 PD の電圧とその送電線に近いほうの母線電圧をダイオードを介して並列に使用し、両電圧の最大瞬時値を使用する方法や、トリップ条件等によって線路 PD と母線 PD を自動切り換えさせるようにする方法も考えられている。またリレー側だけで対策する方法としては、主保護に位相比較キャリアリレーを使用しているので、ストップとして接地相検出リレーを用いれば、電圧低下で動作できるので、特に問題はない。後備保護は方向性のある距離継電器を使用するので、無電圧時間中後備保護をロックするとともに、投入完了後一定時間だけオフセットして、無電圧時間中の誤動作防止や永久故障再閉路時の再しゃ断を可能にする必要がある。

7.4 トリップリレーの高速度化

動作スピードの高速度化、無接点化による高信頼度化をねらった S

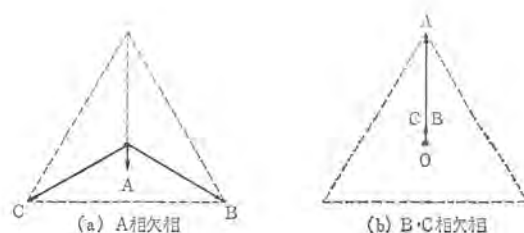


図 7.8 欠相時の電圧
Voltage vectors at one or two line open

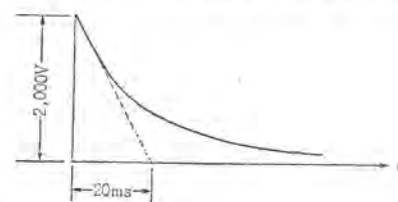


図 7.9 SCR トリップ回路サージ印加テスト波形
Test wave for SCR trip circuits

CR トリップリレーを完成し、フィールドテストを行なったところ、良好な結果を得た。特にサージに対しては、バリスタ、空心の L、CR アブソーバ、ダイオード等を有効に組み合わせ、図 7.9 のようなピーク 2,000 V、時定数 20 ms のサージ電圧を印加しても誤動作しないようにすることができた。おもな仕様は下記のとおりである。

定格 DC 110 V 5 A 連続 50 A 瞬時 (50 ms)
動作スピード 1 ms 以下

8. 500 kV 用模擬送電線設備

500 kV 系統保護装置は、前述のように信頼度・性能面で一段の向上が期待されている。製作された装置が、実系統で所定の動作を行なうか否か検証するため、当社は早くから模擬送電線設備（以下、Artificial Transmission Line ATL と称す）の整備に努めていたが、昭和 45 年に新たに 500 kV ATL を完成した。

以下、その概要を紹介する。

8.1 三菱模擬送電線の歴史

三菱電機では、昭和 35 年 (1960 年)、当時、国内最大を誇る 275 kV 架空送電線の ATL を完成し、神戸製作所に設置し、年間数 100 端子の試験を行なっていたが、来たるべき EHV 運転と都市域電力強化に対処するため、昭和 45 年 (1970 年) に 500 kV 架空送電線および 275 kV ケーブル送電線を新設した。この完成によって、最大容量 625 kVA、発電機ユニット 7 台、最大短絡容量 2.5 MVA すなわち、系統模擬等価容量 2,500 万 kVA (CT 比によっては 10,000 万 kVA \approx 1 億 kVA \approx 100 Million kVA) が得られ、将来を考えても、わが国で考えられている系統容量が完全に模擬できることとなった。

8.2 設備概要

8.2.1 発電機 (MG セット)

既設分 水力 50 kVA、火力 200 kVA
火力 50 kVA の 3 台
新設分 100 kVA 2 台
75 kVA、50 kVA 各 1 台

全発電機には、トランジスタ形 AVR を付けており、また既設分にはさらにガバナの模擬を付加している。

8.2.2 送電線

既設分 275 kV 架空並行 2 回線
240 km 10 km ユニット構成

表 8.1 ATL 送電線定数, 運転電圧一覧表
Comparison table of 500 kV, 275 kV model transmission lines.

比較項目	500 kV ATL	275 kV ATL
送電線インピーダンス	4 導体 41C [□] 0.43 Ω/km (60 Hz)	61C [□] ASCR 0.5 Ω/km (60 Hz)
A T L 電 圧	5,000 V~1,100 V (6 タップ)	3,800 V~660 V (8 タップ)
C T 比	5/5~20/5 8 tap	同 左
こ う 長	180 km 2 回線	240 km 2 回線

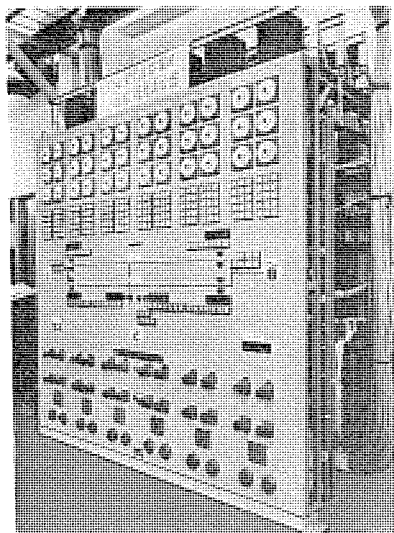


図 8.1 500 kV 模擬送電線系統操作盤
500 kV MELCO model transmission lines.

表 8.2 三菱模擬送電線で模擬可能な系統容量
Maximum system capacity simulated by MELCO model transmission lines.

項 目	電 圧		500 kV	275 kV	275 kV ケーブル系
回 線 数			2	2	1
端 子 数			3	3	3
Back Power 万 kVA			5,000 2,500	2,500	2,500
C T 比			8,000 A 4,000 A 2,000 A/5 A or 1 A	4,000 A 2,000 A/5 A or 1 A	2,000 A 800 A/5 A
P T 比			2 次 110 V	同 左	2 次 110 V
接 地 方 式			直 接 接 地	同 左	NR 0~1,000 A NL 0~2,500 A NC 0~2,500 A
送電線こう長			100 km 180 km	240 km	10 km max 26 km
区 分 単 位			10 km	同 左	2 km

新設分 500 kV 架空並行 2 回線 180 km
275 kV ケーブル 単回線 26 km
(275 kV ケーブル 200 km 相当のキャパシタ)

それぞれの送電線定数, 運転電圧を表 8.1 に示す。

8.2.3 系統操作および故障発生

各送電線ごとに系統操作盤を設け, PT, CT の電圧, 電流の監視, 模擬故障発生の遠隔操作を行なう。

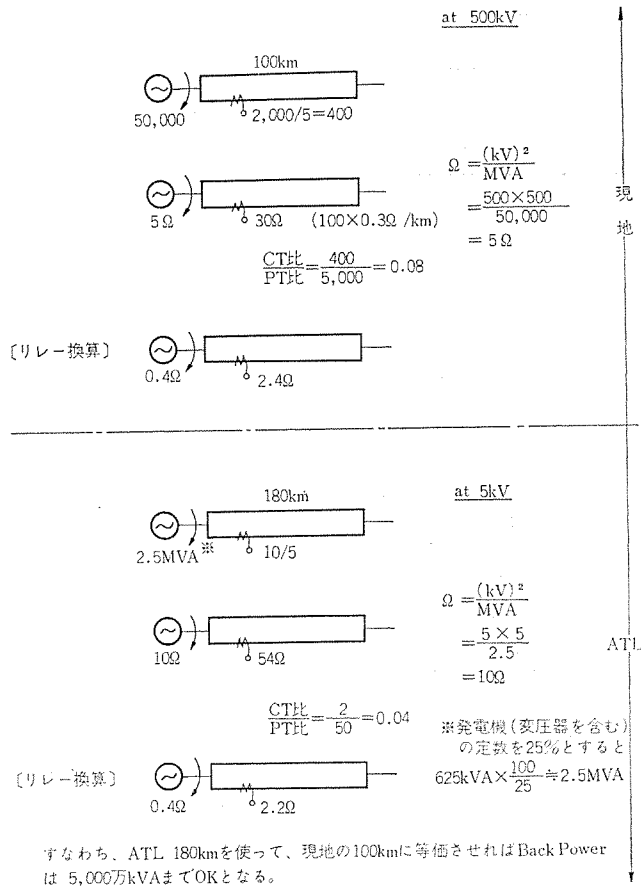


図 8.2 現地系統と三菱 ATL との比較試算例
Trial calculation of system simulation.

すなわち, 押し ボタン と タイマ の セット の み に よ っ て, 故 障 回 線, 故障発生地点 (10 km ステップ), 瞬時故障か, 永久故障かの指定を制御コンソールから行なうことができる。

もちろん, 累地点同時故障のテストも可能である。

なお故障時のアーク抵抗模擬は, 制御コンソールから押しボタンにより三相同時に 0~300 Ω の範囲で可変できる。500 kV 系統操作盤の外観を図 8.1 に示す。

8.3 500 kV 系統模擬

現在, わが国で考えられている超高圧・超々高圧は, 最大規模, こう(巨)長 200 km 背後電源 2,500~4,500 万 kVA といわれている。表 8.2 に三菱 ATL で模擬可能な系統容量を示す。

なお, 表 8.2 の裏付けとして, 図 8.2 に次の試算を行なってみる。すなわち, 500 kV 系統として背後電源 5,000 万 kVA, こう長 100 km, CT 比 2,000/5 が, 三菱 ATL では背後電源 2.5 MVA, こう長 180 km, CT 比 5/5 として模擬できることを証明する。

9. む す び

以上, 500 kV 系統保護技術の現在までの検討結果を各方面にわたって記述したが, その成果は, 各電力会社関係者の皆様の絶大なご支援, ご協力によるものであり, 誌上を借りて厚く謝意を述べる次第である。

500 kV 変電所用監視制御装置

寺田 真*・仁科 重雄*・矢野 恒雄*

Control and Supervisory Equipment for 500 kV Class Substations

Kobe Works Makoto TERADA・Shigeo NISHINA・Tsuneo YANO

In this article is described present state and outlook for future tendency of supervisory and control equipment applied to 500 kV class substation as a result of deliberation. In regard to the installations at the above voltage class, as the scale of the system enlarges, the contents become higher grade and the system becomes complicated, high reliability in operation and simplicity in handling become indispensable factors more and more. With these points taken into consideration, careful selection is made on the conditions to be imposed and reassured to surmise the aspect of their application.

In particular the control of substations by means of computers is briefly described herein.

1. ま え が き

ここでは 500 kV 級大容量変電所の監視制御に関して、自動監視記録および制御の 3 点を主体として検討するものである。

2. 運転制御方式の選択

運転制御方式の選択にさいしては、高信頼度・高能率であることが要求されることはもちろんであるが、考慮すべき具体的な条件はつぎのような事項であろう。

(1) 投資効率の高いこと。

変電所は一般に当初設備は簡単だが、順次増設に伴って複雑な運転形態となっていくので、いつ自動化装置の導入が好ましいかを検討する必要がある。

(2) 最終の運転形態に至っても、当初の設備がむだにならずに有効に利用できること。

すなわち、

(a) 当初の設備が最終の自動化設備に対して有効に接続されること。

(b) 将来の自動給電システムに対して比較的容易に対処できること。

(c) これらの目的のために、各設備は必要十分な冗長度を当初の設計時点からもたせておくこと。

(3) 必要最小限の Back up 装置をもっておくこと。また、特定の装置の故障により、ほかの装置が影響されないこと。

(4) 1 人制御が可能なら、縮小化と Man-machine communication を十分検討すること。

(5) 監視制御システムとして全体と調和のとれたものであること。

3. 自動監視装置

3.1 概要

変電所における監視項目としては、一般にしゃ断器・断路器の開閉状態、電圧・電流などの諸電気量および故障状態などがあるが、これらの監視に必要な条件はすべてを常時監視することではなく、少なくとも運転員にとっては、必要ときに必要な事項が容易に監視できれば十分である。すなわち、操作に際しては操作を行なう機

器を明確に認識でき、かつ、操作後の状態が一目りょう(瞭)然にわかること、あるいは事故が発生した場合迅速に場所と原因がわかることが必要である。通常形変電所の場合、これを容易にするために、グラフィック形式の配電盤と集合故障表示器によりこれに対処しているが、大規模変電所になると、このようなグラフィック形式ではぼう大なサイズとなり、一人監視が困難になってくる。これの対策として、一つはグラフィックパネルを思いきって縮小化すること、もう一つは常時監視方式をやめ、必要ときのみ必要部分を監視するという、選択監視方式を採用することである。以下においては、この目的のための方法の概要を説明する。なお、これらの諸案を比較して、一覧表にしたものを本文の終わりに添付する。

3.2 グラフィックパネルの縮小化

従来のタイプに代わって、いわゆる配電盤をモザイク式パネルとして大幅な縮小化をはからんとするもので、

(1) モザイクユニットとしては 25 mm~40 mm 角程度を使用する。

(2) モザイクユニットの中にランプを内蔵させ、従来のグラフィックパネルと同様、開閉機器および系統の充電状態に応じてランプを点滅させる。

これにより 500 kV 級変電所を対象とした場合、幅約 2,000 mm 以下となり、従来のグラフィックパネルの約 20 %になる。

ただし、

(a) 上述のような構成とした場合、調和という観点から指示計器類は各回路ごとに設置できないので選択計測方式とし、アナログまたはデジタルで必要に応じて適宜計測する。

(b) しながって、潮流監視という観点からみた場合にも、常時監視が不可能となるために、スキャナ技術を応用した監視装置または制御用計算機の一部としての監視機能が必要になってくる。

(c) これらの監視機能は潮流または電圧異常時そのむね警報表示するとともに、必要に応じて記録させる機能をもたせることも可能である。

3.3 ITV (工業用 TV) の利用

前述のように通常形グラフィックパネルでは一人監視が困難であるが、この案はグラフィックパネル自体は基本的に従来どおりのタイプを採用し、監視範囲の拡大を計るために数個のカメラと 1~2 台の ITV を用いて、必要ときにグラフィックパネルの必要な部分を自動または手動でクローズアップし、1 人監視を行なわんとする方法である。動作の一例

を説明すると、スイッチギヤ選択時、関連部分をクローズアップするとか、あるいはしゃ断器自動しゃ断時、同じく関連部分をクローズアップさせるというような制御方式である。この方法はきわめて手軽な監視方法であり、大きさは23インチまで製作可能であるが、一方、

(1) 標準のものではカメラアングル自動制御がややつかいとなる。

(2) 選択後いくぶん時間がかかる。

などの欠点も有している。なお、このような監視方式とした場合、通常形グラフィックパネルを用いるため、2.2節で述べたような選択計測装置は不要だが、自動監視のためのスキナは場合によっては必要となる。

3.4 チャートディスプレイ装置の利用

この装置の主旨とするところは前述のITVとほぼ同様であるが、系統状況を監視するために、あらかじめ定められたスライド(35mmのもの最大80枚)を用意しておき、必要に応じてこれを選択投影せんとするものである。このチャートディスプレイ装置には35点のレッドスポットを収納することができるから、前述のスライドとこのレッド

スポットをうまく位置的に組み合わせることにより、デジタル量のオンライン監視が可能になる。すなわち、レッドスポットの点滅でもってスイッチギヤの状態、潮流異常の有無、充電状況の判定等を表示すれば、スライドとスポットと同時に手動または自動で選択することにより、系統状況の監視が可能となる。また、自動操作装置などと組み合わせて予測表示、すなわち現系統状況と操作後の系統状況を1枚のスライドで同時に表示させることも可能であるから、必要に応じて操作後の状態を確認したうえで、実制御にうつることが可能となる。この装置は系統状況を任意の規模で拡大できる(すなわち、あらかじめ任意の系統規模のスライドを用意していれば)という長所をもっている一方、レッドスポットの組み合わせ選択制御回路がやや複雑なものとなると同時に、将来の系統変更などにより、この制御回路を部分的に改造しなければならぬという欠点ももっている。この制御回路は専用の制御回路または計算機の一部を利用することが考えられる。なお、前述したように、本装置はデジタル量のオンライン監視しかできないので、選択計測およびスキナ装置が必要なことは3.2節とまったく同一である。

3.5 カラーキャラクタディスプレイ装置の利用

この装置はいわゆるCRTディスプレイであり、制御用計算機と組み合わせて系統状態の監視を行なわんとするものである。すなわち、計算機のインプットがデジタルまたはアナログ系統状態であり、アウトプットがCRTディスプレイであり、あらかじめ計算機のプログラミングを行なっていることにより、種々のフォームでディスプレイができ、しかもカラー(7色)とすることができるからディスプレイ装置としては理想的なものといえる。

3.6 自動計測監視装置

前述のようになんらかの形で監視制御盤を縮小化した場合、潮流などの各種電気量を必要に応じて計測すること、異常時に警報表示することが必要になってくる。これらの目的を達成するためには制御用計算機の利用ももちろん考えられるが、後述のような単機能の装置を利用することも簡単な方法といえる。

以上の諸装置の比較一覧表を表3.1に示す。

4. 自動記録装置

4.1 概要

変電所に必要な自動記録項目は

- (1) 給電業務上必要なもの
- (2) 事故解析上必要なもの
- (3) 機器保守上必要なもの

の3種類が考えられる。またこれを時間的にみた記録形態は

- (a) 定時記録を行なうもの
- (b) 事故時自動記録を行なうもの

表4.1 自動記録の内容
List of automatic record.

項 目	定 時	随 時	事 故 時	操 作 時
バンク電力量 WH	○			
バンク無効電力量 VarH	○			
線路電力量 WH	○			
線路無効電力量 VarH	○			
母線電圧 V	○	○	○	
線路潮流 A	○	○	○	
機器の状態	○	○		
リレー動作			○	
機器操作				○

表3.1 UHV監視制御方式比較一覧表
Comparative table of supervision and control system at UHV substation.

項目	形式	普通形照光式 A	モザイク式 B	チャート式 C	CRT式 D
据付面積		大 規模に比例して大きくなる	中(Aの20%) 同 左	小 規模に比例しない	小 同 左
Flexibility		小さい 制御所となった場合不可	比較的大きい 制御所規模がきわめて大きくなる かぎり可	大きい 制御所規模によっては複数セット 設置必要	大きい 制御所規模により電算機容量 UP プログラム変更が必要
Man-Machine Communication		ややむずかしい これの補助手段として ITV を用いることは考えられる 一貫性には富む	容 易 計測は選択形式となる SV 関係は一貫性に富む 色別による効果が出しやすい	一貫性に難がある すなわち、同時に他の部分が見られない (多重事故に対する問題) 計測は選択形式となる	プログラムの組み方により容易となりうる
経 済 性		普 通 初期投資小	やや高い(選択計測など) 初期投資やや大	やや高い(選択計測チャートコントロールなど) 初期投資やや大	高 い (専用コンピュータなど) 初期投資大
信 頼 性		高 い Back up 不要	高 い Back up 不要	やや低い Back up 必要	やや低い Back up はあったほうがよい
バ ー ド ウ エ ア	計 測	各回常時計測(アナログ)	選択計測(アナログまたはデジタル) アナログの場合スケール変換が多分自動監視装置を設置したほうがよい	同 左	同左または CRT 計測(デジタル)
	スイッチギヤ制御	直接1段式または選択2段式	選択2段式または番号選択式	同 左	同左またはフイットペンを用いた選択式
	制御スイッチ制御	各個直接	選択制御式(キーP R ₁ 要) 状態表示灯要	同 左	同 左
	故障表示器	各個式または組合せ式	組合せ式 必要に応じて自動記録装置要	同 左	同 左
制 御 回 路		簡 単	やや複雑	複 雑	コンピュータプログラム

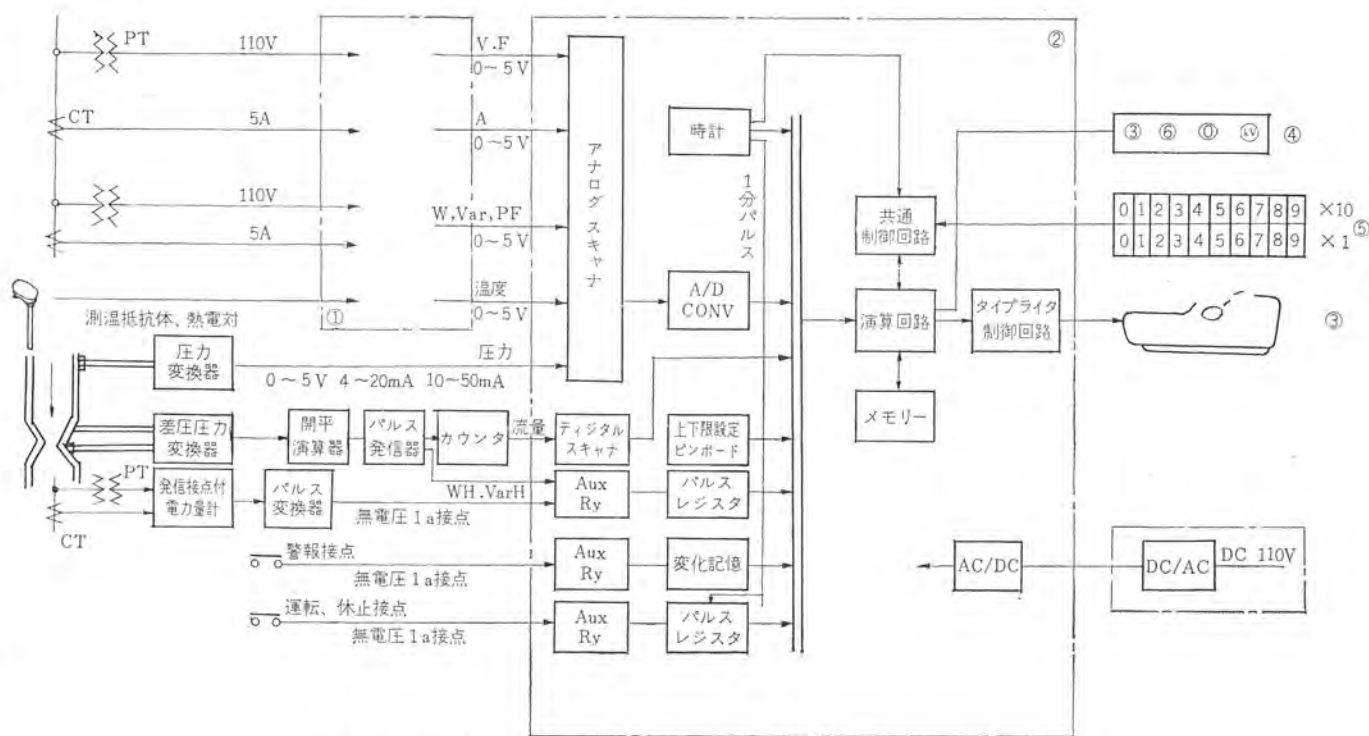


図 4.1 MELDAC-2000 ブロック図 Block diagram of MELDAC-2000.

受電日誌

項目		昭和 年 月 日 曜日 気候 気温																												
		受電 A			受電 B			受電 C			受電 D			500kV 母線電圧		主変圧器 1 号				主変圧器 2 号				送電線 A			送電線 B			
		電 流	電 力	無効電力	電 流	電 力	無効電力	電 流	電 力	無効電力	電 流	電 力	無効電力	甲	乙	電 流	電 力	無効電力	電力量 0.001× kWh	電 流	電 力	無効電力	電力量 0.001× kWh	電 流	電 力	無効電力	電 流	電 力	無効電力	
時刻	A	MW	MVar	A	MW	MVar	A	MW	MVar	A	MW	MVar			A	MW	MVar		A	MW	MVar		A	MW	MVar	A	MW	MVar		
01:00																														
02:00																														
03:00																														
⋮																														
⋮																														
⋮																														

図 4.2 定時記録フォーマット例 Recording format.

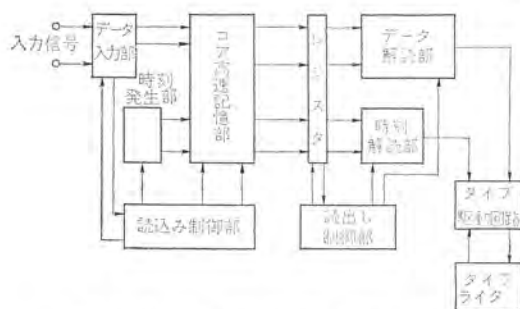


図 4.3 自動記録装置ブロック図 Block diagram of sequence automatic monitor.

(c) 必要に応じて随時記録を行なうものに分類することができる。

4.2 自動記録の内容と様式

4.2.1 自動記録の内容

自動記録すべき項目と、記録形態の一覧表を表 4.1 に示す。

4.2.2 自動記録の様式

(1) 定時記録の様式

(a) WH, VARH

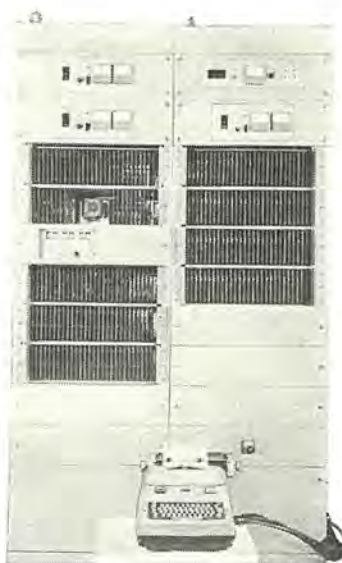


図 4.4 自動記録装置外観 Sequence automatic monitor.

1時間ごとの電力量, 24時間の電力量合計値
(b) A, V
瞬時値

	説 明
01H14M	1時14分
23S15 B2ZONE2	23秒15～ B回線 2号線後備保護第2段
23S15 B2 DZ-R	23秒15～ 同 上 R相方向距離リレー
01H15M	1時15分
23S07 SAROP13	23秒7～ 自動操作復旧装置 “再開路”
23S32 B2728	23秒32～ B回線 2号線#728 CB選択
23S32 C	23秒32～ 投 入
03H13M	3時13分
25S04 T2 CRG	25秒4～ T回線 2号線搬送地絡
25S04 T2NOREC	同 上 再開路不成立
25S11 SAROP9	25秒11～ 自動操作復旧装置 “正常電源線復旧”
30S36 T2544	30秒36～ T回線 2号線#544 CB選択
30S36 C	投 入

図 4.5 印字例とその説明
Typeout system and its calculation.

(2) 事故時 アナログ 量の記録様式

アナログ 量の事故時記録にとって必要なことは事故

(3) 事故時、操作時、デジタル 量の記録様式

事象の発生順に時刻、動作機器、原因、開閉を記録

4.3 単機能の自動記録装置

4.3.1 日報作成装置 (MELDAC-2000 形)

通常、変電所勤務員が作成している運転日誌を自動的に作成するもので、前述の電力量および瞬時値を、たとえば1時間ごとに定められた用紙に順次自動印字していくものである。この装置は基本的にはワイヤードロップ形式であるが、簡易な計算プログラムの変更は、ピンボードで可能となっている。

本装置のブロック図を図4.1に示す。印字フォーマット例を図4.2に示す。

4.3.2 自動記録装置 (SAM)

磁気コア記憶素子に用いた高速度の自動記録装置で、複数個の一連の人力が発生した場合、それを生起順にそれぞれの生起時刻とともに7文字のメッセージとして記録するものである。本装置のブロック図を図4.3に、装置を図4.4に印字例を図4.5に示す。

5. 自動操作装置

5.1 概 要

変電所においては、事故後の系統操作を手際よく行なうことが電力供給のサービス向上のため必要となり、一般化してきている。

特に、500kV 級変電所では系統規模が大きいので、事故復旧手順は複雑膨大となるので、これらの操作を総括し機械化することにより、次の2点がメリットとして期待できる。

- (1) 迅速性→停電時間の減少
- (2) 正確性→停電範囲の減少
- (画一性)

5.2 具備条件

500kV 級変電所に設置される本装置の条件としては、以下の3点を満足することがまず必要と考えられる。

- (1) 高信頼度であること。
- (2) 設定変更が容易であること。
- (3) 全自動給電システムと関連をもつこと。

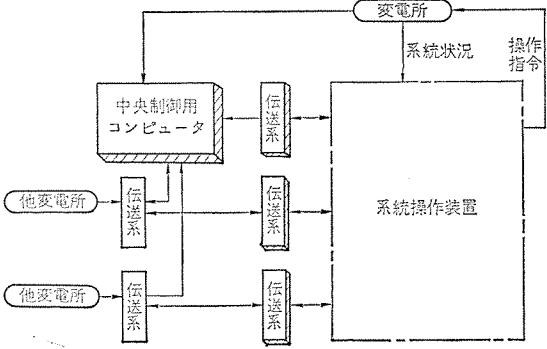


図 5.1 系統操作装置と自動給電システム
Automatic dispatching system.

表 5.1 自動操作の内容
List of automatic operation.

操 作 項 目	自 主 操 作	給 電 操 作 (承認および指令操作)
事 故 時		
全 停 直 後	○	—
正 常 復 旧	○	—
予 備 復 旧	○	定められたパターンを指令により行なう。また下位系統に復旧指令を出す
線 路 事 故	○	—
母 線 事 故 および 復 旧	パターンによる系統切換 (手動起動)	下位変電所への復旧指令 (手動起動)
異 系 統 同 期	○	—
平 常 時		
母線停止復旧	○	—
系 統 切 換	—	予定パターンによる系統切換
線路単位操作	○	—
機器の起動停止	—	予定パターンによる操作

等があげられる。

まず(1)について述べる。本装置が系統操作の基幹となる性格上、当然高信頼度であることが必要であり、特に、外來サージ性雑音に対する安定性を有すること、電力用配電盤としての規格を満足し、電子機器を保守するという負担を感じさせないことがのぞましい。次に(2)については操作の変更、系統運用の変更、系統構成の変更等に対して、容易に対処できるということであって、系統の中核をなす500kV 級の変電所としては当然このような機会が多いと想定される。最後に(3)については、本装置が将来図5.1のような位置を占めることが予想される。このような条件で本装置は、中央制御用コンピュータに対し自主操作・承認操作・指令操作の3種の操作を行なえるよう構成されているということである。ここにいう自主操作とは、変電所における各種条件から系統条件をつかみ論理判断して操作することであり、承認操作とは、中央制御用コンピュータから受けた指令による制限条件と自所系統条件との組み合わせから論理判断して操作することであり、指令操作とは、中央制御用コンピュータから受けた指令を翻訳して操作することである。特に後2者を合わせて給電操作ともいう。

5.3 自動操作の内容

変電所の自動操作内容を分類すれば事故時操作と平常時操作があり、また別の考え方によれば自主操作と給電操作がある。これを一覧表で示せば表5.1のようになる。

以上の自動操作のうち、平常時操作および給電操作は手動または自動による外部からの指示に基づくパターン操作となろう。なお、UHV 変電所の規模ともなれば、これらの自動操作を一つのセットで行なうことは保守・点検上の問題もあると思われるので、たとえば装置をブロックに分割し、これに共通ブロックを加えて保守・点検の

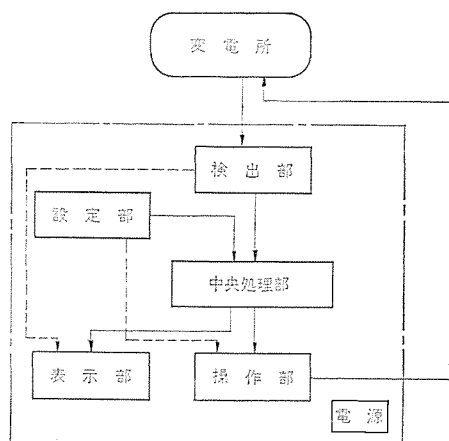


図 5.2 自動操作装置ブロック図
Block diagram of substation automatic recloser.

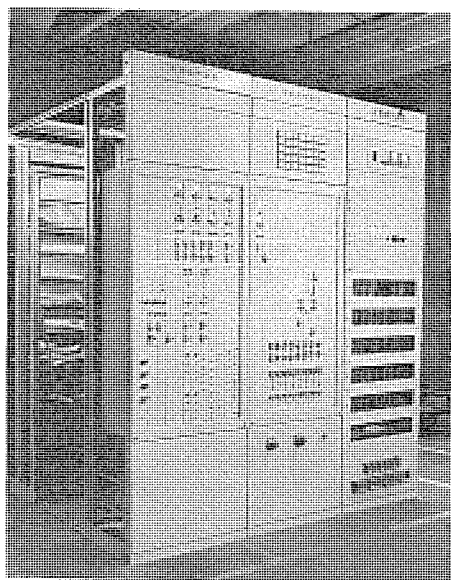


図 5.3 自動操作装置
Substation automatic recloser

便を計ることも一つの方法である。

5.4 単機能の自動操作装置

すでに周知のごとく

送電線低速度再閉路装置

母線全停処理装置

負荷制限装置

自動切換装置

など線路または母線単位の単位式自動操作装置は数多く実用化されている一方、これらの諸機能を総合的にもたせた集中式自動操作装置も漸次実用化される機運にある。この集中式のもの基本的にはやはりワイヤードロジック方式であるが、簡易な設定変更に対してはデューボードを用いて対処することができる。

本装置のブロック図を図 5.2 に、外観の一例を図 5.3 に示す。

6. 変電所計算機制御装置

6.1 概要

前項まで変電所における各種自動化機能およびそれらを行なうための単機能装置につき、概略を説明したが、これらの機能を複合して達成するため制御用計算機を利用することが当然考えられる。特に最近発達 of 著しいミニコンピュータを利用することにより、これら

の機能はほぼ満足させることができると考えられる。

制御用計算機を利用した場合の利点は一般的に

(1) ロジックをプログラミングすることができるからフレキシビリティに富む。したがってハードウェアを固定しうる。

(2) 機能的に単機能機ではできないものも可能になる。たとえば、事故前後のアナログ量の記録、CRTディスプレイのコントロールなど。

(3) いろいろな機能を複合的にもたせうるため複合機能が必要な場合、単機能のものをビルディングブロック的に集めたものよりも、入出力インターフェースが整理されるとともに経済的な場合も出てくる。

一方、計算機を用いた場合の欠点は

(1) メモリー容量を多く必要としない制御装置に使用するのでは経済的ではない。

(2) 計算機がダウンした場合、全手動となるため波及範囲が大きい。

(3) 保守・点検にある程度の専門家を必要とする。

などである。

6.2 基本条件

計算機を使用した変電所制御装置として要求される基本条件としては

- (1) 電力系統の特殊性に合ったもの
- (2) 拡張性・融通性に富むもの
- (3) 保守の容易性
- (4) 装置と運転員の情報交換を十分考慮したもの
- (5) 省力化を達成しうるもの

等であると考えられる。

(1) については、特に計算機システムが電力用として環境条件を十分考慮したものであることを意味している。

(2) については、前述の単機能装置と同様十分系統操作系統運用、系統規模の変更に対処しうるものであることをさす。

(3) も単機能装置と同様である。

(4) については、特に単機能装置と異なり、多情報処理装置であるため取扱いがはん雑となることなく、必要十分な情報交換が可能であることを要求する。

(5) についても単機能装置と同様である。

6.3 MELPAC-500 システム

上記基本条件を満足し、変電所制御として適当な規模と経済性をもつシステムとして、MELPAC-500 システムが開発された。

6.3.1 構成

本制御システムは、従来単機能により個々に行なわれていた変電所自動復旧操作機能 (SAR)、自動事故記録機能 (SAM)、データロギング機能、アナログ量監視機能 (MELDAC) 等を総合的に行なうものであり、超小形制御用計算機 (MELCOM 350-5 F) が中心となって構成されている。すなわち、計算機、周辺装置、インターフェースから成るハードウェア (MELPAC-500 形装置) と、これを統括制御するソフトウェア (SPAC シリーズ) とから成る。

(1) ハードウェアの構成

本制御システム (MELPAC-500) のハードウェアの構成を図 6.1 に示す。各ハードウェアは標準機器を中心とし、これにシステム規模に応じた標準単位を必要数追加して全体を構成する積重ね方式 (ビルディングブロック方式) をとっている。

(2) ソフトウェアの構成

MELPAC-500 システムは表 6.1 に表わすような機能を持っている

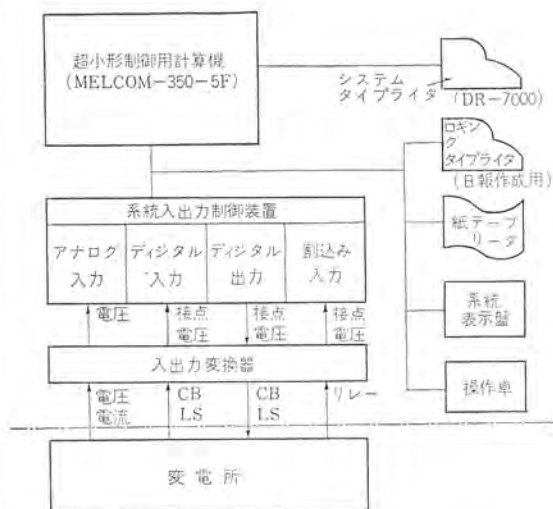


図 6.1 MELPAC-500 システム 構成図
System configuration of MELPAC-500 system.

表 6.1 MELPAC-500 システム の機能
Function of MELPAC-500 system.

	制 御 機 能	監 視 機 能	記 録 機 能
平 常 時	平常時機器操作 電圧・無効電力制御 系統分離点設定	系統状態量の上下限監視	系統状態量の記録
緊 急 時	電源制限, 負荷制限 系統分離	事故動作シーケンス解析	事故前後状態量記録
復 旧 時	事故時復旧操作		復旧シーケンスの記録

表 6.2 SPAC シリーズ一覧表
Table of SPAC series.

シ リーズ	機 能	内 容
SPAC-000	基 本 シ ス テ ム	<ul style="list-style-type: none"> オペレーティング システム プログラムの実行と制御 割込み受け 入出力機器の制御 各種エラー処理 系統情報の読込み 割込み処理 リレー動作 運転員からのリクエスト
SPAC-100	変 電 所 自 動 操 作	<ul style="list-style-type: none"> 平常時機器操作 事故時復旧操作
SPAC-200	系 統 安 定 化	<ul style="list-style-type: none"> 電源制限 負荷制限
SPAC-300	系 統 分 離	
SPAC-400	電 圧 ・ 無 効 電 力 制 御	
SPAC-800	自 動 事 故 記 録	<ul style="list-style-type: none"> リレー, CB, LS の動作 事故前後状態量記録
SPAC-900	系 統 状 態 監 視 記 録	<ul style="list-style-type: none"> 系統状態量の表示 系統状態量の上下限監視 日報作成

る。これらの機能は SPAC (Soft ware Package for Automatic Control) シリーズと呼ばれる一連の標準プログラムパッケージの組み合わせにより実行される。SPAC シリーズを表 6.2 に示し、そのうち変電所自動操作機能 (SPAC-100), 自動事故記録機能 (SPAC-800), 系統状態監視記録機能 (SPAC-900) を持ったソフトウェアシステムの構成例を図 6.2 に示す。その他の SPAC シリーズも同様にして、電力系統制御ソフトウェアシステムに組み込むことができる。

6.3.2 特 長

(1) 高信頼性

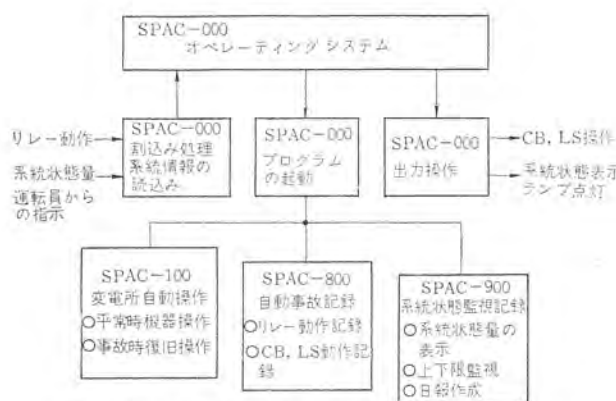


図 6.2 MELPAC-500 ソフトウェア システム の構成 (例)
Typical software system for MELPAC-500 system.



図 6.3 MELPAC-システム 外観
MELPAC-500 system.

信頼度向上のため、下記のように四つの面から検討し実施している。

- 制御用計算機 MELCOM-350-5F の信頼度向上
- 入出力装置周辺機器の信頼度向上
- 各機能プログラムの信頼度向上対策
- 総合制御システムとしての信頼度向上対策

(2) コンパクト化

従来個々の専用アナログ装置により行なわれている機能を一括して行なうため、装置のコンパクト化ができる。

(3) 拡張性・融通性

小規模の変更である場合には、ソフトウェアのみの追加変更で十分であり、大規模の変更であれば標準ハードウェアユニット標準ソフトウェアユニットのビルディングブロック式の増設で対処することができる。

(4) 電力用システム

標準ハードウェアユニット標準ソフトウェアユニットをシステムごとに編成し直し、各変電所に最もよくマッチした制御システムを構成できる。

(5) 自動給電システムとの関連

自動給電システムの端末装置として使用しうよう十分考慮してある。

6.3.3 装置外観

本装置の外観の一例を図 6.3 に示す。

7. 自動装置の後備装置

7.1 概要

以上説明した各種の自動化装置の保守点検時をカバーする目的で、手動制御装置が必要なことは明白であり、この手動制御装置として必要な条件は、前述の自動監視の方法にも関係するが、自動化装置とは無関係に

- (1) 各個のスイッチギヤを制御できること。
- (2) 潮流、電圧およびスイッチギヤの状態監視ができること。
- (3) 故障監視(表示警報)ができること。

であり、特に大容量変電所においてはこれが可能なかぎり一望の下に見えることが必要であり、縮小化のために極力単純化した装置とする必要がある。

7.2 縮小形配電盤

前述の目的を達成するものとして、基本的には通常形照光式配電盤の考え方とほぼ同一思想でよいと考えるが、大容量という観点から特につぎの点について留意すべきであろう。

- (1) 小形計器の使用(たとえば80mm角)と計器自体を最少限におさえる。
- (2) テストターミナルの省略
- (3) リレー等のロック操作の速制化、またはリレー盤とりつけを計る。
- (4) PD二次回路の自動切換の採用

7.3 制御用継電器

縮小形手動制御盤および各種自動化装置を採用する場合、間接制御的なものになるから、出入力制御継電器が必要になる。装置の保守点検という面から考えた場合、これらの出入力継電器は各装置ごとにもつことが望ましいことは当然であるが、継電器自体の数量、あるいは制御ケーブル(制御ケーブルも長大、多数となる)などの問題から屋外機器からの各種入力とはまとめて手動制御用継電器で受渡し、ここから各種自動化装置へ受渡しするという形式のほうが実際的なやり方といえる。この場合の欠点は、この制御継電器の保守点検時、各種自動化装置の関連部分の操作、制御が不能となることである。

8. 自動装置導入のための冗長度設計とインターフェース

前述した自動化装置を変電所に導入する場合、いわゆる従来の配電盤設備に以下に述べるような相当の冗長度とインターフェースをもたせる必要があり、これらの冗長度をいかにしてもたせるか、どのように配分するか実際面では非常に重要な問題である。これらの決定にさいしては、自動化装置の内容により具体的に検討していく必要があり、一般的な結論はむずかしいが、下記の点に注意を払う必要がある。

(1) CT, PD 回路

データ処理または計算機導入のために変換器が必要

(2) シェア断器等スイッチギヤ

各種の論理判断のために、これらの補助接点を多数必要とするが、これをどのようにして準備配分するか。

(3) 保護継電装置

リレー動作の自動記録、自動操作のための論理判断条件に保護リ

ー動作条件を必要とするが、これをどのように準備し、配分するか。

(4) ローカル自動化装置との結合

LR(VQC)自動制御、PD自動切換、照光盤等ローカル自動制御装置とのインターフェースをいかにするか。

(5) 出力継電器

どこでどのようにまとめたものとするか。

9 自動給電との関連

500kV級変電所監視制御方式の検討に当たっては、給電の自動化との協調について十分検討しておく必要がある。この関連において検討すべき事項は、おおよそつぎのとおりであろうと考える。

(1) 電圧無効電力の自動制御

中給よりの計算機指令に基づき、低圧側母線電圧および関連連系点無効電力を目標値に維持しつつ下位系統発変電所の電圧無効電力を調整する。

(2) 電力一周波数の自動制御(安定度制御)

中給ならびに他電気所よりの潮流信号伝送により系統周波数を一定に保ちつつ、幹線事故による脱落電源(負荷)に対応する。負荷(電源)を制御する。

(3) 系統監視の自動化

主として潮流監視が対象となるが、具体的にはバンク線路などの有効電力のテレメータ・しゃ断器・断路器のスーパービジョンを用い、潮流限界解消対策等の表示を行なうとともに、将来はしゃ断器操作にまで発展させる。

(4) 記録の自動化

テレメータ、スーパービジョンを用いた給電記録の自動作票。

10. その他

10.1 巡視用ITV

構内巡視用として全天候形カメラを適当なる個所に数台設置し、これを切換えてみることににより巡視の省力化が可能である。

10.2 制御電源設備

以上、説明した各種の自動化装置はいずれも半導体を以って構成されているものが多く、それらの制御電源電圧は各機器によりそれぞれ異なった電圧を必要とする。このような種々の電源電圧の要求に対して、従来のDC110VバッテリーからD-Dコンバータで所要の電圧をうる方法は電力損失・信頼度・経済性の諸点からみて好ましい方法とはいえない。これの対策としては全体に共通に1組の大容量D-Aインバータを設置し、各機器ごとにはA-Dコンバータを設置し、必要な電圧をうる方法が推奨される。また、共通のD-Aインバータの信頼度向上策としては2重化し、必要に応じて自動切換を実施することが好ましいと考える。

11. むすび

以上、500kV級大容量変電所の自動化という観点から、技術的に適用可能と判断される諸装置の概要を説明した。具体的な適用にさいしては、今後の検討にまつ部分もあり、電力会社各位の適切など指導により調和のとれたより高信頼度の自動化装置を検討してゆきたいと考える。

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
遠隔指示装置	45- 1-31	893455	林 正 之	福山製作所
可変速電動工具	45- 1-31	893457	小井川 茂	福岡製作所
記憶装置	45- 1-31	893458	高田 信治	神戸製作所
サイリスタ 記憶回路	45- 1-31	893459	山下隆三郎	長崎製作所
フレキシブルコンテナー	45- 1-31	893449	大久保貫一	相模製作所
自動 トースタ	45- 1-31	893450	{東 邦 弘・新井勝紀 {町原義太郎・長沢英治	群馬製作所
放電灯器具	45- 1-31	893451	佐々木武敏	本 社
膨張式救命いかだ	45- 1-31	893453	宇 川 彰	相模製作所
防湿形照明器具	45- 1-31	893454	佐々木武敏	大船製作所
直流-周波数変換回路	45- 1-31	893456	持田雅夫	鎌倉製作所
冷蔵庫の冷気吸込装置	45- 1-31	893464	田 中 毅・吉田匡一	静岡製作所
冷蔵庫の温度調節器	45- 1-31	893465	田 中 毅・吉田匡一	静岡製作所
サイリスタ 記憶回路	45- 1-31	893460	山下隆三郎	長崎製作所
系統模擬盤	45- 1-31	893461	古本洋司	神戸製作所
両開き可揺盤	45- 1-31	893462	秋山豊何	神戸製作所
周波数変換装置	45- 1-31	893463	山崎英藏	中央研究所
生ビールの瞬間冷却装置	45- 1-31	893466	三宅良明・河原隆夫	和歌山製作所
器具取付装置	45- 1-31	893467	田 中 守	神戸製作所
機関点火用配電器装置	45- 1-31	893471	柏木義民・荒川利弘	姫路製作所
電力回線自動切替回路	45- 1-31	893472	久松章三	神戸製作所
温水器	45- 1-31	893468	赤羽根正夫・根岸宣匡	群馬製作所
温水器	45- 1-31	893469	赤羽根正夫・根岸宣匡	群馬製作所
冷蔵庫	45- 1-31	893470	丸山哲朗	静岡製作所
磁気円板	45- 1-31	893473	池上麒一郎・岡村康弘	鎌倉製作所
取りはずし自在蝶番	45- 1-31	893474	小川 昇・川合輝一	群馬製作所
トランジスタ 増幅器	45- 1-31	893477	岡田康則	鎌倉製作所
直流直巻電動機の回生制動装置	45- 1-31	893475	赤松昌彦	神戸製作所
矩形波変換装置	45- 1-31	893476	鈴木健治	中央研究所
可溶装置	45- 1-31	893478	野田 肇	神戸製作所
電磁接触器	45- 1-31	893479	長尾良章	伊丹製作所
ラッチ式電磁接触器等の操作装置	45- 1-31	893480	西迫静隆	名古屋製作所
液面検出装置	45- 1-31	893481	{篠原宇一・宮崎 治 {三田村隆輝	名古屋製作所
電気接触器	45- 1-31	893482	中沢俊郎・西迫静隆	名古屋製作所
制動磁石	45- 3- 2	895185	山 県 稔	福山製作所
刷子保持装置	45- 3-16	896069	奥谷庄一	神戸製作所
パイプ材と平面材との結合装置	45- 3-16	896143	大林愛弘・塚田憲三	通信機製作所
電気掃除機	45- 3-16	896144	武井久夫・加藤 悟	群馬製作所
照明灯 グローブの取付装置	45- 3-28	897324	田中民雄	大船製作所
刷子収納筐における刷子出し入れ口の蓋体取付装置	45- 3-28	897325	{武井久夫・加藤 清 {長嶺 元・相河富雄	群馬製作所
刷子装置	45- 3-28	897326	{武井久夫・加藤 悟 {長嶺 元・相河富雄	群馬製作所
ランプカバー 取付装置	45- 3-28	897327	小笠原善丸・井上員成	大船製作所
膨張式救命いかだ	45- 3-28	897329	小山利夫	相模製作所
液体貯蔵容器の蛇口取付装置	45- 3-28	897330	山越明秀・水野久隆	本 社
螢光灯器具	45- 3-28	897332	岩 沢 清	大船製作所
ラジオ 受信機付 テレビジョン	45- 3-28	897328	岡村宗和	京都製作所
真空しゃ断器	45- 3-28	897331	大倉敏幹	中央研究所
開閉器の摺動接点	45- 3-28	897335	平岡浩司・杉浦 博	名古屋製作所
自動車の自動走行装置	45- 3-28	897337	中田浩一	姫路製作所
自動車の定速走行装置	45- 3-28	897338	中田浩一	姫路製作所
電動工具	45- 3-28	897340	入江 厚	福岡製作所
電力制御装置	45- 3-28	897341	赤松昌彦	中央研究所
接点の接触圧力測定装置	45- 3-28	897342	大西洋一郎	本社生技
放射線照射装置	45- 3-28	897343	戸田啓雄・入江浩一	中央研究所



特許と新案

バスダクト

考案者 堀田 滋 矩・可知 延 夫

この考案は、あらゆる方向の変位を許容できるようにした エキスパンションバスダクト に関するものである。

図示するように相対して隔置された1対のダクト(4)(4')内の複数対の導体(6)(6')を配置し、この導体(6)(6')の相対するものを可とう(撓)性導体(7)により接続し、この可とう性導体(7)を内部に収納するように可とう性絶縁収納体(9)を各ダクト(4)(4')の両端に結合し、さらに上記可とう性導体相互間を断面コ字形の隔壁により絶縁するように構成するとともに、上記可とう性絶縁収納体(9)は、心紙の両面に化学繊維を張った上に絶縁ゴム体を被覆して構成したものである。

このように構成することによりあらゆる方向に変位できるバスダクトが実現できるとともに、上部可とう性絶縁収納体(9)は心紙の両面にテロン、テフロン等の化学繊維を張った上にさらに絶縁ゴム体を被覆した三重構造で構成したので、電気的絶縁性、機械的強度を高め、従来のバスダクトに比較してきわめて安全な構造となるほか、耐水性も向上し、雨水等浸水のある場所でも十分使用しうる効果を有

する。(実用新案第903511号)(秋山記)

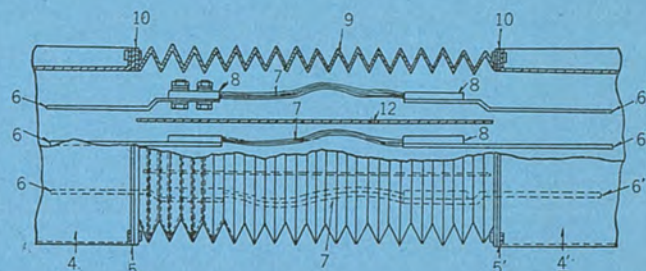


図 1

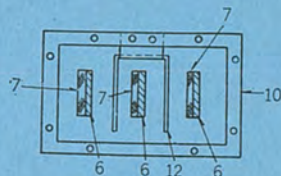


図 2

電解加工装置

発明者 久慈 陽 一・古池 一 成

この発明は、加工精度の向上に有効な電解加工装置を提案するものである。

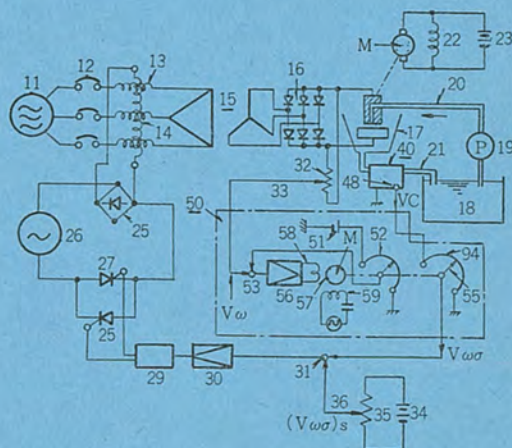
電解加工装置の加工精度を向上するには、加工中加工間げき(隙)の大きさを一定に保つことが必要である。加工間げきの大きさ g は、加工間げきに印加される電圧を V_w 、加工間げきに供給される電解液の比抵抗を ρ 、その電気伝導度を σ 、加工間げきにおける電流密度を J とすると、次式で与えられる。

$$g = \frac{V_w}{\rho J} = \frac{1}{J} \cdot V_w \cdot \sigma$$

この式において、電流密度 J は加工送り速度を加工中一定にすることにより、加工中一定値に保つことができるので、加工中加工間げきの大きさ g を一定に保つには、電圧 V_w と電解液の電気伝導度 σ との積を一定に保てばよい。

この発明は、この思想に基づいて加工精度の向上を計るものである。図はこの発明装置の一実施例を示す。図中、(32)は電圧 V_w を検出するポテンシオメータ、(40)は加工間げきへ供給される電解液の電気伝導度比例した電圧 V_c を発生する検出器、(50)は電圧 V_w 、 V_c の乗算を行なうサーボ乗算器で、信号 $(V_w \cdot \sigma)$ を発生する。

(35)はこの信号に対する基準信号 $(V_w \cdot \sigma)_s$ を発生するポテンシオメータ、(13)は加工間げきへの給電回路に設けられた可飽和リアクトルで、上記信号 $(V_w \cdot \sigma)$ がその基準信号に等しくなるように、電圧 V_w を制御する。この結果、信号 $(V_w \cdot \sigma)$ は加工中一定値に保持される。(特許第570064号)(中林記)



最近登録された当社の特許

名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 者	関 係 場 所
多端子系統再閉路装置	45- 1-20	563768	寺 田 真	神戸製作所
比例限時距離継電装置	45- 1-20	563769	藤井重夫・中島安広	神戸製作所
アンテナ 試験方法	45- 1-20	563770	渡 部 優・川口義弘	通信機製作所
多相故障検出継電装置	45- 1-20	563771	三上一郎	神戸製作所
誘導電動機の制御装置	45- 1-20	563773	赤松昌彦	中央研究所
電動機制御装置	45- 1-20	563774	小嶋 鈴夫・喜多興一	北伊丹製作所
同期信号回路	45- 1-20	563775	大久保永造	通信機製作所
機関点火時期調整装置	45- 1-20	563776	三木隆雄	姫路製作所
冷房調整装置	45- 1-20	563777	岡上公彦	神戸製作所
直流電動機の運転制御装置	45- 1-20	563778	赤松昌彦	中央研究所
内燃機関点火装置	45- 1-20	563779	三木隆雄	姫路製作所
直流電動機の回生制動装置	45- 1-20	563780	赤松昌彦	中央研究所
電気車制御装置	45- 1-20	563781	赤松昌彦	中央研究所
内燃機関点火装置	45- 1-20	563782	三木隆雄	姫路製作所
直流回転電機	45- 1-20	563783	林 昌宏	神戸製作所
石油燃焼機の燃焼制御装置	45- 1-20	563765	中村新一	商品研究所
電子計算機出力自動作図装置	45- 1-20	563767	吉山祐二・白石 亘	中央研究所
複合多相超電導体	45- 1-20	563772	{小俣虎之助・石原克巳 平田郁之	鎌倉製作所
積算電力計の電流線輪	45- 1-22	319968	山 県 稔	福山製作所
自動注水装置	45- 1-31	564530	{鈴木 弘・宮崎 治 三田村隆輝	名古屋製作所
自動水洗装置	45- 1-31	564531	{鈴木 弘・宮崎 治 三田村隆輝	名古屋製作所
機器状態変化検出回路	45- 1-31	564532	山中彪生	神戸製作所
交流間電力変換装置	45- 1-31	564533	赤松昌彦	中央研究所
コンパの駆動制御装置	45- 1-31	564534	浅野哲正	姫路製作所
電力系統の自動周波数制御装置	45- 1-31	564535	三上一郎	神戸製作所
電話交換機増設方式	45- 1-31	564536	前田良雄・石坂充弘	中央研究所
位相差方式方向探知機	45- 1-31	564537	渡 部 優	通信機製作所
静止形 タイマ	45- 1-31	564538	梶野幸雄・田原 武	名古屋製作所
電源並びに負荷制限方式	45- 1-31	564540	山田郁夫	神戸製作所
酸化物永久磁石の製造方法	45- 1-31	564539	網島芳和・石井 仁	大船製作所
電気式空気清浄装置	45- 3- 2	567356	荒木義起	和歌山製作所
電力制御装置	45- 3- 2	567358	小原太郎・赤松昌彦	伊丹製作所
負荷時 タップ 切換装置	45- 3- 2	567359	嶋 祐史	伊丹製作所
光導電装置	45- 3- 2	567360	大西 勝・伊吹順章	中央研究所
集中制御装置のテスト装置	45- 3- 2	567361	梶田保雄	名古屋製作所
電気量検出装置	45- 3- 2	567362	板本昌一	神戸製作所
母線保護方式	45- 3- 2	567364	寺 田 真・阪上正幸	神戸製作所
サイリスタによる整流子電動機速度制御装置	45- 3- 2	567366	遠藤吉隆	商品研究所
デジタル速度照査器	45- 3- 2	567357	石田哲爾	鎌倉製作所
金属発熱体組成物を使用した回路	45- 3- 2	567363	田島尚志	相模製作所
ホーンリフレクタアンテナ	45- 3- 2	567365	{武市吉博・水沢丕雄 片木孝至	鎌倉製作所
交流電動機速度制御装置	45- 3- 2	567367	小野健一・太田 誠	商品研究所
直流電動機の制御装置	45- 3- 2	567368	赤松昌彦	中央研究所
双偏波用 TEM 波 モードフィルタ	45- 3- 2	567369	春山鉄男・伊藤卓司	鎌倉製作所
熱硬化樹脂組成物	45- 3- 5	567620	西崎俊一郎・不可三晃	鎌倉製作所
真空 スイッチ 用接点合金	45- 3- 5	567621	中島陽三	鎌倉製作所
電子管用陰極の製法	45- 3- 5	567622	{秦 卓也・甲斐潤二郎 森 広喜之	鎌倉製作所
コンデンサ式X線装置の過負荷防止装置	45- 4- 4	569666	立川清一・中西 猛	伊丹製作所
パルス 受信方式	45- 4-11	570057	大西 熊一・中村信弘	通信機製作所
無効電力制御装置	45- 4-11	570058	{馬場準一・林 重雄 石田 芳	中央研究所
母線保護装置	45- 4-11	570060	寺 田 真	神戸製作所
真空しゃ断器用接点合金	45- 4-11	570061	中島陽三	相模製作所
電気接触子用合金	45- 4-11	570062	中島陽三	相模製作所

住宅と空調システム

小原 英一*・小林 恵治*・清水 誠*

Residential Air Conditioning System

Consumer Products Research Laboratory

Eiichi O'HARA・Keiji KOBAYASHI・Makoto SHIMIZU

With the latest marked rise in living standard, a trend and requirements for having sanitary and agreeable environment at home through air conditioning have come to receive high recognition of people.

However, public has only scanty knowledge of what to be taken into account of the domestic air conditioning actually. To enhance the recognition and knowledge on the matter, this paper gives information on the necessity of air conditioning in residents and on the performance of various systems available for the purpose. It is advocated that study of local climatic conditions and constructional mode of building have to be made in the selection of the equipment to suit best the house.

1. ま え が き

わが国の住宅投資は年々増加し続け、その建設戸数は年150万戸にも達している。このような情勢のなかで将来の住宅として、より高い居住水準を要求する傾向が最近とくに強まっている。その一つとして住宅設備の充実があげられる。

住宅設備の一部として空調設備を考えたとき、現在、開発されたり市販されたりしている各種の空調機器および空調システムが、完全に固まった姿であるかという点と疑問とせざるを得ない。

われわれは現在の空調機器をシステムとして住宅内へ取り入れたときに、各システムがどんな特色を出すのか、住宅とシステムの関連においてとらえてみた。

2. 住宅における空調

わが国では住宅を対象とした空調の歴史は欧米諸国に比べて浅く自然環境も諸外国のそれに比べて著しく異なる。そのため欧米で行なわれている方法を、そのまま日本の住宅へ導入することには問題がある。また、住宅の空調は事務所・病院・ホテルなどの場合と基本的に異なる。それは対象となる人間が乳幼児から老人までの広い範囲だからである。さらに人がその場所で長時間生活している。

それゆえ、住宅の空調システムについては、つぎの諸点について考えなければならない。

表 2.1 空気調和設計条件の推奨値
Recommended design conditions of air conditioning.

建 物	夏				冬			
	高 級		一 般		加湿付き		加湿なし	
	DB °C	RH %	DB °C	RH %	DB °C	RH %	DB °C	
(一般建物) アパート・住宅・ホテル・病院・学校など	23~25	50~45	25~27	50~45	23~25	35~30	24~25	
(営業用建物) 銀行	25~26	50~45	26~27	50~45	22~23	35~30	23~24	
(顕熱が少なく潜熱の多い建物) 食堂・調理場など	25~26	55~50	26~27	60~50	22~23	40~35	24~25	
(工業用建物) 組立工場・機械工場	25~27	55~45	27~29	60~50	20~22	35~30	21~24	

(1) 快適性

空調の目標は居住空間を快適にすることであり、その温湿度条件は一般に表 2.1 のようである。温度について注意しなければならないのは、室内の上下温度差で、暖房時には5°C以内に押えないと不快になる。湿度に関しては、夏の湿気、冬の乾燥しすぎが不快の原因になる。つぎに冷暖房時の室内気流速度は0.1~1.8 m/sがよい。とくに注意しなければならないのは、暖房時に温風が直接身体に当たることやコールドドラフトである。

住宅の空調システムでは、騒音を防止することが非常に重要である。夜間、空調機器を運転した場合、室内側としては40ホン以下を要求され、室外側もほぼこれと同レベルにしなければならない。

(2) 衛生

住宅を空調したことにより健康をそこなうようでは論外である。冷房したとき、室内の空気温度を十分に下げたとしても、足腰が冷えすぎたり、頭痛がするようでは困る。そのため快適性と同時に衛生にも注意しなければならない。

一般木造住宅では自然換気が1~2回/h行なわれているが、最近のラハブ住宅やコンクリート住宅では1回/h以下になってきている。換気量を少なくすることは換気負荷が減り経済上は好ましいことであるが、衛生上必要な換気量は確保しなければならない。新鮮空気を取り入れるにしても、最近の都市においては、大気汚染がひどいので空気浄化を考えるべきである。この場合、粉じんばかりでなく亜硫酸ガスや一酸化炭素などの有害ガスや臭気の除去も必要である。

従来、湿気は夏季のみの問題であったが、最近では真冬の暖房時にも、保温の悪いコンクリート住宅などでは問題となる。すなわち、外気温度の低下により壁面や窓ガラス、また暖かい空気の回らない押入れの中とか便所は結露しやすく、これがカビの発生原因となる。

(3) 安全性と取扱

どんな空調システムでもその安全性は要求されるが、住宅用ではとくに火災・地震についての安全性確保が必要である。その他やけど・爆発などに対する安全対策も必要である。また、住宅用空調機器は機械になじみのうすい主婦などが取扱うことが多いから、操作はごく簡単でなければならない。しかも万一操作を誤った場合でも、すべてがフェイルセーフになっていることが必要である。

住宅用の空調システムは、その操作に専任者を定めることなど考えられないから、有資格者でなければ取扱えないようなものは不適で

ある。そしてシステムは全自動が望ましい。

(4) 維持・管理

日常の維持・管理が繁雑であることは使用者にとってはまことに不快なことである。しかもこの維持・管理が十分適切に行なわれないために、故障が多発するようでは信頼性に乏しく、住宅用空調システムとしては不適である。また、今後の傾向として、サービスコストの上昇は明白であり、維持費の面からもメンテナンスフリーが要求される。

(5) 経済性

経済性は、消費者にとって非常に重要な問題である。経済性については、インシャルコストとランニングコストに分けて考えるとよい。インシャルコストの内容を検討してみると機器費と工事費に分けられ、工事費が全インシャルコストの30～50%を占めているのが普通である。

ランニングコストは、住宅の保温や空調システムの制御性と深い関係がある。住宅の保温の仕方は直接ランニングコストに影響するので、デグリーデーなどから最も経済的な保温を施す必要がある。

とくにエネルギーコストの安いエネルギーを採用すべきであるがそれも維持・管理の容易さ、日常の供給の問題および将来も安定して継続的に得られるものでなければならない。

空調システムの制御は経済性と深い関係があるばかりでなく、安全性・快適性・操作性なども広く関連している。しかしとくに熱負荷との関連で、その個別制御性や外気温度と室内温度の差によるシステムの制御などは、ランニングコストを低く維持するのに役立つ。

さらに換気における熱回収など、空調システムの総合効率を合わせて考える必要がある。また設備の耐用年数についても検討すべきである。とくに最近、水質が悪化し配管の寿命を著しく減じているので、水を利用するシステムでは配管材料の選定などに注意すべきである。

以上、住宅の空調システムに要求される主要な点について述べてきたが、このほかに他設備との併用なども重要な事柄である。

3. 住宅の冷暖房システム

住宅の冷暖房システムを分類すると、(1)冷温水方式、(2)冷温風方式にわけられる。前者は冷温水を作る熱源機器と放熱器の間を媒体となる水の通る管路をもって接続する方式であり、配管工事を伴う。後者は冷温風をダクトで室内に送る方式でダクト工事を伴う。以下、住宅（一戸建住宅および集合住宅）を冷暖房することに限定しておもなシステムを概略説明する。

3.1 冷温水方式

現在、セントラルヒーティングクーリングの主流となっているのがこの方式である。この方式が普及してきた大きな理由は冷暖房のほかに台所・洗面所・ふろなどに給湯できることである。

主要な機器は冷温水を作る機器と放熱器、および接続用配管、循環ポンプなどである。冷房時は5～9℃の冷水が、暖房時は80～85℃の温水が放熱器に入り、室内の空気を冷却または加熱して冷暖房する。

給湯には二、三の方法があり、給湯器を設置して行なう衛生的な方法もある。また簡便法として暖房回路に循環している温水をそのまま給湯に回す方法もあるが、管路の発せい(錆)による濁りなどのため好まれない。

温水方式による暖房システムは、温風炉の方式に比べると吹出し温風温度が低い室内の上下の温度差が少なく快適な暖房環境が得やすい。

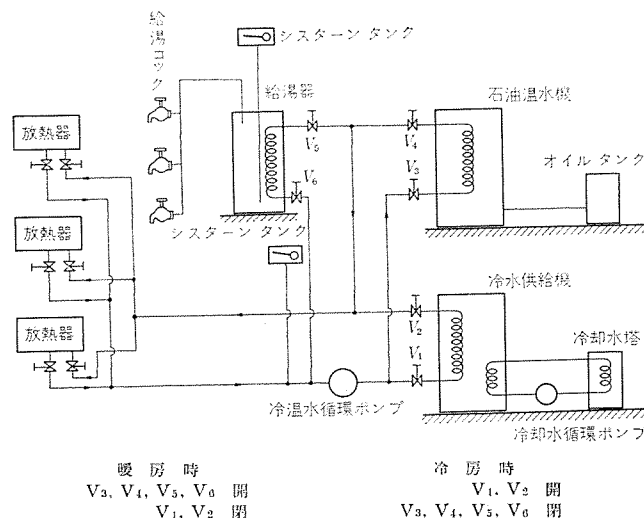


図 3.1 石油温水機とチラーによるシステム
Central heating and cooling system using oil-fired boiler and water chiller.

非常に寒い地方では、長時間運転を停止するときは配管内の水を抜かないと寒さで凍結することにより配管を損ずることもある。夜間、運転を停止するときも循環ポンプを運転したままにすれば、この危険は少なくなる。

(1) 石油温水機とチラーによるシステム

暖房および給湯には維持費の有利な石油温水機を採用し、冷水には空冷式チラーを組み合わせ、室内の放熱器にはリビングマスタを用いたものであり、図 3.1 に示す。

冷房運転の場合は、指定どおりにバルブを開閉しチラーの運転スイッチを入れると冷水を作りはじめ、循環ポンプで放熱器に循環し室内空気を冷やす。このとき給湯回路が独立してあれば、石油温水機から温水を取り出すことができる。

暖房運転の場合も、指定どおりにバルブを切換えて石油温水機を運転すればよい。給湯は可能である。

運転を安全に行なう保護装置としては、チラーには高圧圧力スイッチ、高低圧圧力スイッチや凍結防止用サーモスタットで凝縮器側、冷却器側の万一の故障に備えている。また、石油温水機にはハイリミットスイッチ、不着火検出器などが温水サーモスタットとともに沸騰防止・異常燃焼防止を行ない安全な自動運転を行なえるようになっている。

室内に室内温度調節器を置き放熱器の送風機と連動して on-off できるようにすれば、室内の空気を必要以上に暖めたり、冷したりしなくてすむので経済的な運転ができる。ことに、冷温水方式では放熱器をへやごとに設置するので必要に応じて冷暖房でき、しかも独立して室温を変えることもできるなど、きめ細かい制御ができ、しかもその方法が簡単であることに大きな特長があり、高く評価しうるものである。

(2) 冷温水ユニットによるシステム

図 3.2 は「シーズンパックマスタ」と呼ばれる冷温水ユニットであり、石油温水機とチラーを一つのパッケージに循環ポンプとともに組込んだ省力化機器である。冷水も温水も石油温水機の水その中に作られるので冷水による冷房中は温水給湯ができない欠点はあるが、省力化のほかに設置面積も少なく、製品価格も割安な利点がある。

配管などは前述の石油温水機とチラーを用いる方法となんら変わるところはない。

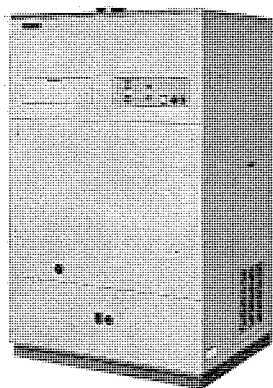


図 3.2 シーズンパック マスター
PR-4 形
Exterior view of type PR-4
Season Packed Master.

(3) GM 形冷房機と石油温水機による システム

GM 形冷房機は、温水 コイル が組込まれた
暖房兼用機である。すなわち、温水 コイル に
石油温水機からの温水を循環させることによ
り、冷房機は暖房用 ファンコイル に変身する。したがって、GM 形冷
房機をへやに配置し石油温水機と接続すれば冷暖房が可能である。
温水配管についてはつぎの点に注意する必要がある。GM 形冷房機
は水冷式であるので、冷房時は温水配管を切換えて凝縮器と冷却水
塔とを接続するようにする。切換えは本体内部と冷却水塔側の 2 か
所で指定どおりに行なうようにすることである。これにより、凝縮
器は冷却水塔に連なり ポンプ により冷却水が循環し、冷房運転が
できる。

この方式は前 2 例がチラー により冷水を作り、これを凝縮してい
たのに比べ、冷房機に主体を置き、暖房可能な冷房機である点が異
なっている。この方法では、石油温水機からの暖房用放熱器のほか
に冷房機を置く必要がないので設置面積の節約ができ、狭い住宅で
は有効である。また、水冷式のほかに空冷式 セパレート 形も準備され
ているので選択できるが、どちらも暖房配管は必要である。

制御については、GM 形冷房機は前述の放熱器と同様に扱えるの
で、各へやの温度制御はキメ細かくできるほか、冷房も選択的にで
きて経済性は高い。

(4) ヒートポンプ 式 冷温水機による システム

ヒートポンプ 式冷温水機は、熱源に石油や ガス の火を用いない安全で
衛生的なもので、暖房運転には空気熱源と水熱源式があるが、地下
水の豊富な地方以外は空気熱源式がよい。空気熱源式は夏の冷房時
は空冷式となるので、冷却水塔が不要であるなど住宅の設置面積節
約上も有利である。給湯はできないので深夜電力温水器などを設置
することを考えなければならない。

ヒートポンプ 式冷温水機で作られた冷水または温水は、循環 ポンプ によ
って室内の放熱器に送られ冷房または暖房することは上記と同様
である。したがって、各室個別の室温調節が可能なので便宜性が高
く経済性も保ちうる。ヒートポンプ 式冷暖房機は安全で衛生的ではあ
るが、暖房時、空気熱源式では外気温度の変化で影響を受け外気温
度が下ると暖房能力も低下する性質があるのでしょうずな使い方
が必要である。

3.2 冷温風方式

冷温風方式は従来は ビル・ホテル など にダクトで分配する 方法で 実
施され、住宅では比較的实施例が少なかった。この理由はダクト工

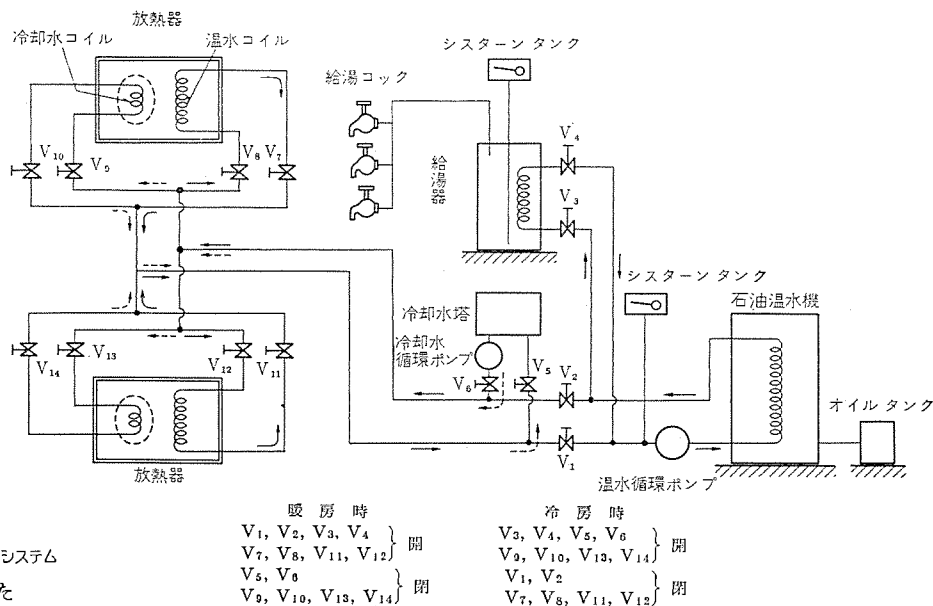


図 3.3 GM 形冷房機と石油温水機による システム
Heating and cooling system using oil-fired boiler and type GM cooler.

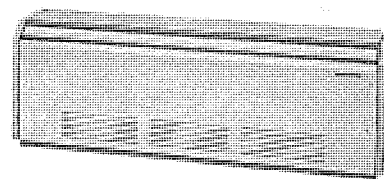


図 3.4 GM 形冷房機
Exterior view of model GM.

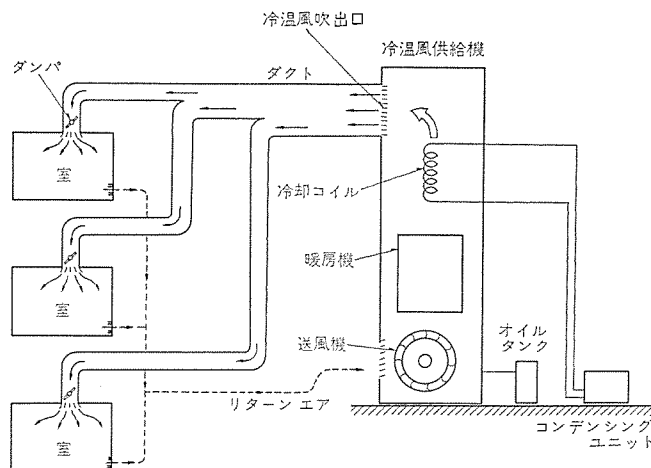


図 3.5 石油温風暖房機と冷房機による システム
Central heating and cooling using oil-fired furnace and cooler

事が複雑で工事費が高くなったこと、金属板でダクトを作ったため
に音の伝ばがあり騒音の問題があったこと、ダクト内の結露の処理
がめんどろであったことなどである。しかし最近では防音材で作っ
たダクト やはじめから断熱材を処理したダクトなどが現われ、また、
住宅内のダクトの単純化が検討され今後実用期に入ろうとしている。
したがって住宅の間取りの研究やダクトの標準化、吹出し口の改良
および統一などによって、さらに低価格なものができるようになる
と思われる。そしてこれらは設置費を低額にすることに役立ち、住
宅の冷暖房を普及させる気運を盛り上げるものと期待される。

(1) 石油温風暖房機と冷房機による システム

図 3.5 に、冷温風方式のうち最も歴史の長いこのシステムの概要
を示した。これは石油温風暖房機の プレナム 部分に冷却コイルを組込

むもので、送風機を冷房にも暖房にも共用するものである。室内に直接吹き出す場合はブラナム形とし、ダクト接続するときは機械室設置形とする。

暖房時は送風機の吸込んだ室内空気は炉壁で加熱されて室内に送り出される。したがって、暖房機に着火した直後の炉壁の暖まっていないうきに、冷たい風を室内へ送り出さないように、コンビネーションコントロールにより炉壁の温度を検出して送風機の運転を連けいさせる。また、この装置で暖房運転停止時にも、燃焼室の炉壁が過渡的な異常温度上昇をしないよう送風機を運転し続け、炉壁の温度で送風機を停止させる。さらに、制御器の故障、フィルタのつまり、送風機の故障などに備え、温度過昇防止器が取付けられるなど送風系と燃焼系で安全が保たれている。

(2) 温水温風暖房機と冷房機によるシステム

上記の石油温風暖房機の方式では給湯することができなかったのを、この方式ではまず温水を作ることによって可能としている。このシステムの概要は図 3.6 のようにガス給湯機と温水コイル、送風機、その上にのせた冷却コイルとセパレート形の圧縮機ユニットからなっている。冷房装置は後からでも追加できる形がとられている。この本体の上部を各へやに接続されたダクトにつなげば、冷温風の送風ができる。すなわち、暖房時はガスにより給湯器内の水を加熱し、給湯準備をできるようにすると同時に、温水はパイプで接続された温水コイルに循環し、送風機を運転すれば温風が各へやに供給される。冷房時は冷房機を運転し、送風機を同時に回転させることにより冷風が各へやに供給できる。このとき温水器は加熱されるが、

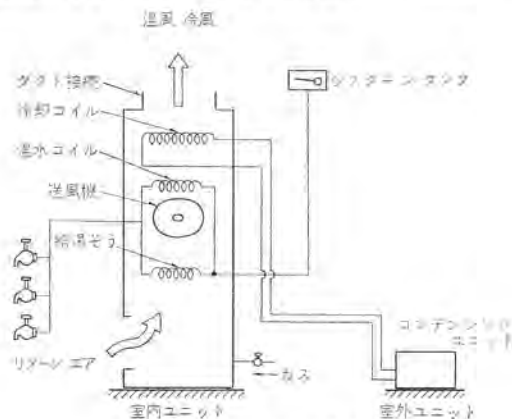


図 3.6 EC-20 形の概要
Schema of model EC-20.



図 3.7 EC-20 形の外観
Exterior view of model EC-20

温水コイルへのバルブを閉止するので温水循環はなく、暖房とはならず給湯だけが可能となる。

ガスを用いたこの方式も石油温水機と同じく、燃焼系監視・安全停止・温水系の制御・過昇防止によって制御器は違うが、基本的構成は同様で、安全性は確保してある。たとえばガス漏れについて考えてみると、ガスへの着火はパイロット炎でなされるが、炎がついているかどうかは常にパイメタルあるいは熱電対で監視し、万一消火したときには連動している弁が働いてガスの元せを閉める形となり、ガス漏れは完全に防止されている。このため、自動運転についての信頼度は高く、安心して使用できる。

しかし、熱源がガスであるために、維持費は石油温水機を使用する場合よりも高額となることはやむを得ないので、生活パターンに応じた使用法とし、おもに給湯機として常に湯を沸しておく使い方をすれば、いつでも送風機の運転のみで暖房となるので経済性は保たれ、また便利でもある。

(3) ヒートポンプ式冷温風機によるシステム

「霧ヶ峰」ルームクーラと同様、直接冷風および温風を吹き出す冷暖房機である。一般に室内ユニットと室外ユニットに分けられ、この間を管で接続するものが住宅用としては便利である。

冷房能力に対して暖房能力は等しいか、やや上回る程度である。暖房能力も冷房能力も外気温の影響を受け（冷房能力の外気温に対する変化率は一般冷房専用機と変わらない。）一般に暖房能力は弱いとされているが、暖房能力の弱まる外気温の低い早朝、深夜あるいは雪の日などに補助的に別の熱源を併用すれば十分実用となる。普通、この補助熱源として電熱ヒータがヒートポンプ冷暖房機の室内ユニットに組込まれて、自動的に外気温を検出して補助するので使用法は簡便である。また、暖房サイクルでも冷媒の圧縮により冷媒の凝縮、蒸発の状態変化を伴っていて普通の電熱器よりも効率が良く、消費電力の2倍から3倍近い暖房熱量が得られる点も経済的であるので、深夜電力を利用した蓄熱暖房器などを補助熱源とすればガス式の暖房よりも暖房費ははるかに安価になる。

住宅に設置するときは小形のものでは各へや独立とし、セパレート形ヒートポンプを使い、家中冷暖房するときはやや大形のを機械室を設けてダクト式として設置したり、大形セパレート式では室内ユニットを天井内につけてダクトで分配する方法もある。この場合は、天井内部が機械室となるので特別な機械室は不要となり、住宅のスペース活用にも貢献できる。

(4) 大形ルームクーラと石油温水機によるシステム

冷暖房と給湯を十分に行なう広い住宅や、大きなワンルーム形式の住宅には適当なシステムである。これらの住宅の熱負荷は大きくなるので冷暖房機も大形を採用しなければならない。広い住宅では冷暖房面積がふえるので、小形の機器を多数設置するより大形機器1台でダクトを用いた方法が設置費が少なくなる。このような需要のためには、業務用の機器を住宅用に転用することになる。一般に大形ルームクーラでは、冷却コイルの上方に暖房コイルが取付可能になっている。暖房コイルは蒸気も可能であるが住宅の場合は温水として給湯をかねるのが便利である。たとえば GA-40 形冷房機を使ったとき冷房能力は普通の夏の日に 7,300 kcal/h となり、暖房では温水コイルに 75°C の温水が 20 l/min 流れると 9,500~10,000 kcal/h の暖房能力が得られる。これは、はじめから冷暖房を計画し、保温を良くした住宅では、同時に 100 m² (約 30 坪) 程度を冷暖房することができる。

以上に住宅の冷暖房について、冷温水式と冷温風式にわけてみたが、その比較をしてみるとつぎのようになる。

冷温水式

(1) 住宅の各へやが独立し、しかも生活のパターンが異なったり、年齢が異なったりする場合は各へやで制御が自由に十分にできる点がとくに良い。

(2) したがって必要部分だけの冷暖房ができ、運転の経済性は保ちやすい。

(3) 工事費は一般に高額となり、確実な工事をしないと水漏れの心配が残る。

(4) 給湯配管が同時にできるので便利である。

冷温風式

(1) 独立したへやの少ないワンルーム形式の住宅や、へやが規則的に配置されてダクト工事が少ない住宅ではとくに工事費が安価となる。

(2) リターンエアは、普通ドアガラリを作り廊下にかえすのでこの部分の暖房もでき、住宅全体を冷暖房するのであれば便利な方法である。

(3) 工事費は一般に室内側放熱器を必要とせず、機器費は少なくなり、ダクト工事費とあいまって安価となる。

(4) 運転費は廊下などの冷暖房負荷も入り、またへやごとの個別制御性が十分でないのが普通なのでやや高価となる。

4. 住宅と空調システム

上記に住宅に適當と思われる冷暖房のシステムを大別して述べたが、単に住宅用として事務所・ビルなどのシステムと分類するだけでは十分ではない。

実際に各種の住宅について熱的特性を調べてみると、その構造上の相異や工法のちがいのために熱負荷はかなり異なっている。これは、最大熱負荷でも、1日の熱負荷のパターンでも、季節についてのパターンでも無視することのできない特長をもっている。このように各種の住宅で特性が異なる場合は住宅の中でも、さらに細かく分類して最も適當であるシステムや、その特長に合致した機器、能力の選定をしなければならない。

したがって、住宅用冷暖房システムとして一括して述べるのではなく、住宅の熱的特性を考えながら最も適當なシステムを考えてみたい。住宅の熱的特性は間取り、家の向いている方位、家の使用材料および構造、地方や気候条件、立地条件など数多くあるが、ここでは主として構造別に大別して述べる。

4.1 木造住宅

(1) 保温材を使用していない木造住宅

日本の住宅はほとんどが木造であり、その大部分は保温材を用いていない普通の工法によるものである。これにもまた種類は多く、表面から見た外壁だけでも高級形でリシ塗り、吹付けがあり、石綿スレート、板壁、金属壁などがある。屋根材では普通かわら、スレートかわら、鉄板棒かわらなどがある。これらの外壁構造は熱抵抗に関係し、保温材を使っていないこれらは夏はへやの侵入熱量は多く、冬は室内の熱が壁を通し屋根を通して漏えいしやすい。このため冷房に要する熱量も、暖房に要する熱量も多いが、さらに窓にサッシを用いていないものでは換気による損失熱量が倍増し、全体での必要熱量は多くなる。しかし、冷暖房を考える普通木造住宅では、窓はサッシでできていると仮定しても支障ないと思われる。

木造住宅の特長はこのほか熱容量が少ないこともあり、外気の温度の変化や日射の影響を直ちに受け反応する。このため気温が上ると室内温度も上昇し、気温が下るとすぐに室温も降下する。このときの時間遅れは少なく、外気温度に大体追従していると考えてよい。

このような住宅の暖房は熱量が常に多量に必要なことを考えれば維持費を少しでも安価にするために、必要な部分を必要なときだけ暖房するシステムが適當と思われる。冷房についても、同様に選択的な冷房を行なって、きめ細いむだな冷房を防止し運転費を節約する。また計算される熱負荷が大きくなっても機器容量を大きくせず、運転パターンを調節して小形なもので間に合わせることがたいせつである。この種の木造住宅の冷房は前にも述べたが外気温度が下がると、直ちに降下するので、夜半は窓をあけ外気取入れてしのぐことも可能である。このため冷暖房装置の容量は暖房装置に重点を置き、冷房装置は小容量で済むことができる。

冷暖房システムでは3.1節(1)に述べた石油温水機とチラーによるシステムが適當である。100 m²(約30坪)程度の住宅を施工するときには十分な給湯を考慮すれば、石油温水機は20,000 kcal/h から 30,000 kcal/h (PB-30形)が適當であり、冷房用のチラーには、選択冷房するとして3,000 kcal/h から 4,000 kcal/h (CR-2S形)が適當であろう。

(2) 保温材を使用した木造住宅

最近、都市近郊の宅地開発に並行して、大手デベロッパの建売り高級住宅に保温材を用いた木造住宅がみられる。また、冷暖房をはじめから予定した設計事務所の設計になるものでは、ほとんどが保温材を用いている。しかし、全木造住宅の戸数からみるとこれらの住宅の数は少ない。

保温材は普通25 m/m程度のガラスウールで外壁内部と天井裏に用いられているが、床下に用いる例は少ない。間仕切りにも用いられるが、保温よりは防音を目的とした使用方法である。

保温材を用いた住宅の熱特性は外部の熱の侵入や、外部への漏えいが少なくなるが、熱容量は保温材のない住宅とあまり差はないので外気温度の影響は早く表われる。保温材の効果として、冷房時も暖房時もそれに要する熱量は少なくてすむので、保温材のない住宅よりも熱源機器は小容量でよく、維持費は少なくてすむことになる。すなわち、保温材に投資した効果は、投資金額に比べて非常に大きいことが計算されている。

保温材の入った住宅の暖房は、住宅全体を暖房しても漏えいによる熱損失は少ないので経済性は十分にある。ある住宅の保温材の有無による熱量は暖房で100と156(1月、晴、1日中暖房するとして)、冷房で100と129(7月、晴、日中冷房するとして)となっている。この数字は住宅全体を冷暖房しても経済性はあるから、運転費よりも工事費を安価にすませるように計画すればよい。この条件を満たすものは冷温風方式であり、3.2節に述べてある。したがって、給湯までまとめて希望すれば(2)の温水温風暖房機と冷房機によるシステムがよいであろう。ガスで維持費に問題が出そうであれば(3)のヒートポンプ式冷温風によるシステムが採用できる。しかし、前述のようにヒートポンプ式では、暖房時に暖房能力が不足気味になるので寒冷地では十分な補助熱源を用意しなければならない。機器の容量としては、上記の数字をみてもわかるように保温材の使っていない住宅の機器容量よりも暖房能力重点を少し軽視し、冷房能力にやや重みをかけるような容量決定が好ましい。

4.2 プレハブ住宅

現在、大手プレハブ業者の建設する住宅は高級形では保温材をすべ

て使用している。これは上記の保温材のある木造住宅とほとんど変わるところはない。鉄骨を用いたものでは、熱橋ができ多少熱の侵入漏えいが多くなると思われるが問題はない。

この種の住宅で、最も空調上の問題として扱わなければならないことは換気である。測定によると、換気量は予想以上に少ない。換気量が少ないことは冷暖房負荷を少なくし、冷暖房機の容量が小形で済むことを示すが、このプレハブ住宅や前記の住宅のように住宅全体を冷暖房したくなるものでは、ちゅう(厨)房の臭気やちゅう房用ガス(ガスコンロ・オープン・ガス釜・ガス魚焼器)、瞬間ガス湯沸かし器(バランシ形では問題ない)などの排ガス、たばこの煙などが室内空気を汚染するため、むしろ積極的に換気を行なわなければならないのである。とくに、ちゅう房の排気には留意し、自動的に排気するレンジフードファンなどで効果を高め、冷暖房負荷をできるだけ大きくしないようにする必要がある。

4.3 コンクリート住宅

従来、コンクリート工法はビル・事務所・病院などであったが、最近では強度に対する信頼感、木材の払底と高騰から増加の傾向にある。

コンクリート住宅が上記の住宅群と比べて最も大きく異なる点は熱容量の大きさにある。これらの住宅では気温や日射の影響を直ちに室内におよぼさず、ある時間遅れて影響する。建物の大きさ、構造によってこの「時間遅れ」は3時間から6時間におよんでいる。したがって西側のへやでは、西日で焼けたコンクリート壁面の熱は夜半にそのへやに影響することになる。この熱特性は冬は問題ないが、夏は「寝ぐるしい夜」となるので夜間の冷房がどうしても必要になる。

コンクリート住宅の冷暖房では夏の冷房に重点を置き、冷房機から暖房機に伸ばす考え方がよい。冷暖房システムとしては、住宅に個室が多ければ冷温水方式が、また、コンクリート住宅の特色である広い大きい部屋が主体であれば冷温風方式がよいが、いずれの場合でも

暖房機の暖房能力は小さめに、冷房機的能力を大きめにする。たとえば、暖房運転は小容量の石油温水機を自動で常時運転し、冷房運転は必要ときに運転する方法が経済的と思われる。

4.4 コンクリートマンション

高層住宅であるマンションは、一戸建住宅とは異なった熱特性を示す。とくに最近のマンションは南面と北面が外壁となり、細長い形式が多くなっている。マンションの中央部では上下、左右も住宅となりこれらがともに冷暖房すれば熱負荷は小さくなる。しかし上部や端部となったへやは受熱面・放熱面が多くなるので、上記のコンクリート1戸建の住宅のように熱負荷が大きくなるとともに熱容量の影響を大きく受ける。したがって集合住宅の場合はへやの位置によって考え方を変えなければならないが、一般的に言えることは冷房重点のようである。マンションが洋風で南面のヒッシンが短い場合など、夏の日射で冷房能力が大きく必要な場合があるので注意を要する。

冷暖房システムとしては、音の問題から冷却水を屋上にまとめて水冷式冷房機を用いる例が多く、GM形冷房機と石油温水機によるシステムが適当である。

5. む す び

はじめに住宅の冷暖房を含めた空気調和の要件について述べたが、住宅の冷暖房システムを考えるとき、これらの要件を満たすように設備設計をしなければならない。ビル用などの設備設計技術は発達し一部門をなしているが、住宅については今後の問題である。そして冷暖房についてさえも、住宅という一つのカテゴリの中で論じてきたきらいがある。そこで冷暖房を中心に住宅を熱的特性から分類し、それぞれの住宅に適切な空調システムとして要件を満足させることが今後の研究としてたいせつである。この報告は、それらの考察の第一歩として現在わかっているものを集め、方向づけする意味で執筆したものである。

電子計算機による冷暖房熱負荷計算

笠 置 紘*・大 槻 昭 義*

Heat load calculation of Air Conditioning with computers

Consumer Products Research Laboratory

Hiroshi KASAGI・Akiyoshi OOTSUKI

As the device cooling and heating room air has become indispensable to residences as well as office buildings, a trend has come about to use computers to mechanize the heat load calculation which is the base of air-conditioning design, to accomplish accurate and quick design and to cope with the shortage of engineering labor. A number of examples of calculation have been made public as a part of countermeasures to improve the situation. The program for the computation aims at a foothold of studying types of apparatus to develop by precise calculation of heat load, running cost and simulation of air conditioning performance. It is applicable to the design work in general mentioned above. The calculation brings about a standing heat load in a specified month, time and weather condition, permitting the use of a plotter. The calculation time with IBM 360 and under a twenty four hour one condition is 10 sec. for residence and 20~30 sec. for buildings.

1. ま え が き

空調設備がしだいに普及し、各ビルはもちろん、一般住宅においても、石油ストーブからセントラル方式と程度の差はあれ必要条件となろうとしている。冷暖房の熱負荷計算は、この空調設備設計の基礎となるものであるが、精密に計算を行なうには非常に複雑であり、有能なる空調設計者に多量の時間を消費させてしまうこと、およびせっかく精密に計算を行なっても気象条件・使用条件が変わるごとに異なった負荷となり、再計算の必要も生じたり、実測との比較もむずかしいというやっかいなものである。したがって現在までの計算は、熱計算の理論はあっても実際の設計計算では比較的簡略な手法で行なわれがちであった。

近年コンピュータの普及、人件費の高騰、設計技術者の不足などから当然のことながらこの冷暖房負荷計算を機械化することが試みられ、とくに建設会社・設計事務所などで行なわれていることが紹介されている。

このプログラム開発の目的は、all year air conditionerとしてふたび注目されているヒートポンプの年間ランニングコスト、開発すべき機械系列の検討、および室内環境と機器特性のシミュレーションなどの第一段階として開発したものであるが、上述した一般の設計業務にも使用できる。

計算は定常熱負荷計算法であり、最近の文献にかなりみられる時間変化・蓄熱などが精密に考慮されたレスポンスファクタ法とは異なり、大体的手順は、「空調衛生工学便覧」にみられる旧来の方法によっている。プログラムはFortranで書かれ、計算時間はIBM 360を使用して、一条件、24時間計算では住宅約10秒、中ビル20~30秒となっている。プログラムの大きさは350キロバイト、1回のデータでの計算可能範囲は計算条件は10条件まで、家屋の大きさは計算階数で5階、各階20へやまでとなっている。

計算例として、最近一般に建築されている木造住宅の一つを選び、計算されたデータを紹介するとともに、最後に2、3の住宅の壁熱通過率および熱負荷率の比較を行なう。

2. 冷暖房負荷計算プログラム

プログラムは、任意指定時刻ごとの各へやの負荷をいくつかの項目(天井、床、窓ガラスからのふく射・伝導、自然換気、照明、人間、機器などの各負荷)にわたって計算する。そして、室内・外条件群(室内・外乾球温度、室内・外相対湿度、天候、月、蓄熱係数の考慮の有無、照明、人間、機器など内部負荷の考慮の有無、夜間ふく射の考慮の有無)のうちいずれかを変えるごとに、計算を繰り返す。

プログラム全体のフローチャートは、図2.1に示すようであり、まず、緯度・月・時刻・方位ごとに示された日射量⁽⁹⁾、屋根・壁・床などに使われるおもな材料40種類の熱伝導率・比重量・比熱、蓄熱係数(照明・人間・日射などの各熱はほとんどふく射熱で、この熱は瞬

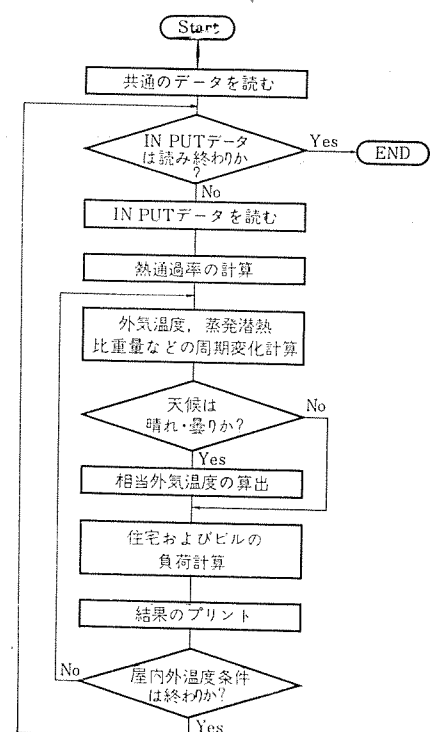
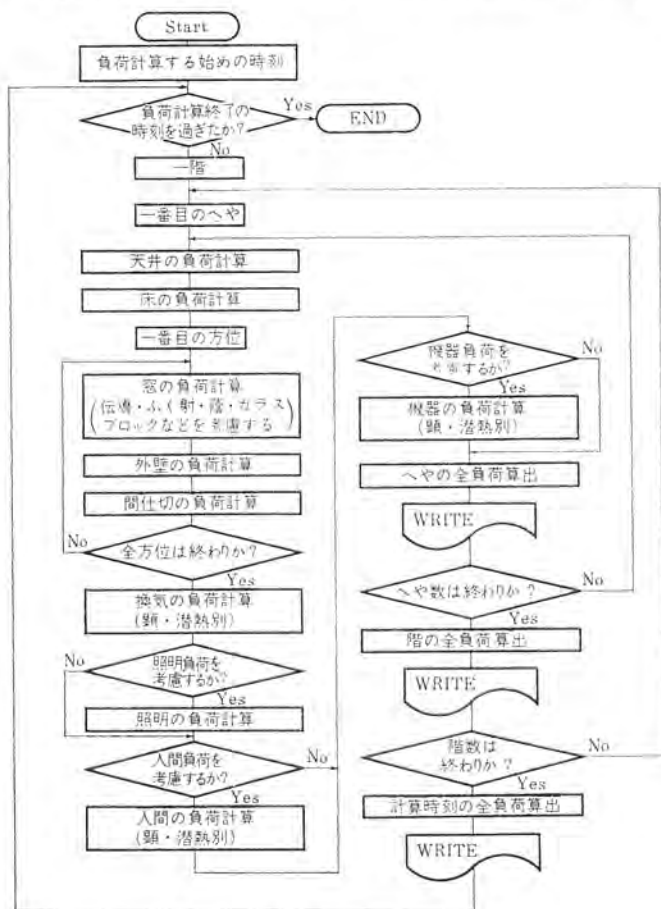


図 2.1 メインフローチャート
The general flow chart of main.

インプットデータとしては、前述した室内・外条件群はもちろんのこと、屋根・天井・床・外壁・内壁に使われている材料の種類と厚さおよび面積や、窓に関するガラス面積・厚さ・しゃへい係数の値お



TOTAL ROOM LOAD											-555.0
SENSIBLE HEAT FACTOR											1.118
HEAT LOAD FACTOR											-55.33
HEISEN ROOM NO 2 1 1 1											
OTTA	QYKA	QWAO	QWMOO	QWAE	QWAI	QWANH	QWANH	QWHT	QWISH	TOTALS	
E=0	-40.2	-185.7	-185.7	-34.3	-78.8	-21.0	0.0	1.0	0.0	-555.0	
										TOTALS	
QWANH	QWANH	QWISH									
25.3	1.0	0.0									
TOTAL ROOM LOAD											-555.0
SENSIBLE HEAT FACTOR											1.079
HEAT LOAD FACTOR											-55.45
HEISEN ROOM NO 1 1 1 1											
OTTA	QYKA	QWAO	QWMOO	QWAE	QWAI	QWANH	QWANH	QWHT	QWISH	TOTALS	
-24.5	-45.8	-42.7	-42.7	-70.3	-13.8	-14.3	2.5	0.0	0.0	-299.4	
										TOTALS	
QWANH	QWANH	QWISH									
13.6	7.4	9.2									
TOTAL ROOM LOAD											-299.4
SENSIBLE HEAT FACTOR											1.143
HEAT LOAD FACTOR											-56.65
TOTALS											
HEISEN ROOM NO 1 1 1 1											
OTTA	QYKA	QWAO	QWMOO	QWAE	QWAI	QWANH	QWANH	QWHT	QWISH	TOTALS	
-24.5	0.0	-176.0	-176.0	-47.8	-77.4	-21.0	0.0	1.0	0.0	-555.0	
										TOTALS	
QWANH	QWANH	QWISH									
15.5	4.2	0.0									
TOTAL ROOM LOAD											-555.0
SENSIBLE HEAT FACTOR											1.218
HEAT LOAD FACTOR											-56.41
HEISEN ROOM NO 2 1 1 1											
OTTA	QYKA	QWAO	QWMOO	QWAE	QWAI	QWANH	QWANH	QWHT	QWISH	TOTALS	
-17.2	-54.5	-113.0	-113.0	-83.4	-87.5	-29.1	41.4	10.7	0.0	-411.4	
										TOTALS	
QWANH	QWANH	QWISH									
14.0	36.8	0.0									
TOTAL ROOM LOAD											-411.4
SENSIBLE HEAT FACTOR											1.143
HEAT LOAD FACTOR											-56.65

よび日陰を作る建物があればその位置・大きさや、在室人数・在室時間・照明の容量・点燈時間など内部負荷の生活パターンなどのデータがあり、以上で計算準備が完了する。そこで、まず最初に屋根・妻・外壁・内壁・床・天井などの空気層を考慮した熱通過率を算出する。ついで、外気温度・空気の蒸発潜熱・空気の比重量などの経時変化値を求める。

この方法として、気象庁資料の8年間の平均時別値(3時間ごとの値)を用いて夏・冬それぞれの晴れ曇りについて、全国共通の外気温度周期回帰式を求め、外気温度を任意時刻1点与えることにより外気温度の経時変化値を算出できるようにした。なお、雨および雪の場合の外気温度は一日中一定温とし、晴れ・曇り・雨雪は全天の晴れ係数で判断させ、0.8以上晴れ、0を雨雪、これ以外を曇りとした。つぎに、日射があると考えられる晴れと曇りの場合、屋根および外壁面は日射による熱が加わり外気温度より高くなる。この温度、相当外気温度の経時変化値を各壁材料の日射熱の減衰係数や時間遅れ(熱容量のため生ずる)を求めたのち算出する。雨雪の場合は、相当外気温度は外気温度に等しいとしている。

つぎがこのプログラムの中核である熱負荷計算を行なうルーチンであり、図 2.2 に示されるフローチャートのごとく、各種負荷項目（天井・床・窓・外壁・間仕切り・換気内部などの各負荷）を追って、各へや・各時刻ごとに計算する。窓については伝導とふく射負荷別に計算し、直達日射がある場合は外部の建物・樹木・ひさし・スパンドレルなどによる影面積を、月・時刻で変わる太陽位置との方位角を算出することにより求める。この窓と外壁については、方位ごとに日射量が異なるので方位ごとに求めている。また、窓からの日射熱と内部負荷は蓄熱係数を考慮できるようになっており、建物構造による時間遅れの様子が解析できる。さらに、夜間ふく射（夜間に建物の温度のほうが外気温度より高くなり、赤外線ふく射熱を放散する。）も考慮できる。

最後に今まで計算してきた結果のプリントをする。その一例を図 2.3 に示す。ここでは各時刻の冷・暖房負荷を各計算項目に分類し、さらに顕・潜熱負荷にも分類している。その他、外気温度・各方位の相当外気温度・空気の蒸発潜熱などの経時変化値や、 m^3 当たりの熱負荷率なども求めている。また X-Y プロットにより負荷の経時変化を図表化できるようになっている。

今まで説明してきたプログラムを使って図 3. 1 に示されるような間取りの木造住宅について、表 3. 1 に示す室内・外計算条件および表 3. 2 に示すような、一般家庭の常識的な生活パターンを考慮した内部負荷パターンのインプットデータを作成し、冷・暖房負荷計算を行ない、住宅の熱負荷とそれに影響する要因について分析、検討した。

住宅は木造2階建てで、最近よく見られる外壁と屋根部天井に25 mmのグラスウール断熱材を使った保温構造となっており、表3.3のように熱通過率が計算され、外壁においては $0.87 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ と非常に小さく計算された。従来から鉄筋コンクリート壁は約3、木造土壁はそれより小さいといわれることから推して、断熱材が熱通過率に与える影響がいかに大きいかがわかる。

表 3.1 の各月最高温度（気象庁資料から大阪の各月下旬の 15 時の値）を使用し、前述した全国共通の周期回帰式から、夏季（6・

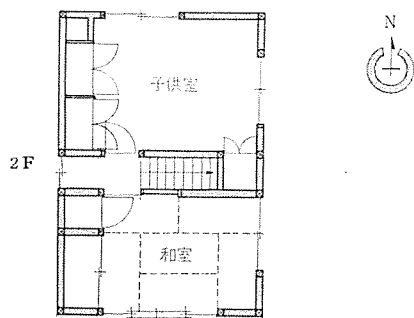
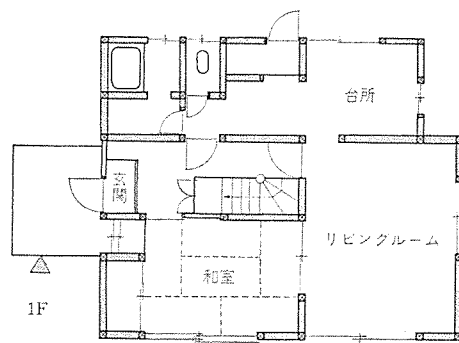


図 3.1 木造住宅間取図
The plan of a wooden house.

7・8月), 冬季 (12・1・2・3月) それぞれの晴れと曇りの日について, 外気温の経時変化値を求めた。晴れの日のみをグラフにしたものが図 3.2 である。図より夏季の温度幅が約 9 deg と冬季の 8.1 deg より大きくなり, 気象庁資料の特別値に対し $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の精度となった。なお, 外気温の経時変化を今回の計算例は晴・曇りについての 8 年間の平均温度で計算したが, 超過確率 2.5 % あるいは 5 % などで現わされる TAC 温度を使用してもよい。

3.3 相当外気温度

日射熱による屋根 (水平面)・外壁 (4 方位) 面の相当外気温度の経時変化を夏季 (7 月晴れの日)・冬季 (2 月晴れの日) についてそれぞれ代表させたグラフが図 3.3 と図 3.4 である。この場合日射吸収率は 0.75 であり, 夏季水平面では 65°C 近くまで上昇することがわかり, 参考文献 (3) に実測された東京の夏季における日射吸収率 0.5 と 0.9 の場合の値が載っているが, これとよく一致している。

3.4 日射負荷 (日射量)

リビングルームについて日射負荷 (窓からのふく射負荷) のみを算出してみると, 図 3.5 のように夏季 (7 月晴れ) と冬季 (2 月晴れ) では大きく違い, 意外なことに冬季のほうが日射負荷が大きいのことがわかり, 夏の日中は南側に窓があっても日が射し込まないことがわかる。これは窓のヒサシおよび夏, 冬の太陽高度の差により夏季には太陽直達日射が少なく, 冬季は部屋のできるだけ内部まで日

表 3.1 室内・外 計算条件 Calculative condition of indoor and outdoor.

季節	冷・暖	室内条件		内部負荷考慮 有無			蓄熱係数考慮 有無				室外および気象条件				夜間ふく射考慮 有無
		乾球	湿度	人間	機器	照明	日射	人間	器具	照明	晴れ系数	月	最高温度 $^{\circ}\text{C}$	湿度%	
夏	冷房	27°C	50 %	有	有	有	有	有	有	有	晴 0.6	6	晴 28.7 曇 27.5	58 63	有
											曇 0.3	7	晴 32.7 曇 30.1	54 64	
											雨 0	8	晴 32.3 曇 30.1	55 59	
冬	暖房	20°C	50 %	有	有	有	有	有	有	有	雨 0.8	12	晴 10.4 曇 9.7	48 53	有
												1	晴 8.1 曇 8.2	46 54	
											雪 0.3 雨雪 0	2	晴 11.7 曇 10.4	42 48	
												3	晴 14.2 曇 14.1	42 52	

表 3.2 内部負荷のパターン Pattern of indoor heat load.

室名	人数と時刻	機器と時刻	器具と時刻	照明と時刻	換気回数
リビングルーム	0.2 人/ m^2 6~8時, 17~22時	400 W 6~8時, 17~22時	0 kcal/h	10 W/ m^2 6~8時 17~22時	0.5
和室6畳1階	0.2 10~12, 14~16	0	0	10 14~16	0.5
台所	0.2 6~9, 17~20	300 6~7 17~18	1,200 6~7時 17~18時	10 6~7 17~20	0.5
和室6畳2階	0.2 1~6, 22~24	0	0	10 20~22	0.5
子供室	0.2 1~7, 20~24	0	0	10 20~21	0.5

表 3.3 各部の材料構成と熱通過率
Construction material and heat transmission coefficient of each wall.

各 部	材 料 構 成 mm	熱通過率 kcal/m ² h °C	
		冷 房	暖 房
屋 根	(色係数 0.75) 合 板 12 ルーフィング 0.5 鉄 板 0.4	3.18	4.24
妻	フレキシブルボード 6	4.82	5.24
外 壁	(色係数 0.75) 布 0.5 プラスタ 9 空気層, ガラス綿 25 フレキシブルボード 5	0.87	0.88
内 壁 1	ラ ワ ン 5 空 気 14 ラ ワ ン 5 (ドア部)	1.03	1.03
2	合 板 5 空 気 19 合 板 5 (ドア部)	0.83	0.83
3	紙 1.5 空 気 10 紙 1.5 (ふすま部)	1.33	1.33
4	布 0.5 プラスタ 6 空気層, プラスタ 6 布 0.5 (間仕切)	1.93	1.93
天井, 床 1	合 板 9 空気層, ガラス綿 25 (2階 和室 天井)	0.78	0.90
2	プ ラ ス タ 9 空気層, ガラス綿 25 (リビングルーム・子供室 天井)	0.82	0.94
3	コーボライト 9 空気層, ガラス綿 25 (台所 天井)	0.67	0.75
4	じゅうたん 5 合 板 12 空気層, コーボライト 9 (子供室 床)	1.29	1.10
5	合 板 12 コーボライト 2 (リビングルーム 床)	3.20	2.80
6	た た み 50 木 材 12 (1階 和室 床)	1.25	1.18
7	合 板 12 タ イ ル 5 (台所 床)	3.97	3.37
屋 根, 妻, 天 井 の 総 合 熱 通 過 率		0.67	0.81

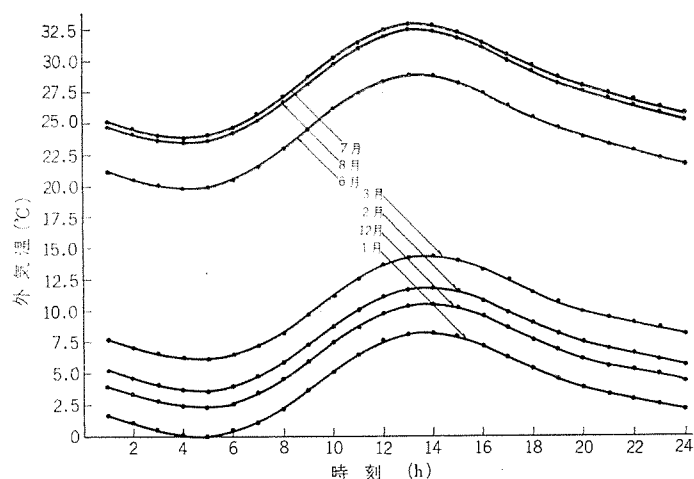


図 3.2 外気温度の経時変化
Change of outdoor air temperature.

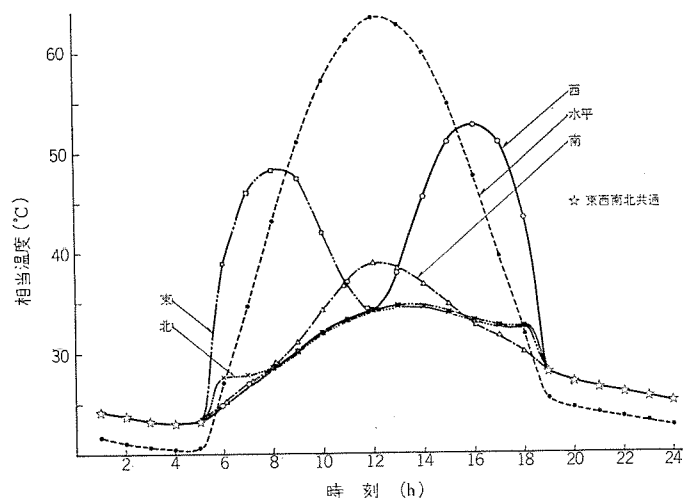


図 3.3 相当外気温度の経時変化 (7月晴れ)
Change of equivalent temperature (July, fine).

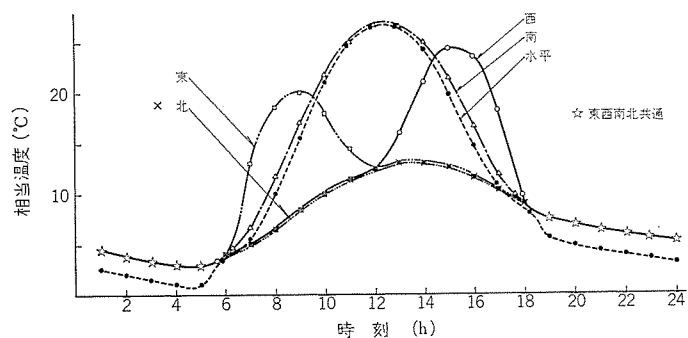


図 3.4 相当外気温度の経時変化 (2月晴れ)
Change of equivalent temperature (February, fine).

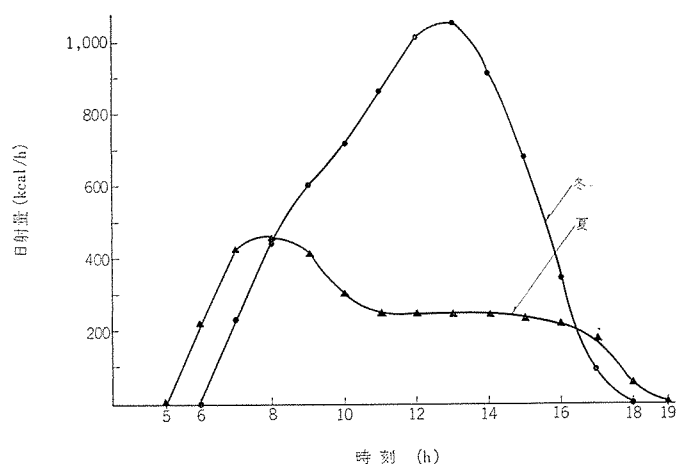


図 3.5 リビングルーム 日射量
Solar heat gain of living room.

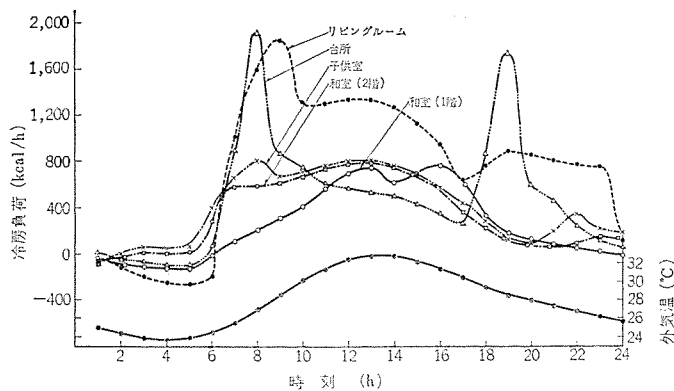


図 3.6 7月晴れ各室冷房負荷経時変化
Change of air-conditioner load with time of each room, July, fine weather.

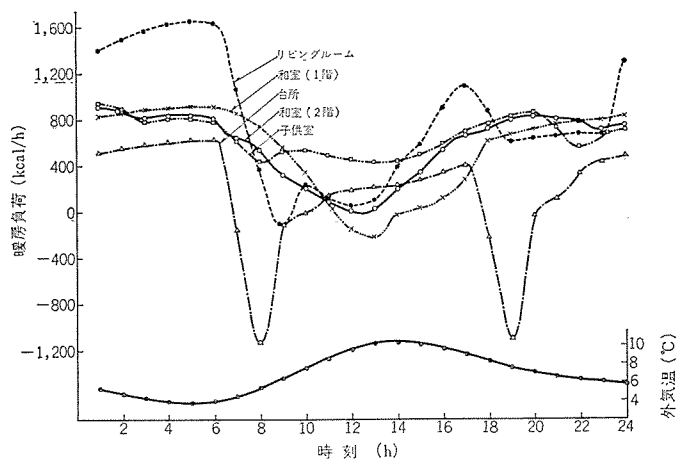


図 3.7 2月曇り各室暖房負荷経時変化
Change of heating load with time of each room, February, cloudy weather.

がはいるように住宅が設計されていることがわかる。

3.5 各室冷房負荷

7月晴れについて各室の冷房負荷の経時変化を示したものが図 3.6である。夜間には外気温度が室内設定温度より低く、負荷がゼロに近い部屋が多く、マイナス負荷となる部屋もある。台所は8時と19時にピークが現われているが、これはとくにガス器具を使用したことによる内部負荷の影響である。リビングルームは東側と南側に窓があるが、日射負荷のところで述べたように、南側では直達日射がないため負荷のピークは9時ごろに現われており、10時から13時までは外気温度の上昇によるゆるやかな負荷増加が見られ、16時ごろからふたたび負荷増加が見られるが、これは人間・照明などの生活パターンによる内部負荷増加による。各室の13時ごろの負荷は、リビングルームで1,300 kcal/h、他の部屋は600~800 kcal/hである。

3.6 各室暖房負荷

2月曇りについて各室の暖房負荷の経時変化を示したものが図 3.7である。各室の負荷のピークは5時ごろとなり、リビングルームが1,650 kcal/h、他の部屋は600~900 kcal/hとなっており、13時ごろは日射の影響の非常に少ない子供室を除いて、200 kcal/h以下となりマイナス負荷の部屋もある。このように暖房負荷は、日中太陽の日射の影響を大きく受け、さらに外気温度の上昇に伴って低負荷となっている。この状態が曇りの日であるから晴れの日はいっそう日射の影響が大きくなり、南側に窓のある部屋は日中マイナス負荷と考えられる。なお台所は8時と19時に3.5と同様ピークが現われており、マイナス負荷となっている。

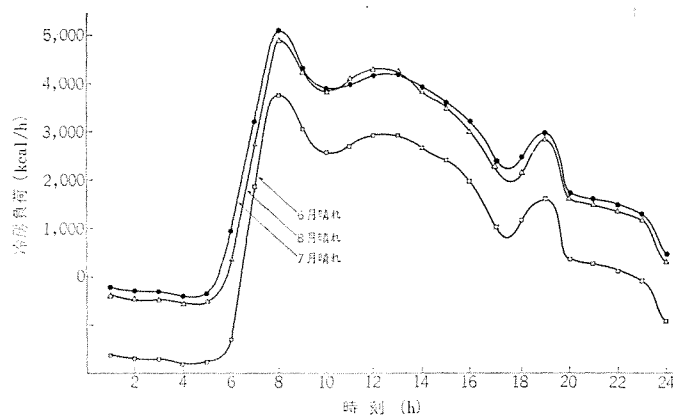


図 3.8 夏季全冷房負荷経時変化
Change of air-conditioner load with time of total housing in summer.

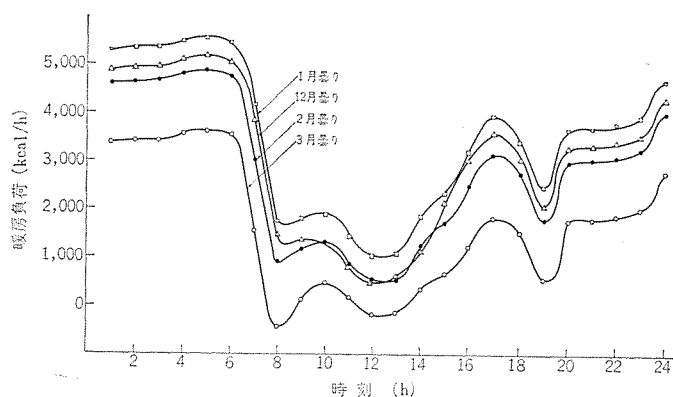


図 3.9 冬季全暖房負荷経時変化
Change of heating load with time of total housing in winter.

3.7 全冷房負荷

台所を含む全へや(5へや)の冷房負荷の経時変化を夏季(6・7・8月)晴れについて示したものが図 3.8である。各月の負荷パターンはまったく同じく、あたかも各月の外気温度の差によって表われた負荷の差異とおもわれる。(実際は日射量や相当外気温度などの値も各月によって違う)。負荷のピークは、8時ごろにあり、従来日射の一番強くなる12時~15時ごろと考えていたことと反する結果となったが、これはすでに述べたように、南側窓からの直達日射はヒサシによりさえぎられるためであり、7月で5,000 kcal/hである。また夜間(24時~5時)は完全にマイナス負荷となっており、24時間運転が必要ないことを示し、この時間に蓄熱を行なうことにより、熱源機器の容量を小さくできることをも示唆している。

3.8 全暖房負荷

台所を含む全へや(5へや)の暖房負荷の経時変化を、冬季(12・1・2・3月)曇りについて示したものが図 3.9である。全冷房負荷と同様各月の負荷パターンはまったくおなじであり、負荷のピークは5時ごろにあり、1月で5,500 kcal/hである。13時ごろでは1月が最大負荷で1,000 kcal/hと非常に低い値となっている。

4. 各住宅の比較

3章では木造住宅(断熱材あり)の計算例のみを示したが、これ以外に代表的な形をした木造住宅(断熱材なし)・木造プレハブ住宅(断熱材あり)および気ほう(泡)コンクリート住宅のいずれも二階建住宅について、表 3.1 および表 3.2 とまったく同様のインプットデ

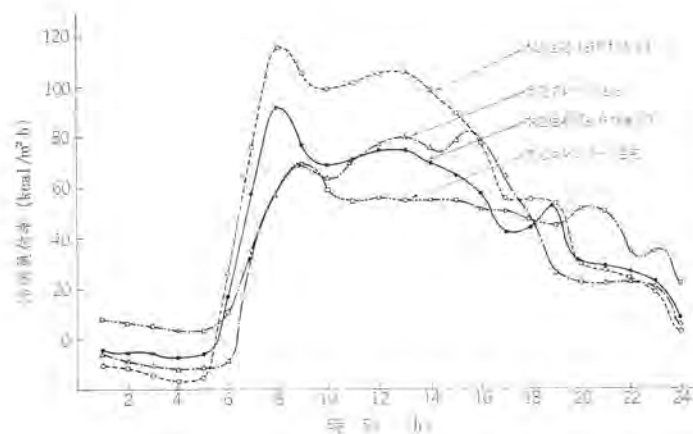


図 4.1 7月晴れ冷房負荷率経時変化
Change of air-conditioner load factor with time, July,
fine weather.

ータを作成して計算を行なった。

4.1 外壁の熱通過率の比較

木造壁(断熱材なし)で $2.3 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ 程度であるが、断熱材が入ると $0.8 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ となり、気候用 コンクリート壁ではさらに小さくなり、通過率が小さく、すき間の少ない質的に向上した建物になってきたことがわかる。

4.2 熱負荷率の比較

平方メートル当たりの熱負荷(熱負荷率)の経時変化を示したものが図4.1と図4.2である。冷房負荷率は、7月晴れ13時で断熱材のない住宅が $90 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ となり、ある住宅では $70 \sim 80 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ となった。気候用 コンクリート住宅は、 $55 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ と非常に保温性の良いことを示すとともに、他の住宅が日が沈むと急激に低下するのに対し、じわじわと低下する熱容量による時間遅れが現われている。暖房負荷率は2月曇り5時についてみると、それぞれ $130 \cdot 85 \sim 95 \cdot 53 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ となり、これもまた気候用 コンクリート住宅の特性のよさが現われている。

5. む す び

現在プログラムは一般的住宅の年間負荷、および当社の空調設備のいる住宅、ビルの営業活動の援助などに利用されている。このプログラムの各気象条件による年間の負荷計算結果と、各気象状態が年間どの程度の日数現われるかの気象データとを対比させれば、概算としてのランニングコストを求めることはわりたやすく行なえる。し

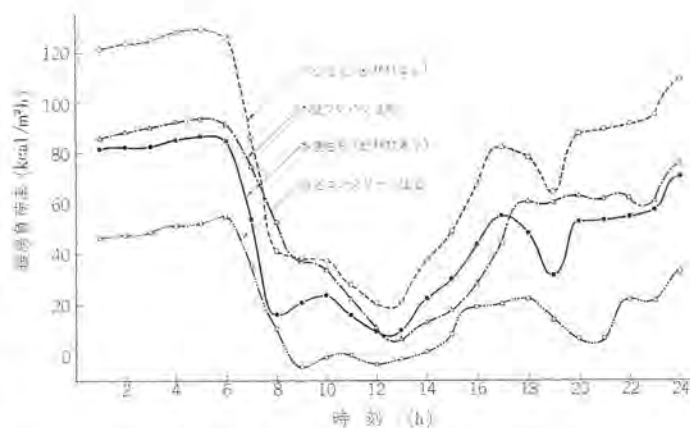


図 4.2 2月曇り暖房負荷率経時変化
Change of heat load factor with time, February,
cloudy weather.

かし機器の特性は外気条件・室内条件により変わり、したがって使用エネルギーも変わってくる。そこで現在非定常状態を含めた負荷計算と室内環境、機器特性のシミュレーションを考慮したランニングコストプログラムを検討中である。

現在の負荷計算プログラムの結果が、どの程度実際の状態に近いかは今後機会あるごとに実測値と比較して行なわねばならないが、住宅について1ケースではあるがよく一致する結果を得ている。

なおこのプログラムのアルゴリズム作成にあたり、社外・社内各方面のかたがたにお世話になったことを感謝するしだいである。

参 考 文 献

- (1) 空調調和衛生工学会：空調調和衛生工学便覧
- (2) 横田、明野：空調調和衛生設備
- (3) 渡辺、柳町、井上：建築設備ハンドブック
- (4) 気象庁：気象庁技術観測資料、27号
- (5) 内田：湿り空気と冷却塔
- (6) 内田編集：冷凍機械工学ハンドブック
- (7) 谷下編：熱工学ハンドブック
- (8) 柴田：夏期窓および壁からの流入熱量計算法と大阪地方におけるその算出図表について、衛生工業協会誌、35、No. 2
- (9) Hand Book of Air Conditioning System Design, Carrier
- (10) 木村：建築設備の基礎理論

プレハブ住宅の冷暖房環境

山崎 起助*・湯山 基*・大塚 信夫*

Air Cooling and Heating Conditions in Prefabricated Houses

Consumer Products Research Laboratory Kisuke YAMAZAKI・Hiroshi YUYAMA・Nobuo ÔTSUKA

Prefabricated wooden houses are getting very popular nowadays and the number of their installations is increasing. They have better airtightness and heat insulation than the conventional wooden houses. On the other hand people have come to pay more attention to agreeable living conditions than mere dwelling spaces. To realize comfortable life at home air conditioning is seriously considered by the house owner. This calls for study on the prefabricated houses in connection with the heating and cooling of room air to select the most appropriate devices. Results of actual measurement on the houses have verified that much less heat load than that considered in the part is required, that is 104 kcal/m³h in heating and 70 kcal/m³h in cooling. The frequency of ventilation is surmised to be 0.6 times/h for the whole house. The heating capacity is 2.3 kcal/m³°C for the wall area.

1. ま え が き

木造プレハブ住宅は、最近普及率がめざましく増大しており、従来の木造住宅に比べて、気密性および断熱性が向上し、住宅に関する考え方も「単なる住いの場」から、「より快適な住いの場」へと変化している。快適な居住環境を実現するために、空調機のはたす役割は大きく、住宅の特性に適合した機器を選定することが必要である。

そこで、冷温水式ファンコイルユニットを各室に設置した住宅と温風式のダクトを設置した住宅の冷暖房および暖房環境の実測を行なった。この結果をもとにして、住宅の熱負荷・換気・室内温度・気流分布および熱容量について概説する。

2. 住宅の概要

測定の対象とした住宅は、2種類で、ともに高級木造プレハブ独立住宅であり、A住宅は冷温水式集中冷暖房および給湯設備が、B住宅は温風式集中暖房および給湯設備が施工されている。

A住宅は、2階建て1階面積83m²、2階面積47m²、総面積130m²（約39坪）となっている。1階には居間・和室・洋間、2階には寝室・子供室があり各室にファンコイルユニットが設置されている。給湯はキッチン・バス・洋間・1階化粧室・2階化粧室に計5か所施工され

ており、庭の隅にボイラ室がある。表2.1に各部屋のファンコイルユニットおよびボイラ室回りの機器名を示した。

B住宅は、2階建て1階面積64m²、2階面積26m²、総面積90m²（約27坪）となっている。1階機械室にガスだきの給湯暖房機が設置され、これには、給湯用の温水かん（缶）と温風発生用の温水コイルおよびファンが組込まれており、1台で全室の暖房・給湯を行なうことができる。暖房能力13,000 kcal/h、給湯能力14,000 kcal/hとなっている。温風は、ダクトにより1階の居間・洋間・寝室と2階の子供室・和室に送られ、かまいに設けられた吹出し口（寸法400×150mm）から室内に吹出す。給湯はキッチン・バス・化粧室の計3か所に施工されている。

3. 測定項目と計算式

A住宅は東京にあり、暖房環境の測定は1月下旬、冷房は7月下旬、B住宅は埼玉県にあり、暖房環境の測定は2月中旬に行なった。測定項目は、

- (1) 各室温湿度分布と経時変化
- (2) ボイラおよびチラーユニットの温度変化
- (3) 外気温湿度変化
- (4) 各室および家屋全体の換気量
- (5) 各室気流分布
- (6) ダクトからの漏音

の6項目で、ファンコイルユニット式のA住宅について、おもに測定し、ダクト式のB住宅については温度分布、ダクトからの漏音について測定した。

熱負荷・換気量・熱容量については、以下にその計算式および算定方法を示す。

3.1 熱負荷および温湿度環境

3.1.1 熱負荷の測定と計算

室内を暖房または冷房する場合の熱負荷を大別すると、

- (1) 窓ガラス・外壁・間仕切などの建築構造物を通し、室内外に交換される熱量
- (2) 窓・出入り口とびら・構造物の間げき(隙)から換気により、室内に入る外気を室内空気状態まで変化させるに必要な熱量
- (3) 室内の機器・照明から発生する熱量および在室する人から

表 2.1 冷暖房機器 (A 住宅)
Air cooling and heating devices (house A).

部 屋	機 種	機 器 名	仕 様
ボイラールーム	石油温水機	PB-30B	30,000 kcal/h
	チリングユニット	CA-4	6,300 kcal/h
	冷温水循環ポンプ	VPL-155	150 W
	冷却水循環ポンプ	40SQ	40 W
	オイルタンク	FT-90	90 l
ボイラールーム上	ターリングタワ	HT-5C	5 トン
	ジスターンタンク	ET-20	20 l
一階	ファンコイルユニット	LV-300 SE-B	3,000 kcal/h
		LV-300 HE	3,000 kcal/h
		LV-300 SE-B	3,000 kcal/h
		LV-200 SE-B	2,000 kcal/h
二階	ファンコイルユニット	LV-200 SE-B	2,000 kcal/h
		LV-200 SE-B	2,000 kcal/h

発生する熱量

がある。全熱負荷の算出は、個々の負荷項目を各へやごとに計算し、それらを総計し住宅の熱負荷とする。

壁からの損失熱量 Q_W については

$$Q_W = K_W \cdot A_W (T_i - T_o) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに K_W : 壁の熱通過率 (kcal/m² h °C)

A_W : 壁の面積 (m²)

T_i : 室内温度 (°C)

T_o : 室外温度 (°C)

となり、窓・ガラス・床などについても同様に示される。

熱負荷としては、冷暖房開始時より室内状態が一定になるまでの立上がり負荷と、その後、室内状態が一定となったときの定常負荷に分けられる。

熱負荷の測定は、へやの出入り口とびら・窓などをすべて開放し、数時間放置して室内外の温度が同一となつてからとびら・窓を閉め、立上がりから定常状態になるまで十数時間、放熱器能力・室内外温度変化を測定した。このようにして深夜・日の出時・昼間・日没時の負荷を求めたが、へやの熱負荷としては、定常状態の値を扱い、立上がり状態からは熱容量を求めた。

3.1.2 室内温度環境の測定

室内の温度分布は各へやとも9位置、各位置については床面より20, 100, 180 cmの3点、計27点で0.1°C精度の水銀温度計をポールに固定し、一定時間ごとに測定し、湿度はアスマン式通風乾湿計によりへやの中央、高さ100 cmの位置で測定した。測定位置を図3.1に示す。

3.1.3 気流分布の測定

ファンコイルユニットから吹出す気流分布の測定は、熱線式風速計および線香の煙の流線を室内16か所以上、高さ床上20, 100, 180 cmの点で観測することにより調べた。

3.2 換気量の測定と計算

換気量は、炭酸ガス濃度の時間変化より求める。測定しようとする家屋あるいはへやの数か所において、ドライアイスを加熱浴そうで短時間のうちに蒸発させ、炭酸ガスが十分拡散してから30分おきに数時間、北川式ガス検知器を用い炭酸ガス濃度を測定した。

自然換気により減少していく炭酸ガス濃度と、在室する人から発生する炭酸ガスより、次式により換気量を求める。

$$P_R - P_0 - \frac{m}{v} = \left(P_R(0) - P_0 - \frac{m}{v} \right) \cdot e^{-\frac{v}{V}t} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここに P_R : 室内ガス濃度 (%)

P_0 : 室外ガス濃度 (%)

m : 人体から発生する炭酸ガス量 (m³/h)

v : 換気量 (m³/h)

$P_R(0)$: $t=0$ における室内ガス濃度 (%)

V : へや容積 (m³)

t : 時間 (h)

また、換気量 M をへやの容積 V で割ることにより換気回数が得られる。

換気量は、へやと家屋全体について測定した。へやの換気量は屋外に面した窓、とびらを閉めへやからの人の出入は自由とし、へやの上下2か所で同時に測定した。家屋の換気量は、屋外に面した窓・とびらを閉めきり、屋内に面したとびらはすべて開放し、屋内各部の濃度を均一にするため、各所に配したかくはん扇により十分

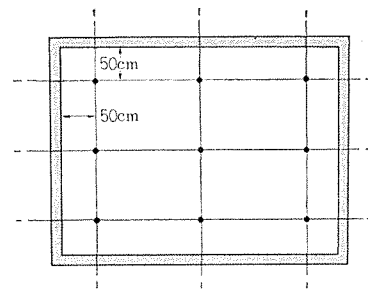


図 3.1 室内温度分布測定位置
Measuring place of room air temperature distribution

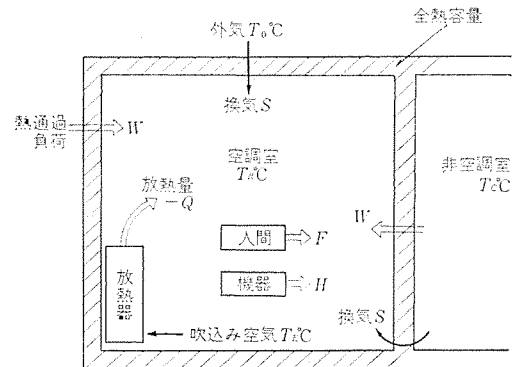


図 3.2 熱容量算出モデル
Heat capacity calculation model.

かくはんしながら、計8か所について測定を行なった。

3.3 熱容量の計算

各へやの熱容量は、放熱器から供給される熱量 Q が、へやの熱容量 C にたくわえられる熱量、壁・窓などから伝熱あるいはふく射によって失なう熱量 W 、間引きあるいは開口部から換気量として失なう熱量 S 在室者から発生する熱量 F 、および室内機器から発生する熱量 H とがつり合うということから算出する。この関係を図3.2に示す。

$$\int_{t_1}^{t_2} Q dt = C \cdot \Delta T_1 + \int_{t_1}^{t_2} W dt + \int_{t_1}^{t_2} S dt + \int_{t_1}^{t_2} F dt + \int_{t_1}^{t_2} H dt \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

放熱器の能力 Q は、吹出し風速と管内流速が一定のとき、放熱器の放熱係数 $K \cdot A$ に入口水温 T_E と吸込み空気温度 T_R との差を乗じて表わす。

$$Q = K \cdot A (T_E - T_R) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに T_E : 放熱器入口水温 (°C)

熱容量 C に乗ずる温度差 ΔT_1 は時間 t_2 と時間 t_1 における室内温度との差である。

へやから熱通過あるいはふく射によって失なう熱量 W は、すべて熱通過によって失なうものとして放熱係数を換算する。へやの壁・床・天井は外気・空調室あるいは非空調室に接しているため、各面について、それぞれ放熱係数 $K_i \cdot A_i$ および ΔT_i を考慮する。

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i \cdot A_i \cdot \Delta T_i \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

ここに n : へやの全面数

換気によって失なう熱量 S は、顕熱損失と潜熱損失の和で、全換気量のうち非空調室との換気の占める割合を n とすれば、次式で表わされる。

$$S = C_p \cdot \gamma \cdot v \{ \eta (T_R - T_c) + (1 - \eta) (T_R - T_o) \} + \lambda \cdot \gamma \cdot v \{ \eta (x_R - x_c) + (1 - \eta) (x_R - x_o) \} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

ここに C_P : 空気の比熱 (kcal/kg $^{\circ}$ C)
 γ : 空気の比重量 (kg/m 3)
 T_0 : 非空調室の温度 ($^{\circ}$ C)
 λ : 水蒸気の蒸発潜熱 (kcal/kg)
 x : 空気の絶対湿度 (kg/kg')

人の在室による熱量 F , および室内機器の on・off により変化する H は時間の関数で, 測定中の状況によって決まる。

以上の式 (3.4)~(3.6) 中の温度 および湿度の時間経過による変化を関数式として表わし, 式 (3.3) に代入して積分を行ない熱容量 C を求める。

4. 結果と考察

4.1 熱負荷および温度・気流環境

4.1.1 熱負荷

室内温度が十分飽和した状態での熱負荷は, 放熱器の能力に等しいが, 立上り状態の熱負荷は, これに家屋の熱容量が加わったものになる。表 4.1 は A 住宅において飽和状態のとき測定した各へやの冷暖房負荷で, 比較のため HASS-108 によって計算した熱負荷の値もあわせて示した。

表 4.1 冷暖房熱負荷
Cooling and heating load.

環 境	A 住 宅				B 住 宅		
	暖 房		冷 房		暖 房		冷 房
へ や 名	HASS-108	実 測	HASS-108	実 測	へ や 名	実 測	
居 間	3,200	2,110	3,560	1,040	居 間	3,140	
洋 間	4,430	2,270	6,100	860	洋 室	1,630	
和 室	3,850	2,030	5,000	1,090	寝 室	1,520	
寝 室	2,080	1,010	3,200	1,050	和 室	550	
子 供 室	1,800	930	2,660	1,060	子 供 室	590	
計	15,360	8,350	20,520	5,100	計	7,430	

注) A 住宅暖房実測時刻 19:00 各室内外温度差 22~26
 冷房実測時刻 12:00 各室内外温度差 7~10
 B 住宅暖房実測時刻 8:30 各室内外温度差 18~24

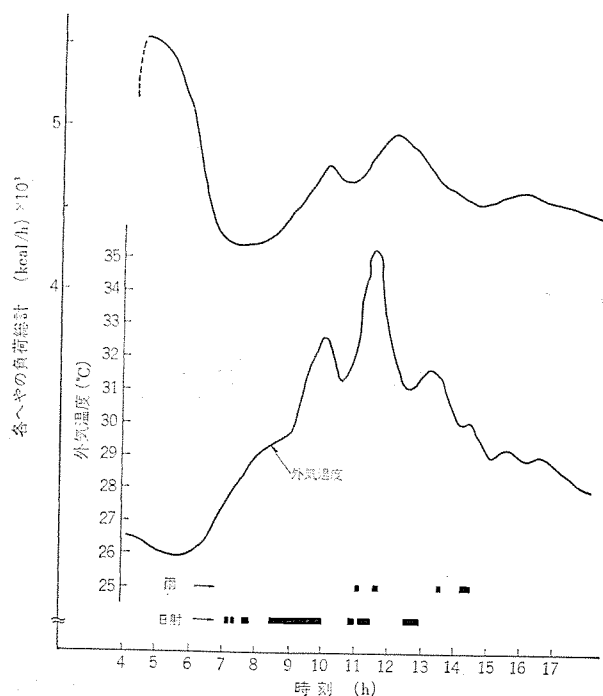


図 4.1 冷房負荷と外気温度 (A 住宅)
Heat load and outside air temperature (house A).

図 4.1 は A 住宅の冷房負荷と外気温度の関係を示す図で, 冷房機を運転しはじめてから 1.5 時間は立上り状態で, 外気温度が低い割には大きな負荷をもっており, 2~3 時間で定常状態になり, あとは外気温度の変化や日射の変化にしたがって負荷は変動する。これより冷暖房負荷の特長をあげると,

(1) 暖房時に 2 階の熱負荷は 1 階の熱負荷に比べ 30~40 % 小さい。これは 1 階の天井を通して熱が伝わり 2 階の床を暖めているためである。冷房時は逆に 2 階の負荷が 1 階にくらべて 40~50 % 大きくなっているが, 2 階は天井が外気および日射による熱負荷を大きく受けているためである。

(2) 冷暖房負荷に大きな影響を与える要因は窓で, とくに冷房時において窓から入る日射負荷を正確にとらえておくことが必要である。たとえば, ひさしや樹木などにより日陰をつくると日射の影響は 1/3~1/10 に減少する場合がある。

(3) 日射の室内冷房負荷におよぼす影響は西・東・南・北の順に大きく, 太陽の高度に関係している。南に面したへやは, 太陽高度が高く日射はひさしなどにさえぎられ室内にほとんど射し込まないため, 太陽高度の低い西や東に面したへやより日射の影響が小さい。

(4) 立上がり状態における負荷は昼間の最大負荷よりも, かなり大きくなっている。

(5) 外気温度あるいは日射の変化と熱負荷との時間遅れは 0.5~1.0 時間程度ある。

(6) 床面積 1 m 2 についての暖房負荷は約 80~130 kcal/h, 冷房負荷は約 50~120 kcal/h 程度で HASS-108 (空気調和衛生工学会規格) の計算値にくらべてかなり小さな値になっている。暖房負荷は文献⁽¹⁾の和風木造で床面 1 m 2 当たり 60~150 kcal/h の値とよく一致している。

(7) 外壁の熱通過率は 0.1~1.0 kcal/m 2 h $^{\circ}$ C で, 文献⁽²⁾の乾式壁構造の外壁熱通過率 0.3~1.4 にかなり近い値を示している。

4.1.2 室内温度分布

ファンコイルユニット式の A 住宅 およびダクト式の B 住宅の各へや温度分布をみると, 水平方向の温度差はほとんどなく, かなり均一であるが上下方向の温度差は大きい。この傾向は暖房も冷房も同様であるが, 風の吹出し方向あるいは吹出し口の位置により, かなり改善される。空気の性質によって暖かい空気はへやの上部に, 冷たい空気はへやの下部に分布するので, 暖房時における上向き吹出しあるいは上部吹出し口の場合には, 暖かい空気は上部に滞留しやすく, 上下の温度差は大きくなる。しかし水平吹出しのファンコイルユニットを設置した室内の温度分布は, 暖かい空気が床上約 50 cm の高さに吹出されるため, 上下方向の温度差は小さく, 室内全体の温度分布は均一で快適な環境となる。冷房時は, 暖房時と逆に, 上向き吹出しの場合, 上方に吹出された冷たい空気は自然循環によって上下方向の空気が混合されるので, 室内全体の温度分布は均一になる。しかし水平吹出しの場合, 冷たい空気はへやの下部に滞留し, 上下の温度差はつきやすくなる。

上向き吹出しのファンコイルユニットのファンを暖房時に停止すると, 上部の暖かい空気が冷えて下降し下部の冷たい空気と混合され, 上下方向の温度差は急速に小さくなり温度分布は均一化される。このように, 室内温度分布を均一にするためには, 暖房時は下向き吹出しあるいは下部吹出しが適し, 冷房時には上向き吹出しあるいは上部吹出し口が適している。また暖房時に上向き吹出しでもファンコイ

ユニットのファンをある一定間隔で on・off することにより、上下の温度差を小さくし、かなり良い室内温度分布を実現することができる。表 4.2 に吹出し方式の違いによる温度分布の比較を示す。

上向き吹出しファンコイルユニットの暖房時および冷房時の室内温度変化を図 4.2、4.3 によって暖房時の 1 時間あたりの室内温度立上り状況を見ると、暖房する前の室温が 13°C のとき室内中央部で室温が 20°C まで達する時間は約 30 分、冷房する前の室温が 30°C のとき 27°C まで達する時間は約 30 分である。

4.1.3 気流分布

室内の温度分布は、ファンコイルユニットの吹出し方向により温度差に違いがでてくることを述べたが、これは煙などの流線により観察した気流分布によっても裏付けられる。図 4.4 (a) は冷房時の上向き吹出しファンコイルユニットのついた居間の垂直断面、気流分布を示し

表 4.2 吹出し方式による温度分布
Temperature difference by flowing method.

	照 地	風吹き出し位置	室 名	室内温度分布 (部) °C		
				左右および前後	上下の温度差	上、中と中、下の温度差
A 住宅	暖房	上	居間	ほとんどなし	7~9	上、中<中、下
		下	和室	ほとんどなし	4~5	上、中<中、下
	冷房	上	居間	ほとんどなし	0~1	上、中=中、下
		下	和室	ほとんどなし	4~5	上、中>中、下
B 住宅	暖房	上	和室	ほとんどなし	1~2	上、中<中、下
		上	洋室	ほとんどなし	10~12	上、中<中、下

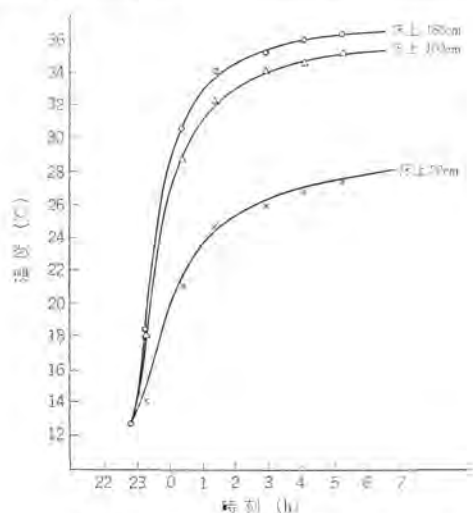


図 4.2 暖房時の上向き吹出し室温の上昇
Room temperature rise at heating by blow up type fan coil unit.

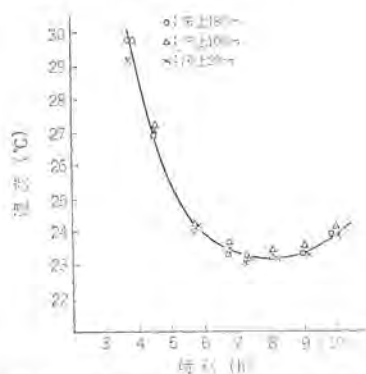


図 4.3 冷房時の上向き吹出し室温の降下
Room temperature fall at cooling by blow up type fan coil unit.

たものであるが、ファンコイルユニットから帯状に上方に吹き出された風は、へやの対向壁に沿って下降し、下部の吸込み口へと気流が室内を一循環している。冷房時には、上方に吹き上げられた冷たい空気は自然循環により徐々に降下するが、暖房時には、図 4.5 (a) に示すように、暖かい空気は上部に滞留し、上下の空気の混合は起こりにくい。図 4.4 (b) は冷房時の水平吹出しファンコイルユニットのついた和室の垂直断面、気流分布を示したものであるが、吹出された冷たい空気は、室内の床下 100 cm くらいのところでのみ循環し、上下の空気の混合は起こらない。暖房時には図 4.5 (b) に示すように、吹出された暖かい空気は自然循環で部屋の上部に上昇して上下の空気が混合される。

4.2 換気量

自然換気は、おもにとびら・窓・壁・天井などの間げきより行なわれ、また部屋内外の風速・温度差に左右される。

表 4.3 はへやの換気回数の測定結果で、換気回数は各へやとも 1.2 回前後であるが、測定中平均 10 回ほどのとびら開閉があり、この要因を取り去れば換気回数はさらに小さくなる。

家屋全体としての換気回数は 0.6 回であり、へやの換気回数とくらべて約半分程度と小さいことから、各へやの換気の多くはへや相互あるいはへやと廊下との間で行なわれ、外気との交換は少ないと言える。

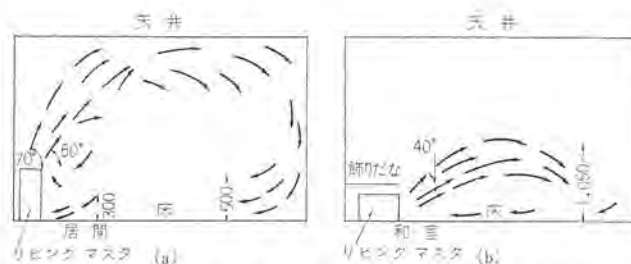


図 4.4 冷房時の気流分布
Air flowing distribution at cooling (house A).

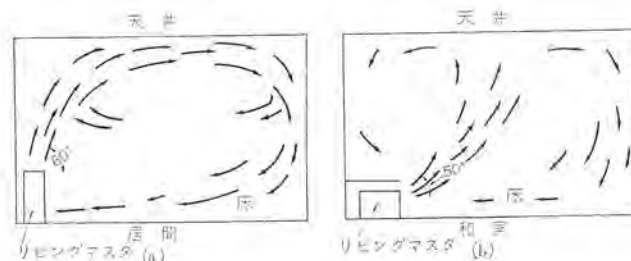


図 4.5 暖房時の気流分布
Air flowing distribution at heating (house A)

表 4.3 換気回数 (A 住宅)
Ventilation frequency (house A).

	居 間	和 室	寝 室	子供室	家屋全体
換 気 回 数	1.18	1.44	0.66	1.21	0.61

表 4.4 各室の熱容量 (A 住宅)
Room heating capacities (house A).

	居 間	和 室	洋 間	寝 室	子供室
熱 容 量 kcal/°C	135	135	174	159	136
壁面 1m ² あたり熱容量 kcal/m ² ・°C	1.9	2.2	2.4	2.5	2.6

表 4.5 ダクトからの漏音 (B 住宅)
Noise leak from air ducts (house B).

単位 phon

No	試 験 条 件		1 階			2 階	
	項 目	ダクト吹出口	居 間	洋 間	寝 室	子供室	和 室
1	標準音笛 (暗騒音 52 phon)	開	65	65	66	55	55
2	標準音笛 (暗騒音 53 phon)	閉	65	64	64	55	54
3	洋間で標準音笛	開		笛	57		
4	洋間で標準音笛	閉		笛	57		

4.3 熱容量

表 4.4 に各部屋の熱容量を示す。冷房および暖房時では室内湿度の差が、室内空気の潜熱量の差となるため、冷房時の熱容量は暖房時の熱容量より 20~30 kcal/°C 程度大きくなる。

へやの熱容量は、室内の家具の設置状況により違ってくるが、窓・とびらなどを除いたへやを囲む全壁面積 1 m² あたり 1.9~2.6 kcal/m²°C で、平均すると約 2.3 kcal/m²°C である。

4.4 ダクトからの漏音

B 住宅に施されたエアダクトは外形寸法 300×150 mm、厚さ 25 mm のグラスウール製で、その外側はアルミはくでカバーされている。

熱源機器より発生する騒音が各へやにおよぼす影響、およびへやから他のへやへの漏音について標準音笛を鳴らして測定した結果を表 4.5 に示す。実験 1 および 2 は、熱源機器の騒音発生部で標準音笛を鳴らし、各へやにある吹出し口を開放したときと、厚板で閉鎖したときの比較である。1 階の各へやは 64 ないし 65 ホンで暗騒音より 11~14 ホン大きくでているが、2 階では 2~3 ホン大きくなるだけで、またダクトの吹出し口の開閉にはほとんど影響されていない。実験 3 および 4 は、洋間中央部で標準音笛を鳴らしたとき、その隣りにある和室中央における騒音の測定結果で、吹出し口の開閉による差をみたものであるが、差はほとんどみられない。この洋間と和室とは押入れを隔てて隣接しており、吹出し口の間隔はほぼ 80 cm で、メインダクトの両側面から分岐したダクトで連絡されている。

このように、グラスウール製ダクトはすぐれた防音・吸音性能をもっ

ており、住宅においてダクトによる空調方式を採用しても、従来しばしば起こった金属性ダクトによる音の伝搬などはほとんどない。漏音あるいは漏話は、へやの間仕切りおよびとびらからによるものがほとんどである。

冷暖房環境実測の主要結果をまとめると、熱負荷は良好な断熱工事が施こされている高級プレハブ住宅ではかなり小さく、空調単位床面積あたり 60~140 kcal/m² h °C である。各へやの換気回数は 1.2 回程度であるが、家屋全体では 0.6 回とかなり小さく、家屋全体が一つの密閉容器化するおそれがあり、家屋としての換気が必要である。室内温度分布についてみると、気流分布からも裏付けられるが、暖房の場合は下吹出し、冷房の場合は上吹出しが室内空気の自然循環を助長させ、分布を均一にさせる。ダクト式においても同様に施工に際して吹出し口およびガリの位置関係、形状に留意する必要がある。熱容量は、室内家具の設置状況により変化するが、大体壁面積 1 m² あたり 2.3 kcal/m²°C 程度である。ダクトからの漏音については、グラスウール製のダクトを使用すればほとんど問題ない。

5. む す び

木造プレハブ住宅は今後も大いに需要の増大が期待され、同時に快適な住環境を提供する空調設備も住宅と密接な関係があるので、その需要もますます拡大していくであろう。

ここでは、高級木造プレハブ住宅の冷暖房環境の実測結果を述べたが、この結果は建物の構造・気象条件などを詳細に検討して行なった計算値とよく一致した。今後は空調の立上り負荷に大きな影響をもつ熱容量についてさらに検討をすすめ、温度分布、気流分布などを模型によりシミュレーションできるようにして、住宅の快適な空調環境の実現に寄与していきたい。

参 考 文 献

- (1) 渡辺：建築計画原論, I (昭 26) 丸善
- (2) 木村ほか：空調調和と冷凍, 6, No. 7, 17 (昭 41)

ヒートポンプ式冷暖房

岩崎 善彦*・玉山 敷**

Heat Pump Type Air Conditioners

Wakayama Works

Yoshihiko IWASAKI

Shizuoka Works

Satoshi TAMAYAMA

Heat pumps making use of air as a heat source are getting popular recently in the heating of residences of cities for they are free from the worry of public hazard. Being simple in operation and easy in maintenance, they are appreciated by the users and a good many number of them are installed in small and medium sized houses.

In this article are introduced several new developments of heat pumps coming under the category. Types CRAH and ES are provided with a newly developed Hi/Re/Li system for their refrigerant cycle, operating an air to water heat pump. On the other hand, models GCH and GHU are equipped with an air to air device. Their specification, construction and performance are explained for the reference to future users of the arrangements.

1. ま え が き

最近都心部において公害を出さない冷暖房装置として空気を熱源とするヒートポンプが多く用いられるようになってきているが、操作および保守の容易なことより中小規模の住宅にも普及しはじめてきている。この空気を熱源とするヒートポンプ方式に空気を直接加熱冷却する方式のものと、水を加熱冷却する方式のものがあるが、いずれの方式も従来のものは、外気温度の低いとき空気中の水分が氷結しやすく、霜取り運転がひん繁で暖房能力が極度に低下するものが多かった。また水を加熱冷却する方式のものは暖房時においてその温水温度は凝縮圧力、吐出ガス温度の関係から従来のものでは出口水温が45℃どまりであり、せっかくヒートポンプで温水を得てもボイラに比べて室内側ユニットのサイズを大きくしなければならず設備費的に割高となり、特殊な用途しか適用されなかった。ヒートポンプで得られる温水温度を高くすることが一つの課題であった。

今回開発した空気熱源ヒートポンプは、冷媒回路に米国ウエスチングハウス社特許によるHi/Re/Liシステムを採用することにより、温水出口温度55℃まで可能になり、また外気温度の低い暖房にも十分能力を発揮することがわかった。本文ではCRAH形エアソースヒートポンプチャラーとES形深夜電力利用冷温水ユニット、およびGCH、GUH形セパレート形ヒートポンプについて述べる。

2. CRAH形エアソースヒートポンプチャラー

2.1 構造および仕様

(1) CRAH形エアソースヒートポンプチャラーの冷媒回路

CRAH形エアソースヒートポンプチャラーの冷媒回路については図2.1、2.2に示す。CRAH形に適用したHi/Re/Liシステムは、圧縮機より出た高圧高温ガスは四方切換弁を経て、暖房時は熱媒側熱交換器（冷房時は熱源側熱交換器）で凝縮し、冷媒液はマニホールドチェック弁を通して熱交換器付きアキュムレータおよび熱交換器を通過することにより十分過冷却され、過冷却調整弁を通して熱源側熱交換器（冷房時は熱媒側熱交換器）にて蒸発し、未蒸発液は熱交換器付きアキュムレータで液とガスを分離し、液は蒸発し、ガスのみを熱交換器に通すことにより、必要最少限のスーパーヒートを得て圧縮機に吸入される。

る。

Hi/Re/Liシステムの目的は、凝縮器の伝熱面積を凝縮に有効に利用するため、凝縮器内の冷媒液を必要以上に滞留させなく、また、蒸発器にはかわき度の少ない冷媒が供給されるため、蒸発器出口でも、冷媒はかわききらず、液冷媒も混入しており蒸発器全体にわたり、熱交換性能を向上させる。また、圧縮機に冷媒液を吸入させないようにアキュムレータを設け、さらに熱交換器を通して冷媒を完全にガス化してから圧縮機に吸入させる。

(2) 冷媒制御機器

Hi/Re/Liシステムは、凝縮液の過冷却度により制御する過冷却調整

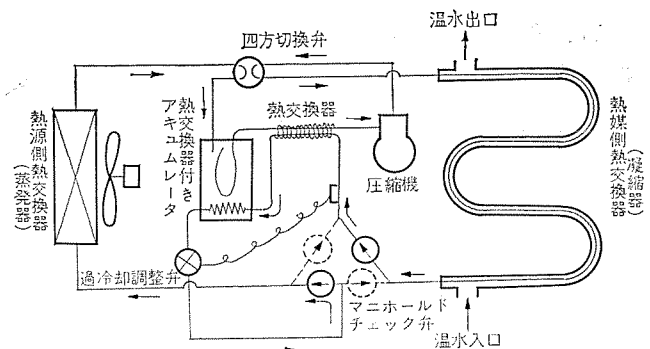


図 2.1 Hi/Re/Liシステムヒートポンプチャラー 暖房運転
Heating cycle of heatpump chiller with Hi/Re/Li system.

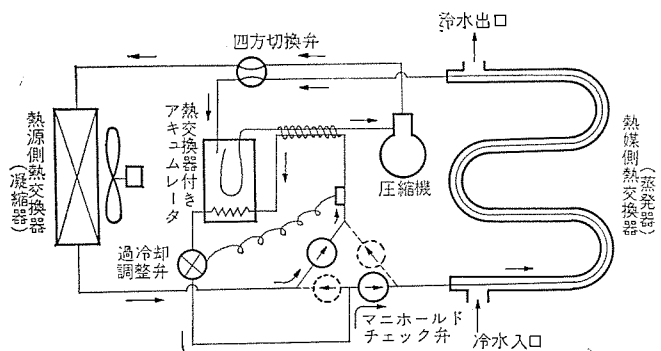


図 2.2 Hi/Re/Liシステムヒートポンプチャラー 冷房運転
Hi/Re/Li cycle of heatpump chiller with Hi/Re/Li system.

弁、冷却器より出た未蒸発冷媒液を高圧側冷媒液と熱交換させ、かつ圧縮機に冷媒液の吸入を防止させる熱交換器付きアキュムレータ、過冷却調整弁を通る冷媒の流れを冷たいずれも一定方向に保つマニホールドチェック弁から成り立っている。

熱交換器付きアキュムレータは、底部のうず巻状のコイルに凝縮液が通り圧縮機に冷媒液を吸込ませないために、冷却器から出た未蒸発液と熱交換させている。また上部に口を開きU字状に成形された吸入管は、アキュムレータ上部の冷媒ガスを吸込むとともに、U字部下部に設けられた孔からアキュムレータ内の油を管中の流速で吸引し、圧縮機へ戻す仕組みになっている。

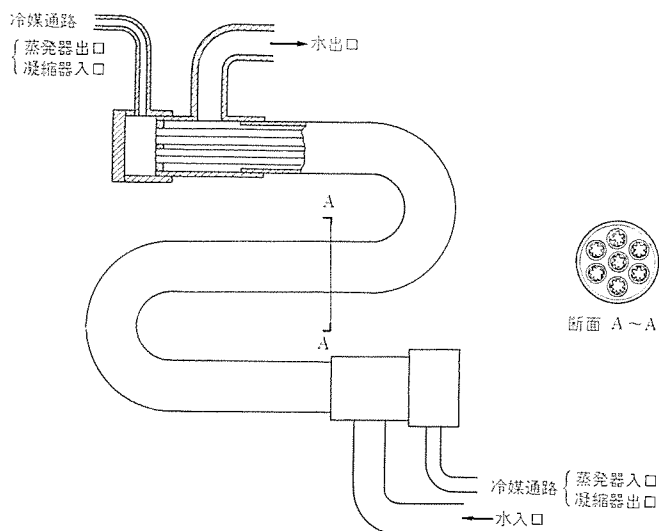


図 2.3 熱媒側熱交換器構造図
Construction of heat exchanger.

マニホールドチェック弁は、機能的には四つの逆止弁を一つに組み合わせたものである。逆止方法としてボールを採用している。このマニホールドチェック弁のため、冷媒の流れは、過冷却調整弁に対し自動的に方向づけられる。

(3) 熱媒側熱交換器

CRAH 形では、熱伝達の向上と暖房時の温水温度を上昇させる目的でチューブ方式を採用した。すなわち図 2.3 に示すように、外管(約75φガス管)に7本のインナーフィンチューブを入れ、これを長円状に巻いたものである。外観写真を図 2.4 に示す。

なお、本熱交換器は容量により外管サイズ、インナーフィンチューブの本数を変えている。

熱交換器で水と冷媒を向流させることにより、暖房時の過熱ガス部分の熱交換が有効に行なわれ高温水を得られる一因となっている。

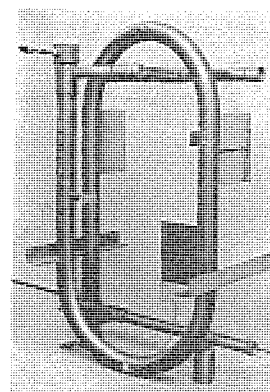


図 2.4 熱媒側熱交換器外観写真
Exterior view of heat exchanger.

表 2.1 空対水ヒートポンプユニット仕様一覧表

Specifications of air to water heatpump unit.

仕 様	形 名	単 位	CRAH-4	CRAH-5	CRAH-8	CRAH-10	CRAH-15	CRAH-20
本 体	塗 装 色		マンセル 10B 8/2 マンセル 5PB 5/8 ツートンカラー					
	外 形 寸 法							
	幅	mm	900	900	1,000	900	1,980	2,650
	奥 行	mm	890	890	1,400	1,500	1,120	1,120
性 能	高 さ	mm	1,310	1,510	1,700	1,800	2,120	2,143
	冷 却 能 力	kcal/h	6,400	10,400	14,700	20,800	29,400	41,600
	加 熱 能 力	kcal/h	7,700	12,800	18,200	26,000	36,400	52,000
	電 源		三相 200V 50/60Hz					
圧 縮 機	形 式 × 台 数	台	全密閉×1					
	形 名		VD-030	VD-048	VD-072	VD-090	VD-072	VD-090
	起 動 方 式		直 入 起 動					
	最 大 起 動 電 流	A	54.1/46.6	91.6/79.0	147.1/128.4	188.2/165.4	171.6/152.8	215.9/192.7
	回 転 数	rpm	2,878/3,485	2,900/3,400	2,850/3,420	2,910/3,500	2,850/3,420	2,910/3,500
	電 動 機 容 量	kW	2.5	3.75	5.5	7.5	5.5×2	7.5×2
空 気 側 熱 交 換 器	冷 凍 能 力 RT	法 定	1.28/1.55	2.10/2.40	3.0/3.6	3.85/4.62	3.0/3.6×2	3.85/4.62×2
	送 風 機		プレートフィンチューブ式					
水 交 換 熱 器	形 式 × 台 数	台	プロペラファン 40cm×4					
	出 力	W	50×4					
制 御 方 式	形 式		50×6					
	接 続 (メス RTネジ)		50×8					
	シ ス テ ム		50×10					
	冷 媒		チューブインチューブ式					
	冷 媒 制 御		1 1/4 B					
	油		1 1/2 B					
	冷 暖 切 換		2 B					
	デ フ ロ ス ト 方 式		Hi/Re/Li					
	暖 房 負 荷 制 御		R-22 (CHC LF2) チャージ済					
	保 護 装 置		過 冷 却 調 - 整 弁					
製 品 重 量	kg		冷凍機油 スニソ 3G					
			自 動 切 換					
			温度感知ホットガス自動切換					
			高低圧圧力開閉器 過電流継電器 巻線保護サーモ 凍結防止サーモ					
			ハイアンビエントコントロール					
			300	325	400	420	1,200	1,470

注) 冷却能力、加熱能力はおののおの下記の条件におけるものである

1 温度条件

冷却能力

外 気 温 度	35°C
冷 水 入 口 温 度	11°C
冷 水 出 口 温 度	7°C

加熱能力

外 気 温 度	7°C
温 水 入 口 温 度	41°C
温 水 出 口 温 度	45°C

2 電源周波数 60 Hz (50 Hz での能力は 85% となる)

(4) 熱源側熱交換器

熱源は空気のため、クロスフィンチューブ熱交換器を使用し、強性通風用のファンとして、騒音の点、容量制御の点（たとえば暖房時は外気温上昇時の過負荷防止、冷房時は夜間の騒音コントロール）を考慮して、40 cm の有圧ファンを数多く使用した。

(5) CRAH 形 エアソースヒートポンプチャラーの仕様

仕様については表 2. 1 に示す。

2. 2 使用例と性能

CRAH 形 エアソースヒートポンプチャラーの特性を図 2. 5, 2. 6 に示すとく、冷房時では冷水温度が低い割には蒸発温度が割合高いため、凍結などを起こす心配がなく低い水温が得られる。

また、暖房については温水出口温度が高い割には凝縮温度が上らず、安定した運転条件で高温水が得られることを示している。熱源側熱交換器についても、外気温に対し蒸発温度のアプローチが少ないため着霜がしにくく、総合の成績係数も高く維持できる。また冷房時、暖房時とも外気温が広範囲に変化しても高い効率で十分使用できるものである。

2. 3 CRAH 形の特長

2. 3. 1 高温水が得られる

一般の冷凍サイクルでも相当な高温水が得られるが、この場合、吐出ガス温度の上昇、吐出圧力の上昇、成績係数の低下などの問題があったが、CRAH 形ではこれらを解決したものである。

すなわち凝縮器は過冷却制御のため余分な冷媒液が滞留しないため凝縮圧力の上昇は少ない。また冷媒と水を向流させているため、冷媒ガスの過熱域との熱交換が有効に行われ、凝縮温度よりも高い温水を出すこともあり得る。なお、吐出ガスの過熱分との熱交換で小規模の給湯用水も得ることができる。

2. 3. 2 熱交換効率が良い

従来の冷媒流量制御は温度式膨張弁による冷却器出口のスーパーヒートコントロールをしていたが、CRAH 形では凝縮器出口のサブクールコントロール方式を採用しているため、冷却器にはかわき度の少ない冷媒を供給されるため冷却器出口でも湿度の大きいものとなり、蒸発器全周の伝熱面積が有効に利用でき、熱伝達が効果的である。またこのことは、ヒートポンプとして使用した際、外気温が低くても着霜がしがたく、運転に好都合である。

2. 3. 3 油戻しが確実である

蒸発器から圧縮機への油戻しは重要である。油戻しは間欠的よりも連続的にしなければならない。CRAH 形では油は多量の冷媒液と混合した状態で蒸発器からアキュムレータに帰ってくる。したがって配管中における粘度も冷媒に近く相当低く、この方式であると、パイプ流速の遅い低負荷運転においても油戻しは十分に保証できるものである。

2. 4 CRAH 形の応用について

Hi/Re/Li システムを全面的に取り入れた CRAH 形 エアソースヒートポンプチャラーは、高い信頼性、高い効率、広い使用範囲を保証するものである。エアソースヒートポンプチャラー 1 台のみで冷暖房できるとすれば、設備費、維持費ともに安くなるがヒートポンプユニットのみの暖房では、朝などの外気温が低いウォーミングアップ時の暖房効果が十分に得られないことが考えられるが、外気温の高い昼間の運転で余分となる熱量を蓄熱しておいて、朝夕などの高負荷時の暖房に供すれば問題は無い。また蓄熱方式であると、デフロスト時にも室内に冷風の出ることもなく、早朝に要求される急速暖房等効果的な暖房が得られる

ものである。

蓄熱式暖房についての 1 原理図を図 2. 7 に示す。すなわち蓄熱そうを持ち、空調不要時に蓄熱そうに蓄熱しておき、これを空調に

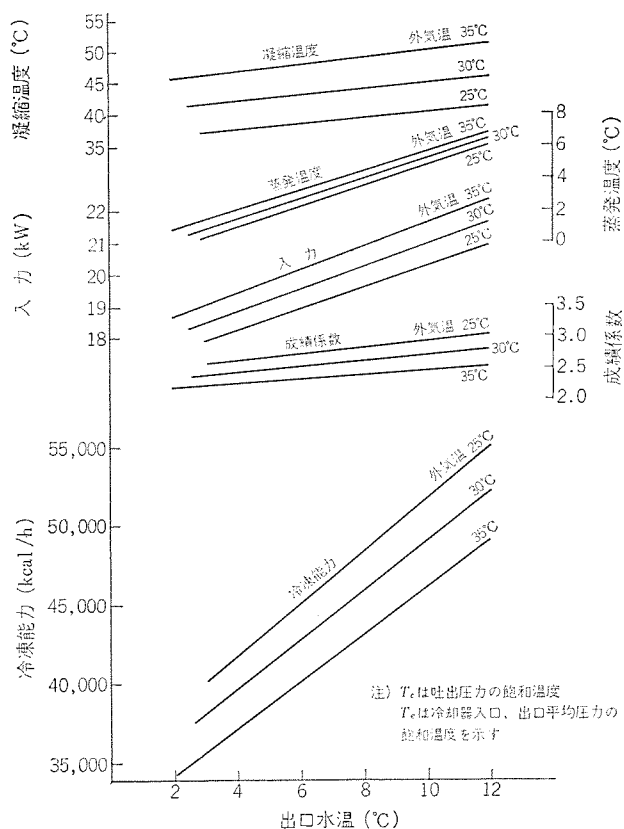


図 2. 5 CRAH-20 形 冷房運転特性
Cooling performance curves of type CRAH-20.

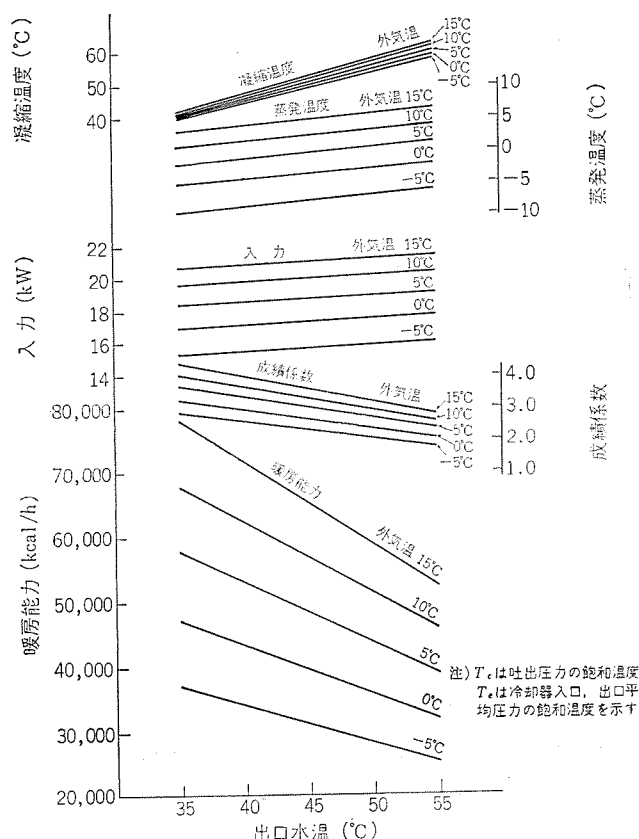


図 2. 6 CRAH-20 形 暖房運転特性
Heating performance curves of type CRAH-20.

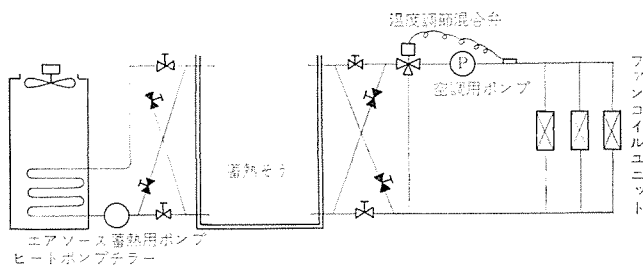


図 2.7 蓄熱式冷暖房原理図

Heating and cooling system making use of storage formula.

利用する。この場合室内のファンコイルユニットに入る水温を適温で一定にするため三方混合弁を用い制御するのである。

なお、冷暖負荷のアンバランスについて蓄熱そうにヒータを入れ、料金の安い深夜電力を利用することも考えられる。また、ヒートポンプチャラーの運転に深夜電力と一般電力を併用するときは、深夜電力を優先させるような経済運転を得るためにいろいろな制御が考えられる。

3. 蓄冷熱そう付きヒートポンプユニット

中小規模の冷暖房用として、エアソースヒートポンプチャラーと蓄熱そうを別個に設けるには、手間がかかるだけでなくスペースも割合大きくなる。これらを解決するため、蓄熱そうは、暖房時には85℃の蓄熱、冷房時には水を貯蔵するようにして縮小化を計り、エアソースヒートポンプチャラーと一体化し、しかも蓄冷熱には料金の安い深夜電力を利用するものが、ES-32S形蓄冷熱ユニットである。

すなわち、暖房時には夜間に深夜電力を利用したヒータで85℃の温水を作り、朝夕の暖房高負荷に耐え、昼間の負荷についてはヒートポンプチャラーの併用運転でまかなう。冷房時も同様で、夜間に氷を生成させておくものである。

3.1 ES形ユニットの構造と仕様

この構造図を図3.1に示し、仕様を表3.1に、外観写真を図3.2に示す。構成は三つの部分よりなり、上部に深夜電力で蓄冷する1.2kW密閉形空冷コンデンシングユニット、中間部に深夜電力用ヒータ

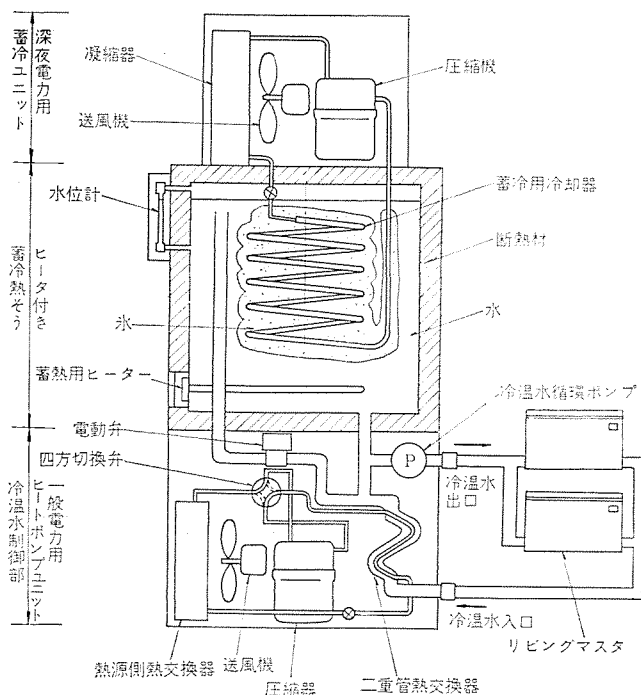


図 3.1 ESユニット構造図
Construction of ES unit.

4.4kWおよび蓄冷用冷却コイルを内蔵した、断熱された内容積550lの蓄冷熱そう、下部には昼間の空調負荷に応じ、蓄冷熱そう中の熱量の不足分を補う1.2kW密閉形圧縮機によるエアソースヒートポンプチャラーと、そこから冷温水を室内ユニットへ送り込む循環ポンプと水の温度を制御する水温制御部とを配置している。

動作について説明すると、暖房時は深夜時間帯（夜10時～朝6時）になると、深夜電力ヒータに通電され蓄熱そうの水温は約85℃に上昇する。朝暖房必要時には室内熱交換器を運転するが、温水は暖房指示に従い、循環ポンプによりそこから高温水が供給される。ただし室内熱交換器には60℃程度の温水が循環する。

表 3.1 ES-32S仕様表
Specifications of ES-32S.

電				源		単相 3 線式 100 V 200 V		
深				夜 蓄		冷		有
深				夜 蓄		熱		有
昼 間 の ヒ ー ト ポ ン プ								有
外 形 寸 法								幅 997×高さ 1,823×奥行 1,032
構 成	深 夜 電 力	冷 房	圧 縮 機		200 V 1φ 1.2 kW (出力)			
			冷 却 器		ベアチューブ			
			凝 縮 器		クロスフィンチューブ			
			フ ァ ン		25 cm プロペラ			
		暖房		ヒ ー タ		4.4 kW		
	一 般 電 力	圧 縮 機		200 V 1φ 1.2 kW				
		水 側 熱 交 換 器		2 重管コイル				
		空 気 側 熱 交 換 器		クロスフィンチューブ				
		フ ァ ン		40 cm プロペラ				
	蓄 冷 熱 槽				550 l			
	循 環 ポ ン プ				VPL-86			
	流 量 制 御 弁				電動弁			
概 略 重 量				300 kg				
性 能	冷 房	日 最 大 能 力 (蓄冷量)		62,400(14,400) kcal/日				
		*1 平均能力	*2 短 時 間		5,120 kcal/h			
			長 時 間		4,160 kcal/h			
	暖 房	日 最 大 能 力 (蓄熱量)		61,400(19,800) kcal/日				
		*1 平均能力	*2 短 時 間		5,850 kcal/h			
			長 時 間		4,080 kcal/h			
	使用範囲 (外気温度)				冷			23～40℃
					暖			－5～15℃

注 1) 平均能力は配管損失を冷房 100 kcal/h, 暖房 200 kcal/h と仮定し算出した
2) 運転時間

	短時間	長時間
冷 房	8 時間	14 時間
暖 房	8 時間	16 時間

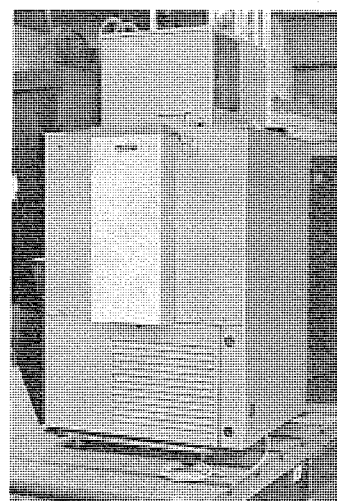


図 3.2 ES-32S 外観
Exterior view of ES-32S.

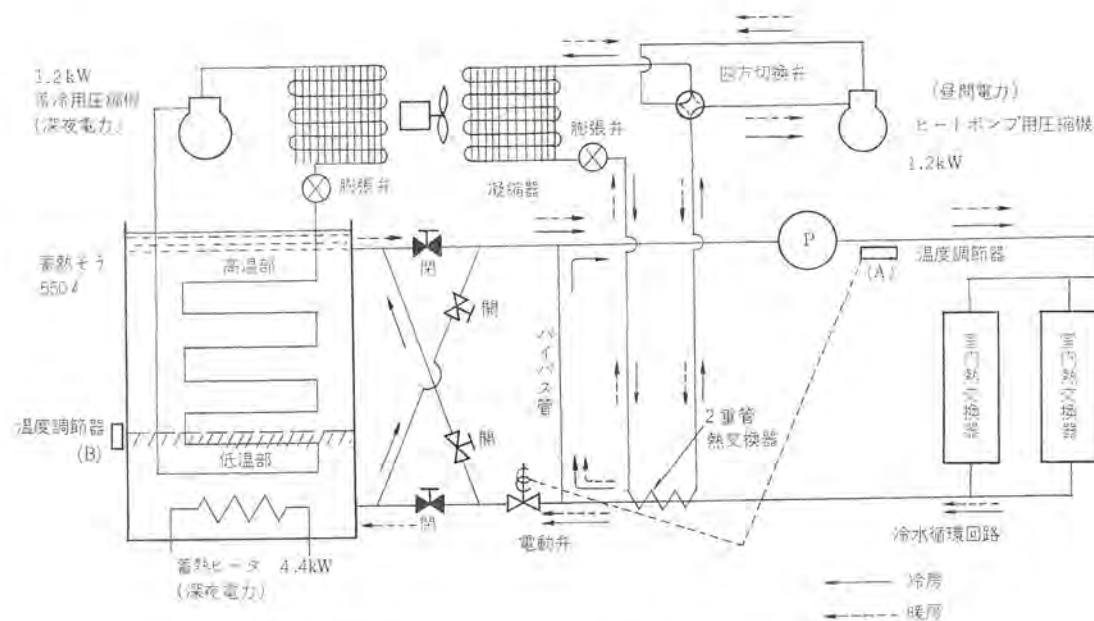


図 3.3 ES-32S の動作

Heating and cooling cycle of ES-32 S.

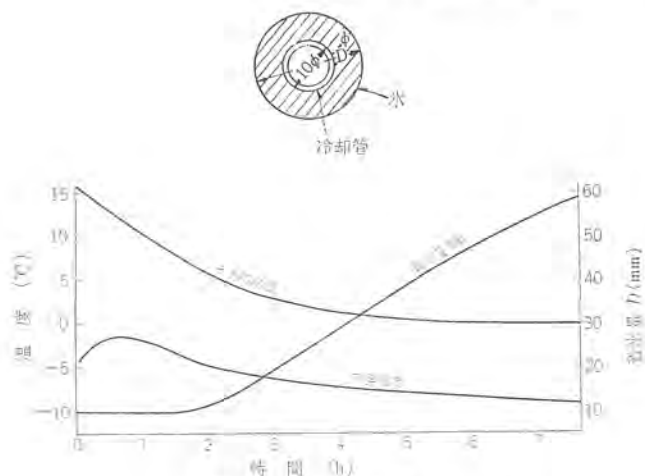


図 3.4 蓄冷特性
Performance curves of ice formation.

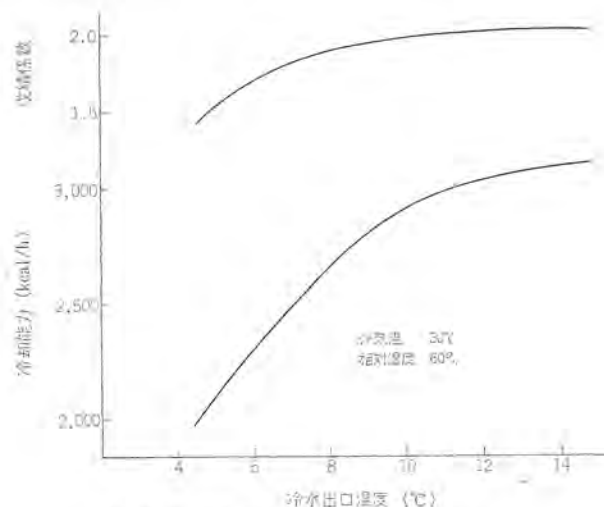


図 3.6 ES-32S ヒートポンプチャージ 冷却能力
Cooling performance curves of ES-32 S.

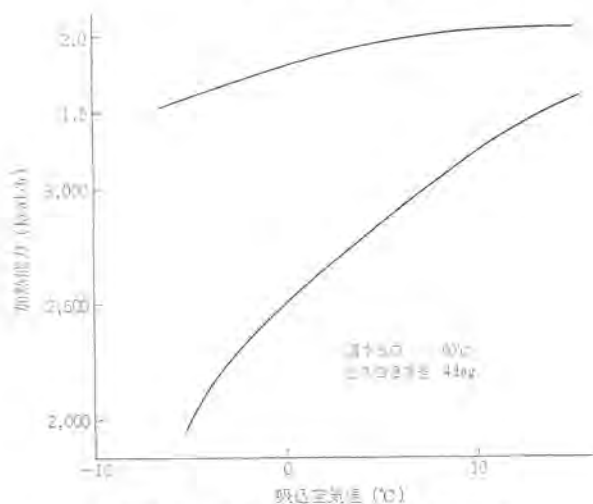


図 3.5 ES-32S ヒートポンプチャージ 加熱能力
Heating performance curves of ES-32 S.

なぜなら、そう(槽)の水温は 85°C であるが、電動弁が全開していてもバイパス管があるため温水はうすめられるからである。そして電動弁を通して低い温度の循環水がそうの下部に戻り、図 3.3 の温度調節器 B の位置まで低い温度の水位が上ると定常運転に入り、

室内熱交換器入口水温を 50°C 近辺に維持するように温度調節器 A で電動弁を開閉して制御する。

すなわち、朝の立上り時は急速な暖房を行ない、定常運転に入るとヒートポンプの運転と併用もできることにより、その温水消費を減少させることもできる。冷房時については暖房の場合と同様であるが、変わるのはヒータの代わりに蓄冷ユニットで氷を生成させ、またそこから水の取出し、戻りが温水と逆になることである。このため図 3.3 で蓄熱そうへ通ずるパイプを上下たすき掛けにしている。また暖房のような急速暖房のシステムは不要である。

3.2 ES 形ユニットの性能

(1) 蓄熱特性

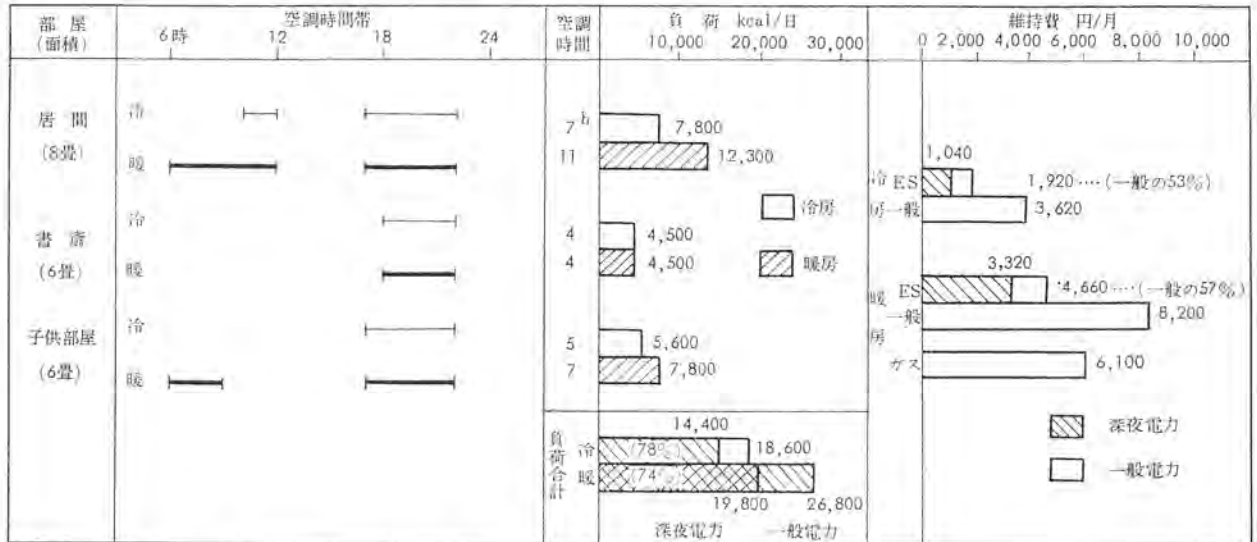
蓄熱特性はヒータによる入力と放熱による損失の差が蓄熱されるが、水温と外気温との温度差が大きいため、蓄熱に要した入力が必要暖房用に出せるのは約 80% 程度である。

(2) 蓄冷特性

蓄冷ユニットによる蓄冷特性を図 3.4 に示す。そこから放熱については暖房に比べ外気との温度差が小さいため少ないが、運転中の氷生成による蒸発温度の低下が問題であり、成績係数の低下防止

表 3.2 ES ユニットの運転例と維持費

Operation and expenses of ES unit.



- 注 1) 負荷率 暖房 160 kcal/m²h 冷房 140 kcal/m²h
 2) 維持費 ES の場合……深夜電力と一般電力の併用運転
 一般の場合……一般電力のみの運転
 冷房……ルームクーラー
 暖房……ヒートポンプ+ヒータ (ヒートポンプだけでは能力が不足するため負荷の 1/3 はヒータにて供給する)
 3) 電気 860 kcal/kWh 一般電力 12 円/kWh
 深夜電力 3 円/kWh+280 円/kW 月 (暖房)
 140 円/kW 月 (冷房)
 ガス 4,500 kcal/m³ 22.3 円/m³

のために、そうと熱交換器の構造組み合わせに工夫している。

(3) ヒートポンプ特性

ヒートポンプは夏冬使用するものであるが、一般電力を使用するため維持費の面からも成績係数の向上が不可欠である。冷暖を通じ成績係数の高い冷媒サイクルが必要である。図 3.5、3.6 に特性を示す。

3.3 ES 形ユニットの機能的特長

構造説明、作動説明のとおり、このユニットはヒートポンプと蓄冷熱そうを組み合わせているため、おのおのの特長を持っている。

すなわち完全蓄冷熱式であれば、蓄冷熱量の増大に伴う構造的、容量的増大と、冷却ユニット等は冷房シーズンの運転のみとなりか動率が悪い。たとえば住宅の空調負荷として 50,000 kcal/日と仮定すれば、氷 600 kg 程度が必要である。また、暖房で考えれば 85°C より 45°C までの 40°C を使えたとすれば 1,200 l が必要で、まず蓄冷熱そうの設置が問題となる。エアソースヒートポンプチャラーと併用すれば、ヒートポンプチャラーは 1 台で冷暖房共用できるためか動率も高く、また効率がヒータの 2～3 倍であるため、電気料金は kcal/h あたり少なくてすむ。

逆にヒートポンプチャラーだけによる冷暖房を考えた場合、外気温の低いときには十分な暖房効果が得られない、あるいはデフロスト時の暖房ができない、温水の出口水温は 55°C が限界であり、さらに住宅用として入りやすい単相電源のため、大きい容量の圧縮機は市場性がない、しかし蓄冷熱そうを設けることにより、早朝などの急速暖房のためにヒートポンプよりも高い温水の供給が可能である。

なお ES-32 S 形的应用として、夜間の蓄冷ユニットのみ取りはずした ES-21 S 形がある。住宅においても暖房は多数部屋が必要であるが、冷房は同時運転が少ない使い方が一般的であり、このため暖房は蓄熱とヒートポンプの併用であるが、冷房は一般電力を使用するヒートポンプのみによる短時間、あるいはフライング効果をもたせた蓄冷冷房としている。

3.4 維持費について

ES 方式と一般の方式の維持費の比較を表 3.2 に示す。

4. セパレート形空気式ヒートポンプ GCH・GUH-30

GCH・GUH 形空気式ヒートポンプは室内に据え付けられる天井吊り形のファンコイルユニット GCH と、室外に据え付けられる圧縮機を内蔵した室外ユニット GUH と、これら両者を接続するブレーチャージ管および温度調節器とスイッチよりなるコントローラから構成される。

図 4.1 は GCH-30 形、図 4.2 は GUH-30 形の外形図。

4.1 構造、仕様

室内ユニット GCH-30 形は後面吸込み、前面吹出しの天井吊形式をとり、本来は電着塗装を施した鉄製わく組を骨格とし、これにクロスフィンタイプの冷媒-空気熱交換器、送風機組立、電気制御品箱を取り付けその外部へカラーアルミの化粧外板、吹出ルーバ、吸込口へはアルミウールのエアフィルタを取り付けたもので、小形軽量で据付けやすいものとした。

また室外ユニット GUH-30 形は 1 枚の台板の上へ圧縮機、クロスフィンタイプの熱交換器、アキュムレータ等を組み込み冷媒回路を構成し、その上部へ低騒音のシロッコファンを両側面パネルを支持板として取付けた後、天井パネル、正面の点検パネルを取付けたもので、熱源の空気はこのユニットの片面より吸い込み、吹き出すことができるよう構成してある。

表 4.1 に GCH・GUH-30 形の主仕様を示す。

4.2 冷媒回路

冷媒回路は空気式ヒートポンプ用として開発された Hi/Re/Li システムを採用した。Hi/Re/Li システムの詳細は、前記 CRAH に記載されているように凝縮器、および冷却器として働く熱交換器の伝熱面積を有効に利用できる方式であるので、とくに暖房サイクルにおいて外気温度が 0°C 以下の低い場合でも暖房能力が極度に低下することなく

所定の能力を発揮することができる。図 4. 3 に GCH・GUH-20 の冷媒回路を示す。

4. 3 電気配線

電気回路を図 4. 4 に示す。室内外ユニットの電源は三相 200 V を用い、操作回路は 24 V の低電を採用しているので人がたびたび操作するコントローラ（図 4. 5）へは、24 V の電圧しか加わらず安全である。保護回路はすべて自動リセット方式となっているので、圧縮機の過電流継電器 29 C、高圧開閉器 63 D は 1 X のリレーにて電氣的に自己保持されるので、保護装置が作動したときにパタパタ運転もなく、リセットの操作もコントローラを OFF にすることにより容易にリセットできる。

運転は冷房の場合、コントローラのスイッチ COOL にセットすると 52 F₁ が入り、室内側送風機が運転すると同時に 2 X が入り、室外側送風機および圧縮機が運転され冷房運転に入る。温度調節器 23 WA が

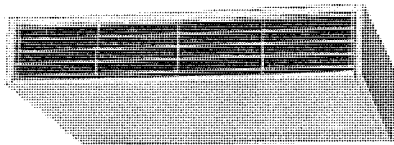


図 4. 1 GCH-30 外観
Exterior view of GCH-30.

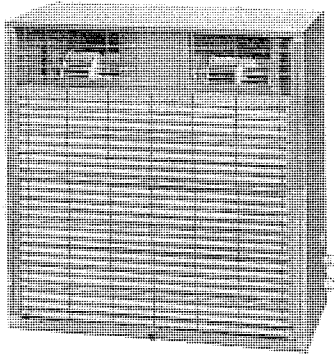


図 4. 2 GUH-30 外観
Exterior view of GUH-30.

表 4. 1 GCH・GUH-30 形仕様一覧
Specification of models GCH・GUH-30.

				形 名	GCH/GUH-30 A
性能	波 数			Hz	50/60
	冷 房 能 力			kcal/h	6,300/7,100
				kcal/h	6,300/7,100
	除 湿 量			l/h	3.5/4.0
	冷 房	全 入 力		kW	3.1/3.8
		全 電 流		A	11.5/12.8
	暖 房	全 入 力		kW	2.7/3.3(+3.0)
		全 電 流		A	10.0/11.3(+8.7)
	形 名				GCH-30
	電 源				3φ 200 V
室内ユニット	入 力 (冷房時)			kW	0.17/0.18
	入 力 (暖房時)			kW	0.17/0.18(+3.0)
	外形寸法	高 さ		mm	270
		幅		mm	1,000
	奥 行		mm	670	
	外 装				アクリル樹脂焼付け クリーム色
	冷 媒 制 御 方 式				—
	熱 交 換 器				クロスフィン
	送風機	形 式×個 数	シロッコファン×2		
		風 量	m ³ /min	18-23/20-25	
機 外 静 風 圧		mmAq	0		
室内ユニット	電 動 機 出 力			kW	0.1
	補助加熱器 (電気)			kW	3.0
	エ ア フ ィ ル タ				アルミウール
	重 量			kg	52
	形 名				GUH-30
	電 源				3φ 200 V
	入 力 (冷房時)			kW	2.9/3.6
	入 力 (暖房時)			kW	2.5/3.1
	外形寸法	高 さ		mm	850
		幅		mm	850
奥 行			mm	415	
室外ユニット	外 装				メラミン焼付け マンセル 2.5B 2.5/1
	圧縮機	形 名	VD-030		
		形 式×個 数	全密閉中吊式×1		
	電 動 機 容 量			kW	2.5
	冷 媒		R-22 3.0 kg		
	冷 媒 制 御 方 式				過冷却制御弁
	熱 交 換 器				クロスフィン
	送風機	形 式×個 数	シロッコファン×2		
		風 量	m ³ /min	42/50	
	室外ユニット	電 動 機 容 量			kW
霜 取 り 方 式				ホットガス式	
保 護 装 置				高圧開閉器可溶栓 圧：熱動温度開閉器、過電流継電器 送：熱動過電流継電器、ヒューズ	
重 量			kg	122	

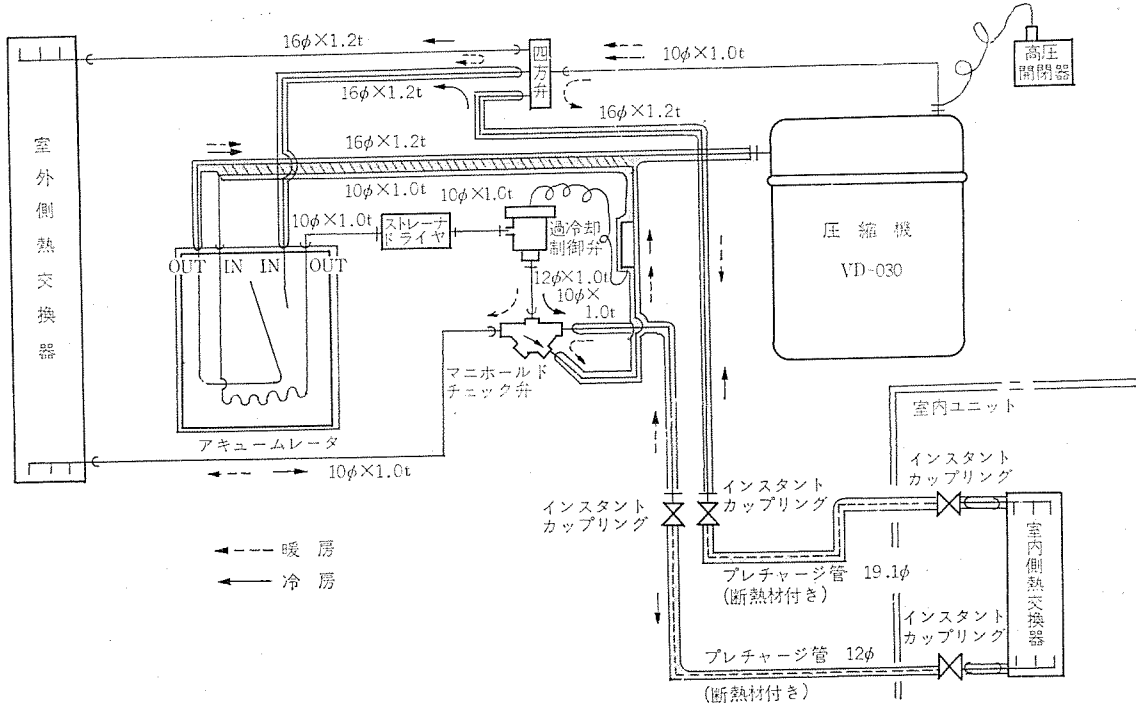
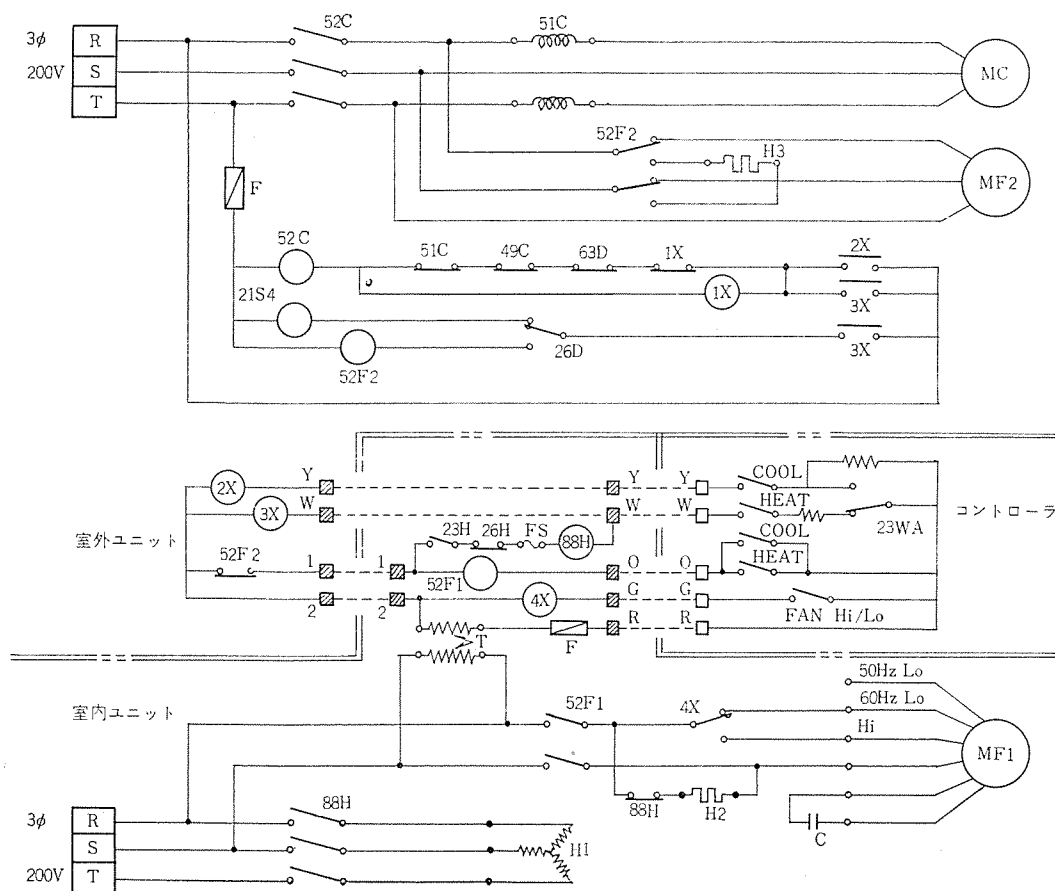


図 4. 3 GCH・GUH-30 形冷媒配管系統図

Refrigerant cycle of models GCH・GUH-30.



記号	品名
MC	圧縮機用電動機
MF1	室内送風機用電動機
MF2	室外送風機用電動機
52C	電磁接触器(圧縮機)
52F1	電磁接触器(室内送風機)
52F2	電磁接触器(室外送風機)
51C	過電流継電機(圧縮機)
49C	熱動温度開閉器(圧縮機)
63D	圧力開閉器(高圧)
26D	温度調節器(霜取り)
23WA	温度調節器(自動発停)
23H	温度調節器(暖房)
21S4	電磁弁(四方)
F	ヒューズ
T	変圧器
C	コンデンサ(運転)
1X	補助継電器
2X	補助継電器(冷房)
3X	補助継電器(暖房)
4X	補助継電器(微弱風)
88H	電磁接触器(電熱器)
H1	電熱器(暖房)
H2	コードヒータ(吹出し)
H3	コードヒータ(霜取り)
FS	温度ヒューズ
26H	温度開閉器(過熱防止)

図 4.4 GCH・GUH-30 形
電気結線図
Schematic wiring diagram of
models GCH・GUH-30.

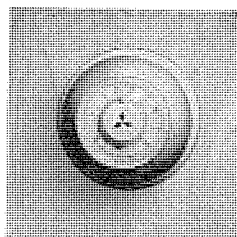


図 4.5 GCH・GUH-30 用コントローラ
Controller of models GCH・GUH-30.

作動したときは、室外送風機と圧縮機は止り室内側送風運転となる。暖房運転はスイッチを HEAT にセットすると、52F₁ が入り室内側送風機が運転されると同時に 3X が入り、室外送風機、圧縮機が運転されさらに 21S₄ の 4 方弁が作動し冷媒回路を切換えて暖房運転に入る。また室内側の吸込空気温度が非常に低い場合には、23H の温度開閉器が閉じ補助電熱器が入る。

4.4 デフロスト機構

空気式ヒートポンプは室外空気を熱源とし室外空気より熱を奪うため空気中の水分が 0°C 以下になると室外側熱交換器へ霜状に凍りつき空気の流れを妨げるのでこれを取り除かなければならない、本機はこのデフロスト機構として冷媒回路を冷房運転回路に切換え室外側熱交換器を凝縮器として作動させるホットガス霜取りサイクル方式をとっている。

霜の付着量の感知装置には、ガスチャージ式の温度開閉器を使用し(図 4.6)、霜の量がある一定以上になると吸入配管の温度が急激に下ることにより感知し、また霜が全部溶けると室外側熱交換器のフィン温度が 0°C 以上になることにより霜取りサイクルを終了する。このとき室内側の送風機は停止するので冷風が室内に吹出すことはない。図 4.7 に運転データを示す。霜取りは約 6 分で完了してい

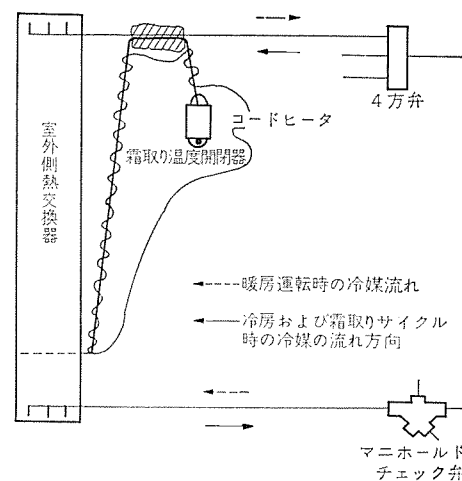


図 4.6 霜取り機構
Defrosting mechanism.

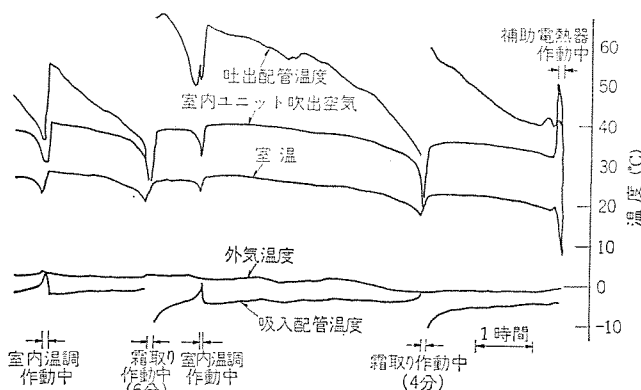


図 4.7 GCH・GUH-30 運転データ
Operation data of GCH・GUH-30.

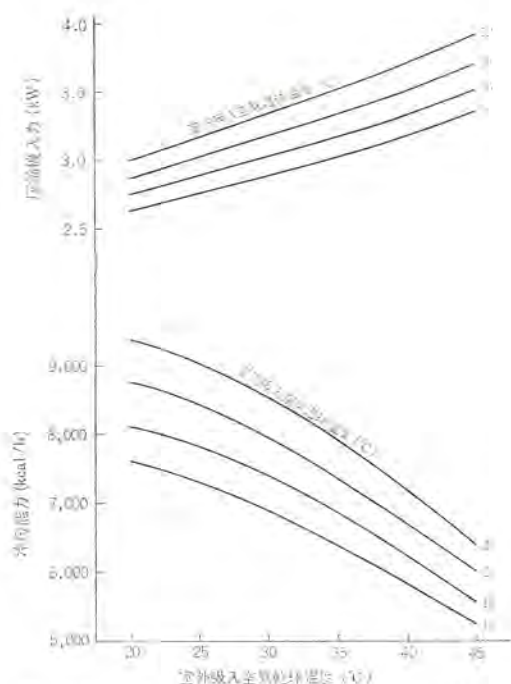


図 4.8 GCH・GUH-30 形 冷房能力線図 (60 Hz)
Cooling performance curves of models GCH・GUH-30 (60 Hz).

る。

4.5 性能

図 4.8 に冷房能力線図、図 4.9 に暖房能力線図を示す。空気式ヒートポンプの暖房能力は、熱源を外気に求めているため外気温が高くなると暖房能力は大きくなり、外気温が低くなると暖房能力は小さくなる。一方暖房される室の暖房負荷は、外気温と室内温度の差に比例するので外気温が下ると負荷は大きくなる。

いま図 4.7 のように外気温 7°C 室内温度 21°C のとき暖房能力と室内負荷が平衡している場合には、外気温が高くなると温度調節器による ON-OFF 運転となり室内温度を一定に保とうとするが、外気温が低い場合には能力不足となり室内温度は下がり寒くなる。これを避けるためには、外気温が低いときの能力にて機種を選定するかまたは補助加熱器を取り付ける必要がある。GCH-30 形は 3kW の補助加熱器を組込んでおり室内側の吸込空気温度が 15°C 以下の場合には補助加熱器が入る。図 4.7 の運転データにおいて運転の初めに補助加熱器が短時間入って早朝の室内温度の立上りを助けていることがわかる。

4.6 特長

(1) Hi/Re/Li システムの採用

特に低外気温時に熱交換器の伝熱面積を有効に使用できるので、 0°C 以下の外気温でも能力が極度に低下することなく高効率を発揮する。また、独特の熱交換器付き アキュムレータは、圧縮機への液戻りがなく冷媒回路は高い信頼性を発揮する。

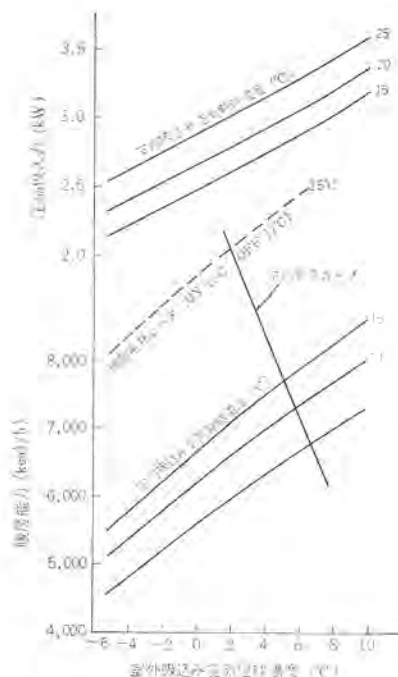


図 4.9 GCH・GUH-30 形 暖房能力線図 (60 Hz).
Heating performance curves of models GCH・GUH-30 (60 Hz).

(2) コントローラは安全な 24V 回路を使用

電気操作回路は安全性向上のため 24V としてあり、コントローラは円形のコンパクトなデザインで温度調節器、冷暖切換運転スイッチ、ファン強弱切換スイッチが付いており簡単に操作できる。

(3) 補助加熱器が標準装備

3kW の補助加熱器を標準で付けているので、外気温が極度に下がった場合でも暖房能力に不足は起こらない。また暖房運転開始時の温度立上り特性が早くすぐ室全体が均一に暖房される。

(4) 室内ユニットは据付け面積ゼロ

室内ユニットは、天井吊形で室内空間および床面積を有効に活用できる。また、天井片隅に据付けても重圧感のまったくないスマートなデザインで、外製はやわらかいクリーム色としたので天井面とマッチし自由なインテリアが可能である。

(5) 室外ユニットの据付け自由度が大

室外ユニットは空気の吸入、吹出が片面で行なわれるので軒下、窓わく、壁貫通などの据付けができる。

5. む す び

以上で CRAH 形、ES 形、GCH・GUH 形ヒートポンプについてその仕様、構造、特性について概略を述べたが、これら空気を熱源とするヒートポンプは、公害のない電気式冷暖房機として今後大いに伸びていくものと思われる。

空気式ヒートポンプを利用される需要家各位の参考になれば幸いです。

MICS 燃焼方式応用のガス暖房機器

今井 進*・斎藤 辰夫*

Gas Heating Equipment applying MICS Devices

Nakatsugawa Works Susumu IMAI・Tatsuo SAITOU

MICS devices being applied, clean heaters and clean furnaces have been developed for use as heating equipment of average Japanese houses accounting for a greater percentage of residences. In addition to the application of bind-type MICS worked out last year, new equipment making use of linear-type MICS has been manufactured so as to complete a series including a good number of types. Also a hot water feeding function and a room heating function being combined, clean furnaces of compact construction have been produced. This article describes these heating equipment given above, the history of room heaters and significance of heat exchangers viewed from the problem of air pollution in the room.

1. ま え が き

わが国の住宅は、北海道など特定の地域を除いては、夏期の高湿多湿の気候に対処できるように、開放的に作られてきて、冬期の寒気に対しては衣類の重ね着をして、春がくるまでじっとがまんして耐え忍ぶというようなきわめて非活動的なものであった。しかし最近では生活様式の変化を反映し、よりよい生活環境に対する要求が高まり、冬期はへや全体を暖めて、その中で活動的な生活ができるようにする傾向が強くなっている。したがって住宅における暖房設備は、必要不可欠の設備になっているにもかかわらず、その技術的進歩はあまり見られず、特に石油・ガスの燃焼熱を利用する暖房器具等は、旧態依然としている。たとえば広く一般家庭で使用されている石油ストーブ・ガストーブをみると、その大部分は燃焼ガスという有害気体を居住空間内に放出する暖房方式であり、われわれが必要とする衛生暖房とは大きくかけはなれ、また火災等の心配を含んだものである。このような暖房方法から、さらに進んで理想的な姿に近づいたのが“熱交換暖房”であり、この方式の代表的なものに温水等を利用したセントラルヒーティングシステムがあるが、その暖房機能の良さにもかかわらず、その普及率がきわめて低い。その理由としては設備費が高く、次いで維持管理費が高く、かつ取扱い上の煩雑さ等があげられる。

換言すれば新築・既設住宅を含めて、その大多数をしめる平均的な日本の住宅に真に適合する暖房システムが存在しないことになる。このような現状に対して、先に当社中央研究所で開発されたMICS燃焼方式⁽¹⁾ (Mitsubishi Inner Combustion System) を住宅暖房設備に応用し、日本の平均的な住宅に真にマッチする理想的なガス暖房システムのクリーンヒータシステムと、クリーンファナスを開発したので以下その概略について述べる。

2. ガス暖房機の変遷

住宅暖房器具としては、居住空間内の空気温度・湿度・清浄度・気流を制御することが必要であり、同時に暖房器具のインシヤルコスト、ランニングコストの面においても安いことが必要である。これらの必要条件を満足させるために、今まで種々のガス暖房機が開発され世の中に登場しているが、いまだ理想的な暖房機器は登場していない。暖房のエネルギー源としてはよく知られているように、石油・ガ

ス・電気⁽²⁾の3種があるが、ガスは他の2者の中間に位置するであろう。すなわちランニングコストの点では石油が最も安く、ガス・電気の順序であり、取扱いの容易さからは電気が最も容易であり、ガス・石油となる。また火災に対する安全性からは電気・ガス・石油となり、外気・室内を汚染しない暖房という点からは電気・ガス・石油ということになる。電気エネルギーを使用する暖房は、種々のメリットを持っているが、わが国ではランニングコストが高いため、将来の暖房エネルギーの本命はガスと推測できるわけである。このガスエネルギーを使った暖房機の現状をみってみる。

(1) 開放形ガストーブ

ガス暖房機の中で古くから住宅の暖房に使用され、現在も数多く使用されている。これにはスケルトン形・赤外線形があり、安くて手軽に暖房できる点で使用者に気に入られているが、このタイプのストーブは、字のごとく排気ガスを居住空間内に放出するために、有害ガスが室内に充満し、一方室内の酸素が不足するために、居住者に中毒その他の害を与えることになる。室内空気の清浄度を生活環境として好ましいレベルに保つためには、相当量の換気を必要とし、気密化される傾向にある現状の住宅においては、強制換気する必要がある。この換気は大きな熱損失に結びつき、ランニングコストの高騰を招いている。また燃焼の際発生する水蒸気は、室内の湿度を適度に保つためには多すぎるため、壁・窓に結露しインテリヤをよごすことにもなる。これらの欠点を解消するために登場したのがバランスタイプのストーブである。

(2) バランスタイプストーブ (バランズフルタイプ)

バランスタイプストーブは、ガスの燃焼によって生ずる排気ドラフトにより燃焼に必要な空気を屋外からとり、排気を屋外に放出する自然通風式のストーブである。このタイプは室内汚染・過剰水蒸気の害を解決しているが、新たに次のような問題を提起している。すなわち自然通風式であるので空気の通路を大きくする必要がある。このためバランズストーブを取付けるためには、壁などに大きな穴(直径25 cm～30 cm)をあけなければならない、工事費が非常に高くなる。また自然通風のみに吸排気を頼っているため、吸排気筒はできるだけ短くしなければならないので、外気に面した壁・窓に取付ける必要がある。このように取付場所に制約があるので、理想的なインテリヤデザインができない欠点を持っている。一方排気温度が非常に高く(約250°C～300°C)、そのため熱損失が大きくなり、ランニングコストもした

* 中津川製作所

がって高くなる。このタイプの熱利用効率は約65%の低効率である欠点を有している。

(3) FFタイプガスヒータ(フォースドフロータイプ)
FFタイプガスヒータは強制的に燃焼空気を送り込むファンを持っているので、バランスタイプストーブの欠点を大幅に改善している。すなわち排気筒の直径が小さくなり、排気筒の長さもバランスタイプのものより長くできるので工事費の点、設置条件の点で有利になっている。ただ排気温度の点ではバランスタイプと差がないため熱利用効率が悪い。
(4) MICS 燃焼方式応用のクリーンヒータ、クリーンファネス、前3者の持っている欠点を改良し、開発したガス暖房機がクリーンヒータ⁽²⁾である。すなわち衛生暖房で設置工事が安くかつ設置上の制約が少なく、熱利用効率がよく、かつ温水利用のセントラルヒーティングと同じ快適さを提供するものである。

またクリーンファネスは、1台のユニットで温風暖房と給湯が手軽にできるようにした製品であり、以下クリーンヒータ、クリーンファネスの排気形ガス暖房機の必要性と機種概略を記述する。

3. 排気形ガス暖房機の必要性(熱交換暖房機の有定性)

(1) 室内空気汚染の点から
室内で開放形のストーブを使用した場合、室内はCO₂、CO(不完全燃焼をした場合)、SO₂(燃焼にSが含まれた場合)等で充満され、

表 3.1 室内空気汚染度数値表, 6 畳間, 2,000 kcal
Air pollution degree represented by numeric values.

	亜硫酸ガス		一酸化炭素		炭酸ガス	
	1時間後	5時間後	1時間後	5時間後	1時間後	5時間後
家屋構造、自然換気率						
コンクリート換気が1時間当たり0.5以下	PPM 0.35	PPM 0.75	PPM 10	PPM 35	PPM 10,000	PPM 24,000
普通家屋換気が1時間当たり2~3	0.25	0.4	6.5	8.2	5,500	6,500
粗家屋換気が1時間当たり4以上	0.15	0.2	4.0	4.0	3,000	3,500

表 3.2 各国の衛生基準(空気汚染)比較表(24時間平均値)
Comparison of sanitation standards of various countries.

内容	米 国	ソ 連	日 本
亜硫酸ガス	PPM 0.1~0.15	PPM 0.055	0.050 PPM (44年閣議決定)
一酸化炭素	50	18	10 (45.2閣議決定)
炭酸ガス	5,000	5,000	15,000 1,500

(注) 炭酸ガス 15,000 PPM は労働安全衛生規則
1,500 PPM は都条例

表 3.4 へやの必要換気回数 Necessary frequency of room ventilation.

使用暖房機器	へや		使用条件 在室人員 燃焼器具	必要な空気量 m ³ /h 合 計	一般に必要とされている換気量 m ³ /h	炭酸ガスの発生量 m ³ /h 合 計	換気条件による1時間の室内CO ₂ % 換気回数 回/h			室内CO ₂ 濃度を0.15%以下にするための換気 換気回数 回/h 換気量 m ³ /h	
	広 さ	体 積 m ³					2	5	10		
開放形ストーブ	6 畳	24.75	4 人	1.44	34.4	0.08	0.77	0.31	0.154	10.3	254.9
			2,000 kcal/h のストーブ	2.0		0.30					
クリーンヒータ	6 畳	24.75	4 人	1.44	16.4	0.08	0.16	0.06	0.032	2.2	54.5
			2,000 kcal/h の排気形	2.0		0					

表 3.5 暖房時の換気ロス Ventilation loss during heating.

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
使用暖房機	暖房機効率	排気ロス	屋外温度	室内温度	排気ロス (換気量)×1.2×0.24×(⑤-④)	総合ロス ③+④
排気形クリーンヒータ	90%	200 kcal/h	5°C	20°C	(54.5×1.2×0.24×15)=235 kcal/h	435 kcal/h
開放形ストーブ	100%	0	5°C	20°C	(254.9×1.2×0.24×15)=1,090	1,090 kcal/h

それと同時にO₂の濃度も減少する。たとえば6畳のへやで2,000 kcal/hの燃料消費をするストーブを使用した場合の各ガスの濃度をみると表3.1⁽³⁾のようになり、コンクリート造りでアルミサッシを使用している気密性の良いへやでは、1時間後にSO₂-0.35 PPM, CO-10 PPM, CO₂-10,000 PPM (1%)という恐るべき数値になる。これらはいずれも各国の衛生基準(表3.2)よりも越えている数値であり、室内環境としてまったく不適当なものである。表3.3に換気回数0.3回/h程度のへやに開放形ストーブをおきCO、CO₂濃度変化を測定した結果を載せている。これらのデータからもわかるように、室内空気汚染を防ぐには燃焼排ガスを強制的に屋外に放出し、かつ燃焼に必要なO₂は新鮮空気で供給し、室内のO₂濃度を21%に保つことが必要である。

(2) 換気による熱量ロスの点から
前記のような室内汚染を防ぐためには換気を十分する必要がある。換気回数と有害ガス濃度との関係の一例は表3.4のようになる。すなわち6畳のへやで人間4人が室内CO₂濃度0.15%以下に保ちながら暖房する場合、開放形のストーブを使用すると屋外排気形暖房機の場合の約5倍の換気をする必要がある。これを損失熱量(顕熱)を対象として計算してみると表3.5のようになり、開放形ストーブを使用すると約2.5倍の熱量ロスが生ずることになり、ランニングコストの点からも排気形暖房機が有利である。

(3) 水蒸気過剰の点から
ガスを燃焼させるとその結果水蒸気が出る。都市ガスについて水蒸気の生成量をみている。都市ガスが燃焼した場合、その化学反応式は次のようになる。

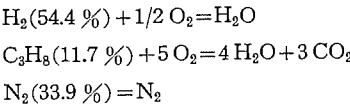


表 3.3 開放形ストーブ使用時の室内環境
Room condition with open type stove in use.

位置 時間	CO 濃度 (PPM)			CO ₂ 濃度 (%)	試 験 条 件
	床 上 1.5 m	床 上 1.0 m	床 上 0.5 m	床 上 0.5 m	
0 min	0	0	0	0	1. 開放形入力4,000 kcal/h ストーブを室内で燃焼させる 2. へやの大きさ3.7×2.8×2.5 H 3. 測定位置 へや中央 4. 換気回数0.5~0.3 回/h
5	0	0	50	0.125	
15	0	0	100	0.28	
25	50	150	100	0.305	
35	200	200	250	0.32	
45	200	250	300	0.326	
60	350	350	400	0.386	

この反応による水蒸気量を計算すると 6C-O (通産省令テストガス) で約 1,000 cc/Nm³ となり、したがって 3,000 kcal/h の開放形ストーブは 670 cc/h の水蒸気を発生し、室内の湿度を保つためには少々多すぎる値である。

このような理由からと推測されるが、欧州では開放形ストーブは姿を消しつつあり、フランス等では法律により開放形ストーブの使用は禁止されているくらいである。また国内においても、本年の 4 月 1 日に公布されたガス用品に関する通産省省令では、6,000 kcal/h 以上のガストーブには、すべて排気筒を付けることを義務付けている。このような情勢から国内でも排気形ガス暖房機の全盛期を迎えるのは必定と考えられるが、そのパイオニアともいえるクリーンヒータ、クリーンファネスの概略を次に述べる。

4. MICS 燃焼方式

ミクス燃焼方式とは、小さな密閉された容器(燃焼室)の中にガスと空気をファンで強制的に送り込み、ガスと燃焼空気をききわめて短い距離で拡散混合させて、無音で安定した燃焼を行なわせ、その燃焼熱を熱交換器を介して熱交換させ、その熱を暖房またはその他の用途に使用するものである。その結果排気ガスの温度を 85~100°C まで低下させることができ、排気ガスを細いパイプでききわめて少ない熱損失で強制的に屋外に放出する燃焼方式である。その特長は、

(1) 密閉容器内で燃焼させて、燃焼排ガスを強制的に屋外に放出する。

(2) ガスと空気を極端に細分割して送り込むことにより、ガスと空気の拡散混合を短い距離で完全に行なわせている。その結果燃焼室は非常にコンパクトになり、燃焼負荷率を従来のガス器具より大きくすることが容易である。

(3) 強制気流中の完全燃焼は圧力の高い送風機で行なわせており、屋外風速 15 m/s 程度まで耐えうる燃焼器となっている。

MICS 燃焼は種々の形状・構造をもつ燃焼器として実現可能であるが、現在はシリンダの中の円板の上に小径のパイプを規則的に配列し、バーナを形成したものの(ミクスバインドタイプ)図 4.1 と、小径のパイ

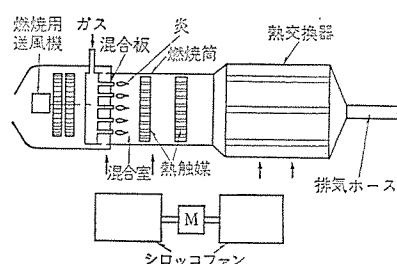


図 4.1 ミクスバインドタイプ 原理図
Principle of MICS bind type.

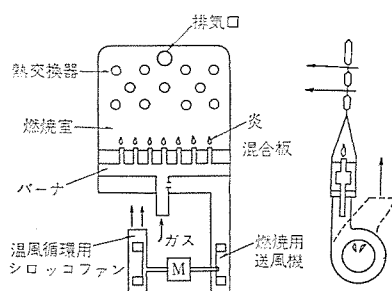


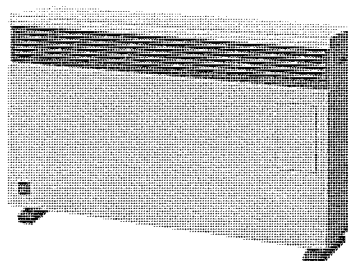
図 4.2 ミクスリニアタイプ 原理図
Principle of MICS linear type.

プを一直線上に展開してラインバーナにしたもの(ミクスリニアタイプ)図 4.2 の開発が完了している。

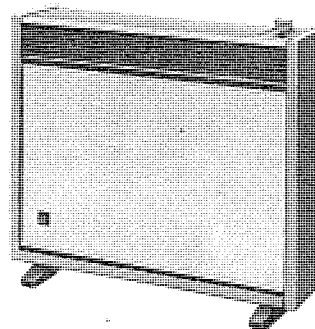
このような特長を持つミクス燃焼方式を暖房機に応用し、衛生的な暖房機、クリーンヒータとクリーンファネスを開発し、機種は VG-40 E, VF-30 E, VR-30 E, VC-15 A の 4 機種で、これらの中から住宅の構造、へやに合ったものを選択し組み合わせることにより“ミクスヒータリングシステム”ができる。

5. クリーンヒータ

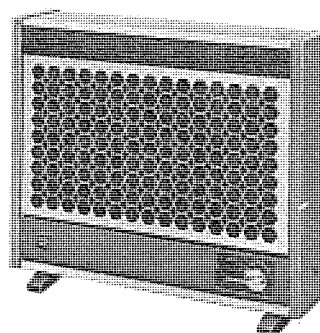
MICS 燃焼方式を応用したクリーンヒータに、住宅の各へやに供給されている都市ガス、LP ガスを供給し、各へやに必要な熱量をユニット内で燃焼させて室温を維持し、燃焼排ガスをユニット 1 台ごとに屋外に放出し、居住空間を清浄に保つのがクリーンヒータを応用したクリーンヒータ暖房システムである。このシステムは次のような特長を持って



(a) VG-40 E 形



(b) VF-30 E 形



(c) VR-30 E 形

図 5.1 クリーンヒータの外観
Appearance of clean heater.

表 5.1 クリーンヒータの機種系列
Series of clean heater.

タイプ	機種名	VG-40 E	VF-30 E	VR-30 E	備 考
都市ガス用	排気式	VG-40 EC	VF-30 EC	VR-30 EC	○排気式 燃焼空気を室内から取り、排気ガスを屋外に放出するタイプ
	吸排気式	VGB-40 EC	VFB-30 EC	VRB-30 EC	
プロパンガス用	排気式	VG-40 EP	VF-30 EP	VR-30 EP	○吸排気式 燃焼空気を屋外からとり排気ガスも屋外に放出するタイプ
	吸排気式	VGB-40 EP	VFB-30 EP	VRB-30 EP	
暖房方式	温風式	温風式	温風式	ふく射+温風	

表 5.2 三菱クリーンヒータ仕様表

Specifications of Mitsubishi clean heater.

形 名		VG-40	VF-30	VR-30
大 き き (mm)	幅	875	750	750
	奥 行	230	180	180
	高 さ	542	645	645
重 量	kg	38	約 29	約 24
		9.5φ	9.5	9.5φ
ガス関係	ガス接続 mm	C-5...0.82, C-4...0.854, P 20...0.16	C-5...0.6, C-4...0.62, P 20...0.12	C-5...0.6, C-4...0.62, P 20...0.12
	ガス消費量 m ³ /h	3,600	2,700	2,700
暖 房 能 力	kcal/h	AC 100 V 50/60 Hz	AC 100 V 50/60 Hz	AC 100 V 50/60 Hz
	電 源	80/95	50/52	25/28
電 気 関 係	消費電力 W	圧電着火方式	圧電着火方式	圧電着火方式
	火 方 式	熱電対方式安全器	熱電対方式安全器	熱電対方式安全器
安 全 器	パイロットバーナ安全器	リレー組込み	リレー組込み	リレー組込み
	停電安全装置	オートカット付き	オートカット付き	オートカット付き
	過熱防止装置	温度ヒューズ付き	—	—
	遅延サーモスタット	動作温度 ON 50°C OFF 30°C (温風吹出し開始スイッチ)	動作温度 ON 50°C OFF 30°C (温風吹出し開始スイッチ)	—
騒 音		強 39 ホン 弱 34 ホン (A レンジ機体前方 1.3 m 高さ 1.3 m)	41 ホン (A レンジ機体前方 1.3 m 高さ 1.3 m)	42 ホン (A レンジ機体前方 1.3 m 高さ 1.3 m)
加 湿 器	排気管 mm	排気ガス中の H ₂ O を利用 (注水可能)	排気ガス中の H ₂ O を利用	排気ガス中の H ₂ O を利用
	吸気管 mm	35φ (CF, BF の場合) 排気トップ外径 54φ	35φ (CF, BF) 排気トップ外径 54φ	35φ (CF, BF) 排気トップ外径 54φ
	最大延長長さ mm	35φ (BF の場合) 吸排気トップ外径 54φ 4,000 (CF の場合) 2,500 (BF の場合)	35φ (BF) 吸排気トップ外径 54φ 4,000 (CF の場合) 2,500 (BF の場合)	35φ (BF) 吸排気トップ外径 54φ 4,000 (CF の場合) 2,500 (BF の場合)
主 要 部 品	ガス	押し直し式ガスコック (マイクロスイッチ連動)	押し直し式ガスコック (マイクロスイッチ連動)	押し直し式ガスコック (マイクロスイッチ連動)
		ダイヤフラム式 P 2/P 1=60/100 mmH ₂ O	ダイヤフラム式 P 2/P 1=60/100 mmH ₂ O	ダイヤフラム式 P 2/P 1=60/100 mmH ₂ O
	電気	AC 100 V 50/60 Hz 全波整流形	—	—
		強制混合式セミブレンザーバーナ	強制混合式ブレンザーバーナ (ラインバーナ)	強制混合式ブレンザーバーナ (ラインバーナ)
燃 焼	燃 焼	12.5 cm アルミ羽根ターボファン (2 段)	11 cm アルミ羽根シロッコファン	10 cm アルミ羽根シロッコファン
	風 量	13 cm P1 羽根シロッコファン 強 7.5 m ³ /min 弱 5.0 m ³ /min	9 cm P1 羽根ラインフローファン 3.5 m ³ /min	7 cm アルミ羽根シロッコファン (1 m ³ /min)

注) CF とは屋外排気式 BF とは屋外吸排気式のことです。

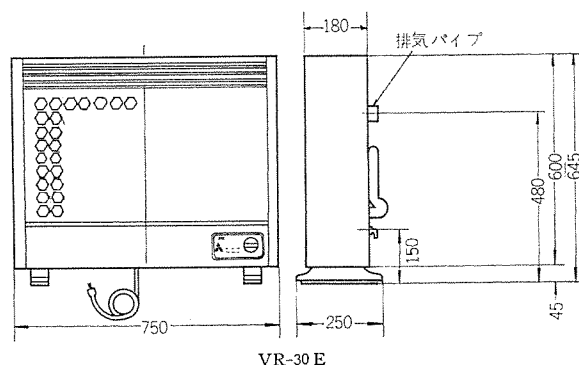
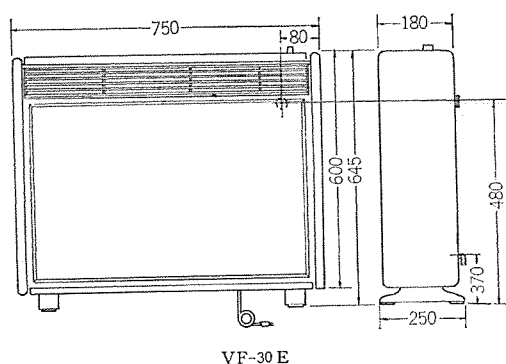
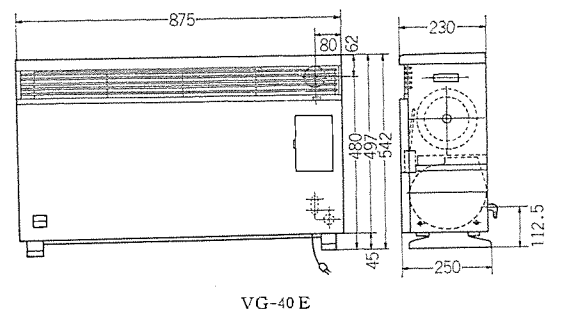
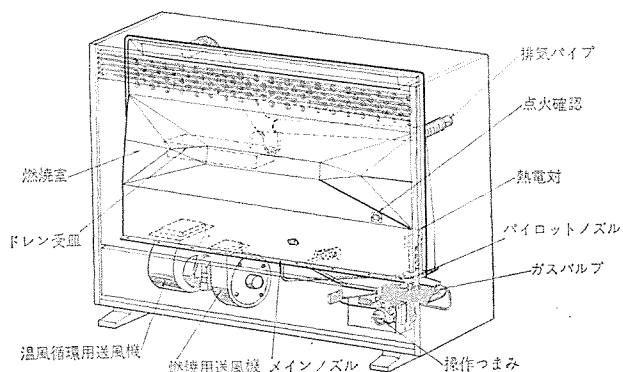
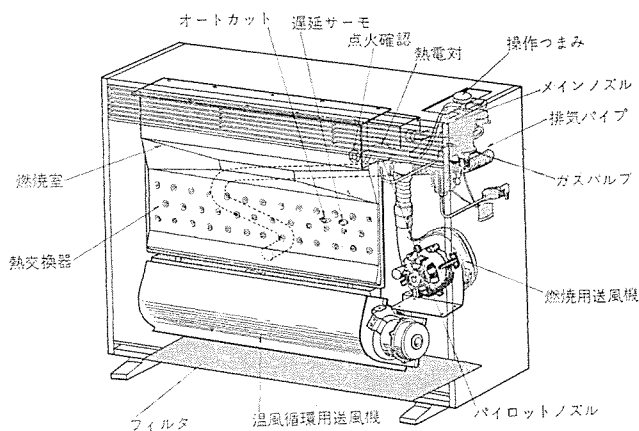
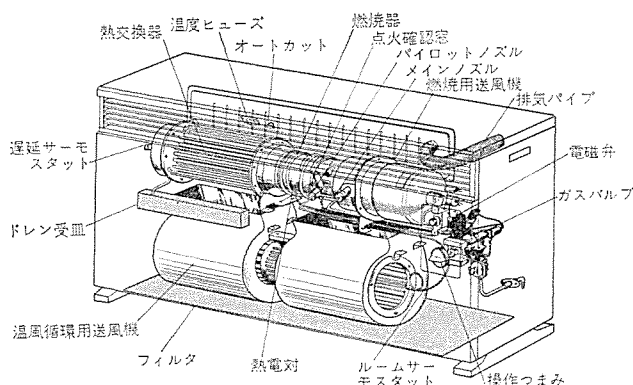


図 5.2 クリーンヒータ外形図と内部構造図



Outline and construction of clean heater.

いる。

(1) クリーンヒータシステムの特長

暖房機能上からみて温水利用のセントラルヒーティングとまったく同じ機能を備えている。すなわち、

(a) 室内ユニットでガスを燃焼させておきながら、排気ガスを屋外に強制排気しているために、室内を燃焼排気ガスで汚染する心配はない。

(b) 室内ユニット内に室内空気対流用の送風機を持ち、室内温度分布は均一である。

(c) 室内ユニットの万一の過熱に対しても、「オートカット+温度ヒューズ」等を備えているので、火災の心配がない。

(d) 室内ユニット内に燃焼安全装置を備えているので、生ガスが室内に放出されることはなくガス中毒の心配はない。

経済的な面で、

(a) 室内ユニット設置のための工事は非常に簡単であるので、設備費は温水CH1/3程度ですむ。

(b) 室内ユニットはへやの暖房必要度に合わせ、完全個別制御ができるのでランニングコストも大幅に減少する。

(c) 室内ユニットを必要なへやから逐次設置するのがきわめて容易であるので、予算に合わせて1へやずつの逐次暖房化が可能である。

(2) クリーンヒータ機種系列と仕様一覧

クリーンヒータは、大きく分類してVG-40E、VF-30E、VR-30Eタイプの3機種があり、さらに都市ガス用・プロパン用に分れ、さらに排気式と吸排気式に分れた12機種(表5.1)が存在する。各機種の仕様は表5.2のごとくであり、外形寸法・構造は図5.2のようである。

6. クリーンファーンエス

MICS 燃焼方式による密閉燃焼バーナを内蔵した貯湯式温水機で、同一機器内に、貯湯式温水器・暖房用温水コイル・温水循環ポンプ・温風循環用ファンを内蔵しており、給湯機能および暖房機能を一つの機器にコンパクトにまとめたもので、一般住宅や集合住宅の温風暖房(5~6室)および給湯(4~5か所)を行なう機器で、外形寸法を図5.2に、仕様を表6.1に示す。なお本クリーンファーンエスの上部に、冷房ユニットの室内側を取付けることにより冷房も可能になる。



図 6.1 クリーンファーンエスの外観
Appearance of clean furnace.

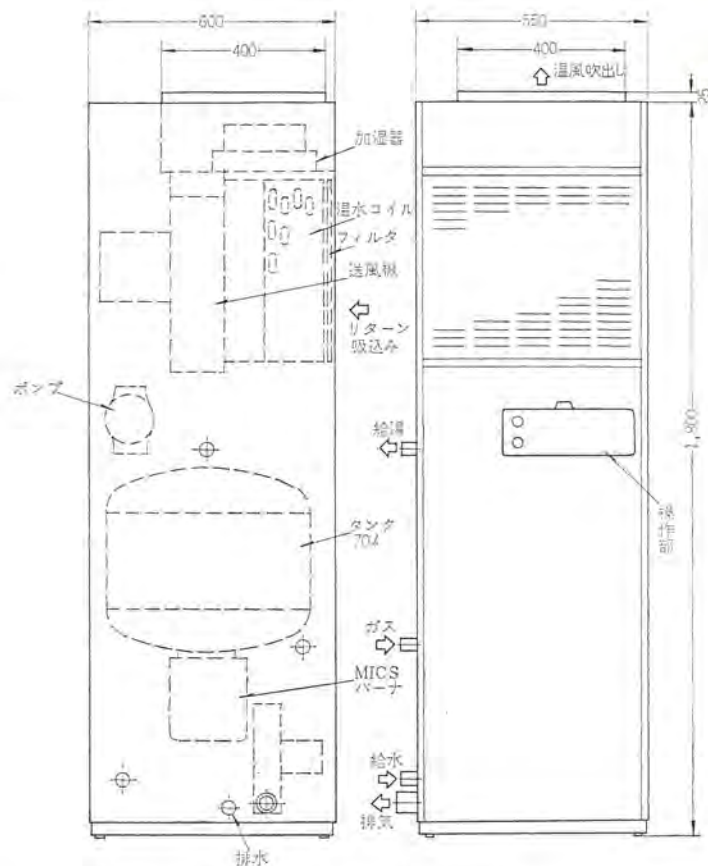


図 6.2 クリーンファーンエス 外形図
Outline of clean furnace.

表 6.1 三菱クリーンファーンエス仕様表
Specifications of Mitsubishi clean furnace.

項 目		仕 様
大 き さ mm	幅	550
	奥 行	600
	高 さ	1,800
重 量 kg		170
ガス関係	ガス入力 kcal/h	16,000
	ガス消費量 m ³ /min	C-5...3.2, C-4...3.56, LPG...0.66
	点 火 方 式	高圧放電自動点火
出 力	給湯 給湯出力 kcal/h	14,000
	貯 湯 量 l	70
	最 高 湯 温 °C	85
	暖房 暖房出力 kcal/h	13,000
	風 量 m ³ /min	20
	機外静圧 mmH ₂ O	8
	暖房可能面積 m ²	80
電 源		AC 100 V 50/60 Hz
安 全 装 置 自 動 装 置		パイロット検知, 高温検知, サーモスタット, 安全弁, ファンコントロールスイッチ, からだき防止スイッチ, 自動エア抜き, 自動加湿器, 送風検出
接 続 管 口 径	給 水 管 口	3/4 B (20 A)
	給 湯 管 口	3/4 B (20 A)
	ガ ス 管 口	3/4 B (20 A)
	排 気 管 外 径	50.8 φ
	ダクト接続口 mm	400×400
	排 水 口	3/4 B (20 A)

(1) クリーンファースの構造概要

(a) 燃焼器部分

シリンダ内に多数のパイプを配列した円形 MICS パーナを使用しており、特殊設計による燃焼用ターボブロワにより、強制燃焼および強制排気を行なっている。

(b) 貯湯式温水器部分

70l の貯湯量をもつオールステンレス製の円形タンクで常に清潔な給湯が可能で、供給水によるタンクの腐食を防止するよう特に配慮されている。タンク外部はガラスウールにより完全に断熱されている。タンク内部には特殊な小形で高性能な熱交換器があり、燃焼器と組み合わせられ、温水器部分をコンパクトにまとめている。

(c) 暖房コイルおよびファン

機器上部前面に暖房用コイルがあり、タンク内の温水を内蔵する循環ポンプにより強制循環することにより、小形な割に大きな暖房能力を得ている。温水コイル後部には低騒音大風量のファンがあり、各へやへダクトを通じ、温風を送り出す。なお温水温度が低い場合には、ファンを自動停止して冷風が出ないように考慮されている。またコイル最上部には自動エア抜き弁が設置されている。

(d) 自動加湿装置

機器最上部のプレナムチェンバ内に自動加湿器があり、MFV 機構による自動開閉により温水を蒸発させ、常に快適な加湿を行なう。なお夏期の不要時には止めるようコックが設置されている。

(2) クリーンファースの特長

(a) 暖房と給湯機能が一つにまとめられているので、本機の設置により本格的なセントラルヒーティングおよび給湯ができる。また水および熱源の工事・管理が容易で、さらに機器本体はコンパクトで、設置スペースが小さく工事も簡単にできる。

(b) MICS 燃焼により強制燃焼・強制排気をするので室内を燃焼排気ガスで汚染する心配がなく、快適な暖房ができる。

(c) MICS 燃焼により非常に高効率で経済的であり、排気温度

が低く(約 85°C)、排気管の処理および工事が簡単で、排気部分にほとんどスペースを要しない。さらにある程度の延長排気ができるので設置場所の制約を受けない。

(d) 自動加湿器内蔵により室内は常に適度な湿度に保たれる。

(e) 押し回しコックおよび温水サーモスタットによる自動運転が可能で、湯温は適当な温度に設定することができ、暖房能力は湯温およびファンの強弱切換えにより適度に調整することができる。さらに室内に設置されたサーモスタットを接続することも可能である。

(f) パイロット安全装置・異状高温検知・からだき防止・サーモスタット・冷風防止スイッチ・生ガス放出防止・安全弁・自動エア抜き弁、などの安全回路および自動装置を内蔵しており、火災・ガス中毒等起こりうるすべての事故に対し、完全な安全回路が設置されている。

(g) タンクはすべて高級ステンレスを使用しているので、清潔な給湯ができ、タンクの腐食を防止するよう特に防食構造について考慮されている。

(h) MICS 燃焼と特殊熱交換器により熱交換効率が非常に良く、タンク内の湯温上昇時間が短く、暖房の立上りおよびふろの追いだきが短時間に可能である。

7. む す び

MICS 燃焼方式を応用して開発したクリーンヒータの各機種、また給湯機能および暖房機能を一つの機器にまとめたクリーンファースの概略を記述したが、今後さらに日本の風土そして国民性に合わせた暖房機を開発していく予定である。各方面からの種々のご指導・ごべんたつをいただければ幸いである。

参 考 文 献

- (1) 伊藤, 野間口, 柘植: 三菱電機技報, 44, No. 5 (昭 45)
- (2) 伊藤, 野間口, 柘植: 三菱電機技報, 44, No. 6 (昭 45)
- (3) 渡辺: 住宅設備機器産業の展望

深夜電力利用の蓄熱暖房器と給湯器具

馬淵 公作*・桜井 信捷*

Storage Type Heating Devices and Water Heaters making use of Midnight Power

Gunma Works Kôsaku MABUCHI・Nobukatsu SAKURAI

With the progress of power demand by industries, generating equipment has been increased enormously in its scale and capacity. However, the power is mostly used in daytime and most of the power generating apparatus are left relatively idle at night. To cope with this unbalanced demand a new regulation was set up in 1964 by the power companies to encourage power consumers to make use of midnight electricity and special power rate, one third of the ordinary charge, is offered. Since these, a number of electric appliances operating at this special rate have been developed. Of those related to the air conditioning apparatus storage type heating devices are becoming popular ; water heaters to store hot water at midnight are also well commented. This paper describes the outline of these products.

1. ま え が き

わが国の電力の需要の伸びは産業の高度成長、電気文化の発展とともにとどまるところがなく、一方電力の需要と供給のバランスを今後いかに円滑に維持していくかということは深刻な社会状況となっている。深夜電力利用制度はこれらを背景に、増大する火力発電などの能力の夜間非電力負荷時における電力の有効利用化を計るもので、その利用料金は通常料金の約1/3、kWhあたり約3～4円という経済性が電気個有の便宜性と相まって、深夜電力利用機器が一般に認められつつあるところである。現在この電力を利用する空調機器としては蓄熱暖房器があり、これを紹介しあわせて住宅設備機器の一環として、深夜電力利用の給湯器具を紹介したい。

2. 蓄 熱 暖 房 器

2.1 構造と特長

現行製品としては3kWh、5kWh容量の2種類があるが、図2.1にその構造を示す。特長としては、(1)電気代が安い (2)設備費が他燃料より安く、配管工事・ダクト工事など不用 (3)シーズン初めにスイッチを入れるだけ、あとは自動的にコントロールされ、取扱

いは至って簡単 (4)煤煙や悪臭・公害の原因は皆無 (5)必要な部屋に必要な数をいつでも買増し設置でき、転宅のときにも便利、などがあげられる。

2.2 運転、制御、安全性等

別に設けられたタイマーにより、普通夜10時から朝6時まで夜間ヒータに通電され、蓄熱体(特殊レンガ)に熱がたくわえられる。蓄熱量は3kWのもので約18,000kcal、5kWのもので約32,000kcalを保有し、夜間通電完了と同時にファンが回転し強制放熱を開始し、ルームサーモを設置することによって必要な熱量を速やかに断続供給することができる。なおファンの回転は適宜手動式に運転することもでき、必要なときに熱を供給することもできる。最近のプレハブ家は非常に断熱工事もよく、3kWのもので6～8畳、5kWのもので8～10畳程度の部屋は十分に暖房することができる。また1kWの補助ヒータが付属し、蓄熱量が落ち込み暖房能力が少なくなると、自動的にまたは手動的に補助ヒータに通電することもできる。

安全性としては、回路的に、(1)タイマーによる通電時間の制御、(2)サーモスタットによる温度制御、さらに(3)温度ヒューズによる温度過昇防止器が直列回路をなしているので火災の心配はない。なお夜間電力の専用配線は、タイマー、積算電力計などと一緒に電力会社指定の電気工事店が一括工事を行なう。最近では、この蓄熱暖房器とヒートポンプを組み合わせてオールシーズンタイプの空調機器が開発され脚光をあびている。

3. 給 湯 器 具

生活水準の向上に伴い湯の効用が再認識され、一般家庭のふろ・台所・シャワー・洗面所等のセントラル給湯設備機器として深夜電力利用温水器が注目されている。電気を用いた給湯システムは、きわめて高い安全性、室内外とも汚染しない清潔さ、燃料補給や点火の手間、調節などの必要がなく自動的に制御ができ、さらに深夜電力を利用するので格安の電気料金ですみ、他の熱源に比較して大きな優位性を持っている。深夜温水器の方式としては押上式(図3.1)が大半を占め、小形品の1部に落下式(図3.2)がある。

表3.1に示すように、40ℓ～100ℓは一般家庭の台所、280ℓ～370ℓは一般家庭のセントラル給湯を対象としており、そのほかに業務用

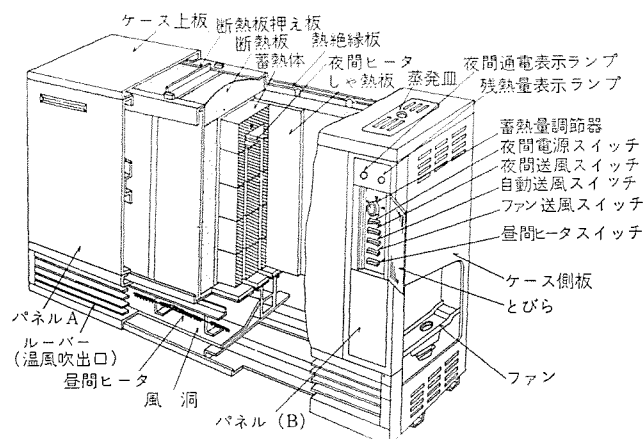


図 2.1 蓄 熱 暖 房 器 の 構 造
Construction of a stored heat type heating device.

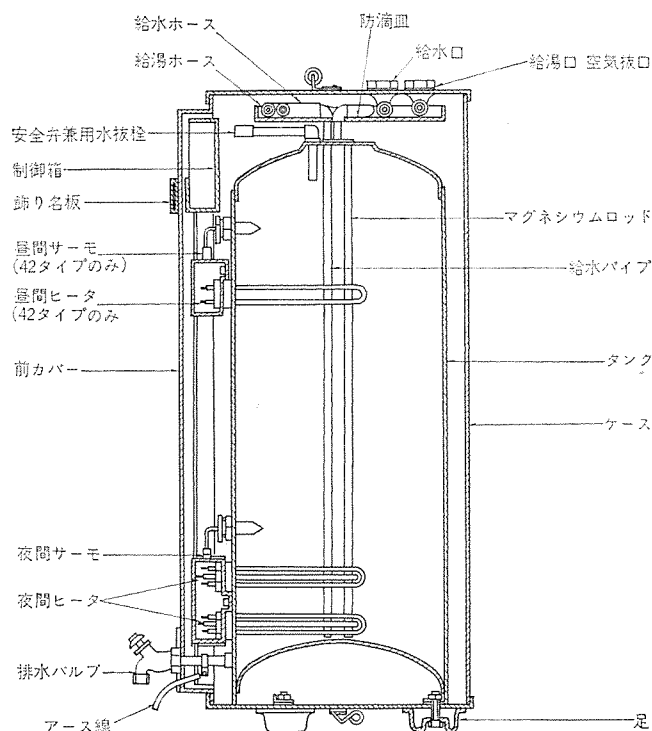


図 3.1 押し式温水器
Forced feeding type water heater.

として 1,000~7,000 l の大容量のものも系列化している。

温水器の構造上、耐食性のすぐれたステンレス、あるいはマグネシウム棒等の防食装置を備えたグラスライニングを採用してタンクの寿命、衛生上の性能アップをはかり、中・大形温水器にみられる接地シャ断器、あるいは給湯水管の1部に耐熱・耐圧ゴム管等の電気絶縁物を使用

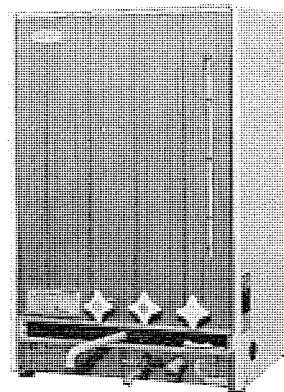


図 3.2 落下式温水器
Drop type water heater.

し、湯水の固有抵抗を利用した絶縁配管の付属による人体保護のための安全性、タンク内圧を常に 1 kg/cm^2 以下の一定圧幅に保つ減圧弁・安全弁等の付属によるタンク保護の増大等を計っている。さらに最近小形温水器から中形温水器へと湯の用途が拡大されるにつれて、中形電気温水器を使って暖房と給湯を行なうシステムも試みられている。

4. む す び

深夜電力を利用する空調機器（蓄熱暖房器）および住宅設備品としての給湯器具の当社の製品について概略紹介をした。当社は他社に先がけていち早くこれらを開発、一貫生産工場による量産化に成功し、各電力会社の多方面な支援と相まって一般普及化に努力してきた。今後ともますます増大するであろう深夜電力の利用化に対して、よりスピーディな製品化に呼応していきたい。

表 3.1 温水器仕様一覧表 List of water heaters.

用途 形名	家庭用					業務用
	B-3705 B	BP-4005	BP-8055	GR-2834	GR-3734	
項目	落下式	押し式		減圧弁またはシスタンク式		シスタンク式
形式	なし	100 V 500 W		なし		
定格	昼間ヒータ	100 V 500 W		100 V 1 kW		200 V 12 kW
	夜間ヒータ	100 V 500 W		200 V 3.4 kW		200 V 4.4 kW
タンク容量 l	有効湯量 37	40	80	280	370	1,000
沸き上がり湯温	85°C					
外形寸法 mm	高さ 800 幅 450 奥行 370	高さ 800 幅 400 奥行 400	高さ 800 幅 550 奥行 525	高さ 1,430 外径 680	高さ 1,740 外径 680	高さ 1,100 外径 1,890
重量 kg	23	19.5	28	113	133	450
タンク	ステンレス製					
ヒータ	銅パイプヒータ (Sn メッキ)					

暖房センタの提案

小原 英一*・小林 恵治*・石塚 幹夫*・生井 講蔵*

Proposition of Residential Heating System

Consumer Products Research Laboratory Eiichi O'HARA・Keiji KOBAYASHI
Mikio ISHIZUKA・Kôzô NAMAI

Air conditioning in living quarters is gradually increasing and now it is regarded as a vital requisite of high class residences. Of them heating is called for by climatic conditions and is spreading throughout the country, though it is in a minor scale. To raise the comfort to the level of advanced countries, however, the present installation cost of heating arrangement is too high. This difficulty must be met by ingenious methods. The purport of this article is to make a proposition of a residential heating system to cope with the situation. The main point is to handle the problem as an integral part of building construction through the cooperation of architects. A core shall be made in the center of a house to provide the heating center with short length of piping and with no duct or short ducts as the occasions demand. Thus, the construction cost can be cut down by 20~30 % from that of the old practice.

1. ま え が き

この提案は一般の住宅に安価に、簡単に、スペースを取らずに、そして安全に暖房・給湯をしようとするものである。

70年代の住宅または今後の住宅の設備として、暖房と給湯はぜひとも備えるべきであるとの答申は各所でなされ、漸次この方向を指向する具体策がとられつつある。その一つとして、昨年通産省、建設省と日本建築センタが主催した“パイロットハウス 技術考案”募集がある。この趣旨は、良質な住宅を安価に量産して提供することであり、暖房と給湯は設備として必須の条件とされている。

2. 住宅暖房の現状

しかし現実には建築されている住宅では、暖房・給湯の施工例は少なく、その理想像とは大きなへだたりがある。この原因は暖房・給湯設備の価格上の問題が大部分である。価格は機器費と工事費に大別されるが、なかでも工事費はきわめて高価である。このため暖房・給湯はあとまわしとなるのが通例である。ここで大事なことは、とくに新築を計画する人は、必ず暖房・給湯について検討することである。ここに、その意志が多分にあったことを見逃すことはできない。

現状では暖房・給湯された住宅は、ごくわずかであるとしかたない。しかし、住宅とくに最近増加しているプレハブ住宅では、保温材が壁・間仕切・天井などに用いられ冷暖房に対する受入れ態勢は整ってきている。

3. 暖房センタの提案

現状で暖房・給湯を普及させるには、相当大胆な考えを実行しなければならないと思われる。そして、住宅建築側の大きな協力がなければ、従来と同様な方式では実現することは不可能である。むしろ主体性は建築側にあって、設備設計の側にあるのではないといっても過言ではない。

設備設計側では工事費削減を第一の目標としなければならない。工事費は冷温水配管工事・機器据付け工事・燃料系工事・電気配線工事および小屋掛け工事などがある。工事費の総工費に占める割合

は、規模の小さい住宅用では40~50%となることが多く、なかでも、配管工事費の割合が大きい。配管工事費はその延長距離に比例するので、放熱器を少なくすることと、熱源でのまとめ方に負うところが多い。かず少ない放熱器で住宅全体を暖房するためには、どうするかが問題となる。

一方、給湯は湯を沸かすことで目的は達せられるから温水機を使うことになる。解決策は1台の大形ファンコイルユニットで暖房するのであるが、できればダクトを用いに行きたい。このためには、家の中央で四方八方に温風を吹出す形式が理想的であって、“暖房センタ”の提案となる。すなわち、暖房センタを用いるためには、住宅の中央部に四方八方に温風が送風できる間取り構成を住宅建設側にも採用してもらわねばならない。2階建てであれば2階のそのような位置に同様なチャンパを設けてもらいたい。こうすることが暖房面積あたりの支出をより少なくし、一般住宅に暖房と給湯を安く提供することが可能となるかぎである。

住宅の間取りをある程度規制することについては、建築側の協調のほかには施主の理解が必要である。しかし、間取りを完全に規制することはできないので、施主の要求を満たす折中案もある。これらについては、あとに項を設けて詳述する。基本的な考えは上述のようであるから、あまり各種の要求を安易に受け入れると設備費が従来方式と変わらないということにもなりかねないので注意を要する。

熱源については、ガス・石油いずれも可能である。維持費の関係から石油がよい人も、制御の便宜性からガスを好む人にも選択は自由である。また、マンション・アパートなど集合住宅用として石油の採用がむずかしいところでも、ガス湯沸かし器と接続することでシステムを構成できる。

3.1 暖房センタの適用法

前述のようにこの目的を達するために、住宅の中央部に暖房センタを設置する押入れのような“コア”部分を作る。そして、できればコアを中心に部屋をとま(巴)形に構成する。さらに2階建てでは、コアを2階の床部分まで貫通させるのが理想的である。図3.1~図3.7までに適用例を示す。2階コア上部は押入れとか飾りだな、両面書架として、1階ではダクトとなる部分に浅い飾りだななどを設けることができ、スペースの有効利用ができる。

一般に住宅は、方形の平面よりも長方形や入り組んだ形が多いので、上記のような理想的な形は少ないと思われる。したがってダクト併用形が多くなるであろう。暖房センタの適用は一部、間取りを規制するが、以下に述べるようにある程度の自由度を持っている。

3. 1. 1 直接吹出し法

(1) 平屋住宅の場合

図 3. 1, 3. 2 は平屋住宅に暖房センタを設置した例である。建築面積約 75 m² で、中央部に暖房センタを収納するコアを設けた。コアは押入の一部を利用した形式となっていて、吹出し口および吸込み口は居間、洋室、和室それぞれ独立となっている。このためドアガラリは必要のない構造で室間の漏話の心配はない。吹出し風量は居間が最大になるように吹出し口、または吸込み口の面積で調節することができ、部屋間の調節および暖房負荷に対応できるようになった

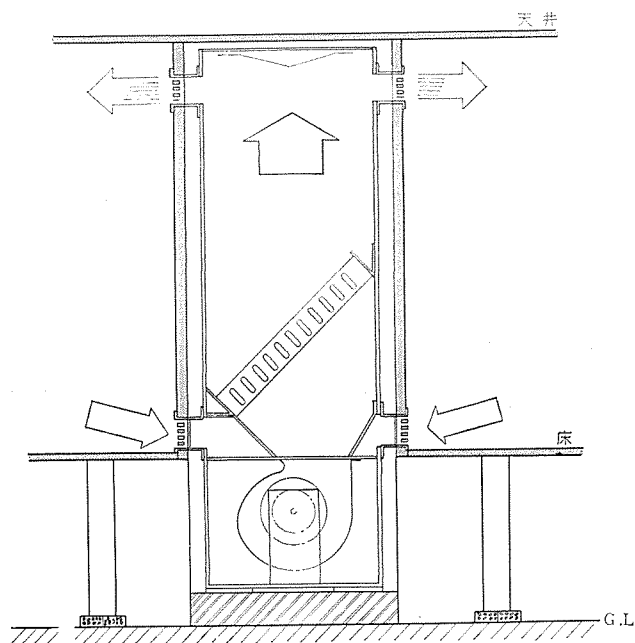


図 3. 1 平屋住宅の暖房センタ
Heating center installation of one-storied houses.

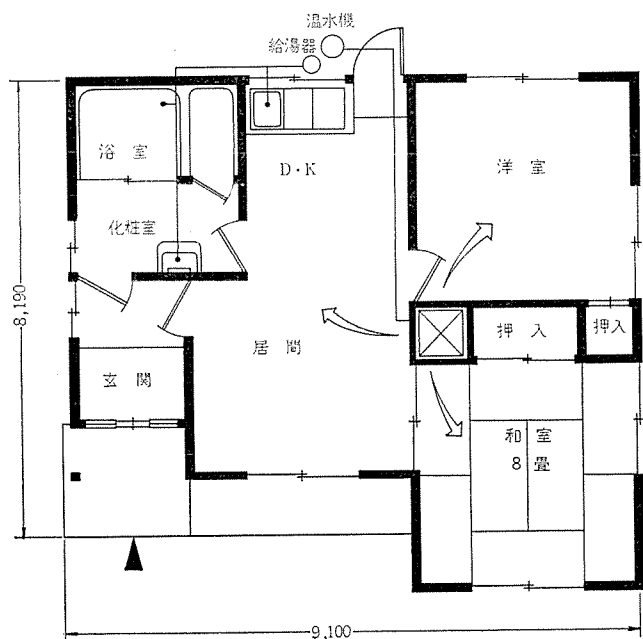


図 3. 2 平屋住宅の間取りと暖房センタ
Room arrangement of one-storied houses with a heating center.

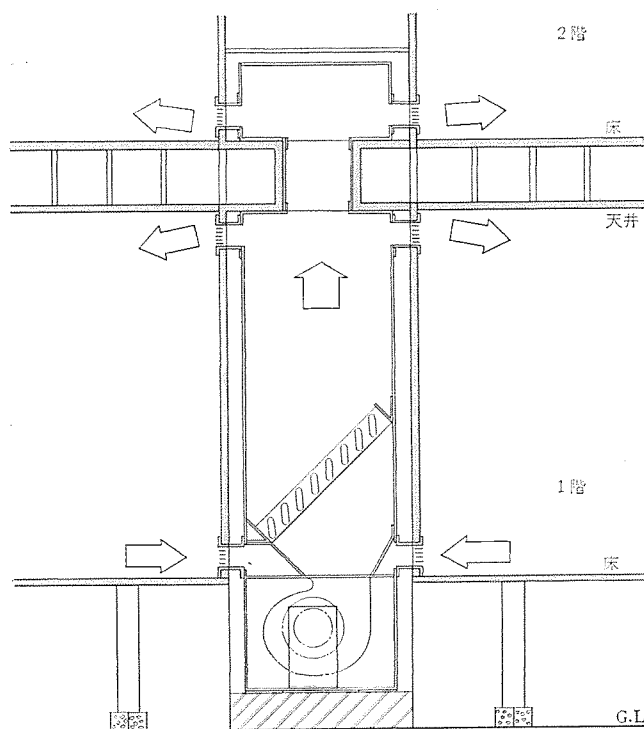


図 3. 3 2 階建住宅の暖房センタ
Heating center installation of two-storied houses.

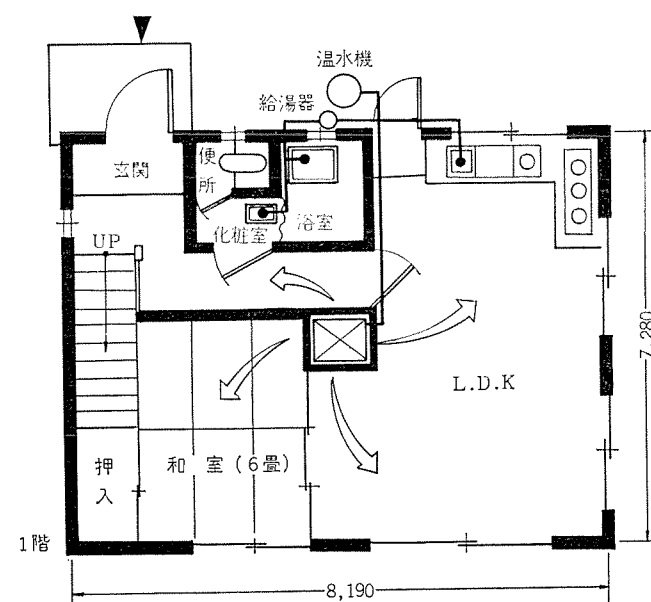
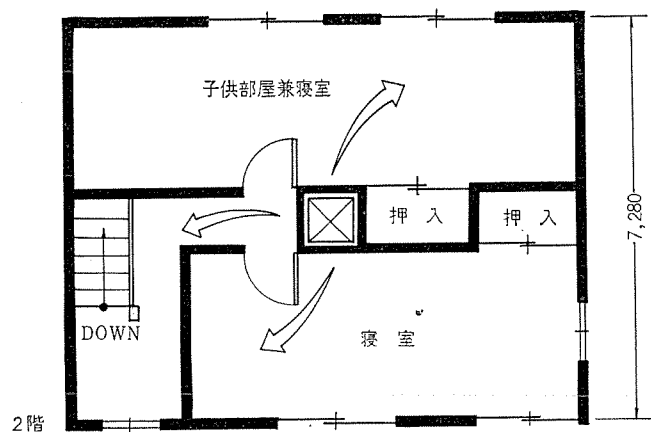


図 3. 4 暖房センタによる集中暖房システム
Central heating system with a heating center.

ている。

コアの居間側の壁は、かも居の上部に吹出し口と床面近くに吸込み口があるだけで、他の部分は壁面と変わらない。洋室側および和室側には飾りだなを作ることができる。奥行は中央部に吹出し口と結ぶダクトが通るため21~24 cm 程度となろう。この形式は一戸建住宅のみならずマンションにも適用が可能である。

(2) 2階建住宅の場合

図3.3, 3.4は2階建住宅に設置した例である。1階のLDKに暖房センタを収納するコアが設けられ、さらに2階に伸びた形である。1階ではコアの床面近くに吸込み口があり、かも居上部に吹出し口がある。2階では床面近くに吹出し口があり、ここからの温風は、ドアガリを通して階段を降り、浴室側の吸込み口から暖房センタへ帰る。LDKは部屋が大きいので二方の吹出し口を用意したが、吸込み口は一つでも支障ない。和室にはそれぞれ一つの吹出し口と吸込み口がある。玄関および化粧室は2階からの帰りの温風と少量の吹出し温風で暖房される。

この方式では2階のコアと1階のコアは1階天井内でダクト接続されている。2階への風量はこのつなぎダクトで規制され、各部屋へは吹出し口の面積で調節するようになっている。1階の風量の大部分はLDKであって、和室はその約1/2となっている。

以上の二例は直接吹出し法として横引きダクトのない暖房センタ設置法を述べたが、間取り規制はあるとしてもコアを中央部におくというだけでかす多くのバリエーションが考えられる。

3.1.2 ダクト吹出し併用法

(1) 平屋住宅の場合

図3.5, 3.6は暖房センタとダクトの併用形の一例を示す。一般小住宅の場合はこのような間取りが多く、この例では奥行を5.46 m (3間)として北側が台所・化粧室・浴室で食堂を除けば居間は南側のみとなる東西に長い住宅を想定している。

この場合もコア部分をできるだけ中央部に配置し、全館暖房を可能としている。すなわち居間・食堂および台所に面してコアを設置し、これを直接吹出しとし和室へはダクトで温風を送風する方法である。ダクトは、化粧室も玄関も吹出し可能なように厚み15 cm程度の下り天井式ダクトを設置すれば工事も容易である。和室・化粧室への温風はドアガリを通して暖房センタのあるコアの吸込み口にもどるが、和室では入口引戸にガリを設けなければ廊下に面する壁面に設けなければならない。

図3.6は暖房センタを設置した住宅としては、最もダクト長さが長い場合であるが、これは住宅として、東西に長い間取りを想定したためであって、普通の住宅では中央部に押入などがあり、コアを設けやすいのでダクトを用いるとしても、もっと短くてすむであろう。

(2) 2階建住宅の場合

直接吹出法を適用できない2階建住宅の場合は、非常に多いと思われる。このようなとき、2階のコア部分と1階のコア部分を天井内で横引ダクトで接合する方法がある。すなわちダクト併用法である。しかし、横引ダクトは天井内とはかぎらず下り天井としたダクトと接合してもよい。この場合はさらに多用途が増大するが、工事費が増加するからできれば間取りで解決したいものである。図3.7はこの方法のうち天井内で横引ダクトと接合する場合を示した。これらのダクトは、最近ガラス繊維を主体とするものがあるので工作は容易であるが、プレハブ的な考え方で完成品を工場生産することも可能で

ある。ダクト工事が複雑になれば設置工事を簡略化しようとする趣旨から離れ、暖房センタは、たんにファーンレスと変わらないことになる。この点で標準化の進んでいるプレハブ住宅に用い設置例をきめ、使用

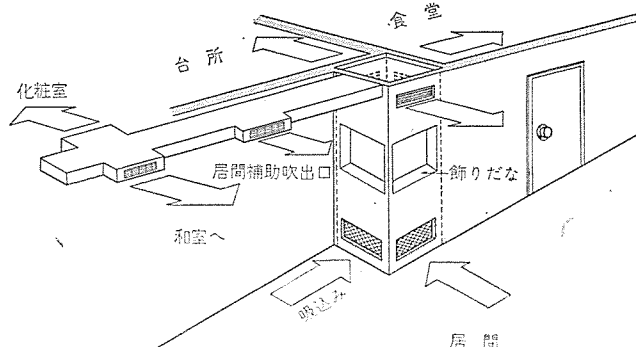


図3.5 ダクト併用の暖房センタ
Heating center installation (Warm air duct system).

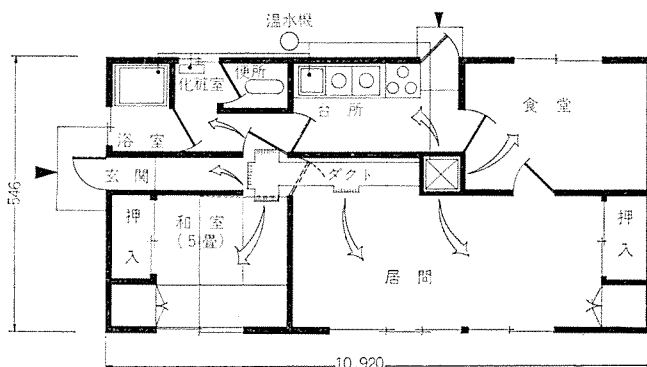


図3.6 ダクト併用の暖房センタと間取
Room arrangement of one-storied houses with a heating center using a duct.

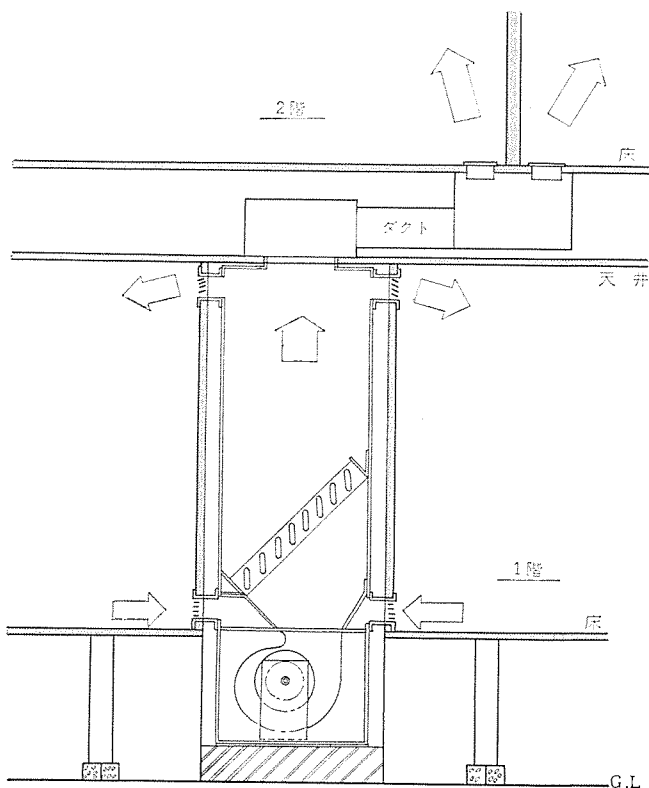


図3.7 2階建住宅のダクト併用暖房センタ
Heating center installation of two-storied houses
(Warm air duct system).

部品に至るまで標準化すればさらに安価に全館暖房を提供することが可能となる。

3.1.3 パイロットハウスの場合

図3.8、4.1はパイロットハウス技術考案に応募した住宅の適用例である。この場合は非常に特殊な適用例で温風暖房と床暖房の効果を併用している。すなわち、住宅のほぼ中央部に設置された暖房センタからの温風は、いったん、天井空間内に送られ、2階は床面にある温風吹出し口から、1階は天井面の温風吹出し口からそれぞれ送風される。2階の吹出し口は居間以外は各室一つで温風はドアガリを通して階段を降り暖房センタにもどる。1階の吹出し口はDK・玄関・化粧室にありDK以外は小形のものをを用いている。

この住宅の特長は、暖房センタの位置を固定する以外は間取りは自由で、各部屋に合った大きさの温風吹出し口を床面に作ればよいこと、および床パネルが暖くなる床暖房方式で快適性が高いことである。

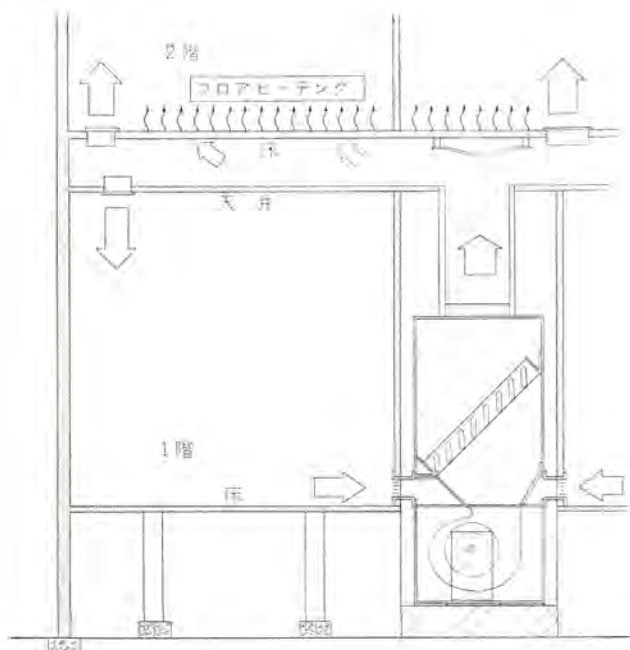


図3.8 パイロットハウスの暖房センタ
Heating center installation for a "Pilot house".

表3.1 暖房センタ仕様
Specification of a heating center.

外形寸法		高さ: 1,266, 幅: 710, 奥行: 710(mm)
暖房能力	出力	12,000 kcal/h
	温水流量	18 l/min
	温水入口温度	80°C
	吸込み空気温度	20°C
熱交換器		アルミプレートフィン、銅パイプ 2列、24段、ゴラン形、4パス
送風機	風量	30 m ³ /min
	機外静圧	10 mmH ₂ O
	形式	シロッコファン
	電動機	単相 100 V 200 W 強弱2段切換
加湿器	形式名	CHA-30
	加湿量	300 cc/h
	給水圧	5 kg/cm ²
	給湿網	植毛板 3枚
	限界温水	85°C

4章に試作した暖房センタを用いて試験した結果の概要を記した。

3.2 暖房センタの仕様と構造

3.2.1 仕様

表3.1に仕様を示す。暖房センタの外形寸法は住宅の暖房設備用コアに収納できる寸法である。一般に暖房負荷を決める場合、1平方メートルあたり100~150 kcal/hの熱量が必要であり、現在の一般住宅の建築面積が、約75~100 m²であることから、12,000 kcal/h程度の暖房能力を持つ暖房センタが必要である。送風機は直接吹出し法の場合と、ダクト吹出し併用法の場合により静圧損失が異なるが、ダクト吹出し併用法のとき最大損失10 mmAqで25~30 m³/min程度の風量とれる送風機を使用している。

3.2.2 構造

図3.9は暖房センタの概略断面図である。大形ファンコイルユニットであるので熱交換器・送風機と加湿器からなっている。縦形の大形ファンコイルユニットは、床下に落としこみ地面にコンクリート基礎をした上に設置されている。暖房センタの中段、床上約20 cmに吸込み口が設けられている。上部からも居上にはプレナムチャンバーを設け、ルーバーを使用した吹出し口が設けられている。吸込み口と吹出し口が対になって暖房する部屋に面している。ダクト方式の場合は、この上部より接続することができる。暖房センタ本体は内部に断熱と吸音をかねた断熱材を内張りしてある。吸込み口には除じん用のフィルタを設けている。

つぎに、この暖房センタを使用した暖房システムの特長について述べる。

- (1) 送風機が床下部に位置するので、騒音は著しく低下する。
- (2) 暖房センタを用いたシステムでは配管が短くなり、配管口は床上、表面に出ないので部屋のムードをこわさない。
- (3) 住宅の中央部に暖房センタが設置されても温水の熱源は外部にあるので火災の危険性がなく、安全・衛生的である。

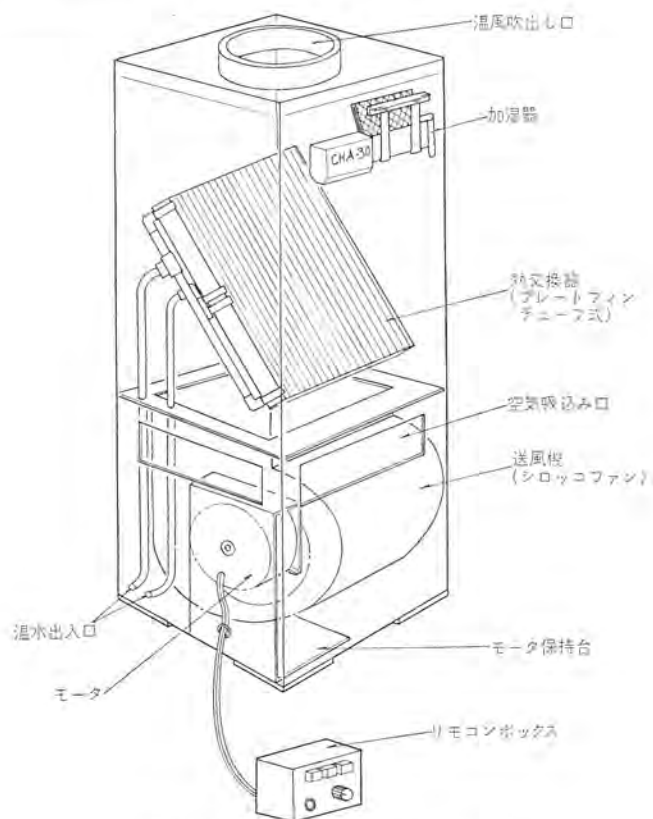


図3.9 暖房センタ Heating center.

(4) 暖房センタの熱交換器の設置位置が低くなるので、シスターンクの位置も低くなり、循環ポンプも小さく、電力量が少なくなる。

(5) 吹出し口・吸込み口は間取りにより口数を変えることができる。

(6) 直接吹出し法の暖房センタは、部屋に面して対になった吹出し口・吸込み口により、部屋ごとに直接吹出しできるとともに風量調節ができ、ドアガリも不要になるのでガリからの漏話もなくなる。

(7) 暖房センタ内に加湿器が内蔵されているので加湿できる。

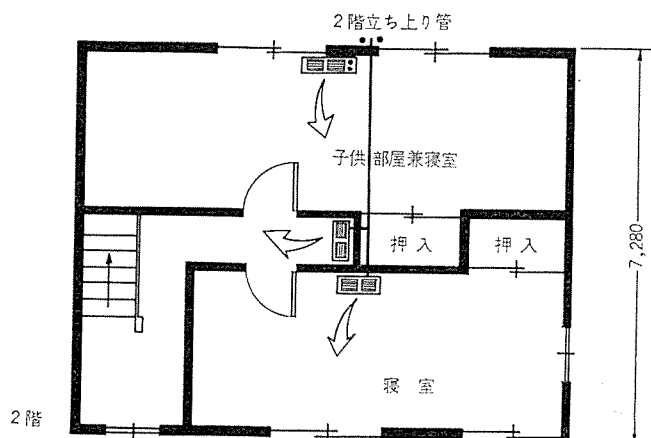


図 3.10 従来式集中暖房システム

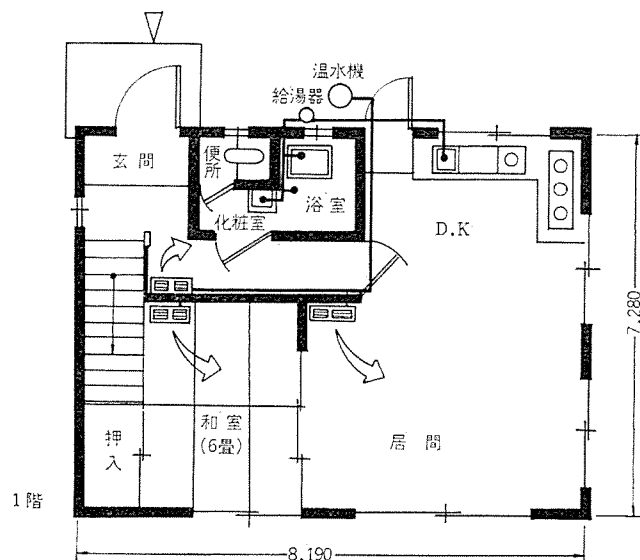
表 3.2 従来式集中暖房システム設備見積り
Estimated cost of a usual central heating system.

機器費内訳		価格(円)
リビングヒータ (居間、食堂)	VW-400 S	48,500
リビングヒータ (和 室)	VW-200 S	33,500
パネルヒータ (玄 関)	PH-12 L	18,600
リビングマスター (子供部屋)	LV-200 SE-B	56,500
パネルヒータ (2 階 廊 場)	PH-12 L	18,600
リビングヒータ (寝 室)	VW-250 H-B	29,500
石油温水機	PB-30 B	176,000
ポンプ	VPL-40	14,100
シスターンタンク	ET-40	16,000
石油タンク	FT-90	12,000
給湯器	KT-200	53,500
シスターンタンク	ET-20 S	16,000
工事費内訳		
1. 据え付け費		
石油温水機		8,500
シスターンタンク		6,000
放熱器 (6 台)		15,000
シスターンタンク		6,000
2. 配管工事費		
配 管	主配管	38,800
	枝配管	21,800
	給湯配管	8,600
断 熱	主配管テープ	8,600
	補助鉄板	8,600
	枝配管テープ	3,600
	補助鉄板	11,000
	給湯断熱	2,900
3. 煙突工事費		22,000
4. 雑工事費		
水道継工事		9,000
石油配管		1,000
給湯口	シャワー	10,000
	ジャロ	3,000
削り、穴、補修費		18,000
5. 試運転調整費		27,500
6. 諸経費		33,700
合 計		¥ 762,500

3.3 暖房センタの制御

吸込み口に吸込み空気温度検出サーモスタットを取付け、吸込み空気温度を検出して暖房センタの自動運転を行なうものである。

吸込み空気温度検出サーモスタットの温度検知により、熱交換器用循環ポンプの ON・OFF を行ない、熱交換器に流れる温水循環量を制



Usual central heating system.

表 3.3 暖房センタシステム設備見積り
Estimated cost of a heating center system.

機器費内訳		価 格(円)
放熱器	LV-800 SE-B	120,000
石油温水機	PB-30	176,000
ポンプ	VPL-85	15,000
シスターンタンク	ET-20 S	16,000
石油タンク	FT-90	12,000
給湯器	KT-200	53,500
シスターンタンク	ET-20 S	16,000
工事費内訳		
1. 据え付け費		
石油温水機		7,000
シスターンタンク		6,000
放熱器		2,500
給湯器		3,000
シスターンタンク		6,000
2. 配管工事費		
配 管	主配管	16,900
	枝配管	16,900
	給湯配管	8,600
断 熱	主配管テープ	2,600
	補助鉄板	5,400
	枝配管テープ	1,000
	補助鉄板	11,000
	給湯断熱	2,900
		3,000
3. 煙突工事費		22,000
4. 雑工事費		
水道継工事		9,000
石油配管		1,000
給湯口	シャワー	10,000
	ジャロ	3,000
削り、穴、補修費		9,000
5. 試運転調整費		10,000
6. 諸経費		22,600
合 計		¥ 587,900

御し暖房出力を変え、室内を快適な温度に保つ。送風機が常時運転されているので室内の温度分布を均一に保つことができ、また強弱二段切換えができるので夜間静寂な運転ができる。温水ボイラは循環ポンプの ON・OFF による温水温度変化に対応し、常に一定温度の温水を給湯できるようにアクアスタットにより自動運転する。

3.4 設備費の比較

各部屋に放熱器を設置し温水配管を施工した従来の温水式集中暖房システム（以下従来式という）の住宅、図 3.10 と同一の住宅を図 3.4 のように直接吹出し法を適用して暖房センタで暖房する住宅の見積りを行ない比較する。見積り方法は電子計算機による“冷温水システム 設備設計 プログラム”を使用した。このプログラムは、決められた住宅の間取りから暖房を行なう部屋を設定し、部屋の熱負荷を計算し熱負荷に適合した放熱器を選び、給湯用の熱負荷も算出して熱源の石油温水機を選定する。その他の付属機器も選定される。つぎに工事費の見積りが行なわれ、機器の設置工事費・配管工事費などが計算される。

この住宅は延建築面積 104 m²。プレハブ 2 階建てで 5 人家族とした。

暖房設計温度条件	室内温度	20°C
	外気温度	-1.5°C とする

その結果は

従来式集中暖房設備費	762,500 円
暖房センタ方式設備費	587,900 円

である。暖房センタを用いたほうが従来式集中暖房設備費の 77.2 % の費用ですむ。

暖房センタを用いた場合、実際にはミスターンタンクの位置は 2 階上部になくてもよいので、ミスターンタンクを低くして

ブランチ管部分	9,375 円
外部テーブ巻き	5,500 円
工事費	1,290 円
合 計	16,165 円

上記のように安くなるので、これを差引くと、571,735 円となる。これは、さらに 2 % 低減し従来式集中暖房設備費の 75 % の費用でよいことになる。

従来式集中暖房設備のうち（図 3.10）2 階踊り場、および玄関のパネルヒータを省略するとすれば、

放熱器 PH-12 L	2 台	37,200 円
配管工事費		12,000 円
合 計		49,200 円

が不要となり、713,300 円となる。

この方法では暖房センタの全館暖房に比べて暖房面積が減少するが、こうしてもなお暖房センタを用いたほうが安価である。

以上の計算を平方メートルあたりの価格に変えてみると、次のようになる。

従来式集中暖房方式 (PH-12 L が 2 台なしのとき)
6,858 (円/m²)

暖房センタ方式 (ミスターンタンクの位置を低くしたとき)
5,497 (円/m²)

3.3 m² あたりの暖房給湯設備費は、従来式で約 22,000 円、暖房センタ式で約 18,000 円である。

この見積り方法では配管工事費が比較的安く出るので、配管の長い従来式集中暖房設備ではさらに高価になる要素がある。設備費を低減させるには、さらに機器のユニット化を計り、温水機まわりの配

管・ミスターンタンクおよび循環ポンプの温水機との一体化を計り現場作業を減少させることで可能である。

4. パイロットハウスにおける暖房試験

試作した暖房センタを実際の住宅に適用した場合の状況について述べる。

4.1 暖房方式

この住宅は木造 2 階建てで延床面積 82 m² である。その間取りは図 4.1 に示すように 1 階に DK、ユーティリティ などがあり、2 階には居室が 4 部屋ある。暖房センタは 1 階、ユーティリティに設置されている。暖房センタと屋外に設置されている石油温水機とは温水循環ポンプを介して、温水配管により接続されている。

石油温水機により加熱された水は、温水循環ポンプにより暖房センタとの間を循環する。暖房センタの吸込み口から吸入された空気は、熱交換器部で熱交換し温風となって暖房センタから吹出される。

温風温度は 2 階を床暖房しているの、床表面温度が 30°C を越

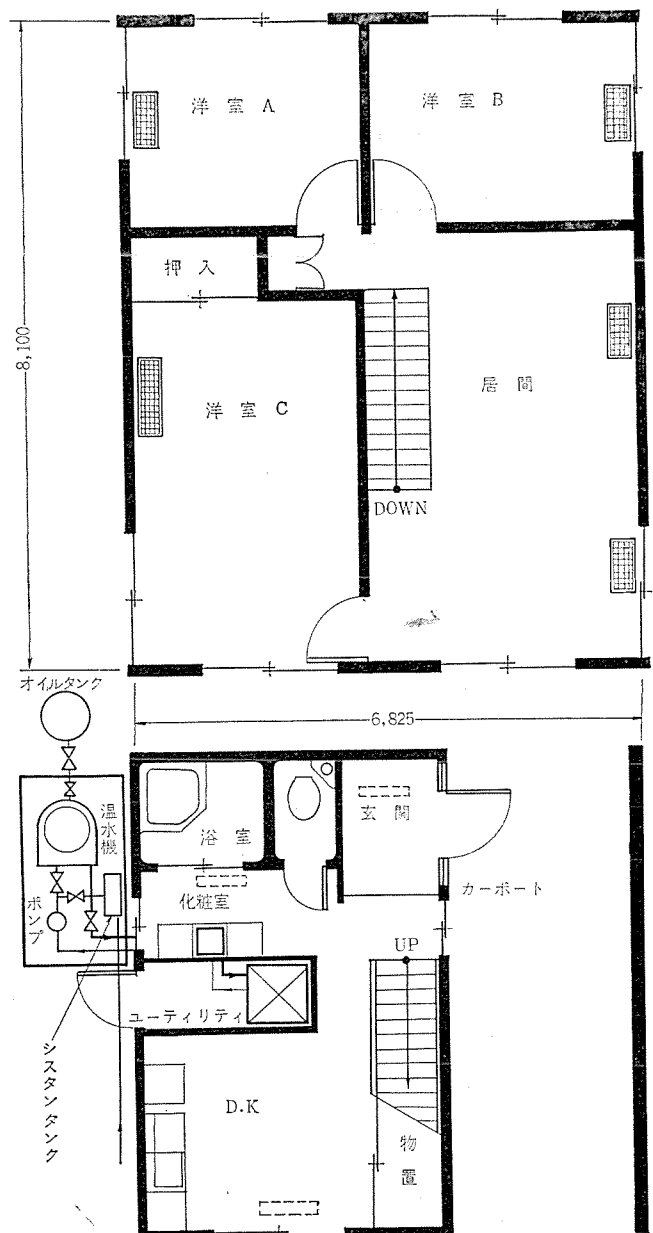


図 4.1 パイロットハウスの間取り
Room arrangement of a "Pilot house".

えないように 50°C 以下に設定した。木造住宅において温風暖房を行なった場合、木材の乾燥が問題になるのでこの点からも温風温度を 50°C 以下になるように制御している。なお木材は人工乾燥により平衡含水率まで乾燥してあるので、曲がったり、そったりすることはない。温風が吹込まれる天井空間についてはとくに気密性に注意を払って施工し、また建物外への熱漏れを防止するために外壁にはグラスウールを保温材として用い、カーポート天井および持出し部軒天面はグラスウールの厚さを 43 mm とし保温を強化した。

その他、安全性についての配慮から火気を屋外に出し、衛生などの面からフィルタを備え、かつ加湿器をも付属させている。

4.2 暖房試験

4.2.1 室内の上中下温度分布

室内の上中下温度差は図 4.2 に示すように非常に少なく、とくに 2 階の室内温度は床暖房の効果をはっきり表わしている。1 階の室内温度分布を見ると天井面の温度が 30°C 前後とかなり高くなり、天井パネルとしての効果がでている。また図 4.3 に示すように 2 階の吹出し口を全閉すると、1 階各室の上中下の温度は従来の温風暖

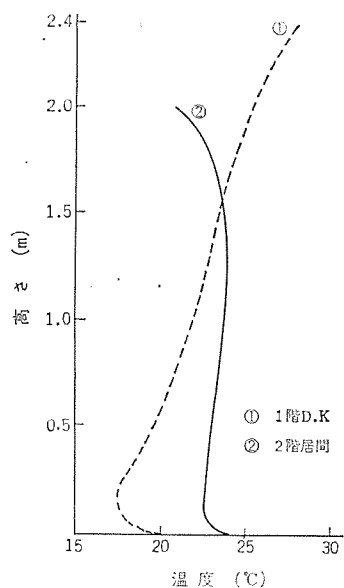


図 4.2 垂直温度分布
Vertical room-temperature.

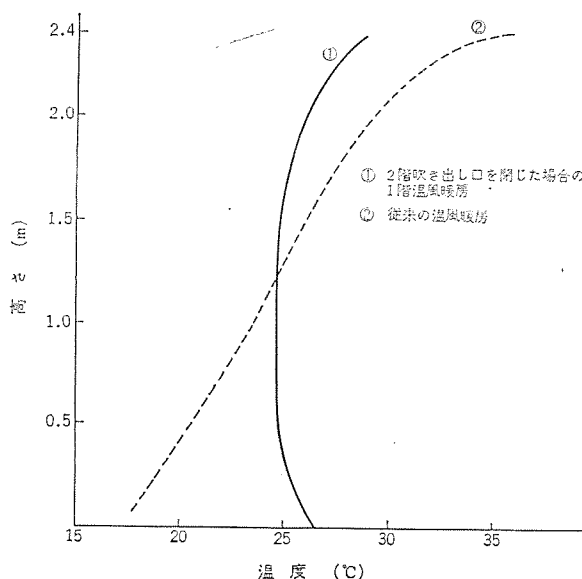


図 4.3 垂直温度分布
Vertical room-temperature.

房とは異なった温度分布を示す。すなわち床面に近い部分の温度が高くなる。また室内の水平方向の温度差は 1°C 以下とさきわめて少ない。

以上のようにこの暖房方式はダクト式温風暖房に比べ快適性という点で非常にすぐれている。

4.2.2 各室相互間の温度差

各室相互間の温度上昇の状態を図 4.4 に示す。各室ともほぼ同一の速さで温度上昇しているが、洋室 B のみやや遅れている。

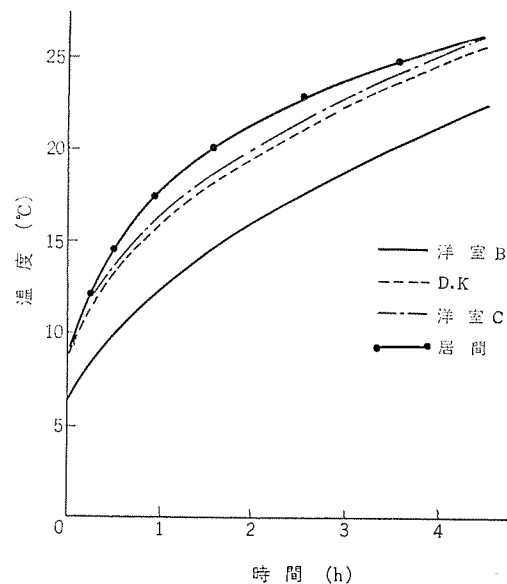


図 4.4 各室の温度上昇曲線
Initial room-temperature.

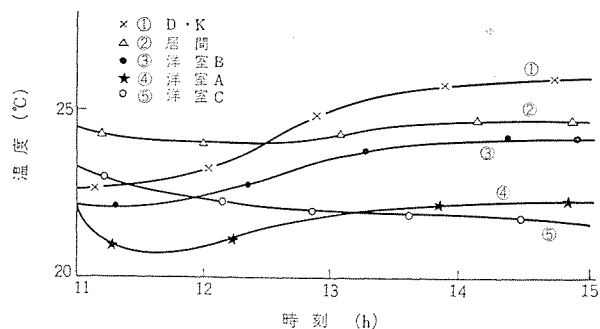


図 4.5 定常状態における各室内温度
Various room-temperatures at stationary states.

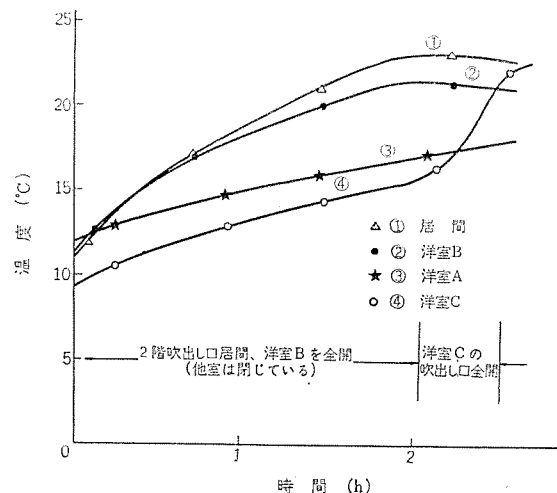


図 4.6 各室内の個別温度制御
Individual room-temperature control.

定常状態における各室相互間の温度差について比較すると、1階、2階とも十分に暖房ができており、温度差も図4.5に示すように非常に少ない。以上のように運転開始時に一部の部屋に差がみられるが、その原因は温風が他の部屋に比べて循環しにくいためであり、これは温風の流路抵抗を少なくすること、温風温度の低下を防止すれば改善できる。また温風暖房で生じやすい2階のみ暖まるという状態は本試験からは観測されず、良好な暖房環境となっている。

4.2.3 各室の個別制御性

各室を個別に制御することは住宅の冷暖房に関しては、快適性や経済性のうえから望ましいことである。個別制御性はつぎのようにして調べた。1階の各部屋には常時温風を吹出し、2階の各部屋は必要に応じ、吹出し口の開口面積を変え、室温と時間の関係を測定した。図4.6からわかるように吹出し口を閉じた部屋に比べ吹出し口が開いている部屋のほうが室温は早く上昇する。各室の吹出し口を全開にして暖房した場合の温度上昇速度に比べ、個別に暖房した場合は約1.5～2.0倍の速さになる。

すなわち、この暖房システムにおいては室温の立ち上りを早くするために、必要に応じて各部屋の吹出し口の開閉度を変え、かなり個別制御ができるようになっている。これは温風吹出しの効果で、従来のパネルヒーティングの欠点を改善しているものである。

つぎに間けつ運転をした場合について簡単にふれる。間けつ運転は運転費を軽減するために、このような暖房方式でも考慮しなければならない。この暖房方式ではとくにその立ち上りが問題となる。立ち上に影響を与える要因は熱源機器・暖房センタの能力・暖房負荷・熱容量などである。この暖房センタを設置した木造プレハブ住宅の全放熱量（暖房負荷+その他の熱損失）は、約8,000 kcal/hで熱容量が2,000～2,500 kcal/°Cとコンクリート住宅などに比べて小さい。そのため、タイマーなどの自動制御装置を使用することにより十分に間けつ運転ができる。

4.2.4 各室吹出し口の風速

各室吹出し口の風速は、1、2階とも平均1 m/sとダクト式温風暖房の4.5 m/sに比較すると遅い。また吹出し口の空気温度も40°C前後とダクト式温風暖房に比べて低い。そのため室内の上下温度差は

少なくなり、かつ身体に直接温風を感じずということもなく、きわめて快適な暖房ができる。吹出し風速が遅いので吹出し口からじんあいを放出するおそれもなく衛生的である。

室内の湿度は暖房センタに付属している加湿器により、暖房中においても相対湿度35%くらいに加湿されているので、集中暖房を実施した場合に起こりがちな乾燥したという感じはまったくない。

4.2.5 騒音

住宅の中へ空調機器を設置した場合、騒音が最も問題になる。

暖房センタを設計する際、とくに送風機の位置や熱交換器のフィンピッチの大きさなどを騒音の面から検討した。また据付けについても振動などが生じないように注意した。その結果、今回の試験では2階の各部屋は暗騒音とまったく差がなかった。1階においてはDKの部屋の騒音が問題となるが、これも暗騒音より数ホン高い程度であり、従来の石油温風暖房機などによる場合よりもかなり改善されているがさらに改良の余地がある。

この試験においては吹出し口風速が遅いために吹出し口における騒音の発生はまったくなかったが、暖房センタをダクト併用法に用いる場合には吹出し風速が速くなるので、この部分からの発生騒音にも留意しなければならない。

5. む す び

暖房センタは一般の住宅に安価・簡単・安全に暖房ができるように開発したものである。本文で述べたように機器費、工事費の低減、工期の短縮が十分になされ、従来の集中暖房方式に比べ70～80%の価格で集中暖房ができると試算されている。さらに機器の標準化やユニット化などを行なうことにより、設備費の総額が低減されるので当初の目的は十分に達成される。また住宅への実施例として一部に床暖房を採用した暖房システムで、その暖房環境を調べた結果、きわめて快適な暖房ができることも実証された。

われわれはこの暖房センタが、今後ますます住宅がプレハブ化される情勢のなかで、非常にユニークな暖房システムであると確信している。

Ventilating fans are apparatus to supply fresh air to living quarters of people. These important appliances, however, were not found in use in general households a few years ago, being mostly employed in factories and warehouses. Recent changes in the construction of residences and dietary life has changed the situation and the ventilating fans came into use at the kitchen and then at the living and the bed room in rapid succession. Furthermore they have come to assume the role of simple cooling window fans operating the suction of air as well as that of mere movement of air. Now they have developed into LOSSNAY that exchanges temperature and humidity of the room in drawing in and exhausting air.

This article describes the change of the ventilating fan series and the features of ventilating fans in the employment at present.

1. ま え が き

換気の目的は、われわれの生活環境から汚染された空気を除去して、絶えず快適な空気的环境下におくことにある。特に生活様式・家屋構造の変化に伴い、室内空気が汚染される傾向にあり、ガス・石油暖房器・ガスぶろなどの中毒事故が起こりやすく、健全な市民生活がおびやかされることになる。換気扇は、人間の居住区へ新鮮な空気を供給し、汚染空気を排出するという重要な役割を持つ機器である。この換気扇が、われわれの生活に入り込んだのはつい最近のことであり、家庭生活との結びつきの歴史は浅いが、住居構造・生活様式・食生活が多様化してきている現在、換気扇も専用化される傾向にある。

ここでは換気扇がどのような形で、われわれの生活に結びついていくかを述べてみる。

2. 換気扇の変換

換気扇が一般家庭に使われはじめてから10年ほどになるが、その間に換気扇の系列は多様化し、それぞれの用途に使用したときに

最もその能力を発揮するように専用化されつつある。

図2.1は換気扇の系列の変遷を示したものであるが、10年の間に単なる空気の移動から熱エネルギーの交換を行なうような換気装置にまで発展している、将来は建築様式の変化に伴い、現時点では予想できないような換気システムが開発され、ますます専用化されることになるだろう。

3. 換気の基礎

建築物内外の温度差、あるいは外気風による圧力差によって換気を行なう自然換気は、建築物の形状・すき間等に大きく左右されやすく、任意の換気は不可能である。より快適な居住環境を作るためには、機械換気に頼らざるをえない。

機械換気の場合の換気量決定には、いろいろな求め方があるが大略次によるのが普通である。

3.1 室内換気

工場や集会場・事務所等室内全体を換気する場合には、その建物の使用目的や収容人員を基本にして換気量を決定する。

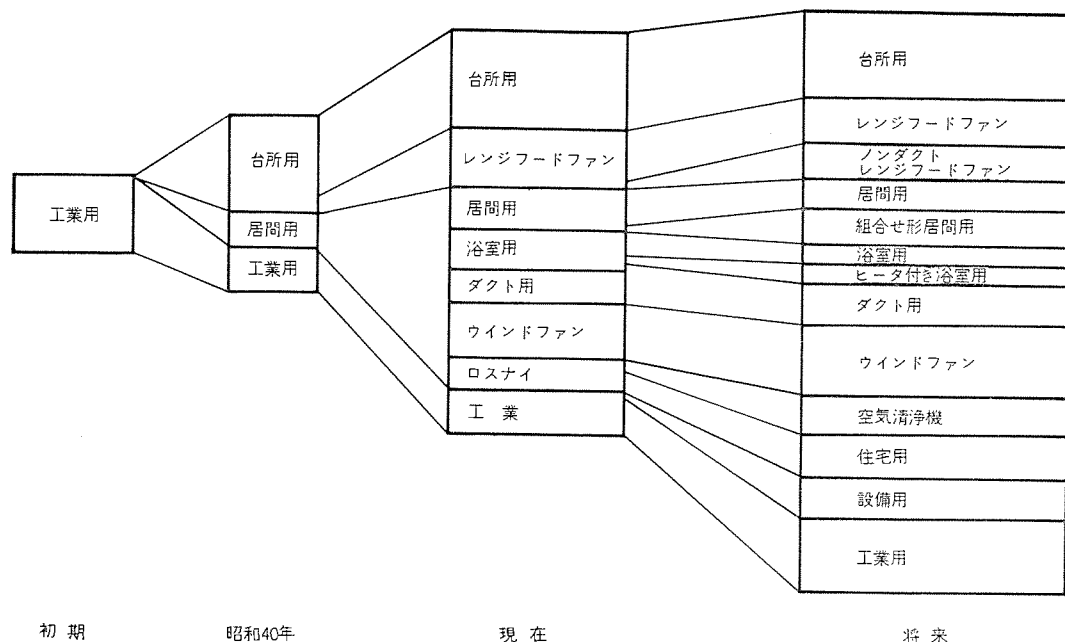


図 2.1 換気扇系列の変遷 Transition of ventilation fan series.

(1) 必要換気回数による決定法

その建物の使用目的によって換気風量を決定する方法で、最も一般的なものである。(表 3. 1)

$$V=N \times Q$$

V : 必要換気量 m^3/h

N : 換気回数 N/h

Q : 建物容積 m^3

(2) 収容人員による決定法

1人当たりの床面積が $0.8 \sim 1.0 \text{ m}^2$ 以下になる建物の場合には、収容人員を対象として換気量を決定するほうが望ましい。(表 3. 2)

$$V=P \times Q$$

V : 必要換気量 m^3/h

P : 在室人員数

Q : 1人当たりの必要空気量

表 3. 1 毎時必要換気回路

The necessary number of times for ventilation for one hour.

室の種類	回数	室の種類	回数
一般家庭		待合室	10
合居所	15	診察室	6
応接室	6	病室	6
応接所	10	手術室	15
小ホール	10	消毒室	12
旅館およびホテル		一般作業室	6
調理室	15	塗装場	20
食堂	8	常電室要電室	20
大食堂	10	事務室	6
レストラン	6	一般建物会議室	12
飲食店		便所	10
調理室	20	暗室写真用暗室	10
宴会場	20	公衆便所	20
宴会場	10	有毒ガスの発生する室	20以上
講義室	6		
学校			
体育館	8		
便所	12		
劇場			
観覧室	6		
観劇室	20		

表 3. 2 1人当たりの必要空気量
Required air volume per head.

場 所	1人当たり外気供給量 m^3/h		喫煙者の割合
	適 度 量	最 小 量	
事務室	25.5	17	幾 部 分
私室	51	25.5	50 %
百貨店	12	8.5	な し
ホテル	25.5	17	幾 部 分
食堂	25.5	20.4	25 %
喫茶店	25.5	12	ときどき喫煙
舞踏場	34	17	ときどき喫煙
病室	25.5	17	な し
バー	25.5	17	幾 部 分
銀行	17	13	ときどき
劇場	13	8.5	な し
全部喫煙者	51	42.5	100 %
全部無喫煙者	13	8.5	な し

表 3. 3 理論廃ガス量
Theoretical exhaust gas volume.

燃 料 の 種 類		理論廃ガス量
燃 料 の 名 称	発 熱 量	
1 都市ガス	1 m^3 につき $5,000 \text{ kcal}$	1 m^3 につき 5.34 m^3
2 都市ガス	1 m^3 につき $3,600 \text{ kcal}$	1 m^3 につき 3.93 m^3
3 天 燃 ガ ス	1 m^3 につき $4,500 \text{ kcal}$	1 m^3 につき 4.95 m^3
4 天 燃 ガ ス	1 m^3 につき $9,500 \text{ kcal}$	1 m^3 につき 12.5 m^3
5 LPガス(プロパン主体)	1 kg につき $12,000 \text{ kcal}$	1 kg につき 12.9 m^3
6 ブタンエアガス	1 m^3 につき $7,000 \text{ kcal}$	1 m^3 につき 7.33 m^3
7 燈 油	1 kg につき $10,300 \text{ kcal}$	1 kg につき 12.1 m^3

(3) 燃焼器具による決定法

一般住宅のちゅう房等床面積に比較して、燃焼器具の使用ひん度が多い場合には、それ等燃焼器具からの廃ガスの換気に重点を置いて決定する。(表 3. 3)

$$V=K \times Q$$

V : 必要換気量 m^3/h

K : 廃ガス量に 40 を乗じた量 m^3/h

Q : 燃料消費量 m^3 または kg

(4) フード内流速法

局所的に煙等が発生する場合には、フードを併用して効率よく排出を計る。フード換気原則は、フード内流速を 0.3 m/s 以上になるようにすれば完全に排気できる。

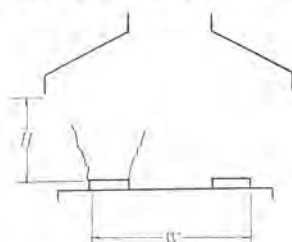
$$V = \{W + 2(0.4H)\} (RD + 0.4H) \times 0.3 \times 3,600$$

V : 必要換気量 m^3/h

W : レンジの幅 m

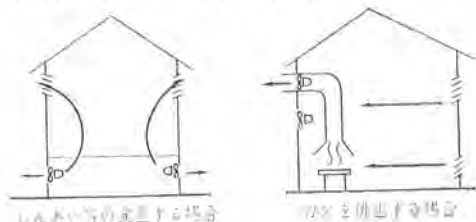
H : フード高さ m

RD : 壁面からのレンジ寸法 m



3. 2 工場換気

人間の居住区以外にも換気扇はひろく使われている。一般工場のみならず農事用にもいろいろな使われ方をしているが、工場の場合には熱気等の排出から人間には有害なガス・じんあいの排出までである。特にこれらの有害な場合には、空気の流れが人間の顔面を通過しないよう空気取入口を設けるような配慮が必要である。



4. 換気扇の種類と特長

換気扇の主流はちゅう房用の換気扇である。ちゅう房以外の居住区域への換気扇取付けは、まだまだ認識不足であり活発ではないが、当社では非常にユニークな居住区域用換気扇、三菱ロスタイウインドファンを開発しており、ちゅう房用換気扇と相まってそれぞれの用途における選択度が非常に向上している。

4. 1 ちゅう房用換気扇

ちゅう房用換気扇は全換気扇の 70 % を占めているが、これはちゅう房に換気扇を付けることは常識であることを示している。しかしちゅう房換気にも、換気方式から分類して全体換気と局所換気、建築様式から分類して高層住宅用集中ダクト換気方式と一般住宅用独立換気方式、とに分けることができる。

(1) 全体換気方式(うぶら形換気扇)

換気扇といえば、この種の換気扇をさすぐらい一般化した換気扇である。全体換気方式とは、家屋全体の換気を意味し換気回数で換気量を計算するときの換気方式でもある。したがって、この方式の最大の特長は大風量にある。短時間にちゅう房内の空気を入れ換えてしまい、煙もろとも戸外へ排出してしまう。大きさは 15 cm から 30 cm まであり、低階家屋には 20 cm または 25 cm、高層家屋には 15 cm を使用する。30 cm はかなり大きなちゅう房でないかぎり一般家庭ではあまり使用しない。(図 4. 1)

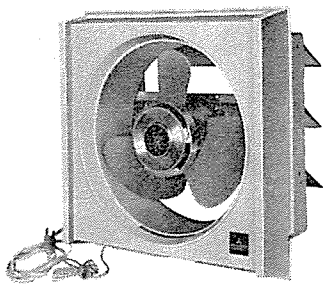


図 4.1 ちゅう房用換気扇
Ventilation fan for kitchen.



図 4.2 レンジフードファン
Range food fan.

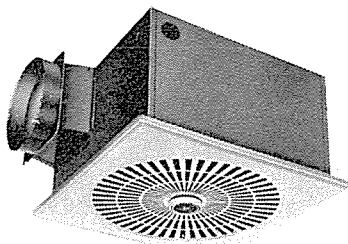


図 4.4 ダクト用換気扇
Ventilating fan for duct.

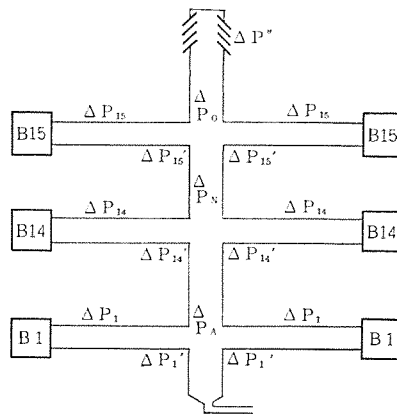


図 4.3 圧力損失のブロック図
Block diagram of pressure loss.

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \Delta P_2 \\ \Delta P_1' &= \Delta P_2' \\ \Delta P_A &= 0.001 \text{ mmH}_2\text{O} \\ \Delta P_C &= 0.010 \\ \Delta P_E &= 0.029 \\ \Delta P_G &= 0.056 \\ \Delta P_I &= 0.093 \\ \Delta P_K &= 0.0137 \\ \Delta P_M &= 0.193 \\ \Delta P_O &= 0.253 \\ \Delta P'' &= 0.204 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{14} &= \Delta P_{15} = 0.233 \text{ mmH}_2\text{O} \\ \Delta P_{14}' &= \Delta P_{15}' = 0.630 \text{ mmH}_2\text{O} \\ \Delta P_B &= 0.005 \text{ mmH}_2\text{O} \\ \Delta P_D &= 0.018 \\ \Delta P_F &= 0.041 \\ \Delta P_H &= 0.073 \\ \Delta P_J &= 0.114 \\ \Delta P_L &= 0.164 \\ \Delta P_N &= 0.223 \end{aligned}$$

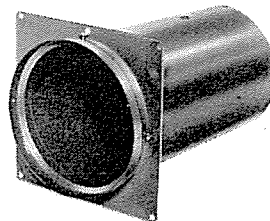


図 4.5 防火ダンパ
Fire prevention damper.

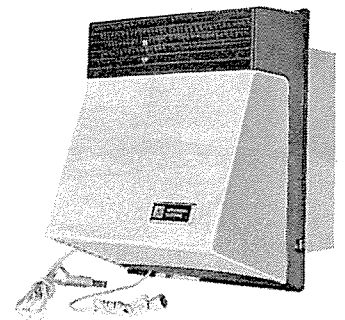


図 4.6 居間用換気扇
Ventilation fan for sitting room.

(2) 局所換気方式 (レンジフードファン)

最近急速な伸びを見せているファンで、調理の際に発生する煙のみを排出しようとするものである。プロペラ換気扇に比較して換気風量は少ないが、レンジ真上に取付けるため換気効率は非常に高い。局所換気方式では、排煙効率を上昇させ換気風量はできるかぎり小さくおさえてある。このため、ちゅう房内の冷暖房を考えた場合の熱的ロスが少なく、将来のちゅう房換気の主流となろう。これはまた室内装飾の面からも十分考えられることである。図 4.2 は三菱レンジフードファンの代表的な機種であるが、横幅が 670 mm から 920 mm まで自由に変えることができ、つり戸だな等のおさまりがよく、使いやすい機種である。

レンジフードファンの中に、フィルタを内蔵したダクトレスレンジフードファンがある、しかしフィルタの性能が日本人の食生活から考えて、一般家庭で使うにはまだまだ能力不足であり、将来の夢のレンジフードファンとなりそうである。

(3) 高層住宅換気方式 (集中ダクト用ファン)

都会地住宅がより高層化の方向に進み、さらに間取りも窓側を居住区にあって、中心部をちゅう房や浴室として使うようになると、換気方式もまったく異なった方式が必要になってくる。このような住宅の換気は、ビル中央部に集中ダクトを作り、このダクトを数戸の住宅が共同で使用して排気を行なうことになる、したがって比較的静圧の高い換気扇が必要になる。今 15 階建の住宅を例にとってみると、各部の圧力損失は図 4.3 のようになり、それぞれの圧力損失を加えると各階の換気扇の必要圧力は次のようになる。

1 階 2.471 mmH ₂ O	2 階 2.47 mmH ₂ O	3 階 2.465 mmH ₂ O
4 階 2.455 mmH ₂ O	5 階 2.437 mmH ₂ O	6 階 2.408 mmH ₂ O

7 階 2.367 mmH ₂ O	8 階 2.311 mmH ₂ O	9 階 2.238 mmH ₂ O
10 階 2.145 mmH ₂ O	11 階 2.031 mmH ₂ O	12 階 1.894 mmH ₂ O
13 階 1.730 mmH ₂ O	14 階 1.537 mmH ₂ O	15 階 1.314 mmH ₂ O

ここで同時使用率を 50 % と仮定した場合には、約 2 mm の圧力損失となる。

また 1 本の集中ダクトを共同で使用するため、火災の問題と臭気の逆流の問題が出てくる。火災については、換気扇と集中ダクトの間に防火ダンパを併用し、万一の場合に備え臭気の逆流については、集中ダクト上部に無圧 (低騒音) 大風量のプロペラ換気扇を取付けて常時運転しておけば、集中ダクトの中は負圧となり臭気の逆流を防ぐことができる。(図 4.4, 4.5)

4.2 用途別換気扇

用途別換気扇とは、ある用途に使用したときに十分その能力を発揮するように作られた換気扇である。この意味ではちゅう房用換気扇も用途別換気扇であるが、一般にはちゅう房を除いた換気扇の総称として使われているようである。

(1) 居間用換気扇

居室・寝室などに使用する換気扇で、小風量・低騒音が特長である。居・寝室の場合は換気風量よりも低騒音に重点をおき、快適性を最優先にしている。空気の流れも単なる排気だけでなく、そのへやの使用目的、季節に応じていろいろな使い分けができるよう、夏場の吸気、冬場のサーキュレーション等がある。また最近の建築様式が次第に密閉化される傾向にあるため、換気扇自体に新鮮空気の吸込口を設け、へやの密閉・開放に関係なく、安定した換気能力を持ったものや、へやからへや、あるいはへやから廊下など、住宅内の空気の移動を目的とした換気扇もある。(図 4.6, 4.7)

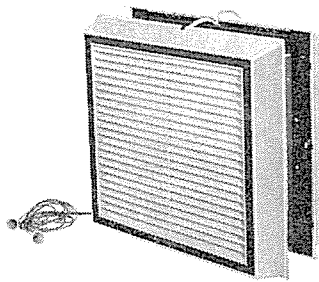


図 4.7 ルームルームファン
Room-Room fan.

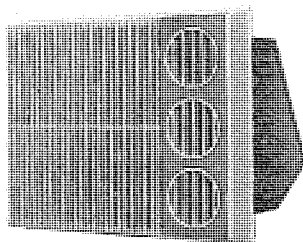


図 4.8 浴室用換気扇
Ventilation fan for bathroom.

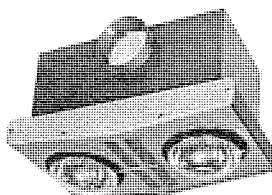


図 4.9 浴室用ヒータ換気扇
Heater ventilating fan for bathroom.

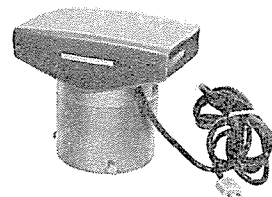


図 4.10 トイレットファン
Toilet fan.

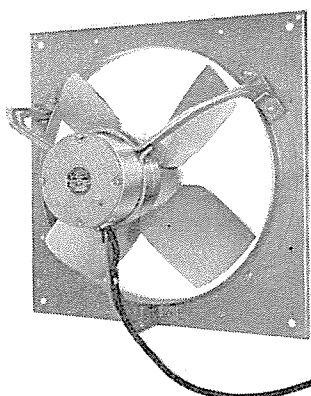


図 4.11 有圧換気扇
Pressure ventilating fan.

(2) 浴室用換気扇

浴室は密閉状態で使用する場合が多く、湯気による夏場の不快感のもとより、内だき式のガスボイラでは非常に危険な場合がある。新鮮空気の吸気口を持った換気扇を取付けることにより、これらの問題は解決し、燃焼ガスの排出と同時に燃焼に必要な新鮮空気を補給してやることができる。冬場の浴室は寒く浴室暖房の必要があるが、浴室のインスタント暖房として赤外線ヒータ付きの換気扇もある。500 W のラジヒータが内蔵されており、受電設備のさしたる変更もなしに手軽に使用することができる。(図 4. 8, 4. 9)

(3) トイレ用換気扇

下水道設備の少ないわが国では不可欠な換気扇である。住宅内のうちトイレは圧力を低く設定し、空気はすべてトイレのほうに移動させなければならないため、比較的静圧を高くとってあることと、排出された臭気ができるだけ早く拡散するように、吹き出し口にいろいろ工夫をこらした換気扇である。(図 4. 10)

4. 3 工業用扇, 有圧扇

この換気扇は住宅に使用する換気扇ではないが、換気扇本来の一次機能をより効率的に設計した換気扇である。工業用換気扇も使用場所によって用途別化されており、一般工場に手軽に使用する工業用扇、ウインドレス 鶏舎やダクトを通じて強制換気を行なう有圧換気扇、メッキ工場や薬品工場に取付ける耐薬品換気扇、あるいは爆発性ガスを排出する防爆形換気扇等、地味な存在ではあるが産業界発展のために活躍する換気扇である。(図 4. 11)

5. 新しい換気法

前述のように単なる調理時の汚染空気の排出から、快適な生活環境を得るための必需品として、各種用途のものへと発展し普及してきた。将来ますます新しい換気方式を応用した製品が誕生するものと思われる。その先頭を切って製品化されたものが三菱ウインドファンであり、全熱交換器(ロスナイ)である。

ウインドファンは吸気を利用して本格的冷房を行なうものであり、ロ

スナイは、熱損失なくすなわち室温を変えず換気する方式のものである。

5. 1 ウインドファン(換気冷房)

換気の効果として室内の汚染空気を排出し、新鮮空気を導入して室内の空気浄化を計ることが一般的であるが、もう一つの利用法として冷房効果を得る働きがある。夏の夜に室内は昼間の温みで暑く、戸外の涼しい空気を少しでも多く入れるため窓を開けたり、網戸を設けたりする。このような消極的な方法でなく、人工的に多量の外気を積極的に室内へ導入すれば戸外の涼しさに近づく、すなわち室内温度が低下され冷房効果が得られることになる。この種の目的に作られた換気冷房扇を一般にウインドファンの名称で呼ばれ、アメリカにおいては、ルームエアコンとほぼ同程度の伸長率を示し普及されている。わが国においても換気冷房を得るための製品は以前から存在していたが、外気の導入を効果的に行ない、かつ取付け・取扱いの面からみた場合、日本の家屋構造および日本人の感覚からはかなり遊離したものであった。

三菱ウインドファンは従来のウインドファンの概念から脱皮し、日本のウインドファンの理想を追求するために開発されたものである。

効果

換気冷房を行なうためには、室内外に空気エンタルピーの差があること、温度差のあること、が必要であり、換気による理論的冷房能力は次式で与えられる。

$$Q_T = G(i_1 - i_2)$$

ただし Q_T : 冷房能力 kcal/h

G : 吸入風量 kg/h

i_1 : 室内空気エンタルピー kcal/kg

i_2 : 室外空気エンタルピー kcal/kg

上式に東京のある旅館における7月下旬の夜8時の実測データを代入してみる。

室内状態	33°C	70 %	$i_1 = 21.6$
戸外状態	29.5°C	77 %	$i_2 = 19.3$
風量	900 m ³ /h (仮定)	$G = 1,080$ kg/h	

$$Q_T = 1,080 \times (21.6 - 19.3) = 2,484 \text{ kcal/h}$$

約 2,500 kcal/h の冷房能力となるが、実際には室内は戸外の状態に等しくならないので、冷房効率を 55 % としてみて

$$2,480 \times 0.55 = 1,370 \text{ kcal/h}$$

となり 1,400 kcal/h 程度の冷房機と同じ冷房能力に値する。

一方室内外の温度差も冷房効果に大いに関係するが、図 5. 1 に同じく東京の某旅館で実測したものを示す。午後4時ごろまでは外気温度が高く、ウインドファンによる冷房効果は望めないが、それを過ぎると室内温度が外気温度に比べて高くなり、午後7時過ぎになると、室内の空気流動による涼感効果(人間は 1 m/s の風に当たると

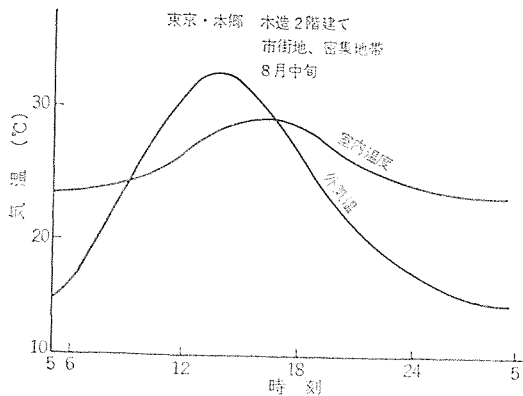


図 5.1 室内・外 気温実測曲線
Temperature measurement curves of inside and outside room.

約 1°C 涼しく感じる)とあわせて冷房機を付けた状態と近い程度にまで快適な室内環境とすることができる。維持費については、送風機を運転するための電力量のみであり非常に経済的である。外観は図 5.2 に示すように縦長であり、日本式の左右開き窓に美しく調和し、しかも容易に取り付けることができる。図 5.3 のようなタンオーバー式のものもあるが、これはウインドファンを使用しないとき、あるいは特に風雨が強いときなど、室内へターンすることができるものである。ウインドファンはルームエアコンとともに大いに伸びるはずである。

5.2 ロスナイ (三菱全熱交換気)

人間が快適な空気環境の中で過ごしたいという要求が、冷暖房・換気等を中心として各種製品の発達を促してきた。最近では生活水準の高揚に伴って、一般住居にも冷暖房が普及されつつある。冷暖房は人間が過しよい状態にするため、空気に熱エネルギーを与えて温度変換をさせているが、換気は汚染空気の排出および新しい酸素の供給を目的としたものである。換気することは健康・衛生・快適化のうえから不可欠のものであり、(冷暖房)+(換気)が満足されてこそ快適な環境が得られ、それが空気調和の本質でなければならない。

一般的に冷暖房された室内は、その冷暖房効果をそこなわないために、外気と熱し断るので気密性が高く、したがって新鮮空気(OA)の供給すなわち換気が必要になる。ところが換気するためにはお金をかけて暖め、または冷やした高価な空気を捨てることになり、OAの量に応じて空調の設備費・維持費は増加する。このように冷暖房効果と換気効果は相反することになり、図 5.4 のような関係となる。したがって冷暖房の立場からは換気そのものが敬遠され、汚染された空気の中でがまんしてしまうことになる。これは従来の換気するための製品はもとより、換気方式そのものが、単に汚染された空気を捨てそれと同じだけのOAを補給することにあっただけからであり、図 5.4 のような冷暖房と換気の矛盾性を解決するには、換気によって生ずる熱損失を少なくすることである。この目的のために作られたのが、今までの換気の方法と根本的に異なるロスナイを応用した新しい換気方式であり、室温を変えないで換気する製品の出現となったのである。

(1) ロスナイの原理

ロスナイに使われている熱交換器は、原理的には透過式全熱交換器と呼ばれる。これは材料に紙系統のものを使い、これを図 5.5 のようにプレートフィン式熱交換器の状態にしたもので、2種類の空気の(温度)+(湿度)すなわち全熱を同時に交換させるものである。ロスナイとはロス(熱損失)のない……ところから付けたペットネームである。

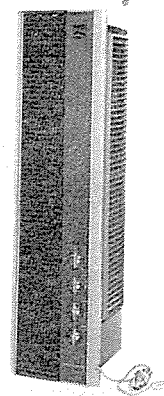


図 5.2 ウインドファン WF-902 M
Window fan WF-902 M.



図 5.3 ウインドファン TF-903
Window fan TF-903.

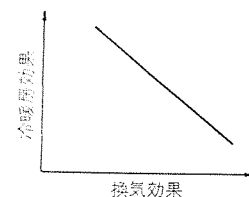


図 5.4 冷暖房効果と換気効果の関係
Relation between air-conditioning effect and ventilation effect.

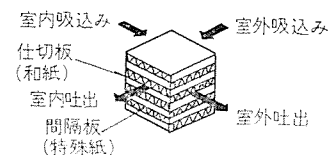


図 5.5 ロスナイの原理
Principle of LOSSNAY.

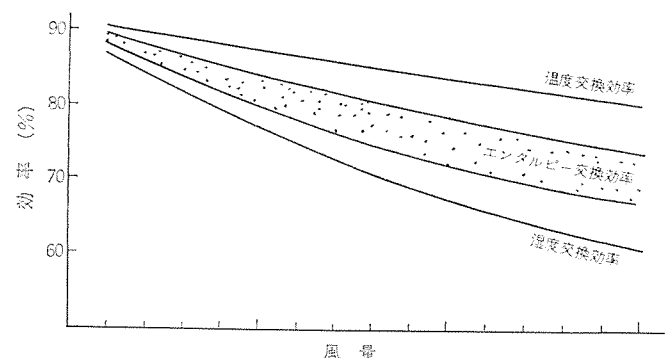


図 5.6 熱交換効率曲率
Heat exchange efficiency curvature.



図 5.7 ロスナイ LOSSNAY.



図 5.8 業務用ロスナイ
LOSSNAY for commercial use.



図 5.9 設備用ロスナイ
LOSSNAY for accommodation.

原理としては、仮に暖房時を例に考えてみると室内の暖かいが汚れている空気をロスナイの一方通路を経て戸外へ排出する。それと同時に、戸外の OA はロスナイのもう一方の通路を経て室内へ供給される。そのとき汚染空気と OA がロスナイを形成する紙系のものを隔てて、広い面積で相接することになり、有効な温湿度交換が得られることになる。すなわち冷たい OA は排出される室内空気から熱エネルギーを得て暖められ、室内の温湿度に近づいた状態で熱交換しながら供給されるわけである。夏は逆に高温多湿の外気が、冷房された室内空気により冷やされ除湿されて、OA として供給されることになり、冷暖の両方において熱損失の少ない換気が行なわれる。

換気量の多いきわめて快適な冷暖房が経済的に行なえることにな

る。

(2) 熱交換効率

温度・湿度・エンタルピの交換効率は次式で定義される。

$$\eta_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{h1} - t_{c1}}$$

$$\eta_h = \frac{t_{h1} - t_{h2}}{t_{h1} - t_{c1}}$$

ただし η_c : 低温側の交換効率 (%)

η_h : 高温側の交換効率 (%)

添字 $\begin{cases} 1 \text{ は交換前の温度} \\ 2 \text{ は交換後の温度} \end{cases}$

上記は温度の場合についてであるが、湿度・エンタルピの場合も t を W, e 等の文字に置き換えればまったく同様に考えることができる。実用的には、ロスナイに通す風量によって図 5.6 のようになる。

容積 0.08 m³/h ほどのロスナイで、1,000 m³/h の空気を流した場合、温度交換効率 82 %、エンタルピ交換 72~77 % が得られ、一次空気・二次空気の間で高い全熱交換が行なわれる。図 5.6 においてエンタルピ交換が帯状で示されているのは、ロスナイに流れる一次・二次気流の空気条件において変化するものであり、極端には温度交換曲線と湿度交換曲線の範囲内になるが、一般空調における実用空気条件下では、図 5.6 のような範囲に想定される。

(3) 効果

ロスナイを使用した場合の基本的な効果は、冷暖房設備費および維持費がきわめて低く、しかも新鮮空気の導入が連続的に行なえることとであり、快適な空調が経済的に行なえるということにある。図 5.7 の家庭用ロスナイを例にとると、冷暖房時の電力量・石油燃料費が年間約 1 万円節約され、しかも快適な環境の中で生活できることになる。

さらに図 5.8 のような大形業務用、図 5.9 の設備用など、大形空調機と組み合わせて使用することにより、ビル設備費・維持費・償却費を大幅に下げることができる。

6. む す び

日本家屋が夏場重点の開放形家屋から空調中心の密閉形になるにつれ、機械換気が必要になるのは当然のことである。まず煙・臭気の発生するちゅう房から使われはじめ、次第に各種用途別へと移行しわれわれの生活に完全に密着したものとなっている。

この傾向は住宅構造の変遷とともにさらにすすみ、ウインドファン・ロスナイ等のまったくユニークな換気扇の出現にまで発展し、生活環境をより豊かにするため、換気扇は姿をかえながら大いに伸びることが予想される。



特許と新案

超電導合金

発明者 小俣虎之助・石原克己・橋本康男

この発明は、従来の超電導合金として知られる Nb-Zr 合金および Nb-Ti 合金で満足できなかった低磁界不安定性、臨界電流密度・臨界磁場・細線への加工性を改良し、H-I 特性と I-H 特性との不均衡をなくし、また超電導磁石の励磁過程に超電導破損などの著しい障害をひきおこしていたトレーニング現象を消去した Ti-Nb-Ta 超

電導合金にかかわり、Ti 26~64.5 %、Nb 16~49.5 %、Ta 2.5~19.5 %を含む 3 元系合金からなる。

Ti、Nb、Ta 金属は、前記組成に配合した後、非消耗アーク溶接法により、数回溶解して均一化をはかり、目的に応じて冷間加工や熱処理を加える。(特許第 558581 号) (萩原記)

空 気 調 和 装 置

考案者 丸 山 忍

この考案はエアフィルタが目づまりを生じた場合にも通風量を常に一定にできるようにした空気調和装置に関するものである。

図において、差動トランス(19)の一次巻線(20)(21)にサーミスタ(18)(22)をそれぞれ接続し、一方のサーミスタ(18)を本体(1)の通風路中に設置するとともに、他方のサーミスタ(22)を本体(1)の外部に設置する。このためサーミスタ(18)は熱放散がよくなり、他方サーミスタ(22)との間に抵抗差を生じ、二次巻線(23)に風速に相当する電圧が誘起される。

ここで、エアフィルタ(6)が目づまりを生ずると、通風路の風量が減少するので、サーミスタ(18)(22)の抵抗値の差が小さくなり、二次巻線(23)に誘起される電圧を減少する。これはトランス(25)のベース

電圧の減少となってそのコレクタ電流を減じ、抵抗(16)、コンデンサ(17)、それにユニジャンクショントランジスタ(14)からなる弛張発振回路の発振周波数を高めてサイリスタ(10)の点弧時期を早める。このため、送風機用電動機(7)の電流が増加し、その回転数が増して通風量を増加させる。

以上のようなこの考案によれば、エアフィルタの目づまりの程度にかかわらず常に一定風量を吹出口から吹出すことができ、従来のものにおけるエアフィルタの目づまりによる風量の減少にともなう冷暖房能力の減少といった欠点を解決できるものである。

(実用新案第 921611 号) (近藤記)

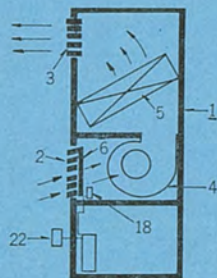


図 1

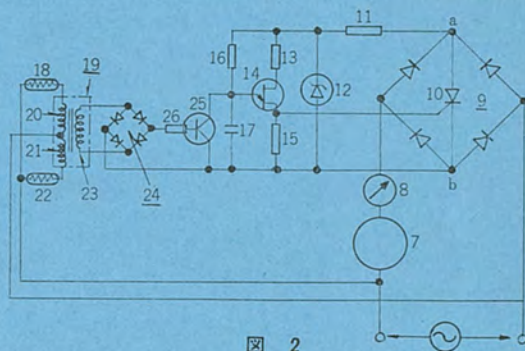


図 2

最近登録された当社の特許

名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 者	関 係 場 所
光磁気共鳴磁力形	45- 4-11	570059	安 東 滋	中央研究所
電解加工装置	45- 4-11	570064	久慈陽一・古池一成	名古屋製作所
会計機などの合計器自動払出し装置	45- 4-11	570065	加藤義明・渡辺義彦	鎌倉製作所
渦巻型ラップの製造装置	45- 4-11	570066	久保幸正・野上正男	大船製作所
保護継電装置	45- 4-11	570067	森 健	名古屋製作所
電圧無効電力制御装置	45- 4-11	570069	馬場準一・林 重雄	中央研究所
非同期式パルス通信方式における同期方式	45- 4-11	570070	大西熊一・中村信弘	通信機製作所
点火時期調整装置の圧力検出装置	45- 4-11	570071	柏木義民・小野征紀	姫路製作所
内燃機関点火装置	45- 4-11	570072	三木隆雄	姫路製作所
巻取機における定位停止装置	45- 4-11	570073	辻 順一	神戸製作所
印刷配線基板の銅メッキ前処理法	45- 4-11	570074	星野昌弘	京都製作所
パルス受信方式	45- 4-16	570451	{小林信三・大西熊一 中村信弘	通信機製作所
ジグザグミシン	45- 4-16	570453	藤田次朗	和歌山製作所
温水機安全装置	45- 4-16	570452	小原英一・山下紀夫	商品研究所
直列共振回路	45- 4-16	570455	中原昭次郎・川端俊一郎	鎌倉製作所
パルス受信方式	45- 4-16	570454	{小林信三・大西熊一 中村信弘	通信機製作所
非同期式パルス通信方式における同期方式	45- 4-16	570456	{小林信三・大西熊一 中村信弘	通信機製作所
レーダ情報相関演算方式	45- 4-16	570457	橋本直樹・横内通憲	通信機製作所
特殊レーダを用いた衝突防止装置	45- 4-16	570458	岡本春樹	京都製作所
加工間隙調整装置	45- 4-22	570972	{前田祐雄・斎藤長男 荒井伸治	名古屋製作所
搬送保護継電装置	45- 4-22	570973	高田信治	神戸製作所
揚水発電所のポンプ起動法	45- 4-22	570974	横田 浩	神戸製作所
流体絶縁電気装置	45- 4-22	570975	田辺俊雄	伊丹製作所
溶接順序制御装置	45- 5- 6	571825	馬場利彦・大賀隆文	伊丹製作所
機関点火時期調整装置	45- 5- 6	571826	浅山嘉明・林 正博	姫路製作所
内燃機関点火装置	45- 5- 6	571827	水田和幸	姫路製作所
移動無線通信方式	45- 5- 6	571828	前田良雄	中央研究所
超高压送電線の運転状態監視装置	45- 5-14	572720	古谷昭雄	神戸製作所
無電弧タッチ切換方式による可変電圧直流電源装置	45- 5-14	572721	横島洋志・有賀恵蔵	伊丹製作所
連けい系統の自動周波数制御装置	45- 5-14	572723	三上一郎	神戸製作所
送電線保護装置	45- 5-14	572724	古谷昭雄	神戸製作所
放電管用ガス管の湾曲方法	45- 5-14	572722	久保幸正	大船製作所
周波数変換装置	45- 5-14	572725	野口昌介	名古屋製作所
並行回線の引外し回路鎖錠装置	45- 5-14	572726	天野 恒	神戸製作所
X線テレビジョン装置	45- 5-14	572727	{吉田 明・後藤守正 道家昭彦	通信機製作所
電極活性材料	45- 5-14	572728	{秦 卓也・甲斐潤二郎 森 広喜行	中央研究所
電極活性材料	45- 5-14	572729	{秦 卓也・甲斐潤二郎 森 広喜行	中央研究所
クラッチ付電動機	45- 5-18	573171	横山昌弘	中央研究所
パルス水道変換装置	45- 5-18	573172	山田 勉	神戸製作所
画像修正装置	45- 5-18	573175	中西武三・渡辺勢夫	中央研究所
パルス受信方式	45- 5-18	573176	{小林信三・大西熊一 中村信弘	通信機製作所
周波数逡倍装置	45- 5-18	573178	赤松昌彦	中央研究所
ヘアードライヤ	45- 5-18	573174	武井久夫	群馬製作所
ヘアードライヤ	45- 5-18	573177	武井久夫・小川 昇	群馬製作所
磁性粒子式磁気連結装置の磁性粒子	45- 5-18	573173	{竹内守久・長谷川邦弘 榎山公男・車戸秀男	相模製作所
継電器互錠回路	45- 5-18	573179	斎藤 功	神戸製作所
パルス混合器	45- 5-18	573180	伊藤修孝	通信機製作所
表示線保護継電装置	45- 5-18	573181	北浦孝一	神戸製作所
探知装置	45- 5-18	573182	{渡辺 優・玉真哲雄 江口紀英	通信機製作所
電解積分器を含む微分回路	45- 5-18	573183	松岡宏昌	中央研究所

火力発電所のタービン自動昇速方式の現状

新谷 範夫*・仁科 秀夫*・横須賀良夫*

Turbine Automatic Start-up Systems of Thermal Power Plants

Head Office Norio SHINTANI・Hideo NISHINA・Yoshio YOKOSUKA

Unit capacity of machines increases considerably in the thermal power plant built recently by electric power companies. It has become conspicuous that all the companies are in earnest to rationalize the operative procedure by automatizing the apparatus. Of all the contrivances automatic starting of turbines is most extensively studied and developed.

This paper describes, as the automatic start-up devices, DACA governor which has been in use for some time and EH turbine governor worked out recently. As examples of start-up systems operating with these devices, three combinations of such as a wired logic and DACA governor, a computer and DACA governor, and a computer and EH governor are given herein together with explanation of power plants now in actual operation.

1. ま え が き

最近電力会社において建設されている火力プラントは、ユニット容量の増大とともに、運転手順の合理化をねらった自動化への取組みが著しい。自動化項目の中でタービンの自動昇速も、すでに計算機による直接制御を行なった例が文献に発表されているが、本文では最近われわれが経験した、アナログサブルーブによる各種タービン自動昇速方式について紹介する。

タービンの昇速は、従来より主蒸気止め弁を遠隔操作することにより行なわれていたが、数年前いわゆる“DACA ガバナ”が開発され、従来の油圧・機械式に電子回路を取り入れて、プログラム起動を可能とした。さらに自動化を推進させると同時に調速性能の高性能化をねらった“EH タービンガバナ”が開発され、よりいっそうタービンの昇速制御を容易なものとした。

本文では、まず DACA ガバナと EH ガバナの概要を述べ、タービン自動昇速方式の一例として、ワイードロジックと DACA ガバナの組み合わせ、計算機と DACA ガバナの組み合わせならびに計算機と EH

タービンガバナの組み合わせによる各方式を、最近の代表例から選んで紹介する。

2. タービン自動昇速装置

2.1 DACA ガバナ

DACA (Digital Analog Control Apparatus) ガバナは、300 psig 形調速装置の主蒸気止め弁コントローラに、フィードバック機構を持った調速機として並列に設けられ、主蒸気止め弁を制御して全周噴射起動を行なう広域回転数制御装置であり、タービンのターニング速度から併入までの速度制御を行なうとともに、併入後主蒸気止め弁子弁で取れる負荷(約15~20%負荷)までの制御も可能である。

図2.1に DACA ガバナのブロック線図を示す。

DACA ガバナは、三つの部分すなわち演算制御部、プログラムユニット部および操作部に大別できる。

(1) 演算制御部

演算制御部は、タービンの速度を検出し、これと設定速度とを比較して、主蒸気止め弁制御油圧を作る DACA 圧力コントローラのトルク

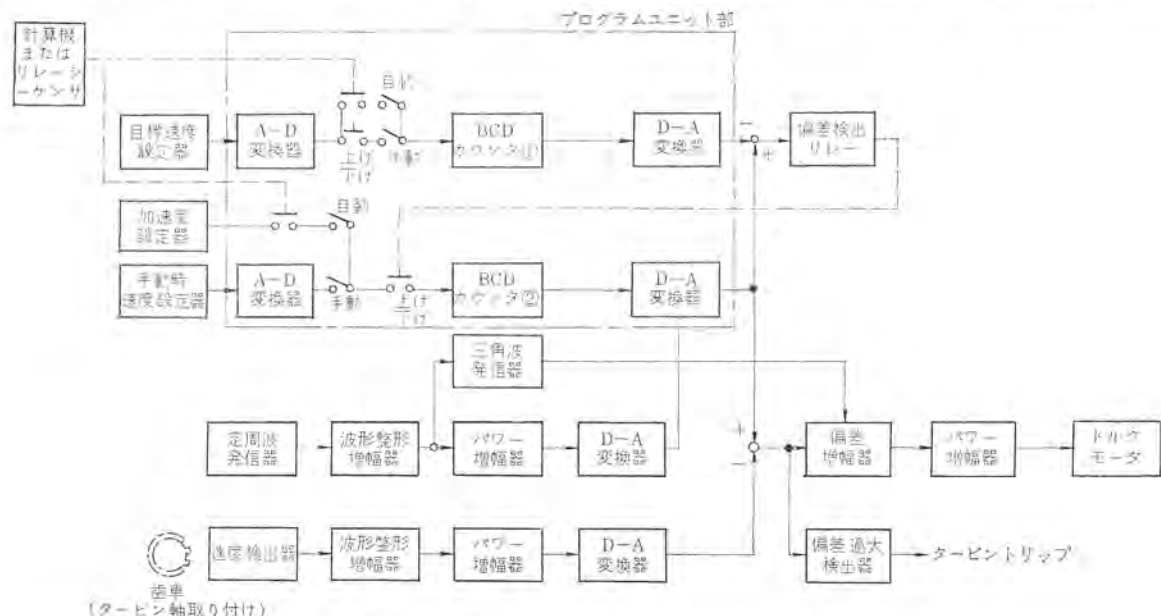


図 2.1 DACA ガバナブロック線図

Block diagram of DACA governor.

モータを制御する部分で、速度検出器・定周波発信器・波形整形増幅器・ディジタル-アナログ変換器(D-A変換器)および偏差増幅器などから構成される。

タービンの速度検出は、タービン軸に取付けられた歯車と、歯車に対応して設置された電磁ピックアップコイルより、回転数に比例した周波数をもつパルスを取り出すことにより行なわれる。歯車のスロット数は60個に加工されており、電磁ピックアップは1回転で60パルスを生ずる。

ピックアップの出力パルスは、波形整形増幅器で増幅され、完全な矩形波に整形されてからD-A変換器に入る。この回路は、トランジスタのスイッチング回路により励磁される飽和トランスを使用した静止回路で、入力電圧の変動には関係なくパルスの数に比例した直流出力を発生する。直流出力は図2.2のごとくなる。

一方、定周波発信器において、水晶発信器を用い4kHzを発生させ、これを前述と同様の波形整形増幅器で完全な矩形波に整形し、D-A変換器に入れる。このD-A変換された出力は、プログラムユニット部の出力側に与えられ、プログラムユニット部の出力が基準信号(正)となり、この信号とタービン回転数に比例した信号(負)とを比較し、その偏差を偏差増幅器にて増幅する。

また、定周波発信器の出力は三角波発信器にも加えられ、ここで4kHzの三角波を作り偏差増幅器に加えられる。この三角波電圧は偏差信号電圧により変調され、その大小によって一定の繰返し周期をもち、その幅が偏差信号電圧に比例したパルス出力を発生する。

偏差増幅器の入力電圧と出力電圧の関係を図2.3に示す。図において、(a)は入力電圧が小さく出力が0の状態を示し、(c)は最大出力時の様子を示す。(b)は中間出力の状態である。

偏差増幅器の出力はこのようにパルス状のものであるが、この繰返し周波数をトルクモータの応答周波数より十分高くしておけば、トルクモータはパルス出力の平均値すなわち偏差信号に応じることができる。

(2) プログラムユニット部

プログラムユニット部は、タービン速度を目標回転数まで一定の加速度で

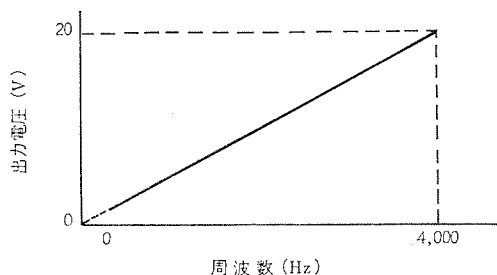


図 2.2 周波数-電圧変換特性 F-V curve.

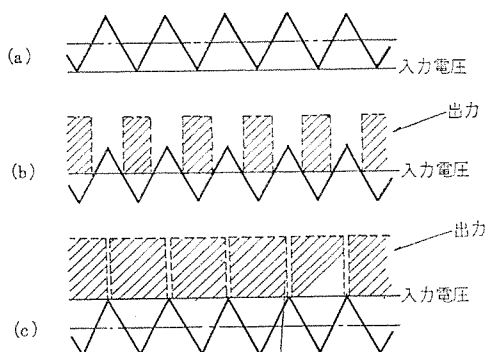


図 2.3 偏差増幅器動作説明図
Explanation of error amplifier.

変化させるための、いわゆるプログラム信号を発生する部分で、BCDカウンタ・D-A変換器・A-D変換器などから構成される。

目標速度設定器により設定された電圧(目標速度信号)と、加速度設定器により設定された電圧(プログラム信号)との差を検出し、プログラム信号のほうが小さければ、偏差検出リレーにより、プログラムを上げるべくBCDカウンタ②の上げ側に指令を出し、目標速度とプログラム信号の偏差が零となる点で、プログラム信号は目標速度と一致し停止する。

一方、プログラム信号とタービン回転数信号の偏差によりトルクモータが制御されるので、回転数はプログラム信号に追従することになる。

(3) 操作部

操作部は速度設定器・加速度設定器・自動-手動切換スイッチ・DACAシャ断弁操作スイッチ・電源スイッチおよび動作表示灯類により構成されるもので、これらの操作器はコントロールパネル上に配列され、一括操作が行なえるようになっている。

2.2 EHタービンガバナ

発電用蒸気タービンの调速装置には、従来から油圧を用いたいわゆる300 psig油圧ガバナが採用され、そのすぐれた機能が発揮されてきたが、自動化、特に計算機制御に適するガバナとして電子油圧ガバナ(Electro-Hydraulic-Governor: 略してEHガバナと呼ばれる)が開発された。EHガバナは、速度検出部分から弁を操作するアクチュエータに至るまで、すべて電気回路で構成され、弁操作部には1,500~1,800 psigの高圧油を使用している点に著しい特長を持ち、次のような利点を有している。

(1) 作動が鋭敏で弁閉止時間が速い

(2) 弁操作用アクチュエータの小形化

(3) 計算機のほか自動同期装置、ボイラ自動制御装置との結合が容易

EHガバナの詳細については追って本誌に発表される予定であるが、以下にタービンの昇速機能からながめた概要を紹介する。

2.2.1 EHガバナの構成

EHガバナは次の部分により構成される。

(1) EHガバナ操作パネル

EHガバナ操作パネルは中央制御盤上に組み込まれた操作盤で、運転モード選択スイッチ・加速度選択スイッチ・回転数設定スイッチ・弁手動操作スイッチ、その他各種テスト用スイッチならびに表示灯などが設けられ、EHガバナ単体使用によるプログラム起動が可能のように構成されている。

(2) EHガバナ表示パネル

EHガバナ表示パネルは、EHガバナ操作パネルと同様中央制御盤上に組み込まれ、各弁の開度計・開度指令計・目標回転数(または目標出力)表示器・タービン回転数表示器などより構成される。

(3) EHガバナ盤

EHガバナの主要電気回路を収納した盤で、EHガバナロジック盤・電源盤などより成り、継電器室などに設置される。

(4) 油系統

高圧油供給装置およびタービンの蒸気弁駆動用アクチュエータより成り、潤滑油系統より切離された別個の高圧油系統を構成する。潤滑油系統およびタービンの保安装置は従来のものとほぼ同様のものが使用され、両者の間には非常シャ断用ダイヤフラム弁を設けて、保安装置作動時蒸気弁の閉鎖が行なわれる。

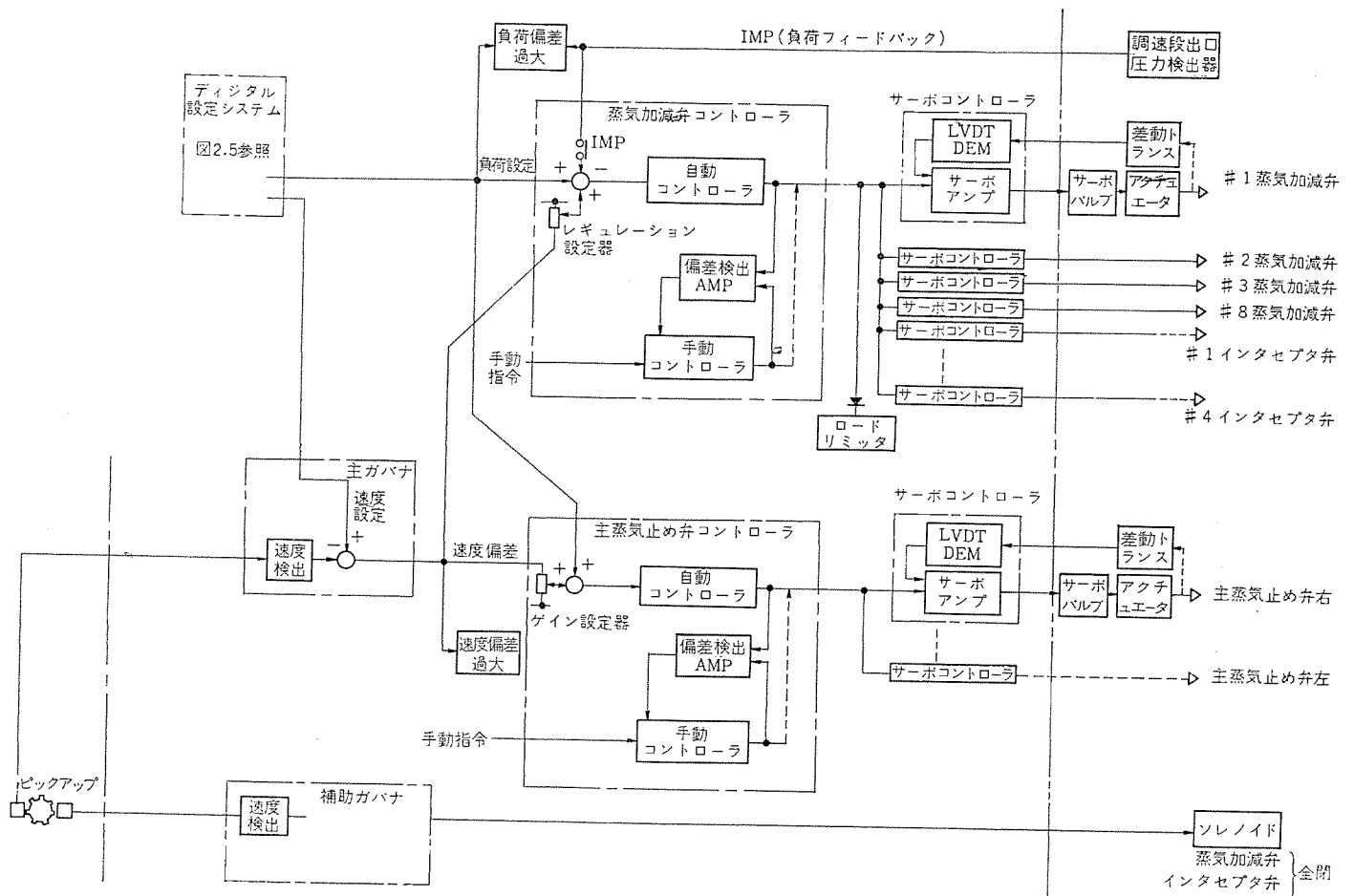


図 2.4 EH タービンガバナブロック 線図 Block diagram of EH governor.

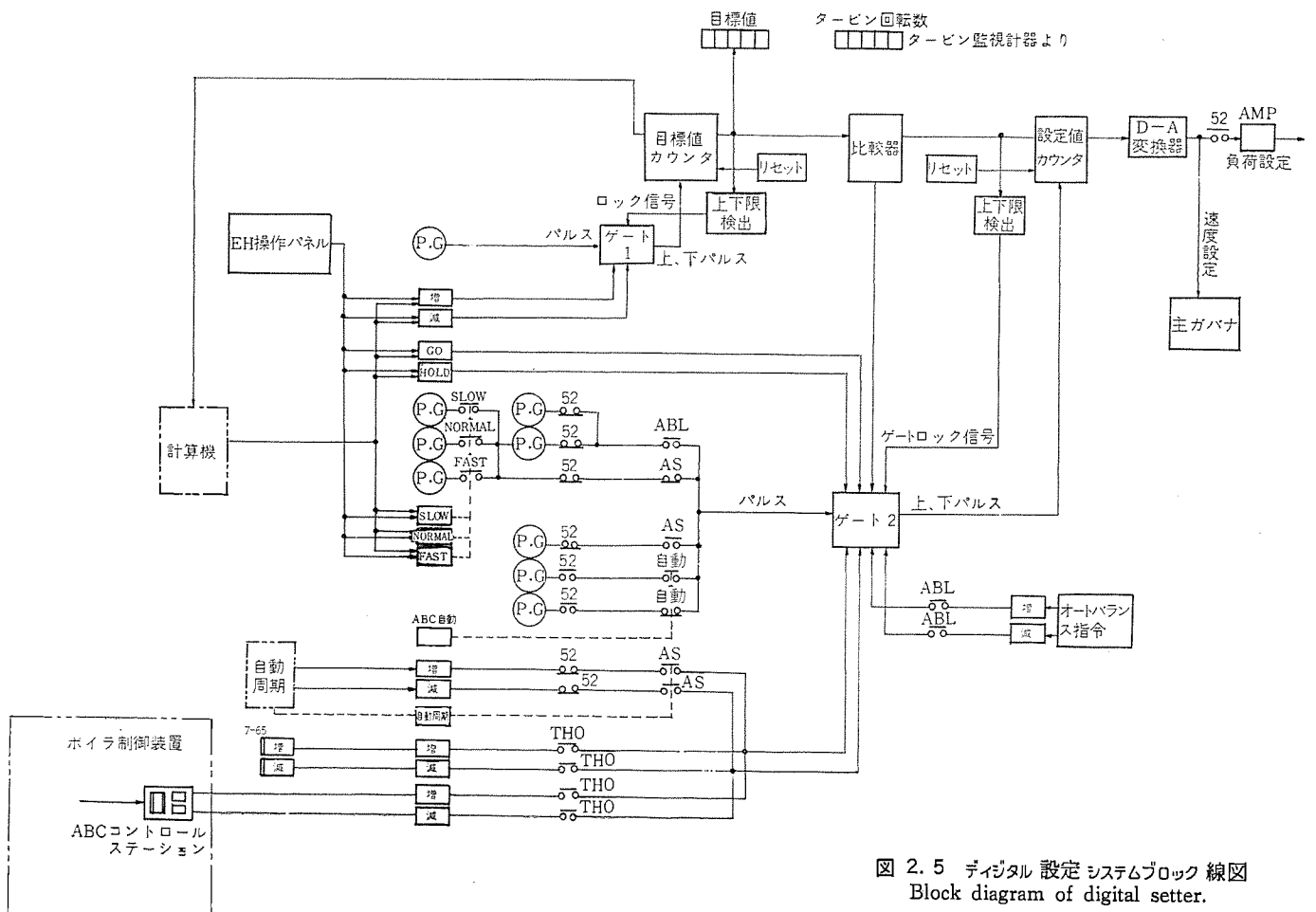


図 2.5 デジタル 設定 システムブロック 線図 Block diagram of digital setter.

2. 2. 2 EH ガバナの機能

図 2. 4 に EH ガバナのブロック線図を示す。図に示すように、EH ガバナは速度検出回路を含む主ガバナの他主蒸気止め弁コントローラ、蒸気加減弁コントローラ、各アクチュエータ用サーボコントローラ、補助ガバナなどの演算制御部分と、速度あるいは負荷の設定を行なうデジタル設定システムとから構成される。

(1) デジタル設定システム

図 2. 5 にデジタル設定システムブロック線図を示す。

デジタル設定システムは目標速度または目標出力と、これらの変化率を設定する部分で、設定器・カウンタ・比較器・コントローラ回路などから成り、すべてトランジスタを用いたデジタル回路で構成され、EH ガバナ操作パネルからの指令や、計算機からの指令はすべて接点を介して取合うことができる。

回路の基本構成は図 2. 6 に示すように、パルス発信器・ゲート・カウンタ・D-A 変換器の組み合わせで、ゲートにはパルス発信器よりパルスが与えられ、このパルスはゲートに“上げ”または“下げ”の指令が与えられているときのみゲートを通してカウンタに送られる。カウンタは送られてくるパルスの数を記憶する部分で、上げパルスの場合には加算、下げパルスの場合は減算される。したがって速度または出力の設定は、カウンタへそれぞれに相当する数のパルスを与えることにより行ない、変化率の設定は、適当な周波数を持つパルス発信器を選択することにより行なわれる。

(2) 主蒸気止め弁による速度制御

タービンの起動、すなわちターニング速度から定格速度までの昇速は、主蒸気止め弁によって行なわれる。

操作パネル上の回転数設定ボタンにより目標回転数を設定する。目標回転数は目標値カウンタにセットされ、表示パネル上にデジタル表示される。加速度選択ボタンにより適当な加速度を選択したのち、開始“GO”の押しボタンを操作すれば、設定値カウンタはあらかじめ選択された変化率（加速度）に従ってカウントを始め、設定値カウンタのパルスの数は D-A 変換器によってアナログ量に変換され、速度設定電圧となって主ガバナに与えられる。主ガバナではこの速度設定電圧とタービンの速度に比例した速度検出電圧とが比較され、速度偏差信号が作られる。速度偏差信号は、主蒸気止め弁コントローラで主蒸気止め弁を制御するための信号に変換されたのち、各弁のサーボコントローラに送られる。サーボコントローラは各主蒸気止め弁に対し 1 個ずつ設けられており、主蒸気止め弁コントローラからの信号と、アクチュエータの弁駆動用ピストンに連動する差動トランスからのフィードバック信

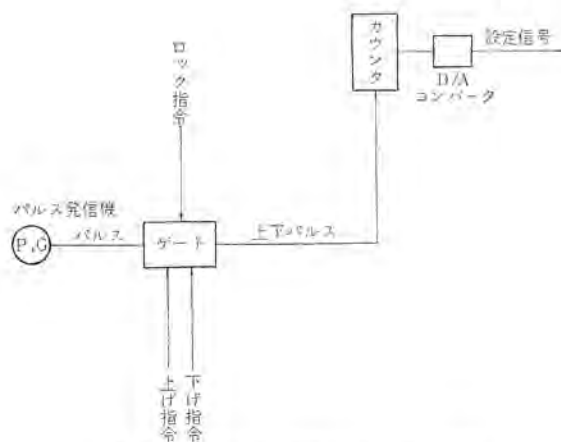


図 2. 6 デジタル設定システム基本回路
Basic diagram of digital setter.

号とが一致するまで、アクチュエータのサーボ弁に電気信号を送り、弁の開閉を行なう。以上の動作により、タービンは目標回転数まで定められた速度変化率で昇速する。

(3) 弁自動切換え

定格回転数付近に達したのち、主蒸気止め弁による制御から蒸気加減弁による制御へと、いわゆる弁の切換えが行なわれる。操作パネル上の弁切換えボタンを操作することにより、蒸気加減弁コントローラに与えられていた全開指令が解除され、速度偏差信号に応じたところまで蒸気加減弁は閉じる。一方、主蒸気止め弁コントローラは積分特性に変わり、弁開指令が与えられ、主蒸気止め弁は全開まで開き弁切換えを完了する。

(4) 併入および負荷運転

定格回転数に達し、弁切換えが行なわれたのちは、従来と同様ガバナ操作により回転数を制御する。蒸気加減弁による速度制御は、主蒸気止め弁による場合とまったく同様であるが、回転数は発電機制御盤上に設置されるガバナ操作スイッチ“7-65”により、設定値カウンタの中味を増減して制御される。併入と同時にカウンタは自動的に回転数の設定から出力の設定に移り変わり、さらに自動的に初期負荷が設定される。パネル上のデジタル表示器も回転数表示から出力の表示に切換わる。併入後の出力設定は従来どおり“7-65”により行なうことができるほか、ボイラ自動制御装置からの指令で設定値カウンタを増減させ、出力を制御するようになっている。

3. タービン自動昇速方式

タービン自動昇速装置の概要については前項で述べたが、これらが各発電所でどのような方式で採用されているかを示したのが図 3. 1 である。これらの方式の代表例について以下に説明する。

3. 1 ワイヤードロジックによる昇速方式

ここではワイヤードロジックによる自動昇速装置の例として、すでに運用している中部電力西名古屋 1 号機を取りあげる。西名古屋発電

表 3. 1 タービン自動昇速方式の現状
Turbine automatic start-up systems.

ユニット名	使用方式		DACA ガバナ		EH ガバナ		備 考
	単独使用	ワイヤードロジックとの組合せ	計算機との組合せ	単独使用	計算機との組合せ		
北海道電力(苫小牧) #1 250 MW	○	○					
東北電力(新仙台) #1 350 MW	○			○			
東京電力(南横浜) #1 350 MW	○			○			
(南横浜) #3 450 MW	○			○			
(鹿島) #2 600 MW	○			○			
(鹿島) #4 600 MW	○			○			
中部電力(西名古屋) #1 220 MW	○	○					ワイヤードロジック 1号機
(西名古屋) #2 220 MW	○	○					
(西名古屋) #3 375 MW	○	○					
(西名古屋) #4 375 MW	○	○					
(武豊) #4 375 MW	○	○					
北陸電力(福井) #1 350 MW	○			○			
関西電力(尼崎) #3 156 MW	○						2ユニットに 対し DACA 1台増設
(堺) #1 75 MW	○						
(堺) #7 250 MW	○						
(高砂) #1 450 MW	○			○			
(高砂) #2 450 MW	○			○			
(海南) #3 600 MW	○			○	○		EH 1号機
四国電力(坂田) #1 195 MW	○			○			
中国電力(岩国) #2 350 MW	○			○			DACA 1号機
九州電力(唐津) #1 156 MW	○						
(大分) #1 250 MW	○						
(大分) #2 250 MW	○						
電源開発(高砂) #1 250 MW	○						
(高砂) #2 250 MW	○						

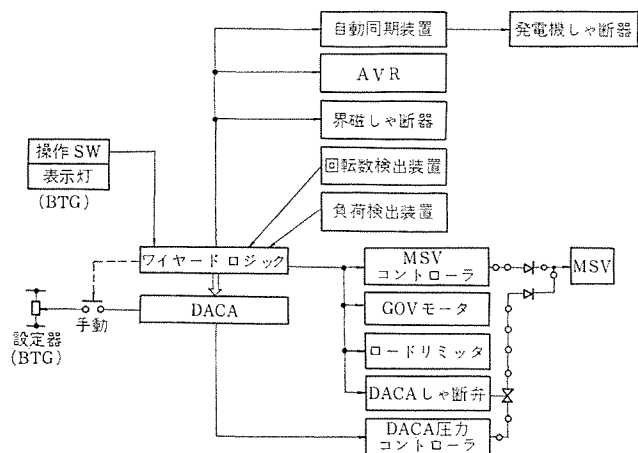


図 3.1 ATS 装置構成図
Automatic turbine start-up system.

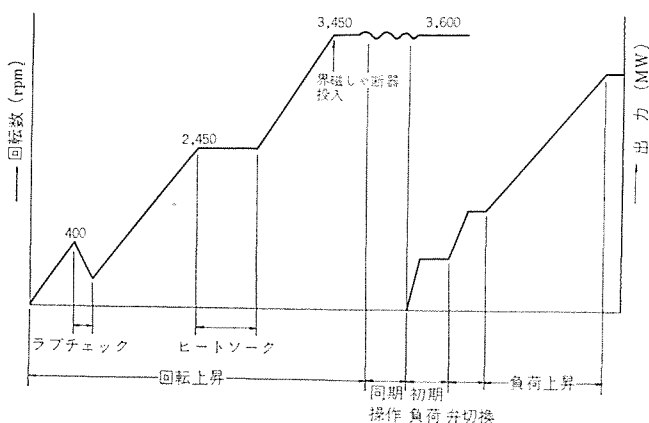


図 3.2 ATS による標準起動曲線
Normal start-up curves with ATS.

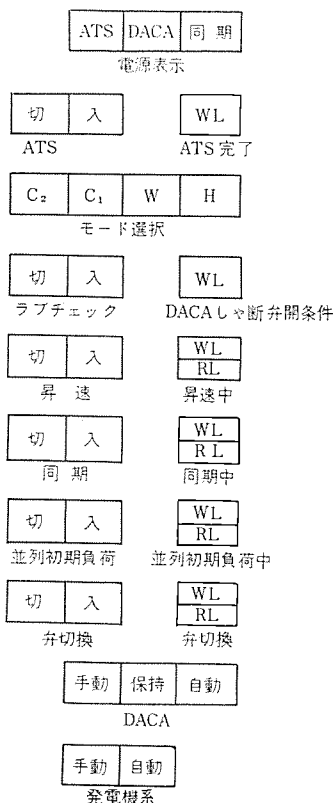


図 3.3 ATS 装置の操作スイッチ
Operating switches of ATS.

所は、最近の火主水従の傾向が強まるにつれ、負荷調整用火力の建設が必要となり、需要の多い昼間に運転し深夜に停止する昼間火力（中間火力）として建設されたもので、デイルイスタートストップを前提としているこの火力発電所の計画年利用率は平均 42%と低い。このため、設備費の節減による発電原価の低減が必要となっている。このためには、設備の簡略化、運転特性の改善、操作の簡素化による運転人員節減など経済性をあらゆる角度から追求し、その結果 1 直 8 名程度を 3 名程度に減らすことが可能なほどに各部に自動化・遠方操作化をすすめる。その自動化の一部としてタービン自動昇速装置(ATS 装置)も含まれている。西名古屋発電所の ATS 装置はそのプラントの特質上、制御回路に計算機を使用せずに、一般に使用されているリレー類を利用したいわゆるワイヤードロジック方式を採用している。

次に ATS 装置の概要、制御範囲およびワイヤードロジック方式の特長などについて述べることにする。

3.1.1 装置の概要

ATS 装置は次に述べる各種の制御または操作を行なうもので、概略の構成図を図 3.1 に示す。

- (1) DACA ガバナによる速度制御
- (2) タービン各種弁の開閉
- (3) 発電機電圧制御
- (4) 発電機 AVR 装置の制御
- (6) 自動同期
- (6) 初期負荷調整 (DACA ガバナによる)
- (7) 主蒸気止め弁から蒸気加減弁への切換えまでの自動負荷調整 (DACA ガバナによる)
- (8) 主蒸気止め弁から蒸気加減弁への切換え (DACA ガバナ, ガバナモータの制御による)
- (9) (1)～(8)までの制御中の異常監視

3.1.2 ATS 装置によるタービンの起動

この装置は、さきにも述べたようにタービンのターニング状態より、図 3.2 に示す起動モードに従って回転数を上昇させ、適当な回転数において発電機の励磁回路を生かし、系統に併入、続いて初期負荷をとり、主蒸気止め弁より蒸気加減弁への切換え、いわゆる弁切換えを完了するまでをその制御対象としている。弁切換え後より定格負荷までの過程は負荷調整装置(ADC 装置)によって行なわれるが、ATS 装置から ADC 装置への移行は運転員が手動で行なう。図 3.2 は ATS 装置による標準起動曲線を示すが、これも後に述べるように、起動時のモードの違いによりそれぞれ異なった曲線となる。このプラントは前にも述べたとおり、3 名程度の運転員で運転を行なうため、この ATS 装置の操作に必要な操作スイッチ・表示灯はすべて中央制御室の BTG 副盤に集められ、図 3.3 に示すように操作しやすいように、また起動時の進行状態が一目でわかるように配置されている。これらの操作スイッチはすべて照光式押しボタンスイッチを使用し、盤面上のスペースの縮小を計るとともに、操作がすべてワンタッチですむという操作の容易さを考慮している。この装置は起動指令を与える“ATS 入切”の押しボタンスイッチのほか、次に述べるように 8 点のブレイクポイントを準備しており、押しボタンスイッチによる指令順序が自由であるために、各ブレイクポイントごとにその操作スイッチにより指令を行ない起動することもできるが、すべてのブレイクポイントの押しボタンスイッチを押した後に ATS “入”によってターニング速度より弁切換えの段階まで、全制御域を自動で進めることも可能である。

ブレイクポイントは、

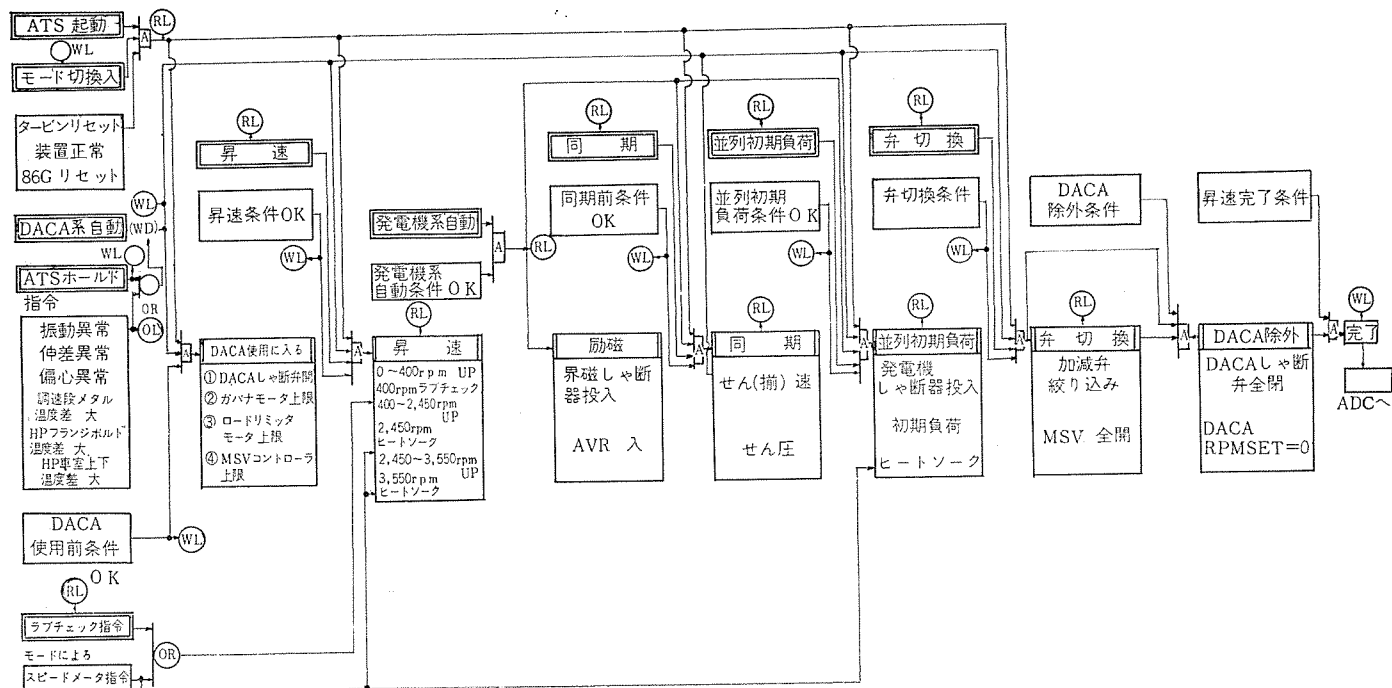


図 3.4 ATS 装置動作ブロック線図

Block diagram of ATS.

- (a) DACA 手動—保持—自動
- (b) ATS 入—切
- (c) 発電機系 手動—自動
- (d) 昇速 入—切
- (e) ラプチェック 入—切
- (f) 同期 入—切
- (g) 併入初期負荷 入—切
- (h) 弁切換 入—切

の8点で、このほかに起動時のタービンの状態、すなわち停止後どのくらい時間が経過しているかによって、起動モードを選択するモード選択スイッチ“C₂-C₁-W-H”がある。

次に図 3.4 に示すブロック線図に従って、起動完了までを順を追って説明する。

(1) モード選択

タービンを起動する際に問題となるのは、ローター・ケーシングなど各部の熱容量の違いにより膨張率が異なるため、それらのマッチングを取りながら昇速する必要がある。すなわちタービン停止後どのくらい時間が経過しているかによって、その目標速度・昇速レート・ヒートソークの時間などの最適値を決めてやる必要があり、本プラントでは“コールド-2”、“コールド-1”、“ウォーム”、“ホット”の四つのモードを決め、おのこのモードに応じてヒートソークの時間を変え、各部の温度変化のマッチングをとっている。各モードとタービン停止時間の関係は表 3.2 に示すとおりである。起動に際して、運転員はまずモード選択の押しボタンスイッチを押し、起動パターンを決定する。すなわち ATS 使用にさきだってモードを決定するのであり、起動の途中で、たとえばヒートソークの時間を短くするためにモードの変更を行なうことも可能である。

(2) DACA 選択回路

DACA を使用してタービンを起動するにあたり、DACA をどのような状態で使用するかを選択する回路で、状態としては、“自動”、“手動”、“保持”の三つがある。“自動”とは、ATS 装置より DACA に速度設定値、速度上昇率が与えられ、DACA が ATS 装置より

表 3.2 起動モード (西名古屋 P/S の例)
Start-up mode.

起動モード	C ₂	C ₁	W	H
概略タービン停止時間 時間	1 週間	72	32	8
全昇速時間 分	130	20	20	10
400 rpm ヒータソーク 分	15	—	—	—
2,450 rpm ヒータソーク 分	120	10	10	—
初期負荷 %	5	5	5	10
初期負荷保持時間 分	30	10	10	—
弁切換え方式 (併入方式)	MSV 併入	MSV 併入	MSV 併入	MSV 併入
弁切換え所要時間 分	約 5	約 5	約 5	約 5
ALR 増負荷率 %/分	0.67	1	1.25	2.5
併入-全負荷時間 分	180~190	115	90	40

の指令で動かされる状態をいい、逆に ATS を使用して自動的にタービンを昇速するには自動モードにしておく必要がある。“手動”とは、運転員が必要なたびに、BTG 副盤上の速度設定器、速度上昇率設定器類によって DACA を使用する状態で、このときには ATS 装置は使用できない。“保持”とは、自動でも手動でもない状態で、DACA を現在ある状態そのままに保持するということで、たとえば DACA に異常が起きたとき、主蒸気止め弁・ガバモータ・ロードリミッタなどのコントローラを手動操作したときに保持状態となる。再び DACA を使用したいときには自動あるいは手動の押しボタンを押して選択する必要がある。

(3) 電気系選択回路

回転数が定格近くになったときに励磁系統を生かし、定格回転数で発電機しゃ断器を投入するが、これら電気系の一連の操作を自動で行なうか手動で行なうかの選択回路で、押しボタンスイッチにより選択する。自動で運転中に、“3-41” “3-90” “7-90 R” “7-70 E” などこれら電気関係のスイッチを操作すると手動モードに切り換わり、警報を出し運転員の注意をうながす。なお自動に選択しておけば、DACA を手動あるいは主蒸気止め弁コントローラで昇速させても、界磁しゃ断器の投入および AVR の投入は自動で行なわれる。

(4) ATS “入-切”

前にも述べたとおり、他のブレークポイントの押しボタンスイッチがすべて操作されていれば、このスイッチを操作することにより、昇速・併入・初期負荷・弁切換えまでが自動的に行なわれ、ATS 装置のマスタスイッチとも言える。タービン系・電気系に異常がないという条件でこのスイッチを操作すると、他の起動前の条件が満たされていれば、DACA によって昇速するため、主蒸気止め弁コントローラ・ガバナモータ・ロードリミッタなどはそれぞれ上限あるいは全開位置に動かされ、DACASH断弁も開けられ、起動準備完了となる。

(5) 昇速

DACA ガバナによる主蒸気止め弁子弁の制御によってタービンを昇速するもので、速度上昇率は、本来は起動時のモードによって、また昇速段階においてそれぞれ最適の値を選んで採用するのが一番良いのであるが、そうするとワイヤードロップの範囲内では不可能なため、本装置では 360 rpm/m 1 本としてある。ただし、手動で DACA を使用するときは 50~500 rpm/m の範囲で選択可能である。

前述の ATS “入” により制御弁関係および DACA が起動前の状態となり、各種ドレン弁も開き、ターニングも行なわれているという状態で昇速の押しボタンスイッチを押すと、タービンはまず最初の目標値 400 rpm を目指して昇速する。400 rpm においては次に述べるラプチェックを行なうが、ラプチェック完了後は起動モードに応じてヒートソークを行なう。ヒートソークの時間を表 3. 2 に示す。ヒートソーク終了後続いて 2,450 rpm まで昇速され、そこでふたたびヒートソークを行なうが、やはり表 3. 2 に起動モードとヒートソーク時間との関係を示す。2,450 rpm でのヒートソークが終わると、次に励磁系を生かし、同期操作を行なうため 3,550 rpm に昇速される。

(6) ラプチェック

ラプチェックとは、タービンロータとラビリンスとがすれ合っていないかどうかを確認することで、運転員が聴診棒を使用してチェックしている。このとき蒸気流音を消すために、いったん 400 rpm まで昇速し、その後子弁を全閉にして 100 rpm まで降下させ、この時期に行なう。したがって 400 rpm に昇速されたときにラプチェックの操作スイッチが押されていると、上に述べたように 100 rpm まで降下し、100 rpm になるとふたたび 400 rpm まで昇速され、操作スイッチを切にするまで繰り返し続けられる。

(7) 発電機系の自動操作

発電機のプレヒーティングの必要性がないため、回転数が 3,450 rpm になると、電圧調整器 (90 R)・界磁調整器 (70 E) がともに規定位置にあることを条件に界磁しゃ断器が投入される。界磁しゃ断器の投入とともに発電機電圧は 70 E によってあらかじめ決められた値、すなわち無負荷規定電圧 (3,600 rpm で) に上昇する。さらに AVR は、電圧上昇の過程でバランスメータの振れが 0 になるポイントを検出して自動投入される。言うまでもないが、これら一連の操作は、(3) で述べた発電機系が自動になっていなければならない。

(8) 同期

回転数が 3,450 rpm となり、前項に述べたように界磁しゃ断器が投入され、AVR も生かされると、続いて自動同期操作に移るが、この操作は XT-2 形自動同期装置により行なわれる。送電線側の断路器も投入され、発電機の電圧も確立した時点で、同期のスイッチを “入” とすると、DACA ガバナによるせん速、AVR によるせん圧操作が開始され、電圧・周波数・位相が同期投入範囲内となると、自動同期装置より投入指令が出される。

(9) 並列初期負荷

このスイッチを押しておく、すなわち “入” にすると、系統側に事故がなければ、自動同期装置の投入指令により発電機しゃ断器が投入され、系統に併入される。併入と同時に、主蒸気止め弁子弁によって初期負荷を取るが、初期負荷の値および、その値での保持時間は起動モードによって異なり、表 3. 2 に示すとおりである。

(10) 弁切換え

一般に起動・昇速は主蒸気止め弁による全周噴射により行なわれるが、併入後の負荷調整は蒸気加減弁で行なわれる。したがって、昇速後全負荷を取るまでの間で主蒸気止め弁から蒸気加減弁への切換え、すなわち弁切換えを行なう必要がある。本プラントでは、初期負荷保持時間が経過すると弁切換えを行っており、弁切換え “入” にすると、DACA により主蒸気止め弁子弁が全開するとともに蒸気加減弁がしまってくる。このとき、負荷の動揺を避けるため、蒸気加減弁はインタラプタによって操作され、また蒸気加減弁が約 70 % 開度までしまったときに子弁は開きはじめる。以上のようにして主蒸気止め弁前後差圧が 4 kg/cm² 以下になると、主蒸気止め弁は全開となり、負荷制御は蒸気加減弁に移行される。

(11) ATS 完了

左右の主蒸気止め弁が全開となると、DACA しゃ断弁は閉じられ、DACA のプログラム信号発生器も次の起動に備えて 0 rpm にランバックされる。すなわち発電機しゃ断器が投入され、左右の主蒸気止め弁全開、DACA しゃ断弁閉、DACA プログラム = 0 rpm で ATS 完了となる。その後の負荷制御は ADC 装置によって行なわれるが、ここでは触れないこととする。

3. 1. 3 保安装置

ATS 装置を使用してタービン自動昇速中に、次に述べる状態が発生するとその進行は中止し、中止直前の状態を保持する。

- (1) ガバナモータ手動操作
- (2) ロードリミッタ手動操作
- (3) 主蒸気止め弁コントローラ手動操作
- (4) タービン異常
 - (a) 軸受 (第 1, 第 4 軸受) 振動大
 - (b) 伸差大
 - (c) 偏心大
 - (d) ローター段出口蒸気メタル温度差大
 - (e) 高圧フランジボルト温度差大
 - (f) 高圧車室上下温度差大

すでに明らかなように、これは、3. 1. 2 項 (2) で述べた自動より保持への移行であり、また、回転数が 1,200 rpm と 2,600 rpm の間で (4) のタービン異常が起きたときには、この回転数の範囲にタービンのクリティカルスピードがあるので、そこで保持することなく、2,600 rpm まで昇速させるようにしている。さらに、タービン監視計器のうち伸差、振動 (第 1, 第 4 軸受) の信号が制限値を越えると、タービンをトリップさせるが、これらだけは誤操作をさけるためピックアップを 3 個設け、このうち 2 個が制限値を越えた場合のみ保持またはタービントリップとする、いわゆる 2 out of 3 方式を採用している。以上ワイヤードロップを使用したタービン昇速方式の一例として中部電力西名古屋 P/S の ATS 装置をその起動順序に従って説明したが、ワイヤードロップ方式は、すでに明らかなように、その装置内に演算機能・論理機能をもたないので、時々刻々変化していくプラントの状態すなわちタービンの昇速条件に応じて最適の制御を行なうことはで

きないが、西名古屋 P/S のように、起動パターンを決め、ディリジスタートストップを繰り返すようなプラントにおいては、装置自身のしめる比率も大きく、それ自体を独立した装置として設けるには、ワイードロジックも計算機よりは経済的で、また、構成部品も従来より一般に使用されているリレーを使用しているの、信頼度も高いものが得られる。

3.2 計算機と DACA ガバナによる昇速方式

計算機と DACA ガバナの組合わせによる昇速方式として東北電力新仙台 1 号機の例について述べる。ここでは計算機よりの指令により DACA の各種操作器、設定器が操作され、DACA の使用範囲は、ガバナ併入の場合

ターニングにより昇速・弁切換えまで

スロットル併入の場合

ターニングにより昇速・同期併入・初期負荷・弁切換えまでである。いずれの場合も DACA の使用範囲が完了すれば、自動的に DACA は除外されるようになっている。なお DACA は途中からの使用も可能である。

3.2.1 DACA ガバナの機能

DACA ガバナは昇速過程において次のような機能を行なう。

(1) ランバック

起動時ラプチェックをするため回転数を下げるもので、回転数が 400 rpm に達したときランバック指令を出して、回転数を零速度に降速させる。この方法として、計算機で制御しているときは計算機よりランバック指令を出して目標速度設定値を零にし、DACA 単独使用の場合は、“ラプチェック使用”の押しボタンスイッチを押すことによりプログラム設定値をゼロにする。ラプチェックが完了し“ラプチェック除外”の押しボタンスイッチを押すと、ラプチェック前に設定されていた目標速度に向って、設定されていたプログラム速度で昇速を開始する。

(2) オートバランス

DACA を使用する際（途中から使用する場合も含む）、タービンの実回転数とプログラム設定値との間に差があると、DACA 使用に切換えたときタービンにショックがかかるのでこれを防止するため、必ず使用前に実回転数とプログラム設定値の差が自動的にゼロになるようにし、一方 DACA も偏差がある間は動作しないようになっている。

(3) 定値制御

手動の定値制御要求のあった場合、振動過大など計算機監視による自動定値制御要求があった場合、ランバック要求に応じてランバック完了後に計算機より定値制御指令がでた場合、タービンは定値制御に移る。定値制御指令を受けるとプログラム設定値は現在回転数に保持され、回転数目標値が現在回転数までランバックされる。

(4) ホールド

ホールド指令によりプログラム設定値は現在回転数の値に固定され、回転数は現在値を保持する。計算機よりのホールド指令は、新しい設定を与える場合誤動作に対する安全確保のため、またはセツアップ完了し運転員の進行許可を持つ場合に利用される。

(5) 自動せん速

スロットル併入の場合、定格回転数付近まで回転数が上昇すると、自動同期指令により自動同期装置が動作し自動同期装置のせん速指令により DACA は、プログラム設定値を上げ下げし、せん速動作を行なう。

(6) 弁切換え

弁切換えについては前項ですでに述べたが、このプラントではコールドおよびベリ-ホットスタートの場合ガバナ併入を、ウォームおよびホットスタートの場合スロットル併入を採用している。この動作はリレーロジックにより行なわれるが、計算機より開始指令が出される。

(7) 目標速度設定

目標速度設定器は連続 ON の信号を出すとき 16.7 秒で 0 ~ 4,000 rpm のフルスパンを移動する。したがって計算機あるいは手動操作により、上げまたは下げの指令をパルス状に出し目標値設定を行なう。

(8) 速度変化率設定

これは目標速度までの変速率を決めるもので、150 rpm/m と 300 rpm/m があり、それぞれ起動条件によりいずれかを選択する。このほかに DACA 自体の変速率として下記のものがある。

(a) せん速レート

自動同期装置と組合わせてせん速動作を行なわせる場合の変速率である。

(b) 変負荷レート

スロットル併入の場合、併入と同時に初負荷をとるまでと、弁切換え後主蒸気止め弁を全開までもっていくための変速率である。

(c) 弁切換えレート

スロットル併入時、弁切換えを行なう場合蒸気加減弁を絞ると同時に主蒸気止め弁を除々に開き、負荷変動がないように弁切換えを行なう必要があり、このとき主蒸気止め弁を微開させるための変速率である。

(d) ランバックレート

計算機指令でラプチェックを行なわせるときの回転数を下げる場合の変速率である。

3.2.2 タービンの昇速

ここでは、タービン昇速段階から DACA の使用範囲である弁切換えまでの計算機とのインターフェイスを主として述べる。

(1) タービン起動準備

DACA が計算機使用の状態に選択されており、タービン起動準備の前段階の条件がすべて満足され、タービン起動準備の許可条件が成立すると、計算機より起動準備のための各種制御弁、ドレン弁の操作指令およびタービンコントロールセツアップ指令が出され、DACA に対してはホールド状態にしたうえで次の指令が出される。

(a) 目標速度設定

ラプチェックを行なう場合は 450 rpm に、行なわない場合は 2,450 rpm に設定される。

(b) 変化率設定

ラプチェックのある場合またはコールドの場合は 150 rpm/m に、それ以外は 300 rpm/m に設定される。

(2) タービン加速

タービン起動準備の条件がすべて満足され、タービン加速の許可条件が成立すると次の指令が出される。

(a) ホールド解除

この指令により DACA は動作を開始する。

(b) ランバック

ラプチェック使用時回転数が 400 rpm を越えたところでランバック指令が出され、回転数を下げラプチェックを行なう。

(c) 再設定

ラプチェック後ラプチェック除外を確認し、目標速度設定を 2,450 rpm

に、変速率は コールド かつ 1,300 rpm 以下では 150 rpm/m に、それ
 以外は 300 rpm/m に設定される。

(d) ホールド

回転数が 2,400 rpm 以上で ホールド 指令により ヒートワーク を開始す
 る。ヒートワーク 時間は計算機により計算される。

(e) 目標値最終設定

ヒートワーク に移った時点で目標速度設定を定格回転数 3,600 rpm と
 する。

(f) ホールド (ヒートワーク) 解除

2,450 rpm における ヒートワーク 時間経過後、または手動 データ 設定
 でヒートワーク 完了とした時点で ホールド 解除とし、再昇速を開始する。

(g) ホールド

回転数が 2,950 rpm を越えたところで再度 ホールド をかけ、定格回
 転数にて保持する。

(3) 励 磁

タービン 加速の条件がすべて満足され、励磁の許可条件が成立する
 と界磁しゃ断器投入、AVR 自動とし、併入後の初期負荷を設定す
 るため目標負荷設定が自動負荷調整器 (APR) の設定器に対して行
 なわれる。

スロットル 併入であれば負荷変化率は変負荷 レート に設定される。

(4) 同期初負荷

励磁の条件がすべて満足され、同期初負荷の許可条件が成立する
 と次の指令が出る。

(a) 自動同期装置始動

タービン 回転数 2,900 rpm 以上を確認し 弁切換え前であれば スロッ
 トル 併入のための、 弁切換え後であれば ガバナ 併入のための始動指令
 となる。

(b) ホールド 解除

弁切換え前であれば、自動同期装置は DACA を使用して併入を
 計るため ホールド 解除を行なう。

(c) DACA ホールド または APR ホールド

併入と同時に DACA は APR の目標設定により 初負荷をとる。
 このとき 弁切換え前であれば DACA を ホールド とし、また 弁切換え
 後であれば APR を ホールド とし初負荷保持に移る。

(5) 弁切換え

ガバナ 併入かスロットル 併入かを判断し、 弁切換え回路に始動指令を
 与えるもので、しゃ断器・断路器の ON の信号により 併入前後を判
 別し、ガバナ 併入時の 弁切換えか、スロットル 併入時の 弁切換えかの
 指令を出す。

(6) DACA 除外

弁切換えが完了すると DACA の使用範囲は終了するので、主蒸
 気止め弁 コントローラ を上限までランアップし、DACA しゃ断弁を閉じ、
 次の DACA の再使用にそなえて目標値、プログラム 値を零位置にラン
 バック させ、DACA 除外とする。これらは一連の シーケンスコントロール
 により行なわれる。

DACA 除外後は計算機と APR との組合わせで負荷上昇の過程に
 移行する。

3.3 計算機と EH ガバナによる昇速方式

EH ガバナの第 1 号機は関西電力海南 3 号機に採用されている。同
 発電所では計算機による シーケンスモニター がすでに 1、2 号機で実施
 されており、3 号機においてはシーケンスモニター のほかに、計算機と
 EH ガバナの組合わせによるタービン 自動昇速が行なわれる。計算機か
 らは指令値・設定値などを EH ガバナに与える形で制御が行なわれ、
 ターニング 速度から定格回転数に至る昇速ならびに 併入前の 弁切換え
 が計算機により指令され、併入以降はシーケンスモニター となっている。
 計算機と EH ガバナ 間は入出力点数約 20 点でインタフェース され、目標
 回転数・加速率などの設定、制御開始、保持、弁切換えなどの指令
 がある。目標回転数は EH ガバナの目標値 カウンタ に設定され、制御
 開始指令により、設定値 カウンタ が与えられた加速率によって設定速
 度を変更していく形で、EH 操作 パネル 上で手動指令を与えた場合と

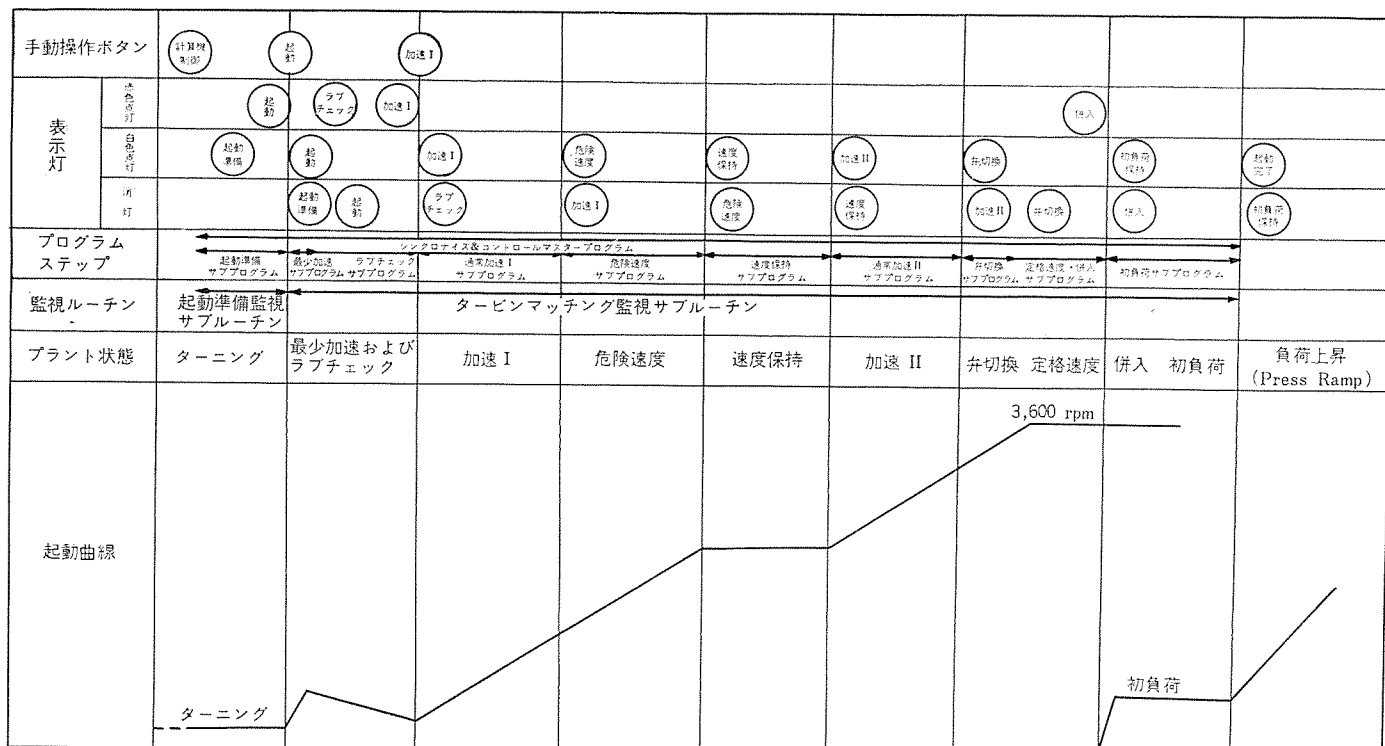


図 3.5 標準起動曲線 Normal start-up curves.

同様に行なわれる。計算機とEHガバナとの結合は、計算機操作パネル上に設けられた“計算機制御”の押しボタンスイッチを操作することにより行なわれる。図3.5はタービンの起動状態の概観図で、手動操作ボタンは“計算機制御”ボタンのほか“起動”と“加速”のボタンが設けられている。白色表示は、状態の進行表示を表わし、赤色表示は操作状態に進行したことを表わしている。

以下にタービン起動シーケンスの概要を説明する。

(1) 起動準備

ボイラが起動準備を完了し、タービンがターニング中または零回転を検出しておれば、“タービン起動準備サブプログラム”が起動する。タービンリセット後、主蒸気止め弁全開、再熱蒸気止め弁・蒸気加減弁・インタセプト弁すべて全開、ロードリミッタ上限位置、EHガバナ正常、タービンの回転数設定値0 rpm、起動準備監視サブルーチンすべてOKでもって“起動”の赤色表示が点灯する。

(2) 起動

起動用押しボタンスイッチを押せば“起動”は白色表示に変わり、偏心、振動の正常を確認してタービンは最小加速およびラプチェックプログラムへ移行する。計算機は目標回転数、昇速率をEHガバナに指令し、確認ののち昇速開始の指令を与える。タービンは起動し、EHガバナにてプログラム完了を確認して、計算機は目標回転数設定を下げる。主蒸気止め弁全開により“起動”は消灯、“ラプチェック”が赤色表示される。一定時間経過後、タービンマッチングサブルーチンすべて正常で“加速I”が赤色表示される。

(3) 加速

加速用押しボタンスイッチを押せば“加速I”は白色表示に変わり、“ラプチェック”は消灯する。偏心、振動が正常であることを確認のうえ目標回転数が設定され、昇速率が確認されて、昇速開始が計算機より指令される。タービン回転数が目標回転数以上に昇速し、EHガバナのプログラムが完了すれば、パネル上に危険速度通過を意味して“危険速度”が白色点灯する。目標回転数が再度設定され、タービンは速度保持回転数まで昇速される。計算機にてウォーミング時間が計算され、ウォーミング時間完了後目標回転数は定格回転数に設定され、タービンは昇速する。

(4) 弁切換え

定格回転数付近に達すれば“弁切換え”で白色点灯し、計算機から弁切換えが指令される。前述のEHガバナのところで述べたようにEHガバナの中で弁切換えが自動的に行なわれ、計算機による自動昇速は回転数3,550 rpm以上であることを確認して終わる。初負荷保持時間および負荷上昇率が計算され、タイパウトされると同時にタービンマッチングサブルーチンすべて正常を確認して“併入”が赤色表示され

る。

(5) 併入、初負荷

併入は手動で行なわれ、初負荷はあらかじめ設定された値に、EHガバナにより自動的にとられる。“初負荷保持”が白色点灯されて、計算時間完了後、負荷率が計算され、タイパウトすると同時に起動完了となる。

(6) 途中回転数からの起動

以上はターニング速度からの通常起動の場合であるが、タービンが降速中の途中回転数からの再起動も容易にできるようになっている。EHガバナの目標値カウンタと、設定値カウンタが一致していることを確認して、現在値の回転数により前記の昇速モードの各所より、昇速が開始される。また計算機制御とシーケンスモニター制御との切換えも随所で容易に切換えられるように構成されている。

4. む す び

最近のタービンの昇速装置および昇速方式について、われわれが経験した中より代表的なものを選んで説明した。DACAガバナやEHガバナのようにアナログ制御装置も、より高性能化・自動化を目指して新しいものが開発されており、それらに指令を与える制御回路もワイヤードロジックによるものから計算機によるものまで、アナログ制御装置との組み合わせにより多種多様のものがプラントの特性に応じて採用されている。

原子力発電の出現により火力発電所の使命も従来のベースロード用からディリイスタートストップを必要とする度合いがふえてくると思われ、運転の合理化・確実化のためいっそう自動化が徹底されるものと思われる。自動化には計算機の発達によってより多く計算機が使用されるであろうが、一方経済性の観点よりワイヤードロジック方式も脚光をあびている。

ユニットの大容量化に伴い、EHガバナの採用が急速にふえるものと期待されるが、アナログ方式のEHガバナがデジタル方式のDEHガバナとなる日もそう遠くはない。

参 考 文 献

- (1) 春口：ワイヤードロジック方式を導入した西名古屋火力発電所，オム，57，No. 9（昭45）
- (2) 長沢，岡本，谷口，森本：蒸気タービンの広域回転数制御装置（DACA），三菱重工技報，4，No. 3
- (3) 長沢，伊与田，島，大久保ほか：EHタービンガバナの試作および試験，三菱重工技報，7，No. 2（昭45-3）

ヒューズ形 IC リードオンリメモリー装置

磯崎 真*・阪尾 正義**・小笠原 光孝*
山本 勝敬*

Fusible Link Programmable IC Read Only Memory

Kamakura Works Shin ISOZAKI・Masayoshi SAKAO・Mitsutaka OGASAWARA
Katsuyoshi YAMAMOTO

A system to write information automatically has been developed for the sake of programmable read only memory IC elements, the result is shown to be very successful. Each IC element is made by means of a transistor matrix with fuses, which has been reported before. As an application of these memory elements, a read only memory system (capacity 37,632 bits) for the control of a microprogrammed medium size electronic computer has been developed and an operation speed of access time 90 nano-seconds has been made available. This memory is set in a practical electronic computer for longterm continuous work tests. It has proved that no failure or trouble has occurred after the elapse of 50×10^6 bit hours from the start of the tests.

1. ま え が き

近年、電子計算機をはじめ多くの分野で、リードオンリメモリー (ROM) の需要が急増している。

たとえば電子計算機の中央処理装置において、マイクロプログラム制御方式によって論理回路を単純化し、システムのフレキシビリティを増し、故障診断を容易にするなど性能/価格比の向上をはかることが最近の傾向の一つであるが、このマイクロプログラム記憶用には高速のリードオンリメモリーが必要である。

ROMには多くの方式があるが、この例のような場合には高速性と内容の持久性、信頼性のほか、組立工場において容易に内容を書き込み、また修正も可能であるという、いわゆるターンアラウンドタイムが短いことが要求される。また記憶内容は多岐にわたりしかもその数量は卓上計算機のごとき大量生産には達しない、むしろ多種少量となる場合においても低コストを維持する必要がある。

今回、主としてこの目的のためにさきに発表⁽¹⁾したヒューズ形 IC リードオンリメモリー素子を使用し、このための自動内容書込装置と、中形電子計算機マイクロプログラム制御用高速リードオンリメモリー装置を開発したのでその概要を述べる。

2. ヒューズ形 IC リードオンリメモリー素子

2.1 素子仕様

- (1) 容量：8語×7ビット
- (2) 回路方式：トランジスタマトリクス
- (3) 書き込み方式：過電流によるヒューズの切断 (0.6 A 1 ms)
- (4) パッケージ：セラミックデュアルインライン 16ピン

図 2.1 に回路図、図 2.2 にヒューズの切断状況を示す。

2.2 素子信頼度

この素子は、通常の論理 IC と異なり、ヒューズの溶断という特殊な過程があるため、この点に注目して 1,000 時間にわたる加速試験を行なったが、この素子特有の故障モードは発見されず、通常の論理 IC と同レベルの信頼性が確認された。

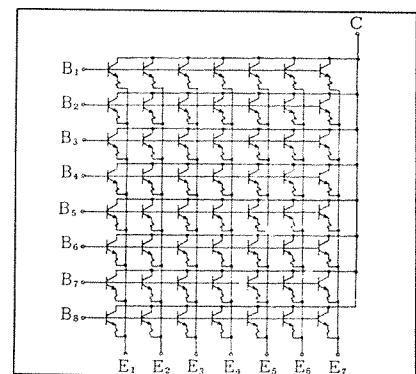


図 2.1 ヒューズ形 IC リードオンリメモリー素子回路図
Circuit configuration of a fusible linked IC read only memory element.

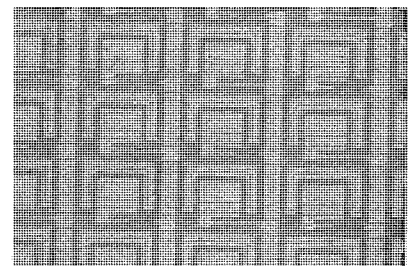


図 2.2 ヒューズ切断状況
Exterior view of the fuse after burned with over current.

3. 自動書き込み装置

ヒューズ形の IC リードオンリメモリー素子においては、その書き込み特性が直接素子の歩どまりや信頼性等に影響を及ぼす。また情報を書き込んだ後の識別は、数量の増加とともに煩雑さを増す。書き込み装置の製作に当たっては以上の二点に留意し、操作方法を極力簡単にした。

3.1 機能

書き込み装置の機能を決めるに際しては、その使用レベルを考慮しなければならない。IC 自体の各種特性検査機能を備えた大規模なものを製作するのか、パッケージ単位で書き込むだけの簡単な



図 3.1 書込装置外観
Programmer.

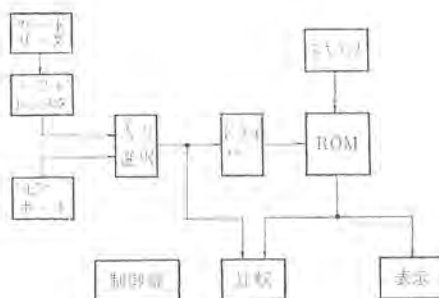


図 3.2 書込装置のブロック図
Block diagram of the programmer.

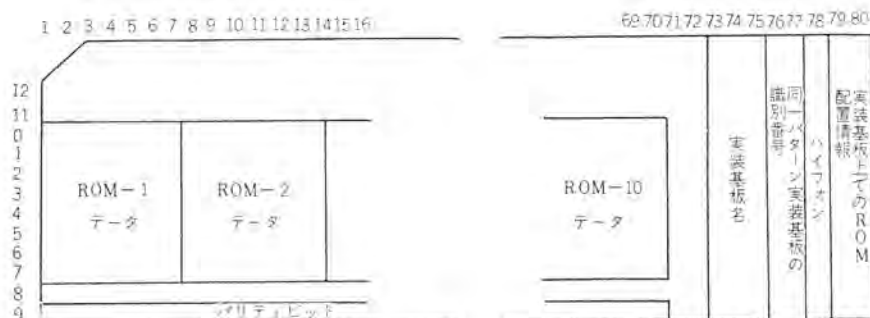


図 3.3 パンチカード Punched card format.

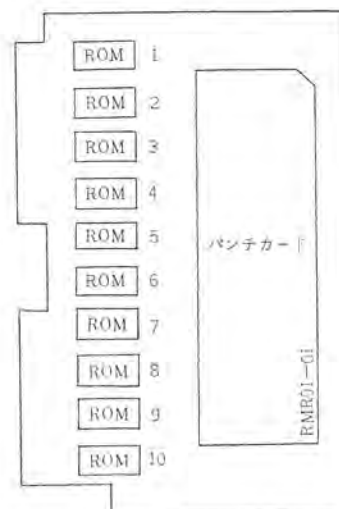


図 3.4 書き込み専用基板
Program adapter.

なものでよいのか問題となる。今回試作した書き込み装置は両者の中間的立場をとり、IC 自体の特性検査機能はないが、書き込み条件は各種の設定が可能で、少量および大量の使用に対処できるようにした。

本機の機能は以下のとおりである。

- (1) 書き込み条件は電流値・パルス幅・立ち上がり時間が調整可能であり、最適書き込み条件を設定できる。
- (2) 書き込み後の内容を入力情報と比較して GO/NO-GO 信号を出す。
- (3) 書き込み後の内容を ランプアレーで表示する。
- (4) 書き込みデータは、多量の素子を扱う場合はパンチカードで与え、少量の場合にはピンボードで与える。
- (5) ワンタッチで最大 10 パッケージに異なるデータが書き込める。
- (6) 誤動作防止用チェック回路
 - (a) カードリーダー読み込みエラー検出用パリティチェック
 - (b) カード読み込み方向エラー警報
 - (c) カードリーダーのホトトランジスタ用ランプ切断警報
 - (d) コントロールパネル上のランプチェック

3.2 構成

図 3.1 に本機の外観を、図 3.2 にブロック図を示す。データ入力部はカードリーダーとピンボードで構成され、カードリーダーを利用するときにはパンチカード 1 枚分のデータがいったんシフトレジスタに記憶される。書き込みデータは制御部の指示により、自動モードのときにはシフトレジスタから、手動モードのときにはピンボードから読み取られ、その内容に従ってドライバを駆動する。同時に、スキマがアドレスとビットを走査して 8 ワード、最大 70 ビットのデータを書き込む。すべての素子に書き込むと、自動的に内容を検査し、GO/NO-GO 信号を出す。また内容表示ランプアレーは書き込みサイクル以外は常にその内容を表示している。試作した約 40,000 ビットのリードオンリメモリーモジュールでは、こ

の書き込み装置で 99.7% 以上の書き込み歩どまりが得られた。

3.3 書き込み後の識別

書き込みの終了した素子は外観上区別がつかないので、何らかの方法でこれに名前を付けねばならない。パッケージ表面に識別番号を付けるのが一番簡単であるが、そのような自動装置は非常に高価になる。基板に実装した後に書き込む場合はこのような識別は必要ないが、そのときは本素子がデコーダを内蔵していないために、基板の接続端子数に制限されて実装密度を上げることができない。試作モジュールでは実装密度の向上をはかったので (3,136 ビット/カード) 書き込みは書き込み専用基板で行ない、これを実装基板に移しかえた。この移しかえを誰でも誤りなくできるようにするには、単純で明快な方式を定めねばならない。そこで、データ入力用のパンチカードに実装基板への配置情報を印字し、先の書き込み専用基板と一対一の対応付けをして、一緒に製造ラインに流すようにした。この関係を図 3.3, 3.4 に示す。

3.4 パンチカード作成プログラム

入力データのパンチカードはカードさん孔機のマルチパンチ機能を利用して作ることもできるが、多量のデータを取り扱う場合には、多大の



図 3.5 MELMIC-100 ROM 書き込み装置
Programmer of MELMIC-100.

労力を要するうえにミスも発生しやすいので、パンチカード作成用プログラムを用意した。このプログラムに与えるデータは、本試作モジュールではCPUシミュレーションプログラムで作成され、一般用では2進および16進である。またこれを利用するとビットパターンがプリントアウトされるので、以後のメンテナンスが容易である。

3.5 MELMIC 用書き込み装置

三菱マイクロコントローラ MELMIC-100 用に開発したリードオンリメモリ書き込み装置(図 3.5)は、実装密度があまり要求されない(1kB/カード)実装基板単位で書き込みを行なう。書き込みデータは他の装置から与えられ、ワンタッチで1ワードの書き込みを行なう。

4. 高速リードオンリメモリ装置

4.1 用途

当社中形電子計算機の中央処理装置のマイクロプログラム制御用メモリ装置を開発する目的で総容量37,632ビットとし、これを768語×48ビットの実用エリアとして構成している。

リードオンリメモリの書き込みは組立工場において実施し、以後変更されることはないが、マイクロプログラムの変更が必要になった場合には新しい素子と置換えることによって修正可能である。

4.2 仕様

- (a) 容量: 768 語×48 ビット
- (b) アクセスタイム: 110 ns 以下
- (c) サイクルタイム: 400 ns

その他、エラー検出の機能を持つことが要求されている。

4.3 ブロック図

図 4.1 に、この高速リードオンリメモリ装置のブロック図を示す。

4.4 設計上の要点

- (a) アクセスタイムの短縮
- (b) サイクルタイムの短縮
- (c) 価格の低減
- (d) 故障検知方式
- (e) 実装方式

次に個々の項目について詳細に述べる。

4.4.1 アクセスタイムの短縮

(1) 論理段数の減少

アドレスデコーダの段数を極力減らし、かつアドレスレジスタから見た負荷係数を、所定の値以下にしなければならない。

このリードオンリメモリ装置においては、次に示す手法を用いて768語のデコードを、段数3段(駆動回路込み)、負荷係数3で実現し、かつ全体のアクセスタイムを90 nsにおさめることができた。

- (a) 駆動回路(ドライバ)に、NOR 素子を用いた。
- (b) 初段には、アドレスバッファを兼ねて AND 素子を用いた。

図 4.2 に、アドレスデコーダ、ドライバ部の概念図を示す。

(2) 論理素子の選択

部品の供給状況、価格、実績、取扱いの便利さ等を考慮した結果、高速 TTL (伝ば遅延時間 TYP. 5 ns) を用いることとした。

4.4.2 サイクルタイムの短縮

装置内各部のチャージが安定状態になる時間で、サイクルタイムが決まる。本装置では、アクセスされていない素子のベース・エミッタ間容量、その他の浮遊容量が、等価的にセンスアンプの入力インピーダンスに並列に入り、素子がエミッタフォロウ動作をするため、この部分のディスチャージがすみやかに行なわれず、サイクルタイムを長くする原因となる。

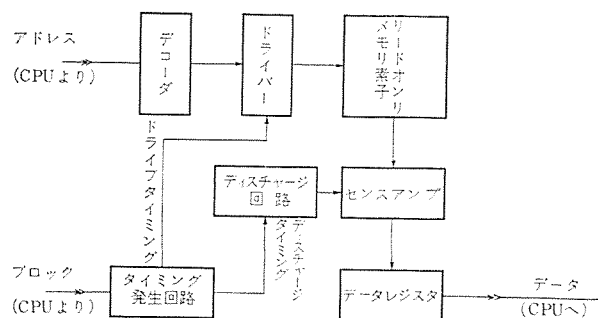


図 4.1 高速リードオンリメモリ装置ブロック図
Block diagram of the high speed read only memory module.

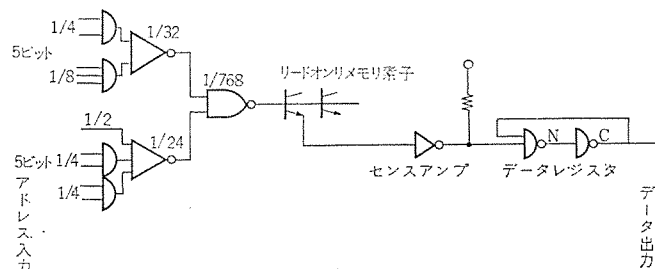


図 4.2 アドレスデコーダ、ドライバ部概念図
Logic diagram of decoder and driver.

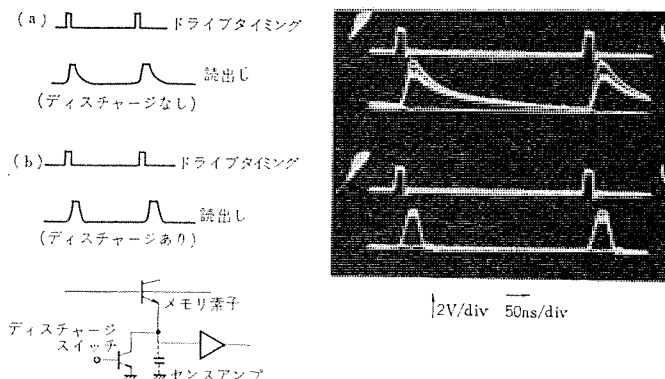


図 4.3 ディスチャージ回路
Discharge circuit.

本装置では次に示す手法を用いて、この問題を解決している。

すなわち、メモリ素子のアクセスを、データレジスタがデータをセットするのに必要十分な時間に限定し、アクセス終了後、センスアンプ入力部に設けたディスチャージスイッチを閉じて、短時間に蓄積されたチャージを放出させる。このディスチャージ回路の動作、タイミングを図 4.3 に示す。

4.4.3 価格の低減

装置価格に比較的大きなウエイトを占めるのは、つぎの部分である。

- (a) メモリ素子
- (b) ドライバ(駆動回路素子)
- (c) センスアンプ
- (d) プリント基板

設計段階で、価格低減の対照となりうるものは、(b)~(d)であり、(b)(c)が減少すれば、使用素子数が減少することになり、通常プリント基板の必要数も減少する。

ドライバ、センスアンプの数を減少させるということは、換言すれば、1個のドライバで何ビットまでドライブできるか、1個のセンスアンプに何語まで接続できるかということであり、これらの関係を式で示すと次のようになる(図 4.4 参照)。

表 4.1 カード一覧表
Card manual.

カード名	カードサイズ	流入電流	機能
RTD	ダブルサイズ	760 mA	タイミング発生 (リセット, ドライバ, ディスチャージ, チェック) ドライブデコーダ (1/32) セレクトデコーダ (1/24)
RMR	ダブルサイズ (三層)	SELECT されたとき MAX 450 mA SELECT されぬとき 390 mA	ドライバ (64 W) ROM 素子 (64 W×48 BIT)
RSA	ミニサイズ	SELECT されたとき 65 mA SELECT されぬとき 35 mA	16 BIT センサアンプ 16 BIT ディスチャージ回路およびバッファ
RDR	ミニサイズ	160 mA	12 BIT データラッチ 6 BIT データ OR×2 (エラーチェック用) ラッチが2BITまとめてN/C共に“1”になるような故障が起こっても検知しうるように, 特殊なゲート割付けを行なっている。
REC	ミニサイズ	170 mA	エラーチェック セレクトデコーダ 多重デコードチェック 多重デコードおよび時間外ドライブ エラー判定 エラー F/F
REH	ミニサイズ	140 mA	エラーチェック ドライブデコーダ 多重デコードチェック 時間外ドライブ 集約 OR

ダブルサイズ

ミニサイズ

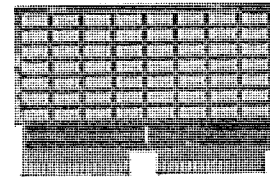


図 4.5 メモリカード (RMR)
Memory card.

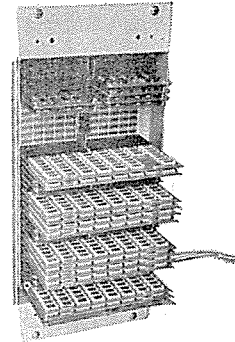


図 4.6 高速リードオンリメモリー装置
High speed read only memory module.

$$V_{1MIN} - V_{NM} = \frac{\frac{h_{FE}}{M} Z_{SENSE IN}}{Z_{DRIVE OUT} + \frac{h_{FE}}{M} Z_{SENSE IN}}$$

$$V_{DRIVE NL} - V_{NM} > V_{TH}$$

$$V_{0MAX} + V_{NM} = N I_{CEO} Z_{SENSE IN} + V_{NM} < V_{TH}$$

ただし, M : 1個のドライバでドライブするビット数

N : 1個のセンサアンプに接続される語数

V_{NM} : ノイズマージン電圧

$Z_{DRIVE OUT}$: ドライバ出力インピーダンス

$Z_{SENSE IN}$: センサアンプ入力インピーダンス

$V_{DRIVE NL}$: ドライバ無負荷電圧

V_{TH} : センサアンプしきい電圧

I_{CEO} : メモリー素子 1個の I_{CEO}

本装置では, $V_{NM}=0.4$, $Z_{DRIVE OUT}=50 \Omega$, $Z_{SENSE IN}=1.2 k\Omega$, $V_{DRIVE NL}=3.2V$, $V_{TH}=1.2V$, $I_{CEO}=2.0 \mu A$ を採用し, この結果 $M=48$, $N=128$ を得た。すなわち, 1語に1ドライバで, 128語にセンサアンプを設けるということである。

4.4.4 故障検知

各素子の入出力が, “1” または “0” に固定されるという故障モードを仮定して, 故障解析を行なった結果, 単一故障であれば, 大部分の故障は, 次に示す二つの方法を併用すれば検知できることがわかった。

(a) 読み出しデータの横パリティのチェック

(b) ドライバの多重ドライブのチェック

(a) は, 通常言われているデータのパリティチェックであるから問題はない。(b) に関しては, 実装, チェック回路の素子数等を検討した結果, デコーダ部にパリティチェック回路および補助回路を設けることで解決した。

4.4.5 実装方式

カード種類・結線数・保守性・拡張性等を考慮し, カードの設計を行なった。表 4.1 に, カード種類・機能等を示す。図 4.4 にメモリーカードの写真, 図 4.5 にリードオンリメモリー装置の写真を示す。

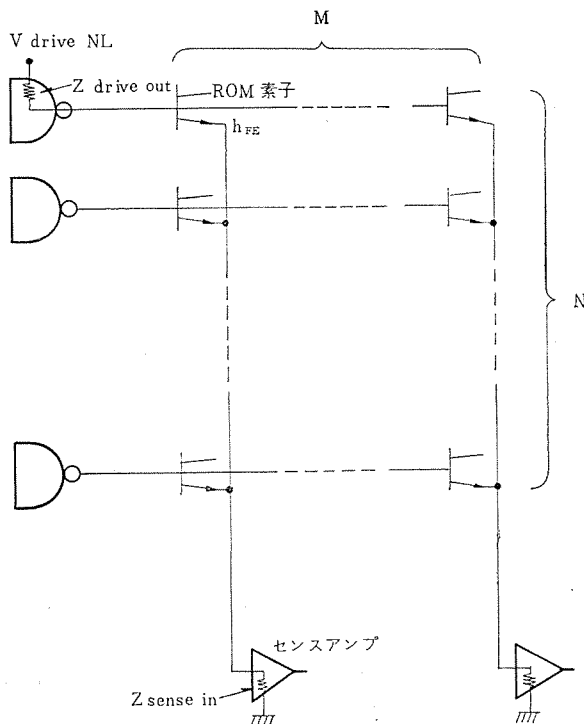


図 4.4 ドライバ系・センス系接続図
Circuit diagram; driver to sense amplifier.

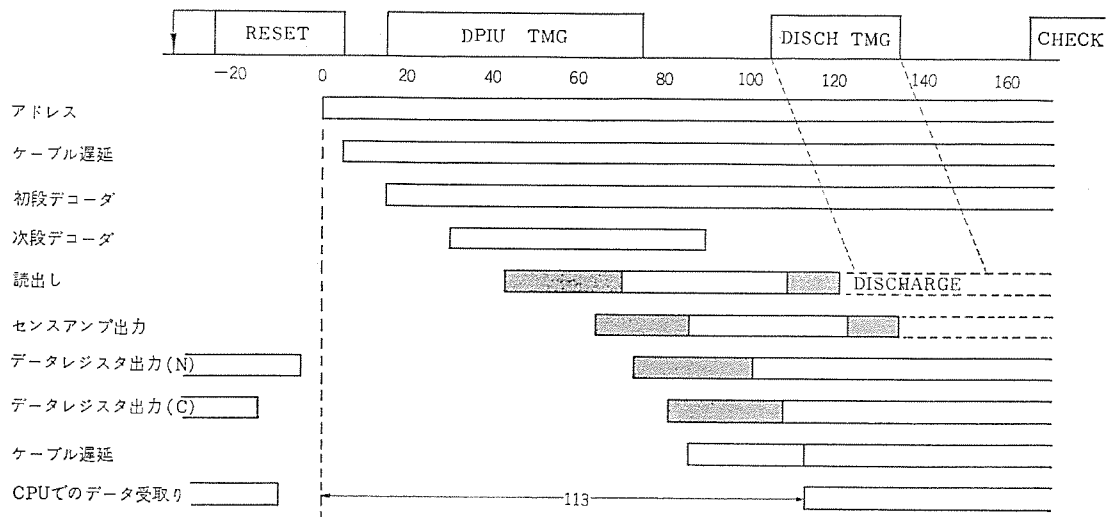


図 5.1 タイミングチャート Timing chart.

5.2 サイクルタイム

実測から、サイクルタイム 300 ns で、余裕を持って動作することが判明した。

図 5.1 に動作タイムチャート、図 5.2 に各部分の動作波形を示す。

5.3 連続動作試験

現在当社制御用中形電子計算機の中央処理装置に接続して、連続か(稼)動試験をおこなっている。

試験開始後 50×10^6 ビット・時間以上を経過しているが、故障やトラブルは発生していない。

6. む す び

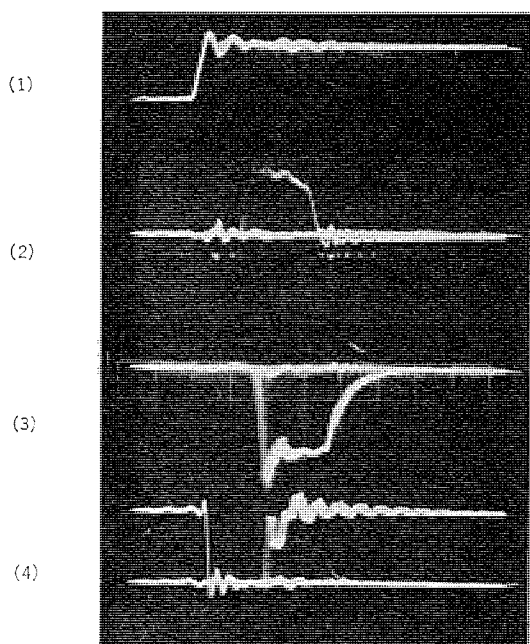
リードオンリメモリーには多くの方式のものが開発、実用されているが、最近の半導体技術の進歩は著しく、IC による ROM の将来性は大きい。大量生産品種にあつては、半導体製造工程中に内容を書き込むマスク式 ROM のほうが安価となるが、この例のごとき、マイクロプログラム制御用、あるいはいわゆるマイクロコントローラにおける固定シーケンス記憶や、ミニコンを単能機として使用する場合の応用プログラム収容などには、簡単に内容の書き込みができるヒューズ式 IC-ROM がきわめて適しており、今後広く応用されるものと思われる。

この素子を用いて開発したメモリー装置とその書き込み装置は満足すべき性能を示し、リードオンリメモリーを必要とする電子計算機の性能・信頼度の向上と、コストダウンに寄与できるものと考えられる。

最後に本素子を製作担当いただいた協同電子技術研究所、および当社関係者各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 小島ほか：最近の計算機用記憶装置，三菱電機技報，44，No. 6
- (2) 阪尾ほか：ヒューズ式リードオンリメモリー，電子材料，(昭 45-7)
- (3) 磯崎ほか：ヒューズ形 IC-ROM，電通学会，全大シンポジウム S 6-6 (昭 45-8)
- (4) 山本ほか：ヒューズ形 IC-ROM カストマイザ，電通学会，全大 1,187 (昭 46-4)



(1) アドレス (2) 読出記号 (3) センスアンプ出力 (4) データレジスタ出力
V : 2 V/div H : 50 ns/div

図 5.2 動作波形 Wave form.

5. 動作試験

5.1 アクセスタイム

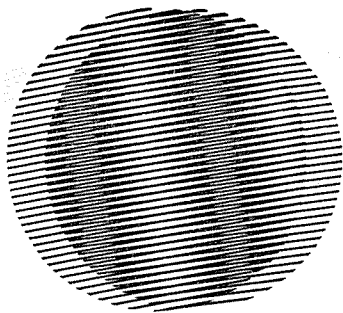
本装置の動作試験で標準アクセスタイムは 90 ns を要した。またアクセスタイムは次の (a) ~ (c) の要因によって変化した。

- (a) 周囲温度： $25^\circ \pm 25^\circ$ で ± 2 ns
- (b) 電源電圧： $5 \text{ V} \pm 5\%$ で ± 2 ns
- (c) 素子のばらつき：全体で ± 6 ns (3σ まで考慮)

したがってアクセスタイムは、 3σ の範囲内で 100 ns で動作することがわかった。

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
単体構造多段固体回路装置	45- 3-28	897344	忍 足 博	北伊丹製作所
巻径検出装置	45- 3-28	897345	安 斎 広 成	神戸製作所
円筒状材料の位置検出装置	45- 3-28	897347	安 斎 広 成	神戸製作所
真空しゃ断器	45- 3-28	897348	清 水 正 己	神戸製作所
小形回転電機の回転子	45- 3-28	897333	武 井 久 夫・長 嶺 元	群馬製作所
小形回転電機の回転子	45- 3-28	897334	武 井 久 夫・長 嶺 元	群馬製作所
櫛付 ヘアードライヤー	45- 3-28	897336	武 井 久 夫・丸 山 泰	群馬製作所
温水器	45- 3-28	897339	宮 崎 昭 信・鶴 谷 嘉 正	群馬製作所
救水膜装置	45- 3-28	897346	宇 川 彰	相模製作所
換気扇	45- 3-28	897349	神 谷 昭 美・釣 巻 英 久	中津川製作所
ステレオキャビネットの扉開閉装置	45- 3-28	897352	堀 江 登	郡山製作所
石油燃焼機の点火装置	45- 3-28	897354	{小 原 英 一・小 林 恵 治 久 山 貴 美 雄	商品研究所
衣類乾燥器の物干棹昇降装置	45- 3-28	897355	高 橋 賢 司	群馬製作所
冷蔵庫	45- 3-28	897357	丸 山 哲 朗	静岡製作所
冷蔵庫	45- 3-28	897359	荒 野 喆 也・駒 形 栄 一	静岡製作所
火鍋	45- 3-28	897360	{東 邦 弘・野 畑 昭 夫 村 岡 和 典	群馬製作所
電気あんま器	45- 3-28	897361	小 川 昇・川 合 輝 一	群馬製作所
電気あんま器	45- 3-28	897362	小 川 昇・川 合 輝 一	群馬製作所
2 段重ね リール 式テープレコーダ	45- 3-28	897364	成 木 利 正	商品研究所
換気扇	45- 3-28	897365	吉 村 宏	中津川製作所
交流電動機用速度制御装置	45- 3-28	897366	遠 藤 吉 隆	商品研究所
換気扇	45- 3-28	897369	今 井 進	中津川製作所
レンジフード	45- 3-28	897368	白 石 和 雄	中津川製作所
電波収納装置	45- 3-28	897350	狩 野 卓 史	神戸製作所
親子式計測装置	45- 3-28	897351	佐 藤 安 俊	通信機製作所
タイムスイッチなどの操作つまみ	45- 3-28	897353	牟 田 勝 己	福山製作所
度数計	45- 3-28	897356	林 正 之・山 根 満 徳	京都製作所
半導体装置	45- 3-28	897358	{藤 林 肇 次・三 井 茂 奥 泰 二	福山製作所
刷子保持器	45- 3-28	897363	酒 井 満	北伊丹製作所
表示装置	45- 3-28	897367	友 久 健 三	岡山製作所
電磁接触器	45- 3-28	897370	長 尾 良 章・波 川 弘 一	通信機製作所
エアーカーテン 装置	45- 4-11	898423	{牛 越 諒・小 栗 敦 川 淵 勇	中津川製作所
イオン 発生器	45- 4-13	898531	長 瀬 卯 三 郎	中津川製作所
イオン 発生器	45- 4-13	898532	長 瀬 卯 三 郎	中津川製作所
穀類電動粉碎機	45- 4-13	898533	武 井 久 夫・服 部 信 道	群馬製作所
電動刃物研き機	45- 4-13	898534	武 井 久 夫・服 部 信 道	群馬製作所
電動刃物研き機の刃物保持装置	45- 4-13	898535	武 井 久 夫・服 部 信 道	群馬製作所
電磁 チャック	45- 4-13	898538	首 藤 佑 吉・伊 藤 鑑 寿	名古屋製作所
冷蔵庫	45- 4-13	898539	海 野 賢	静岡製作所
冷蔵庫	45- 4-13	898541	鈴 本 正 高・中 島 勇	静岡製作所
冷蔵庫	45- 4-13	898544	鈴 本 正 高	静岡製作所
制御盤等における器具の取付装置	45- 4-13	898546	大 脇 至・古 田 勝 己	名古屋製作所
負 イオン 発生器	45- 4-13	898547	平 塚 篤・馬 込 一 男	商品研究所
トースタ	45- 4-13	898548	川 島 宣 文	群馬製作所
蛍光灯 ソケット	45- 4-13	898551	山 崎 肇・今 井 将	大船製作所
電機布裁断機の昇降台自動昇降切替装置	45- 4-13	898529	森 田 稔	和歌山製作所
微少光量計	45- 4-13	898530	中 西 武 三・渡 辺 勢 夫	中央研究所
エレベータ などの到着予報装置	45- 4-13	898536	石 川 理 一	本 社
回路しゃ断器	45- 4-13	898537	米 沢 克 昌・佐 藤 邦 彦	伊丹製作所
減圧器	45- 4-13	898540	阿 部 康 宏	伊丹製作所
しゃ断器操作装置	45- 4-13	898542	林 和 昌	神戸製作所
しゃ断器操作装置	45- 4-13	898543	林 和 昌	神戸製作所
負荷開閉駆動回路	45- 4-13	898544	茂 木 充	北伊丹製作所



新製品紹介

ヒートポンプチラーユニット AWH 形

近年都市の過密化に伴う種々の公害が各分野で問題にされ、なかでも重油たきボイラーの排気ガスによる大気汚染がその急激な需要増加に比例して、公害度を高めており、何らかの法的規制も予想されている。暖房用として広く一般に利用されている重油ボイラーについても例外ではなく、今後の使用に制限を受けるわけである。

公害のない冷暖房熱源として電力をもっとも効率よく利用するヒートポンプ式冷暖房装置は、冷房機をそのまま暖房機として使用できる大きなメリットにより1台の装置で年間空調が可能である。

ここに紹介する AWH 形 シリーズは大気を熱源として利用し、夏は冷水、冬は温水を作るユニットタイプの空対水ヒートポンプで、AWH-120 (90 kW)、AWH-80 (60 kW)、AWH-60 (45 kW)、AWH-40 (30 kW)、AWH-20 (15 kW) の5機種をシリーズとしてそろえてある。

■ 特 長

(1) 公害ゼロの冷暖房装置

電力を利用して効率よく冷暖房をおこない、暖房用ボイラーは不要である。

(2) 蓄冷熱運転

空気熱源の空対水ヒートポンプで、深夜電力を利用しての蓄冷熱運転に最適である。

(3) ユニット形

高圧ガス取締法の「ユニット形」であるので、したがって作業主任者免状は全機種とも不要である。

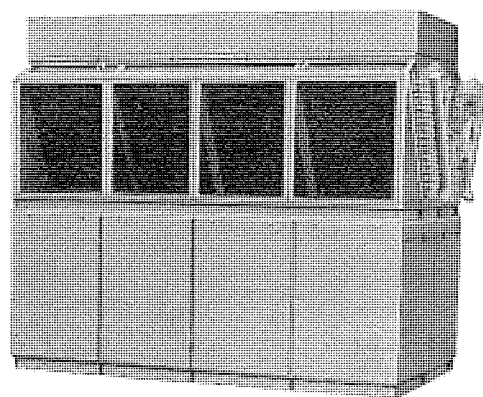
(4) 全自動運転

制御装置・保護装置を完備しているので、運転は非常に安全かつ手軽におこなえる。

(5) 工事費の低減

工場でユニットにまとめあげているので、現地での冷媒配管工事・防熱工事・配線工事は不要となり、工事費は大幅に低減できる。

[長崎製作所]



ヒートポンプチラーユニット
AWH-60 形 (45 kW)

リミストップ G シリーズ

——ミシン針定位停止装置——

縫製省力化のにない手として、自動糸切装置付きミシンにも連動する高性能ミシン針定位停止装置「リミストップ」Gシリーズを新しく開発し、第一弾として三菱自動糸切付きミシンと組合せて発売した。

本シリーズは今後の縫製省力化・自動化の基本となるもので、特に柔らかい布地や、伸縮の大きい糸を加工素材とし、かつ高速運転されるため、位置決め低速度への迅速で円滑な減速と正確な停止精度が要求されること、さらに作業者の手足としての操作性、使い勝手の良否が能率向上に大きく影響することなどを徹底的に分析し、開発されたものである。

本装置は作業者の足踏みペダル操作によりミシンを始動停止させるクラッチモータに、1/30 程度の減速比をもつ位置決め用の副駆動装置を装備し、かつミシン針の上下位置を検出する回転形位置検出器をミシン頭部に取付け、前記のペダル操作により、これらの装置を制御し

新製品紹介

て所定の定位停止を行なわせる制御盤とで構成され、次のような特長をもっている。

■ 特 長

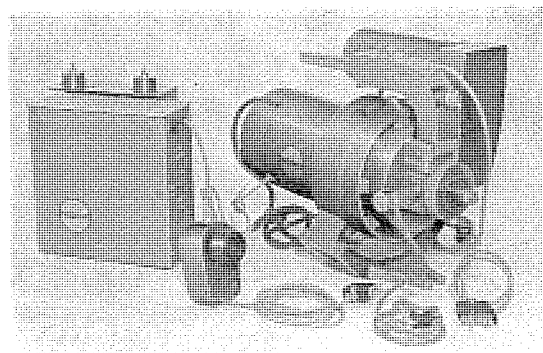
- (1) 急始動、半クラッチ、針下停止、針上停止、自動糸切および一針縫いの インチング 操作を足踏み ペダル の簡単な操作のみで、作業者の意志のままに行なうことができる。
 - (2) 補助モータなどの副駆動系の応答性がすぐれていると同時に、各種の ミシン に対して位置決の速度の変更が容易である。
 - (3) 作業者の操作ミスに対する インターロック、および作業者への安全など各種の安全保護装置をもっているため、しろうとでも安心して使用できる。
 - (4) 保守点検を容易にするため主要装置の プラグイン 化など、ユニット化を計るとともに摩耗調整の容易化、マイクロスイッチの自動ギャップ機構など メンテナンス の省力化も計っている。
- (特許・実用新案 15 件出願中)

■ 仕様・性能

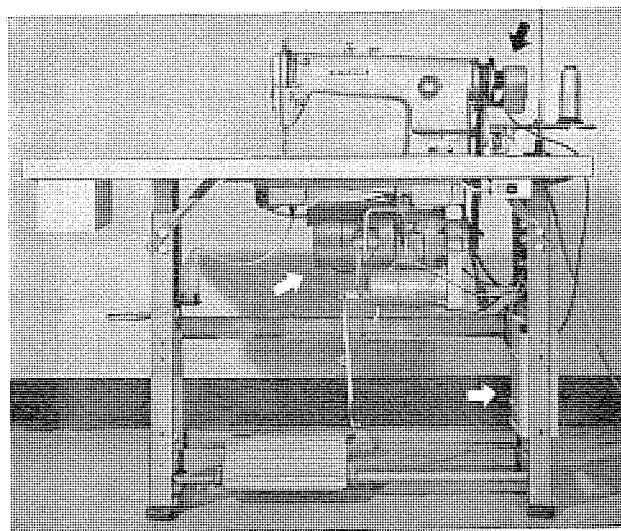
三 相	200 V 50/60 Hz 250 W, 400 W, 2 P, 4 P
単 相	100 V 50/60 Hz 250 W, 2 P, 4 P
ミシン 運転回転数	3,500~5,000 rpm
位置決め速度	(標準減速比) 1/30
停止精度	針上停止 5° 以内) 位置決め速度 針下停止 20° 以内) 120 rpm のとき
補助 モータ	全閉形, E 種絶縁 20 W 4 P
ブレーキ	直流励磁形 マイクロブレーキ

上記以外にも電磁操作式 リミ ストップ など各種定位停止装置も準備している。

[名古屋製作所]



リミ ストップ G シリーズ
3 φ 200 V 50/60 Hz 250 W 2 P CB-252 BG





NEWS FLASH

大容量配電変電所用 全静止形継電装置完成

このたび、高感度・高信頼度・小形ユニット化等の数々の特長を有する配変用全静止形継電装置の1号機を中部電力(株)今伊勢変電所に納入した。

最近電力需要の増大で配電用変電所も大容量化され、変電所から引き出されるケーブルの数が多くなり、従来の電磁形継電器では感度不足で十分な地絡保護ができなくなった。また都市部においては広大な変電所用地を確保することがむずかしくなった。

この装置は、静止化によりこれらの問題を一挙に解決するものである。

納入先	構成	盤面数	納入年月
中部電力(株) 今伊勢 S/S	2 Bank 28 Feeder	4	46年5月
中部電力(株) 金山崎 S/S	2 Bank 24 Feeder	4	46年6月
中部電力(株) 萱場 S/S	1 Bank 6 Feeder	2	46年7月
中部電力(株) 中御所 S/S	2 Bank	4	製作中
中部電力(株) 大喜 S/S	1 Bank	2	製作中

■ 特 長

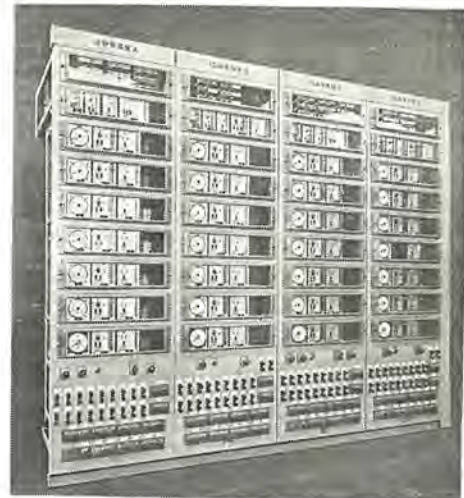
- (1) 地絡過電圧、地絡方向継電器の高感度化
- (2) 高信頼度化
トランジスタ回路部分の2重化
強制手動点検回路の採用
- (3) 小形化およびユニット化(着脱自由なユニット式継電器により、幅 700、高さ 2,300 の盤2面に1 Bank 12 Feeder 分収納)

■ 仕 様

Feeder 継電器の概略仕様は下記のとおりである。

- (1) 過電流継電器 定格 AC 5 A DC 12 V
タップ 4~10 A
段限時特性 L: タップ値 1秒
H: タップ値の200% 0.1秒
- (2) 地絡方向継電器 定格 AC 190 V 2 A DC 12 V
V₀ タップ 4~25 V I₀ 2 mA
0.2秒
- (3) 再閉路継電器 定格 DC 12 V 再閉路2回

[神戸製作所]



大容量配電変電所用全静止形継電装置

東京電力 鹿島発電所 4号機 600 MW タービン発電機完成、2号機は試運転を開始

当社では、このほど東京電力(株)鹿島発電所4号ユニット用600 MW クロスコンパウンドタービン発電機を完成した。この発電機は、さきに完成した同発電所第2号ユニット用と同一容量で50 Hz クロスコンパウンドユニットとしてはわが国最大のものである。

定格事項はつぎのとおりである。

容 量 2×350,000 kVA
2×315,000 kW

電 圧	19,000 V
力 率	90 %
短絡比	0.6
相 数	3
周波数	50 Hz
回転数	3,000 rpm
ガス 圧	4 kg/cm ²
冷却方式	水素内部冷却
励磁方式	減速歯車付き 直結直流励磁機
励磁機定格	375 V 1,350 kW
二軸同期	予備励磁機を使用する低速同期法および 直結励磁機を使用する中速同期法の併用



600 MW タービン 発電機

現在第2号ユニットは現地据付け工事を完了し、各種試験を実施しながら順調に試運転を続けており、第4号ユニットの据付け工事も急ピッチで進んでいる。写真は工場試験中の第4号ユニットセカンダリ 350 MVA 機である。

[神戸製作所]

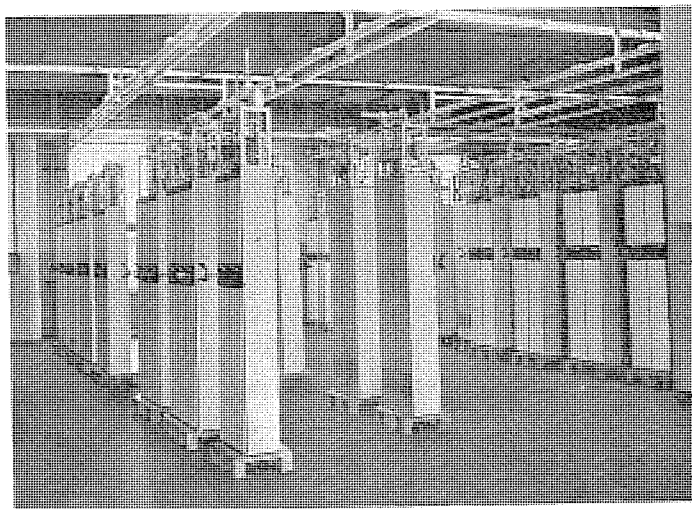
インド国鉄向け 7 GHz 通信装置完成

昨年7月、激しい国際競争に打勝って受注した、インド国鉄(Ministry of Railways, Government of India) 向け 7 GHz 帯多重無線装置は、このほどすべての機器が完成し、船積を完了した。

装置の製作は順調に進み、今年3月にアンテナ第1回ロットの客先立会検査を皮切りに、アンテナ(3.3 mφ) 68台、導波管・反射板および無線機 119台と相次いで完成、このほど最終ロット無線機の立会検査を終わり、立会官の承認を得て船積みのはこびとなったものである。

この装置は、インド国鉄の Central, South Central および North Eastern の三つの鉄道管理局管内で、総延長約 1,300 km、置局数 38 局、電話 120 CH 容量の無線回線に使用される。50 %、100 % のセツト 予備 システム のほかに、周波数 ダイバシティ 10 システム が含まれている。

[通信機製作所・鎌倉製作所]



インド国鉄向け 7 GHz 無線機

輸出用同期電動機あいついで完成

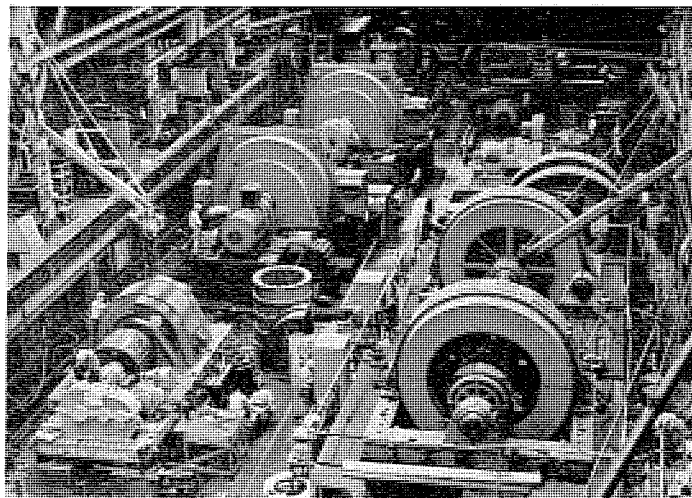
当社は古くから多数の同期電動機の製作歴を持つが、最近では海外からの引合、受注も数多く、昨年も輸出用同期電動機としてブラジル、サンパウロ水道局向けポンプ用 20,000 HP 3 台など記録的容量機も含めて数多く出荷したが、今年も単体輸出機数十台を製作中であり、その一部の試験も好成績のうちに完了し出荷した。その中にはブラジルミナス向け 8,000 HP 36 極 2 台、ブーゲンビル銅鉱山向け 4,250 HP 38 極 8 台などが含まれている。

ブーゲンビル銅鉱山向け 4,250 HP 同期電動機は熱帯性気候の中で運転されるため、特に湿

度・温度に対して特殊な構造、絶縁対策を施した電動機である。またその電動機の励磁方式は国内ですでに数多く採用されているブラシレス励磁方式である。

今後も輸出機の製作が多くなると思われるが、これも海外市場に対する受注活動はもとより、当社の機器製作技術が高く評価された結果であると確信している。

[長崎製作所]



工場試験中の輸出用大形同期電動機群

8,000 HP 36 極 (左側)

4,250 HP 38 極 (右側)

ビレット2段つり上げ用リフティングマグネット

リフティングマグネットは、いまや、鋼材の荷役作業にはなくてはならない存在であるが、このたび高温ビレット(条鋼)の2段つり用マグネットを完成・納入し、現在、ビレットヤードで順調にか動中である。今回納入のリフティングマグネットは、1段つり、2段つり兼用形で、600℃までの高温ビレットを容易に運搬することができる。リフティングマグネットの仕様は次のとおりである。

形 式 HM-1310 UH 形

電 圧 DC 220 V

容 量 6 kW

自 重 4.3 トン

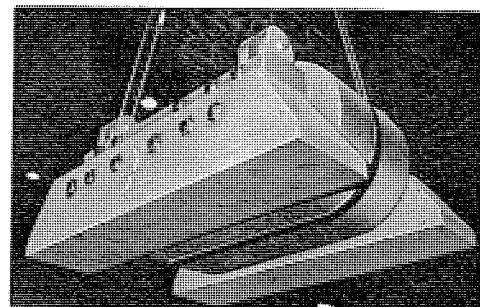
つり上げ物

115 角×8 m×10 本×1 段

115 角×8 m×6 列×2 段

145 角×8 m×8 列×1 段

145 角×8 m×6 列×2 段



ビレット2段つり用 リフティングマグネット

[長崎製作所]

新形母線保護リレー装置 製品化

当社神戸製作所では、このほど関西電力(株)のご協力を得て、77 kV、33 kV クラスの母線保護用の全静止化母線保護装置(バスプロリレー)を完成し、実用段階にはいった。

この母線保護リレーは、最近都市部における電力負荷の過密化に対応して、従来送電線保護リレーの後備保護にたよっていた都市近郊の受電母線、大口需要家の受電母線の事故を高速度に検出することを目的に、研究・開発がすすめられていたものである。

したがって、完成の同装置に要求される条件は

- (1) 超高压系統用等と同様に3～4サイクル程度の高速度動作

- (2) 既設の CT をそのまま利用できること
- (3) 他装置と CT を共用できること
- (4) 盤面の縮小 (1/2 に)

等であり、これらを十分満足できる装置を完成したものである。

なお、その仕様は各電力会社の同種受電母線保護方式として必要な性能をすべて備えている。

この装置の適用条件は、

- (1) 電源（受電）線が 2 端子以内であること
- (2) 負荷線が 5 端子以内であること
- (3) 単母線であること

であり、これらを満足する条件のもとでは、超高圧系等の重要母線保護と同様に短絡事故の発生時には 3～4 サイクルで事故検出できる。

すでに温度試験・振動試験・模擬母線試験などのきびしい工場試験を完了して、関西電力管内の数か所において実用化されている。

〔神戸製作所〕



新形母線保護 リレー 装置

盤面スペースの 1/4 のオールトラ バランス保護リレー装置完成

当社では、このたび 77 kV 送電線保護用の全静止形回線選択保護継電装置を完成した。

この装置は、最近の都市部の電力需要増強のため、22 kV から 77 kV クラスの送電線の保護強化を行なうさい問題となる盤面スペース、保守面での問題を解決するもので、新回路方式の採用、新 PAT 形自動試験装置および自動表示記録装置との組合せにより、従来に比べて盤面スペース 1/4、保守点検時間 1/15、リレー動作の完全自動記録等、業界初めての試みに成功し、盤一括の振動テスト、温度テスト、および模擬送電線テスト等のきびしい試験に合格した。

■ 特 長

- (1) 新回路方式の採用により、JEM 標準盤（幅 700、高 2,300）1 面に 4 回線収納可能で、従来の 1/4 に縮小された。
- (2) リレー動作時・しゃ断器動作時刻・回線名・動作リレーを自動記録するため、従来、保守員が行っていた動作記録、表示の復帰が不用となった。この方式は今後の変電所近代化に大いに役立つものである。
- (3) 仮リレーおよび PAT 形自動試験装置を一括接続することにより、2 回線分 90 項目のリレー試験に従来 6 時間程度要したものが、約 30 分と著しく短縮できた。

■ 性能およびリレー方式

現在各電力会社のバランスリレー方式として具備すべき性能を 100% 有している。

（リレー方式）

主保護（3 Hz トリップ）

高速度選択短絡（HSS）……モータ特性 OC ストップ付き

高速度選択地絡（HSG）……短絡優先、循環電流対策用の和電流 DG 付き

後備保護（時限トリップ）

モリアクタンス ……………モリアクタンス 特性、OC ストップ付き、PD ヒューズ断対策付き
短絡距離 3 段（HDZ）

地絡方向（HDG）……………V₀ ストップ付き

〔神戸製作所〕



全静止形 回線選択保護継電装置

向って右より：本 体
：可搬式自動試験装置
：自動表示記録装置

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル) (電) 530	(電) 大阪 (06) 343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社) (電) 420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (電) 852	(電) 長崎 (0958) 23局6101番
札幌営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号 (電) 930	(電) 富山 (0764) 31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (電) 730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館) (電) 700	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (電) 950	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	与野市上落合後原842番地 (電) 338	(電) 与野 (0488) 33局3181番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (電) 530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) (電) 450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
機器静岡営業所	静岡市小島2丁目1番22号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
機器浜松営業所	浜松市上西町42の5 (電) 430	(電) 浜松 (0534) 63局6121番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル) (電) 060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地 (電) 920	(電) 金沢 (0762) 52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (電) 730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号 (電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (電) 530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1 (電) 652	(電) 神戸 (078) 67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地 (電) 669-13	(電) 三田 (07956) 4371番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 850-91	(電) 長崎 (0958) 23局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地 (電) 492	(電) 稲沢 (0587) 32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 640-91	(電) 和歌山 (0734) 23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 46局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地 (電) 664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地 (電) 862	(電) 熊本 (0963) 62局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997 (電) 861-11	(電) 熊本 (0963) 43局0951番
名古屋製作所	名古屋市中村区矢田町18丁目1番地 (電) 461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井 (電) 488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 819-01	(電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号 (電) 720	(電) 福山 (0849) 21局3211番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号 (電) 229	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 670	(電) 姫路 (0792) 23局1251番
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号 (電) 508	(電) 中津川 (05736) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号 (電) 963	(電) 郡山 (0249) 32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 370-04	(電) 尾島 (02765) 2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地 (電) 375	(電) 藤岡 (02742) 2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地 (電) 617	(電) 京都 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前 (電) 380	(電) 長野 (0262) 27局1101番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目98番地 (電) 060	(電) 札幌 (011) 231局5544番

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 45 No. 10

電気加工特集／省力化機器特集

《電気加工特集論文》

- 電気加工特集号によせて
- 電気加工の現状と将来
- 欧米における電気加工
- 超大形放電加工機の実用結果
- 放電加工の応用
- ダイアックス放電加工機シリーズ
- 放電加工における最近の技術的進歩
- ダイヤシシカ電解加工機シリーズ
- 硝酸ソーダ水溶液による電解加工
- レーザ加工
- プラズマ電子ビーム溶接機の特性

《省力化機器特集論文》

- 省力化の投資限界

- 物流における省力化
- コンピュータによる設計手配の省力化
- 自動製図
- ディスパッチングセンタ
- 加工・組立自動化の動向
- 大形工作機械の数値制御装置
- NC 工作機械群の計算機制御
- コンベヤ搬送制御システム
- 工業用マニピュレータによるハンドリング自動化
- 組立自動化の問題点

《技術解説》

- 三次元レーダについて（その1）
—原理と実施例の全般的解説—

三菱電機技報編集委員会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 通	"	武 藤 正
常任委員	石 川 理 一	"	福 家 章
"	上 田 重 夫	委 員	待 鳥 正
"	宇 佐 見 重 夫	"	北 垣 成 一
"	北 川 和 人	"	田 附 和 夫
"	古 賀 亨	"	南 日 達 郎
"	小 堀 富 次 雄	"	秦 卓 也
"	鈴 木 正 材	"	林 昇 寿
"	牧 野 六 彦	"	松 元 雄 藏

(以上 50 音順)

昭和 46 年 9 月 22 日印刷 昭和 46 年 9 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 100 円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

正 木 茂 雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 (郵便番号 100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

(電) (03) 218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151)

株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018