

MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

ユニテ (東京資生堂)



4

VOL.35 1961



冷凍機の製作所紹介

## シーズンを迎えた三菱冷凍機（I）

最近の冷凍ラームは工業方面ばかりでなく冷凍食品の伸びに乗って家庭面にも大きな影響を与えている。牛乳、生ジュース、アイスクリーム販売用のショーケースから冷凍工場、スケートリンク、マンションの冷房まで、その応用面は多種多様にわたっている。



**長崎製作所** 大形高速多気筒形冷凍機を製作している。

現在 高速多気筒形冷凍機は、各メカで製作されているが、これは三菱電機が日本で初めて着手したもので、以来標準化された完全なる量産態勢のもとに 各陸上施設はもちろん 船舶全般にわたって年々飛躍的な実績をあげている。

**静岡製作所** ユニテヤ、ウインデヤ、電冷ショーケース、アイスクリームストッカ、ウォータクーラ、除湿機など密閉、半密閉形冷凍機を応用した機器を製作している。

ユニテヤ、ウインデヤは 美しいキャビネットに機器を納めたパッケージ形で とくに '61年度は静電気式空気清浄装置クリネヤ付の EU-50C 形ユニテヤと ヒートポンプ式（冷暖房）の HU-50A 形ユニテヤ、RBH 形ウインデヤが業界の注目をあびている。





### 表紙説明

東京銀座の資生堂に納入した EU-80形ユニットであります。店内の空気調和と装飾を兼ねたもので、壁面に大きなスペースを占めるユニットとして周囲とよく調和した美しいデザインです。

冷風の吹出し方向が広角になっていますので店内のすみずみまで平均した冷房効果をあげることができ、化粧品、アクセサリーなどと色彩もよくマッチして好評を博しております。

# 三菱電機

昭和36年 第35巻 第4号 (冷凍・冷房特筆)

## 目次

冷凍装置の制御	安生三雄・志波東一	2
高速多気筒形冷凍機の据付、運転上の注意	清水一朗	9
大形パッケージ冷房装置	大門敬始	14
クリネア付ユニット	河合照男	18
ヒートポンプ式ウインドヤ(窓掛式ルームエアコンディショナ)	高橋克己	22
ヒートポンプ	安藤孝	27
冷凍機応用品(36年度小形応用品)	沖本政夫	30
新小形開放形冷凍機	山本喬夫	36
オープン・ショーケース	米田稔哉	42
熱電冷却用半導体	神崎 遼・藤林肇次・杉岡八十一・三木秀二郎	48
クリネア(電気式空気清浄装置)	斎藤 寛	52
富士製鉄広畑製鉄所納め分塊圧延用9,000kW電気設備	高月 一・伊藤嗣郎	61
最近の抄紙機駆動方式	紙谷鉄男	68
製紙加工機用電機品	久保田伸夫	73
最近の同期電動機(1)	松村敏三	78
可飽和鉄心とトランジスタを用いた電圧一周波数変換器	浜岡文夫・大野栄一	83
JRR-2 研究用原子炉(3)―製作、組立、および試験―	水野 茂・岸田公治・神谷友清・本田俊治・薄葉圭二・今山 功	91
変圧器の衝撃電圧試験における印加電圧波形の算定	岩崎晴光	98
電源開発株式会社十津川第一発電所用水車	福田 稔	104
電源開発株式会社十津川第一発電所43,000kVA水車発電機および運転制御装置	三浦 宏・松尾 潔	113
《技術解説》		
最近の距離継電器(1)	北浦孝一・古谷昭雄	121
《文献抄訳》		
サーボバルブ・直流-交流半導体逆変換装置・電子管か半導体素子か・275,000kW原子力発電所用タービン発電機の船積み		128
《ニュース・フラッシュ》		
モロクトロニクス 実を結ぶ・関西電力読書第二発電所竣工・400kVエレファントプッシング完成・渦渡現象解析器用同期スイッチ-交流計算盤に新偉力-単相コンデンサモートルSL-R 35W, 65W 4Pの開発完了・NL-105, 155形ラッチ式電磁接触器・新しく「三菱膨張形救命いかだMTB形」3種が運輸省船用品の型式承認をうけた・飯野ビルに高出力ケイ光灯多数納入・神戸製作所に大形旋盤設置		130
《特許と新案》		
(新)扇風機の首振旋回安全装置・(新)スタンド扇風機の支柱		134
《最近における当社の社外寄稿一覧》		135
《最近における当社の社外講演一覧》		135
《表紙》		
2. 冷凍機器の製作所紹介(長崎・静岡)		
3. 冷凍機器の製作所紹介(和歌山・神戸)		
4. 三菱電機のヒートポンプ式ウインドヤ		

# 冷凍装置の制御

本社 安生三雄\*・志波東一\*\*

## Control of Refrigerating Equipment

Head Office Mitsuo ANJŌ・Tōichi SHIBA

Refrigeration is a new development in industry as well as electronics. Its contribution to the improvement in quality of various products, though relatively known little, is very remarkable not only in the production of food, but in other field where special frigid air is required. In the part to cool the substance is an only objective, but to keep it at a predetermined cold temper in the present-day requisite. To attain it, control of the refrigerating equipment is now attracting the attention of engineers concerned. The writer makes a description on various methods, which differ depending on the point of control.

### 1. ま え が き

近代工業の目ざましい発達には電子管の発達によるものといわれているが、近代工業の製品の品質向上に冷凍機の貢献も見のがすことはできない。今いろいろの産業においてその製品を産出している工場に目を転じて見ると各方面に冷凍機が偉大なる役目を果たしているのである。1930年代に食品の貯蔵を目的として生れた冷凍機はそれより30数年を経た今日近代工業にその存在を無視することのできない地位を確保しかつ将来に向かってさらに前進しつつあるのである。

しかるがゆえに過去においてはただ単に冷却すれば良いという目的から、ある物体を何度まで冷却しどこに保持しなければならないかというところまで進みかつ冷却するものも過去の食品だけから数多くのいろいろなものまでに及んで来たのである。

したがって近代工業の製品をより品質のすぐれたものにするためその製品の性質により冷凍機は巧みに制御されなければならないし、冷凍機産業の発展には冷凍機はもちろんその制御方法について大いに研究されなければ

ならないのである。

冷凍装置は直接膨張式（たとえば小形冷蔵庫）の簡単なものから、ペアリング、計器工場などの温度ならびに湿度まで調整しなければならないような複雑な装置まであり、前者の場合では冷媒系統だけを考えれば良いのであるが、後者の場合は冷媒系統と空気系統を考えなければならない。両系統の制御が相まって完全な装置といえるのである。また現在の空気調和用の大装置で多く使用されているが図1.1に示されているように冷凍機でラインを冷却しそのラインによって空気を冷却するような3系統を持つ装置もありかかる場合3系統の制御が必要となって来る。しかし本論では以上述べたあらゆる系統について論ずると限りがないので冷媒系統の制御だけについて論ずることとする。

### 2. 冷媒制御機器

冷媒制御機器として現在多く使われているものには次のものがある。すなわち

- 自動膨張弁 (Automatic Expansion Valve)
- 電磁弁 (Solenoid Valve)
- パイロット・バルブ (Pilot Valve)
- フロート・バルブ (Float Valve)
- 蒸発圧力調節弁 (Evaporator Pressure Regulator)
- 節水弁 (Water Regulating Valve)

などであるが今以上の制御弁について論じて見る。

#### (1) 自動膨張弁

自動膨張弁は定圧式、温度式があるが定圧式膨張弁 (Constant Pressure Expansion Valve) は名が示しているように蒸発器内の圧力を一定に保つ形式のもので負荷の変動の少ないものにししか使用することができない。温度式膨張弁 (Thermostatic Expansion Valve) は現在もっとも多く各方面に使用されている。図2.1はその一例の断面を示すものである。②のステムは④のスプリングにより押し上げられそれに加えるに蒸発器出口圧力を、外部均圧口より導かれた圧力とともにダイヤグラム下部から上

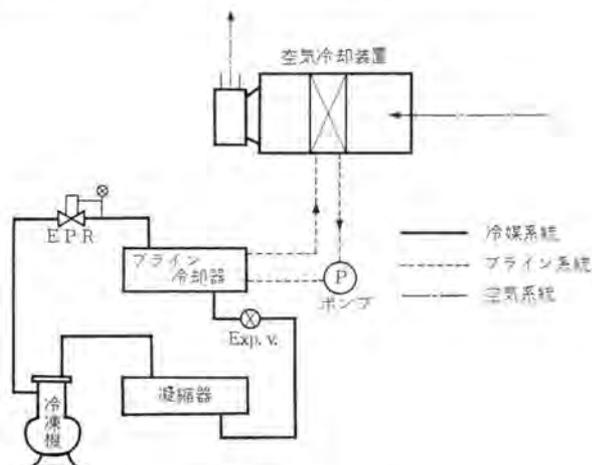
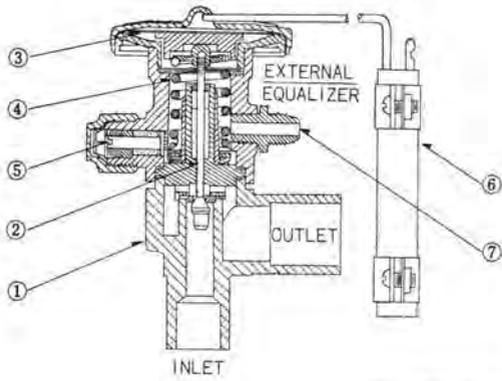


図 1.1 空気冷却装置の一例  
Fig. 1.1 Example of air cooler.



①	本体
②	ニードルステム
③	ダイヤグラム
④	スプリング
⑤	調整ネジ
⑥	感温筒
⑦	外部均圧口

図 2.1 温度式膨張弁  
Fig. 2.1 Thermostatic expansion valve.

方向に加圧されている。また感温筒⑥は蒸発器出口に取付けられる。そこで感温筒内の冷媒（使用冷媒と同じ）が蒸発器の出口温度に対応する飽和圧力となりキャピラリーチューブを通じダイヤグラム上部に加圧される。この圧力が下部圧力と対応し、自動的にバルブステムを作動し弁を開閉するのである。すなわち蒸発器内の負荷が上昇すれば吸入ガスは過熱される。感温筒内の圧力は上昇し、ダイヤグラムに受ける圧が増加しそれでステムは下向きに押しられ弁が開くのである。また弁が開きすぎると冷媒の流量が多くなり、過熱の割合が低下し感温筒内圧力が下がりダイヤグラムに受ける圧が低下し、ステムはスプリング圧により押し上げられ弁は閉止側に作動する。また弁は装置の停止中は付近の温度に対応する冷媒圧力がダイヤグラム上下に加わりプラスマイナス零となるゆえ、下部スプリング圧によりステムは押し上げられ弁は塞止するのである。

(2) 電磁弁 (Solenoid Valve)

電磁弁は多くの自動装置の操作弁として用いられるものである。たとえば冷媒液管に取付け ポンプダウンコントロール用にまたサーモスタットと連絡して圧縮機の自動運転に、パイロットバルブのコントロール等々に広く利用されている。構

造は図 2.2 に示すようにバルブの上方に電磁コイル (Magnet coil) を取付け、電流を通じマグネットを倒かせバルブポートを開く。このように電磁力を利用した止め弁である。

電磁弁には、その大きさにより構造上 2 種類の形式を有する。すなわち

- (a) 直接作動形 (図 2.2)
- (b) パイロット作動形 (図 2.3)

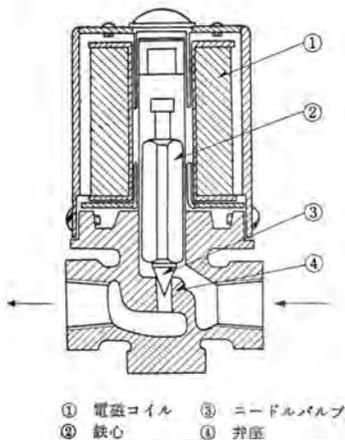
であり前者は小形、後者は大形に使用される。

なおパイロット・タイプ電磁弁の構造は図 2.3 で示すように、その作用はストップの状態では鉄心は落ち、パイロットポート A を塞止し主ピストン B は小径のポート穴 D よりガスが漏れピストン上側圧力は冷媒入口側圧力となる。また下側主ポート C 以下は冷媒出口側圧力を受けている。この圧力関係を詳細に考えると入口側圧は出口側圧より大であるゆえ、主ピストンはこの圧力差により主ポートをふさぐのである。電流が流れマグネットが働き、鉄心を吸い上げれば、ポート A は開き、主ピストン上側圧は吸い取られ出口側圧力となるから、ピストンは入口側圧力との圧力差により押し上げられ主ポートは開く。このように鉄心寸法は小さくても大きなポートサイズの弁として働くから大形止め弁に利用することができる。

(3) パイロット・バルブ (Pilot Valve)

種々の自動調整装置と連絡してその作動により、パイロット・バルブのコントロール圧力に変化を与えバルブを開閉する。このようにバルブ開閉のエネルギを自らの内蔵スプリング圧と、装置内の冷媒圧力とをたくみに組合せ応用しているのである。またパイロット・バルブは冷媒液、吐出ガスならびに吸込ガスのいずれの配管内にも取付けることができコントロール弁として広く利用されている。

その一例として図 2.4 に冷媒液のコントロール用パイロット弁を示した。矢視の側より冷媒液ははいり、ピストン下部の小径リード穴よりピストン上部へ加圧される。もしこの圧力が外部へ逃げなければピストン上下の圧力は同じとなる。ピストンはスプリングに押しられ弁は閉じるのである。そこでピストン上部の圧力を吸入側へ逃がせばピストン上部の



① 電磁コイル ③ ニードルバルブ  
② 鉄心 ④ 弁座

図 2.2 電磁弁  
Fig. 2.2 Solenoid valve.

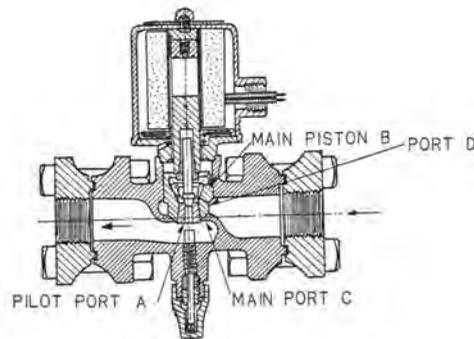


図 2.3 パイロット形電磁弁  
Fig. 2.3 Pilot type solenoid.

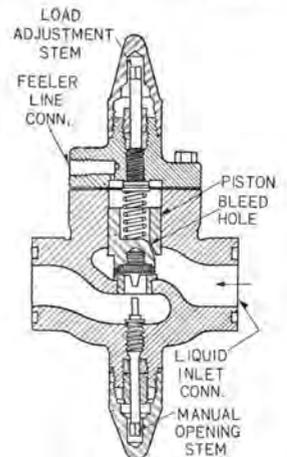


図 2.4 パイロット・バルブ  
Fig. 2.4 Pilot valve.

圧力は小径のオリード穴から漏れて進入する冷媒液の圧は無視できるから低圧となり、ピストンはその圧力差に押し上げられ弁は開く。このようにピストン上部をパイロット・コントロール・ラインにつなぎそのラインに電磁弁またはフロート弁を通して低圧側と結べばこのラインの圧を変えることによりパイロットバルブは自動的に働くのである。

またこの弁はそのまま高圧側の止め弁に利用できるが、低圧側パイロット・バルブの場合は後述の蒸発圧力調節弁として利用することができる。

#### (4) フロート・バルブ (Float Valve)

フロート・バルブの作動は自動給水弁と同様液体のコントロール弁であり、液面の自動的保持装置である。その使用用途から高圧側フロート弁、低圧側フロート弁、油面フロート弁などといわれている。

一般にもっとも多く使われているのは低圧側フロート弁でしばしば満液式クーラに使用されている。

図2.5は低圧側フロート弁の一例である。これは満液式クーラにパイロットバルブとともに装置され、その負荷に対し規定液面を保持することができる。すなわち液面が上昇すれば内部フロートは浮上がり、パイロット・コントロール・ラインへのポートは閉じる。また逆に液面が低下した場合ポートは開き、パイロット・コントロール内の冷媒は流出する。しかし今もしフロートだけで作動すれば非常に小さな変化に対しても作動、流動する。すなわちハッチングの原因となるから、フロートにある一定力の浮力を持たなければ弁が作動しないよう、調整ネジで調整しながらそのスプリング圧で下方に押し下げ反力とし、作動を確実としている。またこの調整ネジである程度の液面保持ラインを変化すること

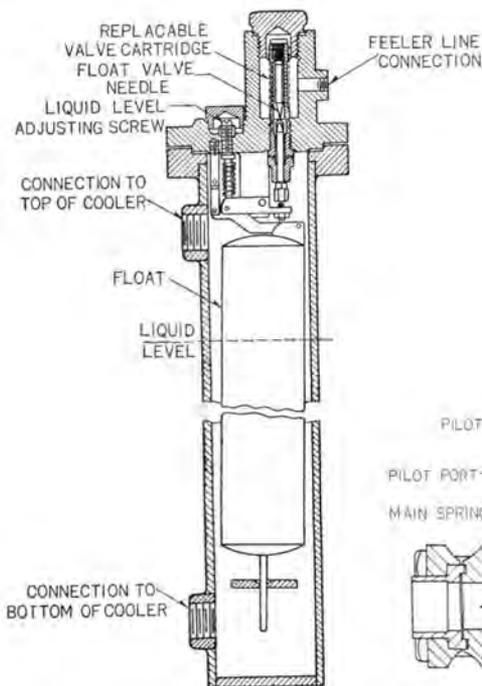


図 2.5 フロート・バルブ  
Fig. 2.5 Float valve.

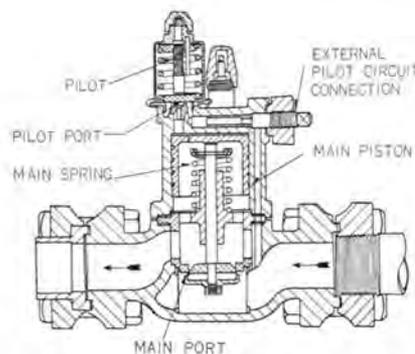


図 2.7 背圧弁  
Fig. 2.7 Back pressure valve.

ができる。

このパイロット・コントロール・ラインが蒸発器内と連絡し、低圧に吸い取られたり、塞止したりする作用を利用し図2.6のようにパイロット・バルブと組合せ前項で説明したようにクーラ内液面が上昇すればパイロット・バルブが阻止し冷媒液の供給を停止する。また逆に液面が低下すれば冷媒液はクーラ内に流入するのであり、この動作を繰り返すことによりクーラ内液面ラインを保持することができるのである。

#### (5) 蒸発圧力調節弁 (E.P.R.)

蒸発圧力調節弁にはいろいろの構造のものがあるが図2.7はその一例を示すもので、蒸発器内の圧力を一定に保つことができる。すなわち蒸発器の圧力がある規定圧力より上昇した場合、パイロット・スプリング圧に抗し、そのポートを開き主ピストン上部に圧が加わるゆえ、ピストンは押し下げられ主ポートが開き、蒸発器内のガスは吸い込まれる。またある圧力以下の圧力に降下すればパイロット・ポートはしまりピストンスプリングにより弁は塞止される。

調節弁のおもな利用法は、同一装置内に異なる温度を有する蒸発器があり、同一圧縮機で吸入する場合、吸入ガス圧力は同一であるから、高い温度の蒸発器出口にこの調節弁を取付け、その温度に対応するガス圧力にならなければガスを吸入できなくするのである。

たとえば図2.8のように3種類の蒸発器があって、皆それぞれの蒸発温度を有し、その圧力が3.5 kg/cm<sup>2</sup>、2.8 kg/cm<sup>2</sup>、1 kg/cm<sup>2</sup>の場合3.5 kg/cm<sup>2</sup>、2.8 kg/cm<sup>2</sup>の蒸

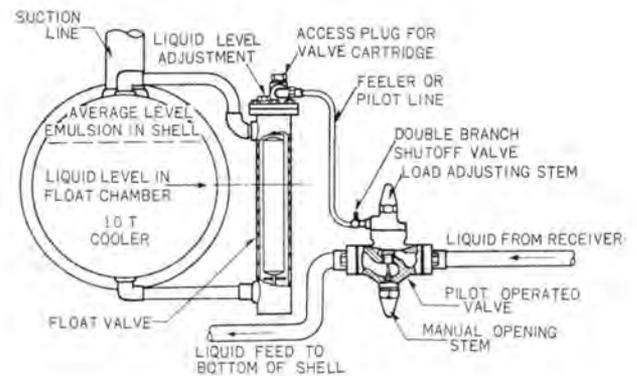


図 2.6 フロート・パイロット弁の作用  
Fig. 2.6 Function of float pilot valve.

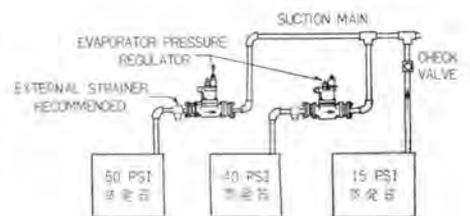


図 2.8 蒸発圧力調節器の利用  
Fig. 2.8 Utilization of evaporator pressure regulator.

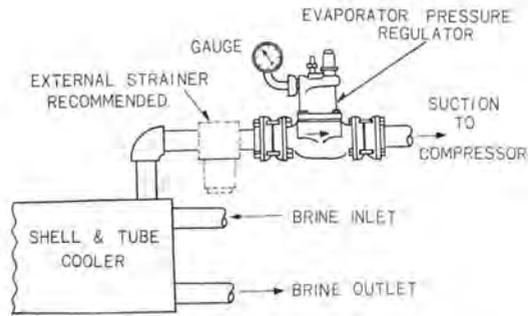


図 2.9 蒸発圧力調節器の利用  
Fig. 2.9 Evaporator pressure regulator.

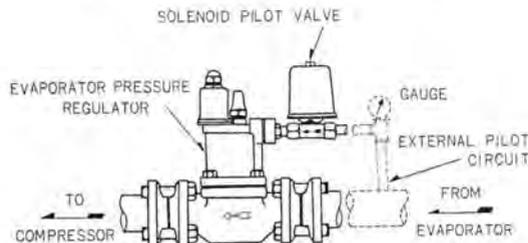


図 2.10 蒸発圧力調節器の利用  
Fig. 2.10 Evaporator pressure regulator.

発器吸入側に調節弁を取付ければ、おのおのの規定の圧力で運転することができる。しかしこの場合最低の蒸発温度  $1 \text{ kg/cm}^2$  が吸込圧力となるから、圧縮機も  $1 \text{ kg/cm}^2$  に対応した全体の冷媒循環量を持った押しつけ量が必要とする。

またシェルアンドチューブ形クーラなど、ある温度以下になるとチューブが破壊し事故の原因となるような機器の場合、負荷が非常に軽くなっても蒸発器内の温度が破壊温度以下にならないようすなわち圧力がある一定に維持すれば良くこの場合図 2.9 のような調節弁を取付ければその危険は解消される。

なお図 2.7 のような調節弁はパイロット圧と主管と弁内部で連結されているラインを塞止分離すればパイロット・バルブとして操作できる。すなわち図 2.10 のように電磁弁と組合せれば電磁弁の開閉で塞止弁とすることができる。

(6) 節水弁 (Water Regulating Valve)

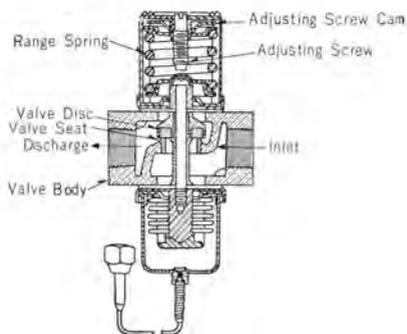


図 2.11 節水弁  
Fig. 2.11 Water regulating valve.

近時冷凍機の小形とパッケージタイプの出現により、冷凍機ならびに空気調和装置が運転者皆無で運転をされる場合が非常に増大して来た。

冷凍装置で凝縮器に使用する冷却水の量は相当増大であり、とくに上水道を使用した場合、経費の節減を図るため節水弁を取付けている。

この節水弁は凝縮圧力によって水量をコントロールし、規定凝縮圧力で運転できる止め弁である。

図 2.11 は節水弁の一例を示し、下部ベローズに凝縮圧力を加え弁ディスクを押し上げる。この圧力を上部スプリングにより押し下げ規定の凝縮圧力でバランスするように設計されているのである。

またこのバランスに対応する圧力、凝縮圧力に対し負の圧力は上部スプリング圧力と使用水圧である。

以上各種制御弁について論じて来たが、その他にもチエッキ弁、フロートスイッチなどいろいろのものがある。また、これらだけでは完全な制御を行なうことができない。現今冷凍機はごく一部を除いて電動機によって駆動されているので、冷凍機を安全かつ能率的に運転し、以上述べた制御弁を動作させるいろいろの制御スイッチ(リレーの役割をする)がある。つぎに各スイッチについて論じる。

3. 制御用開閉器

現在もっとも多く使われている制御用開閉器は次のようなものである。すなわち

高低圧圧力開閉器 (Dual pressure switch)

容量制御用圧力開閉器

油圧保護開閉器 (Oil pressure protecting switch)

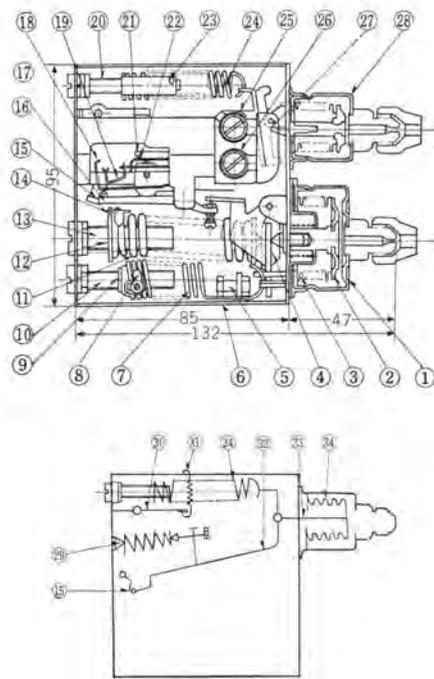


図 3.1 高低圧圧力開閉器  
Fig. 3.1 Dual pressure switch.

番号	品名	個数	材質
1	高低圧スイッチ	1	鋼
2	ベローズ	1	鋼
3	ベローズ	1	鋼
4	主作動弁	1	鋼
5	ダイヤフラム	1	鋼
6	ダイヤフラム	1	鋼
7	圧力調整スプリング	1	鋼
8	圧力調整スプリング	1	鋼
9	圧力調整スプリング	1	鋼
10	圧力調整スプリング	1	鋼
11	圧力調整スプリング	1	鋼
12	圧力調整スプリング	1	鋼
13	圧力調整スプリング	1	鋼
14	圧力計	1	鋼
15	ダイヤフラム	1	鋼
16	ダイヤフラム	1	鋼
17	ダイヤフラム	1	鋼
18	ダイヤフラム	1	鋼
19	ダイヤフラム	1	鋼
20	ダイヤフラム	1	鋼
21	ダイヤフラム	1	鋼
22	ダイヤフラム	1	鋼
23	ダイヤフラム	1	鋼
24	ダイヤフラム	1	鋼
25	ダイヤフラム	1	鋼
26	ダイヤフラム	1	鋼
27	ダイヤフラム	1	鋼
28	ダイヤフラム	1	鋼
29	ダイヤフラム	1	鋼
30	ダイヤフラム	1	鋼
31	ダイヤフラム	1	鋼
32	ダイヤフラム	1	鋼
33	ダイヤフラム	1	鋼
34	ダイヤフラム	1	鋼

温度開閉器 (Thermostat)

断流継電器 (No water relay)

差圧圧力開閉器 (Differential pressure switch)

(1) 高低圧圧力開閉器

図 3.1 は高低圧圧力開閉器の一例を示すもので端子⑫が外部接続のターミナルで⑭は固定接点、⑮は可動接点でそれぞれ⑯、⑰、⑱はモールドベーク内に埋込まれた金属板によって連結されている。したがって固定接点⑭および可動接点⑮が接触あるいは切断されることは直ちに端子⑫および⑬に接続された外部回路を接触あるいは切断することになるのである。

低圧側キャップ内に送り込まれた圧力が高まると可動接点⑮と固定接点⑭が接触し端子⑫は回路を閉じることになり圧力が低くなると反対に開くのである。したがって低圧指針を調節して置けば希望する圧力で回路を閉じ希望する圧力で回路を開くようにすることができる。

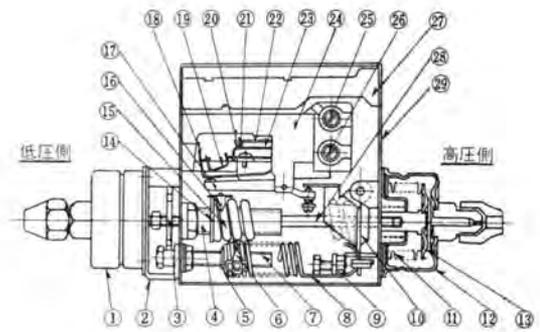
また高圧側キャップ⑩内に送り込まれた圧力が高まると高圧調整スプリング⑭を引張りつつベローズ底板⑮が左方に動き高圧作動板⑯が時計方向に回転し高圧シム断板⑰を押し上げると高圧側瞬動パネ⑱の張力により瞬動して⑱を切断する。高圧側ベローズ内の圧力が低くなると反対に接触するのである。

このように 1 個のスイッチで高圧側および低圧側を制御することができるもので現在の冷凍機には必要欠くべからざるものである。

またこの種のものには高圧側、低圧側専用のものもあり、高圧側は冷凍機の吐出圧力が異常に上昇し危険を防ぐために用い、低圧側は自動温度膨張弁と組合せて温度調節などに使用される。

(2) 容量制御用圧力開閉器

近時冷凍機は小形機を除いてほとんど容量制御装置を内蔵しており、負荷の変動に対応できるようになっている。容量制御機構については本論中では割愛するが、そのほとんどが圧縮機の高圧と低圧を止め弁で接続し、止め弁を開き高低圧を開放にしたとき、容量制御が行なわれるようになっている。この止め弁に電磁弁を使用し、この電磁弁を自動的に開閉するためのものがこの圧力スイッチでその機構は前項で述べた低圧側スイッチと同様であるが、異なるところは普通の低圧スイッチでは圧力が小さくなると回路を開くが、容量制御の場合は圧力が小さくなると回路を閉じることである。すなわち冷凍機の負荷が減少した場合膨張弁その他が動作して冷凍機の吸入圧力が減少して来た場合、ある圧力まで減少したときこの開閉器が回路を閉じ電磁弁に電圧がかかり冷凍機の容量制御が行なわれるのである。これによって負荷が減少した場合冷凍機をいたずらに必要以上の低圧で運転することを避けることができかつ消費電力の節減をも図ることができるのである。またこの開閉器に接点を 2 個取付け冷凍機の容量制御と同時に蒸発器側の容量制御も行なうことができる。



番号	品名	個数	材質	番号	品名	個数	材質
1	低圧キャップ	1	BsBM	15	圧力調整パネ	1	SWPI
2	低圧キャップ取付台	1	SPKI	16	圧力指針	1	BsPIA
3	圧力調整金具	1	SPKI	17	ベークライト作動板	1	PMIII
4	圧力調整ネジ	1	BsBM	18	No.2 スナップ板	1	Be-Cu
5	圧力差調整パネ受ナット	1	SPKI	19	スナップ変形パネ	1	Be-Cu
6	圧力差指針	1	BsPIA	20	固定接点	1	Ag-alloy
7	圧力差調整ネジ	1	BsBM	21	可動接点	1	Ag-alloy
8	圧力差調整パネ	1	SWPI	22	固定接点支持板	1	Be-Cu
9	ストッパ	1	BsBM	23	可動接点支持板	1	Be-Cu
10	低圧作動板	1	SPKI	24	ベークライト台	1	PMIII
11	ベローズ	1	PBP2B	25	端子	1	BsBM
12	ベローズカバー	1	BsBM	26	端子板	1	BsBM
13	ベローズ底板	1	BsBM	27	補強板	2	SPKI
14	圧力調整パネ受ナット	1	SPKI	28	連結棒	1	SS
				29	箱体	1	SPKI

図 3.2 差圧圧力開閉器

Fig. 3.2 Differential pressure switch.

普通 1 台の冷凍機で 50% 容量制御の場合 1 個、75%、50% 等 2 段に容量制御を行なうものにはこの開閉器 2 個を必要とする。

(3) 差圧圧力開閉器

図 3.2 は差圧圧力開閉器の一例を示すもので端子⑫が外部接続のためのターミナルで固定接点⑭可動接点⑮はそれぞれ⑯、⑰とモールドベーク内に埋込まれた黄銅板によって連結されている。したがって可動接点⑮固定接点⑭が接触あるいは切断すると直ちに⑫⑬は接続された外部回路を接触あるいは切断することになるのである。

差圧スイッチは同径のベローズ 2 個を向かい合わせ一方に低圧側を一方に高圧側（この場合圧縮機の吐出圧力とは限らない）を導き 1 本の軸を介して互いに力を及ぼし合うようになっている。したがってこの中介軸は（両ベローズ内の圧力差×ベローズ有効面積）なる力と調整スプリングの抗力の釣合状態によって移動するのである。ゆえにこの移動をレバーによって拡大してマイクロスイッチを開閉させれば両圧力差が狭くなった場合電気回路を接続あるいは切断することができる。差圧スイッチには大別して 2 種類あり一つは圧力差が小さくなった場合接点が切れるもの、他の一つは圧力差が大きくなった場合に接点が切れるものがある。前者は冷凍機の油圧圧力保護のような場合、後者は水冷却器のようなスケールなどで水冷却器の水頭損失が大きくなった場合装置を保護する意味で用いられる。

この形式のものは通常二つの圧力の均衡状態の場合は接点は開いたままになっている。

(4) 油圧圧力保護開閉器

冷凍機は近時高速化し小形機を除いてはほとんど油圧ポンプによって機械各部を循環しているが、冷凍機の油ポンプはたいていクランクケース内にあるため、油圧はクランクケース内の圧力(吸入圧力)より1.5~2 kg/cm<sup>2</sup> 高くなければならない。したがってこの開閉器には前項で述べた差圧開閉器を使用しなくてはならないのである。したがって差圧スイッチの高圧側に油圧、低圧側にクランクケース圧力を接続すると、油ポンプの機能が低下しクランクケース内の圧力に近づいたときこの開閉器は動作し機械の焼付を防止することができるのである。しかし、この場合、冷凍機が回転し始め油圧が確立するまでには20~40秒くらいの時間が必要であるからこの差圧開閉器をそのまま使用することができず、外部回路を切断するまでに油圧が確立するための時間だけの遅れがなければならない。このタイムラグを作るに現在ヒータによるものとタイムリレーによるものと二通りあるがヒータによるものが普通使われている。図3.3はこの回路を示すものである。すなわち外部回路にはTSで接続されXYにはヒータを加熱するために必要な電圧がかかっている。いま冷凍機が回り始め油圧が確立していない間はQは閉じているからヒータHは加熱されている。接点Pはバイメタル式で1分以上油圧が確立しないときはPが開き外部回路を開くが油圧が確立しQが開けばHの温度は上昇せずPは閉じたまま外部回路を閉じ運転を続けることができるのであ

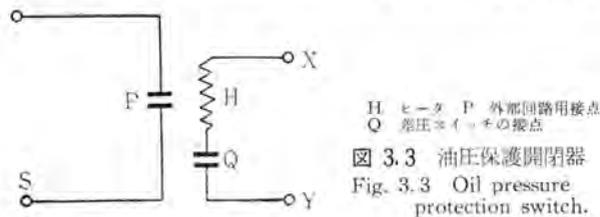
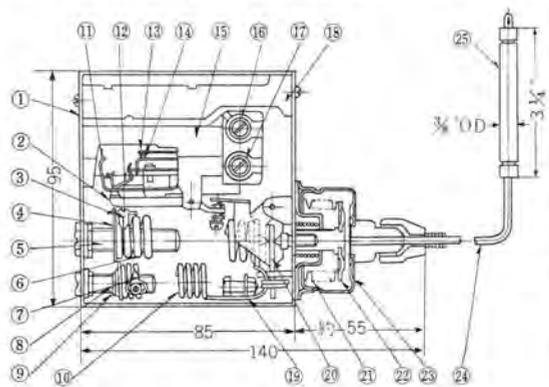


図 3.3 油圧保護開閉器  
Fig. 3.3 Oil pressure protection switch.

図 3.4 低温シヤ断サーモスタット  
Fig. 3.4 Low pressure interruption thermostat.



番号	品名	個数	材質	番号	品名	個数	材質
1	箱体	1	銅板	13	固定接点	1	Ag合金
2	ベークライト作動板	1	ベークライト	14	可動接点支持板	1	Be-Cu
3	温度調整指針	1	黄銅	15	ベークライト台	1	ベークライト
4	温度調整バネ受ナット	1	銅板	16	端子	1	黄銅
5	温度調整ネジ	1	黄銅	17	端子	1	黄銅
6	温度調整バネ	1	ピアノ線	18	補強板	2	銅板
7	温度差調整指針	1	黄銅	19	ユトッパ	1	銅
8	温度差調整ネジ	1	黄銅	20	低圧作動板	1	銅板
9	温度差調整バネ受ナット	1	銅板	21	ベローズ	1	リン青銅
10	温度差調整バネ	1	ピアノ線	22	ベローズ底板	1	黄銅
11	No.2 スナップ板バネ	1	Be-Cu	23	ベローズカバー	1	黄銅
12	No.3 スナップ板バネ	1	Be-Cu	24	毛細銅管	1	銅
				25	感熱筒	1	銅

る。

(5) 温度開閉器 (Thermostat)

図3.4は低温シヤ断用のサーモスタットの一例を示すものであり管内に封入された封入液体の温度が上昇するとその飽和蒸気圧が高くなり接点を閉じ低くなると切断するものである。サーモスタットで冷凍装置に広く使用されるのはこの低温シヤ断形で主として蒸発器の凍結防止また、蒸発器の温度調節用に用いられる。

このほか断流継電器も以上述べきたった圧力形のスイッチで水圧によって動作し凝縮器に流れる冷却水の圧力を制御するものである。

以上2項、3項で現在もっとも多く使用されている冷媒制御弁および制御スイッチについて論じて来たが、同一形式のものにもいろいろの種類があり、負荷の性質などによって制御機器の選定には細心の注意を払わなければならない。

4. 応用例

図4.1(a)(b)は以上述べた制御機器と電気回路とを実際に組合せた設計例である。図4.1(a)はこの装置の冷媒系流であり図4.1(b)は制御スイッチによって動作する制御回路を示すものである。

図4.1(b)中LP<sub>1</sub>, LP<sub>2</sub>とあるのが容量制御用圧力開閉器でありMV<sub>1</sub>, MV<sub>2</sub>は容量制御用の電磁弁である。SV<sub>1</sub>, SV<sub>2</sub>は図4.1(a)のパイロットバルブの制御電磁弁であり、容量制御が2段目のLP<sub>2</sub>まで働いたときLP<sub>2</sub>によってSV<sub>2</sub>は閉じパイロットバルブは1個しか動作しないことになり冷凍機とともに水冷却器の容量制御も行なっているのである。SV<sub>3</sub>は蒸発圧力調節器のパイロット用電磁弁であり装置が停止したときEPRは止め弁となる。またパイロットバルブの電磁弁は水冷却器に取付けてあるフロートスイッチによっても制御され水冷却器に冷媒の流入が過多にならないようにしてある。

図4.1(b)中OPSが二つ描いてあるが上部のものがヒータ部でヒータに直列にある接点が差圧スイッチの接点である。

Thとあるは低温シヤ断形サーモスタットで水冷却器の凍結を防止し、減水とあるは断流継電器、その下にLPS, HPSとあるは高低圧圧力開閉器である。

なおこの制御回路は主電動機も押しボタン一つで起動停止することのできる高級な装置であるが、これを手動で行なうとしても冷凍機を制御する弁類、スイッチ類は最小の条件を満足するに足るものは必ず取付けなければならない。

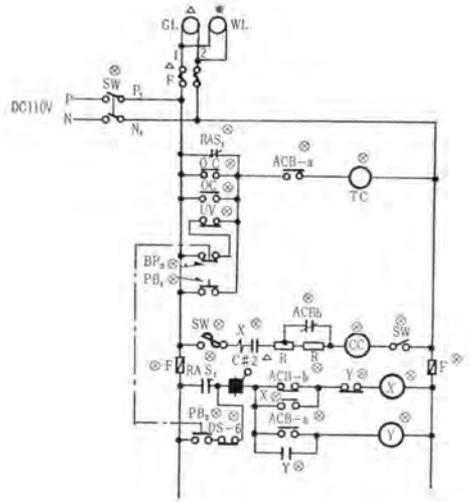
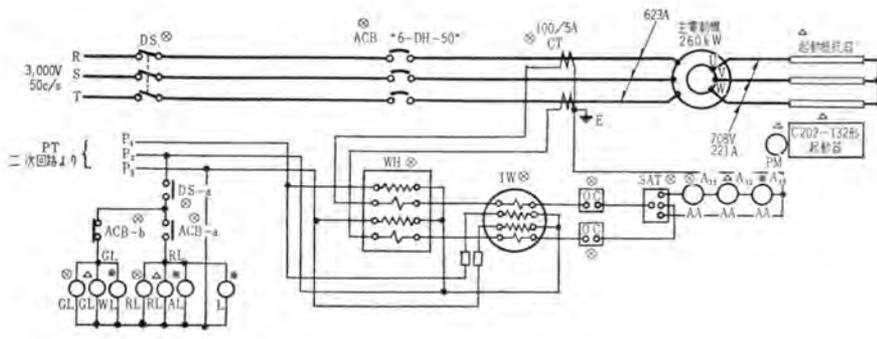
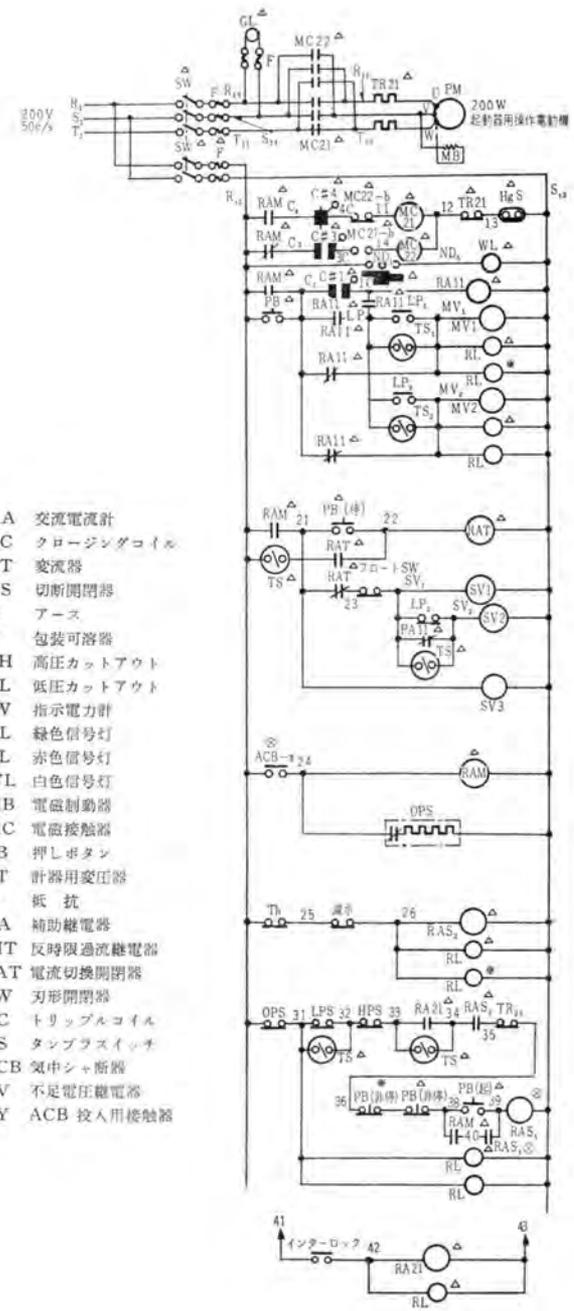


図 4.1 (b) 制御回路  
Fig. 4.1 (b) Control circuit.



- AA 交流電流計
- CC クロージングコイル
- CT 変流器
- DS 切断開閉器
- E アース
- F 包装可溶器
- FH 高圧カットアウト
- FL 低圧カットアウト
- IW 指示電力計
- GL 緑色信号灯
- WL 白色信号灯
- MB 電磁制動器
- MC 電磁接触器
- PB 押しボタン
- PT 計器用変圧器
- R 抵抗
- RA 補助継電器
- RIT 反時限過流継電器
- SAT 電流切換開閉器
- SW 刃形開閉器
- TC トリップコイル
- TS タップスイッチ
- ACB 気中シヤ断器
- UV 不足電圧継電器
- XY ACB 投入用接触器

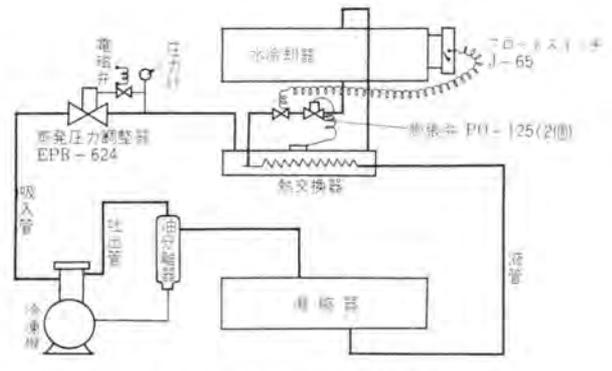


図 4.1 (a) 冷凍機配管系統  
Fig. 4.1 (a) Piping system of refrigerator.

# 高速多気筒形冷凍機の据付、運転上の注意

長崎製作所 清水 一朗\*

## Instructions for Installation, Piping and Operation of Refrigeration Plants with High-Speed Multi-Cylinder Compressors

Nagasaki Works Ichirō SHIMIZU

Outstanding is the latest development of high-speed, multi-cylinder compressors in refrigeration engineering. They have a number of merits over other units, the principal features being: small size, light weight, less floor space, ease in assembling and disassembling, complete control, economy of power, feasibility of automatic operation, and perfect shaft sealing. Nevertheless, the machines will never display their ability unless installation, piping and operation are made in a proper way. The writer explains his viewpoint on this matter.

### 1. ま え が き

現在当社は、高速多気筒形冷凍機としては比較的大形に属する MA 形、MB 形ならびに MC 形の 3 機種を製作している。ここ数年の冷凍各分野における高速多気筒形冷凍機の驚異的進出は目を見はらしめるものがある。この現象が社会状況の好転に伴う需要の増大による結果であるのはもちろんであるが、一つには高速多気筒形の特長とする下記の諸点が顧客に認められてきた結果だと考えてよいと思う。

- (1) 小形軽量で据付場所が小さくてすみ、狭い場所でも分解組立が容易にできる。
- (2) 容量制御装置が完備しているので、動力の節約、自動運転ができる。
- (3) 動的平衡が優秀で振動が少ない。
- (4) 軸封装置が完全である。

表 1.1 MA 形高速多気筒冷凍圧縮機標準仕様

形 式	MA-8	MA-6	MA-4
気筒数	8	6	4
気筒径 (mm)	115	115	115
衝程 (mm)	90	90	90
容量制御範囲 (%)	100, 75, 50	100, 66, 33	100, 50
気筒配列	VV	W	V

表 1.2 MB 形高速多気筒冷凍圧縮機標準仕様

形 式	MB-8	MB-6	MB-4
気筒数	8	6	4
気筒径 (mm)	180	180	180
衝程 (mm)	140	140	140
容量制御範囲 (%)	100, 75, 50	100, 66, 33	100, 50
気筒配列	VV	W	V

表 1.3 MC 形高速多気筒冷凍圧縮機標準仕様

形 式	MC-8	MC-6	MC-4
気筒数	8	6	4
気筒径 (mm)	75	75	75
衝程 (mm)	60	60	60
容量制御範囲 (%)	100, 75, 50	100, 66, 33	100, 50
気筒配列	VV	W	V

(5) 部品の互換性がある。

しかしながら、かかるよい特長をもっている高速多気筒形冷凍機も不完全な装置配管のもとで不注意に使用されると問題を起こす可能性をもっているので、以下筆者の経験および見聞したことをもとにして注意事項をまとめてみた。

### 2. 装置の配管計画上の注意

#### 2.1 二段圧縮の採用

近年冷蔵庫の庫内温度は陸上用、船用いずれも  $-20^{\circ}\text{C}$  以下に下げる傾向があり、蒸発温度もそれにつれて下がり  $-25^{\circ}\text{C}$  ~  $-35^{\circ}\text{C}$  の条件すなわち圧縮比として 10 以上の条件で稼働されることが多くなった。このように高い圧縮比の場合には、一段圧縮では効率が悪く吐出温度も限度以上に上がるので二段圧縮を採用した方がよい。二段圧縮にすると装置は複雑になり設備費も高くなるが、運転維持費と考え合わせた場合には一般に凝縮温度と蒸発温度の差が  $60^{\circ}\text{C}$  をこすと二段圧縮のほうが装置としては簡単な一段圧縮よりも安くなるといわれている。

#### 2.2 配管

冷媒配管設置法については種々の雑誌、文献に発表されているので、その詳細は省くことにする。

(1) 吸入管系の圧力損失は冷凍能力に大きな影響を与えるので、極力小さくなるよう計画しなければならない。図 2.1 は凝縮温度  $40^{\circ}\text{C}$ 、蒸発温度  $3.5^{\circ}\text{C}$ 、吸入温度  $4.4^{\circ}\text{C}$  の冷媒 R-12 の吸入側圧力損失による冷凍能力および軸動力の変化を示している。図からあきらかなように冷凍能力はほぼ直線的に急速に減少する。吸入圧力の低下による冷媒ガス比体積の増加および圧縮比の増加により容積効率が低下するためである。蒸発温度が低くなるほどこの傾向は大きい。

圧力損失の軸動力への影響は冷凍能力ほど大きくはない。換言すれば、吸入管系の圧力損失が大きいと、動力の消費の割に冷凍能力の出ない効率の悪い装置となる。

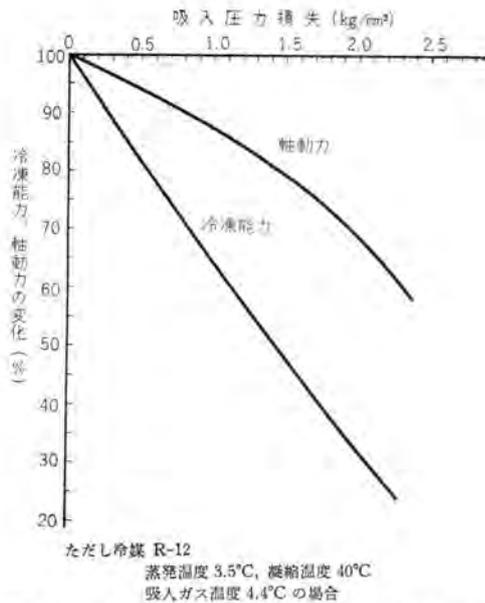


図 2.1 吸入圧力損失による冷凍能力, 軸動力の変化  
Fig. 2.1 Change in refrigerating capacity and shaft power due to the loss of suction pressure.

油と相互に溶解する R-12 配管の場合は上記考慮とともに油を連続的に圧縮機に戻すようガス速度をとる必要がある。

(2) 吐出管系の圧力損失は軸動力を増加させるとともにガス速度が大きすぎると振動騒音の原因となる。配管を変更することにより振動騒音が減ることがある。全負荷運転では異常なくとも、容量制御装置によりアンロード運転に切りかえると振動が激しくなった例がある。これはガスの脈動の変化が配管の固有振動数と一致して共振した結果と考えられる。この場合配管寸法を変更するなり支持金具を移動あるいは追加して減らすことができる。

運転停止中に吐出管内の冷媒ガスが凝縮液化し圧縮機に流れ込むことがある。少量の場合は問題がないが、多量の場合は起動の際リキッドハンマを起こしシリンダヘッド部を破損せしめることがある。圧縮機より立ち上がる長い吐出管でその配管がさらに屋外の凝縮器に接続してあったため上記現象を起こした例がある。かかる場合は配管を変更するなり、圧縮機に接近した配管に液トラップを設け溜った液は受液器に回収すればよい。吸入管も不完全な防熱をされ、さらに蒸発器より冷たい所に配管してある場合は上記と同じ現象を起こす可能性がある。

吐出温度は 130°C 以下になるよう計画しておかなければならない。アンモニアの場合、液の一部を膨張弁により吸入ガス内に吹き込み蒸発させ吸入ガス温を低下させ吐出温度を押える手段をとられている。外国製にはこのための自動膨張弁がある。漁船の冷凍装置などこのような自動機器を使用することは繁忙な漁獲時に起こりがちな運転員の注意不足と不完全な保守を防止でき効果的と考えられる。

(3) 液管については圧力損失あるいは周囲温の上昇

に伴う液のフラッシュ化を警戒しなければならない。長い立ち上がりは静圧損失が大きいので液対吸入ガスの熱交換器を設けるなど有効な手段により液を十分過冷却しておく必要がある。また液管をスチーム管など他の熱源に接近して配置することは避けたがよく、やむを得ず配置する場合は管の防熱を施行すべきである。

### 2.3 液戻り防止装置

冷凍負荷の急激な増加あるいは膨張弁の不具合などの原因により多量の液が圧縮機に戻ると、リキッドハンマを起こし弁部分を破損したりあるいは潤滑面の油を洗いピストン、クランクピン、焼損ひいては破壊にいたらしめる結果をひき起こすことがある。かかる大事故を起こす前に液戻り現象を発見し得たとしても常態に復するには相当長い時間と手数を要し操業能率の低下は大きいものがある。またクランクピン、シリンダなどしゅう動部分の摩耗の原因の重要な因子であるごみ、スケールは吸入ガスによりもちろん運ばれてはくるが、大部分は液戻りの際液に洗い流されて運び込まれる。冷凍機の事故の大半は液戻りに起因するといっても過言ではない。したがって圧縮機の保護のためだけでなく操業能率の低下を防止する意味から

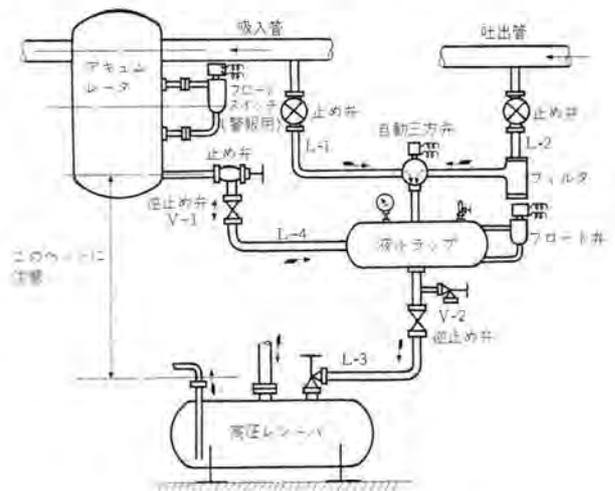


図 2.2 フィリップス社 液戻り防止装置 (重力流式)  
Fig. 2.2 Phillips liquid return systems.  
(Gravity flow systems)

も十分な液戻り防止対策を施すべきである。種々の形式が文献、雑誌に発表されたまた実施もされているが、本稿では米国 PHILLIPS 社の方式を紹介しておく。図 2.2 はアキュムレータが高圧レシーバに近くかつその上部にある場合に使われる重力流式 (GRAVITY FLOW SYSTEMS) である。アキュムレータに溜る液は逆止め弁 V-1、管 L-4 を通り液トラップに流れ込む。一方液トラップ内のガスは自動三方弁、均圧管 L-1 を通り吸入管あるいはアキュムレータに連絡される。液トラップ内の液がフロート弁の作動上限に達すると、フロート・スイッチが働き自動三方弁の管路 L-1 が閉じ L-2 は開くので吐出ガスが液トラップ内

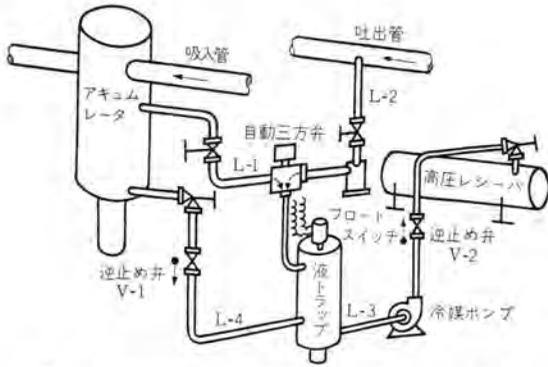


図 2.3 フィリップ社 液戻り防止装置 (強制流入式)  
Fig. 2.3 Phillips liquid return systems.  
(Forced flow systems)

に流れ液は逆止め弁 V-2、管路 L-3 を経て 高圧レシーバに流入する。液トラップ内の液面がある高さまで下がると三方弁は切りかえられふたたびもとの状態になりアキュムレータより液トラップに液が流れはじめる。アキュムレータと高圧レシーバの間には液が円滑に流動するため管および弁の抵抗を考慮したある最少限の高さが必要である。図 2.3 はアキュムレータが 高圧レシーバ と離れた遠くにあるかつより高くない位置にある場合に使用する強制流入式 (FORCED FLOW SYSTEMS) である。前記の重力流入式同様液トラップに液がフロート・スイッチの作動上限まで溜るとスイッチが働き自動三方弁が切りかえられ液トラップに高圧ガスが流れ約 15 秒後に冷媒ポンプが自動的に起動し液を高圧レシーバに送り込む。液トラップ内液面が下限まで下がると三方弁は切りかえられポンプは停止しふたたびもとの状態になる。上記いずれの方式でも液トラップが小さすぎると作動頻度が多くなり、逆に大きすぎると液トラップの液をレシーバに戻している期間に吸入ライン内の液を十分溜め得るようアキュムレータを大きくしておく必要がある。

上記 2 例のような方式は陸上用アンモニア装置に採用すると非常に効果あるものである。しかしかかる装置が採用しにくいスペース的に余裕のない漁船用の場合は、アキュムレータなりサクショントラップなりをできるだけ容量のあるものにし、弁の抵抗を考えて液戻り管も十分大きくするとともに高さをとっておく必要がある。アキュムレータの液戻り管とか油抜き管が小さいため配管内のスケール、ごみがつまりアキュムレータに液が溜る一方で効果がなくなり液戻り現象を起こした例がある。

#### 2.4 据付

(1) 圧縮機の定期分解点検その他の取扱容易なよう周囲空間を考慮しておく必要がある。図 2.4 は当社冷凍機の据付時必要な最小空間を示す。図中  $L_1, L_2$  はクランク軸の抜出しに必要な距離で、軸封側かポンプ側いずれかにとっておくこと。 $L_3$  はピストンおよび連接棒を抜出すための距離で、上方に凝縮器などを配置するときシリンダ中心方向にこれだけの余裕を考慮しておかなければならない。その他、装置としては凝縮器、蒸発器のチューブの

高速多気筒形冷凍機の据付、運転上の注意・清水

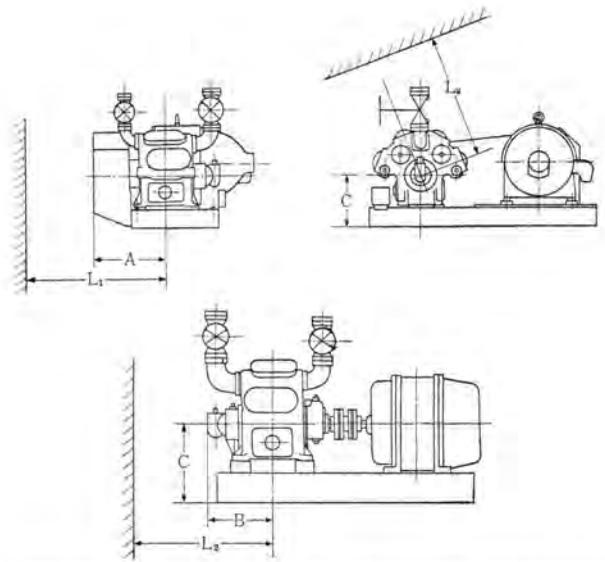


図 2.4 当社冷凍機据付に必要な最小距離  
Fig. 2.4 Minimum distance required for the installation of Mitsubishi refrigerator.

形名	A	B	C	$L_1$	$L_2$	$L_3$
MA-8	727	520	520	1,400	1,400	970
MB-8	—	718	788	2,600	2,600	1,210
MC-8	450	384	450	950	1,100	520

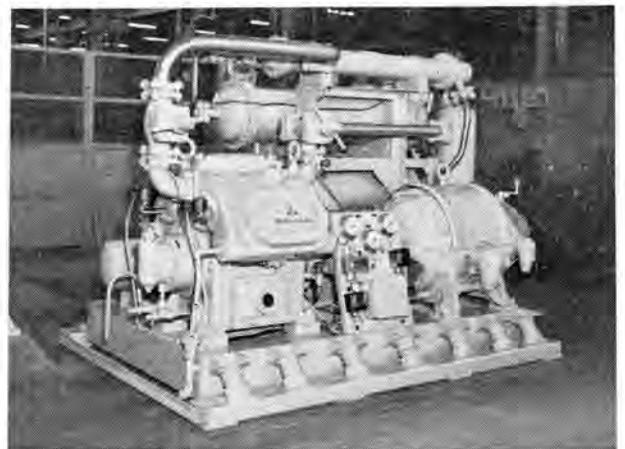


図 2.5 MA-6C-F 形 チリングユニット  
Fig. 2.5 Type MA-6C-F chilling unit.

掃除、交換の空間をとっておく必要がある。

(2) 機械の基礎は安全な耐圧力をもつ地盤上に十分強固に、かつ適当な底面積と重量をとるよう決定しなければならない。圧縮機の場合基礎重量は普通機械重量の 3.5 倍くらいにとる。振動が建物へ伝わらないようにとくに要求される場合は、防振装置を施せばよい。機械重量を十分にささえ得る場所なら屋上設置もできる。図 2.5 は圧縮機、モータ、凝縮器、水冷却器その他を共通台床にのせ全体を防振した例で、この場合冷媒側配管にいわゆるフレキシブルチューブを使用する必要はなく凝縮器冷却水および水冷却器冷水の水側配管だけ簡単な可撓管を使用しておけばよい。機械の振動は、圧縮機自体たとえば直結の不具合、ベルト張りのゆるみなど、つぎに基礎自体すなわち地盤、基礎重量など、つぎに配管の不具合すな

わち寸法、支持金の位置など種々の因子に影響を受けるので振動がある機械についてこれら因子を個々に検討する必要がある。とくに同一建物内あるいは他の場所の他の機械に影響されることがあるので、その懸念があればあらかじめ機械を建物と絶縁するようすなわち防振装置あるいは絶縁コルクの使用を考慮する必要がある。

船用冷凍機の基礎は陸上のそれとくらべて非常に悪い状態にある。すなわち船用機械は鋼板、型鋼の溶接構造物上に設置され、船体のたわみおよび主機関、補機関の振動の影響、ピッチングあるいはローリングの影響など特殊の条件が重なっている。これらの点を考慮して据付配管を計画、施行ならびに保守をしなければならない。主機関の振動が圧縮機に伝わり配管継手が疲労破壊した例がある。また基礎に補強を1個追加したら振動が減った例がある。いずれにしても十分強固に補強その他を考慮しなければならない。横形凝縮器の空気抜き弁の位置は船が積荷により傾斜し凝縮器もそれにつれて傾いても十分空気をパージできるように考えておかなければならない。船の傾斜により空気抜き弁の位置が下がり空気を抜けなくなり高圧が上がった例がある。

### 3. 据付、配管施行上の注意

(1) 台床据付の際、基礎ボルトの防錆ペンキは火にかけて焼き落としコンクリートとの密着性をよくする。台床下面にしている水平とりクサビ、しき金はグラウチング後かたまったなら適当な時期（グラウチング施行後約8日間）にとりはずすがよい。クサビを取はずすがよいか取はずさないほうがよいか種々の議論があるが、モルタルがかたまると台床下面との間にすきができクサビ、しき金で荷重をもつことになり振動を起しやすく、取はずせば機械と台床の荷重がより平等に基礎に分布されると考えられる。また台床の内側には十分モルタルを充てんしたがい。

(2) 船用の場合、圧縮機台床のうけ面は十分グライント仕上して平面としライナにより台床水平を調整する必要がある。なお船体振動により基礎ボルトがゆるみ、直結駆動のセンタリングが悪くなりたわみ継手の弾性板が破損した例があるので、十分ゆるまないようゆるみ止めをしておくとともに定期的に点検する必要がある。

(3) 直結駆動方式の場合はたわみ継手を使用するが、たわみ継手だから心は狂っていてもよいというものではなく、面の狂いは2/100 mm以内になるよう調整しておく必要がある。心の狂いが多いと振動が多くなり、弾性板の破損、メタルの焼損を起す。工場組立の際は十分センタリングは調整してあるが、現地組立の際も再度センタリングを吟味しなければならない。基礎面の状況が工場と異なっているし台床の狂いも多少出てくるからである。圧縮機、モータのおおの座のあたりを調べ、できるだけあたるよう修正しすきが多い場合はライナで調整しなければならない。またセンタリングは据付運転後も定

期的に点検する必要がある。

(4) ベルト駆動方式の場合は駆動軸、被動軸の平行度およびベルトと軸との直角度に注意するとともにベルトを張りすぎないように注意しなければならない。船用のようにカウンタシャフトより垂直方向に伝導する場合はベルトの張り具合がわかりにくいのでとくに注意する必要がある。

(5) 船用のようにエンジン駆動あるいはカウンタシャフトより伝導される場合は圧縮機保護のための安全装置を考慮しておく必要がある。通常のモータ駆動冷凍機は安全装置として高低圧圧力開閉器、油圧保護開閉器その他断水圧力開閉器などを付属し非常の場合にモータを停止させるが、上記エンジン駆動、カウンタシャフト駆動の場合はこれに代わるものとして電磁継手を採用すればよい。あるいはエンジンの燃料回路を閉じるなり警報装置をとりつけておくとい。

(6) 配管施行の際はごみ、スケールその他異物がはいらないよう十分注意しなければならない。管内の清掃はもちろんであるが、ガス切断の端面のかす、切断の切り粉などはいりこませないことである。圧縮機吸入室に溜った異物を分析した結果、塗料と思われるアルミニウムを発見したことがある。またR-12冷凍機では銅管切断の切り粉と思われる多量の銅粉を吸入ガスコシ器に発見した例がある。これら配管内の異物はシリコナ、クランクピッチ、メタルその他しゅう動部分の異常摩耗の重要な因子となるのでとくに注意を払う必要がある。

### 4. 運転保守上の注意

(1) 運転開始にあたり各種安全装置の作動の確認、各止め弁の開閉、油の注入を確実に実施しておかなければならない。油圧保護開閉器の結線不良に気づかず運転しメタル焼損を起した例がある。また凍結防止用サーモスタットの感温筒を十分挿入していなかったため滴液式クーラの冷却管を破壊した例がある。操作盤あるいは配電盤などに付いているランプ1個についてもその点灯が何を意味するか十分知っておく必要がある。このような事前の点検がよくなされていなかったための事故の例は案外多いものである。いかに立派な装置器具を設置してあってもその調整なり整備を十分してなかったなら一文の価値もないものとなる。

(2) 冷凍機の潤滑油は必ず冷凍機油を使用しなければならない。粘度や流動点が冷凍機油と似ているからといってエンジン油など他の使用目的のための油を使用することは厳につつまなければならない。冷媒の種類や使用温度条件により一流製油会社の推薦する油を使用すればまちがいはない。冷凍機油として具備すべき特性のおもなものをあげると

- (a) 冷媒と反応しないこと
- (b) 低温でも流動性がよいこと
- (c) 熱的安定性がよいこと

#### (d) 水分を含まないこと

などが考えられる。冷媒と共存し、低温より高温への大幅の温度変化をくりかえし受けている冷凍機用の油は他の工業用潤滑油と一線を画して考えるべきである。

油の保安上、注意すべきことは圧縮機吐出ガス温度を前述のように130°C以下に押えることと異物を混入させないことである。油は150°Cをこすと急速に劣化する。水その他異物の存在はこの劣化速度を早め、ついにはオイルスティックを起こしたりしゅう動部分の摩耗を早める。スティックを起こしたアンモニア冷凍機の使用油から塩分と水分を検出したことがある。圧縮機のエアージの際の不注から海水を吸い込ませた結果と推定される。塩分の存在は油劣化を促進し劣化した油はアンモニアと化学反応を起こしてアンモニア石けんを生成する。生成されたアンモニア石けんはNaClの存在下で置換作用を行ないナトリウム石けんを生成しスティックを起こす。注意しなければならないことはスティックを起こした機械内部のペースト状付着物の清掃にはアルコールかベンジンなど適当な溶剤を使用し、カセイソーダなどふたたびスティックの原因となる薬品の使用をさけることである。

圧縮機吐出温度が高いと油の劣化とともに吐出弁回りおよび高圧室内にカーボンの付着が起り、吐出弁座の当たりが悪くなり吐出ガスが漏洩したり、あるいは弁座の摩耗を早める。吐出弁座だけでなく吸入弁座でも弁の当たりが悪いと、ガス切断した鋼板端面のような傷が弁座につくことがある。傷のついた弁座はすり合せにより面を平面に修正するとともに弁も傷があればとりかえなければならない。

油は据付試運転後1回、つぎに1週間後、1ヵ月後と装置配管内の清浄度に応じてとりかえなければならない。比較的配管長さも短くまた清掃も容易なR-12冷凍装置の場合は問題はすくないが、長い冷却管をもつ直膨式アンモニア冷凍装置の場合はごみ、スケールの問題が多いので油のとりかえ回数は増したがよい。油をとりかえた際は必ずクランク室内側を清浄なビニールスポンジで清掃しなければならない。よごれたボロ布の使用はごみとともに細い糸くずを油中にのこすことになるので注意を要する。

油そのものの劣化によるとりかえ時期を判定することは圧縮機保護のためだけでなく維持費を下げるためにも重要なことである。油質劣化を知る方法は種々あるようだが、現場的試験方法としてアルコール抽出液の比色による方法が簡単でよいと考えられる。

(3) 冷凍機を起動したらすぐ高圧、低圧、油圧の各圧力計および油面状況を点検しなければならない。結線誤りのためモータを逆回転させ油圧が上がらずメタルを焼損させた例がある。この事故は据付後の試運転の際発生したものでたまたま油圧保護開閉器は結線してなかった。工事中の試運転の際などかかることがないように厳に注意する必要がある。

(4) メタルその他しゅう動部の焼損事故を起こした場合は部品を交換すると同時にクランク室その他部品、潤滑系統配管を十分清掃しなければならない。清掃が不十分であればふたたび同じ事故を起こすことがある。

(5) 運転中、異常音を聞いた直ちに分解し点検しなければならない。念のためにその音を聞こうと再度起動することは事故を倍加することになる。

(6) 冷凍機は据付運転開始後定期的に内部点検をしなければならない。基準としては2,000時間後、5,000時間後シリンダヘッドラタおよびクランク室横ラタをはずして吸入弁、吐出弁回りの摩耗その他異状の有無およびクランク室内にホワイトメタル粉末その他異物がないかを点検し、8,000時間になったら全部品を分解しメタルすぎ、トッブすぎその他部品の摩耗状況を調べるがよい。摩耗限界に達した部品は全部とりかえる必要がある。

運転中、油の上がりが多くなったり、音が多少でも高いような徴候があったら上記にかかわらず直ちに分解点検しなければならない。

## 5. む す び

以上高速多気筒形冷凍機を使用する装置および運転上の注意事項を筆者の浅い知識と見聞をもとにして列記したが実際現場にたずさわられる施行者あるいは運転者諸賢に多少でもご参考になれば幸いである。

# 大形パッケージ冷房装置

長崎製作所 大 門 敬 始\*

## Large Packaged Air Conditioners

Nagasaki Works Keiji DAIMON

Remarkable is the expansion of the field of application with air conditioners in the past decade. They have supplied with new comfort to the home, store and office; and better atmosphere in the plant and store house to insure the quality of instruments stay unchanged. Along with the trend, much consideration has been taken to diffuse them as much as possible, the development of package type units being an answer to the demands with their less installation space, simple operation for an increased capacity. Type PF air conditioners are one of Mitsubishi's latest developments in which the company can take pride.

### 1. ま え が き

近年の空調機の需要はめざましいものがあり、デパート、事務所はもとより生産工場、機械室、食糧品その



図 1.1 PF-6W-F 形冷房装置外観 (前面)  
Fig. 1.1 Exterior view of type PF-6W-F air conditioner. (Front view)



図 1.2 PF-6W-F 形冷房装置外観 (背面)  
Fig. 1.2 Exterior view of type PF-6W-F air conditioner. (Rear view)

他の貯蔵庫など居住性の向上、作業環境の改善、精密を要する機器の品質維持等々の分野ではもはや必需品とみなされて来ている。また冷房装置のユニット化は床面積の縮小、据付、運転の簡便なことから広く普及し、さらには従来容量が 11 kW 程度までであったものが漸次大容量のものまで製作されるに至り、この傾向は今後ますます顕著になるものと思われる。これらの需要に答え当社では新たに PF 形を開発したので以下容量 15kW (PF-4W-F)、22 kW (PF-6W-F) のものについて概要を紹介する。図 1.1, 1.2 は PF-6W-F 形の外観である。

表 2.1 PF 形標準仕様一覧

形 名		PF-4W-F	PF-6W-F
外 形	高	(mm) 2,025	2,095
	幅	(mm) 2,090	2,230
	奥	(mm) 1,220	1,350
圧 縮 機	形 　　式	MC-4C-F	MC-6C-F
	回 　　転	50/60 c/s (rpm) 1,450/1,750	1,450/1,750
	シリンダ数	(個) 4	6
	シリンダ径	(mm) 75	75
	行程	(mm) 60	60
機	押 の 　　行	60 c/s (m <sup>3</sup> /h) 111.3	167
	電動機出力	(kW) 15	22
送 風 機	形 　　式	FS-115DW	FS-116DW
	回 　　転	(rpm) 1,000	955
	扇 車 外 径	(mm) 388	426
	風 　　量	(m <sup>3</sup> /min) 220	300
	有効静風圧(標準)	(mm/水柱) 38	38
電動機出力	(kW) 3.7	5.5	
凝 縮 機	形 　　式	KC-15-17	KC-23-19
	配 管 接 続	(ガス管) 2B	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> B
	*1 冷 却 水 量	(ton/h) 13	19.5
水 頭 損 失	(kg/cm <sup>2</sup> ) 0.3	0.35	
冷 却 器	形 　　式	クロスフィン	クロスフィン
	管 　　径	(mm) 16	16
列 　　数	4	6	
エ ア フ ィ ル タ		サラシハニカム機	
膨 張 弁		外部均圧形温度式自動膨張弁	
温 度 調 節 器		リモートバルブ式 1 ステージ	
防 熱 防 音 機		モルトブレン	
安 全 装 置		高低圧圧力開閉器、油圧保護開閉器 溶栓、圧縮機、送風機用電動機オー バロードリレー	
冷 媒		R-12	
*2 能 　　力 (kcal/h)		55,000	82,500
製 品 重 量 (kg)		1,850	2,200
標 準 塗 装		ライトグレー(マンセル7.5BG6/1.5)	

\* 1 凝縮温度 38.5°C 冷却水温度 26.7°C

\* 2 ASRE の標準状態

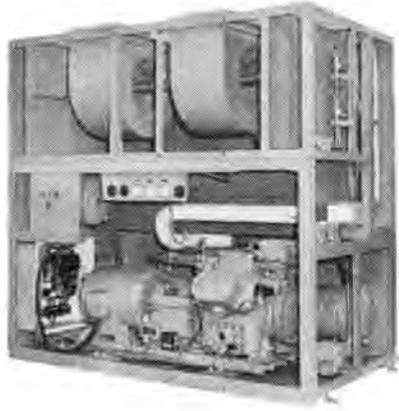


図 2.1 PF-6W-F 形冷凍装置内部  
Fig. 2.1 Interior of type PF-6W-F air conditioner.

## 2. 仕様ならびに構造概略

### 2.1 おもな仕様

PF 形冷凍装置は当社製の MC 形冷凍機を使用し、ダクト接続によるセントラル方式に用いるのを主目標としている。したがって機械室に設置するのを前提としている。おもな仕様は表 2.1 に示すようである。

標準仕様としては冷房だけであるが、これに空気加熱器（蒸気、電熱、温水など）、給湿装置を施せば年間空気調和装置としての使用が可能である。空気加熱器は空気冷却器とファンとの中間に設置できる。給湿装置はファン室または吸入ダクト内部に設置する。標準として防振装置は施さないが要求により圧縮ユニットの防振、

または装置全体の防振が可能である。また運搬の都合を考慮して、必要な場合上下に 2 分割できる構造となっている。空気流れの方向はサービス面より向かって背面より吹込み上方に吐出すが、前方向吐出も可能である。凝縮器冷却水は左右いずれの側からも接続できる。図 2.1 に PF-6W-F 形の内部を、図 2.2 および図 2.3 にそれぞれ PF-6W-F 形、PF-4W-F 形の外形寸法、図 2.4 に能力を示す。

### 2.2 凝縮ユニット

駆動方式はスペースの節約とベルトのサービスを考えて直結形とし、共通台床上に圧縮機と電動機を載せ、吸入管、吐出管に可撓管をつけ、台床下に防振ゴムを取付けることにより容易に防振装置付に変更できるようにしてある。凝縮器は KC 形でローフィン管を使用し小形化を計り、液面計を省き、代わりに over charge 防止用ののぞき窓を設け、従来のパネ式安全弁に代えて溶栓を使用

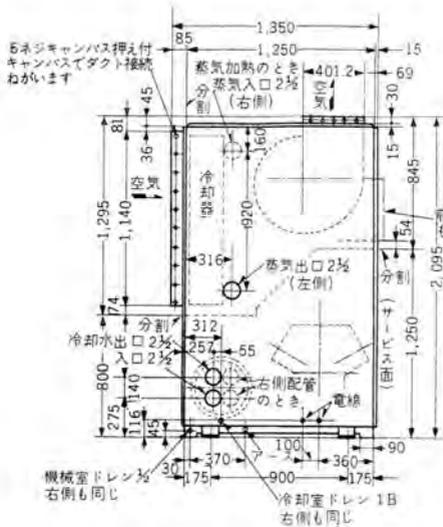


図 2.2 PF-6W-F 形冷凍装置

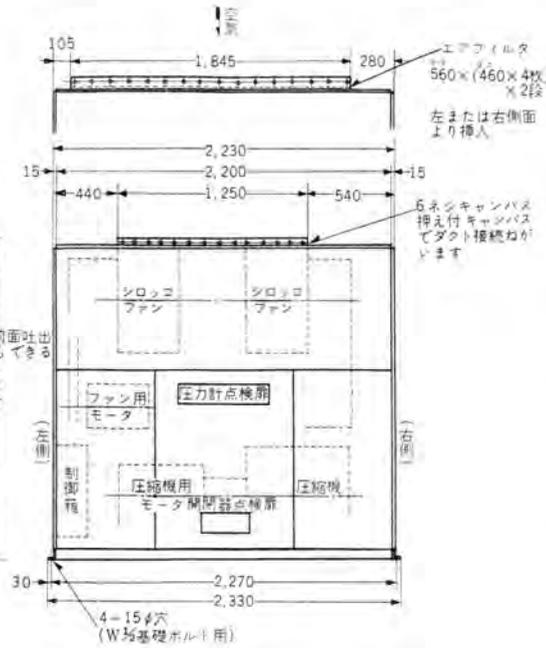


Fig. 2.2 Type PF-6W-F air conditioner.

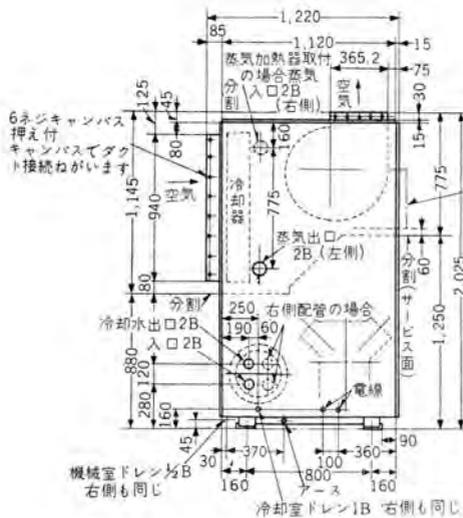


図 2.3 PF-4W-F 形冷凍装置

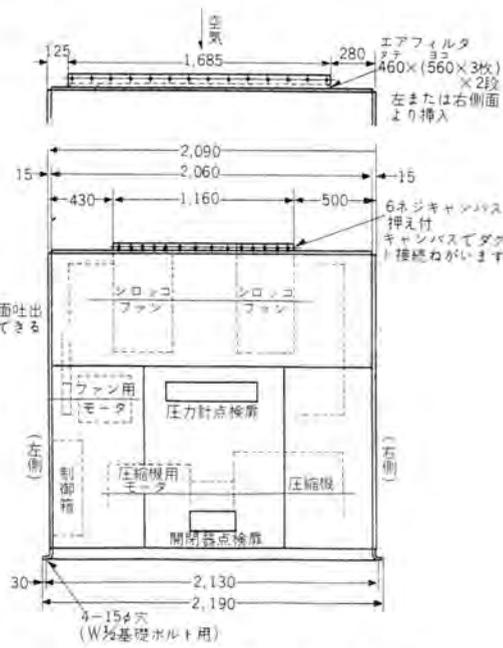


Fig. 2.3 Type PF-4W-F air conditioner.

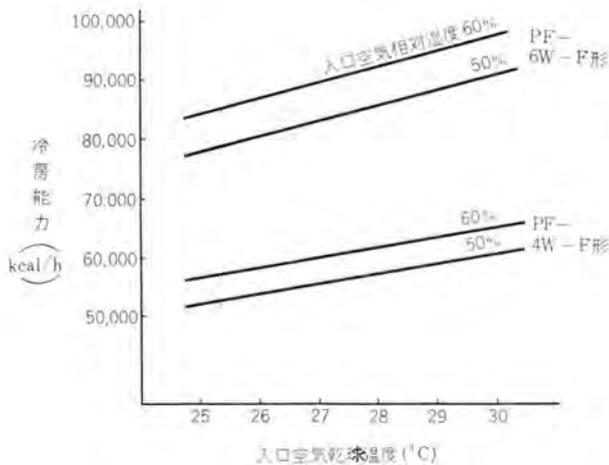


図 2.4 PF 形冷房装置性能曲線 (凝縮圧力  $8.4 \text{ kg/cm}^2$ )  
Fig. 2.4 Performance curves of type PF air conditioner.

している。冷却水の取出口の変更は水垢および外側パネルの交換によって可能である。

### 2.3 ファンユニット

スペース節約の関係上空気冷却器はファンユニットに組込んである。空気冷却器はクロスフィン形で銅管、アルミフィンを使用している。PF-4W は 4 列 6 pass PF-6W は 6 列 6 pass となっている。膨張弁は温度式自動膨張弁を 2 個使用している。

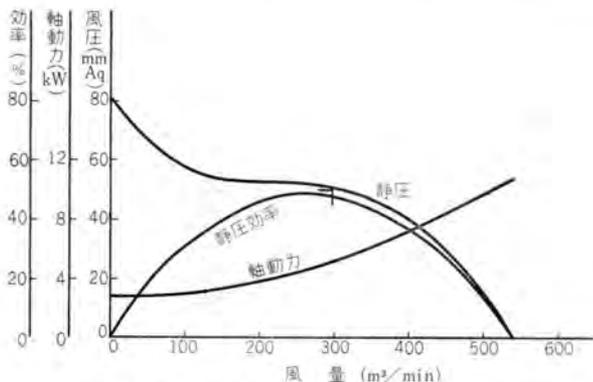


図 2.5 FS-116DW 形通風機の特  
性 (2 台並列運転、PF-6W-F 用) 回転数 1,000 rpm  
Fig. 2.5 Characteristic of type FS-116DW ventilation.

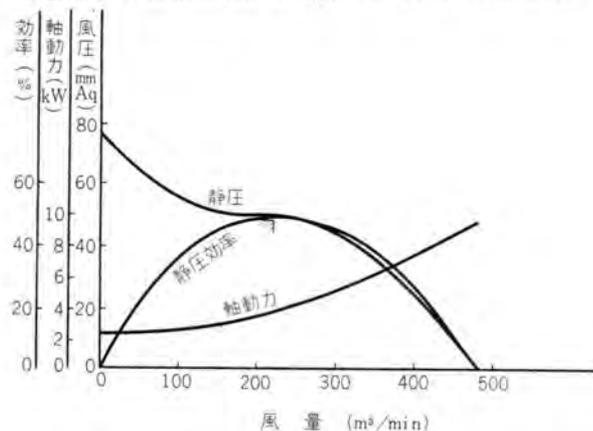


図 2.6 FS-115DW 形通風機の特  
性 (2 台並列運転、PF-4W-F 用) 回転数 1,120 rpm  
Fig. 2.6 Characteristic of type FS-115D ventilation.

送風機はパッケージ用として当社が新たに開発した FS 形を用いている。これは従来のシロッコファンに比べ軽量化されたものである。ファンの特性を図 2.5、2.6 に示す。2 個を 1 組として 1 本の軸に取付けてある。ファン軸はラバーハウジングのピローブロックにより支持され、ランナ、ベアリングをワク外で組立てたまま内部に取付けができる。ファン室回りは全面モルトレンによりおおわれている。

### 2.4 付属機器ならびに制御装置

標準の付属計器としては高圧計、低圧計、油圧計のほかには保護装置として高低圧圧力開閉器 (DPS)、油圧保護開閉器 (OPS)、圧縮機ならびに送風機用電動機オーパードリレがある。また新たにクランクケースヒータを取付けた。これにより冷媒の油中への混入を抑え、起動時の問題を解決している。圧縮機停止と同時に自動的にヒータが ON となり、起動と同時に OFF となる。

運転は切換開閉器により停止、通風だけ、冷房弱、冷房強、暖房弱、暖房強の 6 段切換えが手で操作される。また、空気温度調整装置により 1 段階だけ能力が自動調整される。すなわち冷房時において強冷の場合  $100\% \rightarrow 66\%$  (PF-6W)、 $100\% \rightarrow 50\%$  (PF-4W)、弱冷の場合  $66\% \rightarrow 0$  (PF-6W)、 $50\% \rightarrow 0$  (PF-4W) が自動調整される。図 2.7 に操作盤の機器の配列を示す。



図 2.7 PF 形冷房装置操作盤  
Fig. 2.7 Type PF air conditioner operating board.

運転用開閉器は圧縮機、送風機用とも当社製の N 形電磁接触器を使用している。電気配線の展開接続図を図 2.8 および図 2.9 に示す。図中実線で示される部分が標準取付品である。暖房装置として使用する場合、スチームヒータのときは電磁弁を①②に接続する、電気ヒータのときはヒータ回路開閉用電磁開閉器のコイルを①②に接続する。湿度調整を行なう場合はヒューミディスタット HS を取付け、③に水またはスチーム用の電磁弁を、またペーパーパンの場合はヒータ回路用電磁開閉器コイルを接続する。

### 2.5 ワクおよびパネル

ワクはアングル材を使用し上下に 2 分割させその間をボルト締めしてある。全面をパネルでおおい、下部の凝縮ユニット回りにはパンチングメタル、打抜穴などにより通風を考慮してある。パネルは外部よりネジ止めしてあるが前面下部の両側はサービスに便利のように扉式に開閉でき、また制御盤の操作はもちろん、OPS、DPS の調整はパネルをはずすことなく外部から行なえる。

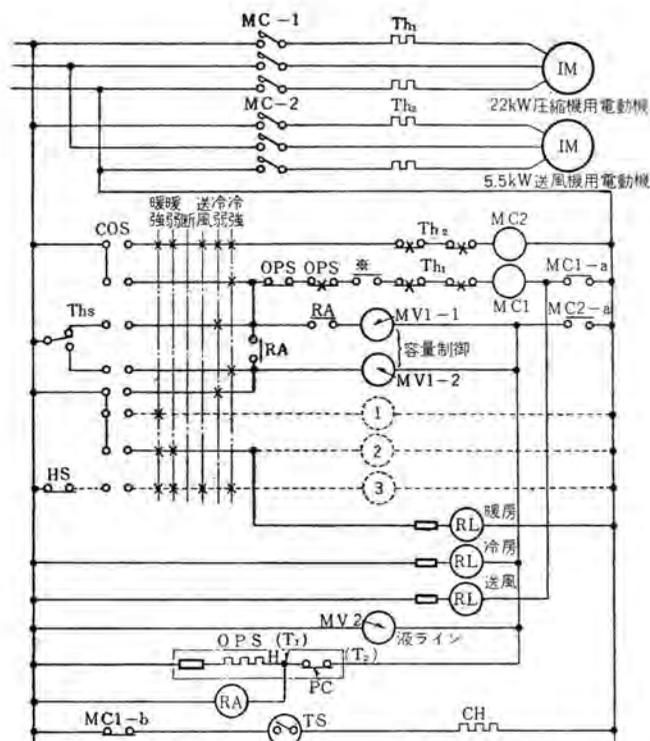


図 2.8 PF-6W 形冷房装置展開接続図  
Fig. 2.8 Schematic connection diagram of type PF-6W air conditioner.

サーモスタット ThS の動作は冷房時温度上昇により ON 温度低下により OFF  
\*印は冷却水ポンプ運転用開閉器の補助 a 接点または断水リレーの接点を接続のこと

- 略符号説明
- COS 切換開閉器
  - DPS デュアルプレッシャスイッチ
  - HS ヒューミディテスタット
  - MC 電磁接触器
  - MV 電磁弁
  - OPS 油圧保護開閉器
  - RA 補助继电器
  - RL 赤色信号灯
  - Th サーマルリレー
  - TS タンプレッススイッチ
  - ThS サーモスタット
  - CH クラックケースヒータ

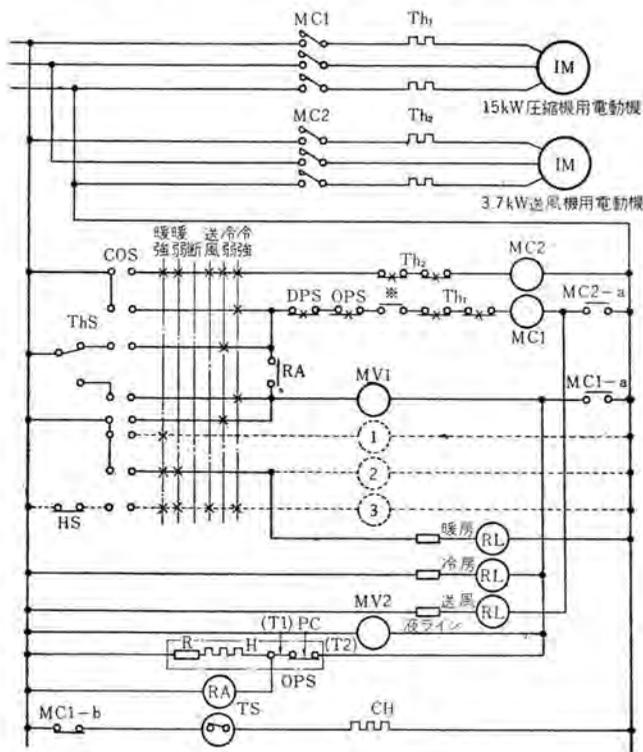


図 2.9 PF-4W 形冷房装置展開接続図  
Fig. 2.9 Schematic connection diagram of type PF-4W air conditioner.

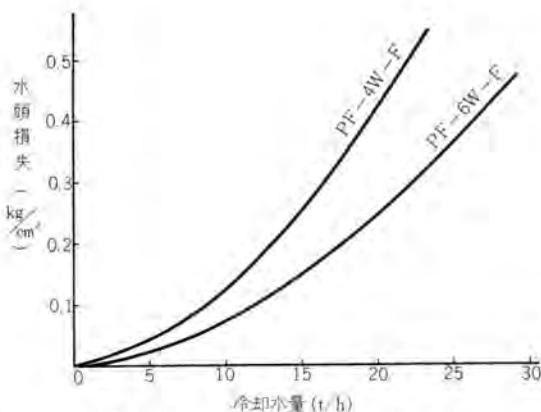


図 2.10 PF 形凝縮器水頭損失曲線  
Fig. 2.10 Water head loss curves of type PF condenser.

表 2.2 湯田温泉松政 ホテル 納めPF-4W-F 形冷房装置運転記録 (昭35-8-16)

時 間	吸入圧力	吐出圧力	油 圧	温吸入ガス度	温吐出ガス度	入口冷却水温度	出口冷却水温度	室内中央温度	室内湿度	室内温度(フタ)	室内温度(機)	外気温度	外気湿度
10.00	2.5	7.8	4.0	20	35	27	29	24	81	24	24	27	74
10.30	2.0	8.6	4.5	13	62.5	30	34	20	70	21	22	27.5	74
11.00	2.3	7.9	4.8	14	63	30	32	19.5	70	21	21	28	74
11.30	2.4	8.0	4.9	14.5	64	30	32	19	70	21	21	28.5	74
12.00	2.6	8.0	5.0	14.5	63.5	30	32	19	70	20.5	21	28.5	70
12.30	2.2	8.8	4.7	14	63.5	30	34	20.5	70	20.5	21	29	70
13.00	2.5	8.5	5.0	14	63.5	30	33	19	70	20.5	23.5	30	70
13.30	2.5	8.0	5.0	14.5	64	30	32	19	70	20.5	21.5	30	70
14.00	2.5	7.5	5.0	14	63	28	30	19.5	70	20	21	31	70
14.30	2.5	7.4	5.0	14	62	27	30	19.5	70	20	21	31	70
15.00	2.5	7.5	5.0	14	63	27	30	20	70	20	21	31	70
15.30	2.5	7.4	5.0	13.5	62	27	30.5	20	70	20	20.5	30.5	70
16.00	2.5	7.3	5.0	13.5	62	27	30	19.5	70	20	20.5	30	70

## 2.6 その他

騒音はパネルより水平距離1m、高さ1.5mの点で測定し、前面、両側面とも73~75 phonである。

エアフィルタは洗浄容易なサラシ製を採用し両側面いずれの側からも取除しができる。新しい状態では風圧損失は1~2 mm Aqである。

図 2.10 は凝縮器冷却水の圧力損失を示してある。

パネル外面には通風、冷房、暖房の運転表示灯がついている。

塗装は内面 マンセル N 5/、外面 マンセル 7.5 BG 6/1.5 半ツツ 消しとしてある。

表 2.2 に運転記録の一例を示す。

## 3. む す び

以上不十分なから、今回新たに開発された PF 形パッケージ冷房装置の概要を記述した。構造的には極力高さおよび奥行の寸法を制限しコンパクトにまとめることに意を注いだ。この種の容量の冷房装置は今後需要増加の一途をたどると思われるので、今後ともいっそうの改良、研究を行ない、コストの低減と品質の向上を最大目標として努力を重ね、また user の協力を得て、立派な製品を市場に送り出したいと思う。

# クリネヤ付ユニテヤ

静岡製作所 河合照男\*

## Unitaires Combined with Cleanaires

Shizuoka Works Teruo KAWAI

Large cities nowadays are confronted with air contamination by the increase of floating dust. The authorities are racking their brain how to prevent it. Various kinds of industries flourish and traffic facilities are ever on the increase, which means an enormous amount of exhaust in the air. This makes mere air conditioning of little meaning unless air to be drawn in rooms is purified. In view of the above, Mitsubishi has developed a combination of the Unitaire and Cleanaire so as to accomplish an ideal means to protect us from the harm by polluted air. A high dust collection capacity with simple operation of this equipment holds promise as a guardian of health to city dwellers.

### 1. ま え が き

最近の都市においては浮遊じんアイの増加による空気汚染がいちじるしく、その社会的弊害を除くため各種の対策が研究されている。とくに東京都においては、ばい煙防止条令を制定して空気浄化に関係者の多大の努力がなされていることは衆知のとおりであるが、近時諸工業および交通機関の発達は目ざましく、その結果排出されるチリの量もまた莫大でわれわれの期待する空気浄化にはさらに一段の努力が必要であると痛感する。また精密工業の発達や外科手術の進歩によりいっそう清潔な室内空気を必要とすることが多くなったので、効率のよい除じん装置に対する一般の認識も深まりその需要が近時盛んになって来た。

空気調和装置は環境衛生の改善を主目的とするものであるから、温湿度の調整だけでなく空気浄化に対しても十分考慮する必要がある。当社では、かねてより空気調和装置(第34巻第5号参照)“ユニテヤ”と静電気式空気清浄装置“クリネヤ”を別個に生産しているので、清浄な空気による空気調和の需要に応じることができる。このような場合にはユニテヤとクリネヤを別個にすえつけてダクトによって互いに接続する方法が採られているが、施設費の増大およびすえつけ場所の制限がまぬがれない。また必要以上の集じん能力を期待しない用途も多くあるので簡単にすえつけができて、しかも清浄な空気調和の得られるクリネヤを内蔵したパツケージ形空気調和装置をこのほど完成した。

昨今都市の空気汚染が社会問題化しているとき、このクリネヤ付ユニテヤは取扱いが簡単でしかも飛躍的に高い集じん能力があるので、今後の需要に期待している。以下クリネヤ付ユニテヤについて簡単に紹介する。

### 2. ほ こ り

われわれの住む大気中には大小のほこりを始め、ばい

表 2.1(1) わが国諸都市の降下バイン量

(トン/km<sup>2</sup>/月) 1958年(札幌だけは1956年)

都 市 名	トン/km <sup>2</sup> /月	年換算トン/km <sup>2</sup>
字 部	33.3	399.6
札 幌	25.5	306.0
大 阪	23.2	278.4
川 崎	21.9	262.8
東 京	21.2	254.4
横 浜	16.8	201.6
尼 崎	14.0	168.0
神 戸	10.0	120.0

表 2.2(1) 各試験個所の年間降下じん量(月間)

平均値(トン/km<sup>2</sup>/月)

	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
	29.11.15~ 30.11.14	30.11.15~ 31.11.14	31.11.15~ 32.11.14	32.11.15~ 33.11.14	33.11.15~ 34.11.14
都 町	37.56	30.39	23.85	21.62	21.56
(駒町)千代田紙業	47.39	46.55	109.24	65.69	71.56
中 央	28.31	24.18	27.02	23.53	19.66
日 本 橋	36.81	34.85	32.86	25.37	28.14
神 田	23.38	23.84	24.43	30.31	19.64
小 石 川	18.76	21.26	21.05	20.00	17.93
深 川	18.53	19.99	19.61	18.91	21.20
芝	20.23	18.86	16.28	19.55	16.30
赤 坂	13.54	16.36	17.39	15.79	14.28
波 谷	16.58	16.33	19.37	15.48	15.23
四 谷	11.86	11.89	13.69	15.18	18.81
牛 込	13.87	19.47	17.12	13.92	16.05
成 東	17.36	19.41	21.00	18.33	20.13
向 島	27.52	27.17	35.70	28.54	15.92
浅 草	29.45	29.09	33.70	26.99	27.19
荒 川	33.39	29.95	34.03	24.95	24.96
滝 野 川	26.76	23.52	17.77	18.15	18.91
王 子	15.32	15.39	14.93	13.86	11.11
(大久保)衛研	18.43	16.53	18.04	17.27	16.05
大 森	18.48	18.79	19.91	22.08	17.80
玉 川	13.34	11.09	11.23	12.88	10.49
石 井	13.15	8.22	15.41	10.46	10.13
青 梅	4.57	18.09	18.03	8.68	7.65
立 川	11.54	14.55	19.76	10.16	7.82
杉 西	12.83	10.27	12.46	11.78	9.78
大 島	11.43	10.06	9.85	12.69	7.68
平 均	20.81	20.62	23.99	19.41	19.73

煙や各種のバクテリア、花粉などが多数浮遊している。これらのほこりは直接的に目に見えた被害は及ぼさないが、長い間にはわれわれに各種の損害を与えるものである。その一般的なものとしてばい煙を例にあげると、発表された各種文献によりその程度が推察できる。表2.1は1958年における全国主要都市の降下ばい煙量で、表

2.2 は東京都の各保健所において測定した最近数年間の年間降下ばい煙量(月間)平均値である。またばい煙の原因には最近急速に発達した自動車の排気ガスも考えられる。図2.1は都内の自動車台数の増加を示している。以上より判明することは工業や自動車および暖房設備などの発達が空気汚染の重要な因子として考えられることである。ばい煙の被害のうち最大のものは、冬季発生する濃煙霧(スモッグ)と考えられるが、図2.2は過去における東京都の視程1km以内のスモッグ発生日数を示している。

ばい煙がこのように大都市や工場地帯の周辺にいつも存在するのは、ボイラを使用することによって煙突より排出された煙が地上100~300メートル付近のところにある暖くて軽い空気層(気象用語で逆転層という)にじまされてたなびくためであって、ばい煙防止には排出される煙に含まれるススを減らすのがもっとも有効である。しかし煙の完全浄化は理論的にも不可能であるし、気象条件などより自然に発生するほころは不可避であるので、室内用空気浄化装置の必要は衛生上、品質管理上

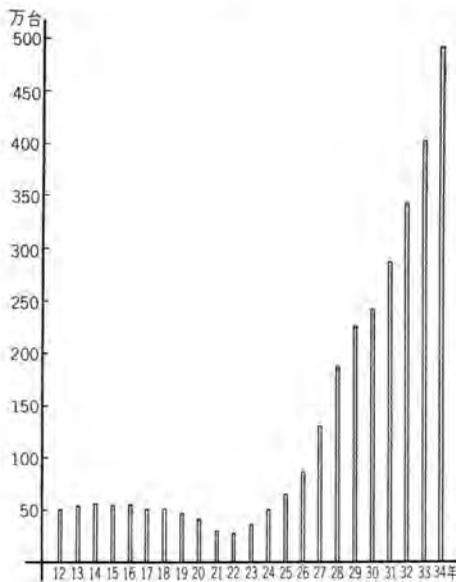


図 2.1(1) 都内自動車台数増加表  
Fig. 2.1 Increase of motor cars in cities.

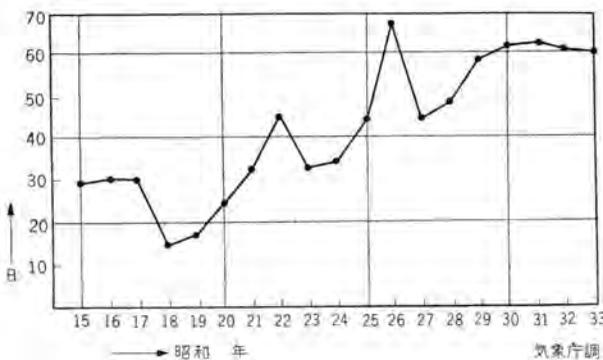


図 2.2(1) 濃煙霧の発生日数(視程1km以内のもの)  
Fig. 2.2 Number of days in which heavy mist occurred.

クリネヤ付ユニテヤ・河合

表 2.3 各種ジニアイの大きさ

ジニアイの種類	ジニアイの大きさ $\mu$
ばい煙	5~0.01
たばこのけむり	0.07~0.5
バクテリア	0.35~10
花粉	20~50
不沈降る大気的不純物	0.001~1
沈降する大気的不純物	1~100
工業的ジニアイ	100~10,000

表 2.4(2) 炭化水素自由燃焼煤の粒度

原料	一次粒径 (m $\mu$ )	集合体の粒径 ( $\mu$ )	備考
ガソリン	30~100	50~300	数 $\mu$ のもの多し
重油	"	50~400	"
ピッチ	50	"	数 10 $\mu$ のもの多し
コールタール	"	"	数 $\mu$ のもの多数
生ゴム	"	50~200	凝集せざるものあり
木タール	"	50~500	数 $\mu$ の連鎖多し
			5 $\mu$ くらいもの多し

必然である。

クリネヤの捕集可能なジニアイの最小径は0.1~0.01ミクロンと考えられているが、一般に使用されているメカカルなエアフィルタでは一般に優秀なものでもその限度は約10ミクロンでその集ジニアイ効率は15%程度といわれている。(注 Dust Spot Tester による) 表2.3は各種ジニアイの大きさ、表2.4は炭化水素自由燃焼煤の粒度を示している。

### 3. クリネヤ

古くから同種の電気は反発し、異種の電気は吸引し合うことは広く一般に知られている現象である。クリネヤはこの原理を応用したもので、直流高電圧を使用して連続的に空気中の微細なジニアイを除去する。この原理については第31巻第12号などに詳しく紹介されているので参照されたい。今回開発されたユニテヤ用クリネヤはユニテヤ専用として設計された集ジニアイユニットと電源ユニットを他の付属機器とあわせてユニテヤの内部に組み込んだもので、標準形ユニテヤに使用しているメカカルなエアフィルタに比べ格段の集ジニアイ効率が保証される。図3.1はクリネヤの取付写真、図3.2はこのクリネヤの集ジニアイ効率を



図 3.1 クリネヤ付ユニテヤ内部  
Fig. 3.1 Interior of unitaire combined with cleanaire.

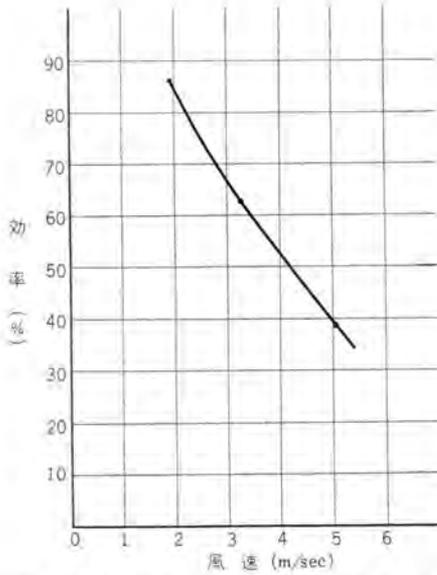


図 3.2 ユニテヤ用クリネヤ風速対集じん効率曲線

Fig. 3.2 Air velocity vs dust collection efficiency curve of cleanaire combined with unitaire.

示している。

ユニテヤは空気調和をするためにいつも定量の空気を処理しているのでクリネヤの集じん効率は自ら定まる。

しかし空気調和の負荷条件からユニテヤの処理風量が大幅に増加するときは、クリネヤの集じん効率も急速に低下するのでそのような使用法は避けなければならない。

清浄空気による空気調和の必要な代表的な応用例としては病院手術室がある。図 3.3 は手術室において測定した細菌による空気汚染度の一例で、空気調和とクリネヤの有無および外気との関係を示している。図 3.4 は手術室

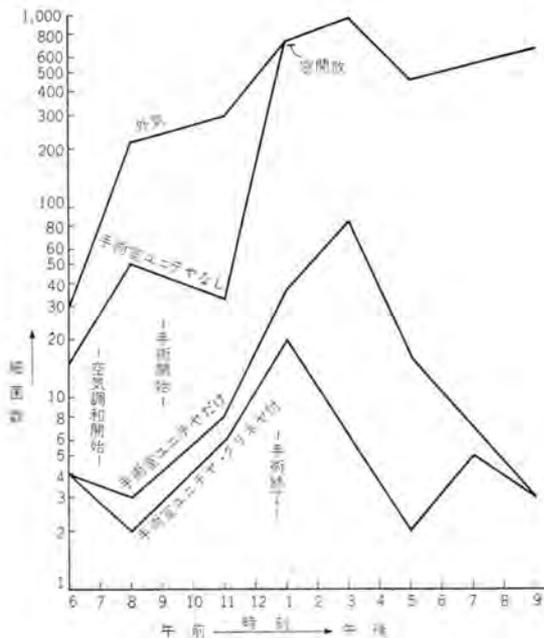


図 3.3(3) 空気汚染の時間的推移

Fig. 3.3 Transition of air contamination with time.

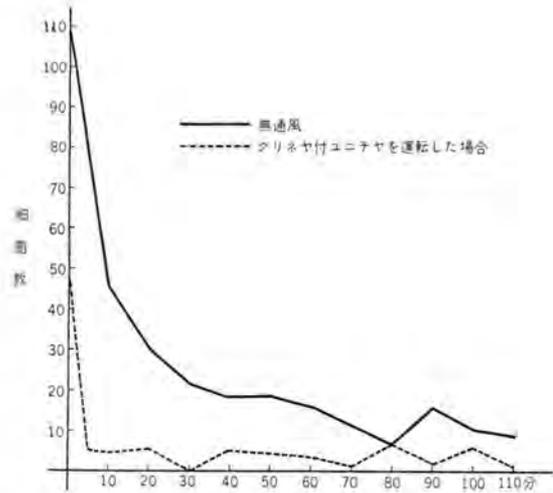


図 3.4(3) 空気汚染による細菌数の時間的变化

Fig. 3.4 Changes of the number of bacteria due to air contamination along with time.

を閉鎖した場合の細菌数の時間的消長を示している。いずれも細菌を含む空気の清浄化にクリネヤの役だつことを証明しているため、他のジニアイに対しても同様の効果のあることは疑いない。

#### 4. クリネヤ付ユニテヤ

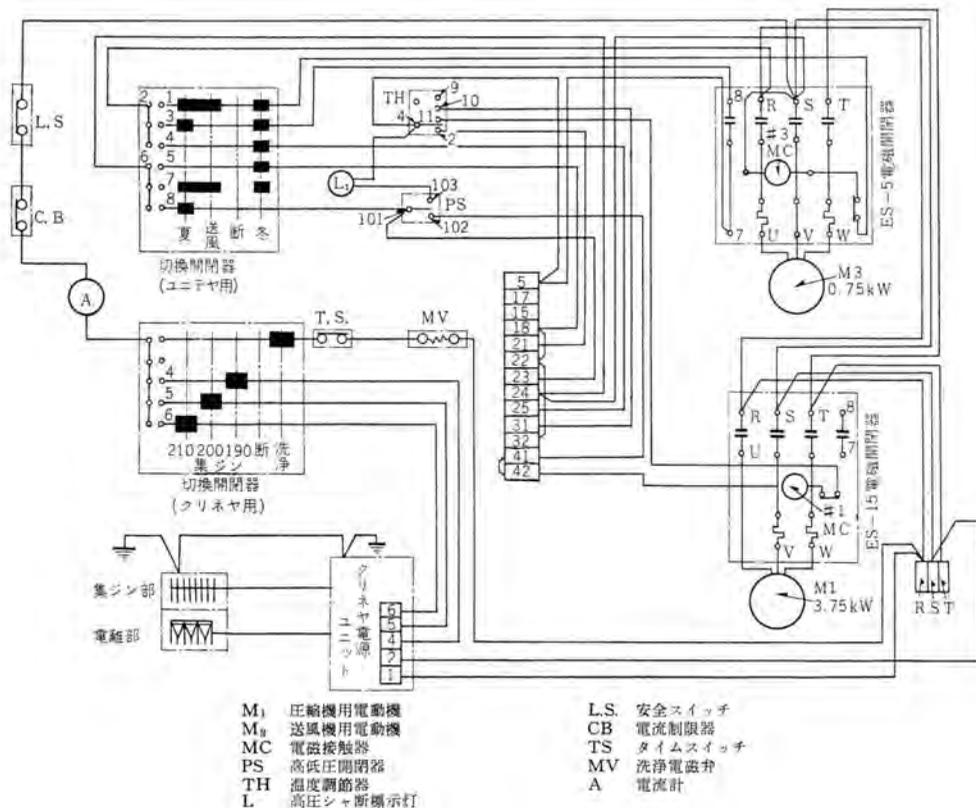
今回開発の完了したクリネヤ付ユニテヤは、EU-50 B 形 (第 34 巻第 5 号参照) およびその改良形である EU-50 C 形であるが、他のユニテヤについても引き続き開発を計画中である。EU-50 形クリネヤ付ユニテヤの仕様を表 4.1 に、回路接続図を図 4.1 に示す。つきにその特長を列記する。

(1) クリネヤはユニテヤ専用としてユニテヤに内蔵できるように設計されているのでユニテヤの外形形状には変更がなく、したがってクリネヤのための余分のスペースを必要としない。

(2) クリネヤ付ユニテヤはとくに取扱いに重点をおいて設計され完全な保護装置を備えているので、誰でも容易に操作できるところが特長である。とくにめんどろな集

表 4.1 クリネヤ付ユニテヤ仕様

ユニテヤ形名	EU-50 C 形
電源	AC 200 V ± 20 V 1φ 50/60 c/s
電離部電圧	DC 10,000 V ± 500 V
集じん部電圧	DC 5,000 V ± 300 V
消費電力	60 W
保証集じん効率	60% (Dust spot tester による)
運転スイッチ	集じんノッチ (190 V, 200 V, 210 V), 洗浄ノッチ ただし集じんノッチは (180~200 V) または (200~220 V) に変更可能
運転状態指示電流計	無負荷 (緑) 正常 (白) 短絡 (赤) に色別指示
自動洗浄装置	洗浄タイマにより自動洗浄
短絡保護装置	短絡状態により開路, 手動復帰式
保償期間	納入後 1 年, ただし真空管は 6 か月
その他	1. 洗浄水は 1 kg/cm <sup>2</sup> 以上の水圧が必要 2. 洗浄水管には濾網が必要 3. 第 1 種接地工事を施工すること



- |                        |             |
|------------------------|-------------|
| M <sub>1</sub> 圧縮機用電動機 | L.S. 安全スイッチ |
| M <sub>3</sub> 送風機用電動機 | CB 電流制限器    |
| MC 電磁接触器               | TS タイムスイッチ  |
| PS 高圧圧閉閉器              | MV 洗浄電磁弁    |
| TH 温度調節器               | A 電流計       |
| L 高圧シャ断標示灯             |             |

図 4.1 EU-50 C 形クリネヤ付ユニテヤ電路接続図  
 Fig. 4.1 Connection diagram of unitaire circuit.

ユニットの洗浄操作を自動式にしたので、集じんユニットをいちいち取出して洗浄する必要がなく便利である。

(3) 高い集じん効率にもかかわらずクリネヤの消費電力は驚くほど少なくて済むのでクリネヤのための電源工事は不用である。

(4) クリネヤは電離部と集じん部にそれぞれ規定の電圧を確実に印加する構造になっているので、ホコリの濃度によって集じんユニット電圧に変動を生じるようなこともなく、つねに高い集じん効率で安定した集じん作用を行ないしかも構造がすぐれているので空気抗抵は非常に小さく、その値が終始ほとんど変わらないのでユニテヤの風量はつねに一定している。

### 5. む す び

クリネヤ付ユニテヤはその1号機を日本食堂渋谷営業所に納入したのを初め、引き続き各地に納入して成果をあげ

ている。このユニテヤは空気調和と空気浄化を兼ねたもので空気調和の新しい分野が開かれた。

文化の進歩とともに工業的ジニアも増加する傾向にあるので、空気浄化は空気調和の分野に含まれて今後の需要は大いに期待できるものと思われるので、いっそう研究を続け取扱いがさらに簡単で効率のよい空気浄化装置付ユニテヤを完成して行きたい。

### 参 考 文 献

- (1) 河合：'60年形ユニテヤ、「三菱電機」, 34, No. 5, p. 35 (昭35).
- (2) 斎藤・武藤：キャビネット形クリネヤ、「三菱電機」, 31, No. 12, p. 84 (昭32).
- (3) 日刊工業新聞主催、集じん装置講習会テキスト(1).
- (4) 便覧カーボンブラック、丸善(昭26)(2).
- (5) 病院, 17, 7号(3).

# ヒートポンプ式ウインデヤ

(窓掛式ルームエアコンディショナ)

静岡製作所 高橋 克己\*

## Heat-Pump Type Windaires

Shizuoka Works Katsuki TAKAHASHI

The concept of using a refrigerating apparatus for a heat pump to warm a room in winter is not at all new. A century ago the principle was discovered by Lord Kelvin, but it was in 1937 in Japan when the first attempt was made to try this operation by Kyoto Electric Light. In spite of many excellent features of this heating system, very few apparatus have appeared in the market so far. Mitsubishi introduced the Unitaire to public for this particular application last year, and is now in a position to recommend the Windaire to this adaptation. In such a country as Japan where winter is rather mild, the heat pump operation of the Windaire is quite promising.

### 1. ま え が き

冷凍機を用いてその凝縮器より放熱される熱を暖房に利用するヒートポンプの原理は、1852年イギリスの Lord Kelvin によって見つけられ、わが国では1937年に京都電灯本社で用いられたのが最初であるといわれている。

ヒートポンプ式暖房法の特長をあげると

- (1) 同一の装置で冷暖房が可能である。
- (2) 暖房装置としてもっとも安全、衛生的である。
- (3) 電熱式暖房に比べ、消費電力は1/2以下で良い。

などきわめてすぐれた長所を有している。

一方短所としては、空気式ヒートポンプの場合

- (1) 外気温度により暖房能力が大きく変動する。
- (2) 外気温度が5°Cより低くなる場合には霜取装置が必要である。
- (3) 構造が複雑となる。

などの点があるが(2)項(3)項は冷凍技術の進歩とともにあまり問題ではなくなりつつあり、冷房装置の普及とともにヒートポンプ式暖房装置も広く用いられるようになることと思われる。

当社では1960年のユニテヤのヒートポンプ化に続き、本年度はウインデヤのヒートポンプ化を図った。

以下このRBH形ヒートポンプ式ウインデヤについて簡単に紹介をする。

### 2. ヒートポンプ式ウインデヤの原理

ヒートポンプの方式には冷暖房の切換えに、

- (1) 冷媒回路の切換えを行なうもの
  - (2) 空気回路の切換えを行なうもの
- の2方法がある。

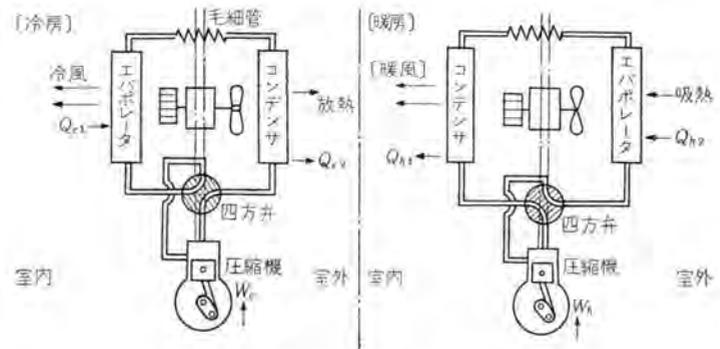


図 2.1 ヒートポンプ式ウインデヤ 原理図

Fig. 2.1 Principle of heat pump operation by Windaire.

前者は冷媒回路切換弁が問題であり、作動が確実で、弁内の高圧部から低圧部への漏れが少なく、かつウインデヤに使用するには、全密閉形の四方弁であることが必要である。

後者は構造は簡単であるが、空気回路を余分に作るため、ウインデヤの大きさが2倍ほどになるという欠点がある。RB形ウインデヤではRanco社製の小形四方弁を用い、前者の方法を採用した。

その原理図を図2.1に示す。

いま図2.1で、配管その他から熱の漏洩がないとすると、ウインデヤ入力  $W$  と冷暖房能力  $Q_1$  との間には次の関係がある。

$$Q_{c1} = Q_{c2} - W_c \quad (\text{冷房の場合})$$

$$Q_{h1} = Q_{h2} + W_h \quad (\text{暖房の場合})$$

また  $Q_{c1}/W_c$ 、 $Q_{h1}/W_h$  を成績係数 (Coefficient of Performance, 略して C.O.P.) と呼ぶ。

ウインデヤでは普通冷房時の C.O.P. は 2.5~2.8 くらいである。暖房時の C.O.P. は冷房時より理論的には 1.0 だけ大きい訳であるが、実際には 3.0~3.5 くらいである。これは冷房サイクルを主とし、これと同じ毛細管、冷媒量に

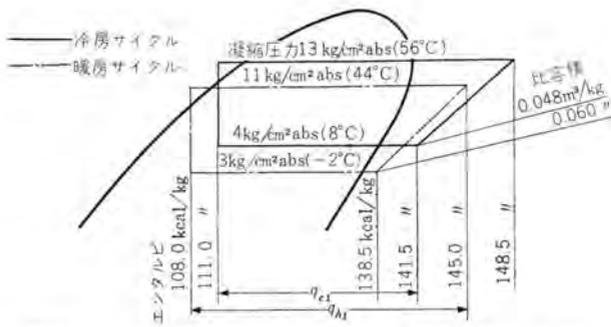


図 2.2 モリエル線図 (R-12 を使用した場合の冷暖房サイクル)  
Fig. 2.2 Mollier diagram (Air conditioning cycle when R-12 is used)

て暖房サイクルを行なわせることによるものであろう。

R-12 を用いた場合の冷暖房サイクルをモリエル線図に表わした一例を図 2.2 に示す。

RBH 形 ヒートポンプウインデヤの暖房能力は冷房能力とはほぼ同じであり、どちらかというとなずかに少な目である。暖房能力=冷房能力+ウインデヤ入力と考えると、これはおかしいと思えるが、この理由は暖房時には冷媒の比容積が大となるため冷媒循環量が減少するからである。

いま図 2.2 で、冷媒循環量 1 kg 当たりの冷房能力  $q_{c1}$  を調べると、

$$\text{冷房時 } q_{c1} = 141.5 - 111.0 = 30.5 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{暖房時 } q_{h1} = 145.0 - 108.0 = 37 \text{ kcal/kg}$$

となり、暖房時のほうが当然  $q_1$  は大である。しかし今仮に圧縮機のピストン押し退け量を  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  とすると、冷暖房能力は

$$\text{冷房時 } Q_{c1} = 30.5/0.048 = 635 \text{ kcal/h}$$

$$\text{暖房時 } Q_{h1} = 37/0.060 = 617 \text{ kcal/h となり}$$

冷房能力と暖房能力がほぼ等しいことがわかる。

### 3. RBH 形ヒートポンプ式ウインデヤの仕様

図 3.1 に RBH 形ウインデヤの外観、図 3.2 に RBH 形ウインデヤの内部構造を示す。

RBH 形ウインデヤは冷房、暖房のほか外気取入れ(冷房時、暖房時、送風時)、排気(冷房時、暖房時、送風時)を行なわせることができる。

風量は強弱 2 段に調節でき、冷房、暖房時ともに温調により室内温度を調節することが可能である。

吹出ルーパ 後方には、オートスイング装置が取り付けられており、冷風、暖風を右 45 度から左 45 度の方向に 5 秒ごとに変えて吹出すことが可能となっているなど RBH 形ヒートポンプはウインデヤとしてはあらゆる機能を備えた最高級のものである。

表 3.1 に RBH 形ヒートポンプ式ウインデヤ

ヒートポンプ式ウインデヤ・高橋



図 3.1 RBH 形 ヒートポンプ式 ウインデヤ 外観  
Fig. 3.1 Exterior of type RBH heat pump type Windaire.

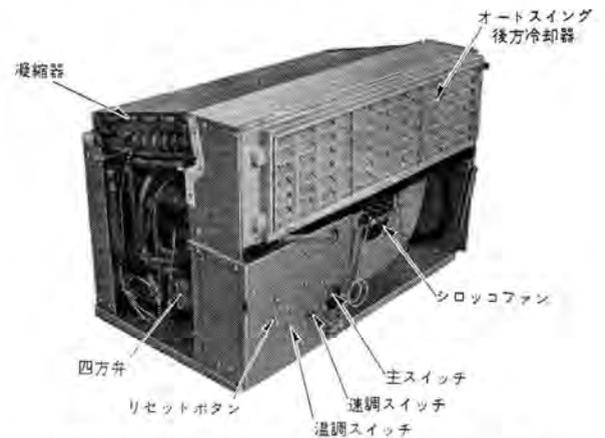


図 3.2 RBH 形 ヒートポンプ式 ウインデヤ 内部構造  
Fig. 3.2 Interior construction of type RBH heat pump type Windaire.

表 3.1 RBH 形ヒートポンプ式ウインデヤ仕様

形名	RBH-075		RBH-10		RBH-15	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
電源	100V1φ 50/60c/s		200V3φ 50/60c/s		200V3φ 50/60c/s	
圧縮機	全密閉中ぶり形 D4D形 600W 1,455/1,754rpm		全密閉中ぶり形 D5D形 750W 1,410/1,690rpm		全密閉中ぶり形 D6B形 1,100W 1,420/1,700rpm	
送風機	全閉形 (WD-25BB形) 40W 955/990rpm		全閉形 (WD-25CB形) 35W 950/990rpm		全閉形 (WD-30AB形) 50W 950/990rpm	
室内側送風機	シロッコファン172φ		シロッコファン172φ		シロッコファン172φ	
室内側風量	6.0/6.5m <sup>3</sup> /min		7.0/7.5m <sup>3</sup> /min		8.0/8.5m <sup>3</sup> /min	
室外側送風機	プロペラファン254φ		プロペラファン254φ		プロペラファン296φ	
調和能力	1,850/2,000 kcal/h	1,850/2,000 kcal/h	2,600/2,800 kcal/h	2,600/2,800 kcal/h	3,500/3,900 kcal/h	3,500/3,900 kcal/h
全電流	9.8/10.0A	7.8/8.2A	3.6/4.2A	3.2/3.4A	5.2/5.4A	4.3/4.5A
全入力	850/960W	740/780W	1,010/1,150W	890/950W	1,460/1,530W	1,150/1,200W
起動電流	33A以下		—		—	
冷媒	R-12		R-22		R-22	
温度調節器	冷暖房両用		冷暖房両用		冷暖房両用	
風量	2 段調節		2 段調節		2 段調節	
吹出し	水平方向	オートスイング	オートスイング	オートスイング	オートスイング	オートスイング
	スイッチ	プッシュボタン	プッシュボタン	プッシュボタン	プッシュボタン	プッシュボタン
出	上下方向	手動	手動	手動	手動	手動
排気ダンパ	有		有		有	
外気取入ダンパ	有		有		有	
凝縮器	空冷式銅管-アルミフィン		空冷式銅管-アルミフィン		空冷式銅管-アルミフィン	
冷却器	銅管-アルミフィン		銅管-アルミフィン		銅管-アルミフィン	
減圧方式	毛細管		毛細管		毛細管	
安全装置	—		—		高圧閉閉器、可溶栓	
エアフィルタ	サラシハンカ織		サラシハンカ織		サラシハンカ織	
外装仕上	メラミン焼付塗装 前面プラスチック		メラミン焼付塗装 前面プラスチック		メラミン焼付塗装 前面プラスチック	
本体重量	約 91 kg		約 91 kg		約 99 kg	
付属品	取付用バックシム、接着剤、ドレンパイプ、バンド					

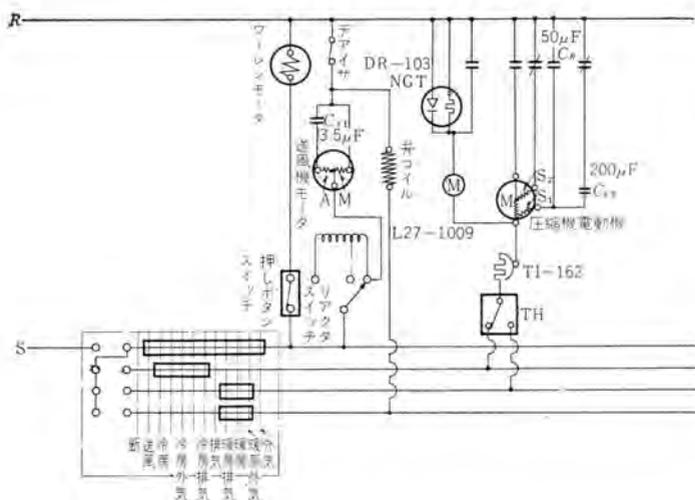


図 3.3 RBH-075 形 ヒートポンプ式 ウィンダレ 電気結線図  
Fig. 3.3 Connection diagram of type RBH-075 heat pump type Windaire.

の仕様を示す。

RBH 形 ウィンダレ には 1φ 100V 600W および 3φ 200V 750W, 1,100W の 3 機種がある。

1φ 100V 600W の ウィンダレ は起動電流を 33A 以下に抑えるため特殊電動機に特殊起動方式を組合せたもので、1φ 100V のヒートポンプ では最大容量のものである。

図 3.3 に RBH-075 形 ウィンダレ の電気結線図を示す。3φ 200V 1,100W の ウィンダレ もヒートポンプ として最大容量のものである。

#### 4. 冷暖房回路の切換え

冷暖房回路の切換えを行なう四方弁に Ranco 社製四方弁を用いたことは前に述べたが図 4.1 にその外観を示す。

図 4.2 は内部説明図である。四方弁は電磁三方パイロットバルブとピストンスライドバルブからなっており、コイルはエポキシ樹脂埋込となっていて耐水性がすぐれている。またコイルは取はずしが自由であり電源の異なる場合はコイルだけを交換すれば良い。

図 4.2 は暖房の場合を示し、コイルは通電されパイロットバルブは右に引張られている。冷房時にはコイルの電流が断たれ、パイロットバルブは左に移動しこれにより四方弁内のピストンが左に動き逆サイクルとなる。

ピストンにはきわめて小さい穴があいておりこれによりピストンが動く訳である。

四方弁は、テフロン、ナイロン、銅、黄銅、ステンレスを材料としており作動もなめらかであるので冷凍機用だけでなく他にも用途があるものと思われる。

表 4.1 にその仕様を示す。

#### 5. 暖房能力と外気温度との関係

外気温度が低下するにつれて、暖房能力が低下することは前に述べたが、その一例を図 5.1 に示す。

図 5.1 で明らかなおと外気温度が  $-5^{\circ}\text{C}$  になると、



図 4.1 四方弁外観  
Fig. 4.1 Appearance of four-way valve.

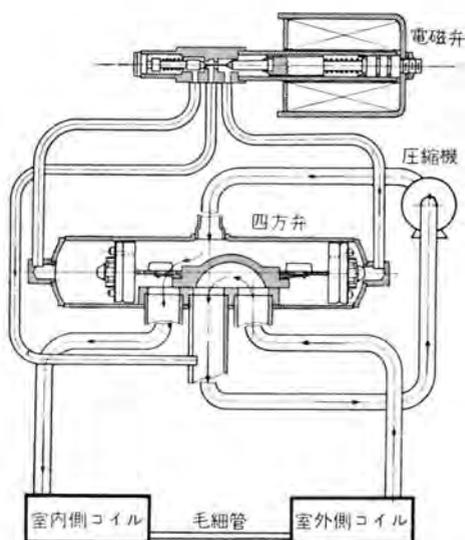


図 4.2 四方弁作動説明図  
Fig. 4.2 Schematic diagram of four-way valve operation.

表 4.1 四方弁仕様

V26-100形四方弁仕様

容 量	R-22 (1~2 冷凍トン) R-12 (3/4~1 1/2 冷凍トン)
作 動 圧 力 差	3.5 kg/cm <sup>2</sup> ~ 23 kg/cm <sup>2</sup>
耐 圧	35 kg/cm <sup>2</sup> に 1h 耐える
破 壊 圧 力	180 kg/cm <sup>2</sup> 1 min に耐える
漏 れ	1,500 cc/min 以下 (10 kg/cm <sup>2</sup> の乾燥空気にて)

注 1 コイルの定格には 100 V 50/60 c/s, 200 V 50/60 c/s のほかに 24 V AC 60 c/s, 12 V DC 230 V 60 c/s, 50 c/s, 115 V 60 c/s, 50 c/s 208 V 60 c/s などがある。

注 2 バルブの定格には V 26 のほかに下記のものがある。

V 30-101 形 2~4 トン  
V 25-500 形 3~6 トン  
V 25-750 形 3~7.5 トン

C.O.P.  $\approx 1.0$  となる。したがって RBH 形 ウィンダレ の使用限度は  $-5^{\circ}\text{C}$  ということになる。

なおこの数値には霜取時間のことが考慮されていないのでそのことを考慮した C.O.P. (Integrated C.O.P.) はもう少し低くなる。

この C.O.P. を外気温度が低くなくても高く保ち、かつ暖房能力の低温における特性を良くすることは、今後に残された課題の一つである。

#### 6. 自動霜取装置

暖房時外気温度が  $0^{\circ}\text{C}$  近くになると 室外コイル の温度は

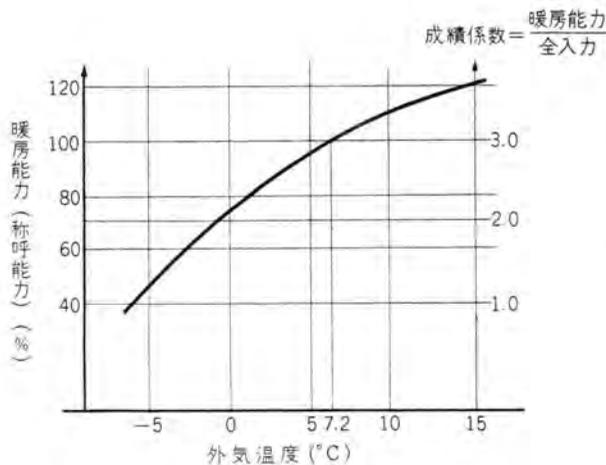


図 5.1 RBH 形ウインドア 暖房能力特性  
Fig. 5.1 Type RBH Windair heating capacity characteristic.

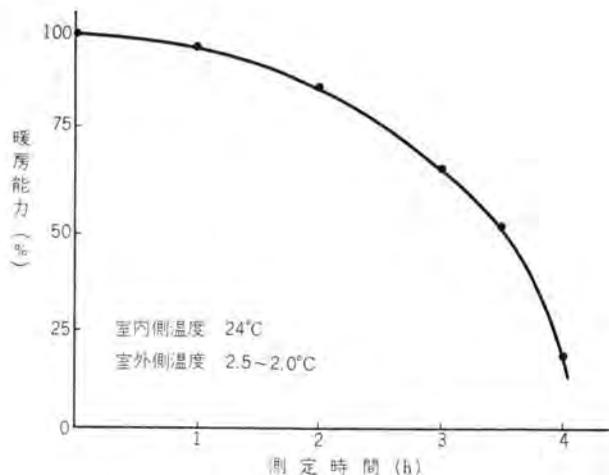


図 6.1 室外 コイル の氷付着のない状態から氷結するまでの暖房能力特性 (霜取装置のない場合)  
Fig. 6.1 Heating capacity from the state of no-frost on coils to accumulation of ice on coils. (without deicer)

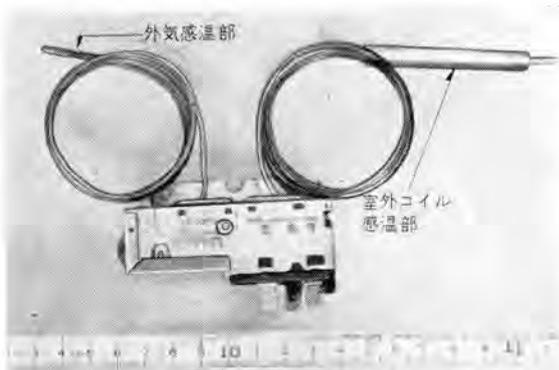


図 6.2 デアイス 外観  
Fig. 6.2 Appearance of deicer.

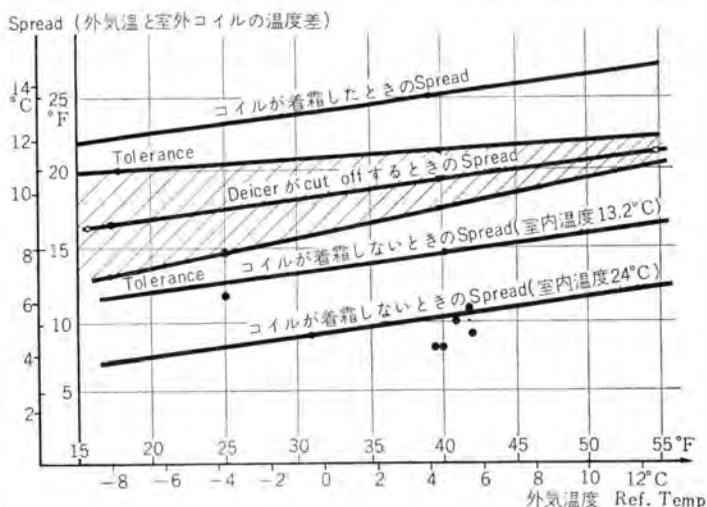


図 6.3 ウィンデア および デアイス の特性  
Fig. 6.3 Characteristics Windair and deicer.

0°C 以下になり着霜を始める。着霜量が大になるとともに室外側風量は減少し、ついには コイル が氷結するに至る。暖房能力も室外側風量の減少につれて低下し非常に少なくなる。この様子を図 6.1 に示す。

この 室外コイル の氷結を防ぐため RBH 形ウインドア では自動霜取温調 (デアイス) を取付けてある。デアイスも四方弁と同じ Ranco 社製のものである。図 6.2 に デアイス の外観図を示す。

図 6.2 に示すように デアイスは 2 Power Element を有する 2 点式温調であり、キャピラリーチューブ Element は外気温度を、感温筒 Element は室外コイル 温度を感知して作動するものである。

すなわち コイル の着霜量が増加するにつれて室外 コイル の温度と外気温度の差 (Spread) は大きくなる。たとえば外気温 4°C 室内温度 24°C の場合には、着霜しないコイル と外気温との差は約 5°C であるが、コイル が氷結するとの Spread は約 14°C になる。デアイスは この温度差を感知して働き、外気温 4°C の場合には Spread が約 10°C になると四方弁コイル および送風機の通電を止める。

ウィンデア および デアイス の特性の一例を図 6.3 に示す。冷房サイクル、暖房サイクル および 霜取サイクル の様子を図 6.4~図 6.6 に図示する。

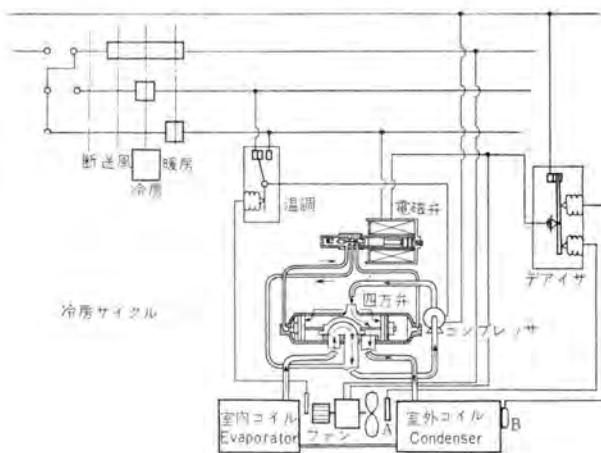


図 6.4 冷房サイクル  
Fig. 6.4 Refrigerating cycle.

霜取サイクル 中は四方弁は 冷房サイクル と同じ状態になり 室外コイル の霜は高圧ガス によってとがされる。室外 コイル の温度が約 9°C になると デアイス の接点は

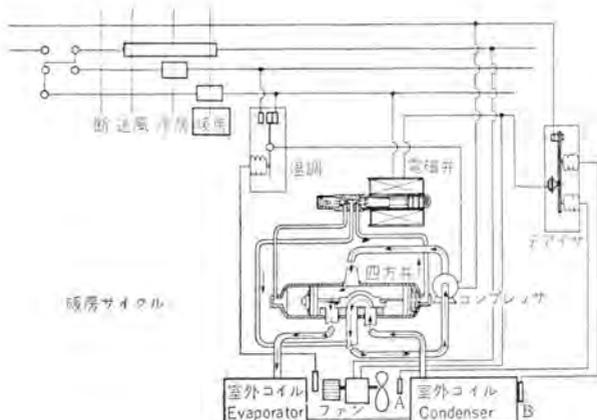


図 6.5 暖房 サイクル  
Fig. 6.5 Heating cycle.

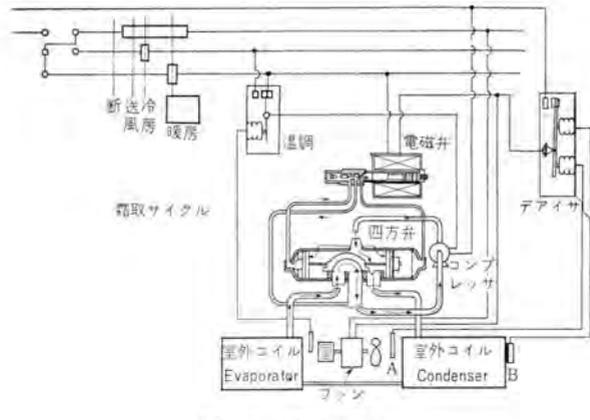


図 6.6 霜取 サイクル  
Fig. 6.6 Deicing cycle.

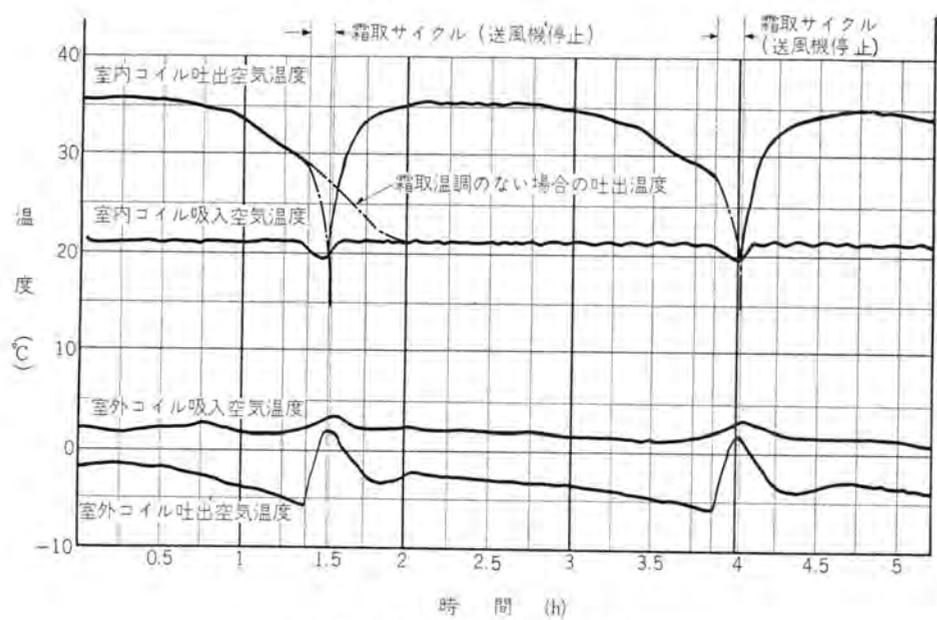


図 6.7 霜取サイクル と吹出温度  
Fig. 6.7 Deicing cycle and blow-out temperature.

ふたたび閉じ暖房運転に戻る。霜取サイクル中は送風機が停止しているので室内側に冷風が吹き出すということはない。

願った技術課石川課長、設計第二係牛田係長および協力していただいた多くの関係者に深く感謝します。

図 6.7 に霜取りを行なわせたときの吹出空気温度の特性を示す。

### 7. むすび

以上簡単に 61 年度ヒートポンプ式ウインドヤについて述べた。わが国のように冬季気温が比較的高い国では、冷房装置とともにヒートポンプ式暖房が普及して行くものと思われる。

RBH 形ウインドヤはヒートポンプとしては比較的初歩的なものであるが、今後これを改良しさらにすぐれた性能を有するものになりたいと思う。

終わりにヒートポンプ式ウインドヤの開発に当たり終始指導

## ヒートポンプ

名古屋営業所 安藤 孝\*

## Heat Pumps

Nagoya Sales Office Takashi ANDO

A true sense of air conditioning is to heat the room as well as to cool it. To accomplish it refrigerators have come to be used for a heat pump in a cold season by absorbing heat from underground water or outdoor air and releasing it in the room. The apparatus thus operated is not in the least uneconomical as compared with other heat generating equipment if overall economy and convenience, sanitation and labor saving are taken into account. The heat source made use of is to be obtained from water, air, earth and solar heat; sometimes waste heat of factories or heat of hot spring can be utilized.

## 1. ま え が き

空気調和装置において冷凍機は単に本来の目的である冷却の手段としてだけでなく、逆に加熱のための手段としても用うることができるので、近年冷房の発達にともなう暖房にも利用されることが多くなった。すなわち年間を通じ空気調和が可能な機構を有し冷房暖房が簡単に切換え得るものが多くなりつつある。とくにヒートポンプ式冷暖房装置が多い。これは熱源として地下水または空気を利用し、他の蒸気源、電源などを必要とせず熱量を水または空気に移動させる機能を持ち年間空気調和装置としてすぐれている。

## 2. ヒートポンプの特長

ヒートポンプは熱力学的に次のような特異な点がある。

- (1) 低温度の所にある熱を高温度に高めに使用することが可能である。
- (2) ヒートポンプを運転するに消費したるエネルギーよりも大量の熱エネルギーが得られる。すなわち成績係数が1より大きい。
- (3) 同一装置で冷却の目的にも加熱の目的にも利用でき、場合によっては双方の目的を同時に遂げることも可能である。

以上のような特長のほかにヒートポンプで暖房を行なう場合、ボイラで蒸気あるいは温水による普通の暖房と比較すると、石炭や重油をたく暖房よりも経済的であり、燃料の置場、煙突、灰の始末などが不必要となり、清潔であるばかりか火夫を必要としないことなどがある。

一方大きい見地からいえばヒートポンプに用いる電力が火力発電によるものであっても大規模のボイラ設備によれば低品位の熱量でも高効率をもって燃焼させることができるのであるから、その点からいっても経済的でありかつまたそれによって都市の空気をばい煙で汚染することもきわめて少なくなることなどである。

ヒートポンプの熱源には水、空気、大地および太陽熱がある。このほか特殊な場合には工場の廃熱や温泉熱などが利用されることがある。中でも広く利用されているものは水である。水には地表水と地下水とあって地表水は温度が季節によって変化するが、地下水は1年中ほぼ一定の温度を保持しているためヒートポンプの熱源としては好都合のものである。しかし地下水は市街地においてすこぶる不足状態を呈しているため、空気を熱源とするヒートポンプ装置が発達して来た。ことに小容量のホームユニットのようなものは空気式が広く普及されて来た。小容量のものでは水配管が複雑となり水切換式ではかえって不都合である。空気式ヒートポンプ装置も5冷凍トン、8冷凍トンなど次第に大きいほうにのびつつある。

3. 水式パッケージ形ヒートポンプ装置  
(Water to air 式)

この方式は室外側は水、室内側は空気と熱交換する形式で室外側の熱交換器が小さくてすむので、外形寸法が比較的小さく納まり、外気温の変化に対しても一定の熱量を吸収することができ安定度が大である。このため小容量のものに広く普及し、パッケージ形またはユニット形として広く利用されている。最近では20冷凍トン、30冷凍トンくらいまでもこのパッケージ形ヒートポンプ式冷暖房装置が用いられ次第に大形まで利用されるようになった。

三菱EU-50H形、DU-80H形水式ヒートポンプユニットは三菱EU-50形、DU-80形ユニットをヒートポンプ装置としたもので、最下部は機械室で圧縮機、室外側熱交換器、四方切換弁、制御装置などが取付けてあり、中央部はコイル室(室内側熱交換器)最上部は室内側送風機室となっている。外形は三菱EU-50形、DU-80形ユニットとまったく同一である。

パッケージ形ヒートポンプ装置については熱交換器をできる限り小形としなければならない。室外側熱交換器は夏凝縮器で冬は水冷却器として兼用させるため、水アカの

\* 施設課



図 3.1 EU-50 H  
Fig. 3.1 Type EU-50 H  
heat pump.



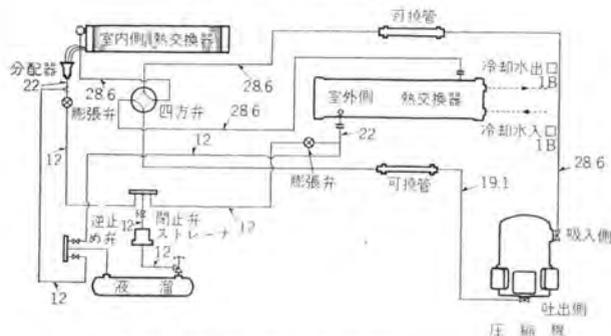
図 3.2 DU-80 H  
Fig. 3.2 Type DU-80 H  
heat pump.



図 3.3 四方弁  
Fig. 3.3 Four way cock.



図 3.4 四方弁  
Fig. 3.4 Four way cock.



注: 記号サイズは、すべて CuT<sub>2</sub> O.D サイズとする。  
図 3.5 水式ヒートポンプユニット冷媒系統図  
Fig. 3.5 Water type heat pump unitaire refrigerant  
system diagram.

表 3.1 EU-50H 形 ユニテ仕様

外形寸法	高さ (プレナム付)	(mm)	2,065
	幅	(mm)	2,965
圧縮機	形式	半密閉	CS-65G2
	電機出力 (kW)		3.73
送風機	形式	No. 2 DRS (50A)	
	風量 (m <sup>3</sup> /min)		56.5
送風機	最大可能風圧 (mm/水柱)		15
	電機出力 (kW)		0.75
(室内側) 熱交換器	形数式	クロスフィンコイル	6
(室内側) 熱交換器	幅 × 長さ	(mm)	396 × 847
(室外側) 熱交換器	形数式	シエルアンドチューブ	1 B
(室外側) 熱交換器	冷却水接続長さ (ガス管)	(mm)	241.8 × 1009
液自逆可	直径 × 長さ	(mm)	114.3 × 400
	膨張弁		2-ATX-657F
エアフィルタ	型	2-CVRF-4	F-17
	流量 (l/min)		49
アブイタ	型	R-12	
	能力 (kcal/h)		13,000
アブイタ	型	R-12	
	能力 (kcal/h)		15,000
電源			三相200V 50/60 c/s

表 3.2 DU-80H 形 ユニテ仕様

外形寸法	高さ (プレナム付)	(mm)	2,085
	幅	(mm)	2,380
圧縮機	形式	半密閉	CS-68K2
	電機出力 (kW)		5.5
送風機	形式	No. 2 DRS (80A)	
	風量 (m <sup>3</sup> /min)		90
送風機	最大可能風圧 (mm/水柱)		25
	電機出力 (kW)		0.75-1.5
(室内側) 熱交換器	形数式	クロスフィンコイル	6
(室内側) 熱交換器	幅 × 長さ	(mm)	517 × 1094
(室外側) 熱交換器	形数式	シエルアンドチューブ	1 B
(室外側) 熱交換器	冷却水接続長さ (ガス管)	(mm)	241.8 × 1349
液自逆可	直径 × 長さ	(mm)	114.3 × 600
	膨張弁		2-ATX-857F
エアフィルタ	型	2-CVRF-4	F-19
	流量 (l/min)		85
アブイタ	型	R-12	
	能力 (kcal/h)		22,400
アブイタ	型	R-12	
	能力 (kcal/h)		25,000
電源			三相200V 50/60 c/s

表 3.3 ヒートポンプ式ユニテ 納入台数一覧表  
(WATER TO AIR)

EU-50 H	DU-80 H	DU-100 H	大形パッケージ (11kW)
42	42	2	6

東海地区において 36-12-30 まで

清掃についても十分考慮を払わなければならない。これがため冷却管はフィン付の銅管とし滴液式のシエルアンドチューブ形とした。冬期水冷却器として使用する場合滴液式の共通の欠点である油返しについてはとくに考慮を払い、特殊な装置を施してあるため装置全体の油量は夏冬いずれの場合でも運転において変化することはない。また切換弁には EU-50 形について手動式の四方弁を設け夏冬の切換えは1個のハンドル操作で簡単に行なうことができるようにしてあり、DU-80 形については電動四方弁を設け切換スイッチの操作一つで切換えが可能であるため、切換時は非常に簡単に行なうことができる。

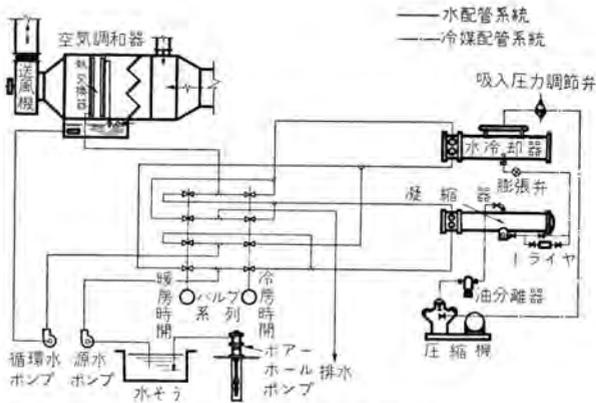


図 4.1 中央式空調装置系統図  
Fig. 4.1 System diagram of central type air conditioning apparatus.

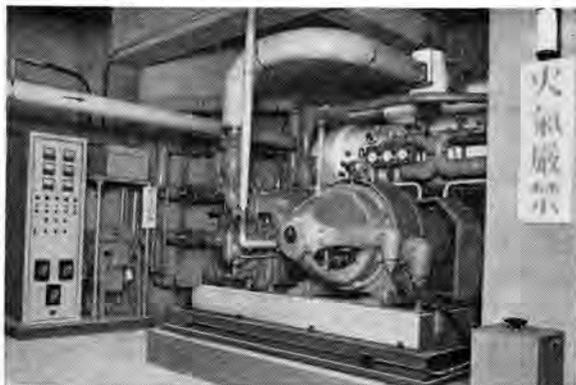


図 4.2 静岡産業会館納め MA-8B-F  
Fig. 4.2 MA-8B-F for Shizuoka Industrial Building.

その他温度調節器、湿度調節器、加湿スレイ装置などを内蔵して自動的に必要に応じ操作をなし、年間を通じ完全に空気調和を行なえるようになっている。

#### 4. 水切換式ヒートポンプ装置 (Water to Water 式)

この方式は室内室外側とも冷凍機を介し原水である地下水と二次冷媒である冷温水が熱交換を行なうもので、パッケージ形よりも大容量の中央式冷暖房装置に使用されている。冷凍サイクルは夏冬ともまったく同じで、逆サイクルを用いる必要はないが、原水および冷温水の系統を夏冬切換式となし、切換弁を操作容易な位置に集め、明確に正確に切換操作を行なえるようにしてある。大容量の中央

表 4.1 セントラルシステム、ヒートポンプ式冷凍機 納入先一覧表

納入先	機種	方式
小西湖	MA-4B-F (37kW)	W. TO. A.
名古屋相互銀行	MA-6B-F (55kW)	"
栄ビルの	MA-4B-F (37kW)	"
荒川ノーション	MA-8C-F (75kW)	"
高野精密屋	MA-8B-F (75kW)	"
三野	CB-640-V (30kW)	"
三野	CB-640-V (30kW)	"
大信ビル	MA-6B-F (75kW)	"
松葉喫茶店	CB-615-S (11kW)	"
名古屋セントラル	CB-630-V (22kW)	"
栄駅地下街	MA-6B-F (55kW)	"
栄町地下街	MA-8B-F (75kW)	"
長者町地下街	MA-6B-F (55kW)	W. TO. W.
住宅公園袋町ビル	MC-6B-F (22kW)	W. TO. A.
富山大和	MC-8B-F (29kW)	W. TO. W.
吉原市民会館	MA-6B-F (55kW)	"
愛知文化会館	MB-6C-H (195kW)	"
"	MB-4C-H (110kW)	"
食糧会館	MA-6C-F (75kW×2)	"
三晃社	MA-4B-H (55kW)	"
宮木ビル	MC-6B-F (22kW)	W. TO. A.
藤田ビル	MA-6B-F (55kW)	W. TO. W.
"	MC-6B-F (22kW)	"
静岡産業会館	MA-8B-F (75kW)	"
一宮日活	MA-4B-F (37kW)	"
富山パギレ屋	MC-8B-F (29kW)	"
三重製網	MC-6B-F (22kW)	"
NHK金沢	MA-8C-F (75kW)	"

W. TO. A. Water to air 式 35-12-30 まで  
W. TO. W. Water to water 式 東海地区において

方式となると冷凍機と調和器とが隔てられて据付けられることが多く、それがため直接冷媒配管を配り巡らすことは冷媒自体の漏れ個所を多くし事故のもとともなりやすいため、水を用いた方式のほうが広く普及されている。また調和器が2、3個所に分散されている場合などにもこの方式ならば簡単に行なうことができる。パッケージ形と同様温度調節器、湿度調節器、加湿スレイ装置などを設け、年間を通じ完全に空気調和を行なうことはもちろん保護装置についても電氣的にも機械的にも完璧を期されている。

#### 5. むすび

ヒートポンプ式冷暖房装置は早くから使用されてはいたが、冷房の発達と相まって暖房のために別の熱源としてボイラ電熱などを利用するより設備費、維持費において経済的である。ゆえに冷房があれば同じ装置で簡単に暖房も可能であるためヒートポンプ式冷暖房装置はさらにいっそう普及されることであろう。

# 冷凍機応用品 (36年度小形応用品)

静岡製作所 沖本政夫\*

## Applications of Refrigerators

Shizuoka Works Masao OKIMOTO

Refrigerators are used for many purposes. The most typical ones are: ice cream stockers, refrigerated showcases, dehumidifiers and water coolers. The ice cream stocker is now replacing a thermo bottle. The refrigerated show case is expanding its use as the increase in the consumption of milk and is also applicable to the storage of soft drink, ham and butter. The dehumidifier finds its way in the field of sanitation, preservation of chemicals, maintenance of electric insulation and prevention of other troubles caused by moisture. The water cooler will supply refreshing drinking water through the connection to the city water. They are all good for the betterment of our life.

### 1. ま え が き

三菱小形応用品としては、CM および CP 形アイスクリームストッカ、MP 形電冷ショーケース、MH 形除湿機、MD 形ウォータウーラの4機種である。

アイスクリームストッカは、従来課税品であったが35年度品より免税となり、アイスクリームの普及とともに需要が非常に伸びた。以前はマホービンが相当使用されていたが、ほとんどこれに置き換えられつつある。

電冷ショーケースは、食生活の改善により牛乳の需要が非常に増し、その貯蔵ケースが要求されて来た。このため牛乳ピンを主体に考え、その他軽飲料品、ハム、バターなどの貯蔵も考えたものである。

除湿機は、小形の床置きで取扱いが簡単、しかも経済的な除湿装置である。

ウォータウーラは、水道より給水し電源にプラグを継ぐた

けて、簡単につめたい水が直ちに得られるものである。

### 2. CM 形アイスクリームストッカ

#### 2.1 仕様

表2.1参照

#### 2.2 構造

キャビネット部分と冷凍装置部分からなっている。キャビネットにはアイスクリームを貯蔵する内箱と、これを出し入れするためのフタがある。庫内温度の保冷として内箱の周囲には熱絶縁としてガラスウールが充填してある。冷凍装置は、圧縮機(電動機)、放熱器、毛細管、冷却器、冷媒(R-12)などからなり冷却作用をする。庫内温度の調整は、自動温度調節器により圧縮機(電動機)を自動的にON、OFFさせて、つねに $-20^{\circ}\text{C}$ 前後になるようにしている。内箱は冷却器を兼ねておりアルミロールポ

表 2.1 CM アイスクリームストッカ仕様一覧表

形名	CM-030-6形	CM-045-6形	CM-050-5A-6形	CM-080-6形
項目				
キャビネット	鋼板製白色メラミン焼付	鋼板製白色メラミン焼付	鋼板製白色メラミン焼付	鋼板製白色メラミン焼付
内箱	アルミロールポンドアルマイト仕上	アルミロールポンドアルマイト仕上	アルミロールポンドアルマイト仕上	アルミロールポンドアルマイト仕上
有効内容積(L)	30	45	50	80
冷凍装置	全密閉形	全密閉形	全密閉形	全密閉形
圧縮機	単相 100 W 熱動安全器	単相 100 W 熱動安全器	単相 100 W 熱動安全器	単相 125 W 熱動安全器
電動機	起動コンデンサ付 100 V 50/60 c/s			
電源	自然通風式プレート形	自然通風式プレート形	自然通風式プレート形	自然通風式プレート形
放熱器				
性能 (外気 $30^{\circ}\text{C}$ )	$-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
温度調節	自動温度調節器付	自動温度調節器付	自動温度調節器付	自動温度調節器付
付属品	10W 50c/sケイ光灯 (点滅スイッチ付)スノコ、仕切板、照明広告文字板	20W 50c/sケイ光灯 (点滅スイッチ付)スノコ、仕切板、照明広告文字板	20W 50c/sケイ光灯 (点滅スイッチ付)スノコ、仕切板、照明広告文字板	20W 50c/sケイ光灯 (点滅スイッチ付)スノコ、仕切板、照明広告文字板
製品重量 (kg)	約 47	約 65	5A・約 66 6・約 60	約 67

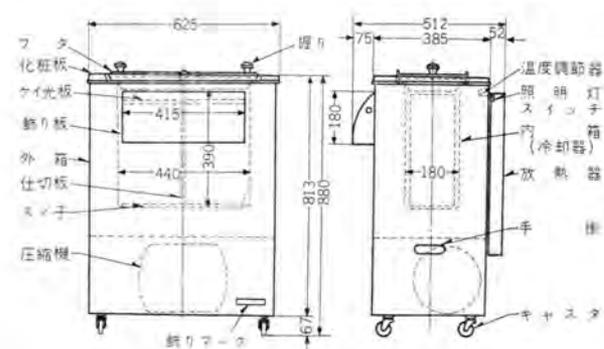


図 2.1 CM-030-6 形アイスクリームストッカ  
Fig. 2.1 CM-030-6 ice cream stocker.

ンド製である。アルミロールポンドの製法は、アルミ板に冷媒回路に相当するパターンを、特殊の圧着止めインクで印刷し、その上に別のアルミ板を重ね、熱間圧延して圧着する。つぎにインク印刷部に内部圧力を加えて膨管する。これを箱形に曲げて内箱とする。圧延したとき、2枚のアルミ板は熱間圧延により完全に1枚となり、板の中に冷媒回路ができるので、もっとも理想的なよい内箱(冷却器)ができる。

### 2.3 性能

全形とも、外気温度30°C、電源50c/sの条件下記の性能である。ただし、最低起動電圧は60c/sとする。

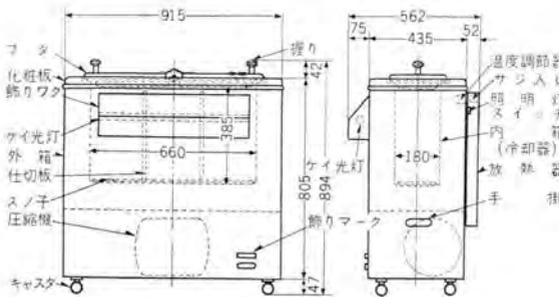


図 2.2 CM-045-6 形アイスクリームストッカ  
Fig. 2.2 Type CM-045-6 ice cream stocker.

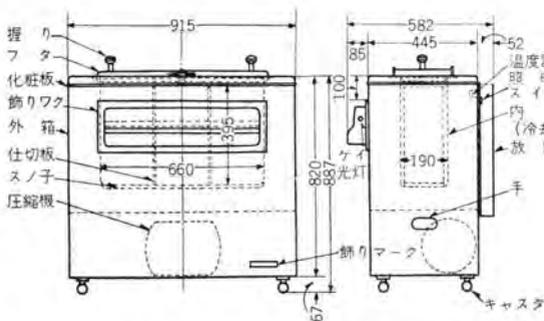


図 2.3 CM-050-5 A 形アイスクリームストッカ  
Fig. 2.3 Type CM-050-5 A ice cream stocker.

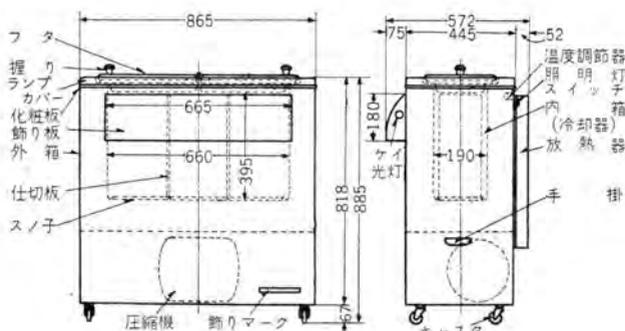


図 2.4 CM-050-6 形アイスクリームストッカ  
Fig. 2.4 Type CM-050-6 ice cream stocker.

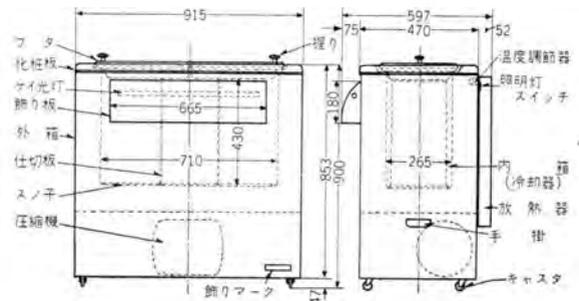


図 2.5 CM-080-6 形アイスクリームストッカ  
Fig. 2.5 Type CM-080-6 ice cream stocker.

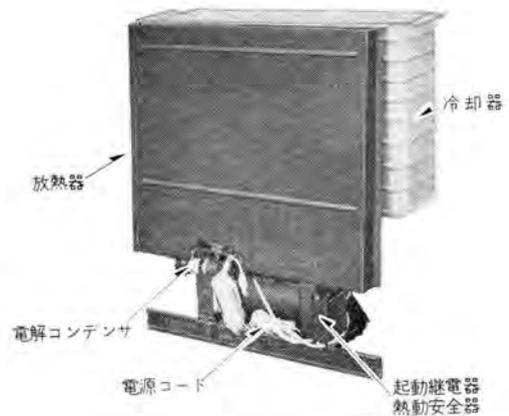


図 2.6 CM 形アイスクリームストッカユニット  
Fig. 2.6 Type CM ice cream stocker.

### 冷却試験

庫内温度 30°C から -20°C までに 降下する所要時間	120 分以内
自動運転時の運転率	
庫内温度 -20°C に調整したとき 保冷時間	約 80 %
庫内温度 -20°C から 0°C までに 上昇する所要時間	約 90 分
最低起動電圧	85 V
アイスクリームをもっともおいしく食べる温度は、-16°C とされている。したがって、アイスクリームストックの庫内温 度は、それより若干低い -20°C ± 2°C が最適である。	

## 3. CP 形アイスクリームストック

### 3.1 仕様

表 3.1 CP形アイスクリームストック仕様一覧表

項目	CP-048-6 形	CP-110-6 形
形名	CP-048-6 形	CP-110-6 形
キャビネット 外箱 内箱 総容積 (ℓ) 有効容積 (ℓ)	鋼板製白色メラミン焼付 アルミロールボンド、アル マイト仕上 48 40	鋼板製白色メラミン焼付 アルミロールボンド、アル マイト仕上 110 93
冷凍装置 圧縮機 電動機 電源 放熱	全密閉形 単相 125W 熱動安全器、起 動コンデンサ付 100 V 50/60 c/s 自然通風式プレート形	全密閉形 単相 125W × 2 熱動安全器、 起動コンデンサ付 100 V 50/60 c/s 自然通風式プレート形
性能 (外気 30°C)	-20°C ± 2°C	-20°C ± 2°C
温度調節	自動温度調節器付	自動温度調節器付
付属品	20W, 50 c/s ケイ光灯、(点 滅スイッチ付) スノコ、仕 切板、照明広告文字板	20W, 50 c/s ケイ光灯、(点 滅スイッチ付) スノコ、仕 切板、照明広告文字板

### 3.2 構造

CM 形と違う点は、フタが透明なガラス製でショーケー

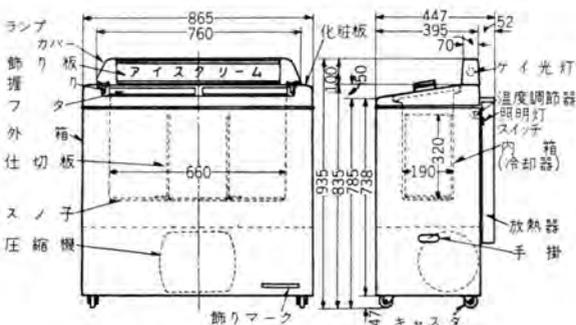


図 3.1 CP-048-6 形アイスクリームストック  
Fig. 3.1 Type CP-048-6 ice cream stocker.

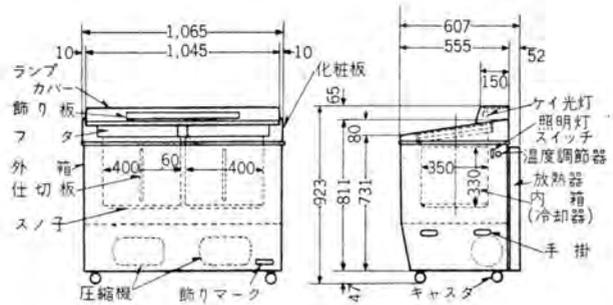


図 3.2 CP-110-6 形アイスクリームストック  
Fig. 3.2 Type CP-110-6 ice cream stocker.

式になっており、このためにできるだけ高さを低くし、かつ、上面を前傾させてある。フタのガラスは、特殊ガスを封入した 12 mm のペアガラスで、048-6 形がチョウガイの開閉式、110-6 形が車付のスライド式である。このスライド式のほうは、車とレールが庫内の低温度により氷結するのを防ぐために、レールの下にヒータが入れている。

上記以外は CM 形に準じている。

### 3.3 性能

CM 形に準じているが次の点が違っている。CP 形のフタはガラス製であるために、CM 形より庫内上部の温度が若干高い。このため庫内上部にロードラインを設定して、アイスクリームを安全に貯蔵できる範囲を明示してある。

## 4. MP 形電冷ショーケース

### 4.1 仕様

表 4.1 参照

### 4.2 構造

キャビネット部分と冷凍装置部分からなっている。キャビネットには牛乳、ジュースなどを貯蔵する内箱と、これを出し入れするためのトビがある。トビが前面につくのを A 形、後面につくのを B 形、前後両側につくのを AB 形と形名の中に折込んである。庫内温度の保冷として、内箱の周囲にガラスウールが充填してある。冷凍装置は冷却器、放熱器を除き他はアイスクリームストックと同じである。冷却器はアルミロールボンド製であるが、内箱を兼ねず、別個に内箱内上部にある。冷気は自然対流により庫内を冷却する。庫内温度は、自動温度調節器により、圧縮機(電動機)を自動的に ON, OFF させる。

表 4.1 MP 形電冷ショーケース仕様一覧表

形名	MP-110 A-6 形	MP-110 B-6 形	MP-220 B-6 形
外箱	鋼板白色メラミン焼付	鋼板白色メラミン焼付	鋼板白色メラミン焼付
内箱	※	※	※
前面	ベアガラス	ベアガラス	ベアガラス
上前面	ガラス引戸	—	—
上面	ゴムマット	ゴムマット	ゴムマット
背面	—	1枚トビラ (マジックハンドル)	2枚トビラ (観音開きマジックハンドル)
冷凍装置	全密閉式 100V 100W 50/60 c/s 熱動安全器 起動コンデンサ 電源コード 4m付	全密閉式 100V 100W 50/60 c/s 熱動安全器 起動コンデンサ 電源コード 4m付	全密閉式 100V 125W 50/60 c/s 熱動安全器 起動コンデンサ 電源コード 4m付
付属品	たな スノコ (分割取出可能) ゴムマット 温度指示計 ドレインホース	たな スノコ (分割取出可能) ゴムマット 温度指示計 ドレインホース	たな スノコ (分割取出可能) ゴムマット 温度指示計 ドレインホース
貯蔵量	牛乳ビン 158 本 またはバター (225g入) 220 個	牛乳ビン 158 本 またはバター (225g入) 220 個	牛乳ビン 315 本 またはバター (225g入) 440 個
温度調節	自動温度調節器	自動温度調節器	自動温度調節器
照明装置	10W ケイ光灯 (点滅スイッチ付)	10W ケイ光灯 (点滅スイッチ付)	20W ケイ光灯 (点滅スイッチ付)
庫内温度	7°C±3°C (室温35°C直射日光を受けず)	7°C±3°C (室温35°C直射日光を受けず)	7°C±3°C (室温35°C直射日光を受けず)
製品重量 (kg)	約 71	約 90	約 115

4.3 性能

温度調節器の調整により約1~10°Cの範囲に庫内温度を保持できる。なお、全形とも外気温35°C、電源50 c/sの条件下記の性能である。

冷却試験

庫内温度35°Cから10°Cまでに  
 降下する所要時間 90分以内

自動運転時の運転率

庫内温度を10°Cに調整したとき  
 約75%

最低起動電圧 85V

牛乳やジュースなどの飲み物は7°Cから10°C、バター、チーズ、ハムなどは3°Cから5°Cが最適貯蔵温度とされている。なお牛乳は末端の消費者に渡るときの温度が10°C以下と法

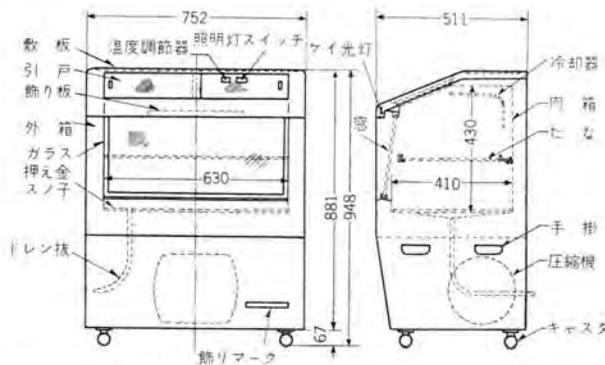


図 4.1 MP-110A-6形電冷ショーケース  
 Fig. 4.1 Type MP-110 A-6 refrigerated showcase.

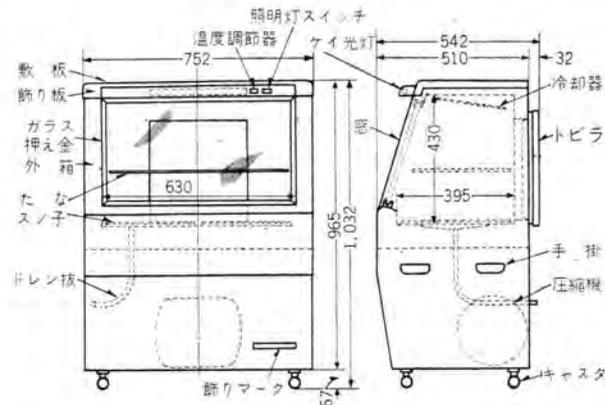


図 4.2 MP-110B-6形電冷ショーケース  
 Fig. 4.2 Type MP-110 B-6 refrigerated showcase.

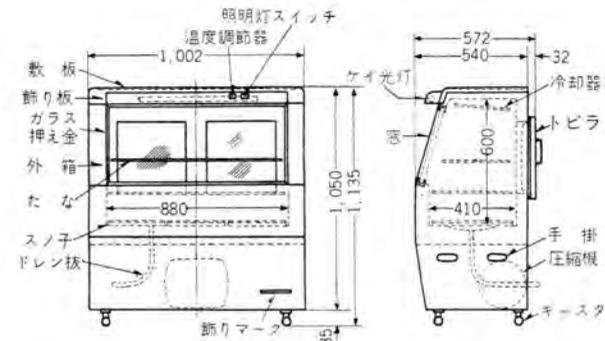


図 4.3 MP-220B-6形電冷ショーケース  
 Fig. 4.3 Type MP-220 B-6 refrigerated showcase.



図 4.4 MP 形ユニット  
Fig. 4.4 Type MP Unitaire.

表 4.2 外気温度と ケース内温度 に対する ダイヤル の位置

外気温度	形名		MP-110A-6		MP-110B-6		MP-220B-6	
	ケース内温度		7±3°C	3±2°C	7±3°C	3±2°C	7±3°C	3±2°C
20°C			1	4	2	5	0	5
25°C			1~2	4~5	3	6~7	1	6
30°C			2~3	5	4	7	3	7
35°C			3~4	—	5	—	5	—

注 1. 上表を基準にするが 引戸 または トビラの開閉回数 冷却器についた霜の厚さなどにより多少の相違がある。

規で規定されている。

庫内温度は、貯蔵する品物により使用者で決め、大体表 4.2 により温度調節器のダイヤル位置を決定する。

## 5. MH 形除湿機

### 5.1 仕様

表 5.1 MH 形除湿機仕様

外形寸法	幅 365×奥行 515×高さ 630
キャビネット	鋼板製 メフミン焼付仕上
除湿装置	全密閉形 单相 100 W, 熱動安全器, 起動コンデンサ付 100 V 50/60 c/s 強制通風式フィンチューブ形 25 cm
性能	8.5 l/24h (於室温 30°C 関係湿度 80%)
付属品	6 l 入ドレン受
製品重量	約 50 kg

### 5.2 構造

キャビネットと除湿装置部分からなっている。キャビネットは、前面と後面に空気の入出口としてアルミのエキスパンドした板が付けてある。除湿装置は、圧縮機(電動機)、放熱器、毛細管、冷却器、冷媒等からなり、放熱器用と除湿のための空気の循環用を兼ねた、ファンが付いている。なお、起動、停止用として押しボタンスイッチが付いている。

### 5.3 性能

この除湿機の使用限界は、室温 35°C、関係湿度 90% から、室温 20°C、関係湿度 50% までである。



図 5.1 MH 形除湿機

Fig. 5.1 Dehumidifier.

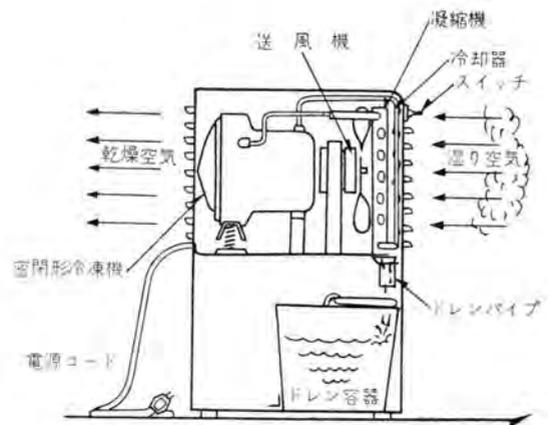


図 5.2 除湿機動作構造図

Fig. 5.2 Construction of dehumidifier.

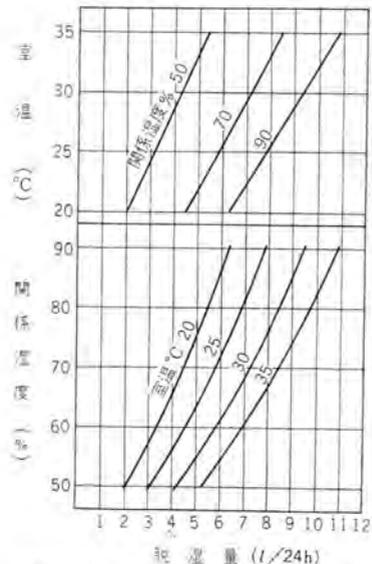


図 5.3 MH 形除湿機性能曲線図

Fig. 5.3 Type MH dehumidifier performance curves.

## 6. MD 形ウォータクーラ

### 6.1 仕様

表 6.1 参照

### 6.2 構造

キャビネットと冷凍装置部分からなっている。飲料水の冷却のため衛生的な面にとくに注意をし、キャビネット上部のボンネットと冷凍装置の水そうをステンレス製にし、水



図 6.1  
MD-025B-6 形  
ウォーターラ  
Fig. 6.1  
Type MD-025B-6  
water cooler.

表 6.1 MD-025B-6 形ウォーターラ仕様

キャビネット 外箱 前面板 ボシネット 断熱材	仕上銅板製メフミン焼付 (色調カラーハーモ ニ 14 PI) " (色調カラーハーモニ 15 ni) ステンレス銅板製 ガラスウール
冷凍装置 圧縮機 圧縮機用電動機 凝縮器 凝縮器用電動機 冷却器 冷媒 過負荷保護装置 温度調節装置	密閉閉形 (電動機直結式) 分相起動単相誘導電動機 100V 200W 50/60 c/s フィンチューブ形強制通風式 分相起動単相誘導電動機 100V 3.5/6W 50/60 c/s 銅管製コイル R-13 熱動安全器 自動温度調節器
水配管系統 水槽 水管 給水口 排水口 流水開閉口	ステンレス銅板製 脱酸銅管 P T 3/8 (管用テーパネジ) P T 1/2 ( " ) 押ボタン弁 (自動水量調整弁付)
性能 能力 温度調節範囲	25 l/h (室温 30°C 入口水温 30°C 出口水温 16 ±2°C) 自動温度調節器で調節可能

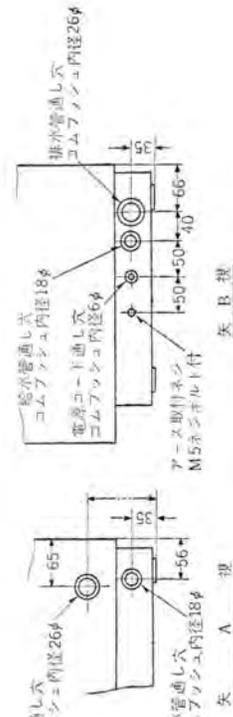


Fig. 6.2 Type MD water cooler.

配管は脱酸銅管にしてある。左右側面下部には、放熱器通風用の窓がある。なお、水を扱う関係、万一の場合を考えアース取付用ネジが付けてある。冷凍装置は、圧縮機 (電動機)、放熱器、毛细管、冷却器、冷媒 (R-12) などからなり冷却作用をする。飲料水温度の調整は、自動温度調節器により、圧縮機 (電動機) を自動的に ON, OFF させる。

### 6.3 性能

温度調節器の調整により約 10°C から 18°C の範囲に飲料水温度を調節できる。

### 7. むすび

以上簡単ではあるが、三菱36年度小形応用品について説明した。これらの製品は、営業用でなく一般家庭にもおいおい普及し、家庭電化製品としてその将来を期待されるものであると思う。今後新製品の研究に力を入れて、使いやすい、しかも、品質、性能ともによくなった製品にすべく、努力して行きたいと思う。

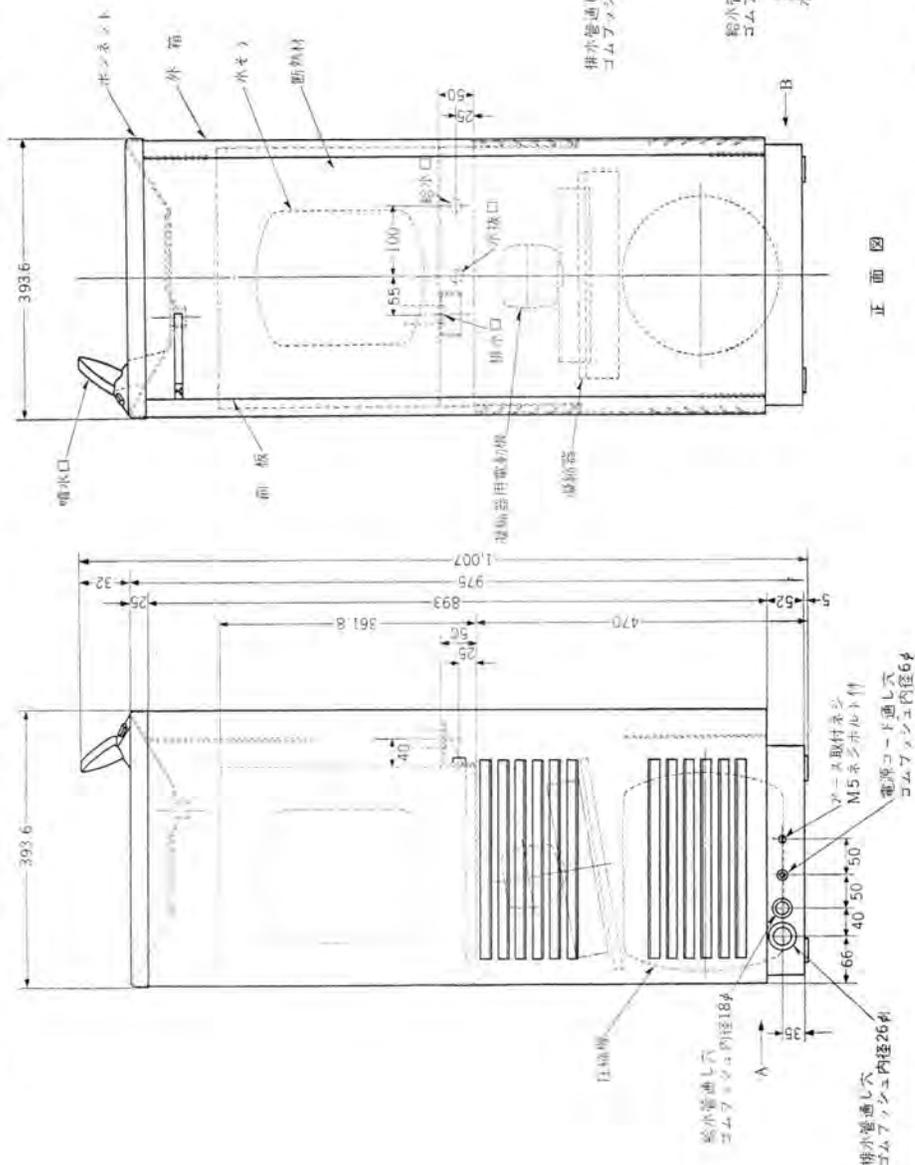


図 6.2 MD 形ウォーターラ-5

# 新 小 形 開 放 形 冷 凍 機

和歌山製作所 山 本 喬 夫\*

## New Small Open-Type Refrigerating Units

Wakayama Works Takao YAMAMOTO

Refrigeration has come into our daily life with the elevation of living standard. With this trend small open type condensing units, once displaced by hermetically sealed machines, are coming to the front again. To cope with the situation, Mitsubishi has developed small, inexpensive, yet high performance open type units consisting of a compressor, of high speed, a condenser and a motor. For the adaptation to various uses, a number of improvements have been brought in the design, a fixed type slip ring of phosphor bronze bellows used for shaft seal being one of them. Open type units with their own merits hold out promise in new field.

### 1. ま え が き

文化の発達、生活の改善向上により、冷凍機の需要が近年急激に増加し、その用途も複雑になってきた。使用温度はヒートポンプから低温ストッカに至る広範囲に及び、新冷媒も進出してきて多種にわたるようになり、これらの用途に対応できる冷凍機が要求されるようになった。また狭隘な場所や、小形応用品に使用するために、小形なものが要望されるようになった。

このために、これらの要求にもっとも適応した、安価にして高性能な冷凍機を開発する必要にせまられ、新系列にて開発を行ない、一部はすでに市場に出ているが、これら新形の冷凍機についてご紹介する。

### 2. 小形開放形冷凍機

冷凍機は、蒸発した低温低圧の冷媒ガスを吸入して高温高圧のガスとする作用を行なう圧縮機と、圧縮機から吐出された高温高圧のガスを水あるいは空気により冷却して液化させる役目を行なう凝縮器と、圧縮機を駆動する電動機と、運転状況を見るメータ類とからなり、これらを同一架台に設置したものである。したがって圧縮機と凝縮器とは、性能上冷凍機の主体をなすものである。

冷凍機用圧縮機には、圧縮方式により分類すると

- 往復圧縮機
- ロータリ圧縮機
- ターボ圧縮機

があり、往復式には単動往復式と複動往復式とがある。ターボ式と複動往復式は大形のものに使用され、小形のものには単動往復式とロータリ式とが使用される。ロータリ圧縮機は主として小形密閉形として生産され、往復式に比して、構造が簡単で小形になり、バランスがよくて振動が少ない長所があるが、一方工作精度が問題で寿命が短く、圧縮比が大きい場合効率が悪いなどの欠点がある。このため小形冷凍機用としては、単動往復式がもっとも適当な形式である。

単動往復式圧縮機のシリンダ配列にはつぎの形式がある。

- 立形（直立）
- 横形
- V形あるいはW形

立形はシリンダが一直線上にならび、弁板とシリンダカバーがただ一つでよいので、もっとも安価になる構造である。小形冷凍機用としては直立2気筒形がもっとも多いのもこのためである。横形は対向形にするとバランスがよいが、開放形に使用する場合給油の点で問題があり、密閉形や半密閉形に使用されるが、開放形にはあまり使用されない。V形あるいはW形は2.2kW程度以上のものに使用され、バランスがよくて振動が少なく、小形でコンパクトになる特長がある。

冷凍機用圧縮機の駆動方式には

- 開放形
- 密閉形
- 半密閉形

がある。開放形は圧縮機と電動機とを別個に設置し、ベルトにより駆動するか可撓性継手により直結駆動するかするものである。密閉形は圧縮機と電動機を同一室内に納めて一つのカバーの中におおい密封したものであり、半密閉形は電動機のステータとロータをクランク室の一部に密閉した形状のものである。密閉形はもっとも小形でコンパクトになり、量産により安価になるため、次第に開放形から密閉形に移る傾向にある。しかしながら開放形にはつぎに述べる特長があり、現在もなお種々の用途の商業用工業用の小形冷凍機用として広く使用されている。

開放形冷凍機の特長

(1) 圧縮機は電動機の定格容量に合うように系列がつくられるが、開放形は一般にベルト駆動であるため、回転数をかえて圧縮機の容量を変えたり、使用温度に適合した仕様にするので、使用目的に応じてもっとも能率的経済的な運転条件で使用することができる。

(2) 密閉形に比較して、保守や点検が非常に簡単である。

(3) 構造が簡単であり、取扱いが容易である。

(4) 圧縮機あるいは電動機をそれぞれ別個に取替え使用することができる。

冷凍機用冷媒としては、フロン系統の冷媒、メチルクロライド、アンモニア、亜硫酸ガスおよび炭酸ガスなどがあるが、小形冷凍機用としては一般にフロン系統のものとメチルクロライドが使用されている。フロン系統の冷媒は、爆発性のないことと毒性のないことによって、急激に普及してきた。近々メチルクロライドの使用がほとんどなくなり、フロン系冷媒が完全に代わるものと思われる。

### 3. 新小形開放形冷凍機の概要

#### 3.1 系列

圧縮機は構造が簡単・取扱いが容易で耐久力がすぐれていて、大きな圧縮比にも効率のよい単動往復式圧縮機を採用している。その容量寸法は、気筒数・気筒径・行程および回転数で決まるが、これらは使用する電動機と冷媒によって決定される。

前述のように圧縮機は、電動機の定格容量に合うように系列がつくられるが、生産台数の少ない場合は、同一の圧縮機で回転数をかえて、異なった容量の電動機と組合せて使用することが多い。この場合その圧縮機を最高能率の回転数で使用することができなため、ある程度非能率な運転に甘んじなければならなかったり、各部の構造もいくぶん不経済な設計になったりすることがさげ

表 3.1 新形冷凍機表

新機種名	圧縮機形名	電動機容量 (kW)	冷媒	回転数 (rpm)	冷凍能力 -15°C (kcal/h)	重量 (kg)	旧機種名	重量 (kg)
KR-6A-04	L2	0.4	R-12	750	630	70	CA-650H	112
KR-6W-04	L2	0.4	"	830	770	79	CW-650H	106
KR-6A-08	N2	0.75	"	780	1,180	82	CA-6100H	107
KR-6W-08	N2	0.75	"	850	1,500	87	CW-6100H	101
KR-6W-15	E2	1.5	"	780	3,050	143	CW-6200R	210
KR-7W-10	N2	1	R-22	650	2,000	88	—	—
KR-7W-15	N2	1.5	"	900	2,850	126	CW-7200H	112
KR-7W-22	E2	2.2	"	680	4,300	158	CW-7300R	225

注 実用試験用機生産中あるいは開発試作中の機種は除く

られない。今回開発の新系列の冷凍機においては、これらの点を考慮して、各圧縮機ともその定格容量にもっとも適した設計になっていて、経済的な設計と能率な運転ということをも重要視してつくられている。

フロン系の冷媒は、冷媒として最適の性質をもっているために、その市場占有度は順次高くなってきている。新形冷凍機はフロン専用の機種として設計していて、R-12用冷凍機とR-22用冷凍機の系列に大別している。圧縮機はR-12を使用してもR-22を使用しても、そのもっとも能率な回転数で使用することができる十分な強度と耐久度とを有している。

#### 3.2 気筒数・気筒径・行程

所要の容量を得るために、気筒数・気筒径・行程・回転数をいかに選定するかということは、圧縮機の設計においてももっとも重要なことである。材料の進歩は冷凍機の高速度を可能ならしめた。しかしながら実際の設計に際しては、使用される用途が千差万別であるため、強度上耐久度上十分なゆとりのある設計が必要である。

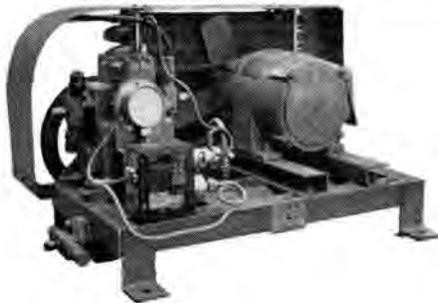


図 3.1 KR-6A-04 形  
Fig. 3.1 Type KR-6A-04.

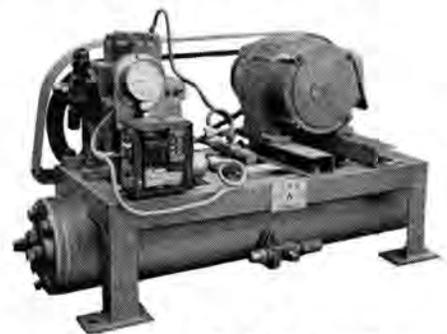


図 3.2 KR-6W-04 形  
Fig. 3.2 Type KR-6W-04.



図 3.3 KR-6A-08 形  
Fig. 3.3 Type KR-6A-08.

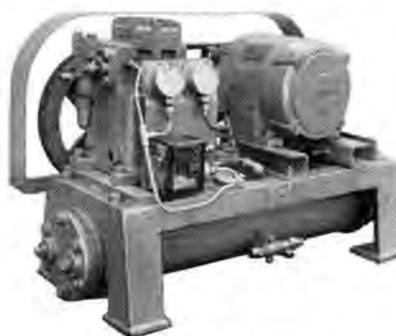


図 3.4 KR-6W-15 形  
Fig. 3.4 Type KR-6W-15.

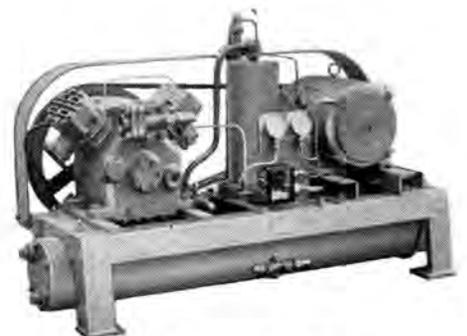


図 3.5 KR-6W-37 形  
Fig. 3.5 Type KR-6W-37.

気筒径は使用する弁の構造から制約をうける。とくに小形機では、高速化した場合に気筒径の大きいほうが、弁穴の流速や弁リフト部分の流速を適当なものにした弁面積がとれやすい。一方気筒径が大きい場合は、駆動部分を堅牢にする必要があって不経済な圧縮機となり、起動もまた悪くなる欠点がある。気筒径の選定にはこれらの点の考慮が必要である。

気筒数はシリンダ配列に関係する。直立2気筒形は、構造が簡単で加工が容易であり、小形のものにもっとも適した構造である。2.2kW用以下のものにはこの形状を採用している。3.7kW用以上のものは、つぎの点からV形4気筒としている。一般に圧縮機がある程度大きくなると、気筒数を多くしたほうがかえって経済的である。

### V形の特長

- (1) 小形でコンパクトな形状となる。
- (2) バランスがよくて振動が少ない。
- (3) 起動がよい。
- (4) 弁構造の点から、大き過ぎる気筒径は弁の強度が弱く耐久度が低い。
- (5) 駆動部分の部品が小さくてすむ。

行程は小さいほうが、ピストン速度が小さくてシリンダの摩耗が少なく、バランスがよくて振動が少なく、強度上からも無理がなく、圧縮機も小形なものになる。とくに小形機では、クランク軸を偏心形にして、大端部一体の連接桿とすることができるため、構造が簡単なものとなる。その反面、気筒径の割合に行程が小さ過ぎると、クリアランス容積比が大きくなり効率が低下する欠点がある。また行程を小さくすると、それだけ回転数を高くする必要もあって、つぎの回転数の項で述べる欠点のため制約をうける。

気筒数・気筒径・行程の決定は、圧縮機の設計方針のもっとも根幹となる事項で、非常にむずかしい問題である。新形圧縮機では、諸種の点を検討して、表3.2のような寸法としている。

表 3.2 圧縮機主要諸元一覧表

圧縮機形名	気筒数	気筒径 (mm)	行程 (mm)	重量 (kg)	吸入配管	吐出配管	Vベルト車径 (P.C.φ, mm)	駆動Vベルト	備考
L2	2	40	30	17.4	12	10	210	A形1本	
N2	2	50.8	35	23.1	16	12	218	A形2本	
E2	2	60	50	40	25	19	300	B形2本	
E4	4	60	60	81	22	2-16	400	B形3本	実用試験用機生産中
P4	4	75	70	—	32	2-16	430	B形4本	試作中

### 3.3 回転数

小形開放形圧縮機の回転数は、材料の進歩や構造の改良とともに漸次高くなってきている。現在市場に出ている冷凍機を回転数より分類すると、つぎのようになるものと思われる。

- 低速形 400 rpm 以下
- 中速形 500～600 rpm
- 高速形 800 rpm 以上

圧縮機の小型化は、主として高速化によって達せられ

る。一方高速化するためには、諸種の問題を解決しなければならない。回転数は前述の気筒数・気筒径および行程と関連して決定されるが、つぎに述べる事項も検討して、種々な用途に使用しても十分なものでなければならない。

回転数はしゅう動部の速度や回転部分の周速度からも制約される。ピストン速度や軸受面の周速度が適当なものでなければならないが、とくに開放形の特長である軸封装置がその構造上問題である。軸封装置はしゅう動面で冷媒ガスを密封する構造のため、適当な面圧が必要であり、一方回転数が高くなるとしゅう動面の周速度が大となる。このためしゅう動面の摩耗が大きくなり、軸封部分よりガス漏洩する恐れを生ずる。

回転数が高くなると、振動が大きくなる原因にもなる。そのためには往復質量をできるだけ減少して、バランスをよくする必要がある。また音響も回転数がある程度以上に高くなると急激に大きくなるため、この点の考慮も必要となる。

冷凍機用圧縮機の弁は自動弁であるため、回転数が高くなると弁の作動遅れを生じ効率が低下する。このため弁部分のガス流速とともに、弁部分の構造が問題となる。

高速化するためには、上記の諸点を解決して適当な回転数にしなければならない。それぞれの対策については、圧縮機の構造の項において述べることにする。新形圧縮機においては、これらの点を考慮して、700～900 rpm を標準として設計している。

### 3.4 給油

小形開放形圧縮機では、構造が簡単で確実なはねかけ方式が一般に採用されていて、強制給油方式はしばしば故障の原因になるのであまり採用されていない。新形圧縮機においても、すべてのはねかけ給油方式である。給油部分は主軸受・連接桿メタル・ピストンピン・ピストンなどのしゅう動部分や回転部分であるが、開放形においては軸封部分への潤滑がもっとも大切である。潤滑が悪ければ軸封部分の摩耗が促進されて、ガス漏洩の原因となる。

一方必要以上に油をはねかけると、圧縮機の油吐出が多くなり、多量の油が冷媒回路を循環するため、冷凍能力を低下させるとともに、凝縮器や冷却器の性能を低下させる。また圧縮機の油吐出が極端に多い場合は、弁を破損させることもある。

冷凍機用圧縮機においては、しゅう動部分や回転部分への潤滑が十分であるとともに、油吐出をできるだけ少なくしなければならないので、はねかけ方法やクランク室の構造など問題があり、新形圧縮機においては、これらの点を種々検討している。

### 3.5 凝縮器および架台

冷凍機を小形で高能率のものにするためには、凝縮器の改良を無視することができない。最近は何々の新しい材料が開発されて、各種の熱交換器も非常に小型化されてきている。凝縮器には種々の形式のものがあるが、小

形冷凍機用として一般に使用されているものはつぎのものである。

フィンチューブ式凝縮器 (空冷式)

横形シェルアンドチューブ式凝縮器 (水冷式)

フィンチューブ式空冷凝縮器は、フィン付冷却管の内部に冷媒ガスを通し、外部をファンにより空冷して、冷媒ガスを凝縮液化させる形式のものである。空冷式は、冷却水が不要で据付が簡単であるが、凝縮温度が水冷式に比して高くなり、かつ凝縮器の寸法が大きくなるため、小形のものあるいは冷却水設備困難な場合に使用される。

フィンチューブ式空冷凝縮器の性能を向上して小形化することは非常に困難である。フィンピッチが小さ過ぎたり、列数を増加して奥行が大き過ぎると、通風量が少なくなると、かえって性能が悪くなる。また性能をよくするために風速を大きくし過ぎると、はなはだしい騒音を発生する。したがって、各系列の冷凍機にもっとも適当な、冷却管の大きさと配列ならびにフィンピッチに、凝縮器の寸法に応じたファンを組合す以外に方法がない。新形のフィンチューブ式空冷凝縮器では、0.75kW用以下のものを標準品とし、1.5kWおよび2.2kW用のものは必要に応じて生産している。

横形シェルアンドチューブ式水冷凝縮器は、横に設置した胴の内部に多数の冷却管を通して、冷却管内に冷却水を流し、冷却管外の冷媒ガスを凝縮液化させる構造のもので、もっとも構造が簡単でかつ効率のよいものである。

横形シェルアンドチューブ式水冷凝縮器の冷却管には、最近インナーフィンチューブなどの新しい性能のよいものができているが、まだ市場性が少ないので、一般にはローフィンチューブが使用されている。フィンチューブは裸管に比して性能がよく、凝縮器ははなはだしく小形になる特長がある。

新形の凝縮器では、0.75kWおよび0.4kW用の小形なものには特殊なフィンチューブを使用し、1.5kW用以上のものにはローフィンチューブを使用して小形化している。また新形の凝縮器では、冷却水入口および出口配管を一方に集めて、配管を便利にしている。なおこの冷却水の出入口は、給水方向を左右とりかえれば、反対側にすることができる構造になっている。

以上で述べた形式以外に、小形のものでは二重管式凝縮器も一部に使用されている。二重管式凝縮器は、二重管の内管に冷却水を流し、内管と外管との間に冷媒ガスを通すような構造のものである。二重管式は水量が少なくてもよいが、構造が割合複雑になり、あるいは冷却管の清掃が困難な構造にもなるので、今後さらに改良の余地

があり、新形の凝縮器にはこの形式を採用していない。

圧縮機・凝縮器および電動機を設置する架台は、まとまりがよくて強度上十分であることはもちろん、振動の点をとくに考慮する必要がある。冷凍機の振動源は圧縮機と電動機とであり、とくに圧縮機には往復部分があるのでその振動は大きい。架台の振動を少なくするためには、その重量や固有振動数の適当なものを選定しなければならない。新形冷凍機の台つは、下方に凝縮器をだきかつ高さを低くして、できるだけ重心を下げるとともに、架台支持点の間隔を小にして、ねじりに対して強度をもたせ、もっとも振動の少ないよう圧縮機や電動機の配置を考慮している。なおベルトの振動の影響は割合大きいので、ベルトの長さを圧縮機の振動に共振しない長さとしている。

冷凍機には種々の配管と操作弁が取付けられる。圧縮機から凝縮器への配管は、圧力損失やガスの脈動を少なくするため、適当な大きさと長さになっている。また圧力計などへの配管には、ガス圧の脈動を防ぐとともに、油の流入を防ぐように考慮している。操作弁はしばしば操作する必要があるため、もっとも操作しやすい位置で、かつ配管に便利な配置にしている。

4. 新形圧縮機の構造

4.1 弁部分

弁部分は圧縮機の性能上もっとも重要な部分である。弁部分は吸入弁・吐出弁・弁押えおよび弁座を構成する弁板などの部品からなり、構造上からいえば、吸入弁と吸入弁座および吐出弁と吐出弁座とからなっていて、それぞれ圧縮機の体積効率および圧縮効率に関係するものである。

冷凍機用の弁の形状としては、リード弁、フェザー弁、リング弁など種々の形状のものを使用されている。これらの形状のうち、小形冷凍機用として、また冷凍用冷房用など種々雑多な用途に能率よく使用されるものとしては、リード弁がもっとも適当である。新形圧縮機には、図4.1に示す形状のリード弁を使用している。吸入弁は2個のピンによって位置決めされて、片方はクランク室と

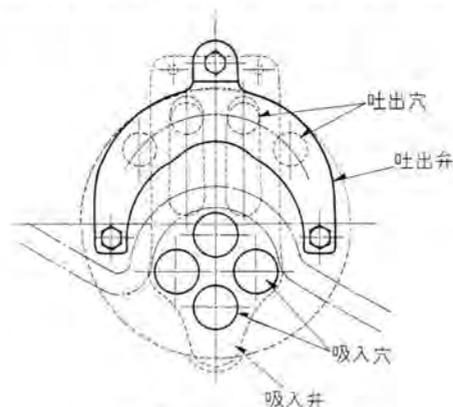


図 4.1 弁部分

Fig. 4.1 Valve and valve seat.

表 3.3 水冷式凝縮器

冷凍機形名	寸法 幅×長さ (mm)	内容積 (L)	重量 (kg)	冷却水配管	冷媒出配管	冷却管		備考
						外径	表面積 (m <sup>2</sup> )	
KR-6W-04	140×705	7.3	22.0	1/2	10	1.23	フィンチューブ	
KR-6W-08	140×705	7.3	22.1	1/2	10	1.84	"	
KR-6W-15	165×855	12	32.3	3/4	12	1.27	ローフィンチューブ	
KR-6W-22	165×963	14	35.2	3/4	12	1.48	"	
KR-6W-37	191×1305	26	55.0	1	16	2.45	"	実用試験用機生産中
KR-6W-55	191×1305	26	(60.2)	1	16	3.67	"	試作中

弁板とはさまれて支持され、他端は吸入弁座に接触して開閉する構造になっている。吐出弁は馬蹄形で、両端がボルトで弁板に固定されていて、吐出弁座が吐出弁に沿って設けられている。吐出弁の上には吐出弁の開きを制約する弁押えが設けられていて、吐出弁を保護する役目を行なっている。

冷凍機用の弁は、圧力差によって自動的に開閉する構造であるため、弁の開閉は迅速軽快でなければならない。弁の開閉が軽快でなければ、開閉に大きな圧力差が必要となり、弁の開閉が迅速でなければ、弁の作動遅れが生じ、ともに効率の低下をきたすことになる。また弁の耐久度を増すためには、弁の衝撃が少ないことが必要である。弁の開閉が迅速軽快で衝撃を少なくするためには、弁は強靱柔軟で、薄くてじょうぶな材料であることが必要であり、このために一般にスエーデン製バナ鋼板を使用している。また弁の材料がよいこととともに、弁の開き（以下リフトという）ができるだけ小さいことが必要である。

弁の効率をよくし耐久度を大にするためには、弁座穴および弁リフト部分のガス通路の圧力損失が少ないこともまた必要である。このためにはガス通路の面積が大きくて、通路の長さが短くかつ急激な方向転換がなく、またガス流速ができるだけ小さいことが必要である。新形の圧縮機では、弁座穴および弁リフト部分のガス通路面積を大きくするため、吸入穴および吐出穴を2～4個設けている。このため弁座穴とくに弁リフト部分のガス流速は穴が1個のものに比べて、非常に小さくなっている。

表 4.1 弁部分表

圧縮機形名	クリアランス容積 (cm <sup>3</sup> )	クリアランス容積比 (%)	標準回転数 (rpm)	ピストン平均速度 (m/sec)	吸入穴流速 (m/sec)	吐出穴流速 (m/sec)	吐出穴流速 (m/sec)
L 2	1.08	2.87	830	0.83	13.6	0.59	16.9
N 2	2.25	3.20	850	0.99	9.5	0.74	23.6
E 2	3.76	2.65	780	1.30	13.0	0.97	16.9
E 4	〃	2.22	〃	1.56	15.6	1.17	20.2
P 4	6.20	2.00	(800)	(1.87)	(18.2)	(1.40)	(21.9)

圧縮機の体積効率をよくするためには、ピストンが上死点においてピストン頭部と弁座との間の隙間容積（以下クリアランス容積という）ができるだけ小さいことが必要である。クリアランス容積が大きいと、この部分の再膨張のために効率ははなはだしく低下する。高速回転の場合には、気筒径に比べて行程は割合小さいので、クリアランス容積比が大きくなる傾向となる。新形の圧縮機ではクリアランス容積を極力少なくした設計にしているため、体積効率は中速の回転数のものとほとんど変わらない。新形圧縮機のクリアランス容積および容積比を表 4.1 に示している。

## 4.2 駆動部分

### (1) ピストン

ピストンには耐摩耗性のアルミ合金鋳物を使用している。新形機は回転数が高くなったが行程は小さいので、ピストン速度は中速回転の圧縮機と変わらない。ピストン上部には2本のピストンリングを挿入してガス漏洩を防止し

表 4.2 往復動部分質量

圧縮機形名	往復質量 (kg)	ピストン面積 1cm <sup>2</sup> 当たりの往復質量 (kg)
L 2	0.117	0.009
N 2	0.202	0.010
E 2	0.298	0.011
E 4	0.306	0.011
P 4	0.498	0.011

ていて、スカート部分にはオイルスクーパー部を設けて、ピストン部分からの油上りを防止している。

圧縮機の回転数が高くなると、振動が大きくなりやすい。新形圧縮機では、ピストンにはアルミ合金鋳物を使用し、接続棒にはアルミ合金鍛造品を使用し、往復部分の質量を軽減して、不平衡力を少なくしている。したがって圧縮機の振動は非常に減少している。その反面アルミ合金の使用のために、メチルクロライドを使用することができなくなっている。

ピストンにはピストンピンを静合させているが、万一ピストンピンが移動するとシリンダを傷つけるため、N 2 形以下の小さなものには、ピストンピンの両端に銅の端金を入れ、E 2 形以上のものにはスナップリングで移動止めを確実にしている。

### (2) クランク軸および接続棒

クランク軸は大きな繰返し曲げおよびねじり応力を生ずるため、十分な強度の寸法とするとともに、材料にはニッケルクローム肌焼鋼の鍛造品を使用している。N 2 形および L 2 形はクランク半径が小さいため、クランク軸は偏心形としている。E 2 形以上のものはクランク半径が大きいのでクランク形にしている。

クランク軸のトルクを伝達する接続棒は、屈曲および衝撃に対して強いとともに、軽量であることが必要であるので、前述のように高抗張力のアルミ合金鍛造品を使用し、I 字形断面にしている。N 2 形および L 2 形の接続棒は大端部一体形で簡易化している。E 2 形以上はクランク軸はクランク形であるため、大端部分割形で、メタルにはホワイトメタルを使用し、リーマボルトで締め付けている。

表 4.3 接続棒

圧縮機形名	行程 S (mm)	中心距離 L (mm)	L/S/2	ピストンピン径 (mm)	クランクピン径 (mm)	クランク軸形式
L 2	30	75	5.0	12	45	偏心形
N 2	35	86	4.9	14.3	50.8	〃
E 2	50	120	4.8	18	35	クランク形
E 4	60	155	5.1	18	40	〃
P 4	70	170	4.8	22	50	〃

接続棒長さとクランク半径の比が小さいと、シリンダ壁への横圧力が大きくなり無理を生じるが、その反面圧縮機が小形になる。また接続棒が短か過ぎると、クランク室の高さが低くなり過ぎ、油上りの割合が多くなる恐れが生じる。これらの点を十分考慮して、新形圧縮機では 4.8～5.1 としている。

### (3) 主軸受

機械的損失は圧縮機容量の小さいものほど小さいが、機械効率としては小形のものほど悪くなる。すなわち小形機ほど有効な仕事の割合が悪くなる。これは玉軸受を

表 4.4 主軸受部

圧縮機名	軸受種別	軸受径 (mm)		圧縮機機械的損失 (kW)
		ブーリ側	反対側	
L 2	玉軸受	25	17	0.11
N 2	"	"	"	0.19
E 2	"	40	25	0.23
E 4	平軸受	46	38	0.82
P 4	"	56	48	—

注 圧縮機機械的損失は主軸受部だけでなく圧縮機全体のすべてのしゅう動および回転部分の標準回転数における機械的損失である。

使用することにより改善される。E2形以下の小形の圧縮機の主軸受には玉軸受を使用しているの、機械的損失は減少している。また、保守の際の部品取換えが便利であり、給油についての心配も少なくなる。なお玉軸受の使用により、圧縮機の軸方向の寸法がはなはだしく短くなり、圧縮機を小形化することができる特長がある。その反面配管時の切粉などが混入すると、玉軸受の損耗が大きくなり騒音を発生する欠点がある。

E4形以上の圧縮機には、鉛青銅の平軸受を使用している。平軸受は運転が静粛であるが、機械的損失が大であり、給油に注意しなければならない欠点がある。しかしながらE4形以上では圧縮機容量が割合大きいため、機械的損失が多少大きくても、機械効率としては大して悪くはない。

(4) Vベルト車

駆動用のVベルト車は、フライホイールと圧縮機冷却用のファンの作用をも兼ねさせている。新形圧縮機は回転数が高くなったため、Vベルト車は非常に小形になっている。Vベルト車の寸法は表3.2に示している。

Vベルト車はクランク軸にテーパではめ込み、半月キで回り止めし、パネ座金で十分ゆるみ止めしている。またVベルト車の抜き差しを便利にするため、ハメイのテーパを大きくしている。

4.3 その他

(1) クランク室

小形冷凍機用圧縮機では、構造を簡単にするために、クランク室は一般にシリンダ部分と一体鋳造にしている。このためクランク室は耐摩耗性の特殊鋳鉄製である。新形圧縮機のクランク室も一体鋳造製で、吸入室と吐出ガスト路とクランク室とに仕切っている。N2形およびE2形は吐出室を設け、吐出圧の脈動を少なくしている。

新形圧縮機では吸入室には油落とし穴を設けて、クランク室下部の油室と連絡し、吸入室とクランク室との均圧穴とは別にした構造にしている。均圧穴と油落とし穴を兼ねた構造では、吸入管より圧縮機に戻った油が、クランク室に落ちにくいことがよくあるが、新形圧縮機ではそれぞれ別にして、油は油落とし穴に落ち、均圧穴は均圧だけの役目をするので、かかることがなくなっている。

(2) 軸封装置

開放形の圧縮機は外部より駆動するため、クランク軸が外に出ていて、軸封装置が必要となる。圧縮機を高速化する場合には、弁部分や給油方法とともに、軸封装置はもっとも問題となる事項である。

小形冷凍機の軸封装置は一般にスベリ環式のものが使  
新小形開放形冷凍機・山本

用されている。スベリ環式のものには、金属(主としてリン青銅)ベローズを使用したものと、金属ベローズの代わりに合成ゴムを使用したものがあり、ベローズ固定のものと同転のものがある。またスベリ環の面圧を保つためには、パネと内圧が利用されている。

軸封装置のしゅう動部は適当な寸法と面圧であって、かつ潤滑がよくなければならない。しゅう動部の幅や面圧は、小さ過ぎればガス漏洩の恐れが生じ、大き過ぎれば摩擦損失が大きくなり摩耗がはなはだしくなる。またしゅう動部分の周速度が大き過ぎても同様な現象になり、このため回転数が制約されることとなる。そしてこれらはまた潤滑の状況によって異なってくるものである。

新形圧縮機の軸封装置には、N2形を除きリン青銅ベローズ固定形のスベリ環式のものを採用している。これらの軸封装置はクランク室内の圧力が変化しても、ほとんど接触面圧が変化しない構造にしている。(内圧が高くなれば若干面圧が高くなる程度である。)表4.5に面圧を示している。

表 4.5 軸封装置

圧縮機名	しゅう動部平均径 (mm)	面圧 $p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	しゅう動部周速度 (標準回転数) $V$ (m/sec)	$p \times V$
L 2	23	7.8	1.00	7.8
N 2	33.75	6.9	1.50	11.8
E 2	38	6.0	1.55	9.3
E 4	43.5	6.5	1.77	11.5
P 4	52.5	6.5	(2.20)	(14.3)

(3) 給油関係

新形圧縮機の給油方法は、構造が簡単で確実なはねかけ方式を採用している。冷凍機では前に述べたように、給油が十分であるとともに、油上がり量を少なくしなければならない。回転数が高くなるとこれらの点がさらに切実な問題となる。

新形圧縮機では油面を適当な位置にして、パランスウエイトを兼用した油かきで、はねかけ方向を決めてはねかけさせている。またクランク室の均圧穴を油上りのもっとも少ない大きさにするとともに、油落とし穴を均圧穴と別個にしている。なおE2形以上には、潤滑油の交換を便利にするために油抜き穴を設けている。また油ノック窓には反射板を設け、運転中の油面を見やすくしている。

5. む す び

開放形小形冷凍機は、その使用目的によっては、漸次密閉形に代わる傾向にあるが、商業用工業用の諸種の用途には、まだ捨てにくい種々の特長があり、その生産台数も使用分野も逐年増加していて、今後とも現場工事を伴う諸種の冷凍冷房工事にはさらに需要が延びるものと思われる。このため新系列の高性能な冷凍機の設計開発を行なっているが、冷凍機の需要が延びるとともに新しい用途も開拓され、それらの用途に耐えるための諸種の問題が生じて来るものと思われ、さらに改良を考えなければならない。

以上概略的ではあるが、新しく開発している開放形小形冷凍機についてのご紹介とする。

# オープン・ショーケース

和歌山製作所 米田 稔 哉\*

## Refrigerated Open Showcases

Wakayama Works Toshiya YONEDA

Refrigerated show cases have been in great demand for a past few years. Of them, open-type ones are appreciated better than closed-type ones because of their excellent displaying effect. Mitsubishi has developed various types of showcases for this purpose with a type designation of MO, MU, MV and MW. There are a number of problems involved in the design of open type showcases; heat load, capacity of refrigerating units, air curtains and defrosting stand out from others and need thorough cares to produce excellent apparatus. The writer introduces type MO as a representative machine which is widely acclaimed by users.

### 1. ま え が き

食生活の向上、改善とあいまって、数年まえより食糧品の店頭販売用冷凍陳列ケースの需要が盛んになり、百貨店、食料品店をはじめ各所において種々の用途のものが見受けられるようになった。

陳列される商品も鳥獣肉、鮮魚、青果物、肉類加工品、牛乳および乳製品、冷蔵、冷凍食品、アイスクリームなど非常に広範囲にわたっている。したがって、陳列に使用するケースも商品の性質や維持温度によって構造もさまざまである。

当社においてもこの盛んな需要に対応して MO, MP, MR, MS, MU, MV, MW など各種の商品に適する冷凍陳列ケースを標準品として製作しているが、MO, MU, MV, MW 形はオープンタイプ陳列ケースである。以下オープンタイプ陳列ケースの一般的構造と設計上の問題点について簡単にのべるとともに、冷凍食品、冷蔵、アイスクリームなどきわめて低い温度で維持される商品の陳列販売用に製作している MO 形オープン陳列ケースの仕様と性能を紹介する。

### 2. ショーケースの一般構造

外国においてはディスプレイケース (Display Case) と一般に呼んでおり、陳列ケースと訳すのが正しいのであろうが、国内においてはショーケース (Show Case) と呼ばれるため以下すべてショーケースと呼ぶことにする。

#### 2.1 ショーケースの種類

冷凍ショーケースは形状、構造上から分類すると

- (1) シングル (Single)
  - a. クローズド (Closed)
  - b. オープン (Open)
- (2) ダブル (Double)
  - a. クローズド
  - b. オープン

の4種類に大別される。それぞれの一般的形状を図2.1より図2.4までに示す。各図でわかるように、シングルとは陳列部分だけのケースであり、ダブルとは陳列部の下

側に貯蔵庫を備えた2用途のものである。サービスの方法により商品陳列部に扉の付いているものをクローズド、扉がなく直接サービスできるものをオープンと呼ぶ。

クローズドタイプのものは陳列商品が主として目方売りされるもの、たとえば、肉類、鮮魚、佃煮、調理食品など比較的多くの売手のサービスを必要とするものに用いられ、ケース背面から売手がサービスするための扉を設けたものが多い。このタイプのケースはフィンコーラ、パイプコーラなどが陳列部に露出したままとりつけられているものが大部分であり、陳列効果をそぐ点では大きな欠点といえよう。

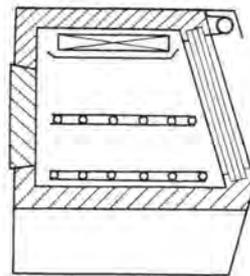


図 2.1 クローズドタイプ シングルケース  
Fig. 2.1 Closed type single case.

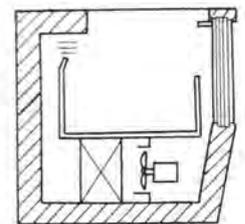


図 2.2 オープンタイプ シングルケース  
Fig. 2.2 Open type single case.

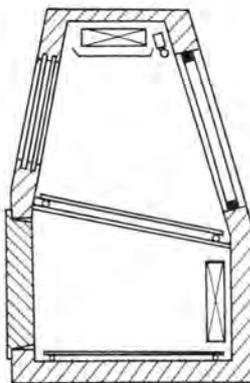


図 2.3 クローズドタイプ ダブルケース  
Fig. 2.3 Closed type double case.

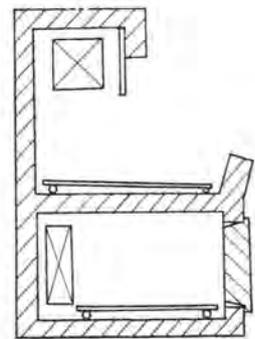


図 2.4 オープンタイプ ダブルケース  
Fig. 2.4 Open type double case.

オープンタイプのものは上部にクーラを配置してケース内の空気の自然対流により冷気が循環するものと、クーラをケースの下部または背部に配置して送風機によって強制的に冷気を循環させケース開口部に冷気膜層を作って外気熱の侵入を防止するものがある。強制通風のものは冷気循環が自然通風に比べ良好であるため、均一な維持温度が得られ、陳列室がスッキリとまとまる点でまざっている。オープンタイプのものはほとんどが強制通風形となっている。

オープンタイプのものは商品が直接ながめられ、さらに買手が自身で手を触れて商品を自由に選択できるので、買手の購買意欲を呼び起こす効果がある。陳列商品としてはバラで個数売りのできる冷凍食品、ハム、ソーセージ、果物、冷菓、アイスクリームなどに適している。

## 2.2 オープン・ショーケースの種類

オープン・ショーケースにもシングルとダブルとがあるがサービスロード (Service Load) の方向によって

- (1) フロントローディング (Front Loading)
- (2) リアローディング (Rear Loading)
- (3) アイランド (Island)

の3種類に大別され、その各例を図2.5より図2.7に示す。

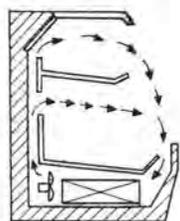


図 2.5 フロントローディングケース  
Fig. 2.5 Front loading case.

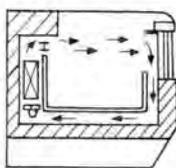


図 2.6 リアローディングケース  
Fig. 2.6 Rear loading case.

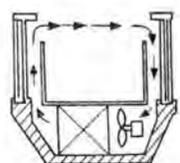


図 2.7 アイランドタイプケース  
Fig. 2.7 Island type case.

図によってわかるようにフロントローディングとはケース前面よりサービスするもので、マルチデッキ (Multi Deck) と呼ばれる幾段ものたなをもったものや、ケースの後部上側に鏡をとりつけた形のものである。リアローディングはケース後部からサービスするもの、またアイランドはケースのどちら側からでもサービスできる形状のものである。

## 3. 陳列商品の種類

冷凍ショーケースは陳列される商品によって、ケース内の維持温度が異なっているが、商品別必要維持温度は大体表3.1の程度である。

表に示された温度はその商品の凍結貯蔵温度ではなく、陳列販売のための必要維持温度である。長期間この

表 3.1 商品別陳列ケース内維持温度

商品の種類	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)
肉類	+3	-2
野菜	+10	+2
果物	+5	0
乳製品	+5.5	+2
冷凍食品	-15	
アイスクリーム	-18	

状態のままにケース内に放置した場合、包装の良否などによっては商品の脱湿や変色などの変化をおこす恐れがある。

## 4. 設計上の留意点

オープン・ショーケースはクロードタイプの場合よりも設計に際して問題となる点が多い。とくに冷凍食品やアイスクリームのように低温で維持しなければならないものは計算だけでは、はっきりつかめない要因がある。

低温オープン・ショーケースの設計上留意すべきいくつかの点について簡単に触れる。

### 4.1 熱負荷

ケースの冷却性能をきめるとき、ケースに加えられる熱負荷の種類と量の算出が非常に重要である。熱負荷は大別すると、

- (1) ケース断熱壁面からの熱漏洩
- (2) 周囲空気の状態による熱負荷
- (3) 照明による熱負荷
- (4) 陳列商品の熱負荷

の4種類に区分される。

#### (1) ケース壁面の熱漏洩

ケース壁面を通しての熱漏洩は比較的算出が容易である。したがってケース内の維持温度によって適当な厚さの防熱を施せばよい。防熱材料には種々のものがあるがショーケースにおいては熱通過率だけでなく吸湿性や耐熱性などを考慮すると同時に、冷凍ユニット内蔵のケースの場合は可搬性を良くするために軽いものが、また成形、施工がやさしく正確にできるものが好まれる。

各種の防熱材料の比較などについては他の文献にゆずるが、とくにフォームポリスチレンとペアガラスについてふれておくことにする。

#### a. フォームポリスチレン

従来広く用いられて来たコルク系のものに代わってフォームポリスチレン、コルゲート保温材、尿素樹脂発泡体、ポリウレタン樹脂スポンジなどの新しいものが多く用いられるようになった。その中でもフォームポリスチレンは易燃性で安全

表 4.1 フォームポリスチレン壁の熱負荷 kcal/m<sup>2</sup> °C 24 h

壁の厚さ (mm)	標準負荷	重負荷	過重負荷
50	9.9	10.6	11.22
100	6.89	7.64	8.26
150	5.62	6.3	6.89
200	4.77	5.3	5.98

標準負荷: 一般の小売店  
重負荷: 客の多い小売店  
過重負荷: 客の出入のはげしいスーパーマーケット

温度が70°C程度しかない欠点はあるが、成形加工性の良さ、熱通過率の低さ、軽さなどから見てショーケース用としてはすぐれた防熱材といえよう。

表4.1にフォームポリスチレン防熱壁の厚さとサービスコンディション(Service Condition)による壁面熱負荷の標準値を示す。

#### b. ペアガラス

ケース前面あるいは側面に陳列効果を増すためにガラスが用いられる。1枚のガラスを使用したとき、内外面の温度差による表面への露つき、内面の曇りなどによって、かえって陳列効果が悪くなる。最近では数枚の透明ガラスを一定間隔をあけて合わせ、周囲を金属で密封して内部の空気を清浄な乾燥空気で置換したものをペアガラスとして市販しており、多くのケースに実用されている。

また新しい試みとしてアクリル樹脂の透明板でペアガラスと同様の構造のものも試験的に採用されているが、傷つきなどによって表面の透明度が悪くならないように改善されれば、ガラスにくらべて曲面などの加工のやすさからみてケースのスタイリングにも変化のあるものが考えられるであろう。表4.2にペアガラスの構造と熱通過率の標準を示す。

表 4.2 ペアガラス熱通過率

品 種	ガラス構成厚さ×枚数	中間空気層厚さ(mm)	熱通過率(kcal/m <sup>2</sup> ・h・°C)
12mmペア	3×2	6	3.24
18mmペア	3×2	12	2.92
21mmペア	3×3	6×2	2.21

#### (2) 周囲空気の状態による熱負荷

空気の状態によって変化する熱負荷はもっとも重要であるのに、もっとも計算がむずかしい。設置場所の通風、換気条件、近くにある熱源、空気調和の有無、ケース周囲での人の動き、サービスのひん度などすべての条件が熱負荷変化の原因となる。ある実験例によれば空気調和による同じケースに与える負荷の変化は、同一湿度条件下において温度を30°Cより24°Cに下げることによって8.5%、また24°Cの温度条件下で湿度を65%から45%に下げることによって16%の冷却負荷の減少をおこなうことができたことと報告されている。

いまこれらの熱負荷を次の3種類に分けることができる。

##### a. 空気の入れ換わりによる負荷

ケース周囲の風の流れによるカーテンの破れ、サービス時のケース内外空気の入れ換わりなどによってケース内に熱負荷が侵入する。

##### b. カーテン膜層での内外気のふれ合い

ケース内外気の温度や湿度条件が異なるためケース開閉面でケース内冷気がエアカーテン膜層を作っているとき、二つの異なった状態の空気がふれ合って粘性流体の層流熱伝達に近い熱の伝達によって熱負荷が侵入する。

##### c. 輻射熱

ケース外部からの輻射により熱が伝わるが、一般に開

放面の広さに対して、その面に直角に輻射熱が伝わりと考へ、ステファン・ボルツマン(Stefan-Boltzman)の法則を用いて計算されるが、ショーケースの場合に輻射係数をいくらにすればよく合致するかについても種々の研究が行なわれている。

#### (3) 照明による熱負荷

ケースの照明灯はケースが室内に置かれる場合、欠くことのできないものであり、照明の有無は陳列効果に大きく影響する。照明の光源は最近ではほとんどケイ光灯が用いられるが、ケース内にとりつけたとき、そのケイ光灯から発生する熱量が無視できないほど多いときがあるから冷却負荷計算時に見のがしてはならない。

#### (4) 陳列商品の熱負荷

冷却負荷の算出にあたっては一般に陳列商品の熱負荷は計算されない。なぜならばショーケースは24hないし72h以内にその陳列された商品が買取られることを予想しているため、その間その陳列商品の温度上昇を防げばよいと考えられているからである。

需要家においてはしばしばショーケースをストックと混同され思わぬトラブルを起こすことがあるが、ショーケースは2用途ケース(Double Duty Case)でないかぎりストックでもフリーザでもないことを認識していただきたい。

#### 4.2 冷凍ユニットの能力

オープンケースはクロードケースにくらべ熱負荷の種類も多く計算だけでは割出せない要因があるので、新しいケースを設計するとき冷却負荷を過小評価する危険があることに注意しなければならない。ほぼ同じ条件のケースにおいてオープンとクロードの場合の所要ユニット能力の標準は表4.3の程度である。

表 4.3 冷凍ユニット能力の比較例

	アイスクリーム・ストッカ	アイスクリーム・オープン・ショーケース
ケース内維持温度(°C)	取出口付近 -15	クリーム温度 -18
ケース内容積(l)	480	400
必要ユニット能力	250~400 W 空冷	750 W 水冷または1 kW 空冷

#### 4.3 ケース開口部のエアカーテン

低温オープンケースは送風機によってケース内の冷却空気を循環させ、開口部に冷気の膜層を作り外気熱負荷の侵入を防ぐ構造のものが標準とされているが、この冷気膜の形成の良否が冷却性能の良否に決定的な要素となる。

陳列ケース内での冷気はできるだけ静止状態にあることがのぞましく、流れが早くなると外部から湿気を含んだ暖かい空気を引入れる働きをする。ケース全体にわたって流速が一定になると均一な温度分布が得られるが、冷気がケース内に早い流速で不均一な分布をすると、空気の流れは乱流となりカーテンの破れによる空気の入れ換わり負荷が増す。

ケース内の温度を低く維持するにはこれらの注意のほかに吹出口、吸込口の位置をなるべく低くするように努める。ケース頂部からの位置はなるべく低いほうが安全であるが陳列部の容積の確保を考慮して妥当なところに決

められる。

#### 4.4 冷却器の除霜

低温冷凍装置において冷却器への着霜は避けられない問題である。低温オープンケースにとっても例外ではない。むしろケースの設計時にもっとも悩まされる問題である。ケースに侵入した湿気はほとんどが霜となって冷却器に付着すると考えてよい。ケース設計時の霜付にたいする対策として次の4原則がある。

- (1) 湿気を含んだ空気をできるだけケース内に引き入れないこと。
- (2) 霜の付着する位置と量を正確につかむこと。
- (3) 霜を完全に溶かしてとり去ることを考える。
- (4) 溶かされた霜をなるべく早くケース外に排出する。

低温冷却器の除霜の熱源として通常ホットガス (Hot Gas) または電熱器が用いられる。強制通風形オープンケースも同様であるが、商品を陳列したままで除霜を行なうことが多いため、暖められて循環する空気によって商品の温度が上昇することに注意しなくてはならない。

自動運転、自動制御をするオープンショーケースには除霜時期の決定と除霜時間の決定に次の3種類のものがある。

- (1) 時間開始 時間経過による終了
- (2) 時間開始 圧力変化による終了
- (3) 時間開始 温度変化による終了

いずれの場合もタイムスイッチが用いられ、(2)は圧力スイッチと、(3)は温度スイッチと連動作用する。



図 5.1 MO-11 A 形外観

Fig. 5.1 Exterior view of type MO-11 A.

## 5. MO-11 A 形オープン・ショーケース

MO-11 A 形オープン・ショーケースは冷凍食品、冷蔵、およびアイスクリームの陳列販売用として開発されたもので、ケース内維持温度は外気温 26°C にて -20°C 保証となっている。

### 5.1 構造

外観を図 5.1 に、内部構造を図 5.2 に、外形寸法を図 5.3 に示す。

ケースは白色メラミン焼付塗装で前面中央にあずき色ハジマートン塗装の化粧板をとりつけたツートンカラーである。すべての必要機器類をケースに内蔵しており、除霜によって排出されるドレンも自然蒸発式のため電源接続以外の工事施工は不要であり移動が容易である。

### 5.2 仕様

主要仕様を表 5.1 に示す。ケースのおもな特長は

- (1) 前面に4層 34 mm 厚のペアガラスを使用しているため熱漏洩が非常に少なく、曇りがほとんど生じない。
- (2) 上面開放口が強制循環冷気膜で熱シ断されているため、前面ペアガラスとあいまって陳列効果が非常に高い。
- (3) 冷凍機をはじめ必要機器類を全部内蔵しているため移動が容易である上、ケース内の温度調節、自動タイムスイッチによる自動除霜など完全自動運転する。

### 5.3 据付と運転

- (1) 据付場所の選定



図 5.2 MO-11 A 内部構造

Fig. 5.2 Interior view of type MO-11 A.

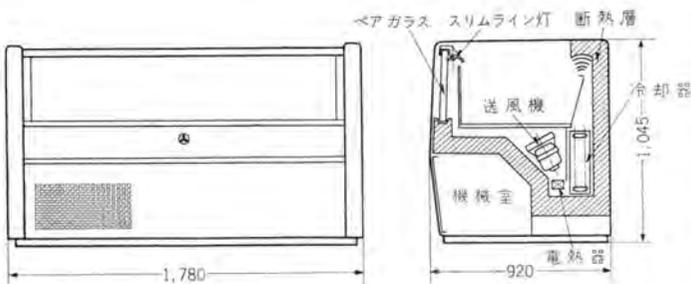


図 5.3 MO-11 A 形オープン・ショーケース外形寸法図

Fig. 5.3 Outline dimensions of type MO-11 A open show case.

表 5.1 MO-11 A 形オープン・ショーケース主要仕様

形式	MO-11A
陳列容量	約 250 l [セーフロードライン以下]
冷凍機	空冷開放形 3φ 200 V 750 W
使用冷媒	R-12
冷却器	強制通風フィンチューブ式
除霜方式	時間セット、時間終了方式 24 h 連続式タイムスイッチ 暖風エアカーテン除霜
保証温度	セーフロードライン以下 -20°C (外気温 26°C)
総重量	約 430 kg

オープンショーケースに共通な問題であるが

- 乾燥して換気がよく、太陽光線の直射しないところ、発熱体が近くないところが適当。
- 空冷ユニットであるためケース背面を0.5 m以上はなし、吸排気口をふさがないようにする。
- 周囲風速0.3 m/s以下のところで、ドアの近く、階段の踊り場など空気の流通の激しいところは避ける。
- 周囲風速0.3 m/s以上1.0 m/s以下のときは付属カバーをとりつけ、1.0 m/s以上になればオープンとしては使用できない。

### (2) 冷却運転

常温状態より機械の運転をかけ、ケース内の温度変化を測定すると標準状態においてはほぼ図5.4のような降下曲線となる。標準冷却状態でのセーフライン以下の温度のバラツキは2°C程度である。十分庫内が冷却されてから商品を陳列する。

### (3) 除霜機構と除霜性能

除霜方式は時間制御暖風エアカーテン方式であるが、除霜開始時期の決定と除霜時間の制御には当社製TMS形電気時計式タイムスイッチを使用している。図5.5にタイムスイッチ外観を、表5.2に主要仕様を示す。

除霜回路の作動時刻は円板上の任意時刻にツマミネジをセットすることにより、作動時間長さは時間調整ツマミ

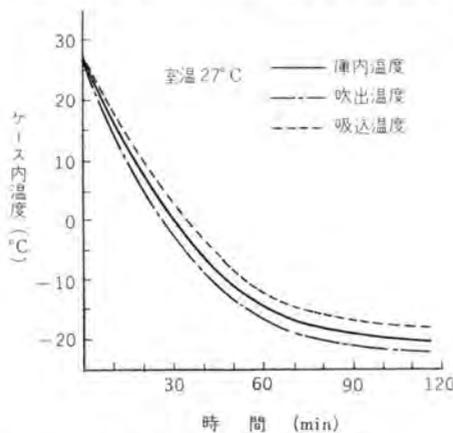


図 5.4 冷却温度降下曲線  
Fig. 5.4 Temperature descend curve by cooling.

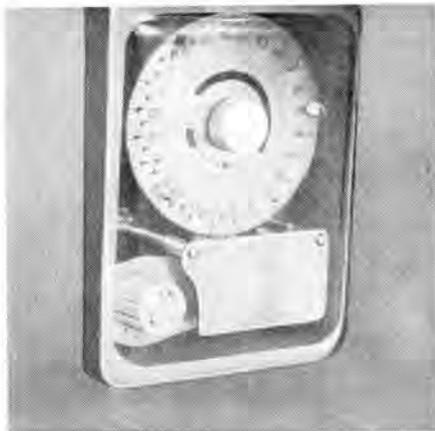


図 5.5 TMS 形  
タイムスイッチ外観  
Fig. 5.5 Exterior  
view of type  
TMS time switch.

表 5.2 TMS 形タイムスイッチ主要仕様

時計方式	同期電動機 24h 連続駆動
電源	AC 210 V <sup>+10</sup> <sub>-20%</sub> 50 または 60 c/s
スイッチ	開閉容量 AC 250 V 10 A
最小繰り返し間隔	3h
スイッチ作動調整	10~60 min
セットネジ数	6
時計精度	機構誤差 0

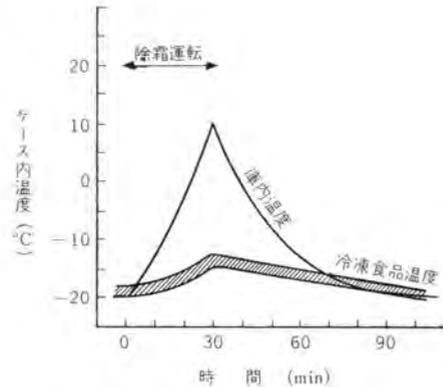


図 5.6 除霜運転温度変化

Fig. 5.6 Temperature change curve by defrost.

で任意の長さに調節できると同時に、時間調節ツマミはそのままで作動時刻ピンの挿入穴の2段切換えによってサービスひん度の高い日中は除霜時間を短く、閉店後夜間の除霜を長くという具合に自動運転することも可能である。

除霜時のケース内温度上昇は図5.6に示す程度であり商品陳列のままの除霜には問題は認められない。

## 6. MO-5形ショーケース

MO-5形はセミオープンケースでケース内の維持温度は外気温30°Cにおいてオープン状態-5°C、補助風除け取付けオープン状態-15°C、扉つきクローズド状態-20°Cである。

### 6.1 構造

外観を図6.1に外形寸法を図6.2に示す。ケースは白色メラミン焼付塗装、前面中央はあずき色ハンマートン塗装化粧板と11A形との意匠統一を行なっている。

構造上ドレンは自然蒸発式ではないが必要機器をすべて内蔵しており自動運転を行なう点では11Aと同様で



図 6.1 MO-5 形ショーケース外観  
Fig. 6.1 Exterior view of type MO-5 show-case.

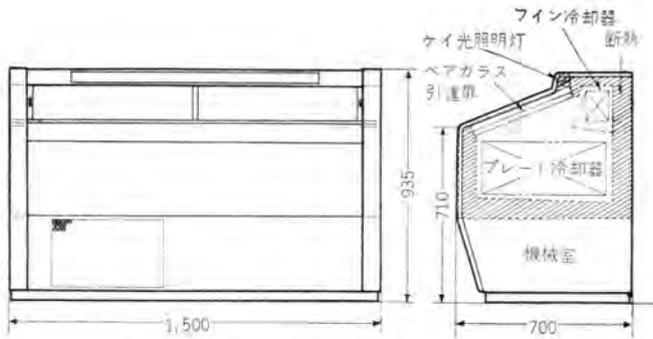


図 6.2 MO-5 形ショーケース外形寸法図

Fig. 6.2 Outline dimensions of type MO-5 show-case.

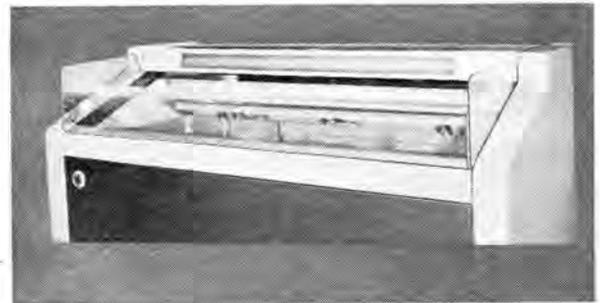


図 6.4 風除けカバー取付外観

Fig. 6.4 Exterior view of MO-5 with wind protecting cover.

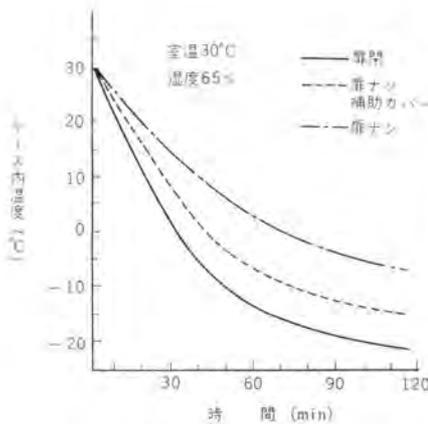


図 6.3 冷却温度降下曲線

Fig. 6.3 Temperature descend curve by cooling.

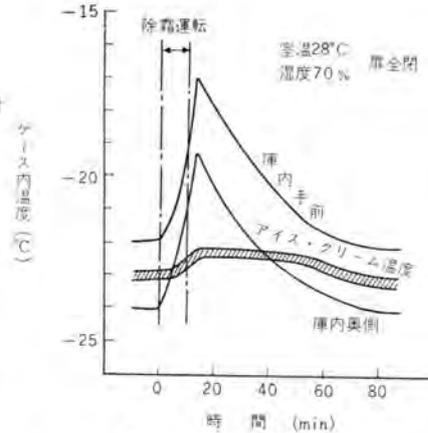


図 6.5 除霜運転温度変化

Fig. 6.5 Temperature change curve by defrost.

常温より冷却運転によるケース内の温度降下を図 6.3 に示す。

標準冷却状態でのケース内セーフロードライン以下の温度のバラツキは 3°C 以下である。補助風除け取付オープン状態の外観を図 6.4 に示す。

## (2) 除霜

フィンクーラは手動タイマによる電熱除霜、ロールボンドクーラは自然除霜である。図 6.5 に除霜時のケース内温度変化曲線を示す。

## 7. む す び

以上オープン・ショーケースについて設計技術上の問題点と当社 MO 形

ショーケースの仕様と性能について簡単に述べた。

幸いにして MO 形ショーケースは需要家の方々のご好評をいただき冷凍食品やアイスクリームの陳列販売用に広くご使用いただいているが、今後ますますショーケースの需要の高まることが予想され、構造上クローズドタイプに比べオープンタイプの使用には幾多の制限があるとはいえ、オープンタイプの比重が高まってゆくことはまちがいないと信じる。需要家各位をはじめ広く識者の方々にご批判いただき、さらに高性能のオープン・ショーケースの開発研究に努力したいと思う。

## 参 考 文 献

- (1) ASRE: Air Conditioning Refrigerating Data Book, Application, 33-01 (1956-1957).
- (2) ASRE: Air Conditioning Refrigerating Data Book, Refrigeration Application, 1, 39-01 (1959).
- (3) B. L. Herrman: Handling the Frost Factor in Low Temperature Case Design. ASHRAE Journal, 10, 76 (59).
- (4) D. E. Friedman: Effect on the Air Conditioning Load, ASHRAE Journal, 9, 62 (60).
- (5) 山風呂 洋: ショーケースについて, 冷凍, 369, 24 (昭 33).
- (6) 山風呂 洋: ショーケースさまざま, 冷凍, 382, 50 (昭 34).
- (7) 中川政雄: 新しい保温保冷材とその利用法, 工業材料, 7, 11 (昭 34).

表 6.1 MO-5 形ショーケース主要仕様

形 式	MO-5
陳列容量	約 140 l (セーフロードライン以下)
冷凍機	空冷開放形 3φ 200 V 750 W
使用冷媒	R-12
冷却器	自然対流フィンチューブ式冷却器 ロールボンド冷却器
除霜方式	フィンチューブ冷却器 手動セット時間復帰 手動タイムスイッチ 電熱除霜 ロールボンド冷却器 自然除霜 (機械停止)
保証温度	セーフロードライン以下 -18°C 以下 (外気温 30°C)
総重量	約 260 kg

ある。

## 6.2 仕 様

主要仕様を表 6.1 に示す。ケースのおもな特長は

(1) 上面はローラ付 2 枚引違扉で、2 層ペアガラスを用いているが、-5°C 以上の中高温ではオープンタイプとして用いるため、簡単に取はずせる構造となっている。

(2) つり下げ式フィンクーラとアルミロールボンドクーラの働きでケース内上面に自然対流エアカーテンを作り、つねに冷却された空気が商品を包んでいる。

(3) 電源に接続するだけで自動運転を行ない、フィンクーラの着霜は手動セット自動復帰形タイマで任意時刻に迅速な除霜ができる。

## 6.3 運 転

### (1) 冷却運転

# 熱電冷却用半導体

神崎 遼\*・藤林 肇次\*  
 研究所 杉岡 八十一\*・三木 秀二郎\*

## Semiconductors for Thermoelectric Cooling

Research Laboratory Chikashi KANZAKI・Keiji FUJIBAYASHI  
 Yasoichi SUGIOKA・Hidejirō MIKI

Since the discovery of Peltier effect in 1834, many trials have been given to make use of it for producing a cooling device but with little success. Recent progress of semiconductor research, however, has brought light on this scheme, thermocouples made of solid solution of n-type  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , p-type  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  and n-type  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-n}\text{Se}_n$  displaying remarkable results in the tests conducted by the writers. Temperature drop of  $84^\circ\text{C}$  was obtained with a thermocouple kept  $60^\circ\text{C}$  at the hot junction. A success to this extent is not yet good enough to apply the device to large apparatus for cooling, but an adaptation to a spot cooler and a thermostatic oven is quite justifiable.

### 1. ま え が き

1834年にペルチェ効果が発見されたが、この効果を利用して冷却装置を作る試みは最近になって種々行なわれるようになった。初期の研究では熱起電力の低い金属合金が使用されたので、あまり効率のよいものが得られなかったが、最近では半導体の研究が進むにつれてかなり効率の高いものが得られるようになった。1954年に  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  を使って  $26^\circ\text{C}$  の温度差が得られて以来、冷却素子の材料としてはこの系統の化合物半導体に研究が集中された。ここでは n 形の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 、p 形の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  および n 形の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  について熱電気特性ならびに冷却特性についての測定結果を報告する。

### 2. 熱電冷却材料の考察

図 2.1 に示すような熱電冷却器への入力に対する吸熱の割合、すなわち C.O.P. (Coefficient of performance) は次式で示される。

$$\text{COP} = \frac{H}{W} = \frac{\alpha I T_c - (1/2) I^2 R - (T_h - T_c) K}{I [R + \alpha (T_h - T_c)]} \quad (2.1)$$

ここで  $H$  は吸収する熱量、 $W$  は電気入力 (W)、 $\alpha$ 、 $R$ 、 $K$  はおのおの熱電対全体の熱起電力 (V/°C)、抵抗 ( $\Omega$ )、熱コンダクタンス ( $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) であり、 $I$  はそのとき流れている電流 (A) である。 $T_c$ 、 $T_h$  はおのおの低温接点、高温接点の絶対温度 (°K) である。

$\text{COP}_{\text{max}}$  を求めると次のようになる。

$$\text{COP}_{\text{max}} = \left[ \frac{T_c}{T_h - T_c} \right] \left[ \frac{(1 + ZT)^{1/2} - (T_h/T_c)^{1/2}}{(1 + ZT)^{1/2} + 1} \right] \quad (2.2)$$

ここで、 $\bar{T} = (T_h + T_c)/2$

$$Z = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2}{[(\kappa_p \rho_p)^{1/2} + (\kappa_n \rho_n)^{1/2}]^2} \quad (2.3)$$

であらわされる。添字 n, p はおのおの n 形半導体, p 形半

導体をあらわす。 $\rho$ 、 $\kappa$  はおのおの素子の比抵抗 ( $\Omega\text{cm}$ ) および熱伝導度 ( $\text{W}/\text{cm}^\circ\text{C}$ ) であり、素子の長さを  $l$  (cm)、断面積を  $A$  ( $\text{cm}^2$ ) とすると  $\alpha$ 、 $R$ 、 $K$  とは次の関係がある。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha_p - \alpha_n \\ R &= (l_p/A_p)\rho_p + (l_n/A_n)\rho_n \\ K &= (A_p l_p)\kappa_p + (A_n l_n)\kappa_n \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

式 (2.3) の  $Z$  が大になるにつれて、 $\text{COP}_{\text{max}}$  は理想熱機関の効率  $T_c/(T_h - T_c)$  に近づくから  $Z$  が大きなものほどよいことがわかる。 $Z$  は普通 figure of merit と呼ばれ素子の性能をあらわすのに用いられている。

いま n 形か p 形のどちらか一方だけを考えると、 $Z$  は  $\alpha^2/\rho\kappa$  で示される。 $Z$  を大きくするためには熱起電力を大きく、比抵抗を小さく、熱伝導度を小さくすればよいのであるが、この三つの量は互いに関係している。簡単のために 1 種類のキャリアをもつ半導体を考えれば  $\alpha$ 、 $\rho$ 、 $\kappa$  はおのおの次のようにあらわされる。

$$\alpha = \frac{k}{e} \left[ A + l_n \frac{2(2\pi m^* kT)^{3/2}}{h^3 n} \right] \quad (2.5)$$

$$\rho = 1/\sigma = 1/nep\mu \quad (2.6)$$

$$\kappa_{\text{total}} = \kappa_{ph} + \kappa_{el} \quad (2.7)$$

式 (2.5) の熱起電力の項の  $k$  は Boltzmann 常数、 $e$  は電子の電荷、 $A$  は結晶中の原子の結合様式に関係した常数、 $m^*$  は電子または正孔の有効質量、 $T$  は絶対温度、 $h$  は Plank の常数、 $n$  はキャリア濃度である。式 (2.6) の  $\sigma$  は電気伝導度、 $\mu$  は移動度である。不純物の添加などにより  $\mu$  をあまり変えないで濃度  $n$  を変化させることができるが、その場合  $\alpha$  と  $\sigma$  の関係は次のようにあらわすこと

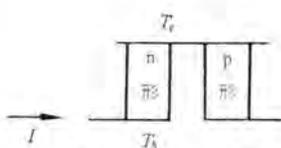


図 2.1 冷却用熱電対  
 Fig. 2.1 Thermocouple for cooling.

ができる<sup>(1)</sup>.

$$\alpha = C - \frac{k}{e} l_n(nc\mu) = C - \frac{k}{e} l_n \sigma \quad (2.8)$$

ただし

$$C = \frac{k}{e} \left[ A + l_n \frac{2(2\pi m^* kT)^{3/2} e \mu}{h^3} \right] \quad (2.9)$$

式(2.7)の $\kappa_{ph}$ は格子成分であり、 $\kappa_{el}$ は電子に基づくものである。 $\kappa_{el}$ はWiedemann-Frantzの法則によって次のように与えられている。

$$\kappa_{el} = S(k/e)^2 T \sigma \quad (2.10)$$

ここで $S$ は縮退の割合によって異なる量であり、Boltzmannの分布に従う場合は $S=2$ 、金属のように完全に縮退している場合は $S=\pi^2/3$ である。したがって $Z$ を大きくするためには式(2.8)の $C$ が大きく、式(2.7)の $\kappa_{ph}$ が小さい物質がよいことがわかる。Ioffe<sup>(1)</sup>は $S=2$ と仮定して $Z_{max}$ を与える $\alpha_{opt}$ を計算しているが、それによると、

$$\alpha_{opt} = 2(k/e)^2 (\kappa_{total}/\kappa_{ph}) \quad (2.11)$$

となり、またH.J. Goldsmid<sup>(2)</sup>は $Z$ は $\{(\mu/\kappa_{ph})(m^*/m)^{3/2}\}^{1/2}$ に比例することを示している。しかしこれらはいずれも近似計算であり材料を探す場合の一応のめやすになるにすぎない。 $\kappa_{ph}$ を下げる一つの方法として、結晶系が同じで格子常数のよく似たもの同志で固溶体を作る方法がとられている。この場合 $\mu$ をあまり下げずに $\kappa_{ph}$ をある程度小さくできることが知られている。

いままでに発見された材料のうちで比較的すぐれた性能を示すものの一つに、 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ を主成分とした金属間化合物がある。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ の結晶系は菱面体晶系であり、その格子常数は六方格子としてあらわすと $a=4.35\text{\AA}$ 、 $c=30.3\text{\AA}$ である。一方 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ と同じ結晶系に属するものとしては $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 、 $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ がある。それらの格子常数は $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ; $a=4.25\text{\AA}$   $c=30.3\text{\AA}$ 、 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ; $a=4.14\text{\AA}$ 、 $c=28.6\text{\AA}$ である。したがって能率のよい固溶体として $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 、 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ などが考えられる。

### 3. 試料の製法

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 、 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ 、 $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ などの組成を有するものを試作した。Bi, Sb, Te, Seなど原料の純度はいずれも99.999%以上のものを用いた。まずおのおのを秤量して石英管に真空封じを行ない、これを約1,000°Cで6時間熔融し、Normal freezingを行なわせた。できた結晶は多結晶であるがC軸方向に垂直な方向に劈開性がある。

### 4. 素子の電気的および熱的性質

#### 4.1 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 合金について多くの文献が発表されている。Stoichiometricの組成の付近ではBiが過剰になればp形を示し、Teが過剰になればn形を示す。n形不純物としてはTeのほかにSe, Ag, Cu, Hg, Znまたはそれらの金属のHf化物、p形の不純物としてはBiのほかに

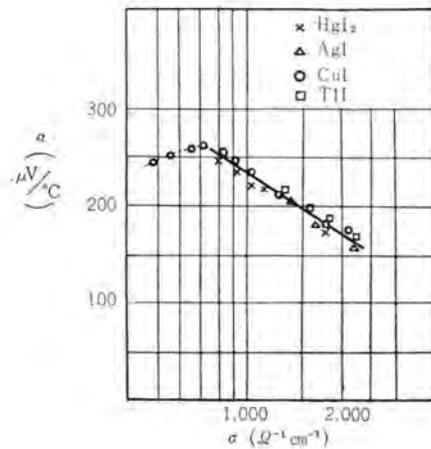


図 4.1  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ の熱起電力と電気伝導度 (300°K)  
Fig. 4.1 Thermoelectric power versus electrical conductivity in  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  at 300°K.

Pb, Tl, Liなどが用いられる。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ の場合はp形素子として使用するよりもn形素子として使うほうが $Z$ のすぐれた値が得られることが知られている。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ の組成のものに不純物としてTlI, AgI, HgI₂, CuIを添加した場合の熱起電力と電気伝導度の関係を図4.1に示す。

図からわかるように電気伝導度が1,000 $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ から2,000 $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ の付近では、式(2.8)の関係が非常によく満足されているが真性領域に近づくと満足されなくなる。式(2.8)の $C$ の値が不純物の種類にあまり影響されないこともわかる。

われわれのところでは $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ に添加する不純物をいろいろ変えて実験した結果、TeとHgI₂を添加して $Z=2.7 \times 10^{-30}\text{K}^{-1}$ の値のものが得られた。

#### 4.2 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ と $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ で固溶体をつくと $\kappa_{ph}$ がある程度下げられることは前に述べた。 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ の組成のもので $x$ を変化させた場合の熱起電力と比抵抗の変化を図4.2に示す。

図からわかるように熱起電力と比抵抗は、 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ が増加するにつれて減少している。

また熱伝導度の温度変化は図4.3に示してある。 $\kappa_{ph}$ を求めるためには、おのおのの組成の点での $\kappa_{total}$ 対 $\sigma$

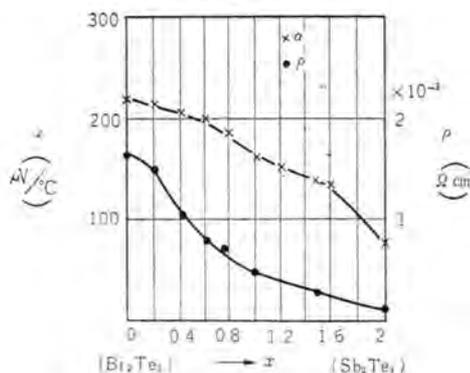


図 4.2  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ の熱起電力と比抵抗の変化 (300°K)  
Fig. 4.2 Thermoelectric power and electrical resistivity of  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  at 300°K.

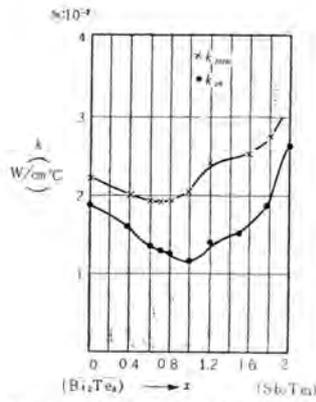


図 4.3  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  の熱伝導度 (300°K)

Fig. 4.3 Thermal conductivity of  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  at 300°K.

の曲線を描き  $\sigma$  が零になる点まで外挿すればよいわけであるが、簡単のために式(2.7)と式(2.10)より  $S=2$  と仮定して  $\kappa_{ph}$  を求めた。  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  が増加するにつれて、熱起電力はかなり下がっているから、当然縮退を考慮しなければならないが、  $\kappa_{ph}$  の大体の傾向は求められる。 図 4.2, 4.3 から  $Z$  を求めると、  $Z_{\text{max}}$  は  $\text{Bi}_{1.3}\text{Sb}_{0.6}\text{Te}_3$  の付近に存在し、  $2.6 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$  の値が得られる。 図 4.3 によれば  $\kappa_{ph}$  の極小値は大体  $\text{Bi}_{1.0}\text{Sb}_{1.0}\text{Te}_3$  の付近に存在することがわかる。 しかしこの組成では  $Z$  は、  $2.5 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$  にすぎないので熱起電力を大きくするように Te を添加すると、少し抵抗が上がるとすぐ真性領域に近づいて、非常に測定値がバラツキ  $Z$  の大きな値は得られなかった。 この操作を  $\text{Bi}_{1.0}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  に行なったところ  $Z=2.8 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$  の値が得られた。 さらに Se を添加した場合には  $3.5 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$  のものが得られている。

#### 4.3 $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$  と  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  の固溶体について  $y$  を変化させたときの比抵抗の変化を図 4.4 に示す。 横軸はインゴットの先端からの距離を示す。  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  と異なって距離が変わると比抵抗がかなり違ってくる。 図 4.5 は熱起電力の変化を示したものである。 stoichiometric な組成では  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  は p 形であるが  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  が増加するにつれて真性領域に近づき、さらに n 形に変わる。 図中破線で示してあ

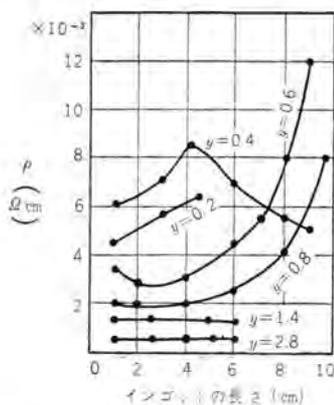


図 4.4  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$  の比抵抗の変化

Fig. 4.4 Variation electrical resistivity of  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$  at 300°K.

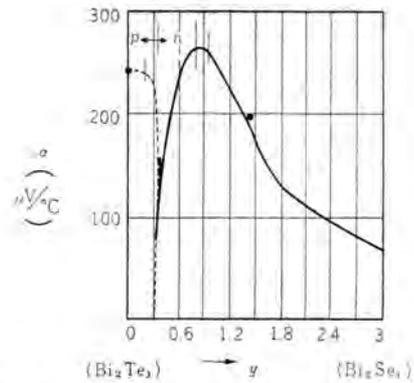


図 4.5  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$  の熱起電力の変化 (300°K)

Fig. 4.5 Variation of thermoelectric power of  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$  at 300°K.

るのが p 形であり実線が n 形をあらわす。 この変化を説明するために Te と Se の electronegativity の差が用いられている<sup>(6)(9)(7)</sup>。 それらによれば p 形から n 形へ変わる点は  $y$  が約 0.9 の組成に相当する点であるが、試作した合金ではかなりのずれがみられる。 これは Te または Se の偏析のためと思われる。  $\kappa_{ph}$  の極小値は  $y$  が 0.6~0.8 の付近にあることが報告されているので<sup>(3)(4)</sup>、  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.4}\text{Se}_{0.6}$  と  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.25}\text{Se}_{0.75}$  の組成のものについて不純物を添加し  $Z$  の極大値を求めた結果  $Z=3.1 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$  のものが得られた。

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$  に不純物として Se と Hg の化合物を加えると  $Z$  はさらに大きくなり  $3.4 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$  となった。

## 5. 冷却実験

表 5.1 に示す特性をもった p 形と n 形の素子を組合せて冷却実験を行なった。 方法は素子の両端にニッケルメッキ

表 5.1 材料特性

特性	材質	n 形 (Bi-Te-Se)	p 形 (Bi-Sb-Te)
$\alpha$ ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )		238	209
$\rho$ ( $\Omega\text{cm}$ )		$0.8 \times 10^{-3}$	$0.75 \times 10^{-3}$
$\kappa$ ( $\text{W}/\text{cm}^\circ\text{C}$ )		0.021	0.020

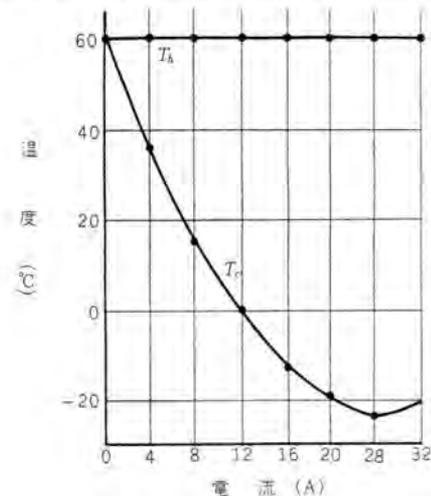


図 5.1 冷却特性

Fig. 5.1 Temperature difference versus input current for thermocouple.

を行ない、それぞれ銅板にハンダ付けをして熱電対を作り、真空中にて高温接点の温度を一定に保ちながら、熱電対に通ずる電流を変えて、 $\Delta T_{max}$ を求めた。 $\Delta T_{max}$ から次の式を用いて $Z$ を求めた。

$$\Delta T_{max} = \frac{1}{2} Z T_c^2 \dots \dots \dots (5.1)$$

冷却特性は図5.1に示すように、高温接点の温度を60°Cに保ったとき84°Cの温度差が得られた。これから熱電対としての $Z$ を計算すると約 $2.6 \times 10^{-3} K^{-1}$ が求められる。この値は表5.1から求めた $Z$ より小さい値を示しているが、この原因として、温度を測定するため挿入した熱電対からの熱の流入および接点における熱損失などが考えられる。

### 6. 熱電冷却モジュール

応用の一例として熱電冷却モジュールについて述べる。



図 6.1 熱電冷却モジュール  
Fig. 6.1 Thermoelectric module for cooling.

外觀を図6.1に示す。このモジュールの構造は図6.2に示すように8組の熱電対が電氣的に直列に結合されている。素子は銅板にハンダづけして、表面に絶縁層のあるアルミ板に接着する。素子と素子との空隙は断熱材で満たされ、外側は合成樹脂でかためて十分な強度を持たすように作られている。上側のアルミ板は被冷却物の形に適した構造に作ってトランジスタなどの冷却に利用することができる。下側のアルミ板には放熱フィンがとりつけられるようにしてある。このモジュールの冷却特性として $T_h=30^\circ C$ で熱負荷のない場合の温度差を図6.3に示す。

使用した素子材料は $Z=2 \times 10^{-3} K^{-1}$ のものであるが、組立てると熱的および電氣的損失のために、 $Z$ は $1.7 \times 10^{-3} K^{-1}$ となった。

### 7. む す び

熱電冷却素子の材料として試作した $Bi_2Te_3$ 系の金属

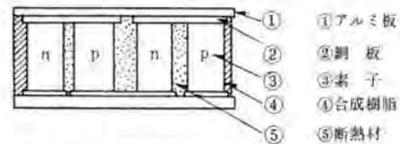


図 6.2 熱電冷却モジュールの断面図  
Fig. 6.2 Cross-section of thermoelectric module for cooling.

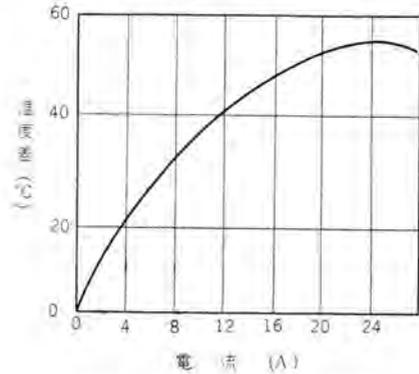


図 6.3 モジュールの冷却特性 ( $T_h=30^\circ C$ )  
Fig. 6.3 Temperature difference versus input current of thermoelectric module ( $T_h=30^\circ C$ ).

間化合物半導体の特性について記述した。p形、n形のいずれの材料も $Z=3 \times 10^{-3} K^{-1}$ 以上のものが得られているが、さらに効率を高めるため研究を続けている。また電子冷却は効率の点で、現在実用されている冷却方式にかなり劣っているので、大形機器への応用は経済的に成り立たないが、Spot cooler, 恒温そうなどの小形冷却器には十分利用価値がある。

試作した冷却モジュールについても報告した。

### 参 考 文 献

- (1) A. F. Ioffe, 坂田民雄訳: 半導体とその応用 (昭 31).
- (2) H. I. Goldsmid: J. Electronics 1, 218 (1955).
- (3) F. D. Rosi, B. Abeles and R. V. Jensen: J. phys. chem. Solids. 10, 191 (1959).
- (4) U. Birkholz: Z. Naturf. 13a, 780 (1958).
- (5) E. Mooser & W. B. Pearson: J. phys. chem. Solids; 7, 65 (1958).
- (6) N. Fushillv, J. N. Bierly and F. J. Donahoe; J. phys. chem. Solids 8, 430 (1959).
- (7) 寺本・高柳: 応物, 29, 400 (昭 35).

# クリネヤ (電気式空気清浄装置)

神戸製作所 齋 藤 寛\*

## “Cleanaire” Electrostatic Air Purifiers

Kobe Works Hiroshi SAITO

Air ventilation and air conditioning are now becoming one of essentials in the design of building. But relatively a little attention is paid to the purification of air circulating in the rooms. In this regard, “Cleanaire” is most ideal because of its excellent performance in removing dust from circulating air by means of a two stage electric charges static dust collecting mechanism. This report first describes the features of the Cleanaires on their various types together with the gain available by the purification of ventilated air and a vital role played by it. Lastly, problems on the degree of purification in the air conditioning on which the writer has had an idea for some time.

### 1. ま え が き

今日 ventilation や air conditioning において、もっとも重要な問題になっているものの一つに空気中のチリがある。建物内の再循環空気はもちろんのこと、外気すらも清浄ではなくなっている。したがってどんな空気処理システムでも、換気を有効に清浄化するような何か信頼するに足る方法を持たなければならなくなってきた。最近 air conditioning が普及して、居住性の改善に大きな貢献をしているが、真に有害な微小なチリを除去する能力に欠けている機械式 air filter が、この分野でいまだに幅をきかしている点で一考を要するものがある。

一般に空気清浄装置に要求される機能的必須条件は、高い集じん効率と低い空気抵抗である。ところが機械式 air filter では、集じん効率を高めようとするれば空気抵抗が使いものにならないくらい高くなったり、短期間に目詰りを起こしてしまったりする。機械式 air filter にはこのような本質的制約があるために、ある程度低い集じん性能のものでまんしななければならないばあいが多い。これに反してクリネヤは2段荷電形静電気集じん機構により、チリの大小に無関係に同じように効率よく除去することができ、しかも電気集じんであるために空気抵抗はきわめて低くかつ不変であり、上記の2条件が同時に満足される。

以下最近のクリネヤについて、その構造機能や形式の概要を系統的に述べ、あわせて換気の清浄化によってもたらされる利得についても付言する。

### 2. 構 造

コントロール装置が、チリの荷電と集じんを同一不平等電界で行なう1段荷電形静電気式集じん装置であるのたいたいし、クリネヤは、チリを荷電する不平等電界(電離部)と、さらにそれを集じんする平等電界(集じん部)の2組の異なった電界からなる2段荷電形の集じん機構を有

し、電源部・集じんユニットおよび洗浄機構の3部分を主体として構成される。

#### 2.1 電 源 部

電源部は外部から 50/60 c/s, 200/220 V の単相低圧交流電力の供給を受け、これを高圧直流に変圧整流して、集じんユニットに供給する装置であり、下記の諸要素を1個のケースに納めてある。

- a. 直流高電圧発生装置
- b. 高圧回路短絡時の電源部保護装置
- c. 正常および異常時の表示装置
- d. 危険防止装置

クリネヤの集じん性能は、チリにたいする荷電および集じん能力のいかんにかかっており、これは電離部および集じん部に供給される直流高電圧によって左右されるものである。したがって電源部は、外部からの供給電圧の変動に適応するように調整しうること、およびつねに正規の直流高電圧を発生し、負荷の変動があってもこれを適正範囲に維持しうる能力を備えていなければならない。

電源部にはクリネヤの形式に応じて下記3種類がある。

- a. RA-15 形電源部 (CG, CH, CW 形クリネヤ用)
- b. RC-20 形電源部 (CG-B, CH-B 形クリネヤ用)
- c. CC-B 形電源部 (CC-B 形クリネヤ用)

RA-15 形電源部は後述の A 形集じんユニットを、また RC-20 形電源部は B 形集じんユニットをそれぞれ対象とするもので、外観・外形寸法だけでなく、その内部接続も両者ほとんど同一であり、ただ電離部・集じん部の供給電圧が、前者は DC 12,500 V および 5,500 V であるのたいたいし、後者は DC 10,000 V および 5,000 V になっている点だけが異なる。図 2.1 に RC-20 形電源部を、図 2.2 に外形寸法を、また図 2.3 に接続図をそれぞれ示す。この2種類の電源部は図 2.3 に示すように、高圧変圧器・高圧整流管およびコンデンサなどを1個のケースに納めたもので、倍電圧整流方式により上記直流高電圧を発生するようになっている。これら電源部1個で集じん

ユニット10個を受持つことができ、そのばあいの入力はいずれも約200Wである、またこの電源部の最大の特長は高圧変圧器の一次側に可飽和リアクトルをそう入してあることであり、このリアクトル制御によって出力電流の変動を平滑にして適正な電圧制御を行ない、かつ瞬間的な放電や短絡の衝撃を吸収するとともに、電源部の赤色表示灯（高圧回路短絡）または緑色表示灯（正常）を点灯させて、集じん作用が正常に行なわれているかどうか



図 2.1 RC-20 形電源部  
Fig. 2.1 Type RC-20 power pack.

を表示し、しかも電源部回路が過電流によって焼損することを防止する。したがって断路器などの保護装置は付加していない。

なお危険防止のために電源部正面トビラのハンドルは安全スイッチと連動していて、内部の高電圧が完全に消勢するまではトビラが開けられないように機械的に時限をもたせてある。

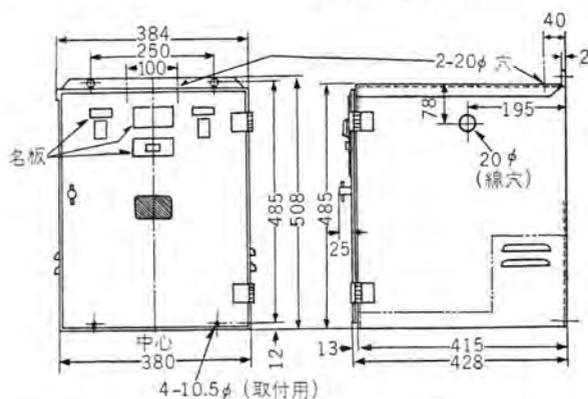


図 2.2 RC-20 形電源部外形図

Fig. 2.2 Outline dimensions of type RC-20 power pack.

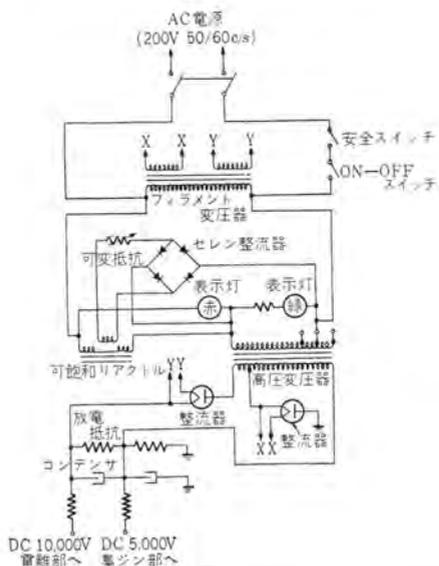


図 2.3 電源部接続図

Fig. 2.3 Connection diagram of power pack.

CC-B 形電源部はとくにキャビネット形クリネ用として設計されたもので、DC 10,000 V を電離部へ、また DC 5,000 V を集じん部へそれぞれ供給する。図 2.4 に CC-B 形電源部を、図 2.5 に外形寸法を、また図 2.6 に接続図をそれぞれ示す。この電源部の直流高電圧発生機構は前述の RA-15 および RC-20 形とほぼ同様であるが、可飽和リアクトルは使用せず、過電流にたいする保護装置としては断路器を使用し、なお高圧変圧器が leakage trans. になっていて変圧器自身によっても高圧回路の短絡にたいし自己保護が行なわれる。また正面トビラには上述の断路器のほかに運転状態を表示する色別目盛付電流計・ファンスイッチおよび集じん-洗浄切換スイッチが設けられ、クリネの洗浄操作がここで行なえるようになっている。



図 2.4 CC-B 形電源部  
Fig. 2.4 Type CC-B power pack.

## 2.2 集じんユニット

集じんユニットは 適当な大

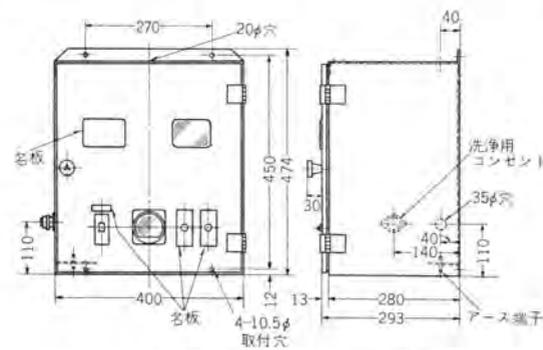
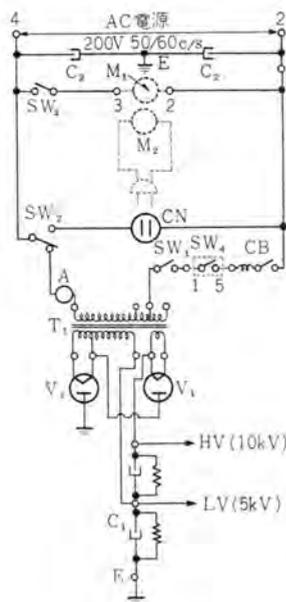


図 2.5 CC-B 形電源部外形図

トビラは 180 度まで開くことができる。  
Fig. 2.5 Outline of type CC-B power pack.



記号	名	説明
V <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	高圧整流管	
C <sub>1</sub>	コンデンサ	0.05μF + 0.05μF
T <sub>1</sub>	変圧器	
C <sub>2</sub>	コンデンサ	0.5μF
SW <sub>1</sub>	安全スイッチ	
SW <sub>2</sub>	切換スイッチ	
SW <sub>3</sub>	ファン開閉スイッチ	
A	交流電流計	
CB	断路器	
CN	コンセント	
M <sub>1</sub>	ファンモータ	
M <sub>2</sub>	洗浄水モータ	
SW <sub>4</sub>	本体安全スイッチ	
E	アース端子	

図 2.6 CC-B 形電源部接続図  
Fig. 2.6 Connection diagram of type CC-B power pack.

きさの標準ワツで、電離部と集じん部とて構成され、これを処理風量に応じて適當数を縦横に積重ね、縦列あるいは横列同士を電氣的に接続する。集じんユニットは軽量なことおよび耐食性の高いことを目的として純アルミニウムが主体として使用される。

電離部は通過気流中のチリに集じんに必要な正電荷を与える部分であり、細い放電線とそれに対向する比較的表面积の大きな接地極の1群からなる。電離部ではオゾンの発生を極力押え、しかもなるべく多くの正電荷をチリに与えなければならない。したがってその電極の形状および構造は効果的な電界強度分布を得ることと、気流のバイパスを防止することを主眼にして決定されなければならないが、さらに保守の面から放電線の断線などによる取換えが容易に行なえて、しかも洗浄しやすい構造のものであることが必要である。

電離部におけるチリの荷電機構には、電界の電気力によってイオンが粒子に衝突付着する現象とイオンがその分子運動による拡散作用によって粒子に付着する現象とがある。1個の粒子に付着しうる電荷量は前者のばあいには次式によって表わされる。

$$ne = E_0 r^2 \left( 1 + 2 \frac{D-1}{D+2} \right) f(t) \quad (2.1)$$

$$\text{ただし } f(t) = t \left( t + \frac{1}{300\pi N_0 u c} \right) \quad (2.2)$$

- ここに、 $n$  = 荷電数 ( $e$  の倍数)
- $e$  = 電子の電荷 =  $4.77 \times 10^{-10}$  (esu)
- $D$  = 粒子の誘電率
- $E_0$  = 電離部の電界強度 (esu)
- $r$  = 粒子の等価半径 (cm)
- $N_0$  = イオン密度 (個/cm<sup>3</sup>)
- $u$  = 正イオンの能動度 (cm<sup>2</sup>/sec/volt/cm)
- $t$  = 粒子の電離部通過時間 (sec)

そして式 (2.1) において  $f(t) = 1$  のばあいが飽和荷電量になる。また後者のばあいには次式によって表わされる。

$$ne = \frac{rkT}{e} \log_n \left( 1 + \frac{\pi r CN_0 e^2}{kT} \cdot t \right) \quad (2.3)$$

- ここに、 $k$  = ボルツマン 常数 =  $1.38 \times 10^{-16}$  (erg/deg)
- $T$  = 絶対温度 (°K)
- $c$  = イオンの平均速度 (cm/sec)

一般に直径約  $0.5 \mu$  以上の粒子にたいしては電界の電気力による荷電作用のほうが優勢であり、イオンの拡散によるものは直径約  $0.2 \mu$  以下の粒子にたいして優勢になる。

集じん部は、多数の正極性高電位極板と接地極板とを交互に狭小等間隔に気流と平行に並べたものである。そして電離部で正電荷を与えられたチリをクーロンの法則に基づく電気力によって接地極板に吸引付着させる。

集じん部において  $ne$  なる電荷を有する1個の粒子に気流と直角方向に生ずる速度は、粒子に作用する電気力と空気の粘性抵抗が平衡するという条件から

$$neE_1 = 6\pi\mu_a r v_b$$

$$\therefore v_b = neE_1 / 6\pi\mu_a r \quad (2.4)$$

ここに、 $v_b$  = 気流と直角方向の粒子速度 (cm/sec)  
 $E_1$  = 集じん部の電界強度 (esu)  
 $\mu_a$  = 空気の粘度 (poise)

また、 $v_a$  = 粒子の気流方向速度 (風速) (cm/sec)  
 $b$  = 集じん部の極板間隔 (cm/sec)  
 $l$  = 集じん部の気流方向長さ (cm)  
 $t_a$  = 粒子の集じん部通過時間 =  $l/v_a$  (sec)  
 $t_b$  = 粒子が気流と直角に極板間を移動するに要する時間 =  $b/v_b$  (sec)

とすれば、層流の仮定のもとで集じんが成立するための条件は下記のとおりである。

$$t_b \leq t_a \quad (2.5)$$

$$\text{したがって、 } v_a \leq (ne) E_1 \frac{l}{6\pi\mu_a b r} \quad (2.6)$$

しかし実際のばあい集じんユニットの通過気流に完全な層流を期待することは困難であるから、集じん部においては、集じん極板に付着する粒子の量が、通過気流中に含まれている未集じんの粒子の量に比例するという仮定のもとに、集じん効率を次式によって表わされる。

$$\eta = 1 - e^{-K \frac{v_a}{v_b} \frac{l}{b}} \quad (2.7)$$

ここに、 $\eta$  = 集じん効率  
 $K$  = 集じんユニットの構造、通過気流の状態、チリの性質などによって定まる常数

図2.7にB形集じんユニットの集じん原理を、図2.8に集じん効率と風速の関係曲線を、また図2.9にBlackness testの成績をそれぞれ示す。

クリネタの標準集じんユニットには下記3種類がある。

- a. A形集じんユニット (CG, CH, CW形クリネタ用)
- b. B形集じんユニット (CG-B, CH-B形クリネタ用)
- c. C形集じんユニット (CC-B形クリネタ用)

A形集じんユニットは、高さ600mm、気流方向長600mm、幅900mmおよび600mmの2種類の外形寸法のものがあり、前者をA-90形ユニット、後者をA-60形ユニットと称する。これらユニットの空気流入側には電離部が固定され、これは気流と直角方向に1列等間隔に並んだ太いアルミニウム管の接地極と各接地極間の真中にそ

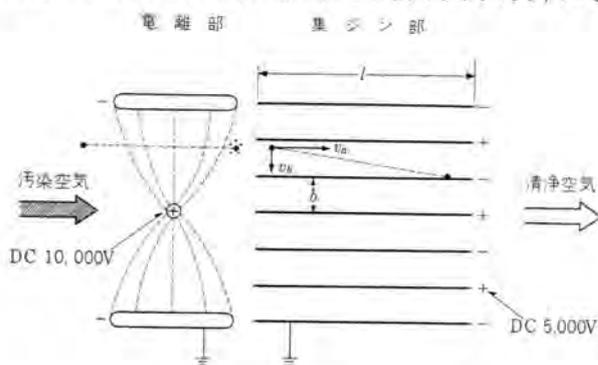
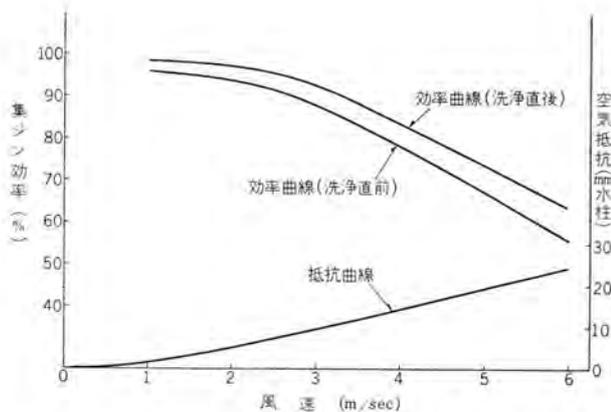


図 2.7 集じん原理説明図  
 Fig. 2.7 Principle of dust collection.



- (1) 風速は風量をユニットの高さと幅の相乗積にて除した見かけの風速である。
- (2) この集じん効率曲線はユニットに粘着剤を塗布した場合のものである。効率曲線(洗浄直前)は空気流入側より見て集じん板(0.4mm厚)の見かけ厚みが約1.5mmになった場合のもので、これをもって保証集じん効率曲線とする。
- (3) 集じん効率の測定 Dill Dust Spot Tester による。
- (4) 空気抵抗は標準のシロ板とメタリックフィルタを含んだ値である。

図 2.8 B 形集じんユニット 風速-集じん効率-空気抵抗関係曲線  
Fig. 2.8 Air velocity-precipitation efficiency-air resistance curve of type B unit.

クリネマ B-75 形集じんユニット  
Blackness test 33-10-28  
風量 62 m<sup>3</sup>/min  
保証集じん効率 90%

白色濾紙の位置	空気入口側	空気入口側	空気出口側
露出時間 (時間率)	18 分 (90%)	2 分 (10%)	20 分 (100%)
濾紙番号	A	B	C
濾紙の汚染状態			

濾紙 B と C を比較した場合  
両者のよごれ方が同一ならば 集じん効率 90%  
B が C よりもよごれ方がひどければ 集じん効率 90% 以上  
B が C よりもよごれ方が少なければ 集じん効率 90% 以下

図 2.9 B 形集じんユニットのブラックネステスト  
Fig. 2.9 Blackness test of type B unit.

れらと平行に 1 本ずつ張られたごく細い放電線とからなり、放電線には電源部から正極性の DC 12,500 V が供給される。集じん部は別の枠組によって構成され、これをユニットの空気流出側から上下 2 段にそう入固定するようになっている。そして高電位極板には電源部から正極性の DC 5,500 V が供給される。図 2.10 に A-90 形集じんユニットを示す。これは保証集じん効率 90% のばあいの最大処理風量が 56.6 m<sup>3</sup>/min のものであり、その重量は約 60 kg である。

B 形集じんユニットは、高さ 500 mm、気流方向長 300 mm、幅 750 mm および 500 mm の 2 種類の外形寸法のものがあり、前者を B-75 形ユニット、後者を B-50 形ユニットと称する。これらは A 形集じんユニットに比べて処理風量が多いにもかかわらず、通風面積で 36%、気流方向長で 50%、重量で 70% もそれぞれ小さくなっており、高風速高集じん効率用としてとくに設計されたものである。B 形集じんユニットは電離部接地極が平板状で、

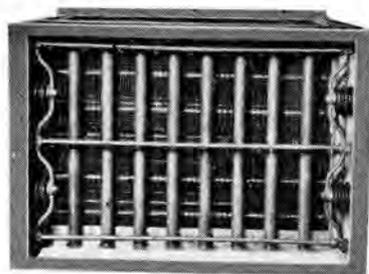


図 2.10 A-90 形集じんユニット  
Fig. 2.10 Type A-90 dust collecting cell.

集じん部極板間隔は A 形ユニットの約 1/2 になっており、しかも電離部と集じん部はユニット枠によって一体に組立てられている。そして電離部には DC 10,000 V、集じん部には DC 5,000 V が電源部から供給される。なお A 形集じんユニットでは、ユニット同士の電気的接続は縦列同士をツギ線と接続するが、B 形集じんユニットでは、高圧バネ端子が各ユニットの側面に設けてあるので横列同士が電気的に接続され、しかもツギ線を必要としない。図 2.11 に B-75 形集じんユニットを示す。これは保証集じん効率 90% のばあいの最大処理風量が 61.9 m<sup>3</sup>/min のものであり、その重量は約 18.5 kg である。



図 2.11 B-75 形集じんユニット  
Fig. 2.11 Type B-75 dust collecting cell.

C 形集じんユニットはキャビネット形クリネマ用としてとくに設計されたもので、その外形寸法は、高さ 400 mm、気流方向長 300 mm、幅 500 mm の 1 種類であり、重量は約 11 kg である。なお電離部・集じん部の構成は B 形集じんユニットと同一である。ただキャビネット形クリネマ専用であるため、ユニット側面の電離部・集じん部用各高圧バネ端子が側面の縦中心線にたいして左右振分けの位置に設けられている点異なる。図 2.12 に C 形集じんユニットを示す。これは保証集じん効率 90% のばあいの最大処理風量が 33 m<sup>3</sup>/min のものである。

### 2.3 洗浄方式

クリネマでは集じん部接地極板に一定限度以上のチリが

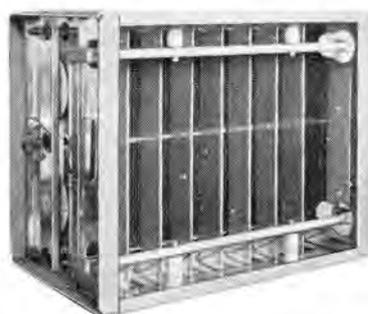


図 2.12 C 形集じんユニット  
Fig. 2.12 Type C dust collecting cell.

堆積してくると、極板間の spitting 頻度が増加して高圧側の電圧変動が激しくなり、また堆積したチリの気流による再飛散も生じやすくなるからいきおい集じん効率が低下してくる。したがってクリネヤにつねに高い集じん効率を維持させるためには周期的に捕集したチリを除去排出してやる必要がある。そのためクリネヤでは常温の清水をノズルから噴射させ付着したチリを洗い落とす方法をとっている。それと同時に電極面に付着したチリが気流によって再飛散するのを防止し、噴射水によって洗い落としやすくするために、電極面には洗浄後水溶性の特殊粘着剤(松村石油製 Air Flow SS-90)を吹付けておくことを原則にしている。

洗浄周期は設置場所の環境や季節などにより一概にいうことはできないが、集じん部接地極板を空気流入側から見たばあいに、その見かけ厚みがA形ユニットで約3mm、BおよびC形ユニットで約1.5mmになったときに洗浄すべき時期であるとみなしてよい。従来から実績によればA形集じんユニットを使用するものでは2~4週間、またBおよびC形集じんユニットを使用するものでは1~3週間の洗浄周期が適当である。洗浄周期が長過ぎたり、洗浄が不完全であったり、あるいは粘着剤を常用しなかったりすると、長い間には電極面に不溶性のチリのカタマリや薄膜が残るばあいがあり、これらは次第に成長してついには電極間に連続的な閃絡や放電を生じ、集じん作用の継続を不可能にする原因となる。

クリネヤの洗浄方式には次の4種類がある。

#### (1) 手動ノズルによるもの

これは作業者がノズルを手に持って洗浄水および粘着剤の吹付けを行なうもので、もっとも簡単確実な方法ではあるが、集じんユニットの数が多いばあい、洗浄周期がとくに短いばあい、あるいは保守点検用スペースの狭いばあいなどには不適当である。普通形クリネヤがこの洗浄方式を採用しているが、このばあいノズルは噴射液を垂直扇形状にひらくものを使用する。

#### (2) 固定ノズルによるもの

これは集じんユニットの空気流出入側に、それぞれ適当数のノズルを取付けた洗浄水管を固定し、各ノズルから洗浄水を円スイ状に噴射させる方法で、キャビネット形クリネヤがこの方式を採用しており、洗浄操作は電源部のスイッチ操作だけで行なうことができる。ただし粘着剤はエヤゾール缶による手動吹付けである。

#### (3) 走行式洗浄管によるもの

これは適当数のノズルを取付けた大小1組の直立管を集じんユニット列に沿って左右に往復走行させながら洗浄水および粘着剤の吹付けを行なうもので、その操作はすべて洗浄用制御盤のスイッチによって行なうからクリネヤの容量の大小に関係なく洗浄操作はきわめて簡単である。しかもノズルからの噴射液は垂直扇形状にひらくから狭小間隔に並んだ集じん部極板も効果的に洗浄され、粘着剤も有効に吹付けられる。洗浄管走行形クリネヤはこの

洗浄方式を備えたものである。

#### (4) 可動式洗浄箱によるもの

これは連続集じん形クリネヤに採用されている方式で、集じんユニット列の空気流出入側に一対の洗浄箱を対向せしめ、外部の操作盤のハンドル操作によってこれを集じんユニット列に沿って自由に移動することができるようにしたものである。この一対の洗浄箱の幅は集じんユニット列の1列分の幅に等しくしてあるから、任意の集じんユニット列を前後から完全に包囲することができる。そして各洗浄箱内にはノズルを備えた走行式直立噴射管が取付けられていて、左右に往復走行しながら洗浄水あるいは粘着剤を垂直扇形状に噴射する。したがって洗浄水や粘着剤の噴射飛マツが、他の集じんユニット列や流出側清浄空气中に侵入する恐れがないから、他の集じんユニット列はそのまま集じん作用を継続することができる。これらの操作はすべてダクト外の操作盤および制御盤によって簡単に行なうことができる。

### 3. 形 式

#### 3.1 キャビネット形クリネヤ (CC-B)<sup>(1)</sup>

キャビネット形クリネヤにはCC-B11~CC-B32形までの5種類があり、保証集じん効率90%で33m<sup>3</sup>/minから198m<sup>3</sup>/minの風量を処理する小形クリネヤである。キャビネットは薄鋼板製で床置水平気流として設計されており、外面は灰色を主体として下部は濃紺色に色分けされた優美な塗装が施してある。表3.1にCC-B形クリネヤの仕様一覧表を、表3.2に外形寸法一覧表を、また図3.1にCC-B22形クリネヤを示す。

表 3.1 キャビネット形クリネヤ仕様一覧表

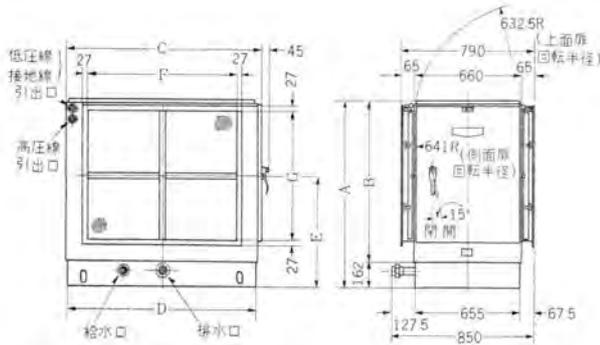
名 称	CC-B11		CC-B21		CC-B31		CC-B22		CC-B32			
	保証集じん効率(%) <sup>(1)</sup>	90	85	90	85	90	85	90	85	90	85	
最大処理風量	m <sup>3</sup> /min		33	40	66	80	99	120	132	160	198	240
	ft <sup>3</sup> /min		1,165	1,410	2,330	2,820	3,495	4,230	4,660	5,640	6,990	8,460
空気抵抗 mmAq	5		7		5		7		5		7	
	m <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> 分 (高2間)		600 21,200 50		1,200 42,400 100		1,800 63,600 150		2,400 84,800 200		3,600 127,200 300	
電源	50/60 c/s 200±30 V		50/60 c/s 200±30 V		50/60 c/s 200±30 V		50/60 c/s 200±30 V		50/60 c/s 200±30 V			
消費電力	58 VA		66 VA		76 VA		88 VA		115 VA			
寸法付方法	床置		床置		床置		床置		床置			
気流方向	水平		水平		水平		水平		水平			
洗浄水所要量(L)	60		120		180		240		360			
ポンプ容量(L/min)	20		40		60		80		120			
給水圧力(kg/cm <sup>2</sup> )	2		2		2		2		2			
洗浄水供給口	3/4 ユニオン		1 ユニオン		1 ユニオン		1 1/2 ユニオン		1 1/2 ユニオン			
粘着剤所要量(個) (280 cc 入り エヤゾール缶)	1/2		1		3/2		2		3			
排水口	1 ユニオン		1 1/2 ユニオン		1 1/2 ユニオン		2 ユニオン		2 ユニオン			
電線引出口	3/4薄鋼 電線管ネジ		3/4薄鋼 電線管ネジ		3/4薄鋼 電線管ネジ		3/4薄鋼 電線管ネジ		3/4薄鋼 電線管ネジ			
重量(kg)	キャビネット 115 電源部 30		175 30		210 30		270 30		325 30			

注 (1) 集じん効率の決定は Blackness Tester または Dust Spot Tester による。

(2) これは保証集じん効率85%の最大処理風量で、換気回数を4回/時とした場合の値である。

表 3.2 キャビネット形 クリネヤ 外形寸法一覧表

形番	CC-B11	CC-B21	CC-B31	CC-B22	CC-B32	
外形寸法 (mm)	A	750	1,145	1,540	1,145	1,540
	B	588	983	1,378	983	1,378
	C	702	702	702	1,202	1,202
	D	675	675	675	1,175	1,175
	E	481	681	881	681	881
	F	472.2	472.2	472.2	927.2	927.2
	G	407.2	797.2	1,187.2	797.2	1,187.2



キャビネットの側面トビラは片面だけに設けられており、トビラ面にたいする気流方向が標準（右から左）と逆になるときは集ユニットを逆向きにそう入し、空気流出入口のフィルタとシャ風板の位置を換え、かつ電源部の電離部・集じん部用の各高圧端子を継ぎかえるだけでよい。また狭い場所に据付けて側面にスペースがないばあいでも上方からいっさいの保守点検がで



図 3.1 CC-B 22 形 クリネヤ  
Fig. 3.1 Type CC-B 22 cleanaire.

きるようにキャビネットの天井面もトビラになっている。トビラの鎖錠機構は安全スイッチと機械的に連動し、トビラを開けるときにだけ、内部の高電圧が完全に消勢するに十分な時限をもたせ、トビラをしめるときは単にネジ棒を押し込むだけで瞬時に鎖錠されるようになっている。なおこの鎖錠機構は側面あるいは天井面のいずれのトビラにも簡単に付換えることができる。

洗浄水のノズル配管は集ユニットの空気流出入側に向け、ノズルの数や取付角度は効果的な洗浄が行なえるように考慮してきめてある。

集じんを行なわせるばあいは電源部のファンスイッチおよび断路器を ON にする。集じん作用が正常に行なわれているかどうかは電流計の色別目盛によって表示される。洗浄を行なうばあいは電源部のファンスイッチおよび断路器を OFF にしてから集じん-洗浄切換スイッチを洗浄側に入れれば、洗浄水ポンプあるいは電磁弁が動作して固定ノズルから洗浄水が噴射される。約3分間の洗浄水噴射の後切換スイッチを集じん側に入れ、ファンスイッチを ON にして内部の通風乾燥を約1時間行なう。最後にキャビネ

クリネヤ (電気式空気清浄装置)・斎藤

ットのトビラを開けてエアゾールカ入粘着剤を集ユニットに吹付け、トビラをしめて断路器を ON にすればふたたび効率のよい集じん作用が開始される。

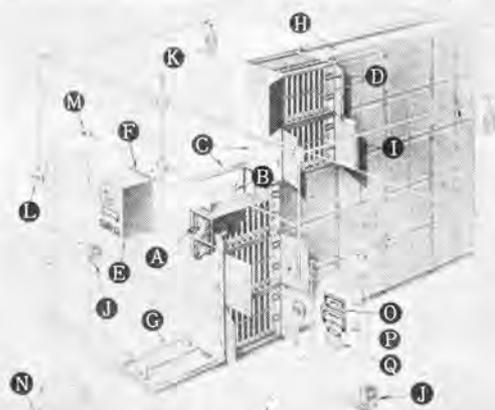
### 3.2 普通形クリネヤ (CG, CG-B)

普通形クリネヤには A 形集ユニットを使用する CG 形と B 形集ユニットを使用する CG-B 形の 2 種類があり、いずれも基礎面に台ワクを置きその上に風量に応じて所要数の集ユニットを積重ね、これを外被ワクで被覆する形態をとる。図 3.2 に CG 210 形クリネヤを、図 3.3 に CG 形クリネヤの主要構成部品を、また図 3.4 に CG-B 312 形クリネヤを示す。CG 形はチリの濃度の高いばあいや紡績工場のようにセロイ質のチリの多い環境に使用するのに適し、CG-B 形はその他一般のばあいに適用する。

CG 形の外被ワクは、集ユニット列の前後にある保守点検用スペースをも含む大きさに作られ、その空気流入面には 20 メッシュのサラネットを張り、空気流出面には



図 3.2 CG 210 形 クリネヤ  
Fig. 3.2 Type CG 210 cleanaire.



- A...集じん部
- B...集じん部接続導線
- C...ユニットワク
- D...電離部
- E...電源部
- F...電源部取付ワク
- G...床井板
- H...天井板
- I...シャ風板
- J...出入口扉用安全錠およびスイッチ
- K...風道灯
- L...風道灯用スイッチ
- M...高電圧表示灯
- N...洗浄水噴射用ノズル
- O...高電圧表
- P...高電圧表
- Q...取扱名板

図 3.3 CG 形クリネヤの主要構成部品  
Fig. 3.3 Principal parts of type CG cleanaire.

金属フィルタを取付ける。また外被ワク側面には集ユニット列を挟んで一対の出入口を設け、ここには気密トビラ・安全錠および表示灯付スイッチ箱などを取付ける。なお各集ユニットの空気流入側には通過気流の速度を均一にするためにトビラ式のシャ風板が取付けてある。

CG-B形では基礎の中央に気流方向長560mmの外被ワクを組立てその前後にダクトを連結する。したがって保守点検用の出入口はこの連結ダクトに設ける。外被ワクはボルト・ナットによる組立式で、その空気流出側には金属フィルタを取付け、集ユニットは空気流入側から外被ワク内に下から順次そう入し、通しボルトとチョウナットによって外被ワクに固定する。CG-B形ではシャ風板を集ユニットに取付けられないから、空気流入側ダクト内に別にシャ風板を設ける必要があり、また30メッシュのサランネットもあわせて取付ける。

普通形クリネヤでは洗浄のさい作業者がホースの先端に取付けられたノズルを手を持って直接各集ユニットを上方から順次に洗浄してゆく。そして洗浄後十分に乾燥させてから粘着剤を別のノズルで吹付ける。このような手動洗浄方式ではクリネヤの容量が大きくなるにつれて次第に洗浄操作のわずらわしさが増大してくるから、あまり集ユニット数の多いものや高さの高いものには不適當である。したがって普通形クリネヤではその標準形番を集ユニットの縦段数は4段まで、横列数は5列までのものに止めてある。

### 3.3 洗浄管走行形クリネヤ (CH<sup>(2)</sup>, CH-B<sup>(3)</sup>)

洗浄管走行形クリネヤにはA形集ユニットを使用するCH形とB形集ユニットを使用するCH-B形の2種類があり、その適用別はCG形とCG-B形のばあいに準ずる。この形式のクリネヤは普通形クリネヤと類似の外被ワク構造を有し、さらに集ユニット列の空気流入側にそれぞれ適當数のノズルを取付けた太い管と細い管を一体にしたものを直立させ、これを集ユニ



図 3.4 CG-B 312 形クリネヤ  
Fig. 3.4 Type CG-B 312 cleanaire.

ット列の前面にわたって左右に往復走行させ、太い管のノズルからは洗浄水を、また細い管のノズルからは粘着剤を噴射させるようにしたものである。そしてその洗浄操作は外被ワクの側面に取付けられた洗浄用制御盤のスイッチを操作することにより容易に行なうことができる。

図 3.5 に CH 形クリネヤを、図 3.6 に CH-B 形クリネヤをそれぞれ示す。

洗浄管走行機構としてはノズルを備えた洗浄水および粘着剤用の各直立噴射管、それらを支持しかつ走行させるためのガイドレール、ローラ伝導機構、リミットスイッチなどが集ユニット列の空気流入側に装備され、外被ワクの外側面にはローラ伝導機構を駆動するための減速電動機および洗浄用制御盤を取付ける。

CH形クリネヤには走行式洗浄管が集ユニット列の空気流入側だけにあるCH-S形と空気流出入側にあるCH-D形とがある。CH-D形は強力な洗浄効果を有するからチリの濃度がとくに高いばあいや洗浄しにくいチリの多いばあいに使用するのに適する。また余剰粘着剤を回収するために粘着剤回収機構が併設されている。

CH-B形クリネヤの外被ワクは気流方向長780mmで、このうちに集ユニット、基礎油受板、台ワク、洗浄管走行機構および空気流側金属フィルタが取付けられている。

なお洗浄用制御盤には、集ユニットおよび洗浄操作を表示する2個の表示灯、洗浄管の走行時間を規制する1個のタイマならびに集ユニット洗浄切換用、洗浄水-粘着剤切換用、洗浄水噴射用および粘着剤噴射用の各操作スイッチ4個がそれぞれ取付けてある。

また集ユニット列の構成は縦段数8段、横列数10列までのものが標準形番になっている。

### 3.4 連続集じん形クリネヤ (CW)<sup>(4)</sup>

前述の各形式のクリネヤはいずれも洗浄中は集じん作用を一時中断させる必要があるが、連続集じん形は集ユニット列を1列あて洗浄してゆくために、洗浄中の集ユニット列以外の列は引き続き集じん作用を行なわせること



図 3.5 CH 780 形クリネヤ  
Fig. 3.5 Type CH 780 cleanaire.



図 3.6 CH-B 412 形クリネヤ  
Fig. 3.6 Type CH-B 412 cleanaire.

ができ、しかもその洗浄行程をすべて半自動的にこなすことのできる装置である。したがってこの装置は連続操業工場の換気清浄用のようにクリネ社の空気清浄作用を一瞬も中断することを許されないばあいに使用するのに好適である。またこの装置はA形集じんユニットを使用し、空気流出入側から洗浄するようになっているのでチリの濃度のとくに高いばあいや洗浄しにくいチリの多いばあいにも適している。

連続集じん形クリネ社では1列の集じんユニット列が洗浄中は集じん作用を営む他の集じんユニット列で全風量を負担することになるから、洗浄操作中はクリネ社の集じん効率が多少低下することになる。そこで連続集じん形では洗浄操作を行なわないときは保証集じん効率90%以上で使用し、洗浄のため集じんユニット列が1列分休止しているときでも集じん効率が85%以下にならないようにクリネ社の容量を決めている。

連続集じん形クリネ社の外被はCG形やCH形と同一要領で形成され、集じんユニットとしてはA-90形ユニットだけを使用し、電源部は各集じんユニット列に1個あて必要である。なお洗浄時以外は洗浄箱をじゃまにならないように格納しておくために集じんユニット列の末端に洗浄箱置場を設ける。

洗浄箱の移動および洗浄操作の制御は、すべて外被ワック側面に設けられた操作盤および制御盤で行なう。すなわち操作盤のハンドルをまわして洗浄箱を任意のユニット列に移動すれば、その正しい位置は制御盤上の指針と表示灯によって表示され、洗浄すべき集じんユニット列の電源を切り、洗浄・排水・粘着剤の3個のタイマを所定の時間に合わせた後に起動ボタンを押せば、洗浄水噴射・排水乾燥・粘着剤噴射の各行程がタイマの設定時間どおりに自動的に進行する。なお空気流出側洗浄箱には洗浄後の集じんユニットの乾燥を促進するために排気扇が取り付けられており、排水乾燥行程中は自動的に運転する。したがって洗浄行程の終了した集じんユニット列の電源を入れ、洗浄箱を次の集じんユニット列に移動して上述の操作を繰り返してゆくのである。図3.7にCW404形クリネ社を示す。なお集じんユニット列の構成は、縦段数8段、横列数

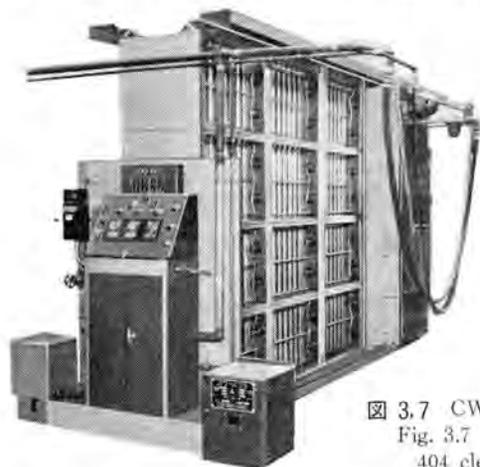


図 3.7 CW 404 形 クリネ社  
Fig. 3.7 Type CW  
404 cleanaire.

16列までのものが標準形番になっている。

#### 4. 換気清浄化による利得

空気清浄装置の集じん性能を評価するには、空気汚染度の比較によって集じん効率を決定する Blackness test が一般に用いられる。この試験法によれば種々の機械式 air filter の平均集じん効率がわずか15%であるのに対しクリネ社では97%にも達する。空気清浄能力におけるこの差異は、両者の使用実績から生ずる諸経費の節減額を比較したときに新しいしかも重要な意味をもってくるのである。

いかなる種類の空気清浄装置でもこれを購入しかつ運転するためには当然費用がかかる。しかし空気清浄装置を設置しなくてもやはり費用はかかるのである。すなわち建物内の清浄・洗浄・再塗装、商品・衣類・調度などの汚損、製品の品質低下や機械器具類の故障、あるいは事務や作業の能率低下など、もしも空気清浄装置が設置されていればそれほどの金額にはならなかったであろう。このような人的物的損失の補填費用がそれである。しかも空気清浄度が向上するほど上記の出費は節減されることになる。

空気清浄化の望ましいこと、およびクリネ社の集じん性能の優秀なことは世間一般によく認識されるようになってきたが、それにもかかわらずクリネ社はあまりにも高価過ぎるという強い印象をもっていることもまた事実である。すなわちそのような高い空気清浄度がなぜ必要なのかということと、そのような高度の空気清浄化を行なって果たして引合うものだろうかという疑問は、人々の心からなかなか拭い去ることができないようである。そこでクリネ社と同一の性能・構造を有する米国 Westinghouse 社の "Precipitron" Electronic Air Cleaner によって得られた資料を借りてこれらの疑問に答えよう。

図4.1は建物内の年間清浄用総経費(単位床面積当たり)と空気清浄装置の集じん効率との関係を示したものである。この図によって年間31φ/ft<sup>2</sup>(約4,000円/坪)というかなり大きな不可避的固定清浄費のあること、およびこの固定経費より上の部分は空気中のチリの量に直接関係する経費であって、空気清浄装置の集じん効率に

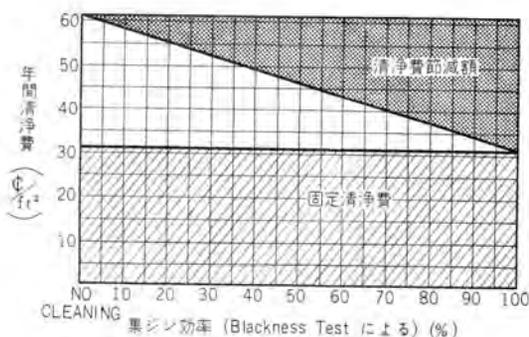


図 4.1 洗浄用経費と集じん効率の関係  
Fig. 4.1 The relation between cleaning cost and cleaning eff.

表 4.1 年間清浄経費の比較例 (1)

空気清浄装置の種類	機械式 (固定式メ タリックフィルタ)	電気式 (洗浄管走 行形 Precipitron)
処理風量	680m <sup>3</sup> /min (24,000cfm)	680 m <sup>3</sup> /min (24,000cfm)
集じん効率 (Blackness test)	15%	97%
Initial cost	\$ 500	\$ 4,086
集じん効率の差に よる賦課経費	\$ 4,290	0
年間 経費		
固定運転費	\$ 82	\$ 430
保守費 粘着剤 人工費	\$ 15 \$ 120	\$ 80 \$ 120
合計	\$ 4,425	\$ 630
差額合計	\$ 3,795	

表 4.2 年間清浄経費の比較例 (2)

	回転式 Oil curtain 形 または filter paper 形 の air filter を設置した 百貨店	"Precipitron" electro- nic air cleaner を設 置した百貨店
集じん効率 (Blackness test)	15%	90%
壁や天井の年間再塗装費 (2年に1回として)	\$ 5,000	\$ 1,500 (5年に1回として)
壁や天井の年間洗浄費	\$ 5,000	\$ 400
照明器具の年間清掃費	\$ 585	\$ 156
売場の年間清掃費	\$ 19,110	\$ 14,298
汚損商品の年間平均引 額	\$ 5,128.37	\$ 3,227.14
店員が掃除に費す年間の 時間外経費(1時間80分、 1年は297日として計算)	\$ 2,197.80	\$ 1,164.24
年間合計経費	\$ 37,021.17	\$ 20,745.38
年間差額合計	\$ 16,275.79	

比例して減少させることができるものであることがわかる。さらにこの図から空気清浄度が高くなるにつれて清浄用経費がいかに節減されてゆか、またクリネタのような高性能の電気式空気清浄装置が実質的にそれほど高価なものであるかどうかということもうかがい知ることができる。たとえば 22,000 ft<sup>2</sup> (約 620 坪) の床面積を有し 24,000cfm の換気設備を備える建物に電気式あるいは機械式空気清浄装置を設置したばあいの年間清浄経費を図 4.1 を用いて比較すると表 4.1 のようになる。すなわち機械式 air filter の initial cost \$ 500 とその年間運転費 \$ 82 を除外しても、電気式空気清浄装置は 1 年有糸でその initial cost を償却してしまうことになる。

図 4.2 はそれぞれ一定の集じん効率を有する電気式空気清浄装置と機械式 air filter を設置したばあいの年間清浄用総経費と床面積の広さとの関係を示すものであり、同一床面積における両者の総経費の差額が電気式空気清浄装置の設置によって得られる利得になる。たとえば同図で床面積 50,000 ft<sup>2</sup> (約 1,400 坪) のばあいをとれば、電気式空気清浄装置による年間経費節減額は \$ 11,000 (396 万円) となり、このばあいの電気式空気清浄装置の

initial cost は約 \$ 8,000 (288 万円) であるから、運転開始後 9 か月にして償却されてしまうことになる。なお表 4.2 に電気式空気清浄装置と機械式 air filter を設置した百貨店における年間清浄用経費の比較例を示す。

### 5. む す び

従来から air conditioning を計画するばあいには、とかく空気清浄装置は従属的な設備とみなされがちで、air conditioning に必要な風量をもって空気清浄装置の処理風量とされるのが普通であり、それで温湿度調整の目的は一応達成されることになる。しかしながら元来 air conditioning とは換気空気の温湿度・清浄度およびその配分を同時に control するような空気処理方法のことであり、最近のように大気汚染や換気浄化の問題がやかましくなると、空気清浄装置の役割や性能、ひいてはその容量にたいしても再検討しなければならない段階に来ているものと考えられる。すなわち快適な温湿度を保持するために必要な風量と室内空気を所望の清浄度に保つために必要な風量とは、それらを決定付ける立脚点がまったく異なるゆえ必ずしも一致しないからである。

air conditioning を施された室内の空気清浄度は主として発じん量・換気回数および空気清浄装置の集じん効率の 3 要素によって左右されるものであり、空気清浄装置の集じん性能の向上だけによって万事が解決するものではないが、集じん性能の優秀な空気清浄装置によってもたらされる利益がいかに大きなものであるかということにたいしわれわれは認識を新たにする必要がある。

### 参 考 文 献

- (1) 斎藤・藪内: 新キ+ビネット形クリネタ(CC-B形クリネタ), 「三菱電機」, 34, No. 10, p. 83 (昭 35).
- (2) 斎藤・武藤: 洗浄管走行形クリネタ, 「三菱電機」, 32, No. 9, p. 78 (昭 33).
- (3) 斎藤: CH-B 形クリネタ, 「三菱電機」, 34, No. 8, p. 24 (昭 35).
- (4) 斎藤: 自動洗浄型電気式空気清浄装置, 「三菱電機」, 27, No. 11, p. 60 (昭 28).

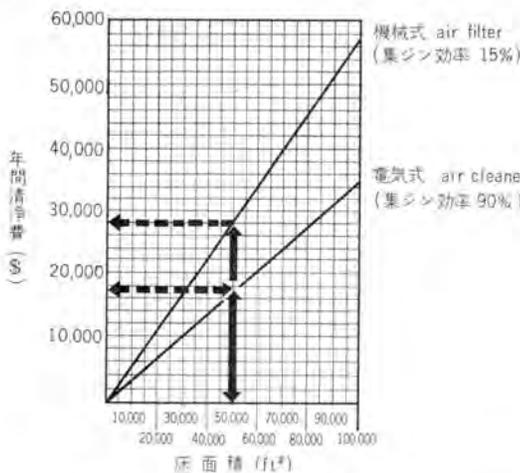


図 4.2 床面積と洗浄用経費との関係

Fig. 4.2 The relation between floor area and cleaning cost.

# 富士製鉄広畑製鉄所納め分塊圧延用 9,000kW 電気設備

神戸製作所 高 月 一\*・伊藤 嗣郎\*

## 9,000 kW Electric Equipment for Universal Slabbing Mills

Kobe Works Hajime TAKATSUKI・Tsugio ITO

Mitsubishi has been producing record electric equipment for rolling mills at all times. Recently a new universal slabbing mill has been set up in Hirohata plant of Fuji Iron and Steel Company, for which Mitsubishi has supplied electric equipment with the total capacity of DC motors reaching to 16,300 kW which ranks the largest class in the world. Of them outstanding are 9,000 kW DC motors for horizontal rolls and 3,000 kW units for vertical rolls. These machines are not only large in capacity but are provided with numerous new techniques such as a card program control system.

### 1. ま え が き

当社は圧延用電気品については絶えず記録的製品を製作してきたが、今回富士製鉄広畑製鉄所に新設されたユニバーサルスラブ用電気設備は水平ロール駆動用直流電動機が9,000 kW、立テロール用として3,000 kW、その他補助直流電動機61台をあわせて直流電動機の合計出力約16,300 kWにおよぶ世界有数の規模をもっている。その内容は容量の大きいだけでなく、数々の新技術を駆使したもので、とくにカードプログラム制御方式を導入し、もっとも近代的な圧延作業ができるようになった。

なお圧延機本体は米国 UE 社製、補助設備は主として芝浦共同が担当した。その概略仕様は  
 水平ロール二重逆転式 1,144mm×2,288mm  
 立テロール 916mm×2,140mm  
 である。



図 2.1 圧延電動機の配置

Fig. 2.1 Arrangement of main and edger drive motors.

### 2. 主圧延用回転機の仕様

水平ロール駆動は TWIN DRIVE で、立テロール駆動用電動機の中心はミルパスラインより約7m 高さでしかも水平ロールスタンドに接近している Attached Edger であるから各電動機の相互間の関係位置が苦しく、立テロール用電動機の基礎台は図 2.1 のようになっている。

水平ロール用直流電動機は二重電機子構造で、TWIN

表 2.1 主要回転機リスト

用途	台数	機種	容量 (kW)	電圧 (V)	回転数 (rpm)	備考
水平ロール駆動	2	直流電動機	2×2,250	2×750	40/80	TWIN DRIVE
立テロール駆動	1	"	2×1,500	"	60/150	
水平ロール駆動用電源	4	直流発電機	2,500	750	514	
立テロール "	2	"	1,750	"	"	
フライホイール	1	"	187,000 kW-s	"	"	
駆動用	1	誘導電動機	7,500	11,000	"	
水平ロールモータ用励磁	2	直流発電機	200	440	1,180	
" 発電機用 "	1	"	120	"	"	
駆動用	1	誘導電動機	340	3,300	"	
立テロールモータ用励磁	1	直流発電機	60	440	1,180	
" 発電機用 "	1	"	30	"	"	
駆動用	1	誘導電動機	95	3,300	"	
主誘導電動機制御電源	1	直流発電機	50	100	1,750	
駆動用	1	誘導電動機	55	3,300	"	
水平ロールモータ界磁制御	1	ロートロール	5	330	1,750	
" 界磁電流制御	1	"	5	"	"	
" ロードバランス	1	"	3	220	"	
水平ロール発電機電圧制御	1	"	5	440	"	
" ロードバランス	1	"	5	220	"	
" 電圧バイアス	1	"	4	750	"	
駆動用	1	誘導電動機	30	220	"	
立テロールモータ界磁制御	1	ロートロール	5	330	1,750	
" 界磁電圧制御	1	"	5	"	"	
立テロール発電機電圧制御	1	"	5	440	"	
" 電圧バイアス	1	"	4	750	"	
スベリ調整器制御	1	"	1	220	"	
定電圧励磁電源	1	直流発電機	10	220	"	
駆動用	1	誘導電動機	30	220	"	
ハイドロリクシャヤポンプ駆動	3	同期電動機	520	3,300	300	地下室設置
ポンプモータ用励磁電源	1	直流発電機	50	110	1,750	
向上駆動用	1	誘導電動機	55	3,300	"	

\* 技術部

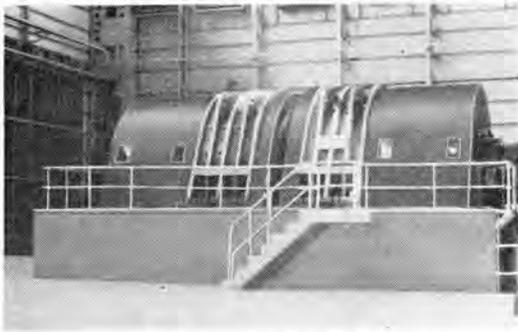


図 2.2 主圧延用電動機  
Fig. 2.2 Main drive motor.



図 2.3 電気室  
Fig. 2.3 Motor room.

DRIVE であるから電動機の軸方向の周期的振動を吸収するために電動機の反負荷側には 振動ダンパを取付けている。立テール用電動機も二重電機子であるが、TWIN DRIVE でないから 振動ダンパはつけていない。二重電機子方式の採用により  $GD^2$  は小さくなるが、軸方向に長くなるので、本機ではむだなスペースをつめるように注意し 水平ロール用電動機は TWIN DRIVE として全長約 19 m におさめた。

主圧延関係の回転機の リストは表 2.1 のとおりである。図 2.2 は 上部水平ロール用電動機の 外観、図 2.3 は 電気室全景である。イルダ M-G セットは全長約 28 m の長大なセットであり上記の主電動機と合わせて 1,000 t をこえる膨大な設備である。主要直流機はすべて成層継鉄で最高の整流能力を持っている。また整流子側の保護カバーは内部を十分広くし点検扉、ケイ光灯照明、軽合金製閉じ板、はね上げ式ふみ板などを取付けて保守点検に便利のように細心の注意を払った。

### 3. 制御装置

制御装置は高加減速、負荷平衡および負荷電流制限などの制御特性を満足し、しかも確実にしてできるだけ簡単な制御方式にしてある。なおこの設備は IBM パンチカードによってプログラム制御されるようになっているが、その大要はつぎのとおりである。

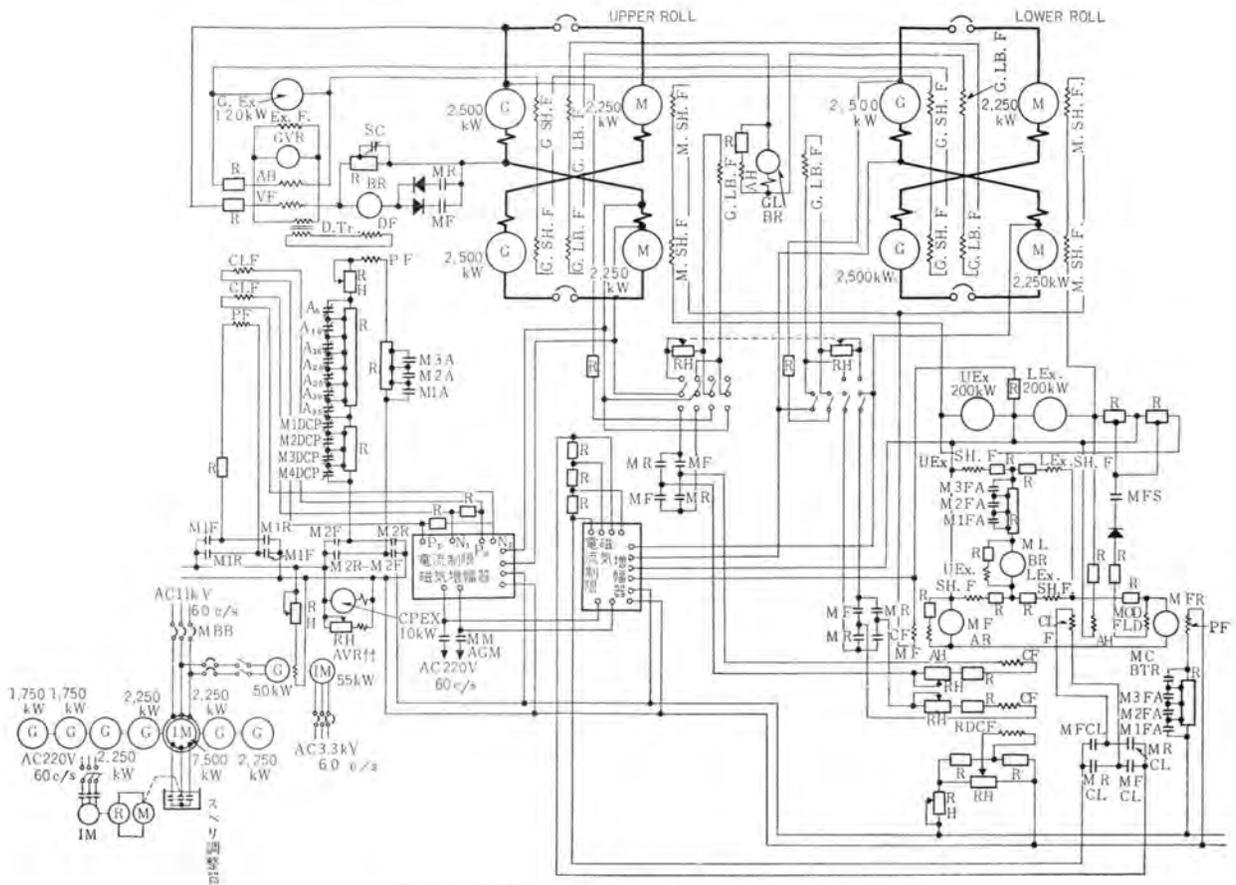


図 3.1 9,000 kW 水平ロール駆動電動機制御方式  
Fig. 3.1 Control system of 9,000 kW horizontal roll drive motor.

(1) 全自動運転

この場合は、

- (a) 水平ロール、立テロール および テーブル の正逆運転 および運転速度
- (b) 立テロール圧延パス時 の圧下量補償
- (c) 圧下の位置設定
- (d) 立テロール開閉 の位置設定
- (e) マニプレータ の位置設定

がプログラム運転される

(2) 半自動運転

この場合は、

- (a) 水平ロール、立テロール および テーブル の最高速度制限
- (b) 立テロール圧延パス時 の圧下量補償
- (c) 圧下の位置設定
- (d) 立テロール開閉 の位置設定
- (e) マニプレータ の位置設定

がプログラム運転される。水平ロール、立テロール および テーブル の運転は主幹制御器によって行なう。

3.1 水平ロール駆動電動機制御

(1) 主回路接続方式

上下ロール駆動用 4,500 kW 電動機 2 台と 2,500 kW 発電機 4 台との組合せおよび接続は、遮断器の容量が小さく、負荷平衡回路の簡単な交差接続方式とした。図 3.1 に接続図を示す。

(2) 発電機電圧制御

4 台の発電機界磁は全部直列に接続し、1 台の励磁機により励磁される。説明を簡単にするために、1 台の発電機の場合の制御方式を図 3.2 に示す。励磁機界磁制御用として 電圧調整ロートローラ (VR) と発電機電圧より

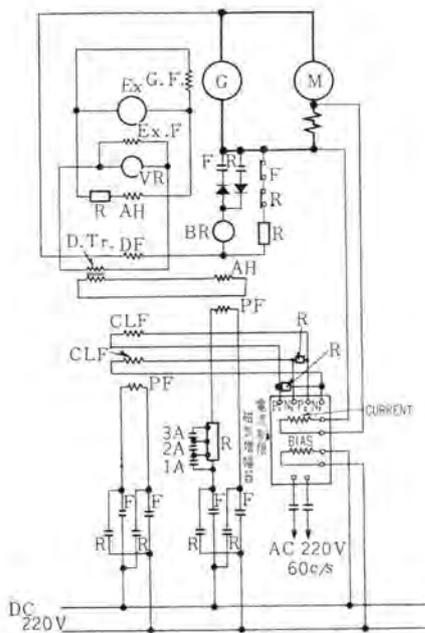


図 3.2 発電機制御接続図

Fig. 3.2 Connection diagram of generator control.

のきかん回路に設けたバイアスロートローラ (BR) の 2 台の増幅発電機を設け強制励磁を行ない発電機の電圧上昇率を大にし電動機の急加減速を容易にし、電動機基準速度 +40 rpm から -40 rpm までの逆転時間の目標を約 1 秒として計画した。発電機の電圧は BR ロートローラの基準界磁 PF によって制御される。全自動運転の場合には IBM パンチカードにより、半自動および手動運転の場合には主幹制御器によって、250 V、500 V、750 V の 3 段階に制御される。

IBM パンチカードに 1 ノッチをパンチしておいて前進開始の指令を与えるか、主幹制御器を前進 1 ノッチに進めれば、VR および BR ロートローラの基準界磁 PF は F および 1 A 電磁接触器接点が開じて励磁される。VR ロートローラの差動界磁 (DF) は主発電機電圧と BR ロートローラの電圧との差電圧によって励磁される。この場合発電機電圧が BR ロートローラの電圧より高くなるまでは界磁 DF に電流が流れないようにセレン整流器①が作用し、その間 VR ロートローラの電圧は基準界磁 PF に与えられた励磁により急速に電圧を発生し、発電機励磁機を強制励磁する。ロートローラおよび励磁機は、その頂上電圧がきわめて高いので、静定時の電圧の 10 倍程度の電圧を瞬時発生して発電機界磁を励磁し、最大電圧上昇率 2,500 V/sec 以上という高い上昇率で発電機電圧を上昇させる。発電機電圧が BR ロートローラの電圧より高くなれば界磁 DF に電流が流れ界磁 PF の作用を弱め、したがって発電機電圧の上昇率も減じ、界磁 PF と DF との合成が所要の発電機電圧相当の値に達して平衡する。後進の場合は、R および セレン整流器②によって上記と同様な作用によって発電機は逆方向の電圧を発生する。なおロートローラには強制励磁による乱調を防ぐために乱調防止界磁 AHF を設けて安定な特性を得るように設計されている。発電機電圧を 0 から 750 V

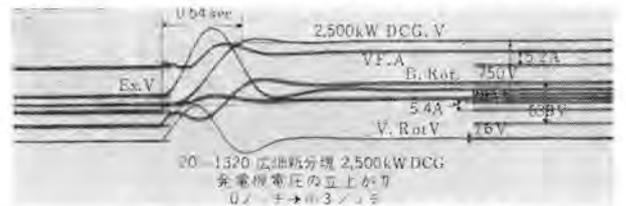


図 3.3 2,500 kW 発電機無負荷電圧上昇オシログラム (0-750 V)

Fig. 3.3 No-load voltage rise oscillogram of 2,500 kW generator. (0-750 V)

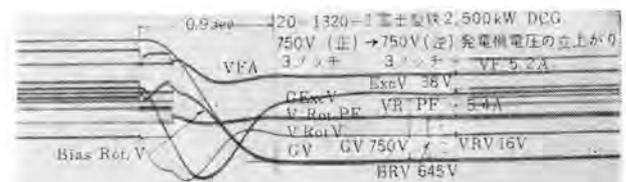


図 3.4 2,500 kW 発電機無負荷電圧逆転オシログラム (⊕750 V-⊖750 V)

Fig. 3.4 No-load voltage reverse oscillogram of 2,500 kW generator. (⊕750 V-⊖750 V)

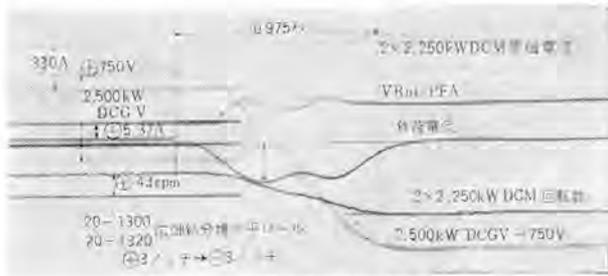


図 3.5 4,500 kW 電動機無負荷逆転  
 オシログラム (⊕43 rpm→⊖43 rpm)  
 Fig. 3.5 No-load speed reverse oscillogram of  
 4,500 kW motor (⊕43 rpm→⊖43 rpm).

まで上昇させたときのオシログラムを図 3.3 に、+750 V から -750 V に逆転させたときのオシログラムを図 3.4 に示してある。また電動機を +43 rpm から -43 rpm まで逆転させた場合のオシログラムを図 3.5 に示してある。

### (3) 電動機界磁制御

図 3.6 に電動機界磁制御の全体の接続を、図 3.7 にその基本接続を示す。2 台の励磁機を図のように接続し電動機界磁を励磁する。界磁制御は発電機界磁制御と同様励磁機界磁を界磁調整ロートロール (MFR) と界磁電流ロートロール (MFAR) によって強制作用を行ないつつ制御する。

2 台の各励磁機はそれぞれ界磁を 2 分割しブリッジ接続とし相対向する端子の 1 組は上記ロートロールに、他の 1 組は負荷平衡ロートロールに接続する。

MFAR ロートロールは電動機界磁電流に比例した電圧を発生し、MFR ロートロールはその基準界磁 PF の値

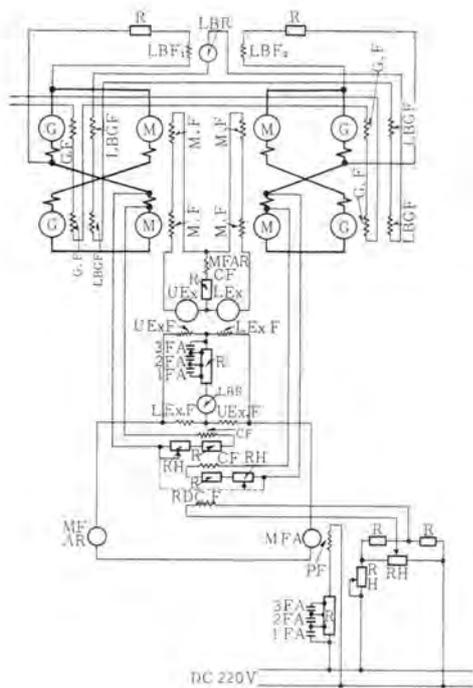


図 3.6 電動機制御接続図 (その 1)

Fig. 3.6 Connection diagram of motor control (1),

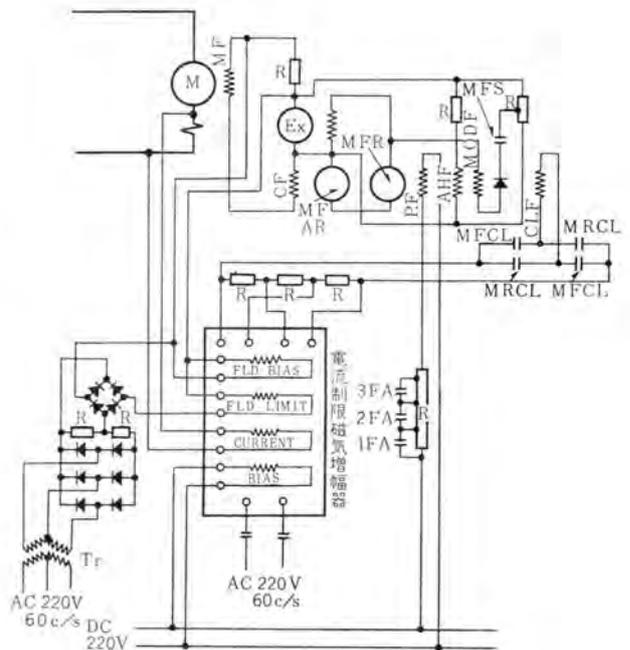


図 3.7 電動機制御接続図 (その 2)

Fig. 3.7 Connection diagram of motor control (2).

に比例した電圧を発生する。2 台のロートロールは励磁機界磁に対し直列に、かつ両電圧が差動に動作するように接続され強い強制励磁を行なう。界磁電流制御は MFR ロートロールの基準界磁 PF によって 40 rpm から 80 rpm まで 4 段に制御される。

調整界磁 MODF は弱め界磁の高速運転から急速に主幹制御器を強め界磁にもどした場合、電動機の制動電流が過大にならないように制限する作用をする。この MODF 界磁は励磁機電圧と MFR ロートロールと MFAR ロートロールの差電圧との差によって励磁される。ロートロールの差電圧が励磁機電圧より高くなれば MODF 界磁が励磁されて MFR ロートロールの出力電圧を減じ、界磁電流の急増をおさえ制動電流を制限する。

### (4) 過電流制限

圧延作業中発電機および電動機に課せられる 1-φ 負荷電流を自動的にそれぞれの許容電流値内に制限するために、VR ロートロールおよび MFR ロートロールに電流制限界磁 CLF を設け、C 級増幅用プッシュプル磁気増幅器より励磁している。磁気増幅器を使用することにより CLF 界磁回路の時定数を小さくすることができるから、発電機電圧制御回路および電動機界磁電流制御回路を安定にして利得の高い回路にすることができ、電流制限の応答時間も速くなっている。

### (5) 負荷平衡制御

#### a. 定回転力負荷平衡方式

上下各ロール用圧延電動機に対して各 2 台の発電機の負荷平衡制御については 3.1 (1) 項に述べたが、圧延電動機に対する負荷平衡については定回転力負荷平衡方式を採用した。

ロール径の相違がわずかであり、またロール径の相違

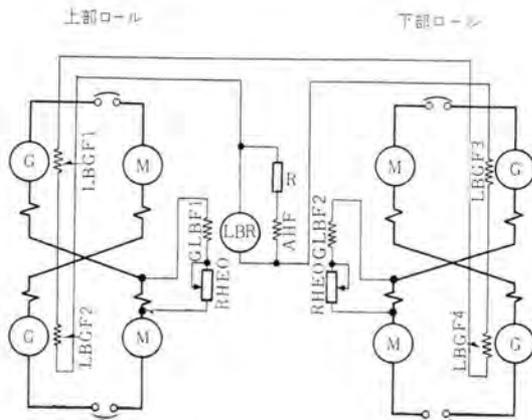


図 3.8 負荷平衡制御接続図

Fig. 3.8 Connection diagram of load balance control.

が相当あった場合には後述の ロール径補償調整器 によってその径の補償を手動で調整すれば、発電機電圧によって負荷を平衡させる方式が応答時間が速いという点で有利である。もちろん ロール径 の相違がある場合には、馬力としては不平衡状態で使用することになるが、わずかの馬力の不平衡は実用上問題にならない。図 3.8 に定回転力負荷平衡方式の接続図を示す。

b. 定出力負荷平衡方式

発電機電圧を一定とし、電動機界磁電流調整による定出力負荷平衡方式は従来から一般に用いられている方式であるが、この設備でも簡単に定出力負荷平衡方式に切換えられるようにしてある。図 3.6 はこの方式の場合の接続図である。

電動機界磁の 負荷平衡オートトロール (LBR) にはさら

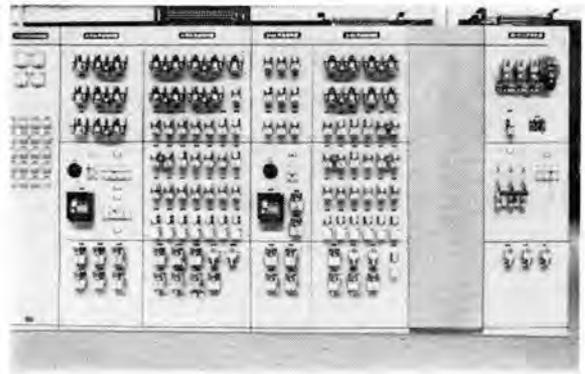


図 3.10 制御盤

Fig. 3.10 Control panel.

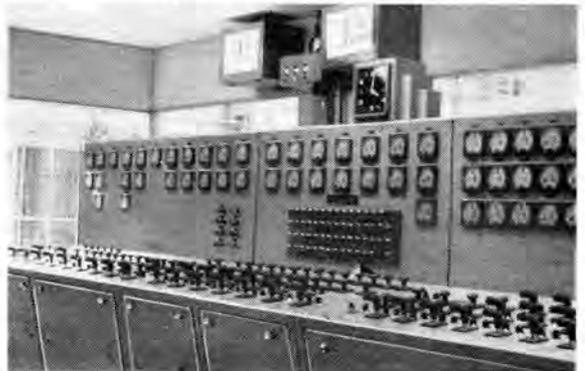


図 3.11 総合監視盤

Fig. 3.11 Control supervisory board.

に ロール径補償界磁 RDCF を設け、ロール径 の相違する場合手動調整器によって補償励磁を行ない、あらかじめ LBR の電圧を発生させ電動機の界磁電流を変化し、上下ロールの回転数の比が ロール径 の比に逆比例するように調整して負荷平衡を容易ならしめている。

3.2 立テロール駆動電動機制御

立テロール駆動電動機の制御方式は原理的には 水平ロール駆動電動機のものと同様である。図 3.9 に接続図を示す。

3.3 圧下補償制御

この設備は 奇数パス (材料が水平ロール から 立テロール にはいる)、偶数パス (材料が 立テロール から 水平ロール にはいる) のいずれの場合にも 立テロール 圧延を行ない、材料が両圧延機にまたがって圧延されるので両圧延機を同期させる必要がある。したがって 奇数パス の場合には、立テロール の圧下量に応じて 水平ロール の BR オートトロール の PF 界磁の励磁を調整し、偶数パス の場合には、水平ロール の圧下量に応じて 立テロール の BR オートトロー

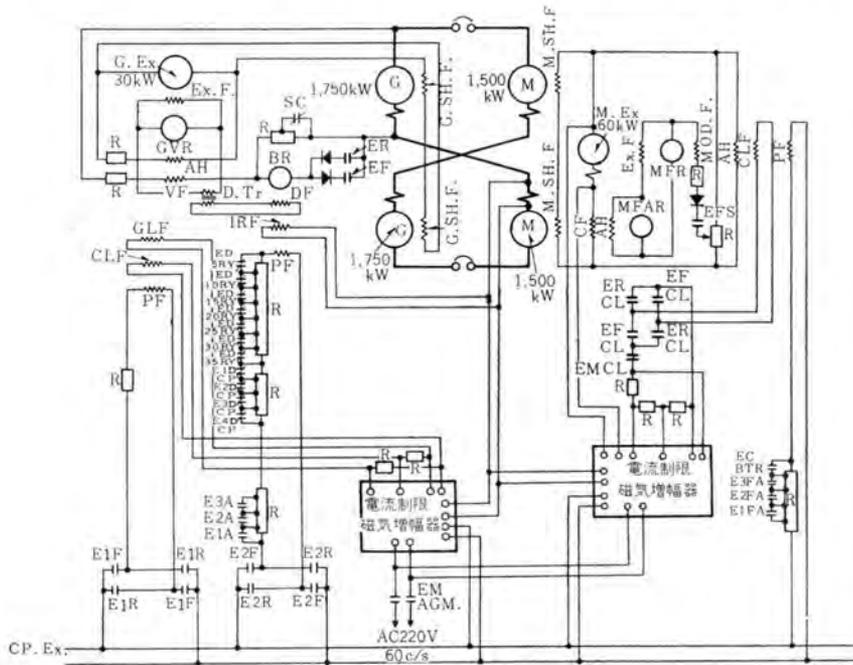


図 3.9 3,000 kW 立テロール駆動電動機制御方式

Fig. 3.9 Control system of 3,000 kW vertical edger roll drive motor.



図 3.12 運転盤

Fig. 3.12 Operating desk.

ルの PF 界磁の励磁を調整して速度を同期させるようにしてある。手動運転のときは運転盤上の切換開閉器によって4段階に圧下補償量を切換え、半自動および全自動運転のときは IBM パンチカードにパンチされた圧下量に応じて自動的に7段階に圧下補償量を切換えるようにしてある。さらに自動的に速度の同期化をはかるために、基準速度において100%負荷に対して、水平ロール駆動電動機は8%、立テール駆動電動機は16%程度の垂下特性をもたせてある。

#### 4. 可変電圧補助駆動設備

主圧延を最高効率で運転するためには、補機の駆動効率を高めることが先決問題であってこの設備では表4.1に示すように33台のJEM 1109準拠の600番シリーズの直流電動機合計3,230 kWの出力のものが可変電圧制御

表 4.1 可変電圧補助駆動用回転機リスト

用途	台数	機種	容量 (kW)	電圧 (V)	回転数 (rpm)	備考	
水平ロール圧下	2	直流電動機	150	220/440	420/840	Max. 1,150 rpm	
立テール開閉	2	"	110	"	460/920		
マニプレータ	4	"	150	220	420		
マニプレータフィンガ	1	"	110	220/440	460/920		
フォードローラ	4	"	"	220	460		低電圧使用
前後面テーブル(ダイレクト)	8	"	"	"	"		
前後面テーブル(ラインシャフト)	4	"	55	220/440	515/1,030		
ミルアプローチテーブル	1	"	75	"	485/970		
ミルランアウトテーブル	2	"	55	"	515/1,030		
スカーフアプローチテーブル	1	"	"	"	"		
エントリ	1	"	"	"	"		
デリベリ	1	"	"	"	"		
シャー	1	"	"	"	"		
エントリ	1	"	"	"	"		
可変電圧電源	5	直流発電機	200	230/460	900		
"	6	"	125	110	"		
定電圧助磁電源	1	"	200	220	"		
駆動用	2	同期電動機	750	3,300	"		
可変電圧電源	4	直流発電機	150	230/460	1,200	スタンバイ	
"	1	"	100	"	"		
"	7	"	75	"	"		
駆動用	2	同期電動機	500	3,300	"		
可変電圧電源	1	直流発電機	200	230/460	880	スタンバイ	
"	1	"	125	110	"		
駆動用	1	誘導電動機	250	3,300	"		
発電機電圧制御	16	ロートロール	3	220	1,750		
"	4	"	7.5	"	"		
駆動用	4	誘導電動機	22	220	"		
"	4	"	"	"	"		

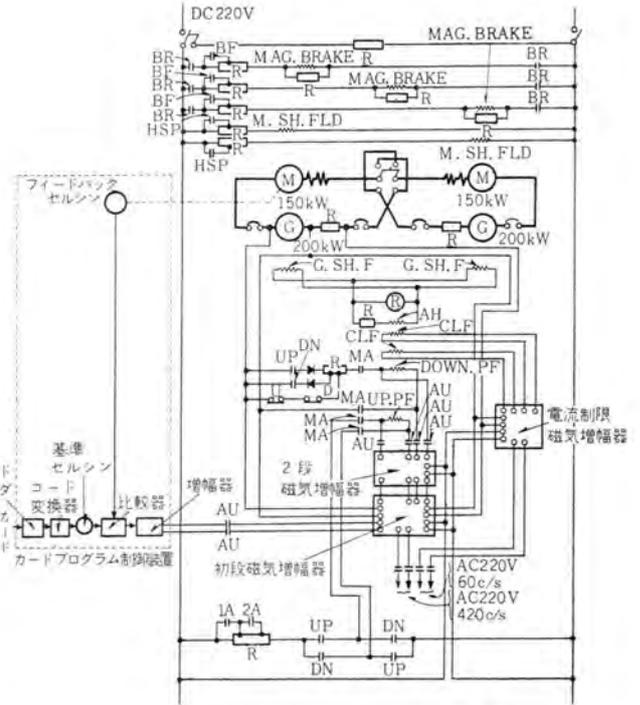


図 4.1 水平ロール圧下駆動電動機制御方式

Fig. 4.1 Control system of horizontal roll screwdown drive.

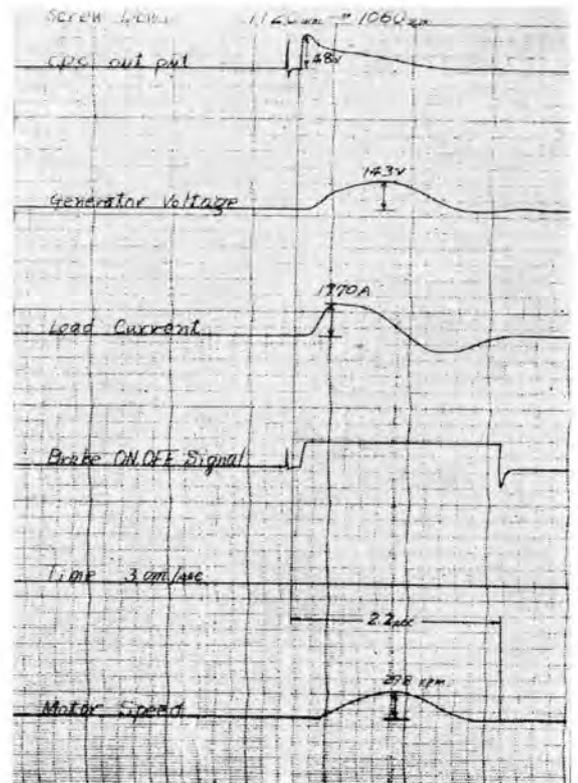


図 4.2 水平ロール圧下オシログラム

Fig. 4.2 Oscillogram of horizontal roll screwdown.

により補機を運転している。この可変電圧電源は同期電動機駆動の4組のM-Gセットで構成されている。

なおこのほかに600番シリーズの直流電動機が計28台総出力1,080 kWである。

水平ロール圧下、立テロール開閉、マニプレータ、マニプレータフィンガおよびテーブル駆動電動機は、主圧延機とともに急速な加速、減速を繰り返すその時間は圧延機設備の生産能力に直接関係するので、ワードレオナード制御を採用している。マニプレータフィンガ、テーブル駆動電動機は、電流制限装置を備えたロートロール制御としたが、圧下、立テロール開閉およびマニプレータはIBMパンチカードによってプログラム制御され、きわめて短時間にわずかの誤差で設定位置に到達する必要があるため、ロートロールの前段にリッシュブル磁気増幅器2段を使用し、IR降下補償付の電圧制御とした。なお電流制限回路にも磁気増幅器を使用して応答時間を速くしてある。水平ロール圧下電動機制御の接続図を図4.1に、60mm圧下時のオシログラムを図4.2に示す。

### 5. 通風冷却設備

主要電気品は電気室にはいり通風方式は非循環ダウンドラフトでその設備の仕様は表5.1のとおりである。地下

表 5.1 通風設備

用途	台数	風量 (m <sup>3</sup> /min)	風圧 (mmAq)	モータ容量 (kW)	
誘引用	水平ロールモータ	2	1,900	100	75
	立テロールモータ	1	1,400	120	55
	直流発電機	1	1,800	80	55
	誘導電動機	1	1,500	80	45
	誘導電動機	1	1,100	60	30
	補助M-G同期モータ	1	650	60	15
押込用	補助ミスタイプモータ	2	600	125	26
	〃	1	150	125	7.5
	シャープポンプ用同期モータ	1	600	80	15
	電気室給気	4	4,500	40	75
エアフィルタ (Multi-duty AAF)	4	164,000 CFM 形番「30-150」 スフジ除去装置付			

風洞は地下室となっていて、補助電源変圧器などの諸器具が設置されている。エアダンプは主要回転機の下部ピットと地下室との仕切扉になっていて、誘引用電動送風機を地下室のすみに置き排気は地上に向かって吹き出される。

空気の取り入れ側は他の建家との関係があり電気室の

ひとすみに限定されたために押込送風機を2階建とし、押込空気導管を電気室側面に配置した。最新のビルの換気方式の技術を駆使して風圧損失を減らし、パランスのとれた給気を行なっている。

なお各運転室、総合監視室には空気調和装置が置かれ運転員、保守員は快適なふんい気内で作業できる。

### 6. 軸受給油設備

大形回転機の軸受給油設備は表6.1のとおりで、グルー

表 6.1 軸受給油設備

用途	ポンプ				備考
	台数	油量 (L/min)	油圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	モータ (kW)	
水平ロールモータ	2	60	3	1.5	うち1台予備
立テロールモータ	2	60	3	1.5	〃
イルグナ M-G セット	2	150	2	3.7	〃
同上停電時間	1	60	2	0.75	
補助レオナードM-Gセット	4	60	3	1.5	うち2台予備

プを細分しているので給油量が安定している。各設備は管理に便利なように地下室の1カ所に集中設置してある。また油タンクにはスチームヒータを入れて冬期の潤滑油の粘度の変化を防いだ。全停電時のイルグナ M-G セットに対する軸受給油を確保するため停電時には自動的に電池電源の直流電動機で給油ポンプが駆動される。

### 7. むすび

以上分塊圧延用 9,000 kW 電気設備について述べたが、この電機品にたいして当社多年の圧延機用電機品に対する経験の下にさらに数々の新技術を採用したが、きわめて好成績で運転にはいっている。またカードプログラム制御される機器も十分その性能を発揮して、生産能力の向上に寄与している。本機の完成により当社が製鉄用電機品として従来多くの記録品を製作してきたが、さらに新しく世界有数の規模をもつ大容量圧延機用電機品を完成し当社の製作記録に加えるとともに、わが国の鉄鋼生産設備の増強に寄与できたことを喜びとしている。

# 最近の抄紙機駆動方式

神戸製作所 紙谷鉄男\*

## The Latest Paper Mill Driving System

Kobe Works Tetsuo KAMITANI

In the post-war days most of the paper mill driving systems have been of a sectional drive. Recently the Mitsubishi Heavy Industry Co. Reorganized has built a number of paper machine working on a mechanical differential gear type line shaft drive based on a technical concert with American manufacture. In view of the results so far achieved, it looks as if the old common shaft drive were revived with improvements, and much attention has been paid by the circles. In line with this new situation, the Mitsubishi Electric Manufacturing Co. has built electric equipment for these paper mills. It has many different features, which are introduced here together with that for sectional drive just made to operate from this year for reference.

### 1. まえがき

抄紙機駆動の歴史をたどってみると、まずコンモンシャフトドライブで行なわれていたものが、戦後生産増強に伴う抄速の増大と電気制御の発達によりセクショナルドライブが非常に多く採用された。このセクショナルドライブの電気制御も、その制御装置として回転増幅機、電子管、磁気増幅器と経過をたどり、とくにすでに本誌でも紹介したように差動歯車式速度調整器と磁気増幅器の組合せにより、微分制御と積分制御とを組合せた制御方式を採用しその速度制御の精度ならびに安定性が増しセクショナルドライブとしてはかなり高度のものとなった。

数年前新三菱重工三原製作所は米国ベロイト社と技術提携をされ差動歯車式ラインシャフトドライブによる抄紙機を多数製作納入された。結果的に見ると昔のコンモンシャフトドライブにかえった形となるが、機械的機構の研究発達によ

り従来のコンモンシャフトドライブの欠点が除かれ最新の抄紙機ドライブとして業界の注目の的となり新設抄紙機を独占されている形となっている。電気的に見れば制御の主眼点となるフロー調整がすべて機械的に解決されているので電気的には簡単なものとなっている。当社もこの方式による電機品を多数納入しているが、その電気制御方式を紹介しその比較対照という意味から本年稼働された東北パルプ 5,200 mm 幅セクショナルドライブ抄紙機の電機品を簡単に説明するものである。

### 2. 差動歯車式ラインシャフトドライブの機構

図2.1に機械の簡略配置図を示している。ラインシャフトは中間に設置された主電動機で駆動され、この回転数により抄速が決められる。ワイヤータンク、No.1プレス、No.2プレス、No.3プレス、スムージングプレス、No.1ドライヤ、No.2ドライヤ、No.3ドライヤ、サイズプレス、カレンダー、リールが各セ

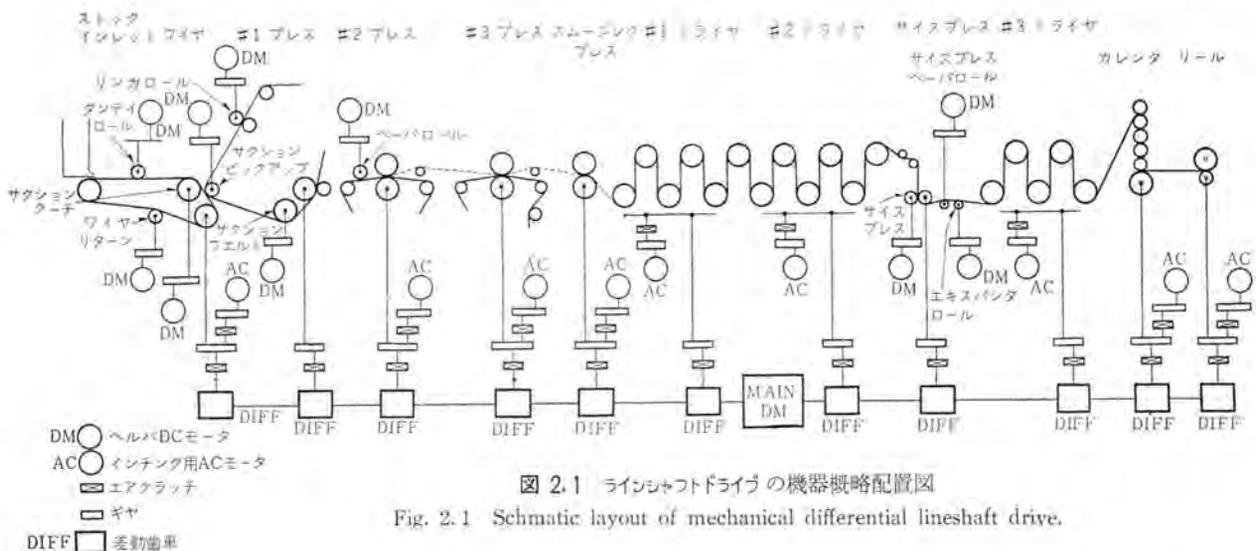


図 2.1 ラインシャフトドライブの機器概略配置図  
Fig. 2.1 Schematic layout of mechanical differential lineshaft drive.

クションの主駆動で、ラインシャフトに結合された差動歯車の出力軸にエアクラッチを通して結合される。このエアクラッチはフリクションクラッチ式のもので摩擦面に手動弁で圧縮空気を送り軸の回転力を伝達する。静止したセクションを起動する場合ラインシャフトは所定の抄速で回転しているので、一度にクラッチを投入すれば各機械機構に大きなショックが掛るので手動弁を徐々に操作し摩擦面の圧力を順次強め、スベリを生じながら徐々に所定回転数に加速され、所定回転数に達してから全圧力を加え完全に結合させ、ショックなしに起動するようになっている。この操作は操作盤にトルクメータがついていて、運転者はそれを見ながら容易に遠方操作できるようになっている。

この方式にもヘルパードライヴが採用されている。ワイヤーセクションでは、サクシオンクーチ、ワイヤーリターン、タンデイロールがヘルパードライヴであり、プレスセクションではサクシオンピックアップ、サクシオンリング、サクシオンフェルト、プレスペーパーロールがヘルパードライヴであり、サイズプレスセクションではサイズプレスロール、サイズプレスエキスパンド、サイズプレスロールがヘルパードライヴとなっており、おのおの直流電動機で駆動される。この電気制御はセクショナルドライヴ方式とまったく同一の方式で行なわれている。

この方式の大きな特長は差動歯車式駆動で、その原理図を図 2.2 に示している。差動歯車機構の a 歯車はラインシャフトから一定の回転で駆動され、b 歯車はラインシャフトから歯車を通しさらにチェーン式無段変速装置(PIV)を通して駆動される。c 歯車は a 歯車と b 歯車の回転数の和の半分の回転数で回転する。b 歯車の回転は PIV によって変速されるのでセクションの回転を変えることができる。すなわちドロー調整が行なわれる。この PIV の変速はモータによって行ない、そのモータの操作は操作盤の押しボタンで遠方操作を行っており、そのベルトガイドの位置はヘルシン装置で操作盤に指示し、ドローの量を指示し操作を容易にしている。この PIV は特殊の設計が施されスベリなどもなく精密にその変速比を保つので、

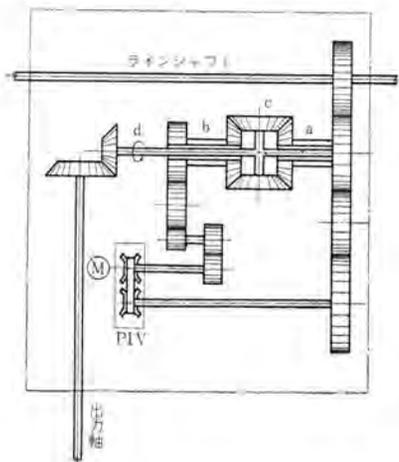


図 2.2 ラインシャフトドライヴの差動歯車機構  
Fig. 2.2 Mechanical differential gear of lineshaft drive.

いったん整定されたドローは狂うことなく、機械的なものであるので安定にそのドローを保持できるのが大きな特長である。

各セクションのインチングはラインシャフトとの間のエアクラッチをはずし、インチングモータ(交流電動機)とギヤの間のエアクラッチを手動弁により投入し、モータを駆動して行なう。ワイヤーセクションはヘルパのサクシオンクーチモータを同時に駆動して行なう。No.1 プレスではヘルパモータだけを動かして行ないうるのでインチングモータは取付けない。ドライヴは主軸とは別の駆動軸にインチングモータを取付けて行なっている。セクションを停止する場合のブレーキはラインシャフトとの間のエアクラッチをはずし、インチングモータのエアカップリングを投入しインチングモータに取付けている電磁ブレーキの力を利用して掛るようにしている。ただしこの場合にもエアクラッチを一度に投入することをしないで手動弁で徐々に圧縮空気を送りエアクラッチをすべらせ、順次減速を行ないエアクラッチの焼損を防止するように操作をしなければならない。ドライヴのものは慣性が大きいので停止にかなり長時間を要するのでクラッチは水冷にして保護している。

ラインシャフトを起動する場合、各セクションクラッチがはずれている場合にだけラインシャフト用電動機を起動しようようにし、またインチング用クラッチは主エアクラッチがはずれていなければ投入できないようにするインターロックなどはすべて圧力開閉器によって行ない機械の完全な保護を行なっている。

### 3. ラインシャフトドライヴの電気制御

差動歯車式ラインシャフトドライヴ方式の電気制御方式の簡略図を図 3.1 に示している。図に示すようにラインシャフトドライヴの主電動機は速度制御は一般に行なわれているパイロット発電機方式によって行なわれている。この主電動機は速度が抄紙速度となるので、この速度を一定に保護することは当然必要なことである。しかし抄紙機においてはドローを一定に保つことが主要な点であり、セクショナルドライヴ方式では各セクションの速度制御は非常に精度の高い調整が行なわれるが、ラインシャフトの場合は図に示すような簡単なパイロット発電機方式で行ない精度も 0.5% 程度のものである。

磁気増幅器は精度ならびに応動性の点から 400 c/s の電源を使用している。したがって専用の 400 c/s 交流発電機を設置しており、自動電圧調整器(SR形)により一定電圧に保つようになっている。図に示すようにパイロット発電機の出力電圧が速度基準電圧と比較されその基準電圧の値により主電動機の回転数が規定される。したがってこの基準電圧は運転中つねに一定であることが必要なので、この基準電圧を供給する励磁機の電圧は電子管式自動電圧調整器により精密に 220 V に保持される。速度の安定性のためにダンピングトランス、発電機界磁のダンピング界磁、発電機電圧からの微分回路を設け、精度が高

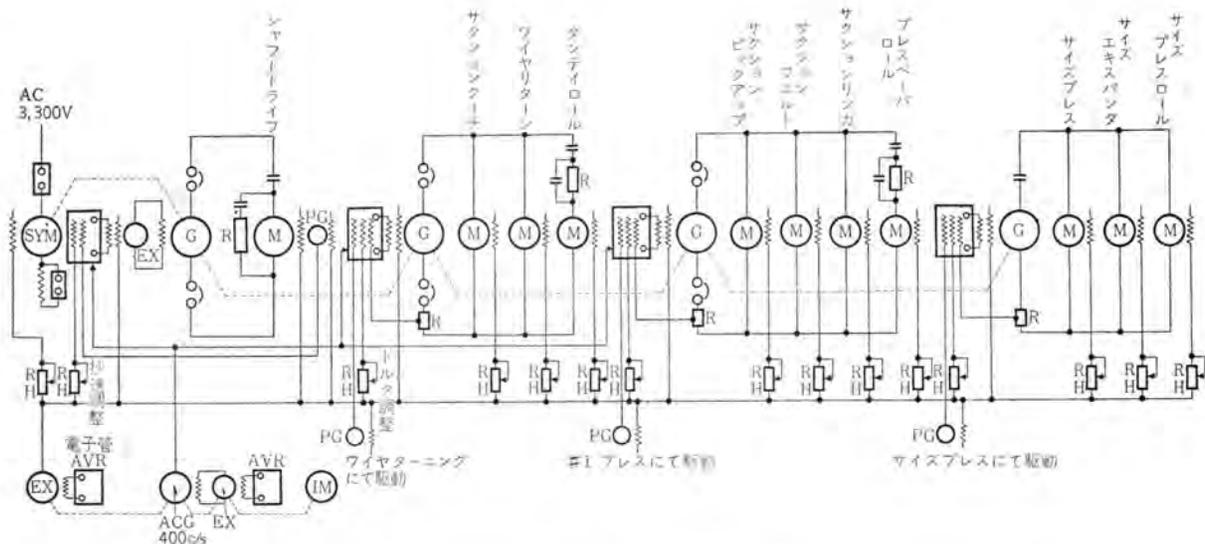


図 3.1 ラインシャフトドライブ電気制御簡略図

Fig. 3.1 Schematic diagram of electrical control for lineshaft drive.



図 3.2 ラインシャフトドライブ主駆動電動機

Fig. 3.2 Lineshaft main drive motor.

くしかも安定性に富み良好な速度が得られるようになっている。このことは起動時、主電動機は所定の抄紙速度で回転しており、各セクションがクラッチにより軸に結合され静止状態より所定抄紙速度に加速されるので、急激な負荷変動が主電動機に起こるのでそのような場合でも安定な動作をするためにとくに必要である。なお発電機界磁用励磁機にはバイアス界磁を巻き1個の磁気増幅器で励磁電圧を正逆に制御する。

このラインシャフトドライブ方式にもセクショナルドライブ方式と同様のヘルパドライブ方式が採用されている。このヘルパドライブ方式の目的は本誌32巻第12号で紹介したようにワイヤならびにフェルトの寿命を長くするのが主目的であり、そのために各ヘルパモータからの伝達トルクを所定値に保持する制御方式を採用している。各セクションごとのヘルパモータ群に対し1台の専用発電機をおき、その発電機の電圧制御によりヘルパモータの全電流を所定値に保つように制御を行ない、個々のヘルパモータのトルクは個々のヘルパモータの界磁調整によって行なわれる。発電機の電流制御は磁気増幅器(400 c/s)によって行なわれ、基準調整器で整定された電流値をつねに保持する

ように発電機を制御する。磁気増幅器の速度制御巻線が各セクションの主駆動軸に結合されたパイロット発電機で励磁される。これはヘルパモータ群がセクション起動時、主駆動軸に遅れなく追従して加速されるのを助ける。さらに基準調整器で整定されたトルクがいかなる速度のときでも保持されるようにする目的を有している。

ワイヤセクションのヘルパのトルクは自動調整が行なわれている。これはワイヤ上の紙料の有無をセクションコントロールのセクション系の真空度によって検出し、その検出装置に調整器を取付け真空度によってその調整値を変化させる機構となっている。この調整器の変化はトルク基準調整器回路に挿入されているので、自動的にトルクが調節されワイヤとロール間のスベリを防止しつつねにワイヤに適正なるテンションを与えワイヤの寿命を延長するようにしている。

プレスセクションのピックアップロールの周辺速度とワイヤの速度との同期調整を行なうために速度差計を取付け、ワイヤターニングとセクションピックアップ間の速度差を測定ならびに記録をするようにしている。普通には0.1%の精度の計器を取付けているが、さらに精度を要求される場合にはDM形抄紙機速度差測定装置(無線機製作所製)を取付けている。

主電動機用発電機ならびにヘルパ用発電機の駆動電動機は同期電動機を使用し工場の急激な電源変動にも影響を受けないようにしている。当社のこの種抄紙機の電機品の実績を表3.1に示している。なお現在製作中の十条製紙八代工場向けのものは電源は水銀整流器を使用している。

#### 4. セクショナルドライブ方式の電気制御

抄紙機のセクショナルドライブの電気制御については、東北パルプ向けのものにより本誌にすでに紹介をした。本

表 3.1 ラインシャフト 納入電機品一覧表  
三菱製紙中川工場向け 3,700 mm 抄紙機 (上質紙)

電動機	抄紙速度 450 m/min			
ラインシャフト駆動電動機	520 kW	1 台	DC 600 V	900 rpm
サクシオンターチ	100 kW	1 台	DC 220 V	850/950 rpm
リターンワイヤ	11 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm
ダンディロール	3.7 kW	1 台	"	"
ランプブレーカ	25 kW	1 台	"	"
サクシオンピクアップ	26 kW	1 台	"	850/950 rpm
リソロール	37 kW	1 台	"	"
サクシオンフェルト	26 kW	1 台	"	"
プレスベーパーロール	1.5 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm
サイズプレス	19 kW	1 台	"	850/950 rpm
サイズプレスエキスパンダ	2.2 kW	1 台	"	800/900 rpm
サイズプレスベーパーロール	1.5 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm

発電機セット			
580 kW	DC 600 V	ラインシャフト用	同上駆動用同期電動機
135 kW	DC 220 V	ワイヤパートヘルパ用	
110 kW	"	プレスパートヘルパ用	
23 kW	"	サイズプレスパートヘルパ用	
950 kW	AC 3,150 V	50 c/s 1,000 rpm	

日本パルプ日南向け 3,700mm 抄紙機 (上質紙)

電動機	抄紙速度 300 m/min			
ラインシャフト	280 kW	1 台	DC 440 V	1,000 rpm
サクシオンターチ	60 kW	1 台	DC 220 V	1,150/1,250 rpm
No. 1 リターンワイヤ	6 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm
ランプロール	2.2 kW	1 台	"	"
ダンディロール	2.2 kW	1 台	"	"
サクシオンピクアップ	15 kW	1 台	"	1,150/1,250 rpm
サクシオンフェルト	15 kW	1 台	"	"
サクシオンリング	22 kW	1 台	"	"
プレスベーパーロール	0.75 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm

発電機セット			
310 kW	DC 440 V	ラインシャフト用	同上駆動用同期電動機
80 kW	DC 220 V	ワイヤパートヘルパ用	
60 kW	"	プレスベーパーヘルパ用	
500 kW	AC 3,300 V	60 c/s 1,200 rpm	

山陽パルプ岩国向け 3,700 mm 抄紙機 (上質紙)

電動機	抄紙速度 300 m/min			
ラインシャフト	290 kW	1 台	DC 440 V	1,000 rpm
サクシオンターチ	60 kW	1 台	DC 220 V	1,150/1,250 rpm
No. 1 リターンワイヤ	6 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm
ランプロール	2.2 kW	1 台	"	"
ダンディロール	2.2 kW	1 台	"	"
サクシオンピクアップ	15 kW	1 台	"	1,150/1,250 rpm
サクシオンフェルト	15 kW	1 台	"	"
サクシオンリング	22 kW	1 台	"	"
プレスベーパーロール	0.75 kW	1 台	"	1,650/1,850 rpm

発電機セット			
320 kW	DC 440 V	ラインシャフト用	同上駆動用同期電動機
80 kW	DC 220 V	ワイヤパートヘルパ用	
60 kW	"	プレスベーパーヘルパ用	
510 kW	AC 3,300 V	60 c/s 1,200 rpm	

年同社に2号機として 5,200 mm セクショナルドライヴ抄紙機 (抄速 650 m/min) を納入し現在運転されているが、前項のラインシャフトドライヴの電機品との比較対照の点からここに簡単に紹介を加える。この制御の簡略図を図 4.1 に示す。制御方式は1号機とほとんど同様であるが、表 4.1 に示すように紙幅、速度ともに1号機より増大されたがってセクション電動機の容量も増大している。

1号機ではリールはカレンダと機械的に結合され1台の電動機により駆動されていたが、2号機は専用の電動機で駆動されている。このセクションでは紙の強度も高くまた運転上紙通し時“たるみとりつけ”の操作を急速に行なう必要性もあり、差動歯車式速度調整器を使用せず、パイロット発電機方式による速度制御を採用した。

各セクションを起動する場合、起動調整抵抗器によってセクション電動機を加速し起動抵抗が全部短絡され電動機に全母線電圧が掛り、その後に差動歯車式速度調整器を動作させる。この場合電動機は所定回転数では駆動していないので調整器の誘導発電機は電圧最大が最少の位置にあり、またパイロット発電機は回転し電圧を発生してい

表 4.1 東北パルプ 5,200 mm セクショナルドライヴ

セクション電動機一覧表  
抄速 650 m/min  
紙 新聞紙

セクション	馬力 (kW)	特 性	制 御
フォワードロール	260	DC 440 V 1,000 rpm	差動歯車式調整器制御
サクシオンターチ	190	"	ヘルパ制御
ワイヤリターン	3.7	" 1,750 rpm	"
No. 1 プレス	150	" 1,000 rpm	差動歯車式調整器制御
サクシオンピクアップ	60	"	ヘルパ制御
リソロール	110	"	"
トランスフェロー	110	"	"
No. 2 プレス	150	"	差動歯車式調整器制御
No. 1 ドライヤ	220	"	"
No. 2 ドライヤ	220	"	"
No. 3 ドライヤ	220	"	"
カレンダ	220	"	"
リール	60	"	パイロット発電機式速度制御

電源 本館整流器 2,000 kW 440 V 本冷式密封形

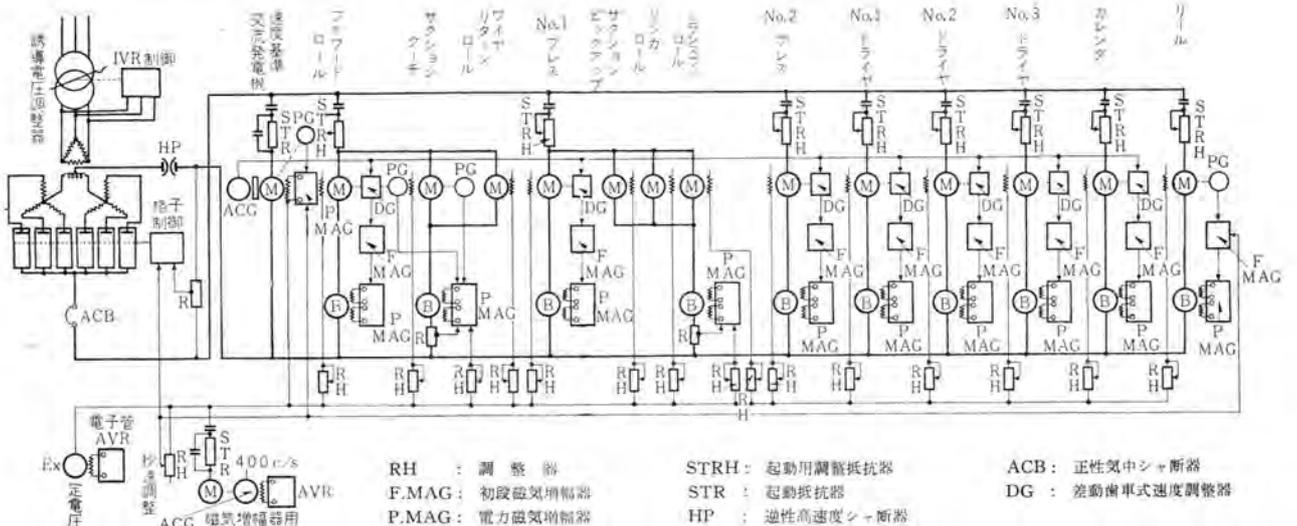


図 4.1 セクショナルドライヴの電気制御簡略図

Fig. 4.1 Schematic diagram of electrical control for sectional drive.

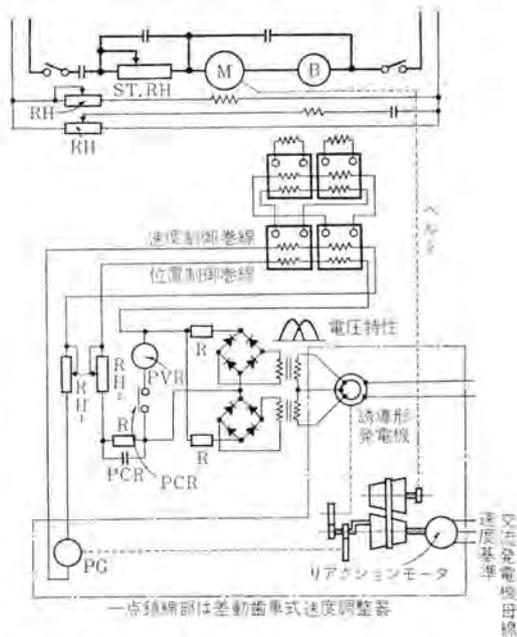


図 4.2 セクション電動機制御簡略図

Fig. 4.2 Schematic control diagram of section motor.

るので調整器を動作させるとき昇圧機は過大の電圧を発生し電機子電流が大きく変動して機械にショックを与えることがある。2号機に対しては図4.2に示すように1号機の方式にさらに改良を加えた。差動歯車式調整器の誘導形発電機は2個の巻線出力をブラシレス式に接続し、回転角度の中央位置で出力零となるようにし、同期をはずれた場合位置制御巻線を正負に励磁するようにしている。図4.2において起動用調整抵抗器が順次短絡され、セクション電動機に母線の全電圧が掛ると速度制御巻線がリレーによりパイロット発電機から励磁される。同時に調整器RH<sub>1</sub>が動作し抵抗を短絡し速度制御巻線の利得を上げ、セクション電動機は徐々に同期速度に調整される。電動機が同期に近づくと誘導形発電機の電圧が低くなり、リレーPVRがドロップアウトしその接点によりリレーPCRが動作する。PCRが動作すれば位置制御巻線の抵抗を短絡した調整器RH<sub>2</sub>が動作し抵抗を徐々に短絡しその利得をましてさらに電動機を所定速度に同期化する。この方式により機械はショックなしに起動される。

なお2号機にはDM形速度差計を取付けつねにドロ-を監視し各調整器の点検調整を容易にし、さらに機械の詳細な運転資料をとるようにしている。

## 5. 両方式の比較

今まで述べたことで判明するように、純電氣的に見ればその電氣的装置は非常に相違し、セクションドライブはかなり電氣的に高度の技術が含まれている。制御は一方は機械一方は電氣的の精度が抄紙機運転の良否の主体を握っ

ている。したがって両者の比較対照は視点が異なりいろいろと異論のある問題であるが下記の点があげられると考えられる。

(1) ラインシャフトドライブは一般的な機械知識を持っていれば容易に保修できる。電気制御の微細な調整に対する知識はまだ一般化されていないので、セクションドライブの保修には電氣的に高度の知識を持った保修員が必要となる。

(2) ドロ-の精度に対する安定性は据付後において機械的摩擦などの問題を除けばすぐれている。電氣的なものは精度が高くなるにつれて特性に対する十分な監視が必要である。

(3) 機械的な精度さえ確保されればドロ-の精度はラインシャフトのほうが高い。聞く所によれば外国で0.000036%の精度も可能であるといわれている。

(4) 安定な運転速度範囲が広くとりうる。1:10くらいの速度範囲が安定に出しうるといわれ、一つの抄紙機で多品種の製品を生産しうる。

逆にラインシャフトの不具合な点は

(1) 各セクションの容量を変更する場合、各セクションが一軸に結合されているのでセクションドライブのようにそのセクションを変えるというような簡単な変更で行なうことはできない。

(2) 1セクションの負荷変動は全セクションに影響し、セクションドライブのようにそのセクションだけの影響にとどめることはできない。

(3) ドロ-の調整範囲はセクションドライブのほうが広く取りうる。

(4) 機械側の据付スペースはラインシャフトのほうが広くとる必要がある。

## 6. むすび

良好な抄紙機運転を行なうのには種々の条件があるが、制動的な観点から見れば、紙切れを起こさないためにドロ-の精度を安定に保つということが非常に重要な問題である。ラインシャフトドライブはいったんセットされたドロ-は機械的なものであるために安定に保持しうることは大きな特長である。もちろんセクションドライブも600m/min以下のものならば好調に運転されているが、かなり電気知識の豊富な保修員の監視に負うところがあると考えられる。外国の例を見ても600m/min以上の抄紙機は現状での運転実績でラインシャフトのほうがよいといわれている。もちろん電気制御の技術はまだ発達すると思われるのでさらに精度ならびに安定度の高いものができると考えられるが、現状までの経験、文献あるいは専門家の話を総合しこの一文をまとめた次第である。

# 製紙加工機用電機品

神戸製作所 久保田伸夫\*

## Electric Equipment for Paper Finishing Process

Kobe Works Nobuo KUBOTA

Mitsubishi has many experiences in the supply of electric equipment for paper finishing process. With the progress of the paper industry the machines have become of large size and high speed, a tendency towards higher demand in the function of the driving apparatus becoming conspicuous. Of various requisites, dependability comes first in automatic control. Quick acceleration and quick deceleration of high speed, the least chance of paper breaking, and easy passage of paper are all coming aft it. The writer accounts for herein electric equipment meeting the above requirements in the order of winders, supercalenders, and coating machines.

### 1. まえがき

最近の製紙業界の設備拡張および合理化に伴って、製紙加工機用電機品を多数納入した。機械設備の大形高速化にしたがって、その駆動設備に対する要求もますます高度になって来た。自動化が発達するとともに制御装置に対する信頼性が第一に要求される。機械が大形になれば駆動設備の容量も大になり、高速化に伴って急速な加減速、速度変動に対する自動制御、できるだけ紙切れの少ないこと、紙通しの容易なこと、などが必然的に伴うものであり、高精度、高速応度、などの性能上の要求もきびしくなってきた。

以下にワインダ、スーパーカレンダー、塗工機、と順を追って説明する。

### 2. ワインダ電機品

#### 2.1 ワインダの構造

ワインダは抄紙機の後に置かれるためその運転速度は抄紙機の運転速度の少なくとも2倍は必要である。最近の抄紙機の運転速度が400 m/min から700 m/min で設計

されるためワインダの最高速度は2,000 m/min までになって来た。

ここでは最近好評を持って迎えられている中形および大形のベロイト式ワインダの電機品について述べる。

ワインダの機械的構造を図2.1に示す。抄紙機を出た広幅の紙ロールはアンワインダスタンドで巻戻され一定のバックテンションを保ちながらペーパーロールを通り、スリッタで適当な幅に切られ、後面ドラムを通してコアシャフトホルダに巻きつけられ、ライダーロールで加圧されて巻きこまれる。アンワインダスタンドのバックテンションはカードボードに設けられたパイプから空気を排出させその圧力を検出してバックテンションを一定にするように機械的に制御されている。

ワインダドラムの上に巻取られた紙はダンボールによって蹴出され、ロール取卸装置によって取卸されて1回の工程を終了する。

前面および後面ドラムはそれぞれ電動機により別々に駆動されている。ドラム電動機はドラムに直結されているので外形的寸法の制限を受ける。

ライダーロールおよびスリッタ用電動機は全閉形B種絶縁を採用した。ワインダのワグ組やスリッタナイフとの関連もあって外形的制限を受け、とくにスリッタ電動機はスリッタナイフの外径よりも小さくまたスラスト荷重にも耐えうる特殊の構造になっている。

#### 2.2 電気回路

簡略結線図を図2.2に示す。各電動機は直流発電機によりワードレオード制御をされている。ライダーロールおよびスリッタナイフのワインダドラムに対する相対速度はそれぞれの昇圧機により調整される。ライダーロールは適当な巻きしめ圧力を得るためその圧力相当のIR降下を昇圧機で補償する。スリッタの速度は紙の速度より5%から15%高いことが必要で昇圧機の電

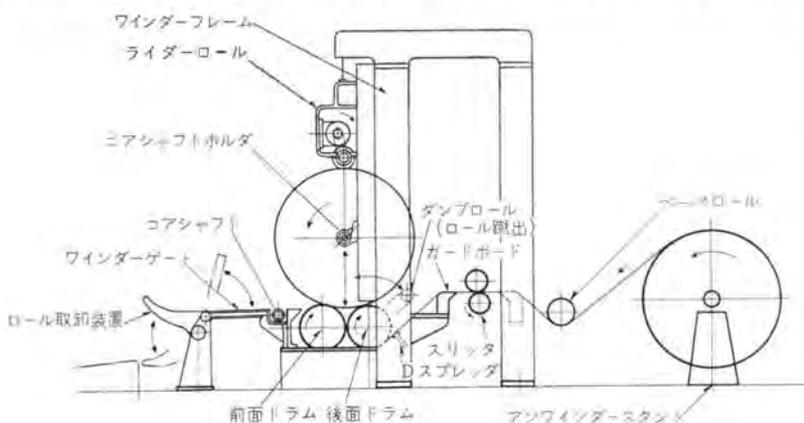


図 2.1 ワインダ機械配置図

Fig. 2.1 Mechanical arrangement of winder.

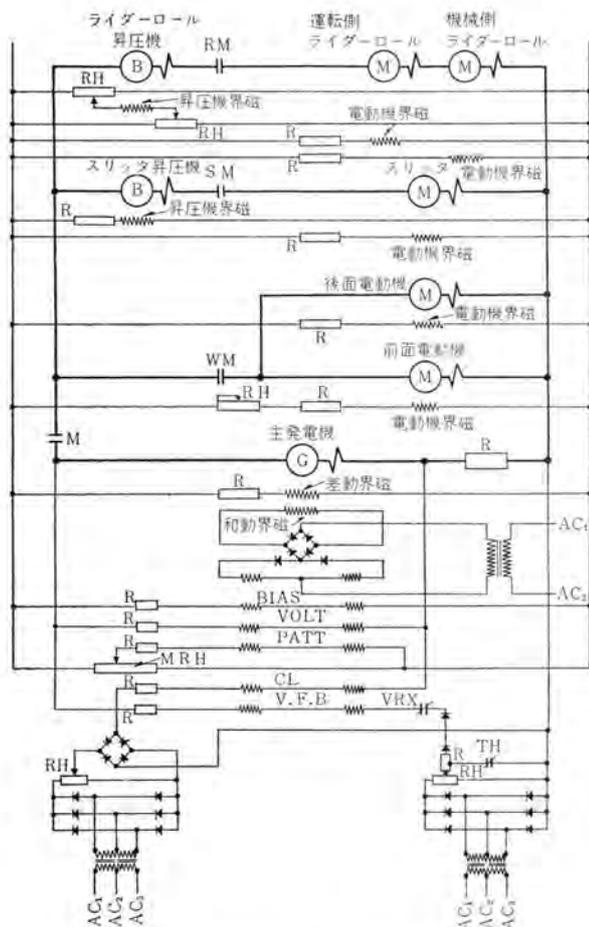


図 2.2 ワイнда 結線図  
Fig. 2.2 Wiring diagram of winder.

圧を整定して行なわれる。

運転にはいり コアシャフト にある程度紙が巻き込まれるとライダ-ロールは上げられ紙の自重と各ドラム電動機の負荷を加減することにより適当に紙が巻き締められて行くようにする。後面電動機より前面電動機の負荷を約 50% 程度増すことができるようになっている。

紙通し速度は通常 15~30 m/min でワイндаの最高速度が高くなるとともに速度範囲も広くなり 1:100 にも及ぶ速度範囲を円滑かつ正確に制御することが重要な問題となって来る。

直流発電機は磁気増幅器で励磁される。安定した通紙速度を得るために通紙運転時においては発電機電圧は交流を整流して得られる バイアス 電圧と ポルテ-ジフィードバック 巻線 (V.F.B.) を通じて比較される。発電機電圧がこのバイアスの IR 降下よりも下がると回路中の整流器は電流を通電して和動に V.F.B. 巻線を励磁して発電機電圧をバイアス電圧に等しくなるようにし、残留電圧のいかににかかわらず一定の電圧を得ることができる。

ワイндаの操作は押しボタンにより行なわれて、徐動、運転、保持、停止および非常停止で運転速度は運転盤に設けられた速度選定用界磁調整器を設定することにより決められる。加減速は電動界磁調整器により基準巻線 (PATT) の AT を加減して行なわれる。加速時間およ

表 2.1 ワイнда 用電機品納入実績および製作表  
三菱製紙 (中川) 3,700 mm 1,365 m/min

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	37 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	5 台	0.55 kW	DC 220 V	2,200 rpm
ライダ-ロール	2 台	3.7 kW	DC 110 V	2,000 rpm
発電機セット				
発電機	1 台	90 kW		1,450 rpm
昇圧機	1 台	2.5 kW		1,450 rpm
昇圧機	1 台	1 kW		1,450 rpm
同上駆動用誘導電動機	1 台	110 kW		1,450 rpm

十条製紙 (銅路) 7,100 mm 1,830 m/min

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	110 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	6 台	0.75 kW	DC 220 V	2,300 rpm
ライダ-ロール	2 台	7.5 kW	DC 110 V	2,500 rpm

以下発電機セットは略す

東北パルラ (石巻) 5,300 mm 1,830 m/min

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	55 kW	DC 220 V	1,050/1,250 rpm
スリッタナイフ	7 台	0.75 kW	DC 220 V	2,300 rpm
ライダ-ロール	2 台	5.5 kW	DC 220 V	2,300 rpm

国策パルラ (旭川) 3,700 mm 915 m/min 2 セット

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	37 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	6 台	0.55 kW	DC 220 V	2,200 rpm
ライダ-ロール	2 台	3.7 kW	DC 110 V	2,000 rpm

国策パルラ (旭川)

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	110 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	7 台	0.75 kW	DC 220 V	2,300 rpm
ライダ-ロール	2 台	5.5 kW	DC 110 V	2,500 rpm

国策パルラ (旭川) 2,490 mm 910 m/min

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	22 kW	DC 220 V	700/800 rpm
スリッタナイフ	1 台	2.2 kW	DC 220 V	1,000 rpm

神崎製紙 (富岡) 3,700 mm 915 m/min

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	37 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	5 台	0.55 kW	DC 220 V	2,200 rpm
ライダ-ロール	2 台	3.7 kW	DC 110 V	2,000 rpm

日本パルラ (日南) 3,700 mm 915 m/min

直流発電機				
ワイнда-ドラム	2 台	37 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	5 台	0.55 kW	DC 220 V	2,200 rpm
ライダ-ロール	2 台	3.7 kW	DC 110 V	2,000 rpm

十条製紙 (八代) 3,273 mm 1,350 m/min

直流電動機				
ワイнда-ドラム	2 台	37 kW	DC 220 V	900/1,000 rpm
スリッタナイフ	6 台	0.55 kW	DC 220 V	2,200 rpm
ライダ-ロール	2 台	3.7 kW	DC 110 V	2,000 rpm

び減速時間は運転盤に取付けられた加減抵抗器により別々に調整される。この場合電流制限方式が併用されて機器の安全限界を自動的に押えるとともに最高能力を発揮しうるようになっている。

電流制限巻線 (C.L.) は発電機電流が設定された値をこえたときに発電機電流を限界値以内に押さえるように働く。そのため発電機電機子回路に接続された直列抵抗の IR 降下と交流を整流した設定電圧が比較されて、IR 降下が設定電圧よりも大きいとき C.L. に電流が流れ、

その極性は発電機電流が電動機を加速する方向のときは発電機電圧を下げるように働き、減速する方向のときは発電機電圧を上げるように働く。非常停止は主回路を開路して機械ブレーキにより停止するが、機械ブレーキと電氣的再生制動を併用することもできる。

表 2.1 に納入実績および製作中のものを示す。

### 3. スーパーカレンダー電機品

三菱製紙、中川工場および高砂工場にスーパーカレンダー用電機品を1基ずつ納入したが中川工場のものは巻戻しおよび巻取スタンドは主駆動軸よりの機械的駆動方式のものであり、高砂工場のものは巻取スタンドを直流電動機で駆動するものでこれについて説明する。

#### 3.1 スーパーカレンダーと駆動方式

スーパーカレンダーは上質中質紙などで抄紙機のカレンダーでリヤ出しされた紙にさらに高度の光沢を与えるために使用される。その構造はチルドロール（冷鋼鉄製）とコットンロール（木綿製）またはペーパーロール（紙製）を交互に積み重ねられている。紙は巻戻スタンドを出て最上段のロールの上からはいりロールとロールの接触面を通して次第に下方のロールへ伝わって行き最下段ロールの上から出て圧力と摩擦で光沢を与えられて巻取スタンドに巻き取られる。

巻取機は一般に表面駆動方式と中心駆動方式の2種類があり、中心駆動方式は表面駆動方式に比べて張力の調節を任意に行ないうる利点がある。また巻取機には主駆動軸から機械的変速装置を介して駆動されるものと専用の電動機で駆動されるものがある。専用の直流電動機による電機的巻取方式は機械的損失が少ない、機械構造が簡単である、巻太りに対して定張力制御を自動的にできる、張力を直接に任意に調節できる、などの長所がある。

#### 3.2 設備の概要

紙幅	1,930 mm
運転速度	70~250 m/min
通紙速度	7 m/min
主電動機	150 kW 1,150 rpm
巻取電動機	11 kW 400/1,600 rpm
主発電機	180 kW 1,150 rpm
昇圧機	4 kW 1,750 rpm

#### 3.3 電気回路

簡略結線図を図 3.1 に示す。主電動機および巻取電動機は主発電機によりワードレオナード制御されている。巻取電動機はさらに昇圧機を介して制御されている。

カレンダーロールは紙に光沢を出すために通常運転中は水圧または油圧で加圧されている。紙通し中は加圧されておらず通紙後ある程度速度を上昇してから加圧されるがこのとき主電動機の負荷が急増して電動機の IR 降下が端子電圧に比べて大きくなり主電動機が停止してロールをいためる恐れがあり、また通紙速度から加圧できないと

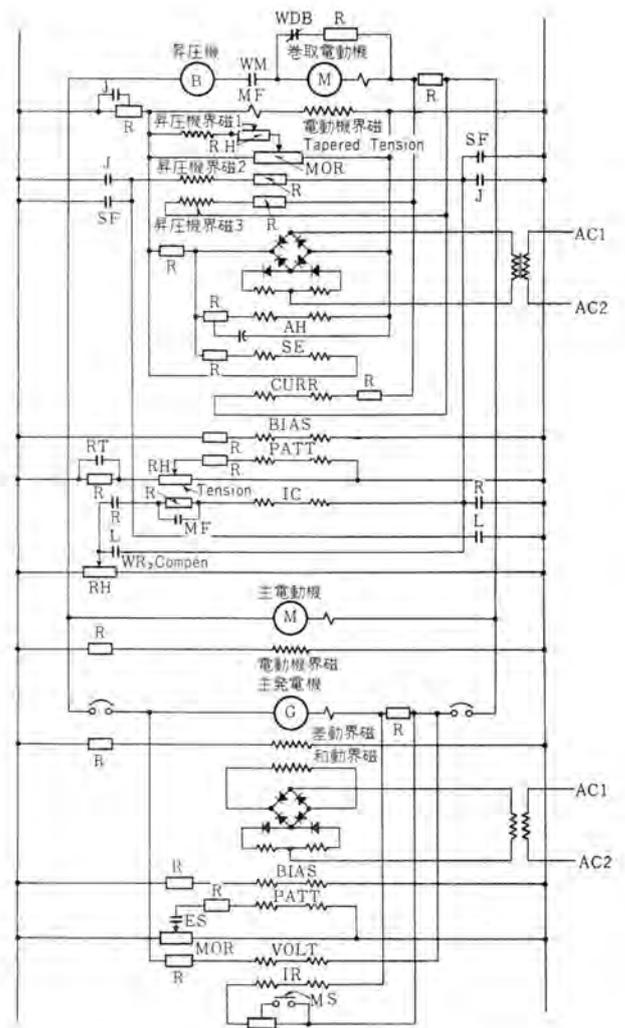


図 3.1 スーパーカレンダー結線図

Fig. 3.1 Wiring diagram of supercalender.

損紙が多くなるので通紙速度から加圧しても主電動機が停止しないように適当な IR 補償回路を設けなければならない。

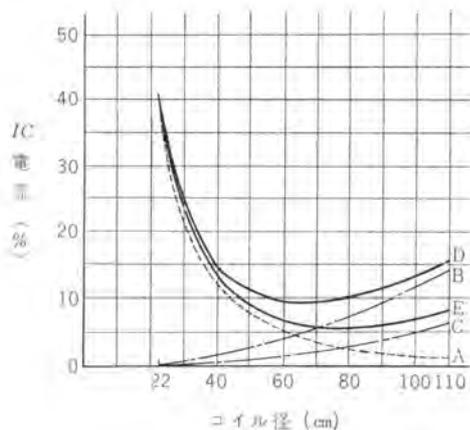
主発電機は磁気増幅器により逆起電圧制御をされており負荷の変化に対して速度を一定にするように制御されている。

磁気増幅器の基準巻線 (PATT) は電動機調整器により指令速度に比例した AT を与える。電圧巻線 (VOLT) は PATT に対して差動に働きその AT の差が無負荷時の発電機電圧を定める。IR 巻線は基準巻線に和動に働き負荷電流が増したときに発電機電圧を増すように働き IR 電圧降下を補償する。接点 MS は通紙速度中に圧力が加わったとき巻線 IR の抵抗を一部短絡して補償量を増加するためのものである。

巻取機は中心駆動方式である。いま運転速度を一定とする。巻取電動機の端子電圧は運転速度にほぼ比例する。巻取機の直径は空コイルより次第に巻き太って行き、巻取電動機の回転数もそれに応じて変わらなければならない。巻取電動機の界磁は一定の最少励磁を得て界磁喪失を防ぐため定電圧電源より励磁されて、さらに磁気増幅器に

より励磁され界磁磁束は巻取機の直径に応じて調整される。端子電圧は運転速度に比例して一定であり電流は一定に保たれるよう制御されているので巻取電動機の出力は一定である。しかし巻取電動機の界磁範囲は1:4であり巻取機の直径の変化は1:5であるので巻取機が巻太るにつれて昇圧機により巻取電動機の端子電圧を下げても必要の回転数を得るようにしてある。端子電圧が減るため電動機出力が減って巻取機が巻き太るとともに張力が減ることになる。巻き始めは張力を強くして強く巻き、巻き太るにしたがって張力を弱めて堅さを減少させることを、張力にテーパをつける (tapered tension) という。また速度基準を与える電動界磁調整器に連動した界磁調整器により運転速度に比例して補償器を調節するようになっているので巻取スタンドの機械損を補償できるようになっている。このようにして巻取機は紙の種類、寸法に応じて最適の張力を保つことができる。

昇圧機界磁1は前述の動作を行なう。昇圧機界磁2は



- A: 電動機だけのI.C.量
- B: 紙幅1,930mmのコイルのI.C.量
- C: 紙幅965mmのコイルのI.C.量
- D: AとBを合成したI.C.量
- E: AとCを合成したI.C.量

図 3.2 巻取機慣性補償特性

Fig. 3.2 Inertia compensation curve of winder.

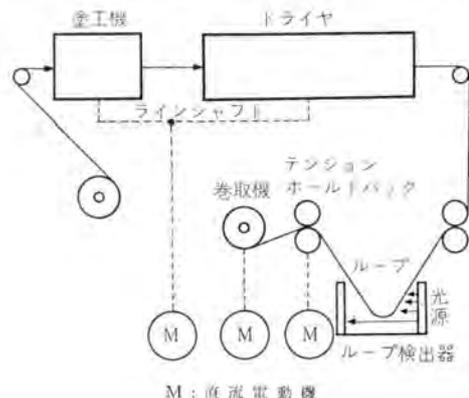
巻取機の微動、静止張力、加減速に必要な電圧を昇圧機に与えるためのものである。昇圧機界磁3は巻取電動機のIR降下を補償するためのものである。

電流制御磁気増幅器は自動巻線 (SE) を設けられて制御巻線のわずかなATの差で動作するようになっている。電流巻線 (CURR) は基準巻線 (PATT) に差動に働き互いに釣合うようになっている。加減速の加速減速に追従して紙に一定の張力を保ちながら巻取電動機を加速減速するに慣性補償巻線 (I.C.) が設けられている。巻取機の慣性はその直径によって異なりしたがって慣性補償量も直径によって異なるが巻取電動機の界磁電流によりコイル径を検出して電流継電器MFで近似の補償量を得ている。図3.2はコイル径と%慣性補償量の関係を示す。

加速および減速は運転盤の制限閉器により電動界磁調整器を操作して行なわれ加減速時間はそれぞれ20秒である。非常停止は逆起電圧制御磁気増幅器のPATT巻線を時限継電器で抵抗器を順次挿入して行く方法で回生制動を行ない3秒で停止する。

#### 4. 塗工機用電機品

塗工機は製作者、紙の種類、塗工方法、運転方法、な



M: 直流電動機

図 4.1 塗工機概略図

Fig. 4.1 Coating machine outline.

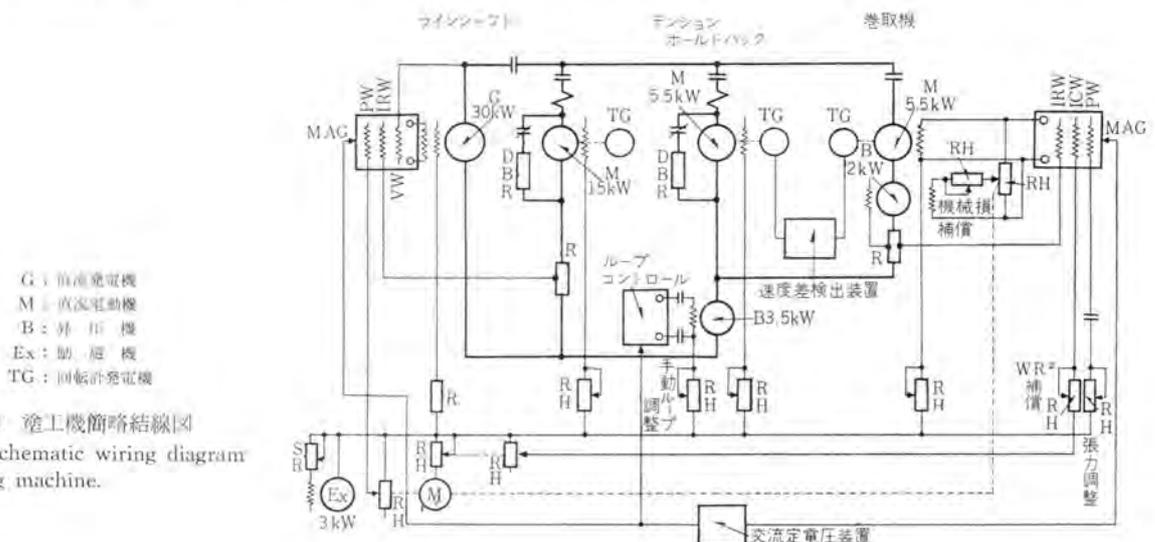


図 4.2 塗工機簡略結線図

Fig. 4.2 Schematic wiring diagram of coating machine.

どによって種々の形式があり駆動設備はそれらの使用条件に合ったものでなければならぬ。塗工機駆動用電機品を2基製作納入したがその一例について説明する。

#### 4.1 設備の概略

機械構造の概略を図4.1に示す。巻戻機を出た紙は塗工機で塗料を塗付されてドライヤで乾燥されて巻取側との間にループを形成してテンションホールドバックに至り巻取機はテンションホールドバックとの間に張力を保って紙を巻き取る。

簡略結線図を図4.2に示す。ラインシャフト、テンションホールドバックおよび巻取機用電動機は主発電機によりワードレオナード制御される。テンションホールドバックおよび巻取機はさらに昇圧機を介して制御される。巻戻機、塗工機およびドライヤはラインシャフト電動機により駆動されている。発電機は磁気増幅器により電圧制御されてIR補償をされているので負荷にかかわらず速度がほぼ一定に保たれている。

ラインシャフトの速度は運転盤に取付けられた速度選定用

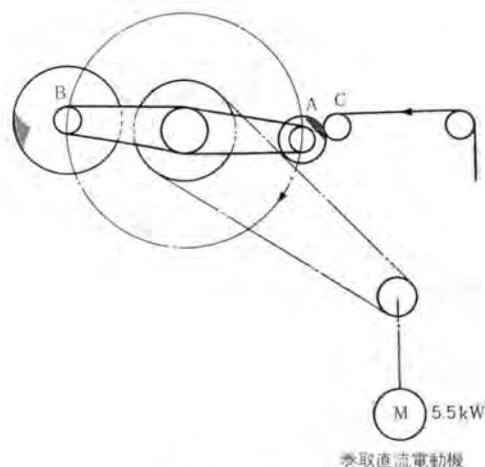


図 4.3 巻取機概略図  
Fig. 4.3 Winder outline.

加減抵抗器により設定されて電動界磁調整器により加速減速される。

湿部と乾部を分離して塗工の条件を一定にするためにドライヤとテンションホールドバックとの間にループが形成されてループ位置を一定に保つように光電管式ループ位置検出装置が設けられている。テンションホールドバックと巻取機を同時に制御できるように昇圧機が設けられその界磁にループ検出装置の出力が加えられドライヤとテンションホールドバックとは相互に干渉されないようになっている。

テンションホールドバックは紙にニップ圧を加えて巻取機との間に張力を保つようにしてある。

巻取機はスーパーカレンダーの項で述べたように張力制御をされている。

巻取機の構造を図4.3に示す。巻心はA、Bの2個ありそれぞれベルトおよびクラッチを通じて巻取電動機に連結されるようになっている。巻き太るにつれて巻取機の腕は矢の方向に回転する。最大径になると巻心が交換される。A巻心のクラッチが切れ、紙は切断されてB巻心が最初のA巻心の位置に来てテンションホールドバックに連動するロールチェンジャのCロールにより駆動されて紙を巻き始める。巻取電動機はクラッチを切り放されて無負荷で空コイルの速度まで加速される。テンションホールドバック電動機と巻取電動機には回転計発電機が取付けられその周波数を検出して指示する速度差計に内蔵された速度継電器があり巻取電動機の速度が紙の速度にほとんど等しくなると速度継電器が動作してB巻心のクラッチが投入されて巻取電動機は通常運転を行なう。クラッチの入り、切りは手動でも行ないうる。

## 5. む す び

以上製紙加工工程で応用されている代表的な駆動用電機品について説明した。これらの電機品は最近の機械設備および運転条件に対する高性能な要求を適当な機器の組合せにより解決して良好な運転成績をあげている。

# 最近の同期電動機(1)

神戸製作所 松村敏三\*

## The Latest Synchronous Motors (Part 1)

Kobe Works Toshizō MATSUMURA

With a number of improved methods on their starting, synchronous motors have come to broaden their scope of application recently, replacing induction motors in various fields. Mitsubishi has been producing these motors with firm belief that, if properly applied, they will prove their worth perfectly. Of a variety of points to be noted, starting and pull-in are the prime requisites in the design of synchronous motors in reference to the load. The writer herein gives a full account on these essentials based on the experience with his desire of paving a way to those who are adapting these machines to their plants.

### 1. ま え が き

電動力応用のいろいろの分野において交流電動機を用いる場合、従来誘導電動機が多く採用されてきたが、近年に至ってこの分野に同期電動機が使用されることが多くなってきたことは周知の事実である。これは機会あるごとに各方面よりいわれているように、同期電動機のもっている欠点が改善されたり、あるいは問題にならなくなったことによるものである。すなわち、たとえば起動特性についていえば同期電動機は誘導電動機に比べ、大きな起動トルク・引入トルクを必要とする負荷に対しては起動電流が大きくなるという欠点があるが、起動特性について種々研究・改良が加えられ小さい起動電流で大きいトルクを生ずる同期電動機が製作されるようになり、また使用される工場の受電容量の増大により許容起動電流が増加するなどから多数の同期電動機が使用されるようになってきた。かくて(1)力率を1.0または進み力率で運転し工場全体の力率を改善できること、(2)空隙が同様定格の誘導電動機の2～5倍大きく据付・保守上便利であり偏心に対する磁気吸引力が小さい、(3)同様定格の交流電動機の中でいつも最高の効率を有している、とくに軽負荷になっても効率低下は小であり、同一励磁であれば力率は進みとなる、(5)低速度たとえば72rpmのような低速の場合でもそのすぐれた運動特性を発揮でき実用的である、などの同期電動機のもっているいろいろのすぐれた点を十分に活用できて各方面に多数の同期電動機を製作納入している。以下ここに同期電動機についてその種類およびその応用をはじめとして起動時その他についてとくに問題となる点について述べ、あわせてここ数年当社が製作した代表的な同期電動機を紹介したいと思う。

### 2. 同期電動機の種類

同期電動機はごく一部の特殊機をのぞいては一般に次

のように大別される。

- a. カゴ形起動巻線付同期電動機
- b. 相巻線形起動巻線付同期電動機
- c. 円筒界磁形同期電動機
- d. 誘導同期電動機
- e. ソリッドポール形同期電動機

c・dの形式の電動機についてはこの論文の対象外とする。カゴ形起動巻線付同期電動機はもっとも普通構造のものでもっとも多く製作されている。突出磁極頭部に黄銅あるいは特殊銅合金などのカゴ形起動巻線を設け、その両端を短絡環で接続している。この形式のものは一般に起動トルク・引入トルクが小さく、また起動特性は起動巻線の抵抗によって異なり、高抵抗のものは起動トルクが大きくしたがって引入トルクは減少するが、低抵抗のものは逆に起動トルクが小さく引入トルクは大きくなる。

普通カゴ形起動巻線付同期電動機で起動トルクを大きくすれば起動電流が大きくなるので、少ない起動電流で大なる起動トルクを得るため、誘導電動機におけると同様に特殊カゴ形起動巻線の同期電動機が製作されている。深溝形、逆T形、二重カゴ形などの諸形式のものがある。

相巻線形起動巻線付同期電動機は当社では「シムブレックモータ」と称して製作しているものである。突出磁極の頭部に巻線形誘導電動機の二次巻線に相当する起動巻線を設けたもので起動方式も巻線形誘導電動機と同様であって、ただ最後に界磁巻線に直流励磁を与え同期に入れ、また運転中は起動巻線は短絡して制動巻線としての役目をさせる。巻線形誘導電動機はカゴ形誘導電動機に比してその起動特性のすぐれていることは周知のことであるが、これと同様に相巻線形起動巻線同期電動機はカゴ形起動巻線同期電動機よりすぐれた起動特性をもっている。起動巻線が磁極頭部だけで全周にないこと、空隙が比較的大であるため励磁電流が大きいことなどのた

め、巻線形誘導電動機よりは起動時能率（起動トルクと起動電流の比）は悪いが、普通形の同期電動機よりも極弧比（極弧と極間隔の比）を大きくし、普通80~85%程度としており、また空隙も均一にするなどして起動時能率をよくするようにしている。

ソリッドポール形同期電動機は従来磁極が薄鋼板を積層し、磁極頭部に上述のように起動巻線を設けていたのに対し、厚鋼板を積重ねて磁極頭部を溶接するかあるいは単体のものを用いて起動時この部に流れる渦流によるトルクを利用したものである。熱容量が大きく起動時の温度上昇による問題もなく、またまったく起動巻線がなく構造が簡単がんじょうであり、渦流によるトルク特性は二重カゴ形巻線のように起動特性がすぐれていることなどのすぐれた利点をもっている。しかしながら鋼板の電磁的性質は大して変化させることができないため、その特性を用途に応じて調整することができず、また同期運転時磁極頭部の渦流損のため効率が低下し、大形機などでは過熱を生ずることさえもある。最近国内において急にその利点が強調され注目されはじめているが、ソリッドポール形同期電動機は上述の理由より高速で負荷の $GD^2$ が大きいとき、負荷の起動トルクの大きいときなどのように、従来の起動巻線では吸収できないほどの起動時発熱量のある場合や高速のため起動巻線の設置が機械的強度の点から困難な中・小形機にだけ用いるのが適当と思う。すなわちソリッドポール形同期電動機のもつ利点を十二分に活用できる用い方をすべきであって、何でも彼でもすべて従来より用いられてきた同期電動機とおきかえられるべきものではないことを十分認識していただきたい。

### 3. 同期電動機の起動方式

同期電動機の起動方式としてはいろいろの方式があるが、通常次のものがあげられる。

#### (1) 自己起動法

- a. 全電圧起動方式
- b. 減電圧起動方式

- (a) 起動補償器による方式
- (b) リアクタによる方式

- c. 分割巻線起動方式
- d. 特殊起動方式

#### (2) 起動電動機による起動方式

全電圧起動方式はすべての電動機に適用することができ、起動操作が簡単であり他の方式に比して付属装置も必要でないなどの利点があるが、起動電流が大であるため、場合によっては電源系統に電圧の大なる降下を生じたり、電動機の固定子コイルが電磁力により損傷をきたすことがある。しかしできるだけこの方式を採用することがのぞましい。

リアクタによる減電圧起動方式は比較的簡単な方法で多く利用されている。この方式によると起動途中において

速度上昇に伴い電動機に加わる電圧が上昇し、したがって加速トルクも増加し、起動が円滑に行なわれる特長がある。しかし次にのべる起動補償器による減電圧起動方式に比べると起動電流は大きく、減電圧の割合が大きいほど起動時能率は全電圧のときに比べて悪くなる。

起動補償器による減電圧起動方式は上述のリアクタによる場合に比べて遮断器が1個余分に必要となり、また起動時電動機に加わる電圧は一定のためリアクタによる場合ほど、加速は円滑には行なわれないが起動電流を有効に減少することができ、起動時能率は全電圧のときと変わらない。また特殊な場合として所要のトルク不足の場合逆に電圧を上昇させて起動するときにはこの方法によらなければならない。

分割巻線起動方式は電動機の固定子巻線を数組の並列回路に別け、順次投入してゆく方法で直入起動方式に比して起動用遮断器を追加すればよく簡単である。巻線を分割する方法にはいろいろあるが、固定子の一部分だけに起動巻線を集中するのは起磁力の不均衡をきたしてよくない。電機子巻線を4等分して対称の位置にある二つずつを直列にして2回路を形成する方法・全円周にわたって交互の極をそれぞれ直列に接続する隔極接続方式や毎極毎相当りの巻線を2分割してそれぞれ直列に接続する分割相帯接続方式などがある。隔極接続の場合はコイルピッチに影響することが多いから注意を要する。この方法は電動機自体のトルク特性を変更することができず、また必要な並列回路をとりうるために電動機自身の設計に制約を加えるため電動機自身の太さが大形となり、減電圧起動方式に比して価格的にあまり有利にならないことが往々ある。

この方式によった場合の起動トルク・電流の全電圧起動の場合における値に対する減少の割合の概略値はStephen<sup>(1)</sup>氏によると表3.1に示すとおりである。また最近750kWの電動機で隔極接続による方式を用いた場合、その起動特性を実測したところ、表3.2に示すとおりになった。

表 3.1 分割巻線起動方式の場合におけるトルク電流の減少率

	起動電流 (%)	起動トルク (%)
2 分割巻線起動	65~70	50~60
3 分割巻線起動	45~50	25~30

表 3.2 分割巻線起動方式の場合におけるトルク電流の減少率（実測値の一例）

	起動電流 (%)	起動トルク (%)
全電圧起動	350	120
分割巻線起動	265	85

この試験結果は上述の概略値を少し上回った値を示しているが、隔極接続の場合はコイルピッチの影響をかなり受けるためと思われる。しかしながらこの場合でも明らかかなようにリアクタによる減電圧起動方式にて同一トルクになるようにした場合の起動電流は297%となり分割巻線起動方式の有利さを示している。またこの方法は高調波磁束のため起動途中でcrawlingを生ずることがある

から注意を要す。一般に分割巻線起動方式は極数の多い機械に使用するのに適している。

普通は電動機起動と同時に負荷を起動するのに対して重負荷起動用電動機として用いられている電磁クラッチ付同期電動機や超同期電動機のように負荷に関係なく、まず電動機だけを起動し、同期引入を行ない同期電動機の状態にした後なんらかの方法により負荷を起動する方式を特殊起動方法といっている。

起動電動機を用いる方式は大容量機などで電源容量の関係から起動電流を非常に制限された場合に用いられ起動電動機には巻線形誘導電動機か誘導同期電動機が採用されているが、電源容量の増大と起動特性の改良によりこの方式は今日あまり用いられていない。

#### 4. 起動時の諸問題

同期電動機の起動時においてもっとも問題になることは

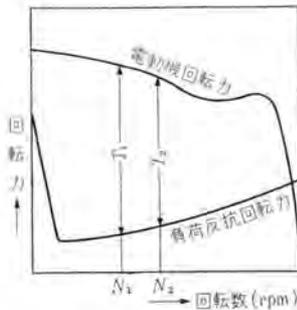


図 4.1 起動時の回転力  
Fig. 4.1 Torque at starting.

電動機発生トルクと負荷の反抗トルクとの差である加速トルク  $T$  と負荷を含めた回転体の  $GD^2$  によって定まる。いま加速トルクが一定の値  $T$  であるとき、あるハズミ車効果をもつ回転体を  $N_1$  rpm より  $N_2$  rpm に上げるに要する時間  $t$  は次式により求められる。

$$t \text{ (秒)} = \frac{(N_2 - N_1) GD^2}{375 T}$$

ただし、 $GD^2$  ( $\text{kg-m}^2$ )  $T$  ( $\text{kg-m}$ ) である。

図 4.1 のように加速トルクが一定でない場合は、回転範囲を細分して、その間の加速トルクを一定として上式から  $t$  を順次に求めてこれを合計すれば、最終スベリに達するまでの時間は求められる。

負荷の  $GD^2$  が電動機自身のもつ  $GD^2$  のより相当大きい場合、あるいは高速の場合には、大きな  $GD^2$  をもつ回転体を加速するに要するエネルギーの大部分は起動巻線中で消費され熱となるから、起動巻線の温度上昇が問題になる。この場合起動巻線に発生する熱量は次式により求められる<sup>(2)</sup>。

$$E = 2.75 \times GD^2 \times \left( \frac{\text{rpm}}{1000} \right)^2 \left( \frac{1}{2} + \int_0^1 \frac{ST'}{T - T'} dS \right)$$

ただし、 $E$  = 起動巻線に発生する熱量 ( $\text{kW-sec}$ )

$GD^2$  = 回転体のもつ全ハズミ車効果 ( $\text{kg-m}^2$ )

$T$  = 電動機の発生するトルク ( $\text{kg-m}$ )

$T'$  = 負荷の反抗トルク ( $\text{kg-m}$ )

$S$  = スベリ

もしこの熱量が鉄心にも外気にも逃げないと仮定すると、起動巻線の温度上昇  $\theta$  は

$$\theta = \frac{E}{CG^2}$$

$C$  = 起動巻線の比熱  $\text{kW-sec/kg}^\circ\text{C}$

(銅 0.39 黄銅 0.38 モネルメタル 0.53)

アームスプロングス 0.42)

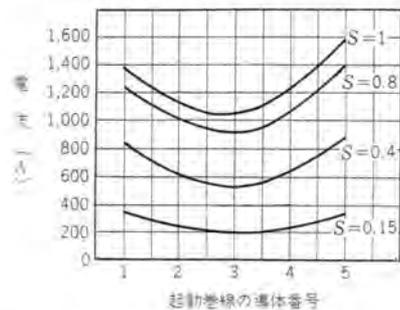
$G^2$  = 起動巻線の重量 ( $\text{kg}$ )

実際の場合には熱が周囲に逃げるため上式により計算した値よりもはるかに低く計算値の 1/3 くらいと考えるとさしつかえない。起動巻線の温度上昇は普通  $200^\circ\text{C}$  くらいに押えるべきであろう。起動巻線にもっとも多く使用する 4-6 黄銅は  $200^\circ\text{C}$  をこえると機械的性質は急激に悪くなることからこのことは妥当と思われる。しかしながら、とくに  $GD^2$  の値が大であり、かつかなり高速度の場合には  $200^\circ\text{C}$  を超過し、ときには  $300^\circ\text{C}$  近くになることもある。このような場合には使用材料の選定にとくに注意を払い、4-6 黄銅や銅のような高温時に機械的性質が常温時に比べていちじるしく悪くなるものの使用は避けるべきであって、 $300^\circ\text{C}$  前後の高温になっても機械的性質が悪くならないようなものを使用すべきであ

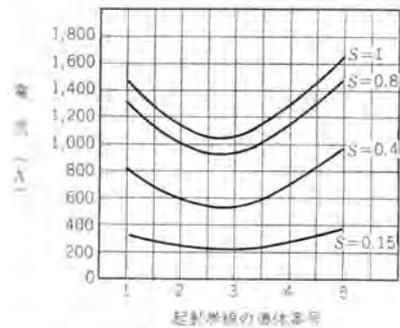
- (1) 慣性の大きい負荷を起動する場合起動巻線の温度上昇が高くなり、ときには熱応力のため起動巻線の切断などの事故を生ずることがある。
- (2) 同期引入などである。

電動機の加速時間は

図 4.1 に示すように電



(a) 界磁閉路の場合



(b) 界磁開放の場合

注 (1) 图中的  $S$  はスベリを示す

(2) 導体番号は一つの極において回転方向と反対に順次付したものである

図 4.2 起動時起動巻線における電流分布

Fig. 4.2 Current distribution in damper winding.

る。とくに4-6黄銅は300~350°Cの付近に曲げに対する脆性点を有し伸びが急に減少し衝撃強さも弱くなる性質をもっており、きわめてわずかな外力でも切損することもあるので注意を要する。当社ではかかるような状態で使用されることが予想される電動機を製作するに際しては起動巻線の使用材料を十分選定していることはもちろん、すべての同期電動機について起動時の温度上昇による熱膨張に対して、熱応力の生じないよう構造上とくに注意を払っている。しかしながらまた起動時、起動巻線の各導体に流れる電流は一樣でなく、すなわち、磁極頭部の中央より端部のほうが電流が多いが、速度が上昇するに従いこの差異はだんだん少なくなる。この起動時の起動巻線各導体に流れる電流の分布については、Schuisky氏、Liwschitz氏、の論文<sup>(3)(4)</sup>に詳しくのべられている。Liwschitz氏の論文に示されている250 HP 200 rpm 電動機についての電流分布を図4.2に示す。これにより起動巻線の温度上昇は各導体について均一でなくなる。当社において実際の機械について測定した結果をみても、磁極頭部の端部の導体が中央の導体よりかなり温度が高かったことを示していた。この測定は各導体の磁極鉄心より外部に出ている部分にて測定した結果であって、磁極鉄心内の部分の温度上昇の差はこれよりも少ないことが予想され、したがってこの温度差による熱応力の生ずることも考えられるが、導体の長さがあまり長くない場合とか、前述の式による起動巻線の温度上昇は平均値を示すことになるが、この値が200°C以下の場合などではその大きさも大したことではなくあまり一般には問題にしなくてもよいと考える。一つの目安として500~1,200 rpmの標準設計の電動機について何の問題もなく加速しうる負荷の $GD^2$ の値を次式に示している。厳密なことはその都度検討するを要するが、大体の見当をつける意味ではこの表を使用してさしつかえない<sup>(5)</sup>。

$$GD^2 = 5.6 \times kW \times \left( \frac{1000}{N} \right)^2 \times \frac{1}{PF} \text{ (kg-m}^2\text{)}$$

ただし kW 電動機定格出力  
N 電動機定格回転数  
PF 電動機定格力率

以上簡単に起動時における起動巻線に生ずる問題点についてのべたが、当社ではこれらについては十分に調査研究し、その結果を実際の製品に活用して製作に当たっており、したがってこれらの点については何の問題も生ずることなく、優秀な製品を製作納入している。

つぎに同期引入についてのべる。まず同期引入に影響する因子をあげると、

- 直流励磁が与えられたときの速度……誘導電動機として加速しうる最高速度
- 負荷を含めた全回転部分の慣性の大きさ ( $GD^2$ )
- 直流励磁が与えられた瞬間の固定子磁極と回転子磁極との相差角
- 与える直流励磁の強さ

e. 直流励磁を与えたときにすでに負っている負荷の大きさ

このうち(1)(2)(5)がもっとも大きい影響を与える。 $GD^2$ が大であれば誘導電動機として加速しうる速度をできるだけ同期速度に近づけなければならない。すなわち $GD^2$ の値によりスベリの大きさを決め、他方同期引入の際負っている負荷の大きさは負荷の種類・性質により決まるから、この両者より電動機の同期引入に必要な特性が必然的に決まってくるわけである。

JECあるいはASAなどの規格で定義されている「引入トルク」とは「起動してほぼ定格速度に近づいた電動機が定格周波数および定格電圧において界磁に直流励磁を与えたとき、電動機自体および接続負荷の慣性に打ち勝って同期にはいりうる最大負荷トルク」をいっている。さらにASA規格では次のように説明を加えている。すなわち「負荷をその速度にまで加速するには、その負荷の要求するだけのトルクを電動機が発生しうるか否かによって、その負荷をその速度から同期化できるか否かは、回転部分の慣性の大小によって定まる」したがってこれよりも明らかのように、ある電動機の引入トルクとはその電動機が接続している負荷の必要とするトルクの大きさと同時にその負荷の $GD^2$ を示されなければ定めることはできない。またその電動機に接続されている負荷が決まっているならば、 $GD^2$ の大きさも同期引入の際に電動機が負っている負荷の大きさも決まっているから、この場合は引入トルクであらわずよりむしろスベリで同期引入の可否を示したほうがわかりやすいことになる。いずれにせよ、引入トルク・スベリ・負荷の $GD^2$ の三者の間には不可分の関係にあるわけである。そこでASA規格には引入トルクを考える場合の負荷の標準 $GD^2$ としてNormal  $WK^2$  of Loadを定めている。実際の負荷のもつ $GD^2$ がこの値であれば、電動機としては標準設計のものでよく、また約5%スベリにて同期化しうることになる。ASAのNormal  $WK^2$  of Loadを $GD^2$  ( $\text{kg-m}^2$ )になおした式を示すと次のようになる<sup>(6)</sup>。

$$\text{負荷の標準 } GD^2 = 0.0872 \text{ (kW)} \cdot 1.15 \left( \frac{\text{rpm}}{1000} \right)^2 \text{ (kg-m}^2\text{)}$$

一般に引入可能な最大スベリは、負荷の $GD^2$ がだんだん大きくなるに従い小さくなり、すなわち $GD^2$ が大きくなれば電動機は同期速度のすぐ近くまでたとえば97.5~98%程度に加速しないと同期化できなくなる<sup>(5)</sup>。

同期引入の可否に関する解法については、既に古くから諸文献に発表されておりその代表的なものを次式に示している<sup>(8)</sup>。

$$S(\alpha v) < k_s \sqrt{\frac{E_d \cdot E_r}{\pi \cdot f \cdot H \cdot x_d}}$$

$$S(\alpha v) = \text{同期化可能の スベリ (平均値・単位法)}$$

$$k_s = \text{定数} = 0.55 \sim 0.60$$

$$H = \text{慣性定数} = \frac{1.386 \times GD^2 \times \text{rpm}}{10^6 \times \text{定格出力 (kW)}}$$

- $E_t$  = 電源電圧 (単位法)
- $f$  = 電源周波数
- $E_d$  = 直流励磁に対応する直軸誘起電圧 (単位法)
- $x_d$  = 直軸同期リアクタンス (単位法)
- $GD^2$  = 全回転部分のハズミ車効果 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )

さらに、直流励磁を与えたために負荷が増大した場合とか、あるいは界磁回路の時定数の影響を考えなければならぬ場合などは上式を適用することはできない。この場合次に示す同期引入の過程を示す非直線形微分方程式を解かなければならない。突極形同期機の場合は、突極性のためリアクショントルクが加わったり、起動巻線が回転子周辺に均等でないため、誘導電動機としてのトルクが脈動し、したがって円筒形の場合のように簡単に  $K \cdot S$  としてあらわすことができず、普通  $K(1 - b \sin \theta) S$  であらわすのがもっとも近似的であるといわれているが、式が複雑になり、またその影響も大したことはないので次に示す円筒形同期機の場合の式で検討して十分である。

$$P_m \sin \theta + 9.8 \frac{GD^2}{4g} \frac{\omega_0}{P} \cdot \frac{d\omega}{dt} + KS = P_L$$

ただし、 $P_m$  = 与えられた直流励磁に対する同期機の最大出力 (kW)

$\theta$  = 回転子偏位角 (電気角 radian)

$GD^2$  = 回転部分のハズミ車効果 ( $T\text{-m}^2$ )

$g$  = 重力加速度 (m/s/s)

$\omega_0$  = 同期速度 (電気角 radian)

$P$  = 極対数

$t$  = 時間 (秒)

$KS$  = スペリ  $S$  における誘導電動機としての出力 (kW)

$P_L$  = 励磁後の機械的負荷 (kW)

この式についての近似解法<sup>(9)</sup>も相当以前にすでに発表さ

表 4.1 界磁放電抵抗の起動・引入トルクに及ぼす影響

放電抵抗 界磁コイル抵抗	起動トルク	引入トルク	起動電流	起動時力率	起動時効率
0	0.87	0.88	6.0	0.254	0.145
1	0.877	1.166	6.0	0.255	0.1462
2	0.888	1.36	6.0	0.256	0.147
3	0.89	1.46	6.0	0.257	0.1473
4	0.896	1.515	6.0	0.259	0.1493
5	0.916	1.71	6.01	0.262	0.153
6	0.911	1.52	6.0	0.262	0.151
7	0.915	1.478	6.0	0.262	0.1528
8	0.914	1.465	6.0	0.262	0.1524
9	0.916	1.455	6.0	0.262	0.153
10	0.928	1.42	6.0	0.264	0.1548
12	0.93	1.368	6.0	0.261	0.155
25	0.999	1.19	6.0	0.279	0.168
100	1.099	1.14	5.85	0.318	0.187
$\infty$	1.11	0.818	5.47	0.31	0.19

れている。しかしかなり計算はめんどうであって、実際の可否検討に当たっては概略式により引入可能の限界スベリを算出し、これに経験的係数を考慮してその引入可否を決めることが実用的である。

起動の際は開路しておくで界磁巻線は巻回数が多いので、高電圧が誘起し、絶縁がおびやかされるので通常放電抵抗で短絡して起動する。しかし界磁を開路すれば、起動電流は高速度機については20~30%、低速度機については8~15%減少し、起動トルクは3~15%増加する<sup>(10)</sup>。したがって少しでも起動電流を減少させたいとき、たとえば シンプルクスモータのような重負荷起動用同期電動機では界磁を開路して起動を行ない、界磁巻線には誘起する高電圧に十分耐える絶縁が施してある。引入トルクは放電抵抗がある値をこえるとかえって減少する。等価回路から放電抵抗の変化による起動トルク・引入トルク・起動電流の変化の状態を計算した一例を示すと表4.1のようになる<sup>(11)</sup>。実際製作に当たっては、最適の値をもつ放電抵抗を選定している。

# 可飽和鉄心とトランジスタを用いた電圧—周波数変換器

研究所 浜岡 文夫\*・大野 栄一\*

## Voltage-Frequency Converters Operating on Composition of Saturable Core and Transistors

Research Laboratory Fumio HAMAOKA • Eiichi OHNO

There are a Royer circuit and a Van Allen circuit to produce efficiently alternating current from direct current by combining a saturable core having a rectangular hysteresis B-H characteristic and transistors operating on a switching mode. These circuits are now gradually turning to practical use as a highly efficient high frequency power supply or a DC converter circuit. The writers herein discuss a case when a similar circuit is adapted to a signal converting device for voltage-frequency conversion. Comparison is also made with characteristics between cases when the Royer circuit is used direct and the Van Allen circuit is stabilized with a feed back circuit.

### 1. ま え が き

最近の半導体および磁性材料の発展ともなっており、この両者と組合せた新しい興味ある分野が開けつつある。その一例として矩形ヒステリシス B-H 特性をもった可飽和鉄心とスイッチングトランジスタを用いて磁気マルチバイブレータを構成し直流から交流への変換を行なうものがある。まず Royer によって直流電圧に比例した周波数の交流電圧を発生する回路が発明された<sup>(1)</sup>。Royer 回路では鉄心 1 個とトランジスタ 2 個を組合せたのに対して Van Allen は磁気増幅器と同様な機構によって磁束制御を行なう鉄心 2 個、トランジスタ 2 個を用いた回路を発表した<sup>(2)</sup>。この方式ではその制御巻線にわずかな制御電流を流すことによって大幅に発振周波数を制御できる特長をもっている。また Royer 回路では直流電圧を変化したとき、周波数とともに出力電圧も比例的に変化するのに対し、Van Allen 回路ではつねに一定の振幅をもった出力が得られる点でも広い周波数範囲を扱う場合には便利である。しかし回路が複雑なだけ発振周波数におよぼす各種パラメータの影響が多くなり安定度は若干低下するようである。

ここではまず Royer 回路についてこの種の直流—交流変換器の原理を説明した後、Van Allen 回路の周波数制御特性について考察し、これにフィードバック回路を用いて入力電圧対出力周波数の安定化と直線化を行なった結果について述べる。この種のものはテレメータ用のほか低周波用の A-D 変換器としても応用できるであろう。

### 2. Royer 回路の動作原理

#### (1) 基本回路

Royer の考案した回路の基本形は図 2.1 に示すようなものである。この鉄心は図 2.2 に示すような矩形 B-H 特性を有するものとし、その飽和磁束密度を  $B_s$ 、残留磁

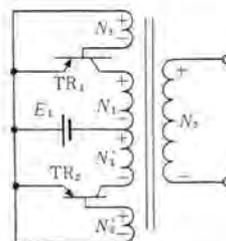


図 2.1 Royer 回路  
Fig. 2.1 Royer circuit.

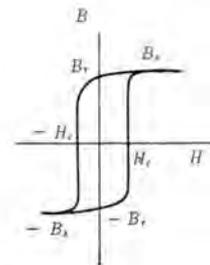


図 2.2 鉄心の B-H 特性  
Fig. 2.2 B-H Curve of magnetic cores.

束密度を  $B_r$ 、保磁力を  $H_c$  とする。鉄心の形状は特性上普通はトロイダル形を用いるが、その有効断面積を  $A_{Fe}$ 、平均磁路長を  $l_m$  とすると磁束  $\phi$  および励磁アンペアターン  $AT_x$  はそれぞれ

$$\phi = A_{Fe} \cdot B \dots\dots\dots (2.1)$$

$$AT_x = \frac{H_c l_m}{0.4\pi} \dots\dots\dots (2.2)$$

となる。

2 個のトランジスタ TR1, TR2 は交互にオンオフを繰り返すスイッチとして動作する。今たとえば TR1 が TR2 よりも低抵抗となると電源電圧  $E_1$  はコイル  $N_1$  により多く印加され図 2.1 に示した極性の電圧を各コイルに誘起する。コイル  $N_1$  に誘起する電圧  $e_1$  は TR1 のベースを負にしさらに低抵抗とし、いわゆる飽和状態に導く。これに反してコイル  $N_1'$  に誘起する電圧  $e_1'$  は TR2 のベースに正の逆バイアスを与えるためカットオフとなり、エミッタ—コレクタ間は非導通の状態となる。したがって電圧  $E_1$  は TR1 を通じてコイル  $N_1$  に完全に印加され初期値  $\phi_0$  にあった磁束は次式に従って上昇を始める。

$$\phi = \frac{1}{N_1} \int_0^t (E_1 - e_{1c}) dt + \phi_0 \dots\dots\dots (2.3)$$

\* 電気第一研究室

ここに  $e_{BC}$  は TR1 のエミッタ=コレクタ間の飽和状態における電圧降下で電流によっても変化するが大体 0.2 V ~ 0.3 V 程度の低い値で  $E_1$  が比較的大きい場合には無視して考えてもよい。この状態で TR1 に流れるコレクタ電流  $I_C$  は鉄心の励磁電流だけで

$$I_C = \frac{AT_x}{N_1} \quad (2.4)$$

となる。

$\phi$  が  $\phi_s$  に達すると鉄心は飽和し励磁電流が急増しようとするが、一方  $e_s$  も消滅し、TR1 をカットオフにするため鉄心の励磁が絶たれ、磁束は  $\phi_s$  から  $\phi_r$  に戻る。このときの磁束変化は負となるため鉄心の各コイルには図 2.1 と逆極性の電圧を誘起し、これが TR2 を導通方向に導く。このため前と逆の現象により TR2 は飽和となり、TR1 はカットオフとなって  $\phi$  は

$$\phi = \phi_s - \frac{1}{N_1'} \int_0^t (E_1 - e_{BC}) dt \quad (2.5)$$

によって降下を始める。(実際には  $N_1 = N_1'$  である。)

$\phi$  が  $-\phi_s$  に達したときには上記と逆の現象が生じてふたたび TR1 が飽和し、TR2 がカットオフとなる。

このため出力巻線  $N_2$  には

$$E_2 = 2 \frac{N_2}{N_1} (E_1 - e_{BC}) \quad (2.6)$$

なる波高値をもつ矩形波を発生する。その周期  $T$  は  $\phi$  が  $+\phi_s$  から  $-\phi_s$  に達する時間の 2 倍であるから式 (2.5) から

$$\begin{aligned} -\phi_s &= \phi_s - \frac{1}{N_1'} (E_1 - e_{BC}) \frac{T}{2} \\ \therefore T &= \frac{4\phi_s N_1}{E_1 - e_{BC}} \quad (2.7) \end{aligned}$$

となり周波数  $f$  は

$$f = \frac{E_1 - e_{BC}}{4\phi_s N_1} \quad (2.8)$$

により求められる。

式 (2.8) を見れば発振周波数  $f$  は直流電圧  $E_1$  に比例して変化することがわかる。その特性の変動に影響を与えるのはトランジスタの飽和状態における E-C 間電圧降下  $e_{BC}$  と、鉄心の飽和磁束密度  $\phi_s$  とである。 $e_{BC}$  は温度によって変動し、負荷電流によっても変化するが、絶対値が小さいため影響は少ない。 $\phi_s$  はパーマロイ系では温度変化 1°C 当たり約 0.07% 減少し周波数変動の原因となる<sup>(3)</sup>。

### (2) 固定バイアス回路

図 2.1 の基本回路では第 1 に起動が困難であること、第 2 に  $E_1$  が比較的大幅に変化したとき  $e_s$  もそれとともに変化するためつねに満足すべき制御電圧をトランジスタのベースに与えることがむずかしいという欠点がある。これに対して図 2.3 のようにバイアス電源  $E_B$  と抵抗  $R_B$  によってつねに一定のバイアス電源  $I_B$  を与えるようにする回路がある<sup>(4)</sup>。この回路を付加すれば起動時にはまず  $I_B$  が TR1 と TR2 に分流するが、必ず不平衡を

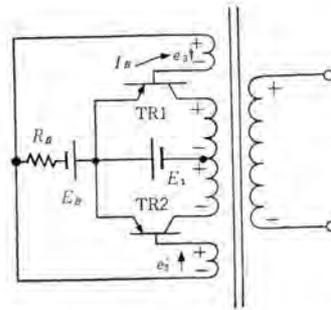


図 2.3 固定バイアス式 Royer 回路  
Fig. 2.3 Royer circuit with constant bias current.

生じるからどちらかがより低抵抗となり前に説明したようにその差がますます増大するように働くから確実に起動する。起動後、たとえば TR1 が飽和しているときには  $I_B$  は TR1 だけに流れ、TR1 の E-B 間電圧は 0.2 ~ 0.25 V 程度となるから、TR2 には  $e_s$  と  $e_s'$  からこの  $e_{BB}$  を差し引いた電圧が逆方向にかかりカットオフを保つ。そのため基本形(これを自己バイアス形と呼ぶ)ではトランジスタの制御パワーを  $E_1$  から供給していたのが、固定バイアス形では  $E_B$  から直接供給され、 $N_2$  に誘起する電圧はトランジスタをカットオフするために用いられる。したがって  $e_s$  が過大になってもトランジスタの耐圧さえもてばよく、自己バイアス形のようにベース電流が増して焼損する恐れはなくなる。

$E_1$  が広範囲に変化することがなく、確実な起動だけが目的の場合には  $E_B$  を  $E_1$  で代用できる。起動回路にはその他種々のものが考案されている<sup>(4)</sup>。

## 3. Van Allen 回路の原理と特性

### (1) 回路と動作原理

Royer の回路では前節で説明したように 1 周期ごとに磁束は  $B-H$  の major loop を一巡するため電源電圧  $E_1$  に対する発振周波数は式 (2.8) で一義的に決まってしまう。Van Allen は磁気増幅器における同様な磁束制御の考えを導入して図 3.1 のような回路を考案し、制御コイル  $N_4$  を流れる制御電流によって磁束のリセット量を制御し、発振周波数を変えられるようにした。一次側の回路は Royer 回路の鉄心を中央から 2 分したものと同じで、同様な動作原理によって TR1、TR2 が交互にオンオフし矩形波を発生する。2 個の鉄心は出力回路および制御回路を介して結合され一方の鉄心の磁束が上昇し

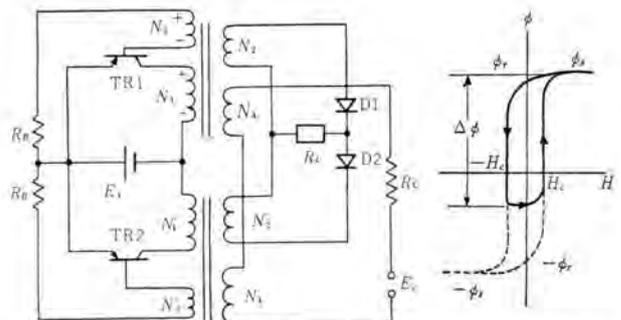


図 3.1 Van Allen 回路  
Fig. 3.1 Van Allen circuit.

図 3.2 磁束変化量  
Fig. 3.2 Reset flux  $\Delta\phi$ .

て飽和に向かうとき（ゲート期間）他方の鉄心の磁束は飽和から遠ざかる（リセット期間）。定常状態ではゲート期間の磁束変化量とリセット期間の磁束変化量の大きさは等しくなる。これを  $\Delta\phi$  とすると Royer 回路の磁束変化量である  $2\phi_s$  に相当するから発振周波数  $f$  は式 (2.8) の  $2\phi_s$  の代わりに  $\Delta\phi$  を用いて

$$f = \frac{E_1 - e_{EC}}{2N_1\Delta\phi} \cdot \frac{E_1}{2N_1\Delta\phi} \quad (3.1)$$

最低周波数は  $\Delta\phi = 2\phi_s$  の場合で

$$f_{\min} = \frac{E_1 - e_{EC}}{4N_1\phi_s} \cdot \frac{E_1}{4N_1\phi_s} \quad (3.2)$$

で求められる。

したがって  $E_1$  を一定にしておいても  $\Delta\phi$  を変化させて周波数を制御できるわけである。 $\Delta\phi$  は制御アンペアターンによって制御されるが、制御回路のインピーダンスや周波数によって影響を受け、取扱いはかなりやっかいである。しかし磁束制御特性<sup>(7)</sup>が既知であると、これから制御アンペアターン対発振周波数の特性を求めることができる。今周波数  $f_1, 2f_1, 4f_1, 8f_1$  に対する磁束制御特性が図 3.3 のように求められているとして、 $f_1$  に対する磁束変化量が式 (3.1) より求めまり  $\Delta\phi_1$  となれば  $2f_1, 4f_1,$

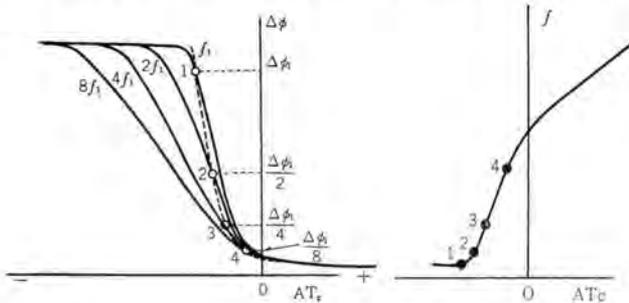


図 3.3 磁束制御特性と発振周波数 図 3.4 周波数制御特性  
Fig. 3.3 Flux control characteristics and oscillation frequency. Fig. 3.4 Frequency control characteristics.

$8f_1$  に対する磁束変化量はそれぞれ  $\Delta\phi_1/2, \Delta\phi_1/4, \Delta\phi_1/8$  となるから、それぞれの曲線から必要な制御アンペアターンが求められる。これを周波数対制御アンペアターンのグラフに示すと図 3.4 となって周波数制御特性が求まる。したがって周波数変化の割合は磁束制御特性のコウ配の急な部分で大きくなるのがわかる。

### (2) 周波数制御特性

周波数制御特性は前述のように鉄心の磁束制御特性から求められるが、磁束制御特性自身回路抵抗によって変化するため、周波数制御特性も各部パラメータ変動の影響を受ける。つぎにその様子を実例によって示すことにしよう。

まず実験に用いた回路を図 3.5 に、鉄心の諸元を表 3.1 に示す、回路は前節で説明した固定バイアス方式を用いて起動を確実にした。この回路の最低発振周波数は

$$f_{\min} = \frac{E_1}{4N_1\phi_s} = \frac{12 \times 10^8}{4 \times 1000 \times 0.42 \times 14500} = 49 \text{ c/s} \quad (3.3)$$

より約 49 c/s となる。

可飽和鉄心とトランジスタを用いた電圧一周波数変換器・浜岡・大野

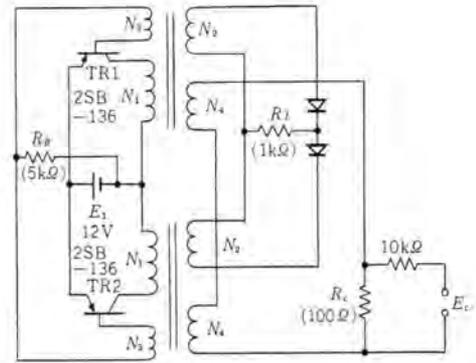


図 3.5 実験に用いた Van Allen 回路  
Fig. 3.5 Van Allen circuit tested here.

表 3.1 鉄心および巻線表

鉄心寸法 (mm)		35φ-25φ-10 H-0.1 t	
巻	$N_1$	0.18φ	1,000 T
	$N_5$	0.18φ	1,000 T
線	$N_3$	0.18φ	200 T
	$N_4$	0.18φ	300 T

まず基準状態(図 3.5

の ( ) 内の抵抗値をとった場合)において周波数制御特性を求めたのが図 3.6 である。これは前に図 3.4 で得た結果と類似の特性を示している。制御電流の負の領域ではほぼ 5 mA で最低周波数に達し、この間で 10 倍に近い周波数変化をしている。一方正の領域ではややゆるやかに上昇し 100 mA で 4 kc をこえなお上昇の傾向は衰えていない。このように 2 decade 程度は楽に変化できるのがこの回路の特長であるが、

ここではより少ない制御電流で周波数変化率の高い負の領域についてももう少し詳細に特性を検討してみよう。

### (a) 制御回路抵抗の影響

図 3.5 で  $R_c$  をパラメータとして周波数制御特性をとったものを図 3.7 に示す。 $R_c$  が小さいほど直線性がよく、500 Ω 以上ではかなりワコ曲してくる。このためここには示さなかったが、自己バイアス方式ではコウ配の急な部分で跳躍を生じ、発振が停止することもある。この点でも固定バイアスのすぐれていることがうかがわれる。なお図中  $R_c$  の値の次に ( ) 内に示した値は制御回路の全等価抵抗  $R_{c_{eq}}$  で次式より計算したものである。

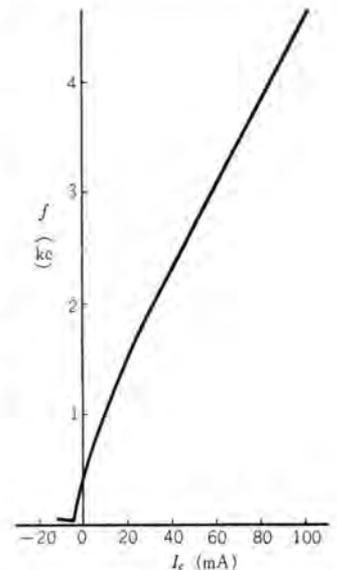


図 3.6 Van Allen 回路の周波数制御特性  
Fig. 3.6 Frequency control characteristics of Van Allen circuit.

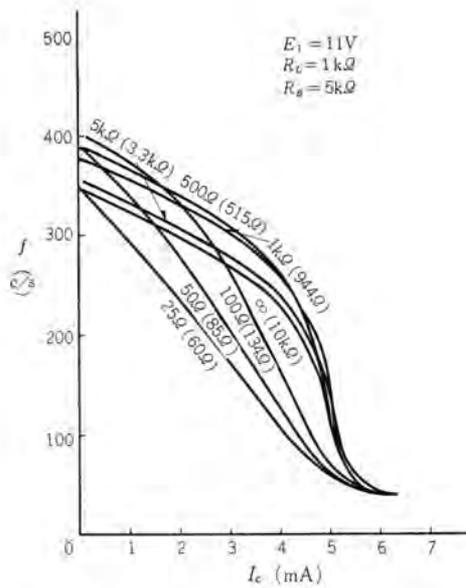


図 3.7  $R_c$  と周波数制御特性 (固定バイアス)

Fig. 3.7 Frequency control characteristics. ( $R_c$  parameter)

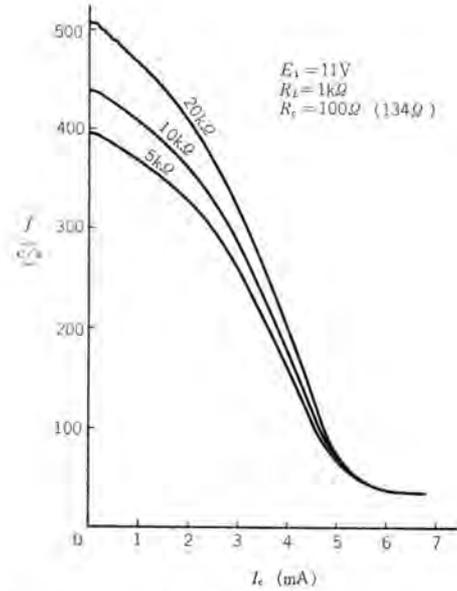


図 3.9  $R_B$  と周波数制御特性 (固定バイアス)

Fig. 3.9 Frequency control characteristic. ( $R_B$  parameter)

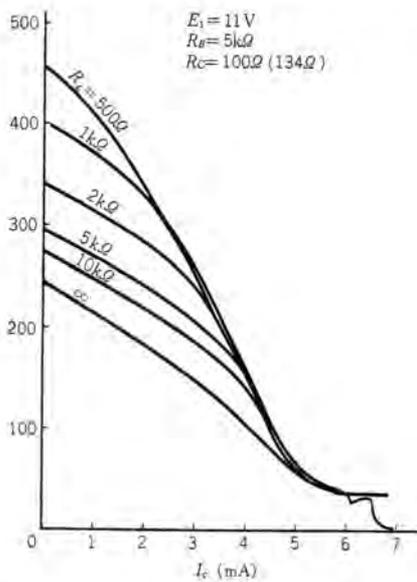


図 3.8  $R_L$  と周波数制御特性 (固定バイアス)

Fig. 3.8 Frequency control characteristics. ( $R_L$  parameter)

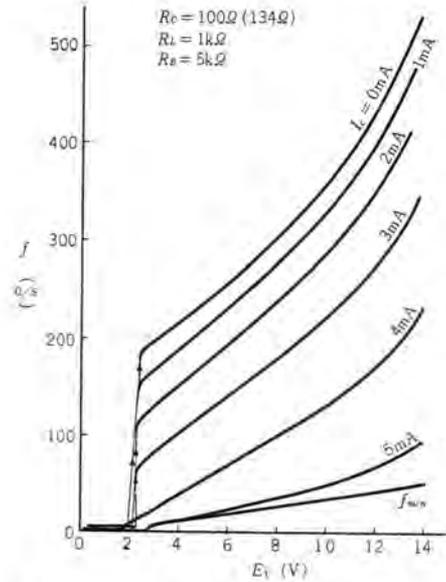


図 3.10 電源電圧と発振周波数 (固定バイアス形)

Fig. 3.10 Primary DC voltage and oscillating frequency.

$$R_{O\text{eff}} = R_{\omega} + \frac{R_{\omega'} \cdot R_D}{R_D + R_C} \quad (3.4)$$

ただし  $R_{\omega}$  : 巻線抵抗  $35 \Omega$   
 $R_D$  : 外部抵抗  $10 \text{ k}\Omega$

(b) 負荷抵抗の影響

つぎに負荷抵抗をパラメータにした周波数制御特性を調べたのが図 3.8 で、一般に低抵抗の場合のほうが高い周波数まで変化し、直線変化範囲が延びている。

(c) バイアス抵抗の影響

固定バイアスとしたときのバイアス電流によっても影響を受けるのでその影響をバイアス抵抗  $R_B$  をパラメータとしてプロットした結果が図 3.9 である。これは  $R_B$  が大きいほど周波数が高くなっているが、 $R_C$ 、 $R_L$  ほどの大

きな影響はない。

(d) 電源電圧と発振周波数

Royer 形ではほとんど完全に比例していたが、Van Allen の場合は最低周波数が比例するだけで一般の場合は複雑になる。制御電流  $I_C$  をパラメータにしてその間の関係をプロットしたのが図 3.10 である。大体 2~2.5 V で発振を始め  $E_1$  とともに  $f$  も増加するが直線的ではない。

(3) 過渡応答

過渡応答は磁気増幅器の場合と同様定差方程式を立てて求めることができるが、磁気増幅器の場合と異なり電源周波数が変化するのであるから可変時定数をもった非線形応答をすることになる。しかしサイクル数表示をした時定数は一定として求められる。いま簡単に時定数  $T_0$

を制御回路の インダクタンス  $L_c$  と抵抗  $R_c$  の比と考えると、 $L_c$  は制御電流の変化分に対して制御コイルに鎖交する平均磁束  $\phi_c$  の変化分として表わされるから

$$T_c = \frac{L_c}{R_c} = \frac{2N_c \Delta \phi_c}{R_c \Delta I_c} \quad (3.5)$$

ここで  $\phi_c$  は平均磁束で

$$\phi_c = \phi_s - \frac{1}{2} \Delta \phi \quad (3.6)$$

となるから  $\Delta \phi_c = \frac{1}{2} \Delta \phi$  と考えてよい。  $\Delta \phi$  は式 (3.1)

から求まるからこれを式 (3.5) に代入すると

$$T_c = \frac{N_c E_1}{2f N_1 R_c \Delta I_c} \quad (3.7)$$

となり、サイクル数で表わした時定数  $n_c$  は

$$n_c = \frac{N_c E_1}{2N_1 R_c \Delta I_c} \quad (3.8)$$

として得られる。

実際に 図 3.5 の回路で 過渡応答を測定した結果を 図 3.11 に示した。ここで周波数変化を記録するため単安定マルチバイラータ回路により構成した周波数検出器を用いた。この変換回路の出力を平滑化するため測定では 0.002 秒の時定数をもつ一次遅れがつながっている。

時定数は低周波で長くなり、高周波で短くなるため変化の方向によっても応答の形が異なっているが、最終値の 63% に達する時間を時定数とすると表 3.2 に示すような値となる。計算値の  $T_{eff}$  は変化範囲の両端における  $1/f$  の代数平均値を用いて式 (3.7) により近似計算



図 3.11 Van Allen 回路の過渡応答  
( $R_c=134 \Omega$ ,  $R_L=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_B=5 \text{ k}\Omega$ )  
Fig. 3.11 Transient response of Van Allen circuit.

表 3.2 Van Allen 回路の時定数

$R_c$	60 $\Omega$	134 $\Omega$
$T_{rise}$	0.07 sec	0.03 sec
$T_{fall}$	0.04	0.02
$T_{eff}$	0.07	0.03

$T_{rise}$  : 周波数上昇時の 63% 応答時間

$T_{fall}$  : 周波数下降時の "

$T_{eff}$  : 式 (3.7) より求めた  $T_c$  の平均値

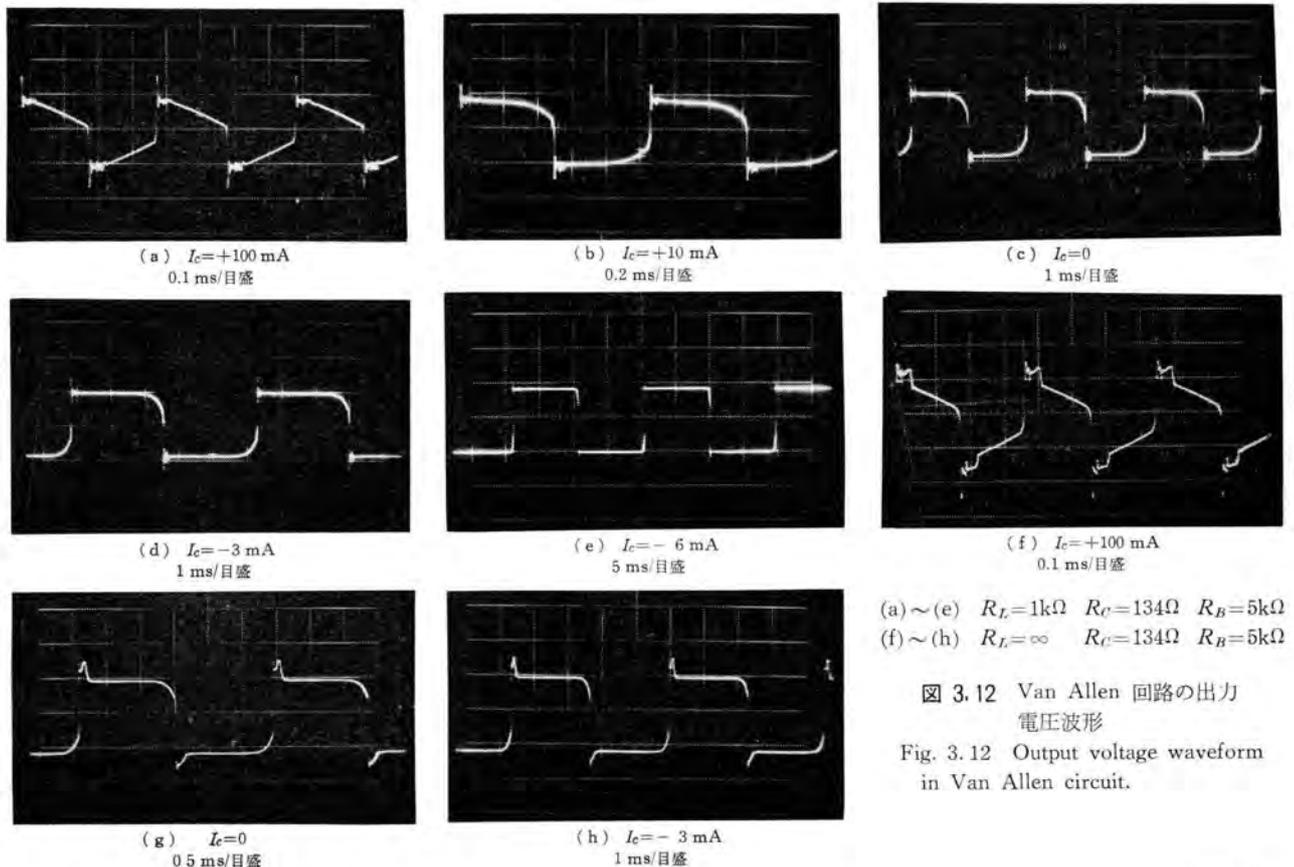
したものでほぼ実測と等しい結果を得た。もちろん応答自身非線形であるが、これは大体の目安を得るのに便利なものである。

#### (4) 出力波形

この節の最後に実際の出力波形を種々の周波数において観測したものを 図 3.12 に示しておく。低周波域ではほとんど完全な矩形波でわずかにトランジスタの切換え時に寄生振動を生じているに過ぎないが、高周波になるにつれて波形がくずれてくる。これは鉄心損失の増大による  $B-H$  ルーラのヒズミが大きくなるためと思われる。

### 4. 電圧一周波数変換器への応用

テレメータのような信号伝送において周波数の形で信号



(a)~(e)  $R_L=1 \text{ k}\Omega$   $R_c=134 \Omega$   $R_B=5 \text{ k}\Omega$   
(f)~(h)  $R_L=\infty$   $R_c=134 \Omega$   $R_B=5 \text{ k}\Omega$

図 3.12 Van Allen 回路の出力電圧波形

Fig. 3.12 Output voltage waveform in Van Allen circuit.

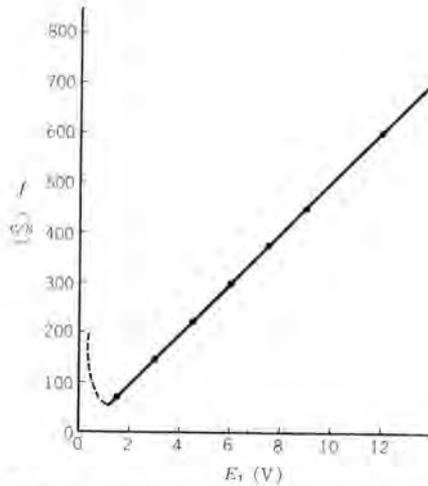
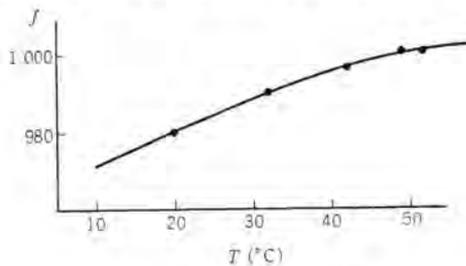


図 4.1 Royer 回路の直流電源電圧と発振周波数  
Fig. 4.1 DC voltage and oscillating frequency in Royer circuit.

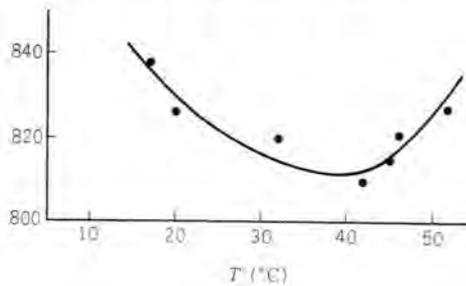
を送れば伝送路のインピーダンスや雑音などの影響を受けることなく正確な伝送が期待できる。しかし一般の信号源から得られるものは電流または電圧としてであるからこれを正確に周波数へ変換する必要を生じる。この変換は1対1の対応さえつけば任意の関数形であってもかまわないが、便宜上電圧と周波数を比例の関係で変換する。この変換器を電圧-周波数変換器 (E-F 変換器) と称する。変換された周波数は基準時間でゲートすれば直ちにデジタル量として表わされるからこれはまたアナログ-デジタル変換器 (A-D 変換器) にも利用できる。

(1) Royer 回路による E-F 変換器

Royer 回路は式 (2.8) で示されたように入力電圧と



(a) ハイパロイ-O 鉄心の場合  
(a) Using Hyperloy-O cores.



(b) センパーマックス 鉄心の場合  
(b) Using Senpermax cores.

図 4.2 Royer 回路における周囲温度と発振周波数  
Fig. 4.2 Environmental temperature and oscillating frequency in Royer circuits.

周波数はほぼ比例の関係にあり、実験でもその結果が証明される。図 4.1 に一つの例をあげたが、入力電圧  $E_1$  が 1.5 V 以上ではほとんど正確に比例しているが、1.5 V 以下では励磁電流が不足し発振モードが変化して高周波振動を始めるので上記の目的には使えない。この回路では鉄心はハイパロイ-O (35φ-25φ-10H-0.1t)、トランジスタは 2SB-135 を使用した。

つぎに Royer 回路では温度の影響によって飽和磁束密度が変化すること、トランジスタのエミッタ-コレクタ間電圧降下が変わることのため周波数の変動を生じる。パーマロイ系鉄心では温度上昇とともに飽和磁束密度は減少するため、トランジスタの影響とともにいずれも周波数を上昇させる方向になる。実験結果は図 4.2 に示したようになってハイパロイ使用のものでは 15°C の上昇で約 1% の周波数上昇となり、鉄心  $\phi_s$  の温度特性とよく一致している。スーパーマロイ系のセンパーマックスを使用した例ではこれとはやや異なり 40°C あたりに最低点があるような結果が得られた。

このように Royer 回路そのままでも数%の精度は容易に得られるが、入力電圧は電源となるため比較的大きなパワーを必要とする点が欠点である。また出力電圧の振幅も入力電圧によって比例的に変化するため、あまり広範囲の周波数変化を期待できない。

(2) Van Allen 回路を応用した E-F 変換器

Van Allen の回路では前に述べたようにわずかな制御入力によって広範な周波数変化を生じさせることができ、出力電圧の振幅はつねに一定であるというすぐれた点を持っている。しかし周波数制御特性自体は直線性が悪く、しかも種々な回路パラメータの影響を受けやすいためその

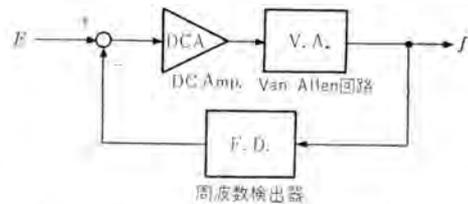


図 4.3 Van Allen 回路を用いた帰還形 E-F 変換器  
Fig. 4.3 Feedback type E-F convertor using Van Allen circuit.

ままでは E-F 変換器として使用することはできない。そこで自動制御の技術を応用して図 4.3 のようなフィードバックループを設けて発振周波数の安定化と直線化を行なった。

これは Van Allen の出力を周波数検出器 (FD) によって周波数に比例した電圧として取り出し、入力電圧と比較し、その差を増幅して Van Allen の制御巻線に加えて出力周波数を制御するものである。したがってこのような回路では周波数検出器の直線性と精度が、全体の E-F 変換器の特性を左右することになり、もっとも重要な要素となる。この周波数検出器としては、たとえば

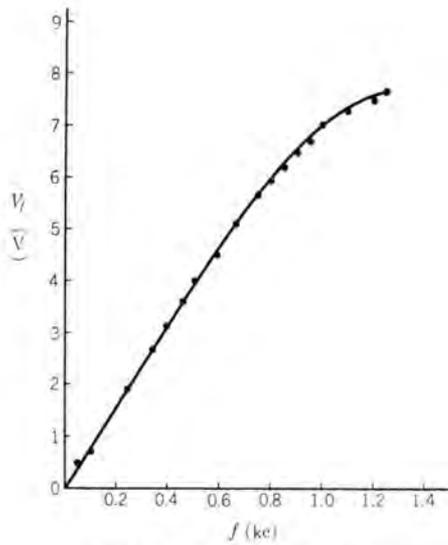


図 4.4 周波数検出器特性  
Fig. 4.4 Characteristics curve of frequency detector.

トランジスタ回路による単安定マルチバイブレータを用いて一サイクルごとに同一パルス幅のパルスが発生させて、その直流平均値を周波数に比例した電圧として用いることができる。図 4.4 にその特性を示した。

実験には 3 節に用いたと同じ Van Allen 発振器を使って上記フィードバック回路を構成し、増幅器はアナコム用演算増幅器を利用した。この回路では Van Allen 回路のもつ等価時定数と、周波数検出器のフィルタのもつ時定数の 2 次の系となるからゲインを上げてても発振には至らない。したがってゲインは直線性と精度の面から必要な値とすればよい。誤差はこのような系ではループゲインの逆数と考えられるから 1% の精度に保つには 100 倍のループゲインがあれば十分である。実際にループゲインを上げて行くと図 4.5 に示すように直線性が改善されてくるこ

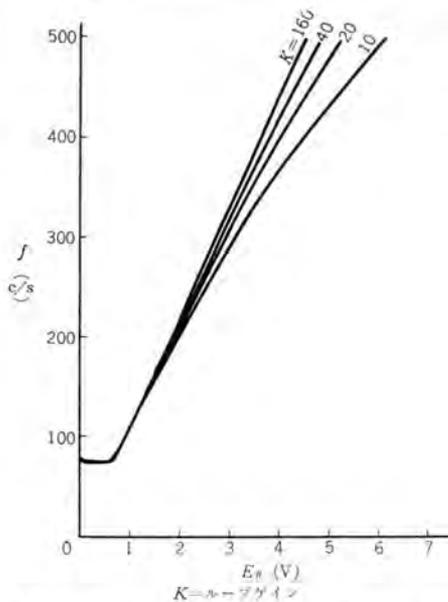


図 4.5 E-F コンバータ特性とループゲイン (自己バイアス)  
Fig. 4.5 Characteristics of E-F converter and loop gain K.

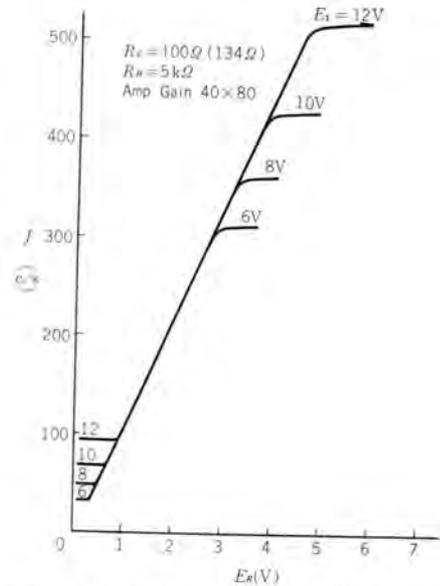


図 4.6 コンバータ特性 (電源電圧の影響) (固定バイアス)  
Fig. 4.6 Characteristics of E-F converter changing source voltage  $E_1$ .

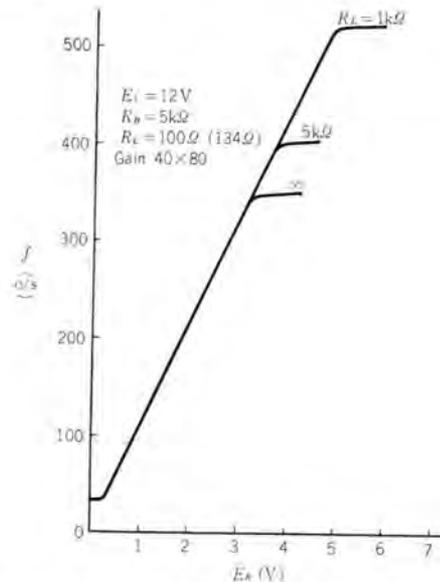


図 4.7 E-F コンバータ (負荷抵抗  $R_L$  の影響) (固定バイアス)  
Fig. 4.7 Characteristics of E-F converter changing load resistance  $R_L$ .

とがわかる。

つぎにループゲイン 160 のものについて外乱として電源電圧変動を加えてみたのが図 4.6 である。ここでは 6 ~ 12 V の変化に対しても直線部ではほとんど影響を受けないことがわかる。また図 4.7 は負荷抵抗を  $\infty \sim 1 \text{ k}\Omega$  の範囲で変化したものでこれも飽和レベルの変化だけで直線部の特性は変化せずフィードバックループが正常に働いていることを示している。

つぎに過渡応答を試験した結果を図 4.8 に示した。ここにも Van Allen 回路の可変時定数の性質が現われて高周波から低周波へ変化するときのほうが立ち上がりが速く途中からゆっくりした変化になっているのに対して、低周波から高周波への変化は逆の傾向が現われている。

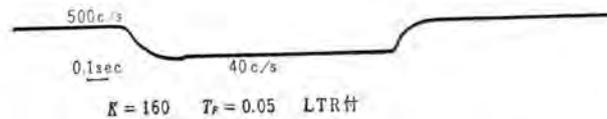


図 4.8 帰還形 E-F 変換器の過渡応答  
Fig. 4.8 Transient response of feedback type E-F converter.

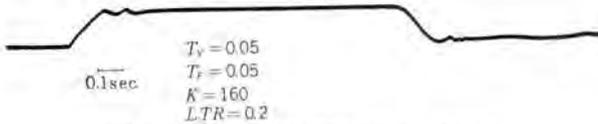
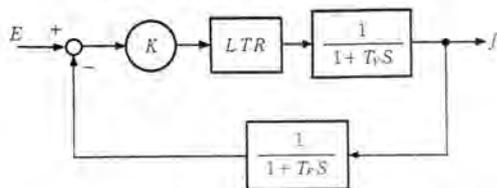


図 4.9 アナコム計算結果による過渡応答  
Fig. 4.9 Transient response computed by analog computer.



$K=160$   $T_f=0.05\text{sec}$   
LTR: リミッタ

図 4.10 帰還形 E-F 変換器のブロックダイアグラム  
Fig. 4.10 Block diagram of feedback type E-F converter.

図 4.9 ではこれと等価と思われるブロック線図図 4.10 によってアナコムで計算した結果で、Van Allen 回路の時定数は一定の値としているため応答の形はやや異なっているが大体同等の応答時間で目標値に達している。

以上の結果から Van Allen 回路にフィードバックループを設けた E-F 変換器で精度 1% 以下、応答速度 0.1 秒程度のものが容易に得られることがわかった。実験では増幅部に電子管式演算増幅器を用いたが、これを磁気増幅器化することは容易で、全体の小型化、信頼度の向上も達せられると思う。

## 5. む す び

以上 Royer の回路および Van Allen の回路につい

てその性質を明らかにし、主として信号伝送における電圧一周波数変換器としての性質を中心にしてその応用を論じて来た。比較的大きい電力 ( $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ W}$ ) が得られるときには Royer 回路で簡単に変換できるが、出力電圧は一定でなく、周波数により比例的に変化する。Van Allen 回路にフィードバックをかけて安定化した帰還形では前置増幅器のため制御電力は消費せず安定な変換ができ出力電圧はつねに一定である。

このような変換器は鉄心とスイッチングモードで動作するトランジスタで構成されるため信頼度が高いが、応答速度は遅いので、低速でも十分な一般工業制御の分野に応用されるものと思う。

このような応用のほかに Royer 回路自体としては電源として広く実用化されている。高周波磁気増幅器、電場発光板、ケイ光灯に対する高周波電源発生用インバータとして、また出力を整流して低圧直流から高圧直流を得るための DC コンバータとして重要なものであるが、すでに多くの発表がなされているので詳細は略した<sup>(4)(5)(6)</sup>。

## 参 考 文 献

- (1) G. H. Royer: A Switching Transistor DC to AC Converter, AIEE, 74, pt. 1 (1955).
- (2) Van Allen: A Variable Frequency Magnetic-Coupled Multivibrator, AIEE, 74, pt. 1 (1955).
- (3) 野口他: ハイパライ-O, 「三菱電機」, 32, No. 6 (昭 33).
- (4) T. R. Pye: High Power Transistor DC Converters, Electronic and Radio Eng. 36, No. 3 (1959).
- (5) W. A. Geyger: Recent Developments on Magnetic-Coupled Multivibrators, AIEE, TP-60-96.
- (6) A. A. Sorensen: Design Techniques for Static Inverters, Elect. Manuf. (Jan. & Feb. 1960).
- (7) 村上・菊池: 矩形ヒステリシス特性を有する磁気増幅器用磁心の磁束制御諸特性の相互関係, 電学誌, 78, No. 5 (昭 33).

# JRR-2 研究用原子炉(3)

—製作, 組立, および試験—

伊丹製作所

水野 茂\* ・岸田 公治\*\* ・神谷 友清\*\*\*  
 本田 俊治\*\*\* ・薄葉 圭二\*\*\* ・今山 功\*\*\*

## JRR-2 Research Nuclear Reactor (3)

—Manufacture, Assembly and Test—

Itami Works

Shigeru MIZUNO ・ Kōji KISHIDA ・ Tomokiyo KAMIYA  
 Toshiharu HONDA ・ Keiji USUBA ・ Isao IMAYAMA

### 5. 非破壊検査

原子炉用部品の製作にあたっては厳重な材料管理, 品質管理が実施されたが, とくに重要部分についてはノーリークを要求されたので工作はもちろんのこと, 検査でもこの部分については各種の非破壊検査法を併用して万全をきすことに努力した. 原子炉中とくにヘリウム系統はその性質上, リークが致命的な欠陥となるので材料, 加工工程間, 組立時などの各段階で欠陥の有無を確認するため, 水圧試験, 浸透探傷検査, 放射線検査, リークテストを併用して完全を期した. 本項ではこれらの非破壊検査法のうち, 浸透探傷検査と放射線検査の実施内容について簡単に述べる.

#### 5.1 浸透探傷検査

浸透探傷法は毛細管現象を利用して表面にでている傷を発見する方法で, 染色性のものとケイ光性のものがある. 浸透探傷法がわが国で用いられるようになったのは比較的最近のことであるが, すでに広範囲にわたって使用されており, 非破壊検査法の一つとして欠くことのできないものとなっている. 浸透液には界面活性剤を添加してあるため浸透性が非常に強く, したがって検出できる欠陥の幅も最小2ミクロン程度まで可能である.

##### (1) 使用探傷法と探傷剤

染色, ケイ光探傷法を用い, 使用探傷液は特殊塗料会社製の Super Check および Super Glo である.

##### (2) 使用装置

染色探傷の場合は装置も不要で, 使用法も簡単であるが, ケイ光探傷の場合はその性質上二, 三の装置が必要となる. ケイ光を有効に発せしめるため, ブラックライトは絶対必要である. (これは特定波長の紫外線をだしてケイ光の発光を助長させ, 微細欠陥をも検出可能とする.) その他簡単な暗室, 洗浄装置, 循環ポンプ, ホース, スプレーガンが必要となる. このため図 5.1 に示す探傷装置を製作し, 作業の能率向上, 使用液の節約を計った. この装置の内部にはポンプが格納されており, 液は使用中つねに循環されるようにした. またポンプの吐出口よりホースをパイパスして, タンク内部に浸漬できない大物部品

はこのホースにより被検査部に液を流しかけた. 暗室はX線用の組立式移動暗室を流用, 洗浄装置は大形流水タンクを使用した. スプレーガンは3作動方式のものとし, 現像液のカクハン, 乾燥, 現像を同一スプレーガンでおこなうことができるようにした.

##### (3) 検査

溶接部の欠陥, とくに割れ, 巣穴, 融合不良の発見を目的として全溶接部にわたり実施した. 実施内容については, 染色ならびにケイ光探傷法の長所, 短所, 経済性, 能率面からこれの適用範囲を原則的に決めた. すなわち染色探傷法は単なる構造物の溶接部, 現地工事の溶接部, ケイ光探傷法はとくにノーリークを要求される部品, 製品の溶接部に実施した.

なお現地溶接部の探傷については配管, 機器がふくそうしているうえに, 高所作業が多く, 多分に危険性がともなったので, 操作の簡便なエアリアル式の探傷器具を用いて検査した. 社内検査では主として大形構造物の溶接部は染色探傷を適用し, 比較的小形のものおよびヘリウム配管の溶接部はケイ光探傷とした. 構造上内部に浸透液をみたくことの可能な場合には内部に浸透液をいれ, 一定時間放置のち外部よりブラックライトで照射して貫通欠陥の有無を確認することとした. なお洗浄はブラシを用い流水により入念におこなった.

##### (4) 探傷結果の判定

探傷後の良否判定は MIL-I-6866 A に準じておこなっ

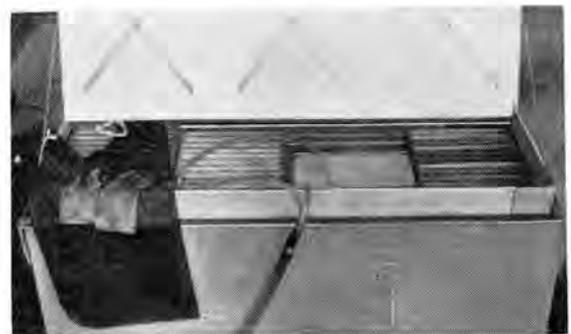


図 5.1 ケイ光探傷装置

Fig. 5.1 Equipment of fluorescent penetrant inspection.

たが、判定にたいする検査員間の個人差を防ぐため、特定の検査員を判定に当たらせた。判定の結果合格した溶接部には規定の刻印を打って明示した。

## 5.2 放射線検査

主として漏洩が問題とされる溶接部にたいして、前述の浸透探傷検査実施後、引続き放射線による透過写真撮影をおこない、内部欠陥の検査を実施した。今回は使用材料の大半が 耐食アルミニウム合金管 および板であり、肉厚も比較的うすく、撮影条件としては恵まれていたといえる。したがって、すべてをX線装置だけでおこなうことができ、しかも低管電圧による撮影が可能であったので、鮮明な影像のフィルムを得ることができ、このため、結果の判定も容易となった。以下放射線検査の概要について述べる。

### (1) 使用装置

使用した装置は、理学電機製の携帯式工業用X線装置で最高使用管電圧 250 kVPのもの、125 kVPの2台を使用した。

### (2) 放射線の防御

X線撮影にあたっては、放射線による被曝を防止するため、主として放射線検査室でおこなったが、作業の関係で現場で撮影することもしばしばあった。このような場合には板厚 3 mm の鉛を使用した防御壁を放射線発生部の周囲に設けるとともに、線量計によって漏洩線量の測定をおこない危険区域は標識および危険表示灯を点灯して安全を計った。検査員は遠隔操作および防御衝立により危険を防止したが、関係者全員にフィルムバッジ、ポケット線量計を常時携帯して、安全管理をおこなった。現地撮影では、他の作業に影響する場合がおおく、したがっておもに夜間に撮影することにより危険防止を計った。

### (3) その他の使用部品

撮影に用いた付属品はふつうの市販のものである。フィルムはフジ工業用X線フィルム  $\#80$  で、透過度計はアルミニウムの針金形を用い、現像および定着液はフジレドール、フジファックスを用いて、温度は  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、現像時間は5分を厳守した。処理済フィルムの乾燥はフィルム乾燥器により短時間でおこない、良否の判定はシャーカステンでフィルムを観察して実施した。

### (4) 検査

社内検査はラジオフレックス・250によっておこなったが、現地におけるヘリウム配管溶接部の検査には重量、寸法面より不向きであったため、とくに小形、軽量のラジオフレックス・125を使用することにより、一部困難をきわめた作業もあったが、安全、かつ能率的な検査を実施することができた。

検査対象としては、ヘリウム系統の配管溶接部に主眼をおき、他の製品はアイトーブ生産孔、水平実験孔などの軽水接触部分について全面的におこなったもので、その他、試作品のてき業え検査、構造物の内部透視などにも適時使用し、製品の品質向上に努力した。

表 5.1 ヘリウム配管の撮影条件

被検体 パイプ直径	管電圧 (kVP)	管電流 (mA)	露出時間 (sec)	距離 (mm)	増感紙
1/2 B	80	4	22	600	なし
1 B	"	"	28	"	"
1 1/2 B	"	"	35	"	"
2 B	"	"	40	"	"
4 B	100	"	28	"	"
6 B	"	"	32	"	"
10 B	"	"	40	"	"
12 B	"	"	55	"	"

表 5.2 ヘリウム系統別撮影箇所一覧表

系 統 別	撮 影 個 所	
	(所 内)	(現 地)
ヘリウム本体配管		14
メイン配管	10	19
ヘリウムベント配管		24
ヘリウム供給配管	5	16
検査、排出管配管	23	25
加熱器配管		17
ヘリウムブローア		13
蒸気	4	
その他ポンプ室のヘリウム配管	40	100

撮影方法は JIS Z-2341・「金属材料の放射線透過試験方法」に準じたが、配管類の溶接部撮影ではX線の照射方向を溶接位置にたいし約45度程度の角度をもっておこない、溶接部の重なりを避けて容易に判定しうるようにした。なおパイプの直径が大きいものでは、直角方向より2回にわたって撮影した。ヘリウム配管類の撮影条件を表5.1に示し、ヘリウム系配管の系統別撮影箇所の大略を表5.2に示す。

### (5) 結果の判定

判定にさいしては撮影フィルム中の試験部において、その試験部の最大厚さの2%にあたる直径の透過度計の線が明瞭に認められることを絶対条件とした。良否判定は原板によっておこない、判定基準としてはフローホールについては JIS 2級以上、ダングステンスポットは JIS 3級以上とした。融込不足、あるいは比較的小径のパイプで内部への融込量が多い場合には原則として手直しすることとした。合格部には、規定の刻印を浸透探傷検査合格刻印と並べて打ち、X線検査の合格を明示した。撮影したフィルムは試験成績書としてまとめ、必要に応じていつでも見出せるように整理されている。

## 6. も れ 試 験

### 6.1 もれ試験の準備

当社の担当としてヘリウム系はもちろん、重水系の一部、炉体組立工程中のもれ試験ならびに組立完成後の総合リークの測定などを行なうことになった。

この研究炉のもれ試験には、ヘリウムガスを使用する質量分析計形もれ検知器(リークデテクタ)が使用されることになったが、数年前より密封式イグナイトロ整流器のもれ試験に同形の検知器を使っている当社が、三菱グループ中での唯一の使用経験の持主である関係から、上記のようにこの研究炉のもれ試験を総括的に受持つことになったのである。

なお一般にもれ試験に用いられるハロゲンガスリークデテクタは原子炉部品試験用としては不相当と考えられるので使

用しなかった。研究炉におけるもれ試験に先だって、リークデテクタを使用して行なうもれ試験に関して種々の試験方法の開発ならびにそれぞれの試験方法による感度の比較などを行ない、そのデータをもとに実際の試験の場合の方法ならびに感度などを決定し、工場における各部分品の試験および現地における組立、据付時におけるもれ試験の参考にした。

## 6.2 準備実験による各試験方法の比較

リークデテクタを使用して、もれ試験を行なう方法に二、三種類あるが、これらの方法はそれぞれの特長を有している。いまここに研究炉に応用したこれらのもれ試験方法を大別すると次のようなものがある。

- 真空法 { 覆皿法 (エンベロープ法)  
吹付法
- 加圧法 { 積分法  
吸引法 (スニフ法)

真空法は被試験体を真空にして、外からヘリウムガスを吹付けるか、ヘリウムガスでおおうことによって内部にはいるヘリウムガスをデテクタで検知して、もれの有無を探索する方法である。したがって被試験体は真空にできる構造で、 $10^{-3}$ mmHg以下の真空度に保てるようなものでなければならぬ。それに反して加圧法は被試験体内部にヘリウムガスを入れ、適当な圧力に加圧し、もれ箇所から出てくるヘリウムガスをリークデテクタで検知する方法である。

積分法は従来一般に行なわれていた方法でないで、説明を加えると、図6.1のように、もれ試験をしようとする部分に適当な大きさのビニールシートなどのフードをはり、被テスト物内にヘリウムを充填し、適当な時間放置したのち、フード内のヘリウム濃度を測り、次式によりもれ量を計算する。

$$Q_m = \frac{C_n \cdot V \cdot n}{C_i \cdot T}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_n = \text{フード内の濃度 (\%)} \\ V = \text{フード内容積 (cc)} \\ T = \text{放置時間 (sec)} \\ C_i = \text{被試験ヤツクの濃度 (\%)} \\ Q_m = \text{もれ量 (cc/sec)} \\ n = \text{フードの数} \end{array} \right.$$

ヘリウムの充填圧力は高いほど感度は良くなるが、ほとんど圧力をかけなくても相当の感度がえられる。

以上の方法のうち、真空法についてはイグナイトロ管整流器およびその他の真空装置のもれ試験ですすでに行なっていて、方法や感度に対してもかなりの知識と経験があったが、加圧法については、はじめて行なう方法でもあり、また感度においてもどの程度のもれまで探ることが

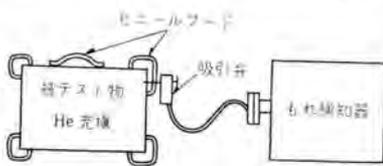


図 6.1 ヘリウムもれ試験における積分法

Fig. 6.1 Integral method of helium leak detection.

できるかはわからない。また今回のもれ試験に使用されるリークデテクタも日本原子力研究所から輸入器 (Consolidated Electrodynamics Corporation C.E.C社 Type 24-110) を使用するよう要望されたが、当時三菱各社には同器は当社に1台あるだけで、他は国産器 (島津製MS-B形) しかなかった。そこで輸入器と国産器とについて各試験方法による比較を行ない、国産器においてもなんらもれ試験には支障がないことを立証するとともに各試験方法の感度の比較も同時に行なって今回のもれ試験の参考にすることにした。

### 6.2.1 真空法による比較

真空法における最小もれ検知感度は被試験体の接続方法によってリークデテクタ自体の固有検知感度まで出すことができる。図6.2のように2台のリークデテクタを接続し、標準リークとして、C.E.C社のガラス製標準リークを使用した。この標準リークは $5.1 \times 10^{-7}$ cc/secである。以上のような方法で比較したところ表6.1の結果を得た。最小もれ検知感度においては、ほぼ同一であり、むしろ島津製MS-B形のほうが感度がよい。この値は各社におけるカタログ値と同一である。ゆえに真空法でもれ試験を行なう場合は、どちらのリークデテクタを使用してもさしつかえのないことが立証された。

### 6.2.2 加圧法における比較

加圧法における両デテクタの比較でもっとも重要なことは、すでに各条件で行なったデータのある24-110形に比較してMS-B形がどの程度のもれまで検知できるかという問題である。そこでスニフ法ならびに積分法における両デテクタの感度を比較した。そしてスニフ法においては、表6.2のような結果を得た。

すなわちMS-B形に比較して24-110形のほうが1ヶタ検知感度がよく、また安定状態もよく、したがってスニフ法においては24-110形のほうがよいことが判明した。

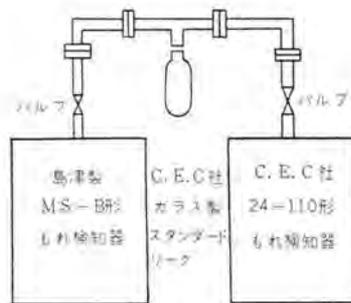


図 6.2 デテクタの感度比較試験

Fig. 6.2 Sensitivity comparison test of detectors.

表 6.1 デテクタの感度比較結果

種 類	標準リーク量	指示計の振れ	最小検知感度
MS-B形	$5.1 \times 10^{-7}$ cc/sec	380	$1.3 \times 10^{-9}$ cc/sec
24-110形		250	$2.0 \times 10^{-9}$ cc/sec

表 6.2 デテクタのスニフ法による感度比較結果

種 類	標準リーク	もれ量 (cc/sec)	リークレート	最小検知量 (cc/sec)	He 圧力 (mm/Aq)
MS-B形	ニードル弁	$3 \times 10^{-6}$	18	$1.6 \times 10^{-7}$	100
	ガラス製	$5.1 \times 10^{-7}$	1-2	$2.5 \times 10^{-7}$	大 気 圧
24-110形	ニードル弁	$3 \times 10^{-6}$	200	$1.5 \times 10^{-8}$	100
	ガラス製	$5.1 \times 10^{-7}$	35	$1.4 \times 10^{-8}$	大 気 圧

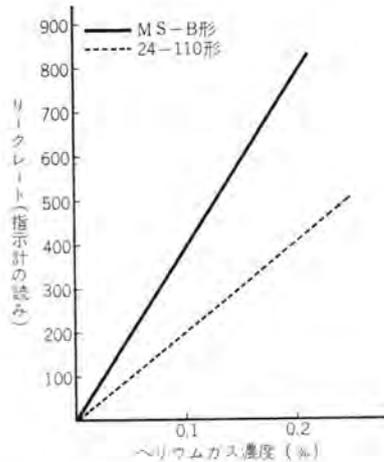


図 6.3 ヘリウムガス濃度とリークレート値の関係  
Fig. 6.3 Helium gas concentration vs leak rate.

積分法においては、デテクタが検知する最小のヘリウムガスの濃度によって、もれ検知感度が決定されるから、それぞれのデテクタのヘリウムガス濃度と指示計の読みの関係を調べたがその結果は図 6.3 のようにほぼ直線になり、この図からそれぞれの最小検知濃度を計算すると

- 24-110 形.....0.0005 %
- MS-B 形.....0.0003 %

となった。以上から、積分法においては両者の優劣はあまりなく、どちらを使用してもさしつかえがないといえることがわかった。

### 6.3 準備実験による考察

気密を要する機器や装置のもれ試験には、縮密なる計画を要し、前項の実験で得た結果から、おのおのの構造によって、それぞれ適した方法のもれ試験を選定する必要がある。たとえば今回の場合も配管のパイプ、バルブ、小容積の容器などの溶接個所のもれ試験は、そのもの自体を真空にすることができるから真空法にてもれ試験を行ない、その他の大容積の容器ならびに炉体組立中のもれ試験および構造上真空にできないものなどには加圧法で行なうように計画した。

前項の両デテクタの比較実験の結果、スニフ法を除いた他の方法では国産器でも性能は変わらないことが立証されたので原子力研究所でもこのことを認めていただき、研究炉のもれ試験には国産島津製 MS-B形を使用することになった。

### 6.4 JRR-2 のもれ試験計画

JRR-2 のもれ試験は AMF 社のもれ試験仕様書にもとづいて計画し、まずヘリウムリーク試験を要求されるものと、そうでないものとに分けた。

すなわち実験設備のように、ヘリウム系に接する部分はヘリウムもれ試験を行ない、コンクリート、軽水、空気などに接する部分のように気密度に対する要求の低い部分には他の方法（ケイ光探傷、カラーチェック、水張りテスト）でもれ試験を行なった。ヘリウムガス系統、重水系統の配管部のようにとくに気密度の高いことを要求される部分のもれ試



図 6.4 ボラールカーテン・ハウジングのもれ試験（スニフ法）  
Fig. 6.4 Helium leak test of boral curtain housing. (by Sniffer Method)

験にはカラーチェック、 $10\text{kg/cm}^2$  の水圧試験を行なった後にヘリウムもれ試験を行なうようにした。このほかコンクリートおよび空気系統においても他に適当なもれ試験を行なう方法がない場合にはヘリウムもれ試験を適用することにした。とくに現地での炉体の組立、据付中におけるもれ試験には、ヘリウムガス系統、重水系統以外でも、むしろ簡単に結果的にも速いヘリウムもれ試験を活用することにした。

AMF 社のヘリウムもれ試験仕様書にはリーク許容量の限界として  $10^{-5}\text{cc/sec}$  以下と規定されているので、各部分品、各配管などについてはこの値を目標にもれ試験を行なうように計画した。

### 6.5 もれ試験の結果

#### 6.5.1 工場内もれ試験結果

製作された部分品に対し、ヘリウムもれ試験を行なったがおもな部分品のもれ試験結果は表 6.3 のとおりである。

表 6.3 工場における部分品のもれ試験結果

部 分 品 名	個 数	ヘリウムもれ試験の方法	最終リーク量 (cc/sec)
アイソトープ生産孔	2本	加圧スニフ法	$3.2 \times 10^{-7}$ 以下
垂直実験孔	9本	真空覆囲法	$1.3 \times 10^{-9}$ 以下
水 平 窓	11本	真空覆囲法	"
鉛シールド	2	加圧スニフ法	$5 \times 10^{-7}$ 以下
グラフィイト窓	2	"	$4.2 \times 10^{-7}$ 以下
センターチューブ	1	真空法	$2 \times 10^{-9}$ 以下
ボラールカーテンハウジング	1	加圧スニフ法	$4.6 \times 10^{-7}$ 以下
ヘリウム配管各ブロック	約30	真空吹付法	$2 \times 10^{-9}$ 以下
ヘリウム蒸気溜タンク	3	真空覆囲法	$1.3 \times 10^{-9}$ 以下

この中には1回目の試験で規定値以上のもれが認められ、再溶接をおこなったものもあるが、最終的な結果としては、もれ試験仕様書の規定値より1~2桁くらい小さいもれにおさえることができた。

#### 6.5.2 外注品に対する試験結果

当社関係のヘリウムガス系統に使用された機器のうちには、AMF 社支給品のほかに国内で購入された次のようなものがある。

- a. ヘリウムガス系統に使用されるバルブ類
- b. ヘリウムブロウ
- c. ヘリウムガスホルダ
- d. ヘリウムガス系統計器類

バルブ類は工場において真空法で、もれ試験を行なったが、全数39個中もれを発見したのが約70%もあり、と

くに小形のバルブ (12 mmφ) はほとんど全数にもれが発見された。これらのもれはほとんどバルブ胴体のアルミ鋳物の不良によるもので、これらの不良バルブは再度購入先に送り返して手直しを行ない最終的には  $1 \times 10^{-8}$  cc/sec 程度のリーク量にまでおさえることができた。

ヘリウムガスホルダはメーカである月島機械に出向いてもれ試験を行ない、第一にタンク各部の溶接箇所、第二にゴムシール部について試験を行なったが、溶接部各部は構造上、真空にもできないし、またほとんど圧力を加えることもできないので積分法を利用して行なった。このもれ試験で二、三のもれを発見したが、再溶接によって  $1 \times 10^{-7}$  cc/sec 程度に止めることができた。ゴムシール部も最初は相当量のもれを発見したが、手直しによって  $3 \times 10^{-5}$  cc/sec 程度に止めることができた。

その他の外注部分品に対しても適当にそれぞれに適したもれ試験を行なって合格したものだけを現地に送った。

### 6.5.3 現地における組立中のもれ試験

研究炉の現地組立は1958年5月のサーマルコラムの組立に始まって1959年12月の総合リーク量の測定に至るまで約1年半にわたって行なったが、この間に当社関係はもちろん、他社の組立担当分に対してももれ試験を行なった。

サーマルコラムは工場で作られ、現地で軽水タンクならびに外板に溶接される関係上、全体のもれ試験は現地組立時に行なわなければならない。検知方法は加圧積分法で行なった。この組立工事はヘリウムガスシステムのいちばんはじめ

表 6.4 現地組立中におけるおもなもれ試験結果

もれ試験箇所	試験方法	1カ所当たりのリーク量 (cc/sec)	試験数	全リーク量 (cc/sec)
サーマルコラム	積分法	$4 \times 10^{-8}$	88	$3.5 \times 10^{-6}$
ヘリウムガスシステムの配管	真空法	$1 \times 10^{-8}$	460	$4.6 \times 10^{-6}$
重水タンク	積分法	$1.4 \times 10^{-7}$	33	$4.8 \times 10^{-6}$
サポートリングの締付部	積分法	$2.2 \times 10^{-8}$	1	$2.2 \times 10^{-8}$
アイントープ生産孔の改造後	積分法	$1.7 \times 10^{-7}$	8	$1.3 \times 10^{-6}$
25φ、50φ気送管ライナ改造後	スニフ法	$5 \times 10^{-6}$	2	$1 \times 10^{-5}$
下部プラグ内の冷却水管	圧力降下法	$2.6 \times 10^{-4}$	4	$1 \times 10^{-3}$
ロータリプラグ再溶接部	スニフ法	$4 \times 10^{-7}$	—	—
上部プラグ再溶接部	スニフ法	$4 \times 10^{-7}$	—	—
炉体上	スニフ法	$4 \times 10^{-7}$	—	—
全系統	圧力降下法	—	—	5/h

めの工事でもあったので、各部の溶接箇所から相当量のもれが発見された。これらのもれは再溶接の結果全体で  $3.56 \times 10^{-6}$  cc/sec 程度におさえることができた。試験にさいしてビニールフードをはり付けた部分は88カ所におよぶ。

それ以後引続いて重水タンクの溶接部、あるいはヘリウムガスシステムの配管溶接、重水タンク組立などのもれ試験を行なったが、その結果は表6.4に示すようなものである。

### 6.5.4 全系統のもれ量の測定

組立後一つ一つ、もれ試験を行なって行き、昭和34年末の炉体上部のもれ試験を最後に、JRR-2の組立は一応完了した。そこで全系統すなわち重水システム、ヘリウムシステムの組立後におけるもれ量を測定することになった。これはAMF社試験仕様書によればヘリウムガスシステム、重水システムにヘリウムガスを供給し、規定圧力64 mm水柱に保ち、ヘリウムガスホルダの降下量によってもれ量を計測し、その量が85 l/h以下であればよいことになっている。しかしこの値は実は非常に大きな値であり、ヘリウムガスの消費量は膨大なものとなるので、原子力研究所からこの値に関係なくできるだけもれ量を小さくすることを望まれた。

全系統のもれ量を測定する過程において二、三の大きなもれを発見したが、これらはただちに原因を究明し、最終的には5 l/h程度に止めることができた。この値はAMF社仕様書の許容値の約1/17にすぎない。このもれを全体的に考えると全系統の溶接部ならびに継手部分の総計が約1,000カ所程度あり、おのおののもれ量が  $1 \times 10^{-7}$  cc/sec程度とすると全もれ量は  $1 \times 10^{-3}$  cc/sec程度となり、この値は3.6 cc/hであるから5 l/hに比較して微小な値である。したがってこの5 l/hという値は主としてヘリウムガスシステムから他のシステムに連なるバルブの弁座の不良でもれるものと考えられる。これらのバルブのうちもれの大きなものは輸入品であった。

## 6.6 考察

JRR-2の製作は種々の事情により最初の予定より非常に長期間にわたり、そのためもれ試験も1957年末の部分品の工場でのもれ試験に始まって全体のもれ量の測定に至るまで、約2年間にわたり実施されたが、前述のように幸いにしてAMF社仕様書の約1/17にあたる5 l/h (43,800 l/年) というもれ量におさえることができた。そこでこれらの試験を通じて気がついた点を二、三あげてみることにしよう。

(1) AMF社の仕様書よりも広範囲にヘリウムもれ試験



図 6.5 重水タンクのもれ試験(積分法)  
Fig. 6.5 Helium leak test of D<sub>2</sub>O tank. (by Integral Method)



図 6.6 1B気送管ライナのもれ試験(スニフ法)  
Fig. 6.6 Helium leak test of 1B pneumatic tube liner. (Sniffer Method)

が実施されたこと。

計画のはじめにおいては、ヘリウムガス系統と重水系統のようにとくにもれをおさえなければならない部分にだけ、ヘリウムもれ試験を実施することにしていたが、他のコンクリート部分や軽水系統において、もれ試験を行なう場合にも、ヘリウムもれ試験を適用した。ヘリウムもれ試験は他の方法にくらべてあまり圧力を上げなくても相当の検知能力を有するので、加圧のための接続配管などを考えると、むしろヘリウムもれ試験のほうが簡単であるという場合が多かったからであって、もれ試験には気軽にどしどし利用すべきであると考えた。

(2) 組立順序をよく考えできるだけ部分組立の段階で、もれ試験を実施するように計画することが非常に大切であること。

このことはもれ試験の根本原則であるが、JRR-2のように非常に複雑な構造の場合は組立作業が進んでから発見されるもれはその手直しの手間が非常に大きいからとくに注意しなくてはならない。

(3) 研究炉のような複雑な構造のものでは、組立後の状況を良く吟味して各部のもれ量を決定し、それぞれのもれ試験法を計画しなくてはならないこと。

もれ試験の計画にあたって当初は、AMF 社仕様書に従って重水系統、ヘリウム系統等と分類し、それに従ってヘリウムもれ試験の可否をきめるようにしていたが組立が進むにつれて次々と計画の変更が必要になってきたのである。たとえば上下プラグに例をとると、プラグ自体を考えた場合、中に入れるものはコンクリートであるからプラグ容器の各部の溶接はコンクリートを保持する程度でよいと考えられる。しかし、実際に原子炉を組立てた場合には、このプラグの周囲はヘリウムガスに包まれるから外部よりコンクリート中にはいるヘリウムガスのことを考慮しなければならぬ。コンクリートはちょっと考えるとかなりヘリウムガスの通過を妨げるように思われるが、実際にはスポンジのようにヘリウムガスのシールには何の役にもたないのであって、結局プラグ容器についてもヘリウムもれ試験が必要になったのである。

このように当然と思われることがらも経験のないときには誤ちをおかす場合もあって、もれ試験ひとつを通じても多くのことを体験し得たことは、大きな収穫であったと思う。

## 7. 機能試験

### 7.1 試験の概要

原子炉の組立、据付が完了した段階において、燃料装荷に先だて各部、各系統の動作状況の確認やら計器類の校正、調整をおこなったり、あるいは冷却水を循環させて各部の圧力降下の測定などをおこなう。これらを総称して機能試験と呼んでいる。

JRR-2 の機能試験は原子力研究所の協力を得て三菱がおこない、1959年の春から組立の完了した部分より

逐次機能試験を開始して、1960年の始めにはほぼ完了するにいたった。

この機能試験も三菱原子力工業を中心に三菱グループ内の各社において適当に分担し、当社は主として実験設備の動作試験および計測制御系統の試験を担当した。

機能試験はまったく広範囲におよぶものであり、JRR-2 自体が AMF 社の試作品に相当するものであるから、試験の進行にともなって種々問題点が発生し、これらの解決に多大の努力がはられたことはいうまでもない。たとえば実験装置であるポルカーセンや鉛シヤッタなども AMF 社の図面どおりでは動作に支障をきたす部分があったので再三改造が加えられた。その他原子炉としての特殊な要求のために、構造上改良を要する部分も少なくなかったし、計測系統の機器類も系統構成上不適当なものは改造されたり取りかえられたりした。

機能試験の経過の詳細は紙面の都合もあって割愛することにし、ここではその中の計測制御系統について、二の試験結果を報告する。

### 7.2 計測制御系統の試験

計測制御系統の機器類はその大部分が米国より輸入され、当社はその設置および配線工事を施工するとともに、これらの機能試験をおこなった。まず最初は制御盤のインタロック回路などのチェックからはじめて、核計測用の増幅器類の校正、安全系、自動制御系の調整や制御棒駆動装置およびその位置指示系統などの試験をおこなった。

そこでこれらの試験の中から一例としてとくに興味のあると思われるスクラムの場合の制御棒の落下に関する試験についてその大要を述べることにする。

#### (1) 測定方法

落下試験にさいしては、原子炉の運転状態を模擬するために、グリッド板には 18 本のダミ燃料要素を挿入し、主重水ポンプ 2 台を全出力運転して軽水が約 20 m<sup>3</sup>/min の流量で循環している状態でおこなった。

スクラムの方法は安全増幅器 (Honeywell 社、S 901-1) のスクラムテストボタンを押すことによってあたえ (ファーストスクラムに相当する) この信号は安全増幅器内の電圧のステップ状変化を微分回路を通してパルスとして取出した。

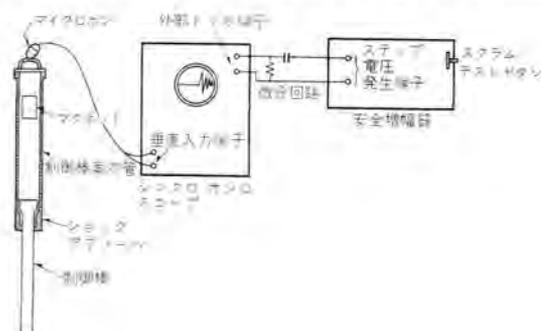


図 7.1 制御棒落下時間測定装置設明図  
Fig. 7.1 Schematic diagram of control rod drop time measurements.

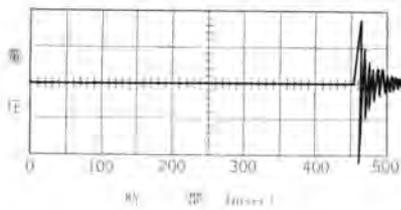


図 7.2 落下時間測定時の  
オシロスコープ波形  
Fig. 7.2 Picture seen by  
oscilloscope at control rod  
(drop time measurement.

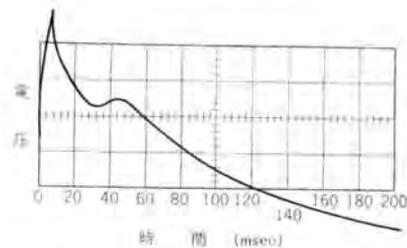


図 7.4 スクラム時のマグネットコ  
イル 端子における電圧変化  
Fig. 7.4 Voltage change  
across a magnet coil after  
scram initiated.

制御棒が落下し終わったときには ショックアブソーバ にあたるから、制御棒の案内管の上部に マイクロホン を置いて、その音を電圧として取出した。そこでスクラム信号が発生してから制御棒が ショックアブソーバ に接するまでの時間は、シンクロスコープ を使用して図 7.1 に示すような方法で測定した。

すなわちスクラム を生じたときのパルス をオシロスコープの外部 トリガ端子 に入れ、パルス によってスイープを開始させれば 次に制御棒が ショックアブソーバ に接したときに、マイクロホン からの電圧によって 垂直方向に 振動を示すからその間の時間を測定することができる。図 7.2 はこの波形を示したものである。

### (2) 落下時間の分析

スクラム 信号が発生してから 制御棒が落下し終わるまでの時間的経過を分析すると 次のようになっている。

- a. 安全増幅器内の遅れ
- b. 電磁クラッチ用 マグネット の開放までの遅れ
- c. 制御棒の自由落下時間

前述の方法によって測定された時間は以上 3 項の和に音波の伝ばん速度を加えたものであるが、これは 1 msec 以下であり無視してさしつかえない。そこで上記 3 項を分離して測定するために図 7.3 に示すような方法を採用した。各マグネット は コイル と並列に電流調整用の抵抗がはいっており、マグネット への給電が シェ断されると、コイルの両端に サージ電圧が現われ、これが コイル の インダクタンス と並列抵抗による時定数によって減衰する。そしてコイル を流れる電流値がマグネット を保持しうる臨界値に達すると、クラッチが解放されて制御棒が落下しはじめる。このときにコイル の インダクタンス は急激に変化するからコイル の両端の電圧にも変化が現われる。そこで図 7.3 に示す回路によって コイル端子間の電圧を オシロスコープ によって観察するときは、図 7.4 に示すような波形が見られる。すなわちスクラム信号によって トリガ がはずされてから 電圧が波高値に達するまでの時間がほぼ安全増幅器内の遅れ時間であり、この点から減衰曲線上に突起部を生ずるまでの時間が マグネット 開放までの遅れ時間と考

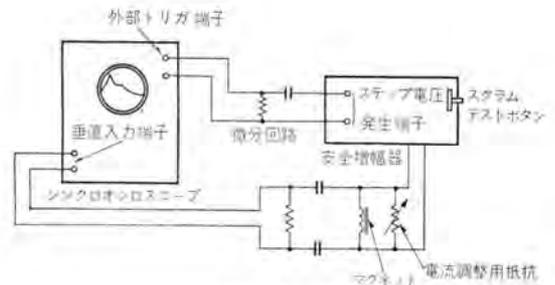


図 7.3 落下時間分析時の測定装置説明図  
Fig. 7.3 Schematic diagram of analytical  
measurements of control rod drop time.

えられる。

以上のような方法によって 6 本の制御棒について落下時間の分析をおこなった。

### (3) 測定結果

6 本の制御棒に対する測定結果には 多少のパラッキがあったが、各制御棒について落下時間を分析測定した結果の平均値は次のとおりである。

- |                   |            |
|-------------------|------------|
| a. 安全増幅器内の遅れ時間    | : 8 msec   |
| b. マグネット開放までの遅れ時間 | : 40 msec  |
| c. 自由落下に要した時間     | : 401 msec |
| 合計                | : 449 msec |

安全増幅器内では ファーストスクラム の条件がはいってから マグネット 電流供給用の真空管が カットオフ されるまでに、高速度 リレー が 1 度動作しなければならぬのでこの動作時間が安全増幅器内の遅れ時間を支配するものである。マグネット 開放までの遅れ時間は、コイルと並列にはいっている可変抵抗によって コイル に最小保持電流の 120 % の電流が流れるように調整してあるから、各マグネット によってかなりの偏差が測定された。

しかし安全増幅器内の遅れ時間や、マグネット 開放までの遅れ時間における偏差はいずれも絶対値が小さく、自由落下時間がほぼ一定していたので、全落下時間は 432 msec から 465 msec の間におさまった。すなわち平均値よりの偏差は ± 5 % 以下であり、試験仕様に要求されている 10% 以下であることを十分満足するものであった。

## 8. む す び

JRR-2 原子炉も多くの技術的問題を克服して完成の運びとなり、待望の日を迎えることができた。AMF 社としても 三菱グループとしても このような大規模な研究用原子炉の製作は はじめての経験であり、設計、工作の初期より難問題に直面しながらも 三菱グループの総力を結集して一つ一つ解決にあたり、また据付、試験にさいしては原研各位の絶大なるご援助により完遂できた次第で 関係者一同非常な喜びと感ずるところである。特殊な試験、厳密な検査、困難な工作も、それらを通じて技術の向上を身につけることができたし、原子炉製作に対する自信を得たことは、何物にもかえがたい収穫であった。ここに関係各位に対して深く謝意を表する次第である。

# 変圧器の衝撃電圧試験における印加電圧波形の算定

伊丹製作所 岩 崎 晴 光\*

## Calculation of Applied Voltage Wave Form in Transformer Impulse Test

Itami Works Harumitsu IWASAKI

In impulse tests on neutral grounded transformers, it is essential to get a specific voltage wave form to apply through the adjustment of a circuit constant. The writer, in view of this, elaborate on the calculation in this article to determine the wave form proper to use by quoting an equation. If the voltage form is determined, the circuit constant of the impulse generator is also to be calculated. With the increase in the capacity of transformers, it becomes difficult to maintain the tail length of voltage wave form with them. The calculation given herein is most appropriate to find out the condition of a maximum wave tail and a smallest capacitance of the impulse generator needed.

### 1. ま え が き

変圧器の衝撃電圧試験の実施に際して、所定の印加電圧波形をうるように、衝撃電圧発生器の回路定数を選定する必要がある。非接地衝撃電圧試験の場合や、小容量の変圧器のように、集中静電容量とみなせる場合には、二つの指数関数の差として、印加電圧波形を計算することが可能であるが<sup>(1)</sup>、大形変圧器の接地試験では、印加電圧波形の算定ができず、衝撃電圧発生器の回路定数は試行的に調整し、経験によって定めるので、波形の調整が不十分な場合もあった。

著者は接地試験における印加電圧波形の算定をもくろみ、まず試験条件における変圧器の2端子等価回路定数を多数の実測によって求め、これと衝撃電圧発生器と組合せて、分母が三次の演算子式の形の回路として、印加電圧波形を計算し、回路定数が与えられた場合の規約の波頭長、波尾長および利用率を求める図表を作成した。つぎに、変圧器および印加電圧波形が与えられた場合の発生器の回路定数の決定の方法を示した。したがって、発生器回路をあらかじめ算定することが可能となった。

電力用変圧器はますます大形化し、印加電圧波形、とくに波尾長の保持は困難なる現状にかんがみ、以上の計算法を用いて、波尾長を最大にすべき回路条件、必要な最小の衝撃電圧発生器容量と波尾長について考察した<sup>(2)</sup>。

### 2. 変圧器の接地衝撃電圧試験における等価回路

他巻線を短絡または低抵抗で接地した、接地試験条件の変圧器の等価回路は、林、岩本両氏の方法<sup>(3)</sup>により、単位電流を流した場合の、印加端と接地端の2端子間の電圧波形が、

$$v_x(t) = A_x e^{-\alpha_x t} \sin \omega_x t \dots \dots \dots (2.1)$$

なる形となり、測定結果より、図2.1のように $C_i$ 、 $L_i$ 、

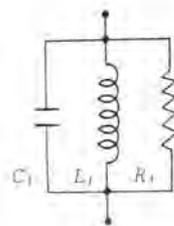


図 2.1 変圧器の接地試験条件の等価回路  
Fig. 2.1 Equivalent circuit of ground testing condition of transformer.

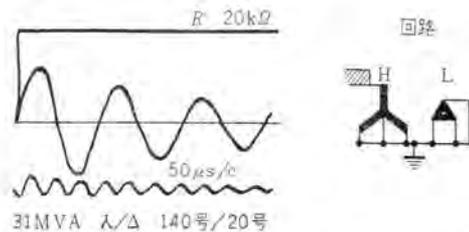


図 2.2 単位電流を流した場合の変圧器の端子電圧波形の例  
Fig. 2.2 Example of terminal voltage wave form of transformer when unit current is made to flow.

$R_i$  の3定数の並列回路として表現できる場合が多い。

図2.2はその一例を示す、変圧器の構造によっては、3定数並列を1群とすれば、2群の直列の等価回路になる場合もあるが、基本波だけを重視すれば、図2.1の回路に帰する。

外鉄形、内鉄形、各種の電圧、容量の電力用変圧器について実測の結果、 $L_i$ (mH)は図2.3のように絶縁階級と容量 $M_i$ (MVA)に関係があり、

$$L_i \approx K_i M_i^{-n_i} \dots \dots \dots (2.2)$$

なる実験式が得られ、図2.3中の $K_i$ 、 $n_i$ の値は表2.1に示される。

星形結線中性点および他端線接地の場合にくらべて、中性点非接地では1.5倍、△結線では1/2に相当すると考えてよいようである。この値は商用周波数の漏れインダクタンスと比較して、±10%程度の差がある。これは厳密に考えれば、巻線の構造による差異もあると思われるが、

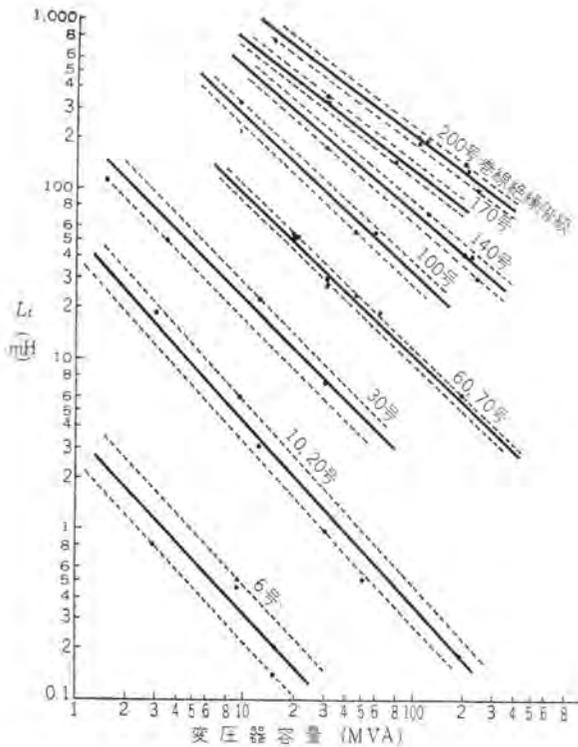


図 2.3 変圧器の等価インダクタンス  $L_t$  と容量の関係  
Fig. 2.3 Relation between equivalent inductance  $L_t$  and capacity of transformer.

表 2.1  $L_t$  の実験式の定数

巻線階級(号)	6	10,20	30	60,70	100	140	170	200
$K_t$	3.65	52.5	208	800	2,180	4,100	4,450	6,300
$m$	1.07	1.10	1.07	1.04	0.92	0.91	0.81	0.71

測定、計算の誤差もあって明らかでなく、実用上はほぼ等しいとみなしてよいようである。  $C_t \approx 0.002 \sim 0.006 \mu F$  であって、この値は著者の実測範囲では、外鉄形は内鉄形にくらべて、若干大きい傾向を示し、同一巻線構造では容量の大きいほど、電圧の低いほど大きいようであるが、巻線構造、容量、電圧に対する一定の関係を見出しうるほど確然としなかった。  $R_t$  は数十  $\Omega$  の値を示し、高圧巻線では大きい。以上のような方法によって、統計的に実用上さしつかえない程度の等価回路を推定することは必ずしも困難でない。一般に印加電圧波形の算定に用いることができる。

### 3. 印加電圧波形の計算式

変圧器を  $L_t$ ,  $C_t$ ,  $R_t$  の3定数並列回路として、衝撃電圧発生器を主静電容量  $C_s$ 、直列抵抗  $R_s$ 、放電抵抗  $R_d$  によって構成する。

$$R_0 = R_s R_t / (R_s + R_t)$$

一般に  $R_0$  は  $5 \sim 6 \text{ k}\Omega$  以下であって、  $R_d \approx R_0$  と考えてよいから、図 3.1 の回路となる。充電電圧を  $E$  とし、変圧器端子の印加電圧  $e_{t0}$  を演算子式で示すと、

$$e_{t0}(P) = \frac{E}{C_t R_s} \cdot \frac{P^2}{P^3 + aP^2 + bP + c} H(t) \dots (3.1)$$

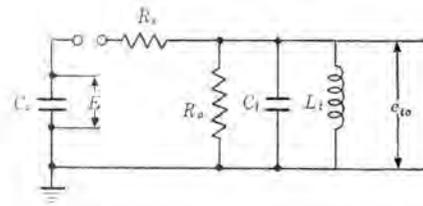


図 3.1 変圧器接地試験の衝撃電圧試験回路  
Fig. 3.1 Impulse voltage test circuit of transformer ground test.

ここに、

$$P = \frac{d}{dt} H(t) \begin{cases} 0, & 0 > t \\ 1, & 0 < t \end{cases}$$

$$a = 1/C_t R_0 + 1/C_t R_s + 1/C_s R_s$$

$$b = 1/C_t C_s R_s R_0 + 1/L_t C_t$$

$$c = 1/L_t C_s C_t R_s$$

$P = c^{1/2} P'$  とおき、時間変換を行ない、  $T = c^{1/2} t$ ,

$A_0 = C_t R_s c^{1/2}$ ,  $a_0 = ac^{1/2}$ ,  $b_0 = bc^{-2/3}$  とおくと

$$e_{t0}(P') = \frac{E}{A_0} \cdot \frac{P'^2}{P'^3 + a_0 P'^2 + b_0 P' + 1} H(T) \dots (3.2)$$

となり、  $A_0$ ,  $a_0$ ,  $b_0$  によって波形が定まる。

$P'^3 + a_0 P'^2 + b_0 P' + 1 = 0$  の3根を  $-\gamma_1, -\gamma_2, -\gamma_3$  とし

$q = a_0^2/9 - b_0/3$ ,  $r = a_0^3/27 - a_0 b_0/6 + 1/2$  とおく

$r^2 - q^3 < 0$  の場合

$$e_{t0} = E \{ K_1 e^{-\gamma_1 c^{1/2} t} + K_2 e^{-\gamma_2 c^{1/2} t} + K_3 e^{-\gamma_3 c^{1/2} t} \} H(t) \dots (3.3)$$

ただし

$$K_1 = \gamma_1 / A_0 (\gamma_1 - \gamma_2) (\gamma_3 - \gamma_1)$$

$$K_2 = \gamma_2 / A_0 (\gamma_1 - \gamma_2) (\gamma_2 - \gamma_3)$$

$$K_3 = \gamma_3 / A_0 (\gamma_2 - \gamma_3) (\gamma_3 - \gamma_1)$$

$r^2 - q^3 = 0$  の場合

$$e_{t0} = E \{ (K_4 c^{1/2} t + K_5) e^{-\gamma_1 c^{1/2} t} - K_5 e^{-\gamma_3 c^{1/2} t} \} H(t) \dots (3.4)$$

ただし

$$\gamma_1 = \gamma_2, K_4 = \gamma_1 / A_0 (\gamma_3 - \gamma_1), K_5 = \gamma_3 / A_0 (\gamma_2 - \gamma_1)$$

$r^2 - q^3 > 0$  の場合

$$e_{t0} = E \{ X_0 \cos(Mc^{1/2} t + \varphi) e^{-Qc^{1/2} t} - Y_0 e^{-(a_0 - 2Q)c^{1/2} t} \} \times H(t) \dots (3.5)$$

ただし

$$Q = a_0/3 + 1/2 (-r + \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3} + 1/2 (-r - \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3}$$

$$M = \sqrt{3}/2 (-r + \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3} - \sqrt{3}/2 (-r - \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3}$$

$$\gamma_1 = a_0 - 2Q, \gamma_2 = Q - jM, \gamma_3 = Q + jM$$

$$X = \frac{a_0 - 2Q}{2M^2 + 2(a_0 - 3Q)^2}$$

$$Y = \frac{Q(a_0 - 3Q)}{2M^2 + 2M(a_0 - 3Q)^2}$$

$$X_0 = 2/A_0 \cdot \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$Y_0 = 1/A_0 \cdot \frac{a_0 - 2Q}{(a_0 - 3Q)^2 + M^2}, \varphi = \tan^{-1} Y/X$$

式(3.3)は非振動の波形で指数関数項中、  $K_1 \sim K_3$  のうち負の項がほぼ波頭を表わし、これが正で  $\gamma_1 \sim \gamma_3$  のうちのもっとも大きいものがほぼ波尾を表わすとみなされる。式(3.5)は振動波形となり、指数項が波頭、余弦項

は波尾を表わすとみなされる. 式 (3.4) はその臨界を示す.

#### 4. 与えられた回路定数に対する 規約波頭長波尾長

波高値の 30% の点と, 90% の点の間の時間を 0.6 で除した値を規約波頭長  $T_f$  とし<sup>(4)</sup>  
<sup>(5)</sup>, この 2 点を結ぶ直線が時間軸と交わる点, 規約原点  $T_0$  から波尾にて, 波高値の 50% の点までの時間を規約波尾長  $T_t$  として, 式(3.3)~式 (3.5) いずれの場合も, 印加電圧波形を表示することができる.

変圧器の等価回路定数と, 衝撃電圧発生器の回路定数が与えられた場合, 図表と簡単な計算で  $T_f$ ,  $T_t$  を求めることを考える.

まず  $A=C_i R_0$ ,  $B=L_i C_i$ ,  $m=R_s/R_0$ ,

$l=C_s/C_i$  とおくと

$$a=1/A \cdot (1/lm+1/m+1), \quad b=1/(lmA^2), \quad c=1/(lmAB)$$

となり, 実用的な範囲を,

$$10^{-7} \leq A \leq 10^{-4}, \quad 10^{-11} \leq B \leq 3 \times 10^{-9}$$

$$5 \times 10^{-2} \leq m \leq 2 \times 10^{-1}, \quad 1 \leq l \leq 3 \times 10^2$$

と定め,  $E=1$  として, その組合せについて計算を行なう.  $(p^2 - q^2)$  の値を求め式 (3.3)~式 (3.5) の適用を選び, 各式の係数を算出し, 波高値に達する第 1 近似値として, 4.6 を負の指数関数項の指数の絶対値で除した時間を用い, その近傍の時間を分割して, 反復計算し,  $Je_{t_0}/dt=0$  となる波高値に達する時間  $T_p$  を求める.  $T_p$  をもとの  $e_{t_0}$  の式に代入して, 波高値が得られ, 利用率  $\eta$  は  $E=1$  として, 波高値で示される. つぎに  $T_p$  より小なる時間で波高値の 30%, 90% に達する時間,  $T_{30}$ ,  $T_{90}$  を得て, 波頭長は,

$$T_f = (T_{90} - T_{30}) / 0.6$$

によって求められる.  $T_p$  以上において波高値の 50% に

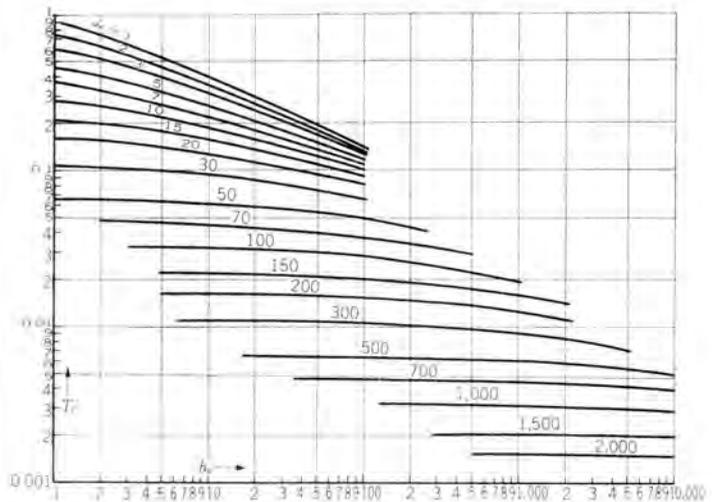


図 4.2  $a_0$  をパラメータとした  $T_f' \cdot b_0$  の図表

Fig. 4.2 Diagram of  $T_f' \cdot b_0$  when  $a_0$  is taken as parameter.

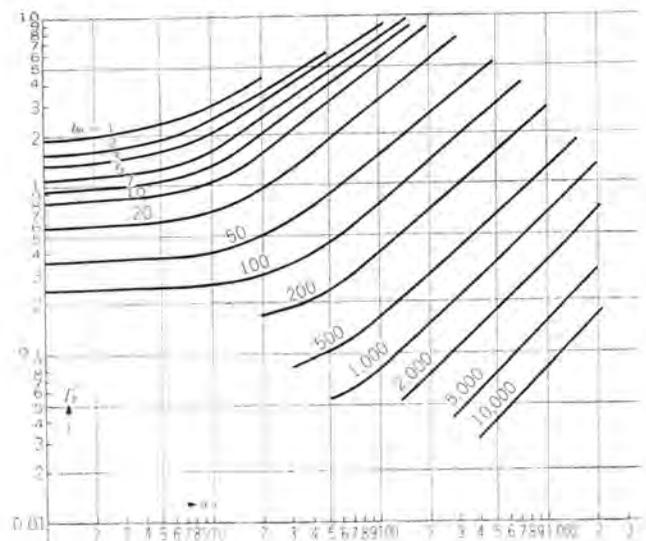


図 4.3  $b_0$  をパラメータとした  $T_t' \cdot a_0$  の図表

Fig. 4.3 Diagram of  $T_t' \cdot a_0$  when  $b_0$  is taken as parameter.

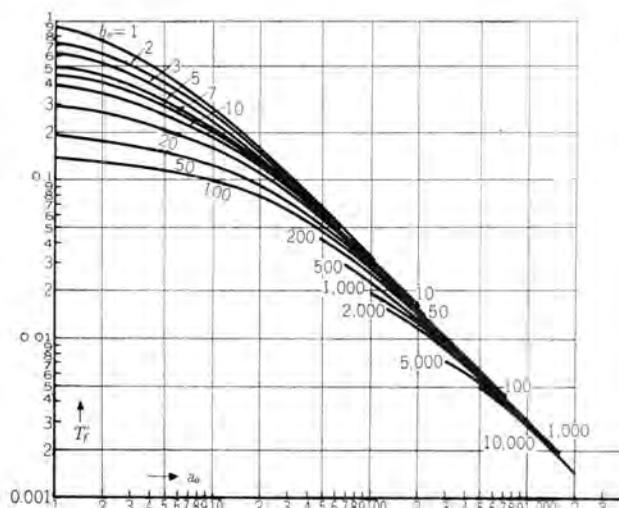


図 4.1  $b_0$  をパラメータとした  $T_f' \cdot a_0$  の図表

Fig. 4.1 Diagram of  $T_f' \cdot a_0$  when  $b_0$  is used as parameter.

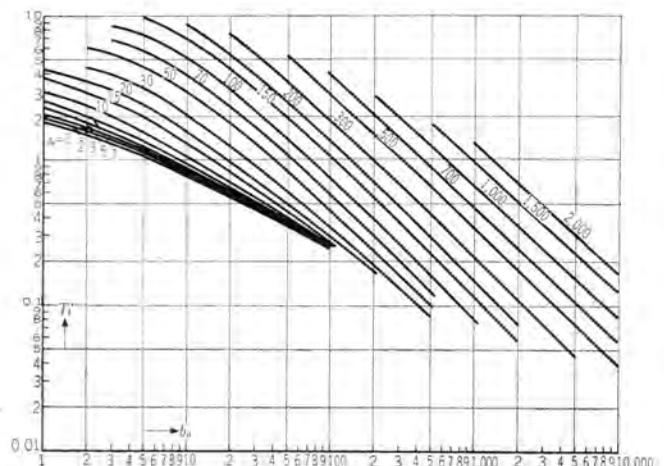


図 4.4  $a_0$  をパラメータとした  $T_t' \cdot b_0$  の図表

Fig. 4.4 Diagram of  $T_t' \cdot b_0$  when  $a_0$  is taken as parameter

降下する時間  $T_{50}$  は、指数関係あるいは余弦の曲線として第1近似値をおき、反復計算して求められ、波尾長  $T_t = T_{50} - T_0$  が求められる。以上の計算は、IBM-650 計算機を使用していない、 $A$  を7区分、 $B$  を6区分、 $m$  を4区分、 $l$  を6区分して、1,008 ケース について、 $T_f$ 、 $T_t$ 、 $\eta$  を求めた。

時間軸を  $T$  で表わせば、 $A_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$  の3定数によって  $T_f' = c^{1/3} T_f$ 、 $T_t' = c^{1/3} T_t$ 、 $U_p = \eta A_0 \dots \dots \dots (4.1)$  が与えられるので、前述の計算結果より、 $T_f'$  は図4.1、4.2、 $T_t'$  は図4.3、4.4、 $U_p$  は図4.5、4.6にそれぞれ  $a_0$ 、 $b_0$  の関数として図表化することができる。したがって、回路定数が与えられた場合は  $a_0$ 、 $b_0$  を算出し、図表

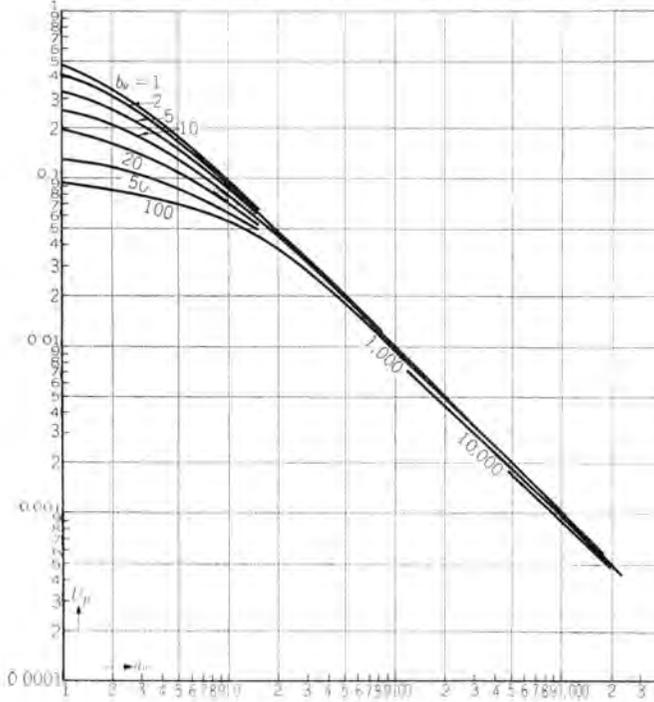


図 4.5  $b_0$  をパラメータとした  $U_p \cdot a_0$  の図表  
Fig. 4.5 Diagram of  $U_p \cdot a_0$  when  $b_0$  is taken as parameter.

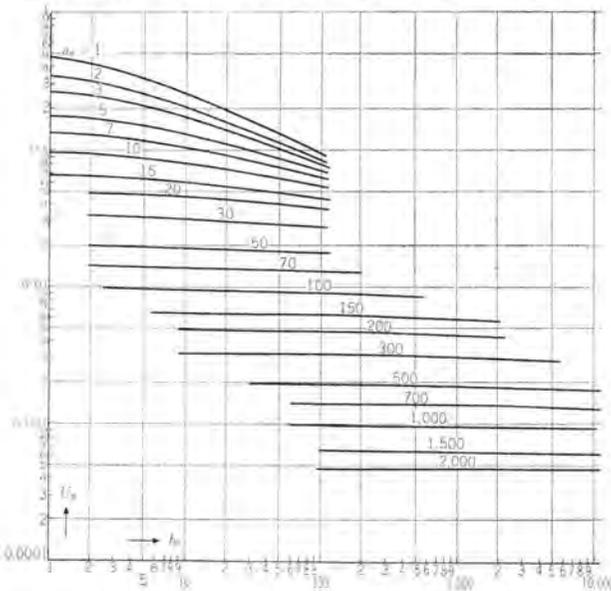


図 4.6  $a_0$  をパラメータとした  $U_p \cdot b_0$  の図表  
Fig. 4.6 Diagram of  $U_p \cdot b_0$  when  $a_0$  is taken as parameter.

と内そう法により  $T_f'$ 、 $T_t'$ 、 $U_p$  を求め、 $c^{1/3}$ 、 $A_0$  を計算して式(4.1)より  $T_f$ 、 $T_t$ 、 $\eta$  を算出することができる。図4.7は39,000kVA、70号変圧器の例で、 $L_t = 27.7$  mH、 $C_t = 0.0042$

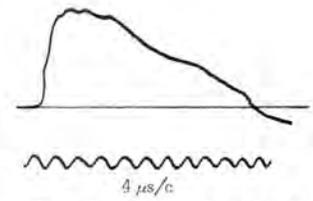


図 4.7 印加電圧波形の実例  
Fig. 4.7 Example of applied voltage wave form.

$\mu F$ 、 $C_s = 0.0208 \mu F$ 、 $R_s = 440 \Omega$ 、 $R_c = 2,426 \Omega$ 、 $R_t = 27.5$  k $\Omega$ 、実測の  $T_f = 2.8 \mu s$ 、 $T_t = 26 \mu s$  で、計算結果は  $T_f = 2.5 \mu s$ 、 $T_t = 27.5 \mu s$  となった。実測値の波頭長の長いのは若干の直列漂遊インダクタンスの影響である。電圧波形に重ね合わされる小さい高周波振動は、変圧器の構造によって若干異なるようであるが、小さく無視しうるのである。実用上構造の差異を考慮しなくてもよいようである。

### 5. 印加電圧波形を与えられた場合の回路定数の計算

標準電圧波形として、 $(1 \times 40) \mu s$  が用いられ、その裕度として、 $T_f = 0.5 \sim 2 \mu s$ 、 $T_t = 35 \sim 50 \mu s$  が認められている<sup>(4)</sup>。変圧器の場合は波形の調整が困難であるので、 $T_f$  は上限  $5 \mu s$  まで、 $T_t$  は下限  $20 \mu s$  までの裕度が考えられている<sup>(5)</sup>。したがって、供試変圧器が定まり、その等価回路が与えられると、衝撃電圧発生器の回路定数の選定が必要である。発生器の1段の静電容量を  $C_u$ 、全段数  $N$  とし、直並列に接続して使用を考え、 $n_p$  を並列個数、 $n_s$  を直列個数、印加電圧  $e_p$ 、1段の充電電圧を  $e_u$  とすると、

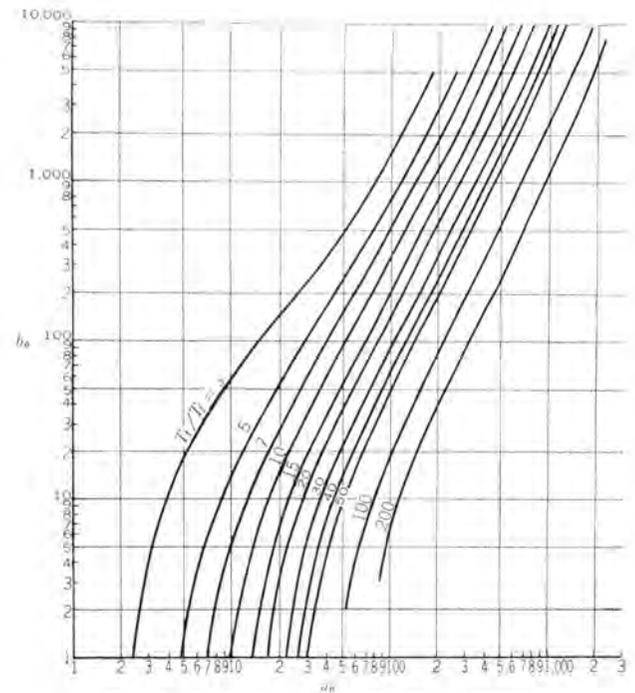


図 5.1  $T_t/T_f$  と  $a_0$ 、 $b_0$  の関係を示す図表  
Fig. 5.1 Diagram showing relation of  $T_t/T_f$  with  $a_0, b_0$ .

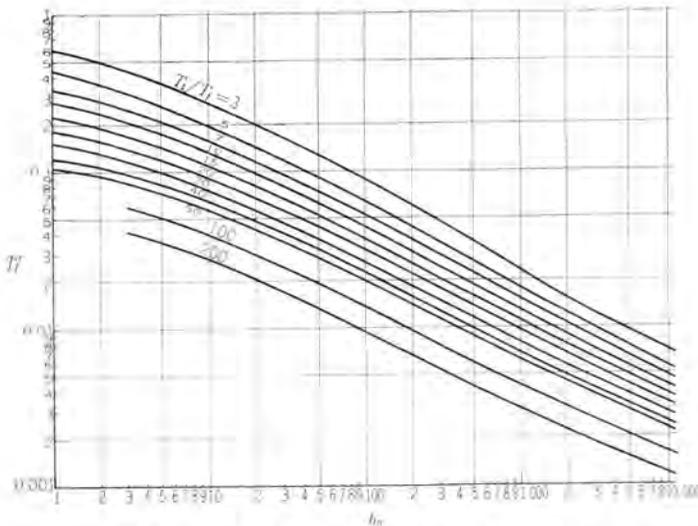


図 5.2  $T_i/T_f$  と  $T_f, b_0$  の関係を示す図表  
Fig. 5.2 Diagram showing relation of  $T_i/T_f$  with  $T_f, b_0$ .

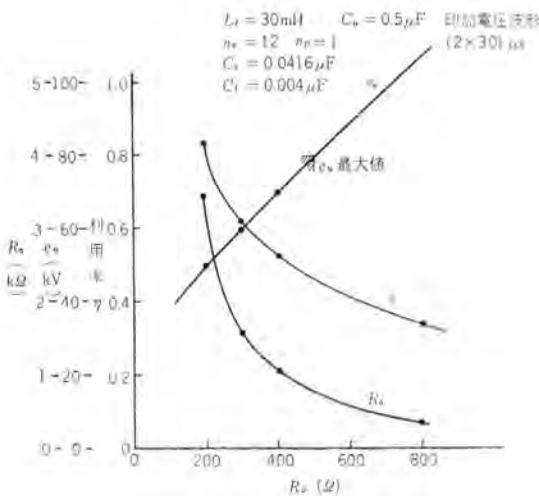


図 5.3 印加電圧波形を一定とし  $R_s$  を変えた場合の  $R_0, \eta$  の計算例  
Fig. 5.3 Example of calculation of  $R_0, \eta$  when applied voltage form is made constant and  $R_s$  is changed.

$$C_s = n_p/n_s \cdot C_u, N \geq n_s \cdot n_p, e_p = n_s e_u \eta \dots \dots (5.1)$$

なる関係があり、 $e_p$  から  $\eta, e_u$  を概算して、式(5.1)の条件より  $C_s$  を定め、 $R_s, R_0$  で波形の調整を行なう。与えられた波形より、 $T_i/T_f$  の値を定めると、図 5.1 より  $a_0, b_0$  の関係が与えられる。式(4.1)と、 $T_f = T_i / (C_s R_s L_i C_l)^{1/3}$  より、 $T_f$  と  $R_s$  の関係が求まり、 $R_s$  の値は  $L_i, R_0$  を無視した  $R_s, C_l$  直列回路と仮定して求めた  $R_s$  より大きい値をとるから、少なくとも  $R_s > 0.309 T_f / C_l$  となり、 $R_s$  を定めると、図 5.2 より  $b_0$  が与えられ、

$$R_0 = L_i / \{b_0 (L_i C_l C_s R_s)^{1/3} - C_s R_s\}$$

として  $R_0$  が求まる。 $T_i/T_f, b_0$  が求まると、図 5.1 より  $a_0$  が定まり、図 4.5 より  $U_p$  が求まり、利用率  $\eta$  が式(4.1)より求められる。

ここで  $R_s$  の決定は利用率に関係が深く、式(5.1)より  $e_u$  の最大充電電圧値を考慮して定める必要がある。図 5.3 はその一例を示す。

## 6. 大容量変圧器の波尾長の保持

大容量変圧器においては、波尾長の保持が困難な場合が多い。高圧巻線の場合は他巻線の端子と抵抗をそう入して接地することにより、若干の波尾長を伸ばすことができるが、一般に低圧巻線の場合は期待できない。

アメリカでは<sup>(6)</sup>、印加巻線の接地側に抵抗をそう入することを認めているが、Aicher 氏<sup>(7)</sup>のように、これを非とする意見もある。著者もこの方法を検討したが対地印加電圧波尾長は伸びるが、巻線間の電圧波形はあまり変わらず、巻線の分担電圧は減少し、試験の妥当性に疑問を生ずる。したがって、衝撃電圧発生器の回路条件を調整して波尾長を伸ばす方法をとるべきであると考え。

### 6.1 波尾長を最大にする条件

変圧器が与えられ、式(5.1)によって最大の  $C_s$  が定まった場合、波尾長を最大にする条件を考察する。利用率を考慮して、 $R_s/R_0 = 0.2$  とし、代表値として  $C_l = 0.004 \mu F$  を用いて計算を行なう。

$L_i = 0.5 \text{ mH}$  の場合、 $R_0$  を変えて波尾長の関係を求めると、図 6.1 のように  $T_i$  最大の  $R_0$  を選定することができる。 $L_i, C_s$  を変えて、 $R_0$  と  $T_i$  の関係を計算した結果、対数図表で、ほぼ直線関係が見出せるので、近似式として  $R_0 (\Omega)$  は式(6.1)、 $T_i (\mu s)$  は式(6.2)を用いると便利である。

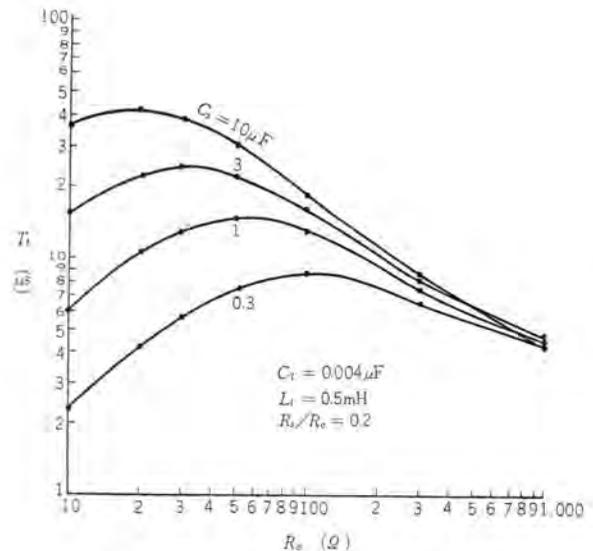


図 6.1  $R_0$  と  $T_i$  の関係の計算例  
Fig. 6.1 Example of calculation of  $R_0$  and  $T_i$ .

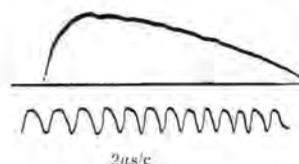


図 6.2 低圧大容量変圧器の波尾長最大にする条件で行なった実例

Fig. 6.2 Example with condition to make wave tail the maximum of low voltage large capacity transformer.

$$R_0 \approx 70 L_t^{1/2.06} C_s^{-1/2.30} \dots\dots\dots (6.1)$$

$$T_t \approx 20.8 L_t^{1/2.06} C_s^{1/2.18} \dots\dots\dots (6.2)$$

$$L_t : \text{mH}, C_s : \mu\text{F}$$

このような条件で計算した波頭長が所用の値より短い場合は、 $R_s$ に直列に数十マイクロヘンリー程度のインダクタンス  $L_s$ をそう入することによって標準波頭長の裕度内に入れる。波頭長はそれだけ長くなるが、波尾長にくらべて小さいから、実用上はさしつかえない。図6.2は実施例であって、変圧器は、単相50 MVA、13.2 kV、外鉄形、 $L_t = 0.514 \text{ mH}$ 、 $C_t = 0.0066 \mu\text{F}$ 、 $R_t = 1,230 \Omega$ 、 $T_t = 20 \mu\text{s}$ として、式(6.1)、(6.2)より求めた値にほぼ等しい。

$R_0 = 40 \Omega$ 、 $C_s = 2 \mu\text{F}$ 、 $L_s = 50 \mu\text{H}$ によって、 $(2 \times 19) \mu\text{s}$ を得た。

### 6.2 大容量変圧器の容量と波尾長 $C_s$ の関係

変圧器の容量、絶縁階級(試験電圧)が与えられると、式(2.2)より  $L_t$ の値が推定されるので、 $C_t$ を代表値  $0.004 \mu\text{F}$ として、 $T_t$ を定めると、必要なる最小の衝撃電圧発生器容量  $C_s$ が式(6.2)より求まり、式(5.1)を条件として考慮すると、所用の衝撃電圧発生器の構成を求めるこ

表 6.1  $N=40$ として求めた1段の静電容量と波尾長、絶縁階級の関係

絶縁階級(号)	$T_t$ ( $\mu\text{s}$ )	必要な $C_s$ ( $\mu\text{F}$ ) の値		
		100 MVA	200 MVA	300 MVA
20	10	0.14	0.30	0.47
	15	0.34	0.74	1.20
	20	0.61	1.31	3.10
70	20	0.13	0.26	0.38
	30	0.30	0.59	0.88
	40	0.59	1.10	1.70
140	20	0.052	0.089	0.12
	30	0.12	0.20	0.28
	40	0.22	0.38	0.53
200	20	0.037	0.063	0.074
	30	0.085	0.15	0.20
	40	0.16	0.27	0.36

とができる。また現用の衝撃電圧発生器による可能なる波尾長の限界も推定される。いま  $\eta=0.8$ 、実用的に  $e_u=70 \sim 80 \text{ kV}$ 、 $N=40$ と仮定して、 $T_t$ 、 $C_u$ の関係を計算すると、表6.1に示される。波尾長の困難は、大容量変圧器の低圧巻線にあることがわかる。

## 7. む す び

従来の衝撃電圧波形の実用的な算定は、二次の演算式の形にとどまったが、変圧器の印加電圧波形のように、三次の演算式の形の算定を可能ならしめる図表を与えた。変圧器を含む衝撃電圧発生器の回路は必ずしも、著者の計算を行なった回路と厳密に一致するとは考えてないが、少なくとも回路の構成にあたって、等価性に十分留意すれば、実用に供しうるものと思う。この結果が最近のようにますます大容量化する変圧器の接地衝撃電圧試験に際して、衝撃電圧発生器の構成、印加電圧波形の裕度の決定に参考になれば幸いである。IBM-650による計算のご援助をいただいた木村電力技術部長、山田電力技術課長、適切なる示唆を与えられた研究所、馬場研究員、林氏、測定と整理に協力された永谷、中原氏に感謝の意を表わす。

### 参 考 文 献

- (1) 法貴：電試研 No. 471 (昭19)。
- (2) 岩崎：電学誌 80, 1260 (昭35)。
- (3) 林・岩本：電気評論 38, 7.25 (昭25)。
- (4) JEC-110 (1944)。
- (5) 試験電圧絶縁試験法小委員会資料 JEC-110改訂案 (昭33-9)。
- (6) ASA. C-57 (1948)。
- (7) L. C. Aicher: AIEE Tech. Paper No. 52-76(1952)。

# 電源開発株式会社十津川第一発電所用水車

新三菱重工工業株式会社神戸造船所 福 田 稔\*

## Water Turbines for Totsugawa No. 1 Power Station of The Electric Power Development Company

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited.

Kobe Shipyard and Engine Works Shigeshi FUKUDA

The Electric Power Development Company has built a water power station at the junction of the Totsu-river and its branch the Ashinose-river. Two water turbines installed there are each rated at 43,000 kVA. They are medium sized for present-day machines. However, they involve a good number of features in design and manufacture based on many years' experience and study of Mitsubishi. Their runners are of a welded construction according to the latest technique. The governor of electro-hydraulic system, the type Mitsubishi Kobe EAI, is of an improved design of imported apparatus now in use in other power station of the same concern.

### 1. ま え が き

電源開発株式会社が熊野川電源開発の一環として建設中の十津川第一発電所（旧名芦ノ瀬発電所）は昨年9月2日に通水、10月1日に運転開始の運びとなったので、ここにその概要を紹介する。

発電所は図1.1に示すように、十津川とその支流芦ノ瀬川との合流点付近に位置している。この水車は中容量

のものであるが、その設計、製作にあたっては当社多年にわたる経験をもとにし、各部の構造、材質などに慎重な検討を加え、また各種の実験研究を重ね、さらに溶接構造のランナの採用など最新の設計を行なったものであり、すぐれた性能と高い信頼度を得ることに万全を期した。

### 2. 計 画 概 要

この発電所は奈良県吉野郡十津川村大字小原字 芦ノ瀬に位置し、十津川と支流滝川との合流点より上流約500mの同郡風屋字滝根地区の風屋ダムにて十津川本流をせき止め、同地点より上流約200mの右岸にある取水口より延長8,363mの圧力トンネル（内延長337mは水路橋）によりサージタンクに導水し、それよりさらに1条の水圧鉄管を設け延長約180mにて2条に分岐し、延長約30mにて発電所に導き、発電後延長約793mの無圧トンネルにより十津川に放流される。

また芦ノ瀬の水を利用するため、芦ノ瀬川上流の十津川村大字上葛川地区に小川取水ダムを設け、延長約4,300mの自然流下式トンネルにより芦ノ瀬川支流大野川に注入、さらに大野川上流十津川村字白倉地区の大野川取水ダムにより芦ノ瀬川取水と合わせて延長約4,088mの自然流下式トンネルおよび鉄管路によりサージタンクに導水される。

発電所位置 奈良県吉野郡十津川村大字小原字 芦ノ瀬  
取水河川名 熊野川水系十津川および同支流滝川、芦ノ瀬川

貯水池

有効貯水量	89,000,000 m <sup>3</sup>
利用水深	30 m



図 1.1 ダム 発電所付近平面図

Fig. 1.1 A map around the dam and the power station.

本水路	円形圧力トンネル	
内径		5.2 m
延長		8,363 m
(延長 337 m は水路橋内径 3.8 m)		
サージタンク	差動式	
ライゲ内径		4.8 m
ライゲ高さ		67 m
上部水室内径		25 m
下部水室内径		15 m
水圧鉄管	鋼板溶接コンクリート埋込み	
条数		1条途中2条分岐
内径		5.2~3.9~2.35 m
長さ		198.433 m

図 2.1 は発電所水路の断面を示す。

### 3. 主要目

この水車および付属機器の主要目はつぎのとおりである。これらの機器の配置を図 3.1, 3.2 に示す。

#### 3.1 水車

形式	立軸単輪単流渦巻フランシス水車		
最高静落差			164.5 m
有効落差	145.0	138.0	119.0 m
水車出力	43,000	40,000	31,100 kW
流量	34.0	33.0	29.9 m <sup>3</sup> /s

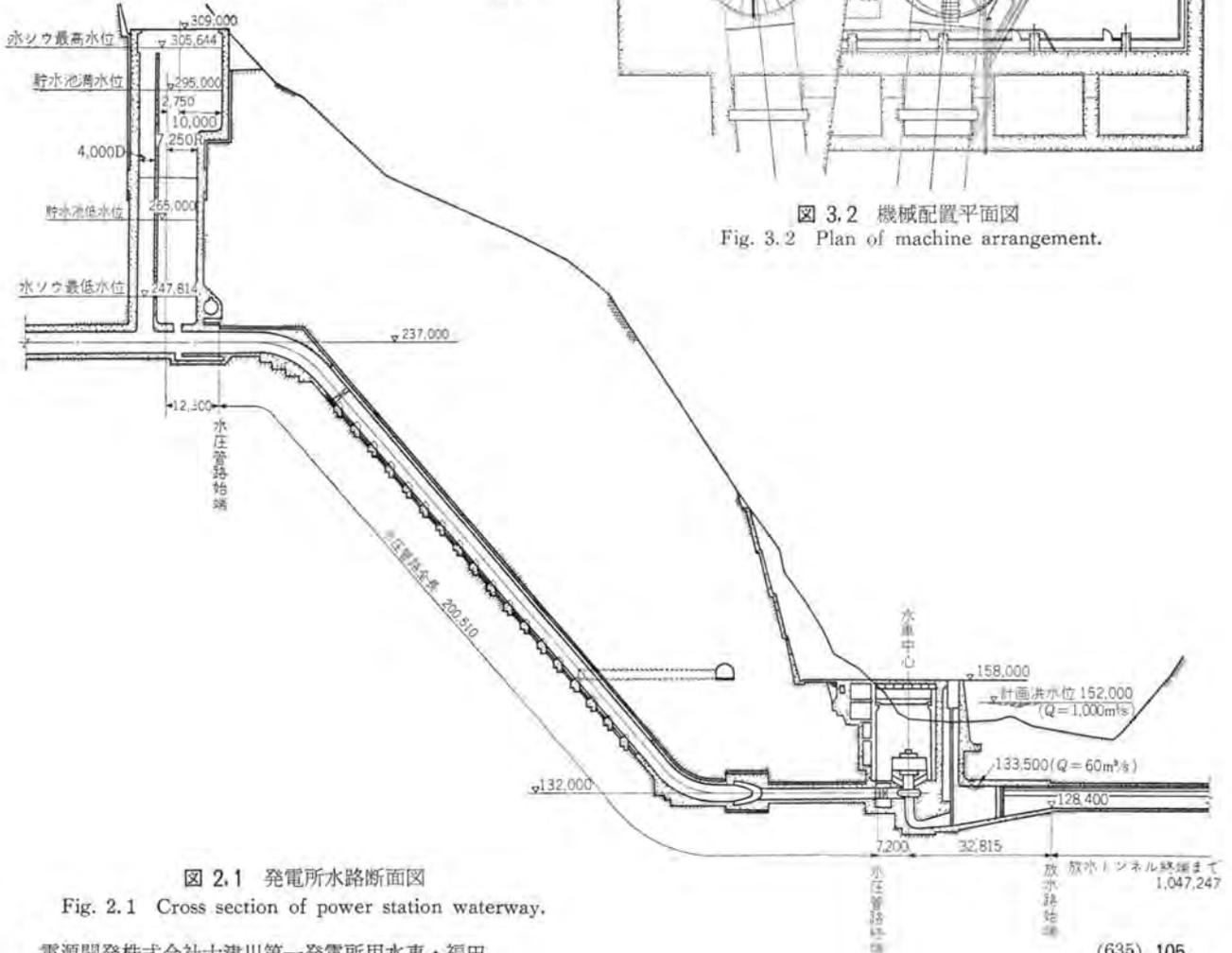


図 2.1 発電所水路断面図

Fig. 2.1 Cross section of power station waterway.

電源開発株式会社十津川第一発電所用水車・福田

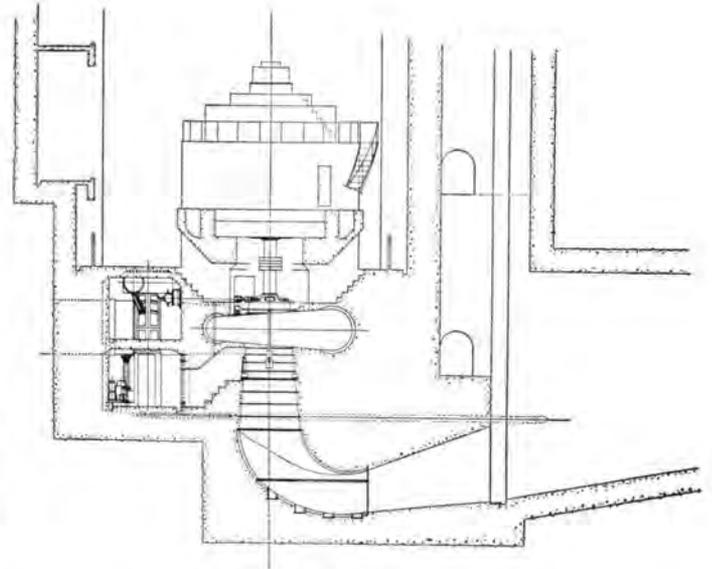


図 3.1 機械配置側面図

Fig. 3.1 Vertical section of water turbine and generator installation.

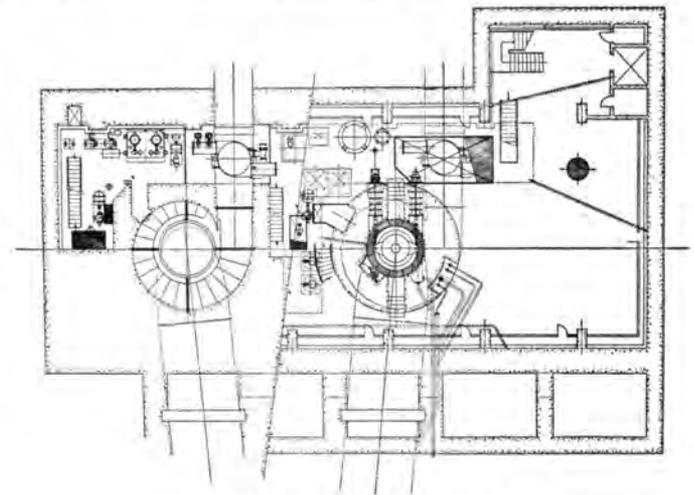


図 3.2 機械配置平面図

Fig. 3.2 Plan of machine arrangement.

回転数	300	rpm
周波数	60	c/s
特有速度	126.9	(m-kW)
回転方向	発電機より見て時計方向	
台数	2台	
据付方式	単床コンクリートパレル式	
無拘束速度	570 rpm	
最大水圧値	195 m	
速度上昇率	30 %	
発電機回転部 GD <sup>2</sup>	1,250,000 kg-m <sup>2</sup>	
調速機閉鎖時間	4.0 秒	
調速機不動時間	0.2 秒	
吸出落差	許容値	-0.64 m
	推奨値	-1.9 m
制御方式	1人制御方式	

### 3.2 入口弁

形式	主弁	BⅢ2,350形バタフライバルブ
	バイパス弁	NⅢ250形ニードルバルブ
口径	主弁	2,350 mm
	バイパス弁	250 mm
操作方式	油圧自動インテロック式	

### 3.3 調速機

形式	SEID-19,000形	
アクチュエータ	EAI形電氣油圧式アクチュエータ	
電源	主発電機直結永久磁石発電機	
サーボモータ容量	19,000 kg-m	

### 3.4 圧油装置

圧油ポンプ形式	立軸スクリーウ式	
駆動方式	M-M式	
吐出量	470 l/min	
油圧	19~21 kg/cm <sup>2</sup>	
電動機出力	30 kW	
回転数	1,200 rpm	
圧油タンク容量	7,000 l	
集油タンク容量	6,600 l	

## 4. 模型試験

### 4.1 模型性能試験

実物水車の製作に先立ち、この水車の模型を作って効率試験、キャビテーション試験、インテックス試験、無拘束速度試験、水圧・推力測定試験などを行ないそれぞれ特性を確認したが、各性能ともきわめて好性能を示すことが立証された。

最終的にこの水車に採用したランナは、電源開発株式会社田子倉発電所向けとして製作したランナと同様に、シュラウドリングに沿った羽根長さが、クラウンのそれよりも多少長い系列に属している。(1)

模型比1/3,568のものについて求めた性能をMoodyの1/5乗公式で実物に換算すると図4.1に示すような高い効率を発揮している。またキャビテーション特性は図4.2の

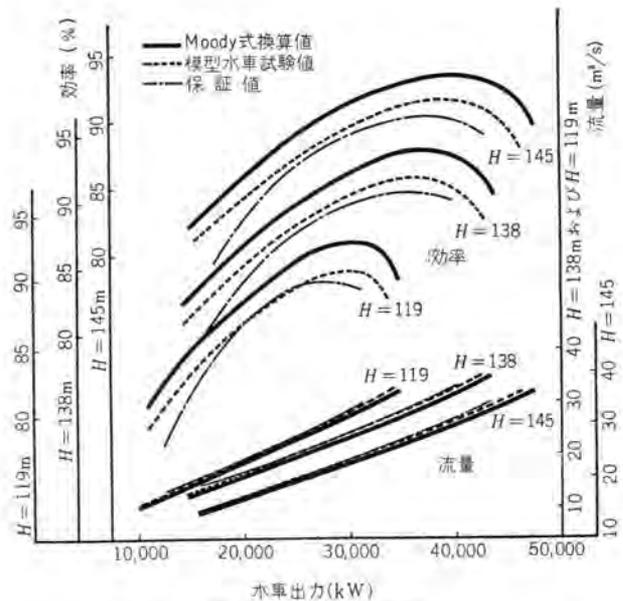


図 4.1 水車効率曲線  
Fig. 4.1 Water turbine efficiency curves.

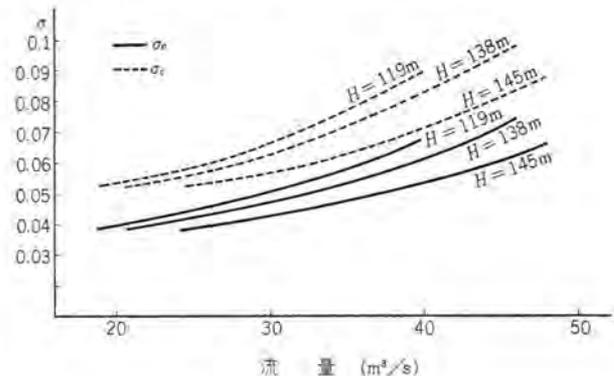


図 4.2 キャビテーション性能  
Fig. 4.2 Cavitation performance.

ようであり、現地放水水位の変化にたいして安全性がたしかめられた。

### 4.2 封水パッキンの試験

この水車の封水パッキンとしては従来使用してきた主軸をだく方式をやめて図4.3に示すように主軸フラジカバー上で水平面で止水する方式を採用したので、その封水能

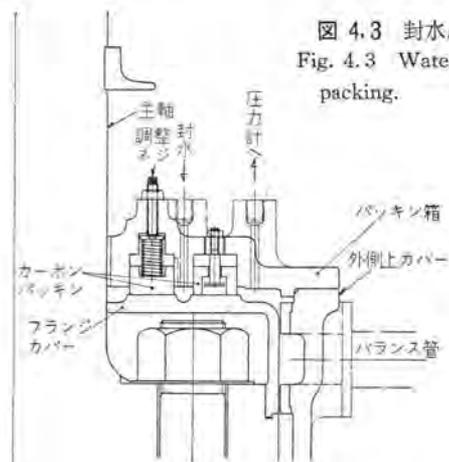


図 4.3 封水パッキン  
Fig. 4.3 Water seal packing.

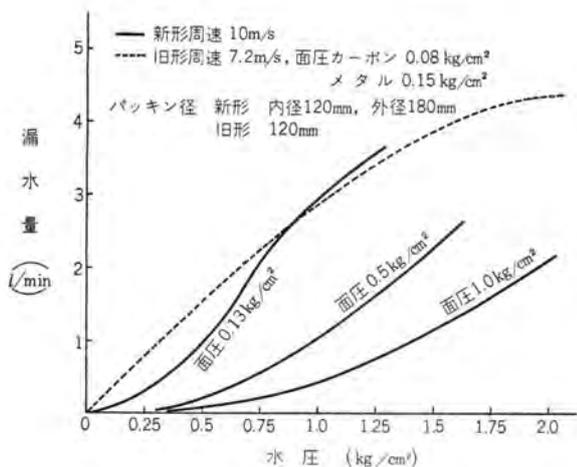


図 4.4 封水パッキン 漏水量  
Fig. 4.4 Amount of water leakage through the water seal packing.

力試験を行なった。図 4.4 は新旧形式の漏水量を示す。旧形ではカーボン 1 段、メタル 1 段のもので、また新形はカーボン 2 段で、それぞれその中間に封水を供給している。図 4.4 は外注先で加工したそのままのカーボンを入れて試験した結果であるが、そののすり合せを行なったものはほとんど漏水がなかった。

すなわち新形では旧形と比べて同程度あるいはそれ以上の封水能力があることが確認された。この新形パッキンの特長としてつぎのものが考えられる。

- (1) パッキンの摩耗方向が軸心と平行、すなわち垂直方向となっているため、パッキン割目にギャップを必要としないので漏水量が非常に少ない。
- (2) 旧形と比べてパッキンの摩耗代を大きくとれる。
- (3) 軸の偏心または軸受摩耗による軸振れがあってもパッキン作用にはほとんど変化がない。
- (4) 構造が簡単で分解組立が容易である。
- (5) パッキン装置の高さが低いので軸受の位置を下げることができる。

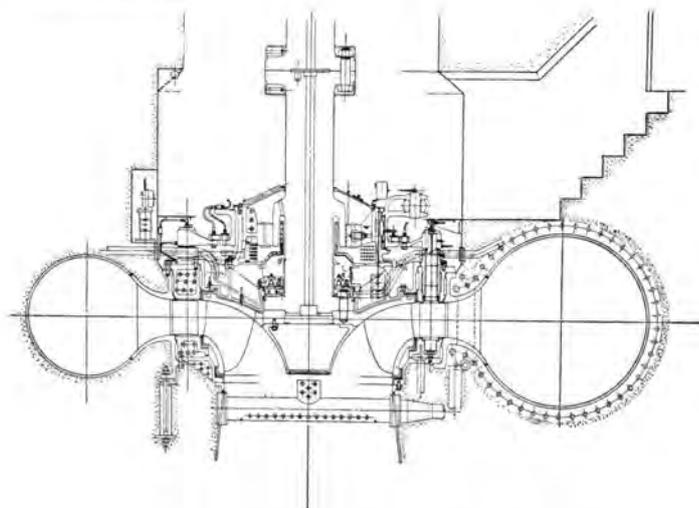


図 5.2 水車断面図  
Fig. 5.2 Sectional arrangement of water turbine.

- (6) 主軸スリーヴが不要となる。
- (7) 欠点として、パッキン止水面の周速が若干速くなる。

## 5. 水車本体

図 5.1 はパレルライナを取付けた水車本体の工場組立状況を示す。図 5.2 はその断面図である。

### 5.1 ランナ

ランナは入口直径 2,430 mm、最大外径 2,550 mm で 13 クロムステンレス 鋼製で溶接構造を採用した。すなわちクラウン、羽根、およびシュラウドリングはおのおの別個に鋳造し、それぞれを機械加工により精密に仕上げた後溶接により組立てた。(2)

図 5.3 はランナ羽根のナライ削りの状況を示し、図 5.4 は溶接中のランナを示す。この溶接は溶接時のヒズミおよび羽根の傾きの変化など防止するため、特殊治具を製作して行ない、焼鈍中のヒズミ発生防止にも最大の注意

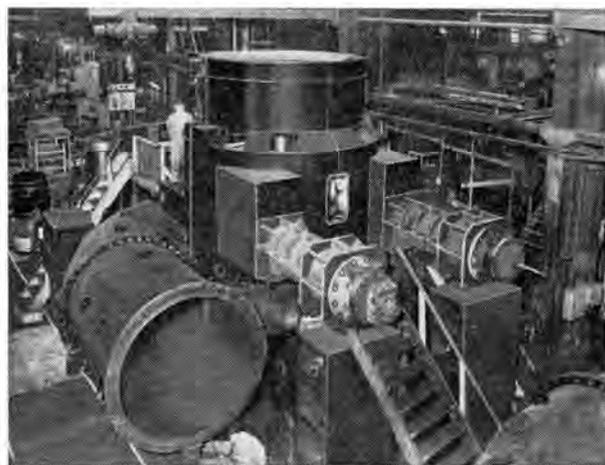


図 5.1 水車本体工場組立状況  
Fig. 5.1 Factory assembling of water turbine main body.

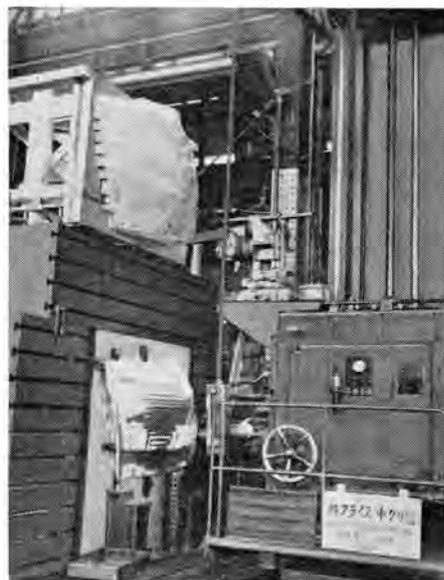


図 5.3 ランナ羽根ナライ削り状況  
Fig. 5.3 Profiling milling of runner blade.

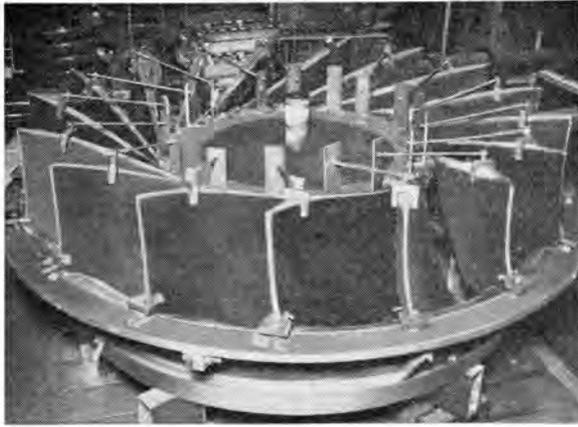


図 5.4 ランナ溶接状況  
Fig. 5.4 Welding of runner.



図 5.5 完成した溶接ランナ  
Fig. 5.5 Completed welded runner.

をはらった結果、優秀な成績をあげることができた。図 5.5 は完成した溶接ランナを示す。

ランナ外周には 13 クロムステンレス鋼製のライナをつけ、ライナの 外周には ラビリンス を設けた。

### 5.2 ケーシングおよびスピードリング

ケーシングは鋼板製、スピードリングは鋳鋼製とし、スピードリングの外周にはケーシングを溶接し、輸送のために全体として 5 個に分割して製作し、現場では フラッジ により接続する構造とした。図 5.6 にケーシングの工場水圧試験



図 5.6 ケーシング水圧試験状況  
Fig. 5.6 Casing hydraulic test.

状況を示す。水圧試験は入口弁ケーシングを接続して行なった。

### 5.3 ガイドベーンおよびガイドベーン調整機構

ガイドベーンは鋳鋼製で軸と羽根とは一体铸造とした。また閉鎖時の漏水を少なくするために、上下面および閉鎖時合せ目に 18-8 ステンレス鋼の溶接肉盛を行なった。またガイドベーンの軸方向の間隙調整には図 5.7 に示すように差動ネジ構造を採用し、微調整を可能とし、また止めネジがゆるんでもガイドベーンの回転により、差動ネジが回転しない構造とした。(実用新案申請中)

ガイドベーン調整機構はケーシングの外側に配置し、ガイドリングを軸受ささえの外側に配置し、アーム、リックなどからなっている。アームピンには弱点部を設けている。図 5.8 は調整機構の工場組立状況を示す。

### 5.4 主軸、主軸受および主軸パッキン

主軸は鍛鋼製で中空として材質検査を行ない、内部に弱点のないことを確かめた後に正確に仕上げた。主軸受にはセグメント式を採用したので、これに適するようにスカート鍛造してある。主軸受は上記のようにセグメント式を採用したが、これは関西電力椿原発電所向け水車用と

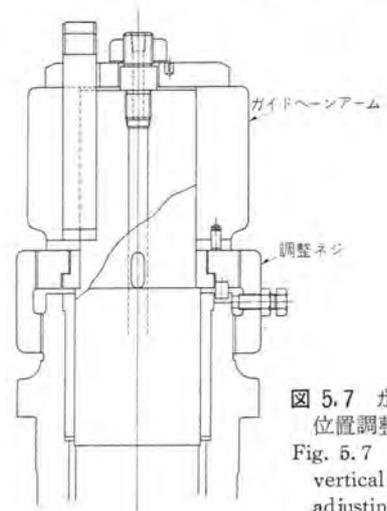


図 5.7 ガイドベーン上下位置調整装置  
Fig. 5.7 Guide vane vertical position adjusting device.

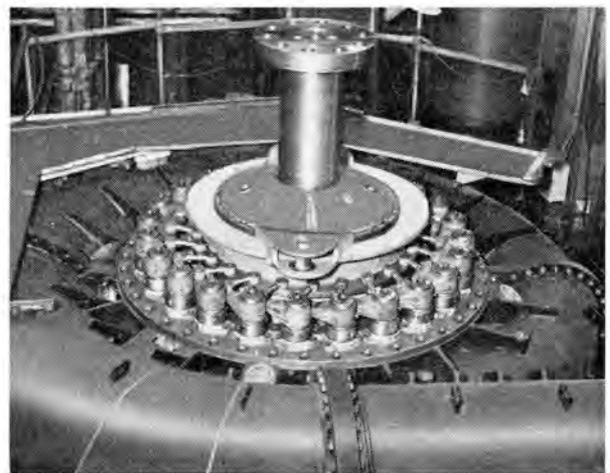


図 5.8 ガイドベーン調整機構工場組立状況  
Fig. 5.8 Factory assembling of guide vane adjusting mechanism.

して製作して以来<sup>(3)</sup>、数多くの水車に採用したもので、その優秀性はそれらの運転実績が証明している。

主軸パッキンとしては図4.3に示すような水平面止水式を採用し、シルミン製のケース内に特殊カーボンパッキンを2段納めその中間に清水を注入して、主軸フランジカバー上で止水している。

### 5.5 ケーシングカバー

ケーシングカバーはいずれも鋳鋼製で上カバーは内外に分けて製作し、内側上カバーをはずしただけでガイドベーンを分解せずにランナを取出せるようにし、下カバーにはガイドベーンささえリングを取付けている。上下カバー、ガイドベーンささえリングがランナおよびガイドベーンと接する部分には13クロムステンレス鋼製のライナをつけている。

### 5.6 バレル内張ライナ

図5.1に示すように内張ライナは発電機ベースブロックまでつけ通路、発電機通風穴、配管ダクトなどもライナをつけている。

### 5.7 吸出管

吸出管は電源開発株式会社田子倉発電所向け用と同様にKMW社の設計を採用した<sup>(4)</sup>。すなわち屈曲部の形状はすべてシングルカーブで結ばれているので展開が容易で、製作上の工数、期間ともに少なくすんだ。また垂直円すい管部が長く、流速が低下してから屈曲するので、

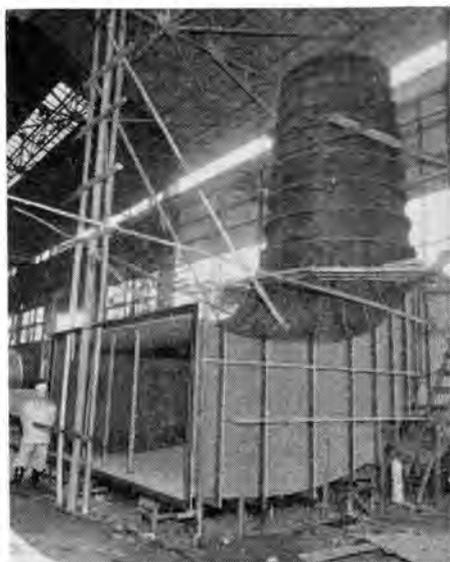


図 5.9 吸出管ライナ  
Fig. 5.9 Draft tube liner.

従来この部分でライニングの脱落が起こったことがあるが、この点では有利である。図5.9は工場組立中の吸出管ライナを示す。

## 6. 入口弁

入口弁は口径2,350 mmのパワフライバルブで、口径250 mmのニードルバルブをつけている。弁体、ケーシングはともに鋳鋼製で弁体外周にはゴム製パッキンをつけ、それをケーシング止水面上おしつけて漏水防止を行なっている。弁

軸は弁体を貫通し、テーピンにて弁体に固定されており立軸である。ケーシングは上下二つ割りで弁軸が貫通する部分には軸受を設け、革パッキンをつけている。

開閉装置は図6.1に示すようにケーシング上部に取り付けられた開閉装置ケーシング内に納められ、2個の復動サーボモータをつけている。

弁体、ケーシングはともに十分な剛性をもたせており、工場試験における弁体中央部のたわみ、ケーシングの直径増加は図6.2に示すようであり、また同図に弁体たわみと同時に測定した漏水量も示す。なお弁体のたわみは軸受すきまおよびケーシングの移動などを修正していない値で実際のたわみ量は約1/2と考えられる。

なお開閉装置にはバイパス開閉およびケーシング水圧

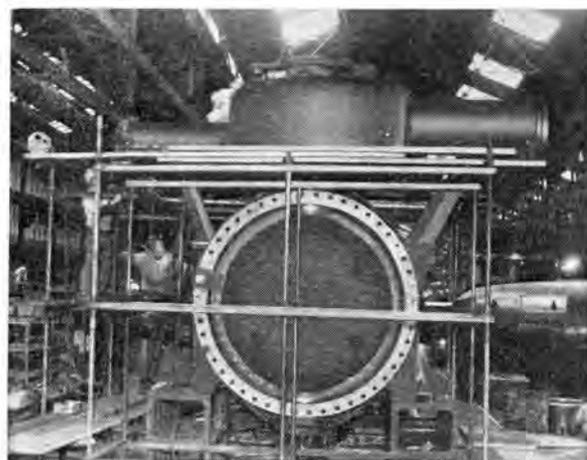


図 6.1 主弁工場組立状況  
Fig. 6.1 Factory assembling of the main valve.

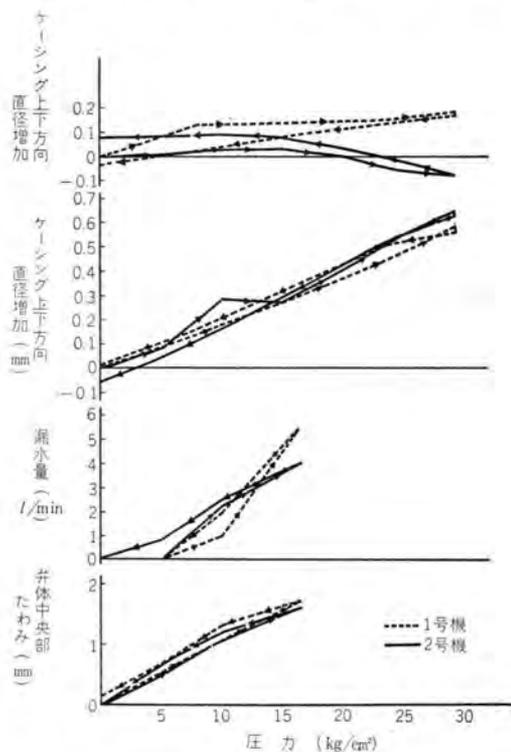


図 6.2 弁体ケーシングのたわみおよび漏水量  
Fig. 6.2 Deflection and water leakage of valve body and casing.

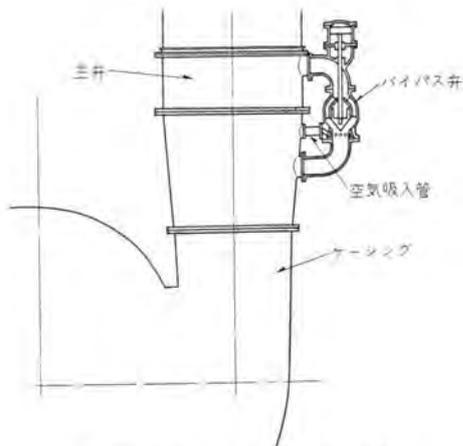


図 6.3 バイパス弁の空気吸入装置

Fig. 6.3 Air draw-in device of bypass valve.

に対する 2 種の インタロック 装置を設けている。

バイパス弁出口部はキャビテーションを起こしやすいので、その部分は 13 クロムステンレス鋼製とし、また弁体もステンレス鋼製としている。またキャビテーションの軽減、振動、音響の減少をはかるために図 6.3 に示すように出口曲管入口部に弁座を通して空気を吸入させている。(実用新案申請中)

## 7. 調 速 機

調速機はキャビネット形電気油圧式で調速機制御盤、調速機盤と電源用三相交流永久磁石発電機とより成り、これらの組合せによりその機能を発揮するものであり、またジョイントオペレーションができるようにしている。

調速機制御盤には周波数検出、復原、増幅などおよび速度調整装置、負荷調整装置、負荷分配装置、発電所出力調整装置などの電氣的制御部および保護装置を内蔵し、調速機盤には電気油圧式制御器 (アクチュエータ)、負荷制限装置、ガイドベーンサーボモータ 最大開度制限装置、調速機鎖

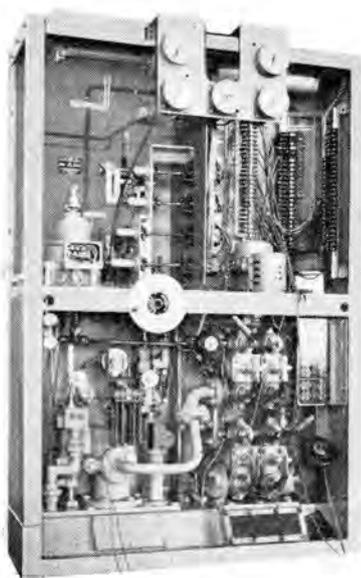


図 7.1 EAI 形アクチュエータ

Fig. 7.1 Type EAI actuator.



図 7.2 調速機制御盤

Fig. 7.2 Governor control panel.

錠装置、配圧弁など電氣的信号を機械量に変換、増幅する油圧式機械的制御部を内蔵している。

調速機盤は図 3.2 および図 9.1 に示すように、水車制御盤と並べて パレル横 に設置し、その山側に調速機制御盤を対向設置している。

図 7.1 に調速機盤の内部を、図 7.2 に調速機制御盤を示す。また図 7.3 は工場試験状況を示す。

この電気油圧式調速機はいわゆる電子管式で三菱神戸 EAI 形と称するものであるが、電源開発株式会社田子倉発電所向けに採用した輸入品に改造を加えた点<sup>(1)</sup>、すなわち 2 段 2 連 ストレナ、ワイヤ切断防止装置の付加などのほかに上記のガイドベーン 最大開度制限装置を付加している。

これは図 7.4 に示すように、電気油圧式 アクチュエータの負荷制限装置の制限用ネジ棒の行程を制限するもので、クラッチを用いて負荷制限用ネジ棒の回転を止める方法を用いている。すなわち図 7.4 において手動または電動に



図 7.3 調速機工場試験状況

Fig. 7.3 Factory test of the governor.

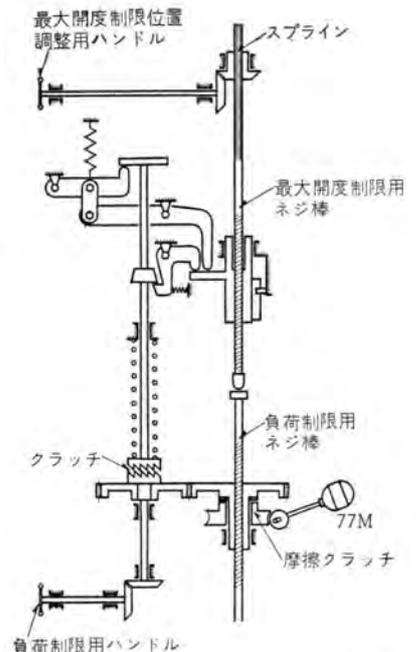


図 7.4 ガイドベーン最大開度制限装置

Fig. 7.4 Maximum opening limiting device of guide vanes.

より負荷制限をゆるめて行けば制限用ネジ棒は上昇する。そしてある位置に設定された最大開度制限用ネジ棒にあたりそれをおし上げることになる。したがってクラッチの下降を止めているレバーの引掛りがはずれ同時にクラッチを持ちあげるレバーが下がっているので、クラッチは下降してかみ合うことになり負荷制限用ネジ棒の上昇が止められる。すなわち最大開度設定位置に止まることになる。この位置より負荷制限を強めればクラッチはすべて負荷制限用ネジ棒は下がりクラッチはレバーによっておしあげられてクラッチがはずれると同時にレバーの引掛りがかかって、元の位置に戻ることになる。

配圧弁は调速機盤内のアクチュエータ後方に置き、弁および弁門の材料は当社独得の鍛鋼熱処理材を用い、摩耗なくラップの切れをよくし、また主サーボモータとの復原機構にも不感帯を少なくするよう構造に注意を払い、極力制御性能の向上を図っている。

### 8. 圧油装置

圧油装置は単位式で30 kWの電動機に直結されたスクリーンプンプが2台設備されたM-M方式で、ポンプは立軸とし、共通台板上にアンローダ、空気筒、油面計、ストレーナなどとともに並べられ、図8.1に示すように地下1階に置かれている。ポンプのケーシングは停止中も油が切れない構造とし、長時間停止後の汲揚げ不能を防止している。アンローダは総合形で安全弁を組込み、圧油タンク自動油面調整装置を付属している。

地下2階のポンプ台板直下には集油タンクが置かれている。集油タンクは中央で仕切り、平常運転時は左右連通状態で使用するが、運転中に集油タンクを掃除すると

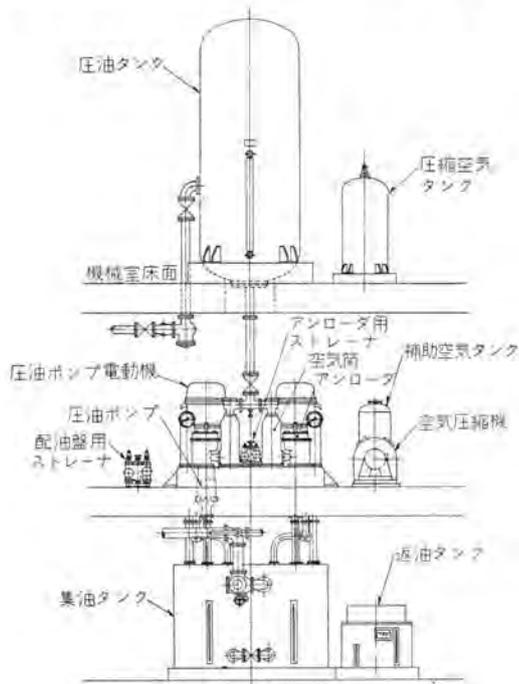


図 8.1 圧油装置配置図

Fig. 8.1 Arrangement of pressure oil system.

電源開発株式会社十津川第一発電所用水車・福田

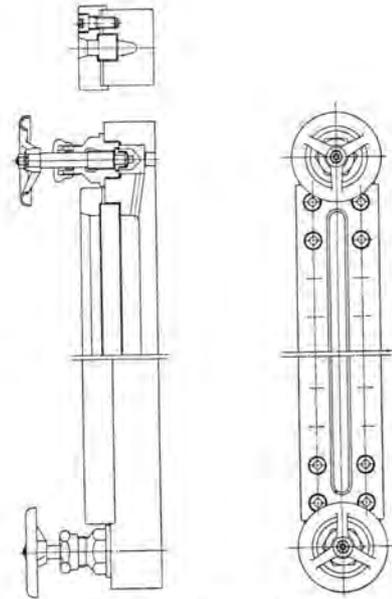


図 8.2 クリッカ式油面計

Fig. 8.2 Clinker type oil gauge.

きなどは、左右いずれかの一室を空にして掃除できる構造としており、各機器よりの排油管および返油ポンプよりの管などは左右いずれの室にも切換えられるよう配管している。

集油タンク横には返油タンクが置かれ、排油のうち自然流下により集油タンクに集油できないものおよび漏油を集めて、集油タンクに返油するために返油ポンプを返油タンク内に置いている。

ポンプの上、機械室床面には圧油タンクが置かれている。圧油タンクの油面計は図8.2に示すようなガラスが破損する不安のないクリッカ式で浮子式の油面リレーをつけている。また圧油ポンプよりの圧油は圧油タンク底面のマンホールカバーより導入している。圧油タンク横には圧縮空気タンクが置かれ、圧油タンク給気用および発電機制御用に用いられ、その直下地下1階の圧油ポンプ横には空気圧縮機と補助空気タンクが設置されている。

### 9. 運転制御装置

制御方式は一人制御式で配電盤上の開閉器で操作され、また機械室の水車制御盤で手動操作もできる。図9.1は调速機盤に並設された水車制御盤を示す。水車制御盤中

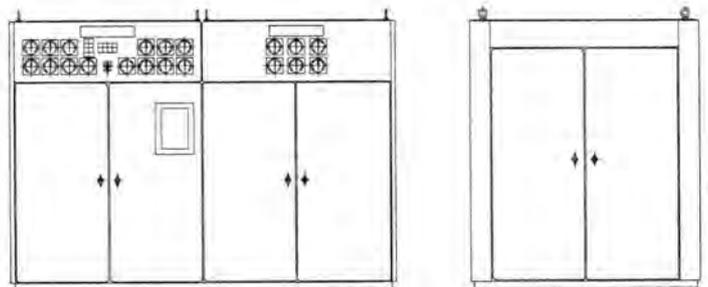


図 9.1 水車制御盤および调速機盤

Fig. 9.1 Water-turbine control cabinet and governor cabinet.

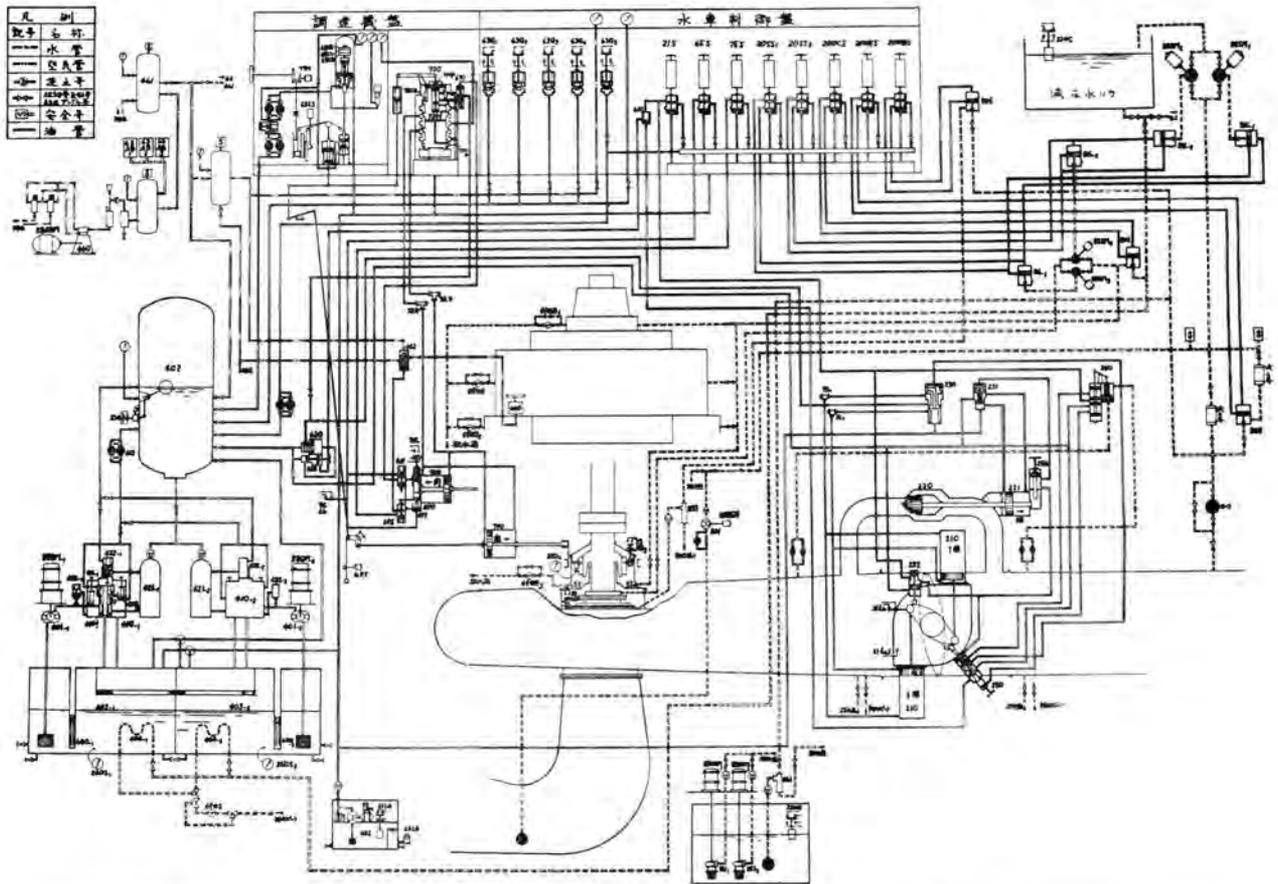


図 9.2 水車自動操作系統図

Fig. 9.2 Water turbine automatic control system diagram.

には自動作用のソレノイドおよび配圧弁ならびに油圧保護用の油圧リレーなどが納められており、盤面には水圧計、連成計、油圧計、軸受温度計などが取付けられている。図 9.2 は水車自動操作系統図を示す。

### 10. 給排水装置

給水装置は単位式で 37 kW 給水ポンプ 1 台を常用とし、非常給水用として鉄管より給水する。給水は一度減圧水そうに汲み上げて各部に供給する方式としている。この給水ポンプは吸出管の排水ポンプに兼用している。

所内排水ピットは 2 台の水車の間にあって 15 kW 排水ポンプ 2 台と ジェットポンプ 1 台がある。

### 11. むすび

以上十津川第一発電所用水車についてその概要を紹介したが、工場における詳細な性能試験、強度試験、水圧

試験などを経て完成し目下据付を完了して調整運転にはいろいろとしており、好調な運転にはいることを期待している。

終わりに水車の設計製作について種々ご指導、ご鞭撻をいただいた電源開発株式会社の関係者の皆様方に心から敬意と謝意を申し上げる次第である。

### 参考文献

- (1) 永室・山本：田子倉発電所 108,000 kW 水車、「三菱電機」, 33, No. 9 (昭 34).
- (2) 機械学会：機械工学年鑑。(昭 35).
- (3) 山本・根津：関西電力納入権原発電所用 42,000 kW 水車、「三菱電機」, 28, No. 9 (昭 29).

# 電源開発株式会社十津川第一発電所 43,000 kVA 水車発電機および運転制御装置

神戸製作所 三浦 宏\*・松尾 潔\*

## 43,000 kVA Water-Wheel Generators and Control Equipment in the Totsugawa No. 1 Power Station of the Electric Power Development Company

Kobe Works Hiroshi MIURA・Kiyoshi MATSUO

Two 43,000 kVA water-wheel generators have been delivered to the Totsugawa No. 1 power station and have been operating since October last year. Machines at this rating are rather medium sized ones in view of past experience of building generators by Mitsubishi. They are of a vertical type having a beautiful appearance and are connected with a high frequency generator for AVR at the end of the shaft. Switchboards and control equipment are also supplied by Mitsubishi, being worthy of the name of the company. They are expected to be a pride of the Japanese electric industry.

### 1. ま え が き

十津川第一発電所向け 43,000 kVA 水車発電機は昨年 5 月工場完成を終え、監督官庁の厳重な試験を通過し、去る 10 月 1 日より営業運転にはいった。発電機は最近の製作実績からみれば中容量機と称すべきもので、当社ではここ数年中部電力川口発電所 32,000 kVA 2 台、同畑薙発電所 50,000 kVA 2 台、台湾電力谷関発電所 50,000 / 57,500 kVA 2 台と数多くの類似機を製作しているが、形式はいわゆる普通形で推力軸受は上部案内軸受とともに同一油さう内において回転子上部に位置し、下方には下部案内軸受を設けた構造である。製作にあたっては主発電機だけでなく機器全般にわたり高い信頼度と容易な保守点検に重点をおき、従来の経験を十分にとり入れ、すぐれた設計工作技術を結集して細部に至るまで慎重な検討を加えた。工場試験、現地試験とも予期どおりの結果を得、関係各位の好評を得た次第であるが、機器全体を流れる美しい外観は優秀な性能と相まってもっとも近代的な発電所として日本電力業界に活躍するものと期待されている。

機器竣工を機会に、主発電機、配電盤、運転制御装置全般につきその概要を紹介する次第である。

### 2. 発 電 機

#### 2.1 発電機仕様

##### 主発電機

形式	立 $\pi$ 軸回転界磁閉鎖風道循環形 (空気冷却器付)
定格 出力	43,000 kVA
電圧	13,200 V
電流	1,880 A

力率	87 %
周波数	60 c/s
回転速度	300 rpm
極数	24
ハミ車効果	1,250 t·m <sup>2</sup> (保証値)
無拘束速度	570 rpm (保証値)
短絡比	1.0 以上 (保証値)
重量 固定子	76.0 t
回転子	147.0 t
発電機総重量	278.0 t
励磁機空気冷却器を含む全重量	300 t

##### 主励磁機

形式	立 $\pi$ 軸開放形
定格 出力	170 kW
電圧	220 V
電流	773 A
極数	12

##### 副励磁機

形式	立 $\pi$ 軸開放形
定格 出力	8 kW
電圧	110 V
電流	72.8 A
極数	8

##### 電気バタ電源用永久磁石発電機

形式	立 $\pi$ 軸開放形
出力	500 VA
電圧	110 V

##### 自動電圧調整器磁気増幅器用高周波発電機

形式	立 $\pi$ 軸開放形
定格 出力	6.5 kVA
電圧	220 V

\* 技術部



図 2.1 43,000 kVA 水車発電機  
Fig. 2.1 43,000 kVA Water-wheel generators.

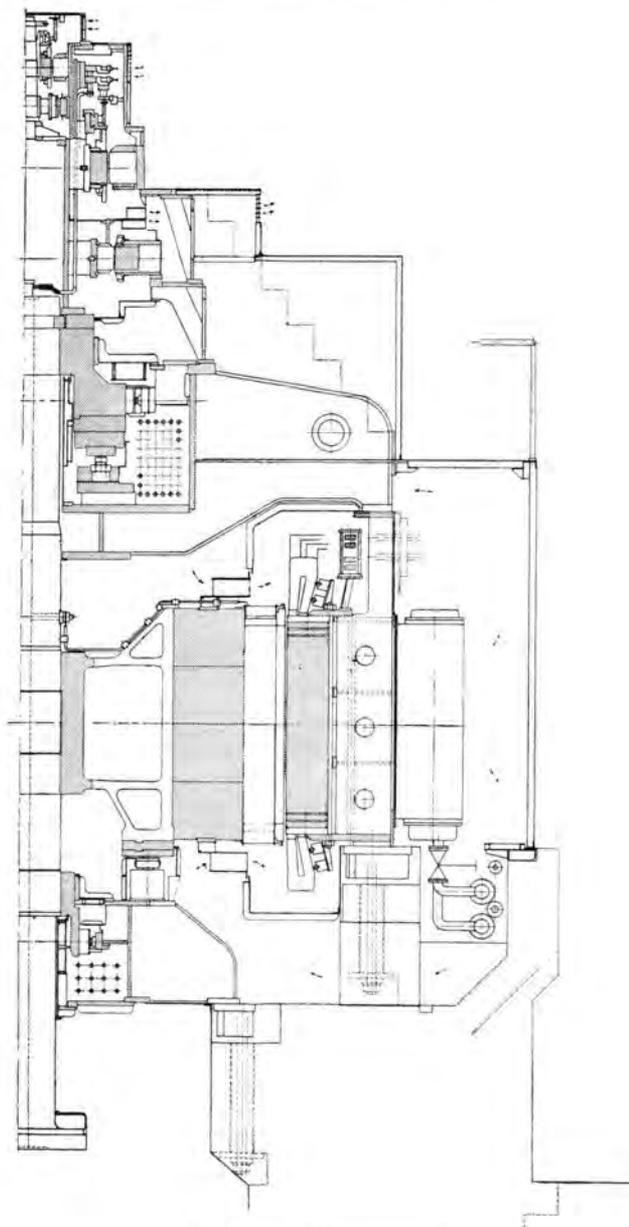


図 2.2 発電機の断面図  
Fig. 2.2 Sectional view of the 43,000 kVA generator.

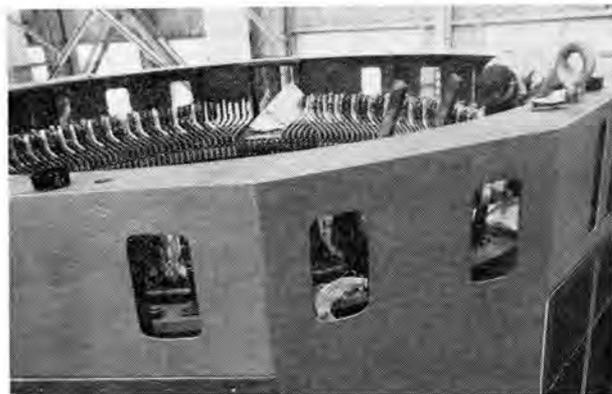


図 2.3 固定子  
Fig. 2.3 Stator assembly with coils.

電流	17.1 A
力率	80 % (遅れ)
周波数	420 c/s
相数	3
極数	168

このほか励磁機上部には起動停止確認装置を有している。図 2.1 はすえ付を終えた発電機の外観である。

## 2.2 発電機の構造

図 2.2 は発電機の構造を示す断面図である。風道外径 8 m、高さ 3.0 m、パルル上面からの全高さは約 6.5 m で、図に示すように自動電圧調整器用磁気増幅器に使用する高周波発電機は発電機上部、励磁機との間に直結している。

### (1) 固定子

固定子ワックは輸送制限のため三つに分割した。固定子ワックは鋼板、棒鋼を合理的に配列した鋼材組立溶接式で、軽量化をはかるとともに強大な垂直、水平荷重や予想される振動に対しても十分な剛性を有するように計画した。固定子鉄心は T 級ケイ素鋼板で精密な打抜きによる扇形形を積重ね、両端には非磁性金具をあてて十分に締付けており鉄心締付ボルトにより固定子ワックと一体となっている。鉄心打抜き後のヒズミとりや層間絶縁あるいは通風ダクトの数、ダクトピースの配列に注意したことはもちろんで、損失の軽減、騒音や振動発生原因の除去につとめた。

固定子コイルは 1 ターンコイルで素線には二重ガラス巻平角銅線を用い、溝内でローベル転位を行なっている。コイル絶縁はマイカを主体としたもので、マイカテープを全長に連続して巻き、当社独特のダイラジョン含浸を行なったダイラスタック絶縁である。この絶縁方式はすでに周知のとおり当社が業界に先がけて採用実施し現在の絶縁材料ラームの先鞭をつけたものであるが、その後の不断の研究改良と厳密な製作管理の実施により、絶縁耐力およびその耐久性、絶縁抵抗などの絶縁特性はもちろん、コロナ特性も大幅に向上し、性能のバラツキもきわめて少なく、安定した製品を得ている。図 2.3 はコイルを納めた固定子を示す。

## (2) 回転子

回転子としては無拘束速度 570 rpm に対して十分な安全率を有することはもちろんであるが、水車側要求  $GD^2$  も満たす必要がある。構造は図 2.2 に示すとおりで、図 2.4, 2.5, 2.6. にそれぞれ主軸、スパイダースポーク および リム、磁極を示す。主軸は鍛鋼製でこれに鋳鋼製 6 本足のスパイダースポークを焼バメしている。リムはリング状の鍛鋼製で四つに分割されており、スパイダースポークに焼バメされるが、ここは無拘束速度でもっとも大きい機械的応力を受ける所で

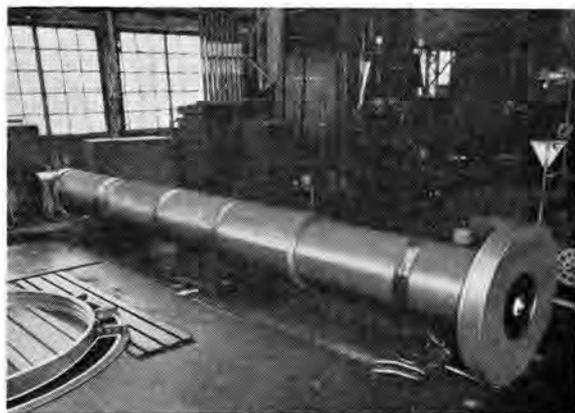


図 2.4 主軸  
Fig. 2.4 Shaft.



図 2.5 スパイダースポーク および リム  
Fig. 2.5 Spider spoke and rim.



図 2.6 界磁極  
Fig. 2.6 Field pole assembly.

材質の選定、受入検査、工作にはとくに注意した。磁極は薄鋼板を積重ねたもので両側に端板をあて強固に締付け一体とした後 ダブテール によりスパイダルリム 外周にとりつけている。磁極頭部には制動巻線を有し、端部の短絡片はそれぞれ可撓銅板で連絡されており、いわゆる連続形の構成である。界磁コイルは裸平角銅線をエッジワイズに曲げたもので層間絶縁にはアスベスト紙を用い、対地絶縁はマイカを主体としている。コイルの上下にはそれぞれ絶縁ワッシャを用い、またコイル間には軽金属製のコイル締金を挿入し同時にワッシャのみだしも防止するように考慮している。スパイダルリム上下には鋼板製のラジアルファンを、また下面にはブレーキリングを設け、軸下方には下部案内軸受用筒軸をまた上方には推力軸受用受金を備えている。ブレーキリングは停止時に吸収されるエネルギーによる熱応力が多いだけでなく、運転中は絶えず遠心力を受けている。とくに最近ではピーク負荷用発電所が多く、起動停止も頻繁でブレーキシューの摩耗、ブレーキリングのヒズミなど問題が多い。当社の構造でははめ合によって遠心力に耐えるとともに、締付ボルトは熱膨張に対して自由になっておりボルト折損などの事故はないが、さらに実物による精密な試験測定を行ない、ブレーキリングの材質、表面形状、仕上精度、あるいはシュー材質の選定に絶えざる研究を行ない品質の向上につとめている。

## (3) その他

上ラケット、下ラケットはともに鋼板溶接製で中央部はそれぞれ軸受用油そうになっている。とくに上ラケットは水車および発電機の全荷重をうけるもので強度はもちろん振動の原因となる共振周波数には十分の検討を行ない、一方では固定子と同様合理的な素材構成により軽量化につとめたが完成後の振動軸振れはともに少なく、予期どおりの結果を得た。

推力軸受はキングスベリ形、上下案内軸受はセグメント形でおのおの扇形片は1個のピボットで支持され自由に調節できるようになっている。推力軸受と上部案内軸受は複合形で同一油そう内にあり、軸受冷却は油そう内に納めた冷却水管によって行なっている。軸受油そうからの油や、油霧漏洩に関しては従来問題となったことであるが、当社はこれに関し、多くの考案を折込んで詳細な試験検討を行ない、ほとんど完全と思われる結果を得ている。

ピーク負荷発電所では一般に起動停止が頻繁で高温時起動の機会も多く軸受にとって好ましくない。こうした場合起動前に回転子を持ち上げ、軸受しゅう動面に油膜を形成したり、あるいは高圧油を圧入したりして起動時の境界潤滑をさけることもあるが、本機では使用していない。当社では軸受扇形片の大きさ、支持方法や運転時あるいは高温起動時の状態につき詳細な研究を行ない、すぐれた特性を得ることができ、温度も正常で好調な運転をつづけている。図 2.7 は推力軸受を示す。

軸電流防止絶縁は推力軸受、上部案内軸受で行なっ

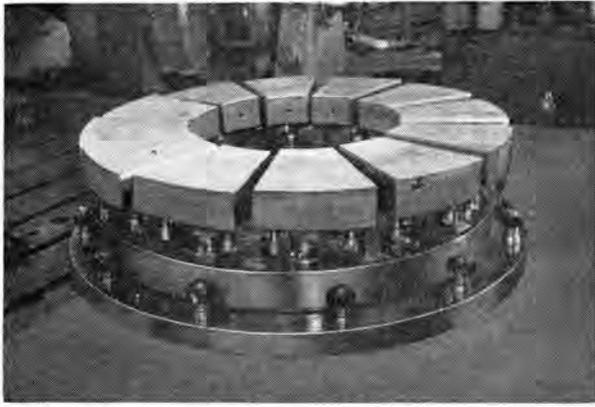


図 2.7 推力軸受  
Fig. 2.7 Thrust bearing.

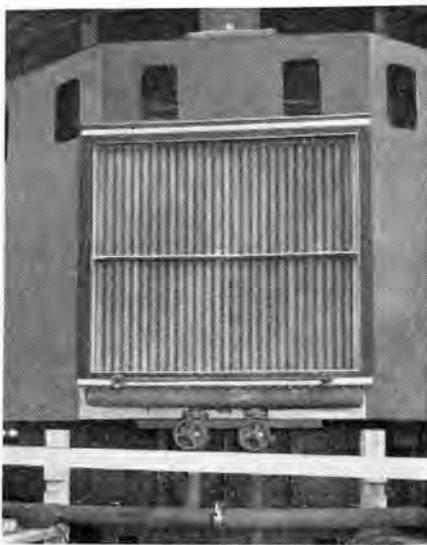


図 2.8 空気冷却器  
Fig. 2.8 Air cooler.

いる。(実用新案 495274) すなわち推力軸受台盤と油そう底板との間、案内軸受ワッ を二つにわけその間にそれぞれ絶縁物を挿入し、さらにこの絶縁物の中間に銅板を入れ、軸受内外部および銅板よりそれぞれ端子を外部に引出し、運転中でも簡単に絶縁状況の点検ができる。

ブレーキは圧縮空気を用い、別に油による回転子支持用の ジャッキ を設けている。風道は鋼板製で気密に注意するとともに外面は美しく塗装し、機械全体としての外観美に十分注意して製作した。空気冷却器は当社独特の Uフィン管 を用いた表面冷却形で図 2.8 に示すように固定子ワッ に直接取付けている。消火装置としては 炭酸ガス を使用し 防湿用スペースヒータ を 下ラケット空間 に設け、ブレーキには 防シムカー を付属している。固定子コイル、軸受、空気等各部の温度測定には角形温度計、サーチコイルを用い、各油そうには油面計、油面リレー を、冷却水管には流水リレー を設け、照明にはケイ光灯 を使用している。これら制御器具の端子は、励磁機部分機器の端子とともにすべて 1か所にまとめ、発電所内キュービクルなどの配置を考慮して端子配列を定めて保守点検の便をはか

っている。

### 3. 励磁機

励磁機部分は開放形で最下部に磁気増幅器用高周波発電機を直結し、永久磁石発電機、および副励磁機はまとめて主励磁機内部の空間に納め、主励磁機上部に集電環を設けた構造である。主励磁機は特殊分巻で主界磁と副励磁機からの安定界磁を有し、さらに磁気増幅器用の 2 個の調整コイル を備えており、自動電圧調整器と一体で優秀な即応励磁方式を確立している。

### 4. 試験成績

工場では仮組立の上種々の試験を行なった無負荷飽和曲線および短絡曲線を図 4.1 に示す。電圧変動率は力率 0.87 において、29.2%、力率 1.0 で 16.7% である。主発

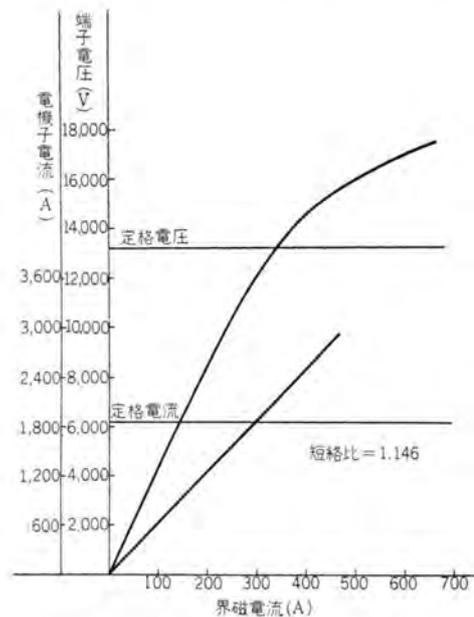


図 4.1 無負荷飽和曲線および短絡曲線  
Fig. 4.1 No load saturation and short circuit curves.

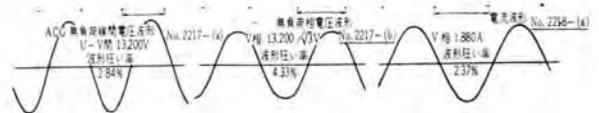


図 4.2 主発電機電圧電流波形  
Fig. 4.2 Wave-forms of the main generator voltage and current.

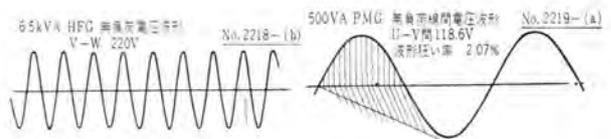


図 4.3 高周波発電機および永久磁石発電機電圧波形  
Fig. 4.3 Wave-forms of H.F.G. and P.M.G.

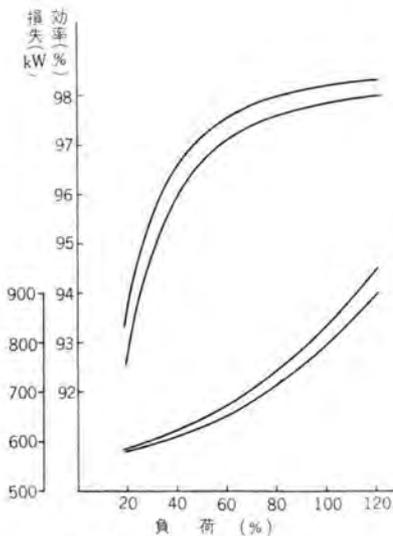


図 4.4 効率および損失曲線  
Fig. 4.4 Loss and efficiency curves.

表 4.1 リアクタンスおよび時定数

	実測値	試験法
直軸同期リアクタンス $x_d$	98.3	AIEE
直軸過渡リアクタンス $x'_d$	33.1	突発短絡
直軸次過渡リアクタンス $x''_d$	24.2	Da-Ca 法
逆相リアクタンス $x_{\Sigma}$	23.7	"
零相リアクタンス $x_0$	13.4	単相短絡
直軸次過渡時定数 $T''_d$	0.0133	秒
直軸短絡過渡時定数 $T'_d$	2.43	秒
直軸開路過渡時定数 $T'_{do}$	9.0	秒

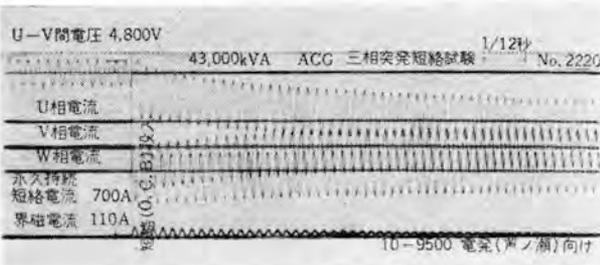


図 4.5 三相突発短絡電流波形  
Fig. 4.5 Oscillogram of three phase sudden short circuit current.

電機の線間および相間の無負荷電圧波形および電流波形を図 4.2 に、また、電気ガバ用永久磁石発電機、磁気増幅器用高周波発電機の電圧波形を図 4.3 に示すが、波形ヒズミ率も予想どおり小さく押えることができた。

損失および効率は図 4.4 に示すとおりで、全負荷効率は力率 1.0 で 98.19%、力率 0.87 で 97.82% とそれぞれ保証値を上回った。

各種リアクタンス および時定数の測定結果を表 4.1 に示す。

三相突発短絡曲線は図 4.5 のとおりで端子電圧 4.800 V で短絡を行なった。

JEC にもとづく等価温度上昇試験の結果では、全負荷運転時の推定値、固定子コイルで約 44°C、界磁コイル約 40°C であったが現地でもほぼ同様の結果を得ている。また推力軸受は 52°C、上部案内軸受は 42°C、下部案内軸受は 40°C でそれぞれ冷却水 25°C における値である。軸

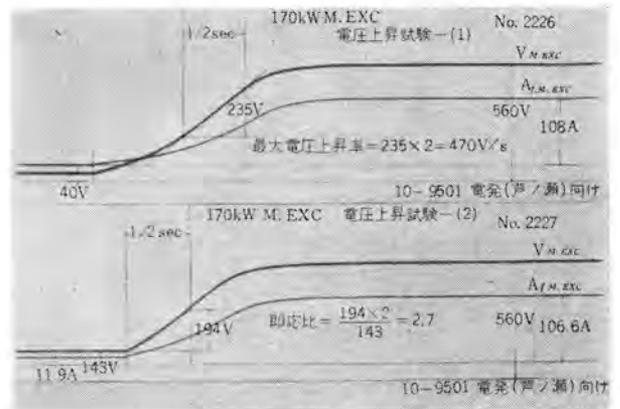


図 4.6 励磁機電圧上昇曲線  
Fig. 4.6 Oscillogram of building-up rate of the main exciter.

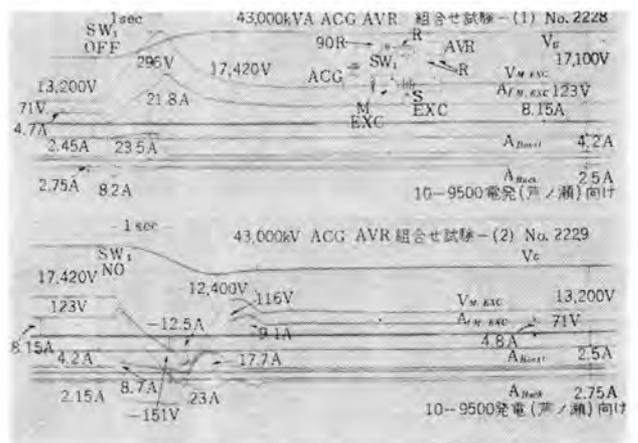


図 4.7 自動電圧調整器応答試験  
Fig. 4.7 Response test of AVR.

受に対しては 5 分間の断水試験も行なった。

固定子コイル に対しては  $\tan\delta$ -電圧特性、直流吸取試験を行ない、また抜取りで商用周波および衝撃電圧波による絶縁破壊試験を施行した。商用周波では 50 kV まで 1,000 V/s で電圧を上昇し、その後 5 kV とびに電圧を高め 79.2 kV で破壊した。衝撃電圧波は、波形  $3 \times 40 \mu\text{s}$  で破壊電圧は 180 kV であった。

励磁機電圧上昇試験結果は図 4.6 に示す。自動電圧調整器は磁気増幅器形で特殊分巻の励磁機と組合せた即応励磁方式であり精度、即応度や安定度のすぐれた特性を有している。工場における発電機、自動電圧調整器組合せ試験の結果を図 4.7 に示す。

発電機減速試験の結果  $GD^2$  は  $1,300 \text{ t}\cdot\text{m}^2$  で保証値を上回ったが、運転中の振動軸振れも少なくすべての試験を好成績で終了することができた。

## 5. 電力系統

図 5.1 はこの発電所の単線接続図を示す。発生電力は主変圧器により 154 kV に昇圧され、関西・紀和方面に送電される。さらに将来建設を予定されている池原発電所の完成をまって 278 kV に昇圧され(主変圧器の  $\Delta$ /人接続変更による)、目下建設中の十津川第二発電所とともに環状送電線を形成することになっている。

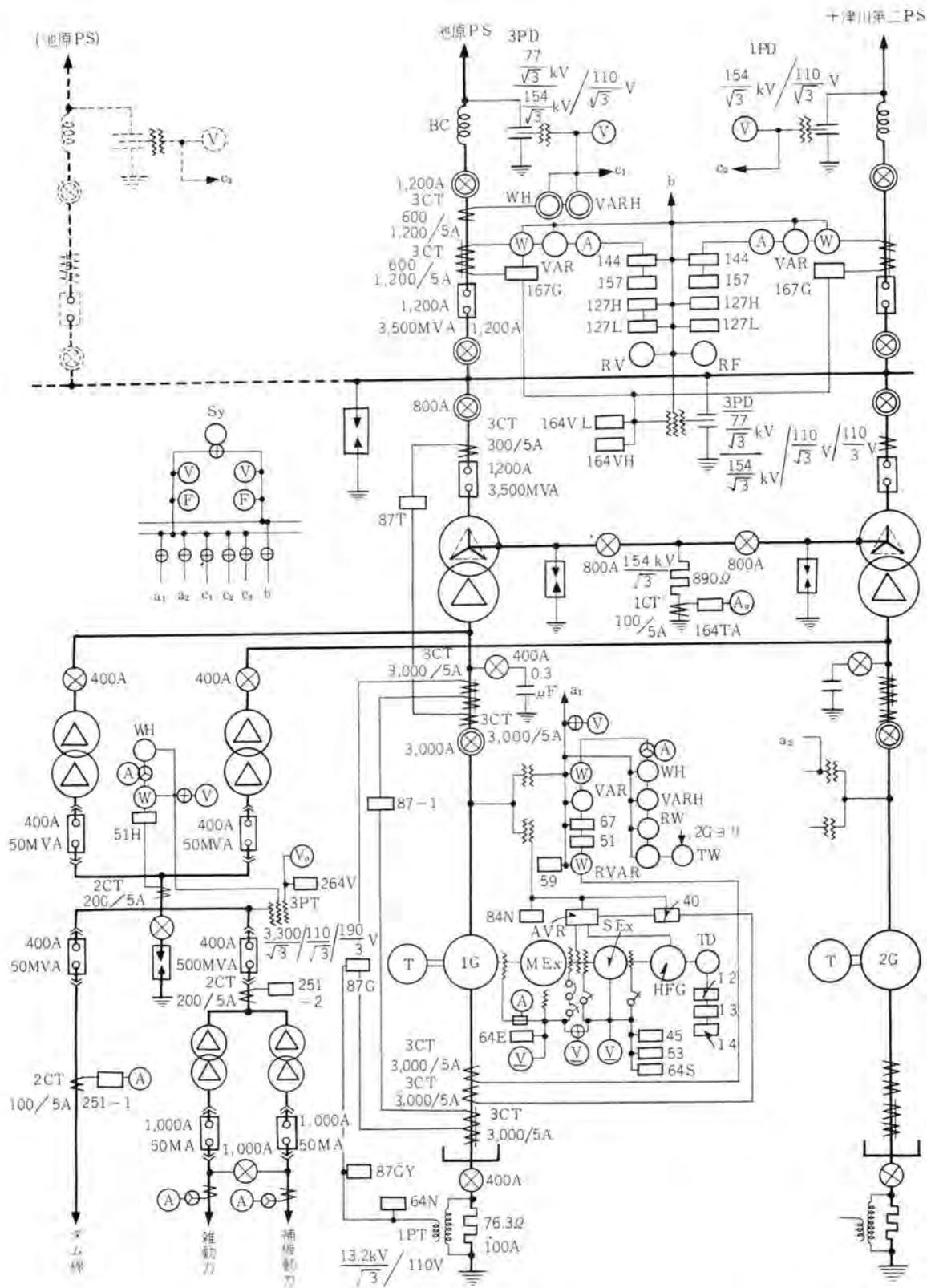


図 5.1 単線接続図

Fig. 5.1 Schematic diagram.

地方配電線は有せず 500 kVA 変圧器により 3 kV に降圧された電力は、 $\Delta$ 用動力線と 300 kVA 動力変圧器 2 台に供給されている。所内動力のほとんどは、200 V でまかなわれており、一部電灯、計測回路のために 100 V 回路を 30 kVA 変圧器により得ている。

## 6. 自動制御装置

主配電盤に設けた主幹開閉器による一人制御方式であることは従来の形式のものと変わるところはない。以下自動制御装置のおもなものについて紹介する。

## 6.1 水車補機

圧油装置は電動機—電動機方式で主配電盤より起動停止が行なわれる。給水装置は常用を給水ポンプとし非常用として鉄管より取水し冷却水そうへ給水されるもので、鉄管給水は電動機故障、冷却水そう水位低下により自動的に切換えられる。給水装置の制御は主配電盤室の操作開閉器により行なわれる。ストレーナは給水ポンプ取水側、鉄管取水側のそれぞれに設け、運転積算時間により自動的に制御される。通常6時間ごとに制御されるが、雨季、落葉時には時間間隔を短縮して制御されるよう任意に時間設定が可能である。

その他、案内羽根用グリスポンプは一定積算時間ごとに自動的に給油し、制動用空気圧縮機は気蓄さうの圧力により自動的に制御されるなど自動発電所としての機能を十分に発揮するに足るものである。

## 6.2 電気ガバナ

当社の誇る電子管形電気ガバナが納入された。発電機に直結された500 VA永久磁石発電機を電源とし、フッシュェルに接続された真空管により制御される形式のものである。負荷の整定、負荷の制限、ノーロードダンピングとサービスタンピングの切換えなどガバナの機能として特性が円滑にかつ迅速に遂行される。またジョイント運転と単独運転の切換えも円滑に行なわれ、ジョイント運転時の負荷の配分もきわめて理想的に行なわれる。(詳細は別稿を参照願いたい)

その他水車起動時の電源は所内交流より取り、水車が起動し永久磁石発電機が電圧を発生して初めて電源を切換えるよう自動切換装置を有したり、電子管フィラメント回路には運転積算時間計を設け電子管取換え時期の指針を与えるなど細心の注意が払われている。

## 6.3 起動停止確認装置

この発電所は変落差発電所であるため水車の起動開度が一義的に定めにくいので、起動確認装置により緩起動方式が採用されている。この起動方式は前に発表されているのでここではその詳述は省略する。

起動停止確認装置は直流式のもので、上述の制御に用いるほか停止を確認して制動をゆるめるなど各種の制御に利用されている。

## 6.4 入口弁開閉表示

入口弁の開閉にはかなりの時間を要する。入口弁開閉制御用電磁石を付勢して入口弁が全開、全閉する間保守員にその開閉状態を知らせることは安心感を与えることに寄与する。このため、入口弁本体に設けられた極限開閉器により配電盤の表示灯を間欠点滅させる方法をとった。ちなみにこの発電所の入口弁開閉時間は試験結果によると2分35秒である。

## 6.5 故障表示

故障表示の方法としては、機械式(いわゆるマーゼット式)と照光式の2種があるが、この発電所では後者の照光式が採用された。

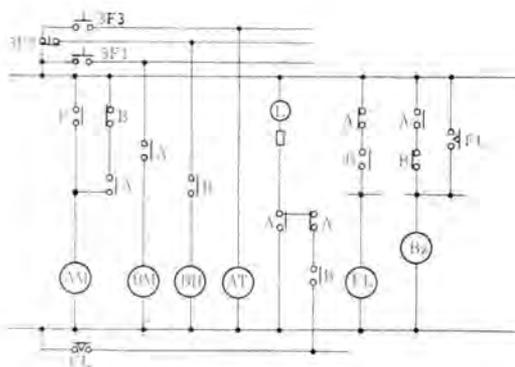


図 6.1 故障表示回路動作説明図

Fig. 6.1 Principal diagram of fault annunciator circuit.

照光形故障表示式の具備すべき条件としては、

- (1) 故障が発生すればランプが点灯しベルまたはブザーを鳴らす。
- (2) 故障の発生を確認したのち警報停止スイッチによりベルまたはブザーを停止させる。
- (3) 水車停止故障の場合、(2)項の操作を行なった後もランプは点灯させておき、故障の除去を確認した後ランプ復帰用スイッチによりランプを消灯する。
- (4) 軽故障警報の場合、(2)項の操作を行なった後、故障継続中であればランプは点灯を続けるが、故障が回復すればランプをフリッカするとともにブザーをふたたび鳴らし保守員に故障の回復を報知させる。
- (5) 任意に警報回路の試験ができる。

故障の回復を確認した後ランプ復帰用スイッチによりランプを消灯し警報を止める。

以上のようなものである。従来これらの動作を行なわせるためには多数の継電器を必要としたものであるが、つぎに述べるようにわずかの装置によりこれらの機能を満足することができた。

図6.1は故障表示回路の動作説明図である。A継電器はAM・ATの2組の動作コイルを有し、いずれを付勢してもA継電器は動作する。B継電器はBM・BHの2組のコイルを有し前者は動作コイル・後者は保持コイルである。BMを付勢すればB継電器は動作し、BMを消勢してもBHが付勢されている限りB継電器は動作を継続する。FLはフリッカ継電器、Bzはブザーである。

いま故障が発生し接点Fが接するとAMが付勢され自己保持するとともにLを連続点灯させBzを鳴らす。故障の発生を確認し3F1を操作するとBMが付勢されてBが動作しBzを消勢するので警報はやみ、またAMの自己保持回路を解く。故障継続中は引続きAMは付勢されているのでLは点灯を続ける。故障が消滅するとAMは消勢され引続きBMは消勢される。したがって、Aは不動作となるがBはBHが付勢されているので動作を続ける。FLが付勢されLは点滅しBzが鳴ることにより故障の消滅を知ることができる。3F2

を操作すると BH は消勢され B は不動作となるので FL、Bz、L は消勢され旧に復する。

以上は軽故障警報の場合について述べたが、重故障の場合は FL 回路は使用せず故障の除去を確認したのち 3F2 を操作し L を消灯させるが、この回路については容易に理解できると思われるので説明は省略する。

3F3 を操作すると AT が付勢され A が動作する。これは故障が発生し AM が付勢されたことと同じ状態になり故障表示回路の点検を行なうことができる。

## 6.6 記録計の集中制御

記録計の制御として親時計を使用して集中制御することはしばしば行なわれているが、従来この種制御はパルス式であった。すなわち、親時計の発信するパルスを記録計のパルスモータにより記録紙を駆動する方式であった。このパルス発信には通信用継電器を使用しており 1 秒パルスを発信すると 1 秒間に 1 回継電器は動作することになり 1 年間に約 315 万回動作することになりその動作責務は苛酷なものとなる。

この発電所に設置した親時計は通信用継電器を使用せず静止化し、出力を 60 c/s 交流としたものである。したがって記録計としてはパルス電動機駆動の特殊品とすることなく普通の同期電動機駆動のものでよい。

親時計の発信部は恒温そうに収納された 4 kc の水晶発信子を使用しその精度は  $\pm 2 \times 10^{-7}$  である。この 4 kc を 60 c/s に通降する方式としては、双安形マルチバイラータを使用し最初の 2 素子により 1 kc とし、帯域濾波器 (3 kc) を通してこの第 3 高調波の 3 kc を取り出す。この 3 kc を 1 素子に入れ 1.5 kc とし、ついで 3 素子を使用して 300 c/s に通降する。さらに 3 素子の通降回路に入れ 60 c/s を得るものである。

発信部の出力はさらに励振回路、電力増幅回路を経て出力を得る。この出力は約 20 W で記録計の入力が 5 W のものであれば 4 個、2 W のものであれば 10 個接続しうる。

回路はすべてトランジスタを使用して静止化したほか、部分修正、いっせい修正も可能とし、発信部故障の際は商用周波電源に自動的に切換えうる装置も具備している。また、JJY 受信装置を備え、時刻修正にも便なるようになっている。

## 6.7 水位計測装置

ダム水位計と放水路水位計との 2 種がありいずれも数字管により表示されるデジタル式で、一定時間ごとに (10 分、60 分の選択可能) 読取りを行なうもので前述の

親時計により読取り信号を得るものである。(任意の時刻に人為的に読取ることも可能である。)

ダム水位計は数 km の距離を送信するのでわずかのケーブルですむ方法がとられた。すなわち、水位読取指令を送量部に送ると送量部は動作を開始し水位応動部を動作させる。水位応動部は水位の各々を並列符号として送量部へ送られこれを記憶させる。(この発電所では 4 ケタである。)この記憶された水位は受量部よりの受信指令により第 1 ケタの数字より順次直列符号として送出され、受信部で符号照合を行なった後正しければ数字表示されるものである。この回路はかなり複雑であるのでここでは詳述しないが、論理要素をたくみに組合せたものである。

放水路水位計は近距離であるため送信部からの符号は並列符号として受量部に送られ記憶させると同時に表示管に表示させる方法をとった。

## 7. 配電盤

配電盤室の配電盤は主配電盤、補助配電盤 (1) (2) の 3 群より成っている。主配電盤は 1・2 号発電機盤・送電盤、所内盤より成りペンチ形として計測、制御を主体としたものである。補助配電盤 (1) は発電機記録盤、送電線記録盤、電灯盤、直流盤より成り壁支持垂直形である。記録盤には各種記録のほかとくに補機運転、故障を記録する記録計を設けてある。補機運転記録は、補機の運転時間、起動停止の頻度が記録され保守指針に役だてることができた。補助配電盤 (2) は発電機・送電線、所内の各継電器盤、自動盤、自動同期盤よりなり両面垂直形である。

13 kV 配電機器は閉鎖形配電盤に収納され、発電機、主変圧器、所内変圧器間はそれぞれ相隔離形の密閉母線により接続され安全性が向上されている。

水車補機の起動器は集合形のいわゆるコントロールセンタとし、さらに、それら補機の制御器具の一部を背面扉に取付け床面積の減少を図ることができた。

## 8. むすび

以上上津川第一発電所に納入された水車発電機および運転制御装置の概要について述べたが、この発電所の設備の一端を伺い得たならば幸いである。

終わりに臨みこの発電所の機器の設計、製作に当たりご指導を賜った桑原課長、森住発電所長ほか電源開発株式会社の各位に深く感謝するものである。

## 最近の距離継電器(1)

神戸製作所 北浦孝一\*・古谷昭雄\*

### 1. まえがき

最近の電力系統にたいする全投下資金とその中に含まれる保護継電器の費用とを比較すれば、後者はまったく無視され得る程度の微少な金額である。しかしその重要度からいえば、これを無視することはできない。いかなる送電線といえども保護継電器をつけずに、営業運転されることは絶対にあり得ない。送電線に故障が発生する確率からいえば保護継電器なしの送電を行なってもよいはずであるが一度故障が発生したときの被害を考慮すると誰しも送電線を No. Protection (無保護) で営業運転するという冒険をなし得ないのである。すなわち、雷によりガイが閃絡したり樹木鳥獣が送電線に接触したりまたは積雪、暴風などで送電線が断線し大地に落下すれば、過大な短絡電流または地絡電流が流れる。もしこの過大故障電流を瞬時に遮断せず継続させたとすれば系統内の各種機器は焼損し、通信線には誘導障害を与え、系統電力は動揺し脱調現象(電灯明滅の現象)が発生し、異常電圧発生により二次的につぎつぎと故障を発生させ全系統をつぶしてしまう結果となる。

各家庭で不用意に電灯線をショートさせヒューズをとばしただけでも緊迫感を味わうのであるが重要送電線内に起こった、前記各種故障はその電力の大きさからいえば、電灯線ショートの何百万倍もの値に達するものである。かく考えれば保護の重要性が容易に理解されよう。以下本文は送電線保護の主役たる距離継電器のおいたち、最近の傾向など、距離継電器自体の問題点を設計製作する立場から解説し系統保護を担当する技術者が距離継電器を選択し適用する場合のご参考に資する次第である。

### 2. 距離継電器の進歩

#### 2.1 過電流検出からインピーダンス検出へ

はじめに、距離継電器が世に出るまでの過程を述べ、距離継電方式の原理を説明する。

送電線故障検出のもっとも単純なものは、過電流検出である。「故障のときは平常より電流が増加する。これを検出すれば、故障が発生したことを検出する。」これが過電流継電器の主旨である。今世紀の初め(明治の末期)、過電流継電器が世に出てから当分の間は、この過電流検出要素のほかに故障電力方向を判定する要素(方向要素)を加えた程度で、十分保護目的を達成していた。しかし、電力系統がいちじるしく拡張されるに従い、渇水期と豊水期あるいは昼間と夜間とでは、潮流の差がいちじるしくなり、ついに、電流の大きさだけを対象としていたのでは故障と負荷との区別がつかない状態となった。

ここに「故障のときは電流の増加とともに、電圧が降下する」という条件を考慮に入れた電圧抑制の保護継電器が誕生した。大正末期の比例限時インピーダンスリレーがその代表である。この考え方は、すでに距離継電器の一環をなすものであり、数年にして、高速度インピーダンス継電器が考え出された。その先駆は、

米国 Westinghouse (以下 W 社と略す) における、平衡棒形距離継電器である。過電流継電器が世に出てからかぞえて約 30 年経過している。

その動作原理は、「継電器設置点における電圧  $E$ 、そこを通過する電流  $I$  との積算  $E/I$  を行ない、その値(インピーダンス  $Z_R$ ) が整定値  $Z_C$  に達しているか否かで故障を検出する」ものである。図 2.1 はその原理構成図、図 2.2 は、その一例を示す HZ-1 形継電器の外観である。

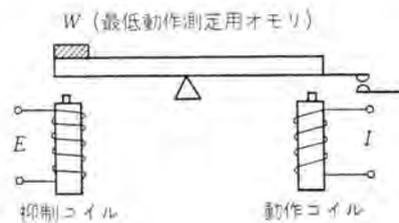


図 2.1 もっとも簡単な距離継電器原理図



図 2.2 HZ-1 形平衡棒式高速度距離継電器

図 2.1 よりその動作式は

$$\frac{E}{I} = Z_R \geq Z_C \dots\dots\dots (2.1)$$

で与えられる。

ここで継電器設置点におけるインピーダンス演算値が、故障点までの距離を示すことを明らかにして置く必要がある。

すなわち、図 2.3 において、線路のインピーダンスを  $z \Omega/\text{km}$  とすると

$$E = ZI = (zl) I \dots\dots\dots (2.2)$$

となる。

継電器に加えられる入力は、いずれも PT 二次、CT 二次の値であるから、PT 比を  $a$ 、CT 比を  $b$  とすると、継電器のみるインピーダンスは

$$Z_R = \frac{E}{I} = \frac{E}{I} \times \frac{b}{a} = Z' = zl \times \frac{b}{a} (\Omega) \dots\dots\dots (2.3)$$

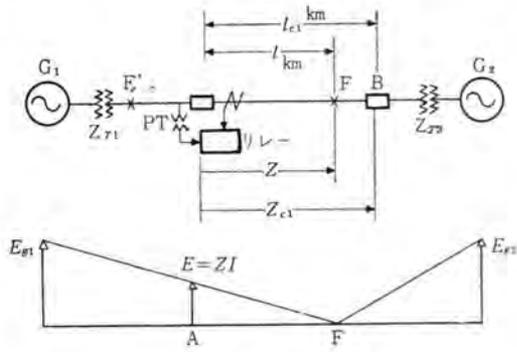


図 2.3 距離測定原理図

一方、式(2.1)の継電器換算整定インピーダンス  $Z_c$  は、同じく

$$Z_c = Z_{c1} \frac{b}{a} = z l_{c1} \times \frac{b}{a} (\Omega) \dots\dots\dots (2.4)$$

ゆえに、式(2.3)、(2.4)を式(2.1)に代入することにより継電器内でのインピーダンス比較  $Z_R \leq Z_c$  は、送電線1次の故障点までの距離比較  $l \leq l_{c1}$  を意味することになる。

いま、かりに自端局より隣接端局まで 30 km ある系統で、かつ  $z=0.5 \Omega/\text{km}$ ,  $a=66,000/110$ ,  $b=750/5$  の場合

$$Z_c = 0.5 \times 30 \times \frac{90}{100} \times \frac{750}{66,000} = 13.5 (\Omega) \times \frac{150}{600} = 3.38 (\Omega)$$

に整定すれば継電器設置点より  $l_{c1} = 30 \times 90/100 = 27 \text{ km}$  以内の故障を検出しようこととなる。図 2.1 の方式では電圧、電流の大小関係(スカラー量)だけを比較し、両者の位相関係は弁別の対象としていないからこのままでは、図 2.3 の F' 故障のように反対側の故障のときも不要動作するゆえに、故障方向が予定方向か否かを判別する方向要素を別に必要とする。(図 2.2 の右側の要素)

この種の継電器は、(a) インピーダンス要素と方向要素との接点協調に注意を要する。(b) 復帰特性が悪い。などの欠点があるが、(c) 原理構造が簡単であり、盤面スペース消費 VA が小さくてすむ、(d) 高速度動作で、(e) きわめて安価である。という長所もあり、現在なお使われている。

2.2 インピーダンス検出から位相弁別へ

インピーダンス継電器が世に出てから、30年経過した今日、その間に距離継電器が進歩発展した歴史を顧みると、まことにめざましいものがある。

その発展に寄与したもの一つに、R-X 複素平面座標(以下 R-X 座標と略す)を利用した系統特性表示と継電器動作特性表示の対応があげられる。すなわち、図 2.3 の例でみるように、「すべての系統は、線路インピーダンス(力率角は約 70~85 度)、電源または変圧器インピーダンス(85~90 度)、直列コンデンサ(-90 度)、故障抵抗(R 分だけ)および負荷インピーダンス(0~30 度)などの組合せで、R-X 座標に表示される。」この R-X 座標の原点を、継電器設置点に取って考えると、故障時の位相関係も明白となり、距離継電器の動作判定がきわめて容易となる。図 2.4 は、図 2.3 の系統を表示したものである。

最近までに開発された継電器の R-X 平面に表示された諸特性については、すでに幾多の文献(たとえば(1))により紹介されているので、表 2.1 に代表的なものだけをあげてみる。

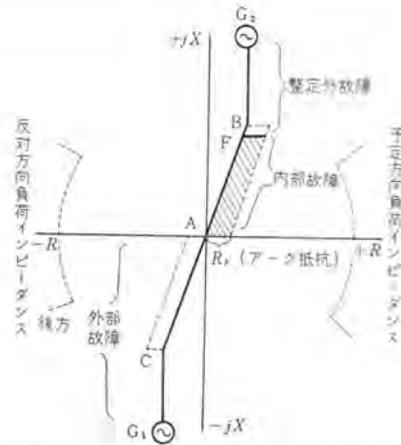


図 2.4 R-X 複素平面座標に表わしたときの一例 (図 2.3 の場合)

表 2.1 各種距離継電器の動作特性表

名称	特性図	備考	名称	特性図	備考
インピーダンス特性		インピーダンス一定 スカラー動作 方向要素	オフセット(変移)インピーダンス特性		インピーダンス特性を変移 またはモー特性をオフセット
オーム特性		インピーダンス一定 ベクトル動作	モー特性		アドミタンス一定 ベクトル動作
リアクタンス特性		オームリレーの一種 $\theta=90$ 度	サセパタンス特性		モーリレーの一種 $\theta=90$ 度
レジスタンス特性		オームリレーの一種 $\theta=0$ 度	コンダクタンス特性		モーリレーの一種 $\theta=0$ 度

図 2.1 のスカラー量を比較した距離継電器の特性は、表 2.1 においては原点を中心とした円特性で示されている。なお、その他の諸特性は、いずれも電圧電流の位相および大きさを対象としたベクトル演算距離継電器の動作特性を示したものである。これらは、それぞれ独自の動作原理にもとづいて開発されたものであるが、要約すると、最終的には位相弁別動作に依存したものとなる。要するに、インピーダンス・リレーが出てから 30 年間の歩みは大小比較を位相弁別比較へと変せんさせた過程であったといえる。

次章で、距離継電器と位相弁別要素との関係を考察してみる。

3. 距離継電器と位相弁別要素

3.1 位相弁別回路を最終要素とすれば、すべての距離継電器はつくられる

一般に、入力電圧、電流を任意に組合せた二電圧ベクトルを作り、その位相差弁別を行なうことによって、任意の距離継電器

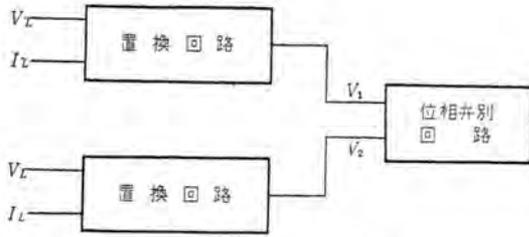


図 3.1 位相弁別回路を最終要素とした距離継電器原理図を作りうる<sup>(2)</sup>。

すなわち、図 3.1 のように、入力電圧  $V_L$ 、電流  $I_L$  を任意に組合せて二つの電圧ベクトル  $V_1, V_2$  を作り、その位相弁別を行えばよい、このことを式で表わすと

$$\dot{V}_1 = k_1 \dot{V}_L + Z_{R1} \dot{I}_L \quad (3.1)$$

$$\dot{V}_2 = k_2 \dot{V}_L + Z_{R2} \dot{I}_L \quad (3.2)$$

また、上式を複素数の形で表わせば

$$\dot{V}_1 = a + jb = V_1 e^{j\alpha_1} = V_1 \angle \alpha_1 \quad (3.3)$$

$$\dot{V}_2 = c + jd = V_2 e^{j\alpha_2} = V_2 \angle \alpha_2 \quad (3.4)$$

となる。

ここで式 (3.3)、(3.4) の商をとると

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{ac + bd + j(bc - ad)}{c^2 + d^2}$$

$$= \frac{V_1 e^{j(\alpha_1 - \alpha_2)}}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} e^{j\alpha} = \frac{V_1}{V_2} \angle \alpha \quad (3.5)$$

ただし、 $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$

いま、 $V_1$  が  $V_2$  より進み位相のとき動作する位相弁別要素を使うとすれば

$$0 \leq \alpha \leq 180 \text{ 度} \quad (3.6)$$

式 (3.6) が成立することは

$$\sin \alpha \geq 0 \quad (3.7)$$

で置換される。

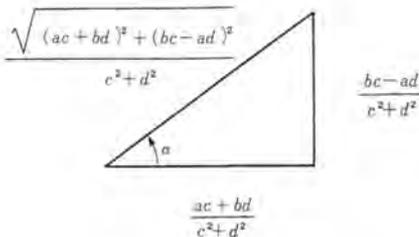


図 3.2 式 (3.8) 説明図

一方、式 (3.5) より、図 3.2 の助けをかりて

$$\sin \alpha = \frac{bc - ad}{\sqrt{(ac + bd)^2 + (bc - ad)^2}} \quad (3.8)$$

を得る。

すなわち、式 (3.7)、(3.8) より

位相弁別要素の動作条件式は

$$bc - ad \geq 0 \quad (3.9)$$

となる。

式 (3.9) の  $a, b, c, d$  を式 (3.1)、(3.2) の  $k_1, k_2, Z_{R1}, Z_{R2}$  で表わせば、

$$k_1 k_2 Z^2 + Z [k_2 Z_{R1} \cos(\theta_1 - \varphi) + k_1 Z_{R2} \cos(\theta_2 - \varphi)] + Z_{R1} Z_{R2} \cos(\theta_1 - \theta_2) \geq 0 \quad (3.10)$$

として、距離継電器の動作原理を示す一般式が得られ、 $k_1, k_2, Z_{R1}, Z_{R2}$  の種々の取り方によって、あらゆる特性の距離継電器が得られることとなる。

詳細は文献 (1) に発表してあるので省略する。

たとえば、モー特性リレーにおいては

$$\left. \begin{aligned} k_1 = k, k_2 = -k, \theta_1 = \theta_2 = \theta_0 \\ Z_{R1} = 0, Z_{R2} = Z_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

を与えて

$$Z^2 - \frac{1}{k} Z \cdot Z_0 \cos(\varphi - \theta_0) \leq 0 \quad (3.12)$$

を得る。

### 3.2 シリンダ形高速継電要素

電磁形の位相弁別要素として、シリンダ形高速継電要素(以下、シリンダ要素と略す)の動作を考えてみる。その外観写真を図 3.3、説明図を図 3.4 に示す。



図 3.3 シリンダ形高速継電要素

図 3.4 において、四極固定子内のわずかのギャップ間を回転するシリンダ部の受けるトルクは

$$T \propto \Phi_{op} \cdot \Phi_{pol} \cdot \sin \alpha$$

$$= K E_{op} \cdot E_{pol} \cdot \sin \theta \quad (3.13)$$

(ただし、 $\theta$  は、 $E_{pol}$  に対して  $E_{op}$  の遅れ角を正とする。

で表わされる。

したがって、「 $E_{pol}$  を基準に考えて、 $E_{pol}$  より  $\theta$  だ

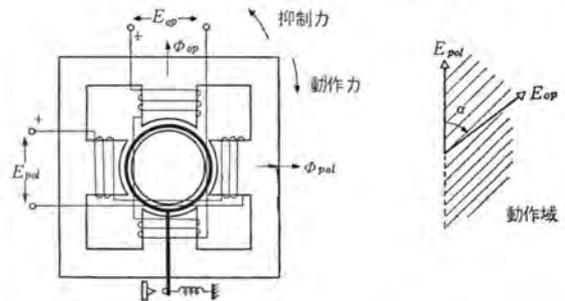


図 3.4 シリンダ形位相弁別要素動作説明図

け進んだ  $E_{op}$  を加えるとき、抑制力となるものとすれば、 $\theta$  が逆に遅れたときは動作力となり、両者の位相が等しいときは動作、不動作の限界点となり、わずかなスラッシングの抑制力を受けることとなる。」以上のことは、シリンダ要素が原理的に式 (3.6) のように  $0 \leq \theta \leq 180$  度の範囲において動作する好適な位相弁別要素であることを示している。

この要素の特長としては

- (a) 復帰特性がきわめてよい。
- (b) 動作スピードが早い。
- (c) 接点状況がきわめてよい。小入力から大入力に至る間、チャタリング、バウンス、反跳などが、実用上、皆無に近い状態である。
- (d) 原理的に過渡的のじょう乱入力に応動しにくい。

などの長所を有する。しかし

- (e) 主要回転部のギャップが狭いため、輸送中のショック

やホリなどに注意を要する。

- (f) バランス、ピーム形のものよりは一般に高価となる。
- (g) 位相弁別特性を良くするため復帰スプリングはあまり強くできないから、取扱いの際、振動とか、傾斜は禁物である。

などの短所もある。

この要素の接点状況を示す例の一例を図3.5に示す。

誘導形継電器の動作スピードは、一般にスプリングの反抗力(A T 積で表わす)の倍数と動作時間 ms との関係で図3.6のように示される。

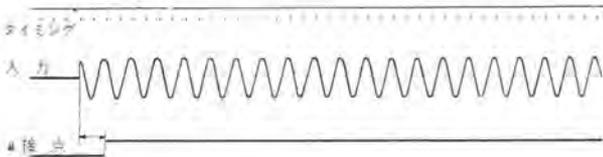


図 3.5 シリンド要素接点状況例

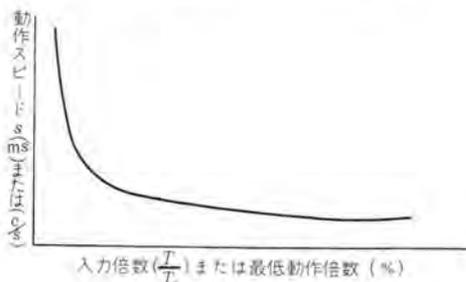


図 3.6 シリンド要素の動作スピード 特性表示例

いま、入力の倍数  $(T/T_0)$  と動作時間  $s$  (ms) との関係式を求めると

$$s = \frac{K_s}{\log_a \left( \frac{T}{T_0} \right)} \quad \dots \dots \dots (3.14)$$

$K_s$  ……比例定数

で与えられる。

このことは、図3.6の時限特性が、反限時定限特性(入力の小さいところでは変化激しく、入力の大きいところでは、変化少ない)となっていることから、対数関数の逆数という形で等価されることを意味する。力学的に考えても、 $l$ の距離を移動する物体が起動回転力  $T$  (抑制力に対する倍率で示せば  $T/T_0$ ) を受けるとき、回転に要す時間は

$$s = \frac{l}{k_s f \left( \frac{T}{T_0} \right)} \quad \dots \dots \dots (3.15)$$

$k_s$  ……比例定数

で与えられることは明らかである。

このように、最終要素のスピード曲線を関数表示すると Digital Computer によるスピード算出などを行なうとき便利となる。

4章、5章において、シリンド要素を位相弁別要素とした距離継電器の実例を述べる。

### 3.3 静止形継電器への動き

前節においては、機械的位相弁別要素を代表するシリンド要素について述べたのであるが、シリンド要素が機械的要素として

は最高性能レベルを保有していても、位相弁別要素に要求される性能がより高度化するにしたがい、以下に述べる静止形継電器の出現が期待されるのである。現段階において静止形継電器といえば、トランジスタリレーをさしているのであるが、以下本節では、機械方式のものと、トランジスタ化されたものとの性能上の差異を説明し、トランジスタ距離継電器の一例を紹介する。

差異の生ずる根本原因は装置の判断部に存在する。すなわち、機械方式のものは電流による磁気作用を利用しており、かつ前節のトルクの式で表現されるように、機械力による演算を行なっているため演算速度は、物質移動速度の範囲であり、トランジスタ内電子またはホール移動速度に及ぶべくもない。またトランジスタには弁作用増幅作用があるから演算回路網で演算した結果の正負いずれであるかだけを対象としてつねに一定出力を得て最終判定要素を駆動しうる。すなわち、駆動力の大半はDC電源より得られる。これに対し機械方式のものはCT、PT二次出力だけが入力として与えられ、この入力の組合せで演算を行ないその出力で判定要素を駆動するものであるから、動作限界付近では動作速度がいちじるしく遅くなるのは宿命的欠点である。また、複数個の判定要素の接点を直列に接続して最終判定要素を制御する従来方式において、あるものは早く動作し、あるものは遅く動作ししかもその応動状態が入力いかによらばらついたのでは、動作協調が確保されない。とくに接点状況の不良、すなわち、接点のチャタリング、バウンス、反跳など機械的要素なるがゆえの欠点は宿命的である。(シリンド要素はこの問題を解決しているが)

これに対しトランジスタ回路網による演算を行なえば、演算に要する所要時間は前述のとおり一定の高速度が確保され、しかも弁作用を利用して所望の論理回路を構成しうるから、従来方式にみられた協調上の問題は皆無となる。たとえば、R-X座標面に示した動作特性が多角形であるというような距離継電器は機械的位相弁別要素を複数個組合せても得られるが、協調上の問題で実際に使用することは不可能である。また従来方式の距離継電器をトランジスタ化すれば、大きさをいちじるしく縮小しうるし、またPT、CTの負担を極度に軽減して、しかも選択性安定性を向上し、高速度化しうる。その原因は前述のとおり判定部分に存在する。定性的には分子と電子の大きさの比が装置全体にひびいているといえる。

一方トランジスタリレーも、トランジスタ自身の誕生がまだ日が浅く、性能の詳細とくに寿命についての研究が十分でないため電力技術者の現段階での常識では、機械的要素のほうが、特性の安定性について信頼度が高い。しかし、常識も実績に基づいて、新陳代謝されるものである。以下ここに、トランジスタリレーの代表としてKKS形矩形特性距離継電器を紹介する。



図 3.7 KKS 形矩形特性距離継電器

図3.7はその外観図。

図3.8はその位相特性図例を示す。

詳細は別に発表する“最近の送電線保護継電器”の稿において述べるゆえ、これを参照されたい。

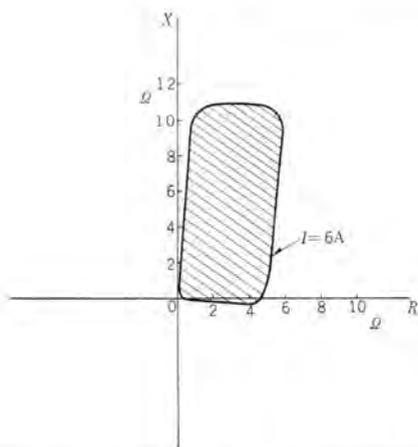


図 3.8 KKS 形矩形特性距離継電器位相特性例

4. 相別距離継電器の例

シリンダ要素を使用した最近の距離継電器の一例として、各相ごとに電圧、電流を比較して距離測定を行ないかつ、方向性を有して方向要素との協調上の欠点がないモ-特性、およびオフセット・モ-特性の距離継電器について、その動作原理、構造を説明する。

なお、本章においては、2.2章の内容を明確にする意味から、「電圧、電流の大小関係を、位相関係に置き換えて動作判定を行なう」原理、位相特性、すなわち、電圧、電流のベクトル関係図、および、モ-特性算出の一方方法などにふれてみる。この形の一例として、KZC 形継電器の外形図を図 4.1、4.2 に示す。



図 4.1 KZC 形距離継電器 (FT 形ケース入)

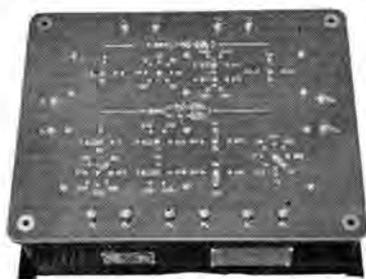


図 4.2 KZC 形距離継電器補助箱

4.1 モ-特性継電器の構造と動作  
その主回路構成は図 4.3 のように、オートトランス AT、空隙付変成器 GT、90 度フェーズシフタ、メモリ回路、直列共振回路およびシリンダ要素から成る。図 4.3 において、 $Z_c$  の整定角  $\theta_c$  と、電圧  $E$  に対する電流  $I$  の遅れ角を等しく取った場合の動作ベクトル三角形を求めると、図 4.4 のようになる。

(a) 電圧だけ印加時  
ベクトル三角形の面積に応じた抑制力を受けている。 $\Phi_{pol}$  に対し、 $\Phi_{op}$  が進んでいるゆえ、式 (3.13) より逆トルクとなる。

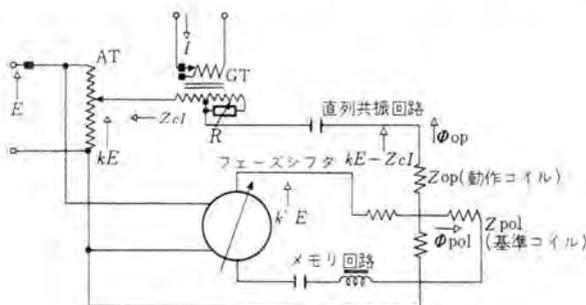


図 4.3 モ-特性リレー回路例

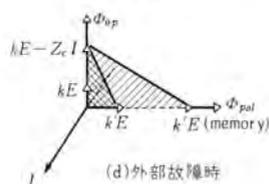
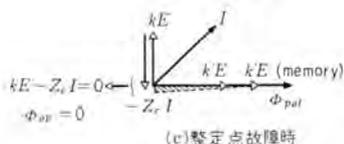
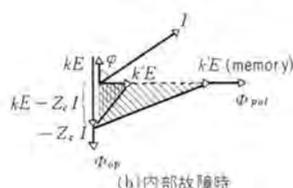
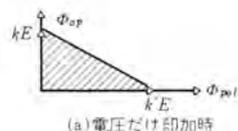


図 4.4 モ-特性継電器動作ベクトル三角形

(b) 故障発生、電圧低下、 $\phi$  だけ遅れた故障電流供給されるとき(整定点以内の内部故障)

ベクトル三角形は反転、式 (3.13) は動作力となる。図中、点線で示す  $kE$  (memory) の部分は、メモリ回路によって故障発生後暫時の間、始めの状態が保たれることを示している。こうして、斜線で示されるベクトル三角形の大きさが、シリンダ要素に加わる入力として、動作スピードを決定することになる。

(c) 整定点故障時

この状態では  $\Phi_{op}=0$  となり、式 (3.13) は零、したがってシリンダ要素の可動部は、つらつら状態となり、わずかのスプリングの力によって動作をまぬがれている点となる。このときには

$$kE - Z_c I = 0$$

$$Z_{Ry} = \frac{E}{I} = \frac{Z_c}{k} \dots \dots \dots (4.1)$$

が成立する。

同じことを (b) の内部故障時に求めると

$$Z_{Ry} < \frac{Z_c}{k} \dots \dots \dots (4.2)$$

(a) で若干電流のあるとき (整定点以遠の外部故障時) は

$$Z_{Ry} > \frac{Z_c}{k} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

と表わせる。

以上式 (4.1), (4.2), (4.3) は明らかに,  $E, I$  の大小関係を一定値  $Z_c$  を介して比較し, けっきょくはシリンダ要素にかかる位相関係に置き換えていることを示す。実際には, (c) の斜線のように若干ベクトル三角形が動作側にできはじめ, その大きさがスラリッの抑制力に打ち勝ったときから初めて動作力だけとなるのである。

(d) 自端背後の外部故障時

モ-特性距離継電器の最大特長は, 方向性を兼備している点にある。このことは, 図 4.4 (d) のような, 外部故障時にベクトル三角形は, つねに抑制力だけの関係にあり, 決して動作力発生との関係にはならないことから理解される。

### 4.2 位相特性算出の一例

図 4.3 において, 整定値を  $Z_c \angle \theta_c$  とし, 電流が電圧よりも  $\varphi$  だけ遅れているものとすれば,  $V_{op}, V_{pol}$  は式 (4.4), (4.5) で与えられる。

$$V_{op} = kE - Z_c I \angle \theta_c - j I \varphi \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

$$V_{pol} = k' E I^{\frac{\pi}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

(遅れ角を正とする)

式 (4.4), (4.5) より

$$V_{op} = kE - Z_c I \cos(\varphi - \theta_c) - j Z_c I \sin(\varphi - \theta_c) \quad \dots\dots (4.6)$$

$$V_{pol} = j k' E \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

式 (4.6), (4.7) より, 3.1 章の  $a, b, c, d$  を求めると

$$\left. \begin{aligned} a &= kE - Z_c I \cos(\varphi - \theta_c) \\ b &= -Z_c I \sin(\varphi - \theta_c) \\ c &= 0 \\ d &= k' E \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

式 (4.8) の条件を, 式 (3.9)  $bc - ad \geq 0$  に代入すると

$$-k' E \{ kE - Z_c I \cos(\varphi - \theta_c) \} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

$$E > 0$$

$k'$  は正の実数

$$\therefore \frac{I}{E} \cos(\varphi - \theta_c) \geq \frac{k}{Z_c} \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

すなわち, 限界点では, アドミタンス一定の特性式となる。式 (4.10) で表わす電流軌跡は,  $R-X$  面に写像すると,

$$Z \leq \frac{Z_c}{k} \cos(\varphi - \theta_c) \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

を得る。

すなわち, 式 (4.11) の結果は, 式 (3.12) と同じものとなる。式 (4.11) を,  $R-X$  座標で示すと, 図 4.5 のように  $Z$  の軌跡は,  $Z_c k \angle \theta_c$  を直径とする円となる。

また,  $R-X$  座標を, 一定電流  $I$  を基準とし,  $\varphi$  だけ進んだ電圧  $E$  を変化させたときのベクトル関係図に置き換えてみると, 図 4.6 および表 4.1 のようになる。

なお式 (4.11) は位相弁別算出法式によらずとも, 図 4.6 の (B) 点の場合より

$$kE = Z_c I \cos(\theta_c - \varphi) \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

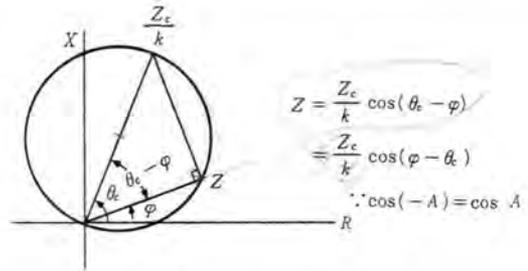


図 4.5 モ-特性位相特性

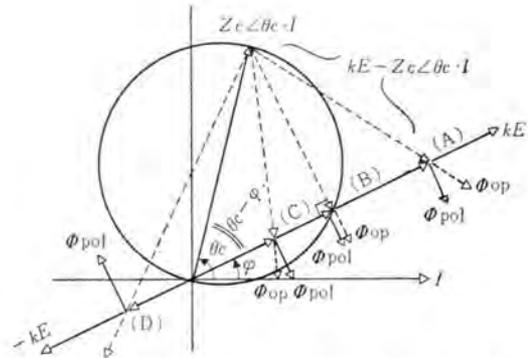


図 4.6  $I$  を一定とし,  $E$  を変えたときの動作ベクトル図 (モ-特性の場合)

表 4.1 モ-特性動作判定表 (図 4.6 の場合)

Case	故障点	$\Phi_{pol}$ を基準として	判定
(A)	整定外故障	$\Phi_{op}$ 進み	抑制
(B)	整定点故障	" 同相	限界点 (critical)
(C)	内部故障	" 遅れ	動作
(D)	外部(後方)故障	" 進み	抑制

$$\therefore Z = \frac{E}{I} = \frac{Z_c}{k} \cos(\varphi - \theta_c) \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

として簡単に求めることができる。

また, Pol 回路にメモリ回路の必要となる理由は, 図 4.4 (b), (d) の場合,  $E=0$  となったとき, 基準電圧  $k'E$  がなくなり, 判定動作が不能になってしまうことから容易に理解される。また数式上も式 (4.9) に示された積の一方の項が零となることから判定不能となることは明らかである。

### 4.3 オフセット・モ-特性継電器の構造と動作

図 4.7 のように, 図 4.3 の Pol 回路にオフセット用の空隙付整定トランス  $GT_B$  を加極性に加えると, シリンダ要素の基準コイル

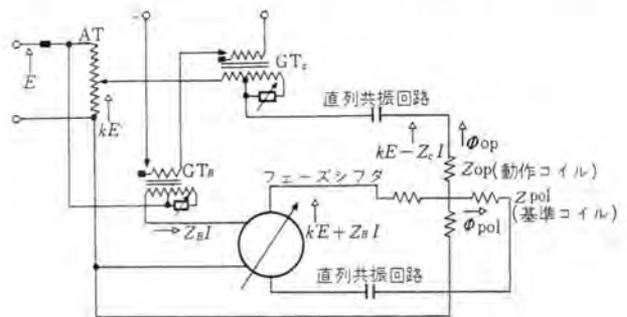


図 4.7 オフセット・モ-特性リレー回路例

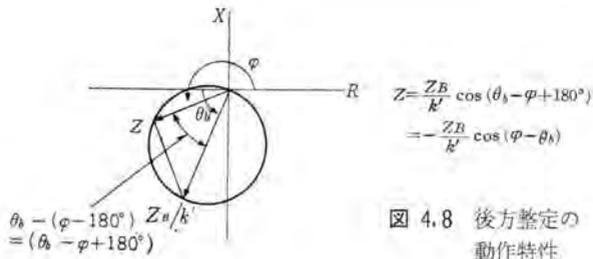


図 4.8 後方整定の動作特性

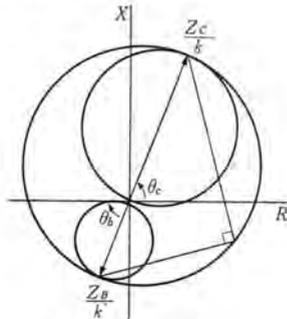


図 4.9 オフセット・モーター特性位相特性

は、 $k'E + Z_B I$  が加わることになり原点を動作域に含み、 $Z_B$  だけ後方にオフセットされた動作特性となる。この場合、かりに前方がないものとするれば、後方のリーチは、

$$Z_{\text{後方}} = -\frac{Z_B}{k'} \cos(\varphi - \theta_b) \dots \dots \dots (4.14)$$

となる。

その場合の位相特性は図 4.8 のようになる。

ここに、前方特性を加味すると、図 4.9 のようになる。すなわち、 $\theta_c = \theta_b$  とすると、新しい動作特性円は、 $Z_c/k$  と  $Z_B/k'$  とを結ぶベクトルを直径とした円で示される、図 4.9 の R-X 座標表示を図 4.6 とどうようにして、一定電流  $I$  を基準とし、 $\varphi$  だけ遅れた電圧  $E$  を変化させたときのベクトルによって書き換えてみると、図 4.10 および表 4.2 のようになる。

つぎに、 $\varphi = \theta_c = \theta_b$  の点におけるベクトル三角形を描いて、(a) オフセットを付加させても、前方限界点に変動のないこと、および、(b) 後方故障に動作域を持つことを説明してみる。

- (a) 後方整定を付加させたときの、前方整定点故障時のベクトル三角形は、図 4.11 のようになる。図 4.11 と、図 4.4 (c) と比較するとき、 $kE - Z_c I = 0$  の限界条件にはならん変化するところはないことがわかる。

- (b) つぎに、後方内部故障時の場合を考えると、ベクトル三

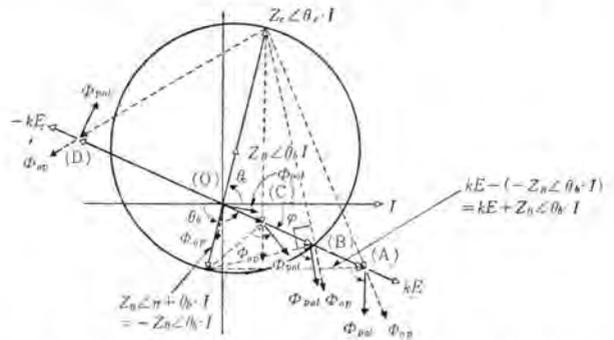


図 4.10  $I$  を一定とし、 $E$  を変えたときの動作ベクトル図 (オフセットモーター特性の場合)

表 4.2 オフセットモーター特性動作判定表 (図 4.10 の場合)

Case	故障点	$\phi_{\text{pol}}$ を基準として	判定
(A)	整定外故障	$\phi_{\text{op}}$ 進み	抑制
(B)	整定点故障	" 同相	限界点 (critical)
(C)	内部故障	" 遅れ	動作
(D)	原点故障	" "	"
	外部故障	" 進み	抑制

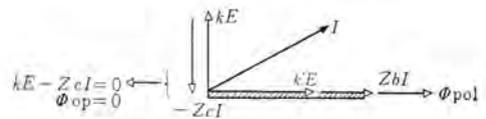


図 4.11 後方整定付加させたときの前方整定点故障時ベクトル三角形

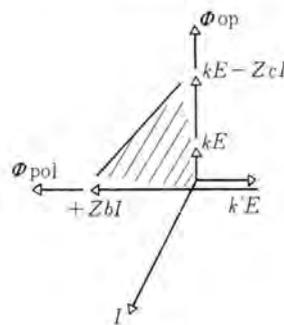


図 4.12 後方整定付加させたときの後方内部故障時ベクトル三角形

角形は、図 4.12 のようになる。

図 4.12 と図 4.4 (d) とを比較すれば、ベクトル三角形は反転し、明らかに動作状態となることが示される。

## サーボバルブ

Wayne B. Lloyd: Servo Valves...The Link between "Mind" and "Muscle" of a Control System (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 4, Sept., 1960, p. 140)

油圧作動系は、ミサイル、航空機やオートメーション化された系などに使用される高精度のサーボメカニズムでますますよく使用されるようになって来ている。油圧作動系は出力が大きく、応答が速く、しかも重量が軽いという特長をもっている。典型的な油圧作動系の主要部は圧油供給装置、トルクモータ、サーボバルブとアクチュエータとから成っていて、アクチュエータへの流量を制御するサーボバルブは油圧作動系の動作を決定づけるもので電氣的制御信号を油圧に変換するものである。アクチュエータは負荷を操作するために油圧と油流を機械的な力に変えるもので種々のものがある。

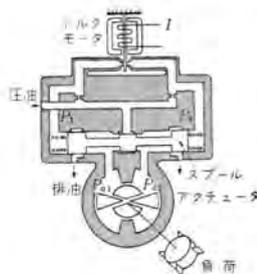


図 1

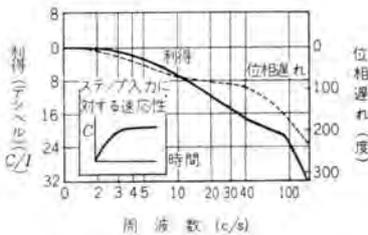


図 3

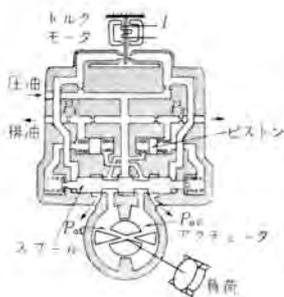


図 2

最近開発されたもっとも有望なものに圧力帰還サーボバルブと圧力デリバティブ帰還サーボバルブとの二つがある。普通のサーボバルブはアクチュエータの負荷が小さいときには満足すべき応答性をもっているが、大きな負荷のときには不安定な系を生じあるいは利得が下がる。実際に小さな誤差で早い応答を得るためには高い利得が必要である。系の不安定はサーボバルブと負荷の動きが入力信号に関して共振するときに起こる。共振はアクチュエータと負荷との間のエネルギー変換によって起こるが、この負荷共振問題は負帰還によって救うことができる。この負帰還を施した新しいサーボバルブが図1に示す圧力帰還サーボバルブと図3に示す圧力デリバティブ帰還サーボバルブである。圧力帰還サーボバルブはトルクモータへの入力電流によりフラップを動かし油圧  $P_1$  と  $P_2$  とに差を生ぜしめスプールを動かしアクチュエータ内の差圧 ( $P_{a1} \sim P_{a2}$ ) で負荷を加速するが、スプールの中央部の断面積を両端部の断面積より小さくすることによりスプールを動かそうとする力と反対向きの力を加えて負帰還を行なわせているものである。この圧力帰還サーボバルブの応答度は早く、レーダ走査機を動かすものはステップ入力電流に対しトルクは 0.0025 秒以内に十分な値となる。またこの圧力帰還サーボバルブの開ル一周波数応答および過渡応答は図2に示すようであって高利得で安定な開ル一周波数応答を作ることができる。この圧力帰還サーボバルブはアクチュエータと負荷の摩擦を低く保つことができる系では機械的に簡単な構造でほとんど

理想的な結果を得ることができるが、負荷の摩擦が大きいところでは満足ではない。これは圧力帰還は入力電流に対する圧力利得を下げるからである。負荷の摩擦が大きいところに圧力帰還サーボバルブを使用できるようにしたものが圧力デリバティブ帰還サーボバルブである。この圧力デリバティブ帰還サーボバルブはトルクモータへの入力電流によりフラップを動かし油圧  $P_1$  と  $P_2$  とに差を生ぜしめスプールを動かしアクチュエータ内の差圧 ( $P_{a1} \sim P_{a2}$ ) で負荷を加速するが、このアクチュエータ内の圧力をピストンに加えてスプールを動かそうとする力と反対向きの力を加えて負帰還を行なわせているもので過渡的なまたは急激な圧力の変化があるときだけ圧力帰還がきく。したがって定常時の圧力利得は大きく、またステップ入力電流に対する応答度も圧力帰還サーボバルブと同等である。

これらのサーボバルブの油量は供給油圧 210 kg/cm<sup>2</sup> までで1分間 0.0038 m<sup>3</sup> までである。固定オリフィスの穴は 0.15 mm、フラップノズルの穴は 0.76mm、フラップとノズルとの間隙は 0.025 mm である。フラップを動作させるに必要な入力力は 2,500 Ω のコイルで 5 mA である。  
(神戸製作所 渡辺 宏訳)

## 直流—交流 半導体逆変換装置

E. J. Duckett: DC to AC Power conversion...by Semiconductor inverters (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 6, Nov., 1960, pp. 170~174)

将来、新方法で熱エネルギーを直接電氣的エネルギーに変換する形式はすべて直流電力の形が有力である。こうした状況下において半導体整流素子を使った逆変換装置の将来性が有力視されることはまことに注目に値する。

従来の逆変換装置には M-G セット、イグナイトロン逆変換器があり、さらに パワートランジスタ、トリニスタを使った半導体逆変換装置が軍用のミサイル、潜水艦をはじめ工業用としては周波数変換器、高周波キヤライト電源、新形モータ、新形式の交流電源などに使われようとしている。トランジスタ、トリニスタともに本質的には同一方式で電力変換を行なうが、パワートランジスタは真空管と同一作用、トリニスタはサイラトロンと同一動作を行なう。逆変換装置の大電力用にはトリニスタが利用される。パワートランジスタを使ったものは 10kW 20 キロサイクルまで、トリニスタはそれ以上のものに使われ、現状では約 60kW 20 キロサイクル、小形軽量のものが実用されている。両者の整流素子は将来図1のように発達するであろう。すなわちトリニスタは 1,000 V 1,000 A/in<sup>2</sup> の電流密度のものが製作されるとみている。静止形インバータは 1959 年には 10 kW、1960 年には 75kW となり、将来は図2のように発達するとみなされている。また M-G セットに比較しての重量は図3のようであり、大約 1/2 の重量といえる。外形寸法も M-G セットの 1/2 程度であり、効率も 10~1,000 kVA のもので 78~90%、そのとき M-G セットは 75~88% である。さらに逆変換器は電力発生にイナーシャがない点すぐれているが逆に過負荷、過電圧などで永久破壊する不利点がある。本文中には逆変換器の単相、三相回路図が示されている。また各種インバータの kW あたりの価額の比較が検討されている。むすびとして研究、開発の努力が大形、大容量のものに向けられているため数年たらずして半導

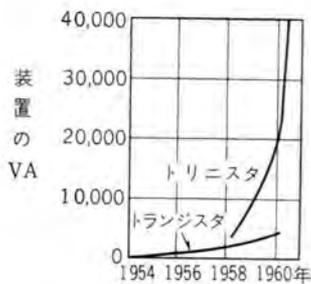


図1 制御電極付整流素子の発達

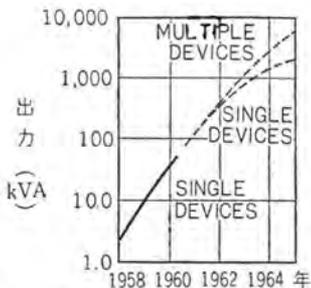


図2 電力用インバータの発達

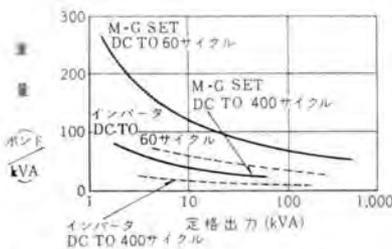


図3 重量一定格出力関係曲線

体逆変換装置は 10,000~100,000 kW 級のものが出現するであろうと筆者はのべ、そのときには トリニスタ 1 個の価額が問題となり、在来のいずれの方式のものよりも低廉なる、小形、軽量の逆変換装置ができるといっている。その発達速度は急速であって定格出力容量の増大と応用分野の拡張がめだつことであろうとむすんでいる。(伊丹製作所 加藤又彦訳)

## 電子管か半導体素子か

E. E. Scheneman and S. K. Waldorf: Shall an electron tube or a semiconductor device be used (Transaction Paper 60~74)

電子管は広く各種の応用に使われており、いまもお利用されつつある状況であるが他方半導体素子も新しく抬頭してきた。この両者の選択にあたり、各種の要素により設計上いかにあるべきか迷うことがある。本文はこの間の問題の一つの解答を与えたものであり、両者の特性の比較表を示し、一般的考察の手引としている。ある種の応用への適用上電子管にすべきか、半導体素子にすべきかの決定に際してはその価額、市場性、組織、

保守ならびに表1記載の各項目にもとづいて実施する。しかし次の事項は留意すべきである。

- (1) 半導体素子は陰極ヒータが不要。
- (2) ある種のものでは低電圧でよく動作する。
- (3) ダイオードは 0.1g、トランジスタは 0.3g の小重量で耐震性にとんでいる。

他方電子管にもこれに比する諸特性がある。すなわち

- (1) 高電圧での整流、変換作用がある。
- (2) 真空管内の内部抵抗値が大きい。

などである。

しかし両者の選定の关键是用途の目的、使命によって適用上の良否を設計当時の技術的内容を背景にして決められるべきであるとして、二、三の選定具体例をあげている。その一つが電力系継電器の搬送装置である。この場合半導体素子を使ったときの小形軽量化、損失の軽減、またトランジスタの低インピーダンス特性を利用しての効果などをのべついで寿命の問題にふれ、3,200,000 個 1 時間のトランジスタでただ 1 個の不良が出たにすぎないことをのべている。さらに軍用の例をあげている。そのうちでは電子管と半導体素子とでは大きさ、重量、消費電力の点で表2のような差異のあることを示している。(伊丹製作所 加藤又彦訳)

## 275,000 kW 原子力発電所用タービン発電機の船積み

What's New in Engineering (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 3, May, 1960, p. 95)

下の写真は Consolidated Edison Company の Indian Point, N.Y. の 275,000 kW 原子力発電所に据付けられるタービン発電機で、Hudson 河を渡るために貨車から船に積み変えられているところである。

固定子部分は 204 トンで New York 港の浮ドリックがつつたものでは最大重量のものである。

この固定子は New York 市の 38.6 km (24 マイル) 北で Hudson 河の東岸 Westchester 郡にある Indian Point に向け Jersey City から積み出された。(長崎製作所 志岐守哉訳)



表1 電子管と半導体との比較表

比較内容	半導体素子		電子管	
	ゲルマニウム	シリコン	真空管	ガフ管
温度条件	シリコン温度 -65~85°C	シリコン温度 -65~165°C	シリコン温度 -65~500°C	-55~90°C
使用高度制限	なし	なし	海上 80,000 フット	
相対湿度	0~100%	0~100%	0~100%	
駆動	30g 20~2,000 サイクル/秒		同 左	
耐ショック性	40g 10ms		500g/1ms	
熱的ショック	0~100°C		同 左	
入力抵抗	10~5×10 <sup>3</sup>	10~5×10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup>	
入力インピーダンス	10 <sup>3</sup> ~1	同 左	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>3</sup>	
出力	1~5×10 <sup>3</sup>	同 左	1~5×10 <sup>3</sup>	
最大電力ゲイン (db)	40	40	70	
最大電流ゲイン (db)	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>		
陰極加熱電力	—	—	5×10 <sup>-2</sup> ~5×10 <sup>2</sup>	
プレート or コレクタ電圧	10 <sup>1</sup> ~2×10 <sup>2</sup>	同 左	12~10 <sup>3</sup>	
プレート or コレクタ電流	10 <sup>-3</sup> ~12	10 <sup>-3</sup> ~10	16 <sup>-6</sup> ~1	
増幅作用周波数	0~5×10 <sup>3</sup>	0~10 <sup>4</sup>	0~10 <sup>10</sup>	
Max. P. I. V.	4×10 <sup>2</sup>	2×10 <sup>2</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	2×10 <sup>4</sup>
遊星電 (A)	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-2</sup>	0	0
最高直流電圧	2×10 <sup>2</sup>	1.5×10 <sup>2</sup> 1.5×10 <sup>3</sup> (シリコン)	7.5×10 <sup>1</sup>	10 <sup>4</sup>
最高平均出力電流	500	300	1	700
最高電力効率 (%)	99.9	99.9	98	99

表2

比較項目	電子管形	半導体素子形
重量 (g)	359	197
大きさ (in <sup>3</sup> )	14.3	13.8
消費電力 (W)		
B-ヒータ	2.38	1.46
B-ヒータ	3.25	1.47
陰極ヒータ	8.45	—
合計	14.08	2.93

## ■ モロエレクトロニクス 実を結ぶ

電子装置の小形化はあらゆる産業で非常に興味ある問題として注目されてきている。昨年来、とくに小形化の代表的存在としてモロエレクトロニクスが取りあげられてきたが、当研究所でその研究の中間発表を2月20日に行なった。発表された機能ブロックは次のようなものである。

### 1. オーディオプリアンプ

2段増幅器で入力および出力インピーダンスはそれぞれ300 k $\Omega$ , 600  $\Omega$ 。電源は6~9 Vで動作し、周波数領域は50~20 kcにわたって平坦である。電力利得は約30 db, Hi Fiなどのプリアンプとして利用する。

2. 電力増幅器で入力および出力インピーダンスは、それぞれ600  $\Omega$ , 100  $\Omega$ で、電源は12~20 V、周波数域は50~30 kcにわたり、電力利得は45 dbで最大無歪出力は5 Wであり、寸法は放熱の関係で従来のシリコントランジスタの容器におさめてある。図2, 3, 4は、プリアンプと電力増幅器を組合せたときの特性の一部である。

### 3. 移相発振器

正弦波の発生法として半導体回路網で利点となる分布回路を利用して小形の発振器を試作した。電源電圧は6~20 Vで出力は15 V 発振周波数は10 k~100 kc。

### 4. 同調発振器 (タンク回路)

半導体によるインダクタンスを使って偏位電圧によって負性抵抗の調整が可能になるようにしたもので、同調タンクの回路としても正弦波発振器としても利用できるようにした。必要電源は1.5~9 V、電流は1~3 mAで、1 mA以下ではタンク回路となる。出力電圧は2.5 V以下で発振周波数は200 k~1.5 Mc。

### 5. 鋸歯状波発生器

弛張振動を使ったもので電源3~100 V、出力電圧100 V以下、周波数は1,000~500 kcで光テレメータとしても十分使用にたえる。

### 6. マルチバイブレータ

矩形波発生器で電子計算機で主要な部分を占める装置である。電源電圧9 V、出力8 V、繰り返し周波数30~200 kc。

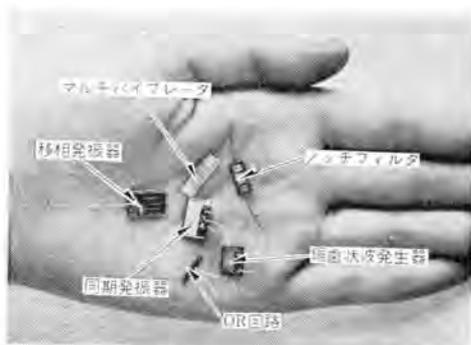


図1 モロエレクトロニクス

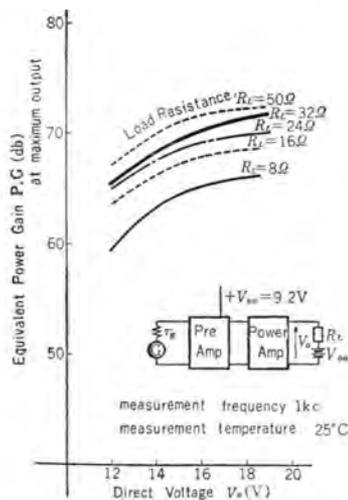


図2 Pre amplifier and power amplifier P.G. vs  $V_o$ .

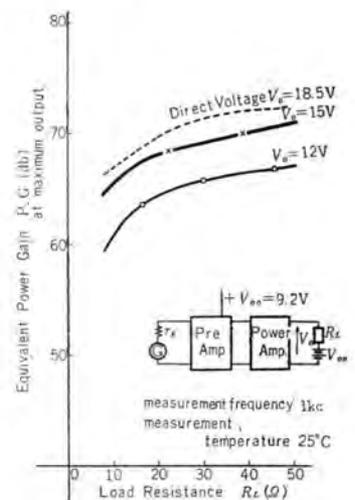


図3 Pre amplifier and power amplifier P.G. vs  $R_L$ .

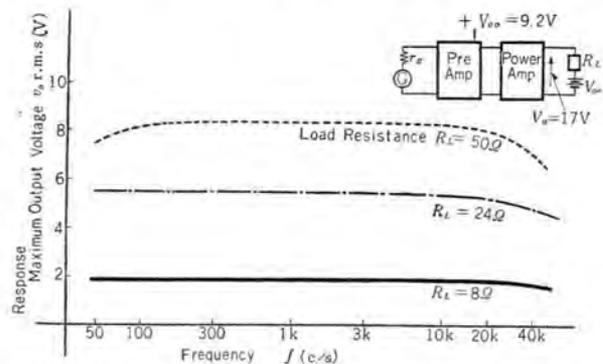


図4 Overall frequency characteristics of audio amplifier Pre amplifier and power amplifier.

### 7. OR 回路

これも計算機回路としてなくてはならないもので、入力3点のものを作った。電源+5, -5 V、入力電圧+5 V、出力+5 V、周波数は1 Mcまで動作する。

### 8. ノッチフィルタ (狭域フィルタ)

これも半導体分布 CR 素子を利用したもので、偏位電圧1.5~9 V null 周波数 ( $f_0$ ) 200 k~2 Mcで最大減衰度は40 db、これは選択性増幅器や IF に使えるものである。

## ■ 関西電力・読書第二発電所竣工

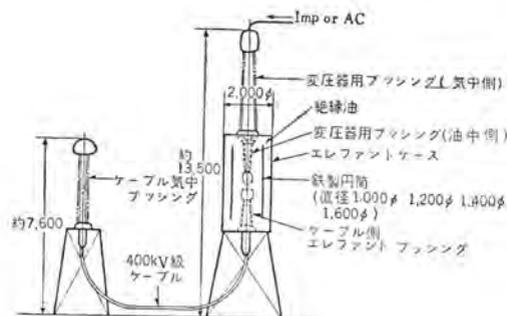
木曾川水系最大の出力を誇る読書第二発電所は昨秋工事を完成し営業運転にはいったが、去る2月3日同発電所の竣工祝賀会が開催され当社から大久保常務取締役ほかが参列し盛会のうちに式典を終わった。

同所の主要機器はすべて当社および新三菱重工の製作になるものできわめて良好な成績をもって運転を続けていることは慶

質に耐えない

同発電所の機器の概要は

- 水車 立軸フランシス, 75,000 kW × 1  
使用水量(最大) 73 m<sup>3</sup>/s  
有効落差(最大) 112.16 m
- 発電機 立軸カサ形, 回転界磁閉鎖風道循環形  
80,000 kVA × 1 13.2 kV  
60 c/s PF 90%, 200 rpm 36 P
- 変圧器 三相送油風冷式  
80,000 kVA × 1 12.6/154 kV △-Y
- 配電盤 遠隔制御, 一人制御方式



読書第二発電所ダム

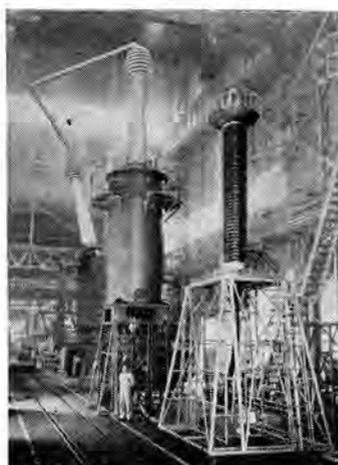
### ■ 400 kV エレファントブッシング完成

エレファントブッシングに関しては、各方面で研究が進められ、当社においても先に住友電工、古河電工の両社との共同研究にて、絶縁階級 70 号の油中断路器付エレファントブッシングの製作に成功したが、今回ふたたび、将来の 400 kV 以上の送電に対処して昨年初めより住友電工と共同で 400 kV 級のエレファントブッシングの研究に着手し、本年 1 月、間接方式(ケーブル側エレファントブッシングと変圧器ブッシングを油中で独立した接続箱中で接続する方法)による試作を完成した。

構造ならびに配置は、写真および図に示すもので、これに使用したケーブルは 500 kV 級単心 400 mm<sup>2</sup> 高油圧 OF ケーブルで、ケーブル側エレファントブッシングは、コンデンサ・コーンの採用とストレス・コーンの併用により、沿面電界を有効に制御している。また

油中貫通ブッシングとしては、当社の標準構造の中心縮付方式による油入密封コンデンサ 400 kV の標準変圧器用ブッシングを使用し、ケーブル側エレファントブッシングとの接続は、チュリッパコンタクト方式を採用した。本器に対する試験は、衝撃耐電圧(1 × 40) μs 1,900 kV 商用周波耐電圧(乾燥) 750 kV

その他、油中コロナの発生状況の測定、加熱劣化促進試験、およびエレファントケースの内径と閃絡電圧の関係な



ど、各種試験を実施する。

### ■ 過渡現象解析器用同期スイッチ

—— 交流計算盤に新偉力 ——

電力系統や機械系・熱系などの過渡現象の計算は、もともと複雑であるが、とくに鉄の飽和・アレスタの動作・コロナ放電現象などの非線形要素をふくむ系の計算はとうてい筆算では不可能である。

このような場合に計算機が用いられることは、現在ではほとんど常識となっているが、交流計算盤の構成素子であるインダクタンス・キャパシタンス・抵抗などの受動素子を用いた過渡現象解析器と同期スイッチとを組合せたいわゆる同期スイッチ式アナログ計算機は、高速度形のアナログ計算機であって、電力系統の解析にはとくに適している。

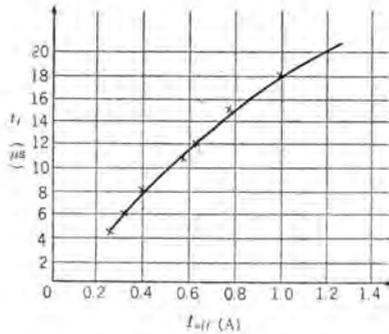
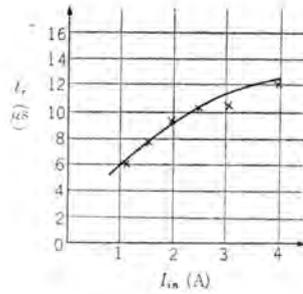
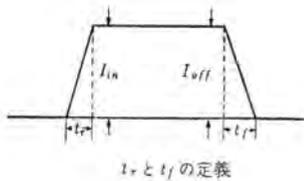
今回製作した同期スイッチは写真に示すように、従来のものをさらに、高性能にし、使いやすくしたものであって、姉妹品は関西電力技術研究所に納入されている。

ここに、紹介する同期スイッチは、機械的接点(Hg wetted スイッチ)を用いたものであって、その性能はつぎに示すとおりである。

電子管式同期スイッチの性能

電 流	5 A	(連続)
電 圧	500 V 以下	
開 閉 容 量	250 VA 以下	
抵 抗	25~40 mΩ	
動作周波数	毎秒 60 回以下	
寿 命	10 <sup>4</sup> 回以上の開閉に耐える	





トランジスタ  
スイッチの特性

動作時間のバラツキ 0.1 ms 以下  
同期周波数 任意  
スイッチ位相 0~360度連続

なお、この装置は現在全部半導体化されておりその特性は図のとおりである。

## ■ 単相コンデンサモートル SL-R 35 W, 65 W 4 P の開発完了

先に生産を開始した 鋼板フレーム製分相起動単相モートル SP-R 35 W, 65 W 4 P に引続いて、このほど同出力の 鋼板フレーム製単相コンデンサモートル SL-R 35 W, 65 W 4 P の開発を完了し、近々生産開始の運びとなった。

この 35 W, 65 W の 小形単相モートル は事務機械、自動制御装置、ファン、ブロウ、その他各種の小形機械など広い用途をもち、最近とくに需要が高まってきているが、このコンデンサモートル SL-R 形は 分相起動形モートル SP-R 形と異なる下記の数々の特長を有し、この分野でのいっそうの活躍が期待できる。

### 特長

1. モートルの性能がよい。
  - a. 全負荷電流は SP-R 形より 30~40 % 減で、非常に少なく、効率、力率も良好である。
  - b. 二相モートルに近い円滑な回転磁界で運転されるから運転時の騒音振動が少ない。
  - c. 起動電流は SP-R 形の 1.2~1.3 程度できわめて少なく、またコンデンサモートルの唯一の欠点である 起動トルク もこの SL-R 形ではとくに大きく設計され、100~120 % 程度になっているから通常の場合実用上十分満足される。



(左) SL-R 形 35 W 4 P (右) SL-R 形 65 W 4 P  
各 100 V 50/60 c/s 用

2. 保守がきわめて容易である。
  - a. 起動スイッチ不要のため、発生しやすい故障の原因や摩耗部分がなく、ほとんど保守点検の必要がない。また分相起動形と異なり拘束状態においても焼損事故に対する耐久力がはるかに強い。
  - b. 引火性の強い気体が存在する事務用機械でも、起動スイッチがないためその接点火花による事故の心配がまったくない。
3. きわめて小形軽量である。
  - a. 外形寸法は NEMA 42 フレーム に準じて作られ、同出力の 国産標準モートル のうちでもっとも小形化されている。
  - b. フレーム は鋼板製で軽量にできている。
  - c. コンデンサ は反負荷側でモートル に内蔵され、コンパクト な構造になっている。

### 外観

写真は SL-R 形 35 W, 65 W 4 P の外観を示す。なお顧客のご希望によってはコンデンサをモートルから放して別置すること、またモートル取付足を防振構造のものにした SL-S 形の製作にも応ぜられる。

## ■ NL-105, 155 形 ラッチ式電磁接触器

標準交流電磁接触器 N-105, 155 形にラッチ機構を付加した NL-105, 155 形ラッチ式交流電磁接触器を開発した。

これは標準の N 形電磁接触器に 機械的ラッチ と引はずし コイル部分 をつけ加えたもので、押しボタン操作により主コイルを励磁し主接触子を投入させ、機械ラッチ をかけ「閉」状態を保持させ、同時に主コイルの励磁を切るようにしたものである。

「開」動作は引はずし用電磁石を別の押しボタンで励磁しラッチを引はずして主接触子を開く。



この接触器は主回路「閉」のばあいでも操作用電磁石が開放されているため、電磁石に起因する「うなり」を発生しないので騒音をきらう場所への使用に適し、また操作用電磁石に消費する電力が節約できる特長がある。

定 格

形 記 号		NL-105	NL-155
主回路	最高許容電圧 (V)	600	600
	定格電流 (A)	100	150
主操作電磁石入力瞬時 (VA)		1,200	1,500
引はずし電磁石入力瞬時 (VA)		1,100	1,100

■ 新しく「三菱膨張形救命いかだ MTB 形」  
3種が運輸省船用品の型式承認をうけた

船舶の救命具として膨張形救命いかだの採用が、最近とくに多くなり当社の膨張形救命いかだは各方面の好評をえているが、このたび三菱膨張形救命いかだ MTB 形が乙種膨張形救命いかだとして、わが国で最初の型式承認が認許され、運輸省告示第34号（昭和36年1月31日）により告示された。

この救命いかだは運輸省船舶局長通達による「船舶検査心得」の乙種救命いかだに該当するもので、国内航海に従事する船舶および国外航海に従事する 総トン数 500 トン未満 の非放客船にとり載することができるものである。

その概略仕様および製品写真はつぎのとおりである。

形 式		MTB-13 形	MTB-19 形	MTB-25 形
定 員		13 人	19 人	25 人
標準寸法	外 径 (mm)	約 2,900	約 3,400	約 3,800
	内 径 (mm)	約 2,300	約 2,700	約 3,100
	気室直径 (mm)	約 300	約 360	約 360
甲板面積 (m <sup>2</sup> )		5.1	7.2	9.4
全 浮 力 (kg)		2,000 以上	2,500 以上	3,200 以上
全重量 (付属品を含む) (kg)		約 55	約 66	約 78
運輸省船舶局型式承認番号		第 1397 号	第 1396 号	第 1395 号



MTB 形  
救命いかだ  
および備品

■ 飯野ビルに高出力ケイ光灯多数納入

昨年末完成した東京港区にある飯野ビルは、床面積 76,000 m<sup>2</sup> 地上 9 階、地下 3 階の マンモビル であるが、ここに照明界の先駆者 三菱高出力ケイ光灯が多数納入された。高出力ケイ光灯は昭和 32 年に業界の トッパ を切って当社が発売したが、以来か



事 務 室  
110 W 1 灯  
2 連器具



食 堂  
60 W  
4 灯器具



地下廊下  
110 W  
2 灯器具

ずかずの実績を納め、好評中に今回の大量納入となったもので、わが国ではもちろん最大の 高出力ケイ光灯照明施設 である。使用した 高出力ケイ光灯ランプ数 6,610 本 (110 W : 3,150 本 80 W : 448 本 60 W : 3,012 本) で、ビル の大半を占める一般事務室を始め食堂、廊下、手洗所など サービスエリア にも使われている。写真はその一部である。

■ 神戸製作所に大形旋盤設置

最近機械のユニット 容量増大化 につれ、シャフト、フレーム、ブランクなどの巨大な部分を精密に加工することが必要となり、今回、大物工場に Waldrich Siegen (ワールドリッヒ シーゲン) 大形旋盤の据付けを完了し稼働を開始した。

主仕様

最大スイング	3.6 m (ベッド上)
最大スイング	3.0 m (サドル上)
心間最大距離	14.5 m
加工物最大重量	100 トン (心間) 150 トン (振止併用)
主電動機	125 kW (ワードレオード駆動)
刃物台	2 個
回転数	0.25~60 rpm (無段変速)
総重量	240 トン

本機は大形・重荷重の加工物 (ロータ・シャフト) を重切削しうるだけでなく、その加工精度がとくに高く、今後大形化して行く水車発電機・タービン発電機・ミル用主電動機などの加工に大いに貢献するものと期待されている。





扇風機の首振旋回安全装置

考案者 柘植 恵

この考案は、首振旋回する天井扇が外力で強制的にその首振旋回運動が阻止された場合に、首振旋回機構を自動的に遊動させて電動機の回転軸ならびに首振旋回機構に無理な力が加わらないようにした首振旋回安全装置に関するものである。

図1に示すようにこの考案の天井扇は、旋回杆(4)が動力伝達歯車(10)(12)を介し電動機(8)で駆動され、これが中心支軸(1)を中心に回転することによって旋回運動が与えられ送風を行なうものであるが、外力でその首振旋回運動が阻止された場合、電動機あるいは首振旋回機構の損傷を防止するために電動機(8)より旋回杆(4)に伝達される回転力を次のようにして遮断し、旋回運動を停止させる。

すなわち、図2、3に示すように旋回杆(4)は、動力伝達歯車(12)の軸(11)の平面(A)(A)を弾性的に挾持する板バネ(14)(14)によって軸(11)に連結されているので、外力で天井扇の旋回運動が阻止されると軸(11)は板バネ(14)(14)に

抗して滑動し旋回杆(4)への動力の伝達を遮断する。

したがって、天井扇の旋回運動は自動的に停止され首振旋回機構を遊動することになり、外力によってこれに無理な力が加わるのを防ぐ。従来、このような安全装置は電動機内に組込まれていたため、組立、分解修理、点検などにきわめて多くの手数を要していたが、この考案の首振旋回安全装置は軸(11)の外端部に設けられているので前記従来の欠点をすべて解消することができ、また旋回杆(4)への動力伝達、遮断が確実に行なわれるので電動機ならびに首振旋回機構をいっそう確実に保護しうるものである。

(実用新案登録第 495276 号) (藤田記)

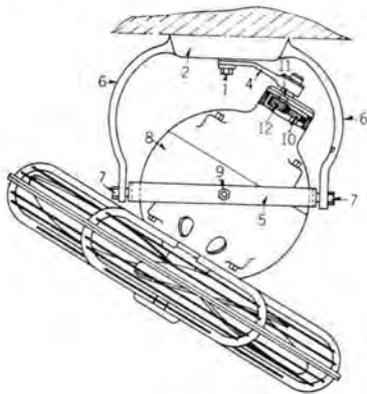


図 1

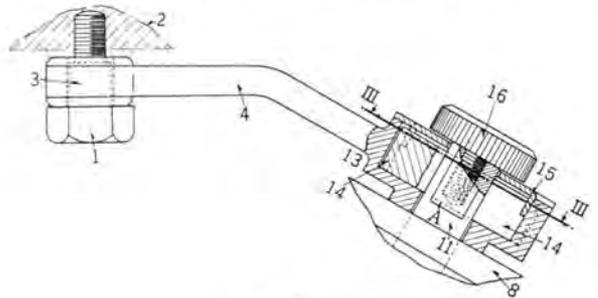


図 2

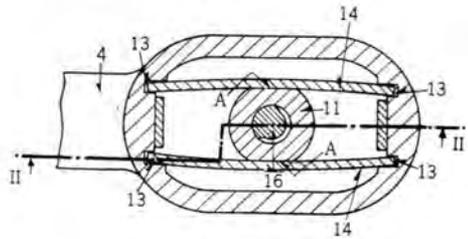


図 3

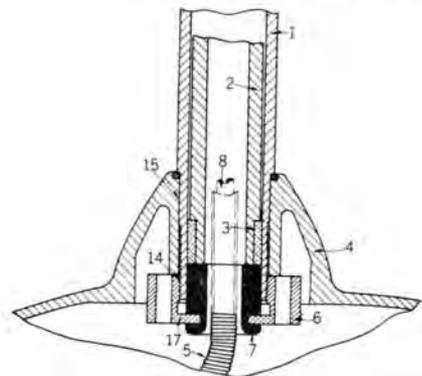
スタンド扇風機の支柱

考案者 吉村 宏

この考案は、図に示すように締付ナット(6)により基台(4)に固定された支柱管(1)に内側管(2)を挿入しその挿入量に応じて扇風機の高さを調整するようにしたスタンド扇風機に関するもので、締付ナット(6)の環状突出部(17)に緩衝座(7)をはめ込み、この緩衝座(7)によって、内側管落下時における衝撃荷重の緩衝、および内側管(2)を抜差する際にスベリバネ(5)を被覆した電源コード(8)がしゅう動することにより生ずる不快なしゅう動音の消音、ならびに電源コード損傷の防止を行なう。

このようにこの考案は、締付ナット(6)とこれにはめ込まれた緩衝座(7)とによって、支柱管(1)の基台(4)に対する固定、内側管落下時の衝撃防止、ならびに電源コードのしゅう動音発生防止などを一挙に解決することができるので、従

来のものに比し構造が簡素化され、組立がきわめて容易になる。(実用新案登録第 495024 号) (藤田記)



最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
35-12-1	電気通信学会誌	モレキュラエレクトロニクス	大久保利美	研究所
"	応用機械工学	数値制御による穿孔位置の自動定位装置	渡辺文明	無線機
"-12-12	工業材料	強電、家庭電器用成型品	石黒克己	研究所
"-12-13	エレクトロニクス	モレクロナクス	菅野正雄	研究所
"-12-17	Radioisotopes	照射機の最近の進歩	菅野正雄・今村元	研究所 MAPI
"-12-22	自動制御技術	オフコン自動最適制御装置	福永圭之介	研究所
"-12-23	応用物理	Mgo 冷陰極におけるパルス電流の立上り	秦卓也・岡田武夫	研究所
"-12-25	産業機械	三菱M-36D形磁気選別機について	青木伸一	
"-12-26	電気四学会連合大会講演	同期機の三相短絡電流について	柳下儀兵衛	大船
36-1-5	電気学会時報	ミル用直巻電動機の新逆転制御方式	甲斐高	長崎
"	"	順逆変換器の応用上の一考察	加藤又彦	伊丹
"	"	電子管か半導体素子か	"	伊丹
"-1-10	応用物理	分解排気工程の酸化物陰極におよぼす影響	立原芳彦・秦卓也	研究所
"-1-11	高分子	橋かけ高分子における半自由容積理論	小坂橋正康	研究所
"-1-13	電気学会時報	ジナード使用の高精度スケール拡大計	柴山恭一	研究所
"	"	大容量半導体整流器の検討	加藤又彦	伊丹
"-1-14	電気四学会連合大会講演	5,800 kW 2極誘導電動機について	"	伊丹
"	"	350 kVA キヤンドモータポンプの製作	片山仁八郎・甘粕忠男	長崎
"	"	回転子回路に半導体整流器を含む誘導機の特性について	"	長崎
"-1-19	オーム社	半導体整流器利用の電力用逆変換器	新良山幸	長崎
"-1-20	電気三学会専門講習会論文集	工作機械の数値制御	加藤又彦 馬場文夫	伊丹 無線機

最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題名	講演者	所属場所
35-10-26	東京・家の光会館	ダイヤックスとその応用	松元雄蔵	無線機
"-10-25, 26	中国地方電力利用合理化委員会	多種少量生産と標準化	前田幸夫	本社
"-10-27, 28	規格協会	QC 部課長セミナー	前田幸夫	本社
"-10-28	電気四学会	無接点継電器による総括制御	藤井二郎	長崎
"	"	レクティブードライバモータについて	石橋賢悟	長崎
"	"	10,000 kVA 自動タービン発電機の現地試験について	甲斐高	長崎
"-10-29	能率協会	WF 導入後の問題点	奈川敏雄	本社
"-10-30	東発大阪支店	東発向け電装品について	市村武	姫路
"-12-2	電気通信学会	種々の導波管 ハイブリッド回路	立川清兵衛	研究所
"-12-3	真空協会	オメガトンによる残留ガスの分析	藤永敦	研究所
"-12-9	東北大伝送工学研究会	広帯域 マイクロ 波円偏波発生装置	喜連川隆	研究所
"	格子欠陥談話会	最近における CdS の諸問題について	伊吹順章	研究所
"-12-12	電気通信学会	航空機用 VHF 埋込み形 アンテナ	武市吉博	研究所
"	大阪工業会	MELCOM についての新しいプログラム	吉江高明・菅忠義	研究所
"-12-14	TV 用電子管研究委員会	多電極を有するトリ、カラービジョン(文献紹介)	中子陸夫	研究所
"	固体内光電子に関する研究会	CdS の電場発光と光起電力	伊吹順章	研究所
36-1-8	数理科学研究委員会	MUSE-SYSTEM について	菅忠義	研究所
"-1-9~14	町村会館	品質管理と標準化 セミナ	久田義八	福岡
"-1-19	規格協会関西支部	標準化と社内規格	松尾準一	本社
"-1-15	電子計算機研究専門委員会	MELCOM-1101 Digital Computer の命令について	嶋村和也	無線機
"-1-16	通信学会オートマント自動制御研究専門委員会	精密速度差測定について	松元雄蔵・竜田直紀	無線機
"-1-17	信学会情報理論研究専門委員会	位相同期復調方式における最適フィルタ	小林信三	無線機

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3番地(東京ビル内) (電) 和田倉(201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電) 東京(211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電) 東京(211) 代表 1261・1271・1281
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル3階)(電)東京(211)代表2511
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電)大阪(34)代表5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り(電)本局(23)代表6231
福岡営業所	福岡市天神町58番地(天神ビル内) (電)福岡(5)代表6231
札幌営業所	札幌市大通り西1丁目13番地 (電)札幌(3)代表9151
仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電)仙台(2)代表6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電)富山(2)0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電)中(2)2211
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル) (電)高松(2)代表4416 ビル直通5021
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電)小倉(5)8234
静岡出張所	静岡市呉服町2丁目1番地(電)静岡(2)2595(3)2962
金沢駐在員	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3)6213
岡山駐在員	岡山市内山下30番地(佐々木ビル)(電)岡山(3)2948
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目(電)兵庫(6)代表5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地(電)長崎(3)代表3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73)1531
静岡製作所	静岡市小島110番地(電)静岡(3)0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場(電)中津川10・54・226
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3)代表1275
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)福岡(4)代表1568
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山代表2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)姫路代表6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船(電)大船(067)代表2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414)代表8111
郡山製作所	福島県郡山市境橋町1番地(電)郡山1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地(電)伊丹代表4736
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414)代表8111
東京工場	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414)代表8111
札幌修理工場	札幌市北二条東12丁目(電)札幌(2)3976

次号予定

三菱電機 Vol. 35 No. 5

- 関西電力読書第二発電所 78,000 kW フランシス水車
- 関西電力読書第二発電所 80,000 kVA 水車発電機、運転制御装置および配電盤
- スーパーモーター(ジェット機用ナイテタフライス盤)
- 無接点方式電動弁制御装置
- 模擬送電線設備
- 最近の送電線保護継電器(1)
- JRR-2 ハンドリングキャスク
- 7.2/3.6 kV 150 MVA 新形磁気シヤ断器
- オートカット付三相誘導電動機
- 分解排気工程の酸化物陰極におよぼす影響
- ステンレス鋼のロウ付
- 最近の同期電動機(2)
- 直列インバータ総論(4)
- 技術解説:火力発電シリーズ続編  
ボイラの重油専焼  
最近の距離継電器(2)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村誠一郎	常任委員	宗村平
常任委員	浅井徳次郎	委員	山田栄一
〃	荒井潔二	〃	岡高俊
〃	安藤安	〃	片岡本
〃	小川清	〃	榎本善
〃	小堀富次雄	〃	藤野博
〃	高井得一郎	〃	関野祐
〃	中野光雄	〃	前田俊
〃	馬場文夫	幹事	米野上八
〃	船橋正信		(以上50音順)

昭和36年4月8日印刷 昭和36年4月10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3番地 吉村誠一郎  
印刷所  
東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社  
印刷者  
東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫  
発行所  
三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部  
電話 和田倉(201) 1611  
発売元  
東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店  
電話(291) 0915・0916 販替東京 20018



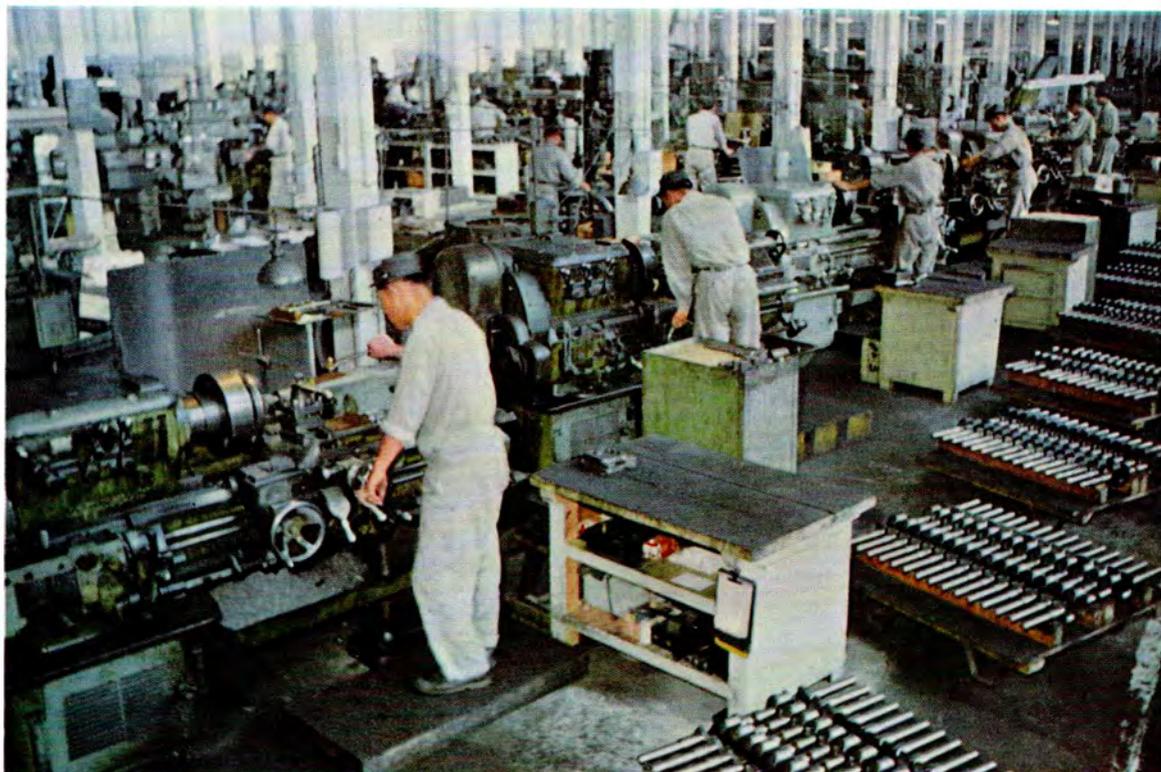
冷凍機の製作所紹介

## シーズンを迎えた三菱冷凍機(2)

### 和歌山製作所

小形開放形冷凍機、ウォータクーラ、バルククーラ、冷凍ショーケース、ユニットクーラなどを製作している。

当社の小形開放形冷凍機は長い歴史と経験によって種々改良を行ない小形で高速、安全な現在の形を完成したもので品質、生産量ともに業界の第1位にある。



神戸製作所 最近 空気調和機器業界に大きな影響を与えている電気式空気清浄装置クリネヤを製作している。

大形とキャビネット形とあり0.1マイクロン(1/10,000mm)の微細なゴミまでも取去るもので初めて東京池袋の西武デパートに納入し 以来ますます好評を博している。