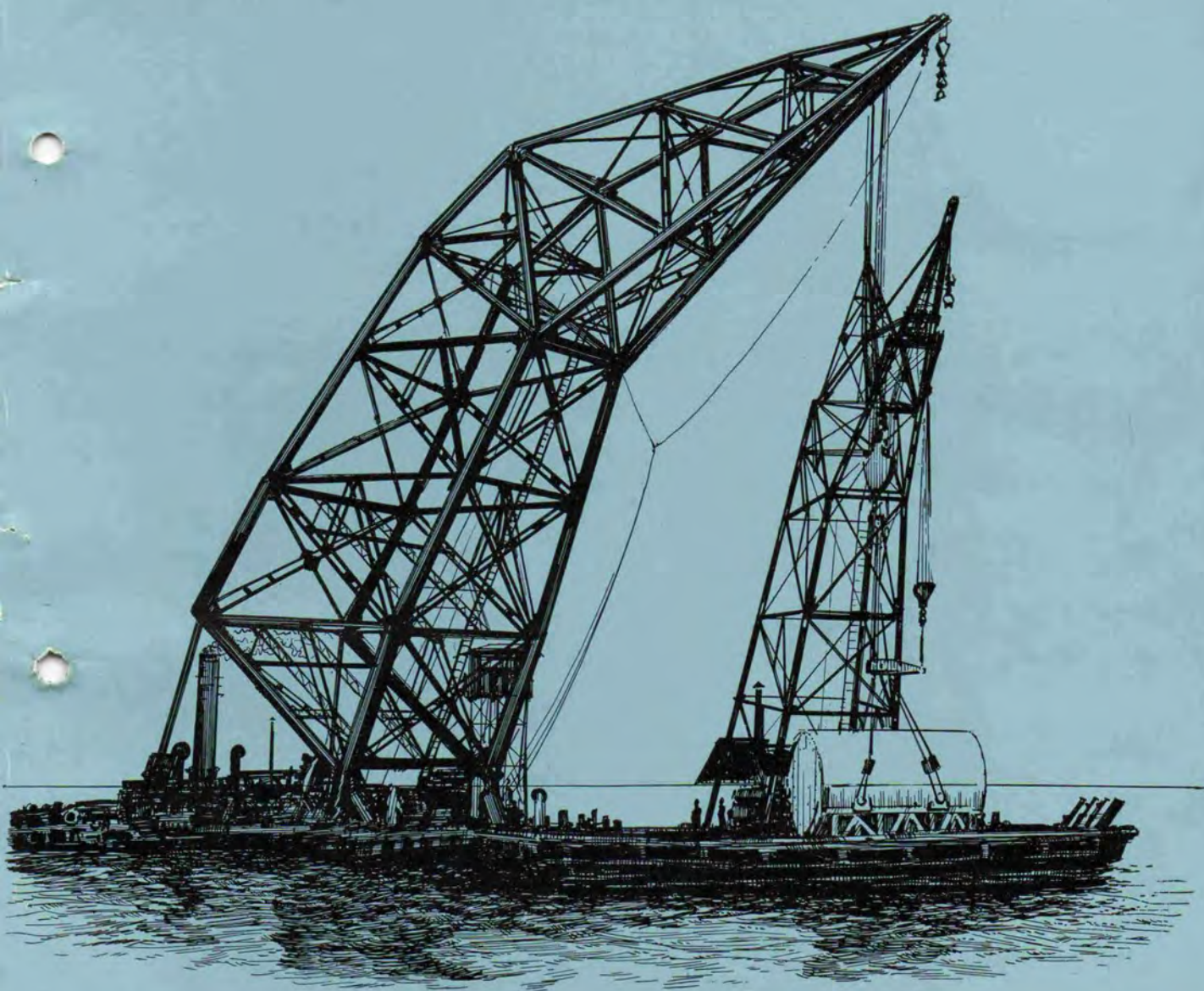


*MITSUBISHI DENKI*

# 三菱電機



Vol. 28 1954

7

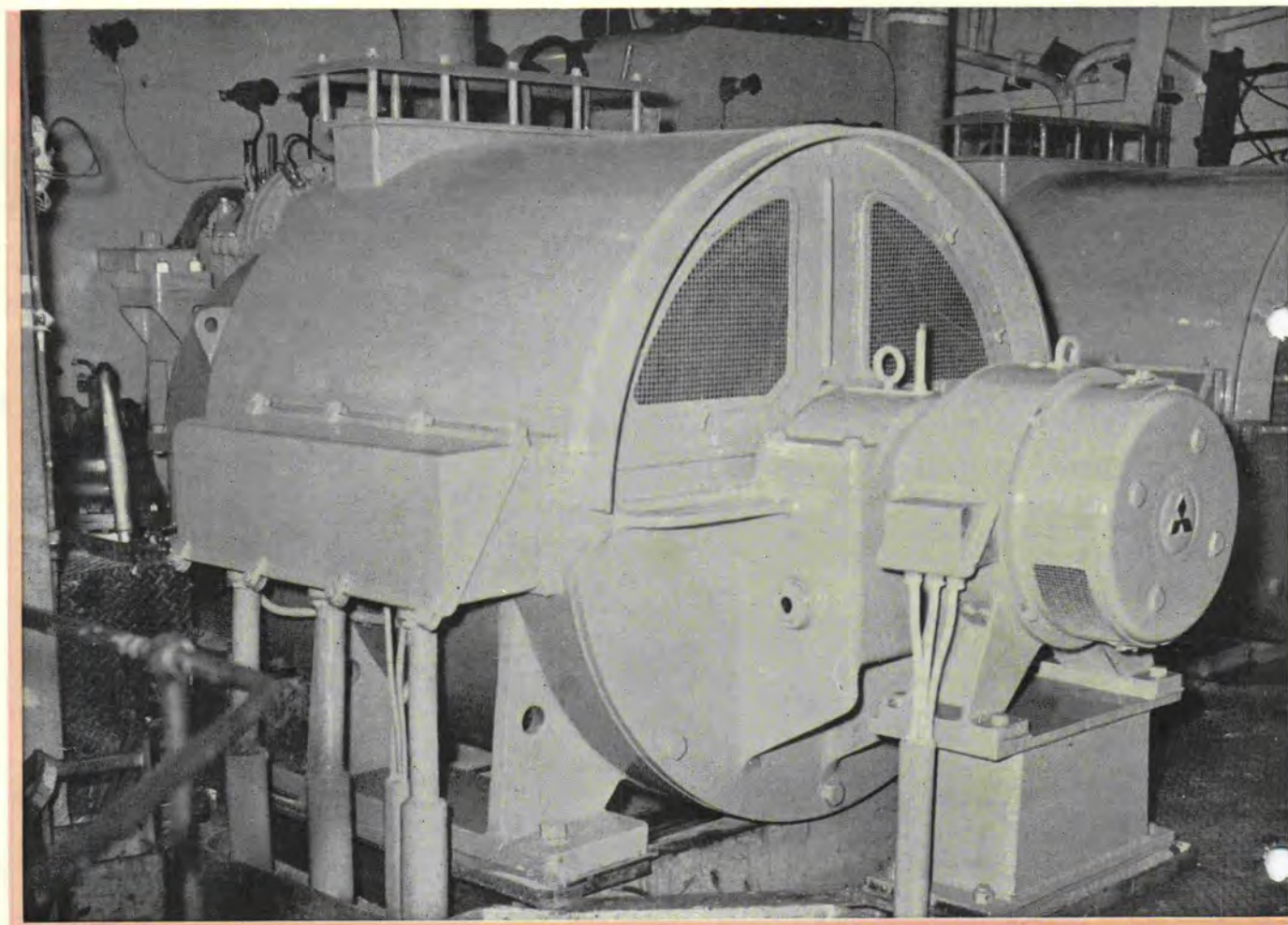


# 船舶の交流化

## ブラケット型三相交流発電機

船価を安くするため交流式を使用されることが次第に多くなった。任意の速度を必要としない場合は直流式に比し値段、重量、取扱、保修等交流式が優れている。ことに船舶用は装備場所に制限があり床面積を小とすることが要望される。

写真は軽量のブラケット型三相交流主発電機を船内に装備されたスマートな姿である。



容量 500kVA 電圧 450V 極数 6 周波数 60c/s 回転数 1,200 毎分



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

表紙のページは東京電力鶴見第二発電所  
1号タービン発電機の固定子木切作業を画  
いたものであります。固定子は127トンと  
いう重量物でありますので慎重を期し120  
トンのフローティングクレーンを使用し  
相吊りの上、解体して陸揚げをいたしま  
した。なお発電機は81,000kVA(水素圧  
力15Psig)13.2kV 3,000rpmで50csの  
ものとしては東洋の記録品であり、これと  
同型のものをさらに3台(鶴見第二2号機  
3号機、新東京2号機)製作中であります。

昭和29年第28巻第7号

目次

最近における米国のイグナイトロン整流器界の展望	加藤又彦	2
最近の継電器とその応用(その2)	藤井重夫	11
乾燥理論よりみた変圧器の乾燥	白井万次郎	15
笠寺変電所向遠方監視制御装置	大木掀爾	21
熱陰極螢光燈の管電流に関する一考察	山下博典	28
中型ベータトロン(その1)	弘田実弥・小倉成美	33
ニュースフラッシュ		
K-24型広角度計器		38
最近における当社の社外寄稿一覧・社外講演一覧		39
最近登録された当社の特許および実用新案		40

三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)  
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331  
研究所 兵庫県尼崎市南清水  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
船機製作所 兵庫県尼崎市南清水  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市字境橋町  
福山工場 福山市仲野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
和歌山工場 和歌山市岡町  
中津川工場 岐阜県中津市駒場安森  
福岡工場 福岡市今宿青木  
静岡工場 静岡市小島110  
札幌修理工場 札幌市北二条東12  
大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1  
(電) 福島(45) 5251-9  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電) 本局(23) 6231-5  
福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)  
(電) 西(2) 5821-5825  
札幌営業所 札幌市大通西3の5  
(電) (2) 7236・7237  
仙台事務所 仙台市東一番丁63  
(電) 仙台(2) 2550-2  
富山事務所 富山市安住町23の2  
(電) 富山 4692・5273  
広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)  
(電) 中(2) 2211-3  
高松出張所 高松市南紺屋町34の3  
(電) 高松 3178・3250  
小倉出張所 小倉市博労町63(富士ビル)  
(電) 小倉 3614

品質奉仕の三菱電機



# 最近における米国の イグナイトロン整流器界の展望

伊丹製作所

加藤 又彦\*

## Review on the Latest Development of Ignitron Rectifiers in America

Matahiko KATO

Itami Works

Present-day industry owes a great deal to rectifiers in the application of electricity to various apparatus. Ignitron rectifiers are the ones to be limelighted of them with many distinctive features. Here is an article for the latest development of the Ignitron in America, elucidating ratings, capacities, characteristics and the sphere of application together with new trend of this equipment.

### 1. まえがき

今般米国の Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）の厚意により水銀整流器製作その他一般事項ならびに各地の電気鉄道用変電所、化学工業用、その他一般工業用イグナイトロン整流器変電所を見学する機会を得た。そのうち電鉄用変電所は New York 地下鉄をはじめとして Boston, Chicago の二大都市の市街電車に関するもので回転変流機、イグナイトロン、エキサイトロンの単陽極型整流器および多陽極整流器等の親および子変電所ならびに無人自動変電所を見学することができたので以下これらについてその実態と動向の概要をご報告する次第である。

米国は何といても生活水準がたかいたために日本の人々の考え方とはまた違った考え方、見方をしていることは事実であって、こうした社会環境を背景としてイグナイトロン整流器の設計、製作方法、保守方法が考えられ

またすべての事柄がこれを基準として律せられている。厳密に言えば人情も、風俗も、米国の広さ、大きさまでが機器の設計、製作にまで大なり、小なり影響しているといっても過言ではないと思う。

### 2. 米国の鉄製水銀整流器の傾向

米国では三大製造業者が主として水銀整流器を製作しており、そのうち W 社と G.E. 社とがイグナイトロン整流器を、Allis Chalmer 社（以下 A 社と略す）がエキサイトロン整流器を製作しており、三社とも単陽極型、水冷式整流器であることにはかわりがないがその起動特性はまったくことなり、前者はイグナイトタを使用して毎サイクル点弧せしめると共に電圧制御を行うのに対して後者は励弧極により常時陰極点を保持し、格子を使用して電圧制御を行っている。多陽極型水銀整流器はいまなお使用されているが 1 表にあるように米国の整流器形式は変遷し 1942 年頃より多陽極型整流器は製作されてい

1 表

年代	日本の年代	実施内容
1924	大正 13 年	鉄製水銀整流器の実用化開始
1925	" 14 年	1,500 V 直流の電鉄用多陽極型整流器設備完成
1929	昭和 4 年	カナダ亜鉛電解に多陽極型整流器設備導入
1930	" 5 年	3,000 V 直流の電鉄用多陽極型整流器使用
1932	" 7 年	位相制御を応用した最初
1933	" 8 年	18 kV のラジオ電源として高電圧整流器を使用
1934	" 9 年	食塩電解工業に整流器を利用
1936	" 11 年	製鉄ミル電源に整流器を使用
1937	" 12 年	イグナイトロン整流器の実用化開始
1938	" 13 年	米国とカナダにアルミニウムの電解に整流器を使用
1939	" 14 年	密封式イグナイトロンの実用化開始
"	" "	同期機のフィールドの励磁用に整流器を使用
1941	" 16 年	エキサイタロン整流器の実用化
1942	" 17 年	製鉄ミル用主電動機駆動用に整流器使用
1943	" 18 年	25 c/s/60 c/s の静止型周波数変換器の実用化
1944	" 19 年	密封式エキサイタロンの実用化開始
1947	" 22 年	電動機駆動用の密封式整流器の実用化
1948	" 23 年	ポンプなしイグナイトロンの実用化
1951	" 26 年	イグナイトロン電気機関車の運転

ない有様である。

1 表は米国の水銀整流器の実用化および応用化の年代を示したもので研究、開発の年代ではない。この点が実行を導ぶ米国人気質の一端を表わしているともいえる。この表中シールドオフ型（以下密封式と略す）イグナイトロンは昭和 14 年にすでに実用化されており、現在までに 16 年の歴史をもっている。最近ポンプなしイグナイトロンと称する大型水冷式イグナイトロンが実用化され良好な運転成績を示しているが、この型式と密封式イグナイトロンとは製作過程とバックアップ方式において性格を異にしている。前者の密封式イグナイトロンは溶接機に使用されており、規格も統一されていて多量生産の過程にある。現在 W 社一社で大小容量の差はあるが月産 2,000 本余の生産を実施している。密封式イグナイトロンで電力変換用としては 4, 5<sup>3</sup>/<sub>4</sub>, 8, 12 in の種類がある。共に水冷式で 600 V 以下の電圧に使用されており、8 in 6 タンクを 1 組として 1,000 kW, 600 V の定格を有している(8 図参照のこと)。

ポンプ付イグナイトロンは主として大電流の化学工業用または一般工業用直流電源として利用されており、タンクの内径で分類すれば 4 種類で、これが標準となっている。このポンプ付は W 社のみで 1 日の生産は 10 タンク以上であり、数多くの仕事を実施しているため非常に豊富な経験をもっている。また個人の仕事の内容の範囲は比較的狭く、それだけに深く一つの仕事を探究する

最近における米国のイグナイトロン整流器界の展望・加藤



1 図 ポンプ付イグナイトロン陽極部組立状況  
Fig. 1. Anode assembly of ignitron rectifier under construction.

ことができるし、なかには 20 年、30 年も同じ仕事をしている人もあるといった有様で豊富な資料があり、研究と試験が徹底的に行われていることは一番希望の点であった。1 図は W 社におけるポンプ付イグナイトロンの陽極部組立状況を示したものである。

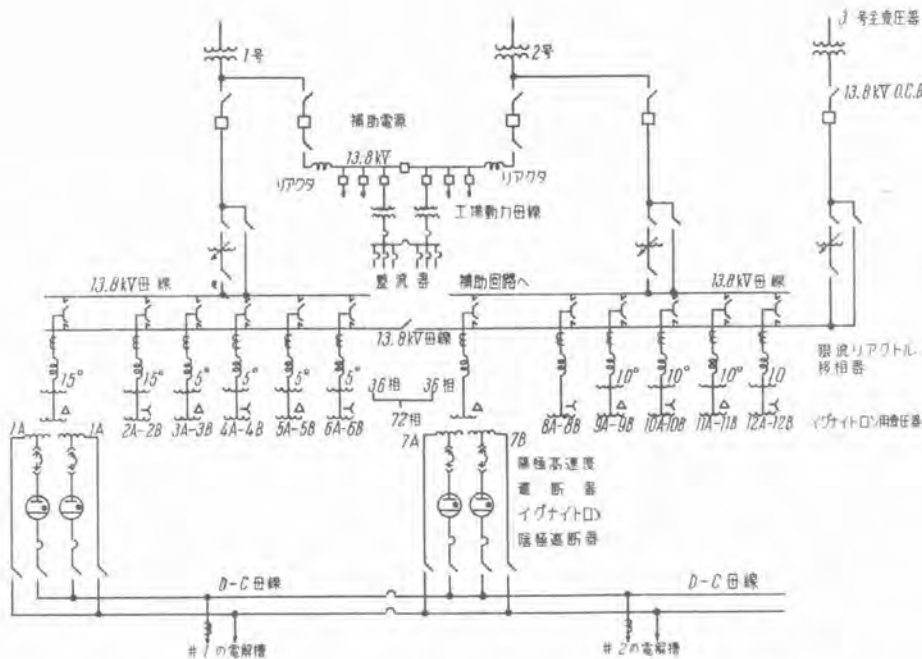
現在 W 社で製作されつつあるポンプ付、または密封式イグナイトロンの用途は主として一般工業用のものであり化学工業用が主体をなしている。電鉄用イグナイトロンは全体の数パーセントに過ぎない。こうした点も日本の現状とは応用分野において異っている。ただ最近老朽化してきた回転変流機にかわってイグナイトロン整流器が主として新設されている点は類似している。この理由としては軽負荷時の能率がよいことおよび経済的基盤に立って両者を比較するとイグナイトロンの方が有利であること等が選定理由となっている。

以下米国における代表的整流器設備を列挙し、特長ならびに概要を列記しよう。

#### ア. Alcoa の Vancouver, Washington 工場の整流器

本工場はアルミニウムの電解工場で現在は 600,000 kW のイグナイトロンが設備してある。整流器 1 組は 650 V, 10,000 A, 12 タンク方式で 6 組が 1 群で 36 相を形成している。400,000 kW までは誘導障害は発生しなかったがそれ以上になると発生し、現在は 36 相の群が全体で五つあり、その中 2 群が 72 相を、のこり 3 群を合せて 108 相を作っている(2 図参照のこと)。この場合には第 35 高調波は無視できうる状況である。しかしこの組合せ相数をます場合に直流値が並列運転状態でない時、また群間の負荷が不平衡状態にある時は効果がないことを確認している。2 図は 72 相、単線結線図を示したものである。

保守事項にて特筆すべきことは手入作業の週期表の確立と化成の方法の簡易化と逆弧の克服である。イグナイトロンの台数が多くかつまた負荷の性格からして無停電運転が要求されるため 2 表のような手入作業期間が経験的に確立している。逆弧の問題であるが 3 表のとおり 1 カ年を通じて 0 回に改善されているが今迄 10 カ年間の逆弧率は 1.6/年/台という状況にあった。初期の逆弧の



2 図 イグナイトロン整流器  
組合せ 72 相結線図

Fig. 2. Connection diagram  
of ignitron rectifiers 72  
phases in combination.

2 表

	6 週間	6 ヶ月	1 年	2 年	5 年
油回転ポンプ					
水銀ポンプ (水冷)					
循環水ポンプ					
水冷式再冷器					
ピラニー真空計					
点弧回路制御盤					
リレー盤					
イグナイト					
陽極 H. S. 遮断器					
陰極遮断器					
外部一般点検					
開蓋点検 (イグナイトロン タンク)					

\* 逆弧の回数による開蓋は 500 回を限度としている。

3 表

	電源系 統の故 障	逆弧以外 の整流器 変電所内 故障	逆弧	誤操作	電源側の 時間割に よる事項	ポット ルームの 故障	合計
停止回数	0	1	0	3	1	1	6
ポットラ インの遮 断回数	0	2	0	5	1	1	9
平均期間	0	38.5 分間	0	6.7 分間	10 分	6 $\frac{1}{2}$ 分	—
最大期間	0	46 分間	0	17 分間	10 分	6 $\frac{1}{2}$ 分	—

本表はバンクーバー工場の 1951 年における停止状況を示す。

原因は陽極部の碍子の破片と防滴パフルのなかったためであったといっている。つぎに整流器の化成であるが定格直流電圧のタップにしておいて位相制御により実施し化成 12 時間以内に 6 タンクを完了せしめる。1 または 2 タンクの時は 6 時間程度である。そのために予備タンクは大体不要である。状況により 11 タンク運転も完

行するのでイグナイトロンが運休し、そのために出力低減をすることは稀であるということになる。

電気化学工業におけるイグナイトの寿命は連続運転であるが 7 カ年間以上になることは確実である。しかし運転開始当初はイグナイト内部冷却蛇管がニッケル製であったため微量ながらニッケルが溶解され、ためにイグナイトが Wetting をおこしたことが経験された。しかし現在はニッケル製内部蛇管をとりはずしたため問題はなく、7 カ年以上の平均値は確実に期待されつつある。

イグナイトロン用変圧器の故障は 12 年間一度も経験したことがない。その主なる理由として考えられることは変圧器の容量が 7,500 kVA で適切な大きさであり、かつまた受電電圧が 13.8 kV という絶縁階級からいって信頼度のたかいこと、さらに陽極遮断器を使用しておりなお逆弧の発生を防止する使用条件を堅持したこと等が挙げられる。3 図は化学用イグナイトロンの変電所の一例である。

#### イ. 食塩電解用イグナイトロン

食塩電解用イグナイトロンとしては Baton Rouge の



3 図 化学工業用イグナイトロン変電所  
Fig. 3. Installation of ignitron rectifiers  
in electro-chemical plants.

Ethyl Corporation の例がある。この工場は直流電圧が 540 V で、35,000 A~45,000 A の電解槽を有している。当工場には多陽極型、単陽極型、新旧型式の 4 種の整流器が運転されている。各整流器ともほとんど定格容量一杯まで負荷されており、時にはやむを得ざる必要から定格値以上負荷したことがある。1950 年から同 51 年の間、イグナイトロンと多陽極型整流器との逆弧成績は前者は 0.145 回/月、後者は 0.975 回/月になっており、イグナイトロンの方が好成績をおさめている。

手人作業の記録としてはイグナイトロンでは 2.5 年間に 6 タンクを分解手入れしているのに対して多陽極型では 18 組中 8 組を開蓋している。前者の 6 タンクの開蓋結果は何等顕著なる不良箇所が認められずそのうち 4 タンクは再度使用した状況であった。

ウ. 電鉄用イグナイトロン整流器

米国の電鉄用イグナイトロンはその定格からして 3 種類に区分されている。すなわち下記のとおりである。

- (a) クラス I ----- J. E. C. の公称定格に相当。
- (b) クラス II -----      の重負荷公称定格に相当。
- (c) クラス III ----- 150 % 負荷、2 時間後、引き続き 300 % 負荷、5 分間負荷するもの。

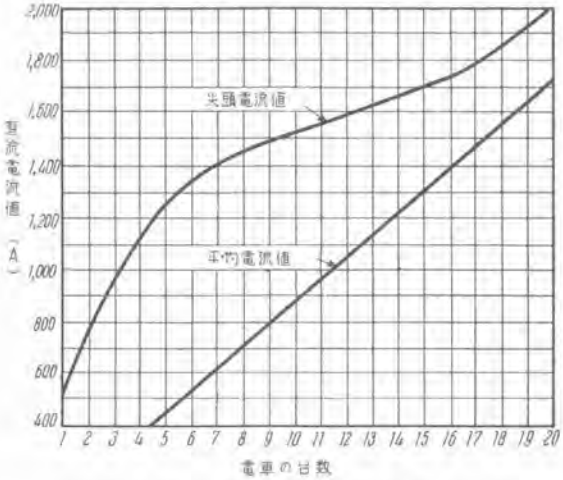
またポンプ付と密封式イグナイトロンは負荷の状況如何と、1 組の変換単位容量によってそれぞれ使用範囲が一応定まっている(9 図参照のこと)。すなわち市街電車は 600 V 級でクラス I に属するものが大部分であり、容量も 500 kW/1 組から 1,000 kW/1 組までは密封式が採用されている。それ以上の容量のものはポンプ付で 1,500 kW、2,000 kW、3,000 kW/6 タンクとなっている。3,000 kW/1 組、12 タンク方式のものではクラス II、およびクラス III のものがある。また 12 タンクを 1 組とした変換単位のものではイグナイトロン用変圧器を四重千鳥型結線としたものが多い。

市街電車の過去の歴史では交通保安上変電所の機器は連続無停電運転を確保するために一変電所に 2 またはそれ以上の交流機器を設備することを良策としていたが今日では整流器の信頼度が向上し、停止は稀であることから大容量の小数機を分散配置する傾向にあり、保守的見地より自動変電所または遠隔制御変電所の採用が多い。小数分散配置式を採用した時の変電所機器の定格の決定には平均負荷曲線と尖頭波電流値よりして何分間、何パーセントの過負荷耐量にすべきかがきまりさらに隣接変電所の故障による運休を勘案してクラス I、またはクラス II の過負荷耐量が選定される。すな

わち 150 %、2 時間の過負荷耐量は隣接変電所の休止をみこんだ要素という考え方である。

4 図は市街電車 1 台から 20 台運行したときの負荷曲線の実例である。13 台の時は 600 V 直流で 700 kW の平均負荷を示しており、この値は 500 kW クラス I の過負荷定格の数値に一致している。尖頭電流値は 1,650 A であり 500 kW の 200 % に相当し、その継続時間が 10~15 秒であるため 1 分間の定格で充分である。この変電所単独の場合には 500 kW、1 組でよいが隣接変電所の故障を考えれば 750 kW としてクラス I の定格にすべきである。

筆者が滞米中に見学することができた電鉄用変電所は 4 表のとおりであり、主として大都市の市街電車および地下鉄関係である。変電所機器の種類および定格は 4 表に示してあるがその容量は 1 組 2,000 kW 以上のものが大多数であって 6,000 kW の子変電所が標準となっている有様である。子変電所は無入であって全自動方式で 1 日に 2~3 回巡視し、そのたびに電力量を記録するにすぎない。親-子変電所間の距離は大体 3 km 程度であり、遠方制御方式もできうる限り簡易化されている。米国の大都市の自動遠方制御変電所の選定にはつぎの諸要素を



4 図 電車負荷曲線  
Fig. 4. Diversity curves of trolley coach.

4 表

所在地名	変電計の種類	変電所方式	整流器の種類	電 圧	kW/組	台 数
① ニューヨーク地下鉄	子 変 電 所	遠 方 制 御	イグナイトロン	600 V	3,000 kW	2 台
② ポストン交通局	子 変 電 所	同 上	イグナイトロン エキサイトロン	600 V	500 kW 1,000 kW	2 台 1 台
③ 同 上	子	同 上	多陽極型整流器	600 V	3,000 kW	2 台
④ 同 上	子	同 上	廻 転 変 流 機	600 V	2,000 kW	3 台
⑤ 同 上	親、地下変電所	保守員 2 名	同 上	600 V	2,500 kW	4 台
⑥ シカゴ交通局	子	遠 方 制 御	イグナイトロン	600 V	3,000 kW	1 台
⑦ 同 上	親 変 電 所	保守員 1 名	廻 転 変 流 機	600 V	2,000 kW	4 台



勘案し検討して決めている。すなわち上記の整流器の信頼性と過負荷耐量にもとづいて自動変電所の地理的条件を考えかつ変電所の重要度に応じた方式を決定している。この決定には変電所の占める地位についての適確なる判断を必要とするがそこは計算機で算出することもあるとのことである。自動方式の決定は運転方式が決定してはじめて決められることで具体的に述べれば、切替、運転停止の頻度などにより変流機器の種類の選定には自から条件が出て限定されることになる。米国では簡単な方式により自動化することが安定運転の絶対条件であるとしている。これは銘記すべきことである。

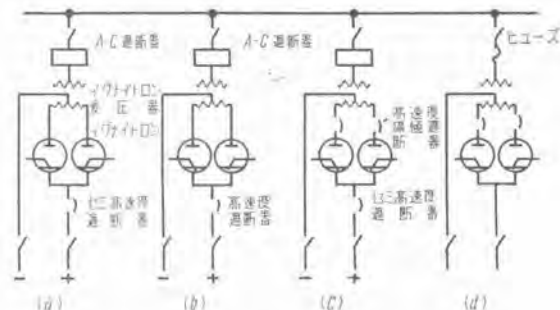
郊外電車または都市間の幹線には 1,500 V, 3,000 V 直流のものがある。これらは一般にポンプ付整流器で最近では単陽極型のものが主として採用されている。整流器はすべて水冷式で循環水槽を整流器の床板の上に設置し、整流器と同一電位にし電蝕を防止すると共に水系構成物を特殊金属または特殊絶縁物を使用して電蝕を極力少くしている。

フィルタは 1,500 V 直流以上のものには必ず必要であるが 600 V のものには不要の場合が多い。それは郊外電車の時には直流回路の一方が軌条により各所接地されておりまた、通信線が饋電線と並行していることの二つの理由に基づくものである。

600 V 級のイグナイトロンの保護装置としては陰極側にセミ高速度遮断器を設けるのが普通であるが単器容量が 2,000 kW 以上のものでは陽極遮断器を変圧器の二次側各相に挿入する。また同一変電所内でイグナイトロン

が並列運転を実施しその各イグナイトロンの容量の総和が 2,150 kW から 5,000 kW に達するものでは各イグナイトロンに陰極高速度遮断器を設ける。なお 5,001 kW 以上の場合には陽極遮断器をもうけることを推奨している。1,500 V, 3,000 V 級のものでは定格容量に無関係に陰極高速度遮断器を設けるが陽極遮断器は使用していない。

5 図は米国にて実用されているイグナイトロン整流器保護方式の使用状況を図解したものであるが上述のとおり、使用電圧と整流器容量、並列台数等で種々変化し色々な方式がとられているが大別すれば 5 図のとおりであるこの図中ヒューズと高速度陽極遮断器とのみを組合せた場合がもっとも簡単である。5 表は米国における用途別イグナイトロンの負荷の性格と過負荷耐量陽極遮断器の要否の関係を表にしたものである。



5 図 逆弧保護方式

Fig. 5. Arc-back protection of rectifier units.

5 表

用途	電気化学用	一般工業用 (重負荷)	電鉄一般ならびに炭坑用軌道		一般工業用 (軽負荷)	可搬用炭坑軌道
イグナイトロンの種類	ポンプ付	ポンプ付	ポンプ付	密封式	密封式	密封式およびポンプ付
直流電圧	250~900 V	250~600 V	275~3,000 V	275~600 V	250~600 V	275~600 V
出力	1,500 A~12,000 A 負荷 250 V D-C	300 kW~3,000 kW 負荷 250 V D-C	300~1,000 kW 負荷 275 V D-C	75~500 kW 負荷 275 V D-C	75~500 kW 負荷 250 V D-C	75~500 kW 負荷 275 V
	1,000 A~10,000 A 負荷 600 V D-C	500 kW~6,000 kW 負荷 600 V D-C	500~6,000 kW 負荷 600 V D-C	100~1,000 kW 負荷 550,600 V D-C	100~1,000 kW 負荷 600 V D-C	100~1,000 kW 負荷 550 V D-C
過負荷耐量 2 時間	100 %	125 %	150 %	150 %	125 %	150 %
1 分間	150 %	200 %	300 %	200 %	200 %	200 %
5 分間			または 300 %			
構成				ユニットサブステーション	ユニットサブステーション	3 台の台車にのせている
負荷の性格	連続負荷で数台の整流器が並列運転するとき	負荷変動ありてフィーダー側に分岐線多くかつ電圧制御を行うもの	自動再閉路を有するもので短時間の過負荷が負荷されるもの		比較的軽負荷に属するもので電圧制御を必要とする	500 kW までの負荷のもの
陽極高速度遮断器	必要	並列運転台数が多い時は必要	並列運転台数が多い時は必要	必要な	必要な	必要な



### エ. 一般工業用イグナイトロン

この分野の負荷は用途により差異が大きく、重負荷と軽負荷の二種に大別され、前者はポンプ付が大部分であり後者は密封式が採用されている現状である。さらに別の観点からみると電圧制御をしないものと電圧制御を実施するものとに分けられる。そのうち電圧制御を実施するものは大体 500 V から 750 V で既して電圧が高く、製鉄用ミル電源とか新聞印刷機用電源に使用された実績がある。この種のものは電鉄用のイグナイトロンとは異なり 125 % 負荷、2 時間；200 % 負荷 1 分間の過負荷耐量をもっている。この 125 %、2 時間の過負荷定格は電鉄の負荷の性格に類似したものであり、数値の差は負荷の性質自体からする制限である。この定格は密封式のものにもポンプなしイグナイトロンのものにも適用されている。位相制御をしない 250 V 級の工場内電源のイグナイトロン整流器本体の設計は米国の数種の規格によりすべて標準化されており、定格は大体一定している。すなわち

- (a) 密封式イグナイトロン整流器では 6 タンク単位で 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500 kW の 8 種類があり、すべて屋内型で主として軽負荷のものに使われている。
- (b) ポンプ付イグナイトロンには 6 タンク単位で 750, 1,000, 1,500, 2,000 kW の 4 種があり、重負荷で屋内型が大部分である。
- (c) ポンプなしイグナイトロンは密封式とポンプ付との中間的存在であってポンプ付のものと大体同一の設計であり、過負荷耐量も同じで、その容量は 6 タンクで 1,000 kW, 1,500 kW ができているが現在までには充分なる寿命試験が実施されていない状態である。

一般工業用イグナイトロン中目覚ましき発展をとげたものに製鉄工業のミル電源設備がある。M-G 設備がイグナイトロン整流器によって置き換えられたことである。この応用分野は将来性があり、また整流器自体としても大容量であり、信頼性の点では高度の要求があるためにこの方面の発達如何は整流器本体の設計の完成を意味することになり注目されている。また製鉄工業に随伴して周波数変換器が発達し、 $60\text{ c/s}/25\text{ c/s}$  の変換で 10,000 kW および 8,000 kW それぞれ 2 組のものが設置されて、好成績を納めている。

### 3. 密封式イグナイトロンと点弧子の寿命

従来のポンプ付整流器は常時、排気を行っていたためその排気装置の保守の点で常に監視を必要としたし、またタンクの開蓋、点検手入には一種の技術と経験が必要とした。ところが密封式整流器は排気装置を全く除去したものであり、整流器の将来の理想型としての要素を幾多保有している。すなわち

- (a) 整流器を一つの開閉器として取扱うことになり

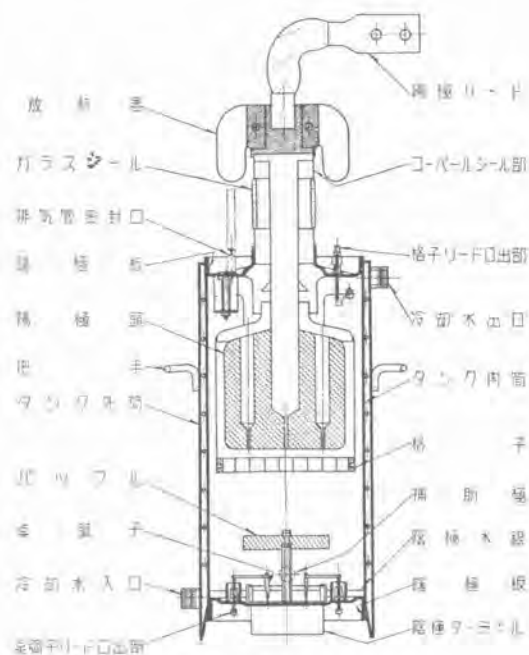
保守員の立場からみれば変圧器の保守と何等かわりがない。ただ冷却条件を一定限度内に保持することが変圧器の保守と性格が異っている。

- (b) 小型、軽量にして経済的条件を有利にしようとする研究と努力が払われている。

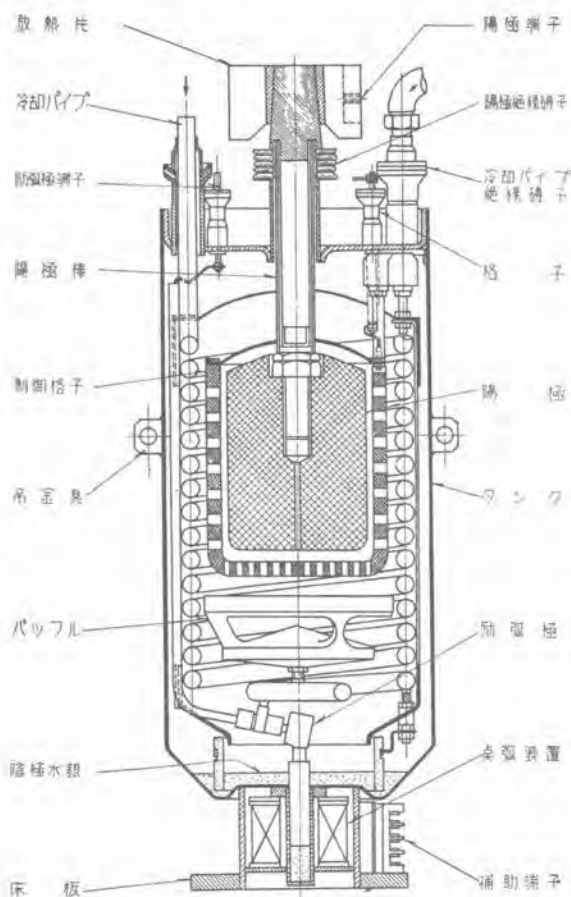
したがってこの種イグナイトロンは経済的に製作するための設備と製作箇数が問題であって、使用の材料と製作技術如何がイグナイトロンの生命を支配することになる。問題の焦点は真空保持能力である。イグナイトアの寿命の点では密封式はイグナイトアが 2 本以上必ず挿入してあり W 社のイグナイトロンの実例では 16 年間使用した実績があり、1 本 7 年は大丈夫であり、将来はさらに寿命は延長される傾向にある。よって 2 本挿入することにより信頼度は倍加しており、現状では真空保持能力の方が球の寿命を左右している実状である。したがって米国ではイグナイトアの寿命を問題にする人はいない。

イグナイト自体の特性も最近著しく改良され、旧来の製作方法は改良されて現在ではすべてモールド式のイグナイトである。よってその混合成分の差異により、整流器専用のものと溶接機用とに確然と区別され、それぞれの特性が要求に合致するようになっている。したがって点弧子回路の設計も要望条件を満足せしめることが容易になり、イグナイトの信頼性は旧式のものと比較して格段の差を生ずるにいたった。

米国では密封式イグナイトロンならびにエキサイトリオンがあり、さらにポンプなしイグナイトロンの 3 種がある。ポンプなしイグナイトロンというのは G. E. 社にて製作されているもので従来のポンプ付イグナイトロンの設計のものを一部変更し、熱化成して真空保持能力を賦



6 図 400 A 密封式イグナイトロン  
Fig. 6. Sealed off type 400A ignitron.

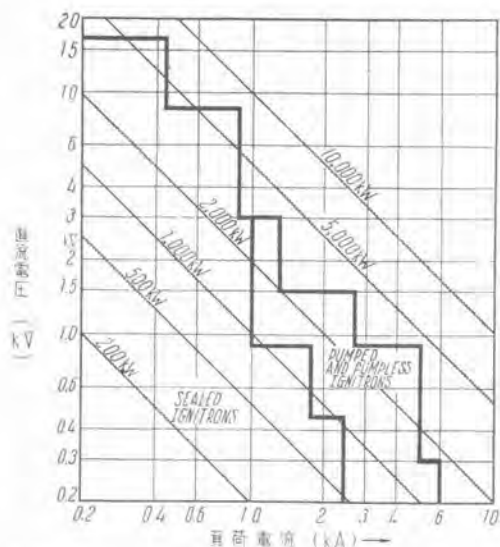


7 図 密封式エキサイترون  
Fig. 7. Sealed off type excitron.



8 図 1,000 kW 600 V 密封式イグナイトロン  
Fig. 8. Sealed off type 1,000 kW 600 V ignitron.

与したもので、本体パッキングの一部に従来と同一性格のシールを施していることが特長である。これに対して密封式の場合は6図と7図にみられるように外部より高温熱化成分が完全にできうる構造にしてあり、熱化成分完了後密封するようになっている。したがって再生可能構造という点は考慮してないにちかく、工場に持ちかえって再生することは原則としてしないものである。



9 図 6 タンク単位の水冷式イグナイトロン整流器  
Fig. 9. Six tank unit water cooled ignitron rectifier.

電力用密封式イグナイトロンはその直径によって区分され現在のところ4種類がある。ともに水冷式でタンクはステンレススティール製であるため電蝕の問題と発生期の水素がタンク壁を浸透することを防止している。シールの部分はすべてコパルシールであり、エキサイトロンは特殊ガラスと円錐形軟鋼板の積層である。この種のシールは漏洩の点では問題は少ない。

密封式イグナイトロンは大部分8図に示すようにキュービクルに挿入されて屋内の一隅に設置されている。8図は1,000 kW, 600 V, 6 タンク、水冷式、密封型イグナイトロンの配列の一例を示したものである。現用の密封式の最大容量は750 kW, 250 V, 6 タンクで8図のものより一段と大形のものである。ポンプ付のものは前述のとおり、1,000 kW, 250 V, 6 タンクのものは実用化されており、さらに1,500 kW のものも出現している。9図は密封式とポンプなしイグナイトロンの使用区分を図解したものであり、ポンプなしイグナイトロンの方が電流容量が大きいことを示している。

#### 4. その他一般事項

##### ア. エキサイترون整流器

エキサイロンは1表に示したように1941年に実用に供されて以来今日まで総容量約400,000 kWが運転しており、その応用分野はイグナイトロンと同様であり電圧定格は230 V から高い方は1,750 V におよび容量は最小150 kW から8,000 kW のものにわたっている。現在では7図に示したようなシールドオフ型エキサイロンが実用に供されている。エキサイトロンの特長を簡単にのべればつぎのとおりである。

- (a) タンクは一つもので陰極が絶縁されていない。
- (b) 内部冷却蛇管をタンクより絶縁して陽極板に保



持せしめ 12 V の電位が印加されている。

- (c) タンク自体は自然冷却方式であり、上記冷却蛇管のみが通水冷却され、アーク放電は蛇管によってタンクから遮蔽されている。

イグナイトロン整流器では (a) 項は固有の性格であったがエキサイトロンにても陰極を絶縁していない構造として真空保持能力を強化した。しかし陰極とタンクが同一電位であるために陰極点のタンク壁へ這上る確率が大きいため内部冷却蛇管のパイプ間隔をつめてアークがタンク壁に到達し得ない構造としていることは留意すべきことである。この点がイグナイトロン整流器と性格を異にした構造の差を生ずる要点である。

#### イ. 可搬式整流器設備

前述したとおりスイッチギヤー関係も簡素化され、イグナイトロン整流器自体の設計も標準化されてきて、小型、軽量化の線にそってすすんでいると自然、負荷変動に応じて変電所設備を動かすことが考えられるようになった。ことに自動車工業が発達している米国ではトラックによる輸送が実にいちじるしい発達をとげている。こうした移動式の変電所をとくに要望する分野としては炭坑界がある。すなわち石炭の運搬が坑道の進展と共に伸びて行き、新坑道の発掘によって変電所の位置の変移をよぎなくされるからである。こうした方面で日本の電鉄用またはその他特種な工場電源用として参考になると思われる資料をご紹介したのが 10 図である。図からおわかりと思うが 10 図はポンプ付イグナイトロンでもっとも小型の整流タンクである。一つのスキー式台の上に変圧器、O. C. B. と整流器を載せており、移動の際は台ごとすくいあげてトラックに積み運搬するものである。このイグナイトロンは 600 V, 750 kW 公称定格であり、250 V に使用して 1,500 A の電流容量のものである。

また 11 図はキュービクル内に整流タンクを上、下二段に積み上げたポンプ付イグナイトロンで、12 in 級の水冷タンクを 6 箇使って 1,000 kW, 250 V, 4,000 A 公称定格をもたしている。このタンク直径とタンク数で

4,000 A の公称定格をもたしめ得たことに留意する必要がある。

11 図に示すイグナイトロンはその背部に循環水タンクと再冷却設備をそなえており、屋内型であるがキュービクル全体可搬可能である。

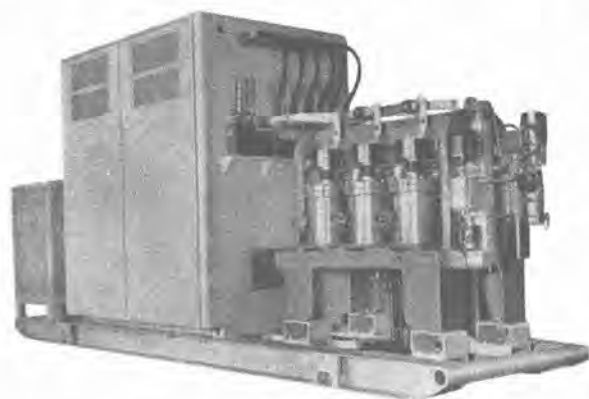
最近日本においては電鉄用変電所に移動性をもたせんとする考えが擡頭してきており、一部では計画され具体化されている。10 図に示したトラック輸送式のもの貨車積みのものより一般的にいて便利であり将来性もあるということができよう。

#### ウ. イグナイトロン電気機関車および電車

最近米国ではイグナイトロン電気機関車のみならず電車まで走らんとしている状況であるためにこの件をご紹介する次第である。

配電方式から区分すると電鉄用配電には直流方式と交流方式とがある。しかし従来は直流方式で変電所にて直流電力に変換しそれをトロリーに供給していたのであるが交流方式は 11 kV または 22 kV, 60 c/s の単相交流電力をトロリーに供給し電気車に単相の変圧器とイグナイトロンを設置して両波整流し、普通の直流電動機に給電するもので、単相変圧器のタップとイグナイトロンの電圧制御によって一般制御を行う方式である。したがって電気車に最適の直流電動機と一般的に普及されている交流配電系統とを結びつけたところが魅力であり、理想型としての要素を有している。

この方式にも利、害ともにあつて将来はこの方式になってしまうとは断言できないが電化に要する費用の点、変電所の簡易化と変電所間間隔の拡大が可能であり、一般保守ならびに維持費が現在の直流方式より軽減される



10 図 可搬式イグナイトロン整流器  
750 kW, 600 V 6 タンク

Fig. 10. Portable ignitron 750 kW,  
600 V skid-mounted.



11 図 キュービクルに挿入した 1,000 kW,  
250 V イグナイトロン

Fig. 11. Metal-enclosed type 1,000 kW,  
250 V ignitron rectifier.



12 図 イグナイトロン電車用イグナイトロン装置  
Fig. 12. Ignitron units of rectifier powered car.

までに完成した機器となればこの方式が採用され、普及されることは明白である。ことに既設の直流方式の区間にイグナイトロン電気車は乗入れ可能であるという特長があるため交流方式と直流方式の一種の橋渡しの作用を演じる立場にあり、至って便利であるといわざるを得ない。

現在米国では Pennsylvania 鉄道に単相交流 11 kV, 25 c/s の区間に 6 000 HP (2 両) 12 軸の電気機関車および 450 HP の電車 (W 社製) が 1950 年から運転されており、その特性およびイグナイトロン本体に関する諸問題ならびに通信線への障害に関する広範囲な試験、測定が実施され幾多の問題が解決された論文が発表されている。さらに New York の New Haven and Hartford 鉄道では 11 kV, 25 c/s と 600 V 直流区間に乗入れ自在の 400 HP の電車を 100 両運行すべく W 社にて製作が進行しつつあったから 1954 年のはじめには運転することであろう。12 図は上記電車のイグナイトロン整流器設備を示したもので 2 本の密封式、水冷イグナイトロンが並列になり 2 台の電動機に給電している。小型、軽量にできており 12 図の箱の内には点弧回路と冷却水系の一部、保護リレーがあり、実にこじんまりとした鮮やかな設計である。交流方式ではコンミュータモータで走

る電気車が考えられ、イグナイトロン方式との比較検討ということが当然行われなくてはならない。しかし整流器設計者の立場からすればイグナイトロン電気車の完成はイグナイトロンの信頼性を証明したことであり、近き将来の電化のあり方としておおいに努力すべきことであると思う。フランス国鉄でも交流電化は大規模に実施されつつある時、交流電化の分野が将来の電化の一方向を示していることは確かである。

日本における国有鉄道ならびに私鉄の現在の直流方式が自動化の線にそって発展せんとしており、それが経済的問題に深く根をおろしているというならばイグナイトロン電気車が当然考えられるべきであろう。このイグナイトロン電気車の方式が普及された暁には現在電化が経済的に成立たない線区も電化の対象となるであろうことは想像にかたくない。

## 5. む す び

以上は米国における現用イグナイトロン整流器に関する筆者の調査事項の一部である。イグナイトロン整流器の各分野における応用例と定格、保守事項を簡単ではあるがご紹介した次第である。しかしこの内容中意見に関する事項は聞く人により、見る人により若干の相違はあるであろう。筆者自身同じ内容を二人の人に聞くとかなり異った意見を述べられた経験をもっている。しかし筆者の経験を通じて眼でみてきた事項、ことに W 社の工場内を 2 カ月余にわたって毎日イグナイトロンの設計、製作、および試験と詳細に調査して歩き、また当面した疑問について W 社の設計担当者に直接質問し、かつ意見の交換を行ったことは体得し得た実際の知識であって、このことについて指導の労をとられた関係各位に深謝して、やまないところである。なお詳細に関しては他日稿をあらためてご報告いたす予定である。

拙筆にあたりご援助、ご指導を賜った W 社の関係各位ならびに八巻、落合両駐在員に厚くお礼申上げる次第である。



# 最近の継電器とその応用 (その2)

神戸製作所

藤井重夫<sup>\*</sup>

## The Latest Relays and Their Application (Part 2)

Shigeo FUJII

Kobe Works

Following the previous article on the subject, the principles, constructions and functions are accounted for on Type HSG high speed ground selective relays and Type HDG ground power directional relays.

### 1. HSG 型高速度接地選択継電器

HSG 型高速度接地選択継電器は並行回線の高速度接地選択保護あるいは零相有効分電力の高速度正逆方向選択に最適のもので平均 2 c/s (60 c/s ベース) 内外の高速度で確実な選択動作を行うものである。

HSG 型継電器は抵抗接地系、および消弧線輪接地系で並列抵抗が併用される系統の高速度接地保護継電器として設計せられたもので、予定方向の有効分零相電力にのみ応動する特性を有している。この継電器はまた不完全接地故障に際して、零相電圧の低下に応じて自動的にその動作感度を高めるような特性を有しているので、高インピーダンス接地系における不完全接地故障に対しても確実な選択動作を行わせることができる。

なお HSG 型継電器は消弧線輪接地系における故障発生時の過大な過渡直流分電流および過渡交流分電流に対しても極めて強い不感動性を有し、消弧線輪に並列抵抗が挿入されて始めて選択動作を行うような特性を有している。

したがって消弧線輪接地系に適用する場合にも従来採用されたような限時継電器による鎖錠方式は不要となり、装置を簡略化することができる。

またこの HSG 型継電器と表示線あるいは搬送装置とを組合せ、電力方向比較方式によって重要送電線保護区間の高速度選択保護を行わせることも可能である。

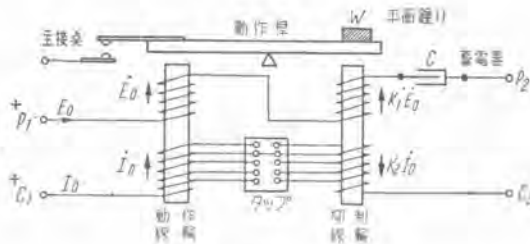
1 図は HSG 型継電器の外観を示したものである。

#### ア. 構造および動作

HSG 型継電器の主継電要素は 2 図に示す原理図より明らかなように高速度平衡桿型のもので、動作線輪・抑制線輪・平衡桿・電流タップ板および主接点部等より成り立っている。この継電要素は動作線輪・抑制線輪とも、電圧と電流の 2 線輪に分割されており、電力の方向が予定方向の場合に図示矢印のごとく、動作線輪側では電圧線輪と電流線輪との磁束が相加わり、他方抑制線輪では両磁束が互いに打消し合うように接続されている。



1 図 FT-HSG 型高速度接地選択継電器  
Fig. 1. Type FT HSG high speed selective ground relay.



2 図 構造説明図  
Fig. 2. Construction of relay.

なお電圧線輪回路に挿入された直列蓄電器  $C$  は零相電圧と同相の零相電圧磁束を作らせるためのもので、零相電圧と零相電流とが同相のとき動作感度が最大になるような力率特性を持たせるようにその値が定めてある。

また抑制線輪側の電圧線輪および電流線輪巻数はいずれも動作線輪側のものに比してそれぞれ  $K_1$  および  $K_2$  倍だけ多い目に巻数が定めてある。したがってこの継電要素の動作条件式は下記のようになる。

$$(\dot{E}_0 + \dot{I}_0)^2 - (K_1 \dot{E}_0 - K_2 \dot{I}_0)^2 \geq W \dots (1)$$

$$E_0 I_0 \cos \theta \geq \frac{W}{2(1+K_1 K_2)} + \frac{(K_1^2 - 1)}{2(1+K_1 K_2)} E_0^2 + \frac{(K_2^2 - 1)}{2(1+K_1 K_2)} I_0^2 \dots (2)$$

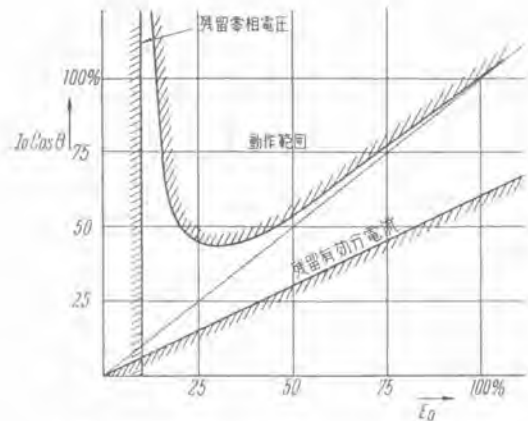
ただし上式中の各記号は

- $\dot{E}_0$  ..... 動作線輪側電圧線輪 AT ベクトル
  - $\dot{I}_0$  ..... 動作線輪側電流線輪 AT ベクトル
  - $K_1 \dot{E}_0$  ..... 抑制線輪側電圧線輪 AT ベクトル
  - $K_2 \dot{I}_0$  ..... 抑制線輪側電流線輪 AT ベクトル
  - $W$  ..... 平衡錘りに相当する作動 AT の 2 乗
  - $\theta$  .....  $\dot{E}_0$  と  $\dot{I}_0$  との位相差角
- また  $K_1 > 1$ ,  $K_2 > 1$  である。

すなわち (2) 式より明らかなように HSG 型継電要素は有効分零相電力にのみ応動する高速度零相電力方向継電器に平衡錘りによる抑制力とさらに零相電圧の 2 乗および零相電流の 2 乗に比例する抑制力を付加したものである。

今もし (2) 式中で抑制力が右辺第 1 項のみであればこれは完全な有効分零相電力方向継電器となり、また抑制力が右辺第 2 項のみとすればこれは完全な零相コンダクタンス継電器となる。さらにまた抑制力が右辺第 3 項のみであればこれは完全な零相レジスタンス継電器となる。

HSG 型継電器は上記 3 種類の特性を適当に組合せたものでその電圧-電流動作特性曲線は 3 図に示す如くなる。すなわち衝撃等による誤動作を防止するために相当の平衡錘り  $W$  を付加してもなお零相電圧  $E_0$  が 100～約 30% までの範囲では零相有効分動作電流値  $I_0 \cos \theta$  と零相電圧  $E_0$  との比がほとんど一定で、不完全接地によって零相電圧が低下するにしたがって動作電流値も比例的に低下し、自動的に動作感度が増大することを示し



3 図 電圧電流動作特性 (HSG および HDG)  
Fig. 3. Voltage and current operating characteristics curves. (HSG and HDG)

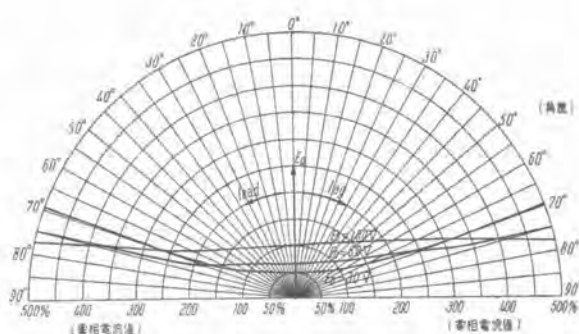
ている。すなわちこの範囲の動作特性は零相コンダクタンス継電器であるといえるわけである。HSG 型継電要素の最高感度は零相電圧が約 25% の時に得られさらに零相電圧が低下する場合は図示の如く動作電流値は急激に増大し、零相電圧が約 10% 以下では完全に不動作特性となっている。すなわち常時の残留分零相電圧（一般に 10% 以下と考えられている）と両回線の不平衡残留分誤差電流とによって誤動作する恐れがないわけである。

4 図は HSG 型継電器の力率特性を示したものであるが図示のごとく力率特性の端部は不動作方向に曲線化し消弧線輪接地系の故障発生時に生ずる過大な過渡電流によって誤動作せぬような特性となっている。これは零相電流の 2 乗に比例した抑制力を付加したことによって得られたものである。

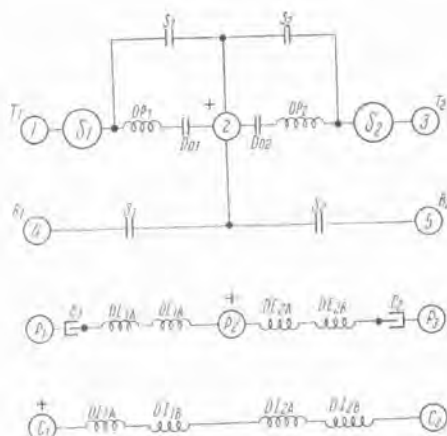
以上要するに HSG 型継電器は消弧線輪接地系に適用された場合においても適当な電流タップを選定することによって故障発生時の過大な過渡交流分および直流分電流に対して不正動作せず、また接地電流中に含まれる残留有効分電流（一般に 10% 以下と考えられる）にも応動する恐れがなく、消弧線輪に並列抵抗が挿入されて始めて確実な選択動作を行わせることができる。しかもこの場合不完全接地故障によって零相電圧が 100～30% の範囲に変化してもその選択可能範囲はほとんど変化しない特性を有している。したがって従来採用されてきたような限時鎖錠方式は不要となり、装置を簡略化することができる。また両回線不平衡残留分誤差電流が零相回路に現われてもその特性より明らかなように常時の残留零相電圧との相互作用によって誤動作する恐れがない。このように HSG 型継電器は消弧線輪接地系用として最適の動作特性を持っているが、また同時に高抵抗接地系にもそのまま適用することができる。

その上この場合には故障発生時の過渡現象がほとんど





4 図 力率特性 (HSG および HDG)  
Fig. 4. Power factor characteristics curve.  
(HSG and HDG)



5 図 HSG 型高速度選択接地継電器内部  
接続展開図 裏面図  
Fig. 5. Type HSG high speed selection  
ground relay interior connection  
speed and back view.

ないため、消弧線輪接地系の場合よりもさらに高感度の整定が可能で充分な保護を行うことが可能である。

HSG 型継電器は上述の継電要素 2 箇と動作表示器および補助接触器各 2 箇を同一の箱に納めたもので、並行回線の選択接地保護に 1 箇を要するのみである。

5 図は HSG 型継電器の内部展開図を示しており、継電器端子  $C_1$ 、 $P_2$  を同一極性としたとき制御回路 1 と 2 を、また端子  $C_2$ 、 $P_2$  を同一極性としたとき制御回路 2 と 3 を閉じるよう極性が定めてある。また電流タップの打込電流値は零相電圧 100 V のときの最低動作電流値で示し 0.2A~1A および 0.4A~2A のタップ調整範囲のものを標準としている。

なお最低動作時の電流回路所要 VA は各タップにて零相電圧 100 V のとき約 0.1 VA、電圧回路は 100 V のとき約 7 VA である。

## 2. HDG 型接地電力方向継電器

HDG 型接地電力方向継電器は単回送電線の限時選択接地保護または並行回線の限時後備保護接地継電器として最適のもので正確な定時特性を有している。

HDG 型継電器は抵抗接地系、および消弧線輪接地系で並列抵抗が併用される系統の限時段階方式による選択接地保護用に設計せられたもので、予定方向の有効分零相電力にのみ応動する特性を有している。この継電器はまた不完全接地故障に際して、零相電圧の低下に応じて自動的にその動作感度を高めるような特性を有している。高インピーダンス接地系における不完全接地故障に対しても確実な限時選択保護を行わせることができる。

なお HDG 型継電器は消弧線輪接地系における故障発生時の過大な過渡直流分電流および過渡交流分電流に対しても極めて強い不感動性を有し、消弧線輪に並列抵抗が挿入されて始めて始動するような特性を有している。

したがって消弧線輪接地系に適用する場合にも従来採用されたような限時鎖錠方式は不要となり、装置を簡略化することができる。



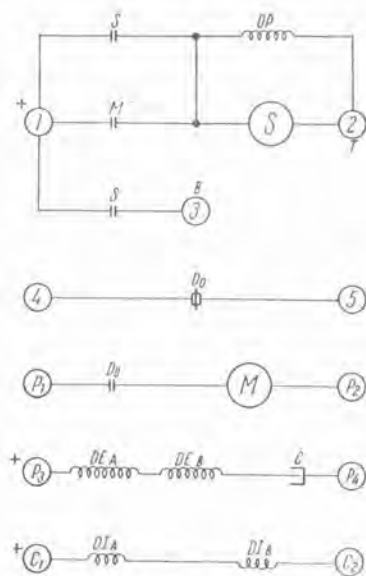
6 図 HDG 型接地電力方向継電器 (表面型)  
Fig. 6. Type HDG ground power directional  
relay (front type).

### ア. 構造および動作

6 図は HDG 型継電器の外観を示したものである。HDG 型継電器は HSG 型高速度選択接地継電器の主継電要素 1 箇と定時要素および動作表示器・補助接触器各 1 箇を同一の箱に納めたものである。

HDG 型継電器の主継電要素構造およびその動作特性は HSG 型継電器と全く同一であるからこの部分の説明は省略する。ただしこの継電器では主継電要素が瞬時動作の On 接点と Back 接点各 1 箇をもっている点異なるのみである。2 図はこの継電器の内部接続展開図であるが、図に見るように主継電要素が整定値以上の予定方向有効分零相電流に応動して瞬時にその On 接点  $D_{11}$  を閉じると定時要素  $M$  が起動し、予定の時限後  $M$  接点によって外し回路を完成するようになっている。

この定時要素は特殊の小型同期電動機で、その回転子は励磁されると浮動して歯車とかみ合い、消費されると瞬時に歯車とかみ合いが外れて落ち可動接触子が迅



7 図 HDG 型接地電力方向継電器内部接続展開図 裏面図

Fig. 7. Type HDG ground power directional relay interior connection spread and back view.

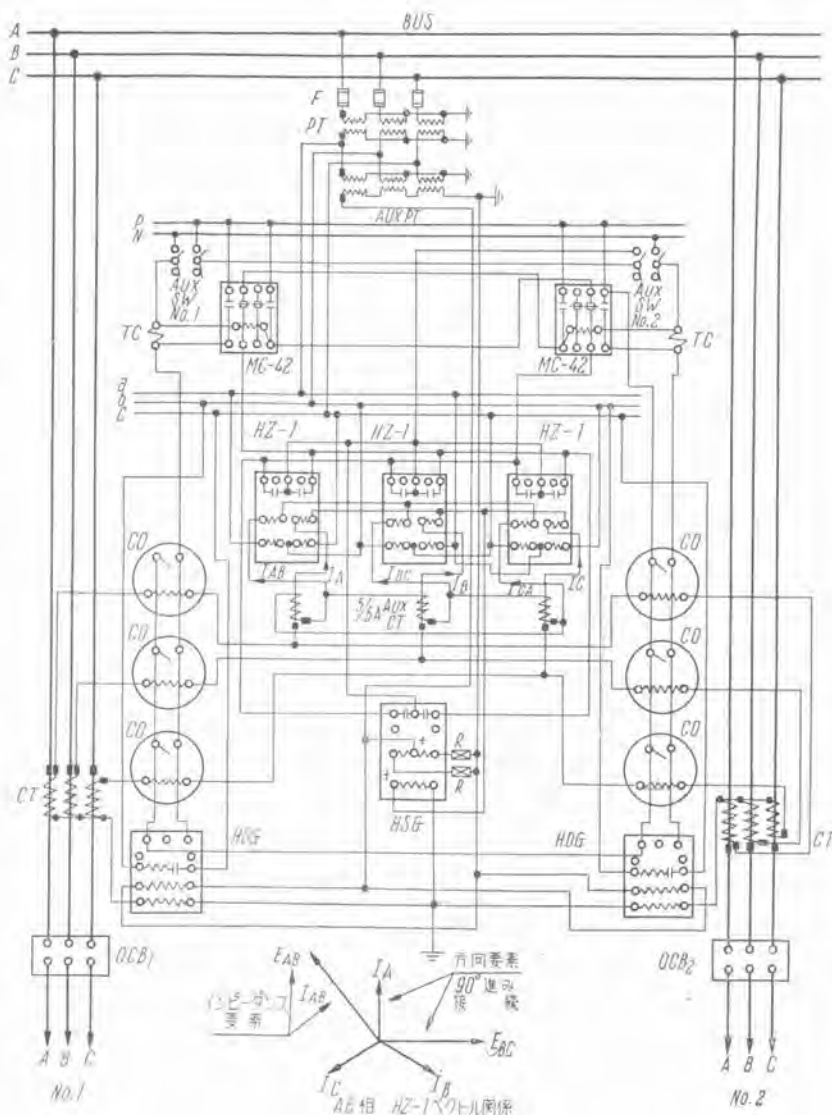
速に復帰するようになっている。なお限時レバーによって  $0 \sim 180$  c/s までの間任意に調整することができる構造となっている。この定限時要素は零相電圧によっても励磁することができるが、不完全接地の場合を考慮すると零相電圧は大きく変動するため不適當に相電圧によって励磁するように接続すべきである。ただしこの場合には接続相に短絡故障を伴えば不動作となる訳であるが、これは当然短絡保護継電器によって選択除去されるからならん支障とはならない。

この定限時要素は正確な限時特性を有しているため、使用遮断器の遮断時間にもよるが、 $0.2 \sim 0.3$  秒毎の限時段階整定も可能である。

HDG 型継電器の極性は 7 図で端子  $P_1, C_1$  を同一極性としたとき一定时限後制御回路 1 と 2 を閉じるようになっておりまた電流タップの打込電流値は零相電圧  $100$  V のときの動作電流値で示してある。

電流調整範囲は  $0.2$  A  $\sim 1$  A および  $0.4$  A  $\sim 2$  A のものを標準としている。なお最低動作時の電流回路所要 VA は各タップにて零相電圧  $100$  V のとき約  $0.05$  VA、零相電圧回路は  $100$  V のとき約  $7$  VA また限時要素駆動回路では  $110$  V のとき約  $3$  VA である。

なお瞬時要素の Back 接点  $D_0$  は母線の接地保護を目的として付加されたものである。



8 図 HZ-1 型 HSG 型および HDG 型継電器等による平衡保護継電装置外部接続図 裏面図

Fig. 8. Balanced protection relay scheme external connection diagram and back view by means of type HZ-1, HSG and HDG.

また 8 図は HSG 型および HDG 型継電器と HZ-1 型高速度選択短絡継電器とを組合した場合の外部接続を示したものである。図に示すように HSG 型継電器は両回線の零相差電流と零相電圧とによって付勢され、HDG 型継電器はそれぞれの回線の零相電流と零相電圧とによって付勢されている。しかし場合によっては HDG 型継電器を 1 台のみとし、両回線の零相和電流と零相電圧とによって付勢することもできる。ただしこの場合には零相和電流を得るために和動補助変流器を 1 箇設置する必要がある。

なお図示の場合は変流器の残留回路に HSG 型、HDG 型継電器とも接続してあるが、変流器の三次巻線回路に接続することも自由である。



# 乾燥理論より見た変圧器の乾燥

研 究 所

白 井 万 次 郎\*

## Drying of Transformers on Theoretical Analysis

Manjiro SHIRAI

Engineering Laboratory

The drying of transformers, one of very important processes in the assembly, has been little studied with theoretical consideration and collective reports on the subject are found nowhere. Hence, the writer aims at to bring the light on it. Hot air drying under normal pressure, according to his study, is accomplished at different drying rate depending on the atmospheric temperature and the relative humidity. When heat is given through hot air only, the surface temperature of the materials to be dried can not be raised above that of the wet thermometer, while, the vacuum drying, with its better drying ability than the case of normal pressure, is supposed to have less drying coefficient, which is followed by the lowering of temperature. Furthermore, it is not likely to entail enough driness to transformers on account of the surface tension if they were immersed in oil.

### 1. ま え が き

変圧器の乾燥は、でき上った変圧器のその後の使用状態や寿命に影響を及ぼす、組立作業中の最重要な工程の一つであり、その工程の遅速は電力会社にとっても、重要な経済問題であるにもかかわらず、これまで乾燥理論から解明された総合的な報告がなされていないようにみうける。この報告では変圧器の乾燥を乾燥理論より考察してみた。

### 2. 定常恒率乾燥

各部均一な含水率を有する固体材料を乾燥すれば、まず固体の表面で水分の蒸発がおこり、表面における水分の濃度が減少する。したがって内部の水分は表面に拡散してきてこれを補う。かくのごとく固体の乾燥には、表面蒸発と内部拡散の二つの主要素があり、そのいずれの抵抗が大きいかにより、乾燥機構が異なる。紙、パルプ、織物類のような繊維組織の材料は、毛細管現象により水分の内部拡散が甚大であるから、表面蒸発だけを考慮すればよいとされている。変圧器の乾燥の場合、乾燥すべ

きものは、フラボードのごとき繊維組織の材料である。

このばあい乾燥速度は一定となり、恒率乾燥と呼ばれ、熱が乾燥空気よりのみ与えられる場合は、乾燥速度はつぎの式で与えられている。

$$-\frac{d\omega}{A d\theta} = \alpha(p\omega - p) \quad (1)$$

ここで、 $\omega$  = 含水率

$\theta$  = 時間

$A$  = 蒸発表面積

$\alpha$  = 表面蒸発係数

$p\omega$  = 湿球温度の飽和蒸気圧

$p$  = 乾燥空気中の水蒸気分圧

つぎにこの乾燥速度に影響を及ぼす要因を一つずつ考えてみよう。

### 3. 表面蒸発係数

乾燥されつつある材料は、材料の表面に空気の境膜ができ、材料の表面で蒸発した水分はこの境膜を突破して、乾燥空気の流れの中に入る。この膜の抵抗をなすものが表面蒸発係数である。これに影響するものは、空気膜の

厚さとその中の水蒸気の拡散係数であって、境界の温度、空気の流れおよび方向等に支配される。

一般に  $\alpha$  は空気の質量速度  $v$  [kg/sec.m<sup>2</sup>] の関数として、つぎの式で与えられる。

$$\alpha = b + cv^n \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $b, c$ , および  $n$  は実験的に定むべき恒数である。 $\alpha$  は各種の材料につき、実験式が出されているが、フラボードについてのこの式はなく、比較的フラボードに近いと思われるパルプについてはつぎの式が与えられている。

$$\alpha = 0.036 + 0.00013u^{1.2} \dots\dots\dots (3)$$

ここに  $u$  は空気の速度 [m/sec] である。

変圧器乾燥の際、フラボードの表面を流れる風速は、変圧器タンク内に入る乾燥空気の風量を空気の通路の断面積で割ったもので、比較的  $u$  は小となる。(3)式が当てはまるとすると(3)式の第2項は小となり、 $\alpha$  は風速の大小によりあまり影響されないと思われる。しかし後でのべる理由により風速はやはりできるだけ大きい方がよい。

#### 4. 湿球温度の飽和蒸気圧

$\alpha$  が風速によりあまり影響を受けないとすれば、乾燥速度に影響するものは  $(p_s - p)$  である。熱が乾燥空気よりのみ与えられ、固体の表面から液体が乾燥する場合は、蒸発の潜熱を奪うから表面の温度は下り、乾湿湿度計の湿球温度まで下る。固体に含まれる水分の水蒸気圧は、この湿球温度の飽和蒸気圧であって、普通常識的に考えられているような、乾燥空気の温度の水蒸気圧を示すものではない。

湿球温度は外気の温度と相対湿度によってきまる。普通の乾湿湿度計には高温の外気に対する湿球温度がのっていないようであるが、この温度はつぎのようにして求めることができる。

今  $d\theta$  時間に蒸発した水分量を  $dw$  とし、蒸発に必要な熱量を  $dQ$  とすれば、

$$\frac{dw}{d\theta} = kA(p_s - p) \dots\dots\dots (4)$$

$A$ : 表面積,  $p_s$ : 表面温度(湿球温度)の飽和蒸気圧。

$P$ : 空気中の水蒸気圧,  $k$ : 空気境界膜における水蒸気の拡散係数。

$$\frac{dQ}{d\theta} = hA(t - t_s) \dots\dots\dots (5)$$

$t_s$ : 表面温度(湿球温度),  $t$ : 空気の温度,  $h$ : 空気境界膜の熱伝達係数。

$$\frac{dQ}{d\theta} = \gamma \frac{dw}{d\theta} \dots\dots\dots (6)$$

$\gamma$ : 水の単位量を蒸発するのに必要な熱量。

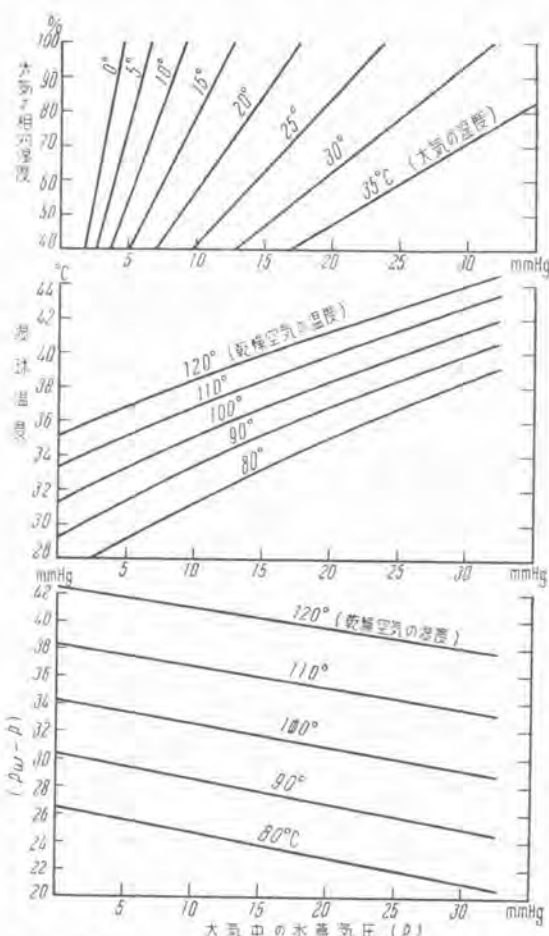
$$\therefore hA(t - t_s) = kAr(p_s - p)$$

$h/k\gamma = K$  とおけば

$$p_s - p = K(t - t_s) \dots\dots\dots (7)$$

標準圧力では  $K = 0.5$

$$\therefore p_s - p = 0.5(t - t_s) \dots\dots\dots (8)$$



1 図 大気の相対湿度、温度と乾燥温度における湿球温度および  $(P_w - P)$  との関係

Fig. 1. Relation between temperature by wet bulb thermometer and  $(P_w - P)$  at relative temperature, humidity and drying temperature.

(8) 式により、水蒸気圧の表を用いて、与えられた  $t$  に対する  $p_s, t_s$  を求め表にしたのが 1 図である。たとえば変圧器の乾燥温度を 110°C とすると、夏季において気温 30°C、相対湿度 80% の空気を用いる場合は、図より湿球温度は 41.4°C,  $(P_w - P) = 34.3$  mmHg であるが冬季において気温 5°C、湿度 50% の空気を用いる場合は、湿球温度 34.5°C,  $(P_w - P) = 37.8$  mmHg である。同じ乾燥温度でも乾燥速度にかなりの差があることが判り、乾燥温度が異ればその差はさらにいちじるしくなる。変圧器の乾燥に際しては、その時の外気の温度、湿度に応じた乾燥計画を立てる必要がある。場合によってはとくに乾燥した空気を作って用いる必要がある。

以上は熱が乾燥空気によってのみ与えられるとしたが、コイルに電流を通じて材料の内部からも熱を供給してやれば、表面温度を湿球温度以上にあげることができるから、乾燥速度を増すことができる。内部加熱と称せられているのがこれである。

#### 5. 不定常乾燥

これまで述べてきたところは、乾燥条件の変らぬ定常

条件の場合であるが、乾燥空気中の水蒸気圧  $p$  はフラボード等から蒸発してくる水蒸気のため増加してくるから、 $p$  は変圧器の空気の入口と出口で異ってくる。

空気中に含まれる水分量と水蒸気圧との間にはつぎの関係がある。

$$f = \frac{1.058p}{(1+0.00367t)}$$

ここに  $f$ : 絶対湿度 (空気  $1\text{m}^3$  中に含まれる水蒸気の gm 数),  $p$ : 空気中の水蒸気圧 [mmHg].

$t$ : 温度  $^{\circ}\text{C}$ .  $100^{\circ}\text{C}$  前後では,  $f=p$

今  $\theta$  秒間に  $dw$  の水が蒸発するとし, 1 秒間に変圧器中を通過する空気の容積を  $V/I$  とすれば, その空気中の水蒸気圧はつぎの量だけ増加する。

$$dp = \frac{dw}{\theta} \times \frac{10^3}{V} \quad (9)$$

蒸発面積の小部分を  $dA$  とし, その部分より蒸発する水の量を  $\frac{dw}{\theta}$  とすれば

$$\begin{aligned} \frac{dw}{\theta} &= \alpha(Pw - p)dA \\ \therefore \frac{V}{10^3} dp &= \alpha(pw - p)dA \quad (10) \end{aligned}$$

$Pw$  をほぼ一定とみなして, 変圧器の空気の入口および出口の水蒸気圧を  $P_1$  および  $P_2$  とすれば,

$$A = \frac{V}{10^3 \alpha} \int_{P_1}^{P_2} \frac{dp}{pw - p} = \frac{2.3V}{10^3 \alpha} \ln \frac{pw - P_1}{pw - P_2} \quad (11)$$

なる関係が存在する。恒率乾燥で蒸発の行われる表面積  $A$  が一定している間は  $P_2$  は一定なわけである。(11)の関係は送風量  $V$  が大きくなれば  $P_2$  が小なることを示しているから, 送風量の大きくなることは, 変圧器の空気の入口に近い所と, 出口に近い所を同じような乾燥条件に保つ効果があり, 乾燥速度を早める。乾燥初期に変圧器の温度を所定の温度に早く上げるためにも, 送風量の大きいことが必要である。変圧器内で行われる水分の蒸発がなくなれば,  $P_2 = P_1$  となるわけである。

## 6. 減 率 乾 燥

変圧器内のフラボードの乾燥は大部分恒率乾燥で乾燥すると考えられるが, スペーサの重ったような所では, 水分の内部拡散が問題となり, 減率乾燥を考えねばならない。とくに一度油浸したフラボードは内部拡散がおそくなるから, 早くから減率乾燥が始まると考えられる。一般に減率乾燥の始まる時期は, 表面における蒸発速度に水の内部拡散が及ばなくなった時におこるのであるから, 表面の乾燥速度と内部の拡散係数によって変化する。減率乾燥速度はつぎのごとくみちびかれる。

Fick の拡散法則によれば, 流れの定常状態においては媒体の単位面積を通過する水分の量  $w$  は, 媒体中の水分の濃度傾斜  $\left(-\frac{\partial c}{\partial x}\right)$  と水分の媒体中の拡散係数  $D$

で与えられる。

$$w = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad (12)$$

今単位面積の円筒の  $x$  方向における拡散を考えると, 円筒の軸に直角に  $dx$  離れた二つの面 1 と 2 に囲まれた単位容積内への水分の蓄積は,

$$\begin{aligned} w_1 - w_2 &= -D \frac{\partial c}{\partial x} + D \frac{\partial}{\partial x} \left( C + \frac{\partial c}{\partial x} dx \right) = \frac{\partial c}{\partial \theta} dx \\ \therefore \frac{\partial c}{\partial \theta} &= D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (13) \end{aligned}$$

(13) 式が不定常状態の拡散式で, (13) 式の一般解はつぎの式で与えられる。

$C = X(x)T(\theta) = [A \sin \lambda x + B \cos \lambda x] \exp(-\lambda^2 D \theta)$   
 $A, B, \lambda$  は初期条件によって定まる恒数である。

減率乾燥が始まる時のフラボードに残っている水分の濃度を  $C_0$  とし, フラボードの厚さを  $h$  とすれば, 初期条件は,

$$\begin{aligned} 0 < x < h \quad \theta = 0 \quad & \text{で,} \quad c = c_0 \\ x = 0, \quad x = h \quad \theta > 0 \quad & \text{で,} \quad c = 0 \end{aligned}$$

この条件より,

$$B = 0, \quad \lambda = (2\nu + 1)\pi/h$$

$$A = \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{4C_0}{(2\nu+1)\pi}$$

のごとく定まる。

$$\begin{aligned} \therefore C &= \frac{4C_0}{\pi} \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{1}{2\nu+1} \sin \frac{(2\nu+1)\pi}{h} x \\ &\quad \exp \left[ - \left( \frac{(2\nu+1)\pi}{h} \right)^2 D \theta \right] \quad (14) \end{aligned}$$

平均濃度は,

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \frac{1}{h} \int_0^h c dx = \frac{8C_0}{\pi} \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{1}{(2\nu+1)^2} \\ &\quad \exp \left[ - \left( \frac{(2\nu+1)\pi}{h} \right)^2 D \theta \right] \quad (15) \end{aligned}$$

故に単位面積からの乾燥速度は,

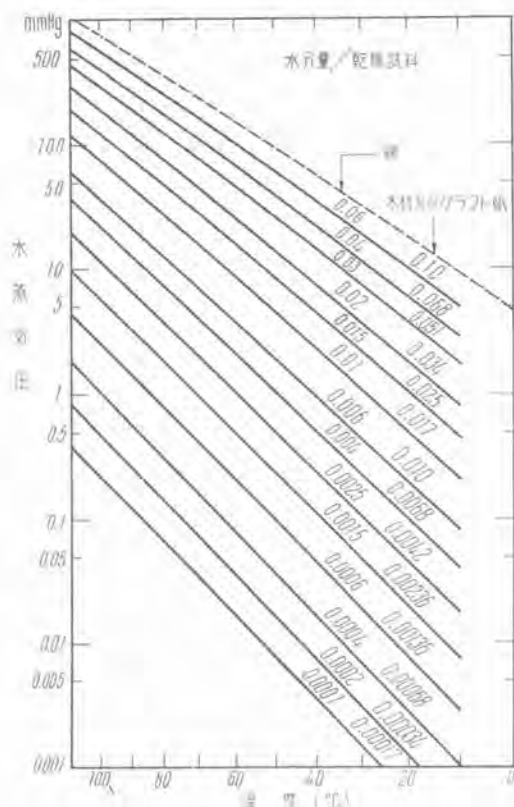
$$-\frac{dc}{d\theta} = \frac{8C_0 D}{h^2} \sum_{\nu=0}^{\infty} \exp \left[ - \left( \frac{(2\nu+1)\pi}{h} \right)^2 D \theta \right] \quad (16)$$

(16) 式からわかることは減率乾燥になると, その速度に大きく影響を及ぼすものは, 内部拡散係数とフラボードの厚さである。

## 7. 真 空 乾 燥

普通, 真空乾燥は高温にさらすと分解のおそれのある場合に用いられるが, (1) 式により, 気圧を大気の水蒸気圧より小にすれば,  $(pw - p)$  が大となり, 乾燥速度が大きくなる。





2 図 繊維材料中の水分量と空間の水蒸気圧の関係を示す平衡図。温度 10~110°C

Fig. 2. Equilibrium diagram showing the relation between humidity in fibrous material and vapour pressure in the space, temperature 10~110°C.

フラボードのごときセルローズ質材料は、その含水量に比例した平衡水蒸気圧をもっている。(1) 式より明らかごとく、常圧の乾燥では空気中の水蒸気圧以下にフラボードを乾燥することはできない。2 図はセルローズ質材料の含水量と、その平衡水蒸気圧を示したものである。たとえばクラフト紙の場合、気温 30°C、相対湿度 80% の空気を 110°C に加熱して、それを用いて乾燥すると、30°C、R. H. 80% の空気の水蒸気圧は 25.5 mmHg であるから、110°C で 25.5 mmHg の平衡水蒸気圧まで紙を乾燥すると、この時の紙の水分は図より求めて 0.51% である。これ以下に乾燥することはこの温度ではできない。しかるに 3 mmHg まで真空にすれば、水蒸気圧は少なくとも 3 mmHg 以下であるから、これと平衡する紙の含水量は 0.1% 以下になる。また変圧器内の水蒸気圧を均一にする効果もある。

ただこの場合、熱が供給されないから、水の蒸発によって温度が下り、これは乾燥に対してマイナスである。またこの場合、空気の流れがないから、表面蒸発係数  $\alpha$  は小となるであろう。

これから熱風乾燥と真空乾燥を交互に組合せたり、内部加熱と真空乾燥を組合せたりすることが行われている。

## 8. 変圧器の再乾燥

新たに設計された変圧器は、一度工場において組立てられ、乾燥注油されて試験が行われるのが普通である。これを発電所へ送るには、組立てられたまま送る場合もあるが、多くは油がぬき出されて、乾燥窒素が封入されて送られる。しかしなお現場において組立て作業中に大気にさらされるから、フラボードの再吸湿をさまたげることができない。したがって現場における変圧器の再乾燥が問題となる。油浸したフラボードの再吸湿は(13)式より(15)式が導かれたと同様に次式で与えられる。

$$c = c_1 \left\{ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - \left( \frac{(2n+1)\pi}{h} \right)^2 D \theta \right] \right\} \quad (17)$$

$c_1$  はその時の大気湿度と平衡する飽和吸湿量である。 $\theta$  が充分大きい時は(17)式の級数の第1項だけとっても充分によい近似が得られ、 $c_1$  を始めの水分量とすれば  $\theta$  時間後の  $c$  は次式で表わされる。

$$\frac{c - c_1}{c_1 - c_2} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[ - \frac{\pi^2 D \theta}{h^2} \right] \quad (18)$$

(18) 式により、大気にさらされた時間に応じた吸湿がある。これを乾燥するのが変圧器の再乾燥で、再乾燥の場合、乾燥によって充分絶縁抵抗が上らない場合がある。抵抗が上らなくても差支えないとされているが、充分乾燥しても油があるため、抵抗が上らぬのか、あるいは油があるため充分に乾燥できず、抵抗がしたがって上らないが、使用上差支えないというのか、その点は明らかでない。もし後者であるならば充分に乾燥する方法をとるべきである。

油浸フラボードの乾燥は、水分の蒸発と共に、油の蒸発を伴うから、その蒸発熱のため、油を含め場合より湿球温度が下り、乾燥がおくれる。また水分の内部拡散が未油浸の場合より悪いから、早くから減率乾燥が始まり、その速度がおそくとなると考えられる。さらに D. A. Mclean<sup>(4)</sup> によれば、紙を濡らす含浸液につけられた紙中の水分はつぎののべる理由により、1 mmHg 以下の真空下でも完全にはのぞかれまいとされている。

紙は普通の含浸剤により容易に濡らされる典型的な多穴性材料であるから、紙と液体含浸剤と接触すれば、多穴構造中に液体が入り、毛細管が穴中に圧縮されたガスと蒸気の圧に平衡するまで液体が入ることが期待される。

これらのガスと蒸気の圧は毛細管  $P$  により、周囲の媒体の圧力より大きい。 $\lambda$  を含浸液の表面張力、 $\varphi$  を含浸液と紙の接触角、 $R$  を紙中の穴の有効半径とすれば、

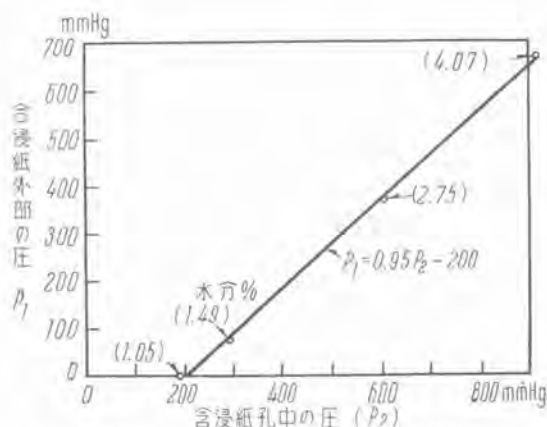
$$\text{毛細管力} = 2\lambda \cos \varphi / R$$

これまでの研究は  $\cos \varphi = 1$  として、大きな誤りがなことを示している。電気機器で普通に用いられる含浸液のような低蒸気圧の液体に浸した紙から、湿気をのぞ

こうとする場合、最初に発生する湿気は多くの閉じこめられた空気を一掃するが、その後の穴中の水蒸気は  $p_1$  を周囲の媒体の圧力とすれば、 $p_1 + 2\lambda/R$  の圧の下にある。もし  $p_2$  が平衡蒸気圧に平衡した穴中の圧に相応するならば、

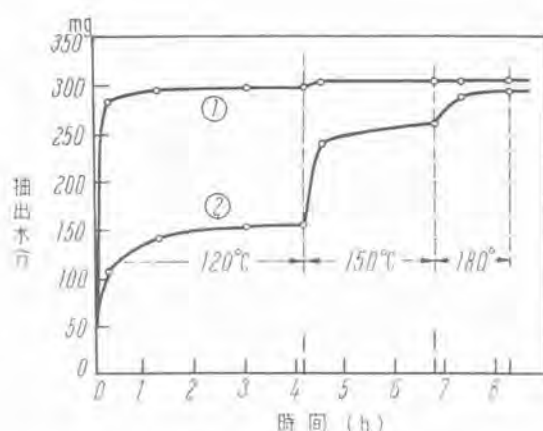
$$p_2 = p_1 + 2\lambda/R \quad (19)$$

この簡単な理論の結果は、水を含んだ油浸紙が真空中にさらされるならば、その最後の平衡湿気含量は試料の外部の圧  $p_1$  に相応しない、これより  $2\lambda/R$  大きい圧に相応することを示す。3 図は紙に塩化ナフタレンを含浸した試料につき、この関係を示すもので  $p_1$  は  $p_2$  の直線的関数である。実験的に見出された比例性の恒数は 1 の代わりに 0.95 であるが、これは理論に用いられた理想



3 図 含浸紙外部の圧と吸湿量に平衡する含浸紙穴中の圧との関係

Fig. 3. Relation between external pressure of impregnating paper and pressure inside the hole of paper balancing to it.



4 図 10g の試料紙からの水分の抽出  
(1) 含浸物なし、(2) Arochlor 1254 含浸。試料は試験中、1.0 mmHg 以下の真空中にさらされる。

Fig. 4. Extraction of water from 10g sample paper.

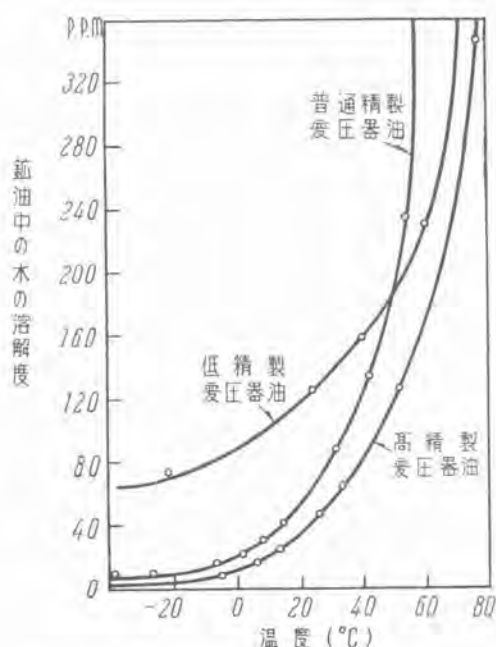
化されたモデルと、これらの実験に用いられた試料の差である。とくに重要なのは 3 図より  $2\lambda/R$  を直接に評価できることで、200 mmHg のこの値は紙の中の穴中の圧が外部圧をこえる量である。さらに試料を作るに用いた塩化ナフタレンの表面張力  $\lambda = 32.7$  dyne/cm を直接代入すると、紙の有効半径は、 $R = 2.46 \times 10^{-4}$  cm である。

以上にのべた理論は含浸紙中の水分を乾燥しようとする場合の障害物を明らかにする。4 図の曲線 1 は最初に約 300 mg の水分を含む未含浸紙の 10 g に対する曲線である。120°C 2~3 時間の真空中で、存在する湿気はほとんど追い出される。しかるに曲線 2 は同じ湿気含量の試料を Arochlor 中につけて乾燥した場合で、120°C、4 時間の真空は初めに存在する湿気の半分以上を追い出し得ない。温度を 150°C にあげて 2.5 時間、真空中にひいてもかなりの水が残る、180°C にあげてからほとんどすべての水分が追い出される。

変圧器の再乾燥の場合も、吸湿した油浸フラボードは、単なる真空加熱乾燥では完全に乾燥することが困難なことが推定される。

## 9. 熱油乾燥

湿った紙を乾燥した油につけて放置し、油中の水分量を測定すると、油中の水分は増加して平衡に近づく。湿った油に乾燥した紙を入れれば逆に油中の水分が減ってゆく。つぎつぎに乾燥した油を油浸フラボードに送ってやればフラボードは乾燥するわけで、熱油乾燥法はこの紙中の水分の油中への拡散を原理とする。水分を吸った油は適当な方法で水分をのぞき循環すればよい。油の飽



5 図 変圧器油中の水の溶解度

Fig. 5. Solubility of water into transformer oil.

和水分量は 5 図に示すごとく比較的に小さいから、乾燥にかなりの時間がかかるのではないと思われるので、真空乾燥ではこれ以上乾燥できない点まで乾燥した後に用いるべきであろう。また米油浸フラボードの乾燥に用いることも適當ではないであろう。この乾燥方法は公表されたデータが乏しいから、その乾燥速度については、今後の研究と経験に待たなければならない。

## 10. む す び

以上変圧器の乾燥に必要と思われる理論を列挙したが要約してつぎのようにいえると思う。

(1) 常圧における熱風乾燥においては、熱風に用いるその時の大気の温度、湿度により、乾燥速度が異なる。熱が熱風よりのみ与えられる場合は、乾燥すべき材料の表面温度は湿球温度以上にあげえない。湿球温度以上にあげようとする場合は、コイルに電流を通じていわゆる内部加熱を行わねばならない。

(2) 送風量を大きくすることは、変圧器の熱風の入口と出口を同じような乾燥条件に置くことに効果があり、また乾燥初期においては早く変圧器を所定の乾燥温度にあげることができる。

(3) フラボード類は大部分恒率乾燥で乾燥するが、乾燥の末期には減率乾燥を考える必要があり、この場合乾燥速度に影響するのは、材料中の水分の拡散係数と試料の厚さである。

(4) 真空乾燥は乾燥の到達点を常圧よりよくすることができ、また変圧器内の水蒸気圧を一定にすることができ、表面蒸発係数は幾分下ることが予想され、熱が供給されないから温度が下ってくる。

(5) 油浸した変圧器の再乾燥は、油の表面張力のため、フラボードの毛細管中の圧は、まわりの媒体の圧より大きくなり、真空を用いても十分な乾燥度に到達しないおそれがある。

(6) 熱油乾燥は乾燥した油中への紙中の水分の拡散によるから、再乾燥に適當ではないかと考えられるが、その速度はおそいものと予想される。この方法による乾燥は公表されたデータに乏しいから、今後の研究を待たなければならない。

以上は乾燥理論より導かれた結論であって、詳細は今後の研究と経験によらねばならないが、本文が今後の研究のなんらかの手がかりとなれば幸いである。

終りにのぞみ終始有益な示唆を頂いた伊丹製作所福中第一工作課長に厚く感謝する。

## 文 献

- (1) 八田、亀井、内田；化学工学
- (2) W. Jost；Diffusion (1952)
- (3) J. D. Piper；Elec. Eng. 971 (1946)
- (4) D. A. Mclean；J. Frank, Inst. 223 (1940)
- (5) F. M. Clark；AIEE, Tech. Paper. 40-77 (1940)



# 笠寺変電所向遠方監視制御装置

神戸製作所

大木 掀爾\*

## Supervisory Control Equipment for Kasadera Substation

Kenji OHKI

Kobe Works

The aim of the supervisory control equipment is to improve the operation of system with high efficiency as well as to economize the construction and maintenance costs. The National Railway of Japan has taken it into its latest installation of Kasadera Substation in the electrification of the trunk line. It has been strongly demanded now-a-days to have enlargement of its function and simplification of the apparatus, which are both met by our design for this facilities.

### 1. まえがき

遠方監視制御装置の利用は、被制御所設備の無人化による建設費・維持費の節減と集中監視制御による系統の運営能率の向上とを主たる目的として、近時わが国においても各方面に漸く盛んになってきたが、国有鉄道においてもつとに遠方制御による変電所の無人化に着目、検討され、東海道線に始まる幹線電化の計画に当っては、新設変電所の幾割かを無人とし、これらを隣接変電所から遠方監視制御する方式を採用されている。

当社では先に戸塚変電所(横浜変電所を制御所とする)向けの遠方監視制御装置を昭和 27 年に納入し、続いて、昭和 28 年には笠寺変電所(刈谷変電所を制御所とする)向けの同装置を納入、現在、尾張一ノ宮変電所(枇杷島変電所を制御所とする)向けの同装置を受注して鋭意製作中であるが、以下の本文においては、笠寺変電所に納入した同期群選択式遠方監視制御装置について、その機能・特長の概略を述べる。

### 2. 同期群選択方式の由来

発電変電所等の設備の制御回路の自動化が進むと共に、制御・監視・計測等の項目の中で、人為操作を必要とするものの種類はだんだん少くなるのが一般であるが、遠方監視制御装置はこれらの操作を遠く離れた制御所において、被制御所との間にごく少数の連絡手段を使用して行うもので、直接手動制御の概念を延長したものである。

ことができる。いま制御所・被制御所間の連絡を連絡線ケーブルによって行う場合を例にとりて考えると、少数の連絡線によって多数項目の制御監視操作を行うためには、この連絡線をそれぞれ所要の時期に両端において同時に種々の目的に切換えて使用するための選択装置を両所に必要とする。

遠方監視制御装置には従来非常に多数の方式があるのであるが、これを選択方式によって分類すれば次の二種類に大別することができる。すなわち、その一つは同期選択式と呼ばれ、制御所・被制御所間に同期的に送受される一種類あるいは二種類の選択信号を両所において計数登録して、両所に予め一定の序列に配置された選択継電器群を順次に歩進動作せしめて所要の選択を行う方式であり、他の一つはこれに対して直接選択式と呼ばれ、各選択継電器毎にそれぞれ種類の異つた付勢条件を対応させて所要の選択を行う方式であるが、両方式はいずれも一長一短を有している。すなわち、同期選択式においては、制御所と被制御所との間に送受される信号の種類が少数かつ一定であるため、連絡手段を含めて両所の装置が簡単になる代りに、選択所要時間が項目によって長短があり、またどの項目の操作を行う場合にも全項目にわたって歩進動作を行うため継電器の動作頻度が高くなるという不便があるが、これに対して直接選択式においては、選択が短時間に行われる代りに、信号の種類が増

本文に述べる装置に新しく採用した同期群選択方式においては、従来同期選択式の装置において一連に歩進動作を行っていた選択序列を適当な数群に分けて、装置が制御所・被制御所のいずれの側から始動する場合にも所要の項目が所属する群の間のみにおいて選択歩進が行われるごとくし、選択所要時間の短縮・平均化と装置継電器の動作頻度を大幅に減少せしめることにより操作の簡便と機能の向上をはかっている。

### 3. 被制御所設備と操作項目の概要

第1群...主回路關係故障監視

- 
- The diagram illustrates the internal wiring of a power plant, showing the connection between various components:
- Input Power:** Two 70 kV, 500% capacity power lines enter from the top.
  - Main Busbars:** Three main busbars are shown, each equipped with a 52F circuit breaker and a 400A fuse.
  - Transformers:** Three transformers labeled "IG.Tr." are connected to the main busbars.
  - Motors and Generators:** Three motor units are shown, each consisting of a motor (MR) rated at 1,500 V, 2,000 kW, and a generator (G) rated at 1,500 V, 2,000 kW.
  - DC System:** The motors are connected to a common 1,500 V DC bus through 54F circuit breakers and 3,000A fuses.
  - AC System:** The generators are connected to a common AC bus through 54F circuit breakers and 200A fuses.
  - 3 kV AC Circuits:** Several 3 kV AC circuits are shown, each protected by a 52F circuit breaker and a 200A fuse.
  - Grounding:** The system includes multiple grounding points, indicated by the 54F circuit breakers and 3,000A fuses at the bottom.

- S<sub>5</sub> 真空不良 (\*63 V-1), 主器温度上昇 (\*26G)
- S<sub>7</sub> 制御電源逆相・欠相・低電圧 (\*47C), (\*47M)
- S<sub>10</sub> 主器起動渋滞 (\*48G), 閃絡接地 (\*64P)
- S<sub>11</sub> 主変圧器内部故障 (\*96G-1), 同温度上昇 (\*26TG)
- S<sub>12</sub> 再冷器故障 (\*VH), 蓄電池充電装置故障 (\*72B)
- S<sub>13</sub> 真空不良 (\*63V-Z), 真空継電器断線
- S<sub>14</sub> ファンモータ故障および電熱器断線 (\*C), 回転真空ポンプモータ過電流 (\*51VM)
- S<sub>16</sub> 水銀真空ポンプヒータ断線 (\*37VH), 失弧 (\*53)
- S<sub>17</sub> 濾波回路電流制限抵抗器短絡失敗 (\*73FL)

S17 交流 3kV 回路直接操作中 (直接), 所内高压  
線過電流 (#51H)

- S<sub>18</sub> 自動信號線接地 (※64S), 同左過電流 (※51S)  
S<sub>19</sub> 同上低電圧 (※27SH), 高圧接地 (※64L)  
S<sub>20</sub> 電燈電力線過電流 (※51F), 同左接地 (※64F)  
S<sub>21</sub> 自動信號 1・2 號線予備加圧表示  
S<sub>22</sub> 自動信號 1 号内線・外線電圧表示  
S<sub>23</sub> 同上 2 号内線外線電圧表示

**S<sub>52S</sub>** 52S を除く交流遮断器の鎖錠復帰

- S<sub>21</sub> 受電電圧計測切換および表示  
S<sub>27</sub> 受電1号線周波数計測  
S<sub>28</sub> 受電2号線周波数計測

S.10 受電線用遮断器開閉制御および監視  
(#52R-2)

S31 所内変圧器回路用遮断器開閉制御および監視（#52L）

S<sub>32</sub> 遠隔測定用予備電源 M.G. 起動・停止制御および監視

第4群...1号整流器関係制御・監視・計測

- S<sub>33</sub> 整流器故障中表示  
S<sub>34</sub> 冷却水ポンプモータ起動・停止制御  
主器起動準備完了表示  
S<sub>35</sub> 整流器直流電圧計測切換および表示  
S<sub>36</sub> 交流側遮断器 開閉制御 および 監視  
(#52G)  
S<sub>37</sub> 直流側遮断器 開閉制御 および 監視  
(#54P)

S<sub>18</sub> 整流器直流電流計測切換および表示  
第5群……2号整流器関係制御・監視・計測

S<sub>41</sub>~S<sub>46</sub> 1号器に同じ

第6群...3号整流器関係制御・監視・計測

S<sub>19</sub>~S<sub>54</sub> 1号器に同じ

第7群...直流母線および饋電線関係制御・監視・計測

S<sub>57</sub> #54P (1・2・3号) 同時投入

S<sub>58</sub> 濾波回路遮断器開閉制御および監視 (#54F1)

S<sub>59</sub>~S<sub>63</sub> 直流饋電線遮断器開閉制御および監視 (#54F×5)

S<sub>64</sub> 直流母線電圧・全電流計測切換および表示

第8群...交流 3kV 回路関係制御・監視・計測

S<sub>69</sub> 鎖錠復帰 (#52S×2)

S<sub>70</sub> 3kV 母線および自動信号外線電圧計測切換および表示

S<sub>71</sub>~S<sub>76</sub> 自動信号線遮断器開閉制御および監視 (#52S×2)

S<sub>77</sub> 自動信号線電流計測切換および表示

S<sub>78</sub>~S<sub>79</sub> 燈力高圧線遮断器開閉制御および監視 (#52F×2)

S<sub>80</sub> 燈力高圧線電流計測切換および表示

S<sub>81</sub> 表示回路試験切換および表示

ただし、上記中 S の番号は選択点の序列を示すもので、空番になっているものは予備選択点となっている。なお本装置は上記のほかに選択装置によらぬ被制御所全停止操作および被制御所制御電源電圧常時計測装置と連絡用電話を含んでいる。

#### 4. 連絡線および制御電源

笠寺変電所は約 15 km 離れた刈谷変電所を親変電所として、ここから上記項目の遠方監視制御を行うわけであるが、この間の連絡は芯線径 1.6 mm、ビニール被覆遮蔽銅帯付ビニールシース 9 芯ケーブルによって行われ、この中 8 芯を本装置用として使用している。その使用内訳は次のとおりであるが両端の制御所・被制御所装置との接続要領は 2 図に示されている。

本装置の制御電源としては両所共 DC 100V の蓄電池を使用しているが、被制御所ではこのほかに遠隔測定用電源として AC 200V の交流電源を使用し、停電時には制御所よりの制御操作をまって蓄電池により予備電源用 MG を起動して、この際にも直流母線電圧の遠隔測定ができるようになっている。図に示す連絡線の使用内訳は次のとおりである。

C<sub>m</sub>.....共通帰線

D.....選択装置同期駆動用

C.....制御用(故障監視および群選択にも用いる)

S.....監視用(同上)

C<sub>0</sub>.....選択装置急速復帰用

T<sub>m</sub>.....遠隔測定用(常時指示)

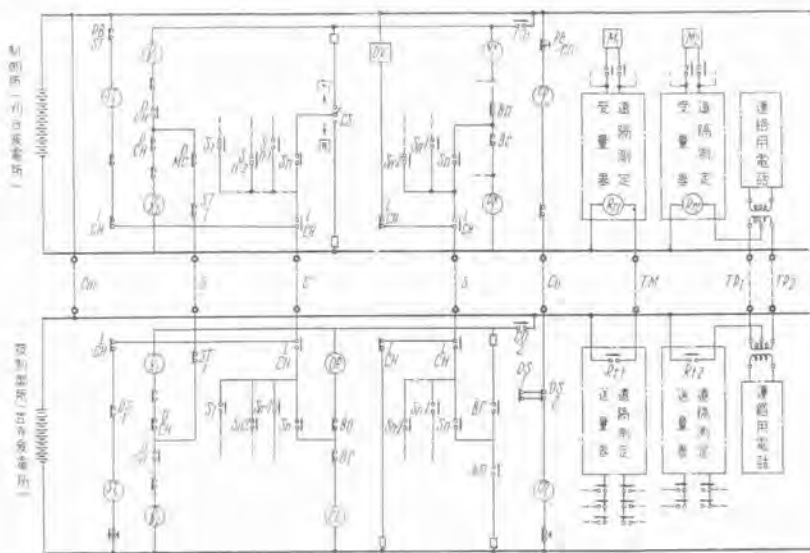
TP<sub>1</sub>, TP<sub>2</sub>.....電話用(遠隔測定に用いる)

#### 5. 選択装置

2 図に示す如く、本装置の始動前の状態においては連絡線 C の両端に(制)・(被) ST1 が直列に接続され、共通帰線 C<sub>m</sub> を経て常時付勢されており、制・被いずれかの側でこの直列回路を開いて(制)・(被) ST1 を同時に消勢すれば連絡線 D の両端に同期選択信号装置が接続され、同期選択歩進動作を開始する。

(制)・(被) ST1 消勢に続いて(制)・(被) DA1 付勢の時、(制)・(被) LCH が付勢され、連絡線 C の両端を(制)・(被) ST1 の回路から本年の目的である制御・監視回路に切換え、また連絡線 S の両端を被制御所の直流制御電源電圧計測回路から上と同じく監視回路に切換える。以下(制) DMC 付勢、(制)・(被) DA1 消勢、(制)・(被) DCH 付勢、(制) DMC 消勢によって(制)・(被) DB1 が同時に付勢され、次いで(制) DMC 付勢、(制)・(被) DB1 消勢、(制)・(被) DCH 消勢、(制) DMC 消勢によって(制)・(被) DA1 が再び付勢...と連絡線 D の両端に交互に直列に接続される(制)・(被) DA1 および DB1 の同期付勢消勢動作を制御所・被制御所にてそれぞれ計数登録し、これによって、選択継電器群を予定された序列に従って一段階ずつ歩進動作せしめ、この間連絡線 C, S の両端に制・被対応する制御あるいは監視装置を接続してゆき、状態変化した項目があればこの間に監視信号を送受して制御所にこれを表示警報を行う。制御所における選択操作は二段操作式選択制御開閉器の引き操作によって行われる。

前述のごとく、選択装置の同期駆動は(制) DMC によって制御されており、制御所から選択操作を行う場合には所要の項目が選択された時に(制) DMC が付勢状態を続け選



2 図 遠方監視制御装置接続要領図

Fig. 2. Circuit diagram of supervisory control equipment.



択歩進動作を停止する。この状態において連絡線  $C$  の両端には制・被の対応する制御装置が、また連絡線  $S$  の両端には同じく状態監視装置がそれぞれ接続されており、連絡線  $C_m$  をいずれの場合にも帰線として所要の操作を行うことができる。操作が終了後前記開閉器を元の位置に復帰すれば装置は引続いて選択歩進を行い予定の歩進を終了すれば始動前の状態に自動的に復帰し再び(制)・(被)  $ST1$  が連絡線  $C$  を通して直列に付勢される。

上述は本装置の基底をなす同期選択方式の概要であるが、本装置はこれに前述の群選択方式を新しく加えて採用したもので、各操作項目に対応する選択点 76 を前記 8 箇の群に分けて群選択を行うようにした。

今、制御所あるいは被制御所において監視あるいは制御操作を行おうとする場合には、所要の項目が所属する群がまず検出され、上述の選択歩進の初段階において連絡線  $C$ 、 $S$  の両端に直列に接続付勢される群選択継電器(制)・(被)  $G_X$ 、または  $G_Y$  の同期付勢によって、制・被の選択歩進回路に所要の項目の属する群の跳躍選択歩進回路を形成する。3 図は群選択信号送受回路を示し、4 図は群選択跳躍歩進回路の略図を示している。選択装置が群選択信号送受にあてられた最初の数選択点(本装

置の場合は 8 群に対して 4 選択点)を歩進し終った時、図示の群選択歩進回路において、次の歩進信号により選択歩進は所要の項目が所属する群の最初の項目に一気に跳躍して行われ、その群内の項目の同期選択歩進を行って前述の操作の後この群の最後の項目に歩進が及ぶと、その次の歩進信号によって選択序列の最終段階まで歩進が跳躍して行われ、続いて両所の復帰継電器が働作して選択装置は始動前の状態に復帰する。また、多数の項目の操作を引続いて行う場合には、これらの項目の所属する群の間で同様の跳躍選択歩進が行われる。

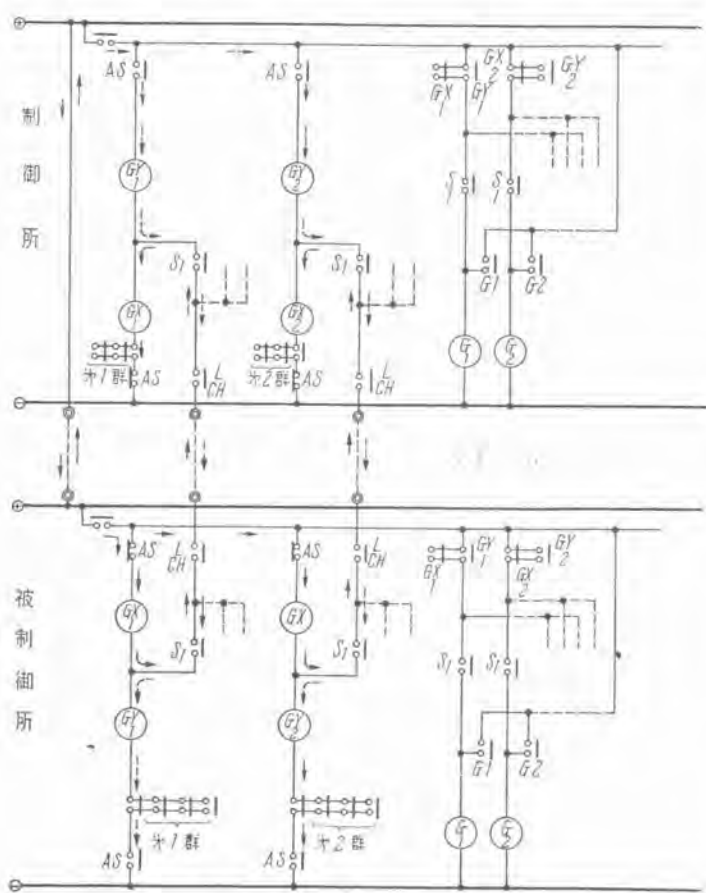
この群選択信号送受は、制御所から選択操作を行う場合と、被制御所から自動的状态変化を制御所に伝達するために自動始動した場合とそれぞれ別の継電器回路によって行われるため、制御所よりある群に属する項目を選択操作中に被制御所において他の群に属する項目の状态変化が発生した場合には、装置は直ちに始動前の状態に復帰すると同時に自動的に再び始動して、制御所の操作には無関係に自動的状态変化が発生した項目の所属する群のみの選択歩進を行い、所要の監視動作によって制御所にこれを表示警報した後この歩進動作が終了後装置は復帰するが、この時なお制御所の操作が続いていれば改めてまた装置は始動し通常の選択動作を行う。5 図は選択

歩進状態の例を三つ示したものである。すなわち、図中の上段は制御所より第 4 群に属する項目の選択操作を行った場合を、中段は被制御所において第 8 群に属する項目に故障が発生して遮断器の自動遮断を伴った場合の選択装置の自動歩進動作を、下段は制御所にて第 4 群に属する項目の選択操作中に被制御所において第 7 群に属する項目に故障が発生した場合の選択装置動作をそれぞれ示している。

本装置はこのように同期選択歩進の初段階において、本来が制御あるいは監視用に使用される連絡線  $C$  および  $S$  を利用して所要の項目の所属する群を選択し、同期選択歩進動作をこの群の間のみにとどめて選択時間の短縮・平均化と操作の簡便をはかったものである。笠寺変電所の場合 76 の選択点が 8 群に分けられており、制御所よりの操作に要する最大時限は約 3 ないし 4 秒である。

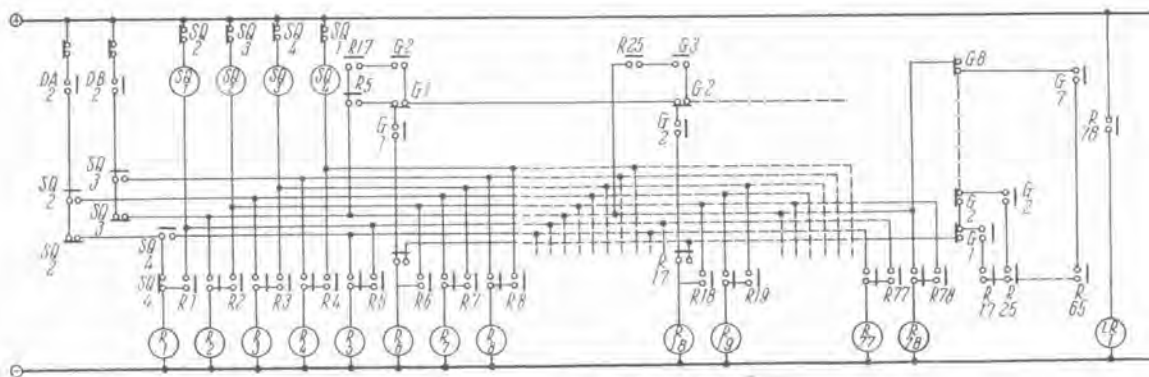
## 6. 制御および監視

制御所より被制御所の任意の機器を制御しようとする場合、二段操作式選択制御開閉器の引き操作によってまず所要の項目の選択を行うことは前述のとおりであるが選択が確認されると前記開閉器上部の選択表示燈(白色)が点じ、装置は 6 図に示された状態で停止する。この状態において、開閉器を閉方向に捻回操作すれば連絡線  $C$  の制御所端には制御



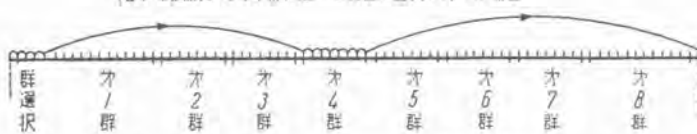
3 図 群選択信号送受回路略図

Fig. 3. Diagram of group selection signal response circuit.



4 図 群選択跳躍歩進回路略図  
Fig. 4. Circuit diagram of group selection stepping.

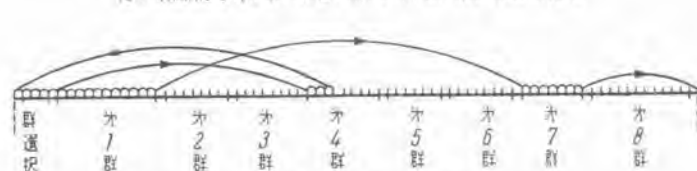
(a) 制御所よりオ4群に属する項目の選択を行った場合



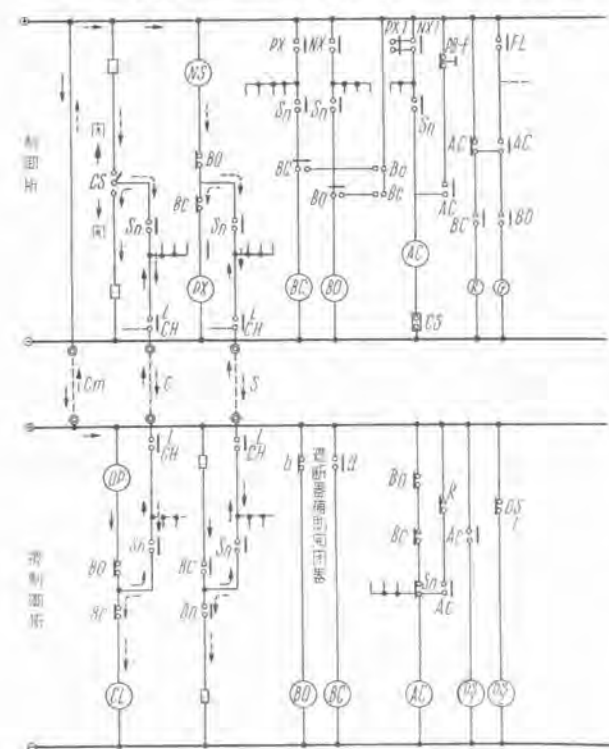
(b) 被制御所にてオ8群に属する項目に故障が発生した場合



(c) 制御所よりオ4群の項目を操作中オ7群に故障が発生した場合



5 図 群選択を行う場合の歩進状態例  
Fig. 5. Example of group selection stepping.



6 図 制御および監視回路略図  
Fig. 6. Circuit diagram of control and supervision.

電源の (+) 側が接続され、この時遮断器が開状態であれば→印方向の回路ができて、被制御所の開制御継電器  $CL$  が付勢され、遮断器の閉合が行われると継電器  $BC$  が付勢され  $CL$  を消勢すると同時に連絡線  $S$  の被制御所端に制御電源の (+) 側を接続する。したがって→印にて示される回路により制御所の状態監視継電器  $PX$  が付勢され、続いてこの遮断器の開状態表示用継電器を付勢して閉表示燈 (赤色) を点じる。開方向制御の場合はこれと逆にまず連絡線  $C$  の制御所端には制御電源の (-) 側が接続され、→印にて示される回路ができて、被制御所の開制御継電器  $OP$  が付勢され遮断器は引外される。この時継電器  $BC$  は消勢、 $BO$  が付勢され、継電器  $OP$  を消勢すると同時に連絡線  $S$  の被制御所端を制御電源の (-) 側に接続して、→印にて示される回路により制御所の状態監視継電器  $NX$  を付勢、開状態表示用継電器を付勢して該遮断器の開表示燈 (緑色) を点じる。同時にこれまで付勢自己保持されていた閉表示用継電器は消勢して閉表示燈 (赤色) は消える。

被制御所において遮断器の自動遮断あるいは投入等の自動的状态変化が発生した時は故障監視の場合と同じく装置は復帰自動再始動を行ってこれを制御所に伝えるが、制御所においてはこの場合継電器  $AC$  が付勢されて該遮断器の表示を切換えると同時にこれを点滅母線に接続する。したがって遮断器が自動遮断した場合には緑色表示燈点滅により、また自動投入の場合には赤色表示燈点滅によってこれを表示すると同時にベルにて警報が行われる。表示点滅およびベルはいずれも押釦によって停止できる。

故障監視は上述の状態監視と同じようにして行われるが、過電流等のように故障発生と同時にその回路の遮断器を引外す等の処置を伴う故障と、機器温度上昇等のように必ずしも処置を伴わず故障の発生・復旧共に監視する必要のある故障とは若干監視継電器回路を異にしている。(7 図参照)。本装置においては被制御所における故障の発生、復旧および機器の自動的状态変化の監視は他

のすべての操作に優先して行われるようになっている。すなわち、制御所よりの操作によって装置が動作中に被制御所にて自動的狀態変化が発生すれば、2 図に示す連絡線  $C_0$  の両端に常時直列に接続付勢されている (制)・(被)  $CO1$  の回路が (被)  $DS1$  付勢によって一時開かれ、(制)・(被)  $CO1$  の消勢によって選択装置はその状態の如何にかかわらず直ちに始動前の状態に復帰する。この時 (被)・(制)  $ST1$  の直列回路は (被)  $DS1$  付勢によって開かれているため前述の継電器動作によって装置は自動始動する。

制御所において集合故障表示器に発生した故障の種類を表示し、故障発生箇所は遮断器状態表示燈の点滅または器別表示燈によって表示される。

## 7. 計測

本装置に用いられている遠隔測定装置は直流衝流式であって、被測定量をこれに比例した数の直流衝流に変換したまま、直接受量側の継電器を断続動作させて、これによる蓄電器の充放電電流により計測指示を行う方式を採用している。これによれば搬送装置を必要とせず、簡単な装置で確実な計測を行うことができるわけで、従来誘導障害の多い場所では衝流式は搬送電流によらずに駄目だと考えられて遠隔測定に新生面を開いたといえる。遠隔測定装置の詳細説明は別稿にゆずるとしてこれに使用される連絡線および送受量回路は2図

に略示されている。この場合共通帰線は前述の制御・監視と共用し、電話用絶縁変圧器の midpoint を利用して、結局計測専用線は1本だけ使用することにより、常時2項目の遠隔測定回路が作られている。前述の計測項目は直流全電流と直流母線電圧の組と他を一括する組 (ただし、受電周波数と直流制御電源電圧を除く) の2組に分けて各組中よりそれぞれ1項目が常時計測されており、同じ組の中の他の項目の計測が行われるまで継続して指示を行う。

## 8. 装置の構造

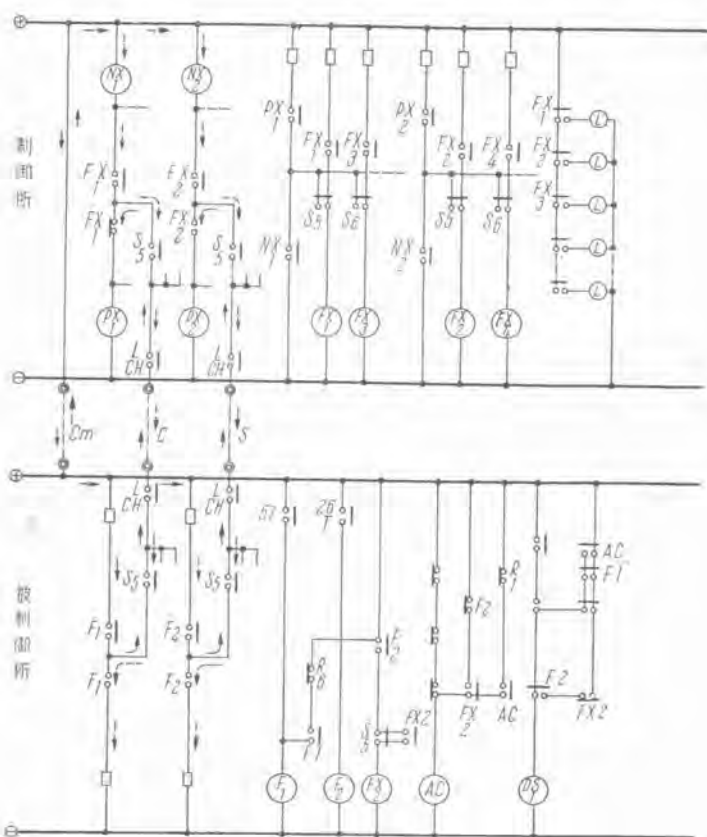
本装置に使用している継電器は図示の小型継電器で、制御所側 349 箇、被制御所側 392 箇をそれぞれ、48 箇宛収納できる防塵防湿構造の頑丈な継電器箱内に用途別に取付け、結線を施されている。継電器は強電用継電器に準じて A-C 1,500V 1 分間の耐圧を有しており、白金合金を接点に使用した頑丈な構造のもので永年の使用に耐える信頼度を有している。また、継電器は取付け枠につけ結線を施したまま、箱の前方に引き出せる構造としているため保守点検に便である。(8 図および 9 図参照)

10 図は制御所装置を、11 図は被制御所装置を示し、12 図、13 図は盤裏面結線の一部を示している。

## 9. むすび

以上により本装置の概略説明を終ったわけであるが、継電器動作の詳細は説明の簡明をはかる意味で割愛したので骨子だけの説明となった。本装置の特長とするところは、操作項目の選択序列を適当な数群に分けて、装置の同期選択歩進の初段階において群選択を行い、歩進動作を所要の項目が属する群の間のみにとどめて、選択時間の短縮平均化と継電器動作頻度の減少をはかり操作を簡便にした点にあり、この種装置の利用が盛んになると共に装置の簡略化と機能の拡張を同時に強く要望される最近の傾向に対し、いくらかの前進を行ったといえることができる。

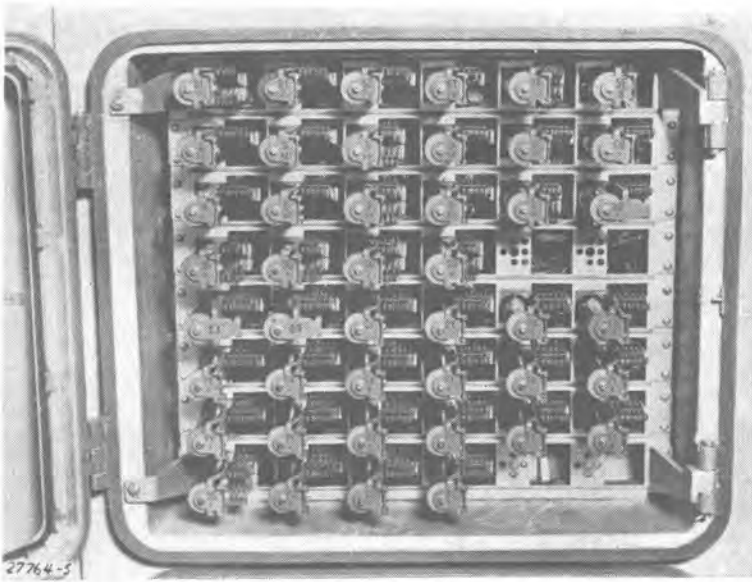
終りに本装置製作にあたって種々有益な助言を賜った国有鉄道の関係各位、終始ご指導を頂いた尾畑課長を始め配電盤設計課の関係各位、および製作・試験を担当された井村技師を始め工作技術課の各位に深く感謝の意を表する次第である。



7 図 故障監視回路略図

Fig. 7. Circuit diagram of fault supervision.

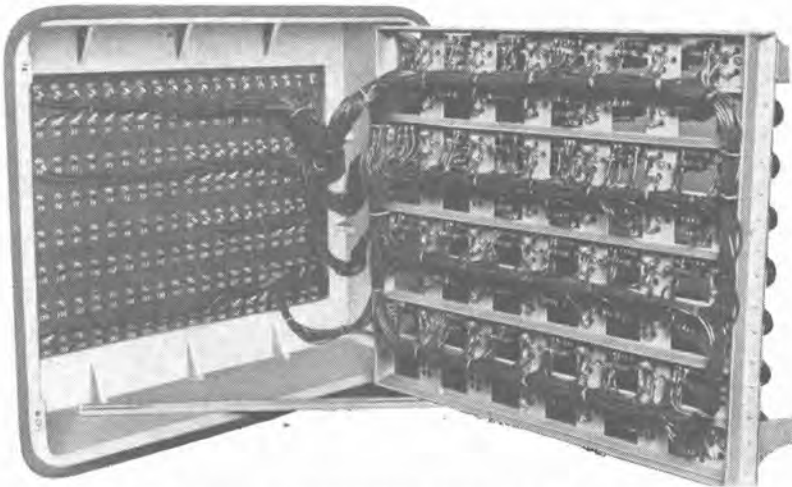




8 図 継電器箱（扉を開いたところを示す）  
Fig. 8. Relay box (door opened).



10 図 制御所（刈谷変電所）に設置される装置  
Fig. 10. Equipment in controlling station (Kariya substation).



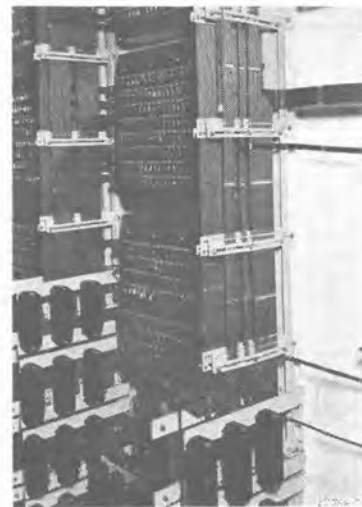
9 図 継電器箱（継電器取付枠を前面に引出したところを示す）  
Fig. 9. Relay box (mounting frame drawn out).



11 図 被制御所（笠寺変電所）に設置される装置  
Fig. 11. Equipment in controlled station (Kasadera substation).



12 図 制御盤裏面配線の一部  
Fig. 12. A part of back wiring of controlling.



13 図 継電盤裏面配線の一部  
Fig. 13. A part of back wiring of relay panel.

# 熱陰極螢光燈の管電流に関する一考察

研 究 所

山下 博典\*

## A Study on the Lamp Current of Hot Cathode Fluorescent Lamp

Hirotsuke YAMASHITA

Engineering Laboratory

Studies on the relation of the lamp current, one of the basic quantities of hotcathode fluorescent lamps, with various characteristics have revealed that an improvement of a few defects in the fluorescent light will be advantageously made by an increase of the lamp current. The limit of this increase will correspond to a definite value of a wall loading which is a certain quantity assumed.

### 1. まえがき

熱陰極螢光放電燈（以下螢光燈、あるいは単にランプと略称する）が現在の形式をととのえて出現して以来すでに 15 年以上を経過しているが、世界各国で使用されているその種類、定格等は米国において発表されたものをそのまま引きついでいる場合が多い。現在螢光燈はその使用目的に応じてそれぞれ適当な種類があり、今後もその品種はさらに増加するものと予想されるが、各種類の螢光燈の設計の基本的条件を検討してみると、必ずしも厳密な根拠にもとづいたものとはいえない点が見出される。

螢光燈が今後ますます普及する状況にあり、しかも室内照明の量と質が日常生活ならびに作業、経営能率に直結する度合いがよいと密接になってくる傾向において、諸種の要求目的に合致した照明光源を供給するのは当然である。まして欧米各国とは使用条件を異にすることが多いわが国では、米国の方式をそのまま採用実施することに対し問題を生ずることが多く、一応反省を要する時期に到達しているものと考えられる。すでに欧州では特色ある螢光燈の実用されている例が散見せられる。

筆者は以上の見地より螢光燈の設計に関する基本的条

件につき若干の考察を加え、この種の問題に関し二三の結論を帰納することができた。本文は螢光燈の特性をきめる一要素であるその放電電流、いわゆる管電流と、螢光燈諸特性との関連を調査した結果を大略述べ、この要素の決定に当たって考慮すべき諸条件を明かにするものであって、螢光燈設計においてその管電流の選択につき一指針を与えんとするものである。

### 2. 螢光燈の欠点について

一般照明用光源としての螢光燈は白熱電球その他のものに比し幾多の長所を有し、この点がその目覚ましい発展の根本原因をなすものであるが、一方若干の欠点を有する。つぎにその短所のうち本文に関連を有する点を挙げて見る。

その一つとして螢光燈の発生する光束値の比較的少ないことが考えられる。たとえば冷白色の 20W 螢光燈は 100V、60W ガス白熱電球に近い光束を発生しその発光効率も著しく高いが、このランプ 1 個では照度が不足の場合が多く、2 本ないし数本のランプを同時に使用するのが通例である。したがって燈具等の初設備費、ランプ費およびその取換え手数等を人ならしめる結果を生じ、高効率の光源を用いた効果を減殺することが多い。照度

向上の目的に、白熱電球では比較的簡単に高燭電球を用いて応ずることができるが、現在の蛍光灯では燈数を増加するか、寸法、定格を全然異にする別種の蛍光灯に変更する以外に手段がない。発光効率を多少低減しても同一寸法で光束の大きい蛍光灯の必要を感じることが実用上多い。

つぎに蛍光灯は低圧水銀蒸気放電管の通性としてその発光特性が室温に影響される程度が大きく、ことに低温における光束および効率の低下が比較的著しく、不経済な照明光源となり、また使用個所に制限をうけることがある。燈具の構造によっては点燈状態においてランプ周辺の温度が相当上昇することもあるが、一般に室温を調節しない場合には、年間平均気温が  $15^{\circ}\text{C}$  程度のわが国では不経済な点燈を行っている期間が長い。

以上のような欠点は蛍光灯の実用上看過されていることが多いが、照明経済的な考察をおこなった結果、相当重要な問題であることが明かとなった。次節以下は管電流の選定によりこれらの欠点の改善を試みるものである。

### 3. 蛍光灯の諸特性と管電流の関係

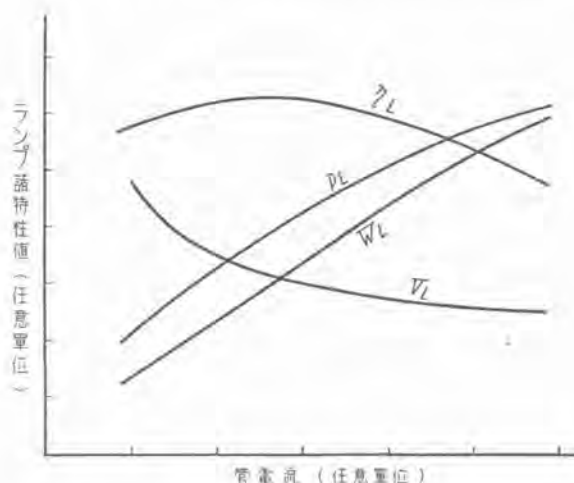
一般に蛍光灯を、その管電流を変化して管入力  $W_L$ 、管電圧  $V_L$ 、光束  $P_L$  および発光効率  $\eta_L$  を測定すると 1 図のような特性を示す。

蛍光灯の光を大きくするためにはランプ寸法を一定とすれば管電流  $I$  を増加すればよいことは本図より明かであるが、発光効率を大きくとるためには管電流に最適値が存し、これより小あるいは大なる電流において効率は低下する。

しからば管電流をいかなる値に選定するかは、これに関連する種々の問題を考慮に入れてなさるべきである。これについては大体つぎのような諸点が考えられる。

#### ア. 発光効率

1 図に示すとおり発光効率はある管電流に対応して極



1 図 蛍光灯の管電流諸特性との関係

Fig. 1. Typical relation F.L. current and its some characteristics.

大値をもつ傾向がある。蛍光灯の第一の持長である高効率光源という点を失わないためには管電流値を効率の極大またはこれに近い値に保つように選定すべきことはもちろんである。

#### イ. 陰極寿命

一般に蛍光灯の電極構造や使用材料等はその定格値において最も好適な動作を示すように設計されているから、管電流値はこの値より著しく低くても高すぎてもその寿命に悪影響を与えることが多い。電極構造を一定にしておいて管電流を増加すると、一般に電極およびその付近において消費される電力、いわゆる電極損失が増大し、電極上に形成せられる輝点の温度が上昇し塗布酸化物の蒸発、壊散が甚だしく、管壁付近の黒化により発光効率の低下、点燈状態の不良等の事故を発生する。しかしながらこの点は管電流の増加等を制限する限界をなすものでなく、それぞれの電流値に適応した電極の設計、使用材料の選択等がある程度可能であるから、この問題についてはここでは取扱わない。

#### ウ. 螢光体寿命

蛍光灯の寿命は電極の消耗および蒸発と、螢光体の劣化により決定せられることは周知のところである。螢光体の劣化はその種類、製作ならびに塗布操作により著しい差異があるが、同一条件のランプにおいても管電流値に影響される。一般に管電流の増加と共に劣化の程度が大きくなり、点燈時間の経過と共に発光効率が低下する。この点については螢光体の改良研究にまつ所が多く、今後の進歩が期待されるのである。

以上の諸点を考慮して管電流を増加する場合の諸条件について以下検討して見る。

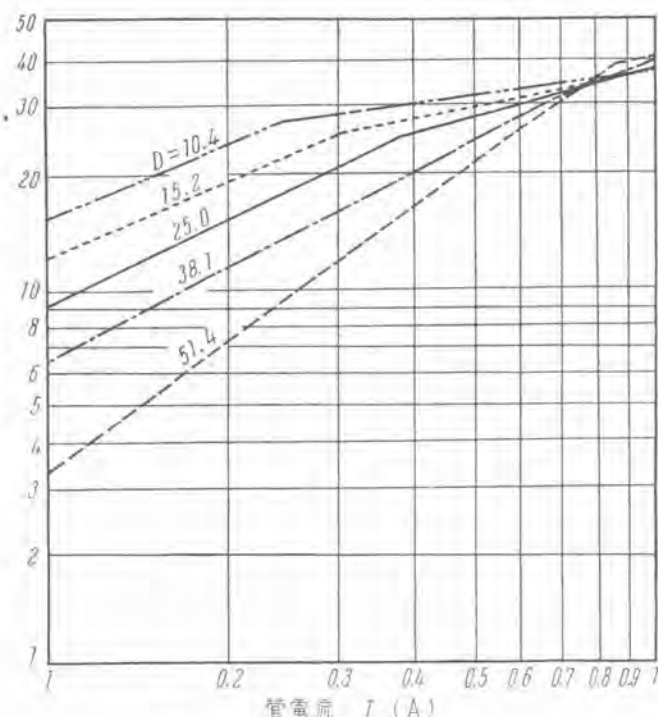
### 4. 管壁負荷と蛍光灯特性の関係

蛍光灯の一般性を考察するために不均一特性を有する電極付近すなわちランプ両端部を除外し、均一な特性を示す陽光柱部のみを考える。蛍光灯の管径  $D$  を変化して陽光柱部の特性を調査した結果、陽光柱部単位長さ当りの光束ならびに発光効率と管電流の間に成立する関係を 2 図および 3 図に示す。すなわちこれら諸量はそれぞれある管電流値において折れ曲った 2 本の直線で大略表わされるものと見られる。ことに発光効率は管電流値の小なる範囲ではその変化が少く、ある電流値において屈曲点を有し、より大きい電流範囲ではその低下が比較的大きい。

石英製殺菌燈についてその  $2,537\text{\AA}$  紫外線を測定した結果によると、2, 3 図のような蛍光灯の場合とほとんど一致した傾向が見られ、また二三の簡単な仮定の下に低圧水銀放電特性につき計算した結果<sup>1)</sup>、この屈曲点より大きい電流範囲では累積電離および第 2 種衝突の増加することが推論される。すなわちこの点を境として放電機構に変化のあることが考えられる。

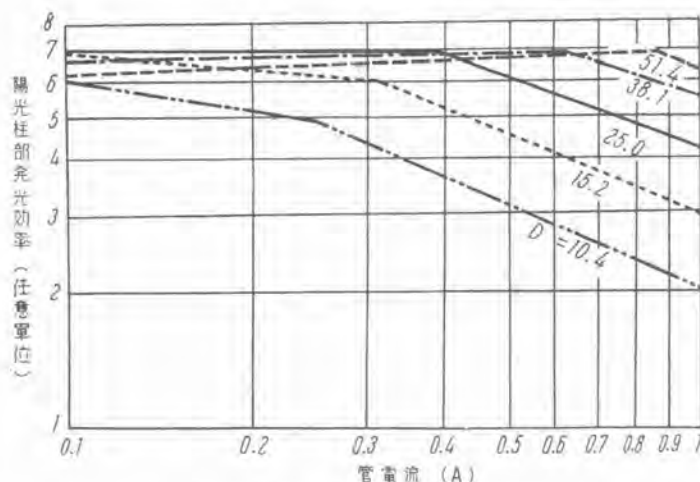
いま陽光柱部のガラス表面単位面積当りの弧光電力す





2 図 管電流 陽光柱部光束の関係

Fig. 2. Relation between lamp current and luminous flux at the part of positive column.



3 図 管電流と陽光柱部発光効率の関係

Fig. 3. Relation between lamp current and luminous efficiency at the part of positive column.

なわち電気入力を  $W_p$ , 可視輻射束密度を  $W_r$  とすれば,  $W_p - W_r = W_s$  の値は陽光柱内の各種非弾性衝突および吸収によるエネルギー損失をあらわし, 最終的にはガラス管壁より放散される熱損失密度である。

蛍光灯を無風の室内に水平においた状態で, この熱損失密度  $W_s$  が自然対流損失 (伝導損失を含む) および輻射熱損失より成るものとし, この値を管壁負荷と称することにする。筆者はこの  $W_s$  値を管壁温度分布の測定結

1 表 屈曲点に対応する特性値

管 径 $D(\text{mm})$	屈曲点に対応する特性値		
	管電流 $I(\text{mA})$	平均管壁温度* $T_w(^{\circ}\text{C})$	管壁負荷 $W_s(\text{mW}/\text{cm}^2)$
10.4	260	49.2	26.4
15.2	320	48.2	25.2
25.0	380	45.5	25.6
38.1	600	45.1	26.1
51.4	880	44.1	24.5

\* 蛍光灯を標準状態において水平に点灯したとき, 管軸を含む水平面上において管壁表面温度を測定した値で<sup>(2)</sup>, 蛍光灯陽光柱特性を検討するのに便利な基本量の一つである。

果より算出し, この量が放電管陽光柱特性を表示する基本的なパラメータの一つで, とくに蛍光灯のような多量の可視輻射束を有する低圧放電管において便利な基本量であることを見出した。

3 図の発光効率の屈曲点に対応する  $W_s$  値を各管径の蛍光灯について見出すと, 1 表のような結果が得られた。

1 表において屈曲点に対応する管壁負荷値はほとんど一定で, 管径  $D = 10 \sim 50 \text{ mm}$  の範囲にわたり平均  $W_s = 25.6 \text{ mW}/\text{cm}^2$  をとることが見出される。したがって蛍光灯の管電流値の選定において, 陽光柱発光効率をぎせいにすることなく大きくするためには, そのランプの管壁負荷値が大略  $25.6 \text{ mW}/\text{cm}^2$  を越えないように設計することが要求せられる。

## 5. 照明経済的問題と管電流の関係

屋内照明においては照度・配光・色調・光源輝度等のいわゆる照明の品質上考慮すべき点が多いが, 一方経済的な照明という問題と切離して考えることはできない。

電気照明に要する経費についてはその表わし方についても種々あるが, ここでは最も簡単に電力料金, ランプ価格等の直接経費のみを考慮し, 単位価格当りに得られる光束量 (lumen-hour) を表わす照明経費指数  $K$  を次式のように与える。

$$K = \frac{P_L \cdot S}{10^{-3} S (W_L + W_R) C + C_L} \quad (\text{lm-h/円}) \quad (1)$$

ここに

$S$ : 蛍光灯の有効寿命 (h)

$P_L$ : 蛍光灯の平均光束 (lm) ( $S$  時間中にランプの示す光束値の平均値)

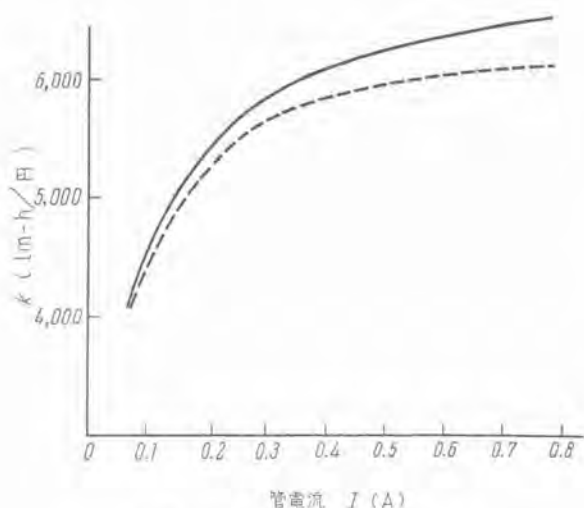
$W_L$ : 蛍光灯消費電力 (W)

$W_R$ : バラスト消費電力 (W)

$C$ : 電力料金 (円/kWh)

$C_L$ : 蛍光灯価格 (円)

いま, 蛍光灯として 40W (48") T-12 冷白色蛍光灯の形式を借り,  $S = 4,000$  時間にとり, 管電流  $I$  に対して  $P_L$ ,  $W_L$  および  $W_R$  を  $I$  の関数にあらわし,  $K$  値を算出した結果の一例を 4 図実線に示す。すなわち管電



4 図 管電流の増加による K の変化

Fig. 4. Change of K value with an increase of lamp current.

流  $I$  の増加にともなう  $K$  が増大し、所要照明経費が小となることが明かである。

管電流  $I$  の増加と共に蛍光灯自体の消費電力、ひいてはいわゆる弧光電力の増加を来すが、弧光電力と蛍光体劣化の関係を与える E. F. Lowry<sup>(3)</sup> の発表例が成立するものと仮定して、この点を考慮に入れても 4,000 時間後の  $K$  の値は 4 図点線に示すように、やはり管電流増加により照明経済的な利益が見られる。

さらに管電流変化による照明経費比較の他の一例として 40W(48")T-12 冷白色蛍光灯において、管電流  $I=420\text{mA}$  および  $600\text{mA}$  の両ランプを考え、前者をランプ A、後者をランプ B と称する。蛍光灯価格  $C_L$  を同一とし、 $P_L$ 、 $W_L$  および

$W_R$  をそれぞれ実測により決定し  $K$  値を算出すれば、

ランプ A:

$$K=6,200 \text{ (lm-h/円)}$$

ランプ B:

$$K=6,390 \text{ (lm-h/円)}$$

ある室内をこの両ランプで照明する場合を考え、必要な全光束を  $7 \times 10^4$  ルーメン程度とすれば、ランプ A で 29.9 本、ランプ B で 22.9 本要する。いま燈用燈具を用いるものとし、前者で 10 箇 後で 8 箇の燈具を使用すればランプ A で 30 本、ランプ B で 24 本となる。

P. Moon 等の使用している照明経費の算出式に上れば 1 燈 1 箇年当りの所要

照明費は<sup>(4)</sup>、

$$y = \frac{10^3}{P_L} \left( \frac{k_a C'}{t} + \frac{CW}{1,000} + \frac{C_L}{S} \right) \quad (2)$$

ここに、 $y$  は  $10^3 \text{ lm-h}$  当りの照明費用、 $k_a$  は利子、減価償却、維持等に関する系数、 $C'$  は 1 燈当りの初施設費 (円)、 $t$  は 1 年間の点燈時間、 $W=W_L+W_R(W)$  である。 $k_a=0.25$ 、 $C'=3,600$  円、 $t=2,500$  時間にえらび  $y$  値を計算すると、

$$\text{ランプ A: } y=337 \text{ 円}$$

$$\text{ランプ B: } y=294 \text{ 円}$$

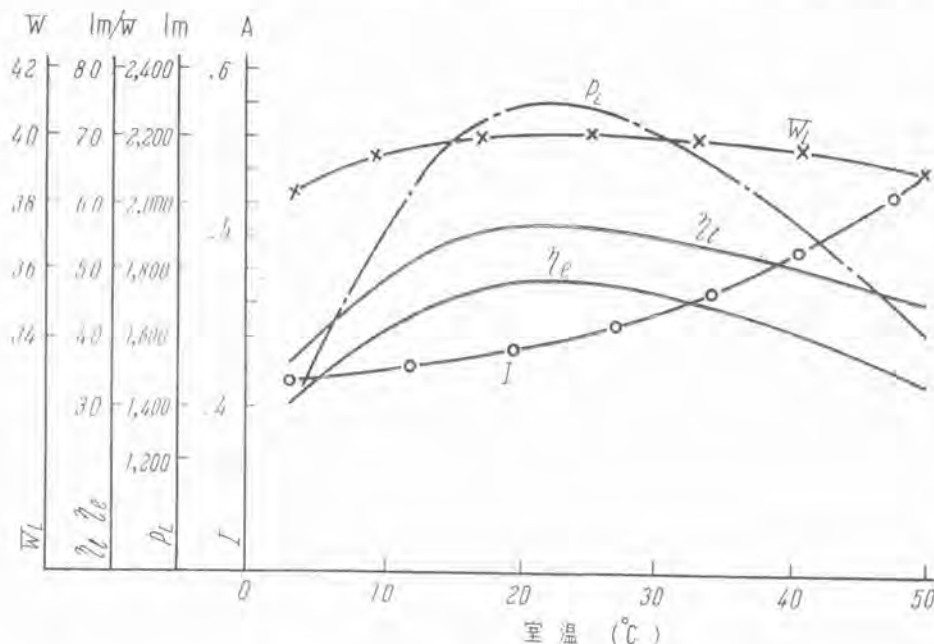
故にランプ 1 本当たりについて  $A:B=100:87.3$ 、全本数については  $A:B=100:69.8$  となる。すなわち管電流の増加はランプ個々における照明経済上の利益となるのみならず、燈具その他の関連条件を考慮するとその有利な点がより明かとなる。

蛍光灯と白熱電球の経済的比較はしばしば論ぜられたところであるが、この種の問題はほとんど論議する余地のない現在、照度水準の向上しつつある近代照明において本節に略述したような照明経済的考察を蛍光灯自身に加えて諸種の改良をはかる根本的指針とすることが必要であろう。

## 6. 室温と管電流の関連について

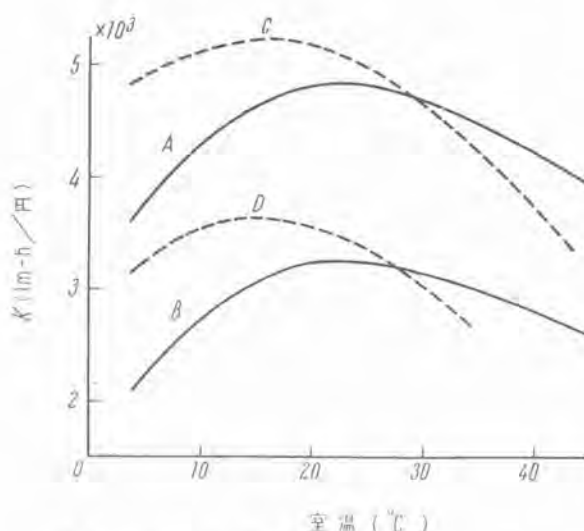
室温の変化にともなう蛍光灯の光束等の変動についてはしばしば取扱われている。5 図は 40W(48")T-12 冷白色蛍光灯に標準バラストを接続し、電源電圧一定の下に室温を変化した場合の諸特性測定の一例である。

いま  $S=3,000$  時間、 $W_R=7.5\text{W}$  として  $K$  の値を 5 図の測定値より算出すれば 6 図の実線に示すようになる。



5 図 40W(48")T-12 冷白色蛍光灯の周囲温度と諸特性の関係(電源電圧 200V 一定の場合)

Fig. 5. Relation between ambient temperature and lamp characteristics of 40W (48") T-12 Cool white Fluorescent light.



6 室温と照明経費指数の関係

曲線 A  $I=0.42$  A  $C=5$  円 kWh  
 B "  $C=10$  円 kWh  
 C  $I=0.60$  A  $C=5$  円 kWh  
 D "  $C=10$  円 kWh

Fig. 6. Relation between ambient temperature and illuminating cost index.

A  $I=0.42$  A  $C=5$  yen kWh  
 B "  $C=10$  yen kWh  
 C  $I=0.60$  A  $C=5$  yen kWh  
 D "  $C=10$  yen kWh

すなわちこの場合低室温、とくに  $20^{\circ}\text{C}$  以下で  $K$  の低下が比較的急激で照明経済上不利である。ランプは一般に燈具にとりつけられているから、ランプ周囲温度は室温より  $5^{\circ}\text{C}$  高いと仮定すれば、 $15^{\circ}\text{C}$  室温の場所では  $10^{\circ}\text{C}$  室温の場所<sup>(5)</sup>に比し同  $\rightarrow$  lm-h を得るためには  $K$  の値を比較して、

電力料金  $C=5$  の場合:  $4,640/4,160=112\%$

"  $C=10$  の場合:  $3,100/2,730=114\%$

すなわち  $15^{\circ}\text{C}$  室温の場合は  $10^{\circ}\text{C}$  室温に比し 12~14% 経済的に有利な照明を得ていることになる。

上記と同一ランプを管電流  $I=600$  mA にて使用し、バラストの電力消費  $W_R=13.2\text{W}$  とすれば 6 図点線の結果が得られる。かくの如く管電流を増加したランプは低室温における照明経費上の不利が著るしく緩和される。近時、低室温に適する蛍光灯としては単にその点燈開始条件の改良だけを加味したものが考えられているようであるが、照明経済的見地より、さらに考慮すべき重要な点が残されていることが明かとなった。

## 7. むすび

蛍光灯設計の基本的条件を考察した結果のうちで、その管電流選定に当り検討すべき若干の問題について論じた。

現在の蛍光灯の有する二、三の欠点を改良する手段としては管電流の増加が考えられ、これによってランプ光束の増大、照明経費指数の増加、ならびに低室温における照明的不経済の補正等の利点が見られることが明かとなった。

なおランプ発光効率の見地より管電流値の上限としては管壁負荷値  $W_s$  を  $25.6\text{ mW/cm}^2$  以下になるように選定すべき所以について論及した。

(注)

- (1) B. K. Klarfeld (J. Phys USSR Vol. 5, No. 2-3 (1941) 155) の示した計算結果にもとづき、電子数  $N_e$  と管電流  $I$  の関係を導出して見出すことができる。
- (2) 山下博典、大盛真次、竹田俊幸: 応用物理年会 (昭和 26 年 4 月) No. 62.
- (3) E. F. Lowry; I. E. Vol. 43, No. 1. (1948) 13.
- (4) P. Moon and D. E. Spencer: Lighting Design (N. Y. 1948) 70.
- (5) 理科年表 (丸善, 昭 22) によれば全年平均温度として東京:  $14.0$ 、大阪:  $15.1$ 、ニューヨーク:  $11.4$ 、サンフランシスコ:  $13.6$ 、ブラーグ:  $5.0$ 、ベルリン:  $8.9$ 、マニラ:  $26.6^{\circ}\text{C}$  である。



# 中 型 ベ ー タ ト ロ ン (その 1)

研 究 所

弘 田 実 弥\*・小 倉 成 美\*

## Medium Size Betatron (1)

Jitsuya HIROTA・Shigeyoshi OGURA

Engineering Laboratory

Medium sized betatrons were completed for the first time in last fall by our company after trial manufacture and are now in operation, delivering X rays of maximum energy 20 Mev. Being of Flux-Forced Field-Biased type, they are much more convenient in the adjustment of the locus of electrons than ordinary types. Economy in the power consumption and materials is one of another merits achieved. This article deals with their construction and various characteristics, their application and the rest being given in the next issue.

### 1. ま え が き

ベータトロンは磁気誘導により電子を加速する装置であり、この高速電子をターゲットに当てることにより透過力の強い X 線を発生することができる。その原理は 1928 年 Wideröe により提案され、約 10 年後 Kerst<sup>(1)</sup> が始めて試作に成功した。彼の最初の装置は最大エネルギー 2.3 Mev の X 線を発生し、その強度は  $R_0/\text{gr}$  に相当した。1942 年に 20 Mev ベータトロン<sup>(2)</sup> が完成され、1945 年には G. E. 社において 100 Mev<sup>(3)</sup> のものが完成された。300 Mev の試みもあったが、このような高エネルギーの目的に対してはその後発明されたシンクロトロンの方が有利であるので、これにとり代ってしまった。しかしながら 20 Mev ないし 30 Mev のエネルギーに対してはベータトロンの方が有利であり、大学等において核物理学の探求に利用されているほか、Allis Chalmers 社、Brown Boveri 社等により製品化され、工場における X 線透視撮影や、病院における深部癌治療用に広く実用されている。一方わが国では数年前より教育大学、大阪大学、および日立中央研究所においてそれぞれ最大エネルギー 3 ないし 6 Mev の小型ベータトロンが試作された。20 Mev 程度のものは当社研究所および日立中央研究所において昨年度後半組立完了し運転を開始した。

ベータトロンは X 線源として通常の X 線発生装置より遥かに高いエネルギーを有し、放射性同位元素たとえば  $\text{Co}^{60}$  に比べてもエネルギーおよび強度の点で優れ、さらに焦点が極めて小さい等の利点がある。そして最大エ

ネルギー 20 ないし 30 Mev のものが応用面から考えて最も適当なので、当所で約 2 年前よりこの試作に着手したわけである。

この装置はいわゆる Flux-Forced Field-Biased 型<sup>(4)</sup>を採用しており、わが国で最初に運転に入った中型ベータトロンであると共に特質ある存在である。

本稿ではまずベータトロンの原理を簡単に述べ、ついで装置の概要を説明する。

### 2. ベータトロンの原理について<sup>(5)</sup>

真空中の磁場  $H$  内で速度  $v$ 、質量  $m$  の電子の両く円軌道の半径を  $r$  とすると次の関係が成立つ。

$$mv = eHr \quad (1)$$

いま電子の円軌道内の磁束を  $\phi$  としこれが時間的に変化するものとすれば、電子に働く加速電場  $E$  は、

$$E = \dot{\phi}/2\pi r \quad (2)$$

であらわされる。

このため運動量  $mv$  が変化するが  $H$  がそれに比例して変ると  $r$  を不変として電子の加速が可能である。

すなわち

$$\frac{d}{dt}(mv) = eE$$

であるから、

$$\Delta\phi = 2\pi r^2 H \quad (3)$$

となる。

これを 2:1 関係と呼びベータトロンの基本式である。 $H=0$  なる時に  $\phi=0$  とすると  $\phi=2\pi r^2 H$  で、一様磁場の場合の 2 倍の強い中心磁場が必要なることを示し

ている。

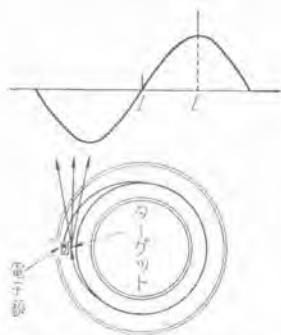
しかしベータトロン磁場としてはこれだけでは不十分である。というのは電子が一回転して得るエネルギーは数十  $ev$  程度であるから、20 ないし 30 Mev に加速するには数十万回の回転をしなくてはならない。したがって軌道への収束力が電子に働かなくては加速は不可能となる。このためには  $r$  および  $z$  方向の収束を考えて、軌道半径  $r_0$  近傍の磁場の分布が次のようになっていることが必要である。

$$H = H_0(r_0/r)^n, \quad 0 < n < 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

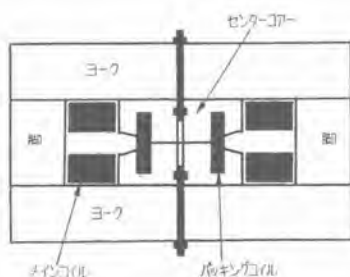
次に実際問題として加速に当りますどのようにして電子を軌道に入射するかという点であるが、通常軌道の外側から電子銃により 1 図の  $I$  の点でパルス的に入射。入射電圧とその瞬間の磁場の値が適当である時だけ電子は軌道にトラップされる。そしてこの際入射電流により空間電荷が形成されるためのエネルギー損失で軌道が収縮し、入射電子は電子銃に衝突することなく軌道にトラップされ得ると説明されている<sup>(6)</sup>。

トラップされた電子はその後加速を受けるが、 $E$  の点で (3) の条件を乱すと、軌道は拡大あるいは収縮するので電子はターゲットに当たり、X 線をパルス的に発生する。

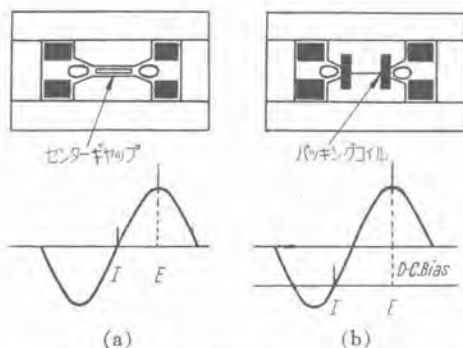
最後に電子エネルギー (Mev)、 $H$  (gauss) および  $r_0$



1 図 電子入射と軌道拡大  
Fig. 1. Electron ignition and expansion of electron orbit.



3 図 マグネットの構造  
Fig. 3. Structure of magnet.



(a) 普通型 (b) Flux Forced Field-Biased 型

2 図 2 種のベータトロンの構造および動作図  
Fig. 2. Structure of two kinds of betatron and their operating principle.

(cm) の関係について述べよう。電子は 1 (Mev) 程度で相対論的速度となるのでその運動エネルギーは次式で与えられる。

$$K.E. = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

ここに  $m_0$ ; 電子の静止質量,  $c$ ; 光速,  $\beta$ ;  $v/c$ ,  
(1) 式を用いて、

$$K.E. = \frac{e^2 H r}{v} - m_0 c^2$$

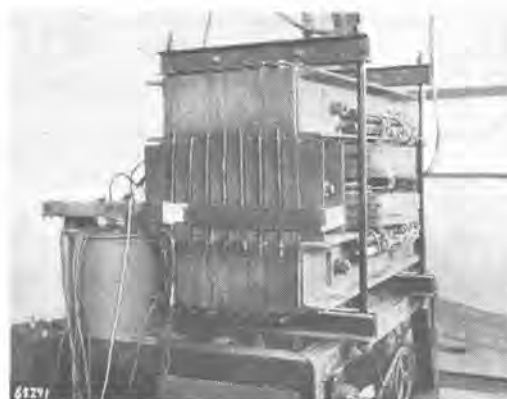
$$\text{よって } K.E. = 3 \times 10^{-4} H r - 0.51 \text{ (Mev)} \quad \dots (5)$$

したがって 30 Mev ベータトロンを設計するに当たってわれわれは  $r_0 = 18$  cm と取ったので、最大値 5,600 gauss の磁場が必要である。

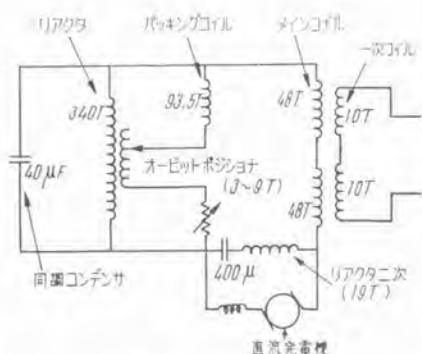
### 3. Flux-Forced Field-Biased 型

2 図に通常の型のベータトロンおよび Flux-Forced Field-Biased 型のものの断面図および動作図を示す。前者ではベータトロンの基本式 (3) を得るのに磁気抵抗の比によっているのに反し、後者ではメインコイルとバックアップコイルとの巻線比によっている。したがって前者では電子の平衡軌道の微細調整に相当面倒なベーパーミングが必要であるが、後者ではメインコイルとバックアップコイル間に挿入された単巻変圧器のタップを変えることにより簡単に行い得るので便利である。さらに後者では直流磁場を重ねさせてエネルギーの増大を図っているため、消費電力および資料の点で前者に比べ節減を行うことができる<sup>(7)</sup>。しかしながら励磁回路がやや複雑となることおよび加速磁極スペースが小さくなることは止むを得ない。注意すべきは直流磁束はセンターコアの加速磁極部分のみを通すことで、さもなければ交流磁束の最大値付近で中心磁場が飽和する。しかしこれはバックアップコイルに流す直流電流値により簡単に調節できる。

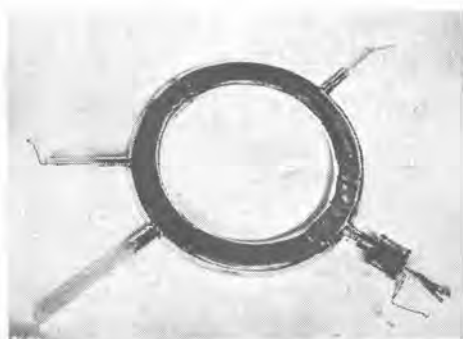
われわれの装置では消費電力は通常の型の約 50% でよかった。



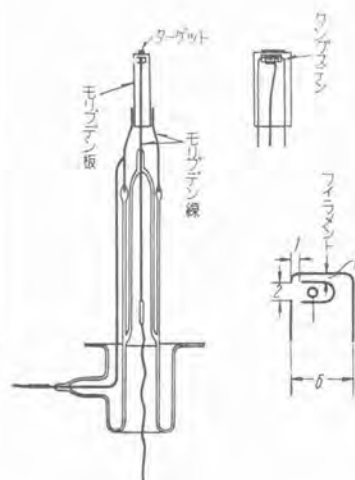
4 図 マグネット  
Fig. 4. Picture of magnet.



5 図 駆動回路  
Fig. 5. Driving circuit.



7 図 加速管  
Fig. 7. Dunut.



8 図 電子銃  
Fig. 8. Electron gun.

#### 4. 試作したベータトロンの構造

##### ア. マグネット

マグネット構造は 3 図および 4 図に示したように 0.35T 級珪素鋼板を使用した上下ヨーク、両脚および上下センターコアより成り、接合部をプレーナで面仕上げ後バットジョイントしてある。なお仕上げ面は渦流損を防ぐためエッチングを施した。センターコアは接着剤で加熱成型した 40 箇のセクタから成り、上下ヨークにそれぞれ固定されている。これらマグネットは温度上昇を防ぐため、銅板を挿入して水冷式としてあり全重量は約  $2\frac{1}{2}t$  である。

メインコイルは 2.3 mmφ の D.C.C. 線 37 本燃り 48 T、一次コイルは同上線 7 本燃り 10 T である。バッキングコイルは外径 6 mm の銅管 3.5 T であり、数 kW におよぶ渦流損および抵抗損による温度上昇を減少させるために、これに水を循環させている。なお絶縁はガラスマイカテープとアスベスト紙を併用し、シリコンを真空含浸して行っている。これらコイルの全重量は約 200 kg である。



6 図 電源室  
Fig. 6. Power source chamber.

##### イ. 励磁回路

5 図に励磁回路を示す。リアクタは平均直径 62 cm, 340 T の空心コイルで自己インダクタンス 60 mH のドライ型である。それには二次巻線が 2 箇あり、一つはいわゆる Orbit Positioner として電子平衡軌道の微細調整に用い、他は 400 μF のコンデンサと直列共振させ、直流発電機をその間に挿入している。同調用コンデンサは 40 μF で 180 c/s に並列共振した。

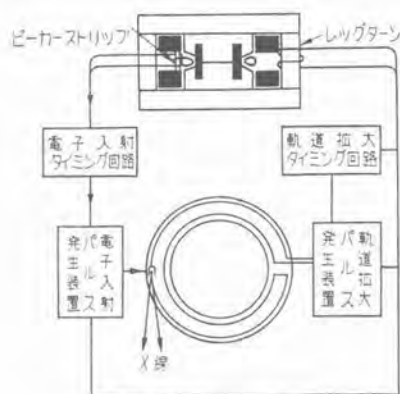
電力は 20 kW の直列インバータと 4 kW の直流発電機により供給している。ベータトロンのインバータを使用した例はまだなく当装置の一つの特長である。ベータトロンの二次側で同調を取っているため、一次側より見て純抵抗負荷としてインバータを設計した<sup>(6)</sup>。

6 図に電源部の写真を示すが、それにはインバータ、同調用コンデンサおよび直流発電機を見ることができよう。

##### ウ. ドーナツ

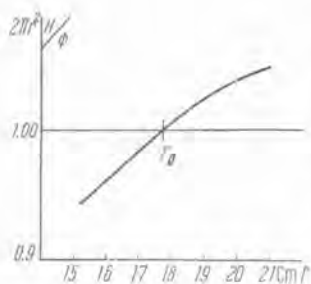
電子加速管、いわゆるドーナツを 7 図に示す。これは硬質ガラスを割り型に吹き込み半分ずつを造り後接合するという方法によった。内面は薄く銀メッキしてあり、これをアースすることにより、使用時に荷電が内壁に集積するのを防ぐ。

電子銃は 8 図に示すような構造であり、その位置調整はベローおよび擦り合せによって行っている。



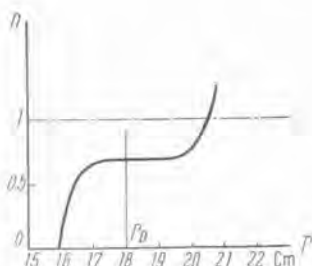
9 図 ベータトロンの補助回路  
Fig. 9. Auxiliary circuit of betatron.





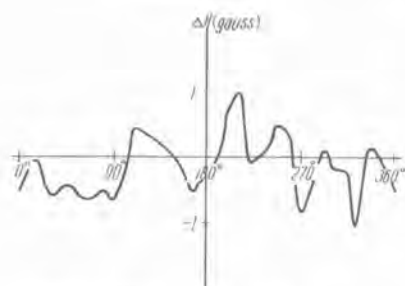
10 図 平衡軌道の測定

Fig. 10. Measurement of  $r_0$  equilibrium.



11 図 磁場の測定

Fig. 11. Measurement of guide field.



12 図 電子入射時の磁場の不均一性の一例(補正後)

Fig. 12. Example of corrected bumps as a function of azimuth.

排気は 30 l/sec の拡散ポンプにドライアイストポンプを用い、使用真空度は  $5 \times 10^{-6}$  mm Hg 程度である。現在以上のように排気型であるが、簡便さおよび真空度からいっても封じ切りドーナツの方が望ましい。

#### エ. 電子回路

電子を入射したり、あるいは軌道を拡大してターゲットに当てるための回路のブロックダイアグラムを 9 図に示す。磁極間に挿入されているいわゆる Peaker Strip からの出力で電子入射パルス発生装置が働き、電圧 20 kV、パルス幅 10  $\mu$ S で入射を行う。その入射時の調整は Peaker Strip に直流を重ねることにより行っている。

電子軌道の拡大は磁極面にはりつけたエキスパンダーコイルに 500 A ピーク、パルス幅 20  $\mu$ S 程度の電流を流すことにより行う。その拡大の時間、したがって発生 X 線エネルギーの最大値はマグネット脚に巻いた付随コイルの電圧の位相をずらすことによって任意の点に調整可能である。

電子入射電圧はサイフトロ管 6G76 によるコンデンサ放電を用い、空芯トランスで電圧上昇させて得ている。

電子軌道拡大電流にはイグナイトロン MI-150 によるコンデンサ放電を用いている。

### 5. 諸特性について

#### ア. 磁場

まず電子平衡軌道であるが、これは前述 (3) 式の条件を満足する半径  $r$  を同心円コイルとサーチコイルを併用して測定し、Orbit Positioner で調整して  $r_0 = 18$  cm に選んだ。その実測結果を 10 図に示す。

収束作用を行わせる (4) なる条件を満足する磁場を得るために近似的に次式で計算した。

$$h = h_0 \left( 1 + \frac{n}{r_0} \rho \right) \quad (6)$$

ここに  $h$ : 磁極間隔,  $h_0$ :  $r_0$  における磁極間隔,  $\rho: r - r_0$ .

$n = 3/4$  と選んだが実測結果は  $n = 0.7$ , 使用幅 4 cm で

あった。それら磁場特性を 11 図に示す。

つぎに磁場特性として重要なことはいわゆる Bumps であって、入射時において磁場の角度に対する均一性がどうかという点である。これが過大であると電子入射が著しく阻害される。実測結果の一例を 12 図に示す。なお当装置については A-C Bumps より D-C Bumps の方が大きく、これの補正は磁極面に補正コイルを挿入することにより種々試みたが、現在までのところさして効果的でなかった。

#### イ. Orbit shift

直流を重ねて行った場合、バイアス角が  $40^\circ$  を越すとかえって X 線強度が減少する。これはメインコイルとバックアップコイル電流間の位相差によって電子軌道が偏移するために生じ Flux-Forced 原理を使用した装置では避けられず、その多少が实际的に装置の最大エネルギーを制限する。

いま中心磁束と磁場間の位相角を  $\Delta$  とすれば電子軌道の偏移  $\Delta r$  は近似的に次式で与えられる。

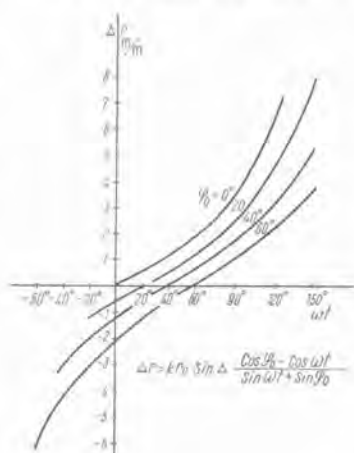
$$\Delta r = k r_0 \sin \Delta \frac{\cos \varphi_0 - \cos \omega t}{\sin \omega t + \sin \varphi_0} \quad (7)$$

ここに  $\varphi_0$  はバイアス角である。

実測によれば当装置につき  $\Delta$  は約 25 ft であり、これより電子軌道の変化は 13 図に示すようなものと考えられるが self expansion パルスの位相の観測結果ではこれよりやや大きく、バイアス角を深くするにつれ Orbit Positioner を調整して、電子入射に伴う振動で磁場の使用幅の外に電子が外れるのを避けることによって良い結果を得た。

#### ウ. X 線の特性

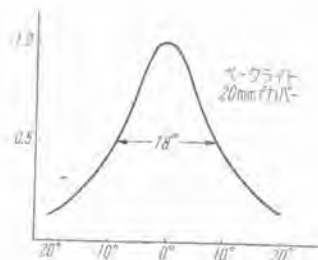
まず X 線強度であるが、アルミニウムの平行電極



13 図 平衡軌道の変化  
Fig. 13. Shifts of equilibrium orbit.



14 図 ベータトロンの X 線のエネルギー分布  
Fig. 14. Energy spectrum of betatron X-ray.



15 図 X 線束の角度分布 ( $E_{\max} = 10$  MeV)  
Fig. 15. Angular distribution of X-ray beam.

型の空気電離槽 (300 cc) を作り測定した。その結果ターゲットより 1 m の距離にて  $10r/min$  が現状であった。なお直接の電子やドーナツ壁よりの二次電子が相当飛び出してきているから、それら電子の平均飛程に選んだ Lucite ブロック等で電離槽を包んで測定するのが普通である。

X 線のスペクトル分布には Schiff<sup>7)</sup> の計算があり、それによれば 14 図のようなものと考えられる。その  $E_{max}$  の値は磁場値より推定することができるが、 $(\gamma-n)$  反応の Threshold を利用して較正を行わねばならない。われわれは  $Cu^{63}(\gamma-n)Cu^{62}$  (Threshold = 10.9 Mev) につき行った。その方法はサンプルを X 線で衝撃してから、それに放射能が生ずるか否かをマイカ窓  $\beta$  計数管で測定すればよい。その他  $A_{\beta}$ ,  $S_{\beta}$ ,  $S_{in}$ ,  $M_{\beta}$  等についても行ってみた。

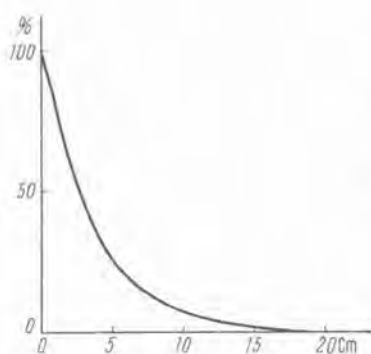
つぎに X 線束の角度分布であるが、15 図に 10 Mev で運転した場合の実測例を示しておく。この例の使用ターゲットは 0.4 mm タングステン 3 本である。なお角度分布を理論的に決定することはターゲット形状が複雑であり、かつ電子が通過するターゲット厚が一定でないため容易でない。X 線強度を大きくするためにはターゲットが厚い方がもちろんよいが、X 線束の拡がりも大となるのでターゲット厚さはその材質中の電子飛程の半分に選ぶ場合が多い。これは 20 Mev では白金ターゲットなら約 1.5 mm 厚に相当する。

16 図に  $E_{max}=20$  Mev の X 線の鉄に対する吸収曲線を示しておく。

なお当ベータトロンは昨年 7 月竣工した放射線実験室に据え付けられている。その平面図を 17 図に示すが、60 cm のコンクリート壁で仕切られた操作室からベータトロンを運転するようになっており、人員の曝射量については常にポケットチェンバで監視している。18 図に操作機の写真を示す。

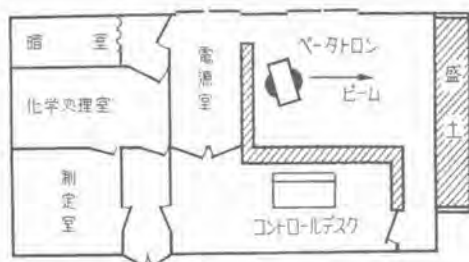
## 6. むすび

以上ベータトロンの原理と当所において試作した



16 図  $E_{max}=20$  Mev の X 線の鉄に対する吸収曲線

Fig. 16. Absorption curve of 20 Mev betatron X-ray in iron.



17 図 実験室  
Fig. 17.  
Plan of  
laboratory.



18 図 操作機

Fig. 18 Test  
table.

Flux-Forced Field-Biased 型の構造ならびに諸特性について述べた。そして現在 20 Mev までの運転が可能であり、これ以上エネルギーを上昇させるためには主として電子入射技術の改善が必要と思われる。

ついでに少し応用面にふれてみよう。

### ア. X 線透過写真

工業用 X 線発生装置 (300 kev) の数倍の透過力を有し、また放射性同位元素たとえば 1 キュリーの  $C_{60}^{60}$  源に比べて千倍程度の強度があるので、焦点の小さいことと相まって 5 cm 以上の鋼板等の透視に絶大の威力を発揮している。

### イ. 医療用

深部癌の治療等に応用面を有している。現在まででは皮膚表面の線量により癌に与え得る線量が制限されていたが、ベータトロンでは組織深部の線量が表面線量より大であるので極めて好都合である。これに関した現在ファントムを使用して実験中である。

### ウ. 原子核物理

核の内部構造の探求や、核変換の実験等に利用できる。これら応用例の詳細は稿を改めて報告する予定になっている。

わが国に中型ベータトロンが 2 台しかないという現状を考える時、当装置は重要な存在であり、今後とも X 線強度ならびにエネルギーの増大を図ると共に種々の応用を行いたいと思っている。そして近い将来にわが国でも工場にあるいは病院に広くベータトロンが利用される時期がくると確信している次第である。

本稿を終るに当たり終始直接ご指導下さった物理研究室大野室長、菅野研究員に深く感謝すると共に、装置の組立に尽力下さった伊丹製作所第 1 工作課の各位、材料研究室、化学第 1 研究室、物理研究室、ならびに電子管工場、化学第 1 研究室、物理研究室、ならびに尾田技手に厚くお礼申し上げる。なお放射線実験室に関しては尾島前工務課長、インバータに関しては電気第 1 研究室河合技師のご努力によるものが大きかったことを付記しておく。

### 文 献

- 1) D. W. Kerst; Phys. Rev. **60**, 47, (1941)
- 2) D. W. Kerst; R. S. I. **13**, 387, (1942)
- 3) W. F. Westendorp and E. E. Charlton; J. App. Phys. **16**, 581, (1945)
- 4) E. C. Gregg; R. S. I. **22**, 176, (1951)
- 5) D. W. Kerst and R. Serber; Phys. Rev. **60**, 53, (1941)
- 6) D. W. Kerst; Phys. Rev. **74**, 503, (1948)
- 7) W. F. Westendorp; J. App. Phys. **16**, 657, (1945)
- 8) 河合 正; 研究報告 391
- 9) I. Schiff; Phys. Rev. **70**, 87, (1946)



ニエスフラッシュ

## K-24 型 広 角 度 計 器

K-24 型は 120 mm × 120 mm の埋込角型です。目盛長が長く、指針の幅が広くてよみやすく、目盛の分割線は斜面に刻んであり、光線がどの方向から入つても影ができません。計器正面から 65° の範囲内で、6 m 離れた所から、速く、正確によむことができます。

### 特 長

1. 目盛長が長く、指示がよみやすく鮮明である。
2. どの方向からみても影ができない。
3. JIS-C-1102 の 1.5 % の精度で、精度が高い。
4. 各計器とも同じカバーを用い、外観が優美である。
5. 盤面が節約できる。

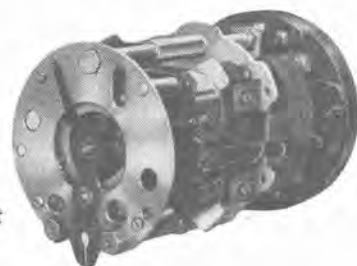
### 種 類

直流電流計、直流電圧計、交流電流計、交流電圧計、交流電力計、周波計、力率計、同期検定器、温度計、速度計



外 観

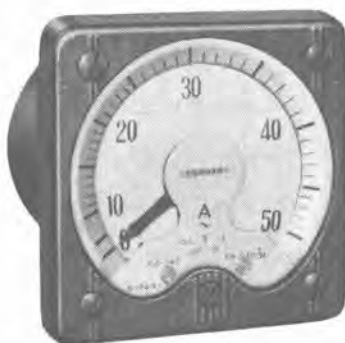
KF-24 型電力計



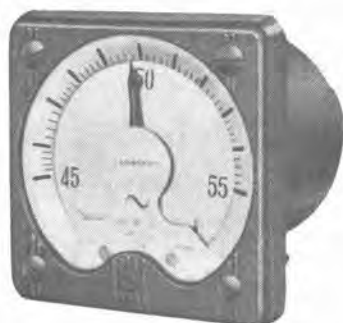
内部構造



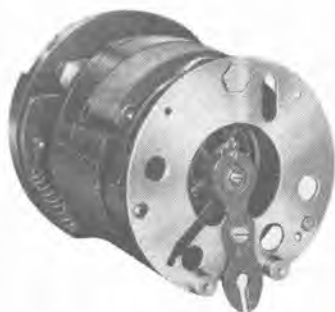
外 観



外 観



外 観



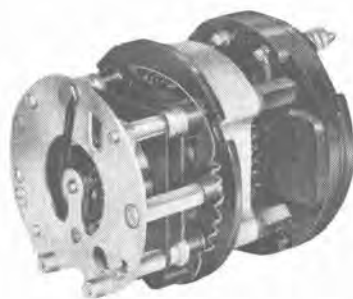
内部構造

KX-24 型直流電流計



内部構造

KA-24 型交流電流計



内部構造

KF-24 型周波計



# 最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿先	掲載号	題名	執筆者	所属
オ照明学会誌	2月号	瞬時圧力測定装置とその応用	横須賀 正次	所船
電気計算	2月号	蛍光燈照明器具の塗装	賀富 正	究所
オ一ム	3月号	米国の送電技術について	賀富 正	究所
オ一ム	3月号	最近の電気アイロン	賀富 正	究所
オ一ム	4月号	ノーヒューズ分電盤	賀富 正	究所
関西経済月報	5月号	最近のエスカレータについて	賀富 正	究所
電気と生産	5月号	工場における従業員の教育	賀富 正	究所
新機械学会誌	5月号	米国の機械製造会社を視察して	賀富 正	究所
オ一ム	6月号	電磁接触器	賀富 正	究所
J I S	6月号	パルス式回転計	賀富 正	究所
電気公論	6月号	HKB 型継電器および ID 型継電器による位相比較式搬送継電装置とその応用	賀富 正	究所
オ一ム	4月号	包装設計	賀富 正	究所
電気学会誌	7月号	丸山発電所用超高压変圧器について	賀富 正	究所
		三菱の積算電力計と需要電力計	賀富 正	究所
		K-24 型広角度計器	賀富 正	究所
		電子管式アナログ計算機における微分演算機の使用に対する注意	賀富 正	究所

# 最近における当社の社外講演一覧

講演月日	主催	演題	講演者	所属
4月6日	日本物理学会	スベクトロフォンの実験	安東 磯外	研究所
5月2日3日	春季講演会	巻上機用誘導電動機の可飽和リアクトルによる速度制御	武田 英夫	研
	連合大会(東京)	周期群選択式遠方監視制御装置	大井 英夫	長
		四極サイラトロンの棒子制御能回復について	武田 英夫	研
		無棒子イグナイトロンの再点弧特性	武田 英夫	研
		二重棒子イグナイトロンの再点弧特性	武田 英夫	研
		イグナイトロン整流器棒子特性	武田 英夫	研
		探索コイル法による発電機コイルのターン間絶縁破壊試験	武田 英夫	研
		水素冷却機固定子棒の応力について	武田 英夫	研
		11.5kV 500 MVA 磁気遮断器	武田 英夫	研
		69 kV および 80.5 kV 1,600 MVA 硼酸電力可溶器	武田 英夫	研
		新型オートパルス避雷器	武田 英夫	研
		275 kV 72,500 kVA 変圧器	武田 英夫	研
		国鉄 150 kV 系における位相比較式搬送保護継電方式とその試験結果について	武田 英夫	研
		電力線搬送電話信号中の閃絡点指示試験について	武田 英夫	研
		減衰高周波振動を用いた電力線搬送回線による閃絡点指示について	武田 英夫	研
		帝都交通池袋線新車制御装置	武田 英夫	研
		DD50 形ジーゼル電気機関車	武田 英夫	研
		蛍光放電燈用新蛍光物質の研究	武田 英夫	研
		マイクロ波アンテナ利得の測定	武田 英夫	研
		新型高周波雑音電圧電界強度測定器について	武田 英夫	研
5月21日	電気研究会	最新の電車用電動機について	武田 英夫	研
		三菱空気遮断器について	武田 英夫	研
		広角度計器 K-24 型	武田 英夫	研
		積算電力計の潤滑油と温度の関係について	武田 英夫	研
5月29日	日本写真学会	偏光フィルタに関する研究	武田 英夫	研

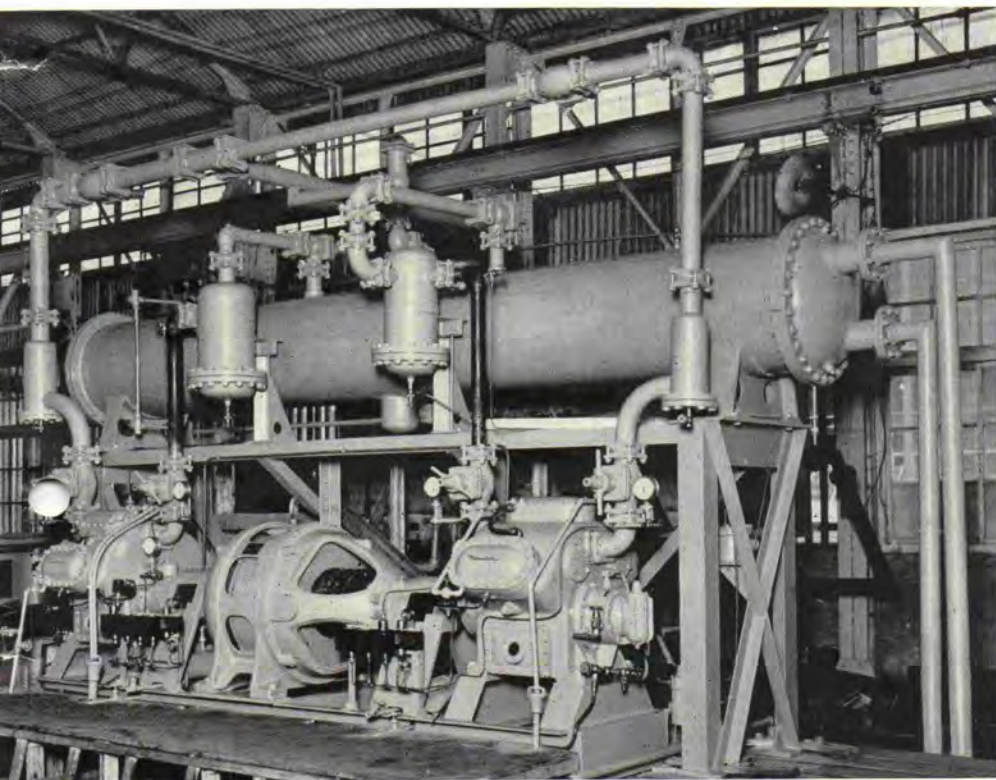
## 特 許 紹 介

### 最近登録された当社の特許および実用新案

区 別	名 称	特 許 ま た は 登 録 日	特 許 ま た は 登 録 番 号	発明, 考案者	所 属
特 許	広帯域周波数変調波復調回路	29- 3-16	204642	北 垣 成 一	研 究 所
"	タングステンの電解研磨法	29- 3-16	204644	{ 斎 藤 長 男 真 鍋 明	"
"	放電燈作動回路	29- 3-31	204877	大 野 才 三	"
"	銅および銅合金の電解研磨法	"	204890	{ 斎 藤 長 男 真 鍋 明	"
"	白色蛍光体	"	204896	井 手 平 三 郎	大 船
"	白色蛍光体	29- 4-21	205308	{ 野 口 元 吉 郎 井 手 平 三 郎	大 船
"	電子管および放電管用電極	"	205309	{ 井 手 原 芳 卓 立 泰	研 究 所
新 案	電気車制御装置	29- 3-16	411635	松 田 新 市	伊 丹
"	電気車制御装置	29- 3-16	411636	"	"
"	堅形軸受装置	"	411637	新 道 憲 治	長 崎
"	蛍光放電燈	"	411638	久 保 幸 正	大 船
"	ラジオ用ツマミ	29- 3-21	411949	津 村 隆	伊 丹
"	放電タ流記録器	"	411950	{ 森 直 次 岡 田 昌 治	伊 丹
"	携帯電熱器	29- 3-31	411951	田 村 弘 治 郎	名 古 屋
"	重合ビニールシート	29- 4-21	412677	馬 場 文 夫	研 究 所
"	スタンド支柱調節装置	"	412683	増 谷 良 久	名 古 屋
"	避雷器動作表示装置	"	412684	{ 森 直 次 陵 山 長 三 郎	伊 丹
"	抽出型等制御盤	29- 4-30	412990	菅 信 輝	長 崎
"	放電燈電極	"	412993	野 口 元 吉 郎	大 船
"	ドラム型制御器	"	412994	{ 瀬 戸 口 卓 真 富 永 隆 弘	長 崎
"	巻上機制動操作装置	"	412995	{ 水 流 吉 吉 川 雄 広	"
"	放電燈用ルーバ支持装置	"	412996	橋 本 武 雄	大 船
"	ナット弛み止め装置	"	412997	山 下 保 徳	長 崎
"	磁気楔	"	412998	奥 田 文 一	名 古 屋
"	直流電機	"	412999	高 月 一	神 戸
"	抵抗器	"	413000	林 勝 幸	名 古 屋
"	防滴型回転電機	"	413001	石 田 八 郎	長 崎



# 三菱電機の冷房装置



MA-6D8-UF 型 高速多気筒冷凍機

近代建築のビルディング・劇場・喫茶店・レストラン等エヤーコンデショナは人体に快感を与えるを目的とし、事務能率の向上、休養等われわれ近代生活に不可欠のものとなってまいりました。

また工場における製品の生産を助ける目的ならびに通信機器類の管理等その果す役割は近代文明の先駆としてその重要性を十二分に発揮しつつあります。

本製品は最近小倉電話局納入 MA-6D8-UF 型, 124 t 150 HP であります。

## 特 長

1. 小型、軽量なこと
2. 保守が容易なこと
3. 容量制御装置の完備
4. 機械の振動が少ない
5. 軸封装置の完備
6. 優秀な性能および耐久性の向上
7. 確実な互換性
8. 駆動用電動機が小型である
9. 各種冷媒が使用できる



昭和 29 年 7 月 23 日 印刷

昭和 29 年 7 月 26 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部金 60 円 (送料別)

### 「三菱電機」編集委員会

委員長 岸本久雄  
委員 浅井徳次郎 荒井 潔 石橋英樹 石黒克己  
市吉惟浩 伊東祐義 市村宗明 大久保夙郎  
岡屋精二 金内幸三郎 川田勝利 小林治一郎  
進藤貞和 渋谷進一 田宮利彦 松田新市  
毎熊秀雄 前田幸夫 松尾米太郎 松岡 治  
宗村 平 森 範 馬場文夫  
幹事 吾郷侃二 成富公一 (以上 50 音順)

編集兼発行人 東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 吾郷侃二  
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 長久保慶一  
発行所 三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部  
電話 和田倉 (20) 1631

日本出版協会会員番号 213013