

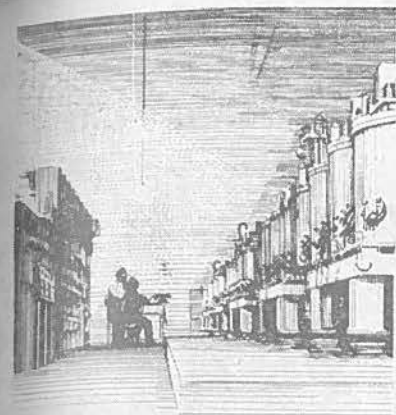
MITSUBISHI DENKI

三菱電機



Vol. 27 1953

2



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

表紙のペン画は三井化学名古屋工業所に設置されたイグナイトロン整流器のスケッチであります。本器は930kW 300V 3,000A水冷式12タンクのユニット3組より構成されており昭和26年12月納入以来好調に運転中であります。

新築された建物と共に業界に誇るべき最新鋭化学工場変電所といひ得るであります。

本年度受注した旭硝子株式会社経由のインドネシア向ソーダプラント輸出の変電所は750kW 250V 3,000A水冷式2タンク3組で上記ときわめて相似しており、初の輸出として誠に意義深いものがあります。

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

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 福山市沖野上町

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

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 札幌市南一条西5の14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁63

(電) 仙台 2573・8057

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 1069・4824

昭和28年 第27巻 第2号

目次

フォームフィット変圧器……………村上 有… 2

イグナイトロン整流器の運転実績……………加藤又彦… 8

釜石製鉄所納 5,000 HP イルグナ設備……………竹内真一・片岡高示…19

デラックス蛍光ランプ……………河合 登・井手平三郎…26

扇風機の静電塗装法……………磯村久通・川上千秋…31

次号内容予定

同期調相機の一起動方式……………梅 名 茂 男

市街電車用制御装置……………待 鳥 正

トッピング ウインチ……………和 田 義 勝

新型の単相積算電力計MD型……………佐藤貞雄・上野弘

特殊鋼の高周波焼入性……………佐々 静 男

品質奉仕の三菱電機

フ ォ ー ム フ ィ ッ ト 変 圧 器

伊丹製作所

村 上 有

Form-fit Transformers

By Tamotsu MURAKAMI

Itami Works

Thirty units of Form-fit transformers have been built since last year. They are of novel design applied to shell type transformers, having the following features. The tank snugly fits the core; its lower part serves as a lower frame to support the core and coils; the clamp bolts of the core are dispensed with; the welding is extensively employed in the fabrication based on the confidence on the part of the builder of the least necessity to open it. It is feasible to ship the unit sidelong on the car because of the unique, rugged construction, being a great advantage in the transportation.

1. ま え が き

フォームフィット変圧器とは外鉄型変圧器において、そのタンクの構造を Form-fit の名の示すとおり、変圧器中身にびつたり適合するように造つたもので、外鉄型変圧器の特長を極度に発揮した最新型構造の変圧器である。大型変圧器の標準として外鉄型を採用している当社においては、昨年伊丹製作所大電力試験設備用 25,000 kVA 変圧器に初めてフォームフィット型を採用してより、関西電力枚方変電所納入 117,000 kVA 変圧器を始めとして製作台数はすでに 30 台におよび、外鉄型変圧器の標準構造として相ついで製作中である。

フォームフィット変圧器は米国ウェスチングハウス社では 1943 年頃から開発され、最初は戦時中の資材節約が目的であつたが、幾多の優れた特長を有するのでその後標準化され、世界最大の単相 83,333 kVA および三相 145,000 kVA 変圧器はいずれもフォームフィット型である。

このフォームフィット型を採用するに当つては、湿度が高く、珪素鋼板等の材質が粗悪なわが国において、ウェスチングハウスの方式をそのまま取入れることができないところがあり、構造ならびに組立上種々の改良を試みた結果、三菱フォームフィット変圧器の標準方式を確立するに至つた。

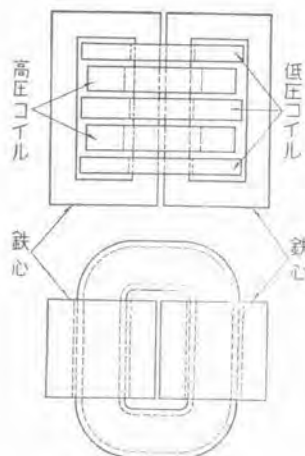
* 技術部

2. 構造および組立

外鉄型変圧器の中身の水平断面は 1 図に示すように正方形に近い長形であつて、コイルは絶縁物によつて完全に包まれたうえ、鉄心に囲まれているから外力をうけて損傷する心配は全然なく、また絶縁上の距離は全く不要である。この特長を活かしてタンクを中身にびつたり適合するように造つたものがフォームフィット変圧器である。タンクの形状はずつと以前の丸形から八角形が標準となり、さらにフォームフィット型で長方形となつたもので、それにしたがつて油量も著しく減少していることは明かである。2 図は普通の外鉄型変圧器 (a) とフォームフィット変圧器 (b) (c) との比較を示す垂直断面図であり、3 図は両者の組立の途中における比較を示す写真である。普通型の場合は 2 図 (a) および 3 図 (a) に見られるように、鉄心と巻線を保持するために溝形鋼や山形鋼で組立てられた端枠 (end frame) が用いられているが、フォームフィット型ではタンクが上下に二分割され下部タンクが同時に鉄心と巻線を支える下部端枠を兼ねている (2 図 (b) (c))。この上に絶縁組立を終つたコイルを直立し、コイルの周囲の端枠を兼ねた下部タンクの上に鉄心を積み、タップ切換器等を取り付けて中身組立を終つた上、上部タンクを上から中身に摺り降すようにして被せ (3 図 (b)) 鉄心下部で下部タンクと溶接

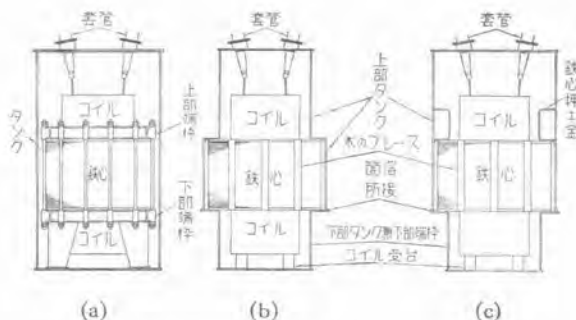
するのである。

普通型では2図(a)および3図(a)に示すように、上下端枠の間に鉄心締付ボルトを用いて十分に締付けているが、フォームフィット型ではこの鉄心締付ボルトを使用しない。すなわち電圧 100 kV 以上の場合には2図(c)のように上部タンクの内側に溶接された溝形鋼で押え、70 kV 以下の場合には絶縁距離の関係上上部タンクの鉄心より上に相当する部分を縮少できるので、2図(b)のように上部タンクの段付の部分で押える。いずれにしても鉄心締付ボルトのスペースは必要なく、鉄心の外側にもわずかの油を分流させるために木のスペースを2図(b)(c)および3図(b)のように鉄心の四周に取り付け、上部タンクを上より摺り降すときに、タンクと鉄心との間隙を調整することができるようにしている。



1 図
標準外鉄型
変圧器断面図

Fig. 1. Section of standard shell form transformer.



(a) 普通型変圧器
(b) フォームフィット変圧器 (70kV 以下)
(c) フォームフィット変圧器 (100kV 以上)

2 図 外鉄型変圧器垂直断面図

Fig. 2. Vertical section of shell form transformer.

(a) Conventional type.
(b) form-fit type. (below 70kV)
(c) form-fit type. (over 100kV)



(a) 普通型変圧器

(b) フォームフィット変圧器

3 図 組立中の外鉄型変圧器

Fig. 3. Shell type transformers under assembling.

(a) Conventional type. (b) Form-fit type.

以上から明かなようにフォームフィット型の構造上とくに異った点としては

- (1) タンクを中身にびつたり適合して造っている。
- (2) 下部タンクが鉄心と巻線を支える下部端枠を兼ねている。
- (3) 鉄心締付ボルトを使用しない。
- (4) 全溶接構造となつている。

の4点であつて、コイルおよび鉄心は普通型と異つたところはない。溶接構造についてはとくに疑問の生ずる場合が多いので、この問題について簡単に補足したい。

全溶接構造の採用される根拠としては

(1) 外鉄型変圧器の絶縁方式は衝撃電圧に対してとくに強化されたいわゆるサージブーフ構造となつており、商用周波電圧はもちろん衝撃電圧に対して絶対破壊しない自信を有すること。

(2) 窒素封入装置を用いて変圧器油の劣化を完全に防止する結果、水分の侵入による油の絶縁耐力の低下、および酸化によるスラッジの生成等の心配は全くなく、したがって永年運転しても変圧器中身の点検手入を行う必要がないこと。

以上の2点が考えられる。したがって変圧器本体に事故がなく中身を取り出す必要のないことが、フォームフィット変圧器の前提となつているわけであるが、もし万一事故が起つて中身を点検する必要を生じた場合は、上下両タンクの溶接箇所をガスまたは air chisel で切断し

て分解することができ、作業としてはボルト締めの場合より簡単な位である。

なお全溶接構造といつても、套管取付部、タップ切換器部分、マンホール・カバー等は従来どおりパッキンを使用するので、マンホールから変圧器内部に入つてタップ切換器の点検・套管のリード接続などを行うことは普通型と変りない、したがつてこの型の変圧器で保守・点検に注意を要する部分としては、タップ切換器・套管などでこれらの故障に対しては溶接箇所を切る必要なく、コイルの事故の場合にのみ解体を行えばよいのである。

4図、5図、6図は単相 77/33 kV 10,000 kVA フォームフィット変圧器の組立の途中における状況を示す写真である。



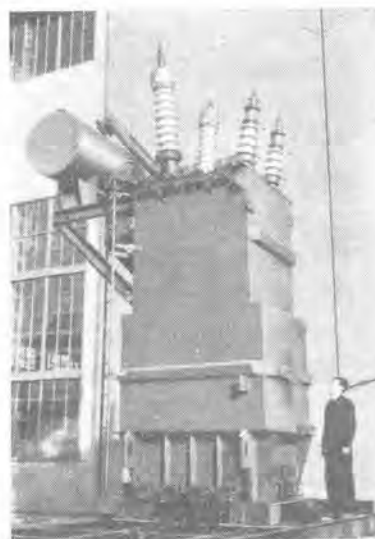
4 図 鉄心積み前の単相 10,000kVA
フォームフィット変圧器

Fig. 4. Single phase 10,000kVA form-fit
transformer before stacking the core.



5 図 単相 10,000kVA フォームフィット
変圧器中身

Fig. 5. The core and coils of single phase
10,000kVA form-fit transformer.



6 図 単相 10,000kVA フォームフィット
変圧器外観

Fig. 6. An exterior view of single phase
10,000kVA form-fit transformer.

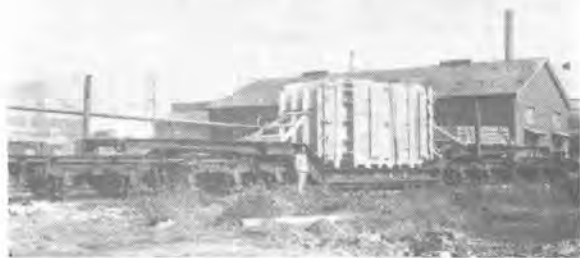
3. 輸送、現場組立および乾燥

(1) 輸送および現場組立

フォームフィット変圧器の現場組立に当つては二つの場合が考えられる。

第一は変圧器本体を組立てたまま横倒し輸送できる場合である。従来の外鉄型変圧器においても横倒し輸送は可能であつたが、横倒しにした場合タンクと中身との間に支え木を打ち込む必要があつた。フォームフィット型では鉄心およびタンク壁は機械的強度の点で互に助け合つており、タンク壁は鉄心を四周でしっかりと締めているので、輸送中に鉄心とコイルの位置がずれない、したがつてそのまま横倒しにして輸送することができる。現場に到着後は中身点検の必要なく、単に起して套管・冷却装置などの付属品を取付けるのみでよい。したがつて組立室および起重機をとくに設備する必要はない。この例としては最近東京電力東千葉変電所に納入した三相 147/66/10.5 kV 30,000/33,000/15,000 kVA (等価 39,000 kVA) 変圧器があり、7図はこの変圧器をシキ 100 号特殊大型貨車により横倒し輸送中の状況を示し 8図は東京電力鹿浜変電所納入単相 66 kV 15,000 kVA 変圧器の現場起し作業を示す写真である。このように組立輸送を行えば現場組立がきわめて簡単であるから、フォームフィット変圧器としてとくに有利な点である。

第二は輸送限界および重量の制限から組立輸送できずコイル・鉄心などをすべて分解して別箇に送り、現地で組立乾燥を行う場合である。組立は工場における場合と全く同様で、変圧器本体は前項に述べた方法で組立てられるので、中身全重量を吊つてタンクに入れる必要なく、組立に要する最大吊上重量としてはコイル (3 相のときは 1 相分) できわめて小さい起重機ですむ。関西電力枚



7 図 輸送中の三相 147kV 39,000kVA
フォームフィット変圧器

Fig. 7. 3 phase 147kV 39,000kVA form-fit
transformer laid sidelong on the freight car.



8 図 単相 15,000kVA フォームフィット
変圧器の現場起し作業

Fig. 8. Single phase 66kV 1,500kVA form-fit
transformer being raised up on the spot
without crane or hoist.



9 図
117,000 変圧器の
コイル立て作業

Fig. 9. Setting the coil
and insulation
assembly in place in
the bottom section of
the tank.

フォームフィット変圧器・村上

方変電所に納入した三相 250/77/10.5 kV 90,000/99,000/45,000 kVA (等価 117,000 kVA) 変圧器はこの例で中身重量は 150 t あるにもかかわらず、所要の起重機としてはコイル 1 相分を吊るための 15 t に過ぎない。9 図はその状況を示すものである。

(2) 乾 燥

工場において乾燥室を利用できる場合は従来と異なり真空蒸気乾燥を行うが、とくに大容量となつて乾燥室に入らない場合および解体輸送して現場乾燥を行う場合は蒸気乾燥を実施できない。すなわちフォームフィット変圧器においては中身とタンクとの間隙は極度に切りつめてあるので、従来の変圧器のようにタンク内に蒸気管を配置して蒸気乾燥を実施することができない。上記 117,000 kVA 変圧器の場合には self tank を用いて誘導加熱によるタンク加熱、および誘導加熱による熱風の併用という全く新しい方法を採用して成功したのでこれについて簡単に述べる。

この方法は 10 図の写真に見られるように、保温したタンクの上に電線を巻きつけ、これに単相 60~200 V の電源から 200 A 程度の電流を流して誘導加熱によりタンクを 100 °C 程度に加熱する。これと同時に予備乾燥のときは熱風乾燥を併用したが、この熱風乾燥も従来の方式と異つて同じく誘導加熱を利用した特殊熱風乾燥器を使用して行つた。乾燥器は保温した鋼板円筒の周囲に電線を巻き、これに単相 60~200 V で 100 A 程度の電流を流して誘導加熱により円筒を加熱し、送風機から送



10 図 乾燥中の 117,000kVA 変圧器
(誘導加熱によるタンク加熱と誘導加熱を利用した熱風乾燥併用)

Fig. 10. 117,000kVA transformer in the process
of drying combined with the induction
heating of tank wall and hot air blast
by induction heating.

り込まれた空気が円筒内を通る間に間接的に加熱されるようにした装置である。この乾燥器3台を用いタンク下部から最高 110℃ の熱風を送り込み上部カバーのマンホールを開いて排気した。予備乾燥を終った後、タンクの接合部を溶接し、熱風を停止してタンクの誘導加熱のみにより真空乾燥を行った。

上記の方法により乾燥を実施した結果は予期以上に良好な結果を得、乾燥日数は常規の方法によるよりも短縮することができたので、今後の現場乾燥にはこの方法を標準として採用することとしている。

4. フォームフィット変圧器の特長

上述したところよりフォームフィット変圧器の特長は明かであるが、さらにこれを箇条書にして纏めてみるとつぎようになる。

(1) 重量・油量の減少

とくに油量の減少は著しく 30% 以上におよんでいる。いま二三の例について普通型の場合を比較すれば 1 表のとおりである。

1 表

| | 油量 (l) | 普通型とした場合の油量 (l) |
|--|--------|-----------------|
| 関西電力枚方変電所 三相 250kV 117,000kVA 送油風冷式 | 48,000 | 80,000 |
| 東京電力東千葉変電所 三相 147kV 39,000kVA 送油風冷式 | 8,500 | 13,500 |
| 東京電力鹿浜変電所 単相 66kV 15,000kVA 自冷式 | 18,000 | 29,000 |

(2) 床面積が小さくて済む

従来の八角形に比べ平均 15% の床面積が節減される。

このように重量大きさの減少により、据付の基礎を小さくすることができる。

(3) 横倒し輸送容易

本体はそのまま横倒しにして輸送することができ、重量、外形寸法の減少と相まって組立輸送可能な限界容量が増大する。わが国の鉄道は狭軌であり、かつトンネルの制限が小さいので、諸外国に比べて輸送条件はきわめて不利であるが、フォームフィット型にすれば現在国鉄最大の低床貨車シキ 100 号を利用して三相 140 kV 級では前記東千葉変電所納 39,000 kVA 程度が組立輸送可能な限界であり、さらに当社で製作せる新低床貨車シキ 120 号を使用すれば 140 kV 級で 50,000 kVA 程度まで組立輸送できることになる。また三相 100 kV 級では 70,000 kVA、70 kV 級以下では 80,000 kVA までほとんど実用範囲内のすべての変圧器の組立輸送が可能である。

(4) 組立に要する起重機が小さくてよい

現場組立の場合には中身全重量を吊る必要なく、最大吊上重量はコイル 1 相分であるから、きわめて小容量の

起重機で組立てられ組立室の費用が節減できる。また横倒し輸送の場合でも組立室やトラバースなどが不要で発電電所の設備費を著しく低減し得る。

(5) 真空乾燥に適する

タンク壁は外圧に対して鉄心により支えられているので真空に対して十分の強度を有している。下部タンクは下部端枠を兼ねており、十分真空に耐える強度を有するので、ただ鉄心より上部の部分のみ補強すればよい。また上述のように誘導加熱による乾燥に適しており、比較的簡単に乾燥することができる。

(6) タンクは全部溶接されパッキンを使用しないので油洩れの心配はない。溶接は床面に近く水平方向に行うのでその作業は容易である。

(7) 油の冷却効果がよい

タンク壁に鉄心間のスペースが極めて小さいため、油は大部分巻線と鉄心のダットを通り、タンク壁の内面に沿ってムダに分路して流れる油はごくわずかである。したがって油量は少ないにもかかわらず十分の冷却作用を行うので普通型よりもかえって冷却効果がよく、また強制循環の送油式冷却にはとくに有利である。

5. 製作記録

昨年初め伊丹製作所の大電力試験設備の 25,000 kVA 変圧器にフォームフィット型を採用したのが最初で、その後 2 表に示すように相ついで外鉄型変圧器に採用し、現在 (昭和 27 年 8 月) までに製作完了せるもの 80 台におよんでおり、さらに 3 表に示すように続々と製作中である。

2 表 フォームフィット変圧器納入一覧表

(昭和27年8月現在)

| 納入先 | 相数 | 周波数 | 電 圧 | 容 量 | 冷却方式 | 台数 |
|----------------|----|-----|-------------|-----------------------------------|--------------|----|
| 当 社 伊丹製作所 | 1 | 60 | 150/13.2 | 25,000 | 送油風冷 送油水冷 | 2 |
| 東京電力 鹿浜変電所 | 1 | 50 | 66/22 | 15,000 | 自 冷 | 4 |
| 関西電力 枚方変電所 | 3 | 60 | 250/77/10.5 | 90,000/99,000/45,000 (117,000) | 送油風冷 | 2 |
| 〃 城西変電所 | 1 | 60 | 77/33 | 10,000 | 自 冷 | 4 |
| 台湾電力 大冷発電所 | 1 | 60 | 10.5/161 | 9,500 | 油入風冷 | 3 |
| 東京電力東 千葉変電所 | 3 | 50 | 147/66/10.5 | 30,000/33,000/15,000 (39,000) | 送油風冷 | 2 |
| 〃 新丸 ビル変電所 | 1 | 50 | 22/3.45 | 2,000 | 自 冷 | 4 |
| 〃 花畑変電所 | 1 | 50 | 140/66/10.5 | 25,000/28,000/16,700 (34,850) | 送油風冷 | 1 |
| 北海道電力 昆布発電所 | 1 | 50 | 115/69/3.15 | 10,000/7,500/4,000 (10,750) | 自 冷 | 4 |

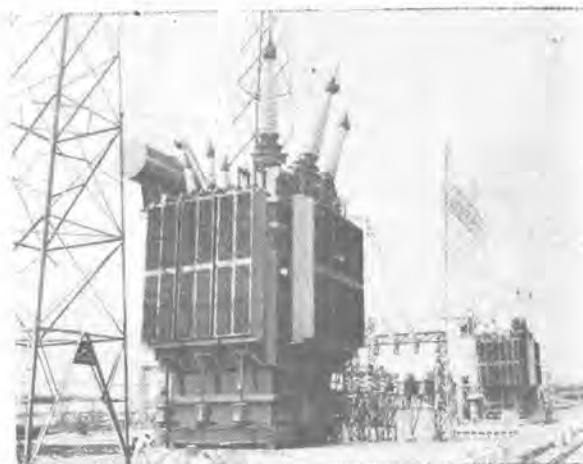
3表 製作中のフォームフィット変圧器一覧表

| 納入先 | 相数 | 周波数 | 電圧 | 容量 (単価容量) | 冷却方式 | 台数 |
|----------------|----|-----|--------------|-----------------------------------|------|----|
| 北海道電力 砂川発電所 | 3 | 50 | 11/69 | 33,750 | 送油風冷 | 1 |
| 台湾電力 天冷発電所 | 1 | 60 | 10.5/161 | 9,500 | 油入風冷 | 3 |
| 東京電力 鳩谷変電所 | 1 | 50 | 140/66/10.5 | 25,000/28,000/16,700 (34,850) | 送油風冷 | 1 |
| 所野発電所 | 3 | 50 | 6.3/69 | 6,000 | 自給 | 1 |
| 駿河変電所 | 3 | 50 | 147/66/10.5 | 30,000/33,000/15,000 (39,000) | 送油風冷 | 2 |
| | 1 | 50 | 66/22-11 | 5,000 | 自冷 | 3 |
| 中部電力 豊田変電所 | 1 | 60 | 77/33 | 10,000 | 自冷 | 4 |
| 九州電力 築上発電所 | 3 | 60 | 12.6/115 | 65,000 | 送油風冷 | 1 |
| 東北電力 柳津発電所 | 3 | 50 | 10.5/168 | 30,000 | 送油永冷 | 2 |
| 関西電力 枚方変電所 | 3 | 60 | 250/77/10.5 | 90,000/99,000/45,000 (117,000) | 送油風冷 | 1 |
| 丸山発電所 | 3 | 60 | 13.2/275-154 | 72,500 | 送油風冷 | 2 |
| 岡山県庁 旭川発電所 | 1 | 60 | 10.5/115 | 8,700 | 自冷 | 4 |
| 中国電力 小野田発電所 | 3 | 60 | 10.5/115 | 42,000 | 送油風冷 | 1 |

このうち主要なものについて説明を加えると、まず伊丹製作所の25,000 kVA 変圧器はわが国最初のフォームフィット変圧器として特筆すべきもので、この変圧器についてフォームフィット型の組立・乾燥法などにつき種々実験を試み、自後の製作に確信を持つにいたつたのである。その詳細については本誌 26 巻 5 号に記載しているのでここには割愛する。

つぎに関西電力枚方変電所納入の三相 250 kV 117,000 kVA 変圧器は、電圧および容量の点でわが国の記録品であるばかりでなく、構造その他幾多の特記すべき内容を有する記録的変圧器であるが、この変圧器に関してすでに本誌 26 巻 5 号に詳述してある。11 図は運転中の本変圧器を示す。

東京電力鹿浜変電所納入単相 15,000 kVA 変圧器はフォームフィット変圧器の製品として納入した第 1 号品であり、すでに運転に入つてより 1 年近くになる。(8 図) 同じく東京電力東千葉変電所納入三相 147 kV 39,000 kVA 変圧器は、組立輸送を行つた変圧器の最大のもの



11 図 運転中の三相 250kV 117,000kVA 変圧器

Fig. 11. 3 phase 250kV 117,000kVA form-fit transformer at Hirakata Substation.

である。(7 図) 東京電力新丸ビル変電所の単相 22 kV 2,000 kVA 変圧器は、本来ならば内鉄型で製作すべき容量のものであるが、とくに地下変電所に設置するためにフォームフィット型を採用した。

目下製作中のものには上記枚方変電所の増設 3 号機および関西電力丸山発電所向超高圧 275 kV 72,500 kVA 変圧器があり、後者は一部のコイルを直並列に切換えて、275 kV 入、154 kV 入の両用に使用する特殊構造となつている。なお 2 表および 3 表を通じて枚方変電所 117,000 kVA 丸山発電所 72,500 kVA および柳津発電所 30,000 kVA 変圧器を除いてはすべて組立輸送可能である。

6. む す び

以上述べたとおり、フォームフィット変圧器は幾多すぐれた特長を有する最新型変圧器であるが、従来の鉄型変圧器と何ら本質的に異つた型のものではない。こゝなわちタンクの構造、あるいは鉄心締付方法などに画期的な新方式を採用したため、工作法もこれに応じてかなり変化を来しているが、巻線・絶縁・鉄心および冷却方式などは全く従来の型と同一である。

フォームフィット変圧器は米国においては無論のことわが国でも今や外鉄型変圧器の標準構造として採用されるに至つており、今後ますますその特長を発揮するものと思われる。

イグナイトロン整流器の運転実績

伊丹製作所

加藤 又彦

Performance of Pumped Ignitron Rectifiers

By Matahiko KATO

Itami Works

A large number of mercury arc rectifiers of pumped type ignitron have been installed since 1945 in the service of railway, electro-chemical industry and other enterprises.

The ignitron has established notable records of reliable and trouble free operation in comparison with other types of converters, gradually extending the territory of application.

The purpose of this paper is to review some of the operating records obtained from the installation referred to, and in to forecast the future development, with an expectation of adopting all the latest improvements. The principal features may be as follows

- (1) The arc back rate is less than once per ignitron tank per year.
- (2) The average life of ignitors is more than 3 years.
- (3) The life of ignitron tank is less than 3 years without reconditioning.

1. ま え が き

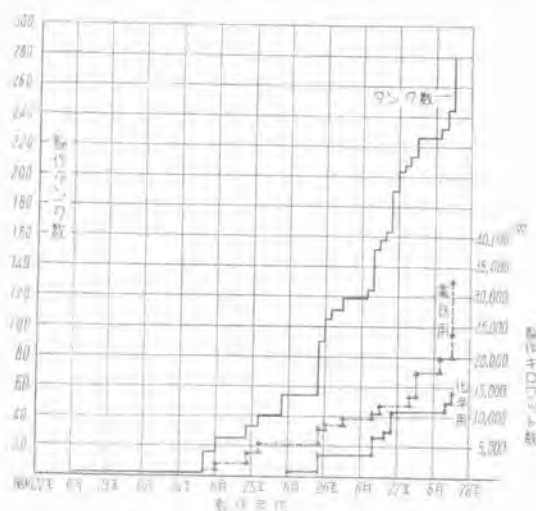
昭和 20 年春 1,500 V, 1,000 kW 級イグナイトロン整流器が開発されて以来多数のイグナイトロン整流器が電気鉄道用・電気化学用・その他特殊用途の需要に供されて、昭和 27 年 9 月末までに全製作数 280 タンクに達した。(1 図参照) その間における運転実績と設計変更および研究結果からみて旧来の多陽極型整流器ではみられなかつたような信頼性と障害発生頻度の低い顕著な記録を作つたのである。ことに電気化学用部門の大電流、連続定格の整流器では低電圧域の能率の改善、安定性の賦与の点で顕著な記録を作り新地盤を確保するにいたつた。また特殊用途としては 60 への電力を 50 への周波数変換する 3,000 kW の周波数変換器を完成せしめるとともに 50,000 kVA 発電機の励磁機としてイグナイトロン整流器を使用した。これらの実績からしてイグナイトロン整流器はほとんど完成品として取扱われるに至つた。

本文はイグナイトロン整流器が各方面の要望を現在満足せしめており、将来も最近の設計と研究結果を活用すれば充分信頼することができるという点をイグナイトロンの特長、責務ならびに運転実績から検討したものである。

* 技術部

2. イグナイトロンの設計と回路責務

変流装置は幾つかの整流要素である整流タンクと変圧器ならびに補助装置と交流および直流遮断器との組合せよりなり、イグナイトロン整流器は従来の多陽極型整流



1 図 イグナイトロン製作台数
Fig. 1. Installed capacity and number of ignitron tanks.

器と比較して根本的差異は新点弧機構にある。すなわち毎サイクル点弧子により各タンクを点弧することであり、多陽極型整流器の励弧回路に相当する回路はない、そのかわりに点弧子に周期的衝撃波を印加するための点弧回路がある。

点弧子をもちいた点弧回路があることは他種水銀整流器と対照をなす一大特長であり、イグナイトロントーク内部構造を左右する要素となつてゐる。すなわち陰極・タンク間の絶縁排除、陽極頭一陰極間の距離の縮小、カゴ形格子の採用とその動作機能の特異性賦与及冷却水温の高温化等の特長が生れた。しかしこのような特長が各種用途のイグナイトロン整流器の責務といかなる関係にあるか、また責務に適合するようにイグナイトロン整流器内部構造をいかにすべきか、また実施の結果、それら二利点が発揮されているかどうかを検討する問題がある。

整流器責務として考えられる要素には負荷の特性・運転直流電圧・負荷電流の大きさ・位相制御率・回路条件等があげられる。電気鉄道に使用されるイグナイトロン整流器の責務は市街電車、幹線電気鉄道等それぞれの種類により異なつてゐるが、大体連続定格の30～80%程度の平均負荷電流であるが150～300%程度の尖頭過負荷が短時間ではあるが不規則的に印加されるのが普通である。これに反して電気化学用イグナイトロンの負荷電流は24時間中つねに一定値を確保し全負荷連続である。受電電圧が変化したために直流出力電圧が変化して負荷電流が一定値とならないときには一定負荷電流となるように直流電圧を位相制御するような自動または手動方式を採用する。この電圧制御は大電流用整流器の場合、ことに多陽極型整流器の実績では定格の問題とともにとかくの批判のあつた問題であるが、イグナイトロンでは点弧子による位相制御であるため全く改善せられ、保証限界値を従来の実績より低減せしめることができ、苛酷な負荷状況下の信頼性を強化せしめる結果となつた。(1表参照のこと)

カゴ形格子の採用は熱的負荷限度、サージ電圧の発生限界を改善し、陽極面の電流密度を大きくとることにな

り、スターベーションの発生防止に役立つた。しかし格子の制御能は格子の放電通路と格子面の増大に伴つて弱化する傾向にあるがこの特性を責務に合致せしめることがより合理的である。したがつて格子制御特性と点弧子特性の両者を利用する。ことにカゴ形格子の点弧特性と点弧子による制御能とを符号せしめてその放電特性に著しい変化を惹起せしめ、かつ位相制御能と負荷電流遮断特性を具備し得ることが立証された。

また metalization と称して電弧光筒または吊金具の金属表面の一部が飛散し、粉末となつて遊動し陽極頭等に付着して陰極点を形成せしめる原因となり、ひいては逆弧の発生を誘起せしむるにいたつたものが、グラフアイト製カゴ形格子の採用により上記の欠点は除去された。

受電側より直流側にいたる整流器回路条件と終期転流率、飛躍逆電圧等の関係を理論的に検討し、これらの特性に合致するように内部構造を考慮設計し、点弧・失弧の問題と関連して統一性ある設計が遂行されている。

現在までに製作納入したイグナイトロン中の代表例の諸元を表にしたものが1表である。

$$\text{飛躍逆電圧} = e_r = E_{a0} \frac{2\pi}{p} \cdot \sin(u + \alpha) \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{終期転流率} &= \frac{di}{dt} = \sqrt{2} \cdot p \cdot f \sin \frac{\pi}{p} \\ &\times \frac{E}{X} \times \frac{e_r}{E_{a0}} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

本式の誘導は“三菱電機”26巻2号参照。

位相制御行えば飛躍逆電圧と終期転流率とが同一割合にて増加し、整流器責務は苛酷度を増すことになる。

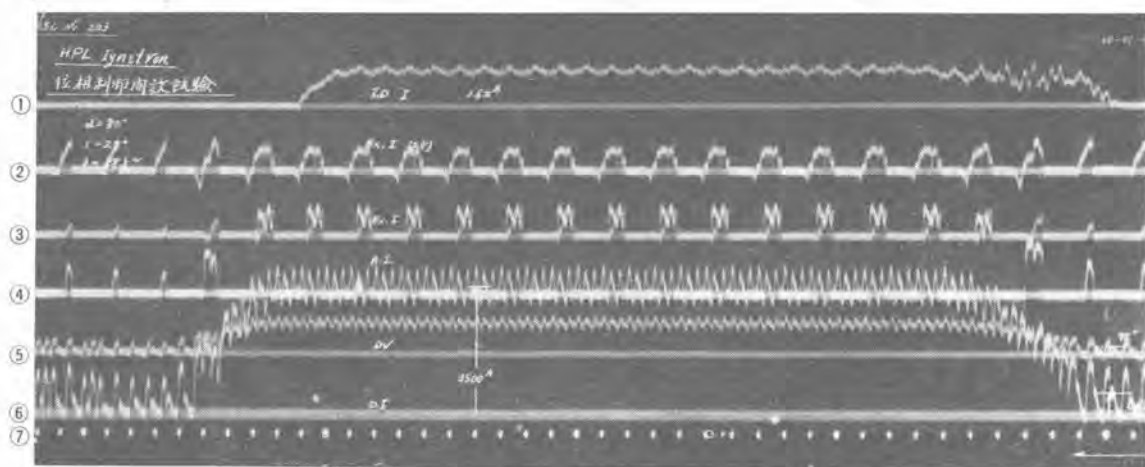
$$\begin{aligned} \text{位相制御率} &= (\text{制御した直流電圧}) / \text{制御} \\ &\quad \text{しない時の直流電圧} = 20\% \end{aligned}$$

の運転実績がある。これは発電機の励磁器として使用されたイグナイトロンで120V、1,000A通電しておいて急に位相制御を100%となし600V、4,000A程度10～余通電し、再度位相制御20%に復帰せしめ15秒間後に同一操作を反覆実施するものである。こうした整流責務のイグナイトロンでは二重格子構造として耐逆電圧消イオン作用の適性化を計つてゐる。2図は上記イグナイトロンの予備試験オンログラムである。位相制御の度合と故障電流の発生頻度、ならびにその大きさ、継続時間等によりイグナイトロンの信頼度は左右されるため整流器回路の分析、研究がイグナイトロンの責務に関連して考えられなくてはならない。すなわち適切な開閉器が整流器回路に準備されなくてはならない。かかる各機器責務の協調の問題はなお研究を要することが多く、今後の発展が期待される。

変圧器の結線方式と飛躍逆電圧・終期転流率・陽極電流値・理論的短絡電流値の一例を示したものが3図である。この図から判るように1タンク当りの平均電流を低減せしめる回路を撰定すれば終期転流率は低いが逆電圧は大きくなる。現用の二重星形結線は中庸を得たもので

1 表

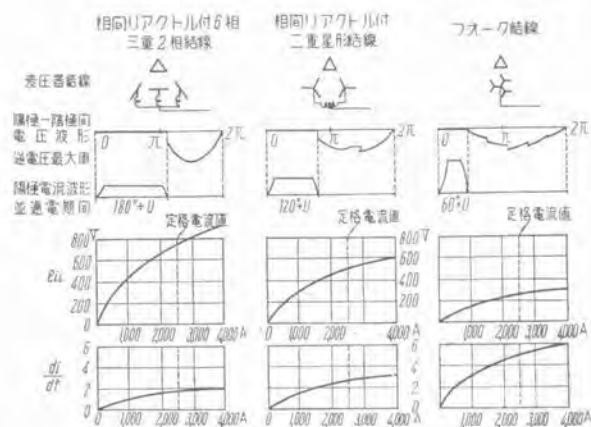
| 用 途 | 定格容量 kW | タン ク数 | 直 流 電 圧 V | 直 流 電 流 A | 直流電流 A/1タン ク | 位相制 御 率 % |
|--------------|------------|----------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 電 鉄 用 | 2,000 | 6 | 1,500 | 1,334 | 222 | 90 |
| " | 1,000 | 6 | 600 | 1,667 | 278 | 100 |
| 電気化学用 | 2,100 | 12 | 300 | 7,000 | 580 | 80 |
| " | 990 | 12 | 300 | 3,300 | 275 | 80 |
| 発電器励磁 機用 | 1,000 | 6 | 600 | 1,667 | 278 | 20 |
| 直流発電機 駆動用 | 1,500 | 6 | 750 | 2,000 | 333 | 20 |
| 周波数変換 器 | 3,000 | 6 | 2,000 | 1,500 | 250 | 85 |



① トランスダクター電流 ② 第一格子電流 ③ 補助極電流 ④ 陽極電流 ⑤ 直流電圧
⑥ 負荷直流電流 ⑦ 時刻 (右から左へ進行)

2 図 50,000kVA 発電機用励磁器としてのイグナイトロン制御等価試験

Fig. 2. Voltage and current oscillograms of ignitron excitator equivalent test.



| | | | |
|---------------|---------------------|----------------|---------------|
| 陽極電流 値 | 0.33 I | 0.5 I | 1.0 I |
| 実効値 値 | 0.235 I | 0.288 I | 0.408 I |
| 変圧器 リアクタンス | $X=0.0495 \Omega$ | 0.070 Ω | 0.07 Ω |
| 送電 電圧 値 | $E_{pl}=314 E_{do}$ | $2.094 E_{do}$ | $2.09 E_{do}$ |

3 図 1,500kW 630V イグナイトロン主回路
結線方式による諸元比較表

Fig. 3. Comparison of three 6-phase circuits for rectifier rated 600 V 1,500kW.

あるといえる。高電圧小電流の整流器回路としてはフォーク結線が最もよいことも3図より了解される。

3. 運 転 実 績

ア. 信 頼 度

イグナイトロンの運転信頼度は故障による運休頻度と故障ではないが、運休している時間すなわち利用率の二つの表わし方がある。前者に属する故障中突発的に発生するものの代表的なものとしては逆弧・水漏洩・サージ電圧の発生による破損真空低下等があげられる。

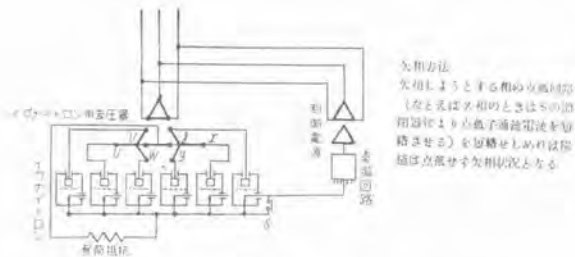
これらのうち逆弧は永久的破損をつねに惹起せしめる

とはいえない。最近高速度リレーの発達により点弧回路、格子回路が8mS以内で開放されるので故障電流の通流期間が短かく、したがってタンク内真空度の低下が少ないため逆弧が発生しても少くとも数分間以内に再運転できるのが常識である。既納品中逆弧が発生したものは水漏れに関係したもののみで、水漏れのためタンク内真空が低下し、陽極-陰極間が短絡し逆弧の発生となつたもので正常運転時にはおこっていない。この水漏れは2件発生したが使用材料の吟味及設計を改良して水漏れの可能性を全く除去した新設計が完成している。

直流電圧 300 V 以下のイグナイトロンでは1回も逆弧は経験していない。またサージ電圧の発生もまだ経験したことはない。これは内部格子構造の設計と保守が適切であることの証左である。

真空低下という故障は取扱不馴によることが多い。しかしこうした場合普通1ないし2タンクに限定される。従来の整流器のように一カ所の不良のために全体が真空低下して運休状態に陥ることはない。したがって各タンクの真空栓で不良タンクを除去し、良タンクのみで欠相運転を行うことができる。工場で実施した5タンク、4タンク、運転の直流電圧および不平衡電流状況を示したものが4図と5図である。この試験結果は6タンク中1相欠相とした時に残余のタンク中倍も通電するものはないことを実証しているが、12タンク方式で1タンク欠相すれば並列タンクは2倍の電流が流れ、設計上整流器責務は苛酷となることを示しており、かつ6相中1相欠相の5相運転をするときは相間リアクトル付二重星形結線では直流電圧は余り低下しないことを示している。

欠相運転の実績としては京都市電で 600 V, 500 kW イグナイトロンで5タンク運転を実施し 60% 負荷、4日間運転した。またある工場では10タンク運転、3,000 A 負荷、2日間連続運転したが両者とも異常は認められなかつた。またその時に誘導障害も発生していない。













1 相欠相時の定まる相の電流値の一例

| 相名 | U相 | V相 | W相 | X相 | Y相 | Z相 |
|------|----|----|----|-----|-----|-----|
| 相電流値 | 0 | 50 | 60 | 135 | 130 | 160 |

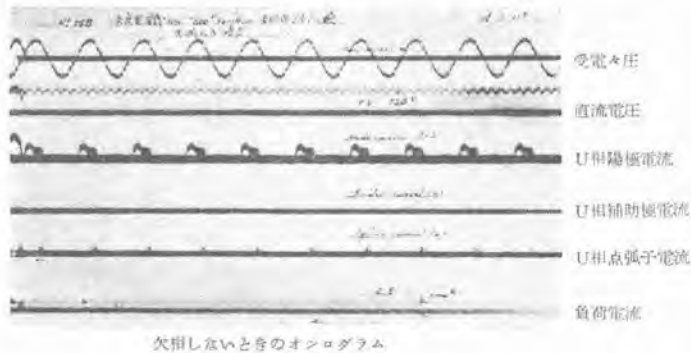
1,000V 600V 4 タンク イグナイトロにて実験

2 相欠相時の直流電圧・電流関係表

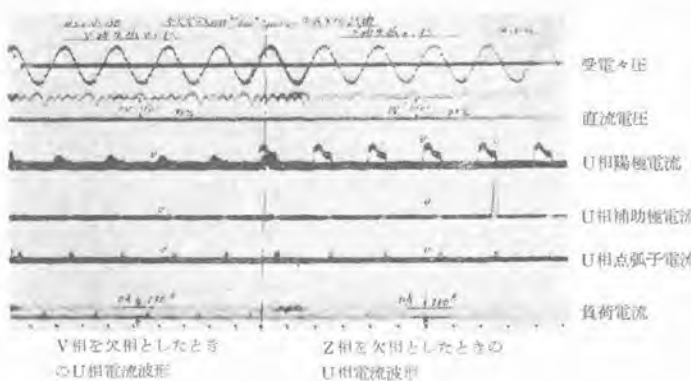
| 欠相極名 | 電極電圧 伏 値 | 同 左 % | 直流電 圧 V | 同 左 % | 相電流 安 培 値 | 同 左 % | 直流電圧・電流波形 | |
|--------|-------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|---|---|
| | | | | | | | 電極電流 | 直流電圧波形 |
| U | 500 | 100 | 250 | 100 | 120 | 1000 |  |  |
| W, V 相 | 700 | 60 | 550 | 96.4 | 80 | 980 |  |  |
| W, Z 相 | 250 | 50 | 450 | 82 | 82 | 920 |  |  |
| W, Y 相 | 750 | 150 | 400 | 72.7 | 114 | 800 |  |  |
| W, X 相 | 200 | 40 | 400 | 72.7 | 75.8 | 800 |  |  |

4 図

Fig. 4. Operation of ignitron rectifiers under unbalanced condition.



欠相しないときのオシログラム



欠相したときには直流電圧は 540 V 550 V = 98.2% に低下
負荷電流は 980 A 1000 A = 98% に減り、ている。

5 図

Fig. 5. Voltage and current oscillograms in the operation of ignitron rectifiers under unbalanced condition.

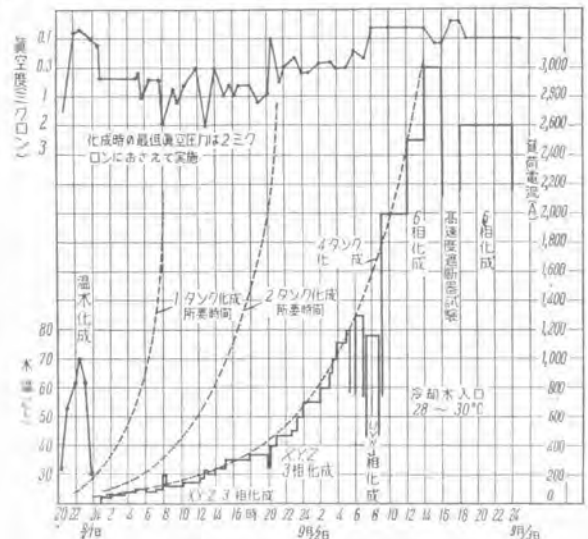
また単極型なるため開蓋タンクのみを化成するので化成所要時間は短縮され、そのため運休時間が短縮されたことになり利用率が向上した。6図は3,000 A イグナイトロンの化成所要時間の一例を示した実績である。

真空漏洩を示す気密度が従来の多陽極型整流器のものに比して 25% に減少し、進歩の跡を示した。この原因はタンク壁水套部構造の改善によるもので旧来のウオタジャケット式をやめて銅製のパイプをタンクの外周に巻いた。そのためにタンク壁の鉄板は直接冷却水に接触せず、したがって発生期の水素が鉄板の組織を透して漏洩することがないため真空漏洩度が減少したのである。よって気密度は1タンク当り0.5 ミクロン/時を保證するにいたつた。6タンク 3,000 A イグナイトロンの実測値の一例を示すと下表のとおりである。

- u タンク=0.026 ミクロン/時
- v タンク=0.049 ミクロン/時
- w タンク=0.061 ミクロン/時
- x タンク=0.041 ミクロン/時
- y タンク=0.082 ミクロン/時
- z タンク=0.094 ミクロン/時

電源変動に対する安定性の問題が昨今問題となつた。その主なものは電圧と周波数の変動であり、電圧変動対策としては変圧器タップと直流側出力電圧の位相制御との併用によつて一定範囲の変動に対応している。しかし位相制御には 80% の限界値がありかつ変圧器タップ切替は一度無負荷にしてから手動または電動機駆動により切替え再投入する方式が採用されており、切替え所要時間は1分以内で完了し、再運転までの所要時間は3分間以内である。既納品には負荷時電圧調整タップ付のものはない。

周波数の低下は 20% にもおよび 60~ が 50~ にまで低下した時があつた。この際放電管式点弧回路では何等問題はないが L-C の共振回路のものでは共振状態が



6 図 300V 3,000A 4タンク イグナイトロンの化成所要時間
Fig. 6. Curves of formation current and vacuum of 4 tanks, rated 3,000A, 300 V ignitron.

はづれて衝撃電圧の尖頭値が低下する。そのため失弧する惧れがあるがこれは蓄電器を追加装着することにより解決した。現在の設計のものでは周波数変動の範囲を考慮して設計してあり問題はない。周波数の低下により直流側濾波装置の調整値がはずれ誘導障害が発生することが考えられるが、この方面の誘導障害はあまり聞かない。

点弧子の寿命は信頼度と利用率に関係がある。点弧子を使用することがイグナイトロンの一大特長であるにもかかわらずそれがかえって弱点と指摘され勝である。いま既納品の使用実績をのべれば現在までに取替えたもの10本で運転タンク数は210タンクである。したがって $\frac{10}{210}=4.5\%$ であり、10本の内訳は点弧子の保持棒の太さを変更するときに点弧子はなお使用可能であるにもかかわらず取替えたもの6本、2年使用した後内部を一部改造のため開蓋し、その時にとりかえたもの合計2本、研究用としてとりかえたもの2本ありともに使用不可能ではないが開蓋を契機として使用者側からの要望により取替えたものである。イグナイトロン第1号器が昭和24年6月18日引渡試験完了して以来満3カ年余の実績を有するものが3セット18タンク中15タンクある。残余の3タンクは上記の理由により寿命のとない先に取替え、研究資料としたものである。

1. 位相制御と力率の問題

イグナイトロン整流器の位相制御は前記の通り点弧子の点弧位相を制御回路に挿入した移相器により遅らせて行うもので連続的に円滑に行い得る。位相制御率と飛躍逆電圧、終期転流率の関係は(1)(2)式で示されるが力率の関係は(5)(6)式、また電圧変動率を考慮すれば(7)式で示される。

$$\text{整流器直流出力電圧} = E_d = E_{d0} \cos \alpha - e_x - e_r - e_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{インバータ直流電圧} = E_d' = E_{d0}' \cos \gamma + e_x' + e_r' + e_a' \quad \dots\dots\dots (4)$$

上式の $\cos \alpha$ を整流器位相制御率、 $\cos \gamma$ をインバータ位相制御率という。

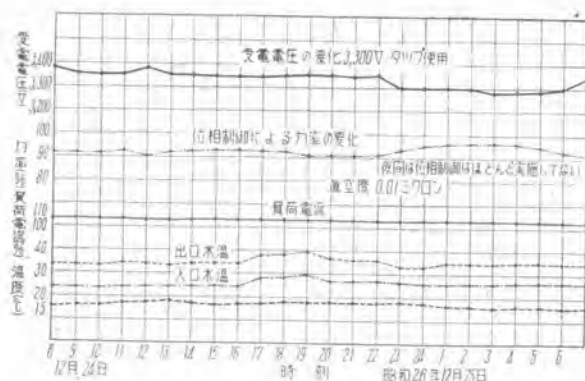
$$\text{整流器側力率} = p \cdot f \cdot M = \frac{K}{\sqrt{1-p \cdot \psi(u, \alpha)}} \left\{ \cos \alpha - \frac{E_{a0}}{E_{d0}} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{インバータ側力率} = p \cdot f \cdot I_a = \frac{K}{\sqrt{1-p \cdot \psi_2(u, \gamma)}} \left\{ \cos \gamma + \frac{E_{a0}'}{E_{d0}'} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

上式は電圧変動率が考慮していない式である。

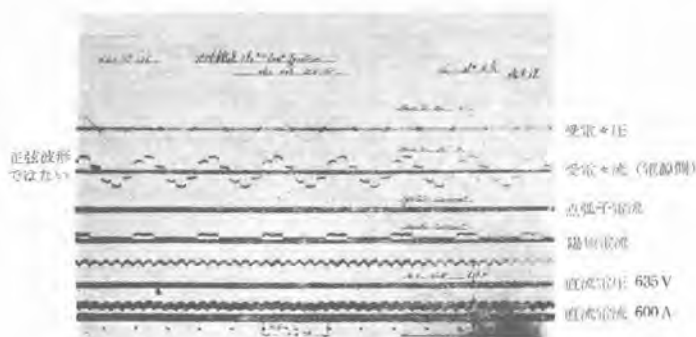
運転実績と力率との関係を示したものが7図である。

7図は一化学工場の負荷曲線の例である。この図では3,300Vの受電タップに3.35kVが8時から22時の間印加されるため僅か位相制御を行い直流電流を110%過負荷一定に保持することになる。その時力率は低下するがしかし夜間24時から翌朝の6時までは3.3kVに



7 図 化学用イグナイトロン運転実績

Fig. 7. Load curves of pumped ignitron for electro-chemical service at normal operation.



8 図 750 kV 600 V 北陸鉄道用イグナイトロンオシログラム (位相制御は実施していない)

Fig. 8. Valtage and current oscillograms of ignitron rectifier for railway service rated 600 V 750 kV.

低下するため位相制御は殆んど行わず力率は95%に上昇している。

位相制御を行うと7図の例のように力率が低下することがあるが、これは静電蓄電器を挿入すれば解決されることであり、かつ6相を12相にすれば98%までは改良することができる。整流器運転の場合は位相制御をしなくても8図のように電源側電流波形は正弦波とは称し得ないほど歪んでいる。したがって力率が低下する原因は電源側高調波のためで狂率、相差率等を考えなくてはならない。もちろん普通の力率計では精密に正しい値を示すものとはいえない。電圧変動率を考慮した力率の式は(7)式である。

$$\begin{aligned} \text{整流器側力率} &= \frac{2\sqrt{p}}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} \times \\ &\left\{ \cos \alpha - \frac{6}{1+6} \sqrt{1-p \cdot \psi(u, \alpha)} \right\} \quad \dots\dots\dots (7) \\ \psi(u, \alpha) &= \\ &\frac{[2 + \cos(2\alpha + u)] \sin u - u [1 + 2 \cos \alpha \cdot \cos(\alpha + u)]}{2\pi \{ \cos \alpha - \cos(\alpha + u) \}^2} \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

静電蓄電器200kVAを挿入して300V、3,000Aの化学用イグナイトロンにて実測した値を(7)式と比較したものが9図である。9図から力率は電圧変動率(e)に関係してかなり差異を生ずることがわかる。

$$E_{a0} = \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \quad p = \text{相数}$$

$$E_{a0}' = \frac{\sqrt{2} E'}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \quad E \text{ および } E' = \text{変圧器二次相電圧}$$

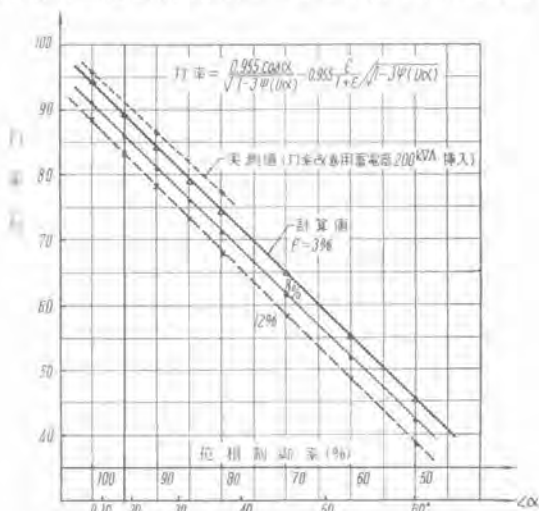
e_a および e_a' = リアクタンス降下

e_r および e_r' = 抵抗降下

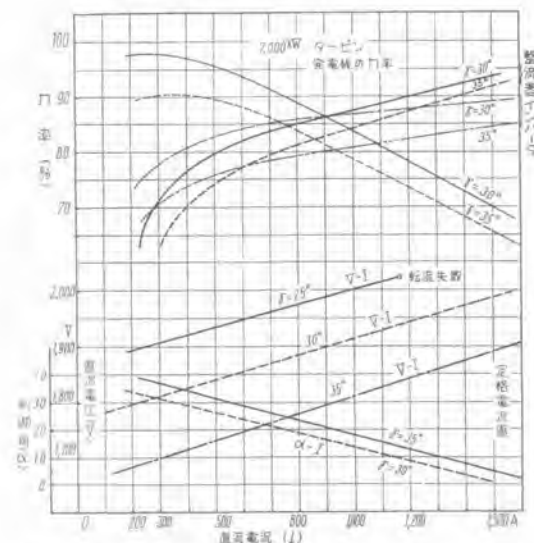
e_a および e_a' = 電弧降下

$$\epsilon = \frac{E_{a0} - E_a}{E_a} = \% \text{電圧変動率}$$

インバータの力率は(6)式で表わされる。(6)式中 $<\gamma$ は重疊角 (u) と消イオン時間、ならびに余裕角の総和であつて整流器回路と整流器本体構造によつて一定の最小限度がある。それは10図でわかる通りインバータ側の電圧-電流特性曲線を $<\gamma$ をかえて描いた時に $<\gamma$



9 図 300V 3,000A 12タンク イグナイトロン運転実績
Fig. 9. Power factor of a typical ignitron rectifier having identical 6-phase doublewge with interphase transformer.



10 図 3,000kW 周波数変換器(60~を50~電力に変換)の特性曲線
Fig. 10. Power factor and regulation characteristics of 3,000kW α -C interlink frequency changer.

が一定値よりも大きければ定格電流値でも転流の失敗は発生しないが $<\gamma$ が 25° の時は 1,150 A 程度にて転流失敗が発生してそれ以上負荷し得ないことを示している。したがつて定格負荷の $<\gamma$ の限界値は 25° と 30° との中間に存在することになる。

10 図は 3,000 kW 周波数変換器の整流器交流側 (11 kV 60~), インバータ交流側 (3.3 kV 5 ~) ならびに 7,000 kW ターボ発電機の力率変化を $<\gamma$ を一定値に保つて $<\alpha$ を変化させて変換電力をいろいろかえて測定したものである。直流電流 1,500 A が定格負荷であり、3.3 kV 50~ 側には 7,000 kW のタービン発電機の他に 3,000 kW のタービン発電機が並列運転している。

$<\gamma$ が 30° のときは 35° のときより整流器もインバータもタービン発電機もともに力率は良好である。これは(6)式より明かである。 $<\gamma$ が小さければ小さい程力率はよく、タービン発電機から無効電力をとることが少ないことになるが余り $<\gamma$ を転流失敗の一步手前のぎりぎりの角に設置すると、わずかの負荷の変動または電源擾乱等のたびに転流失敗することになり実用上面白くないため若干の余裕をとつて $<\gamma$ を決定する。

整流器側とインバータ側力率の大小を一定の假定のもとに計算すると(9)式のような結果となる。

$$p \cdot f \cdot r_n = p \cdot f \cdot r \cdot \frac{\mu}{1 - p \cdot \phi_1(u\alpha)} \times 2 \left[\frac{e_a}{E_{a0}} + \frac{e_r}{E_{r0}} \right] \quad \dots\dots\dots(9)$$

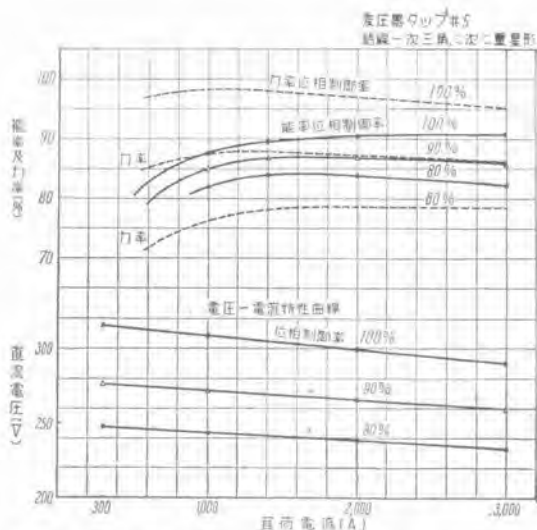
(9)式は理論的近似式で概要を示すに過ぎないがこれにて明かな通りインバータ側の力率は変圧器の抵抗損と整流器の電弧損に比例した数値だけ整流器側より低いことになる。20 図も大体(9)式の傾向を有するが変圧器の kVA がことなつており $<\alpha$ と $<\gamma$ との差もかなりあるため結果は一致していない。

ウ. 能率の問題

整流装置一式の能率には規約能率と実測能率との二種類があるが、前者は製造者で保証するものであり、後者は実際の工場運転時に問題となる能率である。能率は力率と同様重要視さるべき性格のものであるが前述の通り変圧器一次側(交流側)電流の歪が著しく、正弦波と看做し得ない状態であるため測定計器の誤差が挿入されることを考慮して整流器内電弧損失と補助回路損失と変圧器損失とを別個に測定し定格出力に加算して入力とし、両者の比を規約能率として表わしている。規約能率と実測能率とは前者が幾分よい場合が多い。

$$\text{規約能率} = \frac{E_a \times I(\text{出力}) \times 100\%}{E_a \times I + \text{回路損失の総和}}$$

上式からわかるように直流電圧(E_a)を高くし、直流電流(I)を小さくするほど能率は向上する。11 図は既納イグナイトロン整流器の能率実測値の一例である。位相制御をしたときは直流電流一定値でも直流電圧の低下と変圧器の電流、電圧の歪のため損失が増加し能率が低下してゆくことになる。



11 図 300V 3,000A 化学用イグナイトロン実測値
Fig. 1. Efficiency and power factor curves and regulation characteristics of ignitron rectifier rated 300 V 3,000 A.

能率は変圧器の結線方式によっても異なるもので変圧器二次巻線が相間リアクトル付二重星型とフオータ結線のときでは同一定格でも整流器内電弧損失が後者の方が1.3~1.8 倍程度大きい。

整流装置の総合能率は整流器用変圧器と整流器自体の損失の和で示すが前者は受電電圧と設計法により差を生ずるが完成品であるだけに能率の値は大体定つていて大きな差はない。これに反して整流器の能率は設計方針により著しくかわるものであつて、整流器本体の電弧降下の低減が能率向上策の一大岐点となつている。多陽極型整流器時代は大電流用 5,000 A 級整流器は 18 極としその中 3 極を並列として一極当りの電流値を低下せしめ信頼度をたかめるとともに電弧降下の低減を計つたのであつたが、電弧降下は 30 V 以上あつた。イグナイトロン整流器では 5,000 A 級のものは 12 タンクすなわち 12 極であるにもかかわらず 20 V 以下となり、その間 10 V の差を生じて能率向上化が実現した。

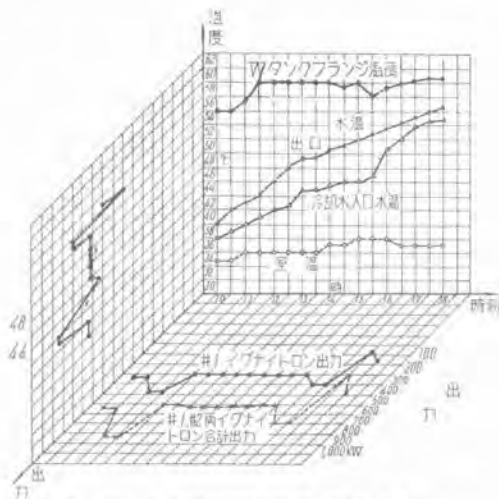
直流電圧 300 V 以下のイグナイトロンの能率は回転変流機に対して劣つていることもあつたが、現在では同一程度にまで向上改良されている。能率をさらに向上させるために電弧降下を低下せしめることは技術的に可能であるが信頼度の点で劣ることになる。

エ. 冷却の課題

従来の多陽極型整流器の冷却はタンクの大さが大きいために通水の順序、通水系の分割等の方法によりいかなる部分をいかに冷却するかが問題であり、また通水部構造が清掃可能であることなど諸種の課題と制限条件があつた。ことに大電流用大型整流器においては冷却と電蝕の問題と安定運転との三条件が相互に関係して複雑な課題を提示した例もあつた。イグナイトロンはこうした経験を活かして電蝕の観点からパイプと配水管は全て非鉄金属を使用して解決し、さらに安定運転のための冷却条

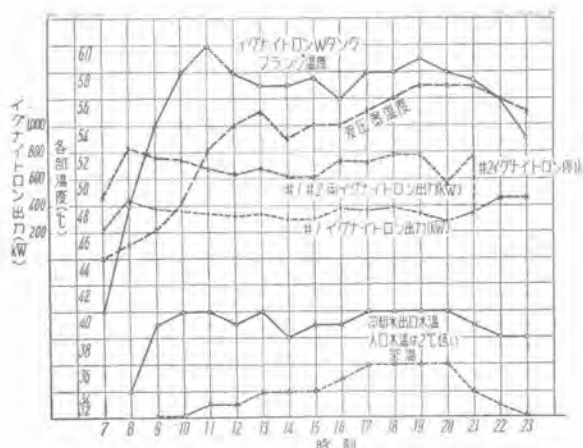
件を種々研究して成案を得るにいたつた。

冷却の問題は内部水銀蒸気圧の制御を行うのが目的であるためあまり冷却水温が低すぎてもまた高過ぎても不適当であることは自明の理である。その使用範囲が室温または地下水温に比して低域にあるか高域にあるかが問題であつて低域にある時は保守上かなりむづかしい問題となる。イグナイトロンは独特な放電特性と耐高温構造のために入口水温は 30~40°C にて運転することが最も望ましいことが実証されるにいたつた。イグナイトロン本体入口冷却水温が高いほど冷却水装置は小型簡易化することとなり、製作者の立場からも保守的見地からも有利になる。水冷式イグナイトロンの循環冷却水系をもつとも簡易化した実例は 1,250 kW, 750 V, 直流電動機駆動用イグナイトロンで本器は循環水槽と循環水ポンプをすべてイグナイトロン床板上に設置し、イグナイトロン本体と水槽間を全て真鍮パイプで接続したもので水銀蒸気ポンプ用冷却水には水道をつなぎこれを補給水源とし、本体循環水温を 4°C に保持するように上記水銀ポンプの水を補給調整する方式である。これによりイグナイトロンの放電特性を一定化せんとするものである。12 図は京都市電、西ノ京変電所の運転実績であつて 8 月上旬室温 34~6°C のとき 500 kW イグナイトロン 2 組を運転し、補給水を循環水槽に全く補給しないときの循環水温の変化を負荷状況と合せ示したものである。13 図は水銀蒸気ポンプの冷却水を 5 l/min (水温 28°C) 補給したときのもので 1 図の冷却水出口水温が 54° 上昇しているに対して 13 図は 40°C 以上には上昇していない。負荷電流は 13 図の方がかえつて大きいにもかかわらず、5 l/min の補給水によつて顕著に低下している。以上は冷却水温の高い限度を示したが低い方は 14 図に示してある。14 図は冬期循環水閉回路として運転した実例を示したものである。



12 図 西ノ京変電所運転実績 昭25-8-3
500kW 600V 6 タンク公称定格(閉路循環水系とした時の水温上昇を示す)

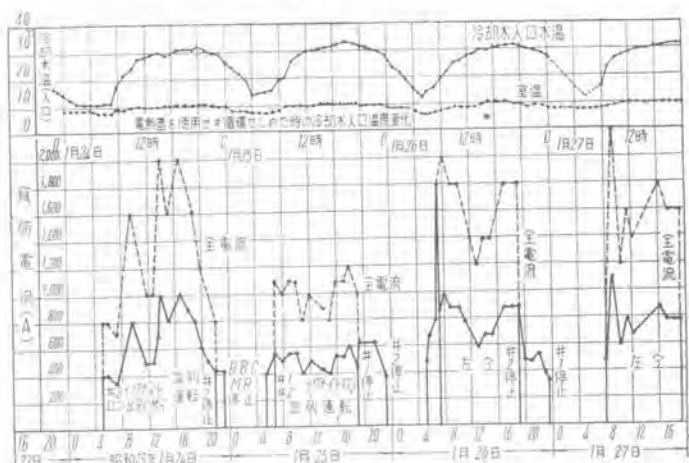
Fig. 12. The relation curves of temperature rise of cooling water and output of ignitron in summer.



(水銀蒸気ポンプ用冷却水(28°C)を補給水として使い、5 l/min 補給した場合の実例)

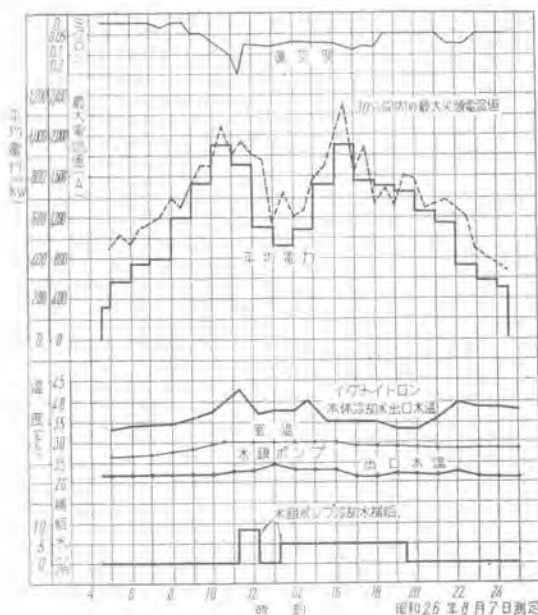
13 図 西ノ京変電所運転実績 昭25-7-7

Fig. 13. Curves showing the change of cooling water, transformer oil, anode flange temperature at the normal operation.



14 図 西ノ京変電所運転実績 500kW 600V 6タンク 公称定格 負荷電流とイグナイトロン冷却水温との関係曲線

Fig. 14. Curves of load current and cooling water temperature of ignitron in winter.



15 図 2,000kW 1,500V イグナイトロン整流器負荷曲線
Fig. 15. Load curves of 1,500 V pumped ignitron rated 2,000kW for railway service at the normal operation in summer.

15 図は 2,000 kW, 1,500 V, 重負荷公称定格, 6 タンク, イグナイトロン整流器の盛夏中の現地運転実績である。室温は 26~30°C, 30 分間平均最大電力 950kW 最大尖頭電流値 2,300 A, 水系は節水循環式で水銀蒸気ポンプ水系に再冷器を設け循環水の一部を冷却して水銀蒸気ポンプに入れ、放水をイグナイトロン本体水温調整用水として用いる。15 図では 10 時 40 分まですなわち本体出口水温が 43° になるまでは水を補給せずただ循環しているがその後 8 l/min, 30 分間, さらに 5 l/min 約 3 時間補給しているのみで盛夏の一日を終っている。これは補給水として使った水量だけ節水になったことを示しているが、さらに冬期は循環閉路方式で充分であることを物語っている。

一般的にいつて整流器は連続一定負荷に近いと看做される負荷状況では冷却水入口水温はかなり低温まで使用し得る(7 図参照のこと)が時々尖頭負荷が印加されるようなときにはスターベーションの発生が考えられてサージの発生することがあり、それを防止するため入口水温を 40°C 程度に保つことが必要であることが実験的にたしかめられている。このサージ電圧の発生は整流器内部構造如何によるものであるから一概に 40°C 程度と規定することはできないがタンク内真空が低下せず、かつ許しうる限り高温の方がサージ電圧発生防止になることは実事である。現に納品中にはサージ電圧が発生した実例は一つもない。以上の事実からしてイグナイトロンの定格は冷却水温によつて異なるといえることができる。

4. 並列運転と運転状況

同一変電所内で同一定格容量、型式の整流器間の並列運転は問題にはならないが回転変流機とか整流器間でも単極・多極の差・格子の有無・定格の相違、その他の条件の差にとりまなつて運転上多少問題がある。いままでに納入した機種の間違った機器間の同一変電所内並列運転の実例を列記して使用者の方の参考に供しよう。

この場合隣接変電所間の直流母線を介しての並列運転は機種、定格の相違による影響はほとんど問題にならない。

(i) 京都市交通局西ノ京変電所の一例

BBC 製 1,000 kW 600 V 多陽極型、格子なし、水冷式水銀整流器 2 台と 500 kW, 600 V 格子付、水冷式イグナイトロン 2 台との並列運転においては前者は連続定格で整流器用変圧器は一次星形、二次フォーク結線であつて陽極電流通流期間が 60° であるのに対して後者は公称定格で変圧器結線は一次三角、二次相間リアクトル付二重星形結線で通電期間は 120° であり、電圧—電流特性が異なつていて後者を前者の特性に合致せしめるためにはかなりの犠牲をみなくてはならない実状であつた。整流器構造差にもとづく電弧降下の差と電圧変動率の差とを新設のイグナイトロン変圧器の設計によつて合致せしめる方法をとるため総合的見地からみて不利とな

ることは自明である。16 図は西ノ京変電所の並列運転の負荷分担の実測値である。

これと近似例として富山地方鉄道総曲輪変電所の BBC 製 500 kW 600 V 整流器 1 台と 500 kW, 600 V イグナイトロンの並列運転がある。いずれも希望通りの設計ができ、要望条件はすべて満足している。

(ii) 札幌市交通局大通変電所の例

当変電所では多陽極型水冷式 600 kW 600 V 整流器 1 台、風冷式 300 kW 600 V 2 台と水冷式 500 kW 600 V イグナイトロン 1 台とが並列運転する条件で設計をすすめたのであるが、三者三様の整流器構造を有し、冷却条件が異なり、整流器用変圧器の結線は同一であるがタップは、それぞれまちまちであるため負荷分担はかなり問題であつた。この場合もイグナイトロン用変圧器の電圧変動率を許し得るかぎり大きくしたがそれでもなおイグナイトロンが過負荷状況におかれる有様であつたためタップの調節によつて一定負荷で三者平衡しその点から過負荷の分をイグナイトロンと 600 kW 整流器が受持つこととした。この運転結果は満足すべきものであつた。

(iii) 国鉄大井町変電所の例

2,000 kW 1,500 V 回転変流機と 2,000 kW 1,500 V 重負荷公称定格、イグナイトロンとが並列運転との条件にて設計され、各社のエキサイترونともすべて並列運転している。17 図は回転変流機移設前の回転変流機及多極整流器との並列運転時の電圧—電流特性曲線である。

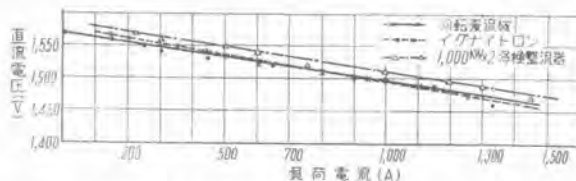
以上の実測のように各種各様の水銀整流器または回転変流機と並列運転が可能であることが実証されたがいずれもイグナイトロン/変圧器とイグナイトロンの電圧—電流特性を犠牲にしていることが多い。しかしいかなる機種とも並列運転を可能にする一般的方法としてはイグナイトロンの位相制御法を使用すればよい。このときは負荷全域にわたつて分担負荷を同一値に均等化することはできないが所望の負荷値での平衡分担はつねに可能である。

電鉄用イグナイトロン整流装置は運転信頼度の観点から予備装置を有することが多いためイグナイトロン 1 セット当りの利用率は 50 % 程度であるのが普通である。しかし電車の運行の頻繁な線路の変電所は負荷率が高く 1 カ月中 2 日間程度、点検ならびに簡単な手入作業にのちの他は休止することがない。したがつて利用率は 75~94 % という実情である。こうした場合の代表例としては大都市近傍の国鉄変電所があげられる。18 図は 2,000 kW, 1,500 V 国鉄大井町変電所の負荷曲線である。18 図によれば午前 9 時頃には定格電流値以上の負荷がほとんど連続負荷され、ときどき 2,000 A~2,300 A の尖頭負荷が印加されている有様である。こうした負荷状況は 1 セットの定格容量一杯使用しているため故障状況に陥つたときに電車の運行に支障をきたすことになり、そのため変電所保守の責務は重大視されるにいたる。



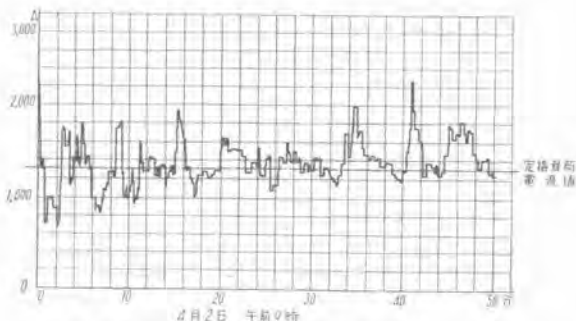
16 図 西ノ京変電所イグナイトロンと BBC 製多陽極型整流器並列運転 (実線イグナイトロン, 点線 BBC 製整流器)

Fig. 16. Regulation curve in parallel operation.



17 図 大井町変電所イグナイトロンと回転変流器並列運転特性 昭25-6

Fig. 17. Regulation curve in parallel operation.



18 図 国鉄変電所 2,000kW 1,50 V イグナイトロン負荷曲線の一例

Fig. 18. A typical load chart of ignitron rectifier for railway service.

がこれに反して整流装置に対する手入作業時間は逆に縮減されることとなりそこに機器を酷使するということがありうるのである。

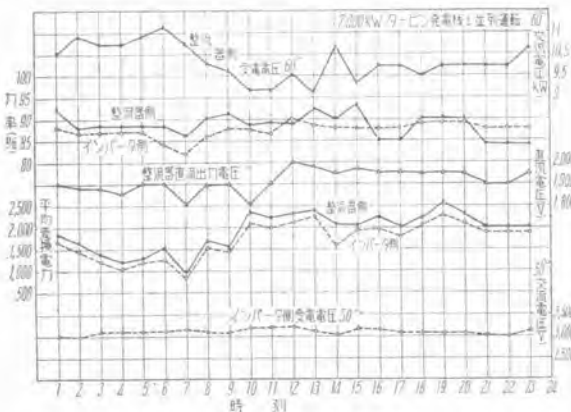
電気化学用イグナイトロン整流器は文字通り一定負荷の連続運転であり、障害による休止は工場生産に甚大な損害を与えることになるためその信頼性の要求は著しく強い。したがつて予備装置 1 セット設置するのが当然であるにもかかわらず、経済上の要求から予備タンクのみ設けて設備機器を 100 % 運転することがしばしばある。食塩電解のイグナイトロン装置は直流電圧が低いために運転上の安定性が高く、予備タンクのみ設置された例が多い。こんな場合の全装置の利用率の実績は 99 % 以上である。これに対して 1 セット予備装置をもつたものの 21 カ月の 1 イグナイトロン当りの利用率の実績は 71.5 % で、無休止運転である。

19 図は 12,000 A 用イグナイトロンの一群の外観を示したものである。20 図は 3,000 kW 周波数変換器の運転実績であり、60 ~ 側受電電圧変化と整流器側位相制御による力率変化、直流電圧変化と 1 時間平均変換電



19 図 300V 6,000A 12タンク 化学用イグナイトロン整流器

Fig. 19. Water cooled pumped type ignitron, 6,000A 300V DC for electro-chemical service.

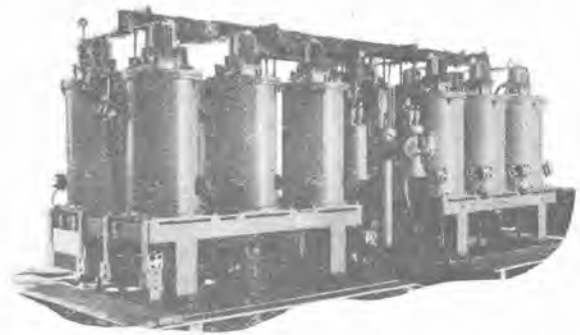


20 図 3,000kW 周波数変換器運転実績 昭26-12-27

Fig. 20. A example of voltage, current, power factor curves of 3,000kW frequency changer.

力、インバータ側力率ならびに 50V 側 3.3kV 電圧変化の時間的関係を示したものである。20 図で整流器側力率がインバータ側力率よりも低いのは測定時に負荷変化があり、位相制御したときに読んだものと思われる。

20 図の整流器側、インバータ側力率の差異を理論計算式(9)にあてはめてみると(9)式からは整流器側力率がインバータ側のものより約 0.05% 大きいことになっている。20 図では6時から9時の間と 13 時から 15 時の間は(9)式の結果と大体符合している。21 図は 3,000 kW 周波数変換器の 7 月 10 日の時間的負荷変化



22 図 2,000kW 1,500V 重負荷公称定格 風冷式イグナイトロン整流器

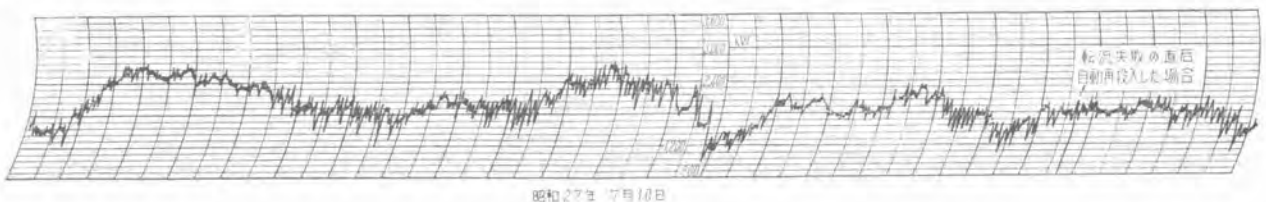
Fig. 22. Air cooled pumped type ignitron, rated 2,000kW 1,500V DC for railway service.

を示したチャートであり、負荷変動が大きいことを表わしている。転流の失敗は受電電圧、負荷側の短絡事故等の際に多く発生するが 21 図に示したように自動的に再投入されて停電事故とはならず並列タービン発電機への衝撃はほとんど観察できない程度で再運転される特長がある。転流失敗の発生回数は負荷側の事故・受電電圧の変動・制御回路の事故等で発生するから一概に決定することはできないが平均して 1 回以下/1 日程度である。

風冷式イグナイトロンは 1,500 kW, 1,500 V 負荷重公称定格 1 セットが運転しており、2,000 kW, 1,500 V 重負荷公称定格は完成し、工場にて 3,000 kW, 1,500 V 6 タンク重負荷公称定格の 6,000 A 1 分間の負荷試験を一応完了せしめており、目下 3,000 kW の純風冷式(水銀ポンプも完全風冷式)を製作中である。22 図は 2,000 kW, 1,500 V 重負荷公称定格のイグナイトロンの外観写真である。

5. 手 入 作 業

イグナイトロン整流器の定期的手入の週期と必要性とは現在充分判っていない。現在までに行われた手入作業に通水部の点検手入であつて 20 セット中 3 セット計 4 タンクに過ぎないが、これらは電蝕状況にスケールの堆積状況を点検するために行つたにすぎず 1 タンクを予備タンクと交換し、運転はとめない状況下で、しかもはすしたタンクは真空を破ることなく通水部を開蓋点検したものである。1 セット全タンクを清掃したものは一つもない。タンクの典型的手入作業といえばタンクの通水部



21 図 3,000kW 周波数変換器 7,000kW ターボ発電機と並列運転

Fig. 21. A example of load charts of 3,000kW frequency changer operated in parallel with turbo-generator rated 7,000 kW.

はもちろんのこと内部をも分解清掃し、パッキン類をすべて取替えて最後に化成を行うというのがそれである。こうした典型的手入作業の必要性は3年以内では発生しないことは納入イグナイトロンの実績からして明かである。

手入作業を行うまでに何ヵ年間の実用運転が可能であるかは将来判明することであろう。

6. む す び

新しい変流装置であるイグナイトロン整流器の運転記録というものは経験された諸障害の最初の報告であつて一般に概要を示したものが多く、障害発生の数字は本質を批評するには不完全なものであり勝である。ことに保守される方の不馴により故障発生率や運転状況が異つて来ることは、しばしば経験された処である。また同一機器でありながら整流器資格と適用分野の特性の相違のために異なつた運転記録が出た実例が多陽極型整流器ではあつた。

しかしイグナイトロン整流器では障害記録の著しく相違したものはないのみか納入先で業務遂行上、イグナイトロン整流器が生産制限要素として取上げられたことは皆無であり、一工場のごときは整流器定格電流値以上に負荷され生産増強に寄与している。

第一号イグナイトロン整流器が運転に入つてから3カ年余におよびその間一部改造がおこなわれたがイグナイトロン本体については下記の事項が期待され得る。

- (1) 年タンク当りの逆弧率は1回以下である。
- (2) 点弧子の平均寿命は少くとも3年以上である。
- (3) 手入作業をせずに使用し得るタンクの寿命は少くとも3年以上である。
- (4) 冷却水温の使用範囲は20~45°Cの範囲であり30~40°Cの間がもつとも良好である。
- (5) ゴムパッキンはフランジ温度80°Cに耐え、その寿命は少くとも3年以上である。

この文を書くにあたりご援助ご盡力を賜つた関係各位に厚く御礼申上げる次第である。

計 算 式

$$\text{整流器側力率} = p \cdot f \cdot M = \frac{\text{直流側出力}}{\text{変圧器一次側ボルト・アンペア}}$$

$$= \frac{\sqrt{2} E \cdot \frac{p}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \left\{ \cos \alpha - \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + u)}{2} \right\} \cdot I}{\sqrt{\frac{p}{2} E \cdot I \cdot \sqrt{1 - p \cdot \psi_1(u, \alpha)}}}$$

$$= 2 \cdot \frac{\sqrt{p}}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \left\{ \cos \alpha - \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + u)}{2} \right\} \cdot \frac{X \cdot I}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_1(u, \alpha)}} \quad \dots\dots(7)'$$

よかるに

$$\frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + u)}{2} = \frac{X \cdot I}{2 \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{p}} \quad \left| \right.$$

$$\left. \begin{aligned} E_{a0} &= \sqrt{2} \cdot E \cdot \frac{p}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \\ E_x &= \frac{p \cdot X \cdot I}{2\pi}, \quad K = 2 \cdot \frac{\sqrt{p}}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \end{aligned} \right\} \dots\dots(10)$$

(7)' 式へ (10) 式を代入すれば (5) 式を得る。

$$p \cdot f \cdot M = \frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_1(u, \alpha)}} \left\{ \cos \alpha - \frac{E_x}{E_{a0}} \right\} \quad \dots\dots(5)$$

同様に

$$p \cdot f \cdot I_n = \frac{K'}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_2(u, \gamma)}} \left\{ \cos \gamma + \frac{E_{x'}}{E_{a0}'} \right\} \quad \dots\dots(6)$$

(3) (4) 式で直流電圧・変圧器ならびにイグナイトロンが整流器側ならびにインバータ側全て等しいと假定すれば

$$E_{a0} = E_{a0}', \quad e_r = e_r', \quad e_x = e_x', \quad e_a = e_a'$$

$$K = K'$$

$$\therefore E_{a0} \cos \alpha - e_x - e_r - e_a = E_{a0} \cos \gamma + e_x + e_r + e_a$$

すなわち

$$\cos \gamma = \cos \alpha - 2 \frac{e_x}{E_{a0}} - 2 \frac{e_r}{E_{a0}} - 2 \frac{e_a}{E_{a0}} \quad \dots\dots(11)$$

(6) 式より

$$\cos \gamma = \frac{p \cdot f \cdot I_n - \frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_2(u, \gamma)}} \cdot \frac{E_x}{E_{a0}}}{\frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_2(u, \gamma)}}} \quad \dots\dots(12)$$

(11) 式に代入して

$$p \cdot f \cdot I_n = \frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_2(u, \gamma)}} \times \left\{ \cos \alpha - \frac{E_x}{E_{a0}} - 2 \left(\frac{e_a + e_r}{E_{a0}} \right) \right\} \quad \dots\dots(13)$$

よかるに

$$\frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_1(u, \alpha)}} \approx \frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_2(u, \gamma)}}$$

と看做し得るとせば

(9) 式を得る

$$p \cdot f \cdot I_n = p \cdot f \cdot M - \frac{K}{\sqrt{1 - p \cdot \psi_1(u, \alpha)}} \times 2 \left[\frac{e_a + e_r}{E_{a0}} \right] \quad \dots\dots(9)$$

参 考 文 献

- (1) 風冷式イグナイトロン整流器 加藤, 鯨岡
“三菱電機” 26巻, 第2号
- (2) 化学工業用鉄製イグナイトロン整流器 加藤, 坂上
“三菱電機” 25巻, 第4号 p.14
- (3) 3,000kW イグナイトロン周波数変換装置 已斐
“三菱電機” 26巻, 第4号
- (4) “Performance of Pumped Ignitron Rectifiers”
By C.C. Herskind & E.J. Rewscheid, Technical Paper 48-35.
- (5) “The Electronic Converter for Exchange of Power” By F.W. Crower, A.I.E.E. Trans. Vol. 63. 1944. p.1059.

釜石製鉄所納 5,000 HP イルグナ設備

神戸製作所

竹内 眞一^{*}・片岡 高示^{**}

5,000HP Ilgner Set Supplied to Kamaishi Iron Works

By Shinichi TAKEUCHI, Takashi KATAOKA

Kobe Works

In the design of 5,000 HP ilgner set supplied to Kamaishi Iron Works, Fuji Iron & Steel Company, are employed the latest systems as electric apparatus to be applied to steel mills. They comprise a single armature of small flywheel effect, quick responsive excitation and overcurrent limiting device by means of rototrol, enclosed forced ventilated method and change over of air path with dampers. This paper deals with the actual results on the above new systems.

1. ま え が き

釜石製鉄所大型工場では圧延用主電動機として今まで 5,000 HP 誘導電動機を使用されていたが今般これをイルグナセットに切換えることになり、当社において電機品一切を製作納入した。

生産の主なもの重軌条、I ビーム溝形鋼および小型鋼等で、ロールは 3 スタンドで昨年 12 月納入より本年 5 月までは三段ロールで一定回転方向であつたが、本年 5 月末に二段ロールに切換えて現在では可逆回転を行っている。

製鉄用大形イルグナ設備にロートロールによる速応励磁および電流制限方式を使用したのは今回が初めてであるが好成績で運転を続けている。

2. 各機器の仕様

(1) 圧延電動機 1 台

連続出力 5,000 HP 600 V 6,600 A 70/160 rpm
常用回転力 51 TM、當時最大回転力 153 TM、
(300 %)

非常最大回転力 187 TM (367 %)

蓄勢輪効果 169 TM²

極数 20 閉鎖他力通風型 単電機子型

(2) 主電動発電機 1 組

(i) 主発電機 2 台

連続出力 2,000 kW 600 V 3,330 A 514 rpm

極数 12 閉鎖他力通風型

(ii) 誘導電動機 1 台

連続出力 5,000 HP 3,150 V 3 相 60~810 A

514 rpm (同期) 14 極 巻線型 MS 閉鎖他力
通風型 滑り 1.5 % 最大回転力 275 % 1 分
間

(iii) 蓄勢輪 1 個

蓄勢輪効果 280 TM² (GD²) 蓄勢輪直径
4,000 mm 鋼板製カバー付

(iv) 始動装置

半継手、減速歯車、自動切離装置一式

誘導電動機 30 HP 220 V 60~720 rpm

定格 15 分 巻線型回転子 全閉外扇
型 最大回転力 250 %

- (3) 励磁用電動発電機 1組
- (i) 圧延電動機用励磁機 1台
連続定格 60 kW 220 V 273 A 1,750 rpm
他励分巻 開放型玉軸受付
- (ii) 主発電機用励磁機 1台
連続定格 30 kW 220 V 136 A 1,750 rpm
他励分巻 開放型玉軸受付
- (iii) 定電圧電源用 1台
連続定格 10 kW 220 V 45.5 A 1,750 rpm
自励複巻, 開放型玉軸受付
- (iv) 5,000 HP 誘導電動機制動用 1台
30分定格 25 kW 35 V 715 A 1,750 rpm
他励分巻, 開放型玉軸受付
- (V) 駆動用誘導電動機 1台
連続定格 200 HP 3,150 V 3相 60~
1,800 rpm (同期) MK 開放型 玉軸受付
- (4) ロートトロールセット 1組
- (i) 圧延電動機用および主発電機用 2台
連続定格 1 kW 110 V 9.1 A 1,750 rpm
特殊界磁 開放型
- (ii) 電流制限用 2台
連続定格 250 W 50 V 5 A 1,750 rpm
特殊界磁 開放型
- (iii) 駆動用誘導電動機 1台
連続定格 5 HP 220 V 3相 60~ 1,800 rpm
MK 開放型
- (5) 通風装置
- (i) 電動送風機 2組 (うち1組は圧延電動機用, 1組は主電動発電機用)
送風機 FOL-100 B型 1,200 m³/min 75 mm
誘導電動機 50 HP 220 V 3相 60~ 514 rpm
連続定格 MK 全閉外扇型
- (ii) 空気ろ過器 2組
ポーセレン型 1,200 m³/min
- (iii) ダンパー式
空気ダクト 一式
- (6) 軸受潤滑油装置
圧延電動機用
- (i) 電動油ポンプ 2組 (うち1組は予備)
油ポンプ 30 l/min 5 kg/cm²
電動機 1 HP 220 V 3相 60~ 1,800 rpm
MK 全閉外扇型
- (ii) 油冷却器 1組
油量 30 l/min 容量 15 kW
- (iii) 油タンク 1組 (主電動発電機用と共用)
主電動発電機用
- (iv) 電動油ポンプ 2組 (うち1組は予備)
油ポンプ 150 l/min 5 kg/cm²
電動機 5 HP 220 V 3相 60~ 1,800 rpm
MK 全閉外扇型

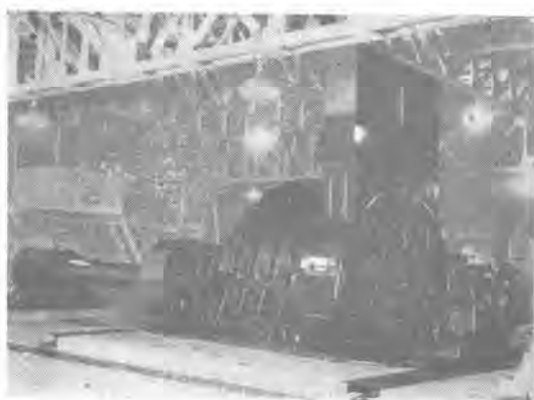
- (V) 油冷却器 1組
油量 150 l/min 容量 75 kW
- (7) 可撓継手 1組
グリッドスプリング型継手で電動機とカムワルツ間に装置し, ロールで発生する衝撃を吸収するとともに電動機の発生する回転力を十分伝達しうるものである。
- (8) 配電盤および制御装置
- (i) 高圧配電盤 (トラック型) 3面
主電動発電機用・励磁機電動発電機用および変圧器用よりなる
- (ii) 制動用配電盤 (キュービクル型) 1面
主電動発電機制動停止用
- (iii) 制御盤 1組
- (iv) 運転盤 1面
- (V) 電磁接触器箱 7面
交流補助電動機起動用
- (Vi) 電動滑り調整器 1台

3. 圧延電動機 (1図)

本機は重軌条, 溝形鋼等大型鋼の圧延に使用されるがロールは二段であるから電動機は正転と同時に逆転も可能でなければならない。したがって分塊ミルと同様苛酷な条件で使用されるもので, 367%の非常回転力を要求せられる。本機の回転数一回転力, 回転数一馬力特性は2図のとおりである。

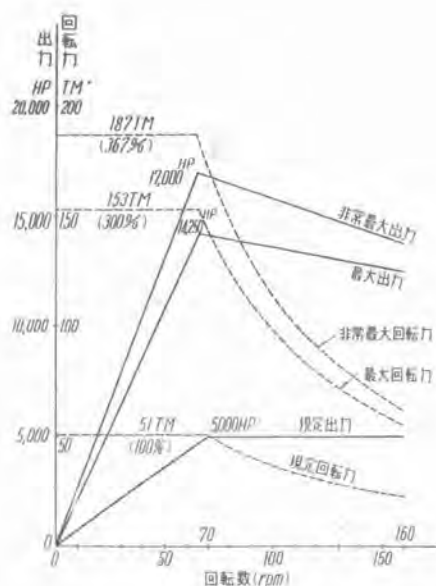
当社長年の経験と最近の理論によつて切りつめた設計常数を採用している。当社で昭和14年に製作し同製鉄所に納入した分塊用 5,260 HP と比較すれば1表のとおりである。また両者の常用回転力・蓄勢輪効果・回転子重量・全重量の比をとれば2表のようになる。すなわち旧 5,260 HP に対して新 5,000 HP は回転力において67%であるに, 蓄勢輪効果は47%に減少している。

圧延電動機は正逆回転を行い電氣的にも機械的にも苛酷な使用状態におかれる。直流機においては電機子線輪



1 図 5,000 HP 圧延電動機

Fig. 1. 5,000 HP mill motor at Kamaishi Works, Fuji Iron & Steel Co.



2 図 5,000 HP 圧延電動機特性曲線

Fig. 2. Characteristic curves of 5,000HP mill motor.

1 表

新 5,000 HP, 旧 5,260 HP との比較
(Comparison of new 5,000HP and old 5,260HP)

| 項 目 | 5,000HP | 5,260HP |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| 連続出力 (HP) | 5,000 (50°C 上昇) | 5,260 (40°C 上昇) |
| 電 圧 (V) | 600 | 2×600 |
| 電 流 (A) | 6,600 | 3,550 |
| 回転数 (rpm) | 70/160 | 50/120 |
| 能 率 (全負荷) | | 92 |
| 極 数 | 20 | 16 |
| 型 | 単電機子 | 二重電機子 |
| 常用回転力 (T-M) | 51 | 76 |
| 最大回転力 (T-M) (百分率) | 153 (300) | 209 (275) |
| 非常最大回転力 (T-M) (百分率) | 187 (367) | 250 (330) |
| 電機子外径 (mm) | 2,950 | 2,950 |
| 軸 長 (mm) | | 2×4,405 |
| 離鉄外径 (mm) | | 4,350 |
| 蓄勢輪効果 (GD² T-M²) | 169 | 360 |
| 回転子重量 | 55 | 2×48 |
| 全重量 | 145 | 246 |

2 表

| | 新 5,000HP | 旧 5,260HP |
|-----------|-----------|-----------|
| 常 用 回 転 力 | 67 (%) | 100 (%) |
| 蓄 勢 輪 効 果 | 46 | 100 |
| 回 転 子 重 量 | 57 | 100 |
| 全 重 量 | 59 | 100 |

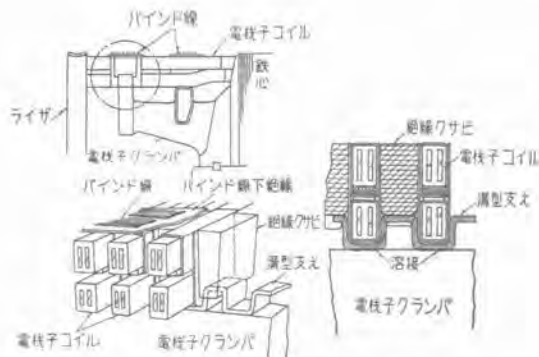
およびライザ部分が最弱点であるから圧延電動機ではなくにこの部分に注意を払つてある。3 図は電機子線輪の支持方法を示している。すなわち電機子クランパに溝形

コイル支えを取付けてこれに電機子線輪を一本一本はめ込み、さらに線輪の間には絶縁クサビを入れ、それらの外部にバインド線を巻いている。またライザ部分には、4 図のようにライザとライザとの間に絶縁クサビを打込み、クサビとライザと一体にして外周を円形に削り、そこにバインド線を巻いている。コイル支え上のバインド線とライザ部分のバインド線との間には隙間があり、コイルの通風冷却がよい。

従来の圧延電動機も強制通風は行つていたが、反整流子側エンドベルから入つた冷却風は整流子側から電動機室に排出していた。したがつて夏期には電動機室が非常に高温になる (35~40°C) 欠点があつた。今回はこの欠点を除くために整流子側にもエンドベルを設け、エンドベルの上部から風洞を経て排気を室外に導くようにした。

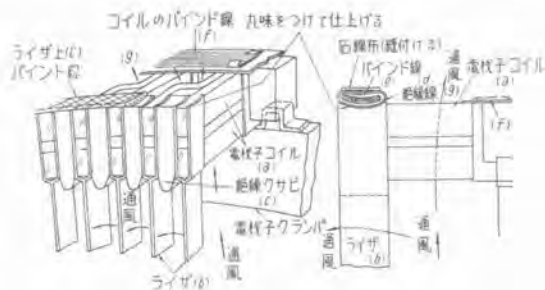
4. 4,000 kW 電動発電機 (5 図)

主電動機と同様に苛酷な使用に耐えるように設計してある。前述した既納イルグナ発電機との互換性を注文主から強く要望せられたので、2,000 kW 2 台に分け電圧も 600 V として既製品と同一とした。一般的には 5,000 HP の出力になると 700 V あるいは 750 V の方が適しているが、今回 600 V を採用した理由はここにある。



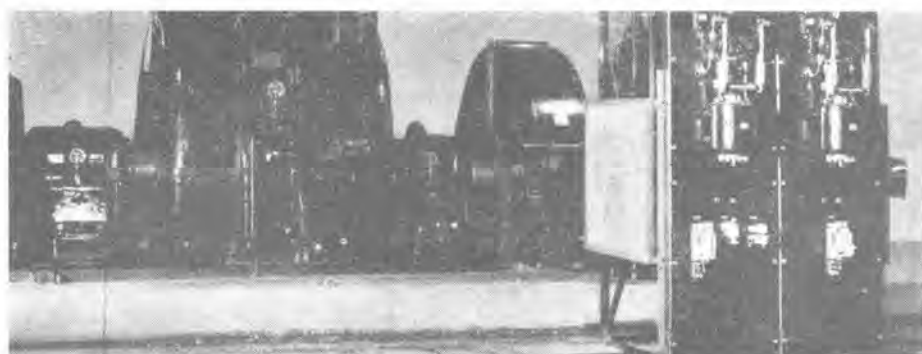
3 図 電機子コイルの支持方法

Fig. 3. Armature coils held in places.



4 図 ライザの構造

Fig. 4. Structure of risers.



5 図 2×2,000 kW
イルグナ電動発電機

Fig. 5. 2×2,000 kW
Ilgner motor
generator set.

発電機2台は並列接続として、負荷の不均衡を防止するために発電機各極に移動直巻コイルと差動直巻コイルとを巻き2台発電機の直巻コイルの接続はクロス接続にしてある。(11 図参照)。発電機の磁気飽和度は、自動滑り調整器の作動によって発電機の回転数が同期速度の70%程度まで低下したときでも定格電圧が出しうるよう十分低くつてある。

大型鋼の圧延は分塊ミルに比して尖頭負荷の値は低い、尖頭負荷のかかる時間が長いから蓄勢輪効果は比較的小さく、その代りに誘導電動機の連続出力は大きく選定する。

今回は誘導電動機出力 5,000 HP、蓄勢輪効果 280 T M² (GD² にて) とした。

蓄勢輪は最初厚鋼板製の計画をしたが所要の大きさの鋼板がえられなかつたので鋳鋼製に変えた。左右2つ割りとして、外周部に近く重量をもたせたので、所要の蓄勢輪効果を出すための全体の重量は鋼板のばあいより減少することができた。

5. 可 撓 接 手

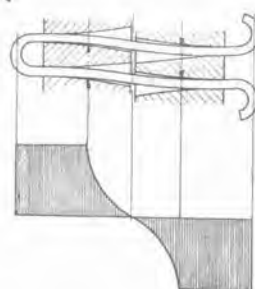
主電動機とロールとの間の接手は普通ロールの製造者にて製作するのであるが、今回はロールは既設品で電動機のための新製であるので、接手も当社で製作した。

この可撓接手はグリッドスプリング型（一名ビビ型）接手で（6 図参考）本体は溝を切つた円板形で、その溝の中に駆動側と受動側とに共通に渡したグリッド型スプリングが入れてあり、溝は軸方向に完全に平行ではなく



6 図 グリッドスプリング型可撓接手

Fig. 6. Grid spring
type flexible coupling.



7 図 グリッド型スプリング
内に生ずる弾性の分布図

Fig. 7. Diagram showing
the resiliency incorporated
in a grid type steel spring.

テーパがつけてあり、スプリングの曲げ応力によって回転力を伝えるようになっていて、溝のテーパ部分でスプリングが歪みうることによって可撓性があり、したがって衝撃が吸収できるようになっている。スプリングに生じる弾性分布状態は7 図のようになる。

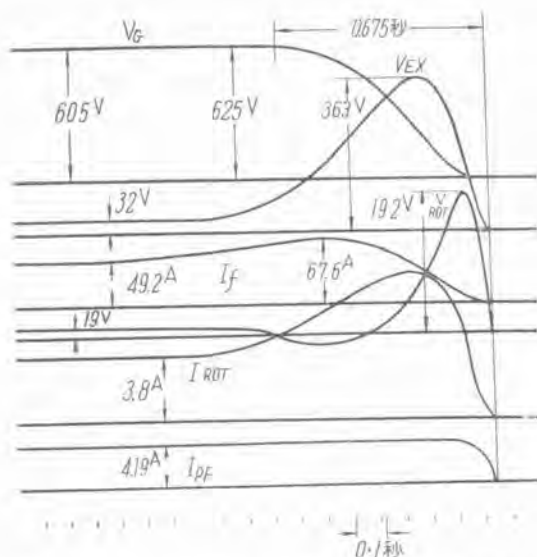
6. 速 応 励 磁 機

主電動機の加速、減速を速に行うための速応励磁機で主電動機用 60 kW 励磁機1台、主発電機用励磁機 30 kW 1台、同上用ロートトロール各々1台、電流制限用ロートトロール (CL ロートトロール) 2台からなっていて、それらの接続は 11 図のとおりである。

当社では今日まで製鉄用ロートトロールは多数製作してきたが、イルグナ式大型ミル電動機に使用したのは今回が最初である。しかし8 図のオシロ写真に示すように速応励磁の効果は充分現れている。この試験は工場におけるロートトロール、励磁機、主発電機の組合せ試験で、ロートトロールの規準界磁を一段で投入した場合で発電機は無負荷である。発電機の電圧が定格値に達する時間は 0.67 秒で今までの励磁方式にくらべてはるかに速くなっている。しかもロートトロールの制動作用が十分働いていて、Over shoot は僅少で実用上さしつかえない程度である。

ロートトロールの速応度はもちろん十分速くなければならないが、それと同時に励磁機も磁気飽和度の低い、頂上電圧の高いものでなければならない。発電機用 30 kW 励磁機は定格電圧は 220 V となつていて 400 V は十分出しうるような設計になつていて。

発電機の電圧上昇が速くなれば主電動機に流れる尖頭電流は高くなる。これは電動機の加速、減速時間を短縮



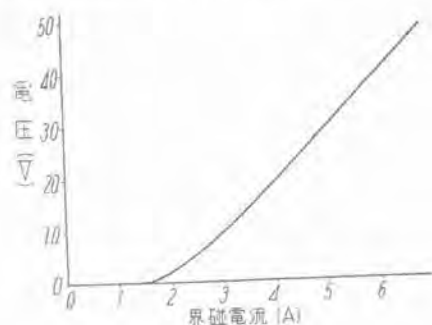
8 図 ロートトロールおよび強制励磁機による発電機電圧の上昇(無負荷)

Fig. 8. Test oscillogram of voltage build-up of DC generator by means of forced excitation and rototrol.

して作業能率は向上するが、一方電動機の尖頭電流が許容電流値を超過する危険性がある。この過電流を防止するために CL ロートトロールを使用する。CL ロートトロールの静的飽和特性は 9 図のとおりで、動作点を電動機の最大電流値にセットしておけば、これ以上の電流が流れると CL ロートトロールは急に電圧を出し、これがロートトロールの CLF 界磁を励磁しロートトロールの電圧を下げ、したがって発電機の電圧を下げて尖頭電流を低下させる。CL ロートトロールはロートトロールの界磁に作用するから、CL ロートトロールから発電機を見れば、CL ロートトロール、ロートトロール、励磁機、発電機と三段増幅系になっているから、CL ロートトロールの出力の微小の変化でも発電機に対しては非常に有効に働く。

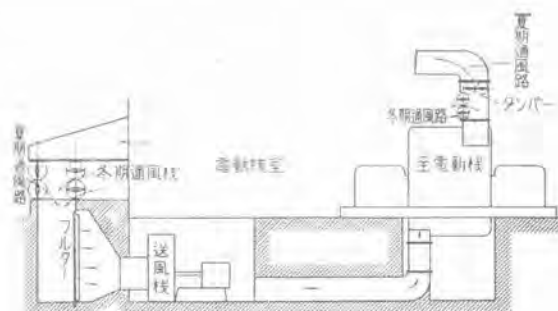
7. 通 風 方 式

主電動機 1 台、発電機 2 台、および誘導電動機 1 台はいずれも強制通風を行っていることは前述のとおりであ



9 図 CLR 無負荷飽和曲線

Fig. 9. No load saturation curve of current limiting rototrol.



10 図 通 風 方 式

Fig. 10. Ventilating system.

るが、吸気風洞および排気風洞にダンパを設けて通風路の切換を行うように設備した。すなわち吸気口ダンパによつて、外気を吸込む場合と、室内空気を吸込む場合の切換を行い、また排気口のダンパによつて排気を室内に排出する場合と、排気風洞を通つて室外に排出する場合と切換える。夏期は室温が高くなるから外気を吸つて室外に排出し、冬期は室内の空気を吸つて室内に排出し、空の暖房にする。10図はこの通風路切換の要領を示す。

8. 制 御 装 置

今回釜石製鉄所において大型圧延ミルに対して従来使用されていた誘導電動機をイルグナ方式に切換えられるに際し、(1) 圧延屯数の増加、(2) 製産品種の増加、(3) 能率の向上、(4) 既納の分塊用イルグナセットとの互換性等をとくに考慮の上制御方式としてはロートトロールによる制御方式を採用し、配電盤および制御器具に対しては互換性に重点を置き極力予備品の共通を計るよう設計した。

(1) ロートトロールによる制御方式と従来の制御方式との比較

(イ) 正確にして確実な強制励磁が得られる。

分塊あるいは大型ミル等の作業において慣性の大きな電動機ならびに圧延機を速かに加速および減速して能率を上げることが容易にでき、また加速および減速の際あるいは急激に負荷の増加の場合に電源におよぼす尖頭負荷を軽減できるのがイルグナ方式の特長とされているがこのためには是非発電機および電動機の界磁の強制励磁あるいは強制減磁が必要である。

この方法として従来は電圧あるいは電流による継電器によつて電磁接触器を作動させ、所定値以上の値に一時強制励磁あるいは減磁を行い、所定値に達するや否や強制動作を解くという方法が最も広く使用されていた。もちろん確実な作動を行うように継電器や電磁接触器には頑丈で十分の容量のものを使用して満足な運転を期していたが、ロートトロール励磁機を使用すれば、そのきわめて高い増幅率によつて自動的に強制励磁を行わしめることができ、中間に継電器等を介することが不要となり動作時間が正確で確実性も一層大となる優れた特長が得られる。

(ロ) 発電機電圧の確実な保持により、ことに長尺の圧延において能率の向上が得られる。

ロートロールの他の特長として尖頭負荷により滑り調整器が作動して電源の尖頭負荷を軽減する際に、電動発電機の速度が 20% 位まで低下するので直流発電機の電圧は比例して降下しそれだけ電動機（速度も低下するが、ロートロール制御の場合にはこの発電機の電圧降下を補償し自動的に電圧を一定に保持する作用を有しているので、この点電動機（速度低下がなく、したがって作業能率の向上が得られる。もちろんこの電圧降下を防ぐ方法としては従来電圧調整器を使用して補償する例もあるが、ロートロールによればこれらの調整器も不要となり簡単に電圧維持が得られる。

(ハ) 圧延電動機ならびに発電機に対する尖頭負荷電流の制限

従来の方式では尖頭負荷電流に対し過負荷継電器の作動により発電機や電動機を保護し、一度過負荷継電器が作動すれば主幹制御器を元に戻して再起動する必要があり、あるいは電流継電器により一時的に電動機の界磁を強めて回転力を増加する等によつて尖頭電流の軽減を計る方法が行われていたが、上記の速度制御用ロートロールにさらに電流制限用ロートロールを組合せて発電機や電動機の許し得る最大電流を制限しもしこれ以上の負荷電流が流れると直にこの電流制限値以下に負荷電流を保つように発電機電圧または電動機界磁を制御するので、連続的作業が続けられるとともに、加速や減速の際も従来のごとき激しい尖頭負荷を生ぜしめることなく平均した過負荷電流を維持してしかも加速や減速の時間を短縮することができて能率の向上となるとともに一方、回転機の整流子に対しても無理が少く弊害を害することがない。

(ニ) 制御器具等消耗費耗する部品が少くかつ保守が簡単になる。

上記の特長あるロートロール励磁機を使用することにより、従来の方式に比し継電器や電磁接触器の数が非常に少なくてすむ結果、消耗費耗により部品の取換えが減少し、また継電器等の調整部分の個所が少くしたがって保守が簡単になり、予備品の数も減少できる結果となる。

ただロートロール励磁機セットは従来の継電器等の部品に比して価格の点においては高価となるが、イルグナセットとしての全体の価格に比べると非常に僅少であつて問題とするに足りない。

(2) 制御回路

全体の簡略結線図は 11 図のごとくである。

(イ) 交流側

高圧電源 3,300 V より 3 台のトラツク型高圧配電盤を通して主電動発電機用誘導電動機、主励磁機用誘導電動機、変圧器一次に供給される。

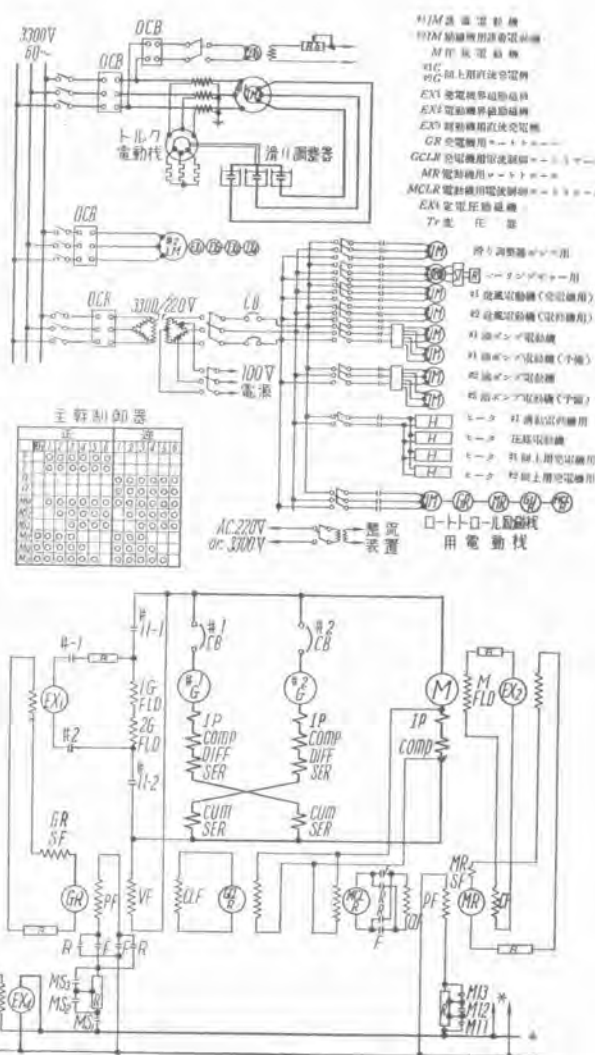
主誘導電動機の二次は滑り調整器に接続され、これを作動させるトルク電動機は一次側より変流器を通して電

源が供給せられ一次電流の変化に応じて滑り調整器の電極を上下せしめて誘導電動機の二次抵抗を加減し、主電動発電機軸に直結された蓄勢輪の保有する勢力の一部を利用し電源におよぼす尖頭負荷を軽減する役目をなす。

主電動発電機はその軸に大なる蓄勢輪を付し運転中はその大なる蓄勢輪効果を利用しているが停止の際はこのために電動機の油入遮断器を開くのみでは容易に停止せず停止までには相当の時間を要する。これをできるだけ速かに停止させるために停止の際には誘導電動機の固定子を直流で励磁しいわゆる直流制動をかけて、回転体の保有する勢力を滑り調整器内に熱として消費させ速かに停止する方法を採用し、このために直流制動用励磁機 (E_X) を専用に設けた。これは低電圧で比較的電流容量の大なる励磁機を必要とするためである。

滑り調整器は起動の際あるいは制動の際には抵抗最大の位置にあるように連動装置を設けてある。

主励磁機セットはつぎの 4 台の励磁機よりなりカゴ形深溝形直入誘導電動機により駆動される。



11 図 全体簡略接線図
Fig 11. Schematic diagram for ilgner set.

発電機界磁用励磁機 (EX_1)

電動機界磁用励磁機 (EX_2)

誘導電動機制動用励磁機 (EX_3)

定電圧 (制御回路) 用励磁機 (EX_4)

定電圧励磁機はあらかじめ界磁調整器により規定電圧 220 V に調整される。

イルグナセット用低圧交流電源は変圧器 75 kVA 3 台よりなり下記機器に電源を供給する。

滑り調整器ポンプ用電動機

ベアリングギヤ回転用電動機

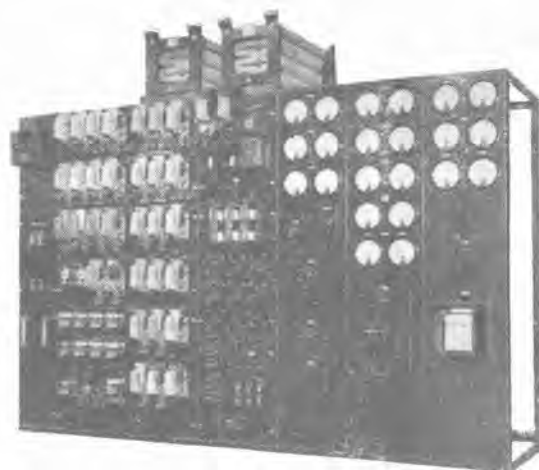
送風用電動機

油ポンプ用電動機

ヒータ用

ロートコントロール励磁機用電動機

蓄電池充電装置用



12 図 制 御 盤

Fig. 12. Control panel.

これらのうち圧延電動機運転に先立ち制御盤上の制御開閉器により、滑り調整器ポンプ、ベアリングギヤ、送風機、油ポンプ、ロートコントロール励磁機用各電動機を起動する。ベアリングギヤ電動機は巻線型他はカゴ形誘導電動機でいずれも鉄板製箱型起動器を有し電磁接触器により制御盤から遠方操作し、起動と同時に信号灯により表示がなされる。

(ロ) 直 流 側

接続図のとおり直流発電機 2 台は並列とし 1 台のミル電動機に接続される。

各発電機回路に単極気中遮断器を設けこれを同一枠組の自立型とし発電機より電動機に至る配線上もつとも便利な位置に設置されている。

直流発電機の界磁は直列に接続されて専用の励磁機 (EX_1) で励磁され、その励磁機の界磁はロートコントロール (GR) によつて励磁を行つている。このロートコントロールはその電機子回路につながる回路の抵抗を飽和曲線の立上りに合致させて同調を取つていたので、自励界磁の作用と相まつて僅かな分巻界磁電流の変化に対しても高い電圧を発生する。したがつて電圧を上昇させる場合に強制励磁をなし電圧を急速に上昇させる。励磁機の飽和曲線は高くし、また回路全体の R、L の時定数は極力少なくしている。発電機の電圧は標準界磁 (PF) によつて制御され、これと差動に働く電圧界磁 (VF) が等しくなるような電圧に負荷には無関係にロートコントロールは制御を自動的に行う。加速電流が調整値より増加した時には電動機の補極および補償界磁の電圧降下によつて励磁される標準界磁を有する電流制限ロートコントロール (GCLR) が電圧を発生し、発電機電圧を減じて電流を減ずる。これによつて発電機および電動機の整流を害さないようにするとともに、加速電流を一様にし機械に対する衝撃を防止している。なおこの発電機側のロートコントロールの自励界磁は励磁機回路につなぎ回路全体の時定数を小さくすればさらに運転の安定度を増加することができ

る。

電動機は界磁制御によつて速度を制御されるが発電機同様に専用の励磁機 (EX_2)、ロートコントロール (MR)、および電流制限ロートコントロール (MCLR) が設けられている。電動機側のロートコントロールは電流調整器として作用する。すなわち励磁機の電流は、ロートコントロールの標準界磁 (PF) によつて制御され、これと差動的に働く界磁 (CF) が等しくなるような電流に保たれる。電流制限ロートコントロールは発電機の場合と同様に作動し電動機の場合は弱め界磁制御中負荷電流の増加した場合に界磁電流をその瞬間増して電動機の逆起電圧を増加せしめ電流を減ずる。

これらのロートコントロールによる発電機の電圧上昇をオシログラムに取つたものが 8 図に示してある。これによりロートコントロールによる強制励磁作用の極めて強力な作用を行いつつ一方ほとんどハンディングを行わず円滑な電圧上昇を行つていることが判る。

当社においては前述の釜石製鉄所納入のもののほか日亜製鋼所向として 3,500 HP イルグナ装置を納入し引き続き八幡製鉄所既納の分塊ならびに大型圧延用イルグナ装置をロートコントロール制御による新方式に改造中であり、今後ますますこの方式が採用される傾向にある。

参 考 文 献

1. Couplings for Rolling Mill Drives. by Walter P. Schmitter
Iron and Steel Engineer Aug. 1950 p.71
2. ロートコントロールの性能と応用
竹内・片岡 三菱電機 24巻2号 p.29
3. 分塊圧延直流電動機に対するロートコントロールの応用
紙谷鉄男 26回連合大会 (27年5月)
4. 電流制限ロートコントロールの応用
高月一 25年10月 関西工学連合会講演

デ ラ ッ ク ス 螢 光 ラ ン プ

大 船 工 場

河合 登・井手平三郎

De Luxe Fluorescent Lamps

By Noboru KAWAI, Heizaburo IDE

Ofuna Plant

Fluorescent lamps, a favorite of illumination field, are often blamed of their unpleasant colour effect on human complexion as well as on commodities. This is due to the lack of proper red colour in the spectrum of the light. After painstaking effort, the writers have been successful in finding new fluorescent substance giving off this desirable colour in the function of the light. Thus new De Luxe fluorescent lamps have been put in regular production recently, the detailed information of which is given in this paper.

1. ま え が き

蛍光ランプの普及は近來著しいものがある。それにつれてビル、デパート等蛍光灯照明を行つてゐる場所に出会う機会が多くなつた。新しい光源としての取扱ひ方から照明本来の用途に活用されるようになるとともに最近では蛍光灯照明による色の見え方—演色性—が論議されるようになった。

蛍光ランプの光は自然光に光色が似ていて快適ではあるが、一般に人の顔色が青黄色つぼく病人のように見え、新鮮な刺身、肉等の食べ物もまずそうに見え、婦人の口紅の色が濁つて見え、衣類等の赤系統の色が濁つて見え、何となく感じが悪いという声を盛に耳にするようになった。昼光色あるいは冷白色蛍光ランプは一般的にいつて演色性も従来の白熱電球に比べると優秀な進歩をなしたものであるが、まだ演色性が不十分である。これは今までの蛍光ランプは管内壁に塗布してある蛍光物質膜の中に深赤色の螢光を發する螢光物質が含まれていないためである。したがつて螢光ランプから放射される光線中に赤色の光線が自然光に比べ非常に少なくなつていて、蛍光ランプで赤系統の物体を照らしても反射光に赤色光が少く暗く濁つて見えることになる。この問題を解決するために各国の螢光物質研究者は長年深赤色の螢光を發する螢光物質の發見に努力してきた。螢光ランプの發祥地米国でも以前から叫ばれてゐた問題であつたが、

*工場長 **技術課

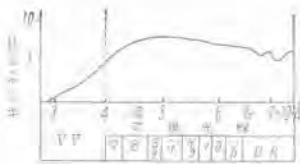
1948年に一応解決している。当社においても以前からこの点に着目し鋭意研究中であつたが、筆者は最近米国品よりも優秀な特性を有する深赤色の螢光を發する螢光物質の工業化に成功し、この新しい深赤色の螢光を發する螢光物質を用い演色性の良好な、より自然に見えるデラックス螢光ランプを完成し三菱デラックス (De Luxe) 冷白色、温白色の 40 W 20 W ランプを發売したので、それらの特性につき報告する。

2. 自 然 光

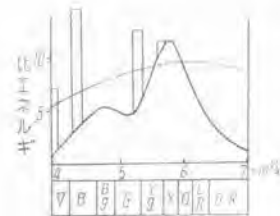
われわれが物体の色を認識するにはその物体を照らす光源が問題であつて、後述する日本色彩研究所の色票は色温度 6,500°K の標準光源 C で照らしたときを標準としている。一般にはわれわれは自然光に照らされたときの色をその物の色と考えている。自然光は朝夕・日中・晴曇等で幾分異なるが、われわれの眼が感じる光線いわゆる紫から赤まで (波長では 4,000 Å から 7,000 Å) の可視光線を 1 図のように大体均等の強さに含んでいる。

3. 従来の標準冷白色螢光ランプ

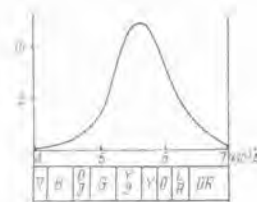
冷白色螢光ランプ (色温度約 4,500°K) は 2 図のスペクトル分布曲線が示すように 4,500°K 黒体輻射のスペクトル分布曲線に比べ波長 6,200 Å から 7,000 Å にわたる明赤および深赤部のスペクトル強度が落ちてゐるので、前に述べたように演色性が悪くなつてゐる。し



1 図 太陽から地球に達する紫外および可視光線のスペクトル分布曲線
Fig. 1. Spectrum distribution curve of ultra-violet ray and visible rays reaching the Earth from the sun.



2 図 冷白色蛍光ランプおよび 4500°K 黒体放射のスペクトル分布曲線
Fig. 2. Spectrum Distribution curves of cool white fluorescent lamps and radiation of 4,500°K Black Body.



3 図 比視感度曲線

かし冷白色蛍光ランプのスペクトル分布曲線がわれわれの目のスペクトル比視感度曲線（3図）によく似ているので、光度は非常に大きくランプ効率は約 55 lm/W（ルーメン/ワット）にまで達していて白熱電球の約 4 倍以上に達している。

4. 冷白色蛍光ランプ

ア. 新しい深赤色蛍光物質

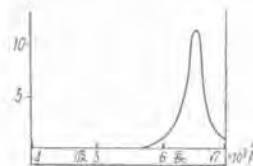
デラックス冷白色蛍光ランプは深赤色の蛍光を発する新蛍光物質が使用してある。この蛍光物質のスペクトル分布曲線は当社研究試作の記録式分光放射計⁽¹⁾で測定すると 4 図のようになる。スペクトル帯は 6,000 Å から 7,200 Å にわたり深赤色部の約 6,550 Å に波長ピークを有している。光度は 20 W ランプで 330 lm を示し、Thayer の方法⁽²⁾で計算するとこの新蛍光物質の量子能率は約 90 % に達しており、この値は GE の Froelich⁽³⁾が発見した深赤色の蛍光を発するリン酸カルシウム・セリウムマンガン蛍光物質の赤色光の量子能率 62 % に比べ遙かに優秀な特性を示している。つぎにスペクトル分布曲線から求めた新しい深赤色蛍光物質リン酸マグネシウムの I.C.I 色度図上の色度点は $x=0.66$ $y=0.32$ で、この物質を塗布した当社ピンク蛍光ランプの色度点は $x=0.53$ $y=0.30$ で、他の各社で製造しているピンク蛍光ランプの色度点は $x=0.53$ $y=0.35$ で色調はピンクというより橙色になっている。なお後述してある米国およびわが国の他社のデラックスに使用してある赤成分蛍光物質珪酸カルシウムを塗布したランプの色度点はデラックス蛍光ランプ・河合・井手

$x=0.51$ $y=0.38$ である。5 図に各物質の色度点が図示してある。

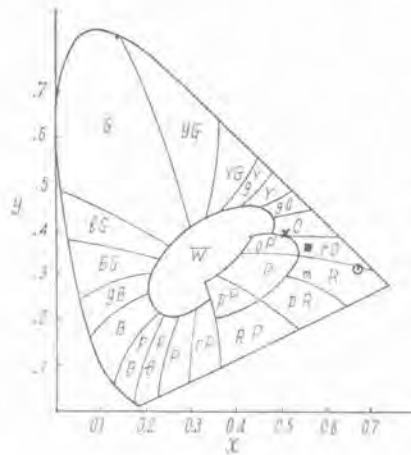
さらに重要であるのはこの新蛍光物質を用いた蛍光ランプの光度低下率の少いことである。GE の Froelich はリン酸カルシウム深赤色蛍光物質の光度低下率が大であることを発表していて、GE では最近この物質の使用を中止し、橙色の蛍光を発する珪酸カルシウム・マンガン蛍光物質をデラックス型蛍光ランプに使用するようになった。当社の深赤色新蛍光物質を塗布したランプの光度低下率（6 図）は小で一般に冷白色等に用いられているハロリン酸カルシウム蛍光物質の光度低下率とほとんど変わらない。なおこの新蛍光物質は昭和 26 年に日本特許になっている。

イ. スペクトル分布曲線

デラックス冷白色蛍光ランプのスペクトル分布曲線は 7 図、8 図に見られるように今までの冷白色蛍光ランプ（2 図）に比べて 6,000 Å から 7,000 Å にわたる深赤光を多く含んでおり、また青紫色の部分には水銀の輝線色スペクトルがあるので全体としてはほとんど 4,500°K

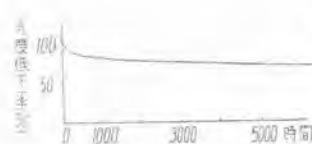


4 図 深赤色新蛍光物質の蛍光スペクトル
Fig. 4. Fluorescent spectrum of new deep red phosphor.



5 図 新蛍光物質の色度点

| 新蛍光物質 | x | y |
|-------|------|------|
| ● | 0.66 | 0.32 |
| ● | 0.53 | 0.30 |
| □ | 0.53 | 0.35 |
| × | 0.51 | 0.38 |



6 図 三菱紅色ランプの光度低下曲線
Fig. 6. Luminous intensity lowriring curve of mitsudishi red lamps.

黒体のスペクトル分布曲線に近くなっている。最近入手した米国某社およびわが国の他社デラックス型冷白色蛍光ランプのスペクトル分布も併示してあるが、深赤色蛍光物質が含まれていないから、演色性は当社のデラックス冷白色に比し後記してあるように若干劣っている。

ウ. 演 色 性

(1) 色 票 の 観 察

おのおのの光源のスペクトル分布曲線と種々の色票の反射率曲線から計算で各色票の色度点を求め、その移動変化で演色性を比較することもできるが、本報告では日本色彩研究所製標準色票を用い各種蛍光ランプで照したときと標準光源で照したときとの色票の変化を比較検討した。実験方法はゼラチン色フィルタと 2 848 °K の A 標準光源とを組合せ約 4,500 °K でスペクトル分布曲線が 9 図になる光を一方の光源とし標準色票を照しコンパレータの一方の光路に入れ、他方の光源として比較する 20 W 蛍光ランプを 350 mA 一定にて点灯し標準色票を照し他方の光路に入れ色調を比較し標準光源側の標準色票を種々選び蛍光ランプで照したときの色票とほとんど同色になる色票をその蛍光ランプで照らされたときの色とした。両者の標準色票面の照度は、照度計を用い一定とした。従来の冷白色蛍光ランプおよび三菱デラックス冷白色蛍光ランプにつき行つた結果を 1 表に示した。

色票の名称は光源として C 光源 (色温度 6,500 °K) を用いているので 4,500 °K の光源で照したときは若干色調が異なることになるが眼の色順応によりそれほど問題にはならぬからそのまま色票名を用いた。

1 表の結果から、デラックス冷白色蛍光ランプは一般に演色性が優秀で、ことに従来の冷白色の欠点であつた赤橙系の色は色相のずれもなくほとんどの色を再現している。橙黄から青紫にかけても従来の冷白色程の色相のずれもなく良好である。従来の冷白色はスペクトル分布

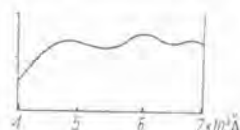
図から見ても判るようにわれわれの眼の比視感度の大である黄色にスペクトルのピークを有するため、色相のずれが甚だしくまた 6,200 Å から 7,000 Å にわたる赤色光が不足しているため赤系が鈍く見える。かくてデラックス冷白色蛍光ランプの光では衣服類とともに赤系の配色のあるものも鮮明に自然に見えるから、デパート、服飾店に適し今までのように蛍光ランプをつけた店で買つて派手すぎるといつて返品になることもなくなるであらう。コーヒーがまろそうに見えることもなくなり、人の顔色も自然に見え、婦人の口紅も鮮明に見えるから人の集るレストラン、喫茶店等にも適している。

実際には種々の色の配合されたものを見ることになり、色彩対比の問題とともにわれわれの視覚に色順応の性質があるので、個々の色票を比べた場合と幾分異ってくるが、デラックス冷白色は従来の冷白色比に一般に演色性良好なことが 1 表にはつきり出ている。

1 表 色 票 , 比 較 結 果

Table. 1. Clur effect comared.

| 色 票 名 | 三菱デラックス冷白色 | 従来の冷白色 |
|-------|------------|----------|
| 青 | うす青(よい) | うす青(よい) |
| 青緑 | うす青緑(よい) | うす青緑(よい) |
| 緑 | うす緑(よい) | うす緑(よい) |
| 黄緑 | うす黄緑(よい) | うす黄緑(よい) |
| 黄 | うす黄(よい) | うす黄(よい) |
| 橙黄 | うす橙黄(よい) | うす橙黄(よい) |
| 橙 | うす橙(よい) | うす橙(よい) |
| 赤橙 | うす赤橙(よい) | うす赤橙(よい) |
| 赤 | うす赤(よい) | うす赤(よい) |
| 深赤 | うす深赤(よい) | うす深赤(よい) |



9 図
色票比較に用いた標準光源のスペクトル分布

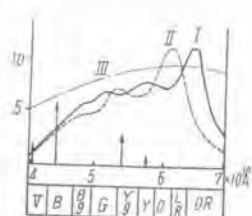
Fig. 9. Spectrum distribution of the light source for the comparison of clonr.

(2) 光束分割法による演色性の評価

前項に述べたように眼には色順応の性質があるので光源が変化して物の色度が大きく変化しても視感上はそれほど変わらないが、多くの色の間の対比が変ることに眼は鋭敏に感ずるので光源の演色性も分光エネルギー分布曲線を幾つかの波長帯に分け各波長帯のエネルギー比から判断することができる。

波長帯はそれぞれつぎのように 7 波長帯にわけらる。

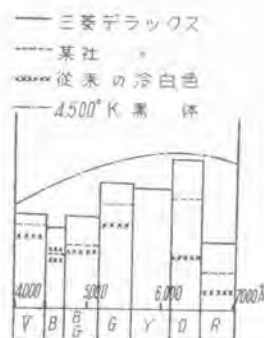
- No.1 4,000 ~ 4,400 Å 青紫
- No.2 4,400 ~ 4,600 Å 青(B)
- No.3 4,600 ~ 5,100 Å 青緑(BG)
- No.4 5,100 ~ 5,600 Å 緑(G)
- No.5 5,600 ~ 6,100 Å 黄(Y)
- No.6 6,100 ~ 6,600 Å 明赤 } (R)
- No.7 6,600 ~ 7,000 Å 深赤 }



7 図

三菱デラックス冷白色 I
某社 II
4,500 °K 黒体輻射 III

Fig. 7. Spectrum distribution curves.



8 図

分割エネルギー分布

Fig. 8. Divided energy distribution.

このうち No.1 は重要ではあるが蛍光ランプでは大部分水銀線スペクトルであるので除き黄を標準としておのおの色との比をとつた。これが2表の分割光束値である。

つぎに R/Y, G/Y, BG/Y, B/Y の値を各種光源にとりこの値を等エネルギー光を 100 としてあらわした値を色彩対比係数 (Colour contrast factor) とよぶ。

以上の方法により、等エネルギー光、4,500°K 黒体、デラックス冷白色、従来の冷白色、米国およびわが国某社型デラックス冷白色等につき計算すると2表、3表となる。これらの表から見ても従来の冷白色は演色性悪く、三菱デラックス冷白色が最も演色性優秀で、米国およびわが国某社型の深赤色物質を使用しておらぬデラックス冷白色は若干劣り評価点が低くなっている。

2表 各種蛍光ランプと標準光源の7分割光束値

Table. 2. Seven dividid light flu values of various fluorescent lamps and standrad light source.

| 波長帯 No. | 等エネルギー光 等 E _a | 4,500°K 黒体 45B | 三菱デラックス冷白色 DL-M | 某社型デラックス冷白色 DL-S | 従来の冷白色 St-CW |
|------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 0.33 | 0.26 | 0.36 | 0.34 | 0.32 |
| 2 B | 0.92 | 0.71 | 0.54 | 0.44 | 0.53 |
| 3 BG | 11.9 | 10.5 | 9.24 | 7.8 | 7.1 |
| 4 G | 42.3 | 41.7 | 41.2 | 41.4 | 41.1 |
| 5 Y | 34.7 | 36.4 | 34.7 | 39.5 | 45.1 |
| 6 LR | 9.3 | 9.8 | 10.8 | 10.4 | 5.93 |
| 7 DR | 0.57 | 0.59 | 0.35 | 0.16 | 0.086 |

3表 各種蛍光ランプと標準光源の色彩対比係数と評価点数

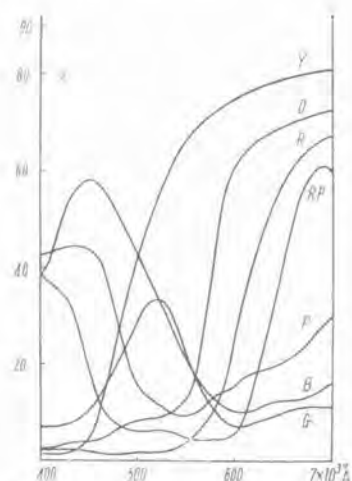
Table. 3. Coefficients of comparison of colour between various fluorcscent lamps and standard light source with marking.

| | 等 E _a 光 | 45 B | DL-M | DL-S | St-CW |
|------|--------------------|------|------|------|-------|
| R/Y | 100 | 101 | 111 | 93 | 47 |
| G/Y | 100 | 94 | 104 | 86 | 74.5 |
| BG/Y | 100 | 84 | 78 | 58 | 46 |
| B/Y | 100 | 73 | 60 | 40 | 44.5 |
| 評価点 | | 100 | 90 | 81 | 65 |

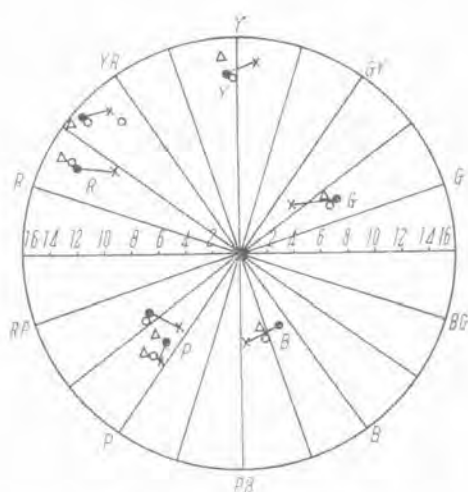
(3) 各種色票に対する色度計算による演色性の比較

10図に示した反射率をもつた7種の色票について各種光源のスペクトル分布より計算して各色票の三系数 x, y および明度 Y を求め、これを等感覚差の座票系に直すために Munsell renotation⁽⁵⁾ に換算すると11図および12図のようになる。マンセル V の変化は 4,500°K 黒体による値との差を示した。これらによると標準冷白色は 4,500°K 黒体に比し色相彩度および明度共に変化が大で演色性が最も悪く、よく注意して見ると深赤色蛍光物質を赤色成分とした当社 DL-冷白色は赤橙色物質を赤色成分とした米国 DL-冷白色より色相彩度および明度ともに変化が少く、したがって演色性がよいことが

わかる。これは前項の Harrison の評価点と傾向が一致している。

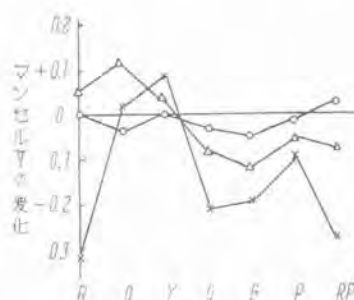


10 図 色票の反射率



11 図 色票の色相彩度の変化

- 4,500°k 黒体
- 三菱 DL-冷白色
- △ 米国 DL-冷白色
- × 標準冷白色



12 図 色票の明度変化

- 三菱 DL-冷白色
- △ 米国 DL-冷白色
- × 標準冷白色

エ. 光 度

デラックス冷白色の光度はスペクトル分布より判るやうにわれわれの眼に感じ方の弱いすなわち比視感度の小さい深赤色部にスペクトルが広がっているので、当然若干低くなり、米国ではデラックス冷白色に2つの型がある、すなわち赤橙色位にピークを有するものと深赤色にピークを有するものの2つの型で光度は前者は従来の冷白色の約80% 後者は約60% となっている。当社のデラックスは前述のように深赤色を含む型であるが光度は米国の深赤色を含む型よりも優秀で従来の冷白色の約75%以上まで達している。わが国での他社のデラックスは前述の如く深赤色を含む型で光度は約80% になっている。この点からも当社のデラックスは光度も大して違はず演色性がさらに優秀な特性を有しているのである。なお光度低下も前記のように新蛍光物質の劣化が少いので従来の冷白色ランプとほとんど変わらない。

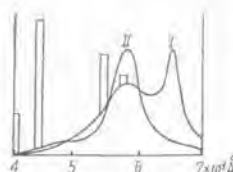
5. デラックス温白色蛍光ランプ

デラックス冷白色は冷い環境を与える白色で演色性を改良したものであるが、われわれは今までの長い習慣から暖い環境を望む場合がある。この目的にできたのがデラックス温白色で白熱電球に近い環境を与え、効率が電球の4倍近くになっている。温白色の色温度は約3,000°Kで白熱電球に近い。従来の温白色は12図に見るやうに冷白色と同様に赤色光が少なく、したがって黄橙色が冷白色よりさらに強調されることになる。デラックス温白色は13図のように深赤色を多く含んでいるので、白熱電球に近い演色性を示している。

温白色についても Harrison の評価を試みると4表のようになり、当社 DL-温白色が最も評価点が高く演色性が良い。

4表 温白色の演色性の評価

| | A光線 | 標準温白色 | 三菱DL-温白 | 英国 Mellow |
|------|------|-------|---------|-----------|
| R/Y | 128 | 74.5 | 118 | 118 |
| G/Y | 73 | 47 | 73 | 45 |
| BG/Y | 45.5 | 12.5 | 39 | 11 |
| B/Y | 32 | 11 | 18 | 8 |
| 評価点 | 100* | 67 | 92 | 79 |



13図 三菱デラックス温白色 (I) のスペクトル分布および温白色 (II) のスペクトル分布

Fig. 13. Spectrum distribution of mitsubishi De Luxe warm white lamps.

6. む す び

最後に各種蛍光ランプの利用場所に一言触れむすびとする。

5表 各種ランプの使用法

Table. 5. Use of various light.

| | 特 性 | 使 用 場 所 |
|-----------------|---------------------|--|
| デラックス 1. 冷白色 | 最良の演色性を有し冷い感じの環境を作る | デパート、衣服装飾品店、花屋、喫茶店、料理屋、社交場、病院、画廊、多色印刷工場、捺染工場 |
| デラックス 2. 温白色 | 良好な演色性を有し暖い環境を作る | 家庭、社交場、肉野菜食料品店、果物店、料理屋 |
| 3. 従来の冷白色 | 高効率を有し冷い感じの環境を作る | ビル、工場等一般照明 |
| 4. 従来の温白色 | 高効率を有し暖い感じの環境を作る | 一般照明 |

以上のとおり蛍光物質の研究の進歩により多年の懸案であつた蛍光ランプの演色性の改善が完成し、ほとんど理想に近い光源が出現した。かくて蛍光ランプの出現は光源界に一大発展を与え将来ますます蛍光ランプの応用を拡大することであろう。

- (1) 八島・弘田 三菱電機 Vol.25 No2 (1951) 40~42
- (2) Thayer Trans Electrochem. Soc 87 (1945) 303
- (3) Freulich : J.F Electrochem. Soc Vol.98 (1951) 400
- (4) Harrison : Light of Lighting 44-4 (1951) 148-152
- (5) Nesloee : I. O.S.A. 33 (1943) 385

扇 風 機 の 静 電 塗 装 法

中 津 川 工 場

磯 村 久 通・川 上 千 秋

Electro Static Spraying Process for Electric Fans

By Hisamichi ISOMURA, Chiaki KAWAKAMI

Nakatsugawa Works

Appearance largely decides the value of merchandise and the finish with paint is the matter not to be overlooked. The old spraying process, however, has very poor efficiency, wasting most of the painting material. New electro static spraying process has been tried and proved very satisfactory. The principle is like the electric precipitation. The paint is sprayed into the electro static field so that the particles get electric charges and attracted to the body to be painted which is kept in the opposite polarity. For satisfactory operation of this process, stable high potential, stable corona discharge, uniform distribution of electric field and safety devices are important requisite.

1. ま え が き

扇風機のような家庭用電機器は、フィニシングの良否が製品価値を左右する大きな要素である。したがって塗装に対する要求が高い。扇風機のガードのような部品を塗装する場合、従来のスプレーガンによる噴霧塗装法では原料の歩留りが10~20%程度できわめて悪く、これの対策は、かねてからの懸案であつた。たまたま文献により静電場を応用した「静電場式塗装法」(Electro-Static Spraying process)を知り、昭和26年3月、設備一基を作つたが、以来作業能率向上に効果を収めつゝある。

設置後、種々の問題が発生し、それに対する実験研究もいまだに充分ではなく、残されている問題も多いけれども、以下これについて概略を述べる。

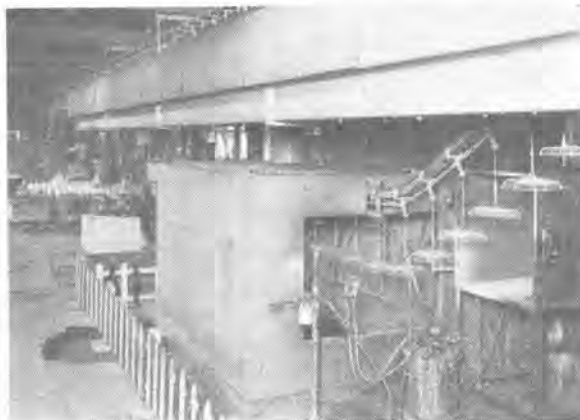
2. 静電塗装の原理

原理は電気収塵法と全く同様である。塗料の微粒子を静電場内に噴射して電荷を与え、被塗装物の電位を、微粒子と逆の極性に保持しておけば、塗料の粒子は、クーロン力と粒子相互の反撥作用によつて被塗装物に吸着せられ、高能率の塗装が行われる。静電場を利用した塗装法には、つぎの2種類がある。

ア. 浸 漬 法

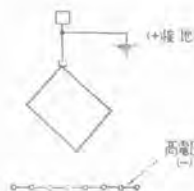
扇風機の塗装には、この方法は使用されていないが、この方法はディッピングを行つた後のディ・デアリングを行う場合に静電場を利用するもので、1図のような装置を使用する。

高電圧グリッドは細線の電極で直流高電圧の \ominus の極性に、被塗装物はコンベヤとともに \oplus の極性に接続され \oplus



1 図 浸漬式静電塗装装置

Fig. 1. Arrangement of dipping process of electro-static spraying.



2 図 浸漬法原理

Fig. 2. Schematic diagram of dipping process.

は接地となる。被塗装物とグリッドの間には DC 80~100 kV 程度の電位差が与えられる。(2 図)

被塗装物がディッピングされて余分の塗料を含んだままグリッドの上を通過するとき、被塗装物とグリッドの間に、電位傾度の 2 乗に比例する電気力が働き過剰塗料はこの電気力と、重力とによつて尖端から細滴となつて、グリッドへ吸着せられ部品表面の塗膜は均一なものを得られる。

この方法は、ディ・デアリングを自動的に促進するものであつて、それに関する作業時間は節約になるが、塗料の歩留り向上は得られない。

イ. 噴霧法

扇風機のガードのように、金網状の部品を塗装する場合のように、塗料の歩留りを向上することが強く要求されるものには、この静電場を利用した噴霧法は大きな効果を持つものである。

3 図に示すように部品を放電々極の中間に吊下げ両者間に、直流高電圧を印加し部品を⊕に接地し、放電々極は⊖に保ち、電極の細線表面の電位傾度を高めて、コロナ放電を行わしめる。すると、放電々極と部品との間の空間は、電極から部品に向つて飛行する電子群によつて満たされる。この空間に向つて側面より、スプレイガンにより塗料を噴射させると、塗料の微粒子は、電荷を得てイオンとなり、相互の反撥作用と電気力によつて部品に吸着せられる。

3. 部品の種類

静電塗装法にて塗装されている部品の大要は、つぎのようなものである。

(1) ガード (4 図)

(2) 小部品

把手類、ネックピース、ガード取付金具等

4. 設備、装置

ア. 設備、装置の大要

当工場における設備の大要を 5 図に示す。

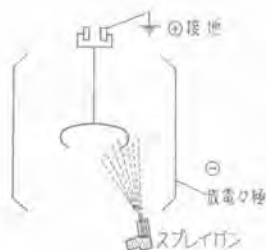
イ. 電源

電源装置の大要を 6 図に示す。

負荷電圧は最高 DC 100 kV 程度まで調節せられ、ケノトロン管を使用した半波整流回路で、X 線発生装置とほぼ似ており、⊕側が接地される。高圧側装置は、設置工事に絶縁維持のため特別の注意が必要である。

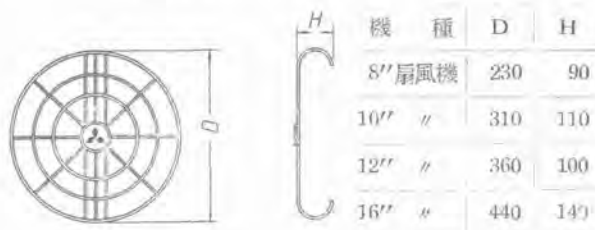
ウ. 電極

放電々極は上塗り、下塗りとも 7 図のような形状のものを使用している。



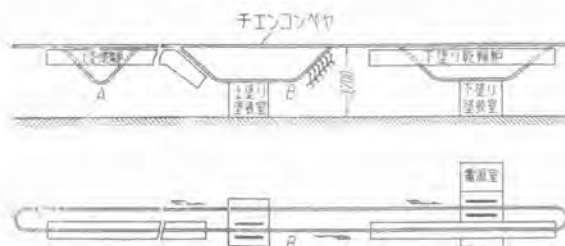
3 図 噴霧法原理

Fig. 3. Schematic diagram of spraying process.



4 図 扇風機ガード

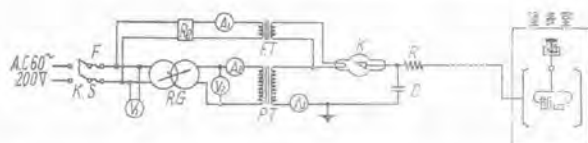
Fig. 4. Fan guard.



チェンコンベヤは床面から 3,700mm の高さを走行し上塗り、下塗り用のランプ乾燥炉はそれにしたがつて装置されている A 点においてコンベヤに懸吊された部品は下塗り塗装室で塗装されランプ乾燥炉を通過し B 点において検査および磨きせられ、上塗り塗装室で塗装され、ランプ乾燥炉を通過し、ふたたび A 点に至つてコンベヤから取外される

5 図 静電塗装々置の大要

Fig. 5. Outline of electro-static spraying.



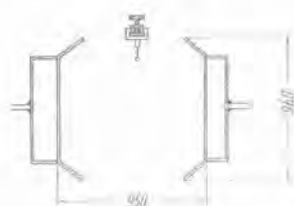
| 記 号 | 名 称 | 記 号 | 名 称 |
|----------------|---------|-----|-----------|
| K.S | ナイススイッチ | R.G | 誘導電圧調整器 |
| F | ヒューズ | P.T | プレート変圧器 |
| V ₁ | 交流電圧計 | F.T | フィラメント変圧器 |
| V ₂ | " " | R | スライダックス |
| A ₁ | 交流電流計 | C | コンデンサ |
| A ₂ | " " | K | ケノトロン管 |
| A ₃ | 直流電流計 | R | 短絡電流劣流線輪 |

6 図 電 源 装 置

Fig. 6. Schematic diagram of electric equipment.

黄銅角材で枠を組み、グリッドはコロナ放電が発生し易いように細線を使用している。

塗料の微粒子は電界の電気力線に沿つて飛行する。故に電界強度が強い場合、すなわち、電気力線密度が高い



7 図 電 極

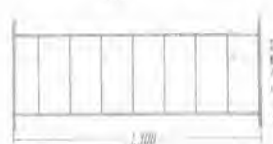
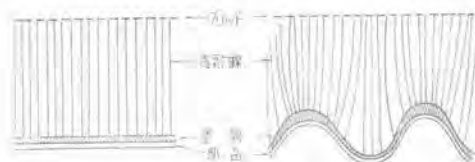
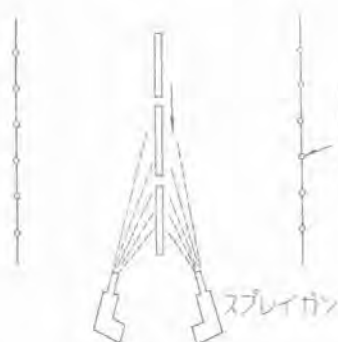


Fig. 7. Electrode.



8 図 電 界 分 布 状 況

Fig. 8. Distribution of electric field.



9 図
Fig. 9.

場所程、より多くの粒子が吸着される。したがって部品の隅部とか、突起部分には余分に塗料が吸着せられ、凹部には、薄くなる傾向がある。この傾向は、塗装面に対しては好ましくないことであつて、スプレイの方向・スプレイの圧力・グリッドの形状・スプレイガンの数等を考え、また部品に回転を与えるなど、電界分布の不均一性を修正してやることが必要であり、グリッドの設計上および塗装作業上、考慮を要する点である。

電界分布の状況を8図に示す。

ここで、吸着能率について考えて見る。9図のように平板をコンベヤに吊して、細線グリッドの間を通しコンベヤの方向と、反対方向に塗料をスプレイする場合

$$T = \frac{2.3 \log(1 - \varepsilon)}{2 v_1 (E)} \times f \times D$$

T = 収塵作用を受けている時間 (秒)

(E) = 電界強度 (esu/cm)

ε = 吸着能率

f = 常数

D = 電極間の距離 (cm)

v_1 = 粒子の速度

上式から吸着能率 ε を求められる。なお

扇風機の静電塗装法・磯村・川上

$$v_1 = \frac{K}{\eta t} \quad K = \frac{e_0 (C_1 + 2.3 C \log r)}{6 \pi} \times 10^6$$

r_1 は半径 r の微粒子が粘度 ηt ($t^\circ \text{C}$ における) のガス中であつて、1 esu/cm の単位電界の F における運行速度で、 K は微粒子の大きさのみに関係する数値で、

$$e_0 = 4.77 \times 10^{-6} \text{ esu}$$

$$C_1 = 7.296$$

$$C_2 = 0.386$$

塗料の微粒子の半径 r が

$$r = 1 \times 10^{-3} \text{ cm の時 } K = 1.171$$

$$r = 1 \times 10^{-4} \text{ cm の時 } K = 0.946$$

ガスの粒度 ηt は空気の場合

$$\eta t = \eta_0 (1 + \alpha t)$$

$$\eta_0 = 1.71 \times 10^{-4}$$

$$\alpha = 0.00273$$

20 $^\circ \text{C}$ において

$$\eta_{20} = 1.8 \times 10^{-4}$$

以上の数式によつて、吸着能率は理論上求められるけれども実際、塗装の場合は、常数 f により、すなわち仕上り程度・塗料の原料 (樹脂・顔料・塗装物の形状等の作業条件および製品への要求度により、そのまま使用することは不可能であり、グリッドの形状・長さ・速度等の作業条件は実験の結果から求めることが必要である。

エ. 塗 装 室

グリッドの取付け・グリッドと室壁との間隔・グリッドへの饋電線の貫通部等、絶縁工作上、とくに注意を要する。塗装室の底面は、ゆるい傾斜面とし常に水を流し塵埃、異物が留つて、グリッドを大地間にスパークオーバーしないようにすることが必要である。

排風機は、吸着能率が非常によく、塗料のスプレイ量がきわめて小さい場合は必要ではないが、部品の形状およびその他の作業条件の要求により、噴射量を増加したり噴射圧力を高くすることが止むを得ず必要な場合には、部品に吸着しないオーバースプレイの塗料を排出するために排風機は必要となる。

しかしその場合、排出能力が過大であると静電場内でイオナイズされている微粒子を吸引してしまうから、排出能力および、取付位置、取付方法に注意を要する。

オ. 乾 燥 炉

赤外線ランプ乾燥炉を2基、全容量 61 kW である。炉の断面寸法は大概 10 図のとおりである。

カ. 搬 送 設 備

電気塗装は、塗装工程の自動化による能率向上が主要目的となつてくるから、コンベヤによる搬送設備が当然必要となつてくる。現設備は全長約 100 m のチェーンコンベヤにより塗装→乾燥→磨き→塗装→乾燥を一貫せしめ、ハンドリングに要するコストは極度に減少させた。

キ. 塗 装 器 具

スプレイガン・コンプレッサ・ミキサ等、作業に必要な器具は一般のものと変りはない。

しかし、塗料圧力・エア圧力等は手吹きの場合と比べて低く、またスブレイガンは噴射が安定度を高く要求されるから、充分の注意が必要であり、この点については次項で詳述する。

5. 作業能率と技術的諸問題

設置してから種々の問題が発生したが、高電圧、静電現象は理論と実際とは一致せず、塗装について電気的要因以外の多くの要因が影響するので、残された問題が多い。

ア. 作業能率

ガードを静電塗装した場合、70~80%程度の吸着能率を得ることができた。これは従来の吹付け塗装の場合の10~20%と比較すれば飛躍的な数字であつて、塗料の年間節約額は莫大なものとなつた。

しかし、部品に要求されるフィニッシュの程度および部品の形状による吸着度の不均一性の修正のため、場合によりスブレイの圧力・速度・量を調節増減する必要があるから、あらゆる部品に対して、静電塗装法により、このような好結果を得られるとは限らない。

イ. 電気的条件に関する事項

直流高電圧の脈動率は数%までは問題無いものと考えられるけれども必要な条件としてはつぎのことが挙げられる

- (a) 安定した高電圧を保持し得る
- (b) 安定したコロナ放電が得られる
- (c) 電気力線分布が均一である
- (d) 安全に対する考慮

一般に電気塗装においては、塗装せんとする部品を⊕(接地)とし、グリッドを⊖高電位に保つ、いま11図のように、細線と平板とを対立させて両者間に直流高電圧を加えた場合を考えて見よう。

細線表面の電界強度が空気の絶縁耐力を超えるとときはコロナ放電が発生する。

⊕の表面においては、電界強度は⊖極に比べて著しく

小さく、コロナ放電は発生しない。⊖極付近の空気はイオン化せられて、図のような電界状況となる。このとき陰イオンの飛行速度は陽イオンよりも数千倍も大きく、したがつて、陽極コロナが生じて空間電荷がその電界を抑制して、コロナの成長を阻害するような現象を生ずる。ゆえに、放電々極の電位を上昇させると、陽極コロナの場合は空間電荷のために抑制せられ、その反面反対極の電界は強くなり、火花放電もし易くなる。

これに反して陰極コロナは電極付近の電界がより強くなることであるから、その反対側の電界は、電位をあげた程強くなり、陽極コロナに対して非常に安定性があるわけであり、また高電位を保持することもできる。

以上のような理由により、塗装しようとする部品を⊕(接地)とし、放電々極をそれに対して⊖高電位に保つ。

前項でも述べたとおり、塗料の微粒子は電気力線に沿つて飛行するゆえ、均一した塗膜を得るためには、電気力線密度を部品の表面において、なるべく均一にすることが必要であり部品の形状によつて、グリッドの形を考えなくてはならぬ。円筒状、または板状等の部品はよいが、複雑な形状の部品は電気力線密度の均一性は得られ難い。

これを修正するために、スブレイの方向・速度・距離・部品の回転・移動速度等を実験的に定めるより方法がない。

吸引力はクーロンの法則にしたがい、塗料の誘電率・距離・粒子の大きさに影響する。

またコロナ放電の条件として、空気の湿度・温度等の条件も考えられる。

ウ. 塗装条件に関する事項

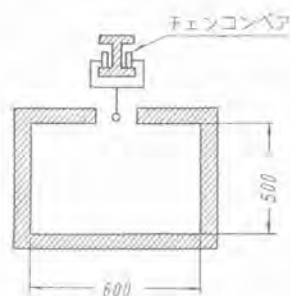
塗装条件にも静電塗装の安定度を阻害する要因が多い、中でもスブレイガンによつて噴射される噴霧状態の安定度が最も問題となる。コンベヤに懸吊されて、一定速度で電界中を一定時間通過して塗装される部品は、噴霧が息をついたり、ノズルが閉鎖したり、方向が変化したり、粒子の大きさが変化するような不安定な噴霧の状態では品質の保持は絶対に不可能である。

さらに、塗料の歩留りをよくするために、噴霧量を小さく絞るので、小さい噴射量で、可及的長時間安定した噴霧状態を続けることは仲々難かしい。

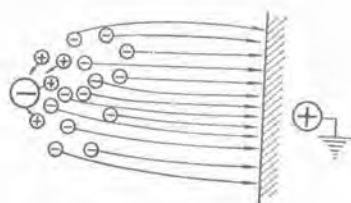
このような目的に合致する特殊なスブレイガンを選定しなければならず、扇風機部品には特殊な小型スブレイガンを使用して、ほぼ好結果を得ている。

ノズルは可及的 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 程度の粒子を噴射するものが望ましい。スブレイの状態を安定するためには、塗料圧力・空気圧力・塗料の粘度・濃度・混合状態等が一定に保持されることがまず必要であり、この装置が必要である。

部品の進行方向に対する噴射角度も、能率に影響する。12図のような、平板を塗装する場合の一例を下記



10図 乾燥炉断面
Fig. 10. Section of baking furnace.



11図
Fig. 11.

に示す。この場合は $\theta=15^\circ, 30^\circ, 90^\circ$ の場合、能率がよいことを示しているが、部品により、この数字はそのまま適用されるものではない。

噴射方向の角度も能率を左右する要因であることを考え、その作業条件に最もよい値を選ぶことが必要である。スプレイガンと部品との距離、すなわち塗料の粒子がノズルより部品表面に到着するまでの距離と時間がつきに問題となる。時間が長いと塗料の粒子は飛行中に溶剤を気化蒸発せしめ、部品表面に達したときは樹脂と顔料のみとなつて、展伸剤が含まれぬこととなり、そのために滑らかな面が得られず、塗膜はいわゆるオレンジ・ピーリングの欠陥を呈するに至る。この条件には、空気温度・湿度が影響する。

エ. 塗料に関する事項

塗料はいかなるものでもよいが、しかし絶縁性のものと、そうでないものとは吸着能率に差異があり、導電性のものの方が望ましい。

また前項に述べた粒子が飛行中に、溶剤が気化することを防ぐために、キシロール・テレピン油、またはセルローズ・溶剤のような高沸点の溶剤を使用することが必要であり、また一般吹付けよりは稀釈割合を多くする必要がある。

オ. 引火・爆発等の安全に関する事項

文献によれば、最も発火しやすい蒸気・ガス・空気の混合体においてスパークに要するエネルギーは 0.003 ジュール、そのときのコロナ電流は $300 \mu A$ であるといわれている。

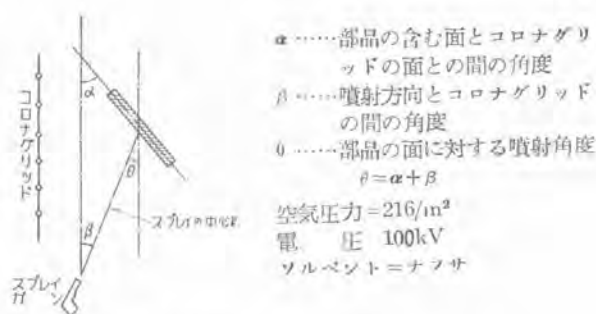
静電場塗装においてはいかなる条件を考えるべきであろうか。円錐噴射の場合、スプレイに引火する最小コロナ電流は、溶剤の種類により $420 \sim 460 \mu A$ の範囲にあり、噴射速度・空腔長さにはあまり関係せず、消費エネルギーよりも、むしろ放電電流の大きさに左右されることが実験的に示されており、この値以下ならば、引火・点火の危険は無いと考えてよい。

つぎに、あまりコロナ電流が多いと、顔料の変色が考えられるが、この限度は $200 \mu A$ であるといわれ、ゆえにコロナ電流は、 $200 \mu A$ 以下に制限することが必要であることになる。普通の静電塗装の条件では、コロナ1箇所について $150 \mu A$ を超えることはないから、これらに対する危険度は少いと考えてよい。

ただし高電圧に対しては、電圧がグリッドに印加されている作業中は絶対に、グリッドに接近できないように、また電源室内にも電源を切断後でなければ出入できないような開閉装置を作る必要がある。

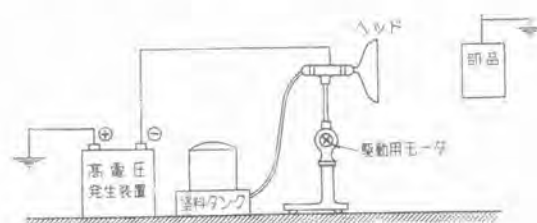
6. む す び

以上簡単ではあるが、当工場で使用している静電塗装々置についてその大略を説明したが、噴霧塗装には種々の要因があり、とくに安定した噴霧の状態を保持することが必要であるけれども、この点について、最近アメリカ



| α | β | θ | Eff (%) |
|----------|---------|----------|---------|
| 0 | 0 | 0 | 40 |
| 15 | 0 | 15 | 63 |
| 15 | 15 | 30 | 60 |
| 30 | 15 | 45 | 50 |
| 45 | 15 | 60 | 45 |
| 0 | 90 | 90 | 55 |

12 図 部品の面に対する噴射角度と能率
Fig. 12. Relation between spray angle and efficiency for the plane sprayed.



13 図 スプレースタンド装置
Fig. 13. Spray stand equipment.

カで新しい構想による「スプレースタンド」なるものが現れているので、最後にこれを紹介して筆を置くことにする。

大略の構造を 13 図に示す。

ヘッドはコーン・ケーブルのカップで、駆動用モータによつて、 $200 \sim 300 \text{ rpm}$ 位の速度で回転され、塗料は圧送されて、このヘッドの中心から流れ出で、遠心力によつてヘッドの周辺に拡がって行く。このヘッドに⊖高電位が印加されており、塗料はヘッドの周辺に達するや煙のような微粒子となつて飛散し、⊕接地の被装部品に向つて飛行する。この場合、部品は丁度磁石のような作用を及ぼすので、部品がヘッドの前に来ないときはスプレイも自動的にストップする。

スプレイ・空気圧力等が不必要となり、スプレイの安定度を阻害する主要な要因が解決されるので、その効果は大きいものとする。また角や、内面にも良く微粒子が入り込んで充分むらなく塗装されるようである。

最後に静電塗装々置に、その後の問題解決のために、種々協力を頂いた関係諸氏に対し、衷心より感謝の意を表べて筆を擱く。