

MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機



Vol. 29 1955  
8



# MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

この電車は本年6月に完成した東京急行電鉄玉川線の連節式路面電車であります。超低床、超軽量を目的として製作され、中央連節部の台車は1軸台車、車体は完全張殻構造となっております。主な諸元はつぎのとおりであります。

重量 22t 車体長 21m (2両連節)

定員 200人 床面高さ 590mm

(車輪径 510mm)

当社は制御装置、空気ブレーキ装置ならびにファンデリヤを納入いたしました。制御装置と空気ブレーキの完全な協調によって加速、減速は極めて円滑に行われます。またファンデリヤは切替装置により送風、排気の両方に使用できるようになっております。

昭和 30 年 第 29 卷 第 8 号

## 目 次

近代的ビルの変電設備 ..... 井上八郎 2

SV-W 型オートバルブ避雷器 ..... 新井正元・大木正路 10  
森 直治・佐藤五郎

交流高压電磁接触器 ..... 篠崎善助・奥島欽吾・吉田太郎 15

電車用空気圧縮電動機の直列抵抗切換装置 ..... 待鳥 正 23

屋外用重電機器の耐候性塗装 (ウェザーコート) ..... 鮫島莊太 27

航空機用救命ボートガス給入機構 ..... 宇川 彰・蘿原 智・窪津繁晴 33

自動制御設計に対する一資料 ..... 福永圭之介 40

プレスボードの吸湿と電気的特性 ..... 白井万次郎・原 仁吾 44

ニュースフラッシュ ..... 52

名古屋営業所 ..... 52

# 品質奉仕の三菱電機

△ 三菱電機株式會社

## 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 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
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 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
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 福島県郡山市宇野境橋町  
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 静岡市小鹿 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  
(電) 中(4) 7031-7036  
札幌営業所 札幌市大通リ西3の5  
(電) (2) 7236・7237  
仙台事務所 仙台市東一丁目63  
(電) 仙台 2573-8057  
富山事務所 富山市安住町23の2  
(電) 富山 4692-5273-2550  
広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)  
(電) 広島中(2) 2211-2214  
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 小倉市京町10の281  
(電) 小倉 3614

# 近 代 的 ビ ル の 変 電 設 備

本 社

井 上 八 郎\*

## Substation Equipment of Modern Buildings

Hachiro INOUE

Head Office

Two edifices, Railway Building and International Tourist Building, before the Tokyo station may take pride in their most up to date non-inflammable substations of a few thousand KVA as well as their grandeur and beauty. In the old practice power receiving equipment to be installed in the basement of large buildings employs transformers and circuit breakers containing oil. How can they be expected free from fire hazard when subjected to accident? This worry has been done away with by the introduction of oilless apparatus. Mitsubishi dry type transformers, air circuit breakers and magnetic blast breakers are the principal components making an epoch in the modern architecture.

### 1. まえがき

東京駅八重洲口に偉容を誇る近代的ビルの代表たる鉄道会館および国際観光会館の変電設備もまた建築物と同様近代的不燃性変電所である。ビルディングをはじめ百貨店・ホテル・劇場・病院等市街地の中心に位置し、建物の性質および収容人員の点より火災の発生ならびに延焼の危険のない変電所が要望されていたのである。従来の建築物の地下に設置される変電所は燃えやすい油を多量に使用した変圧器爆発の危険のある油入遮断器などを使用していたが、つぎにのべる乾式変圧器および空気遮断器、磁気遮断器の出現により油無し変電所、すなわち不燃式変電所が誕生したのである。その第一陣として前記鉄道会館と国際観光会館の地下変電所の実例について説明する。

### 2. 変電所の構成

鉄道会館および国際観光会館の不燃性変電所の構成としてはつぎのとおりである。

ア. 受電は東京電力株式会社南鞘町変電所より 20 kV ループ系統受電で鉄道会館は大手町環線、国際観光会館は京橋環線である。

鉄道会館は 1,500 kVA 三相変圧器 2 組を設備して 1 組は夏季全館冷房エヤコンデショニングの電力に備え、他の時期には予備として使用する。国際観光会館は 600 kVA 単相変圧器 3 台 1 バンクである。

イ. 変圧器は油入自冷式を廃しシリコーン H 種絶縁乾式変圧器を採用した。絶縁材料としてはガラスマイカクロース・磁器製品・ガラスマイカ板・ガラスマイカチューブならびに珪素樹脂等を用い、導体にはガラスマイカテー

プ巻銅線を使用した完全なる乾式不燃性変圧器である。ウ. 遮断器は特高側には 20-C-100 型空気遮断器を、3 kV 側には DH 型デアイオン磁気遮断器を使用し、両者共に全然油を使用しない油無し遮断器である。空気遮断器は名の如く投入ならびに遮断共に圧縮空気操作でその遮断特性よりケーブル系統に最適のものである。3 kV 側に使用せる DH 型磁気遮断器は油を使用しないから火災発生の危険もなく保守点検が容易である。

エ. 鉄道会館向の誘導電圧調整器も H 種絶縁乾式として 2 図に示すように画期的なものである。進相用電力蓄電器は不燃性絶縁油を充填して完全な不燃式変電所を完成したのである。

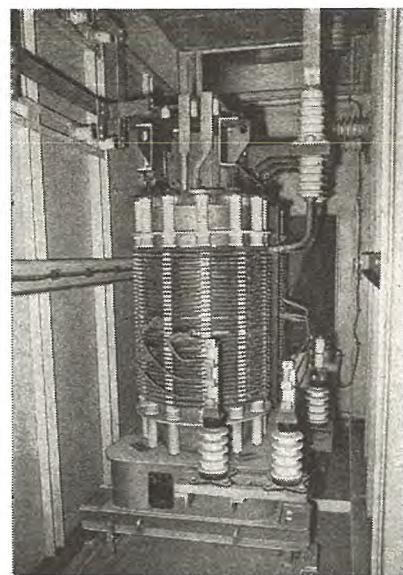
オ. 所内低圧盤には従来の刃型開閉器および筒型可溶器を廃し NF 型ノーヒューズブレーカを使用し、筒型可溶器に比し高度の安全性を保証し、かつ可溶器の取替等の手数を省略した。もちろん所内低圧盤は全部デットフロント式となる。



1 図 大丸百貨店および国際観光会館  
Fig. 1. Department store and Tourist building.



2 図 乾式誘導電圧調整器  
150 kVA 3,300 V  
 $\pm 50\% - \pm 10\%$  両用  
Fig. 2. Dry type induction regulator.



3 図 (a) 乾式変圧器  
(鉄道会館納)  
3φ 1,500 kVA  
22/3.3 kV  
Fig. 3. a Dry type transformer.

**カ.** 配電盤は制御および監視に便利なように縮少型監視盤を設けたり、保守の上より体裁のよい角型埋込式の計器および継電器を使用している。

**キ.** 機器の配置については建物の地下1階または2階に設置される関係上つねに苦心している。床面積および高さに制限をうけるので搬入通路や順序を考慮し、ケーブルの引込口および建築上の柱と壁との関係について苦慮する。

### 3. 特 長

不燃式変電所の特長は下記のとおりである。

#### ア. 火災の危険がない

変圧器、誘導電圧調整器、22 kV および 3.3 kV 遮断器等の使用機器に一切油を使用しないから火災の危険は全然なく、従来の変電所に比較して大なる特長で建築物の種類によっては必須の条件である。

#### イ. 操作の安全性

22 kV キュービクルおよび屋内メタルクラッドは全密閉型でかつ断路器と遮断器その他の鎖錠装置が完備しているから、開放型配電盤のように断路器の誤動作による故障は絶対にない。なお屋内メタルクラッドの遮断器、計器用変圧器等は引出型であるから点検は容易である。

#### ウ. 容積の縮少

22 kV 側をキュービクルとしたため、非常に少い容積となり、3 kV 側は屋外メタルクラッドであるから従来の開放型に比し必要な容積は少くてすむ。これは新設の建物の場合はもちろんのこと、既設の変電所を 22 kV 受電に改造する場合にも必要な条件である。

#### エ. 外観の優美

高級仕上鋼板の表面を特殊処理を施した上耐火塗料を塗り、建物と調和した色彩調節を施してある。なお油による汚損がないので清潔である。

#### オ. 保守の信頼性

鎖錠装置が完備して、導電部が露出していないので、

近代的ビルの変電設備・井上

保守運転上変電所全体が安全に運営できる。また絶縁油に関する保守の苦労が全然ないので保守員の精神的疲労がない。

#### カ. 据付期間の短縮

22 kV キュービクルおよび屋内用メタルクラッドは製作所で組立てられ試験されたそのままのものを据付ければよい。いわゆるパッケージサブステーションと呼ばれるものであるから据付現場における工程は非常に短縮される。

### 4. H 種絶縁乾式変圧器

乾式変圧器とは、従来の油入変圧器に対して油を使用しない変圧器の総称で、油入変圧器に比較して乾式変圧器の諸性質をつぎに列記する。

#### ア. 耐熱、耐湿性、過負荷耐量および寿命が大である

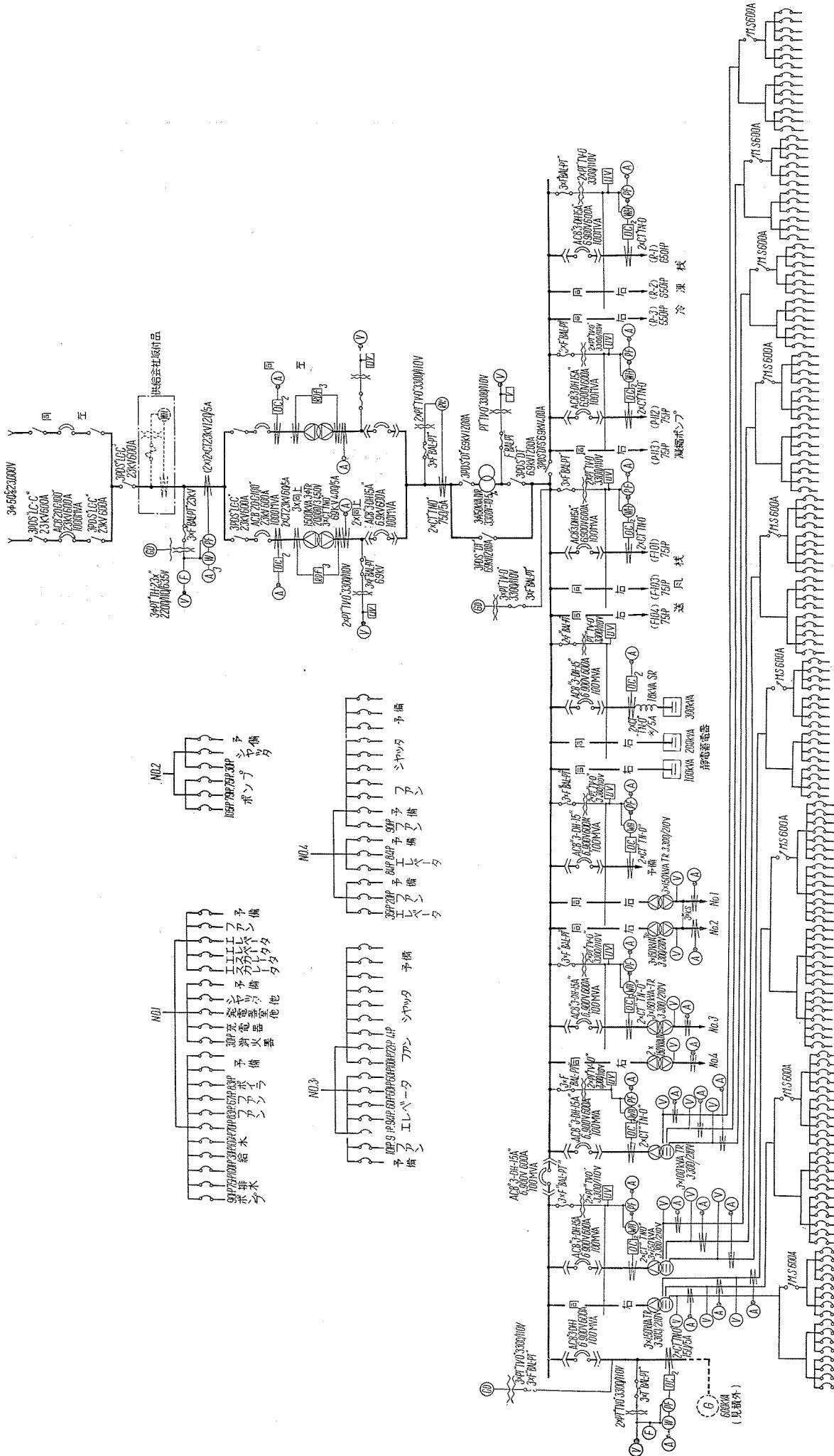
雲母・石綿・ガラス織維または類似の無機質材料を珪素樹脂（シリコーン）または同等の性質をもった材料からなる接着材料と共に用いたもの、すなわちシリコーンワニス処理 H 種絶縁物よりできているので対湿性および対熱性が大で、周囲温度の高い場所へも設置することができる。また無機絶縁物のみから組立てられているため過負荷耐量が大で、劣化の心配がなく長い寿命を有する。

#### イ. 不燃性および非爆性である

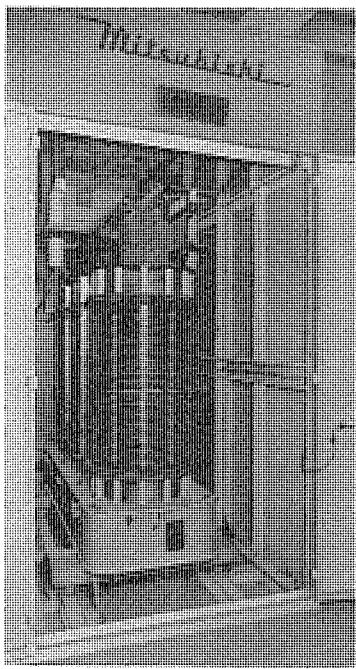
不燃性の材料だけで製作されているから、万一系統に短絡事故を生じ機械力により変圧器が破壊されることがあっても、また長時間過電流が流れて過熱した場合でも油入変圧器のように爆発、燃焼して事故を拡大するようなことはない。また外部の火災による類焼の危険も極めて稀である。

#### ウ. 重量と寸法が縮少できる

油を使用しないため外箱は感電しないよう、外傷を保護する簡単な構造でよいので、絶縁構造および冷却効果からみて中身は油入りより大きくなるが、全体として重



3 図 (b) 鉄道会館特高変電設備單線接続図  
Fig. 3. (b) Schematic diagram of high voltage receiving equipment.

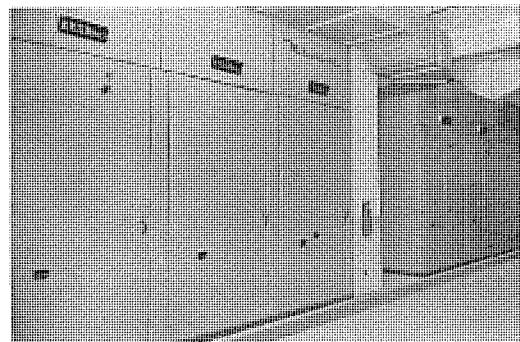


4 図 乾式変圧器（国際観光会館納）  
1φ 600 kVA 22/3.3 kV  
Fig. 4. Dry type transformer.



5 図 乾式変圧器（鉄道会館納）  
1φ 150 kVA 3,300/210 V

Fig. 5. Dry type transformer.



6 図 20 kV キュービクル（国際観光会館納）

Fig. 6. 20 kV Cubicle.

量では 80~90 %, 床面積では 70~80 % に小さくなる。  
またキュービクルに収納して優美な外観となる。

### エ. 据付と保守点検が容易である

油を使用しないから油の点検・濾過・油洩れ・油による汚損等の心配がない。また運転据付は油入のものに比し容易であり、設置場所に制約を受けることはない。なお最近納入した主なものの定格をつぎにあげる。いずれもキュービクル収納型で冷却に使用した空気はダクトで外部に導き出している。

鉄道会館納入三相風冷式	2 台
1,500 kVA 22-21-20-19/3.3 kV 50 c/s (3 図参照)	
産業経済ビル納入単相風冷式	3 台
1,000 kVA 23-22-21-20/3.3 kV 50 c/s	
国際観光会館納入単相風冷式	3 台
600 kVA 22-21-20-19/3.3 kV 50 c/s (4 図参照)	
大和証券ビル向三相風冷式（製作中）	2 台
750 kVA 22-21-20-19/3.3 kV 50 c/s	

5 図は鉄道会館へ納入した単相乾式自冷変圧器 150 kVA 3,300/210 V である。

## 5. 20 kV キュービクルと空気遮断器

### ア. 20 kV キュービクル

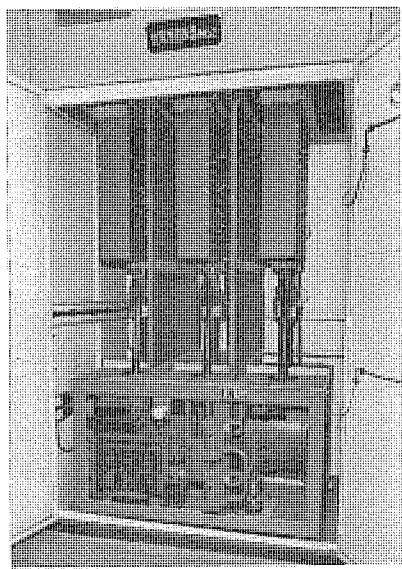
6 図は国際観光会館に納入した 20 kV キュービクルの写真で前方は 600 kVA 乾式変圧器用キュービクル、後方は 20-C-100 型空気遮断器を収納したキュービクルである。遮断器キュービクルは正面および裏面共に観音開きの扉を設け、遮断器側上部に遮断時の吹付空気を排出する窓があるほかは密閉構造となっており、とくに母線室、母線側断路器室は塵埃の侵入による事故を除くため、カバーおよび扉にはゴム・パッキングが施してある。母線室、母線側および負荷側断路器室、遮断器室の室間

ならびに相間には鉄板バリヤを設け、一部の故障が他室または他相に波及しないようにするとともに、相間短絡を生じないようにし、バリヤは取外し可能としてあるから内部点検は容易に行うことができる。20 kV キュービクルは導体を絶縁せずキュービクルの寸法は空間の対地絶縁距離を 200 mm 以上にとて、120 kV の衝撃電圧に対して充分耐える大きさとしてある。遮断器の操作時は圧縮空気の排気音を発生し、これが変電所の外部に騒音として洩れた場合は近隣に迷惑を与えるので遮断器側キュービクルの内面に防音装置を施し、排気音を吸収してキュービクル外部に洩れる音響を減少させている。防音装置としては消弧室より上部はガラス繊維を用い、下部はテックスを使用してある。

### イ. 20-C-100 型空気遮断器

空気吹付遮断器は油を用いないので火災の恐れはなく、また小さな容積で大きな遮断容量が得られるので、キュービクル用としては油入遮断器よりも好適なものである。

7 図は遮断器の外観を示すもので 420 l の容積をもつ補助氣槽の上に接触部と操作機構を備え投人、遮断とも直流 100 V の電磁弁を開いて圧縮空気より操作機構を動作させ、遮断の際は圧縮空気を接触部に吹付け、電弧を上部の消弧室内に分割押込んで消弧する。消弧室の上



7 図 20-C-100 型  
空気遮断器  
Fig. 7. Type 20-C-100 Air circuit breaker.

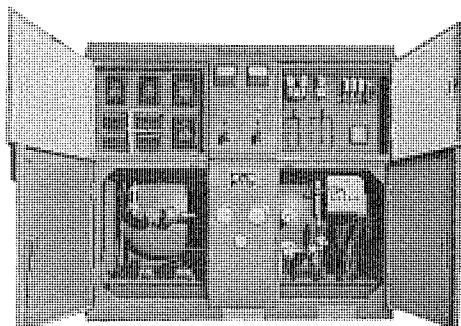
部にはさらにマフラーを設け、排気ガスを冷却して完全にイオンを除去すると共に排気音を低減させる。気槽の圧力は外部よりみることができ、接触部の点検は消弧室の下方から容易に行うことができる。

空気遮断器の特長を簡単に列記するとつぎのとおりである。

- (1) 油を全然使用しないので火災の危険がなく、油の劣化の問題もないので、頻繁に開閉を行う回路に適当である。
- (2) 他力消弧であるため小電流から大電流にいたるまで広い範囲にわたって短い電弧時間で開路し、接触部の損傷も極めて僅少である。
- (3) 電流容量は 5,000 A まで設計ができ、電圧の低い大遮断容量の遮断器、たとえば 2,500 MVA まで製作可能である。

(4) 補助タンクの上に遮断器本体が直接取付けられてあるので遮断器の占める床面積が非常に少く同じ容量の油入遮断器の 1/2~2/3 である。

(5) 操作圧力は當時 10 気圧で圧力が 8 気圧に下がれば遮断器の操作をロックアウトする。空気遮断器の操作圧力としては低い方で、したがって空気洩れも比較的に少い。



8 図 コンプレッサおよび同操作箱  
Fig. 8. Compressor and control box.

(6) 可動コンタクトが断路器をかねて設計してあるので接触部の点検が容易である。

(7) 鉄板製キューピクルに収納して所要面積を節約し、かつ感電の危険性を少くした。ステーションキューピクルに構造が適当している。

(8) CA 型圧縮空気発生装置は 8 図に示すように美麗な立方体のキューピクルに収納される。図は交直両用式にして圧縮気槽の気圧が低下すれば交流誘導電動機は自動的に運転し、気圧充分となれば自動的に電動機は停止する。気圧異常低下または交流電源停電の場合は自動的に直流電動機は運転して気圧上昇する。気圧低下すれば配電盤室に警報する。

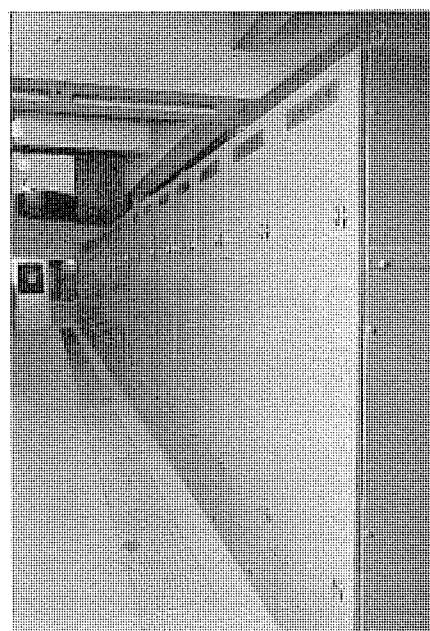
## 6. WH 型メタルクラッドと磁気遮断器

ア. 三菱 WH 型メタルクラッドは NEMA 規定による完全なる装甲開閉装置 (metal clad switch-gear) である。

メタルクラッドの構成は下記のとおりである。

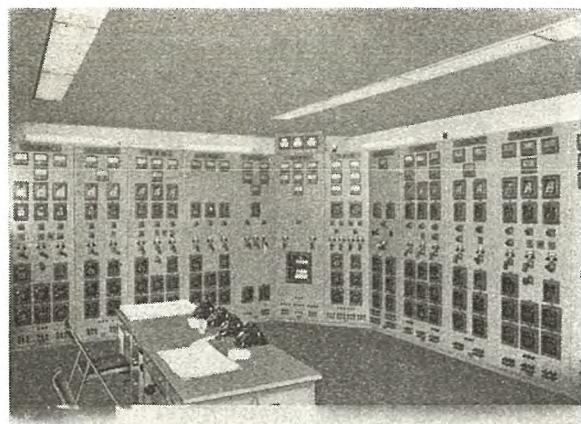
鉄道会館	国際観光会館
変圧器二次盤	2 面 受電兼変圧器一次盤 1 面
高圧電動機盤	9 面 変圧器二次盤 1 面
静電蓄電器盤	3 面 高圧電動機盤 2 面
動力および電燈変圧器盤	動力および電燈変圧器盤 3 面
母線連絡盤	7 面 静電蓄電器盤 1 面
発電機盤	1 面 母線連絡盤 1 面
計	23 面 発電機盤 1 面
	計 11 面

鉄道会館納入のものは 9 図のようにメタルクラッドの



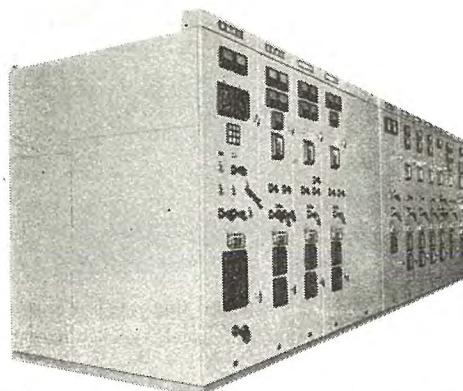
9 図 WH 型メタルクラッド (3-DH-15A 収納)  
(鉄道会館納)

Fig. 9. Type WH metal clad switch-gear.



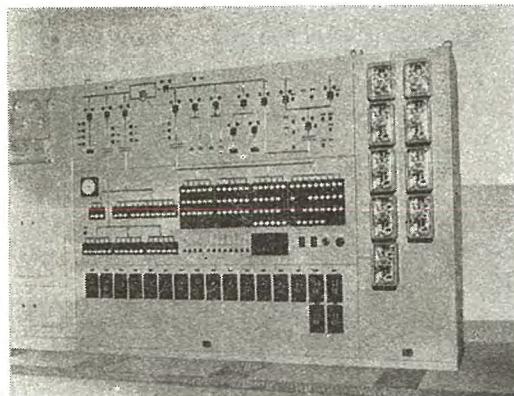
10 図 鉄道会館向主配電盤 NF ノーヒューズ

Fig. 10. No-fuse breaker.



11 図 WH 型メタルクラッド (3-DH-15A および 3-DH-5 型収納) (国際観光会館納)

Fig. 11. Type WH metal clad switch-gear.



12 図 国際観光会館向監視盤

Fig. 12. Supervisory panel.

表面の可換計器盤には計器および継電器は取付けずブランクパネルとし、これを 10 図に示すように直立開放盤として監視ならびに制御している。

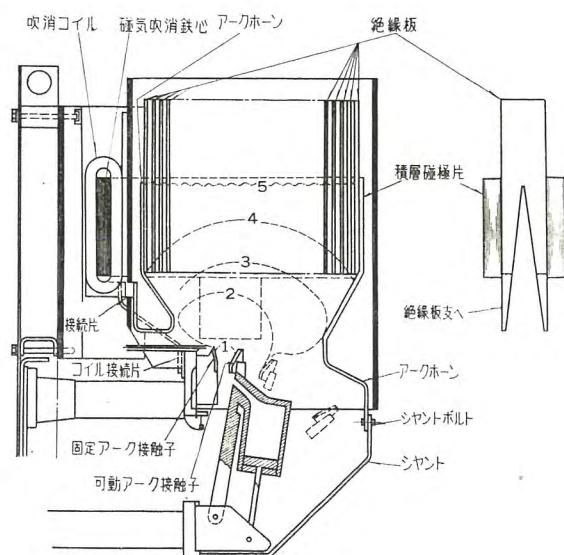
国際観光会館納入のものは 11 図のように計器、継電器および制御開閉器に至るまでメタルクラッドの可換計器盤に取付け制御はここで行い、別に 12 図のように監視盤を設けている。

主変圧器と 20 kV キュービクル間および主変圧器と近代的ビルの変電設備・井上



13 図 パリヤを外した 3-DH-15 型磁気遮断器

Fig. 13. Type 3-DH-15 magnetic de-ion circuit breaker with cover removed.



14 図 消弧原理および構造説明図

Fig. 14. Illustration for principle of arc extinction and construction.

WH 型メタルクラッド間はブスダクトにて連続し完全密閉型を形成している。

屋内用メタルクラッドの構造は運搬中に歪まないよう堅牢にしてしかも外観が優美になるよう角鉄または溝鋼を溶接してフレームを形成し、それに 3.2 mm の厚さの高級仕上鋼板を溶接あるいはねじ止めした外被を有するもので防錆のためポンデライズ(磷酸亜鉛処理)を施し、その上に防錆し塗装を行い上塗りには暴露性の強い特殊の塗装を行ったものである。

色彩は四隅の状況により鉄道会館向は国鉄標準色、国際観光会館は機器別の指定色を塗り色彩調節している。なお内面には白色不燃性塗料を使用してある。

WH 型メタルクラッドには油を使用しないデアイオン磁気吹消遮断器を収納している。鉄道会館には 3-DH-15A 型、国際観光会館は 3-DH-15A 型および 3-DH-5 型 (13 図) を使用している。DH 型遮断器、はメタルクラッドに最適の設計であるので、メタルクラッドより

の出入は単に水平移動により回路と接続または切離される。

遮断器が引出型であるため遮断器の端子を断路部として特殊のチューリップコンタクトによってなされる。通電中に開閉して接触部の焼損することのないよう引出し、引込みともに遮断器を開路してから開閉するよう厳重な鎖錠装置を付してある。接触部分は銀張りまたは銀メッキを施し、接触抵抗を少くしてある。

#### イ. DH 型デイオン磁気遮断器

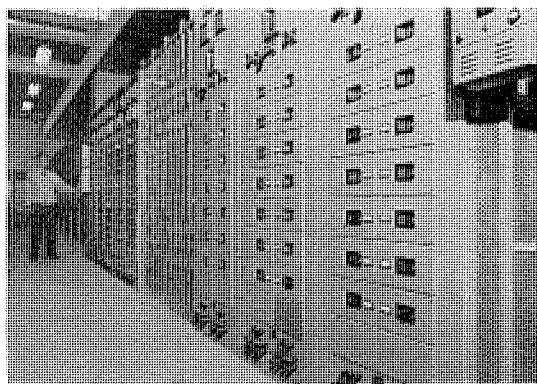
13 図は 3-DH-15A 型磁気遮断器の外形写真で 14 図はその動作原理を説明する基準部品の代表的配置を示す。電弧の吹上状況を説明すると、アーキングコンタクトが開く瞬間電弧通路は 1 の如くループ状にでき、このループ電弧の磁束が真横にある積層鉄板磁極の突出部の影響と電弧自身の電磁効果で 2 のように急速に延び、このループ効果によってほとんど瞬間に消弧室の固定静止接触部の上部の固定アーカホーンに電弧が移り、3 のようなループをつくる。電弧足が固定接触部からアーカホーンに移ると、電弧は遮断路閉路中には通らない吹消コイルを通るようになり、消弧室両側につけられた積層鉄心の磁極片によりこのコイルは消弧室全長にわたって均一かつ強力な磁界を作り電弧を吹き上げ、可動接触部の電弧足も消弧室前端のアーカホーンに移されて 4 のようになる。このアーカホーンは下部遮断器、套管部に並列に接続されているので最後には電弧は 5 に達する。

磁気遮断器の特長をあげると下記のようである。

- (1) 油を使用しないので火災発生の危険なく、消弧室は軽くて簡単に取外しができ、接触部の点検も迅速かつ容易である。
- (2) 消弧室は耐弧性絶縁物の特殊耐熱陶器製であるから、消弧物質の劣化による遮断能力の低下ではなく、開閉頻度が多くても消弧室は半永久的に使用できる。
- (3) 主接触部は銀コンタクトで通過電流が大きく、電弧接触子は耐弧性合金を使用してあり、遮断による損耗は従来の油入遮断器に比較して格段に少い。
- (4) 水平引出が軽快にできるのでメタルクラッド配電盤に最も適当である。
- (5) 遮断性能は油入遮断器に比して頗る優秀である。なお所要寸法が少ないので据付場所も少い。

### 7. 配電盤

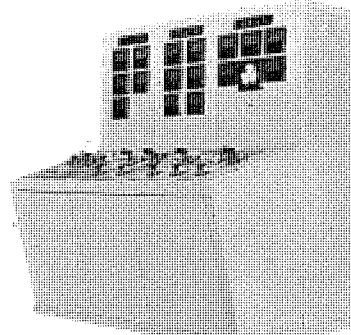
10 図は鉄道会館の特高および高圧配電盤の写真である。直立開放盤を直角に配置し、計器は半埋込角型、继電器類も半埋込角型とし型式を揃えて体裁を整え、高圧饋電盤は 3 回線 1 面としてある。低圧動力および電燈盤は 15 図に示すように当社独特の NF 型ノーヒューズ遮断器を横向取付としデットフロント式としている。なお停電時自動起動のジーゼル発電機の負荷を容量に適応するため動力および電圧変圧器の二次回路に接続された電



15 図 鉄道会館向低圧配電盤  
Fig. 15. Low voltage panel.

磁接触器を開放するようにしている。

12 図は国際観光会館の監視盤の写真で 22 kV 受電より 3 kV 高圧電饋線は模擬母線、および赤緑信号燈により所内変圧器より 210 V および 105 V の低圧動力



16 図 伊勢丹向机型制御器  
Fig. 16. Desk type control panel.

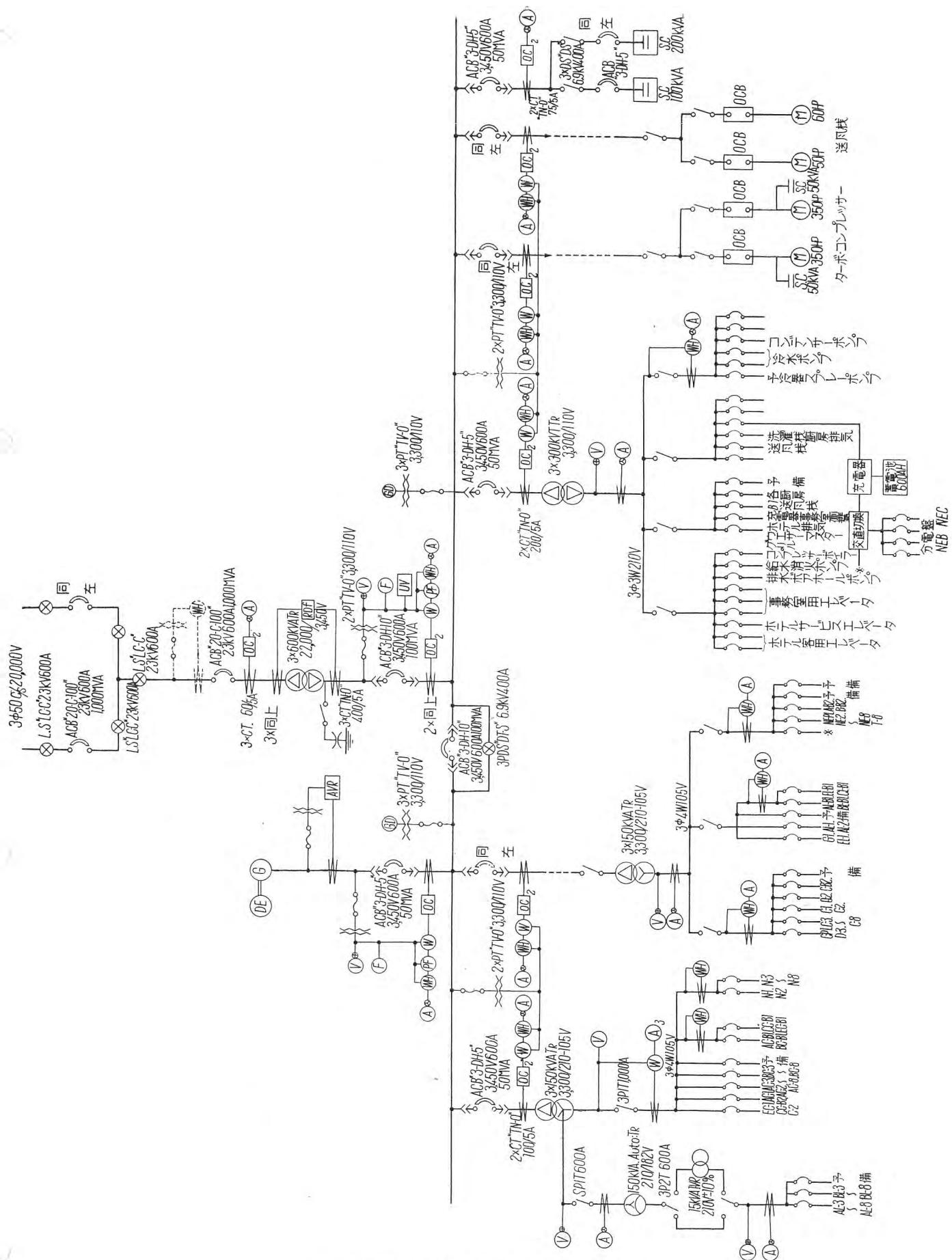
および電燈回路まではランプ式表示により、全館の通電状況をこの監視盤により一目瞭然たらしめている。重要回路の積算電力計も本盤に取付けて計量も併せてここで判読し得る。22 kV 特高および 3.3 kV 高圧回路の制御はとくに直立盤を設置せず 11 図のように WH 型メタルクラッドの正面扉の可搬計器盤に取付けて床面積の節約をはかっている。なお監視机型制御盤として伊勢丹納入のものを 16 図に示してある。

### 8. むすび

不燃式変電所は乾式変圧器および油無し遮断器その他の機器の採用により、火災の発生および延焼による危険は従来のビルの変電所に比較して格段に差異のあることは前述のとおりである。しかしながらこれら新規開発製品の採用により現段階においては若干の経費の増大することは止むを得ぬと思う。われら製造業者においては所要資材の研究と多量生産による原価の低減に精進しているが、なお据付場所の節約および火災保険料の軽減をはかることにより設備費の原価補償を得て不燃式変電所の普及発達することを願う次第である。

### 参考文献

- 五十嵐信一、清水良夫： W 型メタルクラッド「三菱電機」27, 198 (1953-6)  
新井正元、五十嵐芳雄、志賀貞雄、富永正太郎： DH 型磁気遮断機「三菱電機」27, 209 (1953-6)  
吉岡昌昭： 20 kV キュービクル「三菱電機」27, 34 (1953-6)  
新井正元、五十嵐芳雄、志賀貞雄： C 型空気遮断器「三菱電機」27, (1953-6)



17 国際観光会館特高受変電設備単線接続図

Fig. 17. Schematic diagram of extra high voltage receiving equipment.

# SV-W 型 オートバルブ 避雷器

伊丹製作所

研究所

新井正元\*・大木正路\*\*・森 直治\*\*\*・佐藤五郎\*\*\*

## Type SV-W Autovalve Lightning Arresters

Masamoto ARAI · Masamichi OHKI · Naoji MORI

Itami Works

Goro SATO

Engineering Laboratory

The progress in the lightning arrester engineering for past several years is a matter of noteworthy. The extension of testing facilities and experience in the practical tests have made a contribution to the improvement of their performances a great deal and have brought up the present standard Type SV-A-3 arresters as they are. New design, however, has been under trial aside from the above and is now on the threshold to come to the front with its marvellous results proved at the field.

### 1. まえがき

最近約5カ年間における避雷器の技術的進歩には著しいものがある。試験設備の拡充、実地試験の経験等に基き、オートバルブ避雷器についても放電耐量の増加、衝撃放電開始電圧および制限電圧の引き下げによる保護特性の向上、続流遮断能力の強化等累次の改良設計変更が加えられ、現在の標準型である SV-A-3 型に至っている。

一方これと並行して新型のオートバルブ避雷器の試作研究を進めていたが、製品として完成し、関西電力丸山発電所、台湾電力等においてすでに1年以上にわたり異常なく運転を続けている。

この機会に SV-W 型オートバルブ避雷器の性能、試験結果等について記すこととする。

### 2. 構造および特長

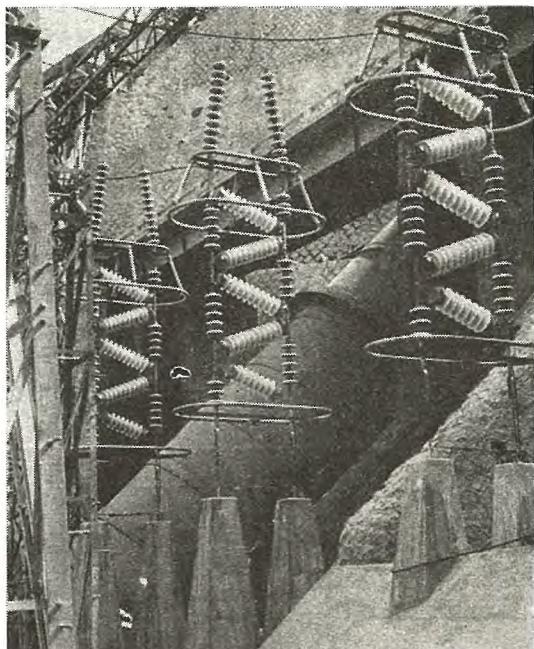
SV-W 型避雷器は発変電所用として各電圧階級に適するもので、一例として関西電力丸山発電所において運転中の 140 kV 級の外観を示すと 1 図の如くである。その構造および特長はつぎのようである。

#### ア. ユニット方式

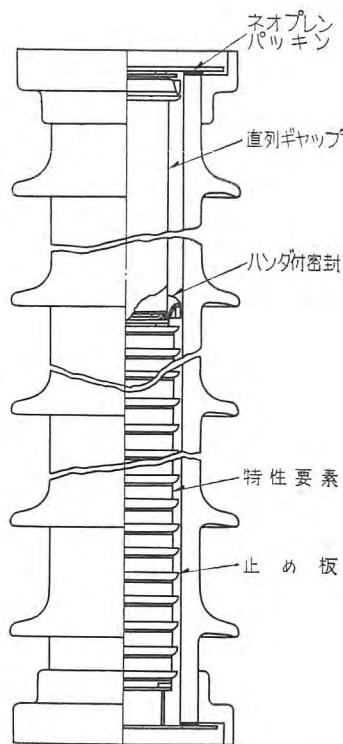
従来の型では、一般にギャップ部分と特性要素部分とはそれぞれ別箇の磁器容器内に納められているが、本避雷器は 1 箇の磁器容器内にギャップと特性要素とを納め

て、これを避雷器ユニットとし、このユニットを電圧定格に応じた箇数だけ直列に積み重ねる方式である。

普通ユニットとしては公称電圧 10, 20 および 30 kV



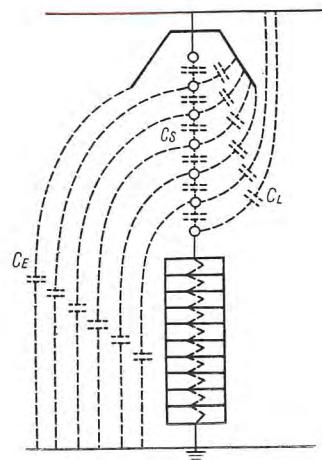
1 図 関西電力丸山発電所において運転中の SV-W 型 140 kV オートバルブ避雷器（許容端子電圧 196 kV）  
Fig. 1. Type SV-W 140 kV autovalve lightning arresters installed at Maruyama Power Station of the Kansai Electric Power Company.



2 図 SV-W 型オートバルブ避雷器のユニットの構造  
Fig. 2. Construction of arrester unit of Type SV-W autovalve lightning arrester.

のものが使用され、したがってユニット自体 10, 20 および 30 kV の完成した避雷器である。2 図は避雷器ユニットの内部構造を示す。

ユニット方式の特長は、ユニットの取換え、増減、定格の変更が容易であることで、互換性が増し、使用者側の予備品も種類および数量が少なくなり経済的である。従来の型でユニット方式を採用しないのは主につぎの理由による。すなわち絶縁物のギャップ・スペーサを使用している多ギャップでは、その放電開始電圧は、個々の単位ギャップの放電開始電圧にギャップの箇数を乗じた

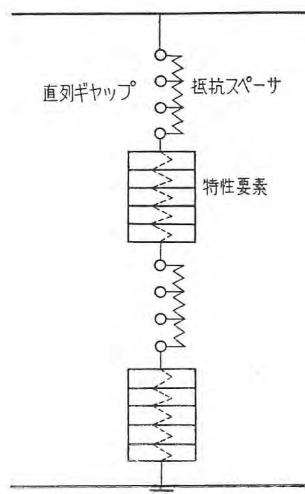


3 図 避雷器直列ギャップの電位分布と分布漂遊電容量との関係  
Fig. 3. Relation between the voltage distribution between series gaps of lightning arrester and distributed stray capacity.

SV-W 型オートバルブ避雷器・新井・大木・森・佐藤

ものによるばかりでなく、3 図に示す如き個々の単位ギャップ電極間の漂遊静電容量  $C_s$  と、ギャップ電極がそれぞれ線路および大地に対して有する分布漂遊静電容量  $C_L$  および  $C_E$  との組合せによって定まる直列ギャップの電圧分布によって定まる。直列容量  $C_s$  はギャップ構造より大きさの限度があり、また  $C_L$  と  $C_E$  とは不均衡であるため、通常多ギャップの箇数が増すほど線路側に近いギャップの負担電圧が大となり、ギャップの箇数を増しても避雷器全体の放電開始電圧はあまり上昇しなくなる。したがってたとえば避雷器のユニットを積み重ねても避雷器の特性はユニットの箇数に比例して上昇せず電圧階級が高い程その影響は顕著になる。この傾向を補正するために均圧環を付して  $C_L$  を大きくし、直列多ギャップにかかる電圧分布をなるべく均等にして使用するわけである。したがって従来の型では単にユニットを積み重ねただけでは所要の特性が得られず、均圧環を付した状態で全体として調整する必要があり、たとえば上下 2 段の碍管に直列ギャップが収容されている時、上段と下段とを交換するだけですら避雷器の特性は変ってしまうので、一般的なユニット方式は採用できなかった。SV-W 型ではこの点 4 図に示す如く直列ギャップにそれぞれ並列に抵抗スペーサを使用しているので、商用周波電圧に対する直列ギャップの電圧分布は主として抵抗中を流れる漏洩電流の電圧降下によって定まり、電圧分布の均等性は良好になる。したがってユニットを積み重ねてもその特性は大体ユニットの箇数に比例し、ユニット方式を採用することができる。

電圧分布を均等化するには直列ギャップの並列抵抗の値を低くとれば良いが、常時抵抗中を流れる漏洩電流が増大し、これが抵抗体および特性要素に悪影響を及ぼす虞れがあるので、並列抵抗の値はある程度高い値にとらざるを得ないことになる。したがって SV-W 型避雷器



4 図 抵抗スペーサを並列に使用した直列ギャップにおける電圧分布の改善  
Fig. 4. Improvement of voltage distribution by series gaps with electrodes separated by resistance spacers.

でも電圧階級が高い場合には、商用周波電圧に対しても3図の如き対線および対地漏遊容量の影響が無視し得なくなるため、やはり均圧環を設ける必要がある。この場合には単に電圧階級をユニットの定格で徐した数だけユニットを積み上げればよいというわけにはゆかないが、あらかじめその電圧階級に対して適当に設計された均圧環を付し、さらに要すれば所要ユニットを追加することにより所要の特性を得ることができる。やはりユニット方式ということができる。

#### イ. 抵抗スペーサの使用

前述の如く SV-W 型避雷器の直列ギャップには並列に抵抗スペーサを使用している。このためユニット方式を採用し得ることは上記の如くであるが、その他にも多くの長所を有している。その一つは電圧階級が高いもの程衝撃比が小となり、保護特性が良好となることである。回路電圧の異常上昇等により避雷器が動作することを防ぎ、また良好な続流遮断能力を保持するためには、避雷器の商用周波放電開始電圧はその避雷器についての所定値以上であることが必要であるが、上述の如く抵抗スペーサの使用により直列ギャップにかかる電圧分布を比較的均等にし得るので、全体としての商用周波放電開始電圧を高くすることができる。

一方、雷電圧の如き衝撃電圧に対しては、並列抵抗スペーサの抵抗値が相当高いため、時定数の関係から静電容量による影響が大となり、等価回路は3図の方に近くなる。したがって衝撃電圧に対する直列ギャップの電圧分布は、商用周波電圧に対するそれよりずっと不均等になり、全体の衝撃放電開始電圧は低下する。この結果衝撃比は小になり、電圧階級が高い程この傾向は顕著になる。

つぎに放電特性の点に関しては、不整が少ないことが特長である。絶縁物のスペーサを使用している場合多ギャップの両端以外の電極の電位は種々の条件により浮動し易いが、SV-W 型では並列抵抗スペーサを使用し、定常漏洩電流を流してその電圧降下中の対応する電位がそれぞれ電極に与えられているため放電特性が安定している。濃霧時あるいは夜間の気温低下により露点に達した時のように、直列ギャップの磁器ケーシングの全表面が湿潤状態となると、避雷器の商用周波放電開始電圧が変動あるいは低下し、したがって続流遮断能力が低下することがある。これは磁器ケーシング表面の漏洩電流が増加し、この導電性の皮膜と電極との間に分布漏遊電容量を生じ、3図に示した如き漏遊容量の組合せが崩れて、直列多ギャップにかかる電圧分布が変化するためである。SV-A-2 型および SV-A-3 型では磁器ケーシング表面にシリコンオイルの焼付処理を施し、湿潤状態における漏洩電流を抑制し、避雷器特性の安定に効果をあげている。SV-W 型では4図の如く常時漏洩電流を流している状態で調整されているので、磁器ケーシング表面の漏洩電流が増加しても、電圧分布に及ぼす影響は著る

しく小さく、この点特殊気象条件に対しても有利であることが特長である。この場合も磁器ケーシング表面にシリコンオイル焼付処理を施して外面の漏洩電流を抑制すればさらに有効であることはもちろんである。しかしながら磁器ケーシングの汚損等がある、表面の漏洩電流の値が著しく増すと抵抗スペーサを用いても避雷器特性の変動が免れなくなるため、使用中はたびたび清掃して、磁器ケーシング表面を清浄に保つことが必要である。

避雷器の保護効果を充分發揮するには、避雷器と被保護機器とをできるだけ近接せしめ、両者の間にサージの往復反射が生ずるのを成るべく防ぐことが必要である。しかしながら避雷器の直列ギャップの電圧分布は3図に示す如く漏遊電容量の影響を受け易いので、近接物体の配置に対しては充分考慮せねばならない。この点抵抗スペーサを使用していると、電圧分布は4図の方に近くなり、漏遊電容量はあまり影響を及ぼさないから有利である。

#### ウ. 電離ボタンの使用

ギャップの内部構造は5図に示す如く、円環状の電極と平板電極とを対向させ、抵抗スペーサと電弧隔壁環とで両電極を離隔してある。電極内部に高誘電率の絶縁性良好な電離ボタンを装備してあるため、印加電圧がギャップの放電開始電圧に達する前に、その先端にコロナを生じギャップを照射するので、衝撃波に対する放電の遅れを短かくし、衝撃比を低下できる。試験結果の項で述べるように単位ギャップの衝撃比はほとんど1である。

#### エ. 電弧隔壁環の使用

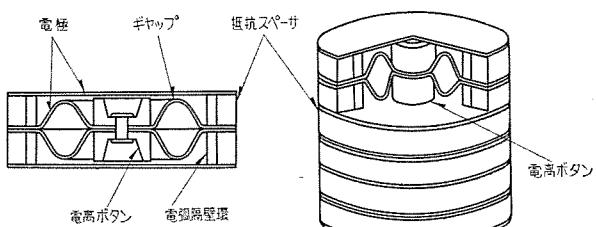
5図に示す如く、抵抗スペーサの内側に電弧隔壁環を設け、ギャップ部分に生ずるアーケが抵抗スペーサに触れることを防止している。

#### オ. ハンダ着密封

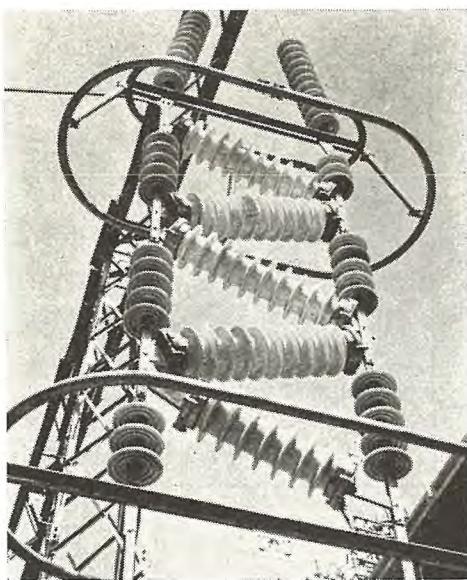
ギャップは二重密器に收められ、内部容器は金具と磁器とをハンダ着してあるため、湿気浸入による障害は実用上完全に除かれる。

#### カ. 放電耐量の増大

最近の避雷器の飛躍的進歩の一つは放電耐量の増大である。これは衝撃大電流のみでなく、長波尾長の雷放電、ケーブル系統に蓄積された大電荷の放電、開閉サージ等の高エネルギーの放電に対しては長時間継続サージに耐えることが要求され、これらの目標に対して努力が続けら



5図 SV-W 型オートバルブ避雷器のギャップ構造  
Fig. 5. Construction of unit gap assembly of Type SV-W autovalve lightning arrester.



6 図 耐震型ジグザグ懸垂構造  
Fig. 6. Construction of suspended arresters in a zig-zag pattern for earthquake-proof.

れてきた。その結果は昭和 29 年春中部電力三重変電所で行われたケーブル系統用避雷器の現地動作試験において充分な放電耐量を有することが立証された。この特性要素は、当社研究所における多年の研究の成果であって、同心円状に材質組成の異なる炭化珪素粒を並べて、成型したものである。従来避雷器特性要素円盤に流れる雷電流は周辺部程大きくなるため側面隙縫や周辺部の貫通を生じ易く、これによって放電耐量が限定される欠点があったが、本特性要素では周辺部は電流が流れ難いため結果電流分布が均等になり放電耐量が飛躍的に増加したわけである。(特許出願中) 実験の結果  $5 \times 10 \mu\text{s}$ , 100 kA の衝撃大電流、および 2 ms, 400 A の長時間継続サージに耐え得ることが明らかにされている。直接々地系統用超高压避雷器では開閉サージの問題が重視せられるので、とくにこの種の特性要素により万全を期している。

#### キ. 耐震構造

電圧階級の高いものでは、6 図に示すようにジグザグ型に全体を懸垂し、かつ高さを低くしてあるので、耐震構造が強化され、同時に電圧分布も良好になる。丸山発電所の 140 kV 級で、本体の高さ 4 m 400、懸垂得子および下部スプリングを含めても約 7 m であり、また直接々地系統用 287.5 kV 級で、本体高さ約 5 m 800 であり、鉄構から地上面迄でも約 10 m である。場合によっては三脚式としてユニットを螺旋状に配置し、一層高さを切りつめることもできる。

#### ケ. 絶縁抵抗値について

SV-W 型避雷器は抵抗スペーサを使用しているのでギャップを含むユニットの抵抗値も、従来の避雷器のように無限大に近いものでなく、30 kV ユニットでおおよそ 100~200 MΩ、20 kV ユニットでおおよそ 60~120 MΩ の値を示すのが普通である。したがって定期的に絶

縁抵抗を測定することにより、避雷器の状態を監視することができる。

### 3. 動 作

常規使用状態においては抵抗スペーサを通る数分の一ミリアンペアの漏洩電流に伴う電圧降下により、直列多ギャップにかかる電圧分布を均等化し、避雷器は放電を開始しない。雷サージが襲来すると、直列ギャップにかかる電圧が増大し、電離ボタンの先端にコロナを生じ主ギャップを照射するため、主ギャップの放電開始電圧に達した際はほとんど放電の遅れなしに避雷器は動作する。

ギャップが放電すると雷サージは特性要素を通って大地へ流れるが、特性要素は大電流に対して充分低い制限電圧を有するため、被保護機器との絶縁協調が保たれる。

サージ通過後特性要素の続流抑制作用と相まって、続流は多ギャップにより最初の半サイクル以内に遮断され避雷器は原状に復帰する。

### 4. 試 験 結 果

#### ア. 単位ギャップの放電特性

抵抗スペーサの特性および電離ボタンの効果を検するため、試作のギャップについて放電特性を求めた結果 1 表に示すように衝撃比はほとんど 1 であって、放電の遅れの小さいことが認められる。

1 表 単位ギャップの放電特性

試料番号	商用周波放電開始電圧 (kV)	衝撃放電開始電圧 (kV)	
		正	負
A	3.0	4.45	4.24
B	3.05	4.24	4.35
C	2.99	4.14	4.45
D	3.13	4.24	/
A+B+C+D	11.7	18.0	18.2

#### イ. 140 kV 級避雷器の特性の一例

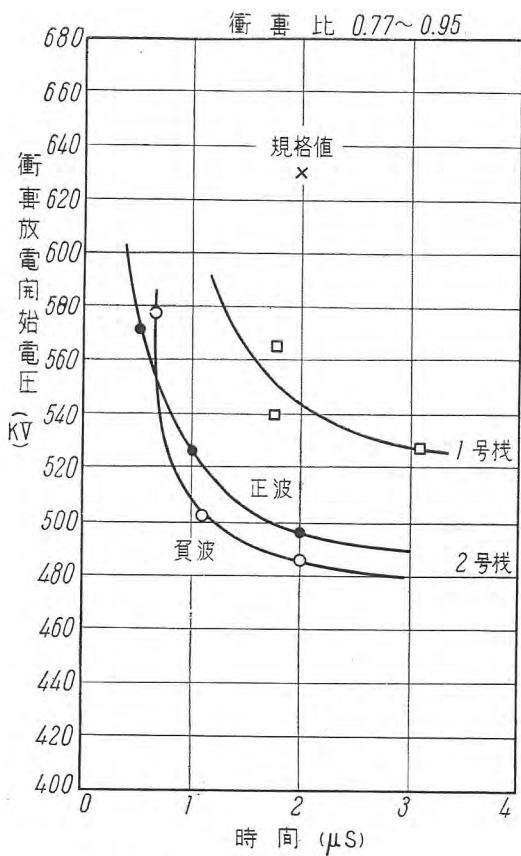
商用周波放電開始電圧は乾燥、注水共 400 kV 以上、衝撃放電開始電圧は乾燥 500 kV、注水 520 kV、制限電圧は 1,500 A 程度で 518 kV であった。7 図は V-t 曲線の一例、8 図は制限電圧特性の一例を示す。避雷器ユニットと全体との関係は、商用周波放電開始電圧の方は各避雷器ユニットの値の和と全体の値とがほとんど同じであるが、衝撃放電開始電圧の方は避雷器ユニットの数が多くなると対地漏遊容量の影響が無視できなくなり、各避雷器ユニットの値の和より全体の値の方が著しく低くなる。したがって電圧階級の高い程衝撃比が低下することになる。

#### ウ. 60 kV 級避雷器の特性の一例

商用周波放電開始電圧 172 kV のもので衝撃放電開始電圧は 200 kV 程度である。

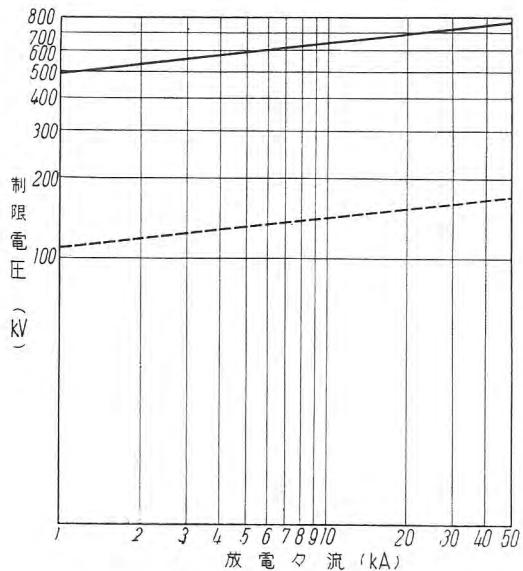
#### エ. 30 kV 級避雷器の特性の一例

商用周波放電開始電圧 81 kV のもので衝撃放電開始



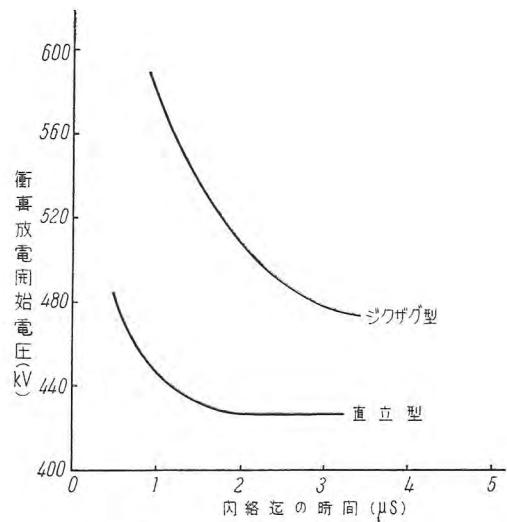
7 図 140 kV 級 SV-W 型オートバルブ  
避雷器の V-t 特性

Fig. 7. Volt-time characteristics of 140 kV class Type SV-W autovalve lightning arresters.



8 図 SV-W 型避雷器制限電圧特性  
—— 140 kV 級    - - - 30 kV ユニット

Fig. 8. Discharge voltage characteristics of Type SV-W lightning arresters.



9 図 構造による V-t 曲線の差異  
Fig. 9. Difference of volt-time curves due to construction of suspended arresters.

電圧は 123 kV 程度である。

#### オ. 構造による放電特性の差異

ジグザグ型に懸垂した場合と、従来の如く下半分を自立させ、上半分を懸垂して直立型とした場合との放電特性を比較すると 9 図の如くジグザグ型の方が放電開始電圧が高くなる。両者の均圧環は構造上同一のものでないから、この点同一条件の下で比較したことにならないが、ジグザグ型に懸垂し、高さを低くしたことによりギャップにかかる電圧分布が均等化されていることがうかがわれる。

#### カ. 動作責務特性

10 kV 避雷器ユニットを 3 箇直列に積み重ねて 30 kV 避雷器として動作責務試験を行った。軽度の汚損湿潤状態におき、衝撃電流 2,400 A、印加位相 45° で 1.4E の場合、同極性では 35 A 程度、逆極性では 59 A 程度の続流が半サイクル以内流れたのみで続流を遮断し得た。

#### 5. むすび

以上 SV-W 型避雷器の構造特長、動作および試験結果の概要について述べたが、すでにこれらの避雷器が実系統において雷害防護に重要な役割を果しつつあることは欣快に耐えない。終に新型避雷器を率先丸山発電所に使用された関西電力株式会社の関係各位に深謝する次第である。

#### 文 献

- (1) 新井正元、大木正路、森直次：新型オートバルブ避雷器、昭和 29 年電気三学会連合大会論文 310 (昭和 29-5)
- (2) 大木正路、堀真幸、岩崎晴光、佐藤五郎：避雷器の霧中試験、電学誌 73 卷 776 号 (昭和 28-5)

# 交 流 高 壓 電 磁 接 触 器

名古屋製作所

篠崎善助\*・奥島欽吾\*\*・吉田太郎\*\*

## Alternating Current High Voltage Electromagnetic Contactors

Zensuke SHINOZAKI · Kingo OKUSHIMA · Taro YOSHIDA

Nagoya Works

To start and stop high voltage induction motors for mine hoists and large pumps, Type FO-135 oil immersed electromagnetic contactors or oil circuit breakers have been employed. Of late, however, it has been demanded to develop high voltage contactors of the kind with high efficiency and durability against frequent operation as the size of motors increases. In answering the purpose Type FN-205-OH oil immersed ones and Type AH-205 air break patterns have been produced with success.

### 1. まえがき

工業の急速な発達は、電動力を縦横に駆使して、生産効率の向上に努めると共に、自動運転化によって経営の合理化をはかっている。電動力を充分に発揮させるには優秀な制御装置の協力によってのみ可能で、制御装置の性能向上が必要であるが、わけても電磁接触器は、これら制御装置の重要な要素で、その性能の良否は、制御装置の性能はもちろん、電動力応用の使命をも決定するものである。

高圧交流電動機の起動器には、従来、油入遮断器を用いた高圧配電箱が転用されてきたが、油入遮断器は、もともと、保安器具で、ごく稀に起る事故に対して動作するものであるため電動機を頻繁に起動、停止する用途には、機械的電気的に充分な考慮が払われておらず、一般工場用電動機の起動器としては、性能的に欠陥があり、長期の使用に耐えることができない。頻繁起動の行われる用途には、起動電流に充分耐え、機械的にも充分な耐久力のある電磁接触器を使用することがもっとも好ましい。当社は、高圧交流電磁接触器として、油入型、および、気中型の電磁接触器を製作してきたが、今回、新たに、FN-205-OH型油入電磁接触器、および、AH-205型気中電磁接触器を開発した。

新型高圧電磁接触器は、過電流保護装置や、短絡保護装置と組合せて、一般工場・鉱山用の、巻上機、ポンプおよび、ベルトコンベヤの自動運転等の、遠方操作を必要とする用途はもちろん、産業部門全般の高圧電動機運転用として用いられる。これら接触器の試験の結果は、極めて良好な成績を得たので、その性能の一端を紹介する。

### 2. FN-205-OH 型高圧油入電磁接触器

#### ア. 定格仕様

本器は、高圧 (3,450 V) 回路に使用される油入式電磁接触器である。

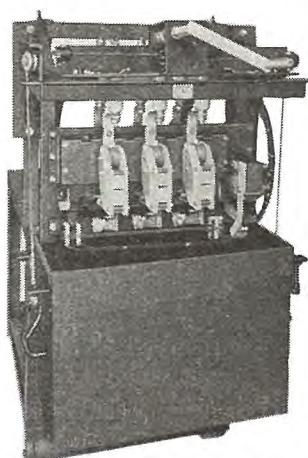
主回路……三相交流 3,450 V

定格電流 200 A

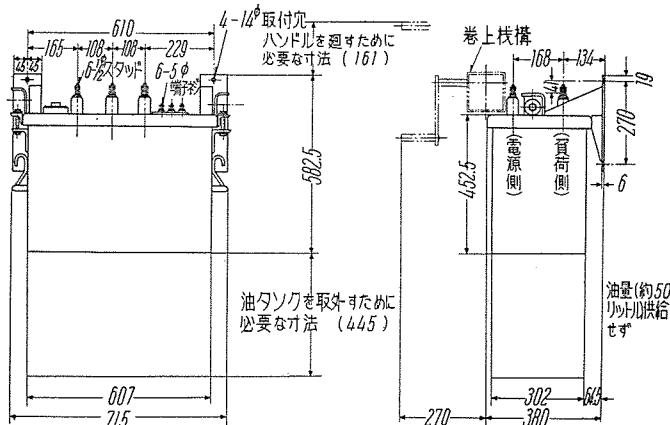
操作回路……交流 600 V 以下

#### イ. 構造

1 図は、FN-205-OH 型高圧油入電磁接触器の、油タンクを取り外した写真である。電磁接触器の本体は、鋼板製カバーの下側に堅固に取り付けられており、高圧の主回路端子は、カバーを貫通した磁器製のブッシングを通して、上部に取り出している。高圧導電部分と、アース間には、すべて充分な空隙が設けてある。操作コイルや、電気連動子用の低圧側端子も、カバー上面に端子板を設けて、他回路との接続を容易にしている。油タン

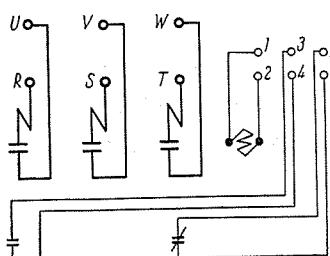


1 図 FN-205-OH 型高圧  
油入電磁接触器  
Fig. 1. Type FN-205-OH  
magnetic contactor.



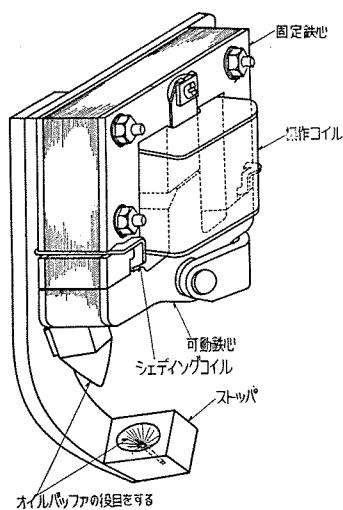
2 図 FN-205-OH 型高压油入電磁接触器、外形寸法図

Fig. 2. Outline dimensions.

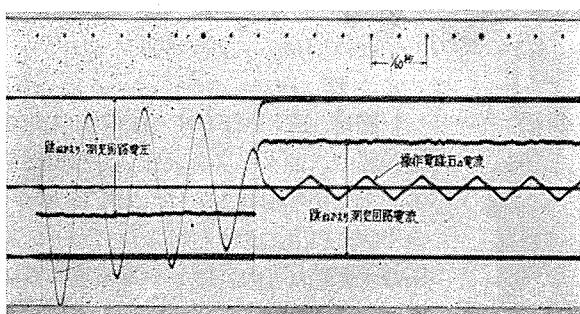


### 3 図 FN-205-OH 型 高圧油入電磁接触器 内部結線図

Fig. 3. Connection diagram.

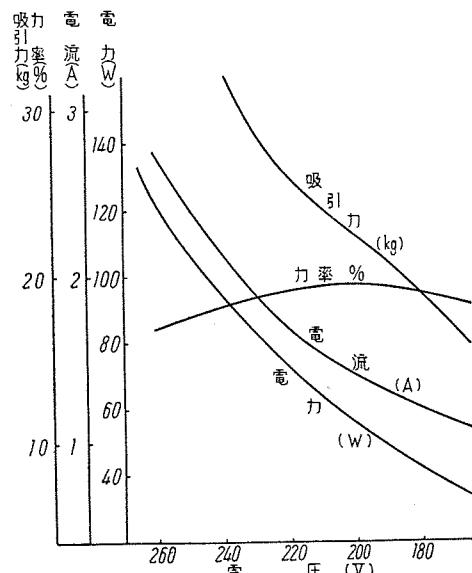


4 図 電磁石部分  
Fig. 4. Operating magnet



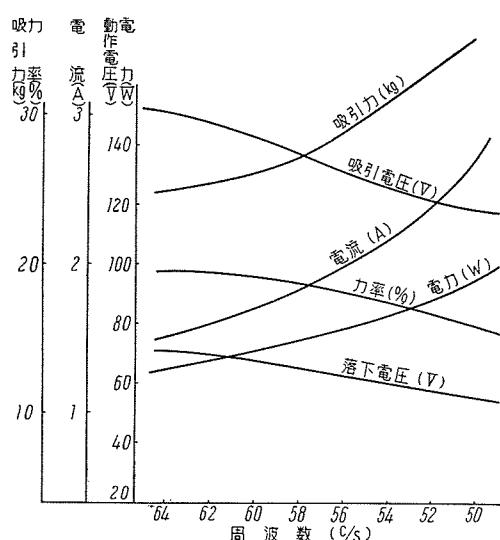
## 5 図 FN-205-OH 型高压油入電磁接触器 接触子閉合試験オッショ

Fig. 5. Bouncing test oscillogram of contactor.



## 6 図 操作電磁石の電圧変化にたいする特性の 変化 (220 V 60 c/s 用コイル)

Fig. 6. Change of characteristics of various voltage across operating coil.



7 図 操作電磁石の周波数変化にたいする特性の  
変化 (220 V 60 c/s 用コイル)

Fig. 7. Change of characteristics of various frequency across operating coil.

2 図, 3 図は、この電磁接触器の外形寸法、および、内部結線を示す。

### (1) 操作電磁石

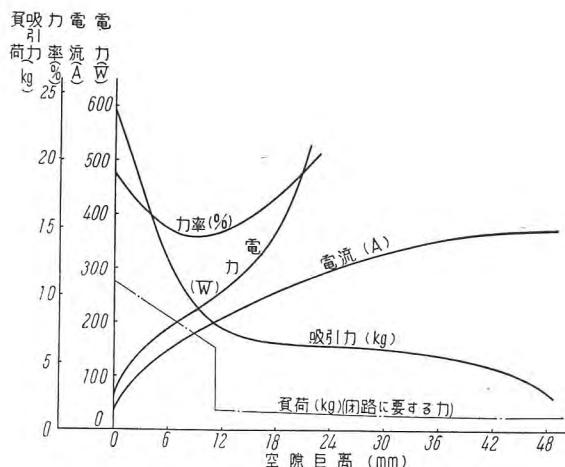
操作電磁石の構造は、4図の如く、効率のよい三脚型電磁石である。三脚電磁石の利点は、電磁石の吸引時に、可動鉄心に作用する吸引力が、空隙に働くギャッププルのほかに、電磁コイル内にある中央脚に働くソレノイドプルが加わるため、始動時吸引力が大きく、かつ、閉合時には、その力があり急激に増加しないため、接触子に加わる力も、必要以上に強い力とならず、衝撃を和らげ、接触子の跳りを防ぐことができる。

5 図は、この電磁接触器の、閉合時の跳りの実験結果

を示し、6図、7図、8図は、この電磁石の諸特性を示す。この接触器の可動部分（可動鉄心、クロスバ、可動接触子等）が落下するとき、ストップに衝突するショックを除くために、ストップには円錐形の穴を設け、可動鉄心の下側に取り付けた円錐状の金具を、その円錐穴にはめ合さるように調整して、オイルバッファの役目をさせている。

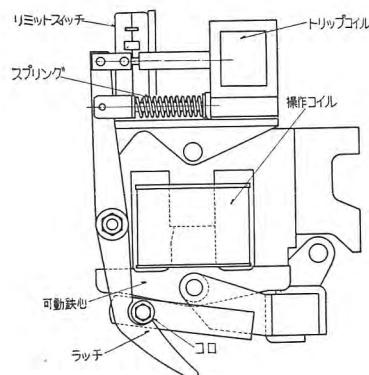
操作電磁コイルの定格は、A-C 600 V 以下で、電線は PVF 線を使用し、当社独特のサーモセッットワニスで処理してあるので、機械的に強く、充分な耐油性をもっている。

また、長時間の連続運転を行う電磁接触器で、開閉頻

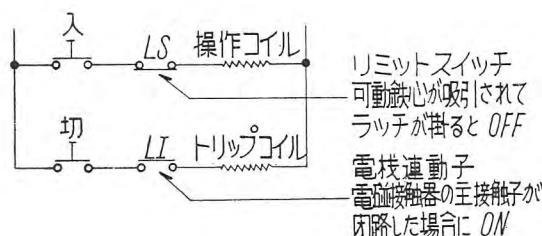


8図 操作電磁石の空隙変化にたいする特性の変化  
(220 V 60 c/s 用コイル)

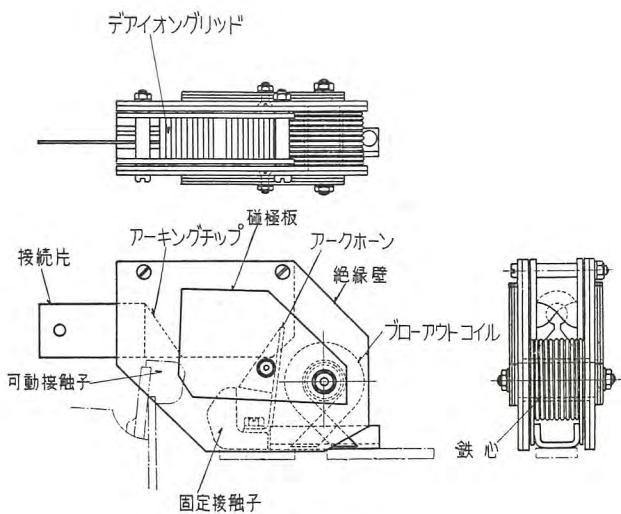
Fig. 8. Characteristics for various air gap of magnet.



9図 ラッチ機構  
Fig. 9. Latch mechanism.

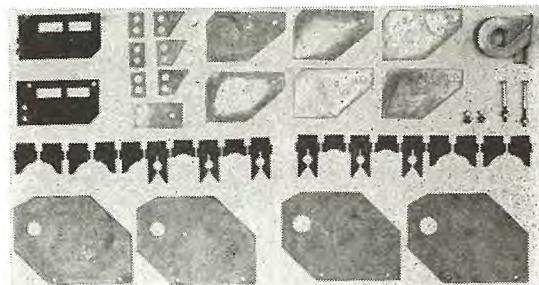


10図 ラッチ付の場合の接続図  
Fig. 10. Connection diagram of latch mechanism.



11図 消弧室

Fig. 11. Arc box.



12図 消弧室を構成する部品

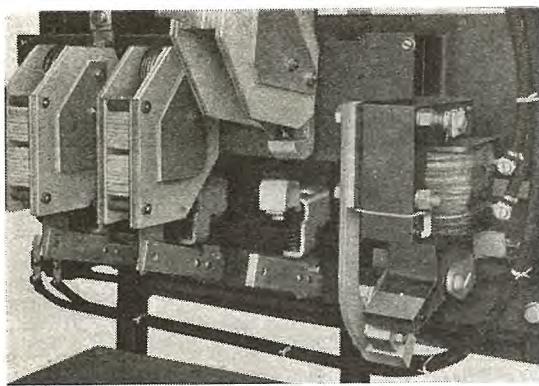
Fig. 12. Components of arc box.

度の少ないものは、電磁石の励磁中のワット損失を除く目的で、9図のような、ラッチ機構を取り付けることができる。操作電磁コイルを励磁して、可動鉄心を吸引すると、ラッチによって可動部分を保持し、同時にリミットスイッチで操作電磁コイルの励磁を絶つようになっている。接触器を開放するときは、別の引外しコイルを励磁して、ラッチを外す仕組みである。この時の接続の一例を、10図に示す。

## (2) 消弧装置

消弧室は、11図のごとく、吹消コイルと、ファイバグリッドの組合せである。接触子間に発生した電弧は、吹消コイルによって、直列に並べられた多数のデアイオングリッドに吹付けられる。電弧は、グリッドによって多数に分割され、急激に消滅する。すなわち、交流の電弧は、電流波の零の瞬間に一旦消滅するから、デアイオングリッドにより消イオン作用を有効にきかせ、再点弧を困難にしたものである。デアイオングリッドには、油中において消弧性能のよい、硬ファイバを使用する。12図は、消弧室を分解して、グリッドの詳細を示した写真である。

消弧室内のアーキングチップと、可動接触子を同電位にして、発生した電弧を可動接触子から、アーキングチップに移転し、消弧を容易にすると共に、接触子の消耗を防いでいる。可動接触子とアーキングチップは、燐青



13 図 FN-205-OH 型高圧油入電磁接触器の内部

Fig. 13. Arc box contacts and magnet.



14 図  
タンクリフタ

Fig. 14.  
Tank lifter.

銅板の特殊クリップで接続されており、それを外すことによって、簡単に消弧室を上方に押し上げて、内部を点検することができる。その状態を 13 図に示す。

### (3) 接触子部分

接触子は硬銅のブロックで、その形状は、13 図のとおりである。接触子表面には、銅・タンゲステンの焼結合金を埋込んでいる。銅・タンゲステン合金の接点は、銅接点に比べて、接触抵抗は増加するが、遮断時の溶着を防ぎ、油中での消耗や溶損が少ないので、この種の油中遮断器の接点として最適である。

また、可動接触子の質量と、接触圧力（1 箇当り 4.1 kg）の関係を適当にして、閉路における可動接触子の跳ねかえりを防止している。

なお、長期間の使用に耐えるように、接触子のオーバトラベルを大きく設計している。

### (4) 電気連動子

定格は、A-C 600 V, 5 A で、常時開、および、常時閉を、各 1 箇取付けるのを標準としている。要求によっては、計 3 箇まで取り付けることができる。

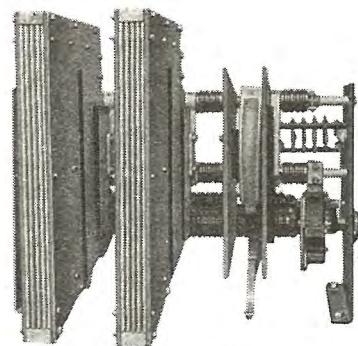
### (5) タンクリフタ

油タンク、および、絶縁油の重量は、約 90 kg であるから、油タンクの取り付け、取り外しには、14 図に示すタンクリフタを用いる。

平常は、タンクリフタは取り外しておいて、使用するときのみ、接触器のカバーに設けたピンにはめ込んで取り付ける。巻ドラムと、ねじ歯車の組合せで、容易に油タンクを上下することができる。

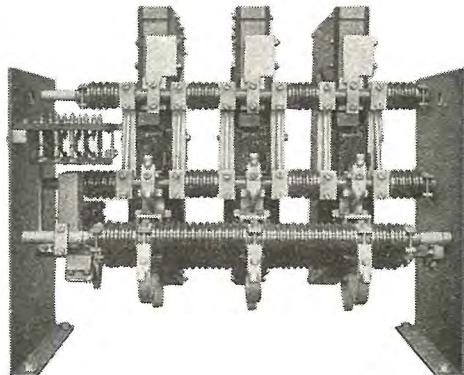
## 3. AH-205 型高圧気中電磁接触器

### ア. 定格仕様



15 図 AH-205 型高圧電磁接触器  
(一極の消弧箱を取除いたところ)

Fig. 15. Type AH-205 air break contactor with the arc box removed.



16 図 AH-205 型高圧電磁接触器  
(裏面よりみたところ)

Fig. 16. Type AH-205 air break contactor.

本器は、高圧 (3,450 V) 回路に使用される気中式電磁接触器である。

主回路……

三相交流 3,450 V

定格電流は 200 A であるが、電動機の容量によって、吹消コイルを 1 表のように選定する。

操作回路……

操作回路の電圧は 600 V 以下であって、電気連動子 LI-850 を備えている。この電流定格は 5 A である。

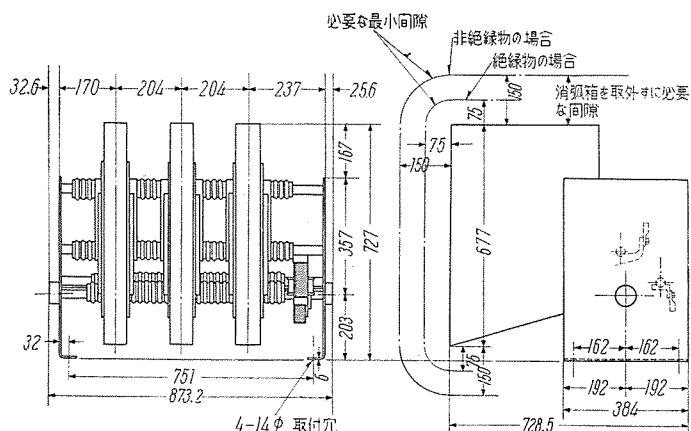
### イ. 構造

#### (1) 全体の構造

15 図、16 図、17 図に示すように、構造用鋼材のフレームに取り付けられるよう、両側に 2 枚の取付板があり、その間に 3 本の取付棒と、1 本の可動軸が設けられ、この取付棒と軸に、各極の接触子部分が取り付けられ、マイカルタと、碍管とによって、おのおのは絶縁されている。各極はそれぞれ容易に取り外しできるようになった消弧室を備えている。

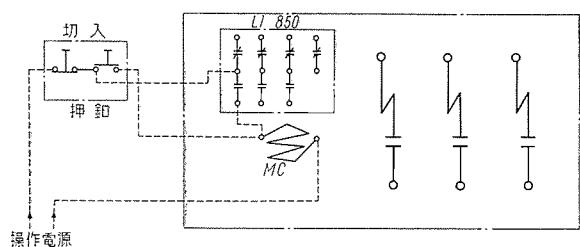
#### (2) 消弧機構

19 図に示すように、消弧室は約 90° の開き角度をもった招弧角があり、その間に引き伸ばされた電弧を分割するため、数枚のアスベストセメント板を備えている。



17 図 AH-205 型高圧気中電磁接触器、外形寸法図

Fig. 17. Outline dimensions.



18 図 AH-205 型高圧気中電磁接触器、接続図

Fig. 18. Connection diagram.

消弧室は掛金によって、電源側招弧角（取付棒に取り付けられている）に、引掛けであるので、可動接触子と負荷側招弧角との間のシャントを取り外すことにより、消弧室は容易に取り外すことができ、保守点検は極めて容易である。

また、電弧が生じたときに、電流が流れる吹消コイルと消弧室内に有効に磁場を作るための、鉄心と磁極板とが取付棒に取り付けられている。

接触子が開き電弧が生ずると、電流が非常に少いとき（約 10 A 以下）には直ちに（1/2 c/s 以内）電弧は消滅してしまうが、電流がある程度大きいときには、電弧は接触子上では消滅せず、数 c/s 以内に（電流が大きいときは 1 c/s 以内）招弧角に転移する。電弧が招弧角に転移すると、電流は招弧角を経て、吹消コイルに流れることとなり、磁極板によって消弧室内に強力な磁場ができる。この磁場によって電弧は引き伸ばされ、消弧板群（アスベストセメント板）の内に引き入れられ、消弧板によって電弧は分割されると共に、冷却、消イオンされ、有効に消弧される。

1 表 吹消コイル定格と最高適用電動機容量との関係  
電圧 3,000～3,300 V

吹消コイル 定格 (A)	巻数	電動機容量 (HP)		
		同期機		
		100% (PF)	80% (PF)	感導機
200	6	1,250	1,000	1,000
100	12	625	500	500
60	15	375	300	300

交流高圧電磁接触器・篠崎・奥島・吉田

接触子が閉じているときは、吹消コイルには電流が流れないので、吹消コイルで消費される電力損失はない。

また、吹消コイルは使用電動機の容量によって、3種類あり、1表に従って選定する。

### (3) 接触子開閉機構

可動軸の上に可動接触子が取り付けられ、可動軸は正面より向って右側にある電磁石機構によって、約 20° 回転する。電磁石は FN-205-OH 型と同じもので、自動整合する E 型鉄心である。

可動軸の軸受けにはボールベアリングを使用し、開閉動作は極めて軽く、滑らかで確実である。

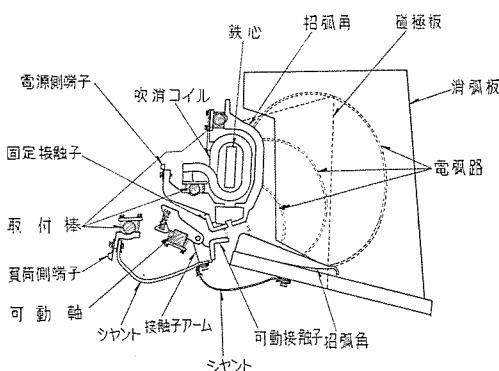
可動接触子を受けている接触子アームは、閉路の際の跳りを少くするように、とくに軽い金属を使用し、また、接触子は回転滑動するようになっており、接点の材質は銀・タングステン合金を銅の台金に貼り付けている。

以上のような構造機構、ならびに、材料を採用しているので、遮断容量は大きく、閉路の際の溶着もなく、接点の消耗は少く、したがって寿命が長く、信頼性が高く、操作の頻繁な用途に対してとくに適切である。

### (4) その他

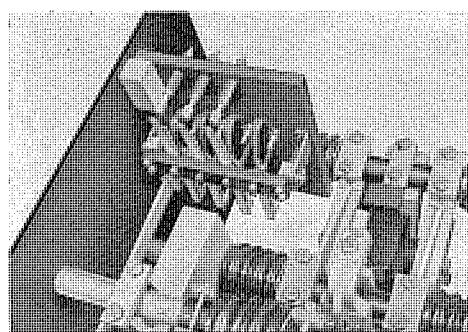
電気連動子 (LI-850 型)……

20 図に示すように、電磁石機構部分の上部に取り付けられ、可動軸よりのリンク機構によって、天秤式に接点



19 図 AH-205 型高圧気中電磁接触器の接触子  
ならびに消弧室部分

Fig. 19. Contact and arc box of Type AH-205 air-break contactor.



20 図 LI-850 型電気連動子  
Fig. 20. Type LI-850 electrical interlock.

が開閉する機構で、18 図の接続図のように 3 箇の单極双投、および、1 箇の单極单投（常時閉）の接点をもっている。接点は銀を使用しているので、信頼性高く、寿命が長い。

機械連動子（MI-90 型）……

電動機を正転、逆転させるようなときには、可逆式とするが、2 台の電磁接触器は同時に閉路しないように、機械連動子（MI-90 型）を取り付ける。

#### 4. 試験基準、および、試験結果

新型電磁接触器の性能を決定する試験に当り、準拠すべき規格が未制定であるため、日本電機工業会低圧電磁接触器規格 JEM-1038 を参考として試験した。

##### ア. 動作性能

###### (1) 最低動作電圧

この電磁接触器の操作回路電圧は 600 V 以下で、一般には 220 V, 60 c/s, または、200 V, 50 c/s, であるが、電圧が低下したとき、接触器が確実に動作し得る電圧の許容範囲の最低値は、定格電圧の 85 % である。この電圧は周波数の変化のあるときには、その周波数の変化する量によっても相違する。この最低動作電圧を余り低くすると、定格電圧時における機械的衝撃が大となるので、寿命を短くするおそれがあり、また、接触子の跳りが大きくなる悪影響があり、工作上の不同を考慮して幾分余裕のある値（75~85 %）としてある。

###### (2) 释放電圧

これは接触器を閉路したまま、操作電圧を徐々に下げ、開路する時の電圧で、電磁石が残留磁気のために開路不能となることを防ぐ意味で、確める必要のある特性の一つで、本器の場合は定格電圧の約 35 % である。

###### (3) 励磁電流

電磁石の励磁電流は最初突入電流（約 3,000~3,300 V A）が流れ、電磁石が密着すると約 1/10（約 300~350 V A）に減少する。この値は操作回路の電源変圧器等の容量を決めるのに必要で、一般に操作変圧器は突入電流の 25 % 以上の定格容量のものを使用する。

###### (4) 閉路時間、および、開路時間

閉路時間とは操作コイルに電流が流れ始めてから、接触子が接触する迄の時間で、FN-205-OH 型の場合、3~3.5 c/s, AH-205 型の場合、4~5 c/s である。

開路時間とは操作コイルの電流が切れてから、接触子が開き始める迄の時間で 1~1.5 c/s である。

これらの値は他の機器との動作協調を考慮する場合、必要となることがある。

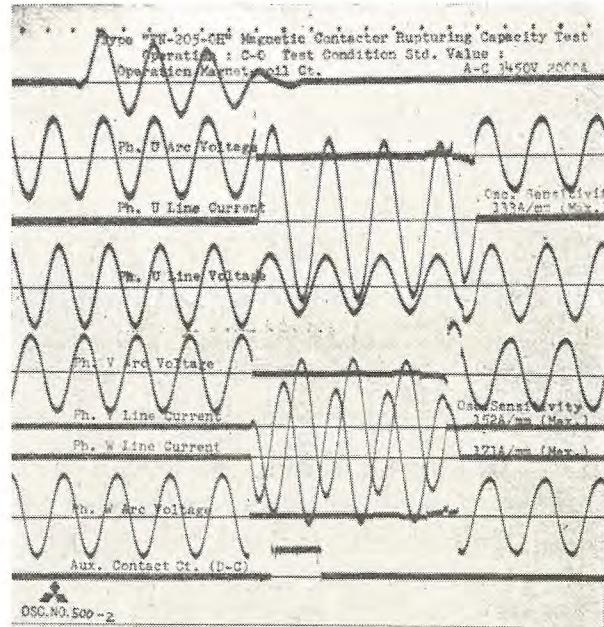
##### イ. 遮断容量試験

電磁接触器は回路の短絡電流を遮断するものではなく制御上必要な電流を比較的頻繁に開閉するもので、電動機起動用としては JEM-1038 によれば、A 級接触器の遮断容量は定格電圧、および、力率 0.4 以下において、定格電流の 10 倍を CO-15 秒-CO-15 秒-CO-15 秒-CO-

15 秒-CO の標準動作責務で、遮断し支障なきこととしてある。

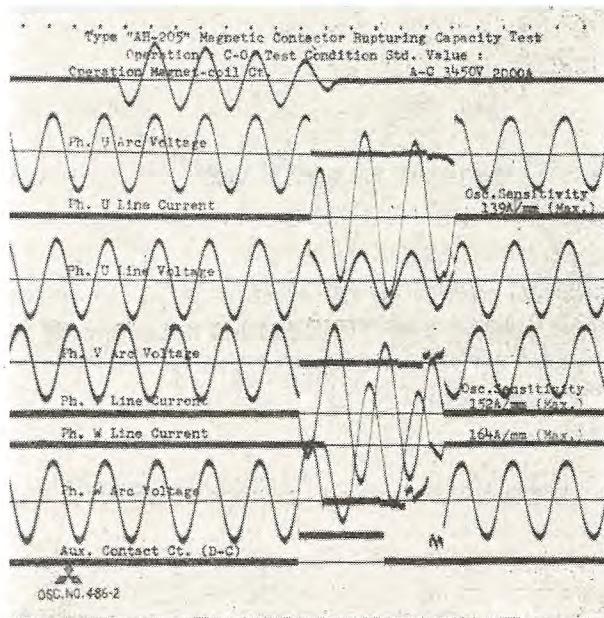
高圧回路では故障による被害は極めて苛酷であるから電動機の起動用としても、確実な性能の接触器を使用することが必要である。FN-205-OH 型では JEM-1038 による A 級、すなわち定格電流の 10 倍（2,000 A）の遮断容量であり、AH-205 型では定格電流の 25 倍（5,000 A）の遮断容量をもっている。

21 図は FN-205-OH 型の 2,000 A, 遮断試験（CO）



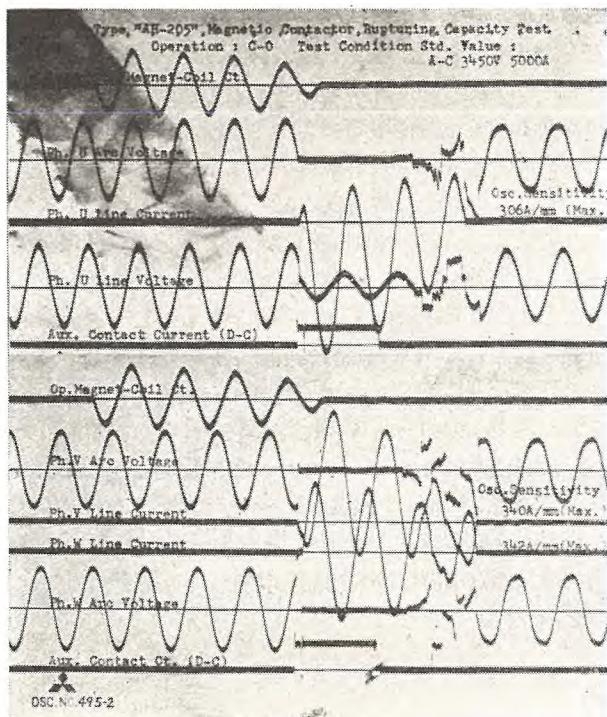
21 図 FN-205-OH 型高圧油入電磁接触器、遮断試験オッショロ

Fig. 21. Type FN-205-OH magnetic contactor rupturing capacity tests.



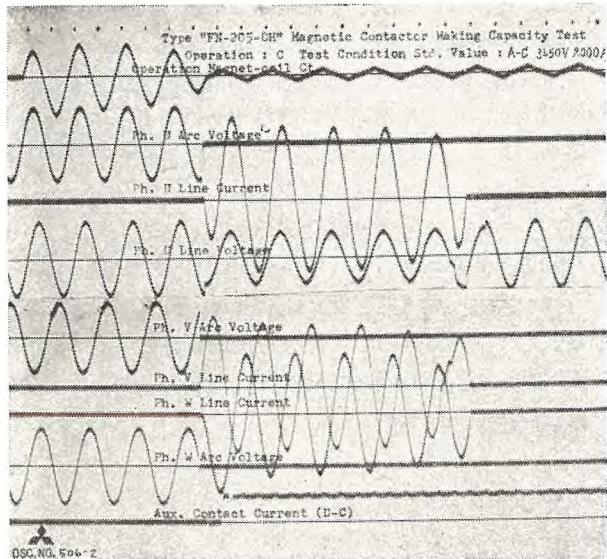
22 図 AH-205 型高圧気中電磁接触器、遮断試験オッショロ 2,000 A C-O

Fig. 22. Type AH-205 air break contactor rupturing capacity tests 2,000 A C-O.



23 図 AH-205 型高圧気中電磁接触器、遮断試験オッショロ 5,000 A C-O.

Fig. 23. Type AH-205 air break contactor rupturing capacity tests 5,000 A C-O.



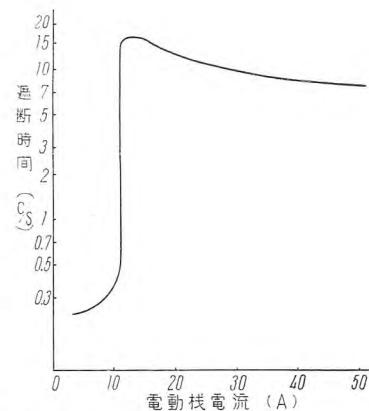
24 図 FN-205-OH 型高圧油入電磁接触器、投入試験オッショロ

Fig. 24. Type FN-205-OH magnetic contactor making capacity tests.

のオッショログラムを示す。また、22 図、23 図は AH-205 型の 2,000 A、および、5,000 A の遮断試験 (CO) のオッショログラムを示す。この試験には 1,000 A 定格の吹消コイルを使用したが、定格電流の 6 倍、すなわち 600 A における遮断試験も行ったが、遮断時間は 3~4 c/s であった。

なお、短絡保護装置の動作と協調するために考慮する必要のある、1 秒短時間電流容量はそれぞれ 4,600 A で

交流高圧電磁接触器・篠崎・奥島・吉田



25 図 AH-205 気中式高圧電磁接触器、電動機負荷 (75 HP) の遮断時間

Fig. 25. Clearing time for motor load (75 HP) type AH-205 air break contactor.

ある。

#### ウ. 閉路電流容量試験

接触器は投入時の接触子の跳ね返りのために、溶着事故を生じ易い。JEM-1038 によれば、A 級接触器は定格電流の 10 倍 (2,000 A) 以上を約 2 秒の間隔で 100 回閉路動作を繰り返して支障があつてはならない。この試験は規定どおりに行ったが、接触子の跳りも、ほとんど認められず、溶着も起らず、良好な成績であった。

24 図は FN-205-OH 型の 2,000 A の閉路電流容量試験のオッショログラムを示す。

#### エ. AH-205 型電磁接触器の電動機負荷の遮断時間

巻線型誘導電動機、8 極、75 HP を負荷とし、電動機電流を電動機の負荷を調整することにより変化させて、各電流に対する遮断時間を測定した。(本試験に使用した吹消コイルは 100 A 定格のものである。)

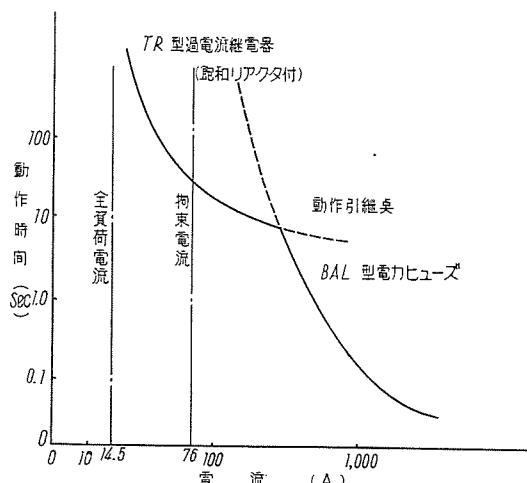
試験結果は 25 図に示すようである。

約 10 A 以下のところでは、電弧は招弧角に転移することなく、1/2 c/s 以内に消弧されるが、約 10 A を超えると、電弧は接触子上では消弧されず、招弧角に転移し、吹消コイルに電流が流れ、発生した磁場によって電弧は引き伸ばされ、消弧板により冷却され消弧される。そして、約 20 A 位迄の電流のときは、消弧されるまでに十数 c/s かかる。電流が増加するに従って電弧の駆動力は増大し、したがって電弧時間は次第に短くなる。そして、拘束電流では 7 c/s 位となる。

比較的小容量の電動機負荷の場合、一般に数 c/s ないし十数 c/s の電弧時間があることを考慮して使用する必要がある。とくに可逆式の場合には、この点充分考慮しなければならない。

#### 5. 電力ヒューズ、および、過電流継電器等の動作特性の協調

本器は電動機の起動器として使用するとき、一般に適当な過電流継電器を使用し、電動機が過負荷になったとき、電動機を電源より開放して保護しなければならない。



26 図 電力ヒューズと過電流继電器との動作協調  
Fig. 26. Characteristics of cooperation between power fuse and thermal relay.

また、電動機の巻線間で層間短絡が起きたとき、または、電動機端子間等で、短絡事故が起きたとき、この故障を電源に波及させることのないように、いち早く故障回路を電源より切り放す必要がある。

電動機の過負荷電流より短絡電流までの全範囲の電流に対して、最も効果的に安全に、かつ、経済的に保護するためには、過電流继電器、電力ヒューズ等の定格の選定、あるいは特性の選定には、充分考慮する必要がある。

動作特性の協調は、次の点を満足するように選定することが望ましい。

(1) 電動機の持続的過負荷電流より、拘束電流までの電流は過負荷保護继電器によって電動機を保護する。

(2) 過負荷保護继電器は上記の電流を適切な時間内に開放することによって、ヒューズを溶断および、劣化しないよう保護する。

(3) ヒューズの定格を適当に選定することによって電動機の起動の際の起動電流による溶断および、劣化のないようにする。

(4) 電動機巻線の短絡、あるいは、回路短絡による

故障電流に対して、過負荷保護继電器(主として加熱子)を保護する。

(5) 上記故障電流が電磁接触器の遮断容量以内の場合はなるべく電磁接触器によって遮断し、回路を保護すると共に、ヒューズの溶断を少くする。

(6) これ以上の故障電流に対しては、ヒューズによって遮断し、回路、電磁接触器、および、過負荷保護继電器等を保護する。

26 図は 75 HP のカゴ形誘導電動機に対し、過負荷保護继電器として TR 型熱動過電流继電器、電力ヒューズとして BAL 型ヒューズ (75 A) を使用した場合の選定の一例で、電力ヒューズは起動電流によって溶断、あるいは劣化することのないよう、ある程度大きな定格のものを選定し、なお、電動機の過負荷電流より短絡電流に至る電流範囲全体に亘って、確実な保護をするように、過負荷保護继電器は適当な飽和特性をもった飽和リアクタを取り付けている。

## 6. む す び

新型高圧電磁接触器は従来の製品に比し、種々の点で優れた性能を持っている。油入式電磁接触器は気中式に比較して、接触子の消耗が多いのは開路時に電弧による絶縁油の分解ガスで接触子が包まれ、高温にさらされるためで、耐弧性の接触子を使用しているといえ、気中式と同一の頻繁度で使用することは好ましくなく、油入式は 1 時間 10 回以下の起動操作の用途に使用することを推奨する。とくに用途上腐食性ガスのあるところとか埃の多いところ、湿気のあるところには油密のタンクを備えているので、油入式が有利である。

これらの電磁接触器は開放型のパネルやキュービクル型の箱等に取り付けられ、短絡保護用の BAL 型高圧ヒューズや過電流继電器と共に組合せて、高圧電動機の起動盤として用いられるが、充分な遮断開路容量をもち、故障保護、過負荷保護の完備した起動器として、面目を一新し得たものと確信する。

# 電車用空気圧縮電動機の直列抵抗切換装置

伊丹製作所

待 鳥 正\*

## Series Resistance Short Circuiting Relays for Compressor Motors

Tadashi MACHITORI

Itami Works

There are still many electric railways where cars are running across two sections having different trolling voltages. Problems, then, arise about the operation of compressor motors of air brake equipment. To employ two compressor units and change-over them in series and parallel is one method. Inserting resistance in series with the driving motor and short-circuiting it when operated at lower voltage is another solution. Taking up the latter method and performing it automatically, short-circuiting relays have been completed with protection against power interruption.

### 1. まえがき

2種の架線電圧区間（たとえば 600 V, 1,500 V）にわたって運転されている電車がわが国ではまだかなりある。

この種の電車では従来から空気圧縮電動機をいかに合理的に運転するかが問題となっていた。すなわち、2箇の空気圧縮電動機を使用して、それを直列、並列に切換える方法あるいは直列抵抗を挿入して低電圧区間でそれを短絡する方法等いろいろ考えられてきたが、いずれも、これらを自動的に行う為には相当複雑な装置を要するし、手動では万一危険なこともあります。

そのような訳で、今なお高電圧区間で正常動作する状態に固定し、低電圧区間で動作が若干にぶるのは止むをえないとしている場合が相当あるようである。

これの解決策として、ここに述べようとする装置は、空気圧縮電動機につねに直列抵抗を挿入しておいて、低電圧区間でのみこれを自動的に短絡する極めて簡単なものである。

### 2. 本装置に要求される重要な条件

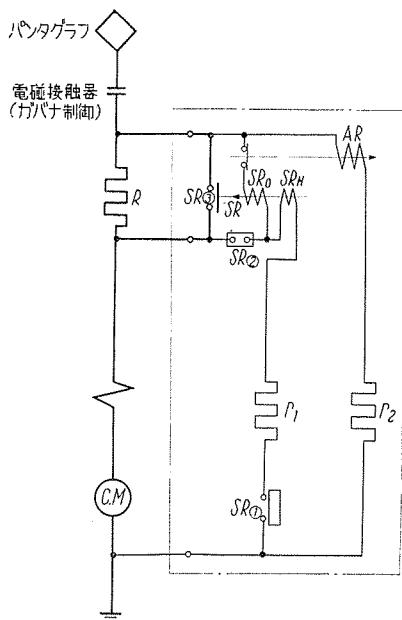
本装置に要求される最も重要な条件は、空気圧縮電動機が常に安全側になくてはならない、ということである。ただ単に、低電圧区間では電圧をそのまま印加し、高電圧区間では直列抵抗を挿入して運転するだけならば常時閉の電磁接触器を1箇使用して、常時直列抵抗を短絡して

おき、高電圧が加わった時にそれが動作して直列抵抗が挿入されるようにすれば事は済むのであるが、これでは、空気圧縮電動機は安全側にないことになる。すなわち、電磁接触器には必ず dead time があるから、高電圧が、加わった時電動機閉絡等の危険が生ずるのである。

したがって本装置では必ず常時直列抵抗挿入の状態においておき、低電圧が印加されて始めてそれを短絡するようにしなくてはならない。

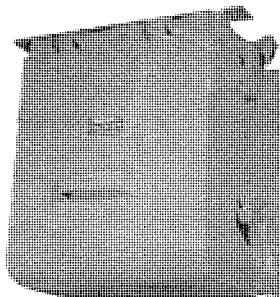
しかるにこのためには、電磁接触器を低電圧では動作させ、高電圧では動作させぬようにする必要がある訳で、普通はこのようなことは不可能である。そこでどうしても補助機器を使ってこの目的を果さなければならないのであるが、僅かの機器で簡単にこれを行うのは、なかなか容易なことではない。たとえばサイラトロンを使用してバイアスを逆にかける方法など考えられることであるが、異なる2種の架線電圧区間といつても、架線電圧はつねに変動するものであるから、バラツキの多いサイラトロンの特性、特性の経時変化等によって確実な動作はなかなか得られぬ上、織糸を加熱するための補助電源を必要とするなどいろいろな障壁につき当る。

本稿に述べる本装置は一切の補助電源を要せず、補助機器として1箇の繼電器を用い、架線電圧の変動その他電車で起り得るあらゆる場合の条件のもとで確実に動作するものである。



1図 結線図

Fig. 1. Connection diagram of series resistance short-circuiting relay.



2図 電磁接触器

Fig. 2. Appearance of resistance short circuiting relay.

### 3. 回路ならびに構成

本装置を適用した回路を1図に示す。鎖線で囲んだ部分が本装置である。使用してある器具としては図に示すように、電磁接触器（運動補助接点付常時開および常時閉）1箇、補助継電器（常時閉）1箇とそれぞれのコイルのための直列抵抗各1組だけであって、特殊な器具は全々使用していない。

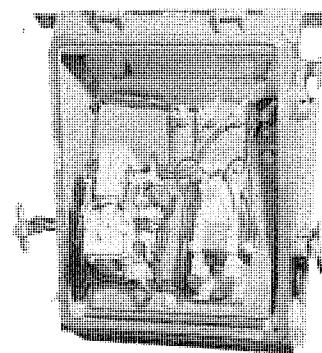
2図、3図および4図に本装置の外観を示す。

### 4. 動作原理

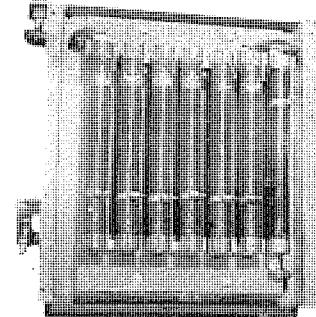
便宜上2種類の架線電圧を、600V, 1,500Vとし、1図について本装置の動作原理を説明する。

補助継電器ARは、架線電圧が850V以上にならないと動作せぬように直列抵抗 $r_2$ を選んでおり、かつこの回路の時定数は、電磁接触器SRの回路に比して小さくとてあるので、動作は迅速である。

直列抵抗短絡用電磁接触器SRは、運動補助接点子（常



3図 補助継電器  
Fig. 3. Interior view of relay.

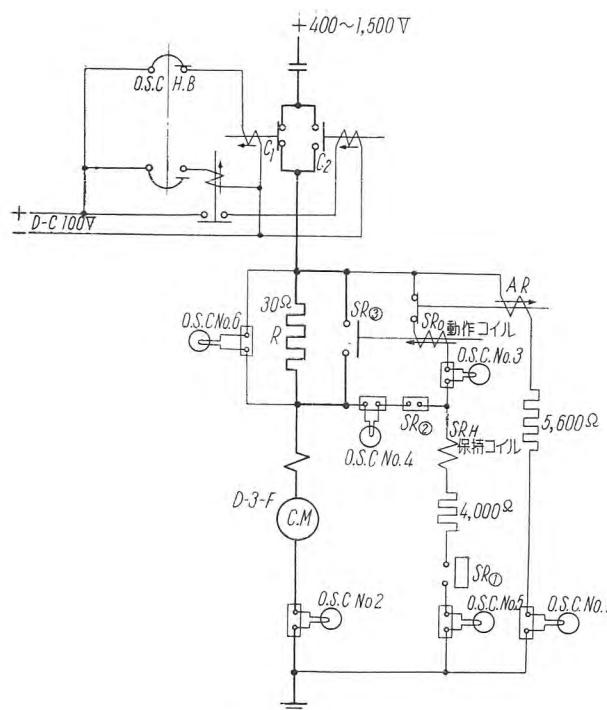


4図 直列抵抗器  
Fig. 4. Series resistance.

時開） $SR_{①}$ 、同じく（常時閉） $SR_{②}$ および主接点子 $SR_{③}$ を持っており、かつ $SR_{①} \rightarrow SR_{②} \rightarrow SR_{③}$ の順に動作するようになっている。

いま空気圧縮電動機が停止の状態で、パンタグラフに1,500Vの電圧がかかったとすると、空気圧縮電動機の自己インダクタンスのため、電流は抑制され、直列抵抗Rの両端の電圧は徐々に立上るようになる。

直列抵抗R短絡用の電磁接触器SRの動作コイル $SR_0$ はこの電圧を拾っているがこれが徐々に立上るため、SRが動作するに至らぬ中に、ARがいち早く動作して、 $SR_0$ の回路を切るので、空気圧縮電動機は直列抵抗Rを挿入したまま運転されることになる。つぎに空気圧縮電動機が停止の状態でパンタグラフに600Vの電圧がかかったとすると、上記と同じ理由でRの両端の電圧は徐々に立上るけれども、ARが動作しないから、やがてその電圧が $SR_0$ の動作電圧値に達した時SRは動作する。同時に $SR_{②}$ が開くけれども、その前に $SR_{①}$ が接觸するのでSRは $SR_0$ と $SR_{①}$ コイルによって保持される。したがって空気圧縮電動機は直列抵抗を短絡して運転されることになる。以上いずれの場合でも電源が断たれれば直ちに1図の状態にもどり再び電源が投入されれば上記の動作が行われる。この場合、パンタグラフの躍り等により、電源の遮断投入が非常に急速に繰返えされるような時は空気圧縮電動機がまだ惰性で空転している中に電源が投入される機会がもちろん生ずる訳である。この時は反起電力が最初から大きな値を持つのでいわゆる尖頭電流は小さくなるけれども、架線電圧が600Vの時でもなおかつその値以下でSRが動作するように $SR_0$ の動



5 図 試験回路

Fig. 5. Test circuit of resistance short circuiting equipment.

作電圧を選定してあるし 1,500 V の時は当然 SR 動作以前に AR の動作する効果がより一層大きくなるから、このような場合でも本装置はなんら支障なく動作する。

## 5. 試験

### ア. 試験回路

5 図の回路によって電磁オシログラフを撮影した。

### イ. 使用機器

供試空気圧縮電動機……当社製 D-3-F 型, C.M.  
直列抵抗……30 Ω R.

補助機器……電磁接触器 2 箇, 繼電器 1 箇, 高速度スイッチ 1 箇 (オシログラフ連動)  
O.S.C. H.B.

### ウ. 電磁オシログラフ

### ウ. 試験項目および方法

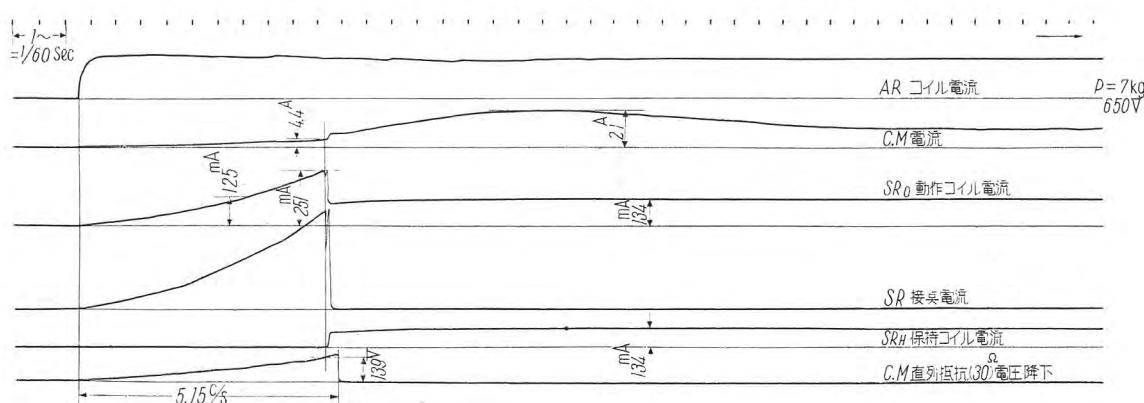
#### (1) 停止→起動

空気圧縮電動機が完全に停止している状態から電源を投入した。

電源電圧は 650 V, 1,500 V である。

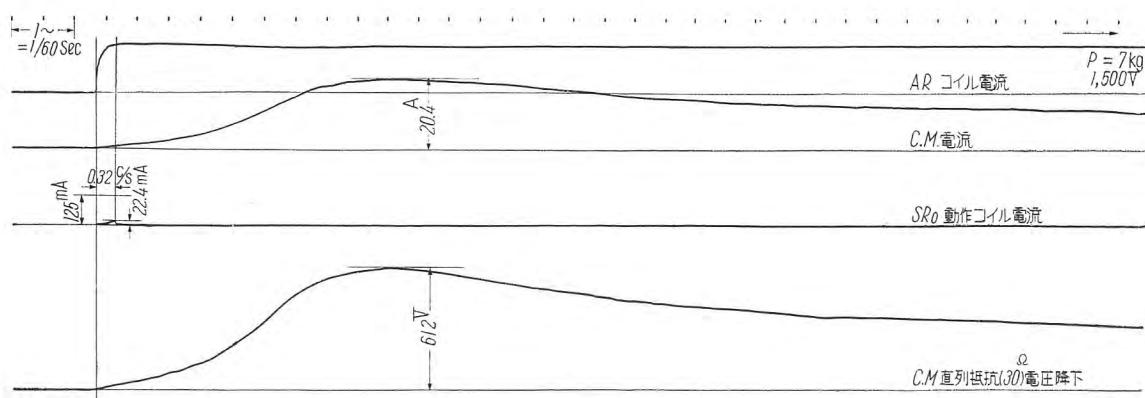
5 図でスイッチ S を投入して撮影した。

#### (2) 回転中電源開後直ぐ投入



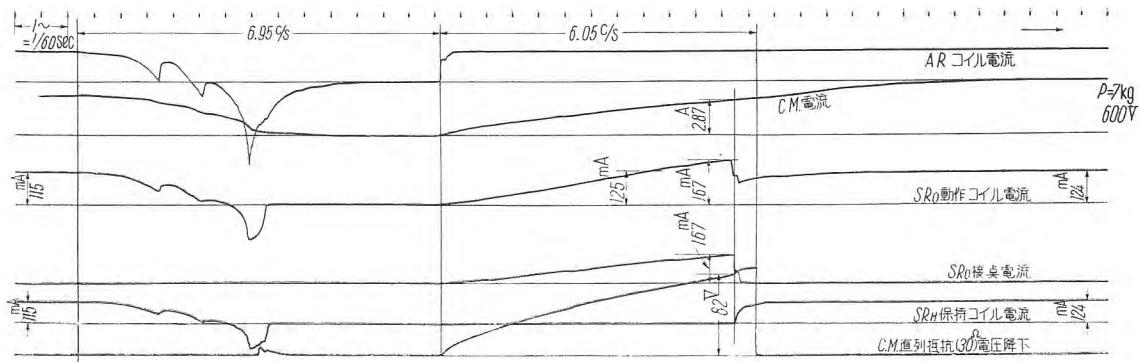
6 図 空気圧縮電動機用直列抵抗切換装置試験 停止→起動

Fig. 6. Test on series resistance short circuiting equipment of air compressor motor. Stop→Start.

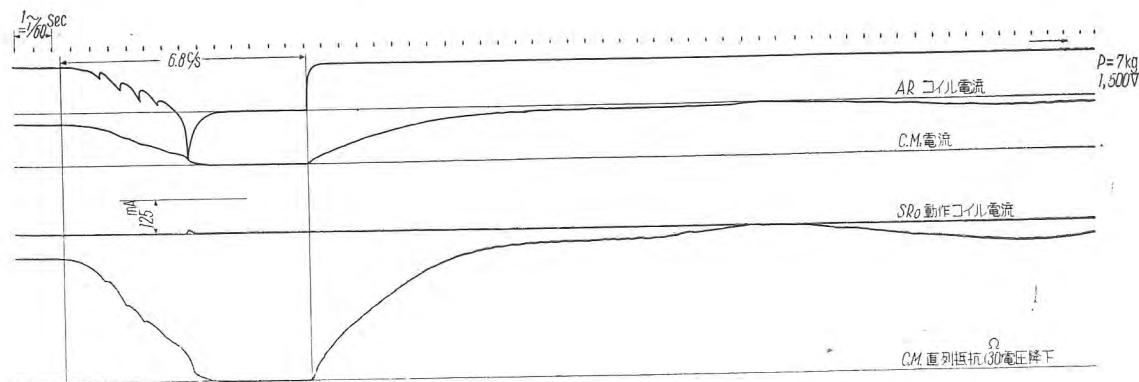


7 図 空気圧縮電動機用直列抵抗切換装置試験 停止→起動

Fig. 7. Test on series resistance short circuiting equipment of air compressor motor. Stop→Start



8 図 空気圧縮電動機用直列抵抗切換装置試験、回転中電源開後直ぐ投入(パンタ躍りの状態)  
Fig. 8. Test on series resistance short circuiting equipment (Switch is thrown in immediately after opened).



9 図 空気圧縮電動機用直列抵抗切換装置試験、回転中電源開後直ぐ投入(パンタ躍り状態)  
Fig. 9. Test on series resistance short circuiting equipment (Switch is thrown in immediately after opened).

空気圧縮電動機を運転中電源を遮断し、惰性によってまだ回転している中に再び電源を投入した。

電源電圧は 600 V、および 1,500 V である。

5 図でオシログラフのシャッターと高速度スイッチ(O. S. C. H. B.)を連動せしめて撮影した。すなわち、*HB* が動作すれば、電磁接触器 *C*<sub>1</sub> のコイルが消勢されて電源を開く。同時に継電器 *G* が付勢されて接点が閉じれば電磁接触器 *C*<sub>2</sub> が付勢されて再び電源が投入される。

(1) (2) いずれの場合も空気溜の圧力は 7 kg/cm<sup>2</sup> とした。

## エ. 試験結果

6 図～9 図に撮影したオシログラムを示す。

これらのオシログラムから試験結果を示せば1表のようになる。

電磁接触器 *SR* が動作はじめ、その連動接触子 *SR*<sub>1</sub> が閉じるに要する *SR* の動作コイル *SR*<sub>0</sub> の最低電流は 125 mA となっているので、表およびオシログラムからあきらかかなように、600 V の時は必ず *SR* が動作して直列抵抗を短絡し、1,500 V の時は絶対に *SR* を動作せず、直列抵抗投入のままで運転されている。

1表 試験結果一覧

試験項目	電源電圧 V	空気溜圧力 kg/cm <sup>2</sup>	<i>SR</i> (1)接觸時における <i>SR</i> <sub>0</sub> 動作コイル電流 mA	同左時直列抵抗電圧降下 V	電源投入から直列抵抗短絡までの時間 c/s	電源投入から <i>AR</i> 接点開離までの時間 c/s	<i>SR</i> <sub>0</sub> 動作コイルの最大電流 mA
停止→起動	650 1,500	7 7	251 167	139 82	5.15 6.05	0.32 0	22.4 0
回転→電源開後直ぐ投入	600 1,500	7 7					

## 6. むすび

以上述べてきたように、本装置は高低 2 種の電圧区間にわたって空気圧縮電動機を運転する場合に直列に抵抗を挿入しておいて、低電圧区間でのみそれを短絡し、しかも一辺電源が断たれれば直ちに元の状態に復するのであるから、各機器はねに安全側にあり、空気圧縮電動機開閉等の危険が絶対にない。

さらに本稿には示さなかったけれども、供試した本装置でさるに種々の電圧、空気溜圧力のもとにおいて試験を行った結果、空気溜圧力 0～7 kg/cm<sup>2</sup> 電源電圧 400～1,600 V の範囲内においてなんら支障なく動作することが確かめられた。したがって、相当架線電圧の変動する電車線においても絶対安全に運転され得るものと信ずる次第である。

本装置の試作、試験にあたり、種々ご指導とご協力を賜った近畿日本鉄道に厚く感謝してこの稿を終る。

# 屋外用重電機器の耐候性塗装

(ウェザーコート)

伊丹製作所

鮫島莊太\*

## Weather Resistant Coating of Outdoor Electric Apparatus

\* Sota SAMEJIMA

Itami Works

The coating of outdoor electric apparatus needs high resistance against severe corrosive atmosphere. It has been the common practice to apply oil paint in spite of its many defects of hardness, drying property and luster. To obviate the defects and increase the weather resistance, new painting called "weather coat" has been newly introduced. It is a modification of "coastal finish" invented by Westinghouse and has proved excellent through tests.

### 1. まえがき

屋外重電機の保護防食には主として塗装が用いられているが、従来は油性調合ペイントが主体であった。調合ペイントは耐候性もかなりよく塗装法も簡単でかつ安価という長所を持っているが、乾燥が遅く塗膜が軟く光沢に乏しく色が不鮮明で外観の劣化が早いという欠点がある。最近合成樹脂の著しい発達によりこれを展色剤とした新しい塗料が続々と商品化されているが、耐候性価格の点から屋外使用耐候性塗料としてはアルキッド樹脂が最も広く使用されている。アルキッド樹脂は硝化錠塗料に次で早くから塗料化され、かつ他の合成樹脂の塗料化の際に混入されて多量に使用されている。このアルキッド樹脂を展色剤とし、下塗塗料の場合は強度の防錆性を有する顔料を使用し、また中塗塗料の場合は水分腐食ガスの透過性の少いマイカ粉を顔料とした塗料が当社の技術提携会社である Westinghouse 電機会社(以下 W 社と略す)で配電用変圧器の塗装に "Coastal Finish" として 1950 年から使用され、良い成績をあげている。当社においても新しい塗料の発達に伴い標準塗装仕様の設定の必要に迫られていたので W 社の "Coastal Finish" を屋外使用重電機の耐候性塗装として当社の作業条件に合せて取入れ、ウェザーコートと名付けた。これらの試作品について試験した結果優秀な成績を示したので、現在主な屋外使用機器の塗装に適用している。以下に屋外使用重電機に対する塗装の必要な性質より述べてウェザーコートの機能を説明する。

### 2. 機器塗装の目的

#### ア. 防 食

重電機の耐用年限は一般に 20~30 年である。その間容器や部品の腐食により機器の機能を害するような事故があつてはならぬ。それ故に防食は塗装の第一の主要目的である。

#### イ. 装 飾

近年色彩調節の理論および応用が盛んになり、発電所変電所の設備は色彩調節を施されるようになった。それ故機器の外観も重要視されるので最初の色彩が長年の間著しい変化のないことを要する。すなわち塗装色および光沢等の耐候性も必要となる。

### 3. 機器塗装の必要条件

上記の塗装の目的を達成する塗装の必要条件を列挙すれば下記のようになる。主として鋼上の塗装について述べる。

#### ア. 塗料の密着力を増し、防錆効果のある素地処理

一般機器の主要構成材料は銅系金属で外部に暴露される部分はほとんど鋼である。一般的な鋼材は黒皮の緻密な膜に覆われて工場に入荷し、加工される前の貯蔵中に一部風化されて赤錆となる。この上に塗装すれば錆自体と素地との密着が弱く、またその中に含まれる水分のために錆の進展が起る。また外部より透過してきた水分、ガスと反応して塗装膜を剥離させたりする。1 表に素地の除錆の程度によって異なる発錆度を示す。塗膜の密着性は素地の表面状態と塗料の性質によって左右される。平

1 表 各種研磨処理法と暴露成績

鉄面処理法	成績採点 %
手磨き黒皮に傷と少しきびあり	40
噴砂後直に塗装	85
噴砂後 225°F に加熱して塗装	65
噴砂後低温高湿度の室内に放置して塗装	87
噴砂後戸外に放置し 25°F で塗装	85
噴砂後戸外に 7 日間放置しきびの上に塗装	70
噴砂不完全の面に塗装	60
酸洗後塗装	87

2 表

塗装種類および方法	試験条件	試験成績	下地処理法	
			衝撃回数	平均
1. オイルプライマ	1 回	730	磷酸被膜処理	
スプレー吹付	自然乾燥	305	無処理	
2. ラッカプライマ	1 回	450	磷酸被膜処理	
スプレー吹付	自然乾燥	255	無処理	
3. ラッカエナメル	1 回	305	磷酸被膜処理	
スプレー吹付	自然乾燥	105	無処理	
4. 焼付エナメル	1 回	126	磷酸被膜処理	
スプレー吹付	焼付乾燥	70	無処理	
5. 調合ペイント	1 回	176	磷酸被膜処理	
刷毛塗	自然乾燥	73	無処理	

(注) 鋼鉋で一定の高さより塗装面を打ち、塗膜に異状(膨れ、キレツ、剥離)を呈する迄の回数をみる。

滑面は当然粗面に比べて表面積が少ないため、密着度が劣る。粗面でも微細な凹凸のある面がよい。故に磨鋼板の面よりサンドブラスト面、さらに磷酸被膜処理面がより微細な凹凸を与えるので、塗料の密着もよい。2表に磨鋼板と磷酸被膜処理した板に対する各種塗膜の密着力の比較を示す。また磷酸被膜自体も幾分防錆効果があるため素地よりの発錆を抑制する。

#### イ. 素地よりの発錆を防ぐ塗料の使用

素地を完全に除錆し、磷酸被膜をつけても水分や腐食性物質が素地につけば発錆はさけられない。一般に塗装の膜は薄くかつピンホール等があり、また機械的に傷付く恐れがあるので、水分、腐食性物質およびガスを完全に防ぐことはできない。その場合素地を電気化学的に不動化し、また鉄のイオン化を防止する必要がある。かような作用を有する顔料を防錆料といい、この顔料を含む塗料を錆止塗料として下塗に用いる。塗料の展色剤は直接防錆に影響ないので顔料について考える。3表に各顔料の防錆性と2年後の暴露成績を示す。3表で明かのように鉛および亜鉛顔料が抑制能があって従来よく使われていたが、最近はジンクロメート顔料が防錆顔料としてよく使われるようになった。ジンクロメートは従来の亜鉛黄( $ZnCrO_4$ )と異なり  $ZnCrO_4 \cdot nZn(OH)_2 \cdot mK_2CrO_4$  の成分を有しつぎの如き利点を有している。すなわち

(1) 鉛顔料に比べて比重が小さい、すなわち顔料として 3.5 : 8.5 塗料として 1.3 kg/l : 2.8 kg/l で鉛の 1/2 であり、その結果塗装面積に対して材料費が著しく安くなる。

(2) 鉛顔料は展色剤と混合して置くと展色剤が凝固す

3 表 顔料の性質と暴露成績

2箇年後未発錆			2箇年後発錆			
顔料名	引摺試験	抑制能 PH	顔料名	引摺試験	抑制能 PH	
鉛白	+	+	士	亜鉛白	+	+
亜鉛黄	-	+	+	チタントボン	+	+
黄口鉛	士	-	王	バクタ粉	+	+
中黄鉛	士	+	士	白堊	+	+
クロムオレンヂ	エ	エ	士	クレル	+	+
クロムレッド	エ	エ	士	胡粉	+	+
リサイジ	ナ	ナ	一	タルク	+	+
鉛丹(87% $Pb_3O_4$ )	+	+	一	酸化鉄粉	士	+
鉛丹(93% ")	+	+	一	ベニガラ	+	+
鉛丹(99% ")	+	+	+	紺青	一	+
亜鉛末粉	士	+	士	青青	一	+
鉛	+	+	+			

記号の説明	酸化クロム錆	+	+	士
+	抑制能	カーボンブラック	-	+
+	無発錆	無発錆	-	+
+	抑制傾向	酸性	黒鉛	-
士	不定	中性	アルミニウム粉	+
一	発錆促進能	アルカリ性	煮亜麻仁油	-

るので使用時に調合しなければならず取扱上不便である。

(3) 鉛顔料は軽合金には有害であるが、ジンクロメートは一般素材に対してと同様に使用に適する。

(4) 成分中の  $Zn$  は素地金属のイオン化を防止し、 $CrO_4$  は水分の存在で素地を不動化する。 $(OH)$  や  $K$  が金属面をアルカリ性に保ち発錆を防止する。

鉛顔料も最近は改良され作業性もよく防錆力も優れたものが多く出されているが、価格面から制約されている。

#### ウ. 耐候性の良い塗料の使用

塗料の展色剤は樹脂によって性質も著しく異なる。4表に各種塗料の一般的性質を示す。塗料の耐候性はつきの性質による。

(1) 腐食性物質としては水・水蒸気・酸・アルカリ・塩素ガス・亜硫酸ガス・有機溶剤等があるが、アルカリに対する性質を除いて一般塗料は同様な傾向にあり、かなり耐える。メラミン樹脂塗料・フェノール樹脂塗料・アルキド樹脂塗料・ハイソリッドラッカ等が中でもよく耐える。塗膜の透過性は塗料の展色剤よりも中に含まれる顔料、および塗装方法、塗膜の厚さによって異なる。アルミニウム粉、マイカ粉は薄片状になっていて、これを顔料として塗料に使用すれば塗装時に木葉の重なり合うような状態になっていわゆるリーフィングの現象を起す。そのためピンホール等が少くなり、またガス等の透過する距離が長くなるので透過性が少く耐候性が大となる。

#### (2) 機械的に強く耐候性の強い塗膜を作ること。

屋外重電機器は機械的損傷を受ける機会が多く、雨水、日光に暴露されて塗膜の劣化を促進する条件も屋内に比べて激しい。故に素地および塗膜各層の間の密着がよく、硬度高く強靭な塗膜を構成する塗料が必要である。この条件は顔料よりも展色剤の性質により左右される。この点より強靭で硬度の高い塗料にはメラミン樹脂塗料・ア

4 表

水性塗料 調合ペイント 油性エナメル ラッカ ハイソリッドラッカ アルキッド樹脂塗料 メラミン樹脂塗料 フェノール樹脂塗料 ビニール樹脂塗料 エポキシ樹脂塗料 シリコン樹脂塗料	乾燥時間 常温 20 10 0.5 1 15 加熱 常温 1 0.5 170 3	硬度 1 20 90 30 40 80 80 60 40 100 40	密着性 E B C C D C C B B D	耐候性 E C D C C C B D B A	耐温性 E D E C C C B D B A	耐酸性 E D D C C C B D B A	耐油性 E 70 70 80 100 100 130 100 170 100 300

硬度……スオードロッカにて測定した数値

密着性……基盤目試験における密着度の百分率

耐食性・耐温性・耐アルカリ性・耐酸性・耐油性……最高をAとし最低をEとして五等分して表わす

耐熱性……連続加熱して著しい変化のない温度

ルキッド樹脂塗料・エポキシ樹脂塗料等がある。

## エ、光沢色調の変化の少い塗料の使用

光沢色調は上塗塗料と素地の平滑度、塗装方法によって変る。上塗塗料の光沢色調は展色剤および顔料によって異なるが、ここで問題となるのは展色剤の光沢の消失と顔料の光線による変化であるが、顔料は色彩調節の色によって左右されるので、ここでは省略する。展色剤で光沢がよく変化の少いものは硬度が高く耐水性のよい塗料が多い。すなわちメラミン樹脂塗料、ハイソリッドラッカ等が適する。しかし光沢の変化は据付当時の光沢の劣化の程度で判断されるので初期に美麗なもの程劣化が目立ち易い。この点より最初よりあまり目立って美しい外観のものが劣化が目立つよい。この点ではアルキッド樹脂等が適する。

## オ、常温乾燥でつかなりの耐熱性のある塗料の使用

重電機器は大物が多くかつ標準品が少いため形状大きが一定しないので焼付乾燥をする場合は乾燥設備の利用率が悪い。また製品の荷造運搬据付等の作業で傷付き汚損されるので現地再塗装が必要である。その際は加熱乾燥はほとんど不可能である。それ故塗料も常温乾燥のものでなければならぬ。最近の大型機器は据付組立後コイル等の絶縁向上のため100°C前後で24~48時間加熱乾燥するものが多い。この際塗膜が劣化することをさけなければならぬ。そのためある程度の耐熱性のある塗料を必要とする。この二つの条件に合致する塗料にはアルキッド樹脂塗料、ハイソリッドラッカ調合ペイントがある。

## カ、耐油性のよい塗料の使用

重電機器は絶縁油を使用することが多く、これで塗膜が濡れる場合が多い。その時塗膜が溶解膨潤軟化しないものであることを要する。この点では油性ペイント以外の合成樹脂塗料は一般に耐える。

## キ、作業性のよい塗料の使用

重電機は注文生産されるものが多く、標準品が少いため製作工程はできるだけ短くなければならぬ。また製品

の占める面積も大きい。故に乾燥時間の長い油性ペイントのような塗料を使用すれば工程上差支え、かつ遊休する作業面積が大きくなる。なるべく乾燥が早く次の工程へ直ちに移れる塗料がよい。1回の塗装の乾燥時間は12時間以内であることが望ましい。この点では油性塗料を除く常温乾燥の塗料でよい。組立後の現地塗装の場合は塗装設備も悪く、塗装作業中に雨等に濡れあるいは塗装後日光の直射を受けることもあり、かつ塗装面も汚損されていることが多いので作業条件の厳しい塗料は使用が困難となる。この点では調合ペイント、アルキッド樹脂塗料等が良い。

## ク、耐候性の良い塗装法

塗装方法で耐候性に影響する因子は多いが、塵埃湿気乾燥等については大物塗装であるため厳密に制限することは困難である。故に前述のようにこれら因子に敏感でない塗料を使用する。これらを除外すれば塗装回数および塗膜厚さが問題となる。当然塗装回数が増加し、厚さが増せば耐食性も増加する。5表に厚さと発錆度、6表に塗装回数と暴露成績を示す。

しかし厚さが増加すれば塗料の密着性が悪く剥離し易くなり、塗装原価も高くなるので限界がある。装飾を目的とする場合表面を平滑にするためパテやサーフェーサーを使い10回も塗り重ねるがパテやサーフェーサーは顔料が多いため塗膜を脆化し耐候性を減ずる。普通屋外の耐候性塗装としては3~4回塗が限度である。

## ケ、塗装費が安価であること

塗装費は材料費と工賃である。その比率は材料費35~10%、工賃65~90%である。7表に各種塗料の単価を示す。

5表 塗膜の厚さと発錆度

試験板番号	暴露場所 W		暴露場所 Z	
	塗膜の厚さ mm	発錆度	塗膜の厚さ mm	発錆度
27	0.038	1	0.112	0
21	—	—	0.100	0
”	0.062	2	—	—
53	0.075	4	0.160	0
”	0.090	2	—	—

(注) 発錆度は数字の小なる程少い

6表 1回塗、2回塗、3回塗の8箇年暴露成績

顔料名	塗料中のスタンド油%						塗膜の発錆度					
	1回塗		2回塗		3回塗		A		B		Bの上鉛丹の下鉛丹にA上にA上”B上”	
							A	B	A	B	A	B
白	30	30	1	0	0	>0	0	0	0	0	0	0
塗基性硫酸白鉛	30	30	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
アイゼン・グリンメル	30	35	6	6	5	1	1	1	1	1	1	1
アルミニューム粉	65	70	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0
スペイン赤(ベンガラ)	30	35	4	6	1	1	1	0	0	0	0	0
I.G. Red B. 20×(ベンガラ)	42	50	3	4	2	>1	1	1	1	1	1	1
チタン白(スタンダードA)	35	40	6	3	2	2	2	2	2	2	2	2
二酸化チタン	45	50	4	6	3	3	3	3	3	3	3	3
重鉛華S	35	40	3	4	1	1	1	0	0	0	0	0
”L	35	40	2	4	0	>0	0	0	0	0	0	0
重鉛華+鉛白・7:3	30	35	2	3	0	>1	0	0	0	0	0	0
重鉛華+アイゼングリンメル2:3	30	35	2	4	0	>1	0	0	0	0	0	0
鉛白+アイゼングリンメル2:3	30	35	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0
グラフアイト	35	40	6	6	4	4	4	4	4	4	4	2

(注) 数字の大なるもの程発錆大

重電機は大物で塗料の消費量も多いので原価上塗料代も重要である。アルキッド樹脂塗料以下のものではあまり差がなくこの中で良好な品質のものを選ぶのがよい。工賃は工程の多いもの程高いので塗装回数の少いもの程安くなる。しかし防錆力をも考慮しなければならぬので前述の3~4回塗が適当と考えられる。

以上のような各種条件を総合すれば重電機の屋外耐候性塗装の一般的仕様は下記の如くなる。

塗料種類	アルキッド樹脂塗料
塗装工程	(1) 鎌取処理 (4) 中塗塗装
	(2) 磷酸被膜処理 (5) 上塗塗装
	(3) 鎌止塗装 (6) 現地仕上塗装

#### 4. ウエザーコート仕様

上の仕様にしたがって "Coastal Finish" を応用した「ウェザーコート」の塗膜構成を1図に示す。つぎに「ウェザーコート」の各工程について記す。

##### ア. 鎌取処理

塗装部品はすべて鎌を取るため一般にショットブラスト、薄板等ではサンドブラスト、または酸洗をして完全に鎌を取る。ショットブラストの際は0.5~1m/m径の白銅粒を使い空気圧5kg/cm<sup>2</sup>で清掃する。酸洗は10~15%硫酸水溶液で20~50°Cで酸洗する。

##### イ. 磷酸被膜処理

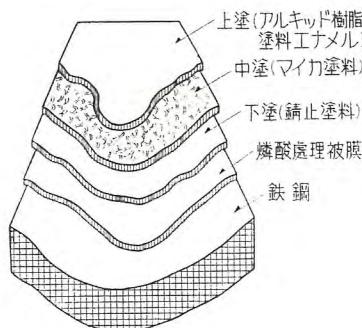
鎌を取った部品は直ちに磷酸処理液(ポンデライト液、プラノジン液)に浸漬し表面に灰黒色の磷酸被膜をつけ、水洗、防錆処理後湯洗して乾燥する。

##### ウ. 鎌止塗装

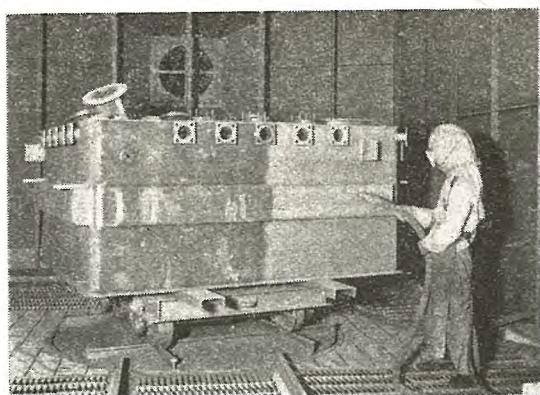
鎌止塗料としてはアルキッド樹脂を展色剤とし、ジンクロメートおよびベンガラを鎌止顔料とした塗料を使用している。この塗料は米国政府規格(Federal specification)のT.T.-P.-636と同じである。ベンガラは単独では防錆能力がないがジンクロメートと共に存する場合

7表

品名	単価
メラミン樹脂エナメル	¥ 700.~ 1kg
ハイソリッド ラツカ エナメル	¥ 600.~ "
ラッカ エナメル	¥ 400.~ "
アルキッド樹脂エナメル	¥ 300.~ "
石炭酸樹脂エナメル	¥ 300.~ "
油性エナメル	¥ 300.~ "
油性調合ペイント	¥ 200.~ "



1図 ウエザーコート塗膜構成模型図  
Fig. 1. Model of weather coating film structure.



2図 変圧器油槽のショットブラスト  
Fig. 2. Shot-blast of the transformer-oil-tank.



3図 流し掛け法による変圧器油槽の磷酸被膜処理  
Fig. 3. Flow-phosphate-coating of the transformer-oil-tank.

は、ジンクロメート単独の場合よりも塗膜の強靭性を増し塗料の貯蔵期間を長くするといわれている。この鎌止塗料の組成および試験成績表を8表に示す。

この塗料と高級油性鎌止塗料との試験片をWeather-O-Meterで316時間(屋外暴曇3160時間=130日相当)試験し、さらに塩水噴霧試験を225時間した結果油性鎌止塗料では全面に発錆したがT.T.-P.-636は発錆を見なかった。

##### エ. 中塗塗装

この中塗塗料が "Coastal Finish" の特長である。展色剤として石炭酸変性アルキッド樹脂を用い、顔料としてマイカ粉を使っている。前述の如くマイカは展色剤中にleafingを起し、ピンホールを少くし、渗透性物質の通過距離を長くするため腐食性物質の透過が少くかつ自身の耐食性が強いので防錆上の効果が多い。アルキッド樹脂を石炭酸で変性しているためアルキッド樹脂本来の強靭性と可撓性が石炭酸樹脂の硬さで平均され粘性少く強靭で可撓性の大きい塗膜を生じ、また吸水性が著しく少くなり耐酸耐薬品性も改善されている。この中塗塗料の組成および試験成績表を9表および10表に示す。

##### オ. 上塗塗料

上塗塗料としては当社標準色または指定色の市販アルキッド樹脂エナメルを用いる。とくに耐油性のよいものを選んでいる。

## カ. 現地仕上塗装

現地で組立後汚損された部分を主として上塗塗料で再塗装する。

## キ. 塗装方法

変圧器タンクのような鋼板製大物は噴霧塗装しているが変圧器用放熱器等の複雑な形状のものの下塗および中塗は流し掛け法により塗装し塗料はポンプで循環させている。そのため塗膜のピンホールが少く複雑な形状のすみずみ迄よく塗装されている。また浸漬塗装の場合の如く大量の塗料を劣化させる恐れがない。

## 5. ウェザーコート試験成績

8表 T.T.-P-636 試験成績表

項目	規格値	実測値
顔料全量	40~45%	42.9
内 部 鉄 酸化鉄 クローム酸亜鉛 酸化亜鉛 硅酸質増量剤	50%以上 10% "	54.0 11.9
不揮発分	10~15%	10.8
乾燥時間	30%以下	23.3
揮発ビケル全量	40%以上	43.6
内 部 無水フタル酸 脂 酸 水 分 塵 埃	30% " 50% "	30.7 63.1 0.53 0.29
乾燥時間	1/2~2 HrS 完全乾燥 加熱乾燥 (250°F)	1/2 H.r 18 HrS 以内 45 min
稀釈性	良好	
刷毛さばき 噴霧塗装性 屈撓性および密着性 耐水性 耐ガソリン性	" " " " "	

日本油脂三国工場

## ア. Weather-O-Meter 試験および塩水噴霧試験

油性錆止ペイント、調合ペイントおよびウェザーコート各塗料の単独または組合せのものを 316 時間 Weather-O-Meter にて試験し、反射率明度 彩度 の変化およびショーキング等を調べ、その後塩水噴霧試験で

10表 ウェザーコート中塗の試験結果

試験項目	試験成績						
○粘度	34.5 pois						
○比重	1.218						
○不揮発分	61.8 %						
○乾燥時間	指触 30 分 硬化 1 時間						
○硬度	スーコードロッカ硬度						
	経過時間	2	4	25	50	75	100
	硬度	1	2	5	10	14	17
○耐摩耗	260 回/0.1 mm						
○描画試験	650 gr						
○素地への密着 (鋼面に対する接着力 kg/mm <sup>2</sup> )	個々の測定値 0.128 0.097, 0.139, 0.146, 0.0885 平均 値 0.120 kg/mm <sup>2</sup>						
○耐水	20°C 50 時間後変化なし 40°C 50 時間後変化なし 100°C 0.5 hr で径 10 mm φ と 15 mm φ の大きなフクレ 2箇生じ塗膜はかなり軟化している。						
○耐酸	80 時間後変化なし						
○耐アルカリ性	2 hr 後塗膜は軟化し、指先で剥れるようになり 4 hr 後塗膜は完全に素地より消失した。						
○透湿度	0.800 mg/mm/hr 19.6 cm <sup>2</sup>						
○抗張力	個々の測定値 690, 650, 635, 582, 579 平均 631.5 gr/mm <sup>2</sup> 伸びは 1% 以下						
○屈曲性	8 mm フィルムはかなり plastic である。すなわち変形速度を小さくすると上の値より小さな径にそって曲げても割れない。						
○吸湿度	経過時間 6 hr 30 hr 50 hr						
○顔料	%						
	0.48	0.57	0.57				
	不揮発分に対する 57.03%						

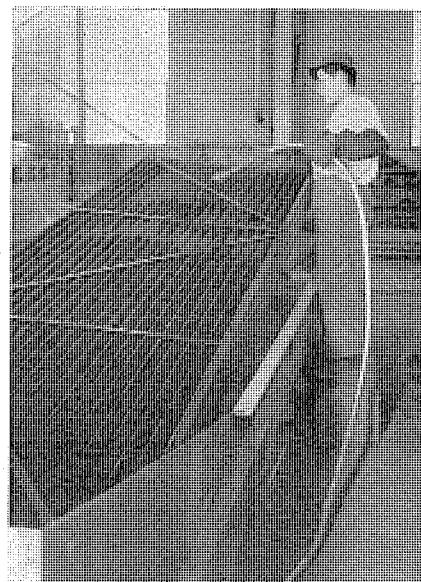
三菱電機(株) 研究所

9表 ウェザーコート中塗塗料試験成績表

項目	試験結果
揮発分	ベンゾールおよび塗素を含まず 40%
不揮発ビケル	脂肪酸 石炭酸   変性アルキッド樹脂 30%
顔料	マイカ粉および着色剤
全固形分	60%
水分	0.6%
乾燥時間	
指触乾燥	1 HrS
完全乾燥	8 HrS
稀釈性	良好 (ミネラルスピリット 1:5)
噴霧塗装性	良好
密着性	合格 (TTSK 5530-3.14)
耐水性	変化なし (16 HrS 浸漬後)
耐油性	変化なし (16 HrS ガソリン浸漬後)
Skinning	48 HrS 以内でなし
研磨性	合格 (TT-P659-F-2 f)
塩水噴霧試験	合格 (TT-E 4856)
耐酸性	合格 (TT-L 54) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6HrS SP. gr 1.30
耐アルカリ性	合格 (JISK 5530)
耐熱性	合格 (JES 450) 150°C 2 HrS
促進老化試験	合格 (TT-P-1411 a) 100 HrS
Weather-O-Meter	

日本油脂三国工場

屋外用重電機器の耐候性塗装・鮫島



4図 流し掛け法による変圧器用放熱器の塗装  
Fig. 4. Flow-painting of the transformer-radiator.

11表 促進腐食試験成績

試験項目 試験片仕様	Weather-O-Meter 試験						右試験後塗水 噴霧試験 225時間	
	試験前		316時間後					
	反射率	明度	彩度	反射率 測定 差 値	明度 測定 差 値	彩度 測定 差 値		
# 1-1 さび止ペイント	33.1	8.0	3.2	4.7 28.4 12.0 4.0	3.9 0.7	発錆多し	1/10	
# 1-2 同 上	34.1	8.0	3.2	5.0 29.1 13.0 5.0	4.0 0.8	ふくれ多し		
# 2-1 さび止調合	60.5	9.7	3.6	8.0 52.5 21.0 11.3	5.1 1.5	3点発錆		
# 2-2 同 上	58.0	9.9	3.6	9.0 48.0 22.8 12.9	5.3 1.7	"		
# 3-1 TT-P-636	28.5	8.7	3.4	25.0 3.5 9.2 0.5	3.5 0.1	発錆ふくれ 2点 1点		
# 3-2 同 上	26.9	8.9	3.5	21.5 5.4 9.7 0.8	3.6 0.1	"		
# 4-1-1 中塗	15.1	4.1	2.3	11.0 4.1 10.2 6.1	3.6 1.3	良 好		
# 4-1-2 同 上	14.2	4.1	2.3	11.0 3.2 9.8 5.7	3.6 1.3	"		
# 5-1-1 TT-P-636 中塗	12.2	4.5	2.5	11.1 1.1 11.5 7.0	3.8 1.3	"		
# 5-1-2 同 上	11.8	4.4	2.5	10.1 1.7 10.2 5.8	3.6 1.1	"		
# 6-1-1 TT-P-636 中塗, 上塗	58.0	27.0	5.7	16.8 41.2 41.5 14.5	7.0 1.3	"		
# 6-1-2 同 上	58.0	26.9	5.7	20.0 38.0 43.0 16.1	7.1 1.4	2点発錆		
# 7-1 TT-P-636 上塗	59.8	26.9	5.7	15.2 44.6 42.0 15.1	7.0 1.3	小点発錆多し		
# 7-2 同 上	63.2	27.0	5.7	15.2 48.0 42.0 15.0	7.0 1.3	"		
# 8-1 TT-P-636 上塗2回	58.9	27.0	5.7	16.0 42.9 42.5 15.5	7.1 1.4	小点発錆多し		
# 8-2 同 上	58.0	26.8	5.7	14.0 44.0 40.0 13.2	6.9 1.2	"		

225時間試験し、発錆程度を調べた結果を11表

に示す。

## イ. 各種塗料との比較試験

某化学工場納入屋外機器の耐塩素ガス仕様を決定する際の比較試験を12表に示す。

## 6. むすび

このウェザーコートは現在各種屋外機器に塗装しているが、実際使用結果が判明する迄はまだ数年を要するものと考えられる。なお塗料の質の点で改善すべき点も多いので今後研究して当社の屋外標準塗装として最良のものとしたい。この仕様については日本油脂三国工場のご協力を得、また当社研究所村山技師、柴山技師、本社生産技術部中村技師、西山技手から試料および試験についてご協力を得た。ここに厚く感謝の意を表する。

## 文 献

- (1) 松本十九: 防錆および防食塗装 (昭 15)
- (2) 永井由太郎: パーカーライジング皮膜の塗装下地としての効果に関する試験報告
- (3) J. G. Ford and A. J. Kuti. Coastal Finish, Westinghouse Engineer. March 42 (1951)

12表 劣化まで長時間を要するため各試験片2箇の内1箇の対角線に2本切傷を入れる (試験開始 96時間)

塗料名	塩水噴霧試験				某化学工場実地試験				総合判定	
	NaCl 50 gr H <sub>2</sub> O 11 CuOCl <sub>2</sub> 10 gr				屋外暴露		圧試験後			
	無傷 A	146 hrs	232 hrs	300 hrs	139時間	Cl <sub>2</sub> 80~90 %	電解槽上	Cl <sub>2</sub> 96~98 %		
ウェザーコート	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	上塗のみ小点ふくれ 1/30	異状なし	灰色 中位にぶつぶつ が出てる	B <sub>1</sub>	
	B	同 上	傷より発傷	錆進行せず						
D社 ビニール塗料	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	大小のふくれ全面に あり1ヶ所発錆	光沢なし	—	C <sub>5</sub>	
	B	同 上	傷より発傷	3点のみ						
K社 耐酸塗料	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	小点のふくれ30~40 点全面黒褐色に変色	異状なし	薄茶色 大きなしわ張あり	C <sub>4</sub>	
	B	同 上	同 上	僅かに発錆						
S社 フェノール塗料	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	光沢なし	異状なし	白 一面に張れヒビあり	C <sub>1</sub>	
	B	同 上	傷より発傷	僅かに発錆						
N社 ハイソリッドラッカ	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	全面に小ふくれ 薄緑→青変色	変化なし	灰色 一面しわと大き な張れあり	D <sub>1</sub>	
	B	同 上	同 上	切口2点発錆						
N社 調合ペイント	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	膜面軟化 N <sup>5/0</sup> →赤紫	光沢なし	薄桃色 一面に小さな 張れヒビあり	C <sub>2</sub>	
	B	同 上	同 上	傷より僅か発錆						
K社 エボキシ塗料	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	光沢なし	変化なし	クリーム色 表面粉状	B <sub>2</sub>	
	B	同 上	同 上	同 上						
K社 メラミン塗料	A	変化なし	変化なし	褪色する	変化なし	全面大きなしわふく れ多数1/10剥離	光沢なし	—	E	
	B	傷より発傷	錆進行す	切口発傷著し						
N社 塩化ゴム塗料	A	変化なし	変化なし	褪色する	変化なし	全面ふくれ1/10剥 離	変化なし	—	E	
	B	傷より発傷	傷より発傷	傷より錆流る						
N社 スチレンブタダエン塗料	A	3点発錆	錆進行する	錆進行する	変化なし	ふくれ多く 褪色	光沢なし	—	D <sub>2</sub>	
	B	傷より発傷	甚しく発傷	傷より発傷著し						
K社 エポキシ低温焼付塗料	A	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	光沢なくふくれ多し	変化なし	ねずみ色 全面張れわ ずかにヒビあり	C <sub>2</sub>	
	B	傷より発錆	傷より発錆	傷の1/4発錆						
K社 フェノール塗料	A	変化なし	変化なし	褪色	変化なし	剥離1/10大きいふく れ全面ねずみ色一緑	変化なし	—	E	
	B	傷より発錆	傷より発錆	傷より著しく発錆						

# 航空機用救命ボートガス給入機構

研究 所

宇川 彰\*・蘿原 智\*・窪津繁晴\*

## Gas Filling Mechanism of Aircraft Lifeboats

Akira UKAWA · Satoru HAGIWARA · Shigeharu KUBOTSU

Engineering Laboratory

Aircraft lifeboats of rubber cloth are carried aboard in a folded up state. In case of emergency they are inflated with carbon dioxide gas contained in a bomb which is equipped to the boat and are used as lifesavers on the water. A mechanism to open the valve of gas bomb automatically is not new, but the one completed recently is so excellent as to work by a fraction of force compared with that of the old device. Both sham and actual tests on the gas filling function has proved its performance marvellous.

### 1. まえがき

救命ボートは航空機に積まれている時は常にボートの収納袋の一端から出ている自動索を航空機の1ヵ所にしばりつけておき、他の航空機または自分の機が不時着水をする場合、あるいは船舶の遭難等の際機上より投下して自動索により自動的に炭酸ガスボンベを開口させる。または不時着水後に搭乗者が自ら自動索を手で引いて開口させる。

従来使用している開口装置は開口するために自動索に約15kgの力を必要とし、また開口装置の組立上に困難があったがこの点を改良し、数分の一の力で開口する簡単な新式開口装置を作製した。

1, 2図は救命ボートの使用状態の写真であり、3図は新式開口装置の写真である。

### 2. 旧式開口装置の機構

航空機や船舶の上から救命ボートを投下すると、自動索にはボートの自重や、空気抵抗、落下の際の衝撃力等が重って張力を生じる。その力を  $W$  kg とする。(4図参照)

空気抵抗や、衝撃力がないならばこの力は救命ボートの全重量にひしひし。この  $W$  の力が引出口のところで屈曲して、若干の力は摩擦でうしなわれ、カムレバーに  $T$  kg の力となって加えられる。

$$T/W = k_1$$

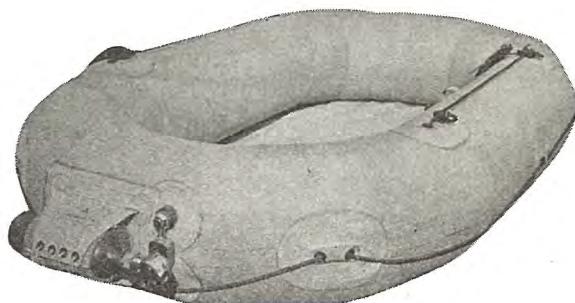
とすると、 $k_1$  はほぼ 0.75 程度になる。この詳細は次章に述べる。  $T$  の力がレバーに加わるとレバー比で撃針を押す。撃針を押す力を  $Q$  kg とする。

$$Q/T = k_2$$



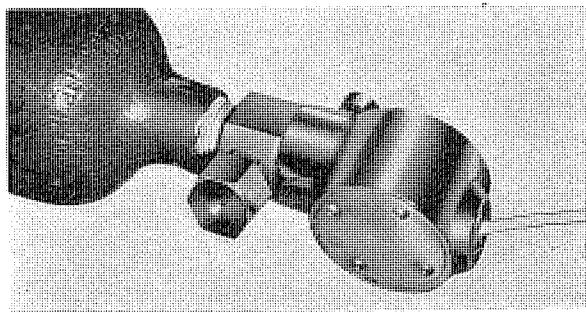
1図 収納袋にたたみ込まれた救命ボート

Fig. 1. A lifeboat folded in a bag.



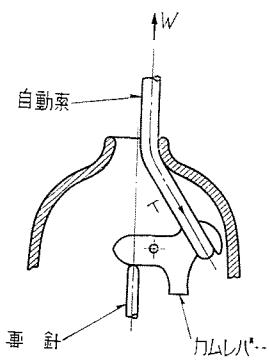
2図 使用状態における救命ボート

Fig. 2. A lifeboat for aircraft use.



3 図 新型開口装置

Fig. 3. A new type gas cut-valve.



4 図 旧型バルブの機構

Fig. 4. Mechanism of an old type cut-valve.

で示せば、 $k_2$  はレバー比であり摩擦損失を無視すれば作図によって各位置における値が得られる。したがって撃針を押す力は

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot W$$

で表わされる。この  $Q$  の力が炭酸ガスボンベの口をふさぐ封板を突きやぶるに充分な力で、かつ撃針に充分な移動距離をあたえられればよい。 $k_1 \times k_2$  の変化は最大 1.95 程度で撃針の位置による函数で作図によって求められる。(5, 6 図参照) これによると撃針の移動距離は約 5 mm であるからこの間に開口動作を完全に行わなければならない。

開口するに必要な荷重と撃針の移動距離が 6 図の値では理想的な値とは言えない。

### 3. 新式開口装置の機構

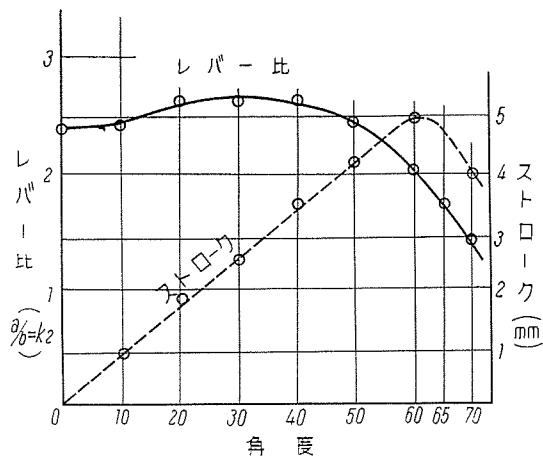
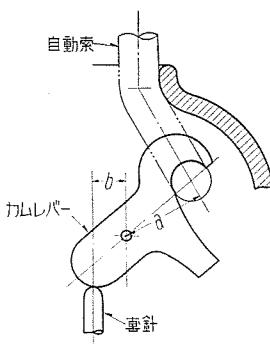
新しい開口装置は、レバーの代りにプーリの回転を用いたものでその機構は 7 図に示す。

自動索に  $W$  の力を生じたためにプーリには  $T$  の力が伝えられる。この際途中の自動索の折曲り部のために摩擦によって  $W-T$  の力を失っている。プーリに伝えられた力は同一軸にとりつけられたスパイラルカムにつたわり、このカムが撃針を押して封板を突きやぶる。プーリがさらに回転をつづけるとスパイラルカムの不連続部に達し撃針はスプリングおよびボンベ内部のガス圧力のために押し返されてボンベ内部のガスは出口を通じてポート内に放出される。

さらにプーリの回転がすんで、自動索のプーリにかけられたフックが引出口に達すれば自動索はプーリから

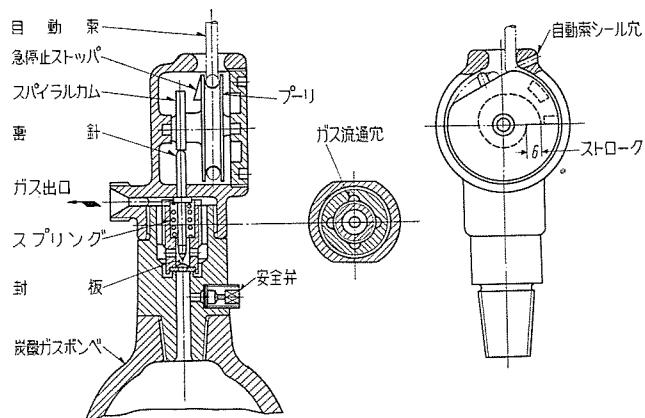
5 図 旧型バルブにおけるレバー比

Fig. 5. Lever ratio of an old type mechanism.



6 図 レバー角度とレバー比、撃針のストロークの関係

Fig. 6. Relation between the ratio, stroke of needle and lever angle.



7 図 新型バルブの構造

Fig. 7. Construction of a new type cut-valve.

自然に離脱されポートとボンベは落下して行く。その過程でボンベ内部のガスはポートへ充満される。

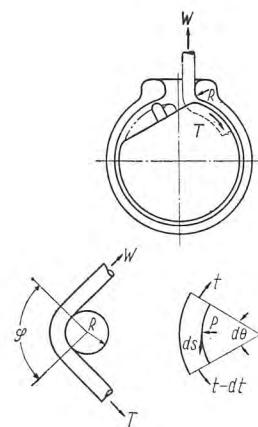
航空機に積込まれる器具であるために重量は極力軽減されており、ポートとボンベの総重量  $W$  は 10 kg 程度である。この 10 kg の力で封板を突きやぶるに必要な力を出さなければならない。そのために普通のレバーによる力の拡大が考えられるが、大きな拡大率をとるには構造が大きくなり不適当である。したがって 11 図のようなプーリとスパイラルカムの組合せによる拡大機構を用

いた。この機構は封板をつきやぶるに必要なエネルギーを一定とし、そのためにポートの重量  $W$  の落下エネルギーを充分利用するには仕事をすべき落下距離を大きくすればよい所から考案したものである。いいかえれば自動索がプーリからほどけて行く間は常に封板をやぶるに必要な仕事がなされて行くわけであるが、その距離が約 10 cm に及ぶもので単なるレバー機構で一端の移動に 10 cm を許すには、異様に大きな構造となり、实际上不可能な構造となる。この点でこのような拡大機構がカムレバー機構に比して優秀であることが充分理解できる。

#### 4. 新式開口装置の機構の解析

##### ア. 自動索からプーリへの力の伝達

8 図のように自動索に  $W$  の張力が作用するが途中引出口の曲率  $R$  の面にそって接触するために摩擦損失が



$t = \theta$  の位置の自動索の張力  
 $p$  = 円槽表面と接触圧力  
 $\mu$  = 自動索と円槽面の動摩擦係数  
 $\varphi$  = 自動索と円槽の接触している角

8 図 自動索にかかる力  
 Fig. 8. Forces on the leading rope.

あり、プーリ上の自動索には  $T$  の力しか伝えられない。この作用する力  $W$  と伝える力  $T$  との間にどのような関係があるかを少し理論的に考えて見る。

自動索の微少部分  $ds$  に加わる半径方向と切線方向の力の平衡を考えると自動索が非常にゆっくり移動するときはつぎの式が成立つ。

$$p ds = t d\theta \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$-dt = p \mu ds \quad \dots \dots \dots (2)$$

(1) および (2) より

$$-dt = \mu t d\theta \quad \dots \dots \dots (3)$$

境界条件として

$$\theta = 0 \text{ で } W$$

$$\text{また } \theta = \varphi \text{ で } T$$

とすれば (3) 式より次式が求められる

$$-\int_W^T \frac{dt}{t} = \int_0^\varphi \mu d\theta$$

$$\frac{W}{T} = e^{\mu \varphi} \quad \dots \dots \dots (4)$$

便宜上力の拡大率としてつぎのような  $k_1$  を求める。

$$\frac{T}{W} = \frac{1}{e^{\mu \varphi}} = k_1 \quad \dots \dots \dots (5)$$

この  $k_1$  の値について考えてみると  $k_1$  は  $\mu \cdot \varphi$  の函数で

ある。 $\varphi$  は自動索が引出口からどの方向に引き出されるかで  $\pi/4 \sim \pi$  の間を変動する。 $\mu$  は自動索と金具の動摩擦係数であるから両者の材質により、また接触部の圧力等で種々変ると思われる。したがって  $\mu$  を

$$\mu = 0.2 \sim 0.6$$

までの間で  $k_1$  がどのように変化するかを計算すると 9 図に示すようになる。

$\mu$  の値についての測定が困難であるから実験的につぎのような方法で  $k_1$  の値を求めた。10 図のように配置した力の系で荷重を徐々に引き上げたときのばね秤の読みを取り

$$k_1 = \frac{T}{W}$$

とした。その結果は 11, 12 図のように黄銅棒の半径によってかなり差異がある。これは圧力増加のための摩擦係数の増加と自動索がナイロンのひもでありその肌の影響と考えられる。

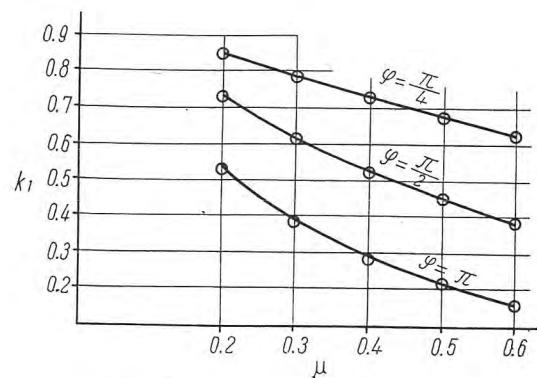
したがって接触する曲率半径は充分大きい方が良いが、3 mm  $R$  以上あればほぼ問題ないことがわかる。また前述の理論値の  $k_1$  より推定すればナイロン自動索と黄銅棒の間の摩擦係数は  $R$  が 3 mm を越せばほぼ

$$\mu = 0.2$$

とみて差支えない。実際の投下状態で  $\varphi = \pi$  のような状態はまずあり得ない。また多くの場合

$$\varphi = \frac{\pi}{4}$$

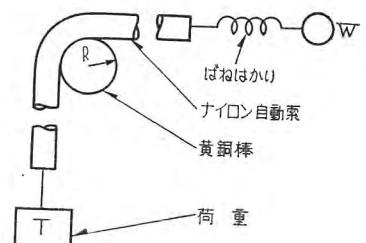
のような状態と考えられるので  $k_1$  の値は 0.75 程度としてよい。

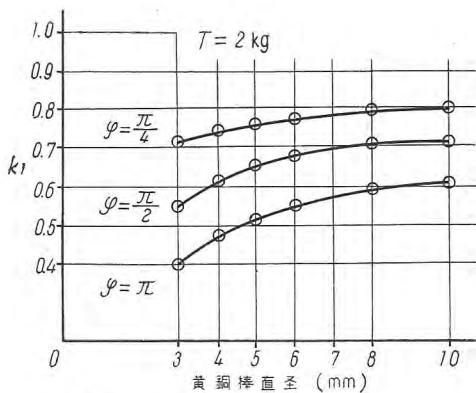


9 図 摩擦係数と力の拡大率との関係  
 Fig. 9. Relation between the reduction factor and coefficient of friction.

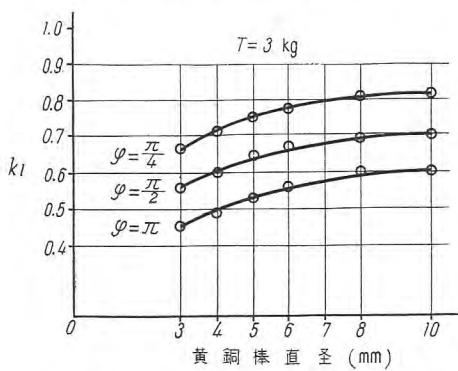
10 図  $k_1$  を求める実験装置

Fig. 10. Arrangement of the friction test of rope.





11 図 棒の直径と力の拡大率との関係  
Fig. 11. Relation between the reduction factor and radius of corner.



12 図 棒の直径と力の拡大率との関係  
Fig. 12. Relation between the reduction factor and radius of corner.

#### イ. プーリから撃針への力の伝達

プーリに巻きつけられた自動索に  $T$  の力が加えられた時スパイラルカムを通じてかかる力が撃針に伝えられるかを途中の摩擦を考えて理論的に解析してみる。  
(13 図参照)

プーリとカムは軸を通して結合され一体となつてゐる。このプーリが回転する時の慣性力が外力に比べて小さい時はこれを無視して回転力の平衡条件が成立つ。これらを式で示せばつぎのようになる。

$$TR_3 = (N_3 + N_4)\mu_B R_1 + N_2 \sin(\alpha + \lambda_2)R_2 \quad (1)$$

$$N_4 = 2T \quad (2)$$

$$N_3 = N_2 \cos(\alpha + \lambda_2) \quad (3)$$

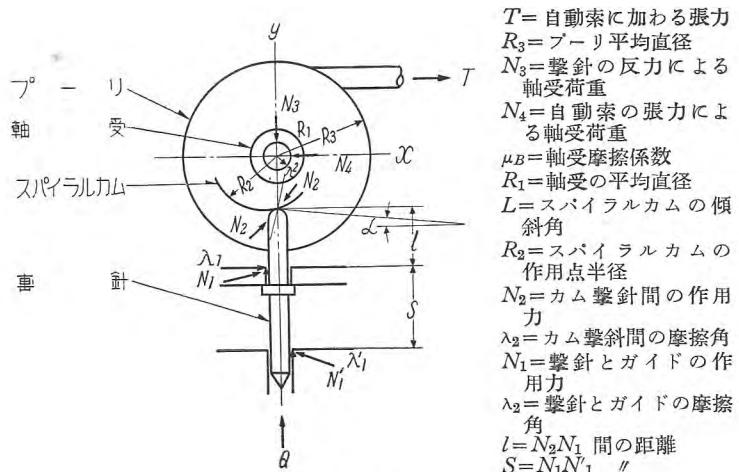
つぎに撃針に作用する力の  $xy$  方向ならびに回転の平衡条件を考える。

$$N_2 \cos(\alpha + \lambda_2) = Q + N_1 \sin \lambda_1 + N_1' \sin \lambda_1' \quad (4)$$

$$N_2 \sin(\alpha + \lambda_2) = N_1 \cos \lambda_1 - N_1' \cos \lambda_1' \quad (5)$$

$$N_2 \sin(\alpha + \lambda_2) l = N_1' \cos \lambda_1' S \quad (6)$$

以上六つの式のうち  $\lambda \cdot \mu \cdot T$  を知れば  $N_1 \cdot N_1' \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot N_4 \cdot Q$  の六つの未知数であるからいづれも  $T$  の函



13 図 機構各部にかかる力  
Fig. 13. Forces working on various parts of mechanism.

数として求めることができる。したがつて  $Q$  と  $T$  との関係もみちびくことができる。

(1) (2) (3) より

$$T(R_3 - 2\mu_B R_1) = N_2 \{ \cos(\alpha + \lambda_2) \mu_B R_1 + \sin(\alpha + \lambda_2) R_2 \} \dots (7)$$

(4) (5) (6) より

$$N_1' \sin \lambda_1' = N_2 \frac{l}{S} \tan \lambda_1' \sin(\alpha + \lambda_2) \dots (8)$$

$$N_1 \sin \lambda_1 = N_2 \left( 1 + \frac{l}{S} \right) \tan \lambda_1 \sin(\alpha + \lambda_2) \dots (9)$$

$$Q = N_2 \left[ \cos(\alpha + \lambda_2) - \sin(\alpha + \lambda_2) \left\{ \frac{l}{S} \tan \lambda_1' + \left( 1 + \frac{l}{S} \right) \tan \lambda_1 \right\} \right] \dots (10)$$

(7) (10) より

$$Q = T \frac{(R_3 - 2\mu_B R_1) \left[ \cos(\alpha + \lambda_2) - \sin(\alpha + \lambda_2) \left\{ \frac{l}{S} \tan \lambda_1' + \left( 1 + \frac{l}{S} \right) \tan \lambda_1 \right\} \right]}{\{ \cos(\alpha + \lambda_2) \mu_B R_1 + \sin(\alpha + \lambda_2) R_2 \}} \dots (11)$$

$$Q = k_2 T \text{ として} \dots (12)$$

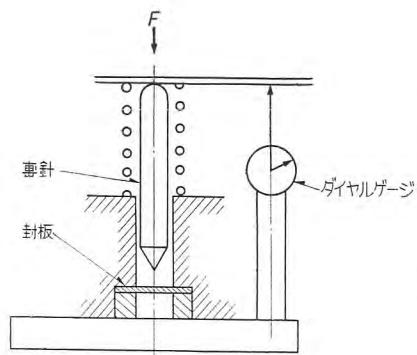
$$k_2 = \frac{(R_3 - 2\mu_B R_1) \left[ \cos(\alpha + \lambda_2) - \sin(\alpha + \lambda_2) \left\{ \frac{l}{S} \tan \lambda_1' + \left( 1 + \frac{l}{S} \right) \tan \lambda_1 \right\} \right]}{\{ \cos(\alpha + \lambda_2) \mu_B R_1 + \sin(\alpha + \lambda_2) R_2 \}} \dots (13)$$

この  $k_2$  がプーリに加えられた力の撃針への拡大率となる。したがつて最初自動索に加えられた力  $W$  kg が撃針の先端に伝達される時はつぎのようになる。

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot W$$

以上の算出方法を試作した新式開口装置に適用すると  $k_1 k_2 = 2.05$

となる。すなわち総重量の 2.05 倍の力が封板をやぶる撃針の先端に加えられ、また先端は 6 mm 移動することができる。この機械で充分撃針は封板をつきやぶれることを次章で説明する。



14 図 封板つき破り試験装置  
Fig. 14. Arrangement of plate cutting test.

## 5. 封板をつきやぶるに必要な力

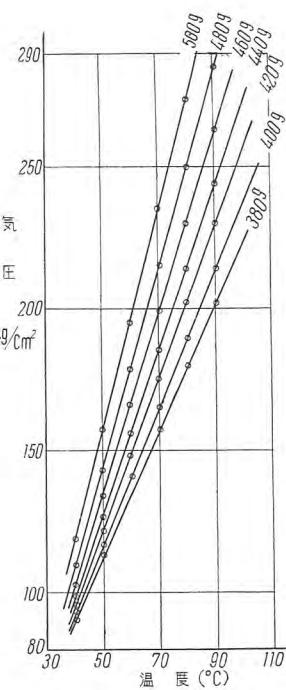
撃針が封板をつきやぶるに必要な力と移動距離を求めるため 14 図にのように撃針と封板を組んだ装置で、荷重  $F$  を増加させながら撃針の移動した距離  $\delta$  をダイヤルゲージで読みとった。封板の材料は 0.2 mm 未焼純銅板を使用した。また実際の使用状態では炭酸ガス圧力が撃針の先端に加わるから封板をつきやぶるのに抵抗となって加わってくる。しかしこれは最も危険にとって考えたのであるが、実際に実験の結果はほとんど問題にならぬ程の力であったのでこの圧力は考えなくてもよいようである。前章にのべたように最悪状態で力の拡大は 2 倍である。したがって総重量 10 kg の静荷重の 2 倍は 20 kg となるが封板をつきやぶるに必要な上記の力はこれ以下であるので充分である。また封板をつきやぶるに必要なストロークは最小限 3 mm は必要である。撃針の寸法上大きな穴を確実にあけるには 5 mm 程度は望ましい。

## 6. 炭酸ガス充填容器内の各種温度における圧力

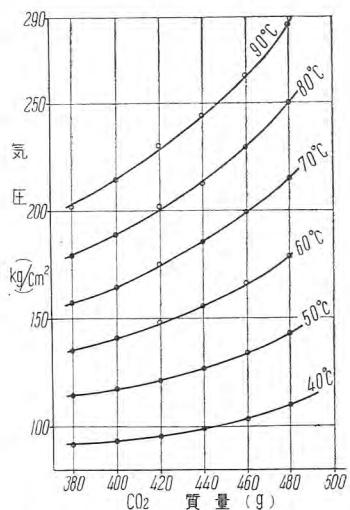
炭酸ガスの容器は内容積 0.7 l のものを用いる。しかるにボートのガスをつめる部分の容積は大きいので勢い液化炭酸ガスを用いることになる。炭酸ガスの臨界点は周知のように約 31°C, 73 気圧である。31°C 以下のときは問題はないが、それより高温になるとガスは液状では存在し得ず気体となり、容器内で急激に高い圧力を示す。この場合の各温度における圧力を求める方法に Van der Waals の式あるいはこれを修正した式が知られている。しかしこれらはいずれもこのような高圧の場合には誤差が甚しく大きくなつて出る。また炭酸ガスのエントロピーダイヤグラムを見ても通常この範囲は画かれていないので求められない。そこで一方法としてガスの Compressibility factor を用いて各温度における圧力を求めて見た。その結果が 15, 16 図に示す曲線である。

## 7. 封板耐圧試験

救命ボート用炭酸ガスボンベは規格上 200 kg/cm<sup>2</sup> の耐圧試験が行われている。しかるに 0.7 l のボンベに 450 g のガスをつめて 60°C になると約 160 kg/cm<sup>2</sup> のガス圧力に達することが 15 図によって判る。したが



15 図 0.7 l のボンベに炭酸ガスをつめた時の温度圧力の関係曲線  
Fig. 15. Relation between the pressure of CO<sub>2</sub> in container (0.7 l) and temperature.



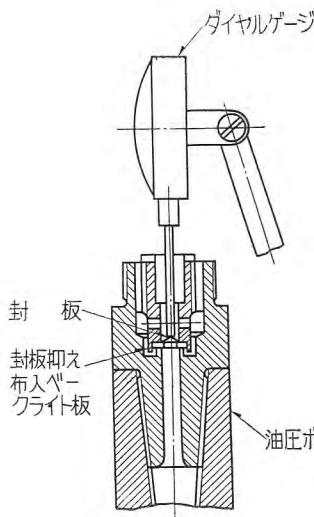
16 図 一定温度における炭酸ガスの質量—圧力の関係曲線 (ボンベ容量 0.7 l)  
Fig. 16. Relation between the pressure in container (0.7 l) and mass of CO<sub>2</sub> under various pressures.

ってボンベの口に 1 カ所上記の中間の圧力でやぶれる部分があれば 60°C に達してもガスは抜けず、また万一それ以上の温度になつてもボンベの破裂を防ぐことができる。この考えから安全弁を設けた。したがって撃針でつき破られる封板は撃針でつき破るのに第 5 章で述べた力以内であるならば 200 kg/cm<sup>2</sup> 以上の圧力で破れるものであつても差支えないわけである。この圧力で破れる安全弁用封板を求めるために実験を行つた。封板の地金は

1 表 銅板の機械的性質

板厚 mm	未焼純銅板		焼純銅板 (400°C 15 分)	
	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	硬度 (マイクロビックアース) (荷重 100 g)	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	硬度 (マイクロビックアース) (荷重 50 g)
0.10	37.0	92.7	32.0	84.9
0.11	46.4	102.3	14.5	47.5
0.12	47.4	104.4	17.5	45.6
0.13	46.2	111.3	19.2	53.9
0.14	45.4	107.3	20.7	56.1
0.15	49.4	90.6	22.0	54.1
0.16	23.5	56.1	22.5	64.2
0.17	47.0	110.0	23.5	52.8
0.18	47.2	104.7	22.8	59.8
0.19	45.2	110.0	23.7	52.1
0.20	30.0	75.6	25.0	70.6
0.10	88	212.3	43.5	90.9
0.15			51.0	94.4

100°C 以下ではその機械的性質の変化を認められないから試験は常温で行った。また気圧による試験は設備の関係および危険性もあったので行わず油圧を用いた。封板に圧力のかかる部分は直径 5 mm でシートの周囲には  $R$  をつけなかった。



17 図 封板耐圧試験装置  
Fig. 17. Arrangement of the pressure test of seal plate.

燐青銅板は 0.1 mm 厚の冷間加工したもの、焼純したもの共に 200 kg/cm<sup>2</sup> 以上の油圧をかけても破壊しなかった。詳細は省く。

また本試験に使用した銅板の機械的性質は 1 表のとおりである。表中○印のものは倉庫品を使用し他のものは 1 mm の銅板より圧延したものを使用した。

1 表に示すように 0.1 より 0.2 までの 11 種類の焼純銅板および未焼純銅板について実験を行って、その結果 0.16 mm の焼純銅板が最適と思われた。17 図は封板耐圧試験の要領図である。

## 8. 安全装置

ブーリーは全く拘束されておらないので振動、その他わずかの外力によっても回転を始めるおそれがあるために開口装置の出口の所で細い線でシールする必要がある。このシールワイヤの強度が強すぎても弱すぎても不適当で、封板をつきやぶる際自動索に加わる最小の力と同程度の材料をえらんだ。実験の結果はつぎのように 0.26<sup>Φ</sup> の銅線を採用した。

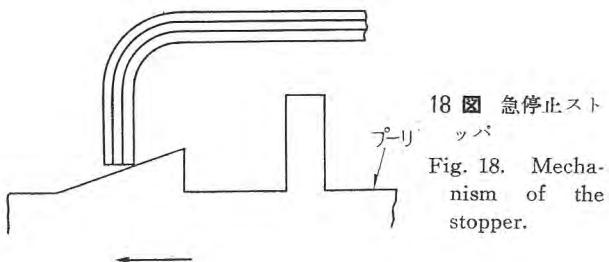
シールワイヤを切る力は

### ア. 銅線引張試験

線径	破断力 (5 回の平均)
0.26 <sup>Φ</sup>	1.25 kg
0.40 <sup>Φ</sup>	3.2 kg

### イ. 金具に取付けシールしたとき (封板なし)

線径	破断力 (5 回の平均)
0.26 <sup>Φ</sup>	3.5 kg
0.40 <sup>Φ</sup>	6.5 kg



18 図 急停止ストッパー  
Fig. 18. Mechanism of the stopper.

## 9. 急停止ストッパーの効果

約 6 m の自動索をつけて落下すると自動索が伸びきったときの救命ボートの落下速度は空気抵抗を無視すれば

$$v = \sqrt{2gs}$$

$v$  = 速度 cm/sec

$s$  = 落下距離 600 cm

$g$  = 重力加速度 980 cm/sec<sup>2</sup>

$v = 10.8$  m/sec

落下途中の抵抗や、収納袋の開放のためにによるエネルギーの損失、また封板をつきやぶる抵抗等が相当量考えられ、またこの抵抗による自動索の伸びにより先端のブーリー引出速度は落下速度よりかなり低い値とみてよい。かりに 20 % ひくい 8 m/sec とする。

この速度で自動索が引き出されるときブーリーの回転を考えると回転数  $n$  は次式のようになる。

$$n = \frac{\text{自動索の引出速度}}{\text{ブーリー ピッチ円周}} = 71 \text{ r.p.s}$$

この回転数でブーリーが回っているときに持っている運動エネルギーは

$$E_p = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$I$  = ブーリーの慣性モーメント

約  $0.75 \times 10^{-4}$  kg cm sec<sup>2</sup>

$\omega$  = ブーリーの回転角速度

$2\pi n$  446 rad/sec

$E_p = 7.5$  kg cm

約 7.5 kg cm の運動エネルギーを持って回転している。このブーリーを希望する位置に停止するため 18 図のようなストッパーを通過させて停止させる。ストッパーに使用したのは幅 0.55 cm 厚さ 0.1 cm の燐青銅板 3 枚重ねである。この板の吸収し得る弾性エネルギーは 1 枚で約 1.8 kg cm である。先端が約 5 mm 移動するまで塑性変形を生じた場合の吸収エネルギーは 1 枚について約 2.5 kg cm である。

したがって 3 枚の板ばねを用いるなら充分吸収し得ると考えられる。かくしてブーリーはストッパーを突出部ではなくて所定の位置に停止させることができる。

## 10. 撃針摩耗および封板破口試験

従来は真鍮を撃針の材料として使用していたが数回使用すれば先端が摩耗し、そのため封板をつきやぶる抵



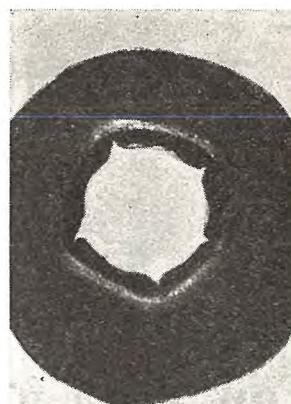
19 図 未使用の撃針先端の拡大 (170 倍)

Fig. 19. Point of new needle (magnified 170 times).



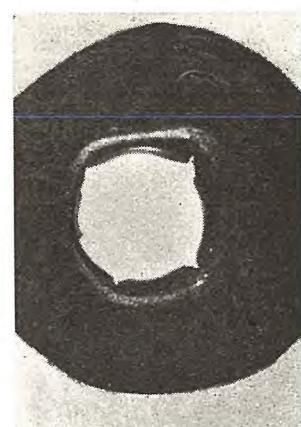
20 図 50 回使用後の撃針先端の拡大(170 倍)

Fig. 20. Point of needle after 50 cuts (magnified 170 times).



21 図 新しい撃針でつき破られた封板

Fig. 21. Seal plate cut by a new needle.



22 図 50 回目使用の撃針でつき破られた封板

Fig. 22. Seal plate cut by a used needle.

抗がいちじるしく増大するので耐食性や硬度のすぐれた燐青銅棒に変更した。その耐久性をしらべるために 1 本の撃針で 50 回破口試験を行って見たが撃針の先端にも摩耗変形があまりみられず封板の開口破面にも変化はみられなかった。(19~22 図参照)

### 11. ボートが膨脹に要する時間

ポンベから炭酸ガスの流出する状態をしらべると封板の穴の所が最小断面になっており、この穴を通過する速度が時間を決定する。液化炭酸ガスは蒸気圧のガス圧でたくわえられており、この圧力は温度が変化しないかぎりはポンベ中の充填量の 90 % 程度が流出する間この圧力を保つと考えられる。封板を開口されると炭酸ガスは圧力差の平方に比例した速度で噴出するが音速に達するとそれ以上は速度を増さず穴を通過する圧力を増大する。

炭酸ガスの音速はほぼ 250 m/sec 程度である。穴を通過する気流はこの部分で穴の面積の 50~70 % にしぶられると考えられる。また通過するガスの気化や、断熱膨張によって、温度圧力共にポンベ内のガスより低いものが通過すると考える。実験の結果は蒸気圧の約 1/3 程度の圧力が穴断面を通過すると考えれば、ほぼ流出時間が算出できる。

### 12. 新式開口装置の模擬および実地試験

#### ア. 模擬試験

(1) プーリに紐を巻き、ばね秤で静的荷重を増加しながら引張ったところ非常にかるい力で撃針は封板をつきやぶっており、同時にストッパは完全に作動し、なお

撃針は元の状態にかえっていたので目的を達した。

(2) 実際の場合と逆にプーリに 6 m の紐をつけその先に 10 kg の分銅をむすびつけ 10 m/sec の終速度になるように放り出したがこれも(1)の場合と同様な好結果を得た。

#### イ. 実地試験

実地試験は航空機からの投下はできなかつたので下記の要領により数回行ったが新式開口装置は旧式開口装置にくらべて非常によい成績であった。

投下場所 和泉多摩川 多摩水道橋

投下距離 橋上より水面まで 13 m

投下様式 収納袋より出ている自動索を橋のてすりにしばりつけて投下した。

### 13. むすび

以上述べたように旧開口装置にくらべて一段とすぐれた性能、すなわち航空機よりボートを投下した場合、あるいは着水後手動による場合と一見相反すると思われる条件を満足し得る性能を有する新しい装置の試作に成功した。これには

ア. 試作研究の途中において防衛庁より試作依頼があり、防衛庁技術研究所と数回にわたり協議し、改造、実験等に対し技研第 1 部豊島一等陸尉殿より種々のご指示激励を頂いたこと。

イ. 世田谷工場長尾島參事始め関係各位の並々ならぬご援助のあったこと等が大きな原因となっている。また本文の公表をお許し頂いた防衛庁技研のご厚意も併せてここに深く感謝の意を表する次第である。

# 自動制御系設計に対する一資料

研究所

福永圭之介\*

## A Few Data for The Design of Automatic Control System

Keinosuke FUKUNAGA

Engineering Laboratory

To assist the designer of automatic control system, graphs have been worked out to illustrate the relation between the coefficient of differential equations of various systems and their indicial responses. This has been accomplished by means of the analogue computer for the second, third, fourth and fifth linear differential equations with coefficients of common encounter. Since the designer is capable of finding the response of the system under the design from the graph, he visualizes the effect of each coefficient on the overall response.

### 1. まえがき

自動制御系の解析方法は大体二つに大別することができる。その第一は Nyquist あるいは Bode の Diagram<sup>(1)</sup> としてよく知られているように、フィードバック・ループを切離して開回路の状態でその周波数特性を求める、それより閉回路の安定、不安定、さらにはその任意の入力に対する過度応答も求めようとする方法である。第二の方法は閉回路のままで自動制御系のインディシャル応答を求め、それにより系の良否を判定しようとするものである。

第一の方法による場合は自動制御系を開回路で取扱えるので取扱が簡単であり、また各回路要素の時定数、ループ利得の系全体に及ぼす影響がかなり明確に把握できるので、いろいろな面からよく研究され、自動制御系の設計者には無くてはならぬ解析方法になっているが、過度応答そのものを直接把握できない欠点を持っている。

第二の方法はちょうど第一の方法と反対で、問題を閉回路で取扱わねばならぬ点、各回路要素の系全体に及ぼす影響が不明確である点等の欠点を持っているが、過度応答そのものを見ながら系を設計することができるという強みを持っており、近時アナログコンピュータの出現により、この解析は極めて容易なものとなった。

インディシャル応答法により自動制御系を解析する場合には、問題は系全体の微分方程式の係数の分布をどのようにすれば良い応答が得られるかという点に帰着され、この点が種々の人達により追求された。たとえば Oldenbourg と Sartorius<sup>(2)(3)</sup> は

$$I_1 = \int_0^\infty e dt \quad \text{あるいは} \quad I_2 = \int_0^\infty e^2 dt$$

(ただし  $e$  ; 入力と出力間の誤差,  $t$  ; 時間) が最小の場合、最も良好な自動制御系が得られるとして、その場合の係数間の関係式を求めておりし、Nims<sup>(4)</sup> や Graham と Lathrop<sup>(5)</sup> はそれぞれ

$$I_3 = \int_0^\infty et \cdot dt \quad \text{および} \quad I_4 = \int_0^\infty |e|t \cdot dt$$

の最小を判定規準として用いている。しかし実際に自動制御系を設計してみると、絶対に Overshoot が許されない系もあれば、20 % 程度までなら Overshoot しても良い系もあるといった具合に、その仕様が場合、場合によって異なるし、また回路要素中には変更不能のものがあり、そのため上記の人達の作った条件を満たすことができない等、これら判定基準の幅の狭さを感じさせられることが多い。

したがって著者はアナログコンピュータにより二、三、四、五階の線型常微分方程式のうち、自動制御系として使

用し得ると考えられる範囲内で係数をいろいろ組合せせて、そのインディシャル応答を求め、これを表にまとめた。これを参照すれば自動制御系の設計者は自分の設計した系のインディシャル応答を直ちに把握することができると共に、どの係数をどの程度改めればよいかが明らかとなろう。

## 2. Normalized Form

自動制御系は一般的にいって、つぎの微分方程式で与えられる。

$$\begin{aligned} B_n \frac{d^n c}{dt^n} + B_{n-1} \frac{d^{n-1} c}{dt^{n-1}} + \dots + B_1 \frac{dc}{dt} + B_0 c \\ = A_m \frac{d^m r}{dt^m} + A_{m-1} \frac{d^{m-1} r}{dt^{m-1}} + \dots + A_1 \frac{dr}{dt} + A_0 r \end{aligned} \quad (1)$$

$A_m, B_n$  ; 系の回路常数によって定まる常数

$r(t)$  ; 入力函数

$c(t)$  ; 出力あるいは応答函数

これに Laplace 変換をほどこし、新しい独立変数を  $\lambda$  とすると

$$\frac{C(\lambda)}{R(\lambda)} = \frac{A_m \lambda^m + A_{m-1} \lambda^{m-1} + \dots + A_1 \lambda + A_0}{B_n \lambda^n + B_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + B_1 \lambda + B_0} \quad (2)$$

この形のまま解析を行うと、現象が  $\mu$  秒程度あるいは数時間といった違いのために、係数は広範囲に分布し、取扱が困難になるから、つぎに示すように、分母の最高次項の係数および常数項が 1 になるように時間尺の変換を行うと、

$$\omega_0^n = \frac{B_0}{B_n}, \quad b_i = \frac{B_i}{\omega_0^{n-i} B_n}, \quad a_i = \frac{A_i}{\omega_0^{n-i} B_n} \quad (3)$$

$$s = \frac{\lambda}{\omega_0} \quad (\text{あるいは } \tau = \omega_0 t) \quad (4)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + 1} \quad (5)$$

(5) の形を Normalized Form、また新しい時間尺を Normalized Time といい、この形で問題を取扱うと、分母の係数を二つ減ずることができるのみならず、分母に残った各係数は現象の遅速、振幅の大小に無関係に、応答の形のみを決定する常数になる。

なお実際に演算を行ったのはつぎの各式である。

二次系；

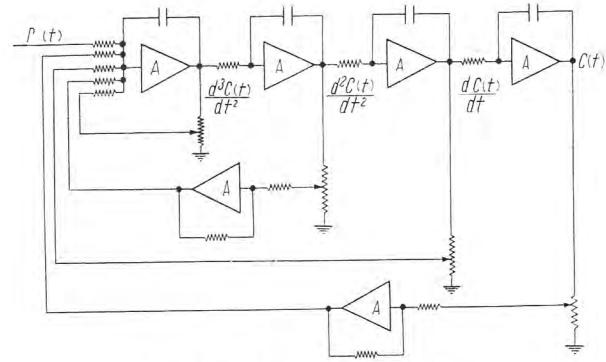
$$\frac{s^m}{s^2 + b_1 s + 1} \quad m=0, 1 \quad (6)$$

三次系；

$$\frac{s^m}{s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1} \quad m=0, 1, 2 \quad (7)$$

四次系；

$$\frac{s^m}{s^4 + b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1} \quad m=0, 1, 2, 3 \quad (8)$$



1 図 四次自動制御系の演算回路  
(A; 演算増幅器)

Fig. 1. Operational circuit of automatic control system of 4th. order.

五次系；

$$\frac{s^m}{s^5 + b_4 s^4 + b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1} \quad m=0, 1, 2, 3, 4 \quad (9)$$

## 3. 演算回路

1 図は演算回路の一例として、四次系の解析に用いたアナログコンピュータの接続図を示す。

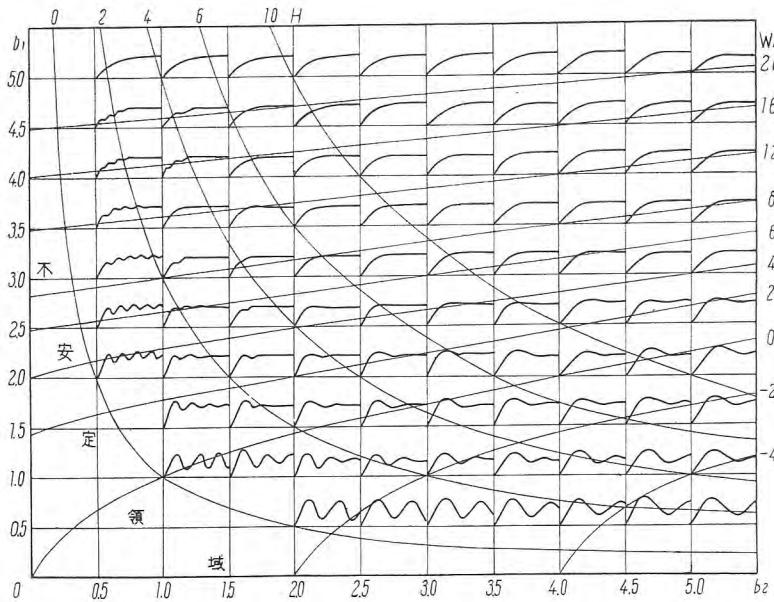
## 4. 結論

1 表に実際に演算を行った係数の範囲、優れた応答を持つと考えられる係数範囲、さらに種々の人達により提唱された設計基準を満足する係数分布等を示す。係数とインディシャル応答の関係を与える図表は紙数の関係上全部掲載する訳にいかないので、代表的な例として 2 図に三次系の分子が 1 のもの、3 図に四次系の分子が 1 のもののうち、 $b_3=2$  の場合の図表を挙げて置いた。

これらの図表より明かのように、自動制御系の微分方程式は Normalized Form の形にしてしまえば、その係数の取り得る範囲は極めて狭く、これらの範囲を逸脱したものは問題にならないから、少しなれば係数の分布を見ただけで、系のインディシャル応答を推定することも容易である。

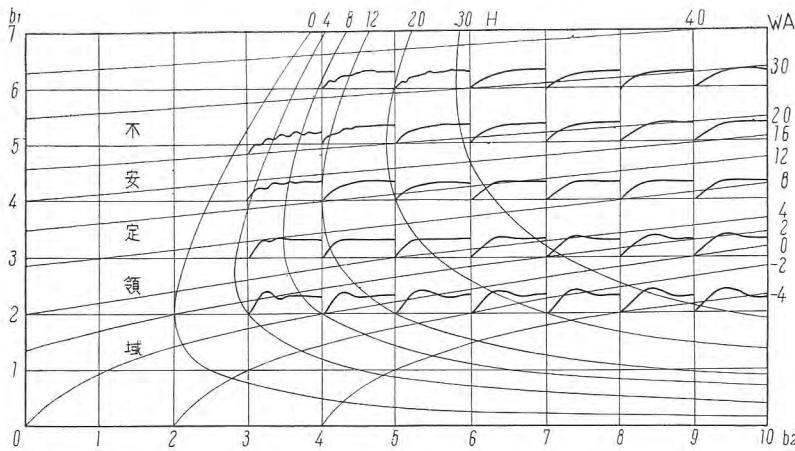
1 表

次 数	二 次		三 次			四 次			五 次			
	係 数	$b_1$	$b_1$	$b_2$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	
演 算 範 囲	0.5~5	0.5~5	0.5~5	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	
良 い 制 御 系	1~2	2~3	1.5 以上	3~4	4~6	1~5	3~4	6~9	6~9	6~9	2~4	
二 項 標 準 型	2	3	3	4	6	4	5	10	10	10	5	
BUTTERWORTH 標 準 型	1.4	2	2	2.6	3.4	2.6	3.24	5.24	5.24	5.24	3.24	
ITAE 標 準 型	1.4	2.15	1.75	2.7	3.4	2.1	3.4	5.5	5.0	5.0	2.8	



2 図  $\frac{1}{s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1}$  の演算表

Fig. 2. Operational table of  $\frac{1}{s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1}$ .



3 図  $\frac{1}{s^4 + 2s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1}$  の演算表

Fig. 3. Operational table of  $\frac{1}{s^4 + 2s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1}$ .

三次系についてはつきのようなことがいえる。

(1) インディシャル応答の形に対して、最も支配的な係数は  $b_1$  である。

一般的にいって、單一ループの自動制御系においては、 $b_1$  はループ利得の変化によって一番大きく変化する係数であるから、上記の結論はすなわち單一ループの自動制御系においては、インディシャル応答の形がループ利得の影響を大きく受けることを示している。

(2)  $b_2$  を変えても減衰項は余り変わらないが、固有周波数は変化する。とくに  $b_2$  が小さくなつて不安定領域に近づくと、一次遅れの応答に高い周波数の振動が乗るようになる。

安定用制動回路を伴つた自動制御系において、制御饋還量を過大に取ると、制動回路の付いた minor-loop 内

で内部発振のため、上記の現象が見られる。

四次系については

(1) 三次系と同様、系のインディシャル応答に対して支配的な係数は  $b_1$  である。

(2)  $b_2$  は  $b_1, b_3$  より大きく取ることが好ましい。

(3)  $b_2$  が小になると、内部発振を伴つた応答現象が起る。その周波数は  $b_1$  が大になる程高い。

(4)  $b_3$  が大になると、それにつれて不安定領域が拡大される。

なお五次の系についても演算を行つたが、実際に自動制御系の設計をする場合、この種の方法が便利で、使い易いのは三、四次系で、五次系以上になるとやや煩雑である。

いま迄は線型の自動制御系についてのみ述べてきたが、係数とインディシャル応答の関係をしっかりと掘んでいると、非線型の自動制御系についても或る程度の推定が可能である。一例を挙げると

$$\frac{d^3 c}{d\tau^3} + c^2 \frac{d^2 c}{d\tau^2} + b_1 \frac{dc}{d\tau} + c = r \quad \dots \dots \dots (10)$$

のよう、 $b_2$  が  $c^2$  と非線型になつてゐる場合は、三次系においては  $b_2$  が変つても、インディシャル応答の形は余り変わらないという前述の結論により、 $c^2$  を適当な常数値に置き代えて系を線型と考えて解析を行つても大過ない。

## 5. Nims-Hurwitz の座標系

Nims は  $\int_0^\infty e^t \cdot dt$  を設計基準として提案したことはまえがきにも述べたが、この設計基準には、かなり時間がたつて

ほとんど定常状態に達し、実際には問題にならない部分の誤差が必要以上に大きく入つてくるため、思わぬ結果になる恐れがあり、充分注意して用いねばならないが、その表現形式が非常に簡単なため、用いて便利なことが多い。さらにこれに Hurwitz の行列式の値を併用すれば、上記の恐れをカバーすることができる。

Laplace 変換の公式から

$$L \left\{ \int_0^t c(t) dt \right\} = \frac{C(\lambda)}{\lambda} \quad \dots \dots \dots (11)$$

同様に

$$L \left\{ \int_0^t [c(t) - 1] dt \right\} = \frac{C(\lambda) - \frac{1}{\lambda}}{\lambda} \quad \dots \dots \dots (12)$$

積分値が存在する時には

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t [c(t) - 1] dt = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \lambda \frac{C(\lambda) - \frac{1}{\lambda}}{\lambda} = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left[ C(\lambda) - \frac{1}{\lambda} \right] \dots (13)$$

いま  $c(t)$  は単位入力に対するインディシャル応答とすれば

$$C(\lambda) = \frac{A_m \lambda^m + A_{m-1} \lambda^{m-1} + \dots + A_1 \lambda + A_0}{B_n \lambda^n + B_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + B_1 \lambda + B_0} \cdot \frac{1}{\lambda} \dots (14)$$

さらに設定命令が切換わった場合の如く

$$A_0 = B_0 \dots (15)$$

が成立する場合には

$$A = \int_0^\infty [c(t) - 1] dt = \frac{A_1 - B_1}{B_0} \dots (16)$$

$A$  ; 単位階段状入力を加えた時の入力と応答間の誤差面積。

また Regulator において負荷が急変した場合の如く  $A_0 = 0$  が成立する場合には

$$A_r = \int_0^\infty c(t) dt = \frac{A_1}{B_0} \dots (17)$$

$A_r$  ; 単位階段状入力を加えた時の応答の誤差面積。

また入力と出力間の誤差に時間のウエイトをつけた場合は

$$L\{tc(t)\} = -\frac{d}{d\lambda} C(\lambda) \dots (18)$$

$$L\{t(c(t) - 1)\} = -\frac{d}{d\lambda} \left[ C(\lambda) - \frac{1}{\lambda} \right] \dots (19)$$

故に

$$L\left\{ \int_0^t [c(t) - 1] dt \right\} = -\frac{1}{\lambda} \frac{d}{d\lambda} \left[ C(\lambda) - \frac{1}{\lambda} \right] \dots (20)$$

この積分が収斂する場合には

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t [c(t) - 1] dt = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left\{ -\frac{d}{d\lambda} \left[ C(\lambda) - \frac{1}{\lambda} \right] \right\} \dots (21)$$

故に  $c(t)$  が (14), (15) を満足する場合には

$$WA = \int_0^\infty t(c(t) - 1) dt = \frac{(A_1 - B_1)B_1 - (A_2 - B_2)B_0}{B_0^2} \dots (22)$$

$$WA_r = \int_0^\infty tc(t) dt = \frac{A_1 B_1 - A_2 B_0}{B_0^2} \dots (23)$$

$WA$  ; 単位階段状入力を加えた時の入力と応答間のウエイトをつけた誤差面積。

$WA_r$  ;  $A_0 = 0$  の場合の、単位階段状入力に対する応答のウエイトをつけた面積。

すなわち (16), (17), (22), (23) の極めて簡単な四式を得る。

2 図および 3 図の表に  $WA = \text{一定}$  のウエイトを付けた等誤差面積線を記した。また  $A = \text{一定}$  の等誤差面積線は  $b_1 = \text{一定}$  の座標軸となり、これは自動制御系のインディシャル応答の形がほとんど  $b_1$  によって決定されるという前記の結論を裏付けている。

図より明かなように  $WA$  あるいは  $A$  が一定であるといつても、最初の Overshoot が大きいが、すぐ減衰するものから、最初の Overshoot は小さいが、それが持続するものいろいろの段階を含み、これだけで系を設計する場合不安があるから、もう一つの手軽な座標として Hurwitz の行列式の値を用いる。図において  $H = 2$  とあるのは、Hurwitz の行列式の値が 2 であることを示す。

$$H = \begin{vmatrix} B_{n-1} & B_{n-3} & B_{n-5} & \dots & 0 \\ B_n & B_{n-2} & B_{n-4} & \dots & 0 \\ 0 & B_{n-1} & B_{n-3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & B_1 \end{vmatrix}$$

以上のように新しい Hurwitz の行列式座標系を導入すると、 $b_i$  座標系と異り、座標値には物理的な意味を伴うため、視察が容易になると共に、低次系の結果を高次系に適用することができる。

## 6. む す び

以上簡単にインディシャル応答法に問題を限って、自動制御系を解析する方法を検討し、設計者が実際に使い易いように、できるだけ簡単な形で一つの資料をまとめた。しかしながら自動制御系の解析法は多くの人達によりいろいろな角度から検討されており、設計者は時と場合に応じてそれらを自由に駆使すべきで、今後とも諸種の資料を拡充強化して行きたいものと思っている。

最後に種々のご指導、ご助言を載いた電気第一研究室横須賀室長および馬場准一、真鍋輝治の両氏に深く謝意を表する次第である。

## 文 献

- (1) Servomechanisms and Regulating System Design, H. Chestnut and R. Mayer. John Wiley and Sons, New York, 1951
- (2) The Dynamics of Automatic Controls, R. C. Oldenbourg and H. Sartorius, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1948
- (3) Regelungstechnik 2, H. Sartorius, 1953
- (4) Some Design Criteria for Automatic Controls, P. T. Nims, AIEE Trans. 1951
- (5) The Synthesis of "Optimum" Transient Response; Criteria and Standard Forms, D. Graham and R. C. Lathrop, AIEE Trans. 1953

# プレスボードの吸湿と電気的特性

研究所

白井万次郎\*・原仁吾\*\*

## Moisture Absorption of Pressboard and Electrical Characteristics

Manjiro SHIRAI · Jingo HARA

Engineering Laboratory

Moisture is one of the most detrimental objects to the transformer insulation. Hence, for the insulation test in view of the quality control at the factory and also for the maintenance, it is very important to know the relation of the absorption of moisture by the pressboard—one of the elements of transformers—with their electrical characteristics. Tests have been conducted to inquire into the effect of moisture and temperature upon the pressboard before and after the impregnation in oil.

### 1. まえがき

変圧器絶縁にとって湿気は最も有害なもの一つで、変圧器の製作に際しては油浸前に充分な乾燥処理を行い、また油浸後湿気の再吸収を防ぐために、適当な設計処置が施されている。しかし、いろいろの使用条件下で、長期にわたって湿気を完全に遮断することは困難で、変圧器絶縁の主構成材料であるプレスボードの吸湿と、その電気的性質との関連を知ることは、工場における品質管理のための絶縁試験にはもちろん、現場における保守試験に際してもきわめて重要なことである。油浸プレスボードの電気的性質に対する吸湿の影響については、これまでにもすでに研究されてきたが<sup>(1)(2)</sup>、筆者等はおもに工場における変圧器乾燥の基礎資料の一つとして、未油浸および油浸プレスボードの吸湿、および吸湿量と電気的特性の関係について実験を行ったので、その結果について報告する。

### 2. 未油浸および油浸プレスボードの吸湿

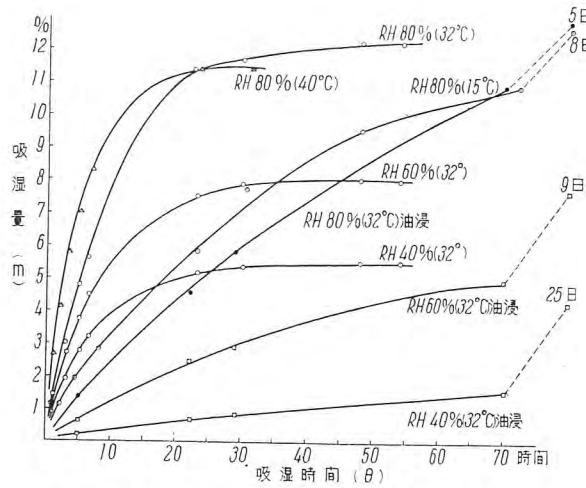
未油浸および油浸プレスボードの飽和吸湿量、および吸湿の速さをしらべるため、試料としてM社製の各種の厚さのプレスボードを用い、各試料を6cm<sup>2</sup>に切り、ほぼ恒量になるまで100°Cにて乾燥したのち、未油浸の場合には直ちにこれを各種の相対湿度を有する恒温槽に入れ、恒温槽中に放置し、その重量増加をもって吸湿量とし、これがほぼ一定となったときの増加量を飽和吸湿

量とした。油浸プレスボードは同じ寸法の乾燥試料を、変圧器油中に約5日間浸漬したのち取り出し、表面の油を拭ったものを恒温槽中で吸湿させた。この場合、油の吸収量はプレスボードの重量に対し約17%であった。油自身の吸湿量は40°C以下では0.01%以下であり<sup>(3)</sup>、プレスボードの吸湿量に対してはこの場合無視し得るので、油浸プレスボードの吸湿量は、油浸前のプレスボードの重量に対する百分率をとった。

1図は温度、湿度を変化した場合のプレスボードの吸湿量と吸湿時間との関係を示したもので、吸湿の速さは同じ湿度でも温度によりかなり異り、また油浸プレスボードの吸湿の速さは未油浸プレスボードよりかなりおそれい。

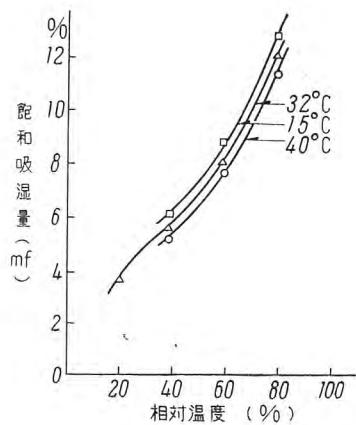
2図はプレスボードの飽和吸湿量と相対湿度との関係を示したもので、他のセルローズ質材料の吸湿特性と同様の傾向を示し、温度が上昇すると飽和吸湿量はわずかに小さくなる。これはセルローズが吸湿する際に吸着熱を発するからで、吸着の際、発熱するものは温度が上昇すると飽和吸湿量が減ることは熱力学から証明されている。3図は油浸および未油浸プレスボードの飽和吸湿量を比較したものである。プレスボードは油浸しても飽和吸湿量はあまり変わらないが、低湿度ではいくぶん減り、高湿度ではいくぶん増している。

プレスボードの吸湿機構として、表面に吸着された水分が一定の拡散係数により内部に拡散し吸着されてゆくことと、拡散理論により吸湿量と吸湿時間との間に



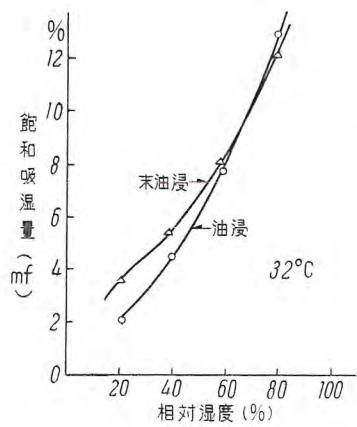
1 図 油浸及未油浸フレスボードの吸湿 試料の厚さ 1.5 mm

Fig. 1. Water absorption by pressboard and oil-impregnated pressboard.  
sample thickness 1.5 mm.



2 図 未油浸フレスボードの飽和吸湿量

Fig. 2. Max. quantity of water absorbed by pressboard.



3 図 油浸フレスボードの飽和吸湿量

Fig. 3. Max. quantity of water absorbed by oil-impregnated pressboard.

きの式がなりたつ。

$$m = m_f \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left[ -\frac{\pi^2 D \theta}{h^2} \right] \right] \quad (1)$$

ここで  $m_f$  は飽和吸湿量,  $m$  は時間  $\theta$  における試料の吸湿量,  $h$  は試料の厚さ,  $D$  は水分の拡散係数である. (1) 式より

$$\log \frac{\pi^2}{8} \left( \frac{m_f - m}{m_f} \right) = -\frac{\pi^2 D}{h^2} \theta \quad (2)$$

となるから Semi-log グラフ紙を用いれば上の関係は直

線となる。

1 図の吸湿量より  $(m_f - m/m_f)$  を求め, 時間  $\theta$  との関係を Semi-log グラフ紙にあらわしてみると, 大部分が直線にならない. これはフレスボードの吸湿が単純に水分の拡散だけできまらないことを示している.

1 図の吸湿量と時間の関係は, つぎの実験式に比較的よくあてはまる.

$$\frac{m}{m_f} = \frac{b\theta}{1+b\theta} \quad (3)$$

$$(3) \text{ 式は } \theta \rightarrow 0 \quad m/m_f = b\theta \\ \theta \rightarrow \infty \quad m/m_f = 1$$

となり,  $b$  は吸湿の初期の吸湿速度をあらわす.

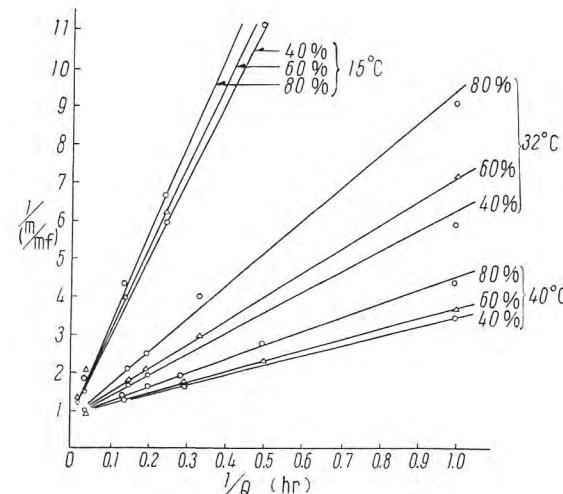
$$(3) \text{ 式より } \frac{1}{(m/m_f)} = 1 + \frac{1}{b\theta} \quad (4)$$

(4) 式は  $1/(m/m_f)$  と  $1/\theta$  をグラフの両軸にとれば直線になる. 1 図のデータをこの形であらわすと, 4 図に示すように, ほぼ直線になり, この直線の傾斜率の逆数が  $b$  である.  $b$  を用いてフレスボードの吸湿の速さを比較することができる.

$b$  は室温付近の温度では, 温度差によりいちじるしく異り, 温度が上昇すると大となる. また同じ温度では湿度の高い方がいくぶん小さい.  $b$  を普通の反応速度恒数と同様に考えると次式であらわされる.

$$b = ae^{-\frac{E}{RT}} \quad (5)$$

ここで,  $E$  は活性エネルギー,  $R$  はガス恒数,  $T$  は絶対温度,  $a$  は比例常数である. 4 図より計算した  $\log b$  と  $(1/T)$  を両軸にとってあらわしてみると, 5 図のようになり, 実験された温度範囲では, (5) 式にほぼあてはまる. 夏期に作られたセルローズを含む絶縁物の性質が悪かったり, 夏期に絶縁物の事故がおこりやすいのは, 夏期が温度が高いばかりでなく, セルローズの吸湿が早くなり, 容易に飽和量に達することにも原因があると考えられる.



4 図  $1/(m/m_f)$  と  $1/\theta$  の関係  
Fig. 4. Relation between  $1/(m/m_f)$  and  $1/\theta$ .

6図は $b$ とプレスボードの厚さの関係を示したもので、ほぼ直線関係がみられ、厚くなるほど $b$ は小さくなり、厚さによる $b$ の変化は湿度が小さいほど大きい。

7図は油浸および未油浸のプレスボードの吸湿を比較したもので、プレスボードは油浸することにより、吸湿はいちじるしくおそくなり、 $b$ の値は一桁小さい。また湿度による影響が、未油浸の場合と逆になり、湿度が大きい方が $b$ が大きくなる。

### 3. 吸湿量と電気的性質

厚さ 0.93 mm、直徑約 195 mm のプレスボードを乾燥後、各種の相対湿度を有する恒湿槽中に入れ、吸湿量がほぼ平衡するまで室温に放置し、油浸の場合には、さらにこれらの試料を、同じ恒湿槽中で変圧器油中に漬け、吸湿量がほぼ飽和するまで放置して、それぞれ吸湿量の異なる 15 枚の未油浸プレスボードと、11 枚の油浸プレスボードを用意した。

吸湿が平衡状態になったこれらの各試料を、直徑 150 mm の保護環付平円板電極にはさみ、8図に示すように、吸湿に用いたものと同じ相対湿度を有する恒湿槽中で温

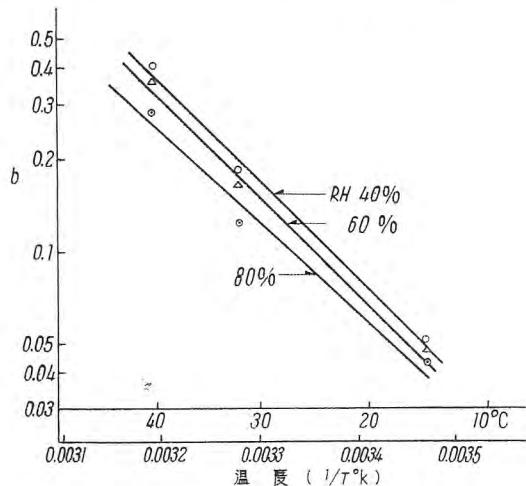


Fig. 5. Relation between  $b$  and  $1/T^0K$ .

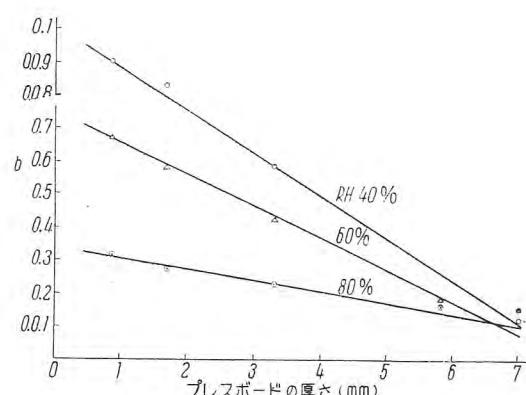
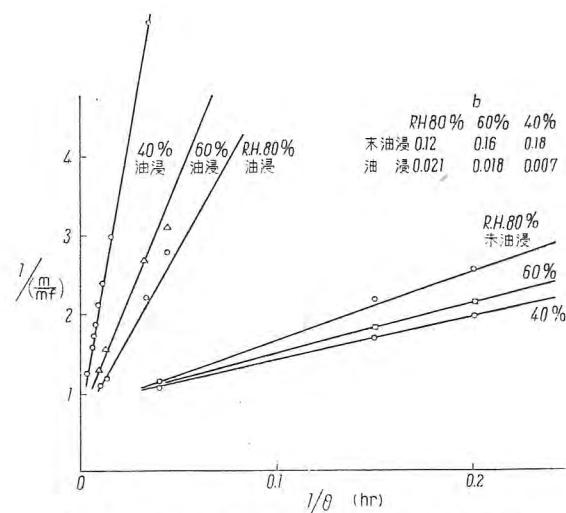
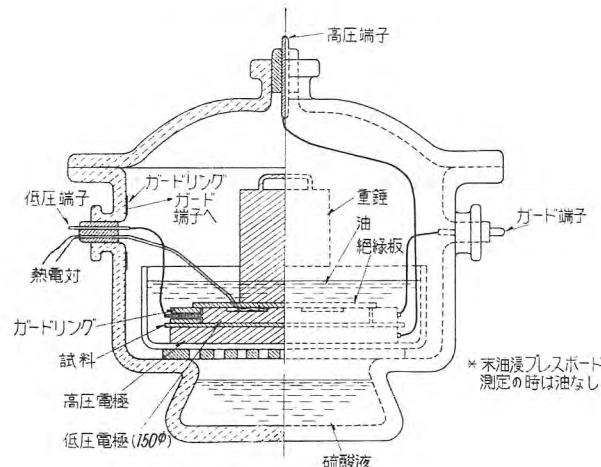


Fig. 6. Relation between pressboard thickness and  $b$ .



7図 油浸および未油浸プレスボードの $b$ の比較

Fig. 7. Comparison of  $b$  for pressboard and oil-impregnated pressboard.



8図 電極配置図

Fig. 8. Electrode arrangement.

度を変化し、各温度にて絶縁抵抗および  $\tan \delta$  を測定し、吸湿量と電気的性質との関係をしらべた。試験した試料の吸湿量は、未油浸プレスボードでは、最小 0.298 % から最大 5.117 % の範囲内で、また油浸プレスボードでは 0.165 ~ 4.675 % の範囲内であった。

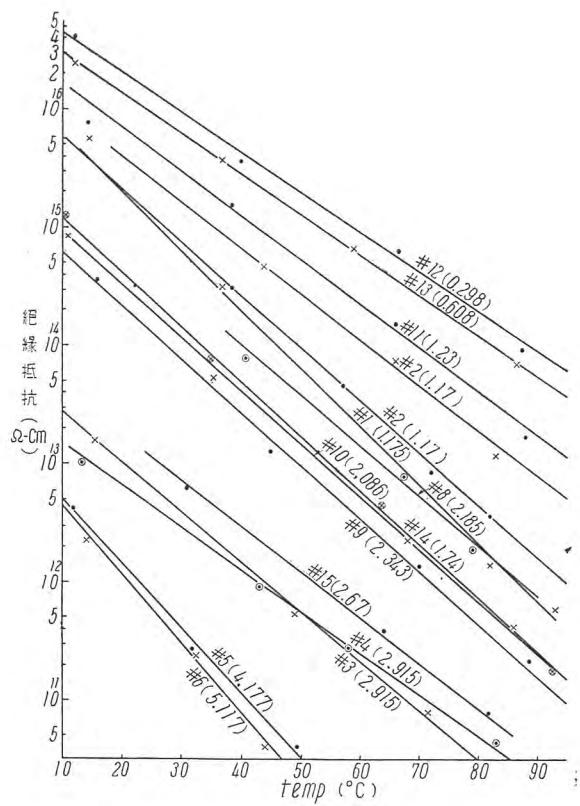
絶縁抵抗測定は 1,000 V D-C で行い、 $\tan \delta$  は Schering Bridge により 1,000 V, 60 c/s にて測定した。

含浸に用いた調湿前の変圧器油の特性は 1 表のとおりである。

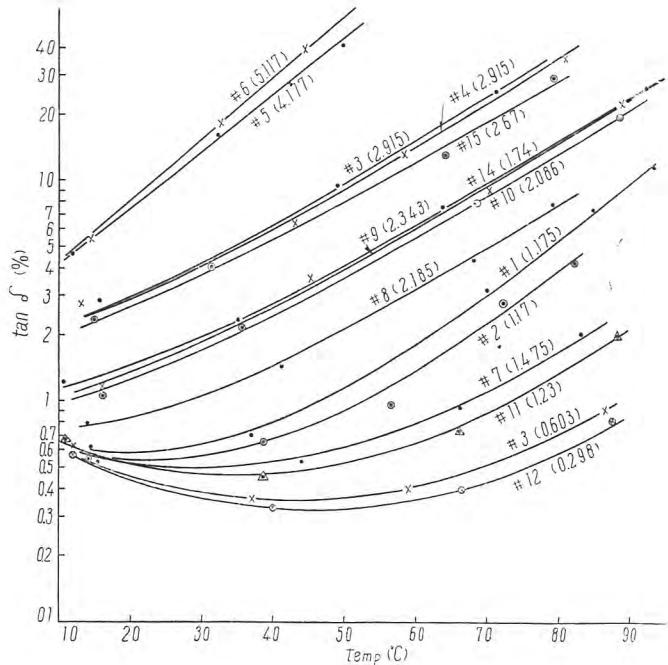
測定結果を曲線にして 9 ~ 12 図に示す。図中曲線の横に ( ) 内に示した数値は吸湿量 (%) を示す。またここに示した絶縁抵抗値は、すべて電圧印加後電流値がほぼ一定となった 5 ~ 10 分後の値 ( $\infty$  値) である。

1表 含浸変圧器油の特性

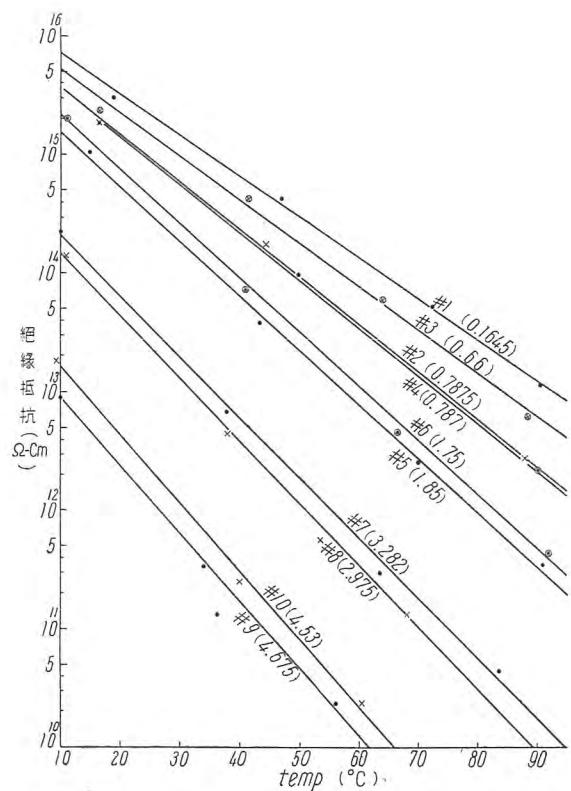
項目	温度 (°C)	25	55	70	90
$\tan \delta$ (%)	0.11	0.34	0.64	1.70	
$\rho$ ( $\times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ )	46.7	9.34	4.51	1.67	



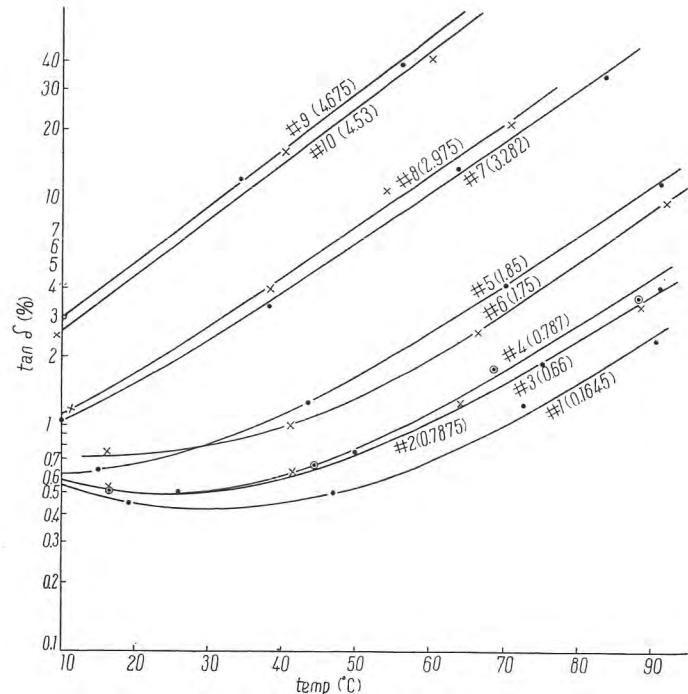
9 図 未油浸プレスボードの絶縁抵抗  
Fig. 9. Insulation resistance of pressboard.



10 図 未油浸プレスボードの  $\tan \delta$   
Fig. 10. Dissipation factor of pressboard.



11 図 油浸プレスボードの絶縁抵抗  
Fig. 11. Insulation resistance of oil-impregnated pressboard.



12 図 油浸プレスボードの  $\tan \delta$   
Fig. 12. Dissipation factor of oil-impregnated pressboard.

#### 4. 測定結果の一般式

以上の測定結果から未油浸および油浸プレスボードの温度ならびに吸湿量と、電気的性質との関係を一般的に考察するために、実験式を求めるに (6)～(16) 式のようになる。ここで  $\tan \delta$  はすべて % の単位で表わし、また絶縁抵抗  $R$  は  $\Omega \cdot \text{cm}$  のほかに後に述べる理由により  $\Omega \cdot \text{F}$  の単位でも表わした。式中  $m$  は吸湿量 (%) で、 $t$  は温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) である。

##### ア. 未油浸プレスボード

$$\log_{10} R(\Omega \cdot \text{cm}) = (17.03 - 0.908m) - (0.0293 + 0.0061m)t \quad (6)$$

$$\log_{10} R(\Omega \cdot \text{F}) = (4.429 - 0.847m) - (0.0282 + 0.00604m)t \quad (7)$$

$$\log_{10} \tan \delta = \log_{10} \tan \delta_0 + \alpha \cdot m \quad (8)$$

ただし

$$\log_{10} \tan \delta_0 = -0.263 - 0.021t + 0.00023t^2 \quad (9)$$

$$\alpha = 0.15 + 0.0115t - 0.00006t^2 \quad (10)$$

##### イ. 油浸プレスボード

$$\log_{10} R(\Omega \cdot \text{cm}) = (16.15 - 0.2m^{1.64}) - (0.033 + 0.0072m^{0.89})t \quad (11)$$

$$\log_{10} R(\Omega \cdot \text{F}) = (3.685 - 0.23m^{1.5}) - (0.0325 + 0.0062m^{0.85})t \quad (12)$$

$$\log_{10} \tan \delta = \log_{10} \tan \delta_0 + \alpha \cdot m^{\beta} \quad (13)$$

ただし

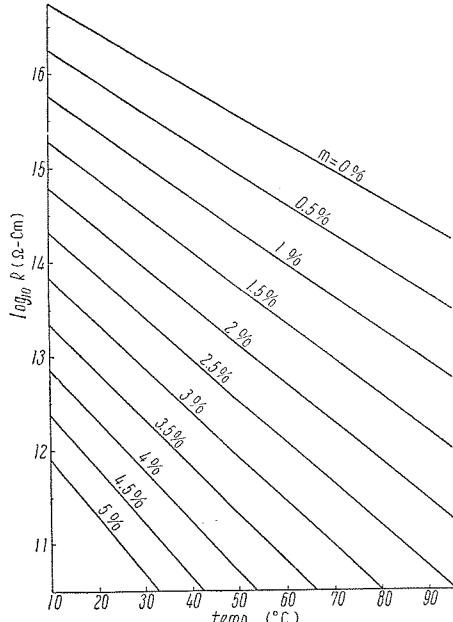
$$\log_{10} \tan \delta_0 = -0.23 - 0.0069t + 0.00014t^2 \quad (14)$$

$$\alpha = 0.015 + 0.00173t + 0.0000344t^2 \quad (15)$$

$$\beta = 2.15 - 0.019t + 0.000076t^2 \quad (16)$$

##### ウ. 一般式

以上を一般式で表わせば、絶縁抵抗は



13 図 未油浸プレスボードの温度対絶縁抵抗

Fig. 13. Insulation resistance-temperature curves for pressboard.

$$\log R = A - B \cdot t \quad (17)$$

$$= C - D \cdot m^{\gamma} \quad (18)$$

$$\text{ただし } A = f_A(m)$$

$$B = f_B(m)$$

$$C = f_C(t)$$

$$D = f_D(t)$$

$$\gamma = \text{常数} \quad (\text{未油浸では } \gamma = 1)$$

また  $\tan \delta$  は

$$\log \tan \delta = \log \tan \delta_0 + \alpha \cdot m^{\beta} \quad (19)$$

$$\text{ただし } \tan \delta_0 = f_{\delta}(t)$$

$$\alpha = f_{\alpha}(t)$$

$$\beta = f_{\beta}(t) \quad (\text{未油浸では } \beta = 1)$$

これらの実験式を曲線にして表わせば 13～20 図のとおりである。

##### エ. 温度補正係数

絶縁抵抗および  $\tan \delta$  は上述のとおり温度の函数であるので、任意の温度における測定値を比較するためには、ある標準温度（たとえば  $20^{\circ}\text{C}$ ）の値に換算しなければならない。 $20^{\circ}\text{C}$  に換算するための補正係数を  $k_t$  とすれば、絶縁抵抗および  $\tan \delta$  はそれぞれ

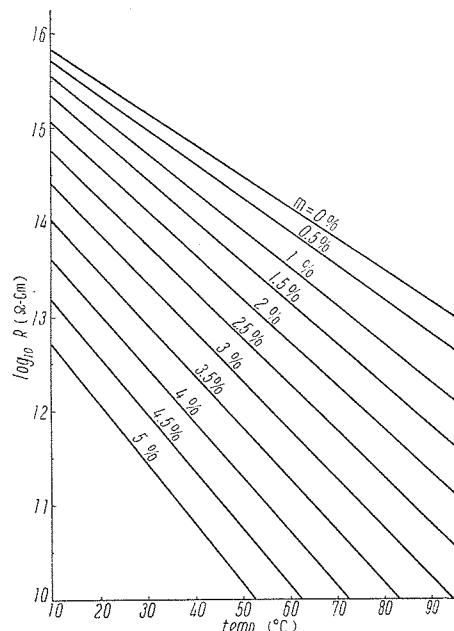
$$R_{20} = R_t / k_t \quad (20)$$

$$\tan \delta_{20} = \tan \delta_t / k_t \quad (21)$$

で表わされる。ここで  $R_t$ 、 $R_{20}$ 、 $\tan \delta_t$ 、 $\tan \delta_{20}$  はそれぞれ  $t^{\circ}\text{C}$ 、および  $20^{\circ}\text{C}$  における絶縁抵抗と  $\tan \delta$  である。 $k_t$  の値は (6)～(16) 式より求めることができる。

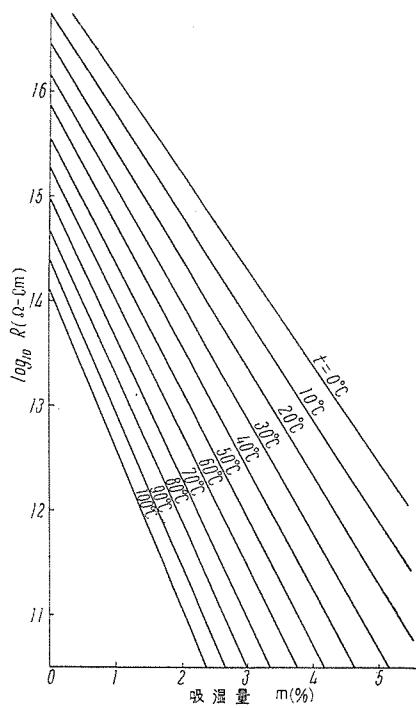
#### 5. 考 察

ア. プレスボードの吸湿量と吸湿時間の関係は、水分が表面に吸着し、これが内部に一定の拡散係数により拡散してゆくと仮定する拡散式にあてはまらず、実験式



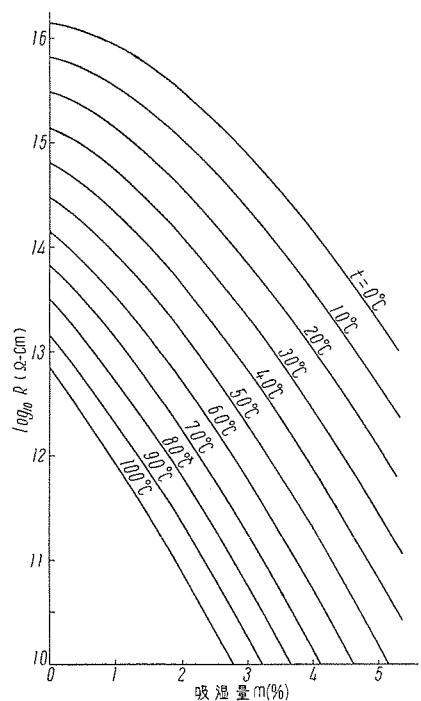
14 図 油浸プレスボードの温度対絶縁抵抗

Fig. 14. Insulation resistance-temperature curves for oil-impregnated pressboard.



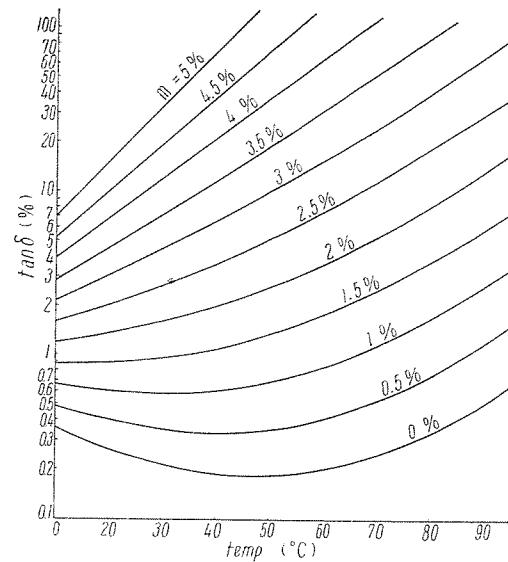
15 図  
未油浸プレスボードの吸湿量対絶縁抵抗

Fig. 15.  
Insulation resistance-water content curves for pressboard.

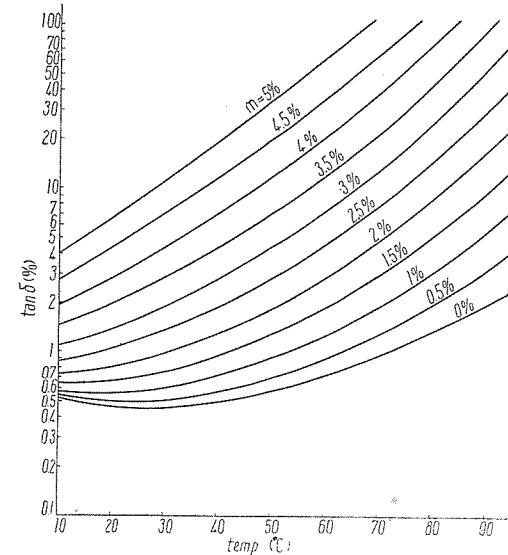


16 図  
油浸プレスボードの吸湿量対絶縁抵抗

Fig. 16.  
Insulation resistance-water content curves for oil-impregnated pressboard.



17 図 未油浸プレスボードの温度対  $\tan \delta$   
Fig. 17. Dissipation factor-temperature curves for pressboard.



18 図 油浸プレスボードの温度対  $\tan \delta$   
Fig. 18. Dissipation factor-temperature curves for oil-impregnated pressboard.

斜率は吸湿量  $m$  によって異り、吸湿量が大きくなるほどこの傾斜率は大きくなる。また吸湿量の増加につれて絶縁抵抗は、未油浸の場合は指数函数的に減少し、この割合は温度が高いほどいちじるしい。油浸プレスボードでは、吸湿量の少い所で絶縁抵抗の低下がやや少く、吸湿量約 1% 以上、温度約 50°C 以上になるとほぼ指数函数的に絶縁抵抗は減少する。

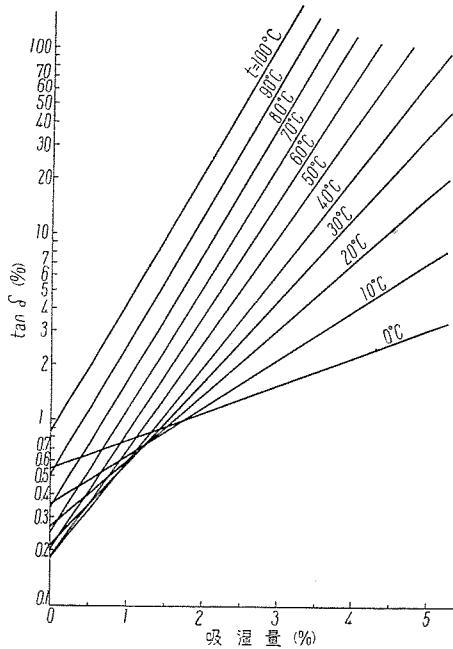
絶縁抵抗を  $\Omega\text{-F}$  の単位で表わしても曲線の形状はほとんど変わらないが、絶縁抵抗-温度曲線、絶縁抵抗-吸湿曲線のいずれもやや曲線の傾斜が少なくなる。

ウ.  $\tan \delta$  は吸湿量の少い所では温度とともに最初減少し、ついでまた上昇するが、吸湿量の増加とともに  $\tan \delta$  は増加し、 $\tan \delta$ -温度曲線の傾斜は大きくなる。吸湿量に対する  $\tan \delta$  の増加は、未油浸プレスボードで

$m/m_r = b\theta/1+b\theta$  に比較的よくあてはまる。  $b$  は  $\theta \rightarrow 0$  の時の吸湿速度である。  $b$  は温度の上昇によりいちじるしく大きくなるが、飽和吸湿量は温度が上昇すると、わずかであるが小さくなる。  $b$  はまた試料の厚さや湿度によって変化し、同じ湿度では試料が厚くなると小さくなる。

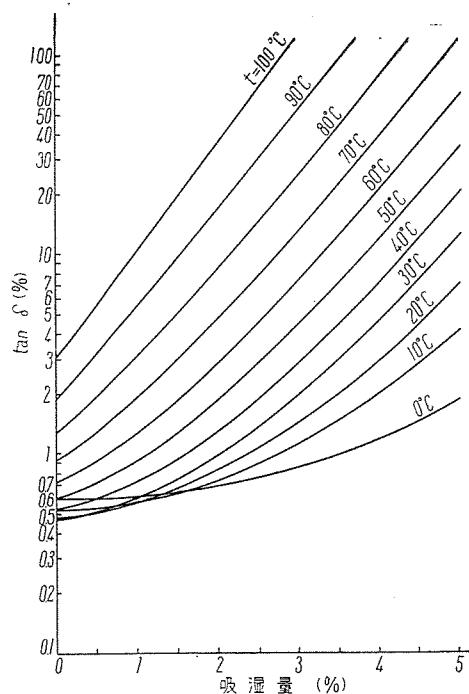
プレスボードは油浸すると未油浸と比較して、飽和吸湿量は高湿度でいくぶん大きくなり、低湿度では小さくなり、  $b$  はいちじるしく小さくなる。

イ. 絶縁抵抗は温度とともに指数函数的に減少し、Semi-log グラフ紙で直線として表わされるが、その傾



19 図 未油浸プレス  
ボードの吸湿量対  
 $\tan \delta$   
Fig. 19. Dissipation  
factor-water con-  
tent curves for  
pressboard.

20 図 油浸プレス  
ボードの吸湿量対  
 $\tan \delta$   
Fig. 20. Dissipa-  
tion factor-water  
content curves for  
oil-impregnated  
pressboard.



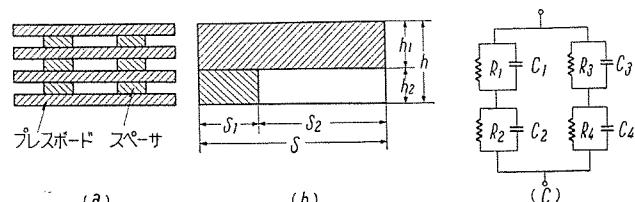
は吸湿量とともに指数函数的に増加し、温度の上昇とともにその増加度は大きくなるが、油浸プレスボードでは温度の低い範囲では指数関係は成立せず、吸湿量が約1%以上、温度約50°C以上で  $\tan \delta$  は吸湿量とともにほぼ指数函数的に増加するようになる。これらの関係はR. T. Rushall 氏が、油浸プレスボードについて行った実験結果<sup>(2)</sup>と比較的よく一致している。文献(5)によればクラフト紙の場合には、温度が30~75°Cの範囲では吸湿量0.2%付近に彎曲点が見られ、未油浸では吸湿量0.2%以下で  $\tan \delta$  の変化率が大きくなり、油浸では小さくなることが報告されているが、本実験ではいわゆるコンデンサの乾燥と異り、この程度の少い吸湿量の範囲を問題の対象にしなかったので、この点は明かでない。

エ. 吸湿量の変化に対する絶縁抵抗および  $\tan \delta$  の変化率を比較すると、 $\tan \delta$  の場合は温度の低い所で吸湿量に対する変化率が小さく、また油浸プレスボードでは、低吸湿量の所でこの変化率がさらに小さくなるので、いわゆる湿気の indicator としての  $\tan \delta$  測定は、未油浸の場合約40°C以下、油浸では約60°C以下では充分でない。絶縁抵抗も油浸の場合には、吸湿量約1%以下で変化率が小さくなるが、いま吸湿量が0%から1%に増加した場合の絶縁抵抗の変化率と、 $\tan \delta$  の変化率を比較すると、この変化率は温度によって相違はあるが、温度が10~90°Cの範囲では、絶縁抵抗の変化率は  $\tan \delta$  の変化率に比べ、未油浸では前者は後者の約4.5~5.5倍、油浸では約2~2.5倍となり、吸湿の indicator としての電気的特性の測定は、絶縁抵抗の方が  $\tan \delta$  よりもはるかに感度が大きい。

オ. 前述のとおり吸湿の indicator としての電気的特性の測定は、 $\tan \delta$  よりも絶縁抵抗の方が優れているが、絶縁抵抗の値は供試物の物理的寸法によって

異り、寸法の異なる試料の乾燥度を絶縁抵抗の値で直接比較することはできない。蓄電器ではよく物理的寸法に無関係なR. C. ( $\Omega$ -F) の単位で絶縁状態をあらわしているが、変圧器絶縁においても  $\Omega$ -F で表示することが可能であれば、直接  $\Omega$ -F の値から乾燥度を判断することができ、きわめて都合がよい。かかる目的で測定結果を  $\Omega$ -F の単位でも表わしてみた。

試料に用いたような1枚の平板であれば、もちろん  $\Omega$ -F で表示して寸法に無関係に絶縁状態を比較できるが変圧器絶縁では一般に、21図(a)のとおり各プレスボードの間にスペーサとして、同じ材質のプレスボードの小片を挿入し、その空間に絶縁油が入る構造になっている。このような絶縁構造のものを  $\Omega$ -F で表示することの可否について、簡単に考えて見る。21図(a)を集中的に(b)のように考えると、電気的の等価回路は(c)のようになる。すなわち左辺はスペーサと直列のプレスボードの部分、右辺は空間と直列の部分で、 $R_1, R_2, \dots, C_1, C_2, \dots$  等は各部の絶縁抵抗および静電容量を代表する。いま、プレスボードおよびスペーサの各合成厚さをそれぞれ  $h_1, h_2$  (絶縁厚さ  $h = h_1 + h_2$ )、スペーサおよび空間の占める面積をそれぞれ  $S_1, S_2$  ( $S = S_1 + S_2$ ) とし、またプレスボードの誘電率および固有抵抗を  $\epsilon_1, \rho_1$ 、空



21 図 変圧器の絶縁方式とその等価回路

Fig. 21. Insulation system for transformer and their  
equivalent circuit.

間の部分の誘電率および固有抵抗を  $\varepsilon_2, \rho_2$  とすれば、21図(c)の全合成直流絶縁抵抗  $R$ 、および静電容量  $C$  はつぎのとおりになる。

$$R = \frac{h}{S} \cdot \frac{\rho_1 \cdot (h_1/h \cdot \rho_1 + h_2/h \cdot \rho_2)}{S_2/S \cdot \rho_1 + S_1/S \cdot (h_1/h \cdot \rho_1 + h_2/h \cdot \rho_2)} \cdots \cdots \cdots (22)$$

$$C = k \cdot \frac{S}{h} \cdot \left( S_1/S \cdot \varepsilon_1 + S_2/S \cdot \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{h_1/h \cdot \varepsilon_2 + h_2/h \cdot \varepsilon_1} \right) \cdots \cdots \cdots (23)$$

ただし  $k$  は恒数である。

したがって  $R \cdot C$  は  $S_1/S = \alpha, h_1/h = \beta$  とおけば、

$$RC = k \cdot \frac{\rho_1 \cdot \{\beta \cdot \rho_1 + (1-\beta) \cdot \rho_2\}}{(1-\alpha) \cdot \rho_1 + \alpha \cdot \{\beta \cdot \rho_1 + (1-\beta) \cdot \rho_2\}} \times \left\{ \alpha \cdot \varepsilon_1 + (1-\alpha) \cdot \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\beta \cdot \varepsilon_2 + (1-\beta) \cdot \varepsilon_1} \right\} \cdots \cdots \cdots (24)$$

となる。未油浸では  $\varepsilon_2 = 1, \rho_1 \ll \rho_2 (\rightarrow \infty)$  であるので、(24) 式は

$$RC = k \cdot \rho_1 \left\{ \alpha \varepsilon_1 + \frac{(1-\alpha) \cdot \varepsilon_1}{\beta + (1-\beta) \cdot \varepsilon_1} \right\} \cdots \cdots \cdots (25)$$

となるが、いずれにしても  $RC$  は  $S_1/S$  および  $h_1/h$  の大きさによって値が異り、物理的寸法に無関係とはならないから、あらゆる変圧器の絶縁状態を  $R \cdot C$  の値から直接比較することはできない。しかしながら、 $S_1/S$  および  $h_1/h$  が変圧器の種類や大きさ等によって、ひどく相違がなければ、絶縁状態を直接  $R \cdot C$  の値で比較することが可能になるわけである。一方  $\tan \delta$  の値は、普通一般に物理的寸法に無関係のものとして、変圧器の絶縁状態の比較によく用いられているが、正確には  $\Omega\text{-F}$  の場合と同じく、 $S_1/S, h_1/h$  の値がそれぞれ同一の変圧器についてのみ、物理的寸法に無関係に絶縁状態を  $\tan \delta$  で比較することができる。\* (備考参照) すなわちあらゆる種類の変圧器の絶縁状態を、 $\Omega\text{-F}$  の値で比較することと、 $\tan \delta$  の値で比較することは同じ程度の信頼性を有することになる。

以上のべた  $\Omega\text{-F}$  での表示については、プレスボードの表面漏洩電流が、体積漏洩電流に比較し、無視し得る程度であることを仮定しているので、この表面漏洩抵抗の問題についてはさらに実験を計画中である。また  $\Omega\text{-F}$  で表示することの可否については、伊丹製作所工作部第一工作課の協力を得て、実際の変圧器についてデータを蒐集集中である。

**力** プレスボードは油浸しても、吸湿量が約 2% 程度の所では、絶縁抵抗は大して変化ないが、吸湿量がこれより大きくなると、絶縁抵抗は油浸することによって大きくなり、吸湿量が少い所では油浸することによって絶縁抵抗は低下する。充分に乾燥状態のプレスボードは、油浸することによって絶縁抵抗は約 1/10 に低下する。(この値は含浸油の特性によって多少は異なる。)

変圧器の製作過程で乾燥処理終了後、油浸することに

\*備考:-

21図(c)でプレスボードの力率を  $\tan \delta_1$ 、空間の部分の力率を  $\tan \delta_2$  とすれば、全体の合成の  $\tan \delta$  は、

$$\tan \delta = \frac{[\alpha \cdot \{(1-\beta) \varepsilon_1 + \beta \varepsilon_2\}^2 + (1-\alpha) \beta \varepsilon_2^2] \cdot \tan \delta_1 + (1-\alpha) (1-\beta) \varepsilon_1 \varepsilon_2 \tan \delta_2^2}{[\alpha \cdot \{(1-\beta) \varepsilon_1 + \beta \varepsilon_2\} + (1-\alpha) \varepsilon_2] \cdot \{(1-\beta) \varepsilon_1 + \beta \varepsilon_2\}}$$

となる。未油浸では上式で  $\varepsilon_2 = 1, \tan \delta_2 = 0$  とおけばよい。 $\alpha, \beta, \varepsilon_1, \varepsilon_2$  等は(24)式の場合と同じ。

よって絶縁抵抗が低下するのはこのためで、さらに実際の変圧器では絶縁抵抗は前述の(22)式で表わされるが、未油浸の場合には  $\rho_1 \ll \rho_2$  ( $\rho_1, \rho_2$  はそれぞれ未油浸プレスボードおよび空気の固有抵抗) であるので、この場合の絶縁抵抗  $R$  は

$$R = h/S_1 \cdot \rho_1 \cdots \cdots \cdots (26)$$

となり、油浸することによって絶縁抵抗  $R'$  は

$$R' = \frac{h}{S} \cdot \rho_1' \cdot \frac{h_1/h \rho_1' + h_2/h \cdot \rho_2'}{S_2/S \cdot \rho_1' + S_1/S (h_1/h \cdot \rho_1' + h_2/h \cdot \rho_2')} \cdots \cdots \cdots (27)$$

となる。ここで  $\rho_1'$  は油浸プレスボードの固有抵抗、 $\rho_2'$  は油の固有抵抗である。したがって油浸前後の絶縁抵抗を比較すると、

$$R' = \frac{S_1 \cdot \rho_1'}{S \cdot \rho_1} \cdot \frac{h_1/h \rho_1' + h_2/h \cdot \rho_2'}{S_2/S \cdot \rho_1' + S_1/S (h_1/h \cdot \rho_1' + h_2/h \cdot \rho_2')} \cdots \cdots \cdots (28)$$

となる。(28)式で  $\rho_1'/\rho_1$  が前述のとおり乾燥状態では約 1/10 になるほかに、 $S_1/S$  は当然 1 より小さく、また吸湿量の少い所では一般に  $\rho_1' > \rho_2'$  であるので、第3項も普通 1 より小さくなり、したがって乾燥状態の未油浸変圧器に油含浸を行えば、絶縁抵抗はプレスボード自身が油浸することによって低下するほかに、スペーサの占める面積の比率と、厚さの比率とにしたがって絶縁抵抗は小さくなる。

## 6. む す び

**ア** プレスボードの吸湿量と吸湿時間の関係は、拡散による方程式とはよく一致しない。

**イ** 吸湿速度は温度が高くなるといちじるしく大きくなり、また試料の厚さや湿度によっても変化する。

**ウ** プレスボードは油浸すると吸湿速度はいちじるしく遅くなるが、飽和吸湿量は大して変わらない。

**エ** 未油浸および油浸プレスボードの電気的性質と、温度および吸湿量との関係を明かにした。

**オ** プレスボードの吸湿量の indicator としての電気的特性の測定は、 $\tan \delta$  よりも絶縁抵抗の方が優れている。これに関連し変圧器の絶縁状態を、 $\Omega\text{-F}$  の単位で表示することについて検討した。

**カ** 乾燥状態の未油浸変圧器に油含浸を行えば、絶縁抵抗は低下する。

以上、プレスボードの吸湿と電気的性質との関係について実験結果を報告したが、本実験に際しご指導を賜った研究所電気第一研究室長横須賀参事、伊丹製作所第一工作課長福中参事に深謝するとともに、ご協力をいただいた研究所関口、大杉両技師、伊電第一工作課高木、神谷、松田各技師に感謝の意を表する。

### 文 献

(1) W. L. Teague, J. H. McWhiter: Dielectric Measurements on New Power Transformer Insulation, A. I. E. E. Tech. Paper 52-159.

(2) R. T. Rushall: Dielectric Properties of Oil-Soaked Pressboard as Affected by Water. P. I. E. E. Part II A (1953).

(3) P. B. Kaufman: Gas and Moisture Equilibria in Transformer Oil. A. I. E. E. Tech Paper 55-66.

(4) 白井: 乾燥理論より見た変圧器の乾燥 [三菱電機] 28, 321. (昭 29-7).

(5) 内藤、島、佐藤: 電学誌 74, 26. (昭 29-1).

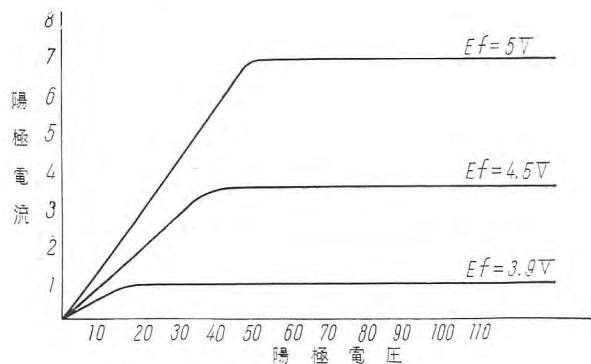
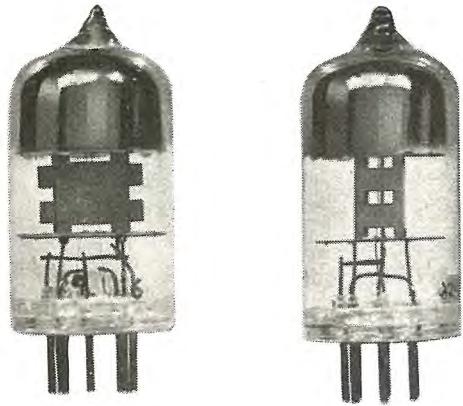
# ノイズダイオード NG-1 フラッシュ

## ノイズダイオード NG-1

ノイズダイオード NG-1 はショットノイズを利用したミニチュア管型の雑音発生管であって、真空管、トランジスタ、通信機器において発生する雑音の指標を測定するために作られたものである。

諸特性中もっとも重要なものは陽極電圧—陽極電流特性であるが図に示されているように充分低い陽極電圧で飽和電流が得られるので、低陽極電圧で充分機能を発揮するものである。

また陽極とフィラメント間の漏遊容量を小さく設計してあるので、周波数特性も満足すべきものとなっている。図表は NG-1 の諸特性である。



I <sub>b</sub> (E <sub>f</sub> =5 Vdc E <sub>p</sub> =100 Vdc)	6.5 mA
I <sub>b</sub> (E <sub>f</sub> =3.9 Vdc E <sub>p</sub> =100 Vdc)	1 mA
I <sub>f</sub> (E <sub>f</sub> =5 Vdc)	350 mA
陽極—フィラメント間静電容量	0.45 PF

## 新しいパルス式回転計

普通使用されている機械的または電気的回転計は、その精度も 1% 程度であって、これ以上の要求に対しては考えを新にしなければならない。

ここに紹介するパルス式回転計は、正にこのような高度の要求に応じうるもので、0.05% 以上の精度で、10,000 回転/分までの測定をることができる。その原理は回転体に連結されたパルス発電機から生ずる電気的出力を、電子管回路に入れて精密な時計で計数し、回転数を測定するのでパルス発電機、計数装置、タイマー装置および電源部から構成されている。

タイマー装置は計数時間を制御し、発電機出力周波数と計数時間は、全体の数値が毎分の回転数に等しいように選ばれている。

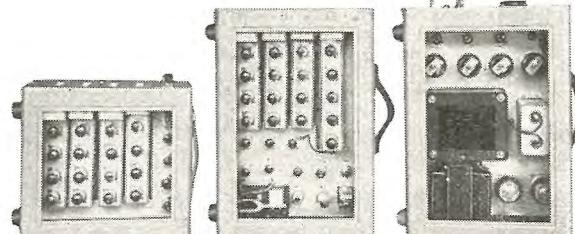
写真は新型のパルス式回転計で左から計数装置、タイマー装置および電源部で別にパルス発電機がある。

操作は極めて簡単でパルス発電機と計数装置とを電線で連結し、スタートスイッチを入れると毎分の回転数がネオンランプによって指示され、新しい型ではこれが自動的に 2 秒または 4 秒毎に繰返されるようになっている。従来の型はこれを手動で行っていた。

電源入力 100 V A-C 350 W、総重量約 40 kg である。



パルス式回転計



上からみたもの

## コンビネーションラインスター

定速度の電動力運転には、カゴ形誘導電動機を使用して、ラインスタート（全電圧直入起動）によるのが、もっとも簡単で故障が少なく、価格も安い。しかしラインスタートは比較的大きな起動電流をとるので、以前には問題となる場合も多かったが、近来は電動機設計の進歩と電源容量の増大によって、低電圧、高電圧にかかわらず極めて大容量のものまで、非常に広く使用されるようになった。

このために使用するラインスターは、安全で過負荷保護と低電圧保護を期する上から、電磁接触器と熱動過負荷継電器を組合せて、押釦操作によるものが、一般に広く使用されてきた。しかし熱動継電器の動作時の時遅れと、電磁接触器の遮断容量の点から、回路の短絡保護に対しては不充分で、別にこれに対するものを併用しなければならぬことは、唯一の不満の点でこれがないために意外の事故を起すことも稀ではなかった。

当社ではこの不満を解消して、ラインスターとして必要な次の条件を完備し、便利で価格も安いコンビネーションラインスターを完成した。

### 特長

1. 遠方操作で安全に、電動機を起動および停止を行うことができる。
2. 起動中も運転中も過負荷保護ができる。
3. 低電圧保護ができる。
4. 回路の短絡保護ができる。
5. 断路器として切離すこともできる。

### 構成

#### 1. 高電圧用

AH-205 型 3 極高圧気中式電磁接触器を備えたものと、FN-205-OH 型 3 極高圧油入式電磁接触器を備えたものと 2 種類あって、いずれも遠方操作によって、電動機の起動停止を安全に行うことができる。定格は 3,450 V 200A、投入容量は 2,000 A、遮断容量は気中式は 30 MVA、油入式は 10 MVA である。従来高圧用としては油入式が多く使用されたが、点検保守などの点から特に頻繁に使用の場合には気中式が優れている。

過負荷保護には TR-32 型 2 極熱動過負荷継電器を備えている。低電圧保護は電磁接触器によって行うことができるが特に低電圧継電器を備えたものもある。短絡保護には BA 型硼酸電力ヒューズを備え、3,450 V において 150 MVA の遮断容量を有している。これはまた断路器の目的にも使用される。

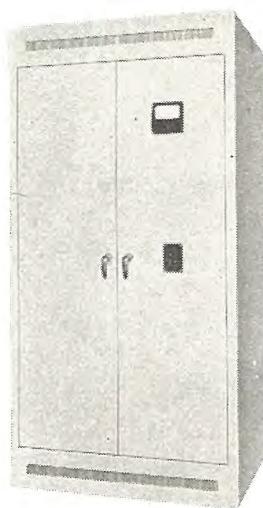
これらの器具は取扱い便利で安全を期した鋼板製キューピカルに納められているが、特に屋外用としたものもある。

#### 2. 低電圧用

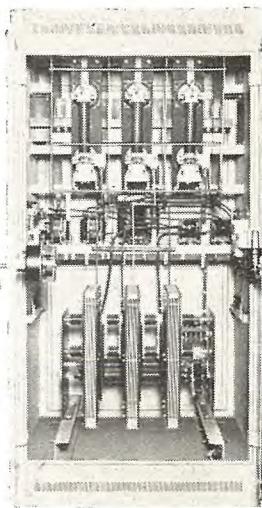
FL 型 3 極低圧気中式電磁接触器と、TR-32 型 2 極熱動過負荷継電器を備え、遠方操作による電動機の起動停止、過負

荷保護および低電圧保護ができる。回路の短絡保護用としては、NF 型 3 極ヒューズ遮断器を備えその遮断容量は 600 V において 15,000 A となっている。

これらの器具は使用場所に応じて適当な鋼板製の箱に納められ、遮断器は外部からも操作できるようになっている。定格容量は使用電動機の容量に応じて各種のものがある。



高圧コンビネーションラインスター

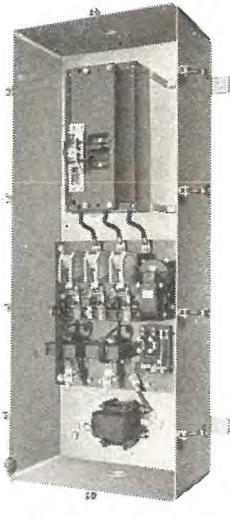


外観

内部



低圧コンビネーションラインスター



外観

内部

## 特殊合金圧延用として シュミット製 6 段ロール 本格的生産稼動始む

当社世田谷工場は從来も燐青銅洋白、ベリリウム銅等のバネ用板材料についてわが国第1の生産量と品質とを誇る最優秀製造工場としてその真価をうたわれてきたが、この度昨年末、輸入された独逸シュミット社製の6段ロールが本格的に稼動し生産に直接貢献することとなった。このため同工場は今後ますますそのすぐれた製造技術を發揮し、わが国工業水準の向上に寄与することが期待されている。

ここにその6段ロールの特長を列記する。

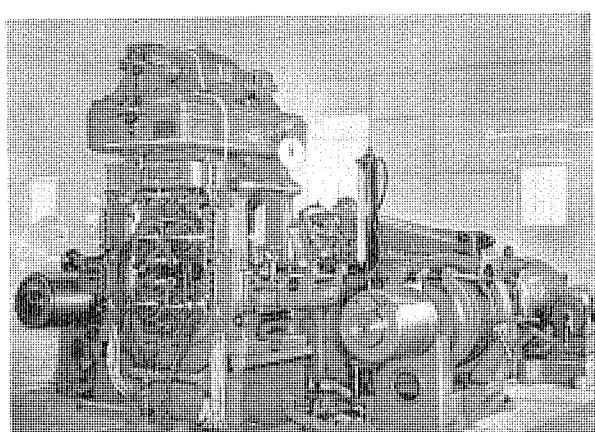
1. 可逆圧延が可能である。
2. すべての操作が押ボタンで行われる。
3. 空気マイクロメータによって運転中精密なる測厚ができる。
4. 高い圧延率で操作ができる。
5. 2段ロール、4段ロールに比べて、表面状況が良好である。
6. 圧延精度が非常に高い。

参考までに各種ロールによる1回の圧延率の1例を下記に示す。

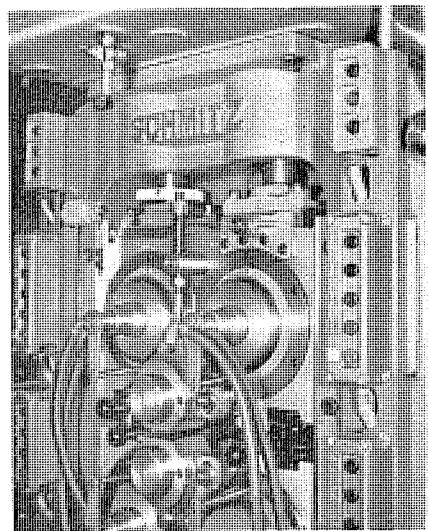
ロールの種類	圧延率
2段ロール	3~5%
4段ロール	6~10%
6段ロール	8~12%

次にこの6段ロールの構造および能力について記す。

1. 作業ロール 径 130 mm 長さ 300 mm
2. 支えロール 径 250 mm 長さ 300 mm
3. 圧延範囲 2.5~0.05 mm
4. 圧延速度 32.5 40.0 49.0 60.0 m/分
5. 圧延精度 1/100 mm
6. 圧延能力 0.2 mm 10800 kg/月  
0.3 mm 14300 kg/月  
0.4 mm 16700 kg/月  
0.5 mm 19000 kg/月



6段ロール 全景



6段ロール、ロール部分の詳細

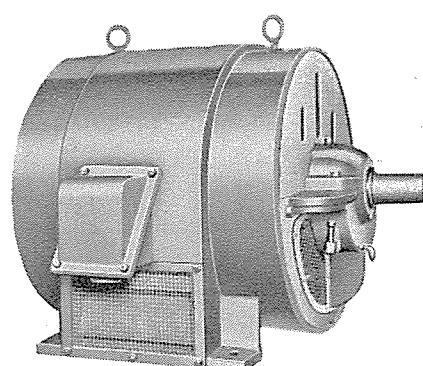
## 大型ブレケット型電動機

従来のブレケット型はほとんど鉄製であったが、当社では性能、構造等あらゆる角度から検討した結果、溶接構造の新型電動機を開発した。

写真は 265 kW カゴ形三相誘導電動機で、主なる特長は下記の通りである。

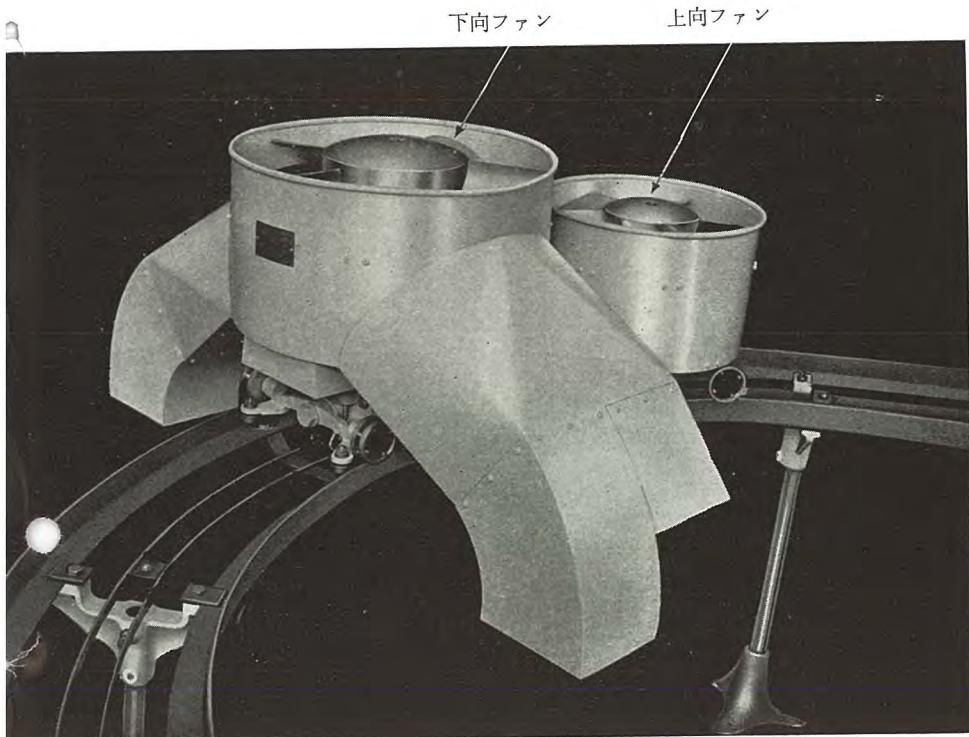
容量 265 kW, 電圧 3,000 V  
周波数 60 c/s, 回転数 900 rpm

1. 重量の軽減と外形寸法の縮少。
2. 絶縁特性の改良による寿命の増大。
3. 通風冷却作用の増大。
4. 保護方式および通風方式の融通性増大。
5. 軸受部の保守点検が容易。
6. 組立分解が簡単。



大型ブレケット型電動機

# 三菱新型移動ファン



## 下向ファン

風圧 6 mm 水柱  
風量 65 m<sup>3</sup>/min  
モータ 1/3 HP  
回転数 1,680/min  
電源 100 V  
走行速度 30~50 m/min

## 上向ファン

風圧 15 mm 水柱  
風量 80 m<sup>3</sup>/min  
モータ 0.4 HP  
回転数 3,450/min  
電源 100 V  
走行速度 30~50 m/min

## 特長

1. 下向ファンは強力にして作業条件により風量・風圧は任意に変更でき広範囲に清掃する。
2. パンタグラフは独特の構造をなし、長期間の連続使用に耐え保修の手数を要しない。
3. 上向ファンは風圧が高く数米上部の天井も充分清掃できる、ファン上部にファンドリヤを設けて広い範囲に清掃する。
4. レールを精紡機に取付けるには、ベースおよびレールスタンドを使用するので取付が簡単で客先手配はない。

昭和 30 年 8 月 14 日 印刷 昭和 30 年 8 月 15 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円 (送料別)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長 大久保 謙

副委員長 石川辰雄

委員 浅井徳次郎 荒井潔 石橋英樹 市吉惟浩  
伊東祐義 薄井廉介 大久保夙郎 岡屋精二  
菅野正雄 木村武雄 小林治一郎 小堀富次雄  
進藤貞和 田宮利彦 津村隆成 富公一  
中野光雄 每熊秀雄 松田新市 松尾又一  
松尾米太郎 宗村平 横須賀正寿

幹事 市村宗明 前田幸夫 (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 市村宗明

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

発売元 東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店

電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018