

**MITSUBISHI DENKI**

# 三菱電機



EF 301 号交直両用シリコン整流器式電気機関車

7

VOL 34 1960

## 航研向け遷音速 風洞用

### 18,000kW 三相誘動 電動機完成

かねて科学技術庁航空技術研究所から受注し当社長崎製作所で製作中であった遷音速風洞用 18,000 kW 三相誘導電動機が完成しさきに立会試験を完了据付中である。この マンモス電動機は昨年秋神戸製作所で完成した、4,500 kW 直流電動機と直結し、合計出力 22,500 kW の大出力で、プロワを駆動することになるが、容量の点からも、大きさの点からもわが国はもちろん東洋最大の誘導電動機である。

#### 仕様

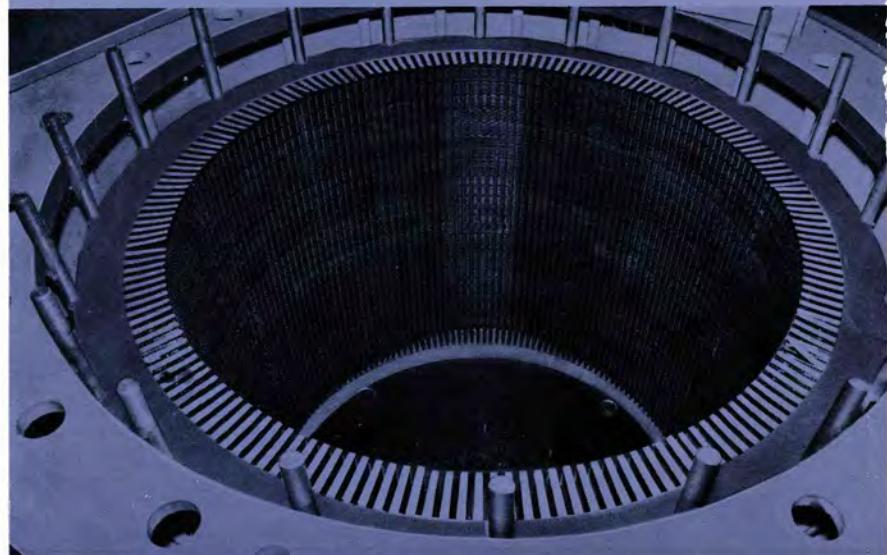
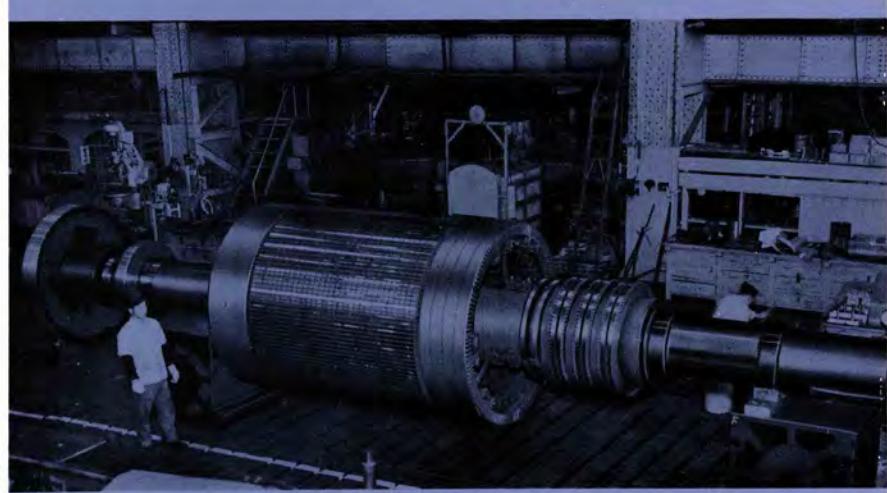
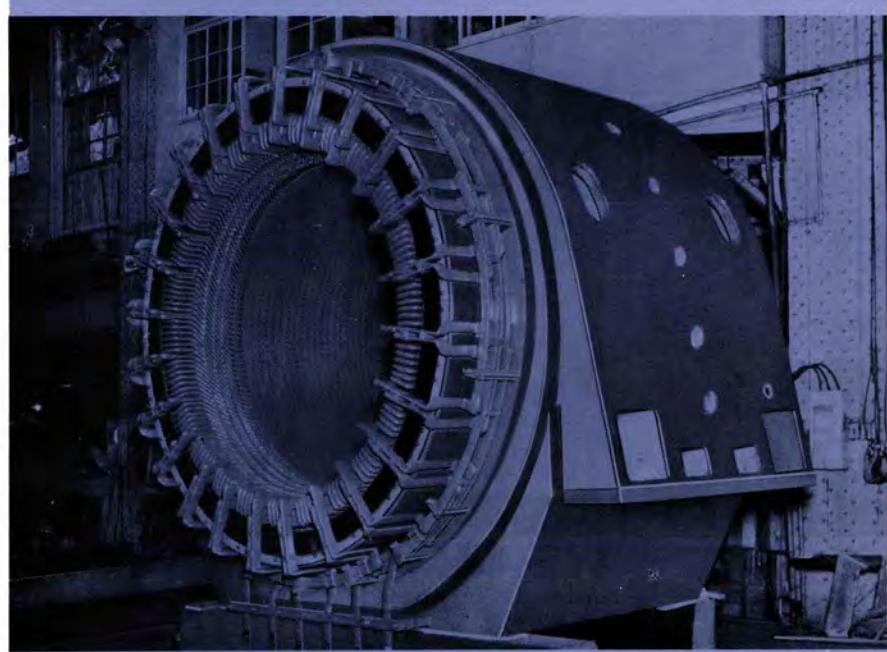
形 式	閉鎖他力通風形巻線形
容 量	18,000 kW
回 転 数	毎分 710 回転
電 壓	11,000 V
周 波 数	50 c/s

#### 特長

- 出力が大きくて高速度回転であるため、材料、構造などの点については、設計上特別の考慮が払われている。
- 速度制御の範囲が毎分 710~70 rpm と広い範囲にわたるため、電動機の温度上昇と電気部分に対する影響を考慮して、特別な構造とした。
- 絶縁方式としては、当社独特の方式によるポリエステル樹脂系の“ダイラスチック絶縁”を使用し、コイルは固定子、回転子とともにトランスポジション方式を採用してある。このため絶縁特性がよく、また全速度範囲にわたって効率がよい。

#### 写真説明

- 完成図
- 固定子
- 回転子
- 固定子コア積み





### 表紙説明

関門トンネル用交直両用電気機関車として当社で試作したEF301号車である。国鉄の電化方式は山陽本線が直流、九州地区が交流のためその接続点にこの機関車が使用される。関門トンネル内の塩害防止のためステンレス車体としたこと、シリコン整流器の搭載、WN駆動方式、1台車1電動機方式を採用、直流区間は全出力で、交流区間は部分出力で走行など種々と話題をよんでいる。

# 三菱電機

昭和35年第34巻第7号

## 目 次

82 V 120 kA 風冷式 シリコン 整流器	加藤又彦・坂田邦寿・小林 凱・奥村儀一	2
小田急電鉄“HE車”用電機品および空制装置	木島寛治・浅越泰男・管田恵之助・北岡 隆	13
電車用自動列車ブレーキ装置	管田恵之助・竜田直紀	27
24 kV 単相 ± 電線用屋外空気シャン断器	五十嵐芳雄・富永正太郎・森岡昭二	37
連続焼鈍設備用電機品	新谷保次	42
磁気増幅器形電気式水位調整器	岡本孝治・渡辺 宏	47
改良形遠隔測定装置	北垣成一・上田重夫・室田 慎・竜田直紀	52
カットアウトリレー AN3025-300	兼松 豊・都築勇吉	56
巻鉄心形柱上変圧器	松井武男・木野崎泰三	63
絶縁材料の耐コロナ性試験法	原 仁吾・平林庄司	72
高速航空機用埋込み形アンテナとその諸問題	喜連川隆・武市吉博	80
ジェット機機首ラドーム	尾島学二・石黒克己・前田祐雄・喜連川隆	91
HU-50形ヒートポンプ式ユニティ	河合照男	98
ワーレンモータの印加電圧と起動特性	高野直治・益田鑑五	102
《技術解説》		
火力発電シリーズ：建家（1）消防装置		105
《文献抄訳》		
モレクトロニクス・代表的電力用シリコントランジスタ・記憶力をもった撮像管		108
《ニュースフラッシュ》		
日本生理学会でスポーツ医学用テレメータ装置公開・JRR-2ハンドリングキャスク完成・エレファント変圧器完成・関西電力ビル納めオートセレクトパタンオートエレベータ完成・深井戸水中ポンプ用モータル量産にはいる・東北パルブ向け抄紙機速度差測定装置完成（フローメータ）・ヒシレックス“200”・八幡製鐵新洞岡発電所向け43,750 kVAタービン発電機受注・関西電力姫路発電所向け4号機192 MVAタービン発電機受注・電源開発若松発電所向け75 MWタービン発電機受注	110	
《特許と新案》		
（特）冷蔵庫・（新）スタンド扇風機の支柱		114
《最近登録された当社の特許および実用新案》		115
《最近における当社の社外寄稿一覧》		79
《表紙》		
2. 航研向け誘導電動機完成		
3. ジェット機用ラドームの試作		
4. 洗たく機		

# 82V 120kA 風冷式シリコン整流器

伊丹製作所

加藤又彦\*・坂田邦寿\*\*  
小林凱\*\*\*・奥村儀一\*\*\*

## 82V 120kA Air Cooled Silicon Rectifiers

Itami Works

Matahiko KATO・Kunihisa SAKATA  
Gai KOBAYASHI・Yoshiichi OKUMURA

Semi-conductor rectifiers have made a great stride for the past several years, occupying a prominent position in industry. Their excellent performance, easy maintenance and good economy of rectifier elements have contributed to this unparalleled advancement. However, there are still many points remaining unsolved and the products are, so to speak, under constant development. The latest achievement by Mitsubishi is an 82 V 120 kA 9,840 kW air cooled silicon rectifier built for a DC power supply to electrolysis of salt—the largest of the kind in Japan and well comparable to any record products overseas.

### 1. まえがき

ここ 1, 2 年内に大容量、半導体整流器は在来の整流器に伍して工業上重要な地位に躍進するにいたった。そのおもな因子は整流素子の性能の向上と保守の簡易性と経済性にあると思う。しかしこの半導体整流装置の実用の経験とこれが実績とは半導体整流素子のおいたちの歴史から見れば誠に浅く、しかも数種類の半導体整流器があって、これらの間で性能的、経済的の優劣論が商略上行なわれているありさまであるためこれらの実用性を正しく評価することは困難視されたこともあった。かかる論争と議論はえてして P-N 接合体自体の性能と問題点に集中されがちであって、整流素子を組合わせて冷却装置を付属させた整流器、さらには変圧器および保護装置と組合わせた大電力用半導体整流器変換装置としての実用運転上の本質論から整流素子の性格と定格について論究した文献は少ない。今般製作、納入した 82V 120 kA 9,840 kW 風冷式シリコン整流器は食塩電解用直流電源としては日本最大の電流容量のものであり、13.2kV の交流電力を直流 82V 30kA ユニットの変換単位、4 組を組合わせて 120kA の変流設備を構成している。またこの変換装置の出力電流の調整方式も独特なものであり、電解そう側の直流バスの配列、同バス電流の界磁による人体または計器類におよぼす影響をも考えてあらかじめ実測するなど基礎的問題の解明に苦心をかさねた。これらの諸種の内容の一部と大容量定格の風冷式シリコン整流器の第 1 号としての苦労と努力の一端とをご披露する次第である。

本文の目的とする内容は整流素子の特性を論述するのではなく、これを組合わせた整流 スタック または ドレイ、

さらには ドレイ をもって構成された キューピクル 方式の整流器、または シリコン 整流器変換装置としての特性、温度上昇、変換単位の電流分担の良否、定格出力などについて今回の日本最大級品の 120 kA 風冷式シリコン整流器に關して検討したものである。

一般説明に先だって今回の 82V 120kA 風冷式シリコン整流器の採用決定までの一部を紹介することにしよう。受注—当時は低電圧、直流電源用整流器としてはゲルマニウム整流器が第一任者であった。そのため各社はゲルマニウム整流器を推奨されたが当社は直流電圧 65V といえども風冷式シリコン整流器を第 1 案として推奨した。その理由は二つあった。そのうちの一つは 120kA の電流容量では何組の変換単位に分割し、その各変換単位内および各単位間の電流平衡をいかなる形でとるかという課題に対して実験的事実を表示したこと、その 2 は風冷式シリコン整流器の電気的特性と冷却温度を主幹とした保安上の利点を主張したことであった。徳山曹達ではこれよりさき 65V 48kA の風冷式ゲルマニウム整流器を稼働しており、運転実績をもっておられたのである。また直流電圧があとで 65V から 82V に変化したがこの点もゲルマニウム整流器にとっては技術上の主要問題とはならなかつたと思う。要は総合技術的観点で母線の配置、機器の据付を研究し、総合的技術をかけていただいたことになったと考える次第である。

### 2. シリコン整流器変換装置

#### 2.1 主回路および補助回路

直流 82V 120kA を得る方式として相間 リアクトル 付六相二重星形結線を採用した。幾組の変換単位による構成をとるかは性能にも重大な影響をおよぼすが、組合わ

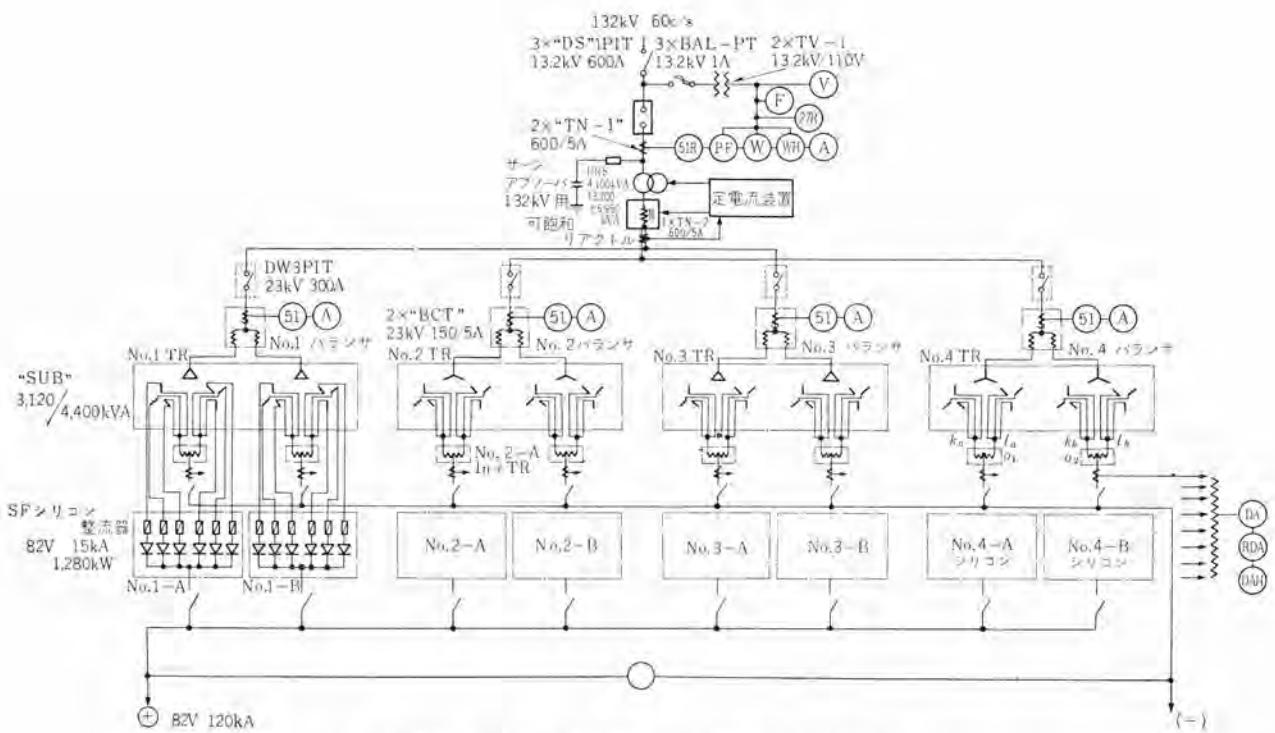


図 2.1 82V 120kA シリコン 整流器主回路単線結線図

Fig. 2.1 Single line wiring diagram of the main circuit of 82V 120kA silicon rectifier.

せ12相の採用と経済的見地から 30kA 変換単位4組とした。この大電流を扱うため、整流器はオープン二重星形2回路とし、変圧器の端子配列に合わせて設計された15kA 整流器を立体的に配置する方式をとり大電流半導体整流器においてもっとも困難となる全機器の電流平衡をはかった。

13.2kV の交流電源は URS 形負荷時電圧調整器を通じ直角電圧 38V より 82V までの間、電源電圧の変動を考慮した、出力電圧調整範囲を与える。つきの直角励磁可飽和 リアクトルは URS タップ間の微細調整を行なっている。この回路につながる4台の変圧器にはおのおの平衡コイルがあり変圧器内2回路の平衡を図っている。変圧器の一次結線は星および三角形結線で組合せ12相となっている。二次回路は直接最短距離で8キューピクルのシリコン整流器端子に接続されるとともに中性点はおのおの別個に逆相分の磁界を相殺するようにとり出されて相間リアクトルにはいっており、とくに大電流において良好な電流平衡と規定の電圧変動率をうるために考慮されたものである。このため変圧器4台と別置き形の相間リアクトル8台からなっている。直角出力は15kA ごとにDC CT と開閉母線とをへて 120kA 母線にまとめられている。

以上の主回路を単線結線図で示したのが図2.1である。補助回路としては定電流制御装置、計測器回路およびサージ吸収装置がある。今回の 120kA の風冷式シリコン

整流器変換装置として特筆すべきことは直角側出力電流 120kA をいかに精密に測定するかということであった。これが測定のための DC CT ならびにこれの出力をピックアップして定電流制御を行なうための方式である。各変換単位の平衡度は交流側電流で示しつつこれによって定電流制御を1面の盤によって実施している。直角電流は30kA ごとに計測し、総合表示方式としている。OCB の開閉時のサージおよび外來サージ吸収用として OCB の二次側に蓄電器を挿入した保護方式を採用している。

## 2.2 整流器用変圧器ならびに相間リアクトル

シリコン整流器キューピクルを直角 15kA 変換単位としたため、整流器用変圧器はシリコン2変換単位用、すなわち直角 30kA 用4台とした。

整流器用変圧器の結線方式は次のような方式を採用することになった。これは当然直角電圧ならびに使用するシリコン整流素子の逆電圧、整流器装置全体としての能率を考えて決定すべきであるが、低電圧、大電流直角電源用であるので二重星形結線を採用し、なお普通の二重星形結線を2群、1台の変圧器に内蔵する方式とした。前述のように直角電流は 30kA であるが、この方式を採用することにより直角巻線相電流（実効値） $I_s$  は

$$I_s = \frac{30000}{4\sqrt{3}} = 4330 \text{ A} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

となり、矩形銅板コイルの採用と相まって外鉄形変圧器では非常に製作が容易となる。

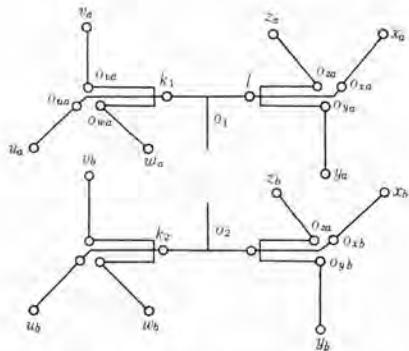


図 2.2 直流巻線の結線方式

Fig. 2.2 Wiring method of DC winding.

図 2.2 はこの直流巻線の結線方式を示すものであるが、相間リクトルは各群の二重星形結線の中性点にそれぞれ 1 台ずつ接続されている。

このように変圧器は 30kA 用として 1 台で製作し、シリコン整流器キューピクルの配線は 15kA 単位としたことは、シリコン整流器キューピクル内の配線、電流平衡を非常に容易にした。さらに 2 台のシリコン整流器キューピクル間の電流平衡、いいかえれば二重星形結線 2 群間に、均等に直流電流を 15kA ずつ負荷させるために、交直流巻線の配置については特別の考慮をはらっている。すなわち並列運転を行なう 2 群の直流巻線、たとえば  $(u_a, u_b), (x_a, x_b), (v_a, v_b), (y_a, y_b), (w_a, w_b), (z_a, z_b)$  相の巻線は相互にその電磁的結合が非常に粗になるように配置されている。

つぎに交流巻線の結線であるが、交流側線路電流波形ができるだけ正弦波に近づけるとともに、交流側力率を良好にするために、4 台の整流器用変圧器のうち 2 台は三角接続、残り 2 台は星形接続として、いわゆる組合せ 12 相方式とした。

図 2.3 は整流器用変圧器の上部外観を示すもので、交直流巻線端子、コンセーナ、および放電管などの関係位置がわかる。

直流巻線側は各相の陽極側、中性点側ともにその両端

子を変圧器タンクカバー上に引出しており、都合全 24 端子ある。従来の相間リクトル内蔵二重星形結線の構造を採用するとすれば、中性点側の接続はすべて変圧器内部で行なわれることになり、外部端子へ接続されるのは各相巻線の陽極側のみとなり、シリコン整流器用のように相電流が大きいときにはこの接続線のリアクタンス電圧降下が非常に大きくなる。ところが上記のように同相の陽極側、中性点側の接続線、いいかえれば電流方向が互に逆方向になる接続線を近接、平行させるにはリアクタンス電圧降下は 1/10 程度に減少し、いわゆる転流リアクタンスによる電圧降下もそれだけ小さくなり、直流電圧の電圧変動率が小さくなることになる。

直流巻線端子 24 本のうち、陽極側は垂直に立上がりて各群のシリコン整流器キューピクル内にはいるが、図 2.2 で示したように中性点側は変圧器タンクカバー上部で同電位に集められた後、変圧器の両側に別置された 2 台の相間リクトルの端子  $(k_a, l_a), (k_b, l_b)$  へそれぞれ接続される。このような接続方式によると変圧器中性点側と相間リクトル各端子間の接続鋼板には直流電流（相間リクトルの励磁電流はきわめて小で問題にならない）が流れることになり、リアクタンス分として働くなくなり好都合である。

交流側端子は転流以外に調整のための平衡リクトルを接続するのに便利なように 6 本の油入密封形ラッシャーを有している。

つぎに相間リクトルであるが、表 2.1 に記載のように低電圧、大電流であるのでこれも銅板コイルを使用した単相三脚外鉄形を採用している。図 2.4 は外形を示す。

表 2.1 仕様一覧

定格種類	相数	周波数 (Hz)	電圧 (V)	容量または電流	結線	台数
URS 形負荷時電圧調整器	3	60	13200±5950	4,100 kVA	△/△Y	1
整流器用変圧器	3/2×3	60	17900/85	3,120 kVA	△/△Y	2
同上	3/2×3	60	17900/85	3,120 kVA	△/△Y	2
相間リクトル	2	180	22/22	7,500 A×2		8

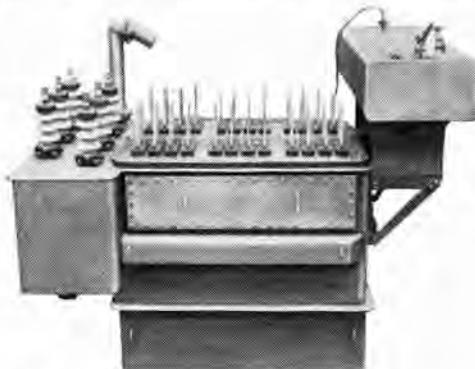


図 2.3 3.2×2×3 相 60c/s 3,120 kVA 整流器用変圧器  
Fig. 2.3 Transformer for 3.2×2×3 phase 60 cycle 3,120 kVA rectifier.



図 2.4 相間リクトル外形  
Fig. 2.4 Interphase reactor.

二重星形結線を使用した場合、直流電圧が低く、直流電流もきわめて大きいときには、60度の位相差を有して互に並列運転を行なっている2組の三相半波整流回路のインピーダンスの相違に基づく電圧降下、いいかえれば抵抗降下、リテクタス降下のための直流電流の不平衡が、直流電圧が高い場合よりもはるかに起りやすくなる。もしういいた現象が起れば相間 リアクトルの両巻線によるアンペアターンの差異により鉄心は当然直流励磁を受けることになり、相間 リアクトルの磁気回路の設計が不適当であればいわゆる臨界電流が非常に大きくなり、二重星形結線としての6相整流を行なうことができなくなり直流電圧が異常に高くなると同時に整流器には規定以上の電流が通電することになる。

上記のような現象を生じないようにするため今回製作した相間 リアクトル 鉄心の中央脚には空隙を設けてあり、いかなる場合も完全に6相二重星形結線として動作しうる特長をもっている。

冷却方式は、本体の据付面積を小にするため整流器用変圧器は別置送油風冷式とした。本体には三相 200 V 2.2 kW 送油 ポンプ 1台だけ取付け、U フィン管冷却器、(同送風機 3φ 200 V 0.25 kW 3台付)は本体より離して建家の壁に取付け、暖められた空気を直ちに送風機をもって排気するようにした。

別置相間 リアクトルは油入自冷式である。

### 2.3 URS 形負荷時電圧調整器

直流電圧の無段階調整は前記の範囲、URS 形負荷時電圧調整器と次項に述べる可飽和 リアクトルの組合せによって行なっている。

したがって URS 形負荷時電圧調整器の調整電圧の範囲および自己容量は次のようにして決定される。

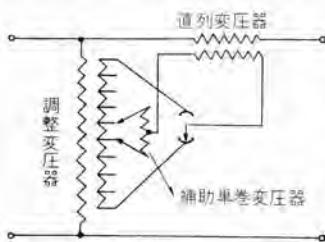


図 2.5 3φ 60c/s 4,100 kVA URS 結線図  
(1相のみ表わす)  
Fig. 2.5 Wiring diagram of 3 phase cycle 4,100 kVA URS.

まず図 2.5 はこのシリコン整流器用として製作した URS 形負荷時電圧調整器の結線を示すもので、線路通過容量と絶縁階級の点から調整変圧器、直列変圧器、およびタップ間橋絡時の短絡電流制限用補助单巻変圧器より構成されている。同図に示すように URS 形負荷時 タップ切換器は極性切換器を有し、負荷側電圧は電源側電圧 (3φ 60c/s 13,200 V) を中心として同一調整電圧をもって最大電圧と最小電圧の範囲に変化する。したがって前に述べた直流電圧 82 V, 38 V がそれぞれ負荷側電圧の最

大値、最小値に相当するので、電圧調整範囲 (電源電圧と調整電圧との比) は (±38 %) となる。さらに電源電圧の変動範囲 (±7 %) を加算して必要な電圧調整範囲は (±45 %) となる。したがって

$$\text{調整電圧} = \pm 13,200 \times 0.45 = 5,950 \text{ V} \quad \cdots (2.2)$$

また整流器用変圧器の交流巻線定格電圧は上記電圧調整器負荷側最大電圧値に電源電圧変動の下限を考慮して 17,900 V とした。

つぎに電圧調整器の容量は直列変圧器の直列巻線電流が決まれば、この値と調整電圧 (直列変圧器の直列巻線電圧に等しい) の積として求まる。

$$I_s = 3,120 \text{ kVA} \times 4 / 17,900 \times \sqrt{3} = 400 \text{ A} \quad \cdots (2.3)$$

$$\text{自己容量} = 5,950 \text{ V} \times 400 \text{ A} \times \sqrt{3} \times 10^{-3}$$

$$= 4,100 \text{ kVA} \quad \cdots \cdots \cdots (2.4)$$

この電圧調整器の タップ 数であるが、可飽和 リアクトルの出力電圧をできるだけ小にするため、タップ数 33 点、±16 段切換えを採用した。

### 2.4 可飽和リアクトル

直流電圧を無段階調整するために負荷時電圧調整器と可飽和リアクトルを組合わせる方式を採用した。このほかに負荷時電圧調整器と誘導電圧調整器を組合わせる方式もあるが、誘導電圧調整器は一般に平歴車、ウォーム、およびウォームギヤの組合せにより操作するのが普通であるので、電圧を調整する場合最小降圧位置より最大昇圧位置 (この場合にはこれが負荷時電圧調整器の 1 タップ間電圧に相当する) まで変化させるのに数十秒を要するが、可飽和リアクトルはこのような機械系を有せず純粋な電気的静止機であるから、時定数がきわめて短く最小出力電圧より最大出力電圧まで変化させてもせいぜい数十サイクル程度であり定電流制御を行ない速応性を問題にする場合にはすぐれている。

このほかに誘導電圧調整器は絶縁階級の点で 6kV (絶縁階級 6 号) 程度がその製作限界であるため採用しなかった。他方可飽和リアクトルは一種の鉄心入りリアクトルであり、その構造上一般的の変圧器と異なるところがなく絶縁上なんらの懸念もないので上記回路に直接挿入することが可能である。

つぎに可飽和リアクトルの動作原理を簡単に述べる。一般に可飽和リアクトルは出力巻線と制御巻線を有し、制御巻線に流れる直流電流の値を変化させて、任意の交流電源に接続された出力巻線の端子間電圧の大きさを調整するものである。なおこのとき交流回路の電流通流状況を考えれば、出力巻線端子間に電圧降下を生じて期間は交流回路に電流は流れず、この電圧降下がなくなった次の期間に電流が交流回路に流れ、一種の電気接点とし

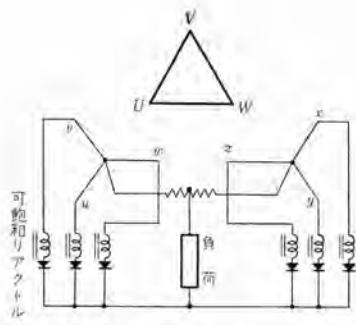


図 2.6 直流巻線側に可飽和リアクトルを挿入した場合  
Fig. 2.6 When a saturable reactor is inserted on a DC winding.

て交流回路の開閉を行なうものと考えればよい。これが可飽和リアクトルと呼ばれるゆえでもある。

このような可飽和リアクトルを図 2.6 に示すように二重星形結線整流器用変圧器の直流巻線側に挿入した場合について考える。いま  $u, z$  相の整流器が並列運転を行ない、 $u$  相から  $v$  相へ転流が行なわれる瞬間にについて考える。上記転流が開始される直前までは  $u, z$  相に接続された可飽和リアクトルの出力巻線には電流が流れているので前に述べたように接点が閉の動作をしている。つぎに転流

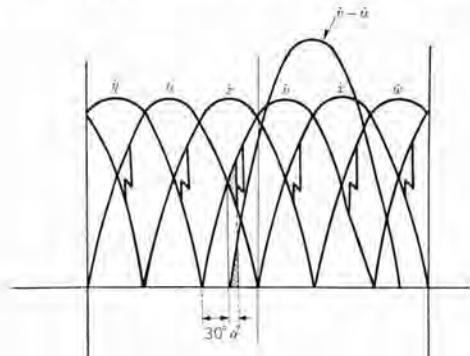


図 2.7 可飽和リアクトル挿入による直流電圧波形の変化  
Fig. 2.7 Change of DC voltage waveform when a saturable reactor is inserted.

時の瞬間には  $v$  相の可飽和リアクトルの出力巻線端子間に図 2.7 に示す ( $v-u$ ) なる電圧が全部印加されることになる。そして可飽和リアクトルの鉄心中の磁束が、使用者の鉄心の飽和磁束密度と鉄心断面積によって決まる値に達するまで ( $v-u$ ) なる電圧の一部を  $v$  相の可飽和リアクトルの出力巻線が吸収する。図 2.7 の ( $v-u$ ) の斜線を施したもののがこれを示す。したがってこのときの  $v$  相整流器の陽極電位は上記吸収電圧を直流巻線相電圧  $v$  より差し引いたものとなり  $u, v$  相の電位は相等しく、 $v$  相の電位が  $u$  相の電位より高くなるまでは依然として  $u$  相整流器に陽極電流が引続いて流れることになる。すなわち可飽和リアクトルの挿入は位相制御を行なったのまったく同じとなる。これを式で示すと次のようになる。

$$(v-u) = \sqrt{3} (\sqrt{2} E_2 \sin(\theta - 30)) \quad (2.5)$$

ただし

$$v = \sqrt{2} E_2 \sin \theta$$

とする。

したがって可飽和リアクトル出力巻線端子間電圧を  $2\pi/3$  間に平均したもの ( $V_s$ ) を求める

$$V_s = \frac{1}{2\pi} \int_{30}^{\alpha+30} \sqrt{6} E_2 \sin(\theta - 30) d\theta \\ = 1.17 E_2 - 1.17 E_2 \cos \alpha \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

式 (2.6) の第 1 項は二重星形結線の直流無負荷電圧を、第 2 項は同じく位相制御を行なったときの直流無負荷電圧にほかならないから、前にも述べたように可飽和リアクトルを挿入することは水銀整流器を位相制御して直流電圧を変化するのまったく同じとなる。

つぎに可飽和リアクトルの出力巻線電圧の決定であるが、これは上式  $V_s$  が URS 形負荷時電圧調整器の 1 タップの調整により生ずる直流電圧の変化に等しければ、理論的には直流電圧は連続的に無段階に調整可能となる。しかしながら制御系の安定性を考えるときには当然電源電圧の変動、負荷側の変動など実状を考えてその出力電圧を決定しなければならない。

上記は説明を便にするため、可飽和リアクトルを整流器変圧器の直流巻線側に挿入したときについて述べたが、交流巻線側に挿入してもまったく同じことが成立する。ただ出力巻線電圧の絶対値が、直流巻線側挿入のときに比べ整流器用変圧器の変圧比倍になり、出力巻線電流は逆に変圧比の逆数に比例して小となるだけである。

今回の可飽和リアクトルは 1 相につき 2 台のリアクトルを直列接続形として使用した。なお可飽和リアクトル巻線としては上記出力巻線、制御巻線のほかに偶数調波除去用の短絡巻線、URS 形負荷時電圧調整器制御用の検出巻線を備えている。

なお三相用全 6 台の可飽和リアクトルは同一タップに格納して油入自冷式とし、先に述べたように整流器用変圧器の交流巻線側に挿入している。

## 2.5 SF 形シリコン整流器

82V 120kA の風冷式シリコン整流器 (SF 形) は図 2.8 に示すように 15kA 変換単位の 8 キューピクルのシリコン整流器より構成されている。8 キューピクル中 2 キューピクルずつが上記のように 1 変圧器に接続され、それぞれ背面を向きあわせて 4 組据付けられている。

この 1 キューピクル 15kA の変換単位のシリコン整流器は、わが国で製作されたもののうちもっとも大電流の設計に属するもので、キューピクル内の通電電流の平衡、均一なる冷却などこれらの諸種の要素を勘案して慎重な設計が行なわれた。また運転、保守の観点からしてサービス階級は A 級に属する設計が実施された。使用したシリコン整流素子は 339-H 形で、82V 15kA の変換単位の構

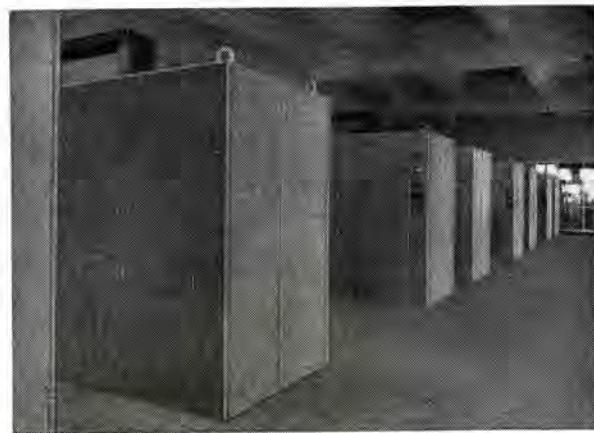


図 2.8 82V 120kA 風冷式 シリコン 整流器  
Fig. 2.8 82V 120kA air cooled silicon rectifier.

成は 1S. 20P. 6A, すなわち 120 個/1 キューピクル である。トレイは 1 キューピクル に 30 個挿入されている。

整流素子と速動限流 ヒューズは 4 個ずつ故障検出回路とともに 1 トレイにおさめられている。このトレイ (SA-14W 形) は従来の半導体整流器 トレイ の概念とまったく異なり、接続導体と素子取付板兼放熱片だけで構成されており、しかも各素子についての導体長を等しくして電流平衡を容易にしている。大容量素子を使用したため、1 トレイ当たりの電流実効値  $I_t$  は、

$$I_t = \frac{1}{N\sqrt{3}} \cdot \frac{I_a}{2} \cdot \sqrt{1-3\phi(U,0)} = 845 \text{ (A)} \cdots (2.7)$$

$N$ : 1 相当たりの トレイ 段数

に達するが、この大電流を通してしかも保守員一人で取扱いうるために必然的に要求された トレイ 構造のものであり、また トレイ に区分することは後述するように電流平衡上有利な方法ともなっている。図 2.9 はその外観を示している。

整流器は キューピクル 前面に トレイ を 6 列 5 段にならべ、背部に導体を集めている。大電流のため導体がかなりのスペースを占有し、外形寸法は 2,280 × 1,300 × 2,100 (高さ) mm である。図 2.10 は上記 15kA キューピクル の トレイ

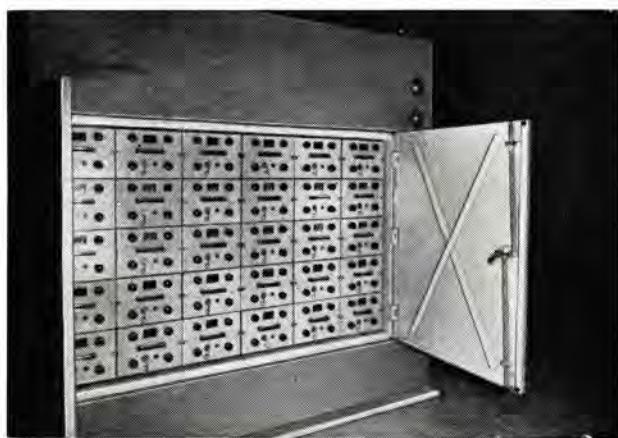


図 2.9 15kA 風冷式 シリコン 整流器 キューピクル 前面  
Fig. 2.9 Front of 15kA air cooled silicon rectifier cubicle.

82V 120kA 風冷式 シリコン 整流器・加藤・坂田・小林・奥村

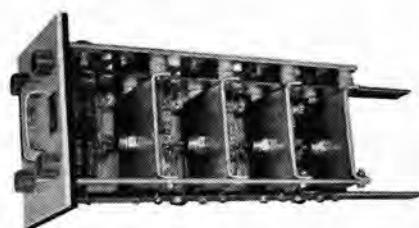


図 2.10 徳山曹  
達 82V 120kA  
シリコン 整流器用  
のトレイの内部状  
況を示す

Fig. 2.10 Interior  
of the tray of  
silicon rectifier.

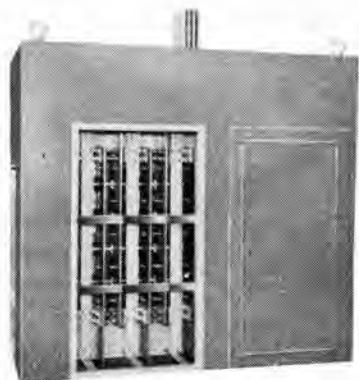


図 2.11 キューピクル 背  
面 バス 結線の図

Fig. 2.11 Bus con-  
nection of the back  
of cubicle.

の内観を示したものである。

図 2.11 は同 キューピクル の背面側の各相の導体を示した。この導体は各相につき対称的に配置されているが、さらに各相の直流側導体を横に結ぶ転流導体を設けている。このような低圧大電流整流器では整流器内部の導体リアクタンスが転流 リアクタンス に対しかなりの影響をおよぼすことが認められているので転流導体はこの リアクタンス を減少する作用を有している。またこの導体は トレイ 間の電流平衡に対して興味ある特性を示した。

主回路導体の電流は各相 4,300 A に達するため、導体近傍の キューピクル には磁性体の存在が許されない。したがって キューピクル は鋼材および ステンレススチール の組合わせ溶接構造を採用した。整流器 トレイ の前面 パネル は取扱い中衝撃も考慮の上、美観もかねて メラミン 樹脂積層板が使用されている。この パネル には トレイ 電流測定用の端子がついており、通電中といえども各 トレイ に流れる電流を測定、比較することができる特長がある。

シリコン 整流器の冷却は冷却風の上限温度が一つの限界を示し、さらに通風量の均一性が問題になる以外はいたって簡易である。しかし食塩電解工場においては腐食ガスの存在のため新しい課題が提起されるのがつねである。今回の 82V 120kA 風冷式 シリコン 整流器では電解そう側の進歩と シリコン 整流素子の構造上の改善によって単純な強制風冷式を採用した。しかしながら長年にわたっての運転、保守を考慮して導体その他整流器構成材料には十分な防食処理がほどこされている。

冷却扇は 0.75 kW のもの 3 台ずつ、1 キューピクル に設置し、天井へ向かって変圧器室 (1 階) の風を吸上げて、整流素子を冷却している。

以上のはか、 $15\text{ kA}$  のキューピクルには  $C$  と  $R$  を組合せた サージ 吸収装置および パリスタ (VA-88 15 形) が図 2.12 に示すように取付けられている。これらは シリコン 用変圧器、高圧側の サージ 吸収装置などと協調した一連の サージ 保護装置である。

### 3. 機器の配置および一般的な事項

上述の各種の機器が順序

よく配置され、配線に冷却にむだのないことがもっともたいせつなことであって総合設計の有効性が発揮されることになる。 $82\text{V}$  大電流容量の シリコン 整流器では二重星形結線方式がもっとも有効であり、その際の交直母線の配線方式としては立体配置にすることがもっとも経済的であるという結論に達した。そして シリコン 整流器と断路器の一部ならびに直流正極母線制御盤関係を階上に配置する方式を提案したが直流正極母線は電解そう側の母線の配線高さによって図 2.8 に示すようにシリコン

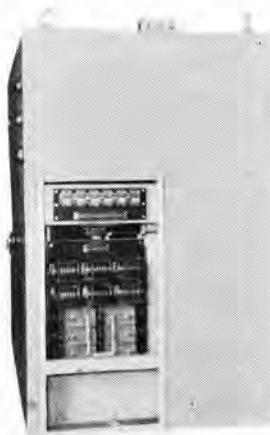


図 2.12 サージ 吸収器 取付状況

Fig. 2.12 Mounting of absorber.

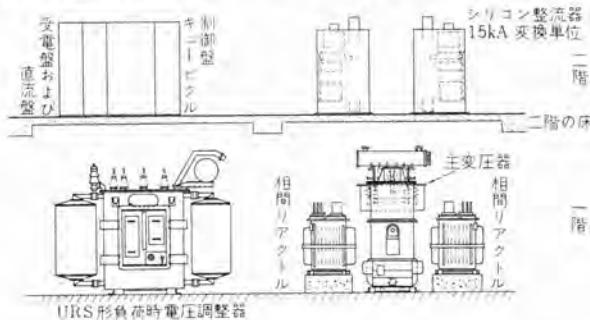


図 3.1 主要機器の配置

Fig. 3.1 Arrangement of main apparatus.

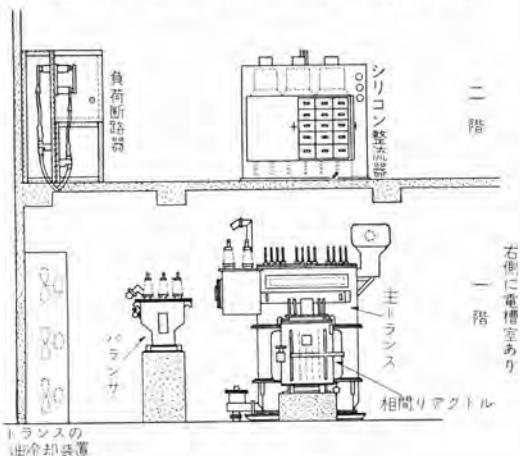


図 3.2 主要機器配置の側面図

Fig. 3.2 Side view of main apparatus arrangement.

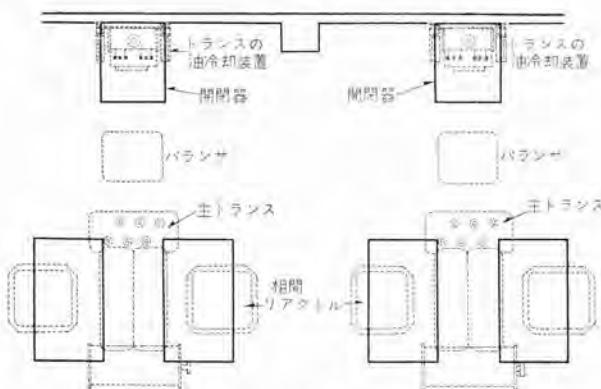


図 3.3 2 階よりみたシリコン 整流器と階下の主変圧器 相間リアクトル、バランサ および トランス の油冷却装置の立体配置図

Fig. 3.3 Arrangement of associated apparatus of silicon rectifiers viewed from the second floor when the rectifier are set up.

キューピクル 上部より直ちに階下に持出すことに変更された。上記の機器のはかはすべて 1 階に配置した。

図 3.1 は盤関係、負荷時電圧調整器、 $30\text{kA}$  シリコン 整流器変換単位の一つの変圧器を示した。図 3.2 は  $30\text{kA}$  シリコン 整流器変換単位の側面よりみた配置図である。主変圧器とはなれて トランス 油冷却装置が窓側におかれて、部屋内の空気によって油を冷却している。2 階の窓側(電解そうは図 3.2 の右側にある)には負荷断路器があり、4 変換単位の変圧器を開閉することができる。図 3.3 は 2 階のシリコン 整流器の真上から階下の主変圧器、相間リアクトル、バランサ、変圧器の油冷却装置の立体配置を示したものである。図 3.4 は主変圧器と相間リアクトルとの間の交流母線の配列を示すものである。図 3.5 は受電盤、直流盤、制御盤関係の配列を示す。

以上のべたように大電流変換単位間の通電电流の平衡度の良否は  $120\text{kA}$  シリコン 整流器の総合性能を左右する力であるが上記のように 4 台の主変圧器とそれに電気的に接続される整流器群その他は電解そうを中心として直流母線に対してすべて対称的に配置され、かつ整流器

図 3.4 主変圧器と相間リアクトル 間の バス 配線を示す

Fig. 3.4 Bus arrangement between the main transformer and an interphase reactor.



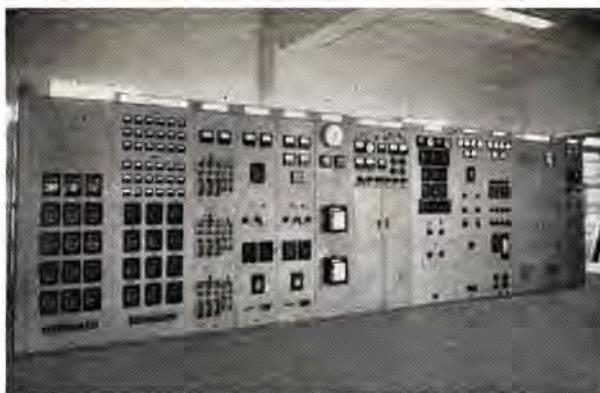


図 3.5 受電盤、制御盤、所内盤（右側から 5 面だけが 120 kA のものでほかは ゲルマニウム用の諸盤である）

Fig. 3.5 Receiving panel, control panel and station service panel.

は出力直流母線によって相互に電気的関連性を付与して通流電流のバランスをはかった。

このほか問題にしなくてはならない点は 120 kA の大電流に付随する磁界の他へおよぼす影響である。シリコン整流器から出た 120 kA の直流電流は正、負母線と食塩電解そうとを経て大きく 1 ターンを形成しており、そのための磁界は変電所の各機器に大小の差こそあれかなりの作用を与えており、このため 15 kA 単位の DC CT の計測方法の結果から判断すると若干の疑問を介在する状態となった、かかる磁界の人体に及ぼす影響はたいしてないと考えられているが 120 kA の母線上 3 m の距離にあって（2 階において）各種の鉄片類は床上に直立する状況にある。

冷却風の循環と ジンマイ 含有率ならびに冷却扇の騒音の課題であるが前者は変圧器の冷却扇 12 台とシリコン整流器用冷却扇 24 台によって  $1,920 \text{ m}^3/\text{min}$  の風が循環しており部屋内温度上昇の問題は 1 階、2 階ともほとんどない。しかしそれだけにジンマイの集積程度はいちじるしいといえよう。また騒音の課題は冷却扇の羽根を改良することによって満足すべき状況にある。

#### 4. 試験結果

120 kA シリコン整流器の試験は時間および設備の関係上、伊丹工場では 120 kA としての全装置の試験を実施することができないので、各変換単位の予備試験から完全総合試験に至るまでの過程は工場より現地にわたって順次実施された。

##### 4.1 工場試験

工場において実施した試験は大別して次の内容のものである

- (1) トレイ単独試験
- (2) 開閉サージ電圧の測定
- (3) 整流器負荷試験（電流平衡および各部温度上昇測定）
  - (1) トレイ単独試験

240 個の全トレイを三相半波整流回路に組まれた等価試験回路で試験を行なった。すなわち各整流素子には平均直流電流 500 A/セル；逆電圧値は動作時と等しい電圧を印加し、トレイとしての動作状況を確認するとともに、各整流素子間の通流電流値の不平衡を 10 % 以内におさめた。

##### (2) 開閉サージ電圧の測定

図 2.1 の 30 kA 変換単位の回路で無負荷状況下で OCB を開閉し、そのとき変圧器二次側に移行する異常電圧と吸収装置の動作状況とを測定試験した。このときの可飽和リアクトルは不飽和状態で、URS タップ位置は最低の位置である。このとき測定された異常電圧の最高値とその発生確率は下記のとおりである。

CR サージ電圧吸収装置付	発生電圧値	発生確率
	16.5 kV	約 10 %
CR " " "なし	20.0 kV	約 80 %

上記はサージ吸収装置の有効性を立証したものである。

##### (3) 整流器負荷試験

伊丹工場での負荷試験は 30 kA 変換単位を用いて実施した。そのうちシリコン 1 キューピクルを 15 kA で（定格値）運転したときの各トレイの電流平衡状況を図 4.1 に示す。さらに負荷側短絡により 30 kA/1 変換単位の通電電流不平衡度を実測し、変圧器内の二巻線群間のバランス状態の良好であることをも確認した。

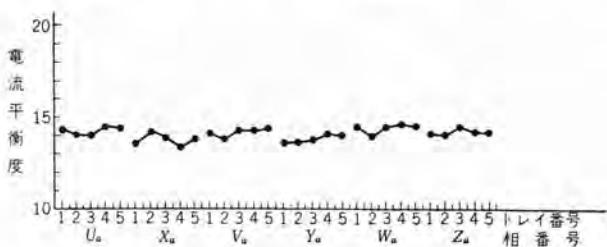


図 4.1 電流平衡状況図（15 kA/1 キューピクル 通電時）

Fig. 4.1 Diagram of current balance.

なお URS 形負荷時電圧調整器は約 1/5 の容量で使用し、現地配線と等価的配線状況下で測定された機器特性は、つきのとおりである。

$$\text{総合効率} \cdots \eta = 95.5 \%$$

$$\text{電圧変動率} \cdots \varepsilon = 12.2 \%$$

またそのときの 1 変換単位の定格電流、通電時の整流器各部の動作状態は、つきのとおりである。

$$\left. \begin{array}{l} \text{風入口温度} \cdots 23.8^\circ\text{C} \\ \text{風出口温度} \cdots 27.4^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{その差 } 3.6^\circ\text{C}$$

$$\text{整流素子ベース温度 (最高部)} \cdots 48.5^\circ\text{C}$$

$$\text{冷却風速} \cdots 5.5 \text{ m/sec}$$

#### 4.2 現地試験

現地試験は図 2.1 に示す主回路方式で徳山曹達株式会

社の食塩電解そうを負荷として行なわれた。

試驗實施項目

- (1) 現地主回路における開閉 サージ 電圧の測定
  - (2) 定電流装置の調整および自動定電流動作試験
  - (3) 全整流設備通電試験および電流調整
  - (1) 開閉 サージ 電圧の測定

これは工場試験においてあらかじめ行なわれたことであるがさらに現地の回路で試験を行なって サージ の発生のある、なしとその程度を確認した。自家発電設備より給電される電源系統において シャ断器の開閉時の サージ 電圧の測定結果は表 4.1 に示すとおりである。

表 4.1

測定箇所	回数	電圧最大値(%)	発生確率(%)	アラーム
送電端	15	50	約 10	あり
OCB 電源側端子	30	250	約 5	あり
同負荷側端子	10	200	約 5	あり
同上	5	400 以上	約 50	なし

上表の結果で現地でも サージ 吸収装置の必要がみとめられた。この異常電圧はさらに変圧器内部の シャハイ 板、低圧側 サージ 吸収器によりそれぞれ減衰されるためシリコン整流素子には心配のないことがたしかめられた。

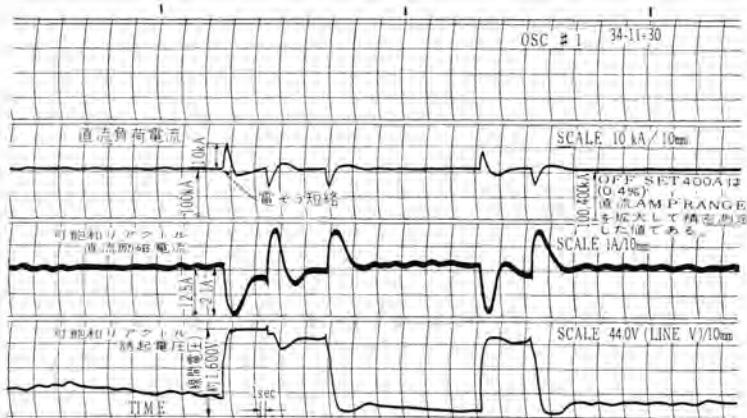


図 4.2 德山曹達納入 82V 120kA シリコン 整流器  
自動応動試験（電そう短絡）

Fig. 4.2 Oscillogram of automatic response test.

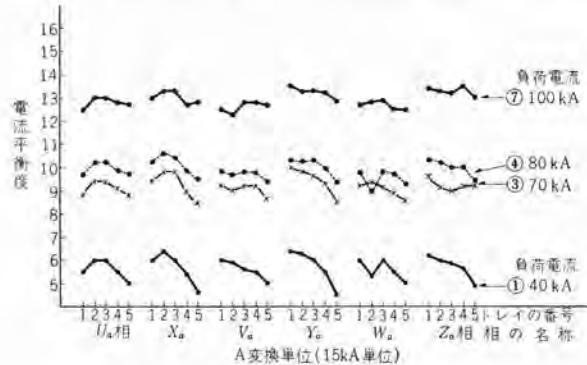


図 4.3 德山曹達 120kA/8 シリコン 整流器 レイ  
間電流平衡状況

Fig. 4.3 Current balancing state between trays of silicon rectifier.

## (2) 定電流装置の調整 および 自動定電流動作試験

自動定電流装置は交流側 CT の電流を基準電源と比較した後磁気增幅器で 2 段増幅した出力を可飽和 リアクトルの制御巻線へ送っている。前段と出力段の増幅度を  $A_p$ ,  $A_m$  とし、総合増幅度を  $A$  とすれば、

$A=18,000$  に設定した。この状態で  $100\text{ kA}$  通電中負荷変化により  $10\text{ kA}$  の電流変化を外部より与えた後の電流は設定値の約  $0.5\%$  以内に調整されている。この間の動作状態を示したものが図 4.2 である。

### (3) 全整流設備通電試験および電流調整

上記のように 30 kA の変換単位は伊丹工場において負荷試験し、トレイ間の電流値を簡単に調整したが残余の変換単位は無調整のまま、実負荷電流をながして行き 40 kA, 70 kA, 80 kA, 100 kA と負荷電流の上昇時にそれぞれのトレイの電流を各相につき測定したものが図 4.3 である。

図4.4は120kA通電時の30kA(A,B15kAシリコン変換単位)変換単位の各トレイの電流平衡状況を示した一例である。その後引続いて120~100kAで運転されているが満足すべき状況にある。

5. 者 窓

今回製作、納入した 82V 120kA 9,840kW の風冷式シリコン整流器は上記のようにわが国最大容量のものであるため電流の平衡と冷却と磁界の影響と、またこれらに関連する調整と保護方式とが設計の重要な課題となつたのである。なかでも冷却の課題は化学工場では宿命的である腐食ガスの問題があるが整

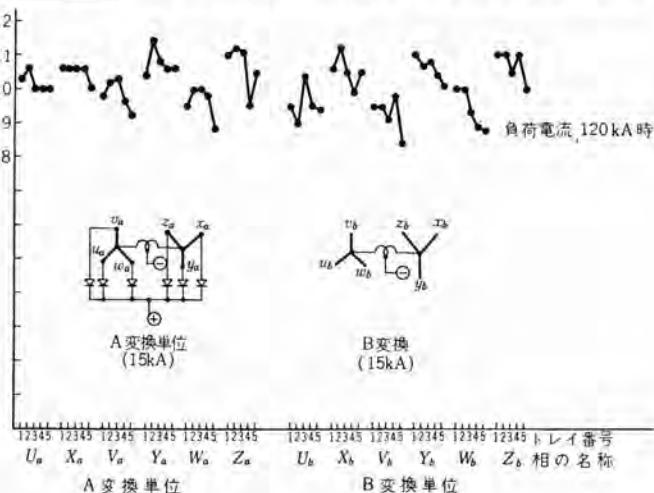


図 4.4 30 kA 変換単位各 レイ 間電流  
平衡状況を示す

Fig. 4.4 Current balancing state between each of trays of 30 kA converting unit.

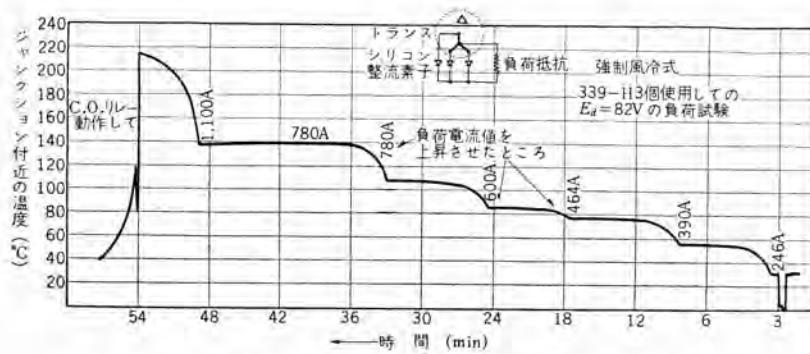


図 5.1 339-H 三相半波整流回路における加速負荷試験

Fig. 5.1 Accelerated load test of 3 phase half wave rectifier circuit.

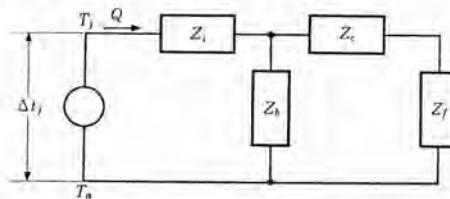


図 5.2 整流素子の熱放散回路

Fig. 5.2 Heat radiation circuit of rectifier element.

整流素子の構造と、基礎試験の結果から上記のような設計を行なった。また 339-H 形整流素子の基礎試験結果を図 5.1 に示す。この負荷試験結果と次に述べる整流素子の平均電流値選定条件の考察とは 120kA シリコン整流器の設計基幹である。

整流素子の熱放散の等価回路は図 5.2 に示され、P-N 接合より冷却媒体（空気）までの熱インピーダンス  $Z_t$  は式 (5.1) で与えられる。

$$Z_t = \Delta t_j / Q = Z_i + Z_b (Z_e + Z_f) / (Z_b + Z_e + Z_f) \quad (\text{°C/W}) \quad \dots \quad (5.1)$$

ここに  $\Delta t_j$ : 接合部の温度上昇 ( $= T_j - T_a$ )、 $Z_i$ : 素子の内部熱インピーダンス、 $Z_e$ : 素子-冷却片間の熱インピーダンス、 $Z_f$ : 冷却片の熱インピーダンスである。 $Q$  は最大放散熱量でその値は図 5.3 により与えられるが  $Z_i$  は  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$  と測定されているので  $T_{j,\max}$  を  $190^{\circ}\text{C}$  としたときの  $Q_{\max}$  は、

$$Q_{\max} = \frac{T_{j,\max} - T_{e,\max}}{Z_i} \quad \dots \quad (5.2)$$

により規制されるので  $T_{e,\max}$  (素子ケース温度) を  $125^{\circ}\text{C}$  とすれば 1 素子当たり  $225\text{A}$  がえられることになる。これは設計値の各素子当たりの電流に比してかなりの余裕を有することになるが回路要素などの異常や過負荷、電流不平衡および冷却条件などによって苛酷な使用状態となつたときでも信頼性を保持するためにかかる設計とした。

また冷却片の決定には次式があてはまり

$$Z_f = \frac{1}{A \cdot h \cdot \eta} \quad \dots \quad (5.3)$$

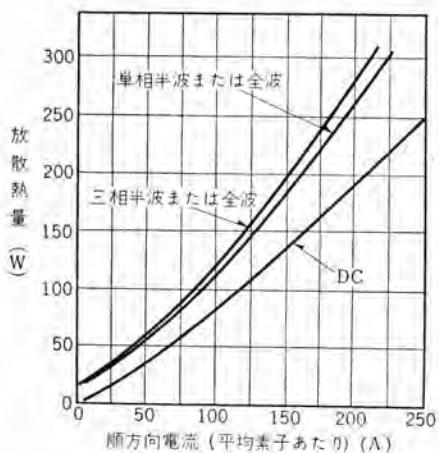


図 5.3 整流素子の最大放散熱量

Fig. 5.3 Maximum radiated heat quantity.

ただし  $A$ : 冷却面積 ( $\text{m}^2$ )

$h$ : 冷却片の空気への熱伝達係数

$\eta$ : 冷却片効率

上式より  $A$  を計算すると  $A=0.115 \text{ m}^2$  となるが接続導体その他を考え合わせて  $A$  の値は  $0.09 \text{ m}^2$  としてある。

さらに整流素子間の通電流平衡にもとづく電流定格を数式で示せば式 (5.4) となる。すなわち

$$I_i = \frac{(100+\xi)+(n-1)100}{n(100+\xi)} I_1 \quad \dots \quad (5.4)$$

ただし  $I_1$ : 整流素子の定格電流値  $\approx 200 \text{ A}$

$\xi$ : 不平衡による電流增加分  $\approx 40\%$

$n$ : 並列整流素子個数  $= 20$

式 (5.4) に数値を挿入して  $I_i = 146 \text{ A}$  となる。これは素子電流定格の 73% しか使えないことになる。この程度の不balanceが運転上実在しないとの保証はなく、回路の接続抵抗と集中抵抗とがましてその差異により大きく通電电流が変化することが想定できる。この点も設計上の考慮の一点である。

つぎは大電流による磁界の影響であるが、今回はシリコン整流器から電解槽へと  $120\text{kA}$  の大電流が大きく一循環のループを形成し、そのための磁界が配電盤その他の計器類、リレー類にかなりの影響を与えた。この件は  $40\text{kA}$  の電流値のもので事前に予備的測定が行なわれた。それにより矩形断面導体近傍における磁界 ( $H$ ) は次式で与えられ、この式を実測により補正した。

$$H = \frac{I}{2\pi d} \left\{ \frac{d}{a} \left[ \frac{1}{b} (2d+a) \tan^{-1} \frac{b}{2d+a} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{b} (2d+a) \tan^{-1} \frac{b}{2d-a} + \frac{1}{2} \log \frac{1 + \frac{1}{b^2} (2d+a)^2}{1 + \frac{1}{b^2} (2d-a)^2} \right] \right\} \quad \dots \quad (5.5)$$

ただし  $a, b$  は導体断面の寸法；  $d$  は  $b$  面よりの距離

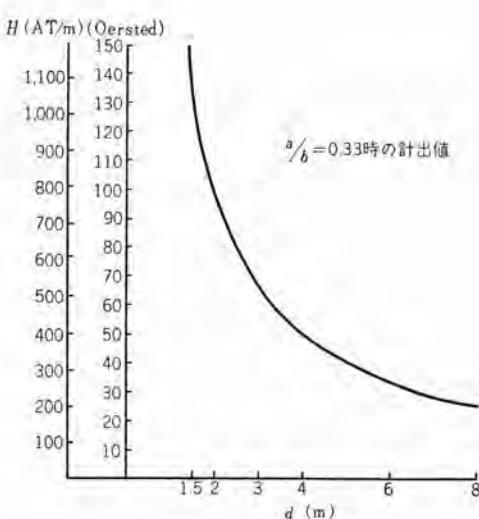


図 5.4 大電流による磁界 (100kA ベース)

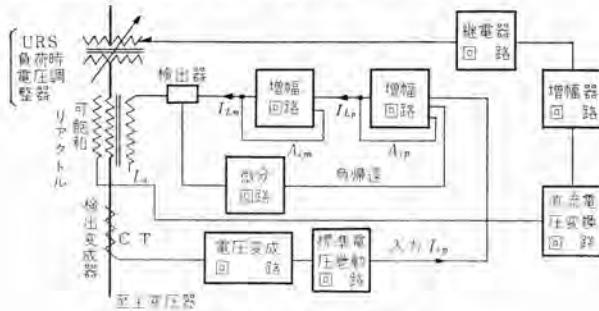
Fig. 5.4 Magnetic field by large current.

磁束計法で実測した結果は式(5.5)の計算結果とは直線導体部分で約 3% 程度の誤差におさまった。そのため計器およびリレー類への具体的な処置としては取付方法と離隔方法ならびに磁気シールドを採用して目的を達することができた。図 5.4 は 100 kA ベースで  $a/b=0.33$  のときの  $d-H$  曲線である。

シリコン整流器の保護運動関係と出力電圧制御はサービス階級 A と無人運転とに関連する重要な事項である。上記のように整流素子にそれぞれ直列に速応動形限流ヒューズを入れて故障素子回路の開路を行ない、運転は継続できうる設計である。そのとき短時間領域では次式が成立する。

$$3I_{fm}^2 \approx I_{fc}^2 \ll I_c[n(1-\delta)+\delta]^2 \quad \dots \dots \dots (5.6)$$

またより長い時間の領域では逆流位相の終りにシャンク完了するとみてよいのでつねに選択シャンクは成立する。式(5.6)中  $I_{fm}$ ,  $I_{fc}$ ,  $I_c$  はそれぞれヒューズ溶断、ヒューズシャンク完了整流素子を示し、 $n$  および  $\delta$  は並列数と並列による不均衡率を示す。短時間領域における速動ヒューズの  $I^2$  特性と素子の  $I^2$  容量との協調をとり負荷側短絡の保護とすることがあるが今回の負荷では完全短絡は発生しない。したがってわずかの過負荷に対しては瞬時要素付過電流遮断器で保護を行なっている。



# 小田急電鉄“HE車”用電機品および空制装置

新三菱重工業株式会社三原製作所

三菱電機株式会社伊丹製作所

木島 寛治\*

浅越泰男\*・菅田恵之助\*・北岡 隆\*

## Electric Apparatus and Brake Equipment for “HE” Cars of Odawara Express Railway

Mitsubishi Heavy Industries Reorganized, Limited Mihara Works Kanji KIJIMA

Itami Works Yasuo ASAGOE・Keinosuke SUGATA・Takashi KITAOKA

Demand for traffic capacity of suburban electric railways has been on the rapid increase. To answer the purpose, all M composition cars with high acceleration and retardation have come in use. This, however, leads to the increase of manufacturing cost and electric power consumption of rolling stock a great deal. Coping with the situation, a new concept of highly economical car—“HE” cars—has been worked out by TMMT composition with an aim to obtain economy and performance well compared with the all M composition. To this end high capacity traction motors and ultra-multi step cam controllers operating on the principle of the program control system have been taken up. Success in this HE cars suggest itself how the commuters' train will be in future.

### 1. まえがき

近年大都市周辺の人口は増加の一途をたどり、郊外へ膨張を続ける住宅地から都心への通勤輸送の混雑緩和のために、国私鉄をとわず通勤用電車の増備に多大の努力を傾注されている実情にある。

通勤のように比較的短区间で短時間に多量の輸送を必要とする場合、その輸送力は車両の絶対量と表定速度の二つにより左右されると考えてよい。すなわち表定速度の増大は車両の回転率をあげ、同数の車両で編成両数の増加あるいは運転 ヘッド の短縮が可能となり輸送力増大に大きく寄与するものである。かかる観点から近年製作される通勤用電車の大半は従来の MT 基本の編成から表定速度向上のために出力、動軸数を増加して高加速、高減速の得られるオール M 編成に移行してきた。車体台車の軽量化、主電動機、制御装置の高性能化によりオール M 編成の通勤用電車の性能はいちじるしく向上したが、反面全電動車なるがための新造費、保守費の増加、大出力なるための電力消費の増大は宿命的なものとなり、輸送力増大の大目的の前に暗雲をなげかけかねない事態を生ずるにいたった。

小田急電鉄においては一昨年来かかる問題に対処して鋭意検討を進められ、下記のような新構想の TcMMTc4 両固定編成の高性能通勤車の計画を具体化された。

(1) 従来オール M 編成の一つの利点とされていた連結解放の便は、すでに 4 両固定編成が常識化した昨今で



図 1.1 HE 車全景

Fig. 1.1 Full view of “High Economical Car”.

は無意味なものとなった。

- (2) 主電動機、制御装置の数を半減して機器を集約化し、従来のオール M 編成に比し自重を約 20% 軽減して、新造費、保守費の節減を計る。
- (3) 半減した主電動機は大容量のものとする、しかし総出力は自重減のために小さくてよいから電力消費は節減される。
- (4) 高加減速を得るために粘着限界を最大限に利用すべく応荷重超多段式制御を行なう。これに付随して電力尖頭負荷の軽減も計れる。

当社ではこの要望にこたえて 120 kW 狹軌用 WN ドライバ 高性能主電動機を開発するとともに、乗心地改善のため加減速度のプログラムコントロールを加味した超多段式制御装置の製作に成功、これらを装備した HE 車 (High-Economical Car) は昨年 12 月第 1 編成が完成し、斯界

注目のうちに各種の性能試験が行なわれ從来のオール M 編成の高性能車に劣らない諸性能が確認されるに至った。この画期的な HE 車の成功は今後の通勤用電車の一つのあり方を明示したものといつてよく、以下にその電機品の詳細について紹介申上げる次第である。

## 2. HE 車の諸元、性能および特長

### 2.1 諸元、性能

HE 車の諸元は表 2.1 に示す。

表 2.1 HE 車要目表

項目	M 車	Tc 車
軌 間 (mm)	1067	1067
電 気 方 式	DC 1,500 V	DC 1,500 V
自 重 (t)	$M_1 = 33.37, M_2 = 35.3$	20.22
定 員 (名)	155	117
最 大 寸 法   長 (mm)	19,300	15,970
幅 (mm)	2,700	2,775
高 (mm)	4,150	3,900
車 輪 � 径 (mm)	910	760
形 式	4×MB-3039 A	—
主 電 動 機	120 kW, 340 V	—
出 力	92/15=6.13	—
齒 車 比	ABFM-168-15 MDH	—
制 御 装 置 形 式	HSCD	HSCD
空 気 ブ レ キ 装 置 形 式		

編成 TcMMTc 4 両固定

編成長 委間 69.9 m

自重 109.11 t

乗客 定員 544 名

満載 (2.5 倍) 1,360 名

1 時間定格出力 960 kW

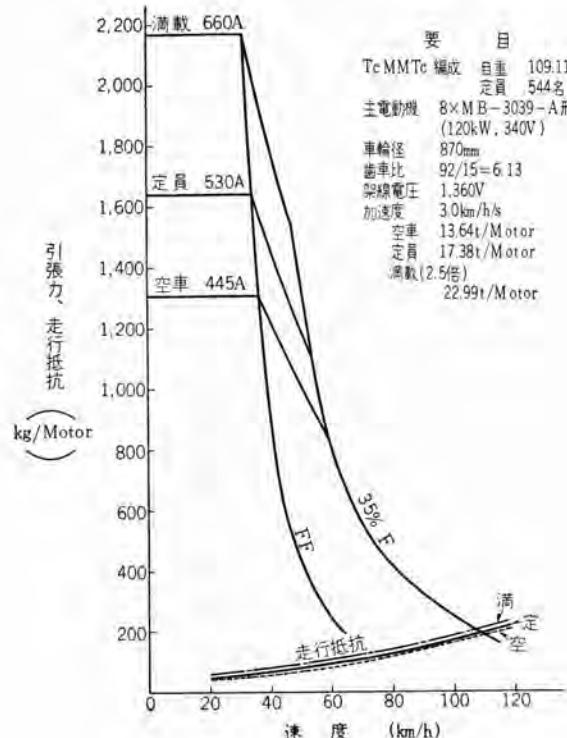


図 2.1 HE 車性能曲線

Fig. 2.1 Output performance curve of HE car.

- 加速度 3.0 km/h/s (空・満・定)
- 常用最大減速度 4.0 km/h/s (空・満・定, 電空併用)
- 非常減速度 4.5 km/h/s (同上)
- 最大運転速度 110 km/h

性能曲線は図 2.1 に示す。

### 2.2 特長

(1) M 車は Tc 車に比し車長が長いが、これは限られた編成長のうちに機器をできるだけ M 車に集中しその粘着重量を大きくするために、許容しうる最大限に長くしたものである。

(2) 編成総出力は 960 kW であって 75 kW 主電動機装備のオール M 編成に比すれば 20% 小さくなっているが、TcMMTc 編成のため自重が軽くなっているので単位重量当たりの出力は 8.8 kW/t でほぼ同等となる。

(3) M 車の粘着重量を最大限に利用して通勤輸送に必要な高加減速を得るとともに、弱界磁の大幅活用によって高速特性も良くして從来のオール M 急行車と同等の速度が得られる。すなわち通勤と急行の両用の性能を具備した経済的汎用車といえる。在来オール M 急行車 2220 形との性能比較を図 2.2 に示す。

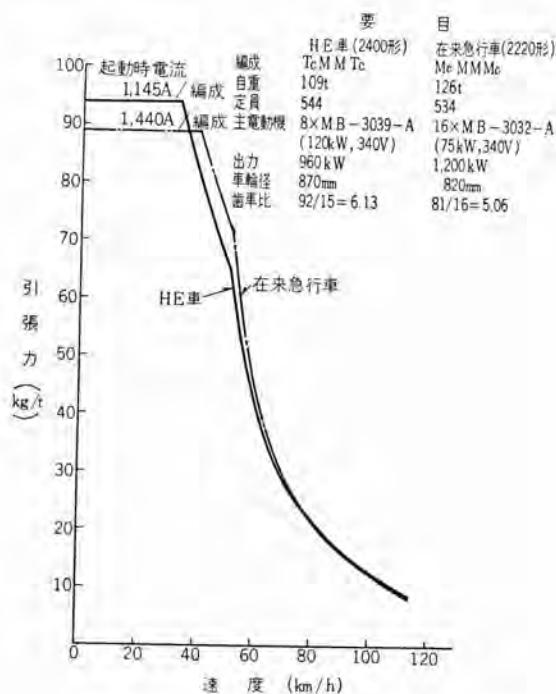


図 2.2 HE 車-在来急行車性能比較曲線  
(定員 × 1.5 乗車時 1,360 V)

Fig. 2.2 Performance curves of HE car and express car.

(4) 主電動機は 1 時間定格 120 kW の WN ドライブ方式で、狭軌電車用台車装架式高性能主電動機としてはわが国最大容量のものである。

(5) 制御装置は粘着を良くするためにバー・ニヤ制御による超多段式を採用しているが、特筆すべき点は加速、制動の制御にわが国はじめてのプログラムコントロールを実用化したことである。これによって起動、制動時のショックは皆無となり乗心地はいちじるしく改善されるとともに、磁気増幅器によって器具の無接点化が行なわれ保守の手間を省くことができる。その他スリップスキッド保護装置、ノッチオフ時のモードシフト方式採用など安定した運転を確保するために種々考慮が払われている。

(6) ブレーキ装置としてはM車の発電ブレーキとTc車の空気ブレーキの組合せにおいて、良好な乗心地を保つためのプログラムコントロール効果を有効に發揮できるようとくに新しく開発した“HSC-D<sub>3</sub>”電空併用ブレーキ装置を装備している。

### 3. 主電動機および駆動装置

#### 3.1 概要

狭軌用WNドライブ主電動機は昭和31年以来各方面に納入して好成績をあげているが、今回HE車に要求された出力120kW高加減速用のものについては容量的にみても性能的にみても画期的なものであり、最新の技術を応用して設計製作に成功したものである。従来の75kW級のものに比し駆動部分たるWNカーブリング、ギヤユニットは大トルク伝達のため軸方向寸法は若干大きくする必要があり、このため主電動機寸法はさらに短縮を余儀なくされこれが設計上もっとも苦心を要した点であつ

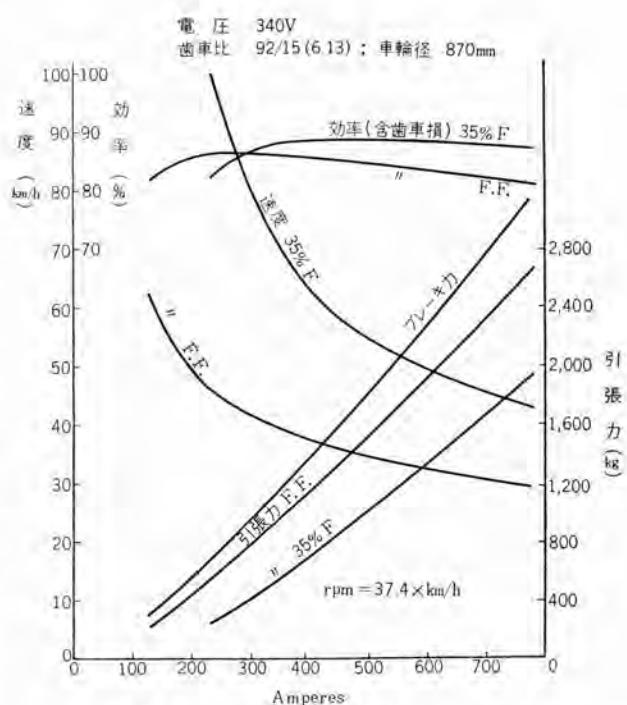


図3.2 MB-3039-A形主電動機特性曲線  
Fig. 3.2 Characteristic curves of type MB-3039-A traction motor.

て、出力増大および軸方向寸法短縮による外径の増大を最小限にとどめて、客先ご要望どおりに車輪径910φの台車に収容することが可能となった。主電動機および駆動装置の外形および配置は図3.1に示す。

#### 3.2 主電動機

主電動機の諸元はつきのようで、特性曲線は図3.2に示す。

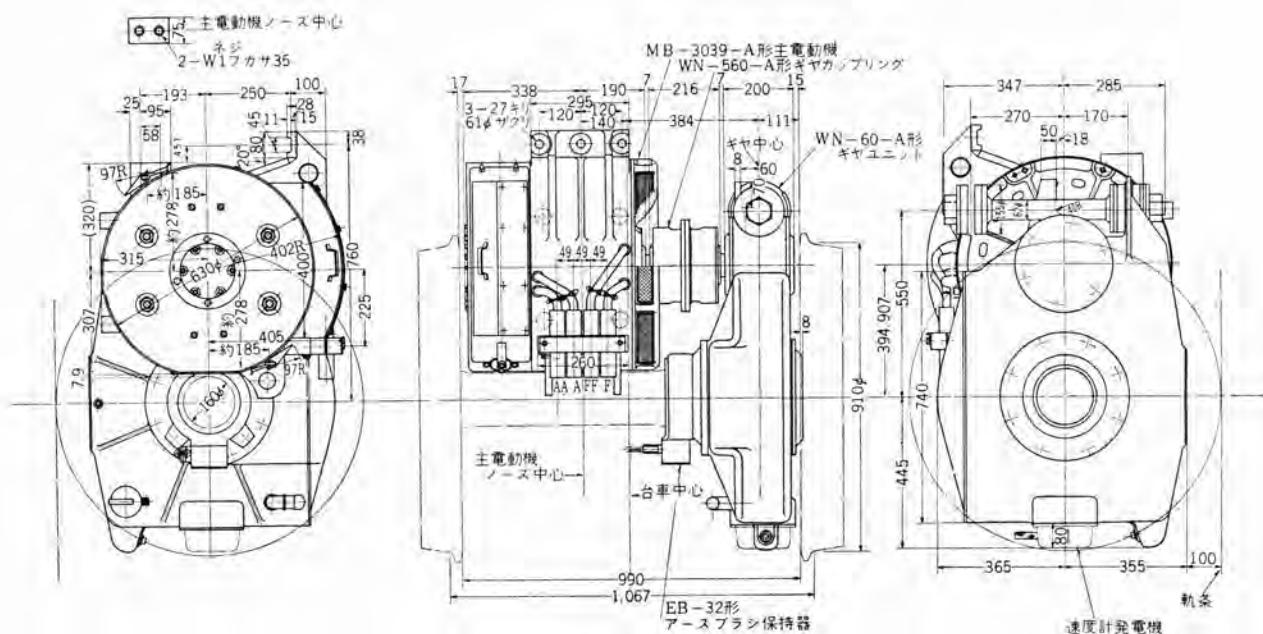


図3.1 主電動機駆動装置外観図  
Fig. 3.1 Outline of traction motor and drive equipment.

形名 MB-3039-A 形  
方式 直流直巻、丸形  
ワク 台車装架、  
半密閉自己通風  
式

1 時間定格  
120 kW 340 V  
392A 1,600 rpm

(75% 界磁)

最弱界磁率 35%  
最大回転数 4,500 rpm

最大許容端子電圧 950 V (全界磁)

重量 795 kg

この主電動機は TcMMTe 編成で通勤、急行両用の性能をもたせるために大容量なる上に次のような苛酷な条件を満足させている。

- (1) 大加減速度を得るために大トルクを發揮しうる。kW/rpm の値は 0.075 であって、広狭軌用を問わず電車用台車装架式高速電動機においてわが国最大である。
- (2) 高速時の電気ブレーキを確保するために 950 V という高い過電圧を許容する。
- (3) 高速性能を良くするため 35% という高率弱界磁を使用する。
- (4) スピードレーティング (最大回転数/定格回転数) を 2.8 と高くとる。

主電動機としては軸方向寸法短縮のため電機子および整流子直径は比較的大きくなり、最大周速は限度いっぱいの値となっており回転部は機械的に強固な構造としている。高率弱界磁運転また高速電気制動時に安定した整流を確保するために電気負荷、磁気負荷の配分にとくに意を払い、構造上不利な補償巻線は設けず比較的弱電機子強界磁の傾向をもった設計をおこなって整流安定度を大きくとつており、このほか 1.1 mm 厚の整流子片間マイカの使用 (通常は 0.8 mm), 積層補極鉄心使用などの考慮も払っている。絶縁は電機子は完全 B 種、界磁は H 種絶縁物を豊富に使用した F 種絶縁で、温度上昇値は規格値に対して十分な余裕をもっている。カップリング取付のためスリパチ状になった歯車側の構造、軸受、ラッシュ保持器、通風などの内部構造は標準形 75 kW 級のものと類似であり保守点検容易なものとなっている。

### 3.3 駆動装置

WN 駆動装置の諸元は下記に示す。

#### (1) ギヤユニット

形名 WN-60-AM 形

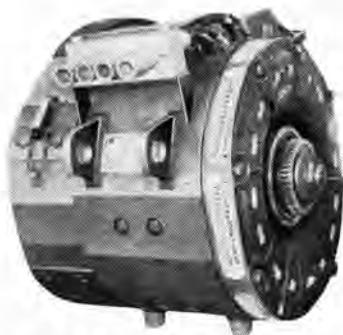


図 3.3 MB-3039-A 形主電動機

Fig. 3.3 Type MB-3039-A traction motor.



図 3.4 WN-60-AM 形 ギヤユニット

Fig. 3.4 Type WN-60-AM gear unit.

形式	1 段減速 シングルカルギヤユニット、全密閉 ギヤケース 付
歯車比	92:15 = 6.13:1
モジュール	7, 圧力角 20 度
ネジ 角	18° 30'
重量	425 kg (接地装置含む)

#### (2) カップリング

形名	WN-560-A 形
形式	ダブルインターラエルギヤ 形
許容軸偏位	両軸偏心 最大 ±13 mm
軸方向	±10 mm
重量	43 kg



図 3.5 WN-560-A 形 ギヤカップリング

Fig. 3.5 Type WN-560-A gear coupling.

ギヤユニットは高加減速用に大歯車比を採用したもので、ピニオン 軸の油切りの構造を改良して歯幅の増大にかかわらず軸方向寸法の増大を最小限にしたものである。テーパコロ 軸受支持の高精度 ピニオンギヤにより、一体鋳鋼製密閉 ギヤケース内で円滑、静しうくな運動伝達が確保される。ギヤカップリングは大トルク伝達のために従来の狭軌用標準形に比し 1.5 倍の容量をもった新製品で、エキスター・ルギヤ、インターラエルギヤとともに渗炭焼入を行なって高硬度とし摩耗を最小限とするよう考慮を払った。

## 4. 制御装置

### 4.1 制御装置概要

この制御装置は従来の電車とはまったく構造を新たにし、性能の面でも保守の面でも、また器具の面でも格段

とすぐれたものである。すなわち従来  $3 \text{ km/h/s}$  以上の高加速車では全電動車とするのが普通であるが、HE 車は TMMT 編成で荷重に無関係に高加減速制御を行なうようになっているので、乗心地の改善、空転、スキッド防止、主電動機整流改善などの目的から、電車の制御としては初めての プログラムコントロール 方式を採用した。この方式は先に小田急電鉄のご好意により昭和 33 年 9 月、試験車により現車試験を行なって数々の貴重なる データ を得、この経験に基づいて設計されたものである<sup>(1)</sup>。

すなわち、人体の加減速度に対する感応度は、一般的な高加減速車といわれている程度の加減速度の場合問題にならない程度である。すなわち電車の場合水平方向の加減速度を受けるわけであるが、人体にはつねに約  $1 \text{ g}$  の重力加速度を受けているので、たとえば  $5 \text{ km/h/s}$  程度のいわゆる高加速度で発車したとしても水平方向に、 $0.14 \text{ g}$  を受けるに過ぎず、これはちょうど床が 8 度傾いて体重が 1% 増加した場合に相当する程度であるから、一定加減速度で走行している間はまったく感じないはずである。しかし一般に高加減速車の乗心地が悪いと感じられるのは、加減速度の変化、すなわち加速度が問題となるからであって、国鉄技研の発表によると図 4.1 に

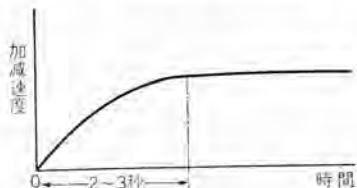


図 4.1 加速度および減速度の理想曲線  
Fig. 4.1 Ideal curves of acceleration and retardation.

示すように、加減速度が放物線状に変化するのがよいとされており、その立上がり時間は 2 秒程度を限度とする。

この数値については加減速度 プログラムコントロール 方式による試験車により乗心地アンケート集計結果この数値の裏付けをすることができた。この加減速度変化においては加減速度を減衰させる場合にも同様な結果を得た。

一方 HE 車では TMMT 編成であるので、M 車に必要とする粘着力は非常に大きくなり、加速減速ともに  $5 \text{ km/h/s}$  に近い加速度相当のトルクを受けるので、空転、スキッドを誘発するトルクのピークを、無視できる程度にまでおさえるために超多段方式を採用した。もちろん空転、スキッド発生の際は磁気増幅器による高感度検出装置を備えて万全をはかっている。また主電動機の整流に有害な電流の急変をなくすることにも大いに役立っているわけである。

小田急電鉄 “HE 車” 用電機品および空制装置・木島・浅越・菅田・北岡

このように乗心地をよくしました車両に対する有害な因子を除くなどの目的を プログラムコントロール により解決したわけである。

制御装置は経済車するために 4 両に 1 台しかもたずまた機器の設計上にも万全の対策が払われ、とくに頻度の多い離電器に対しては無接点化の考慮をはらい電力消費を最小にするため直並列制御を行なった。また超多段によるため変電所に与える進段時の ピーク 電流による悪影響も非常に小さいわけであってすべての面で経済車たる面目を失わない。

## 4.2 制御器要目

架線電圧	DC 1,500 V
主電動機	340 V 392 A 120 kW × 8
制御電圧	DC 100 V AC 200 V
制御空気圧	5 kg/cm <sup>2</sup>
列車編成単位	TcMMTc 編成
形名	ABFM-168-15 MDH
加速度（満空に限らず）	$3.0 \text{ km/h/s}$ ( $2.0 \text{ km/h/s}$ に切換可能)
減速度	$4.0 \text{ km/h/s}$ (常用) $4.5 \text{ km/h/s}$ (非常)
制御方式	電流基準 加減速度 プログラムコントロール 方式
制御段数	力行 直列 33 段 並列 41 段 弱界磁 8 段 } 計 82 段
制動	73 段

## 4.3 制御方式

この制御方式を簡略図で示すと図 4.2 (a) のようになる。すなわち、車体に取付けられた荷重検出装置により補正された CR 回路から発生する パターン により、主回路電流を プログラム 制御する方法であって、パターン 発生の指令は主幹制御器、またはブレーキ ハンドル によって力行、制動別に与えられる。カム制御器はパイロットモータにより制御されるが従来行なっていたような ON-OFF 方式によらず磁気増幅器による パイロットモータ の アーマチュア

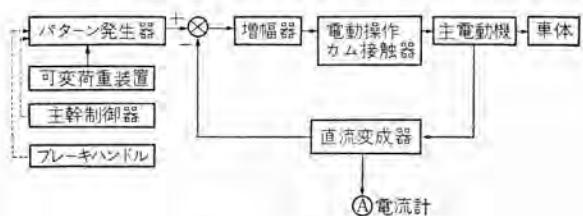


図 4.2 (a) 制御回路簡略説明図  
Fig. 4.2 (a) Block diagram of control circuit.

電圧制御によって行なっているので、従来問題の多かった短絡リレーなどの接点荒れの問題はまったくない。主回路電流の検出には直流変流器を使用しているので制御回路は高圧回路とまったく絶縁することができ、また運転台の電流計も低圧回路となるので MT 間の引通しも安全かつ経済的である。パイロットモータを制御する磁気増

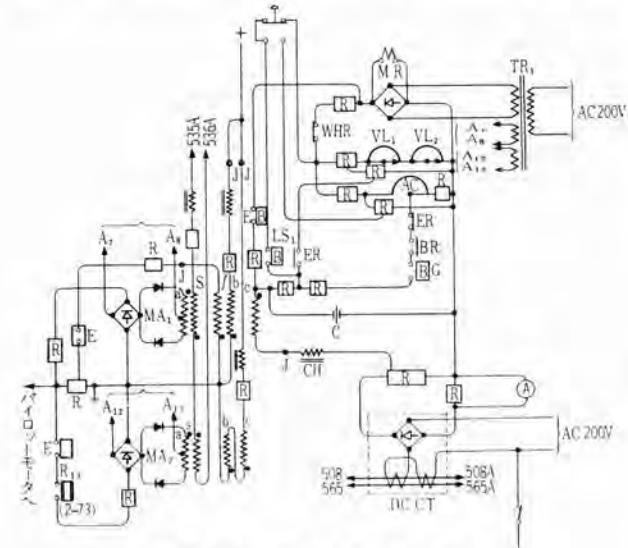


図 4.2 (b) 電流制御器簡略 ツナギ

Fig. 4.2 (b) Schematic diagram of current control circuit.

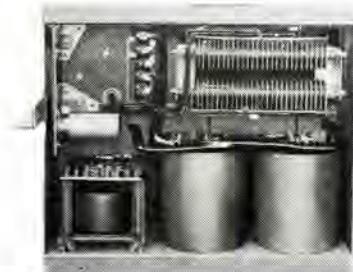


図 4.2 (c)  
電流制御器

Fig. 4.2 (c)  
Current control box.

幅器は電源 60 c/s で MG よりとるが、速応性をよくするため負帰還を施すなどの考慮をした。一方パイロットモータの速応性を改善するため定格回転数を低くとり、トルクを増すための巻線の強化をはかるなど細心の注意を払った。また発電制動がいかなる速度からもスムースに、しかもすみやかにかかるようスポットティングを採用したが、下りこう配による加速の場合も適当なステップを選択できるようステップ戻しが自動的に行なわれる。

以上述べたように、主回路電流検出後の制御は連続的かつ瞬間的に行なわれる所以、従来のように限流リレーその他のリレーのdead time は無視でき、したがってオフセット誤差はきわめて小で、プログラムコントロールも可能であるわけである。

#### 4.4 主回路方式

主回路制御器具はカムスイッチを主としており、主電動機 4 台当たりわずかに 9 個のセレクタスイッチと 2 個のパニヤスイッチおよび 2 個のトランスマススイッチにより 73 段のステップを得ている。これらのカムスイッチは同一のパイロットモータにより制御され、かつ機械的に直結されているから動作シーケンスの遅れがまったくなくまた対抗カムをつけることによって機械的バランスをよくした。

トランスマススイッチは電気的並作用をするもので、かつ、一次および二次の吹消コイルを有する電流シャン断可能のスイッチを用いているから戻しステップが可能で、力行オフ制動ゆるめとともに人体には感じられないほどスムースに加減速力を消失させることができる<sup>(2)</sup>。図 4.4 (b) はこのスイッチのシャン断オシロで小形にもかかわらずシャン断容量はきわめて大きいことを示している。

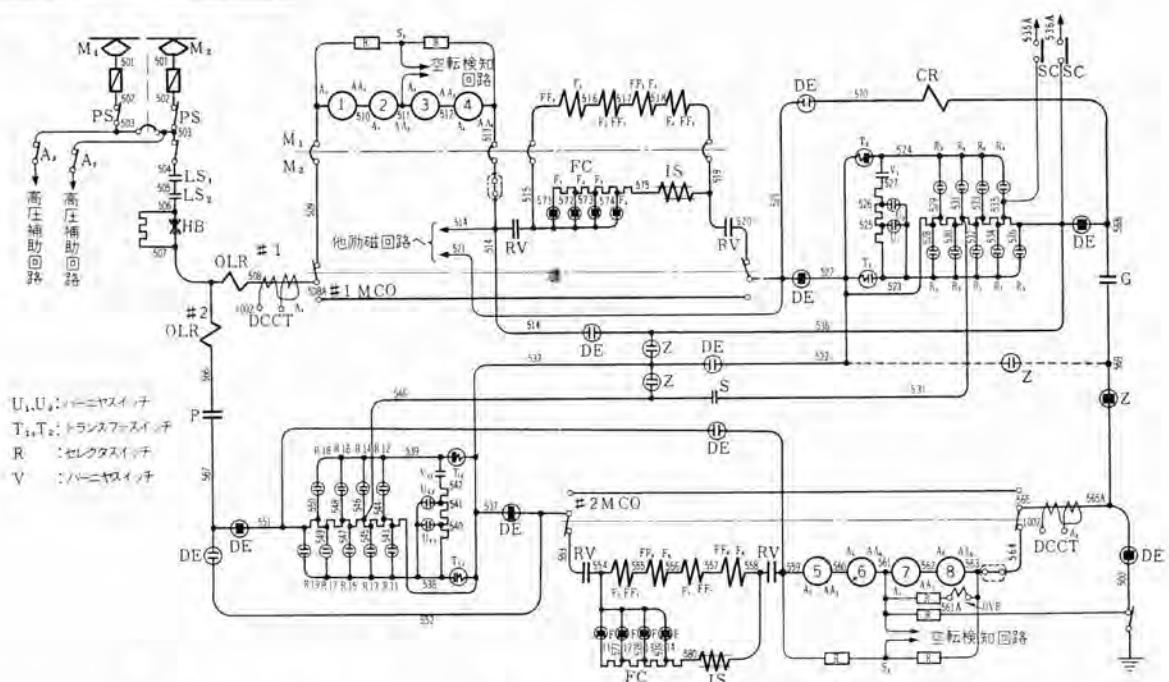


図 4.3 HE 車主回路 ツナギ

Fig. 4.3 Main circuit diagram of High Economical car.

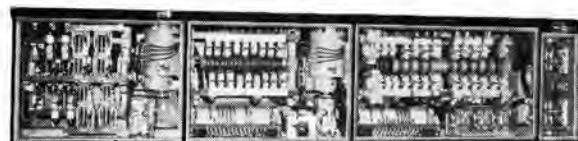


図 4.4 (a) CB-53C-1 形主制御器箱

Fig. 4.4 (a) CB-53C-1 main controller box.

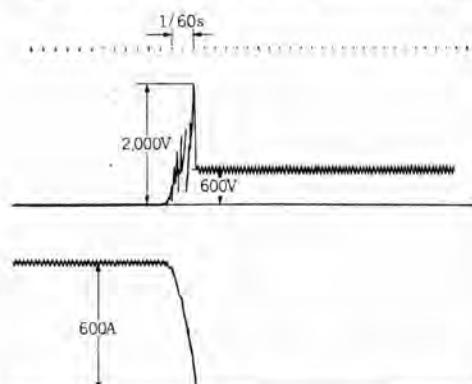


図 4.4 (b) UCB 300 形 カムスイッチ シャ断 オシログラム  
DC 600 V 20 mH 600 A.

Fig. 4.4 (b) Oscillogram of interruption with type UCB-300 cam switch.

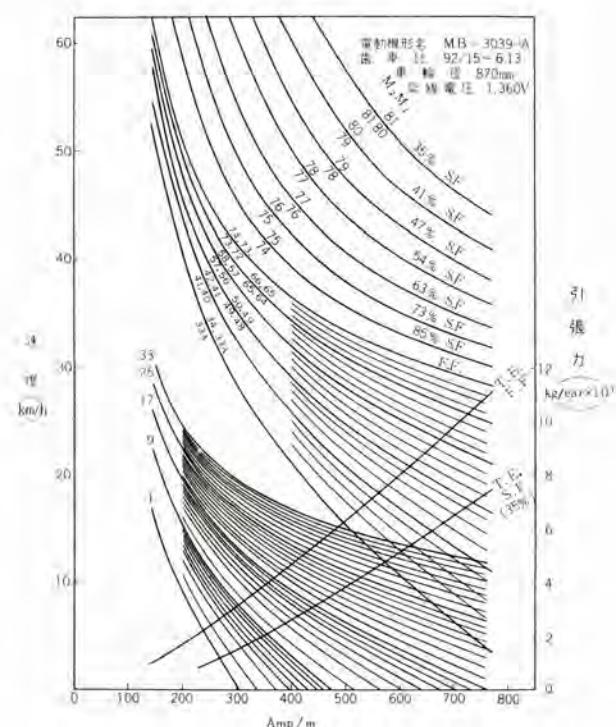


図 4.5 (a) 力行 ノッチ 曲線

Fig. 4.5 (a) Powering notching curves.

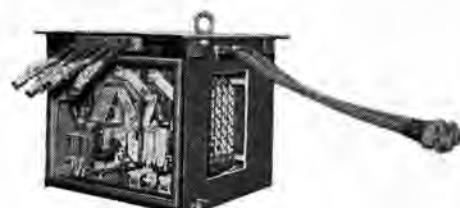


図 4.6 HB-3-752 形断流器箱

Fig. 4.6 Type HB-3-752 line switch box.

また超多段方式が可能のため従来困難とされていた 10 km/h 以下の低速でも、連続制御方式とあいまってスムースに発電制動がかかり、停止寸前まで高減速度制動が有効に作用する。

#### 4.5 空転およびスキッド対策

電車に力行時の空転、制動時のスキッドの対策を本格的に行ないはじめたのは最近のことであって、これは朝夕のラッシュ時に威力を発揮する高加減速車の出現により問題になってきたものである。一般に加速度よりも減速度が高くとれる場合が多いので、普通 スキッド 対策のみを考える場合が多いが、HE 車は経済性の面で 4両中の 2両を電動車としている関係上、力行、制動ともに M 車の受ける牽引力は加減速度に換算して等価的に約 5 km /h/s となる。

一方車輪とレール間の粘着係数はどのくらいとれるかということが問題となるが、これはレール面および車輪踏面の状態と速度により大幅に変化することが種々の試

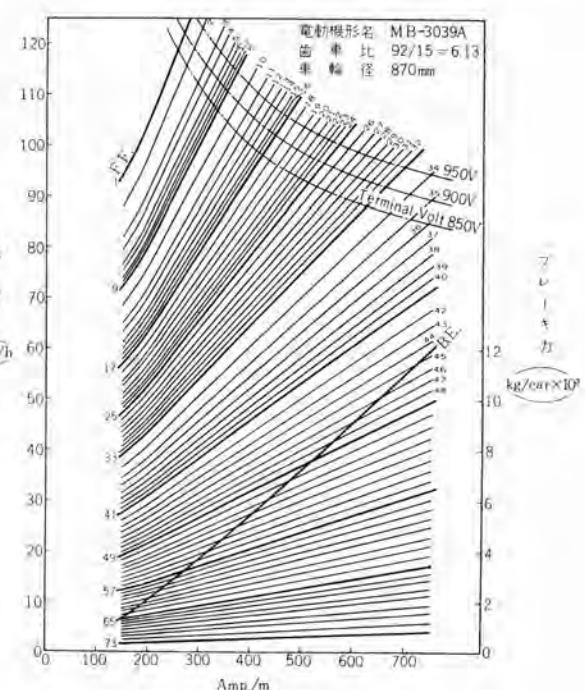


図 4.5 (b) 制動 ノッチ 曲線

Fig. 4.5 (b) Braking notching curves.

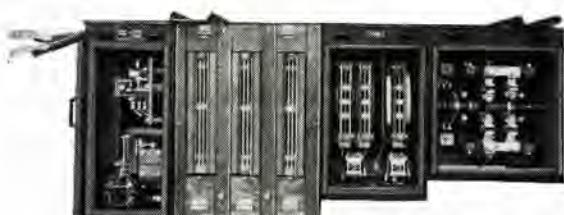


図 4.7 MU-5A-211 形 スイッチ 箱

Fig. 4.7 Type MU-5A-211 switch box.

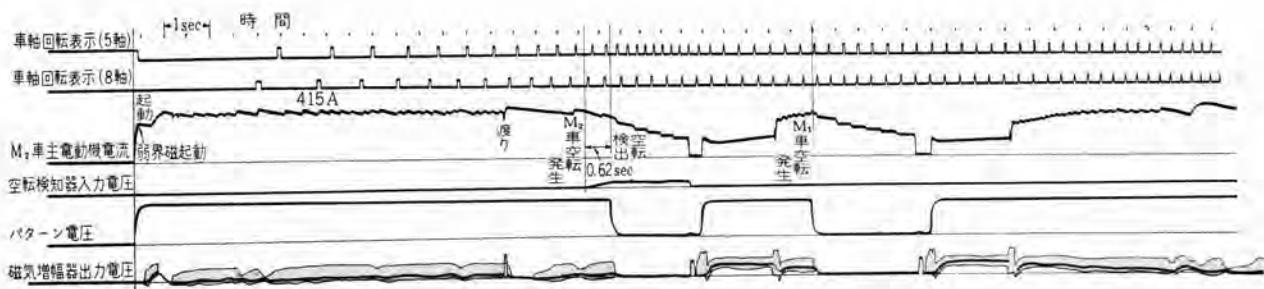


図 4.9 空転試験 オシログラム  
Fig. 4.9 Slip test oscillogram.

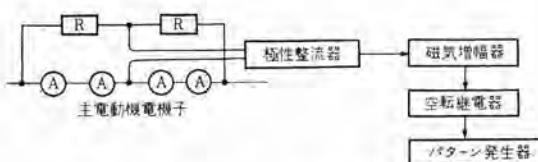


図 4.8 空転検出器説明図  
Fig. 4.8 Block diagram of slip detector.

験より明らかとなっており、レール面が乾燥している場合とか、降雨状態ではかなりの粘着が期待できるが、小雨が降りはじめたときとか油が付着している場合には、急激に減少するので空転およびスキッドの可能性があるので図 4.8 に示すような装置により主電動機 4 台を 1 組として検出するようになっている。検出後はパターンを 0 にするともに戻しステップとにより減流する。

この装置に磁気増幅器を用いたのは分圧抵抗管の容量を小にしてしかも高感度とするため、主電動機、車輪径などの個別誤差により、110 km/h まで誤動作しないよう 5 km/h 空転感度にセットしてあるがさらに高感度とすることも可能である。図 4.9 は空転試験の実測オシロでレールの一部に油を塗りそこを通過した際空転を生じさせて観測した。空転発生後検出までの デッドタイムは非常に短く再粘着に有利になるようにしている。

#### 4.6 その他の特長

##### (1) 間接非自動制御

1 編成 4両について制御装置はわずかに 1 組でよいが、万一これが故障した場合には運転が不能になるので、手動転換器を切換えれば主抵抗器 1 組および S、G、LS スイッチだけによって間接非自動運転ができる。操作は主幹制御器により、普通の運転方法と変わらない。

##### (2) 主回路電流計の低圧化

運転台が T 車にあるので従来の方法ならば M 車と T 車間に高圧引通線が必要であるが、この制御装置には高精度の直流変流器を備えているので電流計はこれを利用でき、したがって低圧回路となって安全である。

##### (3) こう配線での起動性能良好

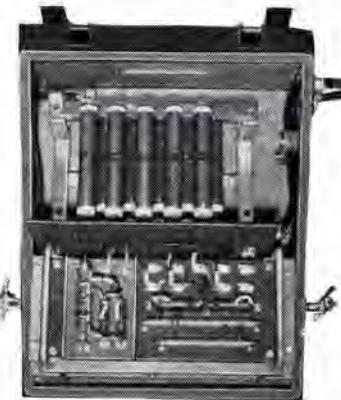


図 4.10 空転検出器箱  
Fig. 4.10 Slip and skid detector

ブレーキハンドルをゆるめてから力行回路ができるまでのむだ時間はわずか 0.4 秒であるから、40% こう配線でも起動時後退することはまったくない。

#### (4) 直列弱界磁制御可能

箱根の 40% こう配をのぼる場合並列回路では制限速度を越えるので直列弱界磁により適当な速度でのぼることができるように押しボタン操作により切換えを行なっている。

#### 4.7 工場組合わせ等価試験

従来電車の制御装置の試験はいわゆる空ノッチ試験およびリレー類のセット程度のもので、実際にいかなる性能をもっているかは現車試験によらなければならなかつた。当社では今後 HE 車のような高級な制御装置を製作することが多いと考え、電車と同等の慣性能率を有する慣性体を主電動機 2 台ごとに直結しこれをピットにおさめ、制御装置と組合わせて力行、制動とともに現車と等価な試験ができるような装置を設備した。

これは主電動機特性が直巻式であるので非直線特性を有しとくに発電制動時はこれが電流立上がりに大きく関係するので制御装置の速応度、限流誤差などを、パターン変化、再ノッチ、制動初速を変えた場合などについて測定し、負帰還量の選定、ループゲインの調整を行なって最高の性能が出るようにした。



図 4.11 (a) 工場での等価組合せ試験状況  
Fig. 4.11 (a) Equivalent combined test at the factory.

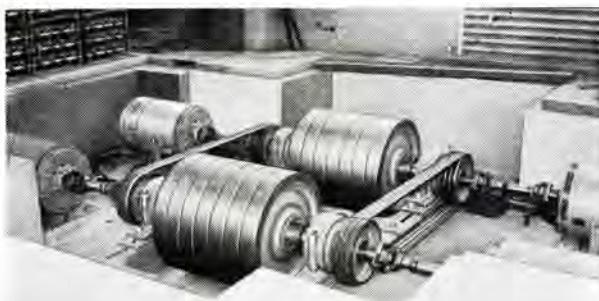


図 4.11 (b) 工場での等価組合せ試験状況  
Fig. 4.11 (b) Equivalent combined test at the factory.

もちろん戻し ステップ の状態、直並列渡り時の電流変化と追随性、などについても十分に検討したので、現車試験では単なる確認程度で済ますことができた。

## 5. HSC-D<sub>3</sub> ブレーキ装置

電動車 2両と制御付随車 2両とからなる TcMMTc 編成列車において、常用 ブレーキ の場合 M 車についてのブレーキ 電流に対してだけ プログラム 制御方式を適用し、Tc 車の空気 ブレーキ については圧縮空気の時定数が本質的に大きいことと、車輪と ブレーキ・シュー 間の摩擦係数変化が大きいことのためにまだ ブレーキ 力の自動制御方式を適用するに至っていない。しかしながら、編成列車としてこの プログラム 制御の実用的効果を生ずるように計画したものである。すなわち、M 車の発電 ブレーキ を許容粘着限界まで大幅に利用するとともに、一方 Tc 車の空気 ブレーキ は不足分だけを荷重対応制御により ブレーキ 率を一定に保ちつつ効かせるようにしたもので、速度低下に従って漸増する ブレーキ 力に対しては低速で 1 段切下げを行なうという方法により補償している。

したがって、ブレーキ 弁操作により制御空気圧力が設定されると、M 車では アクチュエータ と荷重対応制御装置から ブレーキ 電流の プログラム 制御が行なわれるのに対し、Tc 車の空気 ブレーキ は荷重と速度の変化に応じて自動的に制御されるから、列車全体としては ブレーキ 力の

大部分を受持つ M 車の プログラム 制御に支配されるとみなすことができる。

なお発電 ブレーキ 故障のときは、M 車も遅滞なく電磁直通式空気 ブレーキ に自動的に切換わること、さらには手動により自動空気 ブレーキ が使用できることは一般的 HSC-D 形式と同じである。

非常 ブレーキ については M、Tc 両車ともに各車の ブレーキ 力を最高に発揮して、最短距離に停止することを目指とした設計にしてある。

部品は性能を阻害しない範囲で極力軽量化を計り、また組立や保守点検に便利なよう ユニット・システム を用いている。さらに空気系統への異物の侵入防止と ドレン の除去を完全に行なうよう、チリこしなどの保護設備については入念な設計的配慮が払ってある。

### 5.1 基本設計

#### (1) ブレーキ 力の配分

##### a. 常用 ブレーキ

空車から満員車までの M 車と Tc 車の重量比がほぼ 6:4 であるのに対し、M 車の粘着限界に根拠をおいて両車の ブレーキ 力比を 7:3 と決めた。結果的に示せば M 車単独としての減速度 = 4.67 km/h/s

このときの M 車の粘着係数

$$\mu = \frac{1.1 \times 4.67}{35.28} = 14.55\%$$

$$\text{経験上の粘着係数 } \mu_{\max} = \frac{9}{v+42} + 0.092$$

とすれば  $v=110 \text{ km/h}$  の場合は  $\mu_{\max}=15.12\%$  となり粘着余裕は約 4% くらいということになる。

##### b. 非常 ブレーキ

Tc 車については荷重対応制御により空車から満員車まで一定の ブレーキ 率に保たれるので、単独減速度として 4.5 km/h/s を得ることができる。M 車については発電 ブレーキ が有効なときは単独減速度が 4.67 km/h/s であ

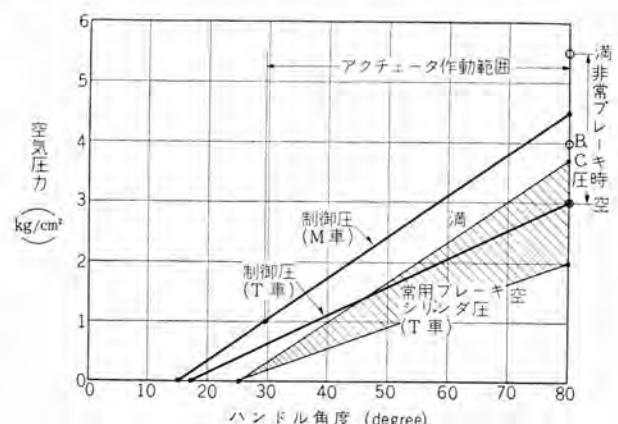


図 5.1 ブレーキ 空気圧力線図  
Fig. 5.1 Air pressure diagram of brake control.

るから、編成列車としては約 4.6 km/h/s となる。

M 車の発電ブレーキ故障のときは、M 車の空気ブレーキは荷重対応制御がないので、空車のとき 4.5 km/h/s 相当とすれば、空車と満員車の重量比がほぼ 10:6 であるから、満員車では M 車単独で 2.7 km/h/s となるので編成列車として 3.42 km/h/s 程度となる。

## (2) ブレーキ制御圧力の計画

a. 制御圧力として A を M 車用、B を Tc 車用とすれば、制御圧 A はブレーキ弁操作により得られる直通空気管圧力であって、アクチュエータを作動してブレーキ電流を制御するのに対して、制御圧 B は Tc 車の作用装置に取付けた差圧装置により直通空気管圧力（制御圧 A）を  $4.5 \text{ kg/cm}^2 : 3 \text{ kg/cm}^2$  の比すなわち約 67% に比例減圧されたもので、ブレーキ力調整装置へ送られてブレーキシリンダの作用圧力を空車・満員車間の荷重変化に対応制御されるわけである。これらの関係を数値的に示せばつきのようになる。

制御圧 A によるアクチュエータ作用範囲: 1~4.5 kg/cm<sup>2</sup>

制御圧 B の変化範囲: 0~3 kg/cm<sup>2</sup>

ブレーキ力調整装置の作用（制御圧 B=3 kg/cm<sup>2</sup> のとき）

空車時: 2 kg/cm<sup>2</sup>, 満員時 3.7 kg/cm<sup>2</sup>

（ブレーキ・シリンダ圧力）

b. 非常ブレーキの場合は、一般の HSC-D 形式と同

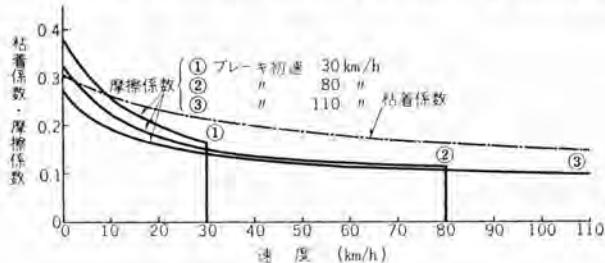


図 5.2 粘着係数と摩擦係数

Fig. 5.2 Coefficients of adhesion and friction.

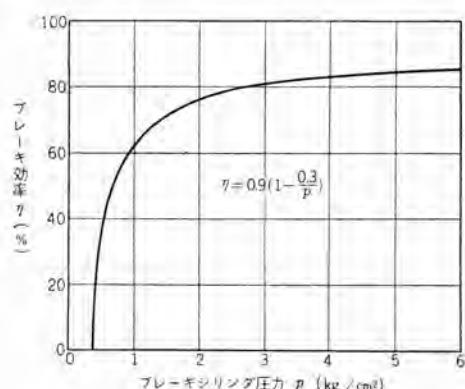


図 5.3 ブレーキシリンダ圧力に対するブレーキ効率

Fig. 5.3 Diagram showing relation between braking efficiency and air pressure in brake cylinders.

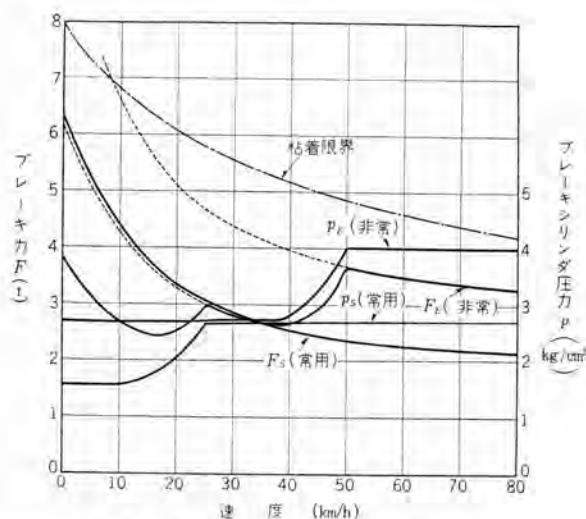


図 5.4 Tc 車のブレーキ力線図（定員時）

Fig. 5.4 Braking effort diagram of a trailer

じく自動空気ブレーキによって作用圧は M 車、Tc 車ともに  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  となるが、M 車のブレーキシリンダ圧力は発電ブレーキが常態であれば締切電磁弁により止められる。このとき M 車のブレーキ力をさらに高める余裕がある場合は、空気ブレーキ力を追加できるよう N 減圧弁が付設されている。また、発電ブレーキが故障の場合はブレーキ・シリンダ圧力は作用圧まで直ちに立上がるようになっている。

Tc 車の作用圧  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  に対するブレーキ力調整作用

空車時:  $3 \text{ kg/cm}^2$ , 満員時:  $5.5 \text{ kg/cm}^2$

（ブレーキ・シリンダ圧力）

## (3) 空気ブレーキ力

Tc 車はつねに空気ブレーキが作用し、また鉄製ブレーキ・シュウを使用することになったので、車輪・シュウ間の摩擦係数としては従来の現車試験結果を検討して図 5.2 に示す実験値を用いることとした。また、ブレーキ効率に関してはブレーキ・シリンダの戻しバネ力を必要最小限度まで下げて効率の向上を計り、図 5.3 に示す値を用いることとした。

図示のように鉄製シュウの場合、速度低下に従って摩擦係数が増大する傾向をもつが、50~25 km/h くらいまでは変化が小さくそれ以下で急上昇している。したがって上記速度付近でブレーキ・シリンダ圧力を 1 段減圧することにより高速範囲のブレーキ率を大きくとることにした。すなわち、制御器の進段に連動して常用ブレーキでは 53 ステップ以後、非常ブレーキでは 38 ステップ以後は切換電磁弁を働かして作用圧を  $2/3$  に切下げるようにしてある。また乗客の多少によるブレーキ率の変動を一定に保つためブレーキ力調整弁を備えている。一方、ブレ

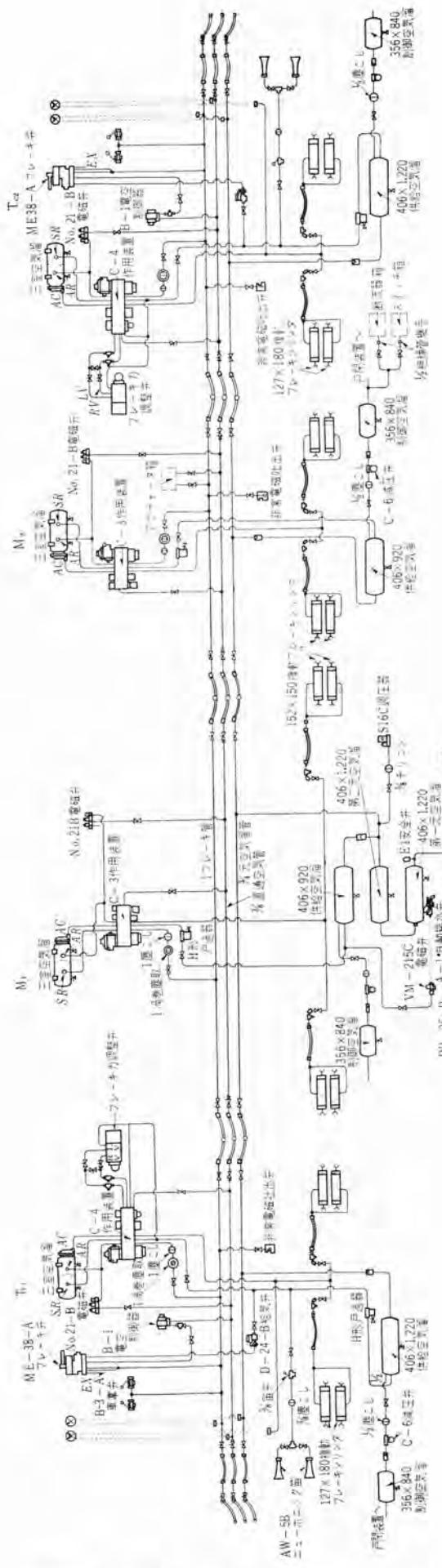


図 5.5 HSC-D<sub>3</sub> ブレーキ 装置配管 図

Fig. 5.5 Piping connection diagram of type HSC-D<sub>3</sub> brake equipment.



図 5.6 C-3 作用装置 (M 車用)

Fig. 5.6 Type C-3 operating unit for a motor car.

＊初速によって摩擦係数が多少変化するが、大きい比率を占める M 車の発電ブレーキに比べ編成列車としての減速度にはほとんど影響を与えないものとみなした。

以上の検討により Tc 車のブレーキ率は次のように定めた。

Tc 車のブレーキ率 非常ブレーキ: 133%

" 常用ブレーキ: 90%

なお M 車のブレーキ率は乗客の多少によって異なるが、定員車でブレーキ・シリンドラ圧力が 4.5 kg/cm<sup>2</sup> のとき約 99% である。

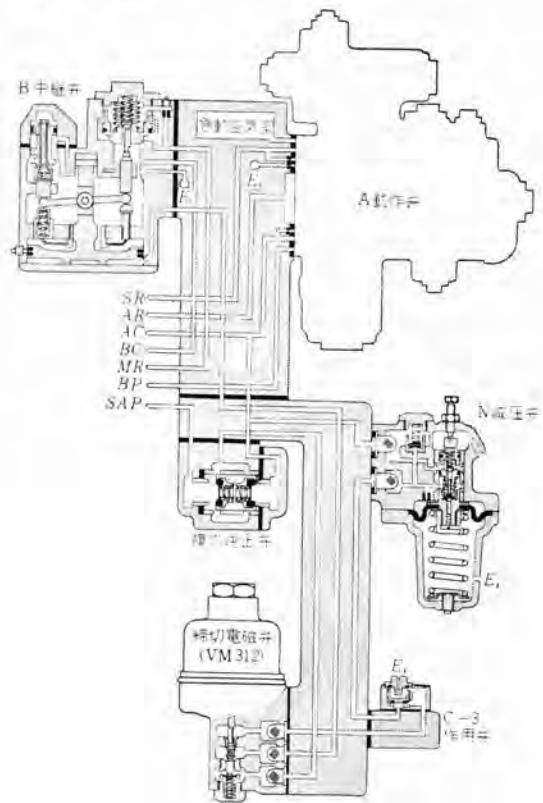


図 5.7 C-3 作用装置説明図 (M 車)

Fig. 5.7 Schematic diagram of type C-3 operating unit of a motor car.

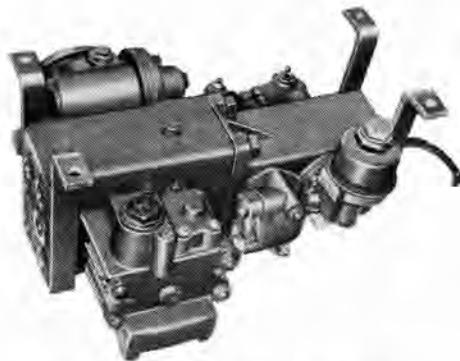


図 5.8 C-4 作用装置 (Tc 車用)

Fig. 5.8 Type C-4 operating unit for a trailer.

## 5.2 主要部品

つぎの主要部品以外は一般に電空併用 ブレーキ装置として用いられている HSC-D 形式のものと同じである<sup>(1)</sup>。

### (1) DH-25D 電動空気圧縮機

DH-25 形の弁部を板弁式として、込め効率を 80% 以上に向上させたことにより込め時間の短縮を計っている。

### (2) ME-38A ブレーキ弁

M 車用で図 5.7 に作用展開図を示すとおり、A 動作弁、B 中継弁、複式逆止弁、締切電磁弁、N 減圧弁、C-3 作用弁を管座に取まとめたユニットである。

a. A 動作弁：自動および非常空気 ブレーキ作用をつかさどるものである。

b. B 中継弁：直通または自動空気圧力をブレーキ・シリンダに中継する機能をもっている。

c. 締切電磁弁：電気ブレーキ作用中励磁され直通または自動空気圧力が中継弁へ通ずるのをシャ断し中継弁側を大気に通じさせる。

d. N 減圧弁：非常ブレーキ作用の場合電気ブレーキに追加する空気ブレーキ用圧力を調整する。

e. C-3 作用弁：発電ブレーキ中は締切電磁弁を経て中継弁の作用側を排気しているが、N

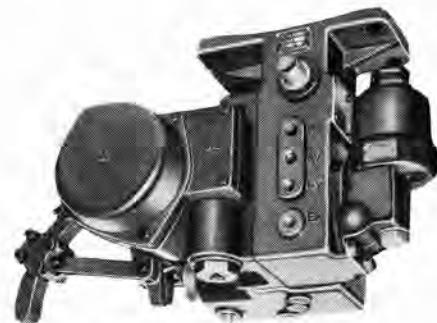


図 5.10 ブレーキ 力調整弁

Fig. 5.10 Variable load valve unit.

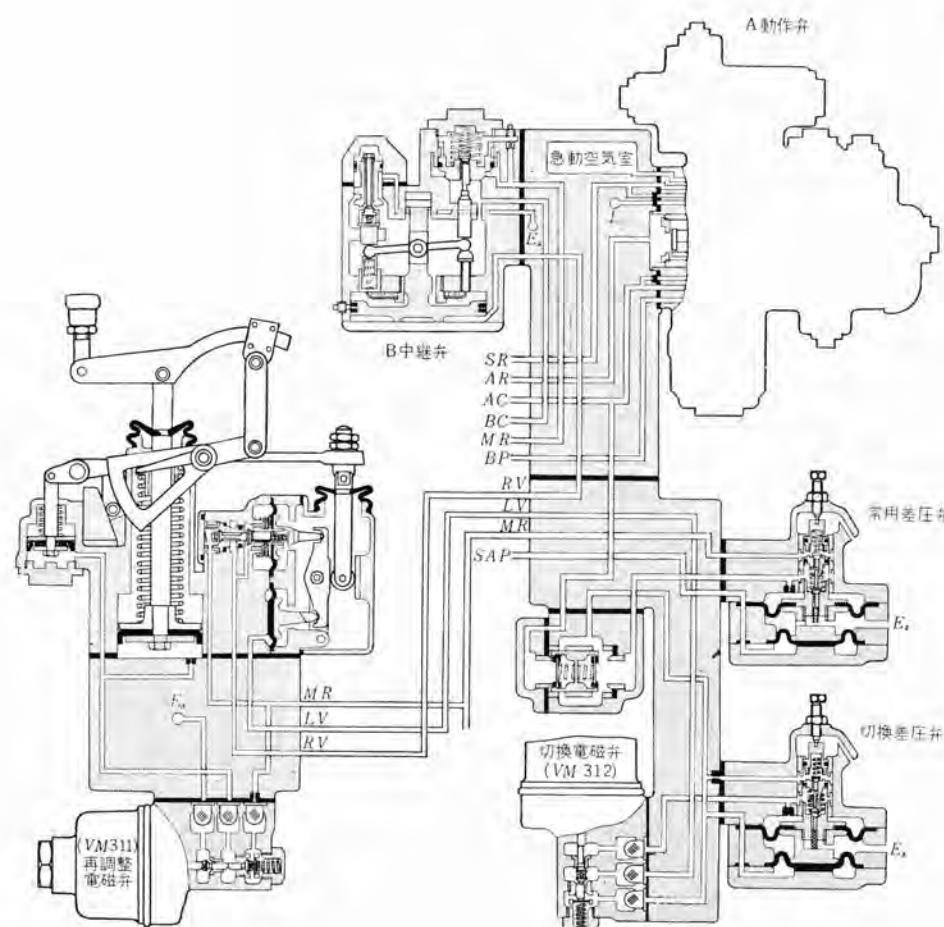


図 5.9 C-4 作用装置およびブレーキ 力調整弁説明図 (Tc 車)

Fig. 5.9 Schematic diagrams of type C-4 operating unit and variable load valve of a trailer.

減圧弁が作用圧力を送り込む場合は大気への通路を閉じてその圧力を中継弁へ通す役目をする。

#### (4) C-4 作用装置

Tc 車用で図 5.9 に示す作用展開図のとおり A 動作弁, B 中継弁, 複式逆止弁, 切換電磁弁, 常用差圧弁, 切換差圧弁を管座に取まとめたユニットである。

- a. 常用差圧弁: 直通空気管通路に設けて、直通空気圧力を約 67% の制御圧に比例減圧する。
- b. 切換差圧弁: 複式逆止弁と中継弁との間に設けられて切換電磁弁の動作により作用圧力を  $2/3$  に減圧する働きをするもので、部品としては常用差圧弁と同一で C-3 差圧弁と呼んでいる。
- c. 切換電磁弁: 制御器が既定ステップ以降となる低速側で励磁されて切換差圧弁を作用させるもので、部品としては M 車の締切電磁弁と同一である。

#### (5) ブレーキ 力調整弁

乗客の多少によって変化する台車 パネ のたわみ量によって Tc 車の ブレーキ・シリング 空気圧力を制御するとともに、可変抵抗器を備えて M 車の力行およびブレーキ用電流 パターン の自動調節を行なう。

## 6. 現車試験結果

現車試験では次のような各種の試験を行なって、車両としての電気的性能を調べると同時に、工場における等価組合せ試験結果との比較も十分行ない、設計基準値の検討なども行なった。すなわち、最高速度試験、起動試験、制動試験、空転試験、など一般に行なわれる試験は無論のこと、実際の運転にそくした試験も十分に行なって、機器の性能、乗心

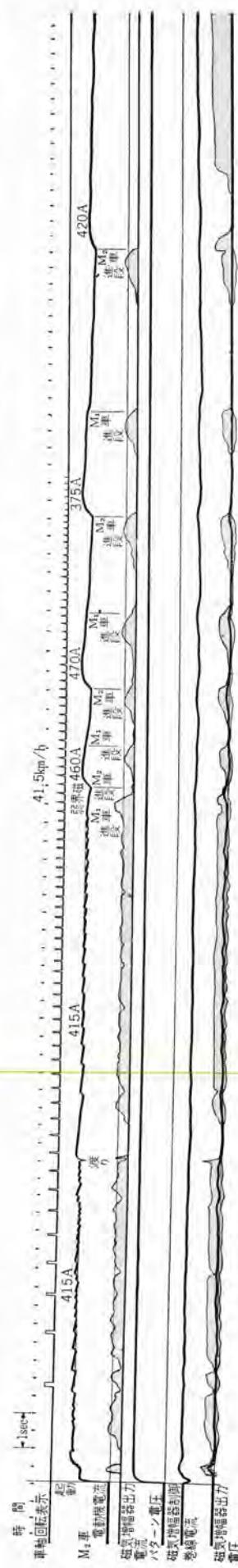


図 6.1 代表的起動 オシログラム

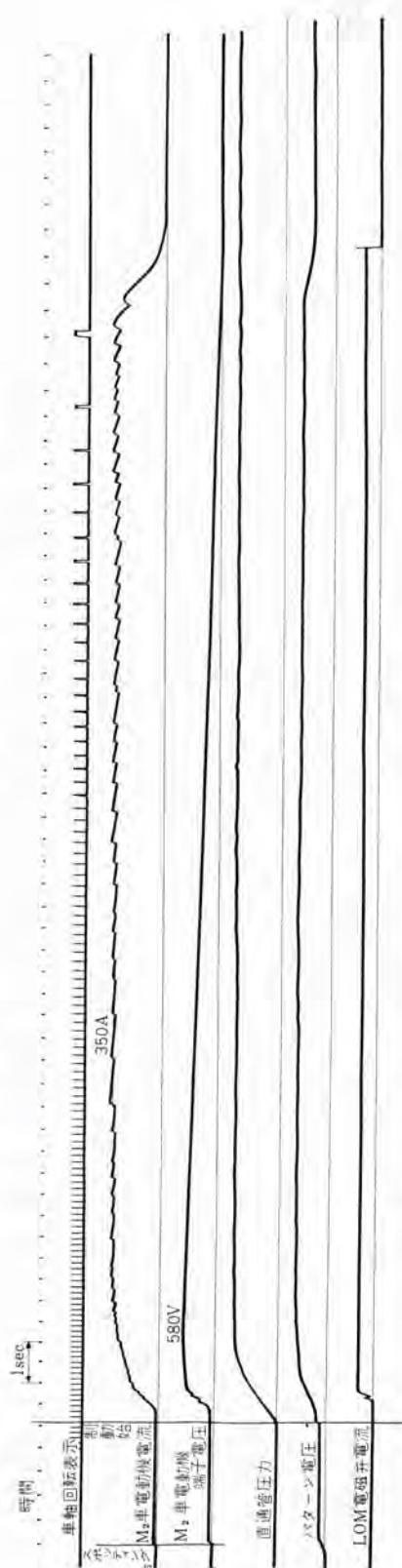


図 6.2 代表的電空併用制動 オシログラム

Fig. 6.1 Typical starting oscillogram.

Fig. 6.2 Typical braking oscillogram.

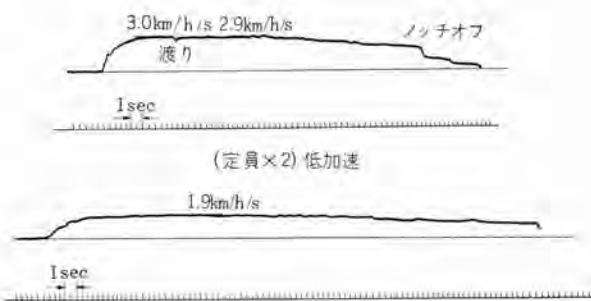


図 6.3 起動時の加速度

Fig. 6.3 Powering acceleration curve.

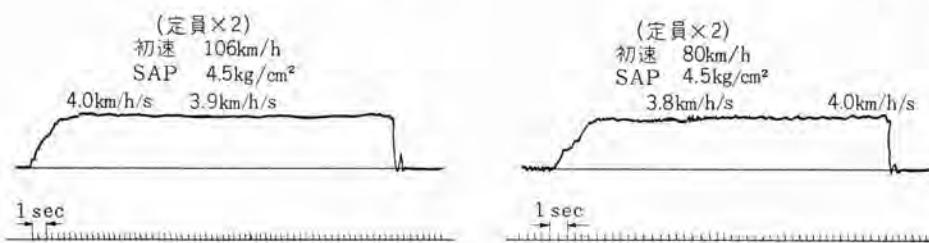


図 6.4 制動時の減速度

Fig. 6.4 Braking retardation curve.

地の問題などを検討し良好なる結果を得た。図 6.1 および図 6.2 は、加速試験と制動試験のオシログラムである。このような超多段方式の場合、一般の限流制御方法では、限流誤差が大きく、制御が困難であるが、このような連続制御方式では、有接点繼電方式のような デッドタイムがないので、制御誤差は小さいことが確認できた。起動は弱界磁起動方式によっているので、電流制御のためのパターンの立上がり時間はやや速く、界磁率を変えることによって、加速度変化が与えられる。図 6.3、6.4 は、加速度と減速度を加速度計により測定したものであるが、加速度、減速度の変化がなめらかであることがわかる。

このほか、ノッチオフ、ブレーキ ゆるめの際のショックは人体にはまったく感じられないほどスムースに行なわれる。乗心地は非常に快的である。

また M 車は力行、制動とも加速度にして約 5 km/h/s

相当の粘着をつねに必要とするが、晴雨天に関せず空転、スキッドが全試験期間を通じて、皆無であったのを見ても超多段方式が有効粘着力向上に効果があることがわかる。

空転試験はレールに油を塗り人工的に空転を誘発させて試験を行なったが、検知器の感度がよいのですみやかにステップ戻しを行なって、空転の成長を防止できることを確認した。また T 車と M 車との空制電制の相互関係も詳細に試験したが、制御も安定で、とくに M 車は停車後空制と切換わるので、停車時もスムースである。

以上のように、所期の性能を有することが確認でき、

主電動機、制御装置、制動装置、とともに HE 車としての名を恥ずかしめない結果を得ることができた。

## 7. むすび

以上述べたように、設計上および工作上多くの斬新な考えを取り入れて製作した

HE 車は経済車であるとともに、性能も従来車より格段にまさることが、試験結果より確認された。ここに至るまでは、試験車により十分のデータを得、これを参考として、経済車と性能向上の両立のために多くの苦心が払われた結果が好成績となって結晶したものである。

ここに、HE 車設計製作にあたって、多くのご指導をいただいた小田急電鉄関係者の方々、研究所電気第一研究室の方々に対して厚く感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- (1) 浜岡文夫・大野栄一： 加速度および減速度制御装置、「三菱電機」33, No. 7, p. 68 (昭 34).
- (2) 宮内圭次： 近鉄〔南大阪線〕納電車制御装置、「三菱電機」31, No. 12, p. 57 (昭 32).
- (3) 管田恵之助： 電車用電空併用 ブレーキ の発達、「三菱電機」33, No. 2, p. 18 (昭 34).

# 電車用自動列車ブレーキ装置

伊丹製作所 管 恵 之 助\*  
無線機製作所 竜 田 直 紀\*\*

## Safety Brake Devices for Automatic Train Control of Electric Cars

Itami Works Keinosuke SUGATA  
Electronics Works Naonori TATSUTA

High efficiency of passenger transport is now in demand for suburban and underground electric cars in the environment of large cities. This has brought the necessity of modernized automatic train brake control as a safety device. Recent development for this purpose is made on the following principle. A modulated signal input is continuously received by inductive effect from a kilo-cycle track circuit interlocked with signalling on the ground, and at the same time, speed information from an electronic speed checking device. These two are put under ON-OFF control by the use of a logical circuit operating on cypaks, and two systems of normal brake and emergency brake are automatically controlled. Road test on this new device was conducted in October, 1959 on Marunouchi line of Tokyo Subway with success, resulting in an extensive use for No. 2 line of the enterprise.

### 1. まえがき

大都市周辺の郊外電車や地下鉄における乗客輸送の増強については、今まで種々の対策が行なわれてきたが、ますます増加する乗客量に対してさらに進歩した列車運行方式の出現が要望されるようになった。

一般に輸送能率を向上させるためには、長大編成列車として1列車当たりの乗客量を増やすこと、列車の運転性能を改善して単位時間当たりの運行列車数をふやすことが考えられる。前者については駅のプラットホームの長さや変電所の給電容量から最大編成両数の制限を受けるので、後者の列車回数の増発すなわち列車間隔の短縮について追求してみる必要がある。

さて、最近の新製電車はほとんど限度に近いと思われるほど高性能化されている。一方貴重な人命を預かる乗客輸送においては100%の安全保証が第一条件となるのは当然であるが、先行列車との追突ならびにその他の事故を絶対に防止するとともに列車間隔を最小に保持できる自動保安制御はどのような形式にすればよいであろうか。

#### (1) 国内外の発達経過

まず国内で用いられてきたものに、地下鉄用として地上の信号現示装置と連動するトレシ・ストップと車上の突き当たりコックとの組合せによる打ち子式自動列車停止装置があり、一般的なものとして運転士が主幹制御器から手をはなせば非常ブレーキが作用するデッドマンス装置がある。進歩的なやり方としてはアメリカ式ではあるが、信号現示と連動して変化するコード電流を軌道回路、すなわちレールに流しこれを車上受電器で拾い上げて受信增幅

を行ない、運転席への警報および保安非常ブレーキを作用させるようにした連続コード誘導式自動列車停止装置があり、昭和20年前後に国鉄で試みられ、当社もその車上装置について協力した経験をもっている。

一方諸外国においては古くから研究されたので種々の方式が実用化されているが、技術的にも旧式な点もありそのままわれわれの電車運転に適用するのは考えものである。たとえば上述のコード式はアメリカで1920年ころから研究されて現用のほとんどがこれになっており、フランスでは1914年ころから行なわれてきたとはいへレール間の傾斜接点に車上の接触子が触れると警報が鳴り速度レコーダにマークが記されるだけである。ドイツ国鉄で1939年より実施されている地上子式断続共振形自動列車停止装置は速度照査が併用されている点で注目される。スイスのFederal鉄道の方式もドイツ式と同様で全電化区間に用いられている。ソ連においても1946年にはすでに実用化された自動停止装置を備え速度照査をも追設したと報ぜられている<sup>(1)</sup>。

#### (2) 最近の進歩的方式

その後国内では戦後国鉄・私鉄を通じて相ついで起った追突などの運転保安上の事故に対して、まず国鉄で車内警報設置基準が昭和32年に定められ電車用としては自動保安制御へ移行しやすいものとしてB形が用いられることとなった。その後中央線においてこのB形を利用し速度照査をも併用した自動列車停止装置の試作試験や、異なるブレーキ性能をもつ列車が混合運転される区間にに対する列車選別自動列車停止装置の実施がなされた。

国鉄以外では昭和34年2月に、京浜急行電鉄で現車

\* 技術部 \*\* 電子機器技術部

公開試験がなされた連続速度照査式 B 形列車停止装置があり、東京地下鉄 1 号路線の相互乗り入れ列車用として開発されたとのことである。

ところで当社は帝都高速度交通営団のご指導の下に、まったく独自の見地から研究を重ねて キロサイクル 軌道回路による連続誘導式自動列車ブレーキ装置を試作し、現車性能調査試験後昭和 35 年 1 月に公開試験を行なった結果、好評を納め東京地下鉄 2 号路線用として正式採用されることになった。この試作装置の地上信号現示を含む軌道回路関係部は信号 メーカーで担当されたが、速度照査を含む車上関係装置は当社で新しく開発したものであり、ここに進歩した自動保安制御の一例として紹介する。

## 2. 方式の検討

### (1) 現行信号方式の利用

前方列車位置の通報信号として、また駅での停車・出発および入換指示信号として用いられてきた色別表示地上信号機は鉄道車両に対して運転保安上大切な役割を果してきた。この信号保安方式の軌道回路を自動保安制御に利用する場合、最小列車間隔を距離的に制約するものは信号区間長であり、その最小長さは列車進入速度とブレーキ性能とによって決められる。ところで警戒信号・注意信号などに対応する保安動作を設定する場合に、先行列車に近づくに従って漸低される速度制限を行ない、最後的な保安作用として強制停止用非常ブレーキを行なう方式とすれば、その区間長は最新の電車の最大限に近いブレーキ性能と照合して現行よりはるかに短縮されるものと考えられる。

### (2) 軌道回路と受信方式

キロサイクル 軌道回路方式については国鉄の交流電化とともに高度の研究調査を経てすでに実用化されており、またその利用についても種々の研究試作が行なわれている<sup>(2)</sup>。多種類の信号入力に変化させて制御指令とする場合、この方式が好適で検別も確実に行なうことができる。無入力のときに保安ブレーキを作用させるよう連続入力方式とし、車上へは レール に近づけて台車に装備した受電器により誘導的に取入れ、受信装置によって検別増幅する方法をとればよい。

### (3) 速度照査方式

速度計装置の場合と異なり連続的に得られる検出入力を、指定された幾つかの限界速度において ON・OFF 情報に変形する照査装置が入用である。この照査方式は正確において周波数基準式が原理的にすぐれており、また速度の高低によって出力 レベル が変動しないことが望ましいわけである。

### (4) ブレーキ系統とその制御

速度制限のための減速作用と強制停車用非常ブレーキ作用のために 2 系統の ブレーキ とその制御系が必要である。したがって ブレーキ 制御 リレー は 2 個設けて力行回路のシャーナンと常用または非常用 ブレーキ 電磁弁の制御を行なうことになる。ただしこの両ブレーキ系統は運転士の ブレーキ 并操作によっても制御されるから、この保安装置の付設によってその機能が妨げられてはならない。

### (5) 情報入力の継電方式

車上受信装置からの信号区別入力（以下信号入力と略す）と速度照査装置からの速度照査入力（以下速度入力と略す）とを組み合わせ継電する手段としては、従来の可動接点式 リレー を使用したのでは耐久信頼度や継電速度などの点で不利である。最近発達してきた無接点論理継電方式を採用することにより上述の欠点が改善され<sup>(3)(4)</sup>、さらに途中の継電は低電圧小電流で行なわれて最終段にだけ ブレーキ 制御 リレー 用増幅器を設ければよいから装置の所要電力も小さくてすむことになる。なお万一の故障による情報入力の消失や継電不能の場合は、保安側作用するわち ブレーキ 作用が行なわれるよう構成しておくことが肝要である。

## 3. 仕様と構成

### 3.1 提示された仕様

#### (1) 列車保安制御動作

図 3.1 に示すとおり 6 種の信号区間に種別され、45・15 km/h を制限速度として減速と非常の両 ブレーキ 系が使い分けされている。1T・2T へ進入するための確認操作として 8 km/h 照査を加え、また軌道回路不設備区間では確認操作とキーイッチにより無拘束運転ができるように考えられている。

#### (2) 装置要領

- 地上信号機の現示方式および設備は全区間重複制御 3 位色灯式とする
- 地上信号機および自動列車 ブレーキ 装置は キロサイクル 軌道回路により制御されること、軌道回路の搬送波の周波数は区間長さ 360m 以下に最適なものとし、800m まで動作完全なものとすること
- 軌道回路は隣接軌道回路からの誘導作用により誤動作するおそれがあること、変調方式は迷流および妨害電圧の影響がもっとも少ないものであること
- 送信および受信装置には ワンジスタ を使用し真空管を使用しないこと
- 自動列車 ブレーキ 装置の車上設備にはできる限り無

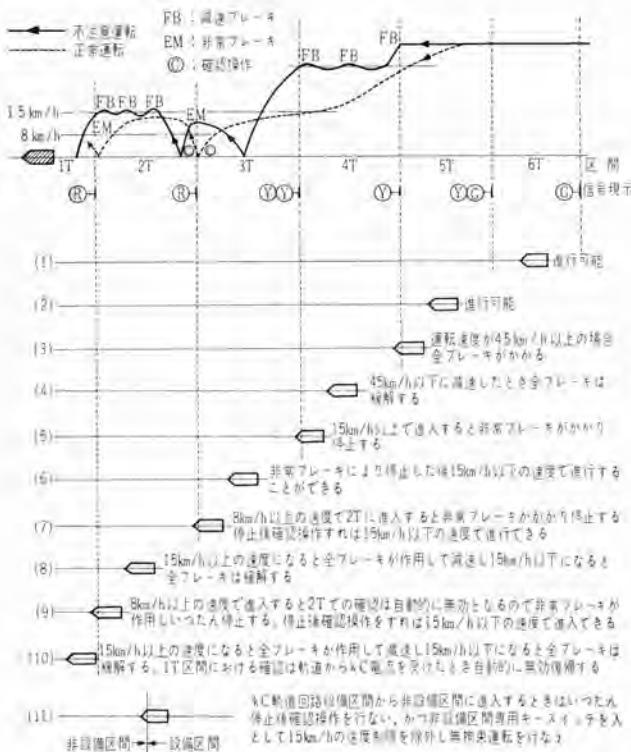


図 3.1 列車保安制御仕様

Fig. 3.1 Specifications required for the automatic train control.

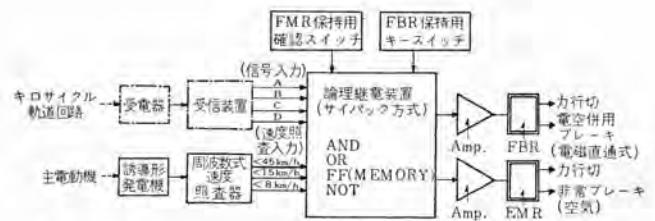


図 3.2 車上装置系統

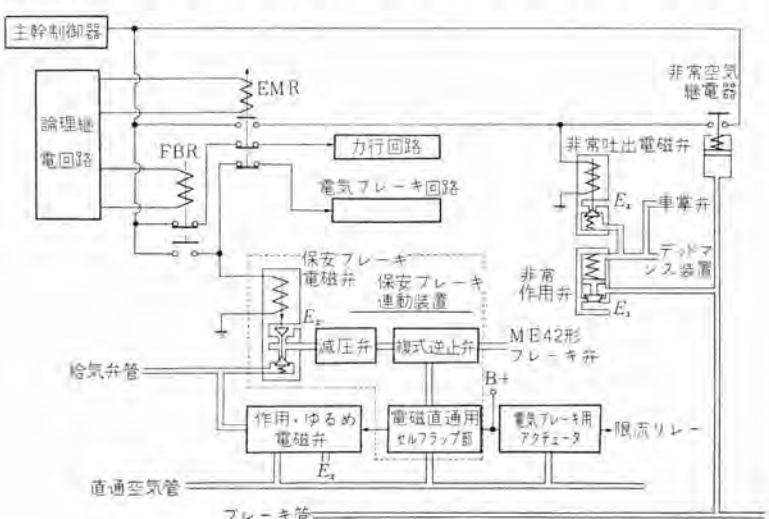
Fig. 3.2 System diagram of the automatic train control.

### 3.2 制御継電系統

上述の仕様に基づく車上の制御継電系統の構成は図 3.2 に示すとおりで、6~2T の信号入力を A~D とし各区間にに対する速度制御仕様をまとめて示している。

### 3.3 ブレーキ系統

この電車のブレーキ装置は SMEE 形式であるので、減速ブレーキ制御のために ME42 ブレーキ弁からセルフラップ



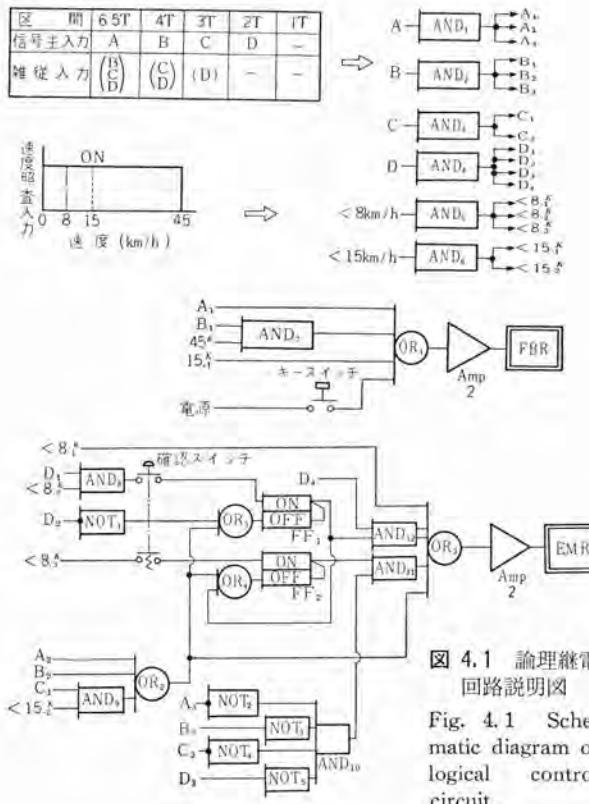


図 4.1 論理継電回路説明図  
Fig. 4.1 Schematic diagram of logical control circuit.

力前段増幅器の AND<sub>1</sub>～AND<sub>8</sub> により数個の並列入力に増幅されることを示している。信号雜従入力は A～C 主入力に対する下位入力が雜音としてはいる可能性を考慮して回路の設計条件としたことを示すものである。

#### (1) 減速リレー (FBR) 系

4T では 45 km/h 以上で AND<sub>7</sub> が OFF となり、2T と 1T では 15 km/h 以上で <15.1 K が OFF となるから FBR は落下して電空併用ブレーキ作用を行なうが、列車がこれらの速度以下に減速されると ON 状態となって FBR を引き上げ復帰させるからブレーキはゆるめられる。非設備区間に对しては キースイッチを入れることにより FBR は電源より引き上げ保持される。

#### (2) 非常ブレーキリレー (EMR) 系

3T で 15 km/h を越えると OR<sub>2</sub> が OFF となって EMR は落下する。2T へ進入するときは 8 km/h 以下で進入停止後運転士は席を立ってバネ復帰の確認スイッチを操作すれば、AND<sub>8</sub> の ON 出力は FF<sub>1</sub> にはいりこれを ON 状態に保つから AND<sub>12</sub> は ON となり 2T 区間では EMR は落下しない。この FF<sub>1</sub> は 1T への 8 km/h 以上の進入または 6～3T において NOT<sub>1</sub> または OR<sub>2</sub> の出力が生じて OR<sub>5</sub> が ON となることにより OFF 状態にリセットされる。したがって 1T または非設備区間へは 2T 進入時と同様に確認操作を行ない FF<sub>2</sub> を ON 状態に保持させ AND<sub>11</sub> を通じて EMR の引き上げを保つようにしてある。FF<sub>2</sub> のリセットは 6～3T の信号入力

A～C による OR<sub>2</sub> 出力または 2T での FF<sub>1</sub> 出力からの OR<sub>4</sub> 出力によって行なわれる。

なお EMR の落下保持と再引き上げを回路上設けてないのは SMEE 形式ではブレーキ管の込め作用は全ブレーキ位置へブレーキハンドルを移さないとできないようになっているからである。

#### 4.2 装置組立品

半サイクル応答の磁気増幅器式無接点リレー「サイパック」<sup>(1)</sup> 22 個を主体としたもので最終段も磁気増幅器を用いることにより堅ろうな装置となっている。ブレーキ制御リレーはレールの区間絶縁やスイッチングサージを考慮したので 2 個とも 0.8 秒の限時リレーになっている。

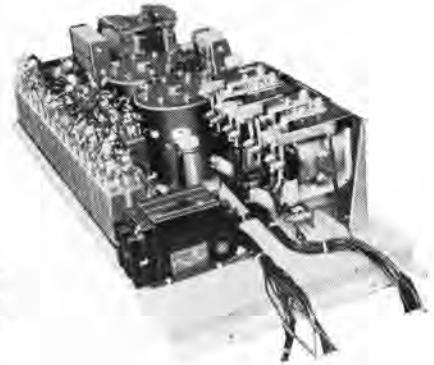


図 4.2 論理継電装置  
Fig. 4.2 Safety brake control apparatus by the use of "Cypak".

#### 5. 速度照査装置

##### 5.1 誘導子形発電機

保守点検を不要とし信頼度を高めるという点から小形回転機の付設をさせて、主電動機の回転をそのまま利用する方法をとった。図 5.1 は誘導子リング付 WN カップリングに対応して誘導ピックアップを速度計用とならべて電動機ワクに取付けた状態を示すもので、リングとの取付けすぎまは 7 mm にしてある。

##### 5.2 速度照査器

###### (1) 原理

この WN カップリング部に設けられた速度発電機は走行

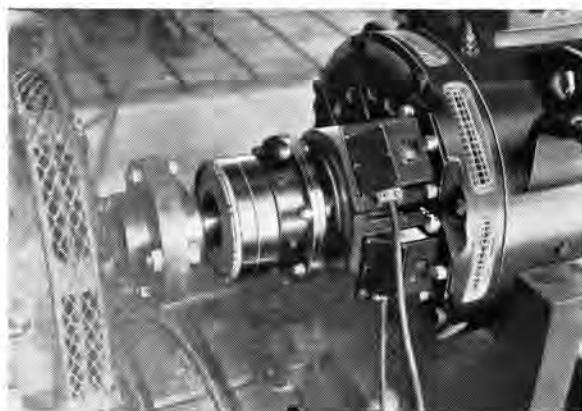


図 5.1 誘導子形発電機  
Fig. 5.1 Inductor type speed generator.

中の振動により、固定子と回転子のすきまが変化するので、その出力電圧はつねに速度に比例した直線性を期待するわけにはいかない。したがって正確で信頼がおける速度検出を行なうために発電機出力電圧を検出対象とせず、その周波数を検出対象とする方式を採用している。この照査器の周波数検出方法の原理は図 5.2 に示すように、位相検波回路と、検出周波数付近で位相の変化が激しい移相器とを組合せて周波数を直流に変換するものである。発電機出力は検出回路入力端子に加えられ、変成器により 2 成分に分割される。1 成分は上述の移相器を経て検波器に加えられる。

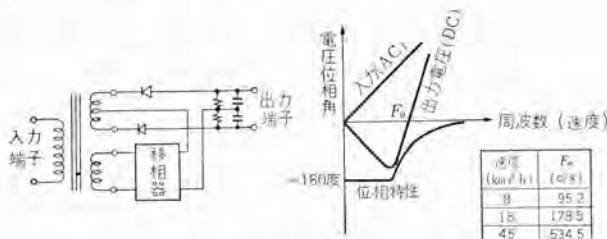


図 5.2 周波数検出回路と特性

Fig. 5.2 Frequency detector circuit and its characteristics.

いま両成分を  $e_1, e_2$  としてこれを式 (5.1) で表わせば、検出回路の出力はつぎのようにして求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{すなわち} \quad & e_1 = E_1 \sin \omega t \\ & e_2 = E_2 \sin(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad \left. \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

出力電圧  $E_0$  は

$$\begin{aligned} E_0 &= e_1 e_2 = E_1 E_2 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \theta) \\ &= \frac{1}{2} E_1 E_2 \{ \cos \theta - \cos(2\omega t + \theta) \} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

式 (5.2) の右辺カッコ内の第 1 項は直流分を表わし、第 2 項は入力周波数のちょうど 2 倍の周波数の電圧を表わすものである。したがってこの電圧を図 5.2 の CR 形の済波器を通せば交流分は除去されて、済波器出力は

$$E_0 = \frac{1}{2} E_1 E_2 \cos \theta \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

となる。すなわち位相検波器の出力電圧  $E_0$  は二つの入力電圧振幅と位相角差の余弦の積に比例する。式 (5.1) ~ 式 (5.3) で用いた入力電圧  $E_1, E_2$  は主電動機回転数 (電車速度) すなわち周波数に比例して変化し、位相角差  $\theta$  も検出周波数付近で -180 度から 0 度まで急激に変化する。したがって検出回路の出力電圧は検出周波数付近で負から正に急激に変化する。この検出回路出力はスイッチング回路に与えられて、検出周波数の上下でスイッチング回路を ON, OFF する。

いま スイッチング動作が、検出部出力電圧の正となった瞬間に起るよう設定されれば、速度発電機出力電圧に変動があっても、スイッチング動作は検出周波数  $F_0$  で起り電圧変動による影響を受けない。

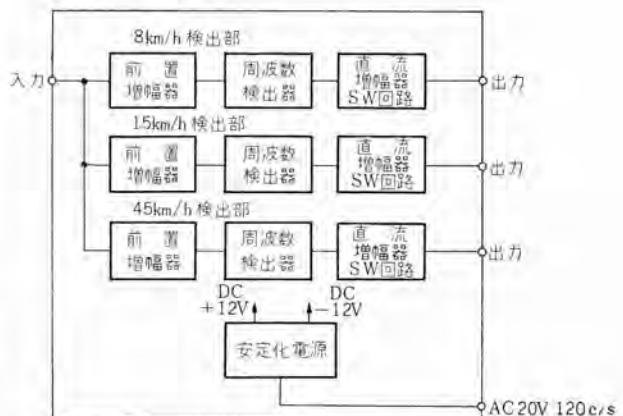


図 5.3 速度照査器系統図

Fig. 5.3 Block diagram of speed checker.

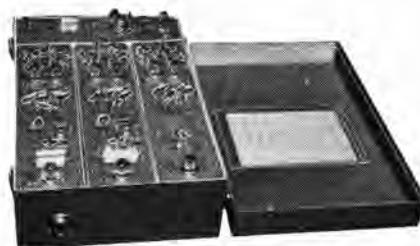


図 5.4 速度照査器

Fig. 5.4 Speed checker.

## (2) 組立品

今回製作した速度照査器は図 5.3 に示すように、8, 15, 45 km/h の三つの速度検出部と電源部より構成されていて、その外形寸法は縦 305 mm, 横 407 mm, 高さ 160 mm である。この照査器は車上に設置される関係上、振動に対して安定であり小形でなければならない。また回路素子も長時間の連続運転に対し安定かつ長い寿命のものでなければならない。この要求にそなため回路は全トランジスタ化されている。またコンデンサもほとんどがタンタルコンデンサを使用している。この照査器に使用しているトランジスタ、ダイオードの種類および数量はつぎのとおりである。

トランジスタ	2SB135 (PNP)	33 個
"	2SB136 (PNP)	8 個
"	2SB137 (PNP)	2 個
"	2T64 (NPN)	3 個
ゲルマニウムダイオード	1N34	12 個
定電圧 ダイオード	RD5	2 個

各速度検出部は前置増幅器、周波数検出器および直流増幅器より構成される。前置増幅器では発電機出力を検出器 (位相検波器) が能率よく働くのに適した電力に増幅するとともに、列車速度が上昇して速度発電機出力が増大した場合にも過電圧がトランジスタ増幅器にはいることがないよう考慮してある。検出器において信号は周波数に応じた直流電圧に変換され、その出力は直流増幅器に加えられる。直流増幅器は差動増幅器とフリップフロップ

を組合せたもので検出周波数においてスイッチングが瞬時に行なわれるようドリフト、ヒステリシスについてとくに考慮してある。このフリップフロップの出力によって終段のスイッチングトランジスタを動作させている。

### (3) サイパックとの接続

速度照査器のスイッチング動作によってサイパックを制御する場合、図5.5に示すようにスイッチングトランジスタとサイパックとを接続するには二つの方法がある。今回のセットでは同図(a)に示す方法を採用したが、今後は同図(b)に示す方法を用いる方針である。前者では、スイッチングトランジスタがOFFとなった場合、速度照査器の出力端子には正の直流電圧が現われる。この電圧はサイパックのリセット回路に印加されると同回路の整流器CR2は非導通となり、サイパックはリセットの機能を失う。このときサイパック出力回路には出力電圧が現われる。一方スイッチングトランジスタがONとなったときは速度照査器の出力はスイッチングトランジスタで短絡され、サイパックリセット回路の整流器CR2は導通となって、リセットが行なわれサイパックの出力側の電圧は消失する。この図の(b)に示す方法ではスイッチングトランジスタが直接サイパックリセット回路の開閉を行なう。すなわちトランジスタがOFFの場合はリセットが阻止されてサイパックの出力端子に電圧が現われ、トランジスタがONの場合はリセットが行なわれてサイパックの出力端子には電圧が現われない。サイパックの制御方法としては後者のほうが回路素子の数が少なく、回路が簡単な上にスイッチングトランジスタに流れる電流が少ないからトランジスタの容量も小さくて済み前者に比べてすぐれている。

### (4) 実用上の補償

a. さきに述べた動作原理ではスイッチングの動作点を検出器の出力電圧が横軸を切る点としたが、実際には列車の停止時(発電機出力が0の場合)のスイッチング回路の誤動作を考慮して、わずかだけ正の電圧に進んだときスイッチング動作が起るよう設定してある。このため入力電圧の変動による影響がわずかばかり現われるはずであるが、

列車走行中の速度発電機の出力電圧変動は検出速度において10%以下であるのと、位相検波回路の特性が急峻であるため、実際にはほとんど検出誤差を測定することができない。

b. 電源部はトランジスタと定電圧ダイオードを用いた正、負の電圧を発生する定電圧電源となっていて、列車走行中における他機器の動作によって電源電圧が±20%程度変化しても、検出精度に影響がないよう十分の安定性を有している。

c. この照査器のように車上機器にトランジスタを採用する場合、冬季および夏季の使用を考慮すると-10°C～+40°C程度の温度範囲に耐えることが必要である。

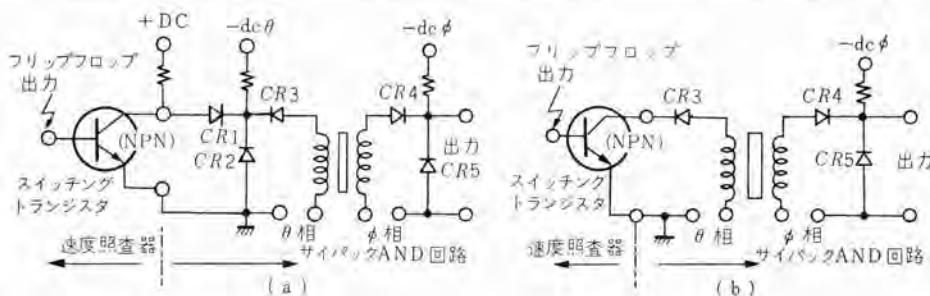


図 5.5 スイッチングトランジスタとサイパックとの接続

Fig. 5.5 Connection of switching transistor with Cypack element.

ト電圧より高く選んであるから速度照査器の出力がリセット回路に印加されると同回路の整流器CR2は非導通となり、サイパックはリセットの機能を失う。このときサイパック出力回路には出力電圧が現われる。一方スイッチングトランジスタがONとなったときは速度照査器の出力はスイッチングトランジスタで短絡され、サイパックリセット回路の整流器CR2は導通となって、リセットが行なわれサイパックの出力側の電圧は消失する。この図の(b)に示す方法ではスイッチングトランジスタが直接サイパックリセット回路の開閉を行なう。すなわちトランジスタがOFFの場合はリセットが阻止されてサイパックの出力端子に電圧が現われ、トランジスタがONの場合はリセットが行なわれてサイパックの出力端子には電圧が現われない。サイパックの制御方法としては後者のほうが回路素子の数が少なく、回路が簡単な上にスイッチングトランジスタに流れる電流が少ないからトランジスタの容量も小さくて済み前者に比べてすぐれている。

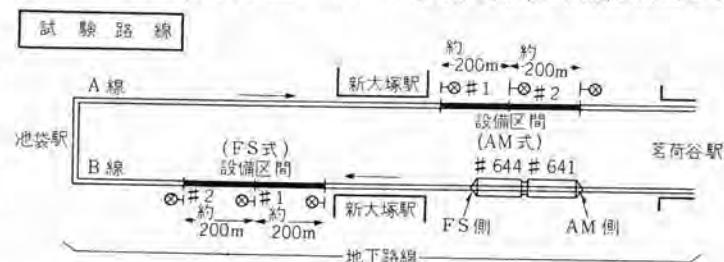
すなわち本器においては温度変化に対する影響を考慮して前置増幅器における大容量のコンデンサはとくに低温度特性を考慮して固体タンタル・コンデンサを使用し、さらに適当な負帰還を施して利得の安定化を計っている。

d. 直流増幅器は前述のように差動増幅器とフリップフロップとを組合せて構成しドリフトを押えている。

## 6. 現車試験

### 6.1 実施要領

軌道回路の変調方式としてFS(Frequency Shift)式とAM(Amplitude Modulate)式の両方が供試されたので



キロサイクル	軌道回路の周波数
FS式	搬送波 $f_1$ { 2,700±450 c/s, 3,300±450 c/s 信号波 $f_2$ 10, 15, 25, 35 c/s
AM式	搬送波 $f_1$ { 1,100 c/s, 1,300 c/s 信号波 $f_2$ 10, 15, 25, 35 c/s

図 6.1 試験用地上設備

Fig. 6.1 Track condition for road test.



図 6.2 受電器を装備した試験車  
Fig. 6.2 Test cars with receivers.

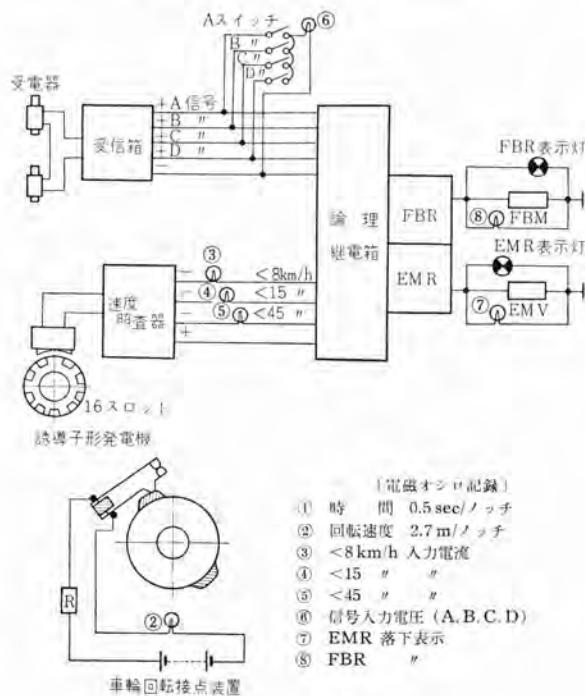


図 6.3 記録箇所

Fig. 6.3 Recording points by oscilloscopes.

各器具は2両連結列車の両端運転室側に設置された。試験区間は宮園丸の内線新大塚駅に接して上下両路線にそれぞれ2区間ずつ設けられ、昭和34年10月6日から9日まで終電後の深夜に行なわれた。測定記録箇所は図6.3のとおりで信号入力はA～Dスイッチにより切り換えて記録するようにした。空気ブレーキについてはブレーキシリンダと直通管の空気圧をレコードすることとした。試験プログラムは図6.4のとおりで試験区間への進入速度は新設の速度計を基にして加減し、太線で示す範囲をレコードした。

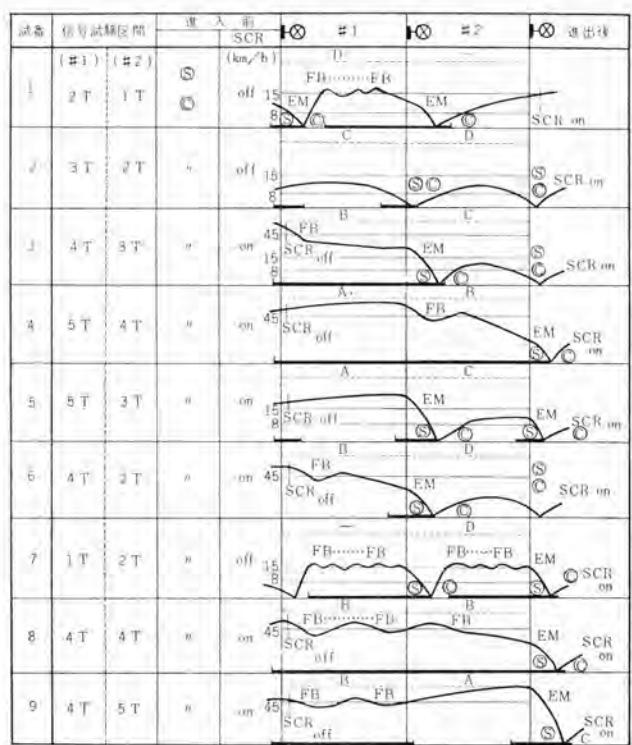
## 6.2 試験成績

### (1) 信号入力と速度入力

サイバウク入力端子でのミリアンメータによる測定値は約5mAという指定値に対し、A～D信号入力はFS式の場合9～6mA、AM式において4.9～6.5mAであり、1Tでは設計どおり入力は皆無であった。また速度入力は8、15、45km/h以下を2組について計ったが4.8～6.2mAの範囲であった。

### (2) 記録例

電車用自動列車ブレーキ装置・菅田・竜田



◎: 停止, ②: 確認操作, SCR: キースイッチ入, FB: 減速ブレーキ, EM: 非常ブレーキ

図 6.4 試験プログラム  
Fig. 6.4 Road test program.

a. 試番1は2Tまたは1T～8km/h以上で進入すれば非常ブレーキにより停車され、確認後力行を続けると15km/hの速度制限ブレーキが繰り返し作用することを実証したものである。

b. 試番3は4T～67km/hで進入し減速ブレーキを受けるが、45.4km/hでFBRが引き上げられた後、3Tへは45.3km/hで進入したため非常ブレーキが作用して90.5mで停止したことを示すものである。

c. 図6.6は1Tにて停止確認後力行持続のため15km/h制限ブレーキを繰り返しているとき、先行車の進出により2Tに信号変化がなされると非常ブレーキが作用することを2T進入により代行したものである。FBRの落下により直通管空気圧が立上がりブレーキシリンダが込められるが、低速度であるためおくれて立ち上がったブレーキ電流によって途中で排気されかけたとき、早くもFBRが引き上げられ直通管と同圧となって排気されるという現象が繰り返され、2Tへ変わるとEMRが落下しブレーキシリンダは直ちに込められることを示している。

d. 試番8においては4T～52.5km/hで進入後、先行車の進出で2区間連続B信号入力となる場合で、減速ブレーキを3回受けた後約37km/hで次区間に進入したときに信号入力が消滅するので非常ブレーキにより37.3km/hから56.5mで停止している。この場合のブレーキ電流は直ちに立ち上がりブレーキシリンダは初込めを行なった後おくれ込めが行なわれているが、2,3回目は

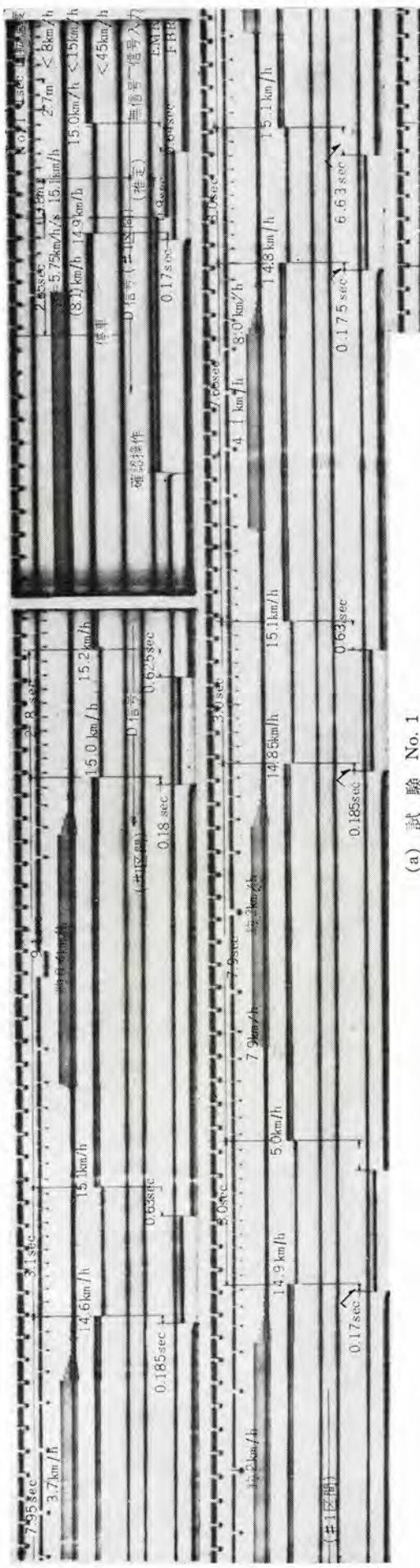
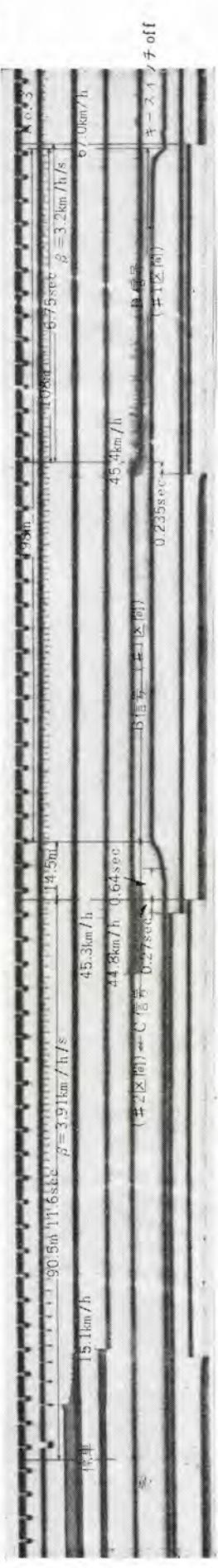


図 6.5 オシロ 記録 (試験 No. 1, 3)

(b) 試驗 No. 3



直通管空気圧が十分上昇しないうちに FBR が引き上がるためおくれ込め作用はほとんどみられない。

### (3) 速度照查精度

- a. 45 km/h 照査入力の ON・OFF 動作点は増速時 45.1~45.6 km/h、減速時は 45.1 ~45.5 km/h であってその幅は約 0.5 km/h であった。

b.  $15 \text{ km/h}$  については増速時で  $14.8 \sim 15.8 \text{ km/h}$ , 減速時が  $14.6 \sim 15.6 \text{ km/h}$  であって, ほぼ  $\pm 0.5 \text{ km/h}$  の範囲とみなすことができる.

c. 8 km/h については車輪回転接点のオシロ記録では算出が困難であるが、速度計の読みでは  $8 \pm 0.5$  km/h と推定された。

#### (4) ブレーキ効果

- a. 減速ブレーキは電空併用方式が正常に作用しており、 $45\text{ km/h}$  制限区間に約  $60\text{ km/h}$  で進入した場合  $100\text{ m}$  以下で  $45\text{ km/h}$  に減速される。なお力行持続のとき繰り返される減速ブレーキの例にみられる空気圧の排気おくれによる過減速は、 $15\text{ km/h}$  制限に対し  $10\sim 5\text{ km/h}$  程度で、 $45\text{ km/h}$  制限に対しては約  $40\text{ km/h}$  になるが、安全側作用であることと繰り返し回数が少なくなることにより

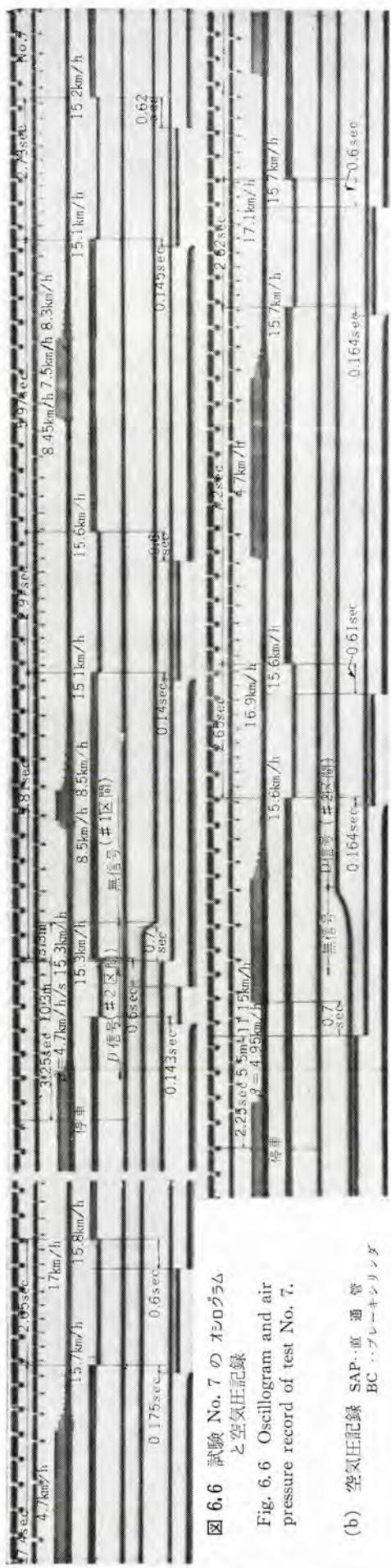


図 6.6 試験 No. 7 の オシログラム  
と空気圧記録  
Fig. 6.6 Oscillogram and air pressure record of test No. 7.

制御器のハンチングを生じないという点でもしろ利点とみなされる。

b. 非常ブレーキは図 6.8 に計画予定線と合わせて示すように高性能であって、作用区間に 45 km/h で突入したとしても 100 m 以下で停止することが実証された。

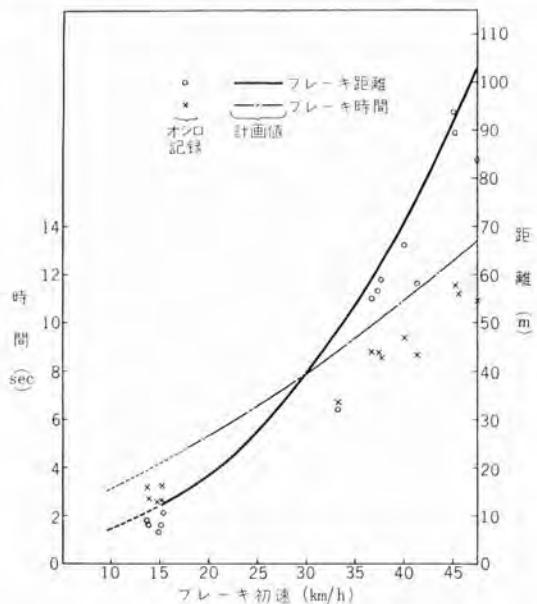


図 6.8 保安非常ブレーキ成績  
Fig. 6.8 Test results of safety emergency braking.

### (5) 検討

この装置の機能としては、信号入力や速度入力などに対応する保安制御作用が指示された動作仕様どおりに行なわれることならびに故障時には安全側作用が得られる

ことを一連の試験プログラムの完遂により証明し、また測定記録によって速度照査精度は期待どおり十分に正確であり、ブレーキ効果も予想以上の性能を備えていることを数値的に確認したわけである。

これらの結果からすれば、

信号区間としての最小長さすなわち列車間隔は 100 m に列車長を加えた長さまで短縮できるわけであるから、たとえば 6両編成で 120 m 長の列車の場合は信号区間を 220 m まで短くしてもよいということができる。

### 7. むすび

主として大都市周辺の郊外電車や地下鉄における乗客輸送の高能率化のために必要となってきた自動保安制御装置について検討を加えた上で、例としてもっとも近代化された自動列車ブレーキ装置の

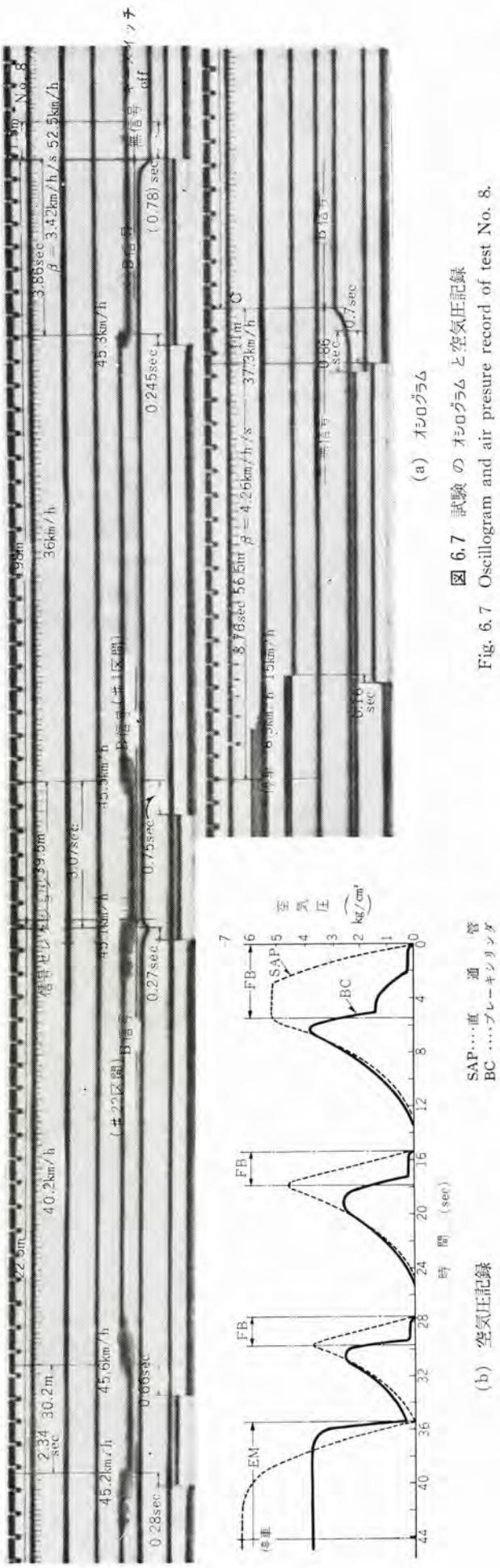


図 6.7 試験 の オシログラム と 空気圧記録  
Fig. 6.7 Oscillogram and air pressure record of test No. 8.

概要と現車試験結果について紹介した。

この新しく開発された装置は基本的にはすべての鉄道輸送に対して適用できる自動保安方式としての性格を備え、またエレクトロニクスの技術を取り入れた独創的な速度照査装置や、無接点リレーを用いた論理継電方式の応用は装置の小形化と高度の信頼性という点ですぐれた車両用保安装置ということができる。

なお今後の研究問題としては

- (1) 総合的な運転管理を実施する場合の列車集中制御方式との協調
- (2) 踏み切り事故などに関連する突発的な地上妨害物の自動的探知方法とその対策制御
- (3) 近い将来に実現すると考えられる全自動運転方式との関連

などがある<sup>(7)</sup>。われわれ関係者はこれらの研究課題についても考究を重ねてさらに高度の自動保安装置へ発展させることにより、高能率化された電車輸送が事故皆無で運営されるよう努力をつづけてゆきたいと念願している。

さいごにこの装置について最初の着想から現車試験ならびに実用化まで終始ご助言とご指導をいただいた帝都高速度交通営団の東理事はじめ関係各位、信号部門を担当された大同信号、京三製作所、日本信号の各社、空気ブレーキで協力願った新三菱重工・三原製作所および当社の本社電鉄部や神戸、無線機、伊丹各製作所の関係各位に対して心からお礼を申し上げるものである。

#### 参考文献

- (1) Automatic Train Control; 「THE RAILWAY GAZETTE」 October 24, 506 (1958).
- (2) 河辺 一: 新しい信号保安設備、「電鉄専講論集」159 (昭 33).
- (3) 横須賀・浜岡・大野: 無接点継電方式「三菱電機」31, 1028 (昭 32).
- (4) 小川清一: ABFM 型制御装置「三菱電機」27, 506 (昭 28).
- (5) 曽根嘉年: SMEE ブレーキ装置「三菱電機」27, 513 (昭 28).
- (6) 新谷保次: サイパック 無接点継電方式「三菱電機」33, 779 (昭 34).
- (7) 河辺 一: 最近の鉄道信号「電学誌」80, 195 (昭 35).

# 24kV 単相キ電線用屋外空気シャ断器

伊丹製作所 五十嵐芳雄\*・富永正太郎\*\*・森岡昭二\*\*

## Outdoor Air Blast Circuit Breakers for 24 kV Single Phase Feeder Lines

Itami Works

Yoshio IGARASHI・Shōtarō TOMINAGA・Shōji MORIOKA

Kitakyushu line of the Japanese National Railways has been AC electrified. Mitsubishi has contributed to accomplishing the project by delivering to its substation an outdoor air blast circuit breaker rated at 24 kV 600 A 300 MVA. It is a general notion that, in spite of its features of excellent interruption ability, easy maintenance and inspection, and no danger of fire, the air blast type is not applicable to a feeder subject to severe recovery voltage. This handicap, however, has been eliminated through the adoption of parallel resistance switching, and an air blast breaker of high speed reclosing type—the first product of the kind—has been now completed with success and put in service.

### 1. まえがき

国鉄北九州の交流電化計画に伴い、当社ではその変電所向けのキ電線回路用シャ断器を製作することになった。

空気シャ断器は、そのシャ断性能が再起電圧の影響を受けやすいという理由もあって、従来再起電圧の苛酷なキ電線回路用には油シャ断器が主として用いられて来た。しかし空気シャ断器はこの点を解決すれば、シャ断性能がすぐれており、保守点検が容易で、火災の心配もないといった利点が広く認められていることであるし、これに加えてこのシャ断器のように、かなり大きなシャ断容量のもとで高速度再閉路が要求されるようになると、第一回目のシャ断が再シャ断時に悪影響を及ぼさないという面からも空気シャ断器の優位性が増して来る。

さいわい、当社では定格電圧 12~24 kV の屋内用として C 形空気シャ断器を<sup>(1)</sup>屋外用としては 24 kV の電気機関車用空気シャ断器<sup>(2)</sup>を開発し多数の生産実績を取めているばかりでなく、はやくから空気シャ断器の開発を行なって來たので、このたびこの集積された技術をもとにして低抵抗シャ断方式を採用した 24 kV 単相キ電線用屋外空気シャ断器を開発、納入した。以下このシャ断器の構造、動作および工場内で行なった種々の試験結果について述べる。

### 2. 定 格

このシャ断器の定格は下記のとおりで、図 2.1 にその外観を示す。

形 式	20-AHW-30 形
定格電圧	24 kV
絶縁階級	20 号 A

定格電流	600 A
定格周波数	60/50 c/s
定格シャ断容量	300 MVA 単相
定格再起電圧	II 号 9 kV
定格投入電流	
	34.1 kA
定格短時間電流	
	12.5 kA
定格開閉時間	
	0.042 sec
定格シャ断時間	
	5 サイクル
無負荷投入時間	
	0.13 sec
投入制御電圧	
	DC 100 V
定格操作圧力	15 kg/cm <sup>2</sup> •g
標準動作責務	O (0.5 秒)-CO (1 分) CO
定格引はずし電圧	DC 100 V
規格番号	JEC-145 (1959)
総重量	700 kg
シャ断器空気タンク容量	300 l



図 2.1 20-AHW-30 形  
空気シャ断器

Fig. 2.1 Type 20-AHW-30  
air blast circuit breaker.

### 3. 構造および消弧方式

#### 3.1 構 造

このシャ断器の構造は図 4.1 に示すように、下部のシャ断器空気タンクには CO 2 回分に十分な 15 kg/cm<sup>2</sup>•g の圧縮空気が充満されており、この上部に吹付弁、支持ガイド管、消弧室と連なるシャ断部があって、消弧室には並列に乾燥ガスで密封された低抵抗および異常電圧抑

\* 技術部シャ断器課長 \*\* 技術部

制用の高抵抗がついている。

消弧室にはノズルを形成する固定コンタクトと、棒状の可動コンタクトがコンタクトバネの力によって接触し、固定、可動コンタクト背後には衝撃を吸収するとの接触圧力を出させる目的で皿バネが使用してある。支持ガイ管の下部には換気装置が取付けられており、ガイ管内部に微量の乾燥空気を流して水分の凝結を防止している。

シヤ断部とは別に回転 ガイシによって動作される断路部を備え、回転 ガイシは操作 シリンダに連結されているが、これらの操作機構および制御機構はすべて断路部の基部を形成している箱内に納められてある。

### 3.2 消弧方式

キ 電線に使用される シャ断器は、図3.1の集中定数による簡単な等価回路に示されるように変電所出口近傍で短絡事故が生じた場合、変圧器背後系統の低い周波数成分に変圧器の高い固有振動が重畠するという非常に苛酷な再起電圧のもとでその シャ断器にとって最大の シャ断電力を切る必要の生じる、いわゆる JEC-145II 号に相当した シャ断器でなければならない。

このショート断器は低抵抗ショート方式を採用することによ

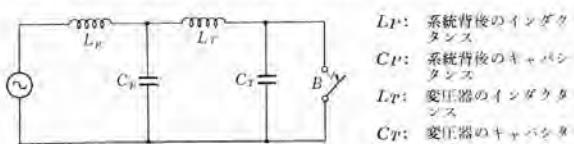


図 3.1 局所重力シテ断の等傾回路

Fig. 3.1 Simplified circuit for interruption of local power.

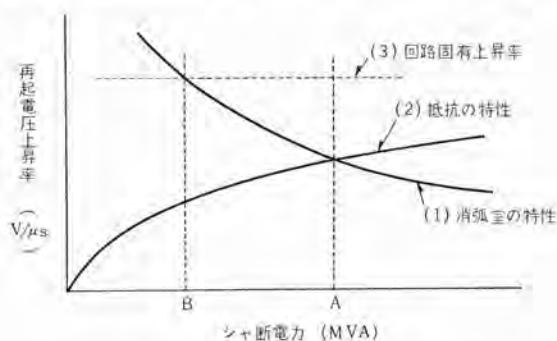


図 3.2 抵抗の再起電圧上昇率低減効果

Fig. 3.2 Diagram showing the effect of resistance on the reduction of  $\text{rrrV}$ .

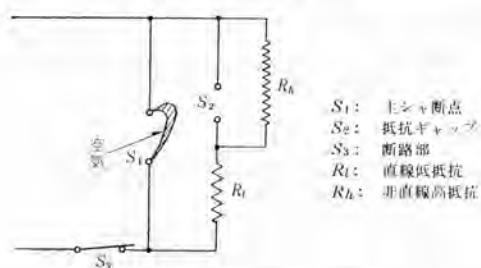


図 3.3 抵抗シヤ断方式

Fig. 3.3 Parallel resistance switching.

ってその要求を満たしている。すなわち、消弧室のみの再起電圧上昇率とシャ断電力の関係を実測すると図3.2で(1)のようになり必要なシャ断容量Aに対してBの限界までしかシャ断できないが、低抵抗をシャ断点に並列に挿入することによって回路固有の再起電圧上昇率を(2)のように下げシャ断性能を増大させることができる。

抵抗挿入方式としては、図3.3の等価回路にみられるように主シャンク断点の下流に固定して設けられた抵抗チャップが、主シャンク断点で発生されたイオンガスにより閉鎖して挿入される方式がとられている。

#### 4. 動 作

#### 4.1 投入動作

図4.1は閉路状態を示している。開路時のシャンク部はコンタクトパネによって閉路しているが、断路部が開路していることにより極間の絶縁が保たれている。したがって回路の投入操作は断路部の投入によってのみ行なわれる。

投入電磁弁が励磁されると投入制御弁が開き操作シリンドラに圧縮空気が送られ、リンク、レバーを介して回転ガイシを回すことによりブレードが断路部 フィンガに接触する。断路部と機械的に連動された回転スイッチで投入電磁弁の励磁を切り、操作シリンドラへの給気をシャットするとともにシリンドラ内の空気を排気して投入を終る。一方断路部ブレードは操作シリンドラ内の空気が排気されても保持バネの作用で開極位置に保たれる。なお鎖錠装置の励磁を切れ

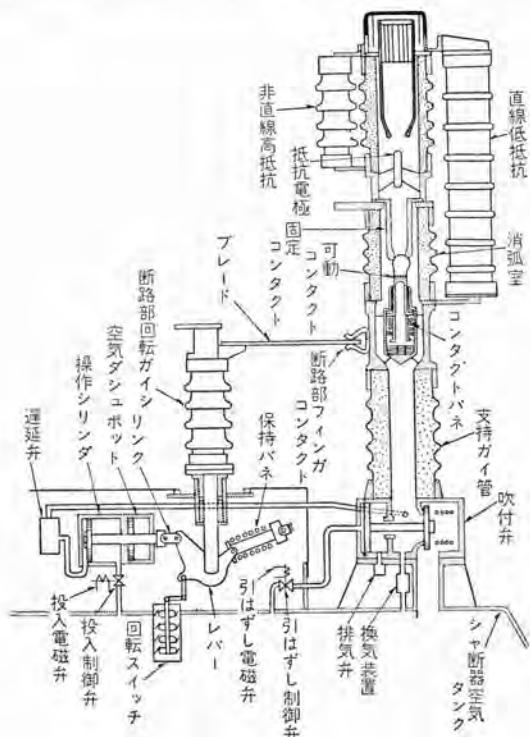


図 4.1 20-AHW-30 形空気シャ断器構造および動作説明図

Fig. 4.1 Sectional diagram of 20-AHW-30 air blast breaker.

ば投入指令を送っても投入動作はしないようになっている。

#### 4.2 引はずし動作

引はずし電磁弁が励磁されるとただちに引はずし制御弁が開き、圧縮空気が吹付弁の背圧シリンダ内に送られて吹付弁を開く。シャ断器空気タンク内の圧縮空気は開かれた吹付弁から支持ガイド管を通して消弧室に導入される。消弧室内の可動、固定コンタクトは常時閉路状態にあるが、圧縮空気が加わると可動コンタクトがコンタクトバネの力に打勝って消弧に適当な距離移動し、ノズルを形成する固定コンタクトとの間にアーカーを発生する。アーカーは圧縮空気の強力な消弧作用によって吹消されるが、シャ断電流が大きいと発生したイオンガスが主シャ断点の下流に設けられた抵抗電極付近に流されて、アーカーが抵抗電極のほうへ移り、抵抗が回路に挿入されることによって主シャ断点のシャ断を容易にする。抵抗電極のほうに移ったアーカーは、抵抗によって電流がしほられるとともに力率のよい回路となるから、継続して吹付けられている圧縮空気により主アーカーがシャ断された後約1/4サイクルで消弧される。また主シャ断点間には非直線抵抗素子を入れた高抵抗がはいっているので電流セッ断時の過電圧も抑制できる。

他方吹付弁から遅延弁を通りアーカー時間と安全性を考

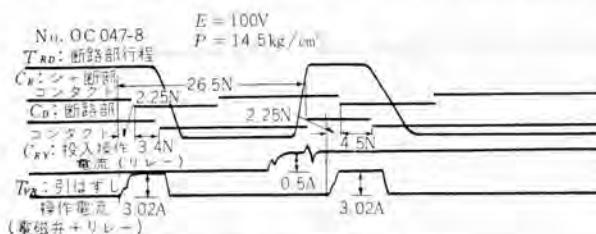


図 4.2 高速度再閉路動作 オシログラム

Fig. 4.2 Oscillogram showing high speed reclosing operation.

えた余裕時間遅れて、圧縮空気が断路部操作シリンダへ導入されるのでブレードが開かれる。断路部が開き極間の絶縁が十分に保たれたときに、回転スイッチにより引はずし電磁弁の励磁を切り制御弁が閉じるとともに吹付弁も高速に閉路される。消弧室の圧縮空気が排気弁を通って排気されると可動コンタクトはコンタクトバネの力によって再び閉路し、引はずし動作は完了される。

断路部が閉路位置に保持バネで保持されることは投入の場合と同様で、断路部の開閉動作は操作シリンダと同軸に配置された空気ダッシュポットによって緩衝され、円滑な動作が行なわれるようとしてある。図4.2に高速度再閉路動作のオシログラムの一例を示す。

#### 4.3 引はずし自由動作

故障回路に対して投入動作を行なうと、同時にリレーによって自動シャ断される。このとき投入電磁弁がまだ励磁されていても再投入動作をおこさないようにする必要があるが、このシャ断器はこれを電気的に防止してある。

#### 4.4 操作条件

定格操作圧力は $15 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ であるが、高速度再閉路用に製作されているのでシャ断器空気タンク容量はCO2回分に設計してある。単なる投入・引はずしは $13 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ で鎖錠され、高速度再閉路の鎖錠は $14.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ である。

なお最低動作気圧は $6 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 以下である。

### 5. 試験

#### 5.1 短絡試験

この試験としてはJEC-145にII号として推奨されている再起電圧規約周波数9kcのものとで短絡シャ断を行なったばかりでなく、空気シャ断器にとってはこれよ

表 5.1 短絡シャ断試験

試験番号	定格シャ断容量に対する%	動作	給与電圧(kV)	回復電圧(%)	シャ断電流			シャ断時間(60c/sベース)			再閉路時間θ(sec)	投入電流(A)	固有再起電圧				操作圧(kg/cm <sup>2</sup> ·g)	
					交流分(A)	直流分(C <sub>a</sub> )	開極(c/s)	アーカー(c/s)	全(c/s)	振動振幅比(低周波/高周波)			低周波成分	高周波成分	振動振幅比(低周波/高周波)			
OCO23 -3	10	O	24	97	1,200	36	2.25	0.60	2.85	0.45	3,250	9	1.3	-	-	-	15	
		CO		94	1,200	27	2.25	0.45	2.70									
		CO		96	1,200	8	2.25	0.60	2.85	0.45	2,300	9	1.3	-	-	-		
		CO		97	3,800	18	2.25	0.70	2.95									
-5	30	O	24	94	3,700	25	2.25	0.35	2.60	0.45	9,800	9	1.3	-	-	-	15	
		CO		96	3,750	0	2.25	0.15	2.40									
		CO		97	7,600	40	2.25	0.40	2.65									
-7	60	O	24	91	7,400	0	2.25	0.50	2.75	0.45	18,500	11	1.3	-	-	-	15	
		CO		93	7,500	8	2.25	0.50	2.75									
		CO		94	14,000	20	2.25	0.60	2.85									
-9	120	O	24	90	13,500	0	2.25	0.15	2.40	0.45	39,000	10	1.3	-	-	-	15	
		CO		92	13,700	0	2.25	0.10	2.35									
		CO		97	0	2.25	0.30	2.55										
995-1 -2 -3 -4	30	O	24	97	0	2.25	0.45	2.70	-	-	9	1.4	27	1.4	3/7	13		
		CO		96	3,800	0	2.25	0.65	2.90									
		CO		96	0	2.25	0.25	2.50										

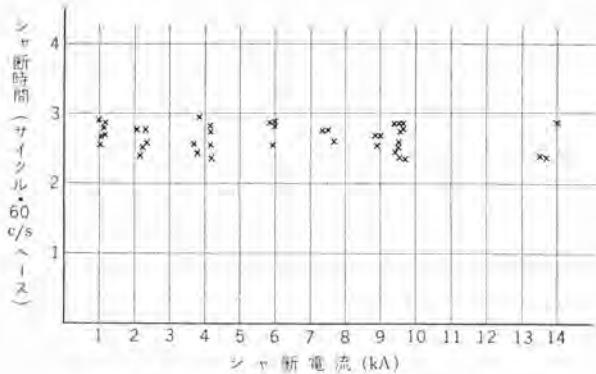


図 5.1 シャ断電流—シャ断時間特性

Fig. 5.1 Interrupting current-time characteristics.

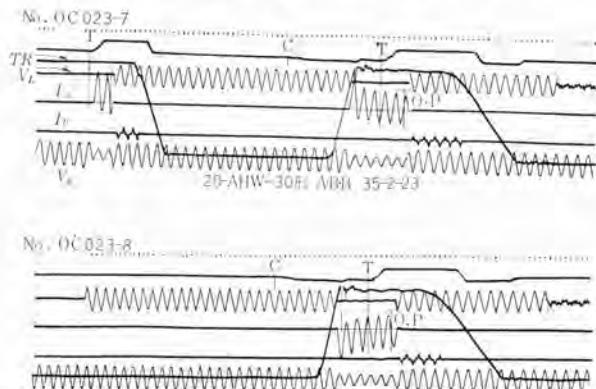


図 5.2 表 5.1 に対するオシログラムの一例

Fig. 5.2 One example of oscilloscope in Table 5.1.

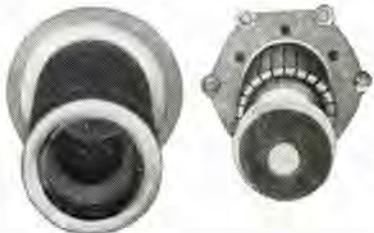


図 5.3 シャ断試験後のコンタクト

Fig. 5.3 Main contacts after the short circuit interrupting tests.

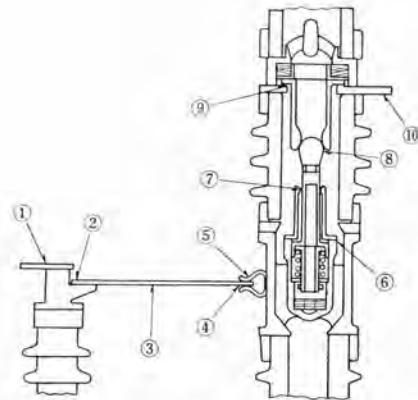
よりも苛酷と考えられている 9 kc と 25 kc の複周波数再起電圧のもとでも短絡試験を行なった。この場合低周波成分と高周波成分の振動振幅比を 3:7 としたが、これは一次短絡容量と局所電力の比を 3:1 として計算により求めた値である<sup>(3)</sup>。表 5.1 および図 5.1, 5.2 にシャ断試験の結果を示すが、シャ断時間のもっとも長いものが 2.95 サイクルであった。図 5.3 は 4 kA, 6 kA 各 4 回, 9 kA 7 回シャ断した後のコンタクトである。

断路部接触部の損傷もきわめてわずかであった。

## 5.2 温度上昇試験

図 5.4 に定格電流 600 A を通電した場合各部の温度上昇値を示す。温度上昇の最高値は 13.5°C であり十分に余裕がある。800 A の通電電流でも温度上昇を測定したが最高値が 30°C で 800 A の定格電流にも使用できることを示している。

一方低抵抗の温度上昇は大電流シャ断時、回復電圧に



付表 各部温度上昇

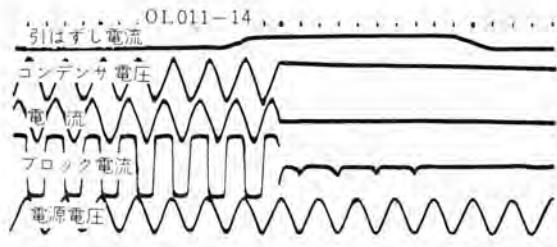
場所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度上昇(°C)	13.5	11.5	13.5	12.0	11.5	6.5	5.5	5.5	4.0	5.5

図 5.4 温度上昇試験測温位置

Fig. 5.4 Diagram showing the temperature measuring points.

## 5.2 充電電流シャ断試験結果

動作責務	操作圧力(kg cm <sup>2</sup> /g)	給与電圧(kV)	シャ断電流(A)	アーカ時間(c.s)	再点弧回数	試験回数
O	12.5	24	2.4	0.10~0.20	0	3
O	12.5	24	9	0.05~0.40	0	7
O	12	26	18	0.15~0.30	0	7
O	12	26	36	0.10~0.30	0	12



20-AHW-30ABB 充電電流シャ断試験

図 5.5 充電電流シャ断オシログラム  
Fig. 5.5 Oscilloscope of charging current interruption.

より約 1/4 サイクル電流が流れることによって生ずるのであるが、実際のシャ断試験時には測定が困難なため等価試験として、動作責務と余裕を考え 24 kV の回復電圧を  $1/4 \times 4 = 1$  サイクル 抵抗両端に印加した場合の温度上昇を測定した。その結果抵抗線自体の上昇値は 100°C 前後で、十分余裕のあることがわかった。

## 5.3 充電電流シャ断試験

当所のコンデンサ・バンクを用い電圧開極位相を種々調整して再点弧の有無をしらべた。給与電圧は 26 kV まで上げ、気圧は操作鎖錠気圧より下で行なったが再点弧は皆無であった。その試験結果を表 5.2 および図 5.5 に示す。

## 5.4 励磁電流シャ断試験

実用上電車の整流器用主変圧器の励磁電流シャ断が予想されるので、その際に発生する異常電圧について調査するため 24 kV 10~55 A の変圧器励磁電流を、位相調整

表 5.3 励磁電流 シャ断試験結果

動作責務	操作圧力 (kg/cm <sup>2</sup> g)	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (A)	アーキ時間 (c/s)	変圧器側異常電圧倍数	試験回数
O	16.5	24	10~15	0.10~0.25	1.00~2.43	6
O	16.5	24	25~30	0.10~0.40	0.96~2.50	14
O	16.5	26	50~55	0.15~0.30	1.41~2.17	6

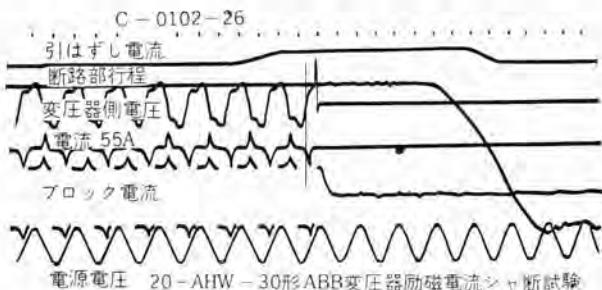


図 5.6 励磁電流 シャ断 オシログラム

Fig. 5.6 Oscillogram of exciting current interruption.

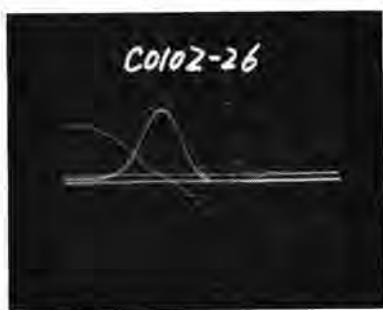


図 5.7 励磁電流 シャ断時の電流電圧波形

Fig. 5.7 Current and voltage waveforms at the interruption of exciting current.

を行ないつつ シャ断した。その結果を表 5.3 に、図 5.6 にその オシログラム の一例、図 5.7 に ブラウン 管 オシロによる電流、電圧波形の一例を示す。異常電圧は変圧器側で給与電圧の 2.5 倍以下であり、絶縁協調の レベル に対して余裕のあることが実証された。

### 5.5 冷凍試験

冬期気温が低下した場合の性能を検証するため、当所の冷凍試験室に設置し  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  において動作試験を行なったが、なんら支障なく優秀な成績を確認できた。

また同時に換気装置の特性も測定したが問題ないことがわかった。

### 5.6 連続開閉試験

10,000 回の連続開閉試験を行ない、1,000 回、3,000 回、5,000 回、7,000 回、10,000 回ごとに分解し、変形、摩耗、ゆるみ、ガスケット 類のいたみなどを検査したが、十分満足すべき結果を得た。また 5,000 回、7,000 回、10,000 回において動作特性を測定したがなんら異常は認められなかった。

## 6. む す び

最後にこの シャ断器の特長をまとめると、

(1) 再起電圧上昇率の高い 単相 電線用 シャ断器として低抵抗 シャ断方式を採用し、しかもこの抵抗は シャ断電流がある程度以上大きい場合にのみ挿入されるので抵抗の使用条件も楽であるし、抵抗 シャ断部に可動部分がないので機械的条件も有利である。

(2) 抵抗は耐湿性を持たせるために密封構造をとっているが温度上昇は十分余裕をみて設計されている。

(3) 可動部分には各部に適当な緩衝作用をもたせてとくに機械的信頼度を高め、高速度再閉路にも適するよう設計されている。

(4) コンタクトには耐弧 メタル を使用し、シャ断、投入時間も短いので長期間 コンタクト の点検が不要である。

(5) 油の取扱いによるいっさいのめんどうがなく、部品は必要な部分に精度の高い加工を施してあるので互換性があるのはもちろん、分解・点検・組立時に調整をほとんど必要としないので保守点検が容易である。

(6) 気中断路方式を採用してあるから塩害に対しても極間の絶縁性を確立でき、投入・開路状態が容易に観測できるのも利点である。

(7) 鎌錠装置を設けて、平常は励磁して鎌錠をとき、鎌錠したいときは励磁を切ればたとえ投入用電磁弁が誤動作しても投入するおそれはない。

(8) 換気装置によって常時乾燥された空気を支持ガイ管消弧室に送っているので湿気による絶縁低下はない。などがあげられる。

以上述べたようにこの シャ断器は各種の試験に予期した成績を納め、数々の試験 データ を取ることができた。これらは今後この種の シャ断器 の研究、設計に対しても資するところが大きいと考えられる。

なお終りにあたり、この シャ断器 製作試験に多大のご指導、ご協力をいただいた国鉄当局の方々、ならびに伊丹製作所第一工作課、品質管理課、 シャ断器 課関係各位に紙上をかりて深く感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 五十嵐芳雄・簗田忠雄・米沢克昌： 最近の C 形空気 シャ断器、「三菱電機」33 pp. 714~719 (1959).
- (2) 富永正太郎： ED-70 形整流器式交流機関車用空気 シャ断器「三菱電機」32 pp. 353~356 (1958).
- (3) 潮 恒郎： 系統の再起電圧と回復電圧 「三菱電機」 33 pp. 477~486 (1959).

# 連続焼鈍設備用電機品

神戸製作所 新 谷 保 次\*

## Electric Equipment for Continuous Annealing Lines

Kobe Works Yasuji SHINTANI

Processing lines for continuous annealing of tin plate steel—the first attempt of the kind in Japan—have been installed at Hirohata plant of the Fuji Iron & Steel Co. They have many advantages over old method of box annealing which is no longer satisfying for increasing demands of the products. Electric equipment for this plant has been supplied by Mitsubishi except automatic temperature control equipment. The electric control system used herewith consists three sections of entry, centre and delivery, all being driven by direct current motors respectively and in synchronism one another. Aside from those mentioned above, there are various electric apparatus which all contribute to the operation of the plant.

### 1. まえがき

このラインは連続冷間圧延機によって圧延されたストリップコイルに、炉内の温度分布、鋼帯の寸法および移動速度などによって決まる熱処理サイクルを連続的に加える設備である。

冷間圧延機で圧延されたストリップコイルはブリキ板材料として必要な延性を回復させるために、電気清浄ラインを通した後で、炉に装入して炉内の温度を変え、長い熱サイクルを与える。いわゆる“箱焼鈍”(Box Annealing)が従来行なわれていた。しかしブリキ板の需要増大に伴い、処理能力が大きく、製品の均一性、平滑度、硬度がはるかにまさり、また箱焼鈍の場合のようなコイル縁の固着を生じない連続焼鈍方式が採用し始められた。このラインは焼鈍という主目的のほかにその前処理としての電気清浄設備を含むのが普通で、その焼鈍能力は標準ブリキ板サイズで 30 t/h 以上に達する。

昨年初め富士製鉄株式会社広畠製鉄所に設置された連続焼鈍設備はわが国最初のものであり、焼鈍炉の自動温度制御以外の駆動装置用全電機品を製作納入したので、その機械および電気制御方式のあらましを紹介するものである。

### 2. 機械の概略

この設備は板幅最大 1 m のストリップコイルを 60 m/min ないし 330 m/min の速度で連続的に焼鈍するもので、焼鈍炉を中心としてその入側および出側に、ストリップ貯蔵用ループタワーを有し、入側におけるストリップの溶接作業中

あるいは出側における切断および巻取作業中にも炉内には連続して、ストリップが通り焼鈍作業は完全に連続して行なわれる。

この機械の概略を図 2.1 に示している。冷間圧延工場から送られてきたストリップコイルはプロッカーロール上で先端を切断した後 2 台のコイルホールダに取付けられる。あらかじめ引き出されたコイルの先端は入側ラインの停止と同時にシームウェルダによりその付属の切断機で切断された先行ストリップの尾端と溶接される。

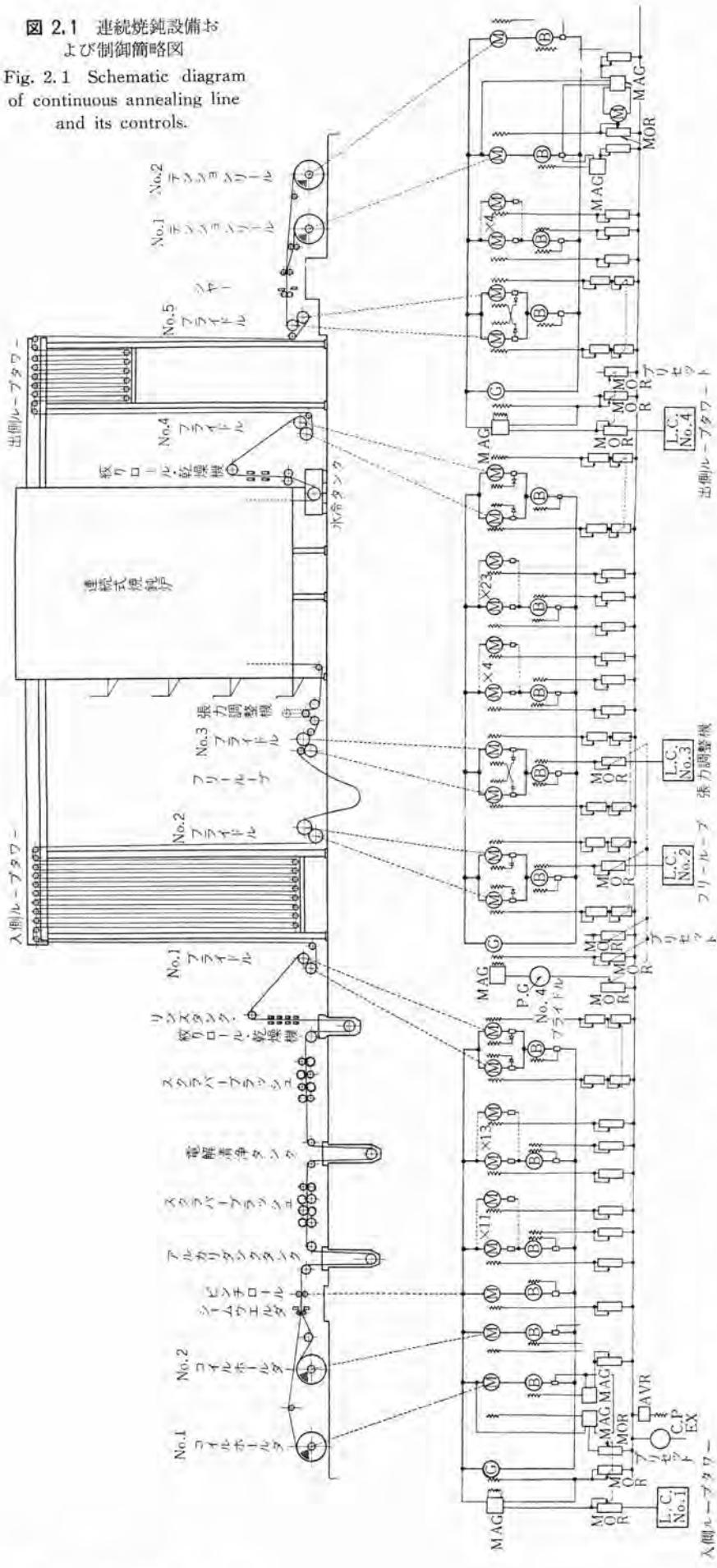
冷間圧延中ストリップ表面に付着したオイル、グリース、スケールおよび錆などを除去する清浄設備はアルカリタンク、電解式清浄タンク、2 基のスクラバブラッシュおよびリンスタンクにより構成されている。

シームウェルダで溶接されたストリップは 2 台のコイルホールダで後面張力を掛けながら交互に、ピッチロールで送り出され、清浄設備を通した後 リンスタンク、絞りロール、乾燥器を経て No. 1 ブライドルで入側ループタワーに送り込まれる。ここまでが入側セクションとなる。

ループタワーは焼鈍炉内でストリップを停止することなく連続的に通すよう、ストリップを蓄積するもので溶接作業のために入側セクションが停止されても、タワー内に貯蔵したストリップを送り出して焼鈍炉を同一速度で運転することができる。入側ループは 14 条あり 8 本のロールを取りつけた移動台をトルク電動機によって駆動し一定張力を与えている。溶接が完了すると入側セクションは加速されるが、ふたたびループタワー内にストリップを貯蔵するため、中央セクション(焼鈍セクション)の速度の 125% まで増速され、所定量に達すると自動的に同期速度となる。

図 2.1 連続焼鈍設備および制御簡略図

Fig. 2.1 Schematic diagram of continuous annealing line and its controls.



No. 2 ブライドルから No. 4 ブライドルまでが中央セクションとなりつねに一定ライン速度で運転される。

No. 2 ブライドルと No. 3 ブライドルとの間にはフリーリードを設けてラインの張力を絶縁し、また炉と No. 3 ブライドルとの間に張力調整装置をおいて炉内のストリップ張力の急速な変化によって生じる衝動を吸収させている。

焼鈍炉は輻射管式ガス加熱帶、電気的に加熱される均熱帶、電気的に加熱し空気冷却を行なう徐冷帶および急冷用水タンクの四つの部分で構成され、自動温度制御装置によって最適な焼鈍が行なわれる。

焼鈍炉を出たストリップは絞りロール、乾燥器を経て No. 4 ブライドルで引張られて出側ループタワーにはいる。このタワーもループが 10 条である以外は入側ループタワーとまったく同じ構造で、No. 5 以下の出側セクションがストリップを切断するために停止された場合も一定速度で中央セクションから送り出されるストリップを一時的に蓄積するために設けられている。

出側ループタワーを出たストリップは No. 5 ブライドルとテンションリールによって一定の張力を与えながら巻きとられ、所定の大きさのコイルになれば出側セクションを停止して他のリールであたたび巻き始められる。出側セクションも出側ループタワーに一時的に貯蔵されたストリップを巻きとってしまうまで中央セクションの 125% で運転されループがなくなれば自動的に同期運転にはいる。

### 3. 電気制御方式

このラインの電気制御方式を図 2.1 に示している。このラインは直流電動機で駆動されつきの三つ

の部分に分けられる。

- (1) 入側 セクション
- (2) 中央 セクション (焼鉄炉 セクション)
- (3) 出側 セクション

各 セクション は 3 台の発電機よりそれぞれ給電され発電機の電圧を制御して各 セクション 間の同期化運転を行なう。

### 3.1 中央セクション

中央 セクション はこの ライン の中枢をなすものでここでストリップ の焼鉄が行なわれる。炉帶では自動温度制御装置によって精密な温度制御が行なわれるがストリップ の炉内通過速度もまた厳密に制御されなければならない。このため炉の出側にある No. 4 ブライドル 駆動電動機にパイロット 発電機 (P.G.) を直結し、磁気増幅器 (MAG) を介して中央 セクション の発電機電圧を制御し、No. 4 ブライドル の定速運転を行なっている。No. 4 ブライドル の速度はこの ライン の基準速度となるもので他の電動機はすべてこれを基準として速度制御を行なっている。

炉とその入側にある No. 3 ブライドル との間には張力調整装置があり、後述するトルク電動機により可動 ロール を上下に移動させ炉内で加熱急冷されるために生じるストリップ の伸縮による急激な張力変化を吸収し一定張力に保っている。可動 ロール の位置変化を No. 3 L.C. (光電管式 ループ 調整器) によって検出、増幅し No. 3 ブライドル の昇圧機界磁を制御して一定高さになるよう No. 3 ブライドル の速度を調整している。

No. 3 ブライドル と No. 2 ブライドル との間にはフリーループ がありこの ループ の位置変化を No. 2 L.C. により検出して No. 2 ブライドル の速度制御を行なっている。

炉内にストリップ を通すため、加熱帯 3 台、均熱帯 13 台、および徐冷帯 5 台の減速電動機で各 ロール を駆動する、ヘルパードライブ 方式が採用されている。これはストリップ が ロール を駆動すると ロール と ストリップ との間にすべりを生じやすいため、各電動機は ロール の摩擦損失程度のわずかなトルク で運転される。これらの ヘルパ 電動機は、入口 シールロール と 加熱帯 3 台との計 4 台の 1 群と、他の炉帶用および炉出側の デフレクタロール 駆動用など計 23 台の 1 群とに分けて各群ごとに昇圧機を接続して電圧降下 (IR) 補償を行なうとともに、各電機子に直列抵抗を挿入して負荷分担を精密に調整できるよう考慮した。図 3.1 は ヘルパ 電動機制御盤を示す。

以上の全電動機は中央 セクション 発電機に接続しており、ライン 速度は発電機電圧によって決められる。ライン 速度は主操作盤上の低速用 (60~160 m/min) 中速用 (150~230 m/min) 高速用 (210~330 m/min)、3 個のプリセット抵抗

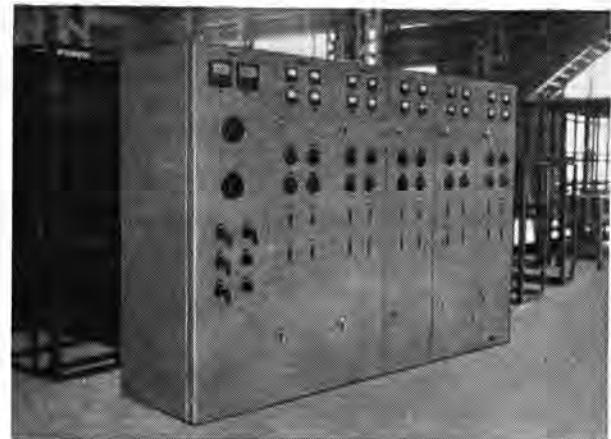


図 3.1 ヘルパ 電動機制御盤  
Fig. 3.1 Control panel for helper motor.



図 3.2 連続焼鉄炉制御盤  
Fig. 3.2 Control panel for continuous annealing line.

器で設定し、電圧平衡継電器で電動操作界磁調整器 (M OR) の ノッチ 位置、したがって発電機を規正している。この プリセット 抵抗器は入側および出側 セクション の速度をも同時に規正するものでそれぞれ 3 個を連動させている。

各 ブライドル 電動機は上下 ロール を別々の電動機で駆動しているので各電動機に分路直巻界磁を設け負荷分担を細かく調整するとともに セレン 整流器を入れて正逆回転での特性を一致させている。図 3.2 は制御盤の一部を示す。

### 3.2 入側セクション

入側 セクション 発電機にはコイルホールダ、ピンチロール、ヘルパ 電動機、および No. 1 ブライドル の各電動機が接続されている。発電機電圧、したがって入側 セクション の速度は MAG で制御される。プリセット 抵抗器で決められた大略の同期速度で運転されるが入側 ループタワー に取つけられた No. 1 L.C. で ループ 高さを検出し、ループ 高さが一定になるよう MAG を介して発電機電圧を補正し精密な同期運転を行なっている。入側 セクション はコイル の溶接のため停止し再起動後は ループ を貯蔵し終り初めの ループ 高さとなるまで、中央 セクション より高速で運転しなければ

ならない。このため ループタワーに設けられた制御開閉器によって一時的にプリセット抵抗器を不平衡させ MOR のノッチ位置を進め約 25% の增速を行なわせている。

コイルホールダはオーバ巻、アンダ巻が可能で MAG によって張力調整を行なっている。ストリップに掛かる張力とコイルの周辺速度の積が駆動電動機の逆起電力と電流との積に等しいという関係があるのでストリップ張力を一定に保つためには上記逆起電力と電流とを一定に保てばよいことになる。ここでは MAG によりコイルホールダの昇圧機界磁を励磁して定電流制御を行なうとともに、他の MAG で電動機界磁を励磁して定逆起電力制御を行なう方法を採用した。定電流制御 MAG には慣性補償巻線を設け、加減速時に電流の設定値を変更して一定張力が保たれるよう考慮した。

入側セクションには 24 台のヘルパ電動機があるが液中で運転されるシクロードおよびスクラバのバックアップロール計 11 台の 1 群とその他のドライロール用ヘルパ計 13 台との 2 群に分割し、各群ごとに昇圧機を入れて IR 補償を行なった。各昇圧機はいずれも加減速時に界磁回路の抵抗を制御して慣性補償を行なっている。

### 3.3 出側セクション

出側セクションも入側と同じように 1 台の発電機より給電している。制御方式も入側と同じで発電機電圧は出側ループタワーに設けられた No. 4 L.C. で補正される。

テンショニングリールは入側のコイルホールダと同様に張力調整が必要であるがこのばあいは定逆起電力制御に MOR による自動追隨制御方式を採用した。この方式は逆起電力を MAG で検出、増幅して MOR の操作電動機を駆動しつねに逆起電力が一定となるよう MOR を追随させるものである。この方式ではストリップコイルの直径に対応する電動機の界磁電流が MOR のノッチ位置で決められるのでコイルの途中からの加減速がきわめて円滑に行なわれ、また慣性補償も MOR で連動させコイル直径に対応させることができるので完全にできる特長がある。

### 3.4 ループタワー

ループタワーではトルク電動機で移動台を上下に駆動してループ高さを変える。図 3.3 に示すように専用の発電機を接続し電機子電流が設定値に保たれるよう MAG で自動制御を行なっている。この電動機は常時は静止しており発電機はわずか数 V の IR 降下電圧だけを発生しているが、入側セクションが停止した場合は約 340 V まで電圧を上げて移動台を急速に上昇させなければならぬので MAG の利得は非常に高いものが要求される。

張力調整装置もループタワーと同じ制御方式が採用されている。

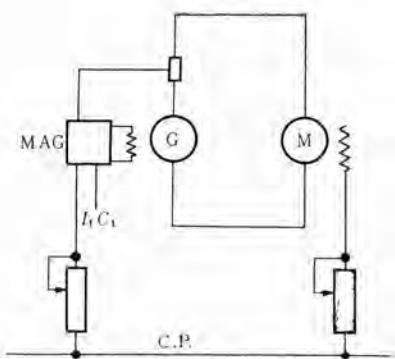


図 3.3 トルク電動機制御回路

Fig. 3.3 Schematic control diagram of torque motor.

このラインには前述のように 4 台の光電管式ループ調整器を使用しているが広範囲のライン速度に対して安定な制御を期待するためループ調整器の利得がライン速度に関連して変化するように各 MOR に利得加減用抵抗器を連動させている。

### 3.5 電気清浄用発電機

この発電機の電圧は図 3.4 に示すようにライン速度に応じて低速・中速・高速と 3 個の界磁調整器で別個に設定できる。またタンク内の電極に異物が付着するのを防止するためコイルホールダのコイルがかわるごとにその極性が自動的に切りかわるようにしている。すべての大電流発電機と共通したことではあるが停止時の残留電圧を少なくする必要があるので停止時に限時继電器で暫時逆励磁を行なっている。これは停止時ストリップがたるみ電極に触れた場合の短絡電流を小さくするためにぜひ考慮しなければならないことである。

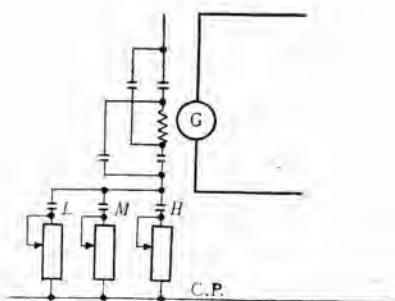


図 3.4 電解清浄用発電機制御回路

Fig. 3.4 Schematic control diagram of cleaning generator.

このラインでは多数の MAG を使用して精密制御を行なっているが電源電圧変動の影響をうけないよう定周波定電圧電源を別に設置し制御装置の安定化を考慮した。

この設備に使用した主要電機品の仕様を表 3.1 に示している。

表 3.1 主要電機品一覽表

## 電動機

コイルホルダ	2 台	40 kW	DC 220 V	400/1,600 rpm
ピンチロール	1 台	7.5 kW	"	850/1,700 rpm
入側ヘルパロール	24 台	2.2 kW	"	1,150/2,300 rpm
No. 1 プライドル 入側	1 台	15 kW	"	"
" " 出側	1 台	22 kW	"	"
No. 2 " 入側	1 台	22 kW	"	"
" " 出側	1 台	15 kW	"	"
No. 3 " 入側	1 台	10 kW	"	"
" " 出側	1 台	20 kW	"	"
センタヘルパロール	26 台	2.2 kW	"	1,150/2,300 rpm
シールロール	1 台	2.2 kW	"	650/1,300 rpm
No. 4 プライドル 入側	1 台	15 kW	"	850/1,700 rpm
" " 出側	1 台	22 kW	"	"
No. 5 " 入側	1 台	30 kW	"	"
" " 出側	1 台	50 kW	"	"
出側ヘルパロール	4 台	2.2 kW	"	1,150/2,300 rpm
テンショニングリール	2 台	75 kW	"	300/1,200 rpm
入側ループタリー	1 台	26 kW	"	575 rpm
テンショニングデバイス	1 台	11 kW	"	725 rpm
出側ループタリー	1 台	26 kW	"	575 rpm

昇圧機セラ

10 kW 異圧機	DC 50 V	No. 1 コイルホルダ
" "	"	No. 2 "
4 kW "	"	ピンチロール
10 kW "	"	入側 No. 1 ヘル・ロール
10 kW "	"	" No. 2 "
10 kW "	"	No. 1 ブライドル
同上驅動用誘導電動機	55 kW AC 3,300 V 60 c/s, 1,150 rpm	No. 2 ブライドル
10 kW 異圧機	DC 50 V	No. 3 "
10 kW "	"	センタ No. 1 ヘル・ロール
4 kW "	"	" No. 2 "
20 kW "	"	No. 4 ブライドル
10 kW "	"	
同上驅動用誘導電動機	55 kW AC 3,300 V 60 c/s, 1,150 rpm	
20 kW 異圧機	DC 50 V	No. 5 ブライドル
4 kW "	"	出側ヘル・ロール
20 kW "	"	No. 1 テンショニール
20 kW "	"	No. 2 "
同上驅動用誘導電動機	55 kW AC 3,300 V 60 c/s, 1,150 rpm	

充電機セット

200 kW 充電機	D C 220 V	1,200 rpm 人側
230 kW "	"	" センタ
200 kW "	"	" 出側
150 kW 励磁機	"	"
同上驅動用同期電動機	820 kW AC 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm	
30 kW 充電機	D C 220 V 1,750 rpm	人側ループタリー
15 kW "	" "	テンショナルデバイス
30 kW "	" "	出側ループタリー
同上驅動用誘導電動機	93 kW AC 3,300 V 60 c/s 1,750 rpm	
135 kW 充電機	D C 18 V 7,500 A 450 rpm クリーニング用	
同上驅動用同期電動機	150 kW AC 3,300 V 60 c/s 450 rpm	

60 c/s 定周波電源

40 kVA 交流発電機	AC 220 V	1φ	1,800 rpm
1 kW 励磁機	DC 220 V	"	"
50 VA バイロット発電機	AC 40 V	420 c/s	"
同上駆動用直流電動機	37 kW	DC 220 V	"

#### 4. むすび

この設備はわが国最初のものであり多数の直流電動機の精密な同期運転を要求されるものであるため制御方式としてもやや複雑な連動制御を採用した。この設備では最高 ライン 速度 330 m/min であったがここに述べた制御方式は 500 m/min 以上の ライン までも採用できる方  
式でありきわめて好調に運転されている。

## 訂 正

Vol. 34 No. 6, 98 ページ「最近における当社の社外寄稿一覧」のうち一部誤りを下記のように訂正いたします。

寄稿年月日	寄 稿 先	題 名	誤		正	
			執筆者	所属場所	執筆者	所属場所
34-12-1	電 気 学 会	衝撃電圧の時間制御における水素入り熱陰極子格子制御放電管の起動特性	岡田 武夫	伊 丹	岡田 武夫	研究 所
35-1-10	航 空 学 会	ロケット誘導の基礎的検討	斎藤 寛	無線 機	斎藤 寛	神 戸
35-1-11	新 電 気	ビル工場に進出する電気集電装置	(小田達太郎) 渡辺 優	神 戸	(小田達太郎) 渡辺 優	無線 機
35-1-11	機 械 設 計	簡略図法による図期の短縮	松尾 準一	研究 所	松尾 準一	本 社
35-1-13	電 気 学 会	電力系統開閉サージに対する系統損失の影響	(馬場 準一) 森本 英男	本 社	(馬場 準一) 森本 英男	研究 所
34-1-28	オーム 社	回転機における絶縁方式の進歩	中野 雅行	研究 所	中野 雅行	伊 丹
35-1-28	オーム 社	変圧器絶縁方式の進歩	神谷 友清	研究 所	神谷 友清	伊 丹

# 磁気増幅器形電気式水位調整器

神戸製作所 岡本孝治\*・渡辺宏\*\*

## Magnetic Amplifier Type Electric Water Level Regulator

Kobe Works Takaharu OKAMOTO・Hiroshi WATANABE

In the run-off-river type water power stations, it is essential in the operation to make the water volume for water wheels nearly the same as that running into the head tank. An electric water level regulator is a device for this purpose. With this apparatus, the water level of the head tank is converted to an electric quantity and any change of it is regulated by adjusting the opening of the guide vanes of the water wheel, thus the water level of the head tank being always held nearly constant. Mitsubishi has developed magnetic amplifier type regulators with no contacts in use. They have been operating with success in a number of power stations. Their feature of ease in maintenance and inspection and lasting durability in construction are worthy of description. The writers' report covers details of the construction, operation, analysis and test results of the apparatus.

### 1. まえがき

流込式水力発電所においては水車の使用水量と水槽への流入水量とが同じになるように水車を運転することが必要である。電気式水位調整器はこの操作を電気自動的に行なうためのもので、水槽水位をほぼ一定に保ち水槽水位の変動を抑制するように水車の使用水量を調節して水車の高能率運転を行なおうとするものである。すなわち水槽水位を電気量に変換し、この量により水車のガイドベーン開度を調整し、水車の使用水量を水槽への流入水量に対応させるのである。

当社では今まで関西電力石井発電所、東北電力松神発電所、北陸電力白峰発電所、住友共同電力川口発電所、長野県庁春近発電所、北陸電力牧発電所などにこの電気式水位調整器を製作納入してきたが、これらは パラスビーム形繼電器を用いた接点方式のものであった。このたび磁気増幅器を使用した無接点方式のものを製作し、昨年10月四国電力野村発電所へ納入した。また、北陸電力称名川第2発電所、岩手県庁岩洞第2発電所および住友共同電力五王堂発電所向けのものも工場試験が完了した。

四国電力野村発電所は 690 kW 橫軸チューブラーガラジアン水車、北陸電力称名川第2発電所は 8,430 kW 立テ軸ベルトン水車、岩手県岩洞第2発電所は 8,800 kW 立テ軸フランシス水車、住友共電五王堂発電所は 12,750 kW 立テ軸ベルトン水車に対するものであるが、野村発電所、岩洞第2発電所、五王堂発電所は水槽水位の調整範囲を 30 cm, 25 cm, 20 cm の 3 種、称名川第2発電所は 45 cm,

30 cm, 15 cm の 3 種とし、水槽水位のある基準面からのこの水位幅に対しガイドベーン開度を 0~100 % の間水槽水位に応じて自動的に調整するものである。

以下、この磁気増幅器形電気式水位調整器の構造、動作、解析および試験結果について述べることにする。

### 2. 構造および動作

この磁気増幅器形電気式水位調整器は水位応動抵抗器、調速機負荷制限位置応動抵抗器、磁気増幅器、負荷制限用電動機および定電圧装置その他の付属器具より成っている。図2.1はこの水位調整器の接続略図を示すものである。

水槽水位の検出には水槽に浮べたウキが水位変化とともに上下するのをこれを車の回転にかえ、この車の軸にポテンショメータ すなわち水位応動抵抗器 WLTR をつけてこれで水槽水位を電気量に変換している。

ガイドベーン開度の検出には ガイドベーンサーボモータに連結したポテンショメータ すなわち調速機負荷制限位置応動抵抗器 GPTR によりガイドベーン開度を電気量に変換している。

磁気増幅器は ブッシュブル二段増幅を行なっているが、その制御入力電流は上記水位応動抵抗器 WLTR と調速機負荷制限位置応動抵抗器 GPTR との回転角の差に比例する電流であり、その出力電流は次に述べる負荷制限用電動機に加えられる。図2.2はこの磁気増幅器の外観であり、図2.3は結線図である。

負荷制限用電動機 77M の仕様は 45 W, DC 100 V, 1,380 rpm 30 分定格の直流直巻分割界磁形操作電動機

\* 技術部配電盤第二設計課副課長 \*\* 技術部

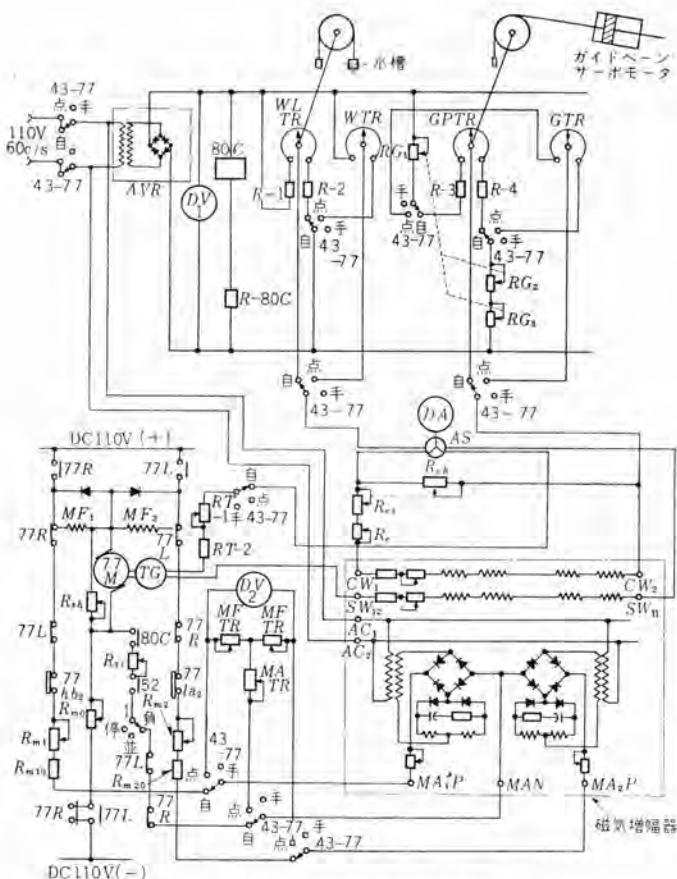


図 2.1 水位調整器接続略図

Fig. 2.1 Connection diagram of water level regulator.

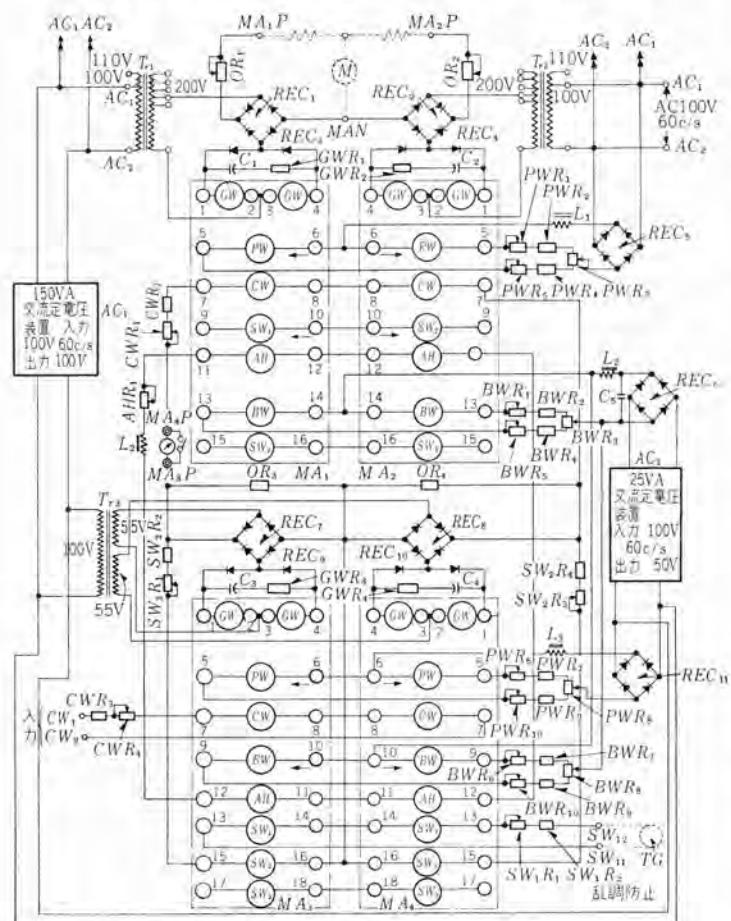


図 2.3 水位調整器用磁気増幅器結線図

Fig. 2.3 Connection diagram of magnetic amplifier.

で、上記 プッシュパル 磁気増幅器の出力電流をいずれかの界磁に流すことによりこの操作電動機は正逆いずれかの方向に回転する。なおこの操作電動機の軸には回転計発電機を直結してあるが、これは永久磁石形直流発電機で、定格 1,380 rpm で DC 10 V, 10 mA の出力をもつていて乱調防止用として使用される。

ボテンショメータ WTR および GTR はそれぞれ水位応動抵抗器 WLTR および調速機負荷制限位置応動抵抗器 GPTR と等価であり、また抵抗 MFTTR および MATR はそれぞれ負荷制限用電動機 77 M の界磁および電機子の等価抵抗で電圧計 DV2 とともに磁気増幅器の点検回路を構成している。

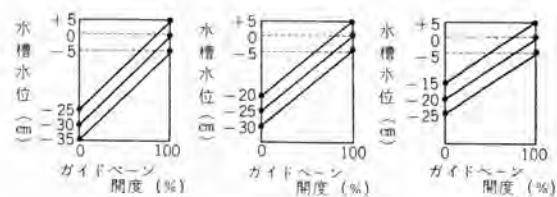
この水位調整器は磁気増幅器入力回路の直並列抵抗の値を切換えることにより感度を 2, 3, 4 % の 3 段階に変えることができるし、また調速機負



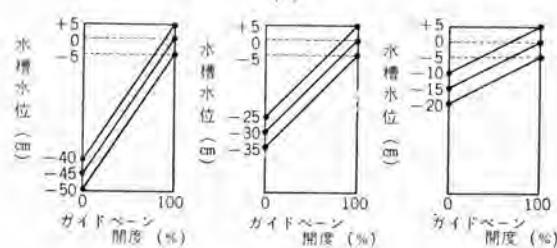
図 2.2 磁気増幅器外観

Fig. 2.2 Magnetic amplifier.

つぎにこの水位調整



(a)



(b)

図 2.4 水槽水位—ガイドベーン開度調整図

Fig. 2.4 Regulation diagram of the head tank level—guide vane opening.

器の動作をのべる。今ある調整曲線を選定したとして水槽水位が現在の ガイドペーン 開度に対応する水位より高いとすると、磁気増幅器の制御 コイル には水位応動抵抗器 WLTR から調速機負荷制限位置応動抵抗器 GPTR の方向にこの両者の回転角の差に比例した電流が流れる。この電流を磁気増幅器で増幅して出力電流は負荷制限用電動機 77M の界磁 MF<sub>1</sub> から電機子を通って流れ負荷制限用電動機を ガイドペーン 開度を増加させる方向に回転させる。そして水槽水位に対応する ガイドペーン 開度になれば負荷制限用電動機の回転は停止する。このとき負荷制限用電動機に直結した回転計発電機 TG は負荷制限用電動機の回転速度に比例した電圧を発生するが、これを負荷制限用電動機の回転を抑制するように磁気増幅器の乱調防止用 コイル にフィードバックしている。

また、逆に水槽水位が現在の ガイドペーン 開度に対応する水位より低いとすると、磁気増幅器の制御 コイル には調速機負荷制限位置応動抵抗器 GPTR から水位応動抵抗器 WLTR の方向にこの両者の回転角の差に比例した電流が流れ、磁気増幅器の出力電流は負荷制限用電動機の界磁 MF<sub>2</sub> から電機子を通って流れ負荷制限用電動機を ガイドペーン 開度を減少させる方向に回転させる、そして水槽水位に対応する ガイドペーン 開度になれば負荷制限用電動機の回転は停止する。



図 2.5 磁気増幅器入力-出力特性  
Fig. 2.5 Input-output characteristics of magnetic amplifier.

図 2.5 は野村発電所向けの水位調整器用磁気増幅器の入力-出力電流特性である。入力電流が  $\pm 0.5 \text{ mA}$  以上になれば負荷制限用電動機は起動する。

### 3. 解析

この水位調整器は前項で述べたように水位の変化とともにウキに連動してまわる ポテンショメータ の回転角に、ア

磁気増幅器形電気式水位調整器・岡本・渡辺

クチャーナの負荷制限用電動機に連動し、負荷制限度に比例してまわる ポテンショメータ の回転角を、追従させる方式をとっている。水位調整器運転中は、負荷制限用電動機運転を行なっているので、負荷制限度により導翼開度は決定される。ここに述べるのは、水位検出の ポテンショメータ の回転角から、負荷制限度に比例する ポテンショメータ の回転角までの動作の解析である。なお調速機は三菱造船長崎造船所製の 38 形調速機である。

図 3.1 にその ブロックダイヤグラム を示している。

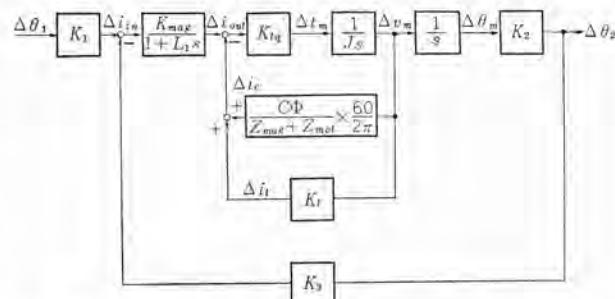


図 3.1 水位調整器のブロックダイヤグラム（水位検出用 ポテンショメータ 回転角から負荷制限度に比例した ポテンショメータ 回転角まで）

Fig. 3.1 Block diagram of water level regulator.

この図の中の各記号を説明すると

$\Delta\theta_1$ =水位の変化とともに回転する ポテンショメータ WLTR の回転角の変分 %

$\Delta i_{in}$ =水位変化検出用 ポテンショメータ の回転に比例して出る電流の変分 %

$\Delta i_{out}$ =磁気増幅器からの出力電流の変分 A

$\Delta t_m$ =負荷制限用電動機 77M の出力回転力の変分 g-m

$\Delta v_m$ =負荷制限用電動機の回転速度の変分 rad/sec

$\Delta\theta_m$ =負荷制限用電動機の回転角度の変分 rad

$\Delta\theta_2$ =負荷制限用電動機に連動し、負荷制限度に比例してまわる ポテンショメータ GPTR の回転角の変分 %

$\Delta i_e$ =負荷制限用電動機の回転とともに発生する逆起電力によって流れる電流の変分 A

$\Delta i_t$ =負荷制限用電動機に直結した直流式回転計発電機 TG からの出力電流の変分 A

各伝達関数を説明すると

$K_1$ =水位検出用 ポテンショメータ の伝達関数

$K_{mag}$ =磁気増幅器の伝達関数  
 $1 + L_1 s$

$K_{mag}$ =磁気増幅器の増幅度

$L_1$ =磁気増幅器の時定数

$K_{tq}$ =負荷制限用電動機の回転トルクの伝達関数

$\frac{1}{J_s}$ =負荷制限用電動機の回転トルクから回転速度までの伝達関数

$J$ =負荷制限用電動機の慣性能率

$\frac{1}{s}$ =負荷制限用電動機の回転速度から回転角までの伝達関数

$K_s$ =負荷制限用電動機回転角からポテンショメータ回転角までの伝達関数

$\frac{C\Phi}{Z_{mag}+Z_{mot}} \times \frac{60}{2\pi}$ =負荷制限用電動機の回転とともに発生する逆起電力により流れる電流の伝達関数

$\Phi$ =負荷制限用電動機の每極の磁束数

$C$ =負荷制限用電動機の逆起電力が、回転数と、極の磁束数の積に比例としたときの比例定数

$Z_{mag}$ =磁気増幅器の出力端子から磁気増幅器をみたインピーダンス

$Z_{mot}$ =磁気増幅器の出力端子から負荷制限用電動機をみたインピーダンス

$K_t$ =負荷制限用電動機直結の回転計発電機の伝達関数

$K_s$ =負荷制限度に比例してまわるポテンショメータの回転角から、出力電流までの伝達関数

各定数の値をかくと次のようになる。ただしこの値は水位調整器を、水位 30 cm の変化に対して、導翼が全閉から全開まで変化するように整定し、かつ感度を水位変化の全行程の 2% としたときの値である。

$$K_1 = 2.5 \times 10^{-4} \text{ A}/\%$$

$$K_{mag} = 400 \text{ 無次元}$$

$$L_1 = 0.1 \text{ sec}$$

$$K_{tq} = 40 \text{ g-m/A}$$

$$J = 0.69 \text{ g-m.sec}^2 \text{ ただし後述のように補正}$$

$$K_g = 3.21 \times 10^{-3} \%/\text{rad}$$

$$\frac{C\Phi}{Z_{mag}+Z_{mot}} \times \frac{60}{2\pi} = 5.7 \times 10^{-3} \text{ A.sec/rad}$$

$$K_t = 1.92 \times 10^{-6} \text{ A.sec/rad}$$

$$K_s = K_1$$

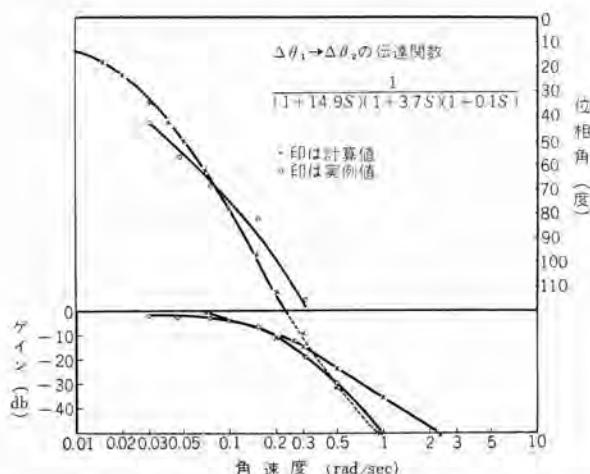


図 3.2 水位調整器のボード線図(図 3.1 の範囲)

Fig. 3.2 Bode diagram of water level regulator.

以上の数値を用いてボード線図を作ると図 3.2 のようになる。

負荷制限用電動機の回転力から回転速度までの、伝達関数は厳密には

$$\frac{1}{Js+F}$$

とするべきであるが、 $F$ (制動係数)は略した。また  $J$ は周波数応答試験の結果から、等価的に大幅に補正した。また  $K_{tq}$ ,  $\Phi$ ,  $Z_{mag}+Z_{mot}$  の値は使用範囲では定数とみなした。

## 4. 試験

### 4.1 周波数応答試験

3 項に記載した範囲での周波数応答試験を行ない、その結果を、図 3.2 にあわせて記入した。またループ伝達関数からゲイン余裕を求めるとき、-45 dB, 位相余裕を求めるとき、79°30' となり、やや安定に過ぎ、かつ速応度がほしい。

### 4.2 現地での過渡応答試験

昨年 10 月四国電力野村発電所において、納入した磁気増幅器形電気式水位調整器の過渡応答試験を行なって下記のような過渡状態でも水車が乱調を起すことなく安定に運転されることを確かめた。

水車は新三菱重工神戸造船所製の横軸チューブラカプラン水車であり、調速機は同所製のスピーダレス調速機である。

また、水槽のみの貯水量は溢流天端までは 85.6 m³、溢流天端から 5 cm 下がった調整基準面 0 cm の所までは 82.3 m³、また 35 cm 下がった調整基準面から -30 cm の所までは 62.5 m³ であり、水路を含めたときの貯水量はそれぞれ 3,034 m³, 2,779 m³, 1,506 m³ である。またこの水槽への流入水量は最大 4.1 m³/sec、常時 1.1 m³/sec、最小 0.71 m³/sec という小さな水槽である。

過渡応答試験は

(1) 水槽を満水にし水位調整用送量器のウキを -24 cm に固定してガイドベン開度を 20% (無負荷開度) とし急にウキを離してガイドベンを開かせた場合

(2) 水槽水位を -24 cm にし水位調整用送量器のウキを 0 cm に固定してガイドベン開度を 100% (全負荷開度) とし急にウキを離してガイドベンを閉じさせた場合の両方について

a. ガイドベン 全閉  $\leftrightarrow$  全開時間 53.5 秒

ランナベン 全開時間 37 秒 全閉時間 35 秒

b. ガイドベン 全閉  $\leftrightarrow$  全開時間 53.5 秒

ランナベン 全開時間 46 秒 全閉時間 53.5 秒

の状態で、感度 4%, 3%, 2% に変えて、水槽水位、

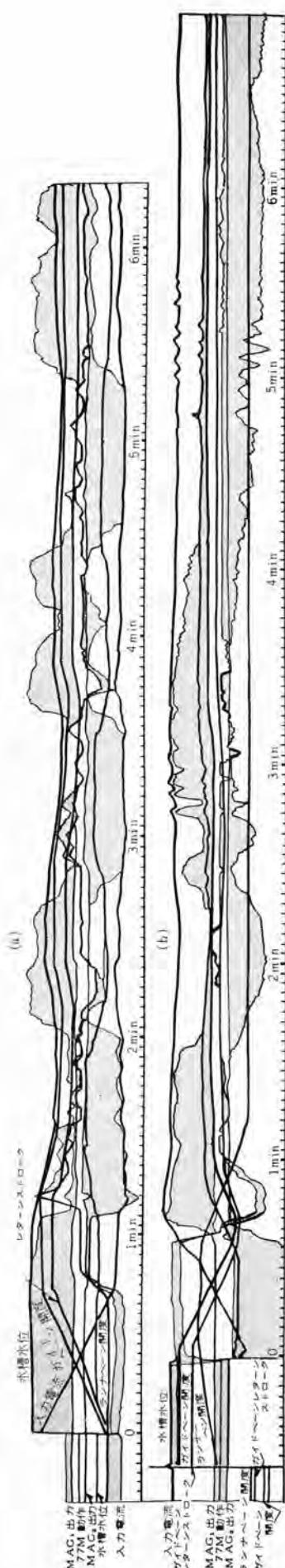


図 4.2 過渡応答試験記録  
Fig. 4.2 Initial response test record.

- 測定箇所  
OSC 1. 水槽水位  
2. ガイドペーン開度  
3. マグアシブ入力電流  
4. ガイドペーンレターンストローク  
5. ランナペーン開度  
6. マグアシブ(MAG1)出力電流  
7. " (MAG2) "  
8. 負荷制限電動機(77 M)の動作

ガイドペーン開度、磁気増幅器入力電流、ガイドペーンレターンストロークの動き、ランナペーン開度、磁気増幅器出力電流および負荷制限用電動機の動作をオシロで撮影した。図4.1はこの過渡応答試験の説明図であり、図4.2(a)は上記(1)および(b)の条件で感度3%のときの記録であり、図4.2(b)は上記(2)および(b)の条件で感度4%のときの記録である。ただし、この場合の流入水量は約1m<sup>3</sup>/secであった。

この過渡応答試験の結果、水槽水位が急激にガイドペーンの無負荷開度に相当する水位から全負荷開度に相当する水位に変化した場合、また全負荷開度に

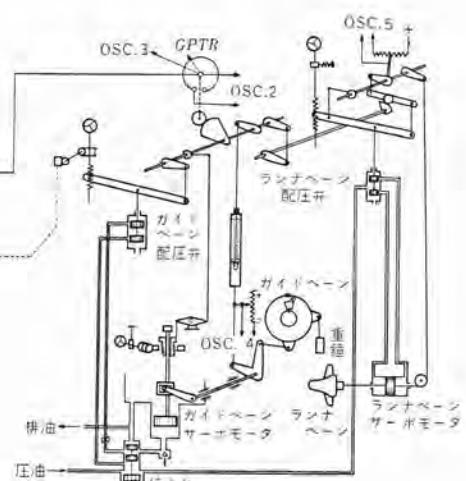


図 4.1 過渡応答試験説明図  
Fig. 4.1 Explanation diagram of initial response test.

相当する水位から無負荷開度に相当する水位に変化した場合でも水車が水槽への流入水量に対応するガイドペーン開度になって安定した運転状態になるまで約3.5~7分であった。

野村発電所の場合は水槽の容量が小さく、またカプラン水車であるためにガイドペーンが70%以上の開度ではランナペーンが急速にしかもガイドペーンよりおくれて動くため、水槽水位の変化が大きく、上述のような時間がかかったが、水槽が大きければ過渡状態で安定に達するまでの時間はもっと短くなるし、またフランシス水車の場合にはガイドペーンのみであるからなおいっそう早く安定状態に達すると思われる。

## 5. む す び

以上、磁気増幅器を使用した無接点式の電気式水位調整器の構造・動作・解析および試験結果について述べたが、この水位調整器は従来までの接点式と違って保守点検が容易であり、しかも水槽水位および調速機負荷制限位置検出用のポテンショメータを除けば半永久的な構造であることを特長としている。また現地試験でもきわめて良好な動作を示している。

終りにこの電気式水位調整器の試験にご協力賜わった四国電力本社、同愛媛支店、同野村発電所、新三菱重工業神戸造船所、三菱造船長崎造船所の関係各位ならびに当所品質管理課、城江技師および田畠技師に深く感謝するものである。

# 改良形遠隔測定装置

無線機製作所

北垣成一\*・上田重夫\*\*  
室田慎\*\*\*・竜田直紀\*\*\*

## Improved Telemetering Equipment

Electronic Works

Seiichi KITAGAKI・Shigeo UEDA  
Shin MUROTA・Naonori TATSUTA

Mitsubishi telemetering equipment has been developed based on the Freq-O-Tron system introduced from Westinghouse. Experience from actual operation and the latest result of study by all parties concerned have been taken into the design to arrive at the present improved frequency type telemetering equipment. Outstanding improvements are: the transmitter is built of a complete closed loop servo system, a saturable core is used for the frequency detecting element, and a frequency of crystal controlled oscillator is employed for the standard of base DC voltage. The accuracy and reliability have been elevated considerably.

### 1. まえがき

当社の遠隔測定装置<sup>(1)</sup>は Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）の Freq-O-Tron 方式を導入して開発したものであるが、このたび、過去の実用結果にもとづき、回路方式に根本的な検討を加え、さらに、W 社の最近の研究結果<sup>(2)</sup>をも取り入れてその改良形を完成した。以下、この装置の方式、特性の概要を報告する。

### 2. 方式

この遠隔測定装置は、被測定量に比例した周波数を発生する送量器と、指示装置をはたらかせるために伝送されてきた周波数をそれに比例した直流電流に変換する受量器とによって構成される。

この装置のおもな特長を列記するとつぎのとおりである。

- (1) 送量器は入力が直流ではたらくため、被測定量をそれに比例した直流に変換できる変換器があれば、この系で任意の量を遠隔測定できる。
- (2) 被測定量を周波数に変換して伝送するこの方式は、電力線搬送、通信線搬送、無線搬送など各種の搬送装置による多重伝送、長距離伝送に適している。
- (3) この方式では、送量器側でも受量器側でも測定量の総合、再伝送を行なうことは容易であり、変換器または受量器の出力電圧を単に相加すればよい。つぎに改良した主要点は
- (1) 送量器の出力の一部を、出力周波数に比例した直流に変換して入力側に帰還し、送量器全系を完全な閉ループサーボ系として、出力周波数の安定度の向上をはかった。

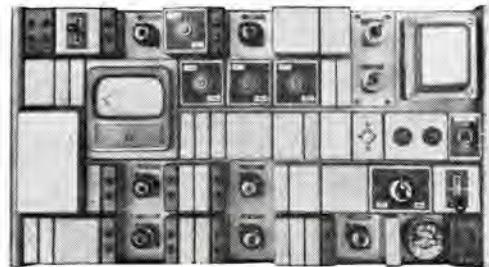


図 2.1 TM-T2 形送量器  
Fig. 2.1 Type TM-T2 transmitter.

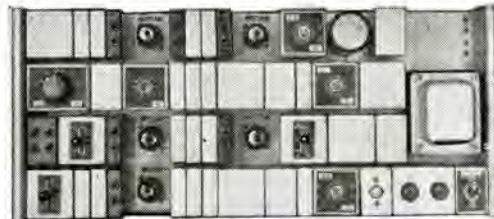


図 2.2 TM-R3 形受量器  
Fig. 2.2 Type TM-R3 receiver.



図 2.3 標準発振器  
Fig. 2.3 Standard oscillator.

- (2) 送受量器に可飽和鉄心による周波数検出回路を使用し、長期間の安定度が向上した。
  - (3) 送受量器の基準直流電圧の標準として、水晶制御発振器の周波数を用い、基準電圧の安定度を向上した。
  - などである。
- 図 2.1～図 2.3 はそれぞれ改良形 TM-T2 送量器、TM-R3 形受量器および標準発振器の外観である。

### 3. 動作原理

この遠隔測定装置は送量器と受量器で構成され、被測定量に比例した直流電圧を発生するような変換器とともに用いられる。送量器は変換器の直流出力電圧をそれに比例した15~35 c/sの周波数に変換する。この周波数は各種搬送装置によって伝送される。一方、受端では伝送されてきた周波数を受量器によってその周波数に比例した直流に変換し、計器または記録計を動作させる。

#### 3.1 送量器

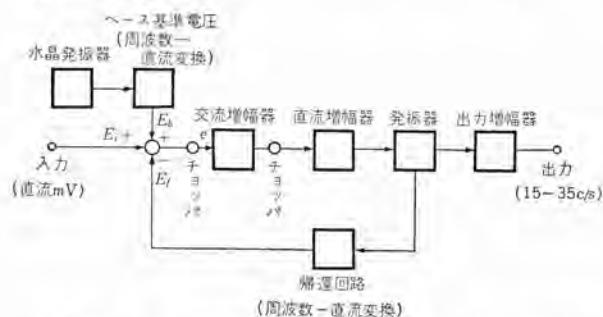


図 3.1 送量器のブロックダイヤグラム  
Fig. 3.1 Block diagram of transmitter.

図 3.1 は送量器のブロックダイヤグラムである。送量器は高利得交流増幅器、変復調器として用いるチョッパ、直流増幅器、発振器、出力増幅器、直流帰還回路および送量器のベース周波数を定めるためのベース基準電圧回路とかなりたっている。入力電圧とベース電圧との和は帰還電圧とほとんど平衡し、その微少誤差は直流誤差信号eとなる。この誤差信号はチョッパ増幅器で変調、增幅、復調される。すなわちチョッパの同期周波数の各半サイクルごとに入力直流電圧は極性が転換されてチョッパ周波数の交流に変換され、この交流信号は高利得のCR結合増幅器によって増幅されて、その出力はふたたびチョッパによって同期整流される。

チョッパ増幅器の直流出力はさらに一段増幅された後、直流制御マルチバイブルーティ形発振器の周波数制御に用いられる。マルチバイブルーティの15~35 c/sの出力は増幅後伝送

系にあたえられる。

マルチバイブルーティの出力の一部は入力と比較するため、直流電圧に変換される。周波数の直流への変換は図3.2に示した帰還回路で行なわれる。周波数検出素子は矩形ヒステリシス特性の磁心を用いた飽和トランジスタである。プリシップルドライバ段はマルチバイブルーティの出力周波数の半サイクルごとに鉄心を正の飽和領域から負の飽和領域まで駆動する。その結果、一定量の磁束が一定数の巻線を切るために、一定のvolt-second areaをもった交流パルスが二次巻線に誘起される。このパルスは整流済みされて周波数に比例した直流電圧に変換され、チョッパ増幅器の入力側に入力電圧およびベース電圧とちょうど逆位相の電圧として帰還される。磁心の温度係数を補償するために飽和トランジスタ出力に直列に適当な特性のサーミスタが接続してある。

周波数検出素子として飽和トランジスタを使用しているため、本質的に電源電圧変動、真空管の劣化の影響の少ない帰還回路を構成することができるが、さらにこれらによる偏差を少なくするため、飽和トランジスタ出力に直列に交錯シートコア鉄心のコイルを挿入している。

ベース電圧は送量器入力が零のときのベース周波数を与えるために必要である。この電圧を調整することによりベース周波数を15~35 c/s帯域の任意の周波数に整定することができ、したがって入力電圧の極性に無関係に適用できる。ベース電圧は水晶発振器によって基準周波数を発生させ、帰還回路と類似の回路によって直流電圧に変換して与えている。

送量器は図3.1から明らかなように完全な閉ループ系として動作する。この系は制御要素として比例素子を用いた定位制御系に属するものである。

#### 3.2 受量器

つぎに図3.3は受量器の主要回路図である。この回路の主要部は飽和トランジスタ周波数検出回路、整流回路、差動抵抗ブリッジ、およびバイアス基準電圧回路である。

伝送されてきた15~35 c/sの周波数は増幅整形の後、前述の送量器帰還回路とまったく同様の回路で、直流に

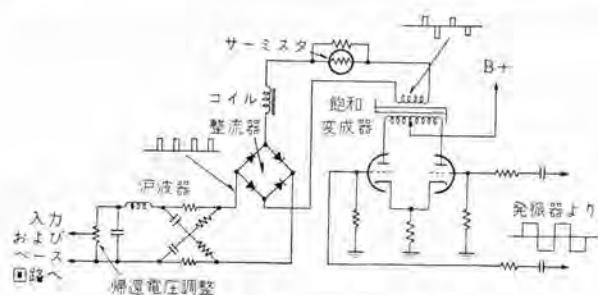


図 3.2 受量器主要回路  
Fig. 3.2 Transmitter feedback circuit.

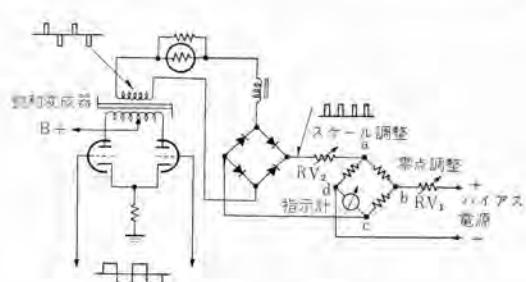


図 3.3 受量器主要回路  
Fig. 3.3 Receiver main circuit.

変換される。この直流電圧は差動ブリッジの ac 点に与えられる。送量器のベース電圧と同様に水晶制御基準周波数より変換して作られたバイアス電圧はブリッジの bd 点に与えられ、ベース周波数でブリッジを平衡させる。ブリッジは ab 辺と cd 辺で平衡し、これらの辺の電流は入力周波数に比例する。計器または記録計は cd 辺に接続する。左零の場合にはブリッジは 15 c/s で平衡させ、中心零の場合には 25 c/s で平衡させる。可変抵抗器 RV<sub>1</sub> は零点を、RV<sub>2</sub> はスケールスパンを調整する。

受量器飽和トランジストの出力を全波整流して指示計を振らせる場合、整流出力に含まれたりップル成分による指示計の振動を小さくするために、整流器のあとに沪波器を挿入することは応答速度がおそくなる点から好ましくない。TM-R3 形受量器は周波数 15~35 c/s であるから、整流後に沪波器を入れなくても指示計の時定数によって、指針の振動を抑えることができるが、ときには、5~25 c/s 程度の周波数に対して応答することが要求されることがある。また、受量器の出力を電子管式自動平衡形計器で記録するときにはわずかなリップル成分が残っていても記録計のチョッパ周波数の整数分の一の周波数のところで、その指示が大きくふらつくことがある。時定数回路を用

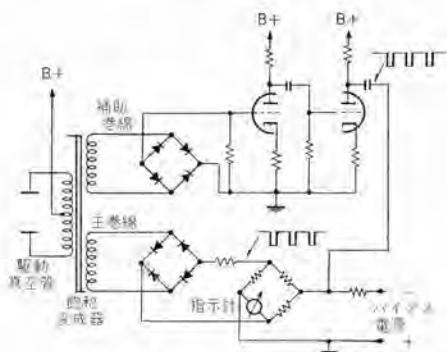


図 3.4 リップル相殺回路

Fig. 3.4 Ripple cancel circuit.

いることなくリップルを除く方法として図 3.4 に示す回路<sup>(3)</sup>について実験を行ない、相殺回路のないときに比べて指針の振動を 1/4 程度に小さくすることができた。この原理は飽和トランジストの二次側に主巻線のほかにこれと同様な補助巻線を設け、その出力を全波整流し、直流成分を阻止して、交流成分だけを取り出し、このリップル電圧を、主出力直流成分に重複しているリップル電圧と同一振幅、反対位相にして加え合わせ、時間遅れなくリップルを相殺しようとするものである。

## 4. 主要特性

### 4.1 送量器

送量器の主要性能はつぎのとおりである。

#### (1) 精度

標準状態(定格電源電圧、定格電源周波数、温度 20°C)において最大変化量の 0.5% 以内、なお、電圧変動 ±10%，周波数変動 ±5%，温度 ±20°C に対しても上記の精度を保持する。

#### (2) 応答速度 0.5 秒以下

#### (3) 直線性

15~35 c/s の帯域にわたり高度の直線性を有し、最大偏差は最大変化量の 0.5% 以下である。

#### (4) 最大入力電圧

標準 準 40 mV 直流

最高感度時 20 mV 直流

最低感度時 60 mV 直流

#### (5) 出力レベル

標準 +5 dbm, 600 Ω

0~+10 dbm の間 1 dB ステップ 可変

## 4.2 受量器

受量器の主要性能を列記するとつきのとおりである。

#### (1) 精度

標準状態において最大変化量の 0.5% 以内、なお、電圧変動 ±10%，周波数変動 ±5%，温度変化 ±20°C に対しても上記の精度を保持する。

#### (2) 応答速度 0.5 秒以下

#### (3) 直線性

15~35 c/s の帯域にわたり高度の直線性を有し、最大偏差は最大変化量の 0.5% 以下。

#### (4) 入力信号波

受量器の入力回路に復調器を実装しており、送量器出力周波数で 100% 振幅変調された搬送波に対して動作するようになっている。

#### (5) 入力搬送波 レベル

標準 0 dbm 600 Ω (搬送波)

ただし、入力 レベル -20 dbm ~ +10 dbm の変化に対しても正常な動作をする。

#### (6) 出力

出力は指示計 (1,500 Ω 1 mA) および記録計を接続することができる。

## 4.3 標準発振器

標準発振器は前述のとおり送受量器のそれぞれ基準直流電圧の電圧標準周波数を発生する水晶制御発振器である。この周波数はまた受量器の較正周波数として利用している。

#### (1) 発振周波数 15 c/s および 30 c/s 矩形波

#### (2) 周波数確度

温度 0~40°C、電源電圧変動 ±10%，電源周波数変

動  $\pm 5\%$  において  $\pm 5 \times 10^{-5}$  以下

(3) 出力電圧

負荷  $100 \text{ k}\Omega$  に対して  $1.5 \text{ V}$  以上

#### 4.4 総合性能

(1) 総合精度

一次計測器および指示計または記録計を除いた総合平均誤差は標準状態において、最大変化量の  $\pm 1\%$  以下、なお、標準状態からの変動が、電圧  $\pm 10\%$ 、周波数  $\pm 5\%$ 、温度  $\pm 20^\circ\text{C}$  に対しても上記の精度を保持する。

(2) 総合応答速度

送量器と受量器の組合せで、一次計測器および指示計、記録計を除けば総合応答速度は 1 秒以下である。

一次計測器および指示計、記録計を含めての応答速度は、使用する計器の応答速度によって左右されるが、大体 2 秒程度である。

最後に実験結果の一例を示す。

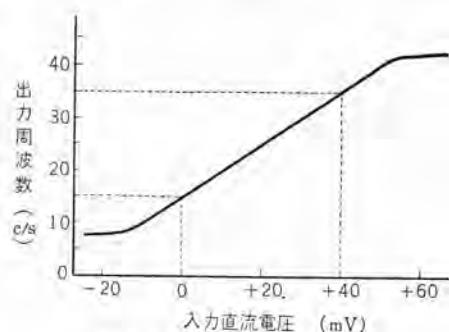


図 4.1 送量器の入出力特性

Fig. 4.1 Transmitter input-output characteristic.

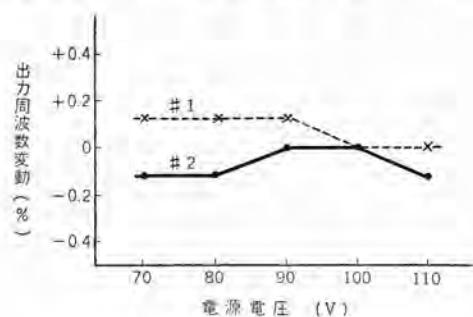


図 4.2 送量器の電源電圧変動特性

Fig. 4.2 Transmitter error for line voltage variation.

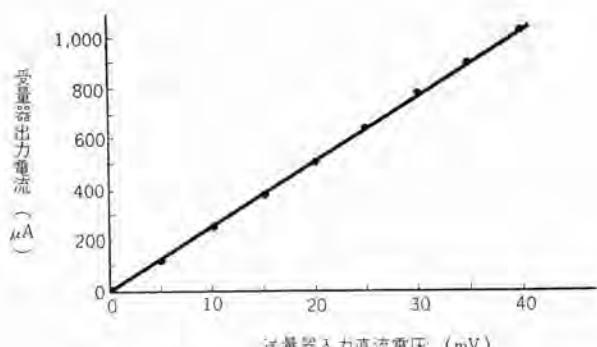


図 4.3 送・受量器総合入出力特性

Fig. 4.3 Over-all input-output characteristic.

図 4.1 は送量器の入出力特性を示したものである。入出力特性は S 字形を示しているが、15~35 c/s の範囲は完全な直線となっている。図 4.2 は送量器出力の電源電圧変動特性で、 $\pm 10\%$  の変動に対して指示誤差は 0.2 % 以下である。

図 4.3 は送受量器総合入出力特性を示したものである。

#### 5. む す び

ここに述べた改良形周波数式遠隔測定装置は、周波数検出素子として可飽和鉄心を用いた、精度、信頼度が高く、かつ多重、長距離伝送に適した方式である。

なお、現在、この方式による遠隔測定装置のトランジスタ化を進めているが、それについてあらためて紹介することにしたい。

最後にこの装置の改良に当たって種々有益な助言を賜わった中国電力株式会社給電課の方々に深謝申上げる。

#### 参 考 文 献

- (1) 杉多重雄・竜田直紀：搬送式遠隔測定装置、「三菱電機」29, No. 7, p. 29 (昭 30).
- (2) T. Barabutes: An Improved Electronic Telemetering System Employing Saturable Cores, AIEE Conference Paper 57-897.
- (3) 特許出願中.

# カットアウトリレー AN 3025-300

名古屋製作所 兼 松 豊\*・都 築 勇 吉\*

## AN 3025-300 Cutout Relays

Nagoya Works Yutaka KANEMATSU • Yūkichi TSUZUKI

AN 3025-300 cutout relays are rated at 28 V 300 A DC and are used for aircraft DC generators, connected on a circuit to storage batteries. Upon the generator voltage reaching above 18 volts and in the event of 0.35 volts higher than the bus voltage, the cutout operates to close the charging circuit. If reverse current of more than 9 amp. flows into the generator from the batteries from one cause or another, it functions as a reverse current relay by immediately interrupting the circuit. Being for use on aeroplanes, the cutouts are demanded to be of small size and light weight. Furthermore they must be built withstand any severe condition in aviation and giving full play to their high performance under any circumstance during the flight.

### 1. まえがき

わが国の航空工業界も新三菱重工(株)の F-86F ジェット戦斗機、川崎航空機工業(株)の F-33 ジェット練習機、富士重工(株)の T1A ジェット練習機の国産と着々進歩した。とくに川崎航空機(株)では T-33 ジェット練習機の計画機数を完成し、あらたに P2V-7 対潜哨戒機の製作を開始している。この間に得られた技術的成果とこれによって蓄積された経験は多大なものがあり、ひとり航空機工業界のみならず他の工業界に与えた寄与も甚大なものがあったと信ずる。

これから述べる カットアウトリレー AN 3025-300 は上記 T-33A ジェット練習機用として開発され、T1A ジェット練習機にも使用できるもので、電源設備の制御および保護を行なう重要な機器の一つである。カットアウトリレーは機内に搭載している直流発電機と蓄電池の間に接続され、直流発電機の電圧が規定値に達しかつ母線電圧より規定された値だけ高いばあいのみ、充電回路を閉成するとともに蓄電池から発電機へ逆流を生じたばあい、ただちに回路をシャン断する逆流リレーである。

航空機用電装品は一般に米軍規格によって作ることを要求され、かつ認定試験に合格して始めて使用可能となるものである。この カットアウトリレー もまったく同様で寸法・重量・材料・性能など全般にわたって非常にきびしく規定されあらゆる航空環境下においても十分性能が發揮されるよう要求され、さらに認定試験合格後も、初回検査、受入検査など品質維持の規正があり、その安全性と信頼性の保持に努めていることでは他の工業品にその例を見ない点がはなはだ多い。

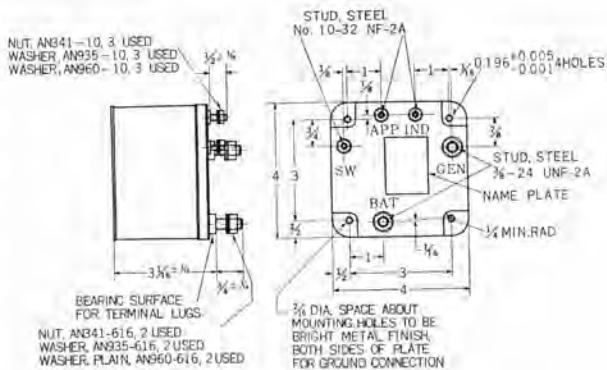
カットアウトリレー の開発にあたっては、材料、構造などについて慎重に検討し、数度の試作および試験を繰り返した後 34 年 3 月認定試験を合格し日下量産中である。

### 2. 仕 様

#### 2.1 定 格

- (1) 電圧 DC 28 V
- (2) 電流 300 A

#### 2.2 条 件



ALL TERMINAL WILL BE MARKED IN ACCORDANCE WITH THE FOLLOWING TABLE:

MARKING	IDENTIFICATION	LETTER HEIGHT (INCHES)
BAT	BATTERY, POSITIVE TERMINAL	7/32
GEN	GENERATOR, POSITIVE TERMINAL	
SW	REMOTE CONTROL SWITCH	
APP	ACCESSORY POWER PLANT, POSITIVE	1/8
IND	INDICATOR TERMINAL	

DIMENSIONS IN INCHES

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED TOLERANCES:

FRACTIONS  $\pm 1/64$

DECIMALS  $\pm .005$

図 2.1 カットアウトリレー AN 3025-300 外形寸法図

Fig. 2.1 Outline dimensions of AN 3025-300 cutout relay.



- (16) 衝撃 規格に合った試験機で 25 g の弾性衝撃を 3 方向に与え接点のオドリが 2 ミリ秒以内であること。

(17) 加速度 10 g の加速度を加え接点が開および閉を維持していること。

(18) 振動 最大振幅 0.06~0.07 インチ、周波数 10~55 c/s 周波数変化 1~5 分で 29 V を印加し、2 時間無励磁で 1 時間を各 3 方向に加え、接点が開および閉を維持していること。

(19) 砂ジン 規格に合った試験機で砂ジンを 25°C、8 時間吹付け調整に合格すること。

(20) 耐湿 規格に合った試験方法で、256 時間、相対湿度 95 %, 71°C まで繰り返し調整、耐圧に合格すること。

(21) 耐菌 規格に合った試験方法で 5 種類の菌をふりかけ、室温 32°C 相対湿度 95 % で 28 日間放置しカビが生じないこと。

(22) 塩霧 規格に合った試験方法で 50 時間放置し、約 57°C で 6 時間乾燥し調整に合格すること。

(23) 防爆 規格に合った試験方法で、バタンを封入し、その中で 28 V 300 A を開閉し点火しないこと。

### 3. 機 構

図3.1は外観を示し図3.2はケースを取はずした写真である。図3.2は内部構造(ケースを取はずす)を示す写真でこれにより構造説明を行なう。カートテウトリレーの機構は全部絶縁台にコンパクトに取付けられている。絶縁台にGEN, BAT, APP, SW, INDの5本の接続用スタッドが取付けられ、これに表板が取付き図3.1のように各スタッドの記号が刻印されている。その反対側にバッキン、絶縁板AがAPP, SW, IND接続用スタッドと2本のビヨウで取付けられ図3.1のようにケースがかぶさる。ま



図 3.1 カットアウトリレー AN 3025-300 外観

Fig. 3.1 Appearance of AN 3025-300 cutout relay.



図 3.2 カットアウトリレー AN3025-300 ケースを取はずした内部構造

Fig. 3.2 Interior construction of AN 3025-300 cutout relay with case removed.

た絶縁台に固定接点部分 AB ワキ板および電流コイルが取付けられ、かつ主接触器が 4 本のネジで取付けられている。主接触器の上に絶縁板 B が同じく 4 本のネジで取付けられて、その両端に電圧リレー 差動リレーが取付けられ、おのおの電圧コイル 差動コイルが取付けられ、かつバイアスコイル用直列抵抗が取付けられている。差動リレーの差動コイルは同軸上にバイアスコイルが巻かれており、それが電流コイルの中を通っているため差動リレーは三つのコイルにより動作する。パッキンはケースを取付けたとき完全防ジンとするためで、その必要性は各リレーが精巧に作られ永久磁石を使用したリレーを保護するためである。以上のようにカットアウトリレーは 3 個のリレーがコンパクトに組立てられている。

### 3.1 主接触器

主接触器は プランジャー 形で二つに分割できる鉄心の中にコイル および 固定鉄心が 納められ両側から継鉄取付板によって 固定されている。可動鉄心は 作動軸に ネジ込み式となつてお り 作動範囲を適当に調整できる。可動鉄心と 固定鉄心の間に復帰用 バネ が はい つてお り、作動軸の先端に 可動接点部分が 取付いて 接点圧力用 バネ を 保有し、接点圧力、接点間隔を 調整できる構造である。

可動固定鉄心の接触面は截円錐として性能にもっとも合致するように設計されている。

### 3.2 電圧リレー

図3.2に示すような永久磁石を利用したリレーで、小形かつ動作が確実で調整容易に設計され、かつ精巧に作られている。図示のように直方形の永久磁石を2個の軸受でささえ軽く回転できるようになって継鉄ABの間に取りめられており、それを動作させる電圧コイルは取はずし自由の鉄心が通されナットで固定されている。接触指バネおよび可動接点がリンクで固定され永久磁石と一体

となっている。固定接点は固定接点調整ネジに取付けられ接点間隔を調整できる。調整ネジAとBによって永久磁石の作動角度を調整できる。調整パネは調整ネジCにより力を自由に調整できる。

### 3.3 差動リレー

差動リレーは電圧リレーと同一の構造であるが調整パネ、調整ネジCおよび取付金がない。そして電圧コイルの代りに差動電圧コイル、バイアスコイルおよび電流コイルが同軸上に巻かれている。

## 4. 動作説明

### 4.1 主接触器

コイルに電圧が励磁されると主接触器の接点が投入する。

### 4.2 電圧リレー

電圧コイルが励磁されると電圧リレーの接点が投入するように永久磁石の極性と電圧コイルによる磁束の方向が定められ、また無励磁になると調整パネによって自動復帰する。

投入電圧は調整ネジAにより、開放電圧は調整ネジBにより調整し各ナットにより固定する。

### 4.3 差動電圧リレー

差動電圧リレーの動作は差動電圧コイルとバイアスコイルおよび電流コイルにより動作し、バイアスコイルは常時接点を投入する方向に作用し、差動電圧コイルと電流コイルはG電圧がB電圧より高い場合接点を閉じる方向に作用しているが、逆流が流れると接点を開く方向に作用するように永久磁石の極性と各コイルの磁束方向が定められ、無励磁になると接点が開くよう調整されている。

### 4.4 総合動作

カットオウトリレーは主接触器と電圧リレー・差動リレーの総合動作であり、その内部配線は図4.1である。動作説明を明解にするため接続図を図4.2に示し、これにより

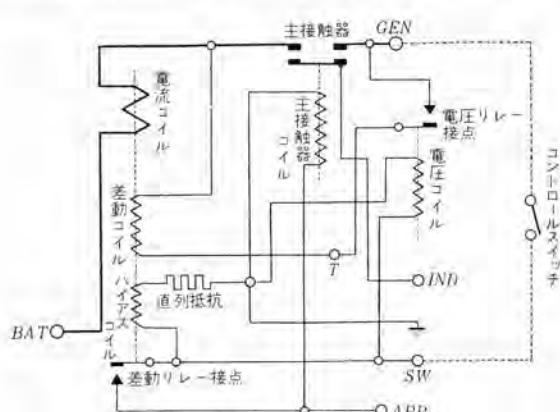
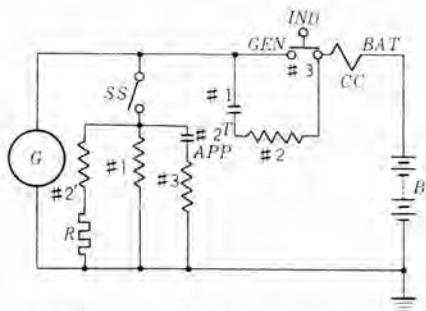


図4.1 カットオウトリレー配線図

Fig. 4.1 Wiring diagram of cutout relay.

カットオウトリレー AN 3025-300・兼松・都築



G 直流発電機 B蓄電池 CC電流コイル(シリーズコイル) SSコントロールスイッチ #1 電圧リレー #2 差動電圧リレー #3 主接触器 #2' バイアスコイル R直列抵抗 SW・GEN・APP・IND・BAT・Tは端子符号を示す。

図4.2 カットオウトリレー操作回路接続図  
Fig. 4.2 Connection diagram of operating circuit of cutout relay.

動作説明を行なう。

(1) SSを投入すると

#1と#2'が励磁されるG電圧が規定値 $18^{+0}_{-0}$ Vになっておれば#1接点が投入する。

(2) #1接点が投入すると

#2が励磁され#2'を#2の和動でG電圧がB電圧より $0.5 \pm 0.15$ V高ければ#2接点が投入する。

(3) #2接点が投入すると

#3が励磁され#3接点が投入し#2は無励磁となり#2'の励磁で#2接点は保持されている。これで充電回路を形成する。#1の動作電圧は#3の動作電圧より必ず高く調整してある。

(4) 逆流が流れると

CCに $9 \sim 25$ A流れると#2'の励磁に打勝って#2接点を開く。そのため#3は無励磁となり#3接点を開き充電回路を開く。

(5) 逆流なくGを停止した時

#2は無励磁となり、Gが無電圧になると#2'のコイルも無励磁となり#2接点は開く。そのため#3接点が開き充電回路は切れる。

## 5. 性能

### 5.1 調整

調整の試験は電圧リレー、差動電圧リレーおよび主接触器の動作を確認するもので、各試験の後には必ず繰り返して行なわれる。試験には振動、衝撃を加えたり相当酷な温度変化にさらされるため電圧リレー、差動電圧リレーに使用されている永久磁石の選定には慎重を期し抗磁力、残留磁束が大きくかつ安定性のあるものを選定した。各負荷試験後の調整試験結果は表5.1のよう少々バラツキはあるが良好な結果である。

### 5.2 電圧低下

このリレーに関しては規格で非常に電圧低下がきびし

表 5.1 各負荷試験後の調整試験結果

試験条件	周囲 温度 (°C)	電圧リレー 投入電圧 (V)	差動電圧 (V)	主接觸器 投入電圧 (V)	主接觸器 落下電圧 (V)	逆流 (A)
試験前	25	19~20	0.45~0.55	—	—	14~16
	71	23~24	0.5~0.6	15~17	4~6	16.5~17
過負荷試験後	25	20.7~20.9	0.58	—	~	17~19
	71	24.32~24.33	0.62~0.63	17.3~17.4	6.1	16.6~17
サージロード試験後	25	20.4~20.8	0.55~0.56	—	—	16.3~17.3
	71	24.2~24.3	0.54	17.2~17.3	6~6.1	17.6~18.4
耐久試験後	25	19~20	0.48~0.51	—	—	17.4~18.5
	71	23.1~23.2	0.53~0.61	16.6~16.8	6.1~6.5	17.5~18.5
勝負荷試験後	25	21.1~21.2	0.47~0.55	—	—	15.6~17.3
	71	23.23	0.53	15.8~16.3	3.2	15.9~16.3
湿度試験後	25	19.9~20.1	0.46~0.47	—	—	23~25
	71	22.8~22.9	0.41~0.49	15~15.2	3.5~4.2	22~23
塗露試験後	25	19~19.2	0.4~0.5	—	—	20~22
	71	22.7~22.8	0.47~0.49	16.1	2.5~2.8	23.6~23.8
高温試験後	25	23.6~23.7	0.58~0.6	—	—	17.4~18.6
	71	—	—	19.9~20	6.5~6.8	—
砂ジン試験後	25	20~20.1	0.48~0.49	—	—	21~23
	71	23.2~23.3	0.49~0.51	14~15.5	4.7~4.8	21.5~22

く負荷試験後には必ずこの試験が行なわれている。この測定方法は GEN と BAT 端子間に定格電流 300 A を通電しその電圧降下を測定し、0.1 V 以下の規定であるがこの端子間には電流コイル、ワザギ板、固定接点部分、可動接点部分がありまた接続スタッドはステンレス系を使用するよう規格に指定されているため、その部分における電圧降下が相当大きくなるため、接点の接触抵抗を小さくする必要があった。一般に接点の接触抵抗は相当バラツクもので規格以内にすることは困難であった。また負荷試験における溶着、消耗なども考慮するとともに大きさ重量の制限に従って、接点圧力、接点間隔も制限を受けるためそれらを考慮し低圧力、低電圧および大電流用接点を選定し試験した結果良好であった。負荷試験後の電圧降下は試験前とほぼ同一で非常に良好である。

### 5.3 負荷試験

負荷試験のなかには過負荷、サージロード、誘導負荷、耐久などがありどの試験も苛酷であるがなかでもサージロードは図 2.3 のように ON と OFF の時間の割合が同じで非常に加熱し、絶縁材料などは耐熱用を使用した、とくに絶縁台はヒズミが出て実用に耐えない状態を起したり、接点圧力の不足、接点のオドリによって溶着を起す可能性があるためそれを解決する基礎試験を行なって検討し良好な結果を得た。その負荷試験のオシロを図 5.1 ~ 図 5.5 に示す。

### 5.4 絶縁

絶縁には普通の絶縁耐力とケース絶縁がある。ケース絶縁は特殊の試験で 1/2 インチ立方の銅を 982°C に加熱し、ただちにケースの内面に置いてそのまま常温になつてから AC 500 V に 1 分間耐えることが要求されている。これを解決するため良質な耐熱絶縁材料を使用し良好な結果を得た。

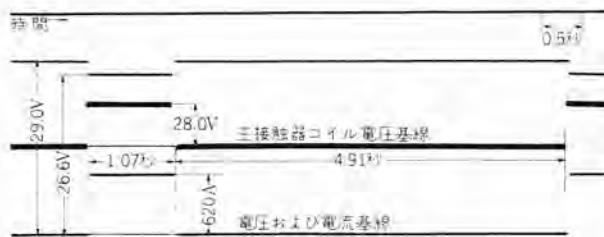


図 5.1 カットアウトリレー AN 3025-300 過負荷試験  
Fig. 5.1 Overload test of AN 3025-300 cutout relay.

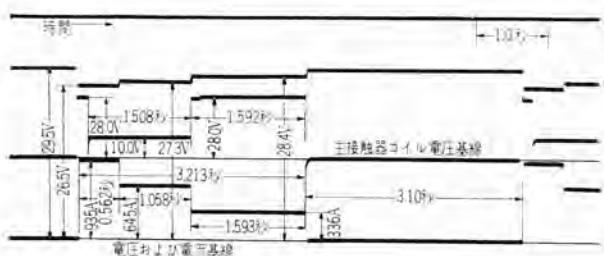


図 5.2 カットアウトリレー AN 3025-300 サージロード試験  
Fig. 5.2 Surge load test of AN 3025-300 cutout relay.

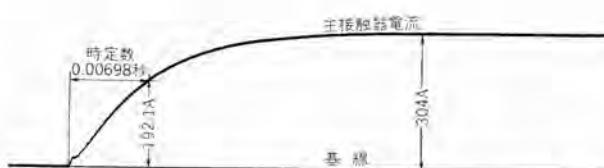


図 5.3 カットアウトリレー AN 3025-300 誘導負荷時定数  
Fig. 5.3 Inductive load time constant of AN 3025-300 cutout relay.



図 5.4 カットアウトリレー AN 3025-300 常気圧における誘導負荷試験  
Fig. 5.4 Inductive load test of AN 3025-300 cutout relay at normal atmospheric pressure.

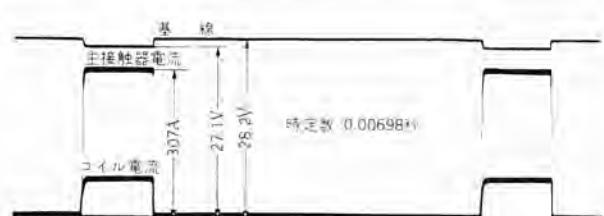


図 5.5 カットアウトリレー AN 3025-300 65,000 フィート相当気圧における誘導負荷試験  
Fig. 5.5 Inductive load test of AN 3025-300 cutout relay at atmospheric pressure corresponding to 65,000 ft.

## 5.5 リレー速度

リレー速度には主接触器の開閉速度とカットアウトリレーとしての開閉速度がある。主接触器の開閉速度は APP 端子とアース間に電圧を印加し、閉速度をまた無電圧として開速度を調べる要求で電磁オシロで測定した結果を図 5.6、図 5.7 に示す。またカットアウトリレーの閉速度は APP 端子とアース間に電圧を印加し、また主回路に逆流 250 A を流し開速度を調べる要求でオシロを図 5.8、図 5.9 に示す。オシロ速度から見て規格を十分満足することを確認できる。



図 5.6 カットアウトリレー AN 3025-300 主接触器投入速度  
Fig. 5.6 Main contactor closing speed of AN 3025-300 cutout relay.



図 5.7 カットアウトリレー AN 3025-300 主接触器開路速度  
Fig. 5.7 Main contactor opening speed of AN 3025-300 cutout relay.

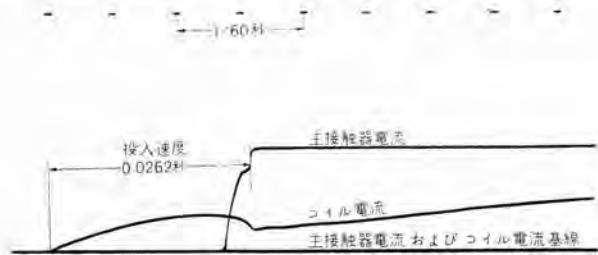


図 5.8 カットアウトリレー AN 3025-300 投入速度  
Fig. 5.8 Operating time of AN 3025-300 cutout relay (for closing).

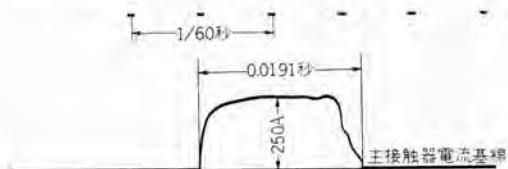


図 5.9 カットアウトリレー AN 3025-300 開路速度  
Fig. 5.9 Operating time of AN 3025-300 cutout relay (for opening).

## 5.6 シャ断試験

シャ断試験は一番難問題である。とくに 65,000 フィート高さに相当する気圧において、2,500 A を 10 回シャ断することである。一般に気圧が低くなるとシャ断したときのアーカーが切りにくくなるので、低気圧におけるシャ断について研究された文献もありなく解決策に苦しんだ。このシャ断試験は過負荷、サーボードの試験後に行なうように規定されているため一段と困難であった。もし接触状態機構動作に少しでも不具合があると溶着またはシャ断時にアーカーが続き接点部分は溶断し内部は金属溶融飛散物と炭化物が全面に付着し見る影もない状態になってしまう。このようなにがい経験を経てこの解決策として主接触器の吸引特性、接触圧力、接点間隙および開離速度を十分検討し改良を重ねた結果、良好な成績を得ることができた。図 5.10 は常気圧で 2,500 A をシャ断したもので非常に良好である。また図 5.11 は 65,000 フィートの高さに相当する気圧で常気圧のときと同じ条件でシャ断したものである。常気圧に比べてシャ断時間が相当長くなっている。いかに低気圧のシャ断が苛酷であるかを証明している。

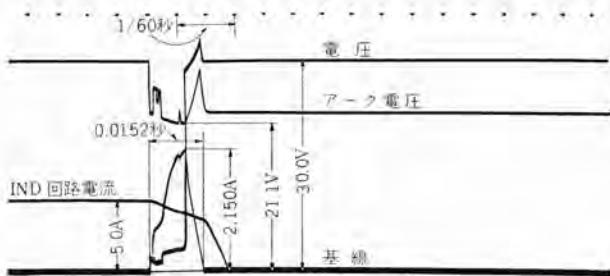


図 5.10 カットアウトリレー AN 3025-300 常気圧におけるシャ断  
Fig. 5.10 Interruption at a normal atmospheric pressure of AN 3025-300 cutout relay.

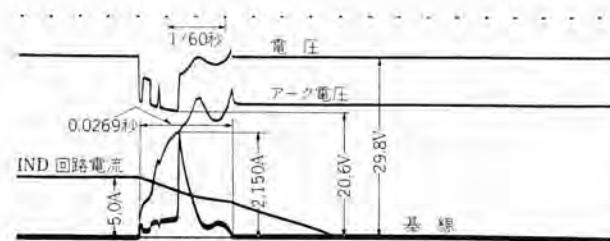


図 5.11 カットアウトリレー AN 3025-300 65,000 フィート相当気圧におけるシャ断  
Fig. 5.11 Interruption at atmospheric pressure corresponding to 65,000 ft of AN 3025-300 cutout relay.

## 5.7 温度試験

低温、高温試験があり周囲温度 -65~71°C の範囲で動作チェックを行ない規格に合格しなければならないから、温度変化によるコイルの抵抗変化が主接触器、電圧リレーおよび差動電圧リレーの動作に影響するため常温に

おける調整値を適当に選定することが必要であった。低温試験は定格電流の 1/20 を継続的に流し、高温試験は定格電流 300 A を連続通電するかなり困難な規定で、多くの実験によって調整値を定めた結果、良好なことを確認した。

### 5.8 衝撃、加速度

- (1) 衝撃は JAN-S-44 で定められた試験機を使用し、接点のオドリは電磁オシロで測定した。これは主接触器が問題になったが可動部分と復帰用バネの関係を改良することにより十分の性能を得ることができた。
- (2) 加速度 加速度試験機によって測定し接点の開閉はランプにより判定したがこれは十分の余裕をもって規格に合格することができた。

### 5.9 振動

この試験は規定の振動中調整の試験を行なうもので、調整値が非常にバラツキ改良に苦心した。とくに電圧リレー、差動電圧リレー、主接触器がともに機構上接点が動作する方向に振動を与えたとき、一番悪条件でありまた永久磁石が回転軸に対してバランスが必要であるとともに非常に精度の高い工作を要求する必要があることに着目して改良し、その結果良好になった。この試験はバランスウェイト式の振動試験機で試験を行なった。表 5.2 は最悪の条件で試験した結果である。

表 5.2 最悪の条件による振動試験の調整

振動 (c/s)	周囲温度 25°C			周囲温度 71°C		
	電圧リレー 投入電圧 (V)	差動電圧 (V)	逆流 (A)	主接触器 吸引電圧 (V)	落 下電圧 (V)	逆流 (A)
0	20.52	0.52	21.3	15.1	5	0.54
10	20.51	0.51	18.6	15	5.1	0.53
20	20.51	0.51	22.1	14.2	5.3	0.57
30	20.48	0.48	22.3	13.8	5.4	0.58
40	20.52	0.52	21.6	12.4	5.3	0.42
50	20.4	0.4	19.4	11	5.4	0.43
55	20.38	0.38	18.6	11	5.4	0.45

### 5.10 環境試験

- (1) 砂ジン MIL-E-5272A 手順 1 によって行なう規格で防衛庁技術研究所の試験機を借りて行なったが、完全防ジン形のため問題なく要求を満足した。
- (2) 耐湿 MIL-E-5272A 手順にしたがって恒温、恒湿槽を使用して行なうのである。吸湿性の少ない材料を使用しているため問題はなかった。
- (3) 耐菌 MIL-E-5272A 手順 1 にしたがって行なうので防衛庁技術研究所で行なった。耐菌資料を選択使用し規格を十分満足する結果を得た。
- (4) 塩霧 MIL-E-5272A 手順 1 にしたがって行なうもので、問題なく規格を満足することができた。
- (5) 防爆 MIL-E-5272A 手順 1 にしたがい防衛庁技術研究所の試験装置を借りて行ない、十分合格することを確認した。

### 6. むすび

以上のように航空機用電装品に使用するカットアウトリレーは非常にきびしい性能を要求され、開発完成まで種々困難な問題に当面したが今では日々進歩する技術の一端として良き経験であったと思っている。このリレーは航空機用電装品に限らず一般用にも十分利用することができると確信しており、また利用範囲の拡大により開発の意義を一段と高めるとともに、この技術的経験を生かして今後の航空機工業に微力を尽したいと念願している。

最後に終始ご指導ご援助を賜わった関係の方々に厚く感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 福田節雄：電弧 14 (昭 23)。
- 牧野 升・三島通雄：永久磁石の経時変化について「計測」22 (昭 32)。
- 茂木 晃：電磁装置とその設計 86 (昭 31)。
- 藤本正男：電気接点材料 125 (昭 32)。

# 巻 鉄 心 形 柱 上 変 圧 器

名古屋製作所 松 井 武 男\*・木 野 崎 泰 三\*

## Wound Core Type Pole Transformers

Nagoya Works Takeo MATSUI · Taizō KINOSAKI

Mitsubishi has been producing wound core type pole transformers with an M core of new construction, having the following features: (1) Cap joint construction reduces magnetic reluctance and assures uniform, stable products, (2) few processes after annealing decreases the chance of producing strain, (3) absence of adhesive agent eliminates the deterioration with the lapse of time, and (4) disassembling and repair is easily made.

The latest design is to provide an overload protecting device to the transformer of this type. The protecting device is of three types, each having respective advantage. One is to operate on load current, the other by oil temperature and the last one through a combined effect of load current and oil temperature.

### 1. まえがき

柱上変圧器は配電系統におけるもっとも重要な機器であるが、他の電力機器のようはなやかな進歩、発展がなく、長い間地味な存在としてコツコツ改良を積み重ねてきた。特性および絶縁強度の向上、ラッピング構造の改良、鋼板製タンクの採用による強度改善と軽量化などである。

巻鉄心形変圧器はアメリカにおいてはすでに20年前から実用されているが、わが国においても数年来の国産方向性ケイ素鋼帶の品質向上と生産量の増加によって、柱上変圧器への巻鉄心の採用が可能となった。近時の急激な電力需要の伸びと電気の質的改善は、柱上変圧器の特性改善と小形軽量化を大きく促しているが、巻鉄心形

変圧器はこの要求にマッチしたものである。巻鉄心形変圧器の採用によって変圧器の単柱装架容量が増加し75 kVAないし100 kVAの柱上設置がすでに実施されている。

当社では十数年前から巻鉄心形変圧器の試作、研究を行なってきたが、従来の巻鉄心と異なるまったく新しい構造および製作法によるMコアを完成し、これを採用した巻鉄心形柱上変圧器を各電力会社へ多数納入している。Mコアは、均一安定な製品が得られ、また、経年変化のおそれがないなど多くの特長を有する巻鉄心である。

変圧器容量の適正化と有効な使用を目的とした過負荷保護装置の自蔵や、配電の信頼度向上のための低圧パンキング方式あるいは低圧ネットワーク方式の採用など、巻鉄心形変圧器の採用を契機として配電の近代化が急速に推進されている。

### 2. 方向性ケイ素鋼帶

巻鉄心に使用する方向性ケイ素鋼帶は、冷延と焼純を適当に組合せて再結晶集合組織を発達させ、結晶の磁化容易軸を一定の方向（圧延方向）としたもので、圧延方向にすぐれた磁性を有するものである。わが国ではおもに八幡製鉄および川崎製鉄から市販されているほか、アメリカのARMCO社から輸入されている。表2.1に方向性ケイ素鋼帶の磁気特性を示す。また図2.1および図2.2に方向性ケイ素鋼帶G12の鉄損および磁束密度の方向性を示す。図2.3および図2.4は方向性ケイ素鋼帶G12と熱間圧延ケイ素鋼板T90の鉄損および磁化特性を比較したものである。方向性ケイ素鋼帶は以上のように非常にすぐれた磁気的性質を有するうえに、加工性が良好で、占積率も強度の冷延を受けているため非常に高く、95%以上である。



図 1.1 三相 100 kVA 巷鉄心形柱上変圧器  
(過負荷保護装置付)

Fig. 1.1 Three phase 100 kVA wound core type pole transformer. (with over load protecting device)

表 2.1 方向性ケイ素鋼帶の磁気特性

種類 (mm)	鉄損 (W/kg)				磁束密度 (G)				
	W 10/50	W 15/50	W 10/60	W 15/60	B <sub>2</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>25</sub>	B <sub>50</sub>	
G15	0.30	0.67 以下	1.50 以下	0.87 以下	1.94 以下	14,600 以上	15,800 以上	16,800 以上	17,700 以上
	0.35	0.69 "	1.55 "	0.89 "	2.00 "				
G13	0.30	0.60 "	1.35 "	0.78 "	1.76 "	15,200 "	16,300 "	17,200 "	18,000 "
	0.35	0.62 "	1.39 "	0.81 "	1.82 "				
G12	0.30	0.53 "	1.20 "	0.70 "	1.58 "	15,800 "	16,800 "	17,700 "	18,300 "
	0.35	0.55 "	1.25 "	0.73 "	1.64 "				
G11	0.30	0.49 "	1.10 "	0.65 "	1.46 "	16,400 "	17,300 "	18,000 "	18,600 "
	0.35	0.51 "	1.15 "	0.68 "	1.52 "				

注 (1) JEM-R 2008 を参照した。

(2) W15/50 以外の数字は参考値である。

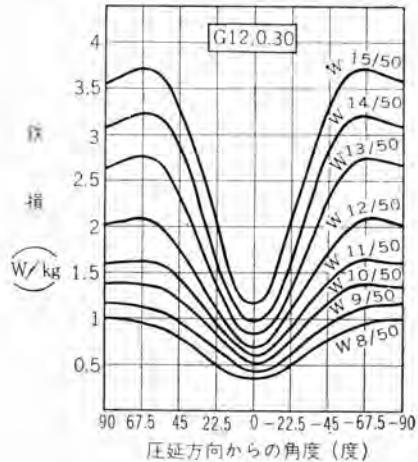


図 2.1 方向性ケイ素鋼帶の鉄損の方向性

Fig. 2.1 Orientation of core loss of oriented silicon steel.

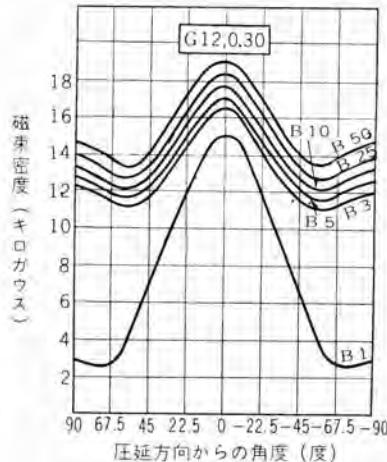


図 2.2 方向性ケイ素鋼帶の磁束密度の方向性

Fig. 2.2 Orientation of magnetization characteristic of oriented silicon steel.

### 3. 卷鉄心の構造

#### 3.1 卷鉄心の分類

卷鉄心形変圧器は圧延方向にすぐれた磁気的性質を有する方向性ケイ素鋼帶の特性を十分發揮しうるようにしたもので、鉄心構造には種々の方式がある。これを鉄心接合面より分類するとつきの3種になる。

- a. 無切断方式
- b. 突合わせ接合方式 (butt joint)
- c. 重ね接合方式 (lap joint)

無切断方式には巻線作業後これに鋼帶を巻込むものと、あらかじめ鉄心を製作しておいて、これに巻線をほどこすもの(図 3.1 (a))がある。突合わせ接合方式では鉄心を接着剤で固めてから上下2個に切断して巻線と組合

わせる c コア(図 3.1 (b))が一般的である。図 3.1 (c)のものも突合わせ接合方式の一種である。重ね接合方式には鉄心接合部を重複させ接合部の厚みを2倍にしたもの(狭義の重ね接合)(図 3.1 (d))と、隣接層の接合個所をずらしたもの(図 3.1 (e))とがあり、後者を突合合わせ重ね接合(but-lap joint)とよんで区別することもある。図 3.1 (f)のものも後者の一種と考えられる。なお図 3.1 (b)および(c)の鉄心は接着剤で固着されるが、図 3.1 (a)および図 3.1 (d)ないし(f)のものでは接着剤は使用しない。

卷鉄心の構造はこれまで種々のものが研究され、おの

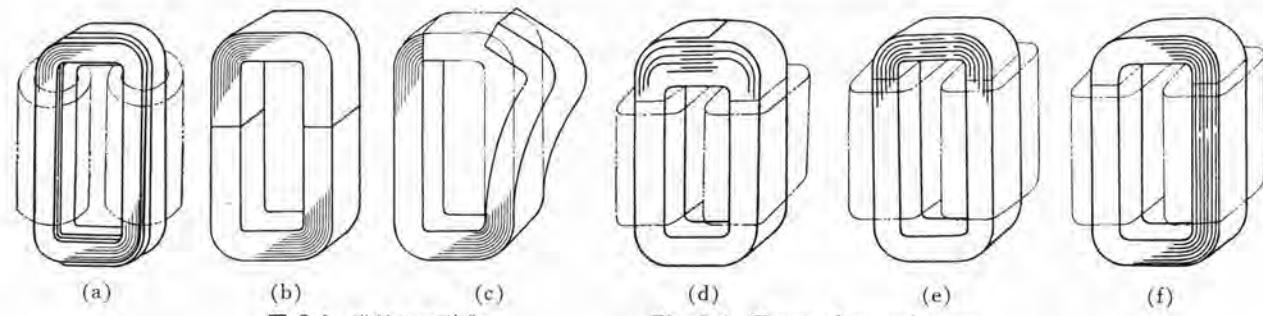


図 3.1 卷鉄心の形式

Fig. 3.1 Types of wound cores.

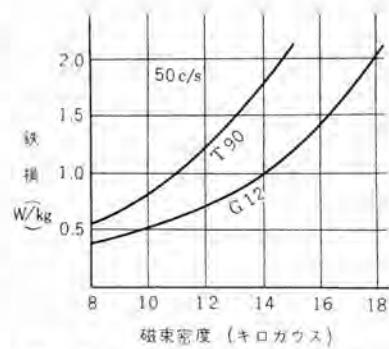


図 2.3 方向性ケイ素鋼帶 G12 と熱間圧延ケイ素鋼板 T90 の鉄損比較

Fig. 2.3 Comparison of iron loss between oriented silicon steel G12 and hot rolled silicon steel T90.

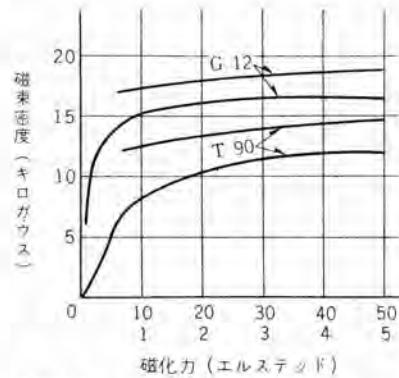


図 2.4 方向性ケイ素鋼帶 G12 と熱間圧延ケイ素鋼板 T90 の磁化特性比較

Fig. 2.4 Comparison of magnetization characteristic between oriented silicon steel G12 and hot rolled silicon steel T90.

おの特長を持っている。無切斷鉄心は材料の特性をもつとも有効に使用でき、制御用などの小形鉄心に広く用いられているが、配電用変圧器鉄心としては巻線との組合せ、鉄心窓の利用度など経済的に問題がある。cコアは比較的量産に適する点から多く使用されている。このタイプは小形鉄心の製作に適しているが、鉄心の加工、処理に手数を要し、また切断部における接合が十分でないと磁気抵抗が高くなるおそれがある。狭義の重ね接合は組立精度の影響が少なく、接合部における磁束密度の増加がなく、かえって減少するなどの利点があるが、接合部の厚さが2倍になる。突合わせ接合と狭義の重ね接合の中間に位し、両者の欠点を補っている。

### 3.2 Mコアの構造と特長

当社のMコアは前項の分類における突合わせ-重ね接合に属するもので、接着剤は使用していない。その構造は図3.2および図3.3に示すとおりである。すなわちMコアは適當枚数のコアを1グループとし、各層板は1個所の接合部をもち、また各層板の接合部はステップによって互に重なり合っている構造である。このように構成された適當数のグループで所要積厚さの巻鉄心を製作することができる。鉄心と、あらかじめ製作された巻線との組立は図3.4に示すように、鉄心を1グループずつ接合部を開いて巻線内に挿入し、全グループを挿入したのち最後の接合部を合わせてバンド締めを行なう。巻線挿入時の鉄心の変形は弾性限界内であるから磁性に影響をあたえない。

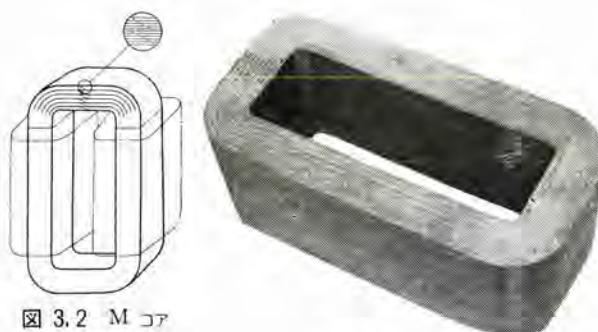


図3.2 Mコアの構造

Fig. 3.2 Construction of M-core.

図3.3 Mコア  
Fig. 3.3 M-core.

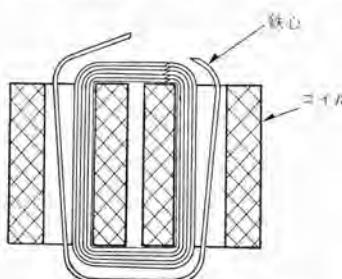


図3.4 Mコアの鉄心と巻線の組立  
Fig. 3.4 Type M-core-and-coil assembly.

Mコアは以上のような構造であるから他の形式の巻鉄心に比しつぎのような特長をもっている。

(1) 重ね接合なので磁気抵抗が低く、均一安定な製品が得られる。

突合わせ接合は磁気抵抗が接合面の間隙により非常に左右され、接合面の研磨に精度を必要とする。Mコアは突合わせ接合ほど接合部の精度が影響しないこと、突合わせ接合の欠点である接合不良による接合部磁束密度の増加をおさえるため、階段状の接合を行なっていることなどにより、励磁電流のバラツキの少ない安定した製品を量産しうる。

(2) 焼鈍後の工程が少なくヒズミのはいる可能性が少ないので、材料の特性を有効に使用できる。

cコアは焼鈍後固着・切断・研磨・組立てをするので、これらの工程中にヒズミが生じないように注意しなければならないが、Mコアは組立前に焼鈍するので材料劣化の可能性が少ない。

(3) 経年変化のおそれがない。

接着剤を使用してないので接着剤の劣化にもとづく磁性の劣化、騒音の増加などの経年変化のおそれがない。

(4) 分解、修理が簡単で、特殊な材料や装置を必要としない。また修理後の特性復元が容易である。

以上のような特長を有するので、非接着重ね接合方式のMコアはもっとも特性がすぐれ、しかも経済的、量産的な鉄心である。

### 4. 巷鉄心柱上変圧器の構造

鉄心構造以外は従来の積鉄心使用の変圧器と根本的な相違はない。鉄心と巻線の組合せには、内鉄形と外鉄形があるが、変圧器の仕様、構造（とくに鉄心構造）によって経済性、作業性などを考慮してそのいずれかが選ばれる。柱上変圧器の領域では従来の積鉄心変圧器はほとんど全部内鉄形であったが、巷鉄心柱上変圧器では両者が採用されている。外鉄形は鉄心が2個に分かれるので鉄心1個の大きさが小さくなりその製作が容易になること、鉄心の組合せにより特性の均一化を計りうることなど鉄心構造によっては製作上有利である。巷鉄心柱上変圧器の経済性はその鉄心によって左右されるところが大であるから、鉄心構造によっては他の面を犠牲にしても外鉄形を選ぶほうが有利となるばかりがある。しかしMコアは鉄心の加工および組立精度の影響が少ないこと、大形鉄心が割合容易に製作できることなどで、現在当社は経済的に有利な内鉄形を主として製作している。

そのほか中身構造においてとくに考慮を要するのは、鉄心の支持方法である。方向性ケイ素鋼帶はヒズミによ



図 4.1 卷鉄心形変圧器  
中身組立

Fig. 4.1 Interior construction of wound core transformer.

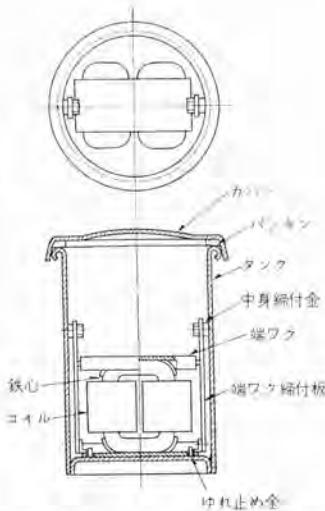


図 4.2 卷鉄心形変圧器中身  
および タンク構造

Fig. 4.2 Interior and tank construction of wound core transformer.



図 4.3 単相 15 kVA 卷  
鉄心形柱上変圧器

Fig. 4.3 Single phase 15 kVA wound core type pole transformer.



図 4.4 単相 30 kVA 卷鉄心形  
柱上変圧器

Fig. 4.4 Single phase 30 kVA wound core type pole transformer.

っていちじるしく磁性が低下する性質を有するから鉄心に圧力を加える構造は避けなければならない。図 4.1 に中身組立構造を示す。

タンクは、内鉄形でも外鉄形でも中身が積鉄心形に比べて円形に近くなることと、電力会社の希望もあって円筒形を採用している。円筒形タンクは、強度が強く、材料が少ないので、容器の形状としてもっとも合理的で、しかも鋼板のプレス加工と溶接による多量生産にもっとも適している。タンクの設計に当たっては鋼板のもつ特性を十分利用し、またその特長を十分発揮できるように考慮している。すなわち、構造ができるだけ単純化し、プレス加工の採用によって溶接部分を少なくし、また端部は成形加工を行なうなどである。このような構造によって



図 4.5 単相 5 kVA

CSP 形変圧器

Fig. 4.5 Single phase 5 kVA CSP transformer.

図 4.6 単相 10 kVA CSP  
形変圧器

Fig. 4.6 Single phase 10 kVA CSP transformer.

タンクに剛性をもたせ、鋼板製の強度を発揮させることができる。タンクとカバーの接合部はタンクの上縁部をカールしてパッキンの油密効果を高め、同時にタンクに剛性をもたせている。タンク底部はプレス加工による楕円底板を周囲で溶接している。これらの構造によってタンクの強度およびシールは従来の変圧器より一段と強化されている。図 4.2 に中身およびタンク構造を示す。

外形構造は電力会社により異なるが、代表的なものを図 4.3 および図 4.4 に示した。図 4.4 のものは装柱方法を従来の変圧器と同一にできる設計としている。図 4.3 はタンク構造がさらに簡易化され、鋼板製の特長をもともと発揮した構造といえる。

## 5. 卷鉄心形柱上変圧器の特性

前述のように方向性ケイ素鋼帶は圧延方向にすぐれた磁気特性を有し、熱間圧延ケイ素鋼板に比し鉄損がきわめて低く磁束密度が高いから、これを使用して、その特性を十分発揮させる構造とした卷鉄心形変圧器は、熱間圧延ケイ素鋼板を使用した積鉄心変圧器に比し、鉄損および無負荷電流の減少と重量の軽減を計ることができる。図 5.1 は JIS C 4304 (小形 6kV 油入変圧器) 規格品の積鉄心変圧器の鉄損値を 100% とし、銅損は一定として、鉄損を減じたばあいの卷鉄心形変圧器と積鉄心変

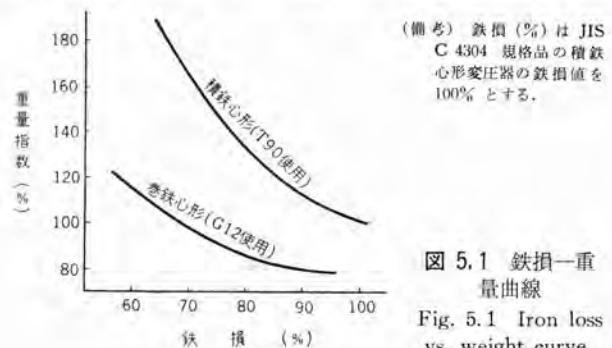


図 5.1 鉄損一重  
量曲線

Fig. 5.1 Iron loss vs. weight curve.

器の重量の比較を表わした曲線である。この曲線は使用するコアの品種により異なるが図5.1は積鉄心はT90巻鉄心はG12を使用したばかりである。巻鉄心形のほうがはるかに軽量となることがわかると同時に、積鉄心のばかりは曲線が急上昇して到達しうる限界を示している。また巻鉄心形においてもある点を境として曲線の上昇率が高くなっていることは、そこに経済設計点が存在していることを示している。変圧器の重量は銅機械にすることによってある程度軽減できるから一概にいふことはできないが、巻鉄心形変圧器は、鉄心の占積率の向上と磁束密度を高くとりうることによって、鉄心および電線重量が減少するから、JIS規格の積鉄心変圧器と同一特性においてはその重量を70ないし80%に軽減することができる。

熱間圧延ケイ素鋼板は鉄損の少ないものは磁化特性が劣る欠点を有するが、方向性ケイ素鋼帶は鉄損の少ないものは磁化特性もすぐれているので、鉄損のすぐれた材料を使用するほど無負荷電流も低減される。また積鉄心変圧器では磁路中の空隙を要するアンペアーチンが相当な部分を占めるが、巻鉄心形ではこれが無視できるので無負荷電流がいちじるしく減少する。これらの理由で巻鉄心形変圧器の無負荷電流は積鉄心変圧器の1/3以下に低減されている。

方向性ケイ素鋼帶の特性の向上は主としてヒステリシス損の改善によるものであるから相対的に渦流損の割合が大きくなり50c/sより60c/sのほうが不利である。

配電用変圧器の特性値は配電線の経済計算によって決定されるものであるが、巻鉄心形変圧器の経済的な製作における特性とくに鉄損値は鉄損—製造原価曲線（種々の鉄損値と製造原価の関係を曲線で表わしたもの）から求められる。すなわち

図5.2に示すように経済点を境としてさらに鉄損を減ずるときは材料費の増加が大になって製造原価が急上昇し、反対にそれより鉄損を増しても材料費の減少率が小になって製造原価はあまり低減しない。この曲線は使用するコアの品種によって若干相違する。

## 6. 巻鉄心形柱上変圧器の実例と規格

前述のように巻鉄心形変圧器は積鉄心変圧器に比し、鉄損および無負荷電流が減少しなお小形軽量となるが、その使用目的に応じて鉄損の減少または小形軽量化のい



図 6.1 6kV 単相 5kVA 巻鉄心形柱上変圧器

Fig. 6.1 6kV Single phase 5 kVA wound core type pole transformer.

図 6.2 6kV 単相 50kVA 巻鉄心形柱上変圧器

Fig. 6.2 6kV Single phase 50kVA wound core type pole transformer.

表 6.1 巻鉄心形変圧器と積鉄心形変圧器の特性、重量比較(I) 6kV 単相 6kVA 50c/s

	巻鉄心形(A)	積鉄心形(B)	A/B(%)
鉄鋼効率	損(W)	34	48
電圧変動率	損(W)	123	127
無負荷電流	率(%)	96.95	96.61
全油重	率(%)	2.47	2.55
電流(%)	2.0	7.1	28
重量(kg)	82	97	85
容量(L)	21	22	96

表 6.2 巻鉄心形変圧器と積鉄心形変圧器の特性、重量比較(II) 6kV 単相 50kVA 60c/s

	巻鉄心形(A)	積鉄心形(B)	A/B(%)
鉄鋼効率	損(W)	195	252
電圧変動率	損(W)	690	722
無負荷電流	率(%)	98.26	98.08
全油重	率(%)	1.4	1.46
電流(%)	0.9	2.9	31
重量(kg)	319	450	71
容量(L)	90	90	100

すれかに重点を置いて製作することができる。表6.1に単相5kVA 50c/s巻鉄心形変圧器と積鉄心形変圧器の特性および重量の比較を示す。表で見るように巻鉄心形は積鉄心形と比べ鉄損は71%に、重量は85%に減少しており、鉄損減少と重量軽減の両者を併用した例である。表6.2は単相50kVA 60c/s巻鉄心形変圧器と積鉄心形変圧器の比較を示す。巻鉄心形は鉄損が78%に、重量は71%に減少しており、重量軽減に重点を置いた例である。

巻鉄心形配電用変圧器のJISは、国産方向性ケイ素鋼帶の生産がまだ安定していないため、未制定である。各電

表 6.3 巻鉄心形変圧器三電規格(単相 6kV)

定格出力(kVA)	定格出力における効率(%)		定格出力における電圧変動率(%)		無負荷電流(%)		無負荷損(W)	
	50c/s	60c/s	50c/s	60c/s	50c/s	60c/s	50c/s	60c/s
2	95.6以上	95.8以上	3.5以下	3.3以下	6以下	5以下	21以下	21以下
3	96.1	96.3	3.1	2.9	5.5	4.5	27	27
5	96.6	96.8	2.7	2.5	4.5	4	37	37
7.5	96.9	97.1	2.5	2.3	4	3.5	48	48
10	97.1	97.3	2.3	2.1	3.5	3	58	58
15	97.4	97.6	2.1	1.9	3	2.5	81	81
20	97.6	97.7	1.9	1.8	2.8	2.3	101	101
30	97.8	97.9	1.7	1.6	2.8	2.3	139	139
50	98.0	98.1	1.6	1.5	2.5	2.3	214	214

表 6.4 JISC 4304 小形 6kV 油入変圧器(単相)

定格出力(kVA)	定格出力における効率(%)		定格出力における電圧変動率(%)		無負荷電流(%)		無負荷損(W)	
	50c/s	60c/s	50c/s	60c/s	50c/s	60c/s	50c/s	60c/s
2	95.1	95.4	3.5	3.3	12.0	10.0	32	30
3	95.7	95.9	3.1	2.9	11.0	9.0	41	39
5	96.3	96.5	2.7	2.5	9.0	8.0	57	53
7.5	96.6	96.8	2.5	2.3	8.0	7.0	74	69
10	96.9	97.1	2.3	2.1	7.0	6.0	89	83
15	97.1	97.4	2.1	1.9	6.0	5.0	124	115
20	97.4	97.5	1.9	1.8	5.5	4.5	156	145
30	97.6	97.8	1.7	1.6	5.5	4.5	214	200
50	97.8	97.9	1.6	1.5	5.0	4.5	320	305

力会社はそれぞれ暫定規格を制定しているが、表 6.3 に巻鉄心形変圧器三電規格を、またこれと比較のため表 6.4 に JISC 4304 (小形 6kV 油入変圧器) の特性を示す。三電規格の要点はつぎのとおりである。

- 無負荷損は 50c/s は JIS の 65%, 60c/s は 70%
- 無負荷電流は JIS の 50%
- 電圧変動率は JIS と同一

構造上の仕様は、50c/s 系電力会社は大体同一であるが 60c/s 系は各電力それぞれの装柱方式による独自の構造を採用している。

## 7. 過負荷保護装置付巻鉄心形変圧器

負荷の増加および巻鉄心による変圧器の小形軽量化に伴い、75, 100kVA まで柱に取付ける傾向になるとともに、変圧器を有効に使用するため内部に過負荷警報装置、過負荷シャンク装置を坂付けることが研究され、大容量のものに一部使用されている。米国ではすでに 20 年前から CSP 形 (Completely Self Protected) などの名で保護装置付変圧器が売りだされ配電の信頼度の向上、配電コストの引き下げに役立っている。当社でも以前から保護装置付変圧器の開発を行ない、すでに CSP 形変圧器を開発している。ここでは最近製作した過負荷保護装置付巻鉄心形変圧器につき記し、CSP 形変圧器は別の機会にゆずる。

### 7.1 変圧器の熱特性

変圧器の寿命は絶縁物の温度により非常に影響されるので過負荷保護装置を取付けるばあいは、絶縁物の最高点温度、したがって巻線の最高点温度によく追従するものであることが望ましい。

変圧器の温度特性はつぎのように表わされる。

$$\text{最高点温度 } \theta_{hs} = A + O + C_h \quad \dots \dots \dots (7.1)$$

一定負荷における油の温度上昇

$$O = (O_u - O_i)(1 - e^{-\frac{t}{T_e}}) + O_i \quad \dots \dots \dots (7.2)$$

一定負荷における油に対する巻線最高点の温度上昇

$$C_h = (C_{hu} - C_{hi})(1 - e^{-\frac{t}{T_e}}) + C_{hi} \quad \dots \dots \dots (7.3)$$

ただし

$\theta_{hs}$ : 卷線最高点温度 (°C)

A: 周囲温度 (°C)

O: 油の温度上昇 (°C)

C\_h: 油に対する巻線最高点の温度上昇 (°C)

O\_u: 負荷 P における最終油温度上昇値 (°C)

O\_i: 初めの油温度上昇値 (°C)

T\_e: 油の熱時定数 (h)

C\_{hu}: 負荷 P における油に対する巻線最高温度の最終温度上昇値 (°C)

C\_{hi}: 初期状態における油に対する巻線最高点の温度上昇値 (°C)

T\_c: 巷線の熱時定数 (h)

t: 時間 (h)

油入変圧器では油の最終温度上昇および油に対する巷線の最終温度上昇は、それぞれ変圧器全損失および巷線内損失の約 0.8 乗に比例するものと考えられている。このように温度上昇が損失に比例しないで油および巷線の熱時定数は一定とならず負荷によりいくぶん変わってくる。しかし配電用変圧器では油はだいたい数時間、巷線は数分から十数分程度の熱時定数をもっている。

### 7.2 過負荷保護装置の特性

現在広くもちいられている過負荷保護装置を大別するとつぎの 3 種になる。

(1) 負荷電流で動作するもの

(2) 油温で動作するもの

(3) 負荷電流と油温の総合作用で動作するもの

変圧器の寿命に關係する最高点温度は式 (7.1) に示すように、油温と負荷電流により変わるものであるから、この両要素を含んだ (3) が保護装置としてもっとも適當である。(1), (2) では負荷条件や周囲温度により保護装置動作時の巷線温度が変わってくる。

(1) 負荷電流で動作する過負荷保護装置

負荷電流で動作する過負荷保護装置としてはヒューズがある。ヒューズは図 7.1 に示すようにほぼ一定負荷で溶断する。一方変圧器の熱容量は油の温度上昇の遅れが大き

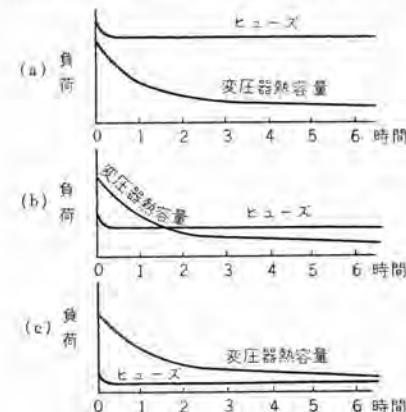


図 7.1 変圧器熱容量とヒューズ溶断特性

Fig. 7.1 Comparison of fuse characteristic with overheat capacity of transformer.

いので、短時間でかなりの過負荷をかけうる。したがってヒューズで保護するばあい変圧器の短時間過負荷耐量を利用しようとすれば、長時間負荷で変圧器焼損の恐れが生じ(図7.1(a))完全に保護しようとすれば、変圧

表 7.1 6 kV 単相 100kVA 卷鉄心形柱上変圧器特性

銅	損 (W)	1310
鉄	損 (W)	340
効率 (%)		98.37
電圧変動率 (%)		1.34
無負荷電流 (%)		0.9
インピーダンス電圧 (V)		185
全重量 (kg)		640
油量 (L)		200
油温度上昇 (°C)		38
巻線温度上昇 (抵抗法) (°C)		48
油の熱時定数 (h)		2.8

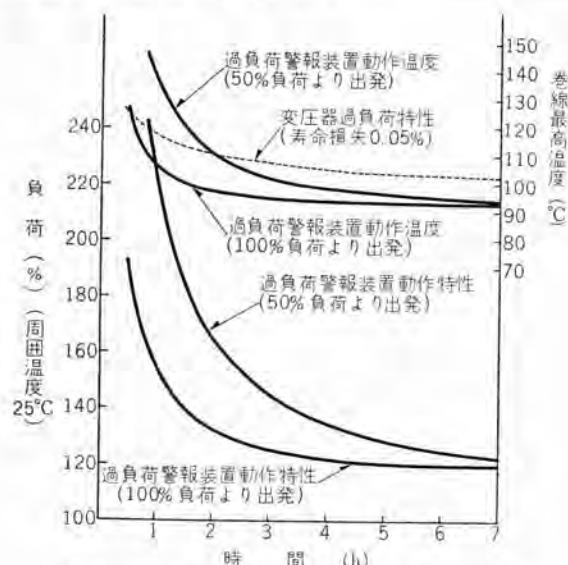


図 7.2 油温で動作する過負荷警報装置の動作特性  
—負荷と動作時間、動作温度との関係—

Fig. 7.2 Performance curve of overload alarm device, tripped by oil temperature.  
—load vs. tripping time and temperature.—

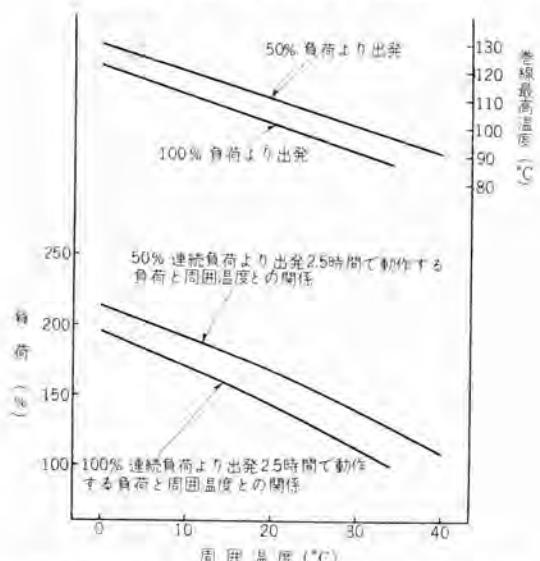


図 7.3 油温で動作する過負荷警報装置の動作特性  
—周囲温度と動作時間、動作温度との関係—

Fig. 7.3 Performance curve of overload alarm device, tripped by oil temperature.  
—ambient temperature vs. tripping time and temperature.—

卷鉄心形柱上変圧器・松井・木野崎

器の短時間過負荷耐量を犠牲にしなければならない。(図7.1(c))

配電用変圧器の負荷率は一般にかなり低いので、変圧器の短時間過負荷耐量を十分利用するなら小さい定格の変圧器ですみ経済的である。しかしヒューズで保護するばあいはこれをある程度犠牲にしなければならない。

### (2) 油温で動作する過負荷保護装置

焼損防止器として広く使用されている保護装置は、油温で動作するものがほとんどである。このばあいは保護装置の動作温度をある周囲温度、負荷条件において最適に調整しても、負荷条件が変わると巻線と油の温度差が変わり、それだけ動作時の巻線温度も変わってくる。

図7.2および図7.3は表7.1に示す特性の100kVA卷鉄心形変圧器に油温で動作する過負荷警報装置を取り付いたばあいの動作特性を示したものである。一般に当社卷鉄心形変圧器の油と巻線の温度差は定格負荷状態で5~10°C程度である。油と巻線の温度差が大きいものでは、負荷条件の影響が大きく、したがって油温のみによる保護がむつかしくなり、次に示す保護装置との差異も大きくなる。図7.2は周囲温度を一定にしておいて過負荷を加えたばあいの動作特性で大きな負荷がかかったばあいは巻線がかなり高い温度になることがわかる。このことは変圧器二次側故障を含む過負荷保護装置として好ましい特性でないが、短時間過負荷をヒューズ、長時間過負荷をこの装置で保護するようにすれば、ある程度特性は改善される。

変圧器容量の適否を判定する過負荷警報装置のばあいは故障などの異常過負荷では動作せず、連続過負荷に対してのみ適切に動作すればよい。周囲温度一定の動作特性図7.2をみると2時間以上の負荷のばあいは、かなりよい結果となっている。しかし実際には季節により周囲温度が変わるので、このばあいの特性が問題になる。図7.3は周囲温度と2.5時間で動作する負荷および動作温度との関係を示したものである。周囲温度の影響は動作時間に関係し、動作時間が長くなれば図7.3に比べ周囲温度の影響はより少なくなり短くなると急激に大きくなる。油温のみで動作するものでは、このように周囲温度の影響が大きく、四季同じ調整温度では夏は早く動作しそぎ、冬は巻線が危険温度に達しても動作しないことになる。したがって変圧器設置場所の負荷条件により、もっとも負荷のかかる季節の周囲温度にあわせた警報装置を取付けるか、あるいは季節により動作温度を調整することができるなら、この種警報装置の欠点はかなり是正される。図7.5に示す変圧器には、この種警報装置が取付けられている。

### (3) 負荷電流と油温の総合作用で動作する過負荷保護装置

負荷電流と油温で動作する過負荷保護装置は、調整を



図 7.4 警報装置付单相  
75 kVA 卷鐵心形柱  
上変圧器

Fig. 7.4 Single phase 75 kVA  
wound core type pole  
transformer with an  
alarm device.



図 7.5 警報装置付单相  
100 kVA 卷鐵心形  
柱上変圧器

Fig. 7.5 Single phase 100  
kVA wound core type  
pole transformer with  
an alarm device.

適切にすれば前に説明した保護装置より数段すぐれた特性を得ることができる。

油中に浸したバイメタルに負荷電流を流す構造はこの種のものの代表的なもので、当社でも図 4.5 および図 4.6 に示す CSP 形変圧器、および図 1.1 図 7.4 に示す 75, 100 kVA 変圧器などに使用している。

バイメタルの温度  $T_b$  は

$$T_b = A + O_b + B \quad \dots \dots \dots (7.5)$$

ただし  $O_b$ : バイメタル近辺の油の温度上昇

$B$ : 油に対するバイメタルの温度上昇

式 (7.5) と式 (7.1) を比較すると、巻線付近の油温とバイメタル付近の油温はほぼ同一であるから  $C_h \approx B$  であれば巻線最高温度とバイメタルの温度は一致することになり、巻線最高点温度一定で動作する。このためには負荷電流が流れたときの油に対する巻線およびバイメタルの最終温度上昇  $C_{hu}$ ,  $B_u$  が等しく、かつ両者の熱時定数  $T_c$ ,  $T_b$  が等しい必要がある。

巻線およびバイメタルの最終温度上昇は

$$C_{hu} = C_{f1} P^{n_e}$$

$$B_u = B_{f1} P^{n_B}$$

ただし  $C_{f1}$ : 定格負荷における油と巻線の温度差

$B_{f1}$ : 定格負荷における油とバイメタルの温度差

$P$ : 定格負荷に対する負荷の割合

$n_e$ : 巷線内損失と巷線温度上昇との関係を示す指數

$n_B$ : バイメタル内損失とバイメタル温度上昇との関係を示す指數

で表わされる。バイメタルと巷線では構造が違っているが  $n_e \approx n_B$  と考えられるからある負荷で  $C_{hu} = B_u$  になるようすれば、その近傍の負荷では両者はほぼ一致する。しかるに巷線の熱時定数とバイメタルの熱時定数を比較す

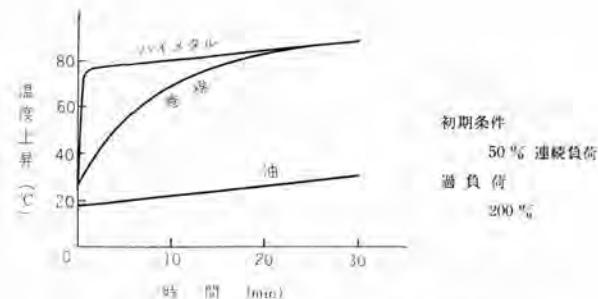


図 7.6 バイメタルと巻線の温度上昇特性  
Fig. 7.6 Temperature rise characteristics of  
bi-metal and coil.

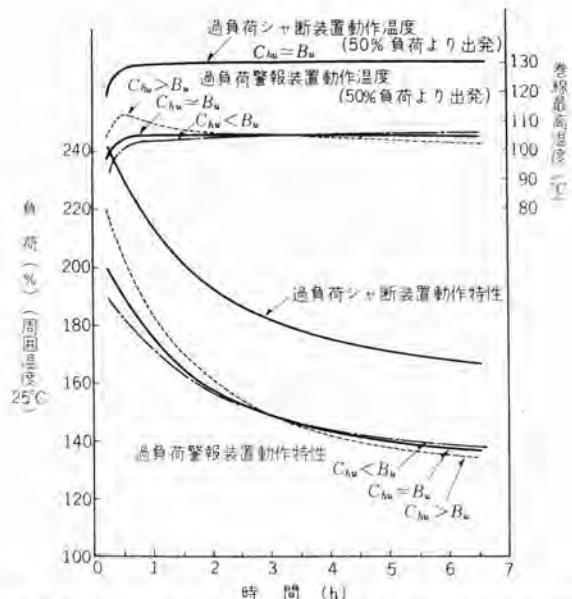


図 7.7 油温と負荷電流により動作する保護装置の動作特性  
—負荷と動作時間、動作温度との関係—

Fig. 7.7 Performance curve of overload protective  
device, tripped by oil temperature and load current.  
—load vs. tripping time and temperature.—

ると前者が数分程度であるのに対し、後者は数秒から十数秒程度とかなりの差異がある。それゆえ巻線とバイメタルの温度特性は図 7.6 に示すように負荷がかかってから 20~30 分以内では差異を生じてもそれ以後はほぼ同一に調整することができる。図 7.7 は負荷を変えたばあいの動作特性で  $C_{hu} = B_u$  のばあいはほぼ一定の温度で動作することがわかる。 $C_{hu} > B_u$  は電流要素を不足補償したばあいで、短時間過負荷で動作温度が高くなり、油温だけで動作する保護装置の特性に近づく。 $C_{hu} < B_u$  は電流要素の過補償で、逆に短時間負荷で動作温度が低くなりヒューズの特性に近づく。変圧器では短時間過負荷に対しては高い温度が許容されるから、実際にはいくぶん不足補償ぎみがよい。しかし  $C_{hu}$  と  $B_u$  を変えれば周囲温度の影響を当然うける。図 7.8 は周囲温度と 2.5 時間で動作する負荷および動作温度との関係を示したもので周囲温度の影響の概要がわかる。

過負荷がかかって 20~30 分以内で動作するばあいは巻線とバイメタルの熱時定数の差により巻線温度が低い

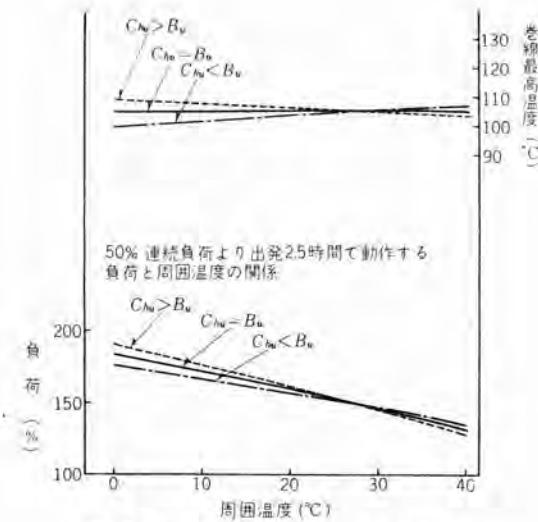


図 7.8 油温と負荷電流により動作する保護装置の動作特性  
—周囲温度と動作時間、動作温度との関係—

Fig. 7.8 Performance curve of overload protective device tripped by oil temperature and load current.  
—ambient temperature vs. tripping time and temperature.—

ちに動作する。

したがって過負荷警報装置として使用するばあいは二次側故障などの異常負荷でも動作するので、判定をあやまる可能性がある。しかし過負荷シヤ断装置として使用するばあいは、二次側故障をすみやかにシヤ断するので安全である。図 7.9 は図 7.7 で示した過負荷シヤ断装置の短時間動作特性を示したもので、10 分以下の過負荷に対しては十分安全に保護していることがわかる。

### 7.3 過負荷保護装置の動作温度

保護装置の適正動作温度の決定はむつかしい問題であるが、現在の規格および警報シヤ断両装置をそなえてるばあいの両者の協調を考慮して

警報装置 卷線最高温度 105°C

警報装置とともに用いるシヤ断装置

卷線最高温度 約125~130°C

程度に選ぶのが適當と考える。

警報装置の動作温度 105°C は JIS で規定された変圧器の許容温度（周囲温度 40°C + 抵抗法による卷線温度上昇 55°C + 抵抗法温度と最高点温度の差 10°C）と同一である\*。したがって警報装置が動作することは規格値以上に温度があがり、容量が不足していることを示す。シヤ断装置は動作すると負荷を切ることになるから負荷を切らないと寿命がいちじるしくそこなわれるようばあいだけ動作するよう調整しなければならない。一方変圧器の過負荷に対しては ASA Appendix: C57, 92 で非常運転状態でも寿命損失 1% 程度に押えることを推奨している。寿命損失 1% の温度は 2 時間で 142°C 4 時間で 134°C 8 時間で 126°C である。警報装置がついているばあいで数時間以上も非常に大きな負荷がかかるよ

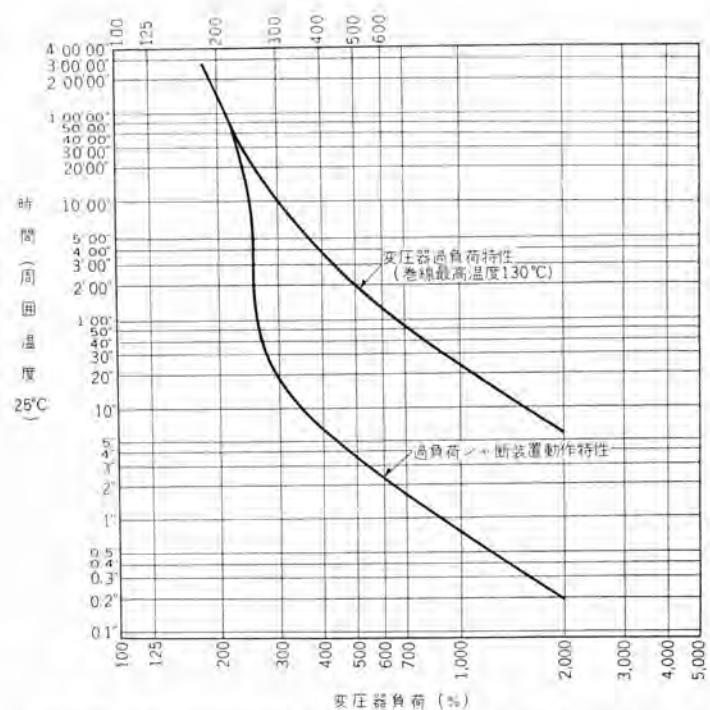


図 7.9 油温と負荷電流により動作する保護装置の短時間動作特性

Fig. 7.9 Shot time performance of protective device, tripped by oil temperature and load current.

うな場合は当然容量不足を以前から指示しており変圧器を取り替えるはずであるから調整温度を 130~135°C 以下にすればこの条件をほど満足する。警報装置を併置しているばあいは警報装置とシヤ断装置の動作温度があまり近いと両者の動作時間の差が少くなり、警報装置の効用がうされるので 20°C 近くあけるのが望ましい、以上のことから上記調整温度付近が妥当な値と考えている。  
\* ASA C 57.92 では、周囲温度 40°C はまれであるから周囲温度 30°C 最高点温度 95°C のばあいを変圧器の標準寿命としている。

## 8. む す び

当社の巻鉄心形柱上変圧器は、従来の巻鉄心と構造の異なる重ね接合による M コアを採用して多数の製品を各電力会社へ納入しているが、M コアの特長が認められその成績は好評である。方向性ケイ素鋼帯の供給量の増加に伴い、配電用変圧器は漸次巻鉄心形に切換えられているが、近い将来全面的に移行する見通しである。巻鉄心形変圧器は従来の積鉄心形に比べて機械化が可能で量産的である。この特長を十分生かすために仕様の統一が望まれる。規格制定には材料の安定が先決で、国産方向性ケイ素鋼帯の品質の向上を期待する。

## 参 考 文 献

- (1) 変圧器専門委員会：油入変圧器運転指針 電気学会技術報告 第 18 号 (昭 32).
- (2) Guide for Loading Oil-Immersed Distribution and Power Transformers ASA Appendix: C 57.92 (1956).

# 絶縁材料の耐コロナ性試験法

研究所 原 仁 吾\*・平林 庄司\*

## Test Method to Evaluate a Corona Resistance of Insulating Materials

Research Laboratory Jingo HARA・Shōji HIRABAYASHI

Effect of corona on the life of electric machine insulation is thought much of recently. This has brought necessity of evaluating corona resistance of insulation quantitatively. Old testing methods of corona resistance, however, have been only comparing one value with the other though many ways are under discussion. This suggests that it is difficult to evaluate a quantitative relation between the size of corona and the life of insulation exposed to the corona. This report gives results of various experiments on the evaluation in quantity of the corona resistance, concluding that an arrangement of electrodes according to a concentration method is the most suitable.

### 1. まえがき

近時電気機器絶縁の寿命におよぼすコロナの影響が重視されるようになり、絶縁材料および絶縁組織の耐コロナ性を定量的に評価することが必要になって来た。耐コロナ性の試験法については、従来から、いくつかの提案された方法があるが、これらの多くは単なる比較試験法で、コロナの大きさとコロナにさらされた絶縁物の寿命との関係を、定量的に評価することはむずかしい。筆者らは絶縁材料および絶縁組織の耐コロナ性を定量的に評価するために各種の試験法を試み、その結果、当所としての標準試験法を決め、これにもとづいて現在各種の材料の耐コロナ性を試験している。これらの材料の耐コロナ性については稿を改めて報告することにし、この報告では、耐コロナ性の試験法を決めるために行なった実験結果およびその試験法について述べる。

### 2. 耐コロナ性試験法に関する一般的考察

絶縁材料の耐コロナ性試験法に要求されることは、(1) 実用機器に発生するコロナのばあいとなるべく等価性があること、(2) 試料の製作やセットが容易であること、(3) 試験時間が短くて評価できること、(4) コロナ放電が長時間にわたって安定であり、また再現性があること、(5) 試験結果の物理的意義が明らかで、評価の基準がはっきりしていること、(6) 比較試験のばあいには、試料の厚さや誘電率によって発生するコロナ量が変わらないこと、(7) コロナの放電電荷量またはコロナエネルギーと寿命との関係から耐コロナ性を評価するばあいは、コロナが試料のなるべく狭い一点に集中して発生すること、などがあげられる。これらの観点から耐コロナ性試験法を考察するにあたり、

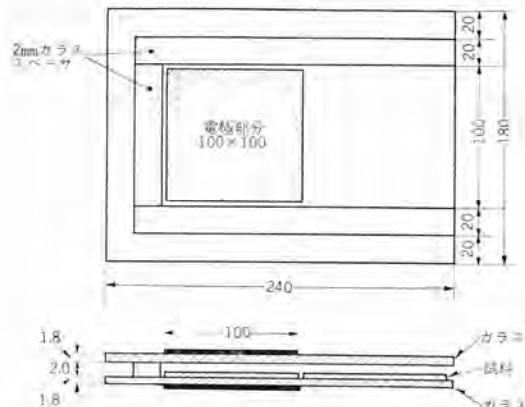


図 2.1 IEC の試験電極

Fig. 2.1 Proposed IEC test cell for corona aging.

まず今までに提案され、あるいは実用されている試験法のうち、代表的なものについて、その概略を説明する。

耐コロナ性試験法を電極配置から大別すると、(1) IEC 法、(2) ポイドコロナ法、(3) 試料表面に上部電極を接触させる法（この方法を直接法と呼ぶことにする）、(4) 上部電極を試料表面から離し、コロナを局所的に試料表面に集中させる法（この方法を集中法と呼ぶことにする）、などに分けられる。IEC 法は、図 2.1 に示すように 2 枚のガラス板の間に試料を挿入し、コロナ開始電圧の約 2 倍の電圧を印加して、試料上部とガラス板間の空隙にコロナを発生させて、試料の耐コロナ性を比較するもので、最初フランスから IEC に提案され、その後 ASTM でも採用を考慮されている試験方法である<sup>(1)</sup>。この方法は同一材料から 100×100 mm の試料 12 枚を用意し、このうち A は図 2.1 のセルの電極部分におき、コロナの直接作用および放電生成物の作用をうけさせる。試料のうち B はセルの中の電極のない部分におき、コロナ放電による生成物の二次的作用を受けさせる。また試料 C は A およ

び B と同一温度、同一湿度の気中に放置し、コロナの影響は受けないようにしておく。そのほか参考用として試料 D を用意し、大気中に放置しておく。一定時間だけ試料 A にコロナを発生させた後、A, B, C, D の四つの試料について、観察、重量減少、抗張力、酸価、 $\tan \delta$ 、表面抵抗、絶縁耐力などを調べる。この試験を同一試料について 3 回繰り返して試料の耐コロナ性を比較する方法である。

ボイドコロナ法は、図 2.2 に示すように試料と同一材料に直径 2 mm 程度の穴をあけ、これを試料と重ねて適当な接着剤ではり合わせ、人工的に作ったボイド中にコロナ

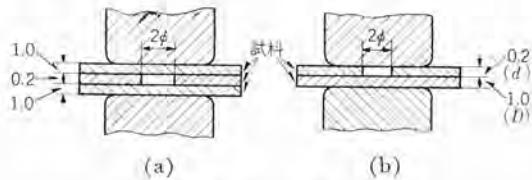


図 2.2 ボイドコロナ用試験電極

Fig. 2.2 Test electrodes for void corona.

を発生させて、破壊までの寿命から耐コロナ性を評価するものである。図 2.2 に示した寸法は、J. H. Mason 氏が提案したものであるが<sup>(3)</sup>、S. I. Reynold 氏その他の人々がこれと似たような電極配置を用いて試験した結果が報告されている<sup>(3)(4)(5)</sup>。

上部電極を試料表面に接触させ、電極周囲に表面コロナを発生させる直接法には、種々の上部電極の形状が用いられているが、代表的なものとしては、図 2.3 (a)～(c)のようなものがある。図 (a) は T. W. Dakin 氏その他の人々が用いている電極配置で<sup>(6)(7)</sup>、上部電極には直角エッジを有する円筒電極を用いている。(b) は堀井氏<sup>(8)</sup>が用いている電極で、上部電極は半球でその一点が試料表面に接触している。また (c) は、3 本の蓄音機針を一边が 19 mm (3/4 in) の正三角形の頂点にあたる場所に配置し、3 本の蓄音機針の先端を試料表面に接触させたもので、W. Rollinson 氏<sup>(4)</sup>が提案している方法である。これらの直接法はいずれも、試料表面に接する上部電極の周囲に表面コロナを発生させ、コロナ放電によって試料が破壊するまでの時間から耐コロナ性を評価する方法である。

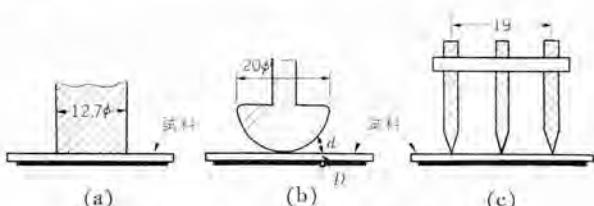


図 2.3 直接法による試験電極の一例

Fig. 2.3 Example of direct electrode methods.

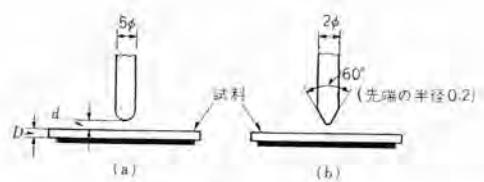


図 2.4 集中法試験電極

Fig. 2.4 Electrode arrangement of concentration methods.

集中法は、図 2.4 に示すように、上部電極を試料表面からわずかに離し、上部電極の先端と試料表面間の空隙にコロナを発生させ、試料が破壊するまでの時間から耐コロナ性を評価するもので、(a) は岡本氏<sup>(9)</sup>が、また (b) は筆者らが用いている電極である<sup>(10)</sup>。

以上代表的な試験電極を紹介したが、これらの電極配置で、試料の厚さを  $D$ 、コロナを発生する空隙長を  $d$  とすれば、空隙にかかる電圧  $v_d$  は、

$$v_d = \frac{V_0}{1 + \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{D}{d}} \quad (2.1)$$

となる。ここで  $\epsilon$  は試料の誘電率、 $V_0$  は印加電圧である。

すなわち、空隙にかかる電圧は、試料の厚さ、試料の誘電率、および空隙長などによって変わるので、コロナ開始電圧や発生コロナの大きさは、これらの大きさによって変わり、式 (2.1) において  $d \gg D/\epsilon$  が満足されるような電極配置でないと、異なった材料の耐コロナ性を一般的に比較評価することはできない。このような理由から IEC 法では試料の厚さが 0.4 mm 以上のものには適用できないことが決められている。上部電極を試料表面に接触させて表面コロナを発生させる直接法では、試料の厚さ  $D$  を薄くしても、空隙長  $d$  が場所によって小さい所から大きい所まであるので、 $d \gg D/\epsilon$  の条件を満足することは不可能であり、したがってこの方法では比較試験で耐コロナ性を評価できない。ボイドコロナ法では、空隙長  $d$  が試料の厚さ  $D$  より大きくなると、空隙の面積を非常に大きくしないと、空隙内に安定なコロナが発生しない。空隙の面積を広くすることは結局 IEC 法のような構造となり、ボイドコロナ模擬にならなくなる。すなわち、IEC 法で試料の厚さが薄いものを試験するとき以外は、種類のことなる材料の耐コロナ性を、単なる比較試験で評価することは不可能である。ただ IEC 法では、試料の物理的および化学的特性の変化から耐コロナ性を評価することになっているが、これらの特性は破壊電圧と直接に関係ないので、耐コロナ性の評価の基準や、最終寿命の基準のとりかたが明了でない欠点がある。

以上のことから、材料の耐コロナ性を評価するには、単なる比較試験ではなく、発生コロナの大きさを測定し、コロナの大きさとコロナによる材料の寿命との関係を調べ

る方法がすぐれていることがわかるが、このような評価の方法では、発生コロナが安定であること、および一定の大きさのコロナができるだけ試料の局部に集中して発生することが必要となる。

ボイドコロナ法では、発生コロナが安定でないことが欠点で、これについては、S. I. Reynold 氏はポリエチレンについて図 2.2(a) のような人工ボイドを作ったときと、ポリエチレン製造中自然にできたボイドとについて各種の実験を行ない、ボイドの放電開始電圧が式(2.1)から計算したものと、実際の測定値とが非常にことなること、およびボイド中に放電を起させておくとボイド表面の漏れ抵抗値が変わってきて、安定な放電が起らないことを報告している<sup>(3)</sup>。また W. Rollinson 氏も、図 2.2 の電極配置では、放電が途中で間欠的となったり、停止したりするので、耐コロナ性試験電極としては適さないことを述べており<sup>(4)</sup>、さらに E. C. Rogers 氏<sup>(5)</sup>は、ボイドの直径と、ボイドの深さとをいろいろに変えて放電の安定性を調べ、ボイドの直径がその深さにくらべて約 10 倍以上に大きくないと放電の安定性がなく、この原因はやはりボイド表面の漏れ抵抗の変化が原因であろうと述べている。このようにボイドコロナ法は安定性がないので定量的試験法としては適さない。

直接法では、前述のように空隙長  $d$  が場所によってことなるので、発生コロナの大きさが非常に小さいものから大きいものまで広範囲に分布する。図 2.5 は厚さ 0.033 mm のマイカを試料として、図 2.3(b) の電極で印加電圧 1.5 kV における発生コロナの分布曲線を示したもので、コロナの放電電荷量は  $10^{-11}$  クーロン程度の小さいものから、約  $4 \times 10^{-9}$  クーロン程度の大きなものまで広範囲に分布するので、何クーロンのコロナが何発発生したかを定量的に表示することができない。またコロナ発生場所が一ヵ所に集中せず広い範囲に分散するので、定量的な耐コロナ性試験電極としては不適当である。

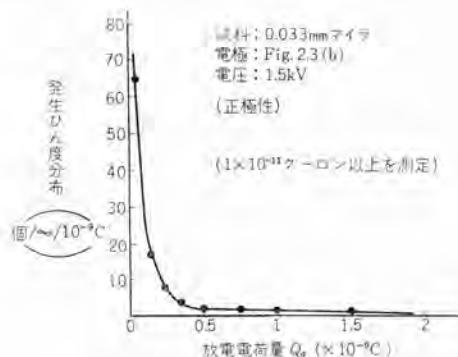


図 2.5 直接法電極によるコロナパルス発生分布の一例  
Fig. 2.5 Typical charge distribution curve of corona pulse obtained by direct electrode method.

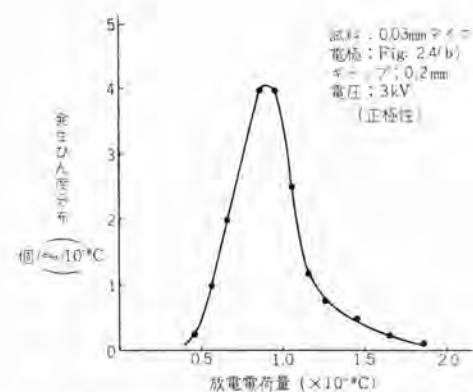


図 2.6 集中法電極によるコロナパルス発生分布  
Fig. 2.6 Charge distribution curve of corona pulse obtained with electrode shown in Fig 2.4 (b).

図 2.4 に示すような集中法では、発生コロナの大きさが図 2.6 に示すようにかなり狭い範囲に集中して発生するので、何クーロンのコロナが何発発生したかを定量的に表示することができる。図 2.6 は、厚さ 0.03 mm のマイカを試料とし、図 2.4 (b) の電極配置で、電極間隙 0.2 mm、印加電圧 3.0 kV における正極性パルスの放電電荷量と発生数の関係を示す分布曲線の一例である。この電極配置では、試料表面のある局部にコロナを集中して発生させることができ、また電極間隙の大きさを簡単に変えることができるので、これによって放電電荷量の大きさを任意に変えられるのが特長で、これらの点から、放電電荷量とコロナによる寿命との関係を定量的に評価するための電極配置としては集中法がもっとも適当である。

耐コロナ性試験の加速試験としては、コロナ発生数が印加電圧の電源周波数に比例するので高周波を用いるのが普通である。あまり周波数が高くなると、コロナ劣化だけでなく、誘電損失による劣化が加わるので、電源周波数としては普通数 kc 以下が適当である<sup>(6)</sup>。

### 3. コロナパルスの測定法

コロナの測定法にはいろいろの方法があるが<sup>(11)</sup>、コロナパルスの放電電荷量および発生数の測定には、図 3.1 に示すような回路が適当である。

試料  $C_x$  にコロナ放電が起ると、試料両端には瞬間に  $\delta v$  だけの電圧降下が生じ、このとき試料にあらわれるコロナの放電電荷量を  $Q_a$  とすると、



図 3.1 コロナ測定回路  
Fig. 3.1 Schematic diagram of corona measurement circuit.

$$\delta v = \frac{Q_a}{C_x + C_d} \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

となる。このとき検出抵抗  $R_d$  両端には

$$\left. \begin{aligned} V_d(t) &= \frac{Q_a}{C_x + C_d + C_x \frac{C_d}{C_0}} \cdot e^{-\alpha t} \\ \frac{1}{\alpha} &= R_d \left( C_d + \frac{C_x \cdot C_0}{C_x + C_0} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

なる電圧が生ずる。すなわち波頭がきわめて急峻で（普通  $10^{-8}$  秒程度）その波高値は  $Q_a$  および  $C_x, C_d, C_0$  などで決まる大きさを有し、波尾が測定回路系の時定数で減衰する波形が、検出抵抗両端に現われる。パルスの波尾長は後につづくパルスとの重なりを防ぐため短いほうがよいが、増幅器のレスポンスなどを考慮して普通  $1\sim 2 \mu s$  になるように回路定数を選ぶ。検出抵抗両端にあらわれるコロナ電圧を、図 3.1 に示すような増幅器、指示器などで測定し、回路の定数  $C_x, C_d, C_0$  の値を知れば、コロナの放電電荷量は式 (3.2) から求められるが、普通には次のような校正を行なうことによって放電電荷量を求めている。

感度校正の方法には、次の 2 種類の方法がある。その一つは図 3.2 に示すように、試料と検出抵抗の間に、既知の大きさの直角波電圧を印加する方法で、普通直列校正法と呼ばれている。図 3.3 は並列校正法と呼ばれているもので、 $C_p$  なるコンデンサを通して試料両端に既知の大きさの直角波電圧を印加する方法である。これらの方法で、校正用直角波電圧の大きさを  $E_0$  とすると、検出抵抗両端に現われる電圧  $V_0(t)$  は、図 3.2 の直列校正法では

$$\left. \begin{aligned} V_0(t) &= \frac{C_x \cdot E_0}{C_x + C_d + C_x \frac{C_d}{C_0}} \cdot e^{-\alpha t} \\ \frac{1}{\alpha} &= R_d \left( C_d + \frac{C_x \cdot C_0}{C_x + C_0} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

となり、また図 3.3 の並列校正法では、 $C_p \ll C_x$  に選ぶと

$$\left. \begin{aligned} V_0(t) &= \frac{C_p \cdot E_0}{C_x + C_d + C_x \frac{C_d}{C_0}} \cdot e^{-\alpha t} \\ \frac{1}{\alpha} &= R_d \left( C_d + \frac{C_x \cdot C_0}{C_x + C_0} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

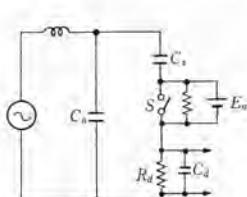


図 3.2 直列校正回路

Fig. 3.2 Series calibration circuit.

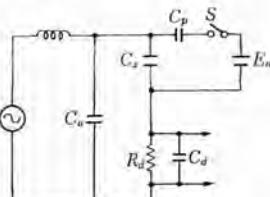


図 3.3 並列校正回路

Fig. 3.3 Parallel calibration circuit.

となる。式 (3.3) および式 (3.4) の波形は、実際のコロナが試料に発生したときに検出抵抗両端に現われる式 (3.2) の波形とまったく等しい。したがって図 3.2 または図 3.3 で校正電圧  $E_0$  を加えたときの測定器の指示  $V_0$  と、実際のコロナを測定したときの測定器の指示  $V_d$  を比較することによって、増幅器その他を含めた全回路系の感度校正を行なうことができる。いま  $V_d/V_0 = n$  とすれば、式 (3.2)～式 (3.4) から、コロナの放電電荷量  $Q_a$  は、図 3.2 の直列校正法では

$$Q_a = n \cdot C_x \cdot E_0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.5)$$

となり、また図 3.3 の並列校正法では

$$Q_a = n \cdot C_p \cdot E_0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.6)$$

となるので、これらの式からコロナの放電電荷量を求めることができる。

また試料にあらわれるコロナの放電電荷量  $Q_a$  と、コロナにより失われるエネルギー  $U$  との間には

$$U = \frac{1}{2} \cdot Q_a \cdot V_s \quad \dots \dots \dots \quad (3.7)$$

なる関係が成立するので<sup>(8)</sup>、この式からコロナの放電エネルギーを求めることができる。ここで  $V_s$  はコロナ開始電圧の波頭値である。

コロナの放電電荷量の大きさと、その発生頻度の分布を調べるには、適当な波高弁別器と計数装置が必要で、従来はショット回路による波高弁別器を増幅器の出力側に設け、あるレベル電圧以上のコロナパルスを計数し、このレベル電圧の大きさを変えて、いわゆるコロナの大きさと数との累積度数分布を測定し、これをもとに頻度分布を求めていたが、われわれは 1 チャネル 波高分析器を用いて、直接にコロナの大きさと発生数との頻度分布曲線を求めていた。

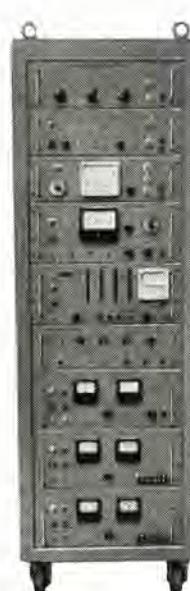


図 3.4 コロナパルス測定器

Fig. 3.4 View of corona pulse counter.

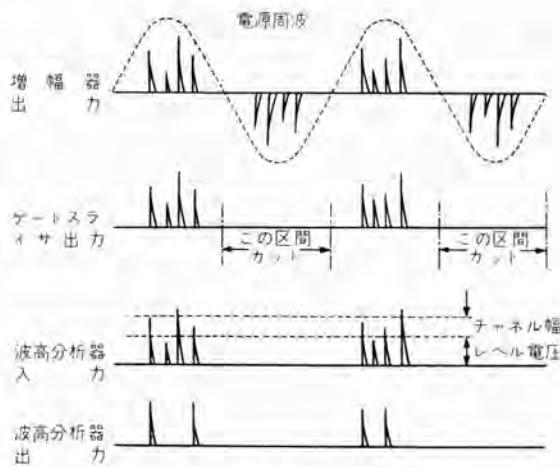


図 3.5 動作説明図

Fig. 3.5 Schematic representation of waveform at each step.

数装置にはいる。このチャネル幅の大きさは可変で、希望する大きさにチャネル幅を設定した後、レベル電圧を変えるとコロナの大きさと発生数の分布を直接に測定することができる。計数装置としては、計数率計とゲートタイマつきの計数計があり、目的に応じて選択使用される。また制御装置を付属した記録計を用いてコロナの大きさと発生数の頻度分布を、直接記録することもできるようになっている。なお增幅器内には極性変換器を自藏し、正コロナおよび負コロナを別々に分離して測定することができる。この装置で、波高分析器のチャネル幅を、検出抵抗両端に換算した値でたとえば5mVに設定し、レベル電圧の値を5mVごとに変化してコロナパルスを計数すれば、コロナの大きさを5mVごとに区分した頻度分布を簡単に求めることができる。

#### 4. 集中法による試験電極の形状

耐コロナ性の定量的な評価のためには、集中法による電極配置が適当であることを前に述べたが、もっとも適当な上部電極の形状を見つけるために、図4.1に示すような6種類の上部電極を用いて、コロナの大きさと発生数の分布、コロナの波形、放電の安定性などを調べた。図4.1で(a)は市販の蓄音機針、(b)は直径1.5mmのタンクステンの先端をとがらせたもの、(c)は直径2mmの

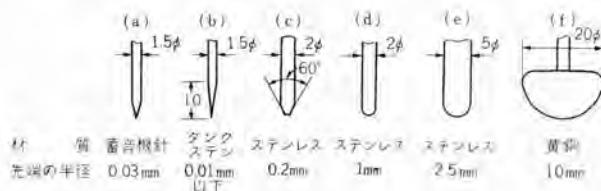


図 4.1 集中法試験のための各種上部電極

Fig. 4.1 Various upper electrodes for concentrate electrode method.

ステンレスの先を60度にとがらせ、最先端に半径0.2mmの丸味をつけたもの、(d)(e)(f)の先端はそれぞれ半球に仕上げたもので、先端の半径と材質はそれぞれ図4.1に記載した。(以後図4.1の電極を次のように呼ぶことにする。すなわち(a)を0.03R蓄音機針；(b)0.01Rタンクステン針；(c)0.2Rステンレス；(d)1.0Rステンレス；(e)2.5Rステンレス；(f)10R黄銅)

試料として厚さ0.033mmのマイラを用い、各電極について試料と上部電極間の空隙長を0.2~0.5mmに変え、各空隙長で印加電圧を変化して、コロナの大きさと発生数の分析およびコロナの波形を測定し、また間隙長0.2mm、印加電圧2.5kV(600c/s)で寿命試験を行ない、寿命試験中コロナ強度の時間的変化を測定してコロナ放電の安定性を調べた。

#### 4.1 放電電荷量と発生数の分布

厚さ0.033mmのマイラを、 $Pb_2O_3$ (一部は $CaCl_2$ )のデシケータ中におき(温度は25~29°C)、コロナの放電電荷量と発生数の分布を測定した結果の代表例を図4.2

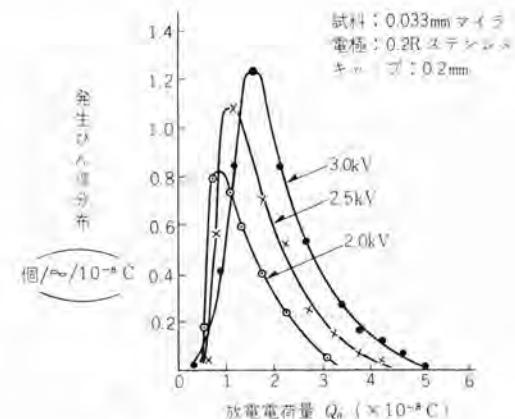


図 4.2 正極性コロナパルス分布の一例

Fig. 4.2 Typical charge distribution curves of positive corona obtained with electrode shown in Fig. 4.1 (c). (gap length: 0.2 mm)

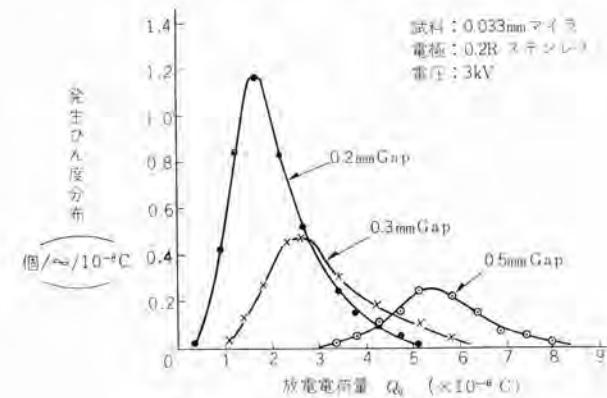


図 4.3 正極性コロナパルス分布の一例

Fig. 4.3 Typical charge distribution curves of positive corona obtained with electrode shown in Fig. 4.1 (c). (applied voltage: 3 kV)

~4.4 に示す、図 4.2 および図 4.3 は 0.2 R ステンレス 電極での正極性 コロナパルス の発生頻度分布曲線で、それぞれ印加電圧および間隙長をパラメータにとって示したものである。間隙長一定では、印加電圧が大きくなるほどコロナ発生数が増加し、放電電荷量もわずかに増大するがほとんど変わらない。また印加電圧一定では、間隙長が大きくなるほど放電電荷量が増え、発生数は減少する。印加電圧および間隙長が大きくなれば、分布曲線のひろがりは大きくなる傾向にあるが、実用上は相当狭い範囲に集中しており一般に 0.2~0.5 mm の間隙長では、コロナ開始電圧の約 2.5~3 倍以下の試験電圧が、耐 コロナ 性試験として適当な分布を示すようである。他の電極でも

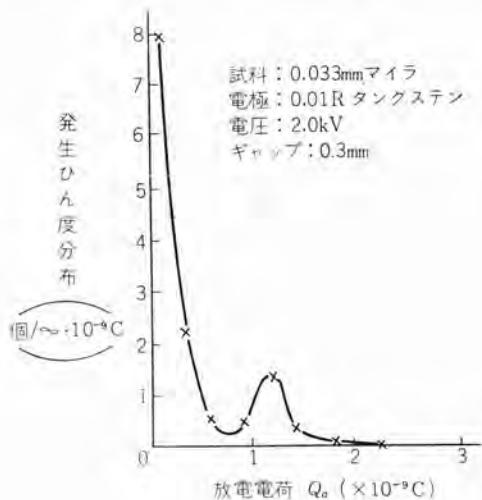


図 4.4 負極性 コロナパルス の分布の一例

Fig. 4.4 Charge distribution curve of negative corona obtained with electrode shown in Fig. 4.1 (b).

正極性 コロナ の発生頻度分布は、図 4.2 および図 4.3 とほぼ似たような分布曲線を示す。負極性 コロナ は、一般に正極性 コロナ よりも放電電荷量が小さく発生数が多い。また分布曲線の形状は 0.03 R 蕁音機針および 0.01 R タングステン 針電極以外の電極では、正極性 コロナ とほぼ似た分布曲線の形状を示すが、0.03 R 蕁音機針および 0.01 R タングステン 針電極の負極性 コロナ は、たとえば図 4.4 に示すように分布曲線に二つの山があり、数多くの小さいコロナパルス と、少数の大きなコロナパルス が発生する。先端を鋭くとがらせた針電極のばあいのこのような顕著な極性効果は、次に述べる コロナ の波形とも関連がある。

## 4.2 コロナ波形

図 3.1 の カソードフォロア の出力端に シンクロスコープ を接続して、コロナの波形を観測した結果の代表例を図 4.5 に示す。0.2 R ステンレス、1.0 R ステンレス および 10 R 黄銅

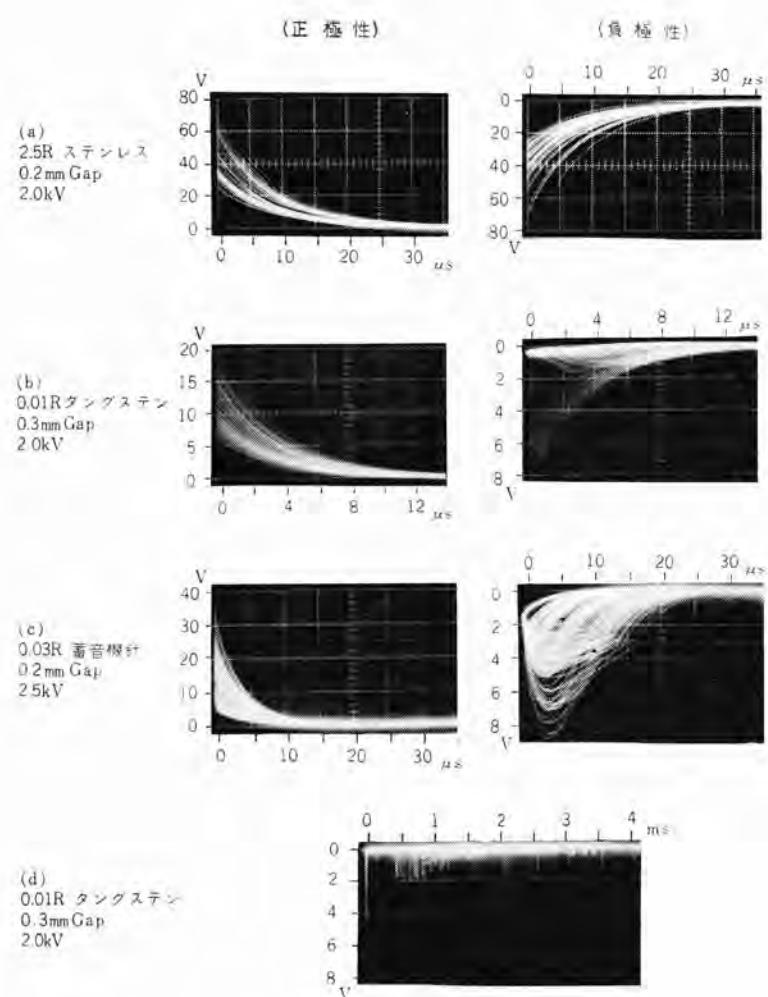


図 4.5 コロナ 波形

Fig. 4.5 Wave forms of corona pulses.

電極のばあいは、正極性および負極性コロナ とともに図 4.5 (a) に示す波形とまったく同じになる。すなわち波頭がきわめて急峻で波尾が測定回路の時定数で減衰する波形となって、式 (3.2) であらわされる波形になるが、0.03 R 蕁音機針および 0.01 R タングステン 針電極では、負極性 コロナ の波形が正極性 コロナ とことなり、図 4.5 (b) に示すように、波高値が大きく波頭の急峻な波形と、波高値が小さくて波頭長が 4~5 μs 程度のゆるやかな波形の両方が同時にあらわれ、また図 4.5 (c) のように波頭がゆるやかで波尾に節が生ずるばあいもある。図 4.5 (d) は (b) の波形を低速度掃引で観測したもので、波高値の大きい少数の パルス に引き続いて、波高値の小さい数多くの パルス が発生しており、図 4.4 の分布曲線とよく対応している。

上部電極の先端を鋭くとがらせた針電極のばあいの負コロナ の波形や、発生頻度の分布曲線の形状が、他のばあいと非常に様相を異にすることは興味深いが、この原因はコロナパルス が発生したときの、試料表面における表面電荷のふるまいと密接な関係がある。耐 コロナ 性試験用電

極としては、このような顕著な極性効果のあるものは好ましくない。

#### 4.3 コロナ放電の安定性

厚さ 0.033 mm のマイラを試料とし、間隙長を 0.2 mm にして、約 40°C, 30% RH の炉中でコロナ開始電圧を測定後、2.5 kV でコロナ発生数の頻度分布を測定し、引き続いで電源周波数 600 c/s, 電圧 2.5 kV で試料が破壊するまでの寿命試験を実施した。これらの試験を 0.03 R 蓄音機針を除く他の 5 種類の電極を用いておのの 6 回ずつ試験し、さらに寿命試験中の相対コロナ強度を記録し、コロナ放電の安定性を調べた。相対コロナ強度は図 3.1 の増幅器出力を充電 1 ミリ秒、放電 10 ミリ秒の時定数を有する平均値指示形計器で測定した値で、コロナの放電電荷量と発生数の積の平均値にはほぼ比例する値となるようにした。

試験結果を表 4.1 および図 4.6 に示す。表 4.1 の平均電荷は測定したコロナ発生数の頻度分布曲線を、図 4.7 に示すように  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_i$  および  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_i$  のように分け

$$\begin{aligned} \text{平均電荷} &= \frac{f_1 Q_1 + f_2 Q_2 + \dots + f_i Q_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i} \\ &= \frac{\sum f_i Q_i}{\sum f_i} \quad (4.1) \end{aligned}$$

表 4.1 各種の電極による試験結果

電 極	電 極				
	0.01R タンゲステン	0.2R ステンレス	1.0R ステンレス	2.5R ステンレス	10R 黄銅
コロナ開始電圧 (kV)	平均 0.85	1.4	1.6	1.47	1.65
	$\sigma$ 0.138	0.162	0.293	0.205	0.206
平均電荷量 $(Q_a \times 10^{-6} C)$	+ 平均 2.03	7.93	13.1	17.6	61.7
	- $\sigma$ 0.18	1.87	4.52	3.01	21.9
発 生 数 (個/∞)	+ 平均 0.46	2.24	3.80	6.72	30.7
	- $\sigma$ 0.13	1.08	2.48	3.44	23.2
$n \times Q_a$ ( $\times 10^{-8} C$ )	+ 平均 9.22	2.75	2.03	2.43	2.86
	- $\sigma$ 1.51	0.34	0.86	0.40	1.21
1 サイクル中の 放電エネルギー ( $10^{-6} J/\infty$ )	+ 平均 13.9	5.51	5.76	4.90	4.16
	- $\sigma$ 1.51	1.46	2.32	1.48	1.89
$n \times Q_a$ ( $\times 10^{-8} C$ )	+ 平均 1.86	2.13	2.27	4.16	15.0
	- $\sigma$ 0.31	0.16	0.55	1.67	3.73
寿命 (at 600 $\infty$ ) (min)	+ 平均 0.63	1.10	1.68	2.80	9.40
	- $\sigma$ 0.16	0.24	0.09	0.34	3.59
寿命 (at 600 $\infty$ ) (min)	+ 平均 11.0	21.2	25.0	43.3	177.7
	- $\sigma$ 1.05	3.62	4.17	7.33	52.0
寿命 (at 600 $\infty$ ) (min)	+ 平均 3.72	11.0	19.4	29.0	110.0
	- $\sigma$ 0.55	3.17	5.26	6.12	45.0
寿命 (at 600 $\infty$ ) (min)	平均 76	56	88	127	63
	$\sigma$ 11.9	8.3	18.0	25.9	14.3

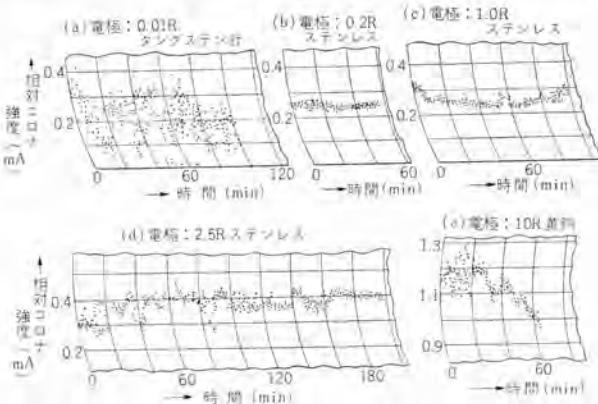


図 4.6 コロナ放電の安定性

Fig. 4.6 Stability of corona discharges.

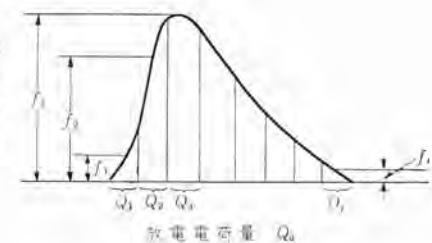


図 4.7 平均電荷量の求めかた

Fig. 4.7 Representation for calculation method of mean charge.

から求めたもので、また 1 サイクル 中の放電エネルギーは式 (3.7) から求めた 1 発のコロナの放電エネルギーに 1 サイクル 中の発生数を乗じたものである。

表 4.1 の各平均値について考察すると、コロナ開始電圧は 0.01 R タングステン針のはあいがもっとも低く、電界の不平等が他の電極よりも大きいことを示しているが、他の電極では電界が平等と考えられる 10 R 黄銅電極の値と大差ない。平均電荷量は、正負コロナともに電極先端の半径が大きくなるほど増大している。電極先端の半径によって平均電荷量が変わるのは、電極先端の半径が大きくなると、コロナ放電の直径が大きくなり放電面積が増大して、放電路の静電容量が増大するためであろう。正コロナは負コロナにくらべて電荷量が大きい。コロナ発生数は、0.01 R タングステン針がほかのものにくらべてとくに大きく、ほかはほとんど差異がない。負コロナは正コロナよりも全般に発生数が多い。

寿命時間は平均電荷量に 1 サイクル中の発生数を乗じた値、すなわち 1 サイクル 中の放電電荷量、または 1 サイクル 中の放電エネルギーの大きさと必ずしも逆比例の関係になく、電極先端の半径が大きくなるほど、これらの値が大きくなっているにもかかわらず、寿命時間も長くなっている。すなわち タングステン針と 0.2 R ステンレス電極を比較すると、放電エネルギーは後者が約 2 倍程度あるが、寿命はわずか 2 割程度しか短くなく、0.2 R ステンレスと 1.0 R ステンレスでは、放電エネルギーは後者が大きく寿命もまた後者が大きい。1.0 R ステンレスと 2.5 R ステンレスではエネルギーは後者が約 2 倍であるが寿命も増えている。一般には放電電荷量または放電エネルギーが増大すれば寿命は短くなる筈であるが、むしろ逆の傾向が見られるのは、電極先端が大きくなると、前述のように放電電荷量は大きくなるが、コロナ放電が試料のある一箇所に集中しなくなるためであると考える。このことの一証拠として、寿命試験後電極先端を詳細に調べると、10 R 黄銅では放電の痕跡が明らかに数箇所に分散していることが確かめられた。電極形状によって寿命時間が変わることは、耐コロナ性

試験用電極の選択に当たって注意すべきことであるが、定量的な耐コロナ性試験用電極としては、集中度のなるべく良い電極形状を選ぶべきことはいうまでもない。

図4.6は寿命試験中の相対コロナ強度の時間的変化を打点式記録計で記録したもので、図からわかるとおりタンクスティン針電極はほかのものにくらべて特別に分散が大きく、放電の安定性がないことを示している。他の電極では、先端の半径が大きくなるほど安定性は悪くなり、0.2 Rステンレスがもっとも安定性が良い。

以上集中法による試験電極として、6種類の電極について各種の試験を実施した結果、0.01Rタンクスティン針や0.03R蓄音機針のように先端を鋭くとがらせた電極では、コロナ放電の安定性が非常に悪くて耐コロナ性試験電極としては不適当であり、また放電電荷量と発生数の分布曲線の形状や、コロナの波形に顕著な極性効果があることも都合が悪い。その他の電極ではコロナ発生の分布曲線やコロナの波形に関しては、いずれの電極でも満足であるが、電極先端の半径が大きくなると、放電の安定性が悪くなり、また試料に対するコロナ放電の集中度が悪くなつて、集中法による定量的な耐コロナ性試験電極としては、図4.1(c)に示す0.2Rステンレス電極がもっともすぐれている。

## 5. む す び

絶縁材料の耐コロナ性試験法の趨勢を紹介し、種々の試験用電極について考察した結果、耐コロナ性の定量的測定には集中法による電極配置がもっとも適当であることを述べ、さらに上部電極は図4.1(c)に示すような形状のステンレス電極が、コロナ発生の分布、コロナの安定性や再現性、コロナ発生の集中度などの点からもっともすぐれていることを報告した。現在当所においては、この電

極を用いて種々の材料の耐コロナ性を測定しており、これらについては稿を改めて報告するが、コロナ放電の機構と、コロナによる絶縁物の劣化機構などについては、未だ明らかにされていないことが多い、これらの研究のためにも、また実用的見地からも耐コロナ性の定量的な試験法の確立が急がれており、電気学会放電専門委員会でもこれらの点に関して審議が進められている。この報告が絶縁物の耐コロナ性に関する研究に対して、いさかでも参考になれば幸いである。

(35-4-27受付)

## 参 考 文 献

- (1) C. W. Ross, E. B. Curdts: Considerations in Specifying Corona Test, Power Apparatus & System, No. 23 (April, 1956).
- (2) J. H. Mason: Breakdown of Insulation by Discharges. P. I. E. E. Pt II A, 100, No. 3 (March, 1953).
- (3) S. L. Reynold: On the Behavior of Natural and Artificial Voids in Insulation Under Internal Discharge. AIEE Trans Paper 58-1186.
- (4) W. Rollinson: Long-time Electric Breakdown of Common Insulating Materials. Metro. Vic. G., (Dec. 1957).
- (5) E. C. Rogers: The Self-Extinction of Gaseous Discharges in Cavities in Dielectrics, P. I. E. E., 105, Pt. A, No. 24 (Dec. 1958).
- (6) T. W. Dakin, H. M. Philosky, W. C. Divens: Effect of Electrical Discharges on the Breakdown of Solid Insulation, Tran. of A. I. E. E. 73, Pt III, p. 155. (May, 1954).
- (7) 豊田・坂田: 固体絶縁物の耐コロナ性における温度効果 関西支部連大, 24, (昭32).
- (8) 堀井: コロナ放電によるポリメチルメタクリレートの絶縁破壊 電試彙報 22, 5 (昭33).
- (9) 岡本・池田: ポリエチレンのコロナ破壊 連大, 78, (昭34).
- (10) 原: マイカの耐コロナ性 電学誌 80, p. 372 (昭35-3).
- (11) 原: 電気機器絶縁のコロナ試験 「三菱電機」 31 p. 243 (昭30).

## ==== 最近における当社の社外寄稿一覧 ====

寄稿年月日	寄 稿 先	題 名	執筆者	所属場所
35-4-1	オーム社	電子管式 アナログ計算機境界値問題の自動演算	福永圭之介	研究所
〃-4-2	照明学会	光電効果の応用	伊吹順章	研究所
〃-4-7	電気学会	発電機絶縁の耐コロナ性	原仁吾・平林庄司	研究所
〃-4-10	照明学会	札幌、三菱ショールームの照明	小堀富次雄	本社
〃-4-13	オートメーション	サイパック	新谷保次	神戸
〃-4-14	日本電気協会	3.6 kV 300 MVA 300 A センタープローアウト式新形磁気シヤ断器	富永正太郎	伊丹
〃-4-18	"	82 V 120 kA 電気化学用シリコン整流器	加藤又彦	伊丹
〃-4-23	大阪府銅合金鋳物組合	アメリカにおける非鉄合金鋳造技術	島津大介	伊丹
〃-4-29	高分子化学	アルキッド樹脂皮膜の粘弾性質	柴山恭一	研究所

# 高速航空機用埋込み形アンテナとその諸問題

研究所 喜連川 隆\*・武市吉博\*

## Flush-Mounted Antennas for High Speed Aircraft

Research Laboratory Takashi KITSUREGAWA・Yoshihiro TAKEICHI

With the advent of high-speed aircraft, necessity of eliminating the drag of aircraft antennas has come to pose so great a problem that research and development of zero-drag, flush-mounted antennas have become one of vital requisites in present-day avionics. For some years Mitsubishi has been trying hard in the study of flush-mounted antennas for home-built airplanes, achieving fairly good results by putting the manufactures to practical use. Herein are accounted for the outline of painstaking efforts exerted in the study together with basic problems concerning the flush mounting of aircraft antenna free from ill effect on an aerodynamically streamlined surface of the aircraft. Brief descriptions on various types now available for practical use or under investigation are also among the rest.

### I. まえがき

航空機用アンテナとしては、線条形、ユニポール形、ダイポール形、ループ形など、機体の外部に取付ける形式のアンテナが多年にわたって使用され、かつこれらのアンテナの小形化、流線形化、取付方法などが研究されてきたが、航空機のいちじるしい高速化に伴い、このような外付形アンテナによって生じる抗力が航空機に大きな空力学的障害をもたらすとともに、アンテナそのものも機械的故障が起りやすくなる。

そこでアンテナを機体表面内に完全に埋込み、機体の空力学的形状を少しもそこなうことなく、機械的故障も起りにくい無抗力形式が必要になる。この形式のアンテナが一般に埋込み形アンテナ(flush-mounted antenna)と称されているものである。

航空機用埋込み形アンテナには、大別して、機体の一部あるいは全部を輻射体として動かせるものと、機体の内部に普通形式の輻射器を設置するものがある。

機体構造物そのものを輻射体として利用する方式については、すでに1930年代にその研究が行なわれている<sup>(1)</sup>が、いわゆる埋込み形アンテナの本格的研究が行なわれ出したのは大体第2次世界大戦以後のようであり、今や航空機設計における基本的要素の一つになっている。

航空機用埋込み形アンテナは、実用上はもちろん、アンテナの研究そのものとしてもはなはだ興味深いものがあるので、数年前からこの種のアンテナの研究を行なって

きたが、既報のように、ジェット練習機のUHF通信用テールキャップアンテナ(tail-cap antenna)の実用化に成功し好成績を納め<sup>(2)~(4)</sup>、また中型輸送機などの埋込み形アンテナの実用化研究を一応完了するとともに、航空機用に適した環状スロットアンテナ(annular slot antenna)の実用化研究を行なっている。

ここにこれらの研究のあらましの紹介を兼ねて、航空機用アンテナの埋込み(flush mounting)に関する基礎的問題を論じるとともに、現在実用あるいは研究されつつある種々の埋込み形アンテナとその諸問題について述べることにする。

なお、これらの埋込み形アンテナのうち、とくに興味のある、機体を輻射体として動かせるものを主として述べる。また、航空機用アンテナの使用電波は、波長が機体に比べてきわめて長いLFから、きわめて短いSHFまでの広範囲にわたるが、これらの周波数帯のアンテナのうち、マイクロ波領域のものについてはまた別の機会に論じたい。

### II. 輻射体としての航空機体

機体を輻射体として動かせる方式の埋込み形アンテナは、一般的の線状アンテナや開口アンテナとはやや趣を異にしている。すなわちこの種の埋込み形アンテナは、共振現象が問題になる強制振動電流を流してこれにより電波を輻射させようという点においては、普通の線状アンテナと原理的には同じであるけれども、その輻射体はすでに

与えられた複雑な形状をもつ機体そのものであり、また輻射体になる機体を励振する装置も、都合の良いものを都合の良い場所に取付けるというわけには行かない。

まず波長の長い LF (周波数 30~300 kc, 波長 10~1 km) および MF (周波数 300~3,000 kc, 波長 1,000~100 m) のような周波数帯を考えると、現在の一般航空機は波長に比べてあまりにも小さく、そのため機体に最低次の共振をも起し得ない。したがって能率がはなはだ悪い双極子アンテナとして働く以外に方法がない。しかもこの周波数帯においては垂直偏波を受信する必要があるにもかかわらず、機体を上下二つに分割して双極子らしい双極子を構成するというようなことは实际上まったく不可能なことであるから、もっとも上手に工夫しても、波長と比べて長さが非常に短くしかも非対称なダイポールアンテナの性能以上の性能を期待することができない。

つぎに HF (周波数 3~30 Mc, 波長 100~10 m) 帯を中心として考えると、機体がようやく波長と同程度の寸法になり、数個の共振モードが生じるようになれば、適当な共振モードあるいはその組合せを上手に用いると、機体を能率の良い輻射体として働くことが原理的に可能となる。しかし実際においては、輻射体となる機体の構造的制限のために、たとえば胴体を前後二つに分割するというような、任意の機体励振方法を採用することができないから、このような制限のもとに、原理的に可能な上限にまで電気的性能を向上させうるような機体励振方法を考察することが、この周波数帯における重要な問題点である。

さらに VHF (周波数 30~300 Mc, 波長 10~1 m) 帯に至れば、機体の一部が共振するようになり、機体の適当な部分を能率の良い輻射体とすることができる。ここにおいて、原理的にも実際においても、地上のアンテナと同程度の電気的性能が得られるように一応は期待されそうであるが、この場合には機体の他部分が障害となり十分な輻射指向特性を得ることがむつかしいということなど、低い周波数におけるとはまた別の困難な問題が生じる。

### III. 機体主要寸法より十分長い波長領域のアンテナ

周波数が約 2 Mc 以下の LF/MF 無指向性 ラジオビーコン (non-directional radio beacon), LF/MF 4 コースラジオレンジ (four course radio range), ロラン (long range navigation, loran), デッカ (decca) などの長中距離航行方式に使用される電波の波長は、一般の大形航空機の最大寸法に比べても十分長く、したがってこれらの方式用のアン

テナはすべて、機体主要寸法より十分長い波長領域のアンテナとして考察することができる。

なおこの周波数帯の長中距離航行方式の地上局は、垂直偏波を輻射する送信局であるのが一般であるから、以下においては垂直偏波受信用アンテナを考える。

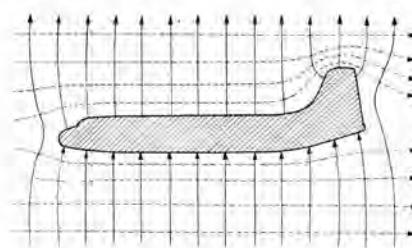
この波長領域においてはいかなる形式のアンテナも双極子アンテナになる。垂直偏波水平面内無指向性アンテナは電気双極子アンテナ、垂直偏波水平面内指向性アンテナは磁気双極子アンテナに限られる。したがって、このような双極子をもつとも有効に形成する方法と、双極子軸の方向とを調べるために、まず垂直偏波に対する機体の電磁気的性質を考察する。

#### 1. 機体の電磁気的性質

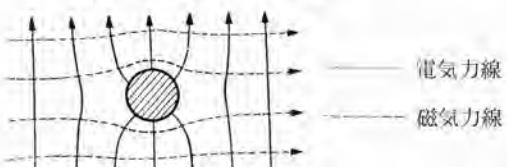
波長が機体寸法より十分に長く、機体の共振現象が起り得ない領域においては、機体近傍の電磁界はこれを準静的に取扱うことができる<sup>(5)</sup>。すなわちこの波長領域の電磁波が航空機に入射する場合に、機体の周囲に生じる電界あるいは磁界は、入射波と同じ力線の方向をもつて一様な静電界あるいは静磁界中に航空機を置いた場合のそれらに近似し得、ただそれらが印加無線周波電磁界と同期して時間的变化をする点だけが異なっている。したがって、垂直偏波が飛行中の航空機に入射する場合を考えると、機体周辺には図 III. 1.1 のような電磁界が形成される。

まず垂直偏波水平面内無指向性アンテナについて考えるために、機体近傍の電界を調べる。

垂直偏波入射の機体近傍の集中電界は、静電界の性質を考えれば、図 III. 1.1 からもわかるように、垂直尾翼先端付近がとくに強く、また胴体においてはその上面あるいは下面の中心線上が強いことは明らかである。すなわち



(a) 垂直偏波横方向入射



(b) 垂直偏波縦方向入射

図 III. 1.1 機体近傍の準静電磁界

Fig. III. 1.1 Quasi-static fields near an airframe.

機体の曲率半径が小さい部分の近傍の電界強度が印加電界強度より大になる、この両者の比が curvature factor<sup>(5)</sup>と呼ばれるものである。Douglas DC-6A についての測定結果<sup>(5)</sup>によれば、垂直偏波に対する胴体上下面中心線上の curvature factor は、航空機の主翼および尾翼の近辺を除けば、無限導電円筒に対する理論値 2 にきわめて近い値であることが示されている。

一方、いま考へている波長領域においては、機体は波長に比べて十分小さいので、入射電界に結合するアンテナの指向特性は簡単な電気双極子の指向特性になる。この電気双極子はもちろんアンテナ素子および機体によって形成されるものであるから、アンテナ素子の機体上設置位置により双極子軸の方向がいちじるしく変る。そしてアンテナ素子が機体に比べて十分小さい場合には、双極子軸傾斜角は、アンテナ素子そのものの形状寸法にはほとんど無関係に、機体上のアンテナ素子設置位置によって定まる。前記測定結果<sup>(5)</sup>によれば、DC-6A については、胴体の上面あるいは下面の中心線上における双極子軸傾斜角は、機軸に垂直な方向から測って最大 60~70 度程度になり、胴体のほぼ中央部で 0 度、すなわち双極子軸が垂直になることが示されている。

したがってロラン方式のアンテナのように、電気双極子軸の方向があまり重要でなく、單に入射垂直偏波信号に対する感度をできるだけ大きくすることが必要な場合には、curvature factor の大きい位置、つまり局部集中電界強度の大きい位置にアンテナ素子を設置すればよく、また自動方向探知機（ADF）のセンスアンテナのように、電気双極子軸方向が垂直であることが必要な場合には、双極子軸傾斜角 0 度の位置を選定しなければならない。

つぎに垂直偏波水平面内指向性アンテナについて考えるために、機体近傍の磁界を調べる。

垂直偏波入射の機体近傍の磁界は、機体によって図 III.1.1 のようなヒズミを生じる。この場合胴体の上面あるいは下面の中心線付近の局部磁界強度は入射磁界強度より大きい。そしてこの磁界強度増加の割合は、機体に対する電波の入射が機軸方向であるか、あるいはそれに直角な横方向であるかによって異なる。すなわち、たとえば理想的な場合として、胴体の代りに無限長円筒形導体を考えると、その表面における磁界強度増加割合は、磁界方向と円筒軸方向とが互に垂直なときは 2 であるが、平行なときは 1 である<sup>(5)</sup>。Douglas DC-4 についての測定結果<sup>(6)</sup>によれば、垂直尾翼付近以外では、大体上記のような値になることが示されている。したがって、機体近傍の局部磁界は、入射磁界の方向が機軸方向あるいは機軸と直角な方向の場合には、強度はあっても方向は変

らない。しかし入射磁界方向がその他の方向である場合には、局部磁界は強度も方向も変化する。

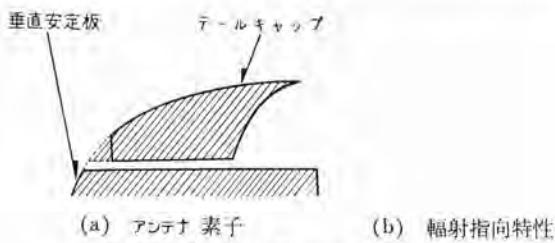
ADF のループアンテナのように、その無感度軸の方向をもって方位を知る方式のアンテナにおいては、局部磁界の方向の変化は大きな問題であって、いわゆる 4 分円誤差としてよく知られている。アンテナの設置にあたっては、この方位誤差の少ない機体上位置をあらかじめ選定するのが得策である。しかしこの誤差は機械的あるいは電気的に補正することができる。

## 2. 垂直偏波水平面内無指向性アンテナ

### 2.1 テールキャップアンテナ

ロランアンテナのように、もっぱら垂直偏波に対する受信感度の高いことが望ましい場合には、curvature factor の大きい個所、具体的には垂直尾翼先端付近に着目するのが有利である。

垂直安定板を利用して感度の高い埋込み形アンテナを実現するには、図 III.2.1 (a)<sup>(7)</sup> のように、垂直安定板先端部を機械的強度の大きい誘電体によって機体の他部分から絶縁してアンテナ素子とし、あるいは安定板先端部を除去してそこに同形の誘電体カバーを取付け、その中にアンテナ素子を設けるテールキャップアンテナ<sup>(5)~(7)</sup>がよい。これは



(a) アンテナ素子 (b) 辐射指向特性  
図 III.2.1 ロラン用テールキャップアンテナ<sup>(7)</sup>

Fig. III.2.1 A tail-cap antenna for loran system<sup>(7)</sup>.

この素子と機体とで電気双極子を形成するものであって、その双極子軸は普通、図 III.2.1 (b)<sup>(7)</sup> のように傾く。これは垂直安定板に流れる電流による垂直の双極子能率と、胴体を流れる電流による水平の双極子能率との重畠の結果と考えることができる。

### 2.2 空洞アンテナ

ADF センスアンテナのような場合には、等価電気双極子軸が正しく垂直であるところにアンテナ素子を設置する必要がある。このような場合には、従来一般に使用されてきた線条形アンテナに代る埋込み形アンテナとして、空洞アンテナ<sup>(8)</sup>が用いられる。

この種のアンテナは頂部負荷ユニポーラアンテナの変形であって、VHF~UHF 帯で使用される空洞アンテナとは原理的に異なっており、その入力インピーダンスはいちじるしく容量性である。

### 3. 垂直偏波水平面内指向性アンテナ

この波長領域においては、垂直偏波水平面内指向性アンテナは磁気双極子アンテナに限られる。したがって、この指向性アンテナは電流ループで形成する必要がある。

#### 3.1 埋込み形ループアンテナ

ループアンテナは、機体に凹所を作り、その中に設置する方式の埋込み形アンテナにする<sup>(8)</sup>のが普通である。またこの凹所に無指向性アンテナを併置して、ADF用埋込み形アンテナとすることができる<sup>(6)(8)</sup>。

## IV. 機体主要寸法と同程度の波長領域のアンテナ

周波数がほぼ2Mcから30Mc程度までの長距離および中距離通信に用いられる電波の波長は、この帯域の下端を除いては、現用中形あるいは大型飛行機の主要構造物寸法と同程度である。したがって翼や胴体をうまく励振すれば、これらはすぐれた輻射体として働くはずである。すなわちこの波長領域の埋込み形アンテナにおける問題点は、構造的に可能な、機体の有効な励振方法を考案することであって、このためには、まず機体に流れる電流のモードおよび電磁気的共振現象を調べる必要がある。

### 1. 機体の電磁気的性質

この波長領域において実際の機体を励振した場合の電流分布や共振現象はきわめて複雑である<sup>(9)(10)</sup>。しかしこの根本的には、一般航空機体は機軸を含む垂直面に関して対称であるから、機体表面電流の流れ方を図IV.1.1のように、この垂直面に関して対称モードと逆対称モードとの二つに分類することができ<sup>(6)</sup>、それぞれのモードの性質を調べることによって、機体の電磁気的性質を知ることができる。

機体電流モードとして代表的なものを考えると、対称モードとしては、主翼の一端から他端へ流れるモードおよび水平尾翼の一端から他端へ流れるモードがあり、逆対称モードとしては、垂直尾翼先端から胴体上面に沿い主翼の付根を経て両主翼端へ流れるモードおよび垂直尾

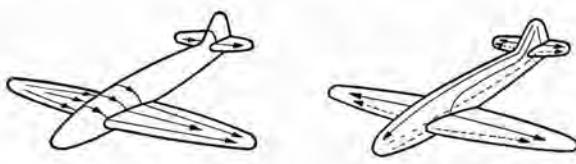


図 IV.1.1 機体電流の対称および逆対称モード

Fig. IV.1.1 Symmetric and antisymmetric modes of airframe currents.

翼先端から両水平尾翼端へ流れるモード、ならびに機首から両主翼端へあるいは両水平尾翼端へ流れるモードがある。そして最長電流路が約半波長になる周波数で、機体の最低次の共振が起る。

### 2. 可能な機体電流励振方法

この波長領域の埋込み形アンテナを考える場合、輻射体となる機体の形状寸法は既定であるから、アンテナの電気的特性は、主として前記機体電流モードに対する励振装置の結合の仕方、すなわちこの励振装置が励振すべきモードの種類と、そのモードと励振装置との結合の強さによって定まる。この問題は、実際のアンテナ設計においては、機体電流励振装置の種類と位置とを定める問題に帰着する。

根本的には、可能な励振方法は二つしかない。これは空洞共振器を励振する場合の電圧プローブおよび電流ループと対応させることができる<sup>(11)</sup>。電圧プローブに相当するものはキャップアンテナ(cap antenna)<sup>(6)(7)(9)(10)(12)(13)</sup>であって、これは先にも述べたように、機体の一端を絶縁し、この絶縁部分に給電電圧を印加することによって、機体を励振するものである。電流ループに相当するものはシントアンテナ(shunt-fed antenna)<sup>(6)(11)(12)(14)</sup>およびノッチアンテナ(notch-fed antenna)<sup>(6)(8)(11)(12)(15)(16)</sup>であって、前者は翼縁などの、機体電流密度が大きい個所に並列導体を埋込み、後者は同様個所に切込みを設けて、磁気的結合により機体を励振するものである。

この波長領域において原理的に可能な機体励振方法としては、図IV.2.1および図IV.2.2のような方法を考えることができる。図IV.2.1(a)～(d)および図IV.2.2(a)～(c)の励振方法においては、励振素子が機体対称面内にあって、機体に逆対称モードの電流を励振する。図IV.2.1(e),(f)および図IV.2.2(d),(e)においては、励振素子が機体対称面に関して対称性をもたないため、機体に対称モードと逆対称モードとの両方の電流を励振する。なお後の励振方法において、その励振素子を機体対称面の両側に対称に設け、これに逆相給電することによって、機体に対称モードの電流を励振することができる。

この波長領域においては、アンテナの指向特性は、機体に流れる電流のモードによって定まる。すなわち指向性の一般的な性質は、航空機の胴体、主翼、ならびに水平および垂直尾翼を、電流モードによって定まる電流の振幅分布および位相分布を代表する電流線条と考えることによって解明することができる。前述の電流モードの性質を考えれば、逆対称モードの電流からの輻射は機軸を軸とするダイポールアンテナの指向特性に類似し、対称モ-

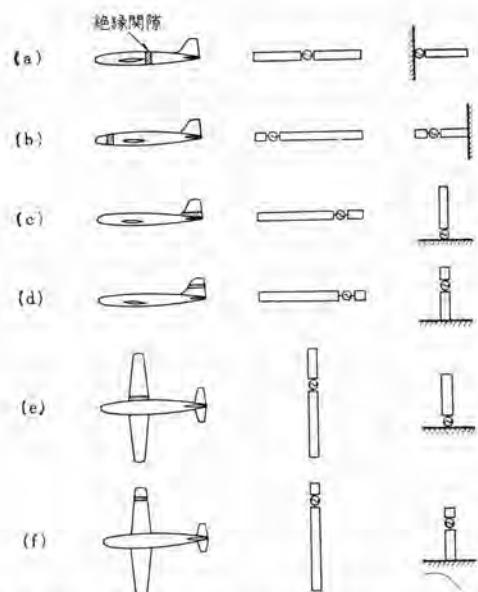


図 IV.2.1 原理的に可能な直列給電励振方法と、等価的 ダイポールあるいはユニポールアンテナ

Fig. IV.2.1 Theoretically possible methods of series feed excitation and equivalent dipole or unipole antennas.

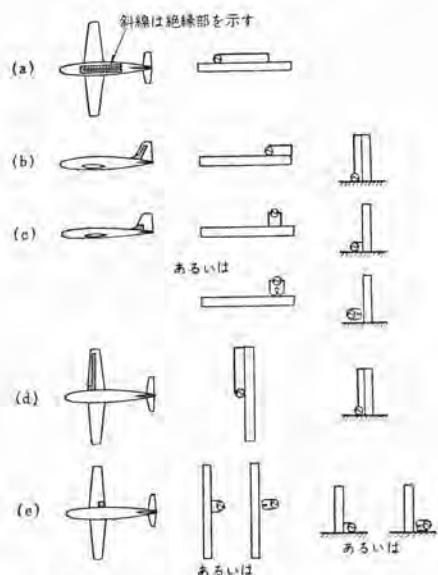


図 IV.2.2 原理的に可能な並列給電励振方法と、等価的 ダイポールあるいはユニポールアンテナ

Fig. IV.2.2 Theoretically possible methods of shunt feed excitation and equivalent dipole or unipole antennas.

ドの電流からの輻射は機軸に直角な水平方向に軸をもつダイポールアンテナの指向特性に類似することは明らかである。

この周波数帯のアンテナは通信用アンテナであり、そして通信用アンテナは水平面内無指向性が望ましいから、水平面内にただ 1 本のダイポール軸しかないということは望ましくない。したがって理想的には、機体電流は対称逆対称モードの重畠であることが望ましい。また主翼と胴体とに 90 度の位相差をもつ等振幅電流を励振す

ることによって、水平偏波水平面内無指向性を得ることができる。

なお図 IV.2.1 および図 IV.2.2 に掲げた励振方法は単に原理的に可能と考えられる方法であって、実際の航空機には、構造上から、あるいは機械的強度の点から適用できないものもある。したがって以下においては、すでに実用段階にあるもの、あるいは構造的に実用可能として研究されているものに限って述べ、あわせて現在当社で中形輸送機用として研究している埋込み形アンテナのうち、この波長領域のものについて概要を述べることにする。

### 3. キャップアンテナ

図 IV.2.1 の直列給電方式は機体を輻射体として励振するのにきわめて有効な方法である。これらのうち構造的に実用性があるのは (d) および (f) である。

これら (d) および (f) はいわゆる キャップアンテナ であって、この形式のアンテナは原理的には非対称給電のダイポールアンテナと考えることができる。非対称給電線状ダイポールアンテナの入力インピーダンス  $Z$  は

$$Z = \frac{1}{2}(Z_1 + Z_2)$$

によって近似することができる<sup>(6)(17)</sup>。ここで  $Z_1$  は、非対称給電線状ダイポールアンテナの一方の素子の長さ  $l_1$  を半分の長さとする中央給電線状ダイポールアンテナのインピーダンスであり、 $Z_2$  は他方の素子の長さ  $l_2$  を半分の長さとする中央給電線状ダイポールアンテナのインピーダンスである。したがって、キャップが波長に比べて非常に小さいが、機体が波長と同程度である場合には、キャップアンテナの入力インピーダンスのリアクタンス分はほとんどキャップによって定まり、抵抗分はほぼ機体によって定まるということになる。

事実、種々のキャップアンテナについての測定結果<sup>(6)(10)(13)</sup>によれば、入力インピーダンスのリアクタンス分は短いダイポールアンテナのそれに類似しているが、抵抗分には各モードの電流路が共振長になる周波数でピークが現われることが示されている。

#### 3.1 テールキャップアンテナ

このアンテナは垂直尾翼の一部を機体他部分から絶縁し、これに給電して、機体に逆対称モードの電流を励振するものであって、この波長領域における通信用埋込み形アンテナとして、構造的に十分可能で、電気的にもっともすぐれた性能をもたらすと考えられる形式である。

図 IV.3.1 は、中形輸送機の HF 通信(2~22 Mc)用埋込み形アンテナとして、通産省試験研究費をいただいて研究し、現在も引き続き研究中の HF テールキャップアンテナの

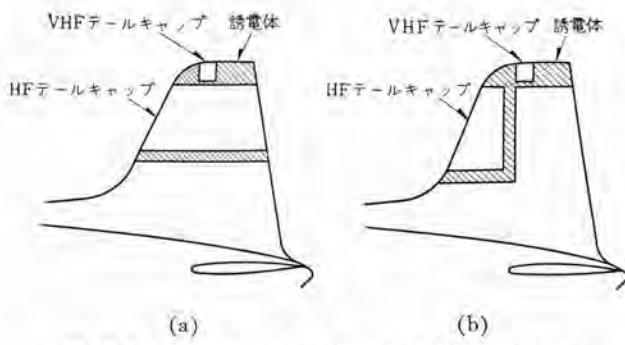


図 IV.3.1 中形輸送機の HF および VHF 通信用 テールキャップアンテナ

Fig. IV.3.1 Tail-cap antennas of a transport plane for HF and VHF communications.

概略を示したものであって、VHF テールキャップアンテナ もあわせて示してある。図 IV.3.1 (a) の HF テールキャップアンテナ は普通形式のものであり、図 IV.3.1 (b) のそれは L 形絶縁間隙をもつものである。前者は電気的にすぐれた性能を比較的得やすい利点があり、後者はつぎのような構造的電気的利点、すなわち構造的には、絶縁間隙が垂直安定板主けたおよび方向舵とその平衡機構とを横切らないこと、電気的には、絶縁間隙に フィルタ を使用せずに垂直安定板上端位置に別の アンテナ あるいは航空灯を取付けうることなどの利点がある。

この テールキャップアンテナ における問題点は、キャップの形状寸法および絶縁間隙寸法ならびに給電点位置の選定にある。これらのうち、絶縁間隙寸法は、これを変えると基部並列容量が変化し、アンテナ 入力 インピーダンス に大きい影響を与えるが、構造上の理由から、高高度において電圧絶縁破壊を起さない範囲で最小に選ぶのが普通である。キャップの形状寸法ならびに給電点位置についての、今回の中形輸送機用 HF アンテナ 研究結果の結論はつぎのとおりである。すなわち アンテナ 入力 インピーダンス は一般に容量性であるが、絶縁間隙を一定に保ちつつキャップの寸法を大きくして行くと、入力 インピーダンス の抵抗分に及ぼす影響は小さいが、リアクタンス 分は直接キャップの寸法の増大とともに減少し、インピーダンス 特性が良くなる。また給電点位置も入力 インピーダンス に大きい影響を与え、たとえば L 形間隙 テールキャップアンテナ においては、給電点位置は キャップ 底部よりも頂部のはうが、はるかに良好な インピーダンス 特性を得ることができる。

### 3.2 ウィングキャップアンテナ

ウィングキャップアンテナ (wing-cap antenna) は主翼端部を機体他部分から絶縁し、これに給電して、機体に対称および逆対称 モード の電流を励振するものである。原理的に考えて、テールキャップアンテナ と同程度の インピーダンス 特性を期待しうる。機体に対称および逆対称の両 モード の

電流が流れるから、この アンテナ の輻射指向特性は、波長が比較的長い場合には、テールキャップアンテナ よりむしろ良好でありうるが、波長が HF 帯の中でも短くなると胴体の シャハイ 効果のためにいちじるしく劣化する。

### 4. シャントおよびノッチアンテナ

図 IV.2.2 に示した シャント および ノッチアンテナ は、機体を磁気的に励振するものであって、機体と励振装置との結合機構の解析、実際の励振方法および特性の研究が行なわれている。

この形式の アンテナ の入力 アドミタンス  $Y$  は

$$Y = Y_1 + Y_2 \left( \frac{I_1}{I_2} \right)^2$$

の形で与えられる<sup>(11)</sup>。ここで  $Y_1$  は図 IV.4.1 におけるノッチ あるいは図 VI.4.2 における シャント の自己アドミタンスである。これは純セラブタンスである。 $Y_2$  は図 IV.4.1 (b) のように、かりに全横断面を絶縁し アンテナ として励振するものとしたときの アドミタンス である。 $I_1$  および  $I_2$  は、図 IV.4.1 および図 IV.4.2 において、それぞれ給電点を流れる電流および機体構造物を流れる全電流である。 $Y_1$  は純セラブタンスであるから、入力アドミタンスの輻射コンダクタンス 分は第 2 項  $Y_2 \left( \frac{I_1}{I_2} \right)^2$  で定まる。したがって、輻射コンダクタンス を大きくして特性を良くするためには、給電点を機体端部からできるだけ離れたところに、また機体電流がもっとも集中しているところに設ける必要がある。

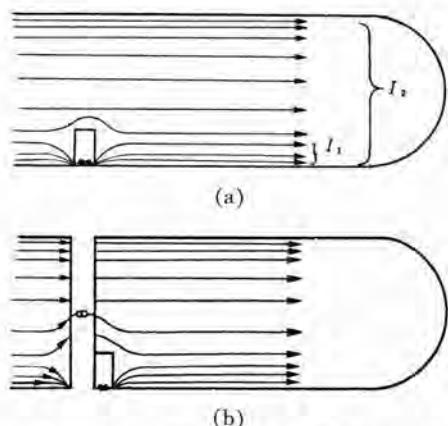


図 IV.4.1 ノッチアンテナ とその電流分布<sup>(11)</sup>  
Fig. IV.4.1 Notch-fed antenna and its current distribution<sup>(11)</sup>.

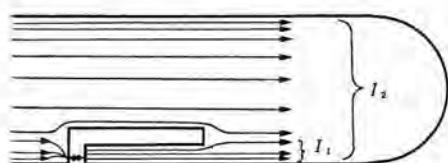


図 IV.4.2 シャントアンテナ とその電流分布<sup>(11)</sup>  
Fig. IV.4.2 Shunt-fed antenna and its current distribution<sup>(11)</sup>.

ある。これら二つのことから、給電点は翼の付根が電気的に最適位置であろうと結論されている<sup>(11)</sup>。

## 5. インピーダンス整合と電力伝達能率

この波長領域の通信用アンテナの使用周波数の比帯域はきわめて広く、いかなる形式のアンテナにおいてもそのインピーダンスは広範囲に変化するので、給電線に対する整合は、単一の広帯域整合装置で行なうのは困難である。個々の使用周波数で整合がとれるような回路によるのが普通であり、種々の自動整合装置<sup>(18)(19)</sup>がある。

この周波数帯の低域においては、機体寸法が波長に比べてかなり小さいため、いかなる形式のアンテナも良好なインピーダンス特性が得がたく、したがって機上送信機から自由空間へ無線周波電力を能率よく伝達することが困難になる。すなわちこの波長領域のアンテナについては、そのインピーダンス整合と電力伝達能率の問題をとくに考察しておく必要がある。

電力伝達能率は、アンテナから空間に輻射される電力の、給電線に供給される電力に対する比として定義されている<sup>(13)</sup>。アンテナ構造物および給電線の損失を無視す

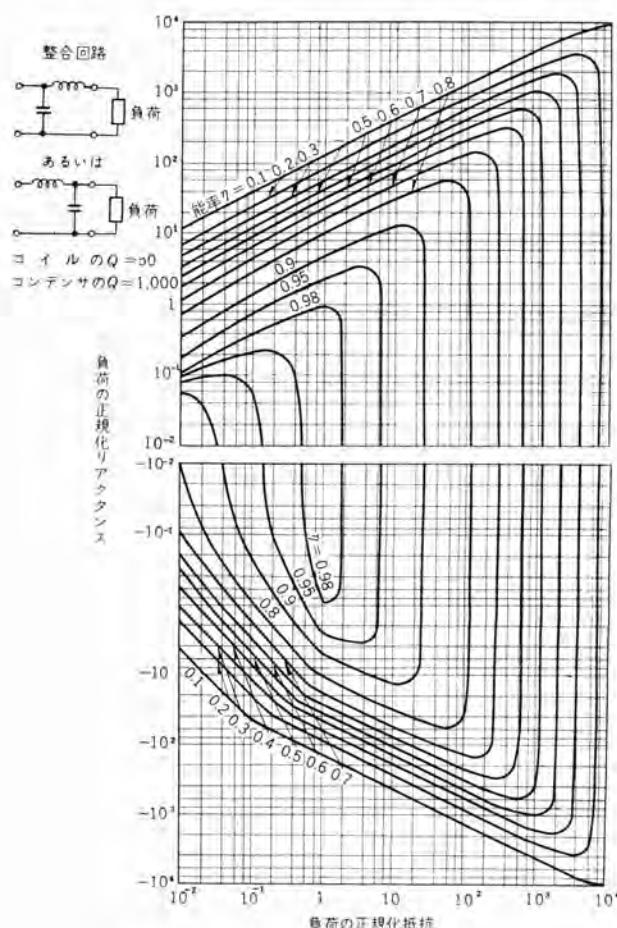


図 IV.5.1 インピーダンス整合回路電力伝達能率

Fig. IV.5.1 Power transfer efficiency of impedance matching circuit.

れば、アンテナ電力伝達能率はアンテナインピーダンス整合回路電力伝達能率と一致する。整合回路能率についてすでに若干の計算例<sup>(20)</sup>があるが、これにはやや不十分な点があるので、アンテナ電力伝達能率の検討および実際の整合回路の設計のために、種々の整合回路網と回路素子の損失に対する整合回路能率を、ここにあらためて正確かつ詳細に計算した。結果の一例を図 IV.5.1 に示してある。

なお、この波長領域の通信用アンテナの電気的性能の尺度として、通信に必要な立体角（通常水平面の上下30度の角度範囲）内に輻射される電力の、全輻射電力に対する比として定義される輻射パターン能率、これと電力伝達能率との積として定義されるアンテナ系能率などが現在用いられているが、これらのものを含めて、一般にアンテナ性能の尺度については種々の問題がある<sup>(18)(21)</sup>。

## V. 機体主要寸法より十分短い波長領域のアンテナ

周波数が約 100 Mc 以上の、短距離の VHF および UHF 通信、ならびに VHF オムニレンジ（VHF omnirange, VOR）、距離測定装置（distance measuring equipment, DME）、計器着陸方式（instrument landing system, ILS）、電波高度計（radio altimeter）などの航法に使用される電波の波長は、一般航空機体の主要構造物の寸法に比べてかなり短い、したがって機体の一部を利用して共振寸法のアンテナを実現することができるから、良好なインピーダンス特性を得ることが比較的容易である。この波長領域においてはむしろ輻射指向特性に問題がある。

### 1. 機体の電磁気的性質

この波長領域の電波の波長は機体主要寸法に比べてかなり短いため、大抵のアンテナ系においては、機体はその大部分が地板として働くようになり、とくに無指向性アンテナにおいては、アンテナから輻射される直接波と機体からの反射波との干渉のために、輻射パターンには数多くの尖鋭なローブと電波の到達しにくい機体の陰影とが生じるようになる。

### 2. 無指向性アンテナ

#### 2.1 垂直偏波水平面内無指向性アンテナ

VHF 通信および UHF 通信には垂直偏波が使用され、そのアンテナは無指向性であることが必要である。

機体の一部を利用して垂直偏波の輻射体とするためには、機体の垂直構造物すなわち垂直尾翼を励振すればよい。垂直尾翼を励振するには、すでに第 4.2 で述べた

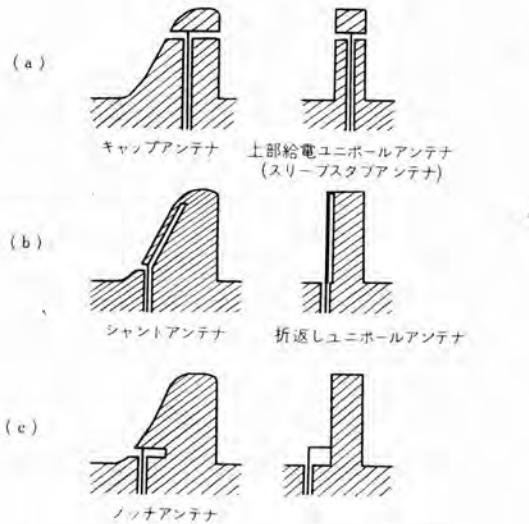


図 V.2.1 原理的に可能な垂直尾翼励振方法と、等価的ユニポールアンテナ

Fig. V.2.1 Theoretically possible methods of excitation of vertical stabilizer and equivalent unipole antennas.

ように、直列給電方式すなわち キャップ によって、あるいは並列給電方式すなわち シャント または ノッチ によって行なえばよい。原理的に可能な励振方法とそれに等価的なユニポールアンテナを図 V.2.1 に示してある。

もう一つ別の原理による埋込み方式がある。すなわち機体に スロット を設けることであって、垂直偏波無指向性アンテナを得るためにには、機体の上面あるいは下面に環状スロットを設ければよい。

以下においては、これらの可能なアンテナのうち、実用上重要なものについてだけ述べることにする。

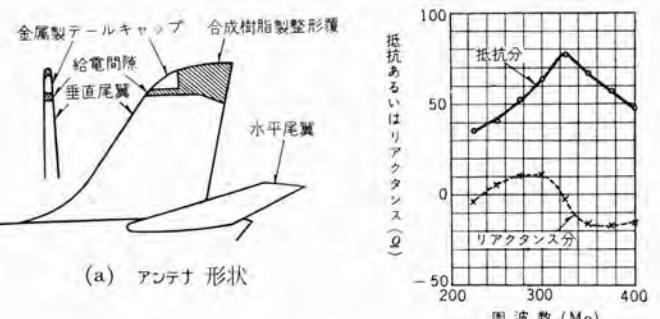
### 2.1.1 テールキャップアンテナ

この波長領域の テールキャップアンテナ<sup>(2)-(4)(6)(12)(22)(23)</sup>は、図 V.2.1 (a) のように垂直尾翼先端を絶縁し、これに給電して、垂直尾翼を励振するものであって、原理的には垂直尾翼を主要輻射体とし、水平尾翼、胴体などの機体他部分を地板とするスリーブスタブアンテナである。

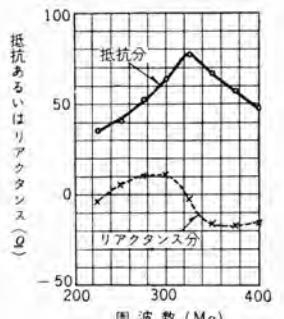
垂直尾翼は等価的に太いユニポールを形成するから、このテールキャップアンテナは、給電点位置および給電部構造<sup>(24)</sup>を適当に設計することによって、すぐれたインピーダンスの広帯域性<sup>(25)(26)</sup>を期待することができる。

輻射指向特性は前述のように機体によって大きい影響を受け、アンテナ素子の位置の関係から、機軸を含む垂直面内では、斜上前方にアンテナ素子からの直接波と機体からの反射波との干渉によって多くの尖鋭なローブを生じ、斜下前方に機体の陰影ができる特長がある。

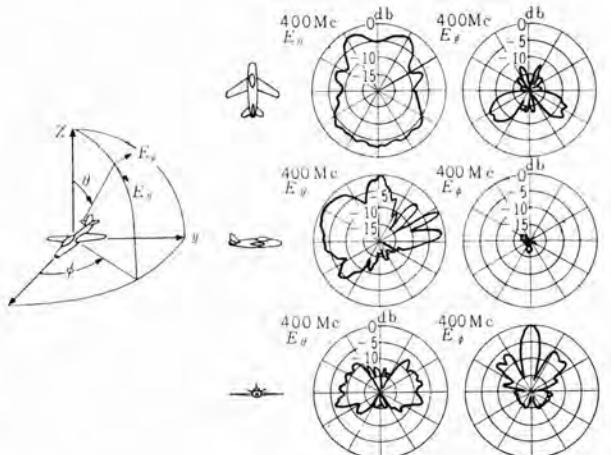
図 V.2.2 は、一例として、国産ジェット機の UHF 通信 (225~400 Mc) 用埋込み形アンテナとして、富士重工業株式会社の委託により研究を行ない、わが国最初の実



(a) アンテナ 形状



(b) インピーダンス 特性



(c) 400 Mc における輻射指向特性

図 V.2.2 国産ジェット機の UHF 通信 (225~400 Mc) 用テールキャップアンテナとその電気的特性<sup>(2)-(4)</sup>

Fig. V.2.2 The tail-cap antenna of the home-built jet plane for UHF communication (225~400 Mc) and its electrical characteristics<sup>(2)-(4)</sup>.

用化に成功した既報の テールキャップアンテナ<sup>(2)-(4)</sup>の形状と、インピーダンス特性および輻射指向特性とを示したものであ

図 V.2.3 UHF テールキャップアンテナ 輻射指向特性測定中の国産ジェット機 10 分の 1 縮尺模型

Fig. V.2.3 One-tenth scale-model of the home-built jet plane under the measurement of UHF tail-cap antenna radiation patterns.





図 V.2.4 VHF テールキャップアンテナ 輻射指向特性測定中の中形輸送機 20 分の 1 縮尺模型

Fig. V.2.4 One-twentieth scale-model of a transport plane under the measurement of VHF tail-cap antenna radiation patterns.

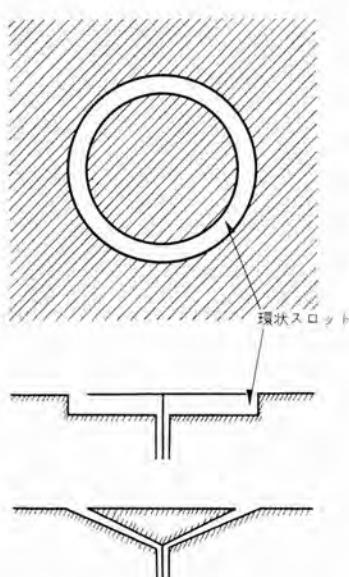
る。入力電圧定在波比は 1.6 以下、水平方向利得変化は  $\pm 5 \text{ db}$  以下であって、きわめて良好な性能である。図 V.2.3 はこのアンテナの輻射指向特性測定中の 10 分の 1 縮尺 ジェット 機模型の写真である。

また前掲図 IV.3.1 には、中形輸送機の VHF 通信 (118~136 Mc) 用埋込み形アンテナとして、通産省試験研究費をいただいて研究し、現在も引き続き研究中の VHF テールキャップアンテナの概略を示してあり、図 V.2.4 はこのアンテナの輻射指向特性測定中の 20 分の 1 縮尺輸送機模型の写真である。この研究によって得られた結論は、こ

のようないくつかの要素によって良好なインピーダンスの広帯域性および垂直偏波水平面内無指向性が得られること、ならびに設計にあたっては VHF テールキャップアンテナの電気的性能に及ぼす HF テールキャップアンテナの影響を十分考慮する必要があることである。

### 2.1.2 環状スロットアンテナ

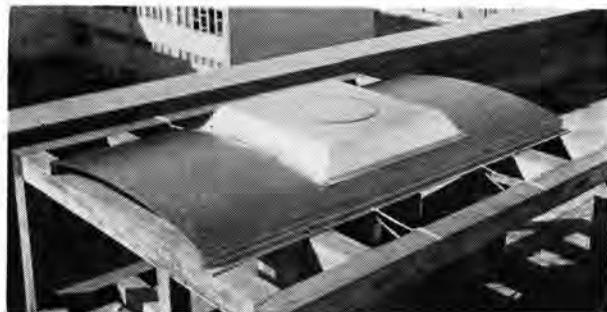
VHF~UHF 帶垂直アンテナ



(a) 環状スロットアンテナ 原理図

図 V.2.5 環状スロットアンテナ

Fig. V.2.5 Annular slot antenna.



(b) 列車無線用として開発した環状スロットアンテナ

図 V.2.5 環状スロットアンテナ

Fig. V.2.5 Annular slot antenna.

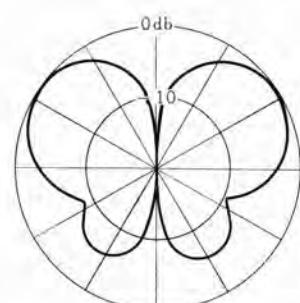
向性アンテナとして、従来もっとも広く使用されてきたユニポールアンテナ(スタジアンテナ)すなわちマスト(mast)形、ホイップ(whip)形、刃(blade)形アンテナなどに直接代わる埋込み形アンテナがこの環状スロットアンテナ(annular slot antenna)<sup>(27)~(30)</sup>であって、その原理図を図 V.2.5(a)に示してある。垂直偏波水平面内無指向性を得るには、このスロットに最低次モードの電界を励振すればよく、スロット平均直径が約半波長以下の場合には、輻射指向特性は普通の 4 分の 1 波長ユニポールアンテナのそれとほとんど同じである。

通常用環状スロットアンテナは、航空機においては胴体の下面中心線上に取付けるのが普通であるが、列車や自動車の屋根に取付けても興味あるもので、図 V.2.5(b)は近く開局予定の国鉄列車無線用として開発したアンテナの研究用供試品である。図 V.2.6 はこのアンテナの輻射指向特性研究のための模型と測定結果とである。

なおこの環状スロットアンテナは、その環状開口に高次モードの電界を励振することによって指向性アンテナにもなし得、また最低次モードによる無指向性と高次モード



(a) 輻射指向特性測定用模型



(b) E 面輻射指向特性

図 V.2.6 環状スロットアンテナの輻射指向特性測定用模型と測定結果の一例

Fig. V.2.6 Models of annular slot antenna for the measurement of radiation patterns and a typical measured result.

による指向性とを組合わすことによって、VHF 帯の ADF に使用することができる<sup>(31)</sup>。

## 2.2 水平偏波水平面内無指向性アンテナ

VOR には水平偏波が使用され、そのアンテナは水平面内無指向性であることが必要である。なおこのアンテナは ILS のローカライザ (localizer) 用にもなる。

現在 VOR 用水平偏波水平面内無指向性アンテナを実現するのにもっとも良いとされているのは、垂直安定板の両側に平衡輻射素子を取付ける方法であって、この方法は、対称な平衡したアンテナの指向特性が、その対称面に薄い導電板を置いても、その影響を受けないという原理に基づいている<sup>(6)</sup>。

### 2.2.1 無指向性空洞アンテナ

前述の原理に基づき、図 V.2.7 (a) のように垂直安定板の両側に空洞を設置し、これに逆相給電することによって、水平偏波無指向性を得ることができる。図 V.2.7 (b) はこの種の空洞アンテナの実例<sup>(6)</sup>である。

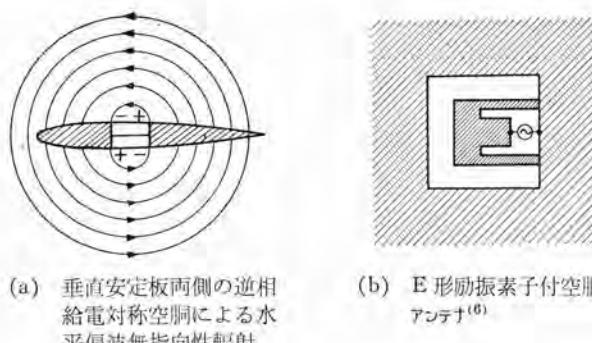


図 V.2.7 VHF オムニレンジ用埋込み形水平偏波無指向性アンテナ  
Fig. V.2.7 Flush-mounted antenna having horizontally polarized omnidirectional coverage for VHF omni-range.

## 3. 指向性アンテナ

航空機の前方からだけ信号を受ける グライドスロープ (glide slope) 受信機、下方からだけ信号を受ける マーカビーコン (marker beacon) 受信機、下方に対してだけ働きたい電波高度計などには、指向性アンテナが必要である。これらのアンテナの埋込み形式は、機体表皮に設けたスロットおよびそのアレーならびにいわゆる空洞アンテナによって実現することができる。

### 3.1 スロットアンテナ

ダイポールアンテナに双対のスロットアンテナは、従来電波高度計などに指向性アンテナとして使用されてきた半波長ダイポールに代る埋込み形アンテナとしてただちに利用できるものであって、航空機用アンテナとしての応用が早くから研究されている<sup>(8)(32)(33)</sup>。

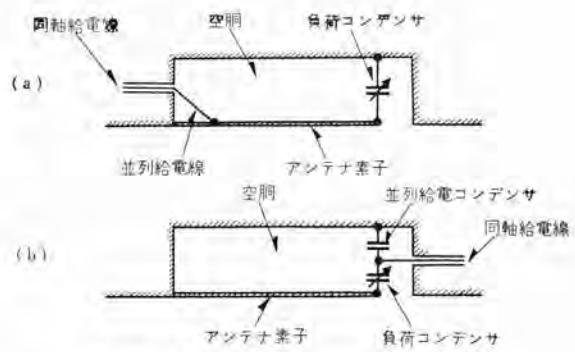


図 V.3.1 マーカビーコン用空洞アンテナ<sup>(34)</sup>  
Fig. V.3.1 Cavity antennas for marker beacon<sup>(34)</sup>

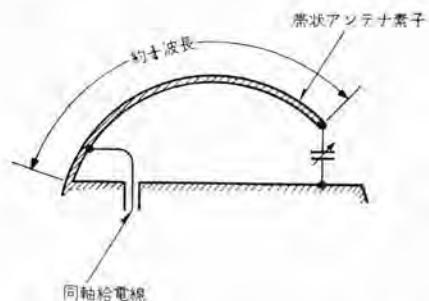


図 V.3.2 グライドスロープ用 curved bath tub 用アンテナ<sup>(35)</sup>  
Fig. V.3.2 A curved bath tub antenna for glide slope<sup>(35)</sup>.

電波高度計用スロットアンテナは主翼あるいは胴体の下面に設置すればよい。

### 3.2 指向性空洞アンテナ

マーカビーコンあるいはグライドスロープ用埋込み形アンテナとしては、種々の空洞形のアンテナがある<sup>(34)(35)</sup>。図 V.3.1 はマーカビーコン用アンテナの実例<sup>(34)</sup>であり、図 V.3.2 はグライドスロープ用アンテナの実例<sup>(35)</sup>である。これらはいずれも同軸給電線と帯状のアンテナ素子との誘導性あるいは容量性の結合によって給電励振するものである。

## VI. その他の諸問題

航空機用アンテナには、以上のはかに共通の種々の問題がある。すなわち高空におけるコロナ放電や電圧絶縁破壊、避雷、沈積空電雜音などが他の一般的のアンテナと異なる特殊な問題点であり、インピーダンス特性や輻射指向特性の測定法もまた航空機用アンテナにおいては特別の工夫を要する事がらである。これらについてはまた他の機会に述べることにしたい。

## VII. む す び

航空機用埋込み形アンテナにおける問題点は、航空機体の空気力学的形状を少しも変えることなく、航空機の通信あるいは航行方式の要求を十分に満たされなければな

らないことにある。この種のアンテナは從来から地上通信に用いられている普通の線状アンテナ、あるいはマイクロ波通信に用いられている開口アンテナなどとは異なった種類の輻射体であるという点に非常に興味深いものがある。

中形輸送機のHFおよびVHFテールキャップアンテナ、ジェット練習機のUHFテールキャップアンテナ、ならびに列車無線用環状スロットアンテナの研究の機会を与えられ、かつご援助ご指導を賜わった通商産業省、日本国有鉄道、および富士重工業株式会社の関係各位に深く謝意を表する。

(35-3-2 受付)

### 参考文献

- (1) Malcolm P. Hanson: High Frequency Collecting and Radiating Structure, United States Patent No. 2,044,779, (June 23, 1936).
- (2) 喜連川・武市: 航空機用テールキャップアンテナ, 昭和33年電気四学会連合大会講演論文集, No. 848, (昭33年5月).
- (3) 喜連川・武市: 航空機用テールキャップアンテナ, 電気通信学会アンテナ研究専門委員会資料, (昭33年7月9日).
- (4) 喜連川・黒田・武市: 航空機用テールキャップアンテナ, 「三菱電機」32, No. 7, pp. 771~775, (昭33年7月).
- (5) J. T. Bolljahn and R. F. Reese: Electrically Small Antennas and the Low-Frequency Aircraft Antenna Problem, Trans. I.R.E., AP-1, No. 2, pp. 46~54, (Oct., 1953).
- (6) J. V. N. Granger and J. T. Bolljahn: Aircraft Antennas, Proc. IRE, 43, No. 5, pp. 533~550, (May, 1955).
- (7) J. V. N. Granger: Designing Flush Antennas for High-Speed Aircraft, Electronics, 27, No. 3, pp. 136~140, (Mar., 1954).
- (8) G. E. Beck: Suppressed Aircraft Aerials, Wireless World, 26, pp. 468~470, (Dec., 1949).
- (9) J. V. N. Granger and T. Morita: Radio-Frequency Current Distributions on Aircraft Structures, Proc. IRE, 39, No. 8, pp. 932~938, (Aug., 1951).
- (10) Irene Carswell: Current Distribution on Wing-Cap and Tail-Cap Antennas, IRE Trans., AP-3, No. 4, pp. 207~212, (Oct., 1955).
- (11) Robert L. Tanner: Shunt and Notch-Fed HF Aircraft Antennas, IRE Trans., AP-6, No. 1, 35~43, (Jan., 1958).
- (12) R. H. J. Cary: A Survey of External and Suppressed Aircraft Aerials for Use in the High-Frequency Band, Proc. IEE, 99, Pt. III, No. 60, pp. 197~210, (July, 1952).
- (13) O. C. Boileau, Jr.: An Evaluation of High Frequency Antennas for a Large Jet Airplane, IRE Trans., ANE-3 No. 1, pp. 28~32, (Mar., 1956).
- (14) J. V. N. Granger: Shunt-Excited Flat-Plate Antennas with Application to Aircraft Structures, Proc. IRE, 38, No. 3, pp. 280~286, (Mar., 1950).
- (15) Aerials, British Patent No. 704659, (Dec. 14, 1949).
- (16) W. A. Johnson: The Notch Aerial and Some Applications to Aircraft Radio Installations, Proc. IEE, 102, Pt. B, No. 2, pp. 211~218, (Mar., 1955).
- (17) Ronald King: Asymmetrically Driven Antennas and the Sleeve Dipole, Proc. IRE, 38, No. 10, pp. 1154~1164, (Oct., 1950).
- (18) Francis J. Biltz: Automatic Impedance-Matching Unit for Liaison Radio Flush-Mounted Aircraft Antenna Trans. IRE, PGAE-9, pp. 10~19, (Sept., 1953).
- (19) E. W. Schwittek: Servocoupler Matches Aircraft Antennas, Electronics, 27, No. 10, pp. 188~192, (Oct., 1954).
- (20) Robert L. Tanner: Antenna-Matching Network Efficiency, Electronics, 26, No. 11, pp. 142~143, (Nov., 1953).
- (21) Ernest J. Moore: Performance Evaluation of HF Aircraft Antenna Systems, IRE Trans., AP-6, No. 3, pp. 254~260, (July, 1958).
- (22) W. A. Johnson: Recent Developments of Aircraft Communication Aerials, Jour. IEE, 94, Pt. III A, pp. 452~458, (1947).
- (23) Louis E. Raburn: A Very-High-Frequency—Ultra-High-Frequency Tail-Cap Antenna, Proc. IRE, 39, No. 6, pp. 656~659, (June, 1951).
- (24) J. R. Whinnery: The Effect of Input Configuration on Antenna Impedance, Jour. Appl. Phys., 21, No. 10, pp. 945~956, (Oct., 1950).
- (25) George H. Brown and O. M. Woodward: Experimentally Determined Impedance Characteristics of Cylindrical Antennas, Proc. IRE, 33, No. 4, pp. 257~262, (Apr., 1945).
- (26) Nils E. Lindenblad: Television Transmitting Antenna for Empire State Building, RCA Review, III, No. 4, pp. 387~408, (Apr., 1939).
- (27) A. A. Pistolkors: Theory of the Circular Diffraction Antenna, Proc. IRE, 36, No. 1, pp. 56~60, (Jan., 1948).
- (28) Donald R. Rhodes: Flush-Mounted Antenna for Mobile Application, Electronics, 22, No. 3, pp. 115~117, (Mar., 1949).
- (29) Harold Levine and Charles H. Papas: Theory of the Circular Diffraction Antenna, Jour. Appl. Phys., 22, No. 1, pp. 29~43, (Jan., 1951).
- (30) W. A. Cumming and M. Cormier: Design Data for Small Annular Slot Antennas, IRE Trans., AP-6, No. 2, pp. 210~211, (Apr., 1958).
- (31) H. H. Hougardy and N. Yaru: Annular Slot Direction-Finding Antenna, 1958 IRE National Convention Record, Pt. 1, pp. 177~182, (Mar., 1958).
- (32) R. H. J. Cary: The Slot Aerial and Its Application to Aircraft, Proc. IEE, 99, Pt. III, No. 60, pp. 187~196, (July, 1952).
- (33) Louis E. Raburn: FMA Limiter Slot Radiators, Tele-Tech., 12, No. 4, pp. 73~75, 178~180, (Apr., 1953).
- (34) Harvey Kees and Fay Gehres: Cavity Aircraft Antenna, Electronics, 20, No. 1, pp. 78~79, (Jan., 1947).
- (35) Flush-Mounted Antennas for Military Aircraft, Tele-Tech., 11, No. 10, pp. 58~59, 111, (Oct., 1952).

# ジェット機機首ラドーム

世田谷製作所

尾島 学二\*

研究所

石黒克己\*\*\*・前田祐雄\*\*\*\*・喜連川隆\*\*\*\*\*

## Nose Radome for Jet Planes

Setagaya Works

Gakuzi OZIMA

Research Laboratory

Katsumi ISHIGURO • Sachio MAEDA • Takashi KITSUREGAWA

History of study by Mitsubishi on radomes and various related products have been reported herein. Important as it is for aviation, the radome has been a weak point of aeroplanes, otherwise they would be built of metal throughout. Then utmost care is needed both electrically and mechanically in building it. Mitsubishi Setagaya Works has completed a nose radome for jet planes, the first product in this country, with such marvelous performance that the breakdown load is  $6.5 \text{ kg/cm}^2$  which is 12.5 times the limited load of  $0.52 \text{ kg/cm}^2$  and 8.3 times the ultimate load of  $0.78 \text{ kg/cm}^2$ . After fatigue tests of applying 12,000 repeated limit load to it, no appreciable deformation has been observed on the shape and appearance. The electric power transmission coefficient is also so marked as to be 92.5 %, fully satisfying the standard value of 90 %.

### 1. まえがき

レーダアンテナを航空機に取付けるときには流線形の誘電体おおいの中に入れる必要がある。また地上あるいは船舶に取付けるときにも、雪氷の付着によるアンテナ回転の不円滑および電気性能の低下を防ぐためにおおいを着せる。このようなレーダアンテナの誘電体円ガイすなわち Radar Dome を略して Radome と称する。

航空機 ラドームは外形を見れば単に流線形の航空機体の一部に過ぎず、これ以外は全部金属でできている機体の中で構造上弱くなる危険のある部分である。電気的に考えると、レーダ電波を反射吸収しレーダの観測距離を短縮したり、レーダの送信磁電管の発振をそこなったり、あるいはレーダビームの形状をヒズませたり、ビームの方向を偏位させたり、またサイドローブを増大、発生させて方位測定の確度を低下させるなどやっかいな存在である。したがって ラドームの製作には電気設計、機械的構造設計とともに、電気的必要条件と機械的必要条件とをうまく兼ね合わせるための材料選択がもっとも重要な問題である。

レーダの研究が再開されるとともにラドームの研究に着手し、地上用アンテナの種々のラドームを研究製作し、ジェット機用機首ラドームを製作しうるに至ったが、実用品として製作したラドームはいずれも国産最初のものと思われる。ラドーム研究の経過を記し、今回製作したジェット機用ラドームの構造の概要、電気性能試験結果および機械性能試験結果について述べる。

なお、このラドームの完成は世田谷製作所のポリエスル製品製作の古い歴史と新しい技術とが基礎になっている。

ことはもちろんあるが、また一方、当社 ラドーム 研究会の研究成果ともいえるもので、製作は世田谷製作所尾島学二、野並志郎、鈴木賢一、材料は研究所石黒克己、伊藤公男、太田基義、機械的問題は研究所前田祐雄、宇川彰、土方明躬、無線機製作所森川洋、大林愛弘、電気的問題は研究所喜連川隆、信岡正祐、有田不二男が主として担当したが、さらに新三菱重工業株式会社名古屋航空機製作所のご協力をも賜わっている。

### 2. ラドーム研究の経過

まず最初はラドームの電気的構造の理論的研究、ラドーム材料たる誘電体の電気的性質、機械的性質およびその他の諸性質の研究から始めた。これらの研究内容については後掲の既報論文<sup>(3)</sup>および<sup>(4)</sup>に記してある。



図 2.1 日本電信電話公社納入 4,000 Mc パスレンズ レンズ  
アンテナの前面板

Fig. 2.1 Front panel of 4,000 Mc path length lense antenna.

\* 所長 \*\* 化学第一研究室長 \*\*\* 機械研究室長 \*\*\*\* 電気第二研究室

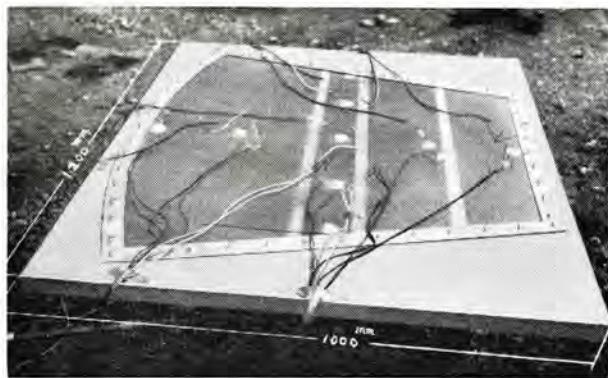


図 2.2 開口径 4 m のホーンレフレクタアンテナの前面板の破裂試験  
Fig. 2.2 Breaking test of the front panel of horn reflector antenna.

かくして最初に製作したのが昭和 27 年 8 月電気通信研究所へ、昭和 28 年 8 月日本電信電話公社東京—名古屋—大阪 4,000 Mc マイクロ波超多重中継線に納めたパスレンジスレンズアンテナの前面板である。これは電気通信研究所の指導によるもので、開口が  $3.3 \times 2.7 \text{ m}^2$  のレンズ開口をおおう厚さ 6 mm のアクリル酸樹脂板で、電波の反射を少なくしアンテナの入力電圧定在波比を良くするために、上下半分をアンテナ軸方向に互に  $1/4$  波長ず

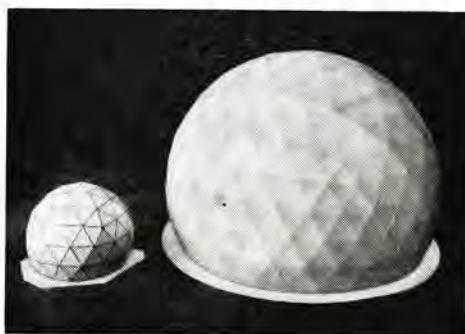


図 2.3 レーダアンテナとともに電子装置全体を収容する地上大形ラドームの模型  
Fig. 2.3 Model of large ground radome housing radar antenna and electronic apparatus.

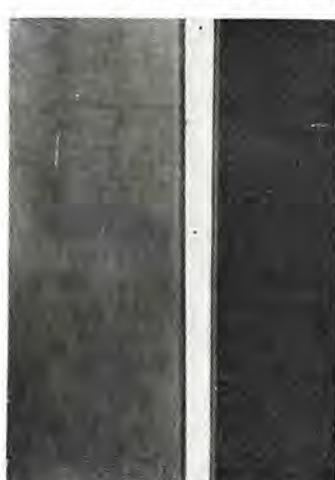


図 2.4 防衛庁納入 5,300 Mc レーダ用薄皮サンディッチラドーム  
Fig. 2.4 Thin skin sandwich radome for 5,300Mc radar.

問題を明らかにすることを得た。その後ホーンレフレクタアンテナの前面板およびレーダアンテナとともに電子装置全体を収容する地上大形ラドームの研究を行なった。これらは非常に強度がいるのでガラス繊維強化ポリエチレン樹脂を用いることにしており、今やいずれもいつでも製作できるようになっている。

ラドームの研究は既報論文<sup>(6)</sup>に記載のように絶えず航空機用ラドームの製作を念頭に描きながら行なって来たので、つぎにいよいよ薄皮サンディッチ構造ラドームの研究に拍車を加えることになった。その研究が一段落ついたときに製作したのが、5,300 Mc 探索レーダの幅×高さが  $4.2 \times 1.0 \text{ m}^2$  なるアンテナを収容するレーダアンテナ雪氷対策用薄皮サンディッチラドームであって、昭和 31 年 10 月防衛庁に納入したが、実用品としては国産最初のサンディッチ構造ラドームである。これは内接円の直径が 5.8 m なる正 24 面体の平行偏波入射薄皮サンディッチラドームで、安全率約 5 をもって 60 m/sec の風に耐え、電力透過率は 96% 以上にすなわち電力損失がわずかに 0.18 db である。詳しくは既報論文<sup>(5)(8)(9)</sup>に記してあるが、薄皮サンディッチ構造ラドームの設計製作測定上の諸問題を明らかにすることを得た。とくに工作誤差の問題、透過波位相変位のアンテナ電気性能に及ぼす影響およびラドーム測定法など機械的強度以外のことについても詳しく検討し、航空機用流線形サンディッチ構造ラドーム設計製作測定の基礎を築いた。

一方、マイクロ波アンテナの雪害対策の研究も既報論文<sup>(7)</sup>のように引き続き行ない、昭和 32 年 9 月および昭和 33 年 5 月納入の日本電信電話公社東京—新潟および東京—長野 4,000 Mc マイクロ波広帯域中継線横手山中継局の円偏波パラボラアンテナに金網入り誘電体ラドームを製作し取付けた。これは電気通信研究所の指導によるもので、厚



図 2.5 日本電信電話公社横手山中継局納入 4,000 Mc 円偏波パラボラアンテナの金網入り誘電体ラドーム  
Fig. 2.5 Metal-mesh embedded dielectric radome for 4,000 Mc circulary polarized parabola antenna.

さ 4.5 mm のガラス繊維強化ポリエチル樹脂中に直径 0.2 mm の金属線を 17.5 mm の間隔で埋め込んで、樹脂壁の呈する容量性反射と金属格子による誘導性反射とが相殺して無反射になるようにしたので、直径 3.3 m の回転放物面形をしており、風速 60 m/sec に耐え、透過電力損失は 0.5 db 程度であった。この構造のラドームは欧米にもまだその例を見ないものである。詳しくは後掲の既報論文<sup>(10)(11)(12)</sup>に記してあるが、この形のラドームの諸問題を明らかにし得た。とくに、設計理論ならびにラドームの工作誤差および透過波位相変位その他アンテナの性能を低下させる諸要因を詳しく記してある。速さが 2 マッハを越える高速航空機や飛しょう体などにはセラミックのラドームが考えられるが、この金網入り誘電体ラドームもまたおもしろいものである。

以上のような経過をたどって、ジェット機用機首ラドームを製作し得た。

### 3. 構造の概要

このラドームは、ジェット機機首に装備する 9,000 Mc 射撃用レーダの開口径、高さ×幅が 107 × 133 mm<sup>2</sup>、軸長が 220 mm なる橯円錐形の垂直偏波輻射ボーンアンテナを収容するものである。機首の下部はラドームの下面からジェットエンジンの空気吸入口穴の上面に移っているので、このラドームの下面は平面に近い形状をしていて、高さ、横幅および軸長の最大寸法はそれぞれ 280, 340 および 220 mm である。

構造は薄皮サンドイッチ構造で、内面表皮はガラス布 4 枚で厚さ 1.02 mm、外面表皮はガラス布 3 枚で厚さ 0.76 mm のガラス繊維強化ポリエチル樹脂でできている。内外両表皮間のコアは厚さ約 8 mm のハネカムコアである。ラドームの外面は米軍規格 MIL-C-7439B に合格したネオプレン塗料を米軍規格 MIL-P-7094 に従って塗布して厚さがほぼ 0.25 mm の耐雨食対静電塗膜を形成している。そしてラドーム全体の厚さはほぼ 10.2 mm になっている。また、機体に取付けるために、米連邦政府 QQ-A-318T に合格するアルミニウムのフランジを約 90 本の



図 3.1 ジェット機用機首ラドーム  
世田谷製作所の新製品

Fig. 3.1 Nose radome for jet plane-New product of  
Setagaya Works.

純アルミニウム鋳でとめてある。このラドームの全重量は約 850 g である。

一般にラドームは機械的必要条件を満足することがまず第一で、つぎにその範囲内で電気的性能がもっとも良くなるようにするもので、これらの点については後掲既報論文<sup>(3)</sup>および<sup>(8)</sup>に記してある。このラドームの破壊荷重は 6.5 kg/cm<sup>2</sup> で、これは制限荷重 0.52 kg/cm<sup>2</sup> に対し 12.5、終極荷重 0.78 kg/cm<sup>2</sup> に対し 8.3 の安全率である。また電波透過率は 92.5% で、規格値 90% を満足している。

### 4. 電気性能試験とその結果

#### 4.1 表皮材料の電気試験

まず最初に表皮材料たるガラス繊維強化ポリエチル樹脂板の試験を行なった。

これは米軍規格 MIL-P-8013B に合格することが必要になっている。これによれば、MIL-F-9084 に合格したガラス繊維の布を MIL-F-9118 に従って処理し、MIL-R-7575 に合格した樹脂を含浸させて作らなければならぬ。ガラスと樹脂との重量比はそれぞれ 62±2% と 38±2% になっている。

MIL-P-8013B は MIL-R-7575 と同様に type I, type II および type III があって、それぞれ一般用、無線周波数用およびレーダ周波数用になっているが、世田谷製作所においてはジェット機テイルキャップアンテナの給電絶縁間隙などの強化ポリエチル樹脂製品を作っているので、type II の電気試験はすでに合格していた。

MIL-P-8013B の type III の電気試験は H<sub>11</sub> 姿態円形導波管短絡定在波法で、標準状態すなわち 23±1°C、相対湿度 50±4% の場合と 24 時間水浸後とにおいて行なうことになっていて、試験周波数は 8,500~10,000 Mc である。その試験片の寸法ならびに比誘電率および力率の規格値と測定値とを表 4.1 に示してあるが、試験の結果は MIL 規格に十分合格している。

表 4.1 表皮材料の電気性能試験結果

試料寸法 直径 × 厚さ mm × mm	測定条件	測定値		規格値	
		比誘電率 $\epsilon$	力率 $\tan \delta$	比誘電率 $\epsilon$	力率 $\tan \delta$
25.40×10.160	標準状態 24 h 水浸	4.2	0.010	4.2 以下	0.020 以下
		4.2	0.011	4.4	0.025
25.40×11.430	標準状態 24 h 水浸	4.1	0.010	4.2	0.020
		4.2	0.012	4.4	0.025
25.40×12.700	標準状態 24 h 水浸	4.2	0.010	4.2	0.020
		4.2	0.011	4.4	0.025

備考 直径寸法公差は +0.00~-0.05 mm  
厚さ寸法公差は ±0.025 mm  
厚さの方向は積層の方向である。

なお、後掲既報論文<sup>(4)</sup>に記載のように材料研究のときには  $\epsilon$ ,  $\tan \delta$  は薄い円板試料を用いて空洞共振法にて測定している。ちなみに、ガラスおよび樹脂の密度と比

誘電率とをそれぞれ  $2.54 \text{ g/cm}^3$  と  $6.2$  および  $1.23 \text{ g/cm}^3$  と  $3.0$  とすると、ガラスの重量比が  $58\%$  および  $62\%$  の時に、混合物質の密度は  $1.755 \text{ g/cm}^3$  および  $1.81 \text{ g/cm}^3$  となり、ガラスの容量混合比は  $40.1\%$  および  $44.1\%$  となって、積層板の比誘電率は容量比対数法則によれば、 $4.1$  および  $4.2$  となる。また混合2媒質の界面が電界に平行な場合の混合媒質の比誘電率と界面が電界に垂直な場合の混合媒質の比誘電率とを平均すると、ガラス重量比が  $58\%$  および  $62\%$  の時にそれぞれ  $4.1$  および  $4.2$  となる。あるいはまた、積層板が水を吸った時に比誘電率がどうなるかということなどについては後掲既報論文<sup>(14)</sup>を参照されたい。

#### 4.2 コアおよびサンドイッチ構造平面板の電気試験

コアは積層ガラス布基材合成樹脂ハネカムコアで、米軍規格 MIL-R-7575 に合格した樹脂を用い、MIL-C-8073A に合格することが必要になっている。これには type I, type II および type III があって、蜂の巣の対辺間の間隔がそれぞれ  $4.77$ ,  $6.35$  および  $9.53 \text{ mm}$  である。そして type I はさらに A, B および C に分れていて、最大密度がそれぞれ  $0.080$ ,  $0.112$  および  $0.158 \text{ g/cm}^3$  ということになっている。用いたものはもっとも目が細かくかつもっとも密度の大きな type I-C で、その平均的な比誘電率はほぼ  $1.15$  である。

コアの電気試験はコア単独で行なうのではなく、MIL-S-9041A を満足するサンドイッチ構造平面板を作って、MIL-STD-401 に従って試験を行なうことになっている。またコアがすでに合格していてもラドームを作るときにはサンドイッチ構造平面板を作つて MIL-STD-401 の一般試験を行なうことになっている。

MIL-S-9041A と MIL-STD-401 とはともに用いるコアに従つて、MIL-C-8073A とまったく同様に分類されていて、type I-C のコアを用いた時には MIL-STD-401 の type I-C の試験片を作る必要がある。この試験片は縦横の寸法が  $610 \times 915 \text{ mm}^2$  で、厚さが  $8.38 \pm 0.38 \text{ mm}$  であつて、表皮の厚さは  $0.762 \pm 0.127 \text{ mm}$  である。またその外周部は幅  $25.4 \pm 6.4 \text{ mm}$  の充填積層板で作ることになっている。

試験周波数は  $8,500 \sim 10,000 \text{ Mc}$  で、入射角 20 度の方向に向けたときに、平行および垂直両偏波入射に対する電波透過率が、受け取ったままの状態で試験をして、少なくとも  $95\%$  以上ということになっている。また環境試験が必要で、

- (a)  $+71^\circ\text{C} \rightarrow -55^\circ\text{C}$  を 25 サイクル繰り返し、
- (b)  $2,400 \text{ m} \leftrightarrow 15,000 \text{ m}$  の高度変化相当の温度圧力変化  $-1^\circ\text{C} 560 \text{ mm Hg} \leftrightarrow -55^\circ\text{C} 86 \text{ mm Hg}$  を 50

サイクル繰り返す。ただし湿度を飽和状態に保つ、なる環境の変化を与えた後に同じく電波透過率が  $90\%$  以上なることが要求されている。

電力透過率の測定に関しては、MIL-S-9041A に試験は調達局の指導の下に行なうように記してあって、MIL-STD-401 には電気試験法についてなんらの記載がない。よって測定は後掲既報論文<sup>(8)</sup>に記載の方法に従つて行なつた。送受に用いたアンテナは章 3 に記載のこのラドーム中に収容すべき射撃レーダの電磁ホーンで、送受の距離は両者間の往復反射波の影響を無視しうるように十分長く  $21 \text{ m}$  とした。供試サンディッチ構造平面板を受信ホーンの前方約  $0.3 \text{ m}$  の位置に置き、供試板と受信アンテナとの間の往復反射波の影響を除くために供試板を  $1/4$  波長、すなわち約  $8 \text{ mm}$  前後に動かし極大極小受信電力の平均を探り、供試板がないときの値と比較した。

表 4.2 サンディッチ構造平面板の電気試験

		値は %	No.1	No.2	No.3	平均	規格値
環境試験前	電力透過	垂直偏波入射 入射角20度	97.4 98.0	96.7 97.6	97.3 98.5	97.1 98.0	入射角20度にて $95\%$ 以上
	反射	電圧	5.5	4.8	5.2	5.5	
	直角入射	電力	0.42	0.23	0.27	0.30	なし
	環境試験後	垂直偏波入射 入射角20度	97	97	(98)	97	入射角20度にて $90\%$ 以上
参考 No. 3 のみ前後の比較のため環境試験を行なわず。							

測定結果は表 4.2 のようで十分規格に合格している。なお、入射角零度のときの反射係数は大きな入射角の測定値を連ねた曲線から外挿した値である。

#### 4.3 製品の電気試験

米軍規格に航空機および誘導飛しょう体用ラドームに適用される一般規格がある。これによればラドームは type I 一般用マイクロ波ラドーム、type II 指向誘導用ラドーム、type III 広帯域ラドーム、type IV 低反射ラドームおよび type V 低周波ラドームの 5 種に分類されており、これらの電力透過率はそれぞれ  $90$ ,  $75$ ,  $80$ ,  $80$  および  $95\%$  以上で、本文のラドームは type I に該当しており、その試験項目および規格値は表 4.3 のようである。

電力透過率および輻射パターンのヒズミなどの測定に際しては、供試ラドームと受信アンテナとの関係は航空機に実装する場合と同じ状態にしておくことになっている。送信アンテナには受信アンテナと同じものを用いたが、両者ともに VSWR を 1.04 以下に整合を探つておくことになっている。送受間の距離は  $2D^2/\lambda$  以上と規定されている、 $D$  は受信アンテナ開口径で、 $\lambda$  は波長である。これより距離は  $1.1 \text{ m}$  以上ということになる。またラドームなしで受信アンテナを  $1/4$  波長前後に移動させたときの受信電力の変化は  $\pm 1\%$  以下に抑えることになってい

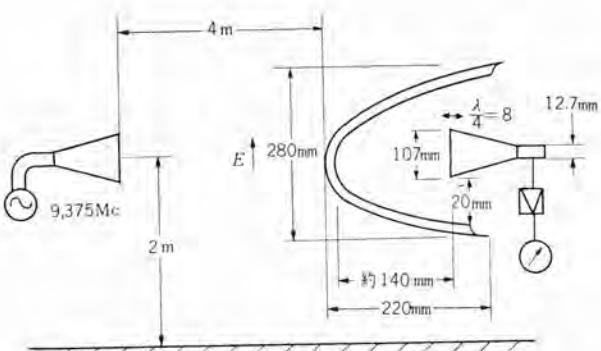


図 4.1 電力透過率の測定配置

Fig. 4.1 Arrangement for measurement of power transmission coefficient.



図 4.2 ジェット機  
機首ラドームの  
電力透過率測定

Fig. 4.2  
Measurement  
of power trans-  
mission coefficient  
of nose radome  
for jet plane.

る、後掲既報論文<sup>(4)</sup>の式(54)を用いると、

$$l \geq \frac{0.6}{\sqrt{k-1}} \frac{\sqrt{s_1 s_T}}{\lambda} = \frac{0.6 \pi \times 5.4 \times 6.7}{3.2} = 2.14 \text{ m}$$

となる。またアンテナの地上高については、送受両アンテナ間の中央地上点とアンテナ開口中心とを結ぶ線のアンテナ軸線となす角が、第1サイドローブの方向角、今の場合は29度よりも10度以上大きなことが規定されている。表4.3の測定のときには送受間の距離は4m、両アンテナの地上高は2mとした。このときにラドームを装着せずに受信アンテナを1/4波長前後に動かしたときの受信電

表 4.3 製品の米軍規格による電気試験

米軍規格電気試験項目		測定値	規格値
電力透過率		92.5%	90% 以上
レーダ系に戻る電力反射最大値		1.5%	2% 以下
主ビームのヒズミ H面内 E面内		+0~-0.1 dB +0~-0.4 dB	+1~-2 dB
主ビーム電力半值幅変化率 H面 E面		-7.5% 0%	±10% 以内
サイドローブ レベル H面右 E面左 の上昇 H面左 E面上 E面下		+2.8 dB +2.8 dB +1.5 dB -3.3 dB	-20 dB 以上のサイドローブの上昇 +3 dB 以下
備考	主ビーム電力半值幅 H面 E面	ラドームなし 20° 18°	ラドームつき 18.5° 18°
	第1サイドローブ レベルが -20dB 以下で測定不要なれば 参考のため測定せり	H面右 32.5° H面左 32.5° E面上 29° E面下 29° -33.8 dB -34.3 dB -20.7 dB -21.6 dB	H面左 28.5° E面上 28° E面下 27° -31 dB -31.5 dB -19.2 dB -24.9 dB

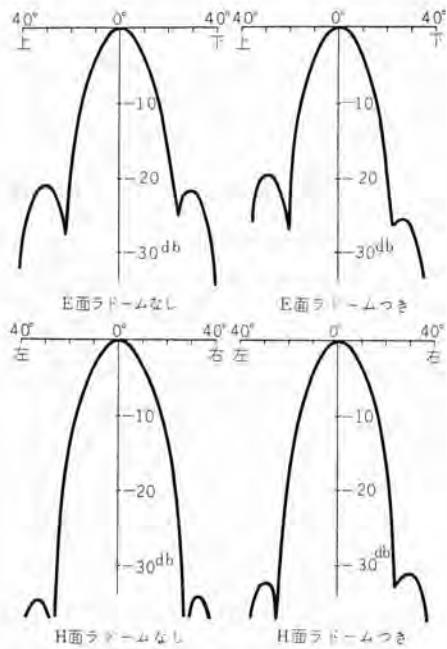


図 4.3 ラドーム装着による輻射パターンのヒズミ

Fig. 4.3 Antenna pattern distortion due to the radome.

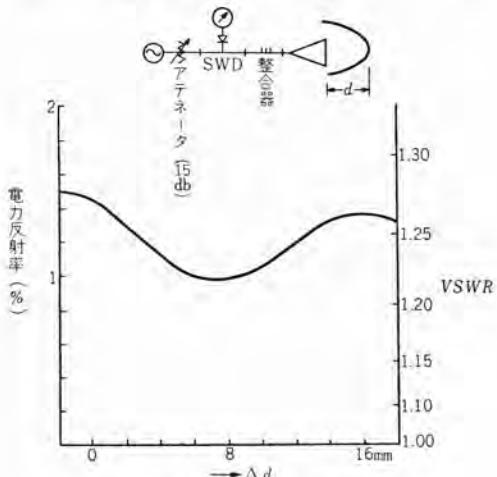


図 4.4 レーダ系に戻る反射波

Fig. 4.4 Reflected wave back to the radar system.

力の変化は ±0.5% であった。電力透過率の測定にはラドームを1/4波長前後に移動させて受信電力最大値と最小値との平均を採ることになっている。

レーダ系に戻る電力反射率測定はラドームなしでアンテナを  $VSWR < 1.01$  以下に整合を採っておき、ラドームを基準位置の前後に動かしたときの電力反射最大値を測定することになっている。

測定結果は表4.3、図4.3および図4.4のようで、表4.3の規格値に十分合格している。

なお、電力透過率の測定のときにはサンディッチ構造平面板の測定のときと同様に、距離21m高さ4.6mとしても測定してみたが、4mのときも21mのときも電力透過率は92.5%であった。また耐雨食対静電塗料未塗

装の状態の電力透過率は 95.1% であった。

## 5. 機械性能試験とその結果

機械性能試験としては、次の試験が必要で、それぞれの規格に合格しなければならない。すなわち（1）表皮材料試験およびコア材料試験（2）これらの規格に合格した材料で作ったサンドイッチ構造平面板の試験（3）ラドーム実体の強度試験および（4）疲労試験である。

### 5.1 表皮およびコア材料の機械試験

表皮材料たるガラス繊維強化ポリエチル樹脂板の機械性能は、電気性能と同様に米軍規格 MIL-P-8013B に合格することが必要である。これによれば標準状態と水浸後の引張り、曲げ、圧縮、曲げ弾性係数などが規定されているが、前述のように世田谷製作所ではジェット機部品として強化ポリエチル樹脂製品を作っているので、これらの試験にはすでに合格している。

MIL-P-8013B に規定された機械的性能の試験材は  $3.05 \pm 0.25$  mm 厚さのものであるが、実際にジェット機用ラドームとして使用する  $0.76 \sim 1.02$  mm 厚さの積層板について、その機械的性質を FS-L-P-406 に準じて引張試験した結果を表 5.1 に示す。

表 5.1 表皮材料の機械性能試験結果（試験片数 20）

機械的性質	測定値	規格値
引張強さ ( $\text{kg/mm}^2$ )	29~33	>28
引張弾性係数 ( $\text{kg/mm}^2$ )	$1.70 \times 10^4$	—
ボアソーン比	0.14	—

つぎにコア材料としての積層ガラス布基材合成樹脂ハカルムコアは、米軍規格 MIL-C-8073A に合格した材料を購入して使用した。

### 5.2 サンドイッチ構造平面板の機械試験

サンドイッチ構造平面板の試験は MIL-STD-401 に従つ

表 5.2 サンドイッチ構造板の機械試験結果（試験片数 5~10）

試験項目	実測値		規格値
	最小~最大	平均値	
サンドイッチ板厚さ (mm)	8.10~8.19	8.15	$8.4 \pm 0.4$
表皮厚さ (mm)	0.72~0.82	0.77	$0.765 \pm 0.127$
単位面積の重さ ( $\text{g/cm}^2$ )	0.368~0.383	0.377	<0.426
面方向引張強さ ( $\text{kg/cm}^2$ )	29~45	38	> 28
面方向圧縮強さ ( $\text{kg/cm}^2$ )	114~125	119	> 84
曲げ強さ ヨコ (kg/cm)	80~89	86	> 73
タテ (kg/cm)	117~140	132	>109

て行ない、MIL-S-9041A に合格することが必要である。このラドームに使用したサンドイッチ構造平面板は MIL-S-9041A の type I-C でその試験結果および規格値は表 5.2 に示すように規格に合格している。

### 5.3 製品の機械試験

このラドームは飛行時、上面には負圧、下面には正圧がかかる。その設計上の最大値の風圧分布のときの荷重を制限荷重とよび、この 1.5 倍をもって終極荷重とする。

試験は制限荷重試験、終極荷重試験、破壊荷重試験に分けられ、制限荷重に対しては安全上有害な残留変形を生ぜず、終極荷重に対し少なくとも 1 分間は破壊しないことが要求されている。これらの試験終了後さらに破壊するまで荷重をかけ安全率をたしかめた。

試験法は上面負圧と下面正圧の風圧分布の絶対値の最大値を図 5.1 に示すようにゴム袋を介して水圧により負荷した。ラドームの取付けは剛性の大きいフレームにネジ止めした。

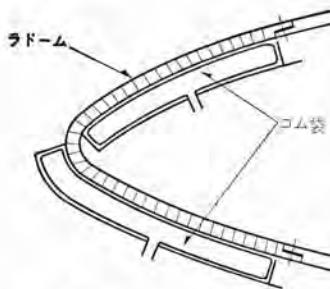


図 5.1 製品の機械的試験法

Fig. 5.1 Method of mechanical test for product.

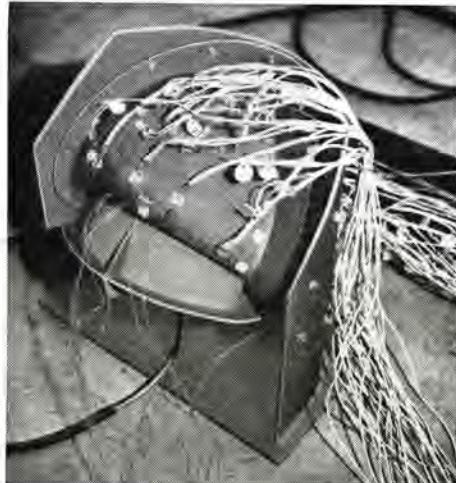


図 5.2 ジェット機機首ラドーム強度試験

Fig. 5.2 Strength test of nose radome for jet plane.

変形量はラドーム先端部をダイアルゲージで測定し、参考のためにラドーム表面の各部の主応力方向のヒズミ量を抵抗線ヒズミ計により測定した。

制限荷重  $0.52 \text{ kg/cm}^2$  とそれの 1.5 倍の終極荷重  $0.78 \text{ kg/cm}^2$  のときのラドーム先端の変形量と、負荷を除いたときの残留変形量とを表 5.3 に示す。

表 5.3 製品試験時の変形量

方向	変形量			
	制限荷重	負荷を除いた時	終極荷重	負荷を除いた時
上	255 $\mu$	3 $\mu$	315 $\mu$	5 $\mu$
下	43	1	102	0

測定精度から考えてこの程度では残留変形量はないと考えてよいかから、制限荷重負荷後有害な残留変形が生じてはならないという要求性能を十分満足し、また、終極荷重で約 10 分保持したが、破壊せず、この点でも要求性能に合格するものである。

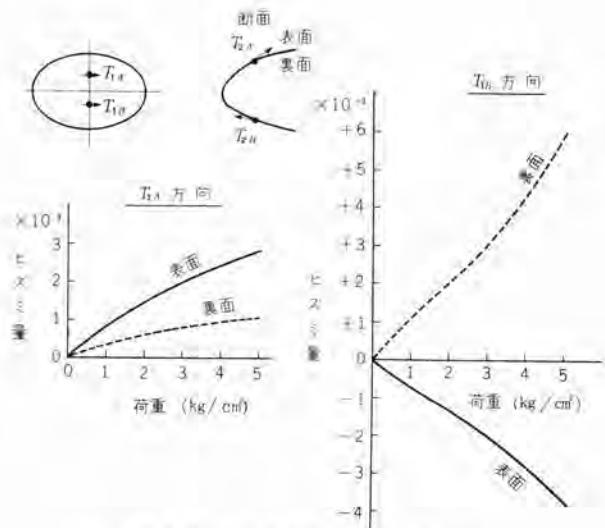


図 5.3 製品負荷時の表皮ヒズミ量

Fig. 5.3 Skin strain of product under load.

この後さらに破壊まで負荷した結果  $6.5 \text{ kg/cm}^2$  で破断した。この結果、制限荷重  $0.52 \text{ kg/cm}^2$  に対しては 12.5、終極荷重に対しては 8.3 の安全率である。

抵抗線ヒズミ計によるラドーム各部の表皮ヒズミ量の測定結果は上面下面ともその中央部で最大値を示し、周辺にゆくほどヒズミ量は減少している。上下面中央部の荷重  $5 \text{ kg/cm}^2$ までの測定ヒズミ量を図 5.3 に示す。ヒズミ量の最大値はラドーム下面の中央部  $T_{1B}$  方向で起り荷重  $5 \text{ kg/cm}^2$  の値は  $6 \times 10^{-3}$  である。もし負荷に対するヒズミ量の変化が、直線的であるとすれば破壊荷重  $6.5 \text{ kg/cm}^2$ におけるヒズミ量は  $7.8 \times 10^{-3}$  となり、このことはサンドイッチ構造平面板の曲げ試験における破壊時の表皮ヒズミ量  $6.3 \sim 9.6 \times 10^{-3}$  とほぼ一致している。

完成品の破壊状況はラドーム下面のコアと表皮板の接着部がほとんどがれており、おそらくはこの接着部が最初に破壊し、続いて表皮板が剝れたものと考えられる。

#### 5.4 製品の疲労試験

米軍の航空機および誘導飛しょう体用ラドーム一般規格により設計荷重すなわち前述の制限荷重で疲労試験を行なった。荷重方法は前述の装置により、タイムスイッチおよび電磁バルブにより水圧をオンオフして制限荷重  $0.52 \text{ kg/cm}^2$  を繰り返し 12,000 回かけ、その間ラドーム先端部の上下方向の残留変形量をダイヤルゲージにより測定したが、外観上の変化はまったく起こらず、残留変形量はきわめて小さく、実用上なんらさしつかえなきものと認めた。

#### 6. む す び

種々のラドームの研究業績と製作実績とを記し、世田谷製作所で製作したジェット機機首ラドームの構造の概要、

ジェット機機首ラドーム・尾島・石黒・前田・喜連川

電気性能試験および機械性能試験について述べた。

航空機ラドームとしてはわが国最初の製品であるにもかかわらず性能をきわめて優秀である。すなわち破壊荷重は  $6.5 \text{ kg/cm}^2$  で、制限荷重  $0.52 \text{ kg/cm}^2$  に対し 12.5、終極荷重  $0.78 \text{ kg/cm}^2$  に対して 8.3 の安全率である。また電力透過率は 92.5% で、規格値 90% を十分満足している。

われわれはラドームのついた純国産ジェット機が一日も早く大空に舞い上がるることを祈っている。なお高速航空機用のラドームの研究試作について検討をはじめている。

擱筆にあたり、多大のご協力、ご鞭撻を賜わった新三菱重工業名古屋航空機製作所の久保副所長、疋田技術部次長、東条技術部次長（兼、日本航空機製造株式会社取締役）、山科課長の各位ならびにその他の各位に深謝する。

(35-5-9 受付)

#### ラドーム関係既報論文

- (1) 9,000 Mc 狹ビーム空中線、「三菱電機」28, No. 1 昭和 28 年度回顧特集 p. 77 および裏表紙、(昭 29-1).
- (2) 喜連川隆：マイクロ波アンテナとその諸問題、「三菱電機」28 臨時増刊無線機特集 pp. 15~27 (昭 29-8).
- (3) 喜連川隆：Radome について、「三菱電機」29, No. 7 無線機特集 pp. 409~415 (昭 30-7) および気電通信学会アンテナ研究専門委員会資料 (昭 30-4-20).
- (4) 尾島学二：ポリエチレン積層板の電気的性質を中心としての検討、「三菱電機」30, No. 8 pp. 509~516 (昭 31-8).
- (5) 尾島・喜連川・信岡・有田：5300 Mc 帯サンドイッチ型レイドーム、昭和 31 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集 p. 143 (昭 31-10).
- (6) 尾島・喜連川：航空機用 Radome の試作研究、電気通信学会航空電子機器研究専門委員会資料 (昭 31-12-7).
- (7) 喜連川隆：マイクロ波アンテナの雪害対策、電気通信学会雪上の超短波伝播研究専門委員会資料 (昭 32-1-29).
- (8) 尾島・喜連川・信岡・有田：レイドームの設計および製作法と新製品の紹介、「三菱電機」31, No. 7 臨時増刊無線機特集 pp. 588~596 (昭 32-7).
- (9) 喜連川・信岡・有田：Radome の測定法、電気通信学会アンテナ研究専門委員会資料 (昭 33-2-12).
- (10) 喜連川・有田：金網入り誘電体ラドーム、電気通信学会アンテナ研究専門委員会資料 (昭 33-11-13).
- (11) T. Kitsuregawa & F. Arita "Metal-Mesh-buried Dielectric Radome for Antenna System, Proceedings of First Symposium (International) on Rockets and Astronautics (Tokyo, May, 1959), pp. 295~299. Yokendo Tokyo 1960.
- (12) Takashi Kitsuregawa and Fujio Arita: Metal-Mesh Embedded Dielectric Radome for Antenna System, Mitsubishi Denki Laboratory Reports, 1, No. 1, pp. 27~50, (January, 1960).
- (13) 尾島・石黒・前田・喜連川：ジェット機用 Radome の実用化研究、電気通信学会航空電子機器研究専門委員会資料 (昭 35-2-12)，電気通信学会アンテナ研究専門委員会資料 (昭 35-4-20).
- (14) 喜連川・有田：技術解説 誘電体混合物の誘電率、「三菱電機」34, No. 5 pp. 702~709 (昭 35-5).

# HU-50形ヒートポンプ式ユニティヤ

静岡製作所 河合照男\*

## Type HU-50 Unitaires for Heat Pumps Operation

Shizuoka Works Teruo KAWAI

The use of room coolers has greatly spreaded nowadays and the concept of air conditioning all the year round has become popular. Mitsubishi type HU-50 Unitaires have been developed for use as a heat pumps, the first product of the kind in this country. They are built in a packaged type air conditioner to operate for the whole year. In addition to the cooling rooms in summer, it is automatically changed over to an air-to-air heat pump in winter, operating in a reversed refrigerating cycle. The apparatus is still at the threshold of development and needs further improvement, but it will not be long before the device is approved as the most advanced air conditioner both technically and economically.

### 1. まえがき

最近の冷房装置の普及はいちじるしいものがあるが、それとともに年間空気調和（冷房、暖房）に対する認識が一般化されて来た。当社で生産している三菱ユニティヤはパッケージ形冷房装置として主要な機能を持つもので、これをパッケージ形年間空気調和装置として使用するには別の熱源、たとえば、蒸気暖房器・電熱暖房器などを内部に追加してその機能を果して来た。ヒートポンプ装置では、水あるいは空気を暖房の熱源に利用するので、年間空気調和装置としての施設費・維持費にすぐれるが、これの技術的な諸問題に未解決のもののが多かった。本年発表した HU-50 形ヒートポンプ式ユニティヤは空気式（air to air）ヒートポンプ装置で、諸般の技術的な問題を解決して冷房・暖房の切換えを完全に自動化したパッケージ形年間空気調和装置としてわが国で始めて完成したものである。以下これの概要について紹介する。

### 2. ヒートポンプ装置の概略

一般的の冷凍装置では冷媒は凝縮器にて凝縮潜熱を周囲に放散する。ヒートポンプ装置は、この凝縮熱を暖房に利用できるようにしたもので、夏（冷房時）と冬（暖房時）とは冷凍サイクルを反対にして熱交換器（蒸発器・凝縮器）の働きが逆になるようにしたものである。図2.1はヒートポンプ装置の冷凍サイクルである。室内側熱交換器は夏は蒸発器、冬は凝縮器となり、室外側熱交換器はその反対に働いて年間空気調和装置としての機能を果す。ヒートポンプ装置は室外側および室内側の熱交換器において熱交換を行なう媒体に主として水あるいは空気を用いるので、その組合わせによりつきのように分類される。

1. air to air 式 (室外側・室内側ともに空気と

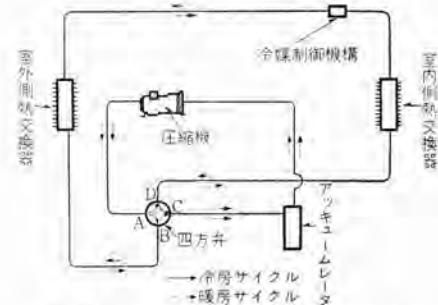


図 2.1 ヒートポンプ装置の冷凍サイクル

Fig. 2.1 Refrigeration cycle of a heat pump apparatus.

#### 熱交換を行なう形式)

2. air to water 式 (室外側は空気、室内側は水と熱交換を行なう形式)
3. water to air 式 (室外側は水、室内側は空気と熱交換を行なう形式)
4. water to water 式 (室外側・室内側ともに水と熱交換を行なう形式)

2, 4 の形式は室内側においてさらにもう 1 回空気と熱交換を行なう必要があるので大容量のものは別として、パッケージ形年間空気調和装置には 1, 3 の形式がすぐれている。略して、1 は空気式、3 は水式と称する。ほかに土地の恒温性を利用した earth to air 式、あるいは earth to water 式もあるが、パッケージ形年間空気調和装置には応用できない。図 2.2~図 2.6 は各種ヒートポンプ装置の系統図である。パッケージ形ヒートポンプ装置としては空気式、水式とともに一長一短があり、それをまとめると表 2.1 のようになる。

同表に示すように水式ヒートポンプ装置は長所が多いが地下水が必ず必要となることが最大の欠点で、近時都市およびその周辺における地下水不足の問題は深刻である。

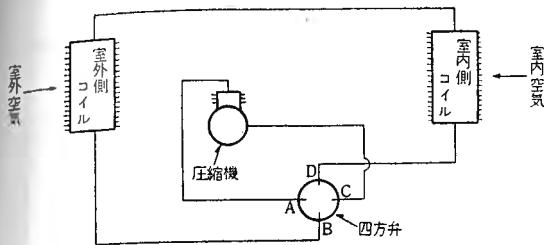


図 2.2 Air to air 式 ヒートポンプ 装置  
Fig. 2.2 Air-to-air type heat pump apparatus.

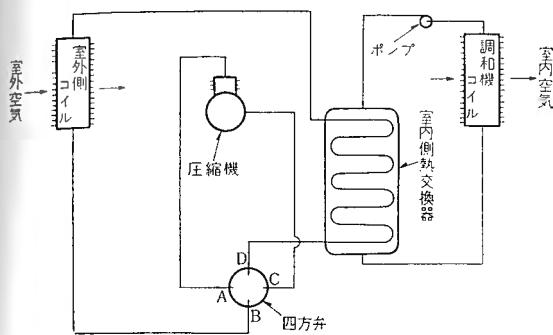


図 2.3 Air to water 式 ヒートポンプ 装置  
Fig. 2.3 Air-to-water type heat pump apparatus

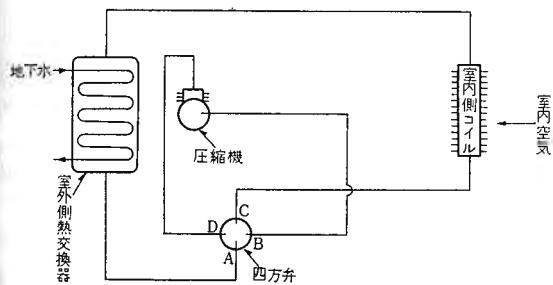


図 2.4 Water to air 式 ヒートポンプ 装置  
Fig. 2.4 Water-to-air type heat pump apparatus.

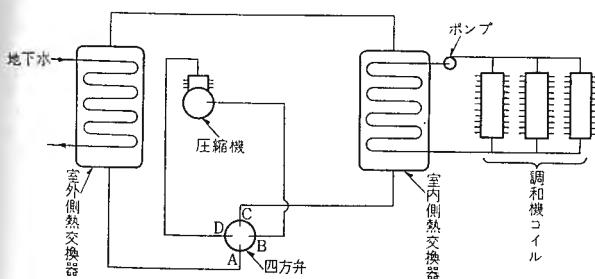


図 2.5 Water-to-water 式 ヒートポンプ 装置  
Fig. 2.5 Water-to-water type heat pump apparatus.

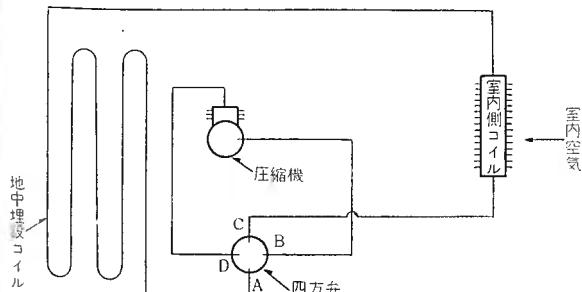


図 2.6 Earth-to-air 式 ヒートポンプ 装置  
Fig. 2.6 Earth-to-air type heat pump apparatus.

HU-50 形 ヒートポンプ 式 ユニテヤ・河合

表 2.1 水式と空気式の長所、短所

	長 所	短 所
水式ヒートポンプ装置	1. 室外側の熱交換器が小さくてすむので外形寸法が比較的小さく納まる 2. 制御機構が空気式より簡単になるので故障個所が少ない 3. 外気温度に関係なく一定の能力が保証される	1. 必ず井戸水が必要になるので地下水の豊富な地方より利用できない。 したがってポンプ装置、配管工事などの付帯工事が伴う
空気式ヒートポンプ装置	1. 水はいっさい不用であるので水の不便な地方にも利用でき、この面よりの据付のための制限はない	1. 室外側の熱交換機が大きくなり水式よりも外形寸法が大きくなる 2. 制御機構が複雑になって故障個所が増える 3. 外気温度の低下とともに成績係数が低下する。したがってあまり寒い地方には利用できない

ので販路に大きな制限がある。このほかヒートポンプ装置では暖房時においてつきの制限は必然である。

## 2.1 水式ヒートポンプ装置

(1) 室外側熱交換器にて水を氷結させてはいけない。したがって冬期水温の低下する水道水は利用できない。

## 2.2 空気式ヒートポンプ装置

(1) 室外側熱交換器(コイル)に着霜しないこと、あるいは完全な除霜機構を有すること。

(2) 成績係数が1以下となるような外気温度で使用すると電熱器より不利になる。

また、ヒートポンプ装置の最大の長所は冷房・暖房とも同じ装置で行なうことのほかに、冷媒の凝縮熱を暖房の熱源に利用するので一般に成績係数は2~3となり、電熱器に比べて非常に有利なことである。

## 3. HU-50 形ヒートポンプユニテヤ

HU形はわが国の特殊な水事情を考慮して空気式で開発した。図3.1は外観、図3.2はその裏面、図3.3は内部構造、図3.4は外形寸法図、表3.1は概略仕様を示す。自動霜取装置を有する全自動式であることが大きな特色で、パッケージ形年間空気調和装置として今後大きく伸びることを期待している。

最下部は機械室で圧縮機、外側送風機、制御装置など

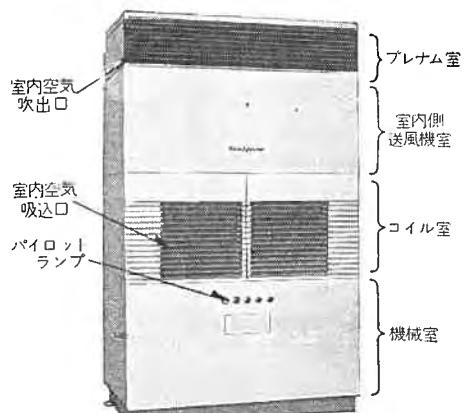


図 3.1 HU-50 形 ユニテヤ 外観

Fig. 3.1 Appearance of type HU-50 unitaire.

表 3.1 HU-50 形 ユニティ仕様

電 源		三相 200 V 50/60 c/s
外形寸法	高さ (mm) 高さ (mm) 幅 (mm) 奥行 (mm)	2,063 2,365 1,450 889
圧縮機	形式 形名 電動機出力 (kW)	半密閉 CS65G1 3.75
室外側送風機	形式 風量 (m³/min) 最大可能静風圧 (mm/水柱) 電動機出力 (kW)	シロッコ 115 18 1.5
室内側送風機	形式 風量 (m³/min) 最大可能静風圧 (mm/水柱) 電動機出力 (kW)	シロッコ 56.5 15 0.75
補助電熱器 (kW)	3, 6, 9	
室外側コイル	クロスフィンコイル	
室内側コイル	クロスフィンコイル	
エアフィルタ	サフンフィルタ	
冷媒	R-12	
冷房能力 (kcal/h)	13,000	
暖房能力 (kcal/h)	15,000	
標準塗装	ソフトブルーハンマートン	
製品重量 (kg)	810	

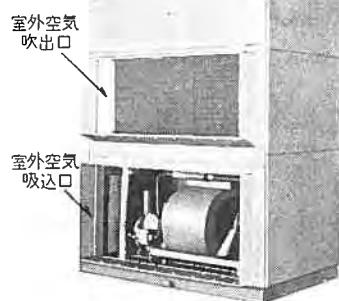


図 3.2 HU-50 形 ユニティ裏面

Fig. 3.2 Back of type HU-50 unitaire.

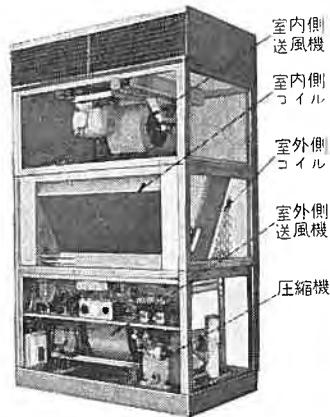


図 3.3 HU-50 形 ユニティ内部

Fig. 3.3 Interior of type HU-50 unitaire.

が取付けてあり、中央部はコイル室、最上部は内側送風機室になっている。室内側の空気は前面中央部の吸込口より吸込まれて内側送風機室より上部に吹出す。吹出側をグリル式にすると内側送風機室の上にプレナム室を設ける。室外側の空気は機械室の後面より吸込み、コイル室後面より吹出す。室外側は吸込側も吹出側もダクト接続式になっていてダクトで室外と接続する。室内側、室外側の最大可能静風圧はそれぞれ 15 mm/水柱、18 mm/水柱に設計されている。前面および側面の各パネルは取付け、取はずしが簡単にできてサービスは容易である。また、機械室の前面パネルには運転状態を標示するパイロ

## 【注】

## 1. 冷房能力

室内側空気温度 26.7°C、湿度 50%、室外側空気温度 35°C、湿度 40% における値

## 2. 暖房能力

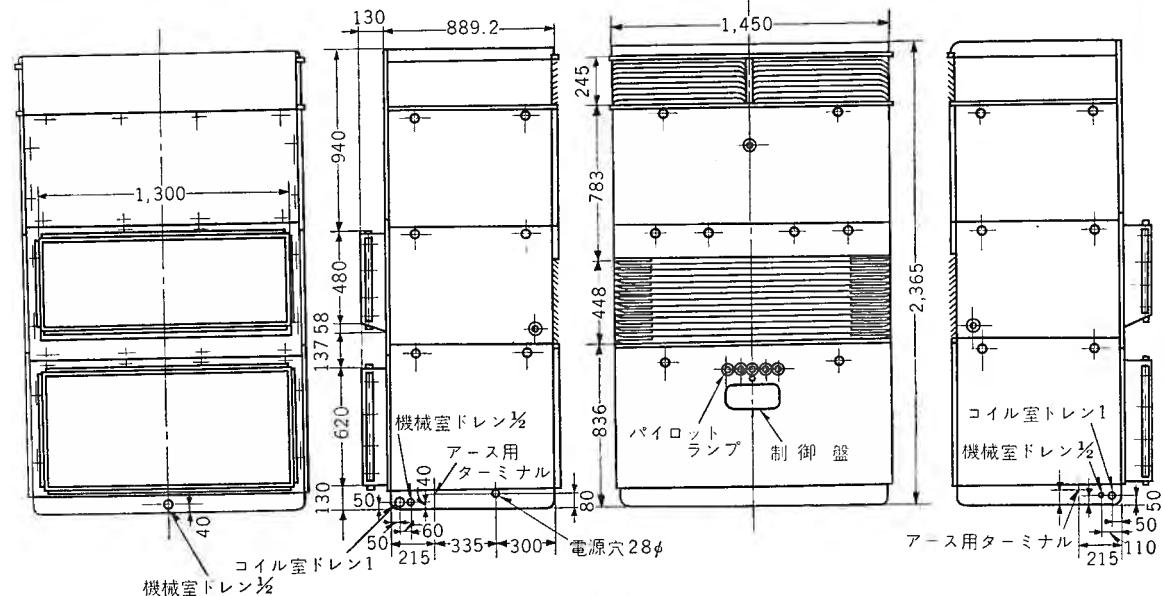
室内側空気温度 21.1°C、室外側空気温度 7.2°C、湿度 85% における値

## 3. 补助電熱器

標準構造には 3 kW の補助電熱器が添付されている。これは霜取り運転のときに不足する熱量を補うためのもので、正常な運転のときはほとんど働かない。とくに寒い地方で使用するばあいは、ヒートポンプ装置の熱量が不足するので 6 kW、9 kW まで追加することができる

## 4. 送風機

室外側の送風機は有効静風圧 18 mm/水柱まで、室内側の送風機は 15 mm/水柱まで使用できる

図 3.4 HU-50 形 ユニティ 外形寸法図 (mm)  
Fig. 3.4 Outline dimensions of type HU-50 unitaire (mm).

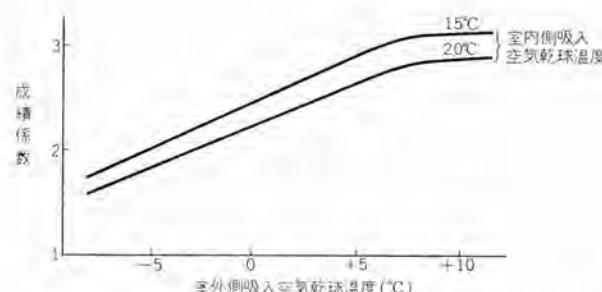


図 3.5 HU-50 形 ユニテ<sup>ア</sup> 暖房時成績係数  
Fig. 3.5 Result factor of type HU-50 unitaire during room heating operation.

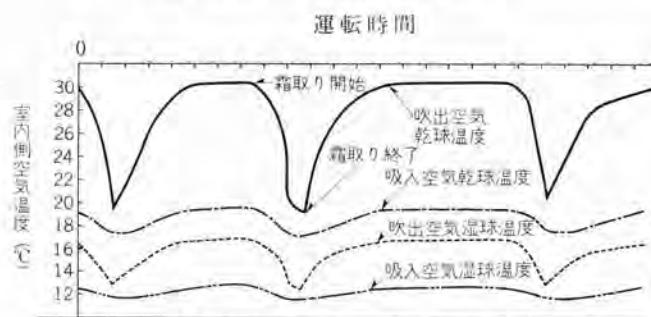


図 3.6 0°C 付近における運転状態  
Fig. 3.6 Operating conditions at around 0°C.

ヒートポンプが 5 個あって、送風・冷房・暖房・補助電熱・高圧 シャ断の各状態を表わすようになっている。また、HU 形はわが国では始めての SP 方式の除霜機構を取付けて、低い外気温度でも暖房運転ができるようになっている。HU 形の低温度における使用限度は約  $-15^{\circ}\text{C}$  でその時の成績係数は約 1 となる。図 3.5 に HU 形の成績係数を示す。HU 形に用いた SP 方式の除霜機構とは、暖房運転時室外側コイルに付く霜の量をコイルを通過する空気の風圧損失の微少な増加によって感知する方法でそのための特殊な圧力差感知スイッチを開発した。霜の量が一定量以上になると除霜機構が働いて冷凍サイクルを反対にし、冷房運転に類似した霜取り運転を行なう。室外側コイルに付いた霜は冷媒の凝縮熱で溶解し、霜取り終了時期感知スイッチによって暖房運転に戻る。図 3.6 は  $0^{\circ}\text{C}$  付近における霜取り運転の状態を示している。霜取り運転では室内側は冷房運転になっているので吹出空気温度は低下し室内が冷やされる。この時に不足する熱量を補うために補助電熱器を使用し、吸入空気が一定

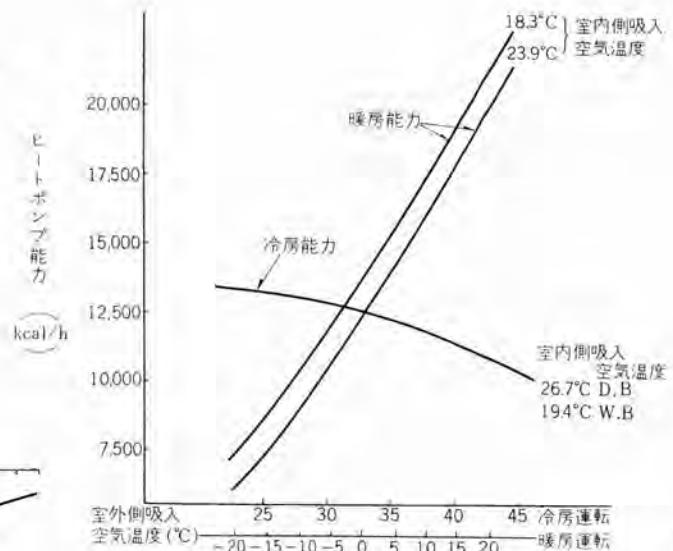


図 3.7 HU-50 形 性能曲線  
Fig. 3.7 Performance curves of type HU-50.

温度以下になると補助電熱器は自動的に働くようになっている。またヒートポンプ装置では冷房運転時と暖房運転時では負荷条件が変わるので、装置内の冷媒循環量もまた変化する。したがって循環量を調整するために従来のヒートポンプ装置では膨張弁を 2 個使用して膨張弁部分を 2 回路にしたものが多いが、HU 形では特殊な冷媒制御機構を用いて冷凍サイクルを完全な 1 回路にすることができた。図 3.7 は HU 形ヒートポンプユニテ<sup>ア</sup>の性能曲線である。そのほか HU 形は湿度調整装置を取付けることも可能で、夏の再加熱には補助電熱を利用し、冬は給湿用スプレーを追加する。

#### 4. む す び

Westinghouse 社の技術を参考にしてわが国では始めての全自动式パッケージ形空気式ヒートポンプ装置を完成したのでその概要を紹介した。HU 形の開発に当たっては諸般の要素を十分加味して製作したが、パッケージ形としての据付、取扱いにはまだ改善すべき要素は多い。将来的年間空気調和装置には経済性にすぐれたヒートポンプ式が採用される見通しが強いので、今後とも改良研究を続けていっそすぐれたものにして行きたい。

# ワーレンモータの印加電圧と起動特性

福山製作所 高野直治・益田鑑五\*

## Impressed Voltage and Starting Characteristic of Warren Motors

Fukuyama Works Naoharu TAKANO・Kango MASUDA

Most of Warren motors, currently available on the market and rated at 100 volts, can hardly start at no load if the impressed voltage exceeds 120 volts. However, there are many cases when it is inevitable to have Warren motors start at voltages above 120 volts. Something must be done to overcome the inconvenience. The writers are successful, by shifting a part of the rotor components on the shaft to make a certain angle to the original position, in obtaining a motor capable of starting at higher applied voltage without impairing much torque. This method, it is found, has a great bearing on the magnitude of the shading effect and the extent of excitation of poles, and optimum angle must be looked for according to individual shape.

### 1. まえがき

現在市販されているワーレンモータは普通100V定格のものでは印加電圧が120Vを越えると無負荷で起動しないものが大部分である。しかしながらワーレンモータの用途によっては印加電圧が120V以上を必要とする場合が多くあるので市販品をそのままこれらの用途に使用することはできない。そこで回転子の一部をシェービングコイルの効果に応じてもっとも適当な角度だけズラすことによって回転力もわずかに減少する程度で高い印加電圧に対しても十分起動さすことができる。

### 2. ワーレンモータの概要

ワーレンモータは図2.1のような構造を有するものでYは固定子部分、Rは回転子部分、Gは減速装置部分、Sは駆動軸である。

固定子部分Yは単相交流によって励磁されるコイルと磁気回路を作るケイ素鋼板を積層した鉄心部分とからできている。

回転子部分Rは普通黄銅などの非磁性体ケースに保

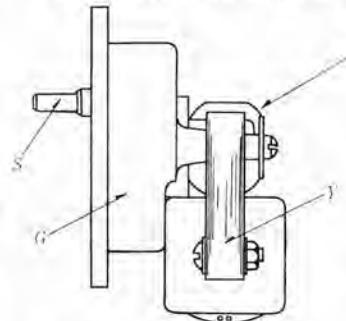


図 2.1 ワーレンモータの構造図  
Fig. 2.1 Warren motor construction.

護せられ、この中に特殊高磁力鋼の薄板を△形に打抜いたものを数枚同一軸に取付けたものでできている。

またケース部分はロータの軸受および減速装置Gのケースと兼用して使用されているのが普通である。

減速装置部分Gは駆動軸Sへ所定の回転数および回転力を伝達するための歯車機構が織込まれている。

### 3. 動作原理

つぎにワーレンモータの動作原理について考えて見ると、図3.1に示された励磁コイルに電流が流れることによって $\Phi$ なる交番磁束が発生するが、この $\Phi$ はシェービングコイルの磁束反作用によって生ずる磁束も含んだ全磁束である。

ところで磁極A,Bについて考えて見ると、B極にはシェービングコイルがあるためにA極から発生する磁束は

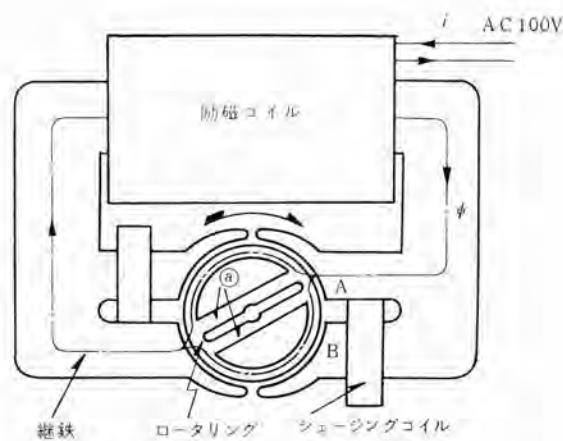


図 3.1 ワーレンモータの動作原理図  
Fig. 3.1 Principle of Warren motor operation.

B極から発生する磁束よりも電気角 $\theta$ だけ進んでいることになる。

したがって磁極面と回転子間の空間には梢円移動磁界、または梢円回転磁界を生ずることとなり、ロータリングはこの回転磁界に吸引されて回転する。またこの回転方向は矢印の方向となる。

ワーレンモータは一般に起動回転力が小さいので、これを増大するために普通 リング の中央を ④ のような直径方向に貫く磁気回路を作り、この部分の磁気抵抗の変化によって 2 極反作用(2 極間に横たわる磁性体は 2 極間の磁路抵抗が最小となる位置へとどまろうとする性質)を生じ、この作用によって回転力を生ずることとなり、かつ 2 極反作用は起動に際しても重要な役割を果していることになる。

#### 4. ワーレンモータの出力

ここでワーレンモータの出力、および回転力について考えてみると、いま継鉄の鉄損およびその他の鉄損を考えなくて回転子への入力がヒステリシス損失だけと考えれば一般に次の式で示される。すなわち

$$W_h = \eta f B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ watt} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

$\eta$ : ヒステリシス損失係数

$f$ : 周波数

$B_m$ : 最大磁束密度 (gauss)

$V$ : 回転子体積 ( $\text{cm}^3$ )

もし回転子がすべり  $S$  で回転しているとすれば回転子中の磁束の変化による周波数は  $Sf$  となる。よってヒステリシス損失は

$$W_h' = \eta S f B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ watt} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

となり、回転子の出力は次の式で表わされる。

$$W = Wh - Wh' = \eta (1-S) f B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ watt} \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

ゆえに回転子に発生する回転力は

$$\begin{aligned} T &= \frac{W \times 60}{2\pi N} \times 10^7 \text{ dyne-cm} \\ &= \frac{60 \cdot \eta (1-S) f B_m^{1.6} V \times 10^{-7}}{(1-S) \frac{120f}{P}} \times 10^7 \text{ dyne-cm} \\ &= \frac{\eta B_m^{1.6} VP}{4\pi} \text{ dyne-cm} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

式中  $P$ : 極数  $N$ : 回転数/min

式 (4.4) のようにワーレンモータの回転力は回転数に無関係に一定となるが、この関係を示せば図 4.1 のようになる。

上に述べた方程式は一般に使用されている リングロータの場合であるが、図 4.2 のように何枚かの リングロータを同一方向に同一軸上に取付けられているものであると、

ワーレンモータの印加電圧と起動特性・高野・益田

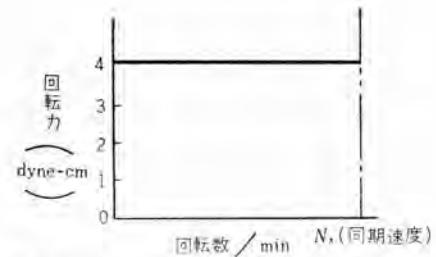


図 4.1 ワーレンモータの回転力と回転数の関係

Fig. 4.1 Relation between torque and speed of rotation of Warren motor.

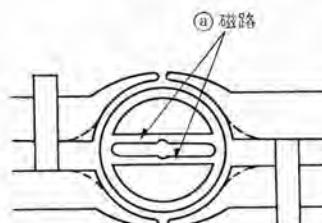


図 4.2 リングロータと磁極の関係  
Fig. 4.2 Relation between the ring rotor and poles.

電圧が上昇して励磁する起磁力が増してくると、2 極反作用の効果は回転力としては加わらず、2 極間において絶えず磁気抵抗が最小となるような位置へロータを保持しようとする力を生じてくるので、これが式 (4.4) をこえるような吸引力となって現われる場合には、ロータは起動しなくなってしまう。そしてこの影響をもっとも受けやすいロータの位置といえれば図 4.2 に示すような位置から起動さす場合である。

すなわち リングロータの ④ 磁路が磁極の セッタと一致した時がもっとも起動しにくいうことになるが、この影響を少なくするために一部の メーカーでは点線のように極面を切込んでこの影響を軽減し、高い印加電圧における起動を容易にしたものもあるが、この方法では同一ボルトアンペアの励磁に対しては回転力がはなはだしく低下する欠陥がある。

#### 5. 研究

そこで図 5.1 に示すように同一軸上に取付けられたリングロータをある角度だけズラすことによって、高い印加

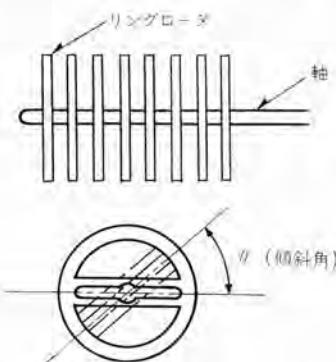


図 5.1 リングロータの相互関係

Fig. 5.1 Mutual relation of ring rotors.

電圧に対する起動が容易となり、かつ起動、制動いずれの回転力も少なくてすみ、ボルトアンペア励磁の全然変わらない結果を得た。

ただしこの方法は極の シェーリング効果の大小と、励磁の程度にも関係するので、個々の形に応じてもっとも良好な傾斜角を求める必要があるが、シェーリング効果を利用して 2 磁束間に位相角を持たず最大限度は  $\pi/4$  すなわち 45 度が最大である。

またこのときの回転磁界は図 5.2 に示すような梢円磁界を生ずることは明らかであり、図中矢印は磁界の強さ

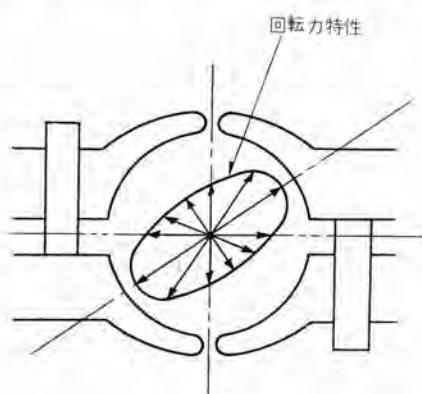


図 5.2 ワーレンモータの回転磁界

Fig. 5.2 Rotating field of Warren motor.

を示している。

したがって形式は異なっても最良の起動、および回転力特性を得るための リングロータの傾斜角は 30~50 度付近にあるものと思われる。

実験には某社のワーレンモータを使って行なって見たが、このワーレンモータでは 8 枚のリングロータ 中両端の 2 枚だけを 45 度の傾斜角を持たしたときがもっともその効果が大であり、リングロータの角度を  $\pm 2$  度の前のものは、印加電圧が 115V 以上になるとほとんどのものが起動しなかったが、これを施すことにより全数 140V で起動が可能となった。

また回転力の減少も 10 % 以内であることが確認できた。

## 6. む す び

以上のようにワーレンモータの起動特性において、何枚か同一軸上に取付けられたリングロータのうち、両端の 2 枚を有する傾斜角だけ  $\pm 2$  度によって、回転力を低下させずに高い印加電圧における起動をよくする方法を見出した。

## 訂 正

Vol. 34 No. 5, 111 ページ「最近における当社の社外講演一覧」のうち一部誤りを下記のように訂正いたします。

講演年月日	主催または開催地	題 名	誤		正	
			講 演 者	所属場所	講 演 者	所属場所
34-12-11	電気通信学会	誘導体アンテナについて	末田 治	伊丹	末田 正 牧本 利夫 西村 貞彦 喜連川 隆	大阪大学 研究 所
34-12-11	電気技術者協会	「最近の電気材料」のうち 磁気材料について	野口 英男	伊丹	野口 英男	研究 所
34-12-15	真空協会関西支部	超高真空の発生と測定	藤永 敦	伊丹	藤永 敦	研究 所
34-12-17	原子力産業会議	原子炉制御の実際	八島 英之	伊丹	八島 英之	研究 所
34-12-17	電気通信学会	フエライト装荷導波管内の姿態変換	喜連川 隆 中原 昭次	伊丹	喜連川 隆 中原 昭次	研究 所
34-12-18	電気通信学会	拡張された飽和関数法について	真鍋 舜治	伊丹	真鍋 舜治	研究 所

#### 1. まえがき

火力発電所設備容量が大きくなると、火災は設備投下資本の損失を招くばかりでなく発電電力量の減少により生ずる諸種の損失を招く。また火災発生時には通信設備がもっとも肝要なものとなる。

発電所を火災保護の見地から分けるとつぎの三つに区分できる。

- (1) ボイラに燃料を送るに必要な燃料供給装置とその付属装置
- (2) タービンおよび発電機とその油管系統
- (3) 変圧器、シヤ断器および開閉器室

#### 2. 燃料供給装置

発電用燃料には、石炭と重油の2種類がある。貯油槽は発電所からかなりはなした場所に設ける。火災防止としてふつう mechanical form system を用いるが、水97%, foam compound 3% から成る。この溶液が機械的にかく乱して空気を吸引し、油面に流出して消火する。保護はふつう手動操作で行なうがこの方法は chemical form system にくらべて貯蔵がたやすく、大きさも自由にかえられ、分配も自由にできる。

#### 3. コールコンベヤの保護

貯炭場とボイラ間の運炭設備にコールコンベヤがある。コンベヤが火災を起すおもな原因は、ベルトの据付不良すなわち ブリーリーが固着してベルトが摩擦を生じ、したがって過熱するからである。

コールコンベヤの実用的な火災保護は注水式 (water spray system) でパンカなどの他部分への火災の拡大を防ぐ。それゆえ自動操作式にし、火災の早期発見を確実にすることが肝要である。パンカの火災保護はできるだけ考慮すべきであるが、実際有効な方法を講ずることはまれである。

もっとも有効な方法として、パンカを炭酸ガスで飽和させて、余分の炭酸ガスを漏出させる方法が推賞される。

#### 4. タービン油管系

発電所では、タービンおよび発電機の軸受の潤滑用としてまた、調速装置の作動用として多量の油を用いる。このため貯油槽・清浄装置・ポンプ・パイピングなどがある。これら圧力油の流れている油管が、過熱器蒸気管と交差すれば火災が起りうる可能性が出てくる。ふつう軸受は、注水法か dry chemical 法で保護できる。水を供給するには軸受の回りに、ノズル環を用いればよい。また、油管中に温度計を設置しこれにより油管系を自動的にトリップさせ、運転者に警報を与えることもできる。dry chemical 法ではノズル環が高圧の窒素ガスの噴出口として役だつ。

火災報知があると油管系を手動でトリップができる、早く消火できる。油管系は間欠的に discharge し数回 shot を与えうるよ

うにして再発火を防止する。

#### 5. タービン貯油槽

タービン貯油槽は相当量の油をたくわえるが、タービン基礎の1階に、場合によっては2階に設置し周囲に歩廊を設ける。この適当な保護装置は急激噴霧注水法 (deluge water spray system) である。

貯油槽は方向性のあるノズル環で保護し、貯油槽の頭部や側面に水がかかるよう配置する。貯油槽をどこに設置しようと油がこぼれたままになるような場所は適当なドレンを設けて油、水ともに逃出させるよう考える。貯油槽が破裂すると十分な酸素がはいってきて貯油槽の内側で油が燃焼しうる。この場合は注水法では防護できない。このようなときは、貯油槽の内部を不活性にする炭酸ガス方式を用いて消火させる。この方式は温度感知器で作動する。

密封油系統は炭酸ガスまたは注水法で保護する。しかし注水法は、燃焼した水素ガスを消火できないこと、火災の拡大を防ぐにすぎないことに留意しなければならない。

貯油槽、密封油系統の火災保護に急激噴霧注水法を用いた場合は、この system を用いて他の場所の火災保護をも行ないうるよう設計できる。

火災の初期においてとるべき有効な手段は、火災による損傷を最小にしてすみやかに消火することである。したがって自動作動がもっとも有効である。注水法は押しボタンなどを用いて遠隔手動操作とする。

#### 6. タービン室

タービン室クレーンには長いロープをそなえ、大きな火災発生時には運転員がこのロープを用いて逃げ出しうるようとする。

タービン室での油による火災発生時には、消火に十分な人員が利用できないことがあるので、中央制御盤から操作できる消防設備が望ましい。これら油による火災を防ぐには、注水法がもっともよいことは前述のとおりである。

大型発電機は最近すべて水素冷却機であるので、水素ガス管系、炭酸ガス管系が付属する。万一発電機近くに火災が発生すると水素ガスは屋外排出管を通して逃がさなければならない。

この意味では水素ガス放出弁、炭酸ガス放出弁は遠隔操作式が望ましい。

また水素ガスボンベは建家外に一括して一つの室内におさめるようにし、このガス貯蔵室を大気で通風させることができほしい。これら水素冷却発電機密封油処理装置、ガス警報盤の周囲には禁煙の立札を立て十分注意しなければならない。

水素冷却発電機では、機内の水素ガスが空気と混合して爆発性ガスを作らないような運転方法が講ぜられ、また不燃性ガスであるので発電機自体には消防装置を必要としない。しかし空気冷却機は相間短絡などにより発火することもありうるので消防

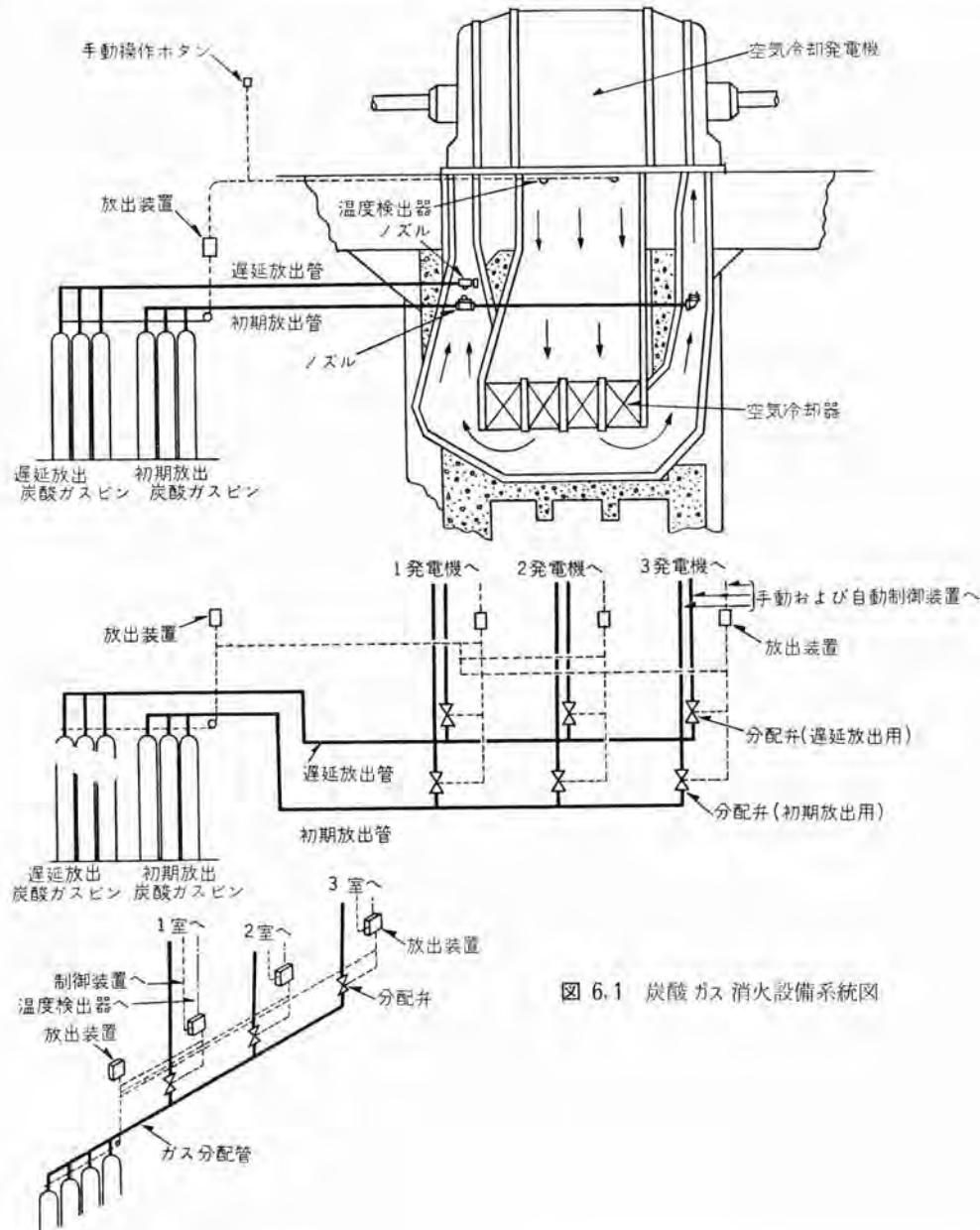


図 6.1 炭酸ガス消火設備系統図

装置を設備する。(図 6.1, 6.2, 6.3 参照)

これは発電機端部に設置した小穴より注水する方法があるが、もっぱら炭酸ガス消火装置が用いられる。これには炭酸ガスを有効に用いるため、はじめに急速に機内に炭酸ガスを入れ消火するが、以後は漏洩ガスを補充するための炭酸ガスを入れる方法、すなわち初期放出と遅延放出に分けた方法が用いられる。炭酸ガスを放出する操作は、差動継電器による自動操作、押しボタンによる遠隔操作、手動操作を併用する。

なお閉鎖通風形の発電機では炭酸ガス放出時にダントン扉は閉めておかなければならない。(図6.2参照)

## 7. 変圧器

変圧器は、建家に近接して設置される可燃性油を充填した電

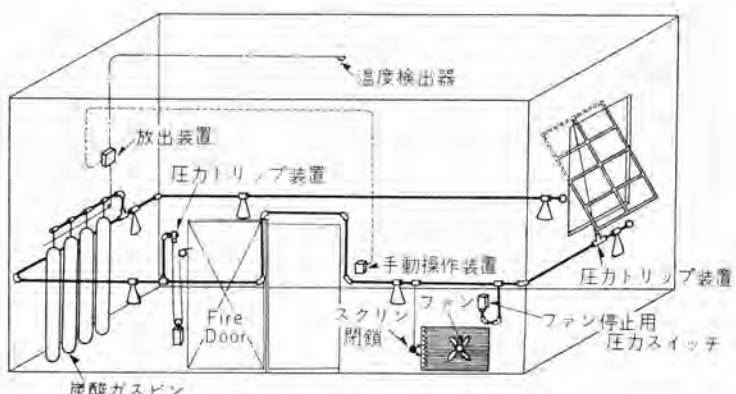


図 6.2 密閉室への炭酸ガス消火設備の適用

気装置で、雷擊によるコイルの破損、内部外部短絡故障、ラッピング故障などにより火災を発生しうるが、ふつう固定パイプによる急激噴霧注水法で保護する。変圧器の頭部、周囲のすべての垂

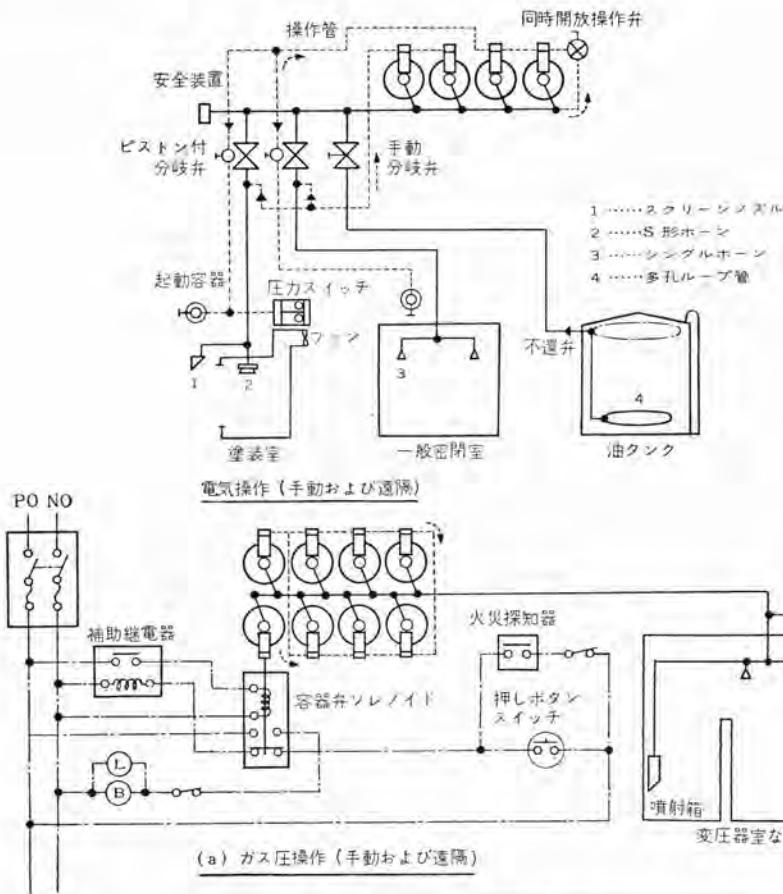


図 6.3 炭酸ガス消火装置動作説明図

正面にノズル付のパイピングを設置し、パイピングに給水する。（図 7.1 参照）

変圧器を発電所の壁面に接近して置く場合、変圧器と壁の間の空間をスプレーでもって完全におおうことができるよう、またこれら壁面には窓や開口をつけるべきでない。

変圧器の火災防止には十分な圧力をもつ清浄な水を必要とするが、この水をスプレーを生ずる速度でもってノズルから放出さす。

もちろん自動操作を行なうべきでこれには差動式温度感知器、

きているので、その装置の重要性、価値を高めるために火災に対しては消防条令を加味して合理的な予防法を講ずることが肝要なのである。

（重電技術部 加賀貞広）

#### 参考文献

- How good is your fire protection, Power Engineering (April, 1959).

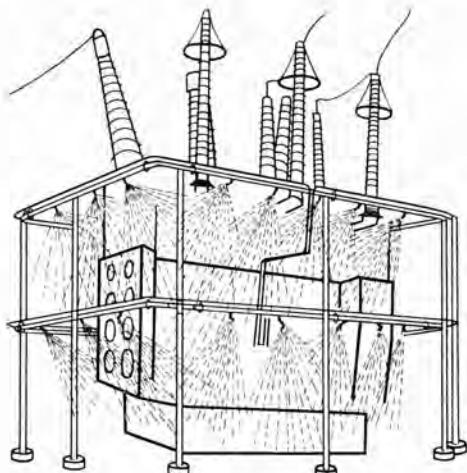


図 7.1 急激噴霧注水法を用いた変圧器

比率差動繼電器を用いる。消火時間は 5~30 秒といふである。

炭酸ガス消火装置は、変圧器を屋内に設置した場合に用いて有効である。（図 6.2, 6.3 参照）変圧器に消火装置をそなえると、ふつう火災を生じ故障を惹起した点に損傷が局限されるが、もし設けないときは変圧器全部が損傷をうける。

シヤ断器はふつう消火装置を設備しない。油入シヤ断器に対して消火装置を用いるときは、変圧器に対するものと同様なものを用いる。

#### 8. むすび

発電所では hand hose station を設けるべきであるがなお局部的に火災が発生する可能性を最小限にすべきである。発電所は近時大容量となり複雑となって

## モレクトロニクス

Dr. S. W. Herwald: The Concepts and Capabilities of Molecular Electronics (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 3, May, 1960, p. 66)

電子工学の応用分野の広がるにつれて、人工衛星だけでなく、家庭電気器具においても、その占める空間と重量が問題になってきている。将来これら電子装置動作機能への要求がもっと複雑にそして密になるにつれ、今までどおりの技術によつて小形で軽量、しかも信頼度の高いものをつくることは非常に困難となる。これらの問題を明快に解決する新しい概念がW社で研究開発された。これは分子での電子、正孔、原子といったもののふるまいや、分子間の界面現象を利用したもので、“Molecular Electronics”モレクトロニクスと呼ばれる。モレクトロニクスの指導原理は、各部品の小型化ではなく（したがつて回路図は必ずしも必要でなく）そのような回路に要求される機能を果たす半導体ブロックを見出すことであり、このような半導体機能ブロックによって完成されたものとして、増幅器、発振器、テレメータがあげられる。このブロックを使えば原理的に内部配線が少なく、したがつて信頼度が高くなる。今まで発表されている機能ブ

ックは、(1) 5W低周波増幅器(図1(a))、(2)二段ビデオ増幅器(図2(b))、(3)増幅器に狭帯フィルタの帰還回路をもつた周波数選択増幅器、(4)種々のマルチバイラーティ(図1(c))、(5)2入力の指数和をつかったポテンショメータ、(6)種々のスイッチ回路、(7)A-D変換器、(8)赤外線検出器用電子冷凍器である。

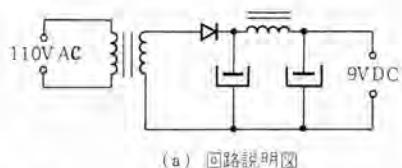
モレクトロニクスは従来の抵抗、コンデンサといった回路部品を使わず、機能領域の複合からなる機能ブロックで、入力エネルギーの流れを制御、伝達する方式である。その例としてトランジスタ回路に必要な直流電力変換器をあげる。一般にこの回路は図2(a)のような整流回路が使われるが、モレクトロニクスでは110Vの交流を9V直流に変換するのに半導体の熱電効果を利用する。この機能ブロックは図2(b)のように三つの機能領域からなり、交流電力が抵抗領域に印加されると、ここで発生したジュール熱が真中の電気絶縁領域(熱伝導のよい材料)を透して熱電効率領域に流れ込み、ジーベック効果によって電気的エネルギーに変換されて9Vの直流出力が得られる。このような過程でエネルギーの変換がおこなわれるときには熱エネルギーの流れが割合に一定に流れるので本質的に電圧の変動のない直流が得られる。このような機能ブロックは固体のもついろいろの効果や現象を十分理解した上で総合したものにはかならない。したがつてどんな材料を選ぶかが大きな問題であるが、機能ブロックは半導体装置製造技術によって必要な機能領域とか界面をつくるのでその製作・加工技術も開発しなければならない。とくに樹枝状(Dendrite)結晶引上げの成功によって、一様な性質の機能ブロックをしかも連続してつくることができるようになった。このようにしたゲルマニウム単結晶は表面が鏡面で幅約3mm厚さ0.1mmぐらいのリボン状のもので一定結晶軸のものが1分間に15cmから30cmの割合で引上げられ、これはそのままあまり加工を加えなくてもよいので材料の歩留まりは非常に高いものとなる。

このようなW社のモレクトロニクスの概念は電子装置を軽量に、小形に、そして信頼性の高いものとするので、ここ数年内に広い分野に適用されることはあるがうべくもない。

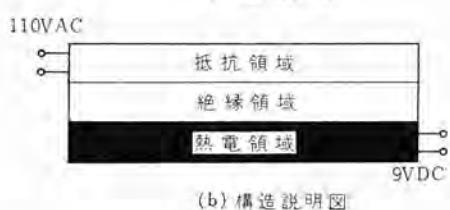
(研究所 大久保利美訳)

図1

電力変換



(a) 回路説明図



(b) 構造説明図

図2

## 代表的電力用シリコントランジスタ

Thomas P. Nowalk: Typical High-Power Silicon Transistors (Electronics, December 18, 1959, p.76-77.)

過去数カ年にわたるシリコンに関する技術上の進歩は一連の電力用トランジスタを作った。なかでも数キロワット級またはそれ以上の容量のものの出現は近き将来期待できる状況にある。本文は電気的特性の観点からパワートランジスタの発達の現状をいたるものでかかる種類のものの評価は適切なる2,3の電気的、熱的特性によってできる。下表は現在売り出されているパワートラ

代表的シリコンパワートランジスタ\* の電気的特性

Type	Structure <sup>b</sup>	Manufacturer <sup>c</sup>	V <sub>CE</sub> max (V)	I <sub>C</sub> max (A)	$\beta$ min @ (A)	I <sub>C</sub>	R <sub>S</sub> max (Ω)	t <sub>r</sub> (μ sec)	f <sub>α</sub> (kc)	R <sub>th</sub> max (°C/W)	T <sub>J</sub> (°C)	V <sub>CE</sub> max (W)	I <sub>C</sub> max <sup>d</sup> (W)	R <sub>S</sub> max <sup>d</sup> (W)
2N-1016-F	npn-F	WEC	300	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	1,500	12.5	
2N-1015-F	npn-F	WEC	300	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	1,500	18.8	
2N-1016-E	npn-F	WEC	250	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	1,250	12.5	
2N-1015-E	npn-F	WEC	250	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	1,250	18.8	
2N-1016-D	npn-F	WEC	200	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	1,000	12.5	
2N-1015-D	npn-F	WEC	200	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	1,000	18.8	
2N-1016-C	npn-F	WEC	150	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	750	12.5	
2N-1015-C	npn-F	WEC	150	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	750	18.8	
2N-1016-B	npn-F	WEC	100	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	500	12.5	
2N-1015-B	npn-F	WEC	100	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	500	18.8	
2N-1016-A	npn-F	WEC	60	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	300	12.5	
2N-1015-A	npn-F	WEC	60	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	300	18.8	
2N-1208	npn-D	TEC	60	5	15	-	1.5	0.25	12mc	0.50	200	300	37.5	
S T-400	npn-D	TEC	60	5	15	2	2.5	0.25	6mc	2.5	200	300	62.5	
S T-402	npn-D	TEC	60	5	12	-	2.5	0.25	2mc	0.50	200	300	62.5	
S T-422	npn-D	TEC	60	5	15	-	0.25	6mc	0.50	200	300	62.5		
2N-1250	npn-D	TEC	60	5	15	-	0.25	6mc	0.50	200	300	62.5		
2N-1070	npn-D	STC/RCA	60	4	10	1.5	0.67	-	1.2mc	3.0	175	240	10.7	
2N-1069	npn-D	STC/RCA	60	4	10	1.5	2.0	-	1.2mc	3.0	175	240	32	
2N-1209	npn-D	TEC	45	5	20	-	1.5	0.25	1.2mc	0.50	200	225	37.5	
S T-401	npn-D	TEC	45	5	20	2	2.5	0.25	6mc	2.5	200	225	62.5	
S T-402	npn-D	TEC	60	3	15	2	4.0	0.25	6mc	3.0	200	180	36	
S T-424	npn-D	TEC/TII	80	2	12	1	10	0.70	6mc	2.1	200	160	40	
2N-1016	npn-F	WEC	30	5	10	5	0.50	20	300	0.70	150	150	12.5	
2N-1015	npn-F	WEC	30	5	10	2	0.75	20	300	0.70	150	150	18.8	
2N-1072	npn-D	WEST	75	2	-	-	-	-	-	-	175	150	-	
S T-403	npn-D	TEC	45	3	15	2	3.0	0.25	6mc	3.0	200	135	27	
2N-389	npn-D	TEC/TII	60	2	12	1	5.0	-	8mc	2.1	200	120	20	
ARA-46P	Composite	ARA	40	3	10,000	-	5.0	-	-	2.6	200	120	45	

V<sub>CE</sub> max: 阻止電圧耐量 I<sub>C</sub> max: 電流容量 R<sub>S</sub> max: コレクタ抵抗  $\beta$ : 電流変換比f<sub>α</sub>: 周波数応答性 tr: スイッチング時間 R<sub>th</sub>: 熱抵抗 T<sub>J</sub>: ジャンクション温度

F: 合金形 D: 拡散形

WEC-Westinghouse Electric Corp.; TEC-Transitron Electronic Corp.; STC-Silicon Transistor Corp.; RCA-Radio Corp. of America; TII-Texas Instrument Inc.; WEST-Western Electric Co.; ARA-Advanced Research Associates Inc.:

トランジスタで 7 社で製作された代表的 28 個のものである。コレクタ電流は 2A という標準を満足する代表例である。表中 2 行目は合金形、拡散形の構成差を、3 行目は製作社名、最後の 2 行は取扱う電力の点で装置と損失とを比較するために設けた。

興味ある点は上表の数値はパワートランジスタの相対的長所を要約していることであり、また基本構成としては P 形シリコンをともに使用しているが拡散形はゲインと周波数特性とスイッチング時間特性がよく、合金形は阻止電圧とコレクタ抵抗が低い（等価出力電流に対して損失が少ない）という特性がある。

目下開発中のパワートランジスタで将来出現するものの特長は電流容量が増加することができる。

(伊丹製作所 加藤又彦訳)

ある。さらに興味深いことには、もしターゲットが走査されなくなると、その蓄積映像情報は消失してしまうのである。

この撮像管のターゲットは、わずか 23 マイクロ秒程度の露光で映像情報を確実に残すことができる。さらに他の観点からすると、この独特な性能を持った撮像管は光学的情報を積分しうるという点で写真フィルムと関係が深い。すなわち肉眼ではっきり見分けがつかないような暗さではかな光の目的物に向けた場合にでも、そのイメージは受像機のスクリーン上でだんだん明るく浮上がって見えてくる。

セルロイドの、いともとはとこともいえないようなこのターゲットスクリーンは光のフラッシュに対しても、その効果を抹殺することができ、フラッシュを浴びた後、約 15 分の 1 秒で回復してすぐ次の映像を撮る準備態勢を整えることができる。

これらの興味深い将来性の原因となるものは半導体材料で構成された独特のターゲットであつて W 社の材料研究計画中に発見されたものである。

この半導体はイメージの導電性パターンを蓄積し、走査されている間そのイメージを保持するという能力をもつてゐる。さらに、この半導体ターゲットの解像度は 8 段階の輝度階調において約 600 本である。——この映像品位は走査 5 分間保持しうる。

この映像の品位が落ち始める場合には解像度が落ちて行くよりは、むしろ黒い部分が白いほうに移行して行くといったようないわゆるコントラストの低下として現われて行く。

(無線機製作所 武居 明訳)



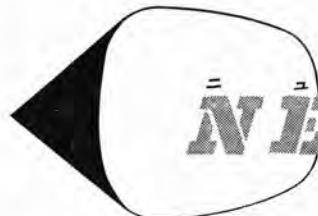
## 記憶力を持った撮像管

TV Tube with a Memory (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 1, January, 1960, back cover)

このたび、W 社では写真のように、走査期間中ターゲット面上に映像情報を残しておくことのできる「パーマコンピュータ」と呼ばれる撮像管が開発された。

標準のビデオカメラに入れてそのまま動作しうるこの撮像管は上述の点からテレビジョン用電子管といふよりはむしろ普通の写真機の親類といえそうである。

たとえば、一つのシーンをターゲット面上に蓄積させ連続 30 分間にわたって、そのシーンを走査、映出させることが可能で



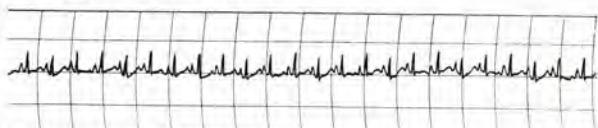
# NEWS FLASH!

## ■ 日本生理学会でスポーツ医学用テレメータ装置公開

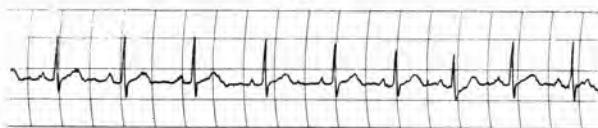
昨年 11 月名古屋大学医学部ならびに環境医学研究所と協力して心電図などの生体現象を無線遠隔測定する テレメータ 装置の試作に成功したが (本誌 34 卷 2 号本欄参照), その後送信機を全トランジスタ化したものを製作, 4 月 26 日の日本生理学会総会(徳島)に名古屋大学医学部生理学教室高木健太郎教授より出品し, 人体と兔の心電図の テレメータ を公開実験した.

全トランジスタ化した送信機の概要はつきのとおりである.

方式	FM-FM 方式
入力	1 mV P-P
低周波利得	60 db
サブキャリヤ	3 kc
メインキャリヤ	27.12 Mc
高周波出力	5 mW
トランジスタ	12 石
ダイオード	3 石
使用電池	BL-015 1 個
寸法	130×80×30 mm
重量	300 g



兔の心電図



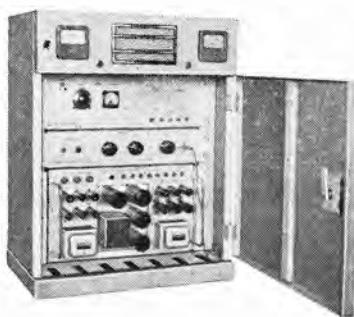
人間の心電図



送信機装着状況

以上のように相当の小形軽量化に成功したので、運動中など特殊条件下の生体現象の測定、解説は夢ではなくなり、スポーツ医学、宇宙医学への貢献が期待される。

なおこの装置は本年全国各地で開催中の宇宙博に出品されている。



受信機

## ■ JRR-2 ハンドリングキャスク完成

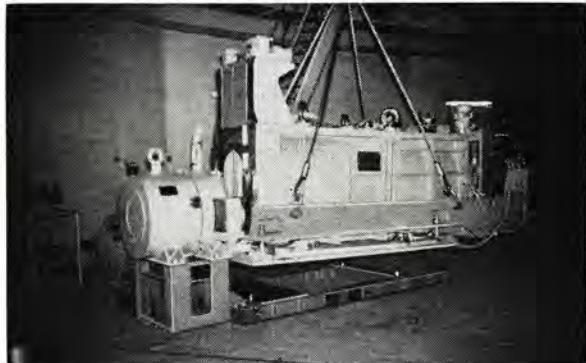
昨年 4 月日本原子力研究所から受注した JRR-2 ハンドリングキャスクがこのほど完成した。これは三菱グループの手で製作された、CP-5 形原子炉 JRR-2 の実験孔の取扱いを行なうもので、垂直形ならびに水平形とがあり、おのおの垂直実験孔および水平実験孔について試料の出入、運搬および、プラグの交換格納などを行なうものである。



原子炉上試験運転中の垂直ハンドリングキャスク

このうち、垂直ハンドリングキャスクは、補助シャハイ体を取付けて、制御棒の取かえを行なうことができ、水平ハンドリングキャスクは、補助具を取付けることにより貫通実験孔(Grazing tube)の取扱いも行なえるものである。

キャスクは、原子炉および試料より出る強烈な放射線をシャハイするために最高 270 mm の鉛のシャハイ壁を有し、垂直形お



組立中の水平ハンドリングキャスク

より水平形の主要部の重量はおのの 24 トン、および 22 トンで、その他の付属機械およびコンテナなどを合わせると、今回納入した機械の総重量は約 80 トンになる。

## ■ エレファント変圧器完成

当社では、住友電工、古河電工などのケーブル製造業者と共同研究を行ない、エレファント変圧器（ケーブル直結形変圧器）の実用化につとめてきたが、当社 1 号品が完成、据付を完了した。

この変圧器は東北パルプ株式会社のご注文になるもので、下記の定格を有する。

三相 12,000 kVA 50 c/s

66-63-60-57 kV/3,450 V ±10%

油入自冷式 内鉄形 負荷時 タップ 切換装置付

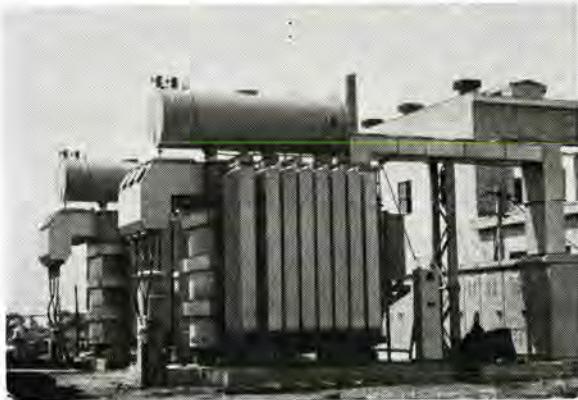
CR-URS 形 2 台

ケーブルは住友電工製 60 kV O.F. ケーブル

3C 80 mm<sup>2</sup> 500 m 2 回線

であり、間接式を採用しており、二次側もラスターでおおって導電部はまったく露出しない構造となっている。

なお、上記に引き続き 31,250 kVA 15,000 kVA 等のエレファント変圧器を製作中で、今後この種の変圧器の製作は激増する見込である。



エレファント変圧器

三相 12,000 kVA 50 c/s 66/3.45 kV ±10% CR-URS 形  
負荷時 タップ 切換式変圧器

## ■ 関西電力ビル納め オートセレクトボタン オートエレベータ完成

交通の混雑する建物の縦の交通を円滑にし、建物の経済効率を向上するには、数台のエレベーターを 1 組にして、時々刻々に変動する交通需要に即応して、総合的に機敏適切に管理運用する必要がある。とくに、多数の運転手なしエレベーターを管理運用

するには、とくに優秀な自動群管理装置が必要となる。この要求を満足する群管理方式 エレベーターは、昭和 32 年名古屋の名鉄ビルに、わが国最初のものを納入して以来各所に納入したが、このたび関電ビルに最新鋭のオートセレクトボタン オート方式エレベーターを納入し、去る 5 月から営業運転にはいっている。

このエレベーターは、従来設置したオートセレクトボタン オート方式エレベーターに比べて、つぎのような特長をもっている。

1. 従来 4 種類か 6 種類であった交通需要のパターンを、昇りピーク分割 (Intense up peak), 昇りピーク (Up peak), 降りピーク (Down peak) 混雑 (Heavy up down), 昇り混雑 (Heavy up), 降り混雑 (Heavy down), 平常 (Off peak), 閑散 (Off hour) の 8 種類に増やした。すなわち、昇りピークがとくにはなはだしいときには、建物を上層下層の二つのブロックに分割し、それぞれのブロックの輸送を High zone car と Low zone car に分担させて、いっそう輸送能力を増大させた。

2. 乗場位置知らせ (Car position indicator) は (群管理運転の Check に必要な 1 階以外は) 設置せず、到着予報方式を採用したため、乗場の乗客は、4 台の中のどのカーガがもっとも早く、到着するかをはなはだ容易に予知することができる。

3. “トラフィックセンチネル” (Traffic sentinel) を装置して、総合運行能率をいちじるしく高め、かつ安全性をもたせた。すなわち、

“トラフィックセンチネル”とは、従来は単に安全装置として採用されていた“光電戸閉装置”に、さらに積極的な意味をもたせ、カゴに出入する乗客の流れに応じて扉の開いている時間を加減できる“乗客管制戸閉装置”のことである。これを装置したことにより運転手のいないエレベーターでも、乗客にまったく危険を感じさせずに、しかも必要最小限度の戸開き時間にとどめ、エレベーターの総合運転効率を大幅に増加させた。

この装置は、乗客の出入の有無とその間隔を監視するための投光部と受光部、受光部からの信号を受けてドアコントローラに適当な指示を与える制御部、および、各部への電源部からなっている。制御部には高動作頻度に耐えるトランジスタ 電子部を使用し、電源部には投光部に良質な電源を供給するための定電圧装置を含んでいる。

なお、このエレベーターの仕様はつぎのとおりである。

駆動方式 可変電圧歯車なし ロートロール制御

操作方式 4 カー オート セレクトボタン オート



関電ビルエレベーター乗場

容 量 1,120 kg 定員 17 名  
 速 度 150 m/sec  
 停止箇所 1 号機 B<sub>1</sub>, 1~12, R 計 14 個 所  
         2 号機 B<sub>2</sub>, B, 1~12, R 計 15 個 所  
         3, 4 号機 B<sub>3</sub>, B, 1~12 計 14 個 所

### ■ 深井戸水中ポンプ用モートル 量産にはいる

井戸 ポンプ 駆動用として水中 モートル の生産が活発となつてゐる。当社の水中 モートル は数年前から試作を開始していたが今日の形式のものの試験期間を終り一昨年から量産の段階にはいっておりとくに深井戸水中 ポンプ 用としてその生産は活発に増加している。

当社水中 モートル は水封式を採用している。すなわちあらかじめ モートル 内に清水を充満、密封した上で水中につけて使用する形式のものである。

この水封式の利点は モートル の運転停止により内部の水が膨張、あるいは収縮し、その繰り返しによる外部の井戸水が モートル 内部に侵入することを防ぐ調整装置を備え軸受および絶縁巻線を完全に保護したところにあり、水の済過装置を使用する一般の還流式と異なる点である。

当社深井戸水中 ポンプ 用水中 モートル は固定子巻線に使用する電線の種類により WSB および WSP の 2 種類の形式としている。WSB はポリエチレン銅線を使用し 3.7 kW 以上の出力のものに採用しており、WSP は小出力小形 モートル (2.2 kW 以下) の形式でエボキシ樹脂を焼付けた耐水合成 エナメル 電線を使用し固定子コイル組立後、コイルエンド および スロット 内を耐水性樹脂で固め耐水保護を施している。いずれも耐水絶縁性は安定しており水中における長年の使用に十分耐えることができる。

構造は立テ形で軸受は上下の ブラケット に簡軸受、下部にスラスト軸受を設け、いずれも特殊青銅鋳物を使用し、水潤滑により安定した運転が行なわれている。

納入後の運転状況はきわめて良好で受注台数は増加の一途をたどっており量産態勢の完備とともに生産はますます活発となっている。

標準仕様



東京山王国際会館納め  
WSB 形 水中モートル(ポンプ組立)  
30 kW 200 V 50 c/s  
二極 3,000 rpm

WSP 形 750 W, 1.5 kW, 2.2 kW 各二極 200 V 50/60 c/s

WSB 形 3.7 kW, 5.5 kW, 7.5 kW, 11 kW, 15 kW, 19 kW,  
22 kW, 30 kW, 45 kW

各二極 200 V 50/60 c/s

### ■ 東北パルプ向け 抄紙機速度差測定装置完成(ドローメータ)

かねてより、銳意製作中であった東北パルプ 石巻工場向け抄紙機速度差測定装置が完成し、工場試験も成功裏に去る 5 月終了した。

抄紙機においては、各 ロール の速度が安定であり、かつとなりうる ロール の速度差(いわゆる ドロー)が適正であることが、その運転上要求される。前者に対してはセクションドライブ 方式を、後者に対してはこの装置を用いることによってその要求をみたすことができる。抄紙の場合の ドロー(紙の張り具合)は ロール の周辺速度、紙の伸びなど各種の要因によって左右されるが、この装置では各 ロール の回転速度の差として ドロー を指示記録させ、必要に応じて警報を発したり、制御信号を発生する構造になっている。

この装置では、ロールの回転数を誘導子形速度発電機によって周波数に変換し、各 ロール の回転数に応じた周波数の差を精密に測定して、これを二つの速度の差として指示する方式をとっている。速度差の測定には原理上基準周波数を必要としない。しかしながら一方の速度発電機出力の代りに基準周波数を入力として与えれば、その基準周波数との差として速度そのものでも計測することができるわけで、このために必要な高精度の基準周波数を与える発振器を内蔵している。

この装置のおもな性能を列挙すれば次のようである。

1. 測定可能な回転数範囲 500~1,000 rpm

2. 速度差測定範囲および精度(次の各 レンジ を有す)

a. 精度  $\pm 0.1$  rpm にて測定範囲  $\pm 5$  rpm

b. 精度  $\pm 1$  rpm にて測定範囲  $\pm 50$  rpm

c. 精度  $\pm 0.1$  rpm にて測定範囲  $\pm 50$  rpm

ただし、c. の場合には基準周波数を利用する。

3. 絶対速度測定範囲および精度

500~1,000 rpm の範囲を  $\pm 0.1$  rpm の精度で測定可能、ただしこの場合には基準周波数を利用する。

4. 指示および記録

150 mm 幅の電子管式記録計により指示記録する。なおほかに操作盤などにとりつけるための指示計 2 個を付加する。



東北パルプ向け  
抄紙機速度差測定装置

## ■ ヒシレックス "200"

マイカレックスのすぐれた特性を皆備えかつステアタイトの寸法精度に関する欠点を補うため、有機プラスチック材料のようにトランシスファ成形できるように材料および型を研究して、おおむねそれらの条件を満足する新絶縁材料を開発した。

1. 任意の形状に成形できるから加工を要しない。
2. 中級以上の寸法精度が得られる。
3. 端子などの鉛込みもできる。
4. 表面はきわめて平滑で表面抵抗は機械加工した従来のマイカレックスに比しはるかに大きい。
5. 能率よく連続生産ができる。



## ■ 八幡製鉄新洞岡発電所向け

### 43,750 kVA タービン発電機受注

八幡製鉄株式会社では鉄鋼増産計画に伴い自家発電所の増設を計画中で、さしあたり新洞岡に 150 MW 程度の新発電所を建設することとなり、その第 1 号機として昨年末 35,000 kW (43,750 kVA) 1 台の引合いがあり、なお No. 2, 3 号機として 50,000 kW (62,500 kVA) が予定されている。

従来自家発用タービン発電機としては、八幡製鉄戸畠向け 25,000 kW (31,250 kVA) 60 c/s, 富士製鉄室蘭向け 25,000 kW (31,250 kVA) 50 c/s が記録機でありいずれも当社品である。本機はこれを上回るもので今後の記録品となる。

従来この程度の発電機はすべて空気冷却方式であって、水素冷却方式は 60,000 kVA 級以上に採用されていたが、本機は水素冷却方式を採用してこのクラスのタービン発電機に新機軸を開いたものである。

幸い当社は三菱造船とのカッブルで受注に成功し、引き続き記録保持者となった。

機器仕様は次のとおりで自家発ながら新鋭火力並みのユニットシステムをとり、変圧器もエレファンタント形である。

- |  |     |
|--|-----|
| a. 43,750 kVA 35,000 kW 発電機 11 kV 60 c/s 3,600 rpm |     |
| 水素冷却式  | 1 台 |
| b. 43,750 kVA 三相変圧器 11/66 kV 強制風冷式 エレファンタント形       | 1 台 |
| c. 4,500 kVA 起動用三相変圧器 66/3.3 kV                    | 1 台 |
| d. 3,000 kVA 三相所内用変圧器 11/3.3 kV                    | 1 台 |

## e. 中央制御盤その他の配電盤 (B.T.G. 盤および

- |                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| キューピクル                           | 1 式 |
| f. 屋内用 3 kV メタルクラッド形および配電器具      | 1 式 |
| g. 11 kV アイフレートラス および 11 kV 配電器具 | 1 式 |
| h. 66 kV シャ断器および配電器具             | 1 式 |
| i. エレベータ 500 kg 60 m/min         | 1 台 |
| j. 運転指令装置                        | 1 式 |
| k. 空気調和装置 (エアコン)                 | 1 式 |
| l. タービン および ポイラ 補機電動機および         |     |
| コントロールセントラル                      | 1 式 |

## ■ 関西電力姫路発電所向け 4 号機

### 192 MVA タービン発電機受注

このほど、頭記発電機を受注したが、この発電機は内部冷却発電機で、当社よりすでに納入した関西電力大阪発電所 3 号機 九州電力新港発電所向けと同一のものである。その最大容量は 192 MVA 3 kg/cm<sup>2</sup> 18,000 V 3,600 rpm

励磁機は 1,050 kW 375 V 897 rpm で減速ギヤを介して発電機に直結される。

内部冷却発電機はすでに 2 台製作完了しており、過去の経験を生かし、さらに工作法に検討を加え、着々量産態勢を整えつつある。

昭和 37 年中ごろに営業運転の運びとなるであろう。

タービンは 156,250 kW でタンデムコンパウンドダブルフローであり、本機の受注により姫路発電所は既設 1 号 (66 MW 当社製) 2 号 (75 MW 当社製) 3 号 (125 MW 東芝製) と併せ 422 MW の大発電所となることになる。

## ■ 電源開発若松発電所向け

### 75 MW タービン発電機受注

電源開発株式会社の最初の火力発電所として、かねて商談中の若松発電所向け 75 MW タービン発電機 2 台は当社が受注に成功、製作に着手した。おもな仕様は中国電力新宇部発電所向け 75 MW と同一であり、冷却水としてタービン復水全部を使用する点が特長である。

なお、ボイラは三菱造船、タービンは新三菱重工が受注し、すべて三菱グループによって製作される。発電機の定格はつぎのとおりである。

数量	2 台
形式	横置円筒回転界磁、水素冷却
容量	81,522 kW 0.85 PF 95,909 kVA
	水素圧力 2 kg/cm <sup>2</sup>
電圧	13,000 V
回転数	3,600 rpm
周波数	60 c/s



## 冷蔵庫

発明者 石川嘉孝・木下忠男

この発明はオール・プラスチックの冷蔵庫箱に関するものである。

すなわち、冷蔵庫箱(1)は前面を開口する内箱(2)と、この内箱との間に空隙を設けて重合する外箱(3)とを合成樹脂の塑成により一体に構成し、かつ上記外箱の後面に細穴(4)をあけ、これより泡末充填材(5)たとえばスチロフォーム、サンセルのようなものを上記空隙いっぱいに封入した後、これをフタ(6)により封じたものである。

したがって、内外箱、ならびに額面壁には、いっさい縫目がないので、泡末充填材は吸湿することもなく断熱効果がきわめて優秀であるばかりでなく、その製作工程がいちじるしく短縮され、安価に生産することができるし、重量も従来の冷蔵庫に比して大幅に軽減しうるので、取扱い運搬が容易である。

(特許第248058号) (鈴木記)

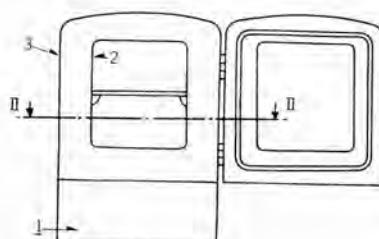


図1

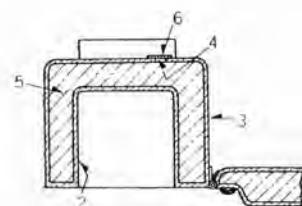


図2

## スタンド扇風機の支柱

考案者 桜植恵

この考案は、スタンド扇風機における支柱の改良に関するもので、外管(1)の上端部に定着され、上端に扇風機を定着した内管(2)を貫する環状座(6)の内周面(5)に、一対の突起(6)(7)を設け、この突起に両端を係合し、かつ上記環状座の内周面(5)に向かい偏向するバネ板(8)に、上記内管(2)の外周面(9)に対向する合成樹脂製の摩擦帶(11)を定着し、さらに上記環状座に、バネ板(8)を介して、摩擦帶(11)を内管(2)の外周面(9)に圧接する押しネジ(15)を設けたものである。

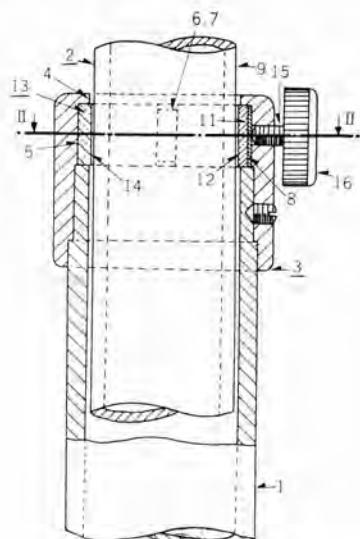


図1

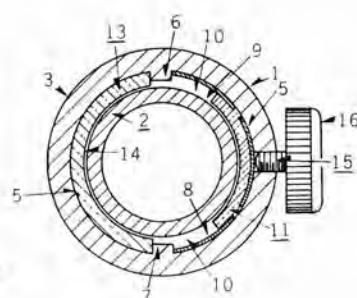


図2

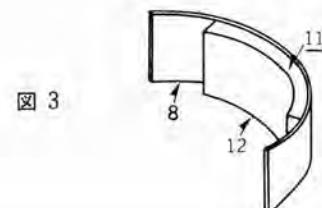


図3

したがって、その構造ならびに操作は、きわめて簡単であるばかりでなく、とくに、内管(2)のゆるめ作動時には、バネ板(8)の偏向作用により、摩擦帶(11)はすみやかに内管(2)から離脱し、同一個所に長時間締着した場合においても、従来のように、摩擦帶(11)が内管(2)の外周面(9)に吸着して、内管の上下移動を阻止するようなことのない効果がある。

(実用新案登録第495025号) (土居記)

==== 最近登録された当社の特許および実用新案 ====

区別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発明考案者	所属場所
特許	水銀整流器の等価試験装置	35- 3- 3	260077	阿部久康	研究所
"	巻上電動機制御装置	"	260080	竹内真一・新谷保守	神戸
"	電子イオン加速用ベルト起電機	"	260081	今村元・藤永敦	研究所
"	電気弁装置	35- 3- 4	260103	加藤又彦	伊丹
"	速応性磁気増幅器	35- 3-18	260480	細野勇	伊丹
"	空中飛体における相手機への方位と距離を表示する装置	"	260483	添田実・石井茂	無線機
"	コード止め	"	260492	武井久夫・服部信道	菱機
新案	ケイ光灯器具	35- 3-12	508078	山崎肇	大船
"	"	"	508079	山崎肇	大船
"	"	"	508080	山下源一郎・山崎肇	大船
"	静止励磁形交流発電機の界磁装置	"	508081	町野康雄	名古屋
"	始動電動機制御装置	"	508082	辰巳巧	姫路
"	計器用端子箱	35- 3-16	508217	加藤義明	福山
"	ケイ光灯用豆ランプ装置	"	508218	山下源一郎・小笠原善丸	大船
"	クラッチ装置	"	508219	齊藤寛	神戸
"	軸受装置	"	508220	柘植恵	中津川
"	過負荷继電器	"	508221	平野琢磨・上原利夫	福岡
"	回路シヤ断器の引はずし装置	"	508222	高見滋・横井繁	名古屋
"	扇風機	"	508223	今井進・柘植恵	中津川
"	電動ホイスト	"	508224	安松清彦	福岡
"	半導体整流装置	35- 3-17	508355	加藤又彦	伊丹
"	乾式整流器の保護装置	"	508356	細野勇	伊丹
"	"	"	508357	細野勇	伊丹
"	水銀整流器	"	508358	加藤又彦	伊丹
"	二重鍋における温度調節装置	35- 3-19	508564	祖父江常雄・加藤悟	菱機
"	落下衝撃試験機	35- 3-22	508834	高部俊夫・中田省三	研究所
"	ケイ光灯器具	"	508839	馬場文夫	無線機
"	湿式磁石選鉱機	"	508840	河合登・高島秀二 柳下儀兵衛	大船
"	半導体整流器単位体	"	508841	加藤又彦	伊丹
"	油入電器保護装置	"	508842	嶋裕史	伊丹
"	負荷断路器	"	508843	岩崎行夫・太田忍	伊丹
"	タイムスイッチ装置	"	508844	神本明輝	福山
"	積算電力計の過負荷補償装置	35- 3-23	508982	山県穆	福山
"	電気扇羽根車	"	508983	丸木智・長瀬卯三郎	中津川
"	電磁引はずし装置	"	508984	武藤正・松尾昭三	福山
"	回路シヤ断器	"	508985	小野達男・兼本成則	福山
"	母線保護装置	"	508986	森健	神戸
"	複数電動機の運転制御装置	35- 3-24	509132	山県満・平野琢磨	福岡
"	電動機制御装置	"	509133	長沢知久・和田実	伊丹
"	電気弁の逆弧発生防止装置	35- 3-29	510073	阿部久康	研究所
"	電動ミシン速度加減装置	35- 4-27	512054	高見滋・木村雅夫	名古屋
"	高圧水銀灯用灯具	"	512055	高島秀二・田中民雄 山下源一郎	大船
"	ケイ光街路灯	"	512056	山下源一郎・三上清春	大船
"	金属体検知装置の平衡調整装置	"	512057	馬場文夫	無線機
"	単相誘導電動機の固定子	"	512058	柘植恵	中津川
"	電気車用電気連結器	"	512059	小原太郎	伊丹
"	車両用天井換気扇装置	"	512060	柘植正治・丸木智	中津川
"	電磁引はずし装置	"	512061	佐藤幸夫・高野直治 藤方賢二・武藤正 松尾昭二	福山
"	半導体整流装置	"	512062	加藤又彦	伊丹
"	機関始動用電動機の制御装置	"	512063	星川光清	姫路
"	Vベルト用溝車	"	512064	池田日登志	静岡

**本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地**

本 社	東京都千代田区丸の内2丁目3番地(東京ビル内) (電)和田倉(201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電)東京(211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電)東京(211) 代表 1261・1271・1281
東京営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地 (三菱商事ビル3階)(電)東京(211) 代表 2511
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電)大阪(34)代表 5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り(電)本局(23)代表 6231
福岡営業所	福岡市天神町58番地(天神ビル内) (電)福岡(5) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通西1丁目13番地 (電)札幌(3) 代表 9151
仙台営業所	仙台市太町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電)仙台(2) 代表 6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電)富山(2)0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電)中(2)2211
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル) (電)高松(2) 代表 4416 ビル直通 5021
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電)小倉(5)8234
静岡駐在員	静岡市呉服町2丁目1番地(電)静岡(2)2595(3)2962
金沢駐在員	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3)6213
岡山駐在員	岡山市内山下30番地(佐々木ビル)(電)岡山(3)2948
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大坂(48)8021
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目(電)兵庫(6)代表 5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大坂(48)8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地(電)長崎(3) 代表 3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73)1531
静岡製作所	静岡市小鹿1丁目1番地(電)静岡(3)0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場(電)中津川 10・54・226
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3) 代表 1275
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)福岡(4) 代表 1568
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)姫路 代表 6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船(電)大船(067) 代表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414) 代表 8111
郡山製作所	福島県郡山市境橋町1番地(電)郡山 1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大庭字主ヶ池1番地(電)伊丹 代表 4736
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414) 代表 8111
東京工場	札幌市北二条東12丁目(電)札幌(2) 3976
札幌修理工場	

## 次号予定

三菱電機 Vol. 34 No. 8

- アーチ炉用 フォームフィット形変圧器
- インド向け輸出交流電気機関車用相変換機(1)
- CH-B形 クリネ(工場用)
- さい断までの時間を制御した変圧器の衝撃電圧試験法
- ユニット式照光形模擬母線
- 消弧現象研究のための測定装置および制御装置
- 電力系統開閉 サージに対する系統損失の影響
- テレメータリングサブキャリア発振器のトランジスタ化
- 車両用電磁弁の諸問題
- 超音波減衰測定装置
- 各種単向管
- 直列インバータ総論(1)
- 技術解説: 火力発電シリーズ  
　　大力発電所補機用電動機  
　　原子炉の計測制御(2)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村誠一郎	常任委員	平元博一
常任委員	浅井徳次郎	委員	榮正隆三彦郎
"	荒井潔	"	宗山新関竹津豊米井
"	安藤安二	"	田井野内村準俊八
"	市川宗明	"	田野上
"	小川清一	"	(以上 50 音順)
"	小堀富次	"	
"	高井得一郎	"	
"	中野光雄	幹事	
"	馬場文正	夫	
"	船橋信	信	

昭和35年7月13日印刷 昭和35年7月15日発行  
「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)

### 編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地 吉村誠一郎

印 刷 所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印 刷 者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発 行 所 三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部

電話 和田倉(201) 1611

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 (291) 0915・0916 振替東京 20018



## ジェット機用 ラドームの完成！

ジェット機用ラドームの電波透過率の測定

ジェット機の機首に装備した 9,000 Mc 射撃レーダ用アンテナを保護する ラドームを世田谷製作所で製作した。電気性能の良好なことはもちろん、風圧のもっとも大きな機首を形成しているために機械的諸性質および耐候性にすぐれていることが必要である。

構造は サンドイッチ構造で、内面表皮は厚さ約 1 mm、外面表皮は厚さ約 0.76 mm のガラス繊維強化ポリエチレン樹脂でできていて、コアは厚さ約 8 mm のハネカムコアで、外面の耐雨食対静電塗膜の厚さはほぼ 0.25 mm あって、ラドーム全体の厚さは大略 10.2 mm になっている。

これらの材料はもちろん、フランジのアルミニウムおよびフランジ取付などもすべて MIL 規格に定められた試験に合格することを確かめた。その後、さらに MIL 規格に定められた サンドイッチ構造平面板を作り、規定の試験に合格することを確認し、最後に ラドームを作った。

サンドイッチ構造平面板の試験結果を表に示してあるが、その環境試験は

- (1) +71°C → -55°C 25 サイクル 繰り返し および
- (2) 2,400 m → 15,000 m の高度変化に相当する温度気圧の変化、1°C  
560 mmHg → -55°C 86 mmHg 50 サイクル 繰り返し

ということが MIL 規格に定められている。

完成品の電気性能は電力透過率が 92% であるが、これは規格値 90% を満足している。なお、耐雨食対静電塗装を施さなければ、電力透過率は サンドイッチ構造平面板のそれに近い。

完成品の機械的性能は  $0.52 \text{ kg cm}^2$  の圧力に対しては残留変形を生じないで  $0.78 \text{ kg cm}^2$  の圧力のもとに 1 分間保持して破壊しないことが要求されているが、試験結果はこれらの性能を満たしている。さらに、破壊試験を行なった結果、破壊荷重は  $6.5 \text{ kg cm}^2$  で、これは制限荷重  $0.52 \text{ kg cm}^2$  に対し 12.5 倍、終極荷重  $0.78 \text{ kg cm}^2$  に対し 8.3 倍の余裕安全率になっている。

以上のように高性能のジェット機用機首ラドームを製作し得たが、これは無線機製作所、世田谷製作所および研究所の共同研究の成果である。

なお、世田谷製作所ではこれまでに防衛庁へ納入の 5,300 Mc 探索レーダ用のラドームおよび日本電信電話公社へ納入の 4,000 Mc 円偏波パラボラアンテナのラドームを製作している。前者は国産最初の サンドイッチ構造ラドームであり、後者は世界最初の金網入り誘電体ラドームである。そして今回のラドームは国産最初のジェット機用ラドームである。さらに現在では レーダ基地用の地上大型ラドームが要求に応じていつでも製作できるようになっている。



ジェット機用機首ラドーム

サンディッチ構造平面板の試験成績

試験項目	測定値	MIL 規格
引張強さ ( $\text{kg cm}^2$ )	38	28 以上
圧縮強さ ( $\text{kg cm}^2$ )	119	84 以上
曲げ強さ ( $\text{kg cm}^2$ ) ヨコ	86	73 以上
〃 ( $\text{kg cm}^2$ ) タテ	132	109 以上
電力透過率 (%)	97	95 以上
環境試験後電力透過率 (%)	97	90 以上

ラドーム完成品の試験成績

規 格	成 績
電波透過率 90% 以上 (ただし電力透過率)	92%
圧力 $0.52 \text{ kg cm}^2$ にて残留変形なし	合 格
圧力 $0.78 \text{ kg cm}^2$ 1 分間印加して破壊せず	合 格



4,000Mc円偏波パラボラアンテナの  
金網入り誘電体ラドーム