

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 22,500kW
の大出力で、プロップ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

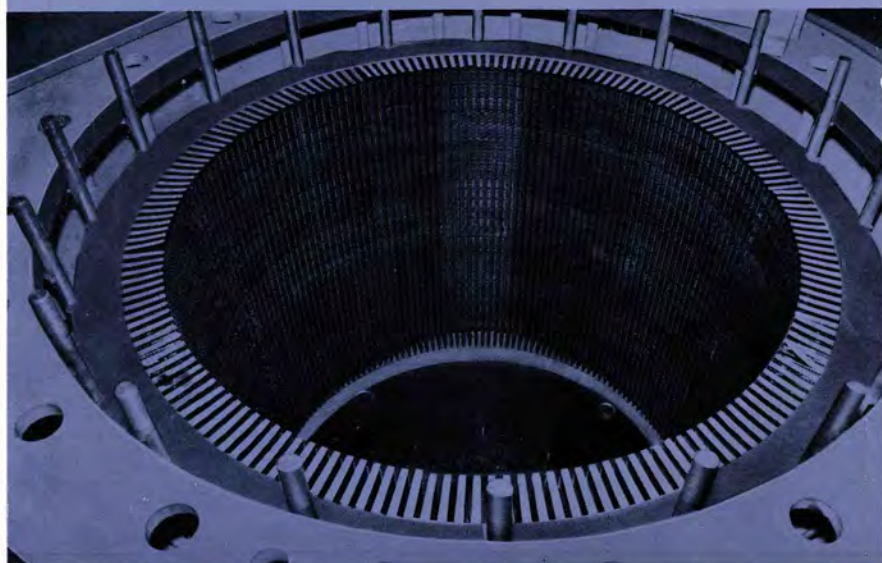
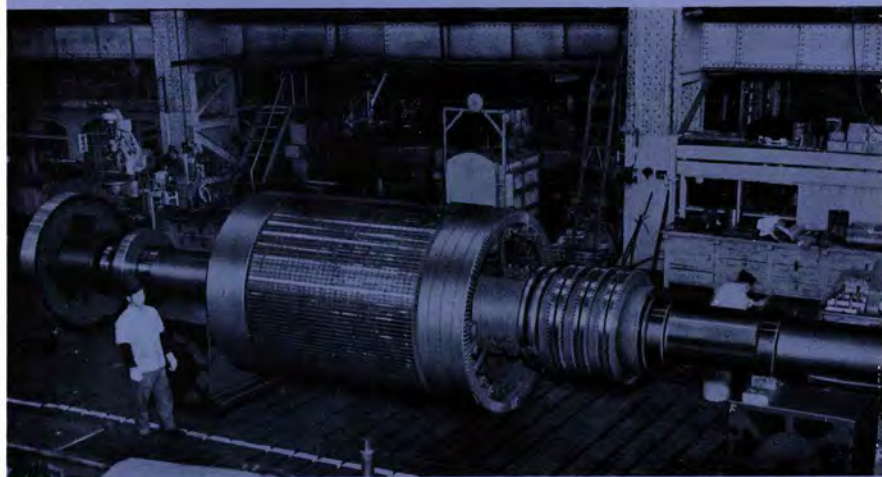
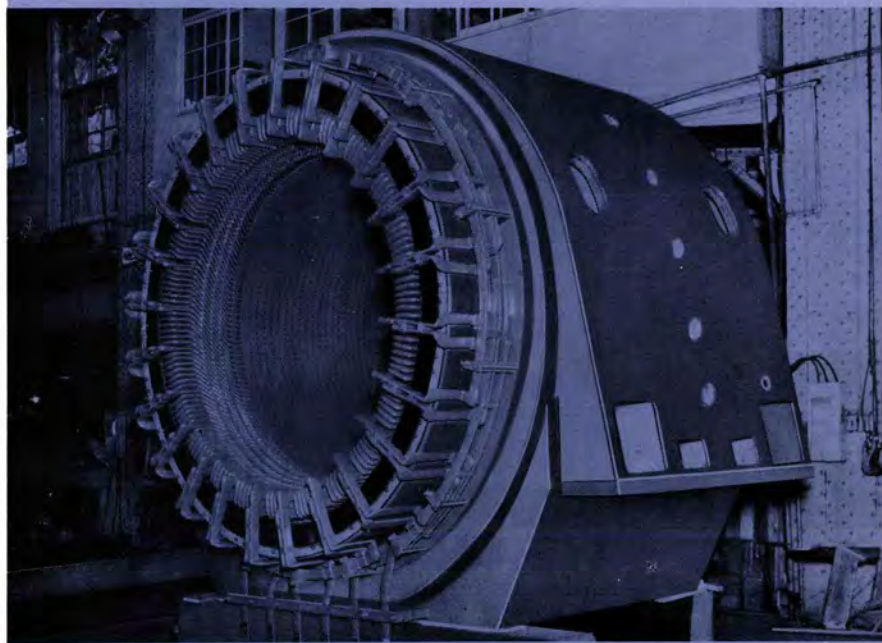
形 式	閉鎖他力通風形巻線形
容 量	18,000 kW
回 転 数	毎分 710 回転
電 圧	11,000 V
周 波 数	50 c/s

特 長

1. 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。
2. 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。
3. 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“ダイヤモンド 絶
縁”を使用し、コイルは固定子、回転子と
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

1. 完成図
2. 固定子
3. 回転子
4. 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を使用される。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 ラレーキ 装置	管田恵之助・竜田直紀	27
24 kV 单相キ電線用屋外空気 シャ 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 ユニテヤ	河合照男	98
ワレンモータ 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) 消火装置		105
《文 献 抄 訳》		
モエクトロニクス・代表的電力用 シリコントランジスタ・記憶力を持った撮像管		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 ハンドリングキヤスク 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 モートル 量産にはいる・東北パルプ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”・八幡製鉄新洞岡発電所向け 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****

82 V 120 kA 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 82 V 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, 13.2 kV の交流電力を直流 82 V 30 kA ユニットの 変換単位, 4 組を組合わせて 120 kA 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 トレイ,

さらには トレイ をもって構成された キュービクル 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関して検討したものである。

一般説明に先だって今回の 82 V 120 kA 風冷式シリコン整流器の採用決定までの一部をご紹介しますことにしよう。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 65 V 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 120 kA 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单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つた。徳山曹達ではこれよりさき 65 V 48 kA 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 65 V から 82 V 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ったと思う。要は総合技術的観点で母線の配置, 機器の据付を研究し, 総合的技術をかっていた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 82 V 120 kA 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

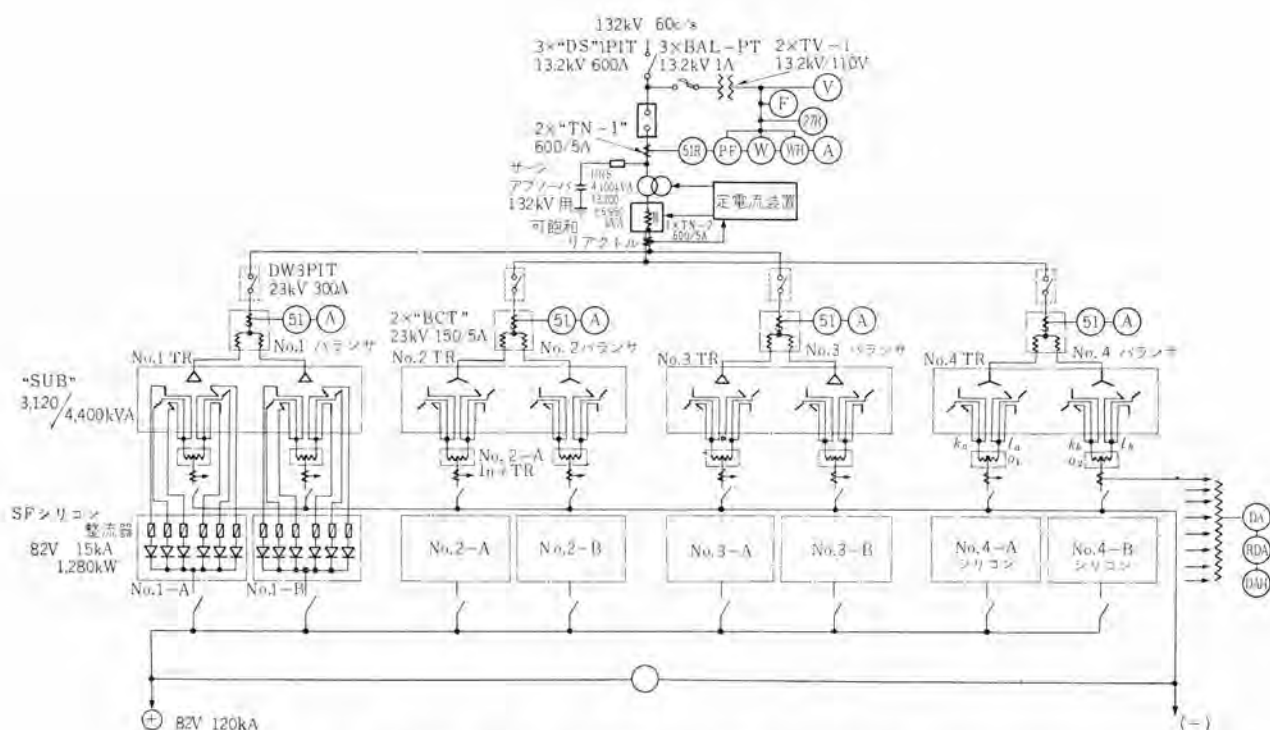


図 2.1 82V 120kA シリコン 整流器主回路単線結線図

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 30 kA 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。

13.2 kV の交流電源は URS 形負荷時電圧調整器を通り直流電圧 38 V より 82 V 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。つぎの直流励磁可飽和 リアクトルは URS ヲう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み合わせ 12 相となっている。二次回路は直接最短距離で 8 キュビクルの 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。直流出力は 15 kA ごとに DC CT と開閉母線とをへて 120 kA 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 120 kA 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流側出力電流 120 kA 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か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。直流電流は 30 kA 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 および外来 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 キュビクル を直流 15 kA 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、すなわち直流 30 kA 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。これは当然直流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、大電流直流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。前述のように直流電流は 30 kA であるが、この方式を採用することにより直流巻線相電流 (実効値) I_2 は

$$I_2 = \frac{30000}{4\sqrt{3}} = 4330 \text{ A} \dots\dots\dots(2.1)$$

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。

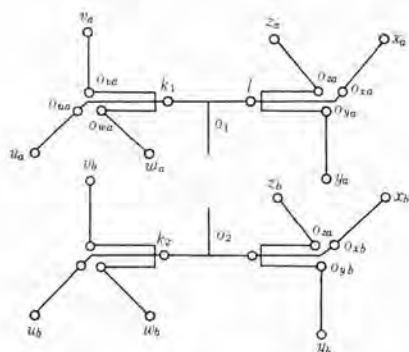


図 2.2 直流巻線の結線方式

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、相間リア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 30 kA 用として 1 台で製作し、シリコン整流器キュービクルの配線は 15 kA 単位としたことは、シリコン整流器キュービクル内の配線、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ビクル間の電流平衡、いいかえれば二重星形結線 2 群間に、均等に直流電流を 15 kA 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, u_c) , (x_a, x_b, x_c) , (v_a, v_b, v_c) , (y_a, y_b, y_c) , (w_a, w_b, w_c) , (z_a, z_b, z_c) 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を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、いわゆる組合わせ 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、コンバータ、および放圧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

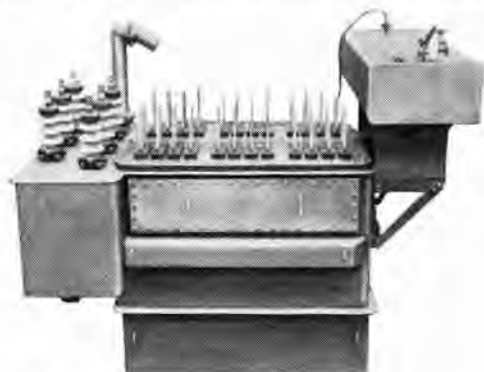


図 2.3 3/2×2×3 相 60c/s 3,120 kVA 整流器用変圧器
Fig. 2.3 Transformer for 3/2×2×3 phase 60 cycle 3,120 kVA rectifier.

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。従来の相間リア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って各群のシリコン整流器キュービクル内にはいるが、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 台の相間リアクトルの端子 (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アクトル各端子間の接続銅板には直流電流（相間リア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か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アクトルを接続するのに便利のように 6 本の油入密封形プラグを有している。

つぎに相間リアクトルであるが、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

種類	定格	相数	周波数 (%)	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	人	1
整流器用変圧器		3/2×3	60	17900/85	3,120 kVA	△/人 Y	2
同	上	3/2×3	60	17900/85	3,120 kVA	人/人 Y	2
相間リアクトル		2	180	22/22	7,500 A×2		8

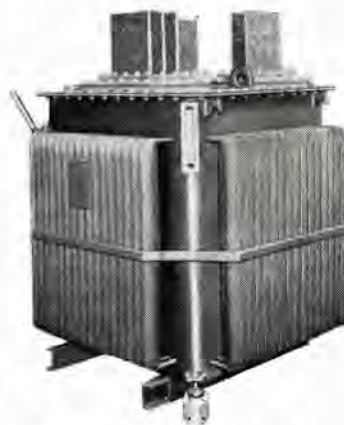


図 2.4 相間リアクトル 外形
Fig. 2.4 Interphase reactor.

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、リアクタンス降下のための直流電流の不均衡が、直流電圧が高い場合よりもはるかに起りやすくなる。もしこういっ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200V 2.2kW 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 200V 0.25kW 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わ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。

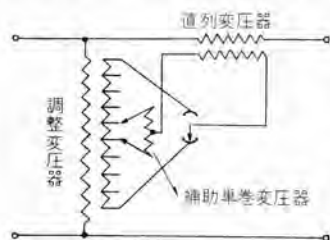


図 2.5 3φ 60c/s 4,100 kVA URS 結線図 (1相のみ表わす)
Fig. 2.5 Wiring diagram of 3 phase cycle 4,100 kVA URS.

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単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 13,200V)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82V、38V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

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

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17,900V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)との積として求まる。

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

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

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

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と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歯車、ウォーム、およびウォームギヤの組合わ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氣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いる期間に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

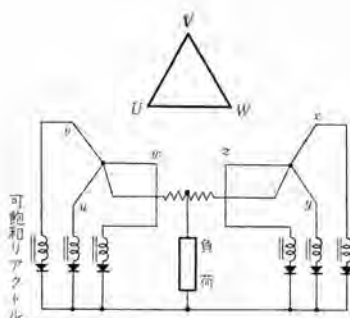


図 2.6 直流巻線側に可飽和リアクトルを挿入した場合
Fig. 2.6 When a saturable reactor is inserted on a DC winding.

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

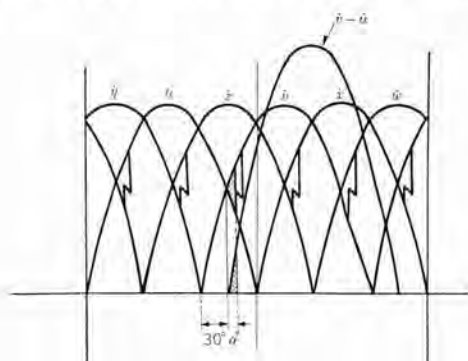


図 2.7 可飽和リアクトル挿入による直流電圧波形の変化
Fig. 2.7 Change of DC voltage waveform when a saturable reactor is inserted.

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は図 2.7 に示す $(v-u)$ なる電圧が全部印加されることになる。そうして可飽和リアクトルの鉄心中の磁束が、使用する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と同じとなる。これを数式で示すと次のようになる。

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

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 $2\pi/3$ 間に平均したものの (V_R) を求めると

$$V_R = \frac{1}{2\pi} \int_{30}^{30+2\pi/3} \sqrt{6} E_2 \sin(\theta - 30) d\theta$$

$$= 1.17 E_2 - 1.17 E_2 \cos \alpha \quad \dots (2.6)$$

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はかならないから、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と同じとなる。

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_R が URS 形負荷時電圧調整器の 1 ヶ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ンク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 キュービクルのシリコン整流器より構成されている。8 キュービクル中 2 キュービ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 キュービクル 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、キュービ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 キュービクルである。トレイは 1 キュービクルに 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す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 キュービクル 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かなりのスペースを占有し、外形寸法は $2,280 \times 1,300 \times 2,100$ (高さ) mm である。図 2.10 は上記 15kA キュービクルの トレイ

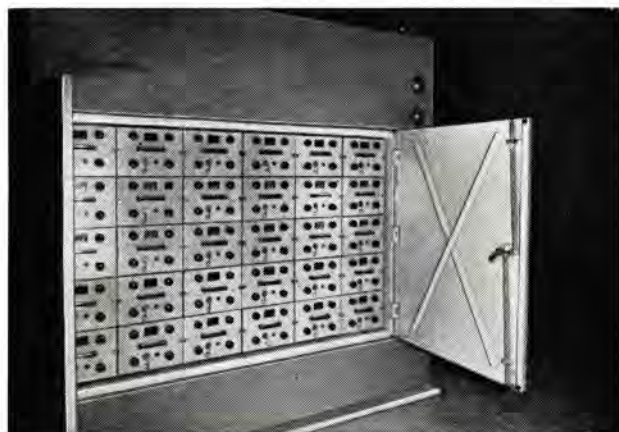


図 2.9 15kA 風冷式 シリコン 整流器 キュービクル 前面
Fig. 2.9 Front of 15kA air cooled silicon rectifier cubicle.

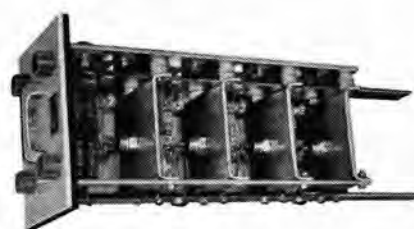
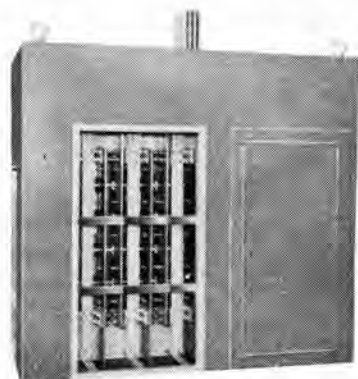


図 2.10 徳山曹達 82V 120kA シリコン 整流器用の トレイ の内部状況を示す
Fig. 2.10 Interior of the tray of silicon rectifier.

図 2.11 キュービクル 背面 バス 結線の図
Fig. 2.11 Bus connection of the back of cubicle.



の内観を示したものである。

図 2.11 は同 キュービクル 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 キュービクル には磁性体の存在が許されない。したがって キュービクル 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。しかしなお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 0.75kW のもの 3 台ずつ、1 キュービクル 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。

以上のほか、15 kA のキュービクルには C と R とを組合わせた サージ 吸収装置および バリスタ (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。

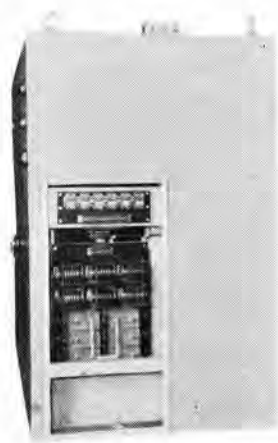


図 2.12 サージ 吸収器
取付状況
Fig. 2.12 Mounting of
absorber.

3. 機器の配置および 一般的事項

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たことになる。82 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

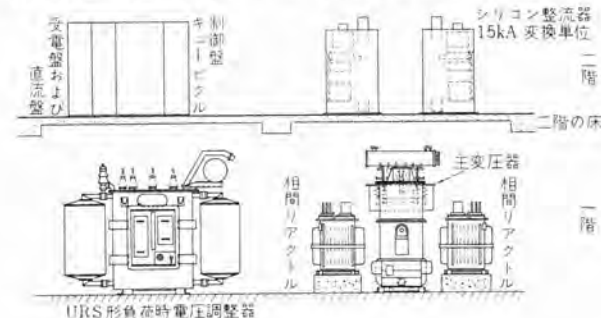


図 3.1 主要機器の配置
Fig. 3.1 Arrangement of main apparatus.

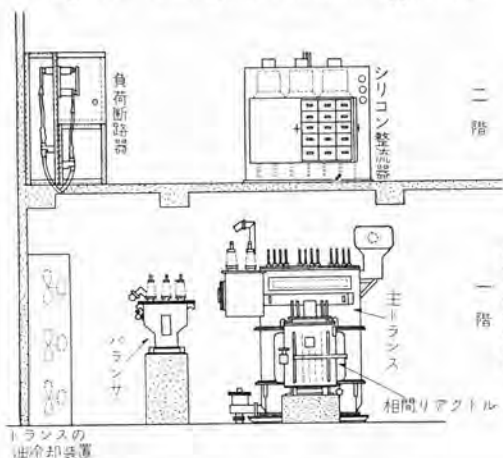


図 3.2 主要機器配置の側面図
Fig. 3.2 Side view of main apparatus arrangement.

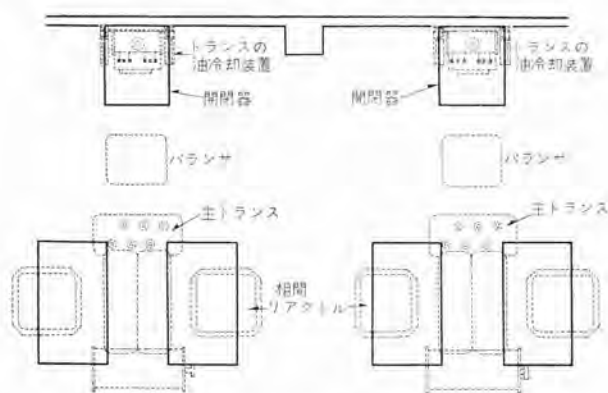


図 3.3 2 階よりみた シリコン 整流器と階下の主変圧器
相間 リアクトル、バリスタ および トランス の油冷
却装置の立体配置図

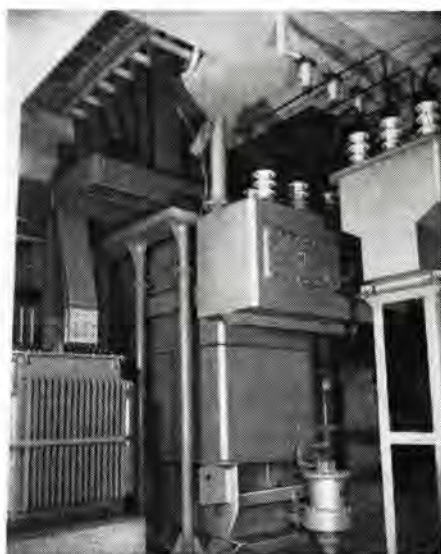
Fig. 3.3 Arrangement of associated apparatus of
silicon rectifiers viewed from the second floor
when the rectifier are set up.

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

図 3.1 は盤関係、負荷時電圧調整器、30 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 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変圧器、相間 リアクトル、バリスタ、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電流の平衡度の良否は 120 kA シリコン 整流器の総合性能を左右するカギ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核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 ブス 配線を示す
Fig. 3.4 Bus arrangement between the main
transformer and an interphase reactor.



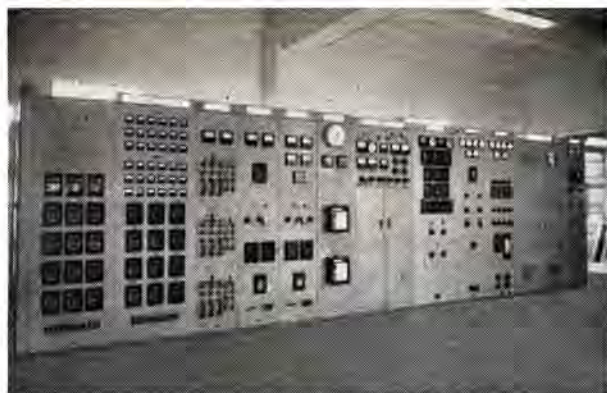


図 3.5 受電盤、制御盤、所内盤（右側から5面だけが120kAのものであれば、ゲルマニウム用の諸盤である）

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120kA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120kA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いる。このため15kA単位のDCCT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120kAの母線上3m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。

冷却風の循環とジアン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1,920m³/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アン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

120kA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120kA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

82V 120kA 風冷式シリコン整流器・加藤・坂田・小林・奥村

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500A/セル；逆耐電圧値は動作時と等しい電圧値を印加し、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均衡を10%以内におさめた。

(2) 開閉サージ電圧の測定

図2.1の30kA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タツウ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
	16.5kV	約10%
CR " " " なし	20.0kV	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30kA変換単位を用いて実施した。そのうちシリコン1キュービクルを15kA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30kA/1変換単位の通電電流不均衡度を実測し、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。

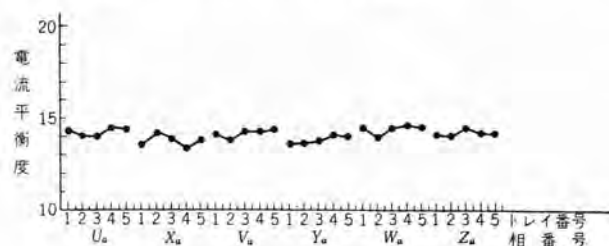


図 4.1 電流平衡状況図（15kA/1キュービクル通電時）

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、つぎのとおりである。

総合効率…… $\eta=95.5\%$

電圧変動率…… $\varepsilon=12.2\%$

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、つぎのとおりである。

風入口温度……23.8°C
風出口温度……27.4°C } その差 3.6°C

整流素子ベース温度（最高部）……48.5°C

冷却風速……5.5m/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。

試験実施項目

- (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(%)	アブゾーブ
送電端	15	50	約 10	あり
OCB 電源側端子	30	250	" 5	あり
同負荷側端子	10	200	" 5	あり
同 上	5	400 以上	" 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ヘイ板、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。

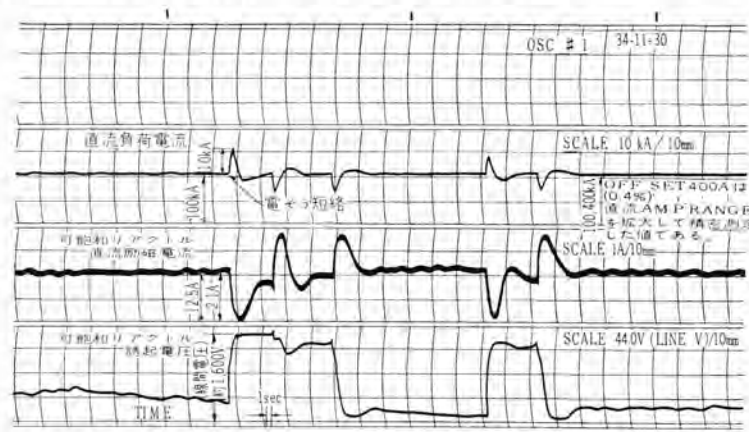


図 4.2 徳山曹達納入 82V 120kA シリコン 整流器 自動応動試験 (電そう短絡)
Fig. 4.2 Oscillogram of automatic response test.

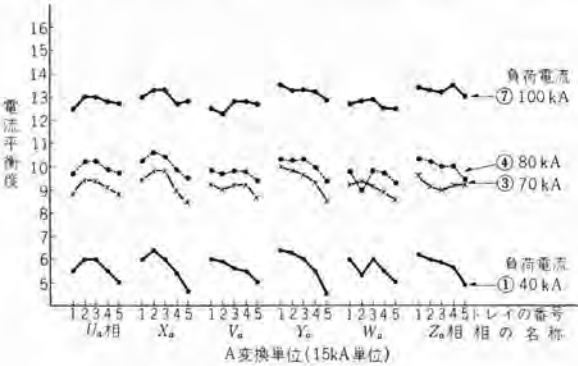


図 4.3 徳山曹達 120kA/8 シリコン 整流器 トレイ 間電流平衡状況
Fig. 4.3 Current balancing state between trays of silicon rectifier.

(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増幅器で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、

$$A = A_p \cdot A_m = 18,000 \dots \dots \dots (4.1)$$

$A = 18,000$ に設定した。この状態で 100 kA 通電中負荷変化により 10kA 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 120 kA 通電時の 30 kA (A、B 15 kA 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 ~ 100 kA で運転されているが満足すべき状況にある。

5. 考 察

今回製作、納入した 82V 120kA 9,840 kW 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課題となったのである。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

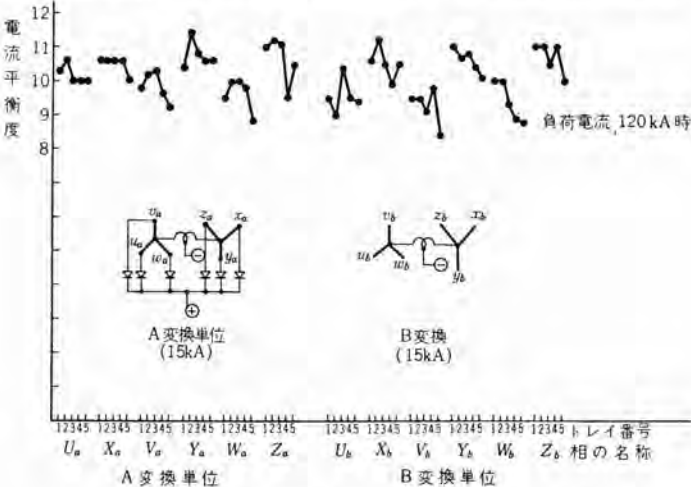


図 4.4 30 kA 変換単位各トレイ間電流 平衡状況を示す
Fig. 4.4 Current balancing state between each of trays of 30 kA converting unit.

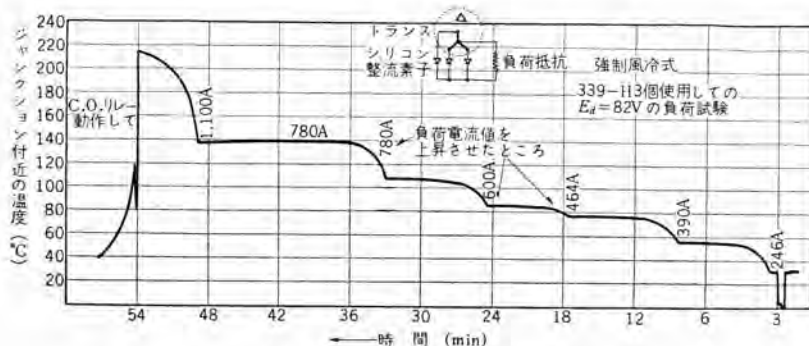


図 5.1 339-H 三相半波整流回路における加速負荷試験

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

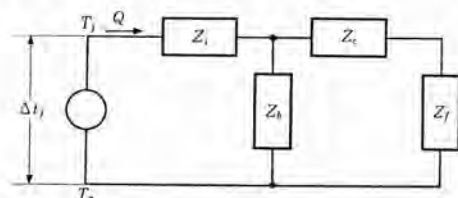


図 5.2 整流素子の熱放散回路

Fig. 5.2 Heat radiation circuit of rectifier element.

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の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_i は式 (5.1) で与えられる。

$$Z_i = \Delta t_j / Q = Z_i + Z_c(Z_c + Z_f) / (Z_c + Z_c + Z_f) \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (5.1)$$

ここに Δt_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_c : 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°C としたときの Q_{\max} は、

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

により規制されるので $T_{c\max}$ (素子ケース温度) を 125°C とすれば 1 素子当たり 225A 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っ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当てはまり

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

82V 120kA 風冷式 シリコン 整流器・加藤・坂田・小林・奥村

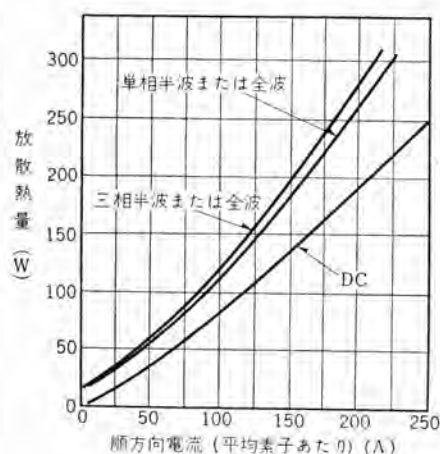


図 5.3 整流素子の最大放散熱量

Fig. 5.3 Maximum radiated heat quantity.

ただし A : 冷却面積 (m^2)

h : 冷却片の空気への熱伝達係数

η : 冷却片効率

上式より A を計出すると $A=0.115\text{m}^2$ となるが接続導体その他を考慮合わせて A の値は 0.09m^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

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

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

ξ : 不平衡による電流増加分 $\dots\dots\dots 40\%$

n : 並列整流素子個数 $\dots\dots\dots 20$

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。この程度の不平衡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電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 整流器から電解そうへと 120kA 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 40kA 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。

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

ただし a, b は導体断面の寸法; d は b 面よりの距離

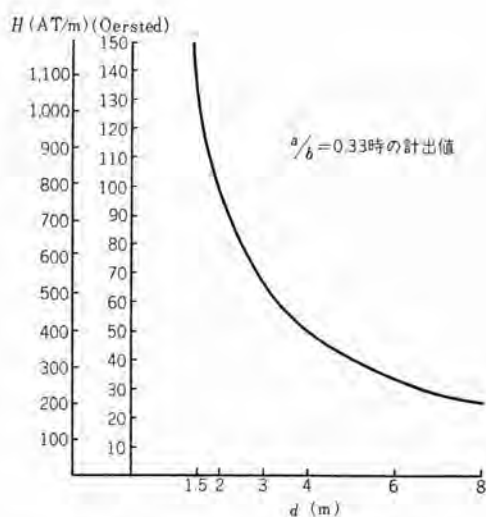


図 5.4 大電流による磁界 (100kA ベース)
Fig. 5.4 Magnetic field by large current.

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連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。

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

またより長い時間の領域では逆流位相の終りにシャ断完了するとみてよいのでつねに選択シャ断は成立する。式 (5.6) 中 I_{fm} , I_{fc} , I_c はそれぞれヒューズ溶断、ヒューズシャ断完了整流素子を示し、 n および δ は並列数と並列による不平衡率を示す。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継電器で保護を行なっている。

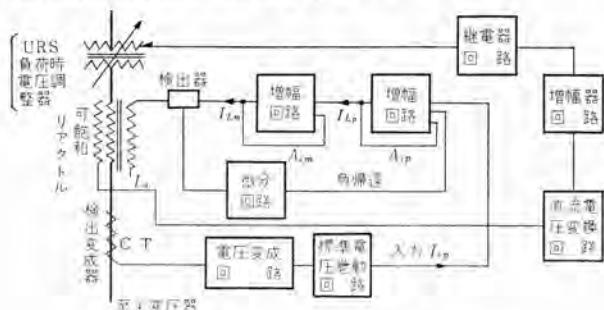


図 5.5 制御回路説明図
Fig. 5.5 Block diagram of control circuit.

定電流制御方式は上記に説明したがさらにくわしく図解すれば図 5.5 に示すようであり、URS 形負荷時電圧調整器のタウ間電圧と直流励磁飽和リアクトルによる電圧制御ならびに電解その側の負荷特性とは協調されており、満足すべき状況にある。これがため無人運転方式の信頼性も立証されつつあるがこれに関する詳細は別の機会に報告する。

6. む す び

以上述べたように 82 V 120 kA 9,840 kW の食塩電解用風冷式シリコン整流器変換装置は大電流、大容量の記録品であるばかりか諸外国においてもその例をあまりみないものである。しかも相間リアクトル付二重星形結線での 30 kA 変換単位を 4 群並列運転して 120 kA を構成し、簡単な調整で全負荷運転しえたことは特筆すべきことであり、今後の大電流用シリコン整流器の工場試験法に対して新しい一石を投じたことになった。この大電流定格の食塩電解そのの製作という記録的事業をあえて実施された徳山曹達関係各位のご英断に対して心から敬意を表するとともに各位の理解あるご援助によってこの特筆すべきシリコン整流器を完遂しえたものであり、本稿をかりて厚くお礼申上げる次第である。

以上説明にあるようにこの種電圧、電流定格のものの標準化がこの新しいトレイ方式と回路方式との採用によって新電流分野と応用領域とを拡大した結果となり、運転実績よりしてその良好性を確認した次第である。

最後に今回の大電流用シリコン整流器の受注から運転開始にいたるまでの間、基礎試験に、現地試験に、配置打合わせと諸般にわたって徳山曹達の方々ならびに松田技術部長をはじめ関係各位、福岡営業所の方々と各方面から多大のご協力とご援助をいただいたことに対して関係者一同とともに厚くお礼申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) A.P. Colaiacco & C.S. Hague: The Silicon Rectifier... Principal Source of d-c Power for the 60's, Westinghouse Engineer, 19, pp. 167~171 (Nov. 1959).
- (2) F.W. Gutzwiller: Overcurrent Protection of Semiconductor Rectifiers, Electrical Manufacturing, pp. 106~114 (April, 1959).
- (3) 岡: 電力用半導体整流器回路の諸問題, 「三菱電機」 33, No. 8, p. 64 (昭 34).
- (4) 加藤・横島: 化学用大電流シリコン整流器, 「三菱電機」 33, No. 8, p. 6 (昭 34).
- (5) 加藤: シリコン整流素子の試験法と定格について, 「電気公論」 4 月号 470~477 (昭 35).
- (6) R.F. Dyer: Characteristics of the 50 ampere Silicon Controlled Rectifier, District Conference Paper No. 59~670.
- (7) J.H. Miller: Field Strength Near Rectangular Conductors, Electrical Engineering, p. 814 (Oct. 1959).

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

木 島 寛 治*

三菱電機株式会社伊丹製作所

浅越泰男*・管田恵之助*・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、国私鉄を問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間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 狭軌用 WN ドライブ 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従来の 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見てよく、以下にその電機品の詳細についてご紹介申し上げる次第である。

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
目 重 (t)	M ₁ ・33.37, M ₂ ・35.3	20.22
定 員 (名)	155	117
最大寸法	長(mm)	15,970
	幅(mm)	2,775
	高(mm)	3,900
車 輪 径 (mm)	910	760
主電動機	形 式	4×MB-3039 A
	用 力	120 kW, 340 V
	歯車比	92/15=6.13
制御装置形式	ABFM-168-15 MDH	—
空気ブレーキ装置形式	HSCD	HSCD

編成 TcMMTc 4 両固定

編成長 妻間 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

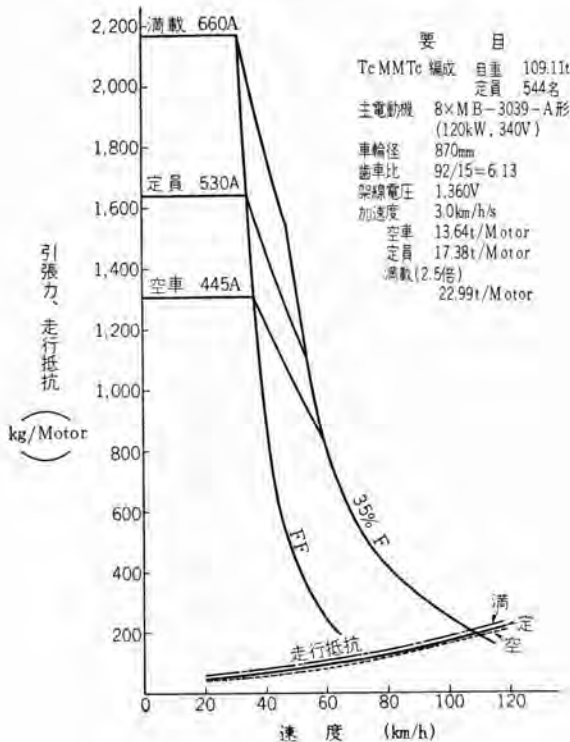


図 2.1 HE 車性能曲線

Fig. 2.1 Output performance curve of HE car.

加速度 3.0 km/h/s (空・満一定)

常用最大減速度 4.0 km/h/s (空・満一定, 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で機装機器をできるだけ 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従来の 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。

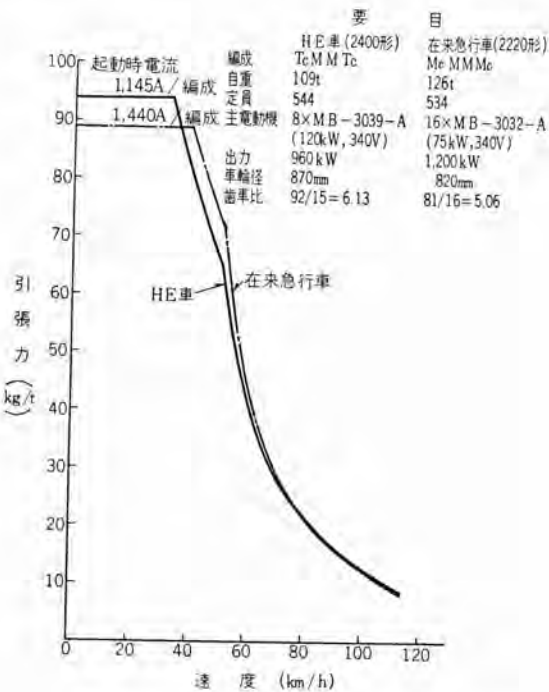


図 2.2 HE 車-在来急行車性能比較曲線 (定員×1.5 乗車時 1,360 名)

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 パーナ 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 スリップキッド 保護装置、ノッチオフ 時のもとし ステップ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わせにおいて、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発揮できるようにと新しく開発した“HSC-D₃”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 120 kW 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 75 kW 級のものに比し駆動部分たる WN カップリング、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っ

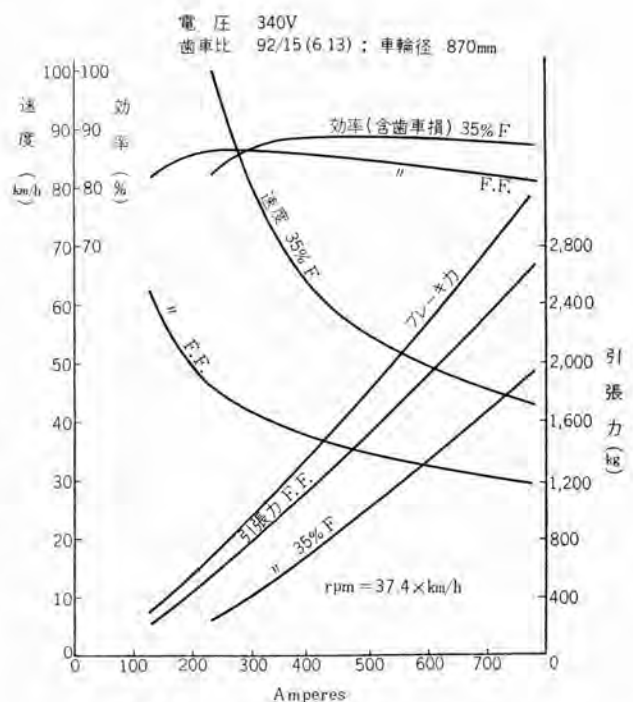


図 3.2 MB-3039-A 形主電動機特性曲線

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 910 φ 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ぎのようで、特性曲線は図 3.2 に示す。

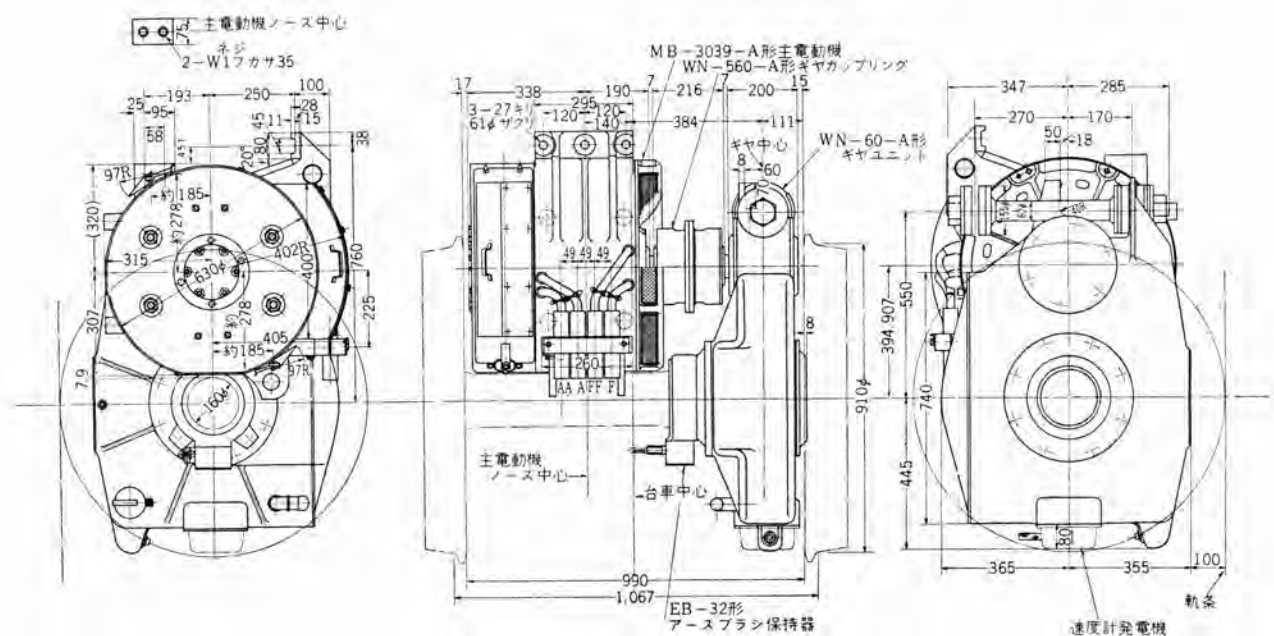


図 3.1 主電動機駆動装置外形図

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 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 編成で通動、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 を発揮しうる。
kW/rpm の値は 0.075 であって、広狭軌用を問わず電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) スピードレージョ (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ば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装荷、磁気装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っており、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、ブラシ保持器、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

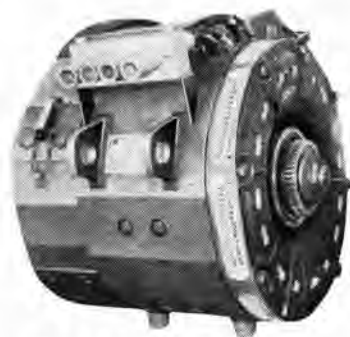


図 3.3 MB-3039-A 形主電動機
Fig. 3.3 Type MB-3039-A traction motor.



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 シンクロリカルギヤユニット、 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
ネジレ 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	ダブルインタルエキスナルギヤ 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、静しゅくな動力伝達が確保される。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、エキスナルギヤ、インタルギヤ 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想を新たに、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 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データを得、この経験に基づいて設計されたものである⁽¹⁾。

すなわち、人体の加減速度に対する感応度は、一般の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 1g の重力加速度を受けているので、たとえば 5 km/h/s 程度のいわゆる高加減速度で発車したとしても水平方向に、0.14g 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、すなわち加減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

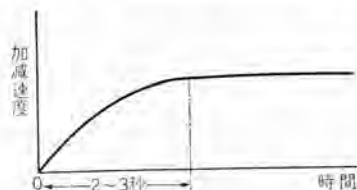


図 4.1 加速度および減速度の理想曲線
Fig. 4.1 Ideal curves of acceleration and retardation.

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 車に必要な粘着力は非常に大きくなり、加速減速ともに 5 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。

このように乗心地をよく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。

制御装置は経済車とするために 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、とくに頻度の多い継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 ²
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 km/h/s (2.0 km/h/s に切換可能)
減速度	4.0 km/h/s (常用) 4.5 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、車体に取り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、パターン発生指令は主幹制御器、またはブレーキ弁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

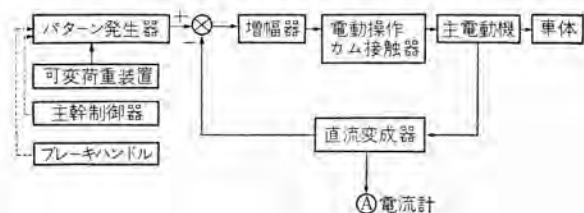


図 4.2 (a) 制御回路簡略説明図

Fig. 4.2 (a) Block diagram of control circuit.

電圧制御によって行なっているの、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

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でもスムーズに、しかもすみやかにかかるよう スポッティング 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ので、従来のように限流 リレーその他の リレー のデッドタイムは無視でき、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 個のセレクトスイッチと 2 個のバーニヤスイッチ および 2 個のトランスフェスイッチにより 73 段のステップ 数を得ている。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。

トランスフェスイッチは電気的弁作用をするもので、かつ、一次および二次の吹消 コイル を有する電流 シュ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 オフ制動ゆるめともに人体には感じられないほどスムーズに加減速力を消失させることができる⁽²⁾。図 4.4 (b) はこのスイッチのシュ断 オシロ で小形にもかかわらずシュ断容量はきわめて大きいことを示している。

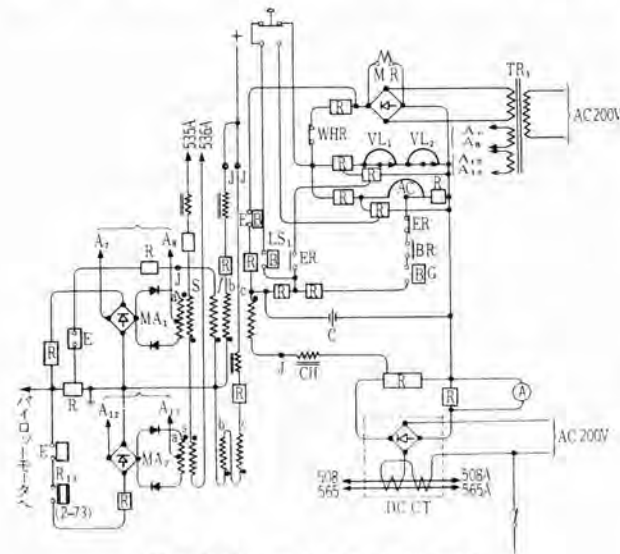


図 4.2 (b) 電流制御器簡略 ツナヰ

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

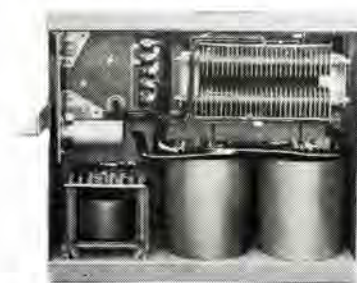


図 4.2 (c)
電流制御器

Fig. 4.2 (c)
Current control
box.

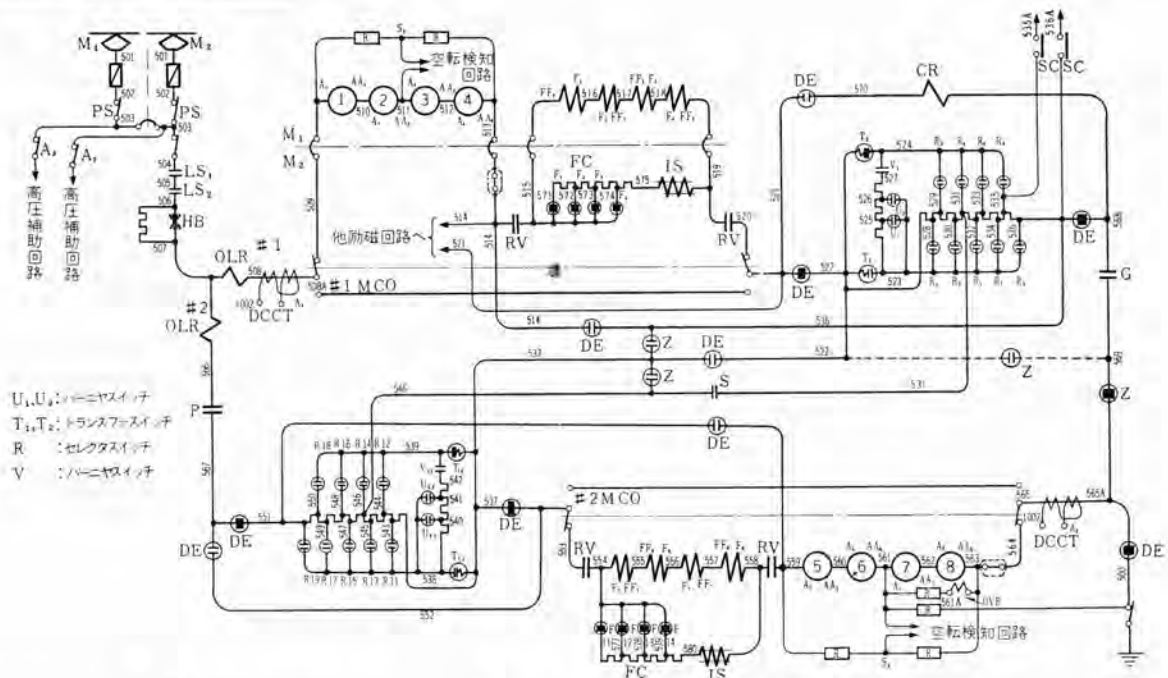


図 4.3 HE 車主回路 ツナヰ

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.

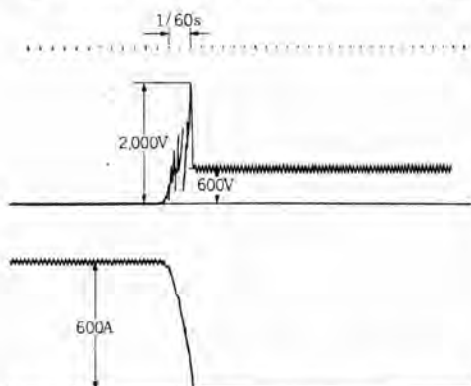


図 4.4 (b) UCB 300 形 カムスイッチシャ断 オシログラム
DC 600 V 20 mH 600 A.

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

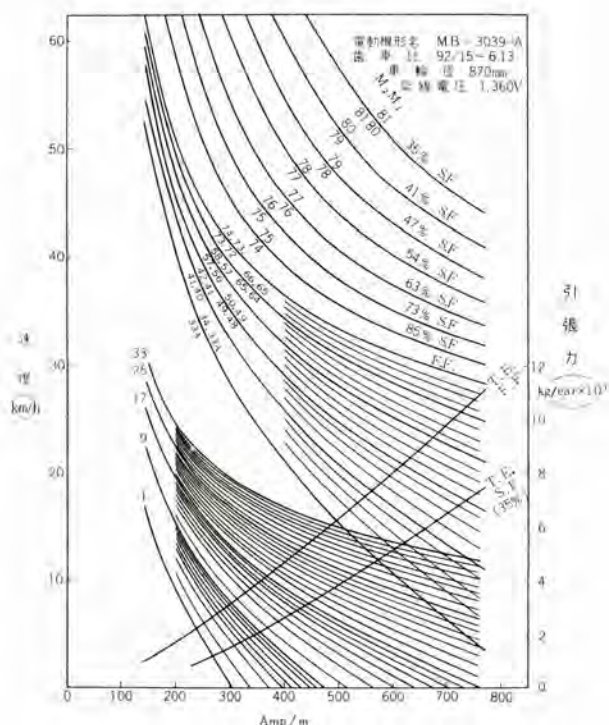


図 4.5 (a) 力行 ノッチ 曲線

Fig. 4.5 (a) Powering notching curves.

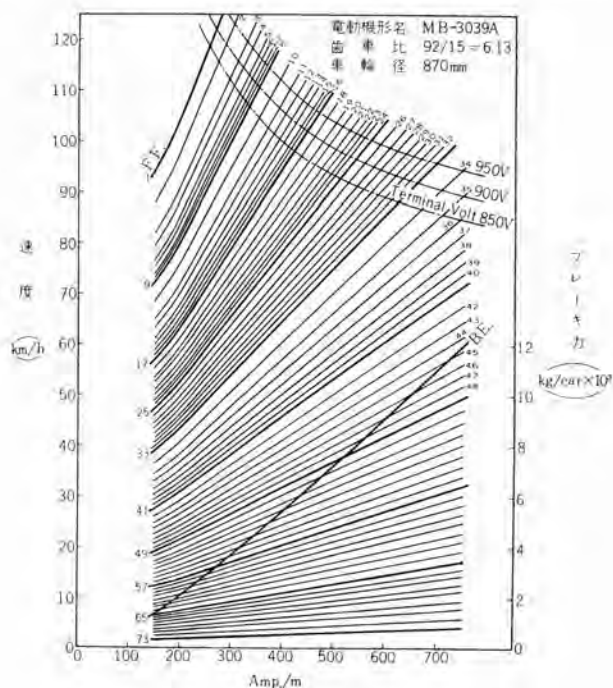


図 4.5 (b) 制動 ノッチ 曲線

Fig. 4.5 (b) Braking notching curves.



図 4.6 HB-3-752 形断流器箱

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

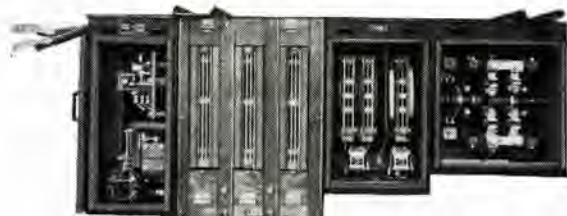


図 4.7 MU-5A-211 形 スイッチ 箱

Fig. 4.7 Type MU-5A-211 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ズ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 両の中の 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

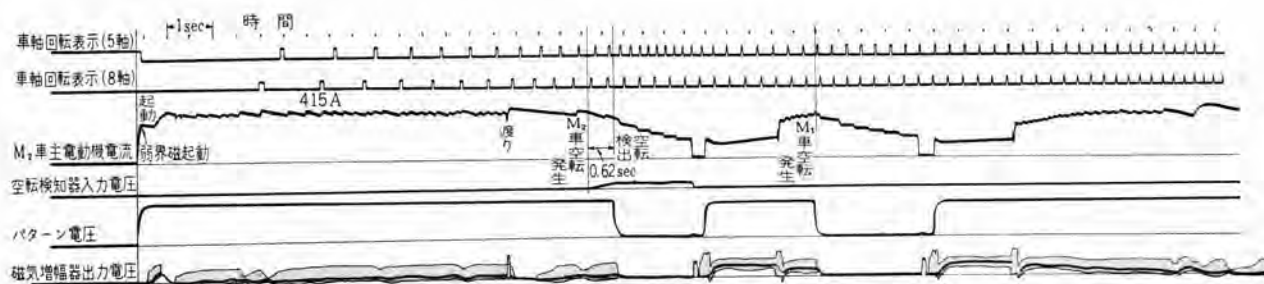


図 4.9 空転試験 オシログラム
Fig. 4.9 Slip test oscillogram.

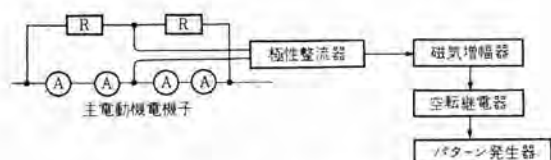


図 4.8 空転検出器説明図
Fig. 4.8 Block diagram of slip detector.

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で、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 空転感度にセッティング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つて安全である。

(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% ころ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% ころ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ティング程度のもので、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った。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、ルーブリックの調整を行なつ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.

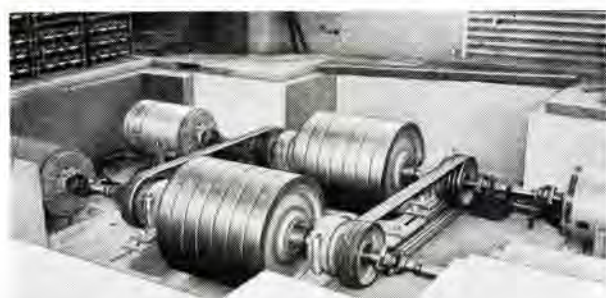


図 4.11 (b) 工場での等価組合せ試験状況
Fig. 4.11 (b) Equivalent combined test at the factory.

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従性、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せることができた。

5. HSC-D₃ 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とからブレーキ 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対応制御されるから、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の 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標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、またぎ装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

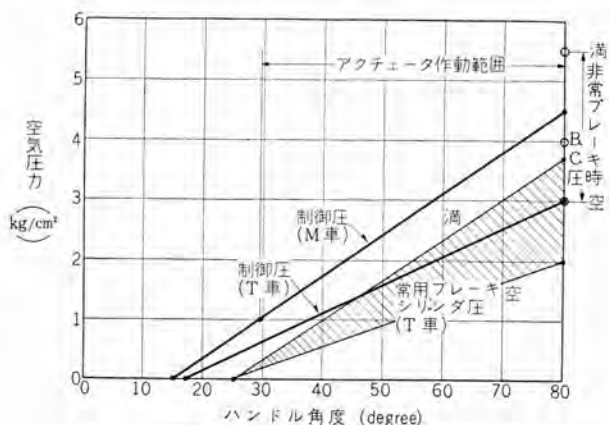


図 5.1 ブレーキ 空気圧力線図

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 kg/cm²:3 kg/cm² 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ぎのようになる。

制御圧 A による アクチュエータ 作用範囲: 1~4.5 kg/cm²

制御圧 B の変化範囲: 0~3 kg/cm²

ブレーキ 力調整装置の作用 (制御圧 B=3 kg/cm² のとき)

空車時: 2kg/cm², 満員時 3.7 kg/cm²

(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

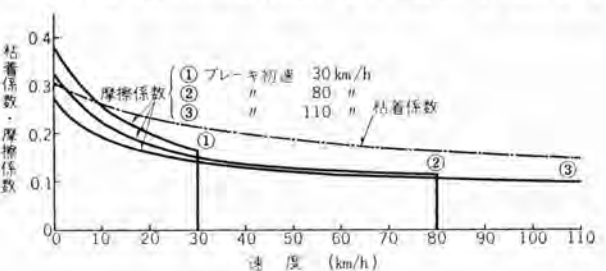


図 5.2 粘着係数と摩擦係数
Fig. 5.2 Coefficients of adhesion and friction.

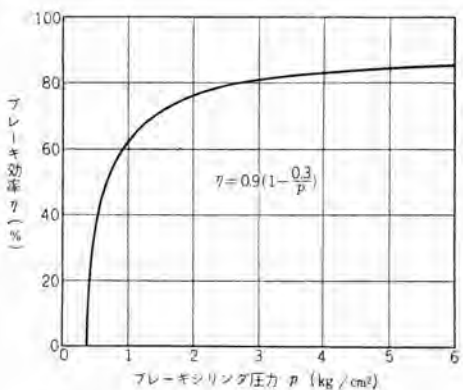


図 5.3 ブレーキシリンダ 圧力に対する ブレーキ 効率
Fig. 5.3 Diagram showing relation between braking efficiency and air pressure in brake cylinders.

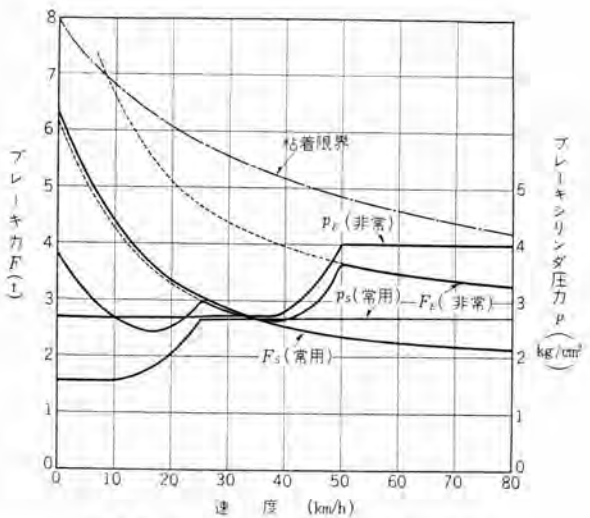


図 5.4 Tc 車の ブレーキ 力線図 (定員時)
Fig. 5.4 Braking effort diagram of a trailer

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 kg/cm² 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な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るようになっている。

Tc 車の作用圧 4.5 kg/cm² に対する ブレーキ 力調整作用

空車時: 3 kg/cm², 満員時: 5.5 kg/cm²

(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、また鋳鉄製 ブレーキ・シュー を使用することになったので、車輪・シュー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 パネ 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。

図示のように鋳鉄製 シュー 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とした。すなわち、制御器の進段に運動して常用 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、ブレーキ

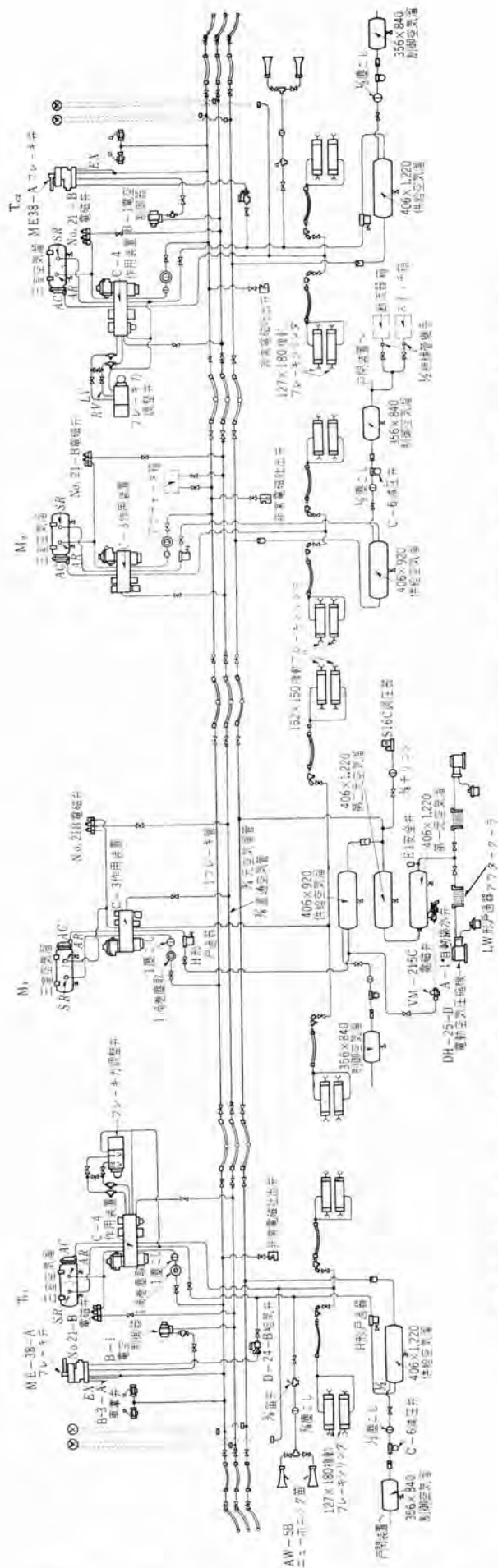


図 5.5 HSC-D₃ ブレーキ 装置配管 ツナギ

Fig. 5.5 Piping connection diagram of type HSC-D₃ 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.

キ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・シリンダ 圧力が 4.5 kg/cm² のとき約 99% である。

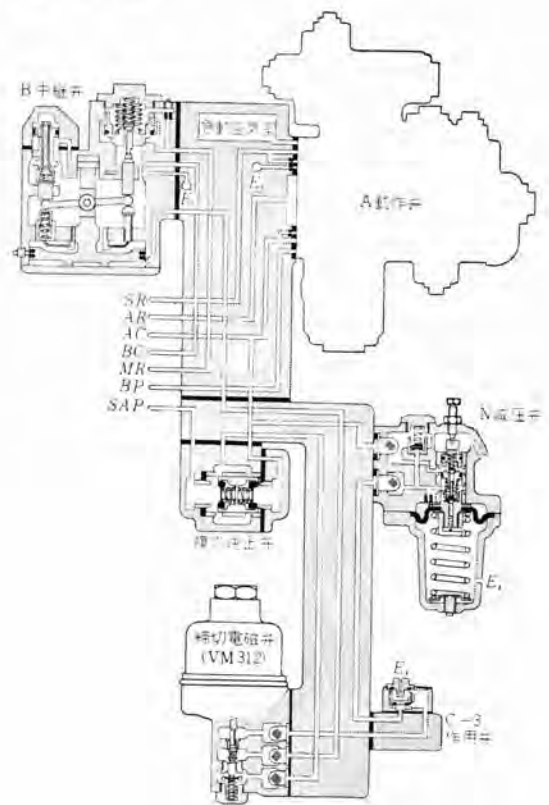


図 5.7 C-3 作用装置説明図 (M 車)

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

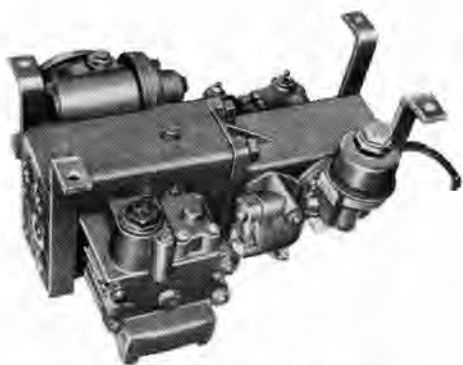


図 5.8 C-4 作用装置 (Tc 車用)
Fig. 5.8 Type C-4 operating unit for a trailer.

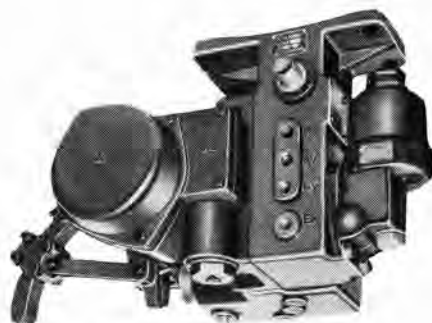


図 5.10 ブレーキ 力調整弁
Fig. 5.10 Variable load valve unit.

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 形式のものと同一である⁽⁴⁾。

(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

直通 ブレーキ 帯の最初の位置に設けた「電制 ラップ」(抑速)は「電制準備」(スポッティング)と兼用となっているので、ハンドル 操作は前者の場合は ハンドル を進めてから戻し、後者の作用を行なうためには「ゆるめ」からこの位置に移すだけでよいように電気接触部の配線 ツナギ がなされている。

(3) C-3 作用装置

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 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 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。
- 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。
- 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。
- 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

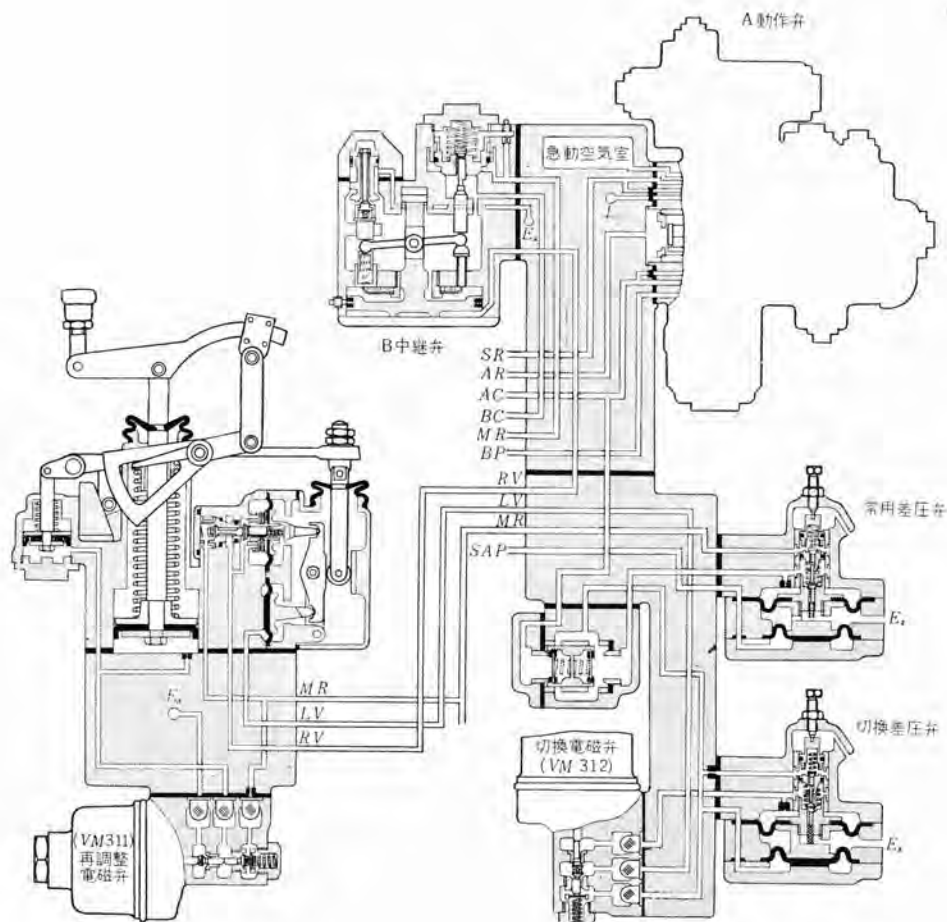


図 5.9 C-4 作用装置および ブレーキ 力調整弁説明図 (Tc 車)
Fig. 5.9 Schematic diagrams of type C-4 operating unit and variable load valve of a trailer.

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。

- 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。
- 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。
- 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・シリンダ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

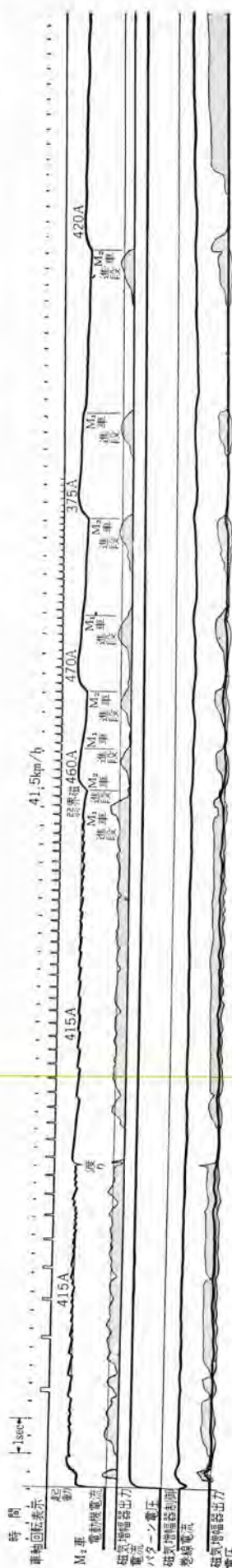


図 6.1 代表的起動 オシログラム

Fig. 6.1 Typical starting oscillogram.

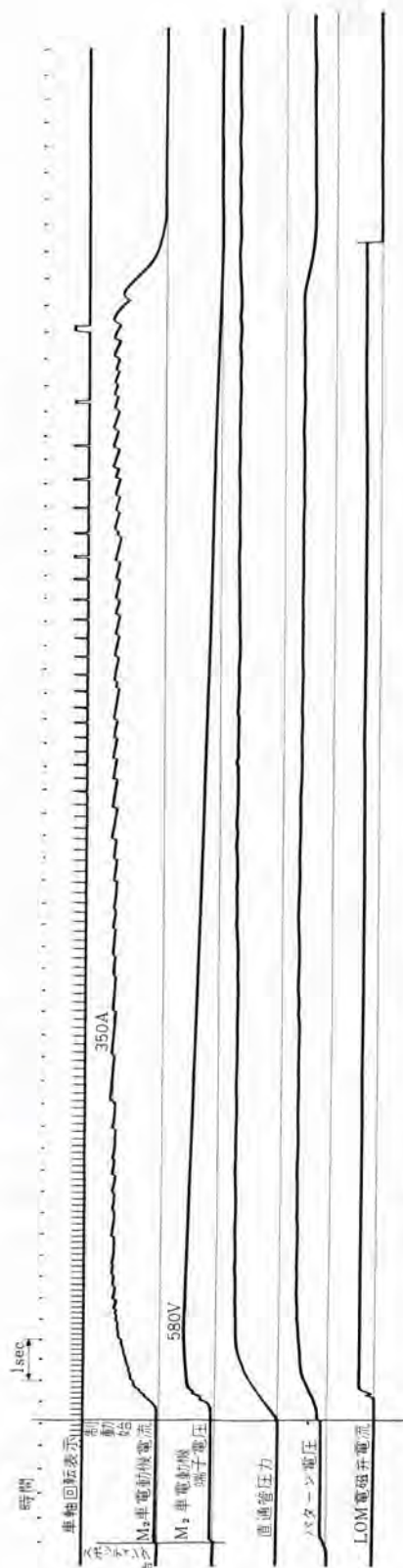


図 6.2 代表的電空併用制動 オシログラム

Fig. 6.2 Typical braking oscillogram.



図 6.3 起動時の加速度

Fig. 6.3 Powering acceleration curve.

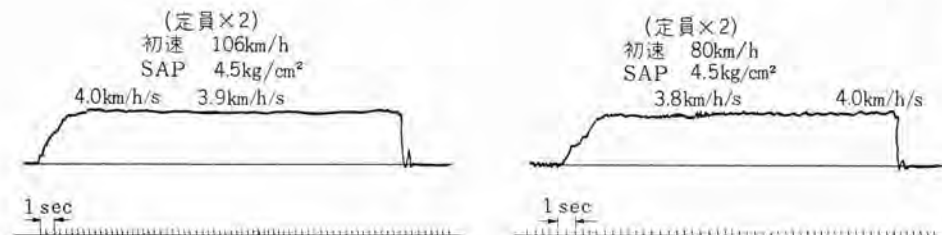


図 6.4 制動時の減速度

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、有接点継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上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ズに行なわれるので、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、停車時もスムーズである。

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 田 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、今までも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。

一般に輸送能力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フォ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「レール・ストップ」と車上の突き当たりコックとの組合わ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」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増幅

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いえ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⁽¹⁾。

(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、異なったブレーキ性能をもつ列車が混合運転される区間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制定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 κ 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・出発および入換え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たしてきた。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、最後の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

κ ロサイクル 軌道回路方式については国鉄の交流電化にともない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⁽²⁾。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さ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遮断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弁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⁽³⁾⁽⁶⁾、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、保安側作用すな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ス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 κ 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 360 m 以下に最適なものとし、800 m まで動作完全なものとする
- 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絶無なること。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トラ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

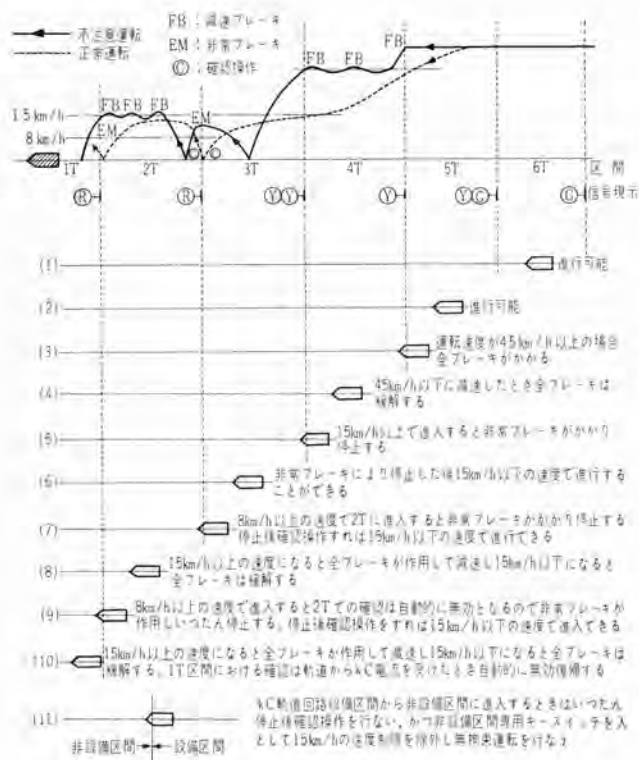


図 3.1 列車保安制御仕様

Fig. 3.1 Specifications required for the automatic train control.

接点 リレー を使用すること

- f. 各機器または ツナギ 線に故障があるときは装置として安全側に動作し保安度の高いものであること
- g. 故障のおそれある部品は地上用, 車上用を問わずすべて交換部分を差し込み式とし, 発振器, 増幅器または濾波器などのように作用群別にも容易に交換できるものとする. この場合差し込み端子部は防 じん 構造とすること
- h. 各機器は地下鉄内または車両内に設備して温度, 湿度, ジンアイ, 振動などに耐え保安装置として動作が完全であること
- i. 各部分または部品群は容易にその動作を試験し, または故障の原因を発見するに必要な テスタ を完備すること
- j. 警報 ラザー および表示灯類は必要に応じ増設可能なこと.

(3) 適 用

この試作装置は営団丸の内線において昭和34年9月末完成の新車2両により試験されることになった. したがってその制御装置ならびにブレーキ装置は丸の内線開業当初から用いられている300形系電車と同じであって⁽⁴⁾⁽⁵⁾, 両運転台が片運転台式になった点だけが異なっている.

電車用自動列車 ブレーキ 装置・管田・竜田



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

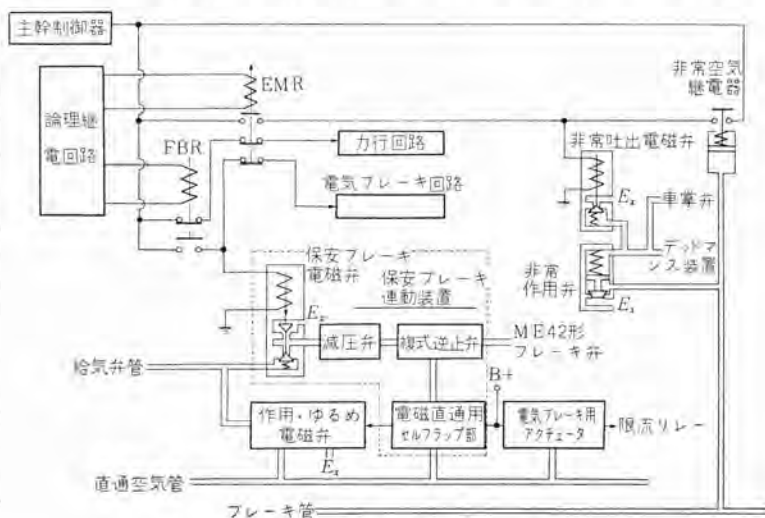


図 3.3 保安ブレーキ系統説明図

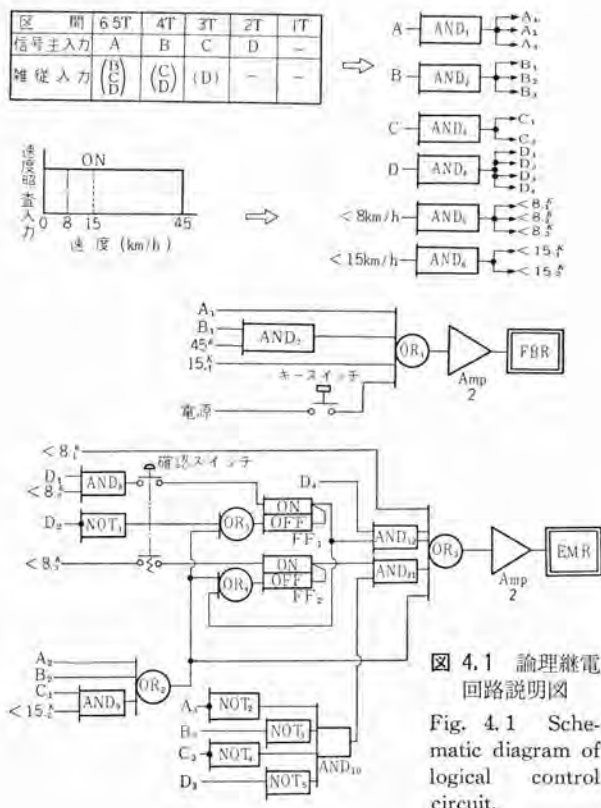
Fig. 3.3 Schematic diagram of safety brake system.

電気作用部を取はずして 保安ブレーキ電磁弁を追加し 図 3.3 のように別置した, したがってブレーキ弁またはこの電磁弁からの空気は複式逆止弁により自動的に切換えが行なわれるから, 電磁直通式電空併用ブレーキはどちらからでも支障なく制御される. 非常ブレーキ系は既設のブレーキ管用吐出電磁弁を制御するだけでよいから配管関係の変更はない.

4. 論理継電装置

4.1 継電回路

図 4.1 の上方に A~D の信号入力と速度入力が入



力前段増幅器の $AND_1 \sim AND_8$ により数個の並列入力に増幅されることを示している。信号雑従入力は A～C 主入力に対する下位入力が雑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_7 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。非設備区間に対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_2 が OFF となって EMR は落下する。2T へ進入するとき 8 km/h 以下で進入停止後運転士は席を立ってパネ復帰の確認スイッチを操作すれば、 AND_8 の ON 出力は FF_1 にはいりこれを ON 状態に保つから AND_{12} は ON となり 2T 区間では EMR は落下しない。この FF_1 は 1T への 8 km/h 以上の進入または 6～3T において NOT_1 または OR_2 の出力が生じて OR_5 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_2 を ON 状態に保持させ AND_{11} を通じて EMR の引き上げを保つようにしてある。 FF_2 のリセットは 6～3T の信号入力

A～C による OR_2 出力または 2T での FF_1 出力からの OR_4 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「サイバック」⁽⁶⁾ 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。

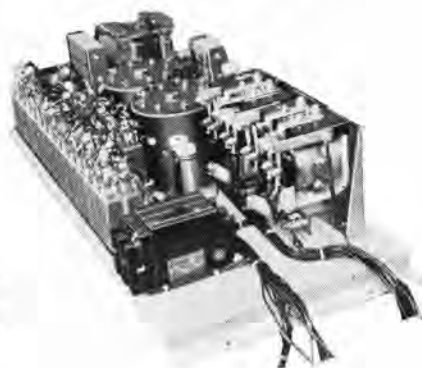


図 4.2 論理継電装置

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ックに取付けた状態を示すもので、リングとの取付けすきまは 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

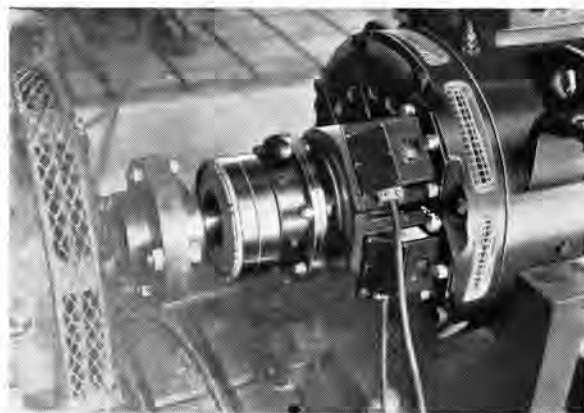


図 5.1 誘導子形発電機

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わ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。

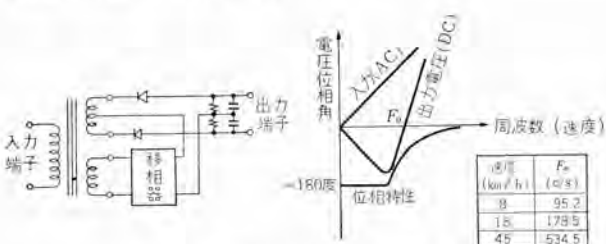


図 5.2 周波数検出回路と特性

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。

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

出力電圧 E_0 は

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

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 形の濾波器を通せば交流分は除去されて、濾波器出力は

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

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 θ 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ていれば、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。

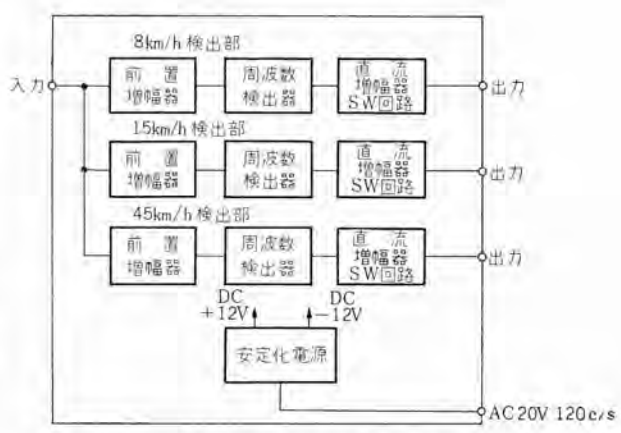


図 5.3 速度照査器系統図

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る。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でかつ長い寿命のもでなければならない。この要求にそう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antal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に考慮してある。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

を組合わ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

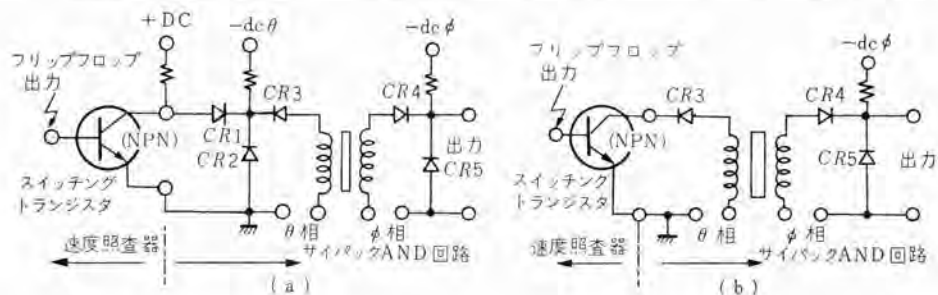


図 5.5 スwitchングトランジスタとサイパックとの接続
Fig. 5.5 Connection of switching transistor with Cypack element.

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。

(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、わずかな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 $\pm 20\%$ 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 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 程度の温度範囲に耐えることが必要である。

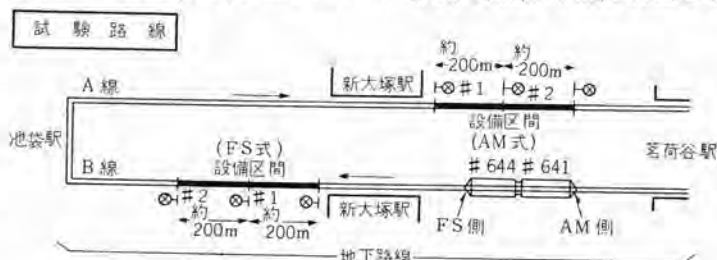
すなわち本器においては温度変化に対する影響を考慮して前置増幅器における大容量のコンデンサはとくに低温度特性を考慮して固体タンタル・コンデンサを使用し、さらに適当な負帰還を施して利得の安定化を計っている。

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わ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 $\begin{cases} 2,700 \pm 450 \text{ c/s} \\ 3,300 \pm 450 \text{ c/s} \end{cases}$ 信号波 f_s 10. 15. 25. 35. c/s
AM式	搬送波 f_1 $\begin{cases} 1,100 \text{ c/s} \\ 1,300 \text{ c/s} \end{cases}$ 信号波 f_s 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.

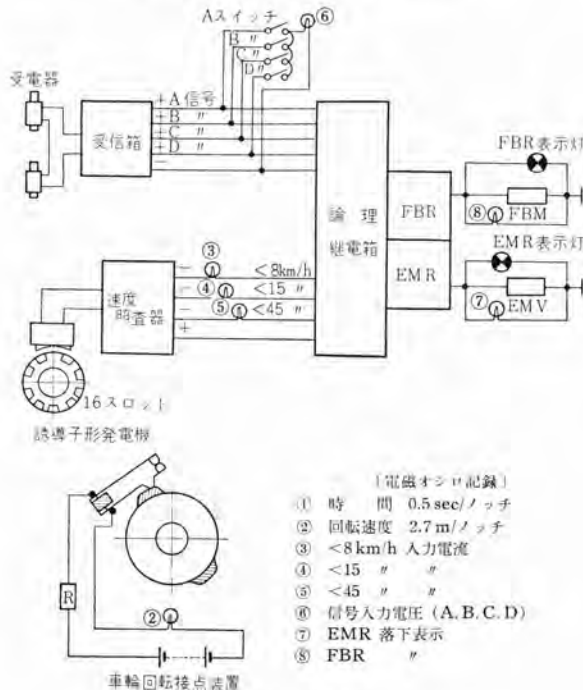


図 6.3 記録箇所

Fig. 6.3 Recording points by oscillograms.

各器具は2両連結列車の両端運転室側に設置された。試験区間は営団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。

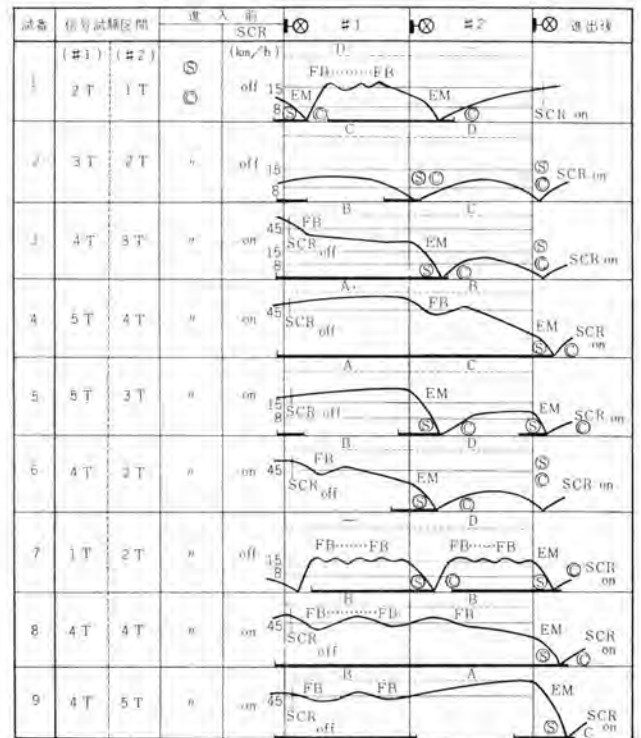
6.2 試験成績

(1) 信号入力と速度入力

サイパック入力端子でのミリアンメータによる測定値は約5 mAという指定値に対し、A～D信号入力はFS式の場合9～6 mA、AM式において4.9～6.5 mA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, 45 km/h以下を2組について計ったが4.8～6.2 mAの範囲であった。

(2) 記録例

電車用自動列車ブレーキ装置・管田・竜田



◎: 停止, ⊙: 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へ8 km/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15 km/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へ67 km/hで進入し減速ブレーキを受けるが、45.4 km/hでFBRが引き上げられた後、3Tへは45.3 km/hで進入したため非常ブレーキが作用して90.5 m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15 km/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で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へ52.5 km/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37 km/hで次区間に進入したとたんに信号入力が消滅するので非常ブレーキにより37.3 km/hから56.5 m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

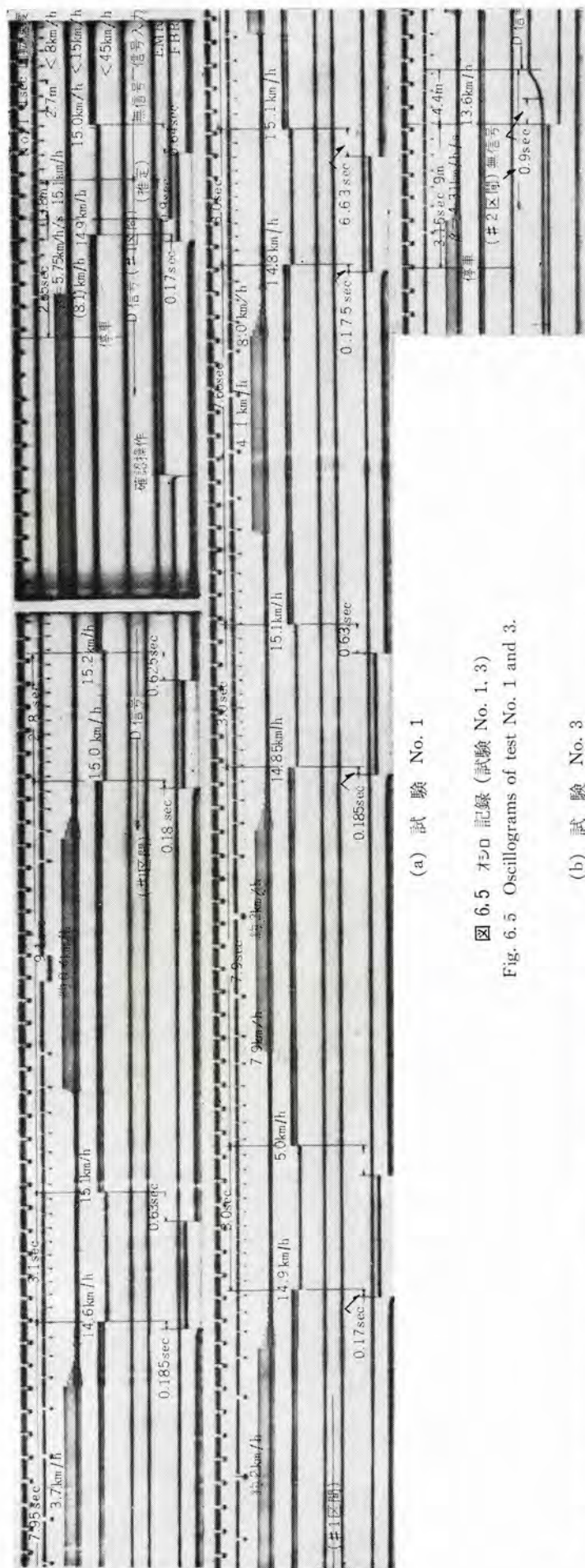


図 6.5 オシロ記録 (試験 No. 1, 3)

Fig. 6.5 Oscillograms of test No. 1 and 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) 速度照査精度

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 km/h については増速時で 14.8～15.8 km/h, 減速時が 14.6～15.6 km/h であって、ほぼ ± 0.5 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 ± 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 km/h 制限区間に約 60 km/h で進入した場合 100 m 以下で 45 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 km/h 制限に対して 10～5 km/h 程度で、45 km/h 制限に対しては約 40 km/h になるが、安全側作用であることと繰り返回数が少なくなるにより



図 6.6 試験 No. 7 のオシログラム

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む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。

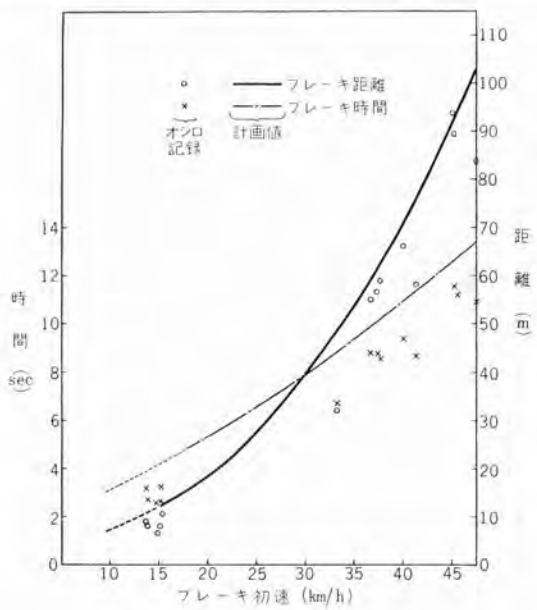


図 6.8 保安非常ブレーキ成績

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えることができる。

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

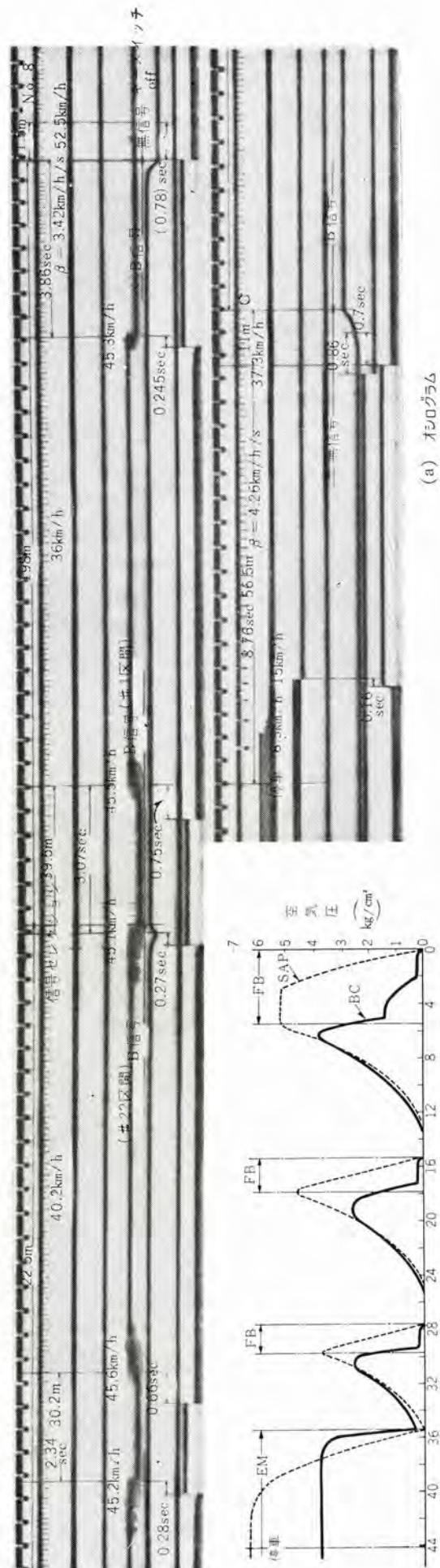


図 6.7 試験のオシログラムと空気圧記録
Fig. 6.7 Oscillogram and air pressure record of test No. 8.

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入れた独想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えることができる。

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⁽⁷⁾。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願っている。

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) 曾根嘉年: 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⁽¹⁾を屋外用としては 24 kV の電気機関車用空気シャ断器⁽²⁾を開発し多数の生産実績を取っ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来たので、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 ke
定格投入電流	34.1 kA
定格短時間電流	12.5 kA
定格開極時間	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 ² ・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 CO₂ 回分に十分な 15 kg/cm²・g の圧縮空気が充満されており、この上部に吹付弁、支持パイプ、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パネの方によって接触し、固定、可動コンタクト背後には衝撃を吸収するのと接触圧力を出させる目的で皿パネが使用してある。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。

シャ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畳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が生じる。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。

このシャ断器は低抵抗シャ断方式を採用することによ

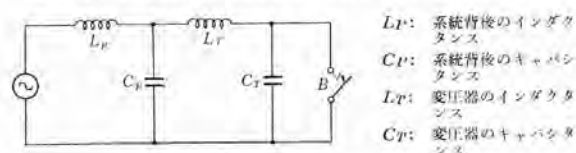


図 3.1 局所電力シャ断の等価回路

Fig. 3.1 Simplified circuit for interruption of local power.

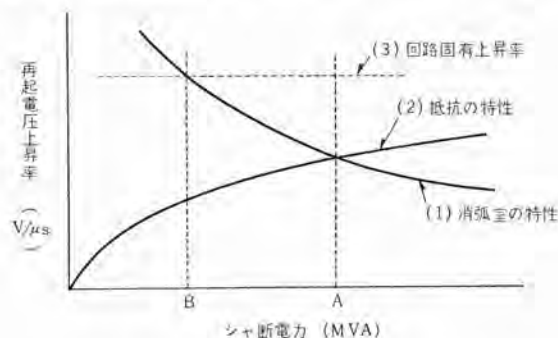


図 3.2 抵抗の再起電圧上昇率低減効果

Fig. 3.2 Diagram showing the effect of resistance on the reduction of rrrV.

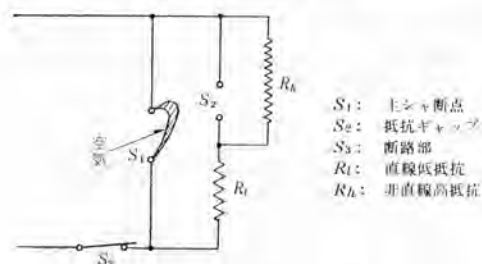


図 3.3 抵抗シャ断方式

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断点の下流に固定して設けられた抵抗ギャップが、主シャ断点で発生されたイオンガスにより閃絡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。開路時のシャ断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ダ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、操作シリンダへの給気をシャ断するとともにシリンダ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ダ内の空気が排気されても保持パ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

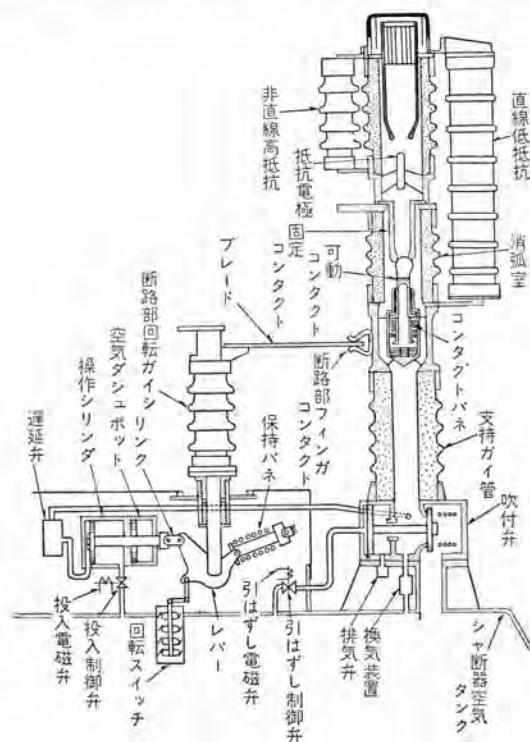


図 4.1 20-AHW-30 形空気シャ断器構造および動作説明図

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。シタ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パイプ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パ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クが発生する。アークは圧縮空気の強力な消弧作用によって吹消されるが、シタ断電流が大きいと発生したイオンガスが主シタ断点の下流に設けられた抵抗電極付近に流されて、アーク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タ断点のシタ断を容易にする。抵抗電極のほうに移ったアークは、抵抗によって電流がしぼ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クがシタ断された後約 1/4 サイクルで消弧される。また主シタ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ツ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ク時間と安全性を考

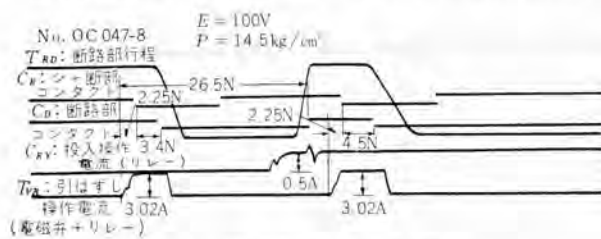


図 4.2 高速度再閉路動作 オシログラム

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して排気されると可動コンタクトはコンタクトパネの力によって再び閉路し、引はずし動作は完了される。

断路部が開路位置に保持パ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にしてある。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タ断される。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なうようにする必要はあるが、このシタ断器はこれを電氣的に防止してある。

4.4 操作条件

定格操作圧力は 15 kg/cm²・g であるが、高速度再閉路用に製作されているのでシタ断器空気タンク容量は CO 2 回分に設計してある。単なる投入・引はずしは 13 kg/cm²・g で鎖錠され、高速度再閉路の鎖錠は 14.5 kg/cm²・g である。

なお最低動作気圧は 6 kg/cm²・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 9 kc のもとで短絡シタ断を行なったばかりでなく、空気シタ断器にとってはこれよ

表 5.1 短絡シタ断試験

試 験 番 号	定格シヤ 断容量に 対する%	動 作 機 構	給 与 電 圧 (kV)	回 復 電 圧 (%)	シヤ断電流		シヤ断時間(60 c/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 力 (kg/cm ² ・g)
					交流分 (A)	直流分 (%)	開 極 (c/s)	アーク (c/s)	全 (c/s)			低周波成分		高周波成分		振動振幅比 (低周波/ 高周波)		
												周波数 (kc)	振幅率	周波数 (kc)	振幅率			
OCO23		O _θ CO 1分	24	97	1,200	36	2.25	0.60	2.85	0.45	3,250	9	1.3	—	—	—	15	
-3	10			94	1,200	27	2.25	0.45	2.70		2,300							
-4				96	1,200	8	2.25	0.60	2.85									
-5	30	O _θ CO 1分	24	97	3,800	18	2.25	0.70	2.95	0.45	9,800	9	1.3	—	—	—	15	
-6				94	3,700	25	2.25	0.35	2.60		6,700							
-7				96	3,750	0	2.25	0.15	2.40									
-8	60	O _θ CO 1分	24	95	7,600	40	2.25	0.40	2.65	0.45	18,500	11	1.3	—	—	—	15	
-9				91	7,400	0	2.25	0.50	2.75		19,500							
-10				93	7,500	8	2.25	0.50	2.75									
-11	120	O _θ CO 1分	24	94	14,000	20	2.25	0.60	2.85	0.45	39,000	10	1.3	—	—	—	15	
-12				90	13,500	0	2.25	0.15	2.40		29,500							
-13				92	13,700	0	2.25	0.10	2.35									
995-1				97		0	2.25	0.30	2.55	—	—	9	1.4	27	1.4	3/7	13	
-2	30	O	24	97		0	2.25	0.45	2.70									
-3				96	3,800	0	2.25	0.65	2.90									
-4				96		0	2.25	0.25	2.50									

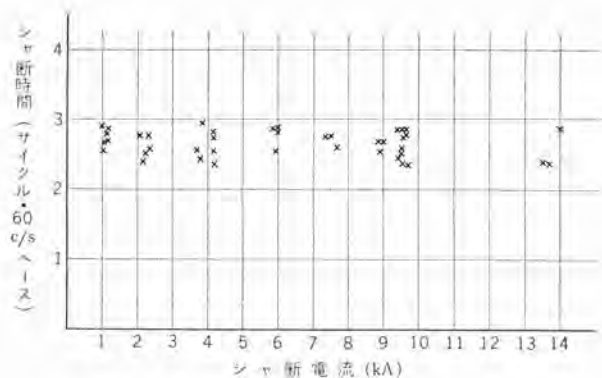


図 5.1 シュ断電流—シュ断時間特性

Fig. 5.1 Interrupting current-time characteristics.

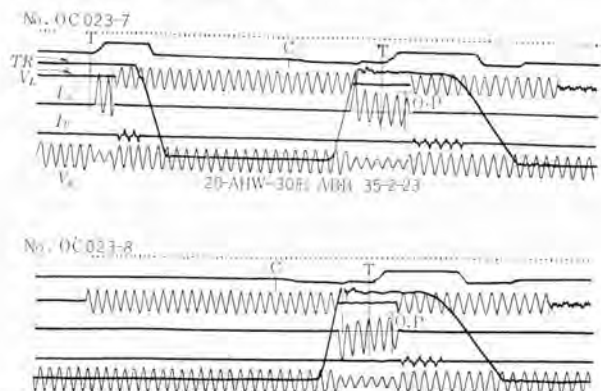


図 5.2 表 5.1 に対する オシログラム の一例

Fig. 5.2 One example of oscillogram in Table 5.1.



図 5.3 シュ断試験後の
のコンタクト

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

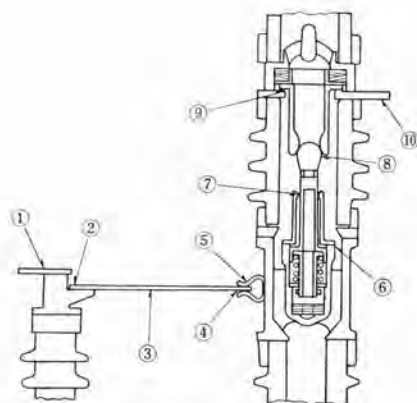
りも苛酷と考えられている 9 kc と 25 kc の複周波数再起電圧のもとでも短絡試験を行なった。この場合低周波成分と高周波成分の振動振幅比を 3:7 としたが、これは一次短絡容量と局所電力の比を 3:1 とし計算により求めた値である⁽³⁾。表 5.1 および図 5.1, 5.2 にシュ断試験の結果を示すがシュ断時間のもっとも長いものが 2.95 サイクルであった。図 5.3 は 4 kA, 6 kA 各 4 回, 9 kA 7 回 シュ断した後のコンタクトである。

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 シュ断時、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 温度上昇試験測定位置

Fig. 5.4 Diagram showing the temperature measuring points.

表 5.2 充電電流 シュ断試験結果

動作責務	操作圧力 (kg/cm ² g)	給与電圧 (kV)	シュ断電流 (A)	アーク時間 (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

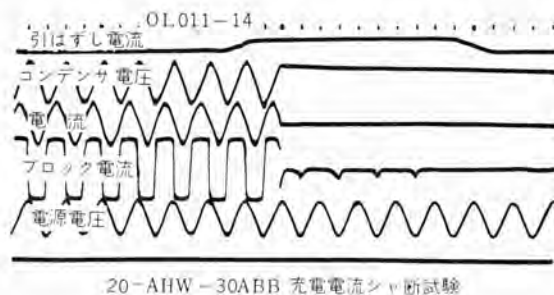


図 5.5 充電電流 シュ断 オシログラム

Fig. 5.5 Oscillogram 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 シュ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 1/4×4=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 充電電流シュ断試験

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 励磁電流シュ断試験

実用上電車の整流器用主変圧器の励磁電流 シュ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 シュ断試験結果

動作責務	操作圧力 (kg/cm ² g)	給与電圧 (kV)	シュ断電流 (A)	アーク時間 (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

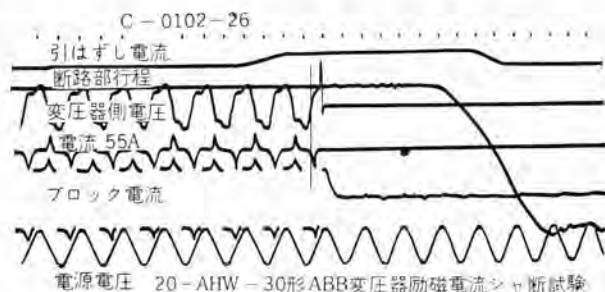


図 5.6 励磁電流 シュ断 オシログラム

Fig. 5.6 Oscillogram of exciting current interruption.

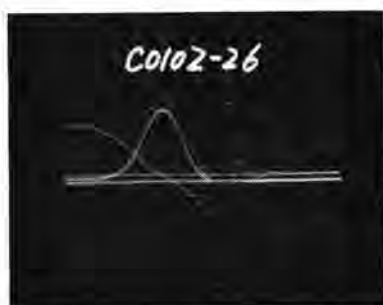


図 5.7 励磁電流 シュ断時の電流電圧波形

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

を行ないつつシュ断した。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°C 、 -20°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 シュ断器の特長をまとめると、

(1) 再起電圧上昇率の高い 電線用 シュ断器として低抵抗 シュ断方式を採用し、しかもこの抵抗は シュ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 シュ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に設計されている。

(4) コンタクトには耐弧 メタル を使用し、シュ断、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ろがなく、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) 鎖錠装置を設けて、平常は励磁して鎖錠をとき、鎖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 シュ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 シュ断器の研究、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 シュ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、シュ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 シュ断器、「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 シュ断器「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畑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フトワーを有し、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。

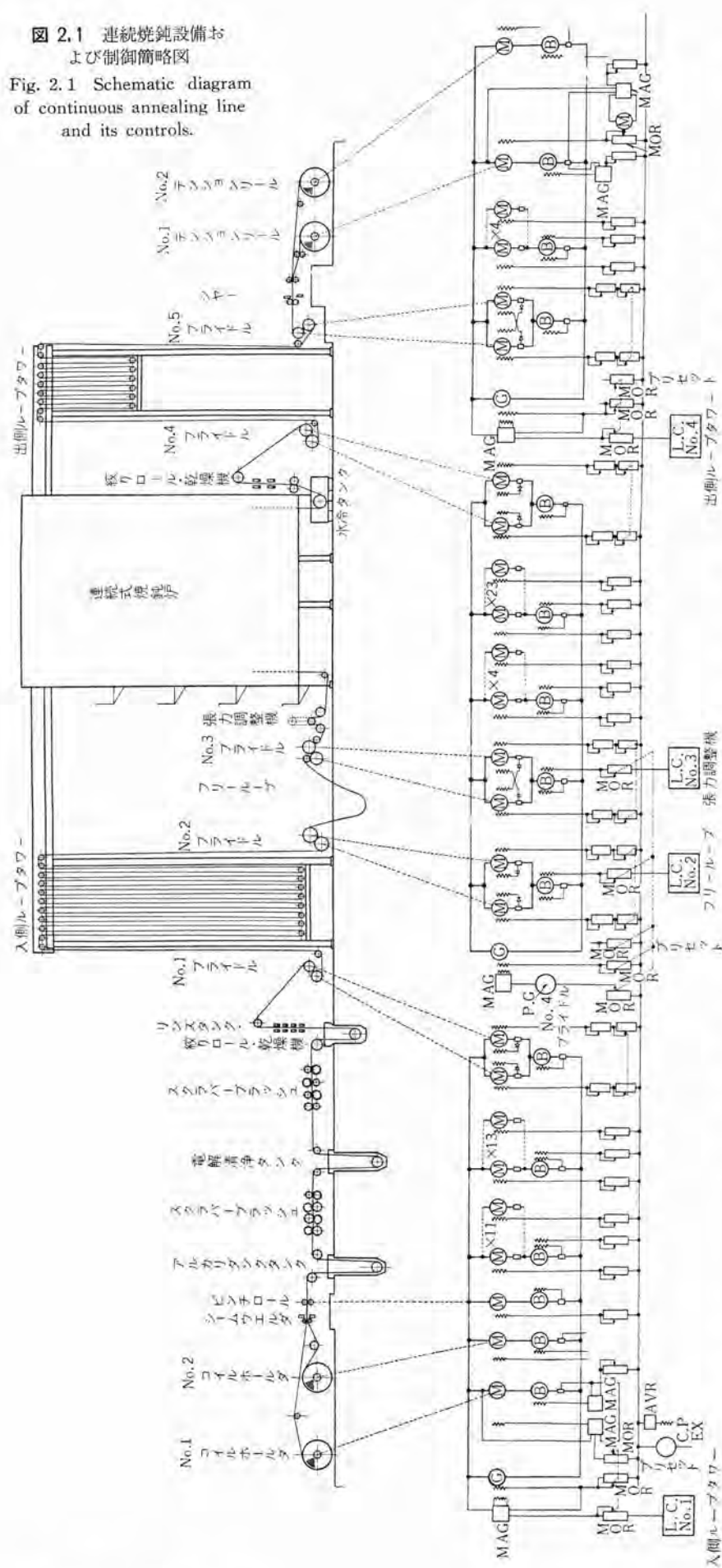
この機械の概略を図2.1に示している。冷間圧延工場から送られてきたストリップコイルはフロッカーロール上で先端を切断した後2台のコイルホルダーに取つけられる。あらかじめ引き出されたコイルの先端は入側ラインの停止と同時にシームウェルダによりその付属の切断機で切断された先行ストリップの尾端と溶接される。

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基のスクラブラッシュおよびリンズ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台のコイルホルダーで後面張力を掛けながら交互に、ピンチロールで送り出され、清浄設備を通した後リンズタンク、絞りロール、乾燥器を経てNo.1ガイドルで入側ルーフトワーに送り込まれる。ここまでが入側セクションとなる。

ルーフト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。入側ルーフトワーは14条あり8本のロールを取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、ふたたびルーフト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。

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 プライドルと No. 3 プライドルとの間には、フリーループ^①を設けてラインの張力を絶縁し、また炉と No. 3 プ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帯、電気的に加熱される均熱帯、電気的に加熱し空気冷却を行なう徐冷帯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 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 でふ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. 電氣制御方式

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ぎの三つ

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 (焼鈍炉 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鈍が行なわれる。炉帯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 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 ライドルの定速運転を行なっている。No. 4 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 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 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 ライドルの速度を調整している。

No. 3 ライドル と No. 2 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 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に、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、他の炉帯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、各電動機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

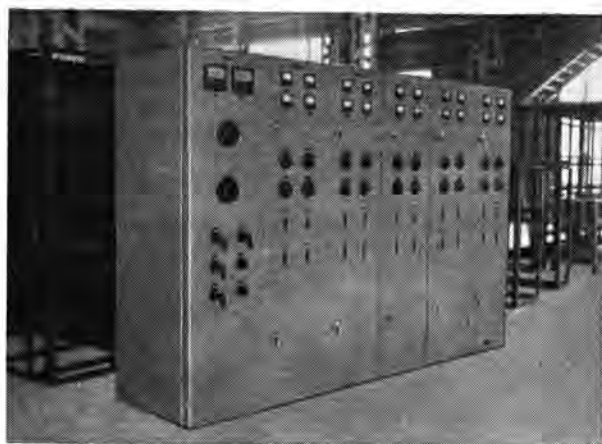


図 3.1 ヘルパ 電動機制御盤

Fig. 3.1 Control panel for helper motor.

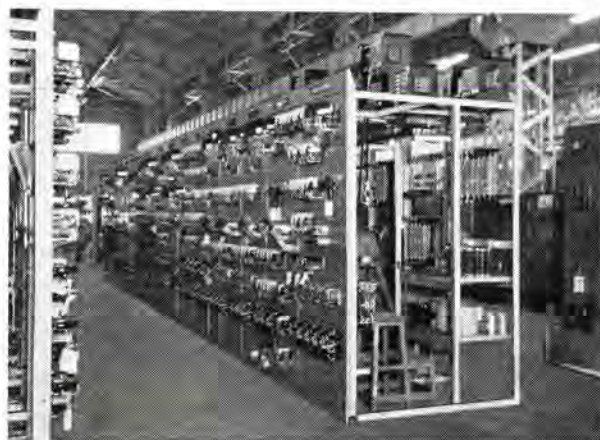


図 3.2 連続焼鈍炉制御盤

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 (MOR) 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 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 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付けられた 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% の増速を行なわせている。

コイルホルダはオーパ巻、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ンクロール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。

テンションリールは入側のコイルホ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 による自動追従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つねに逆起電力が一定となるよう MOR を追従させるものである。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ないので MAG の利得は非帯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。

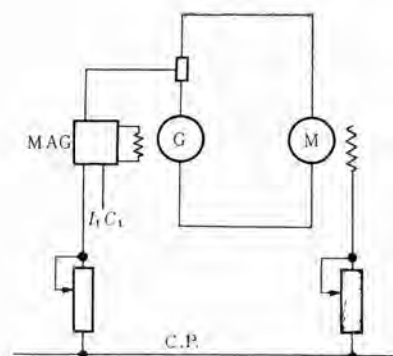


図 3.3 トルク電動機制御回路

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継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。

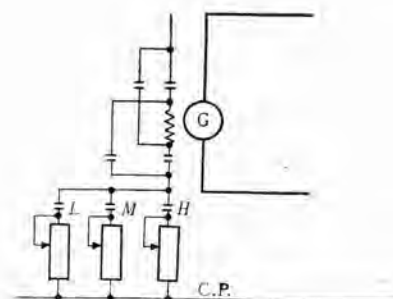


図 3.4 電解清浄用発電機制御回路

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 主要電機品一覧表

電 動 機

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

昇 圧 機 セ ャ ッ ト

10 kW 昇圧機	DC 50 V	No. 1 コイルホルダ
"	"	No. 2 "
4 kW "	"	ピンチローラ
10 kW "	"	人側 No. 1 ヘルパローラ
10 kW "	"	" No. 2 "
10 kW "	"	No. 1 ブライドル
同上駆動用誘導電動機	55 kW AC 3,300 V	60 c/s 1,150 rpm
10 kW 昇圧機	DC 50 V	No. 2 ブライドル
4 kW "	"	No. 3 "
20 kW "	"	センタ No. 1 ヘルパローラ
10 kW "	"	" No. 2 "
同上駆動用誘導電動機	55 kW AC 3,300 V	60 c/s 1,150 rpm
20 kW 昇圧機	DC 50 V	No. 5 ブライドル
4 kW "	"	出側ヘルパローラ
20 kW "	"	No. 1 テンションリール
20 kW "	"	No. 2 "
同上駆動用誘導電動機	55 kW AC 3,300 V	60 c/s 1,150 rpm

発 電 機 セ ャ ッ ト

200 kW 発電機	DC 220 V	1,200 rpm 人側
230 kW "	"	" センタ
200 kW "	"	" 出側
150 kW 励磁機	"	"
同上駆動用同期電動機	820 kW AC 3,300 V	60 c/s 1,200 rpm
30 kW 発電機	DC 220 V	1,750 rpm 人間ループタリー
15 kW "	"	" テンションデバイス
30 kW "	"	" 出側ループタリー
同上駆動用誘導電動機	93 kW AC 3,300 V	60 c/s 1,750 rpm
135 kW 発電機	DC 18 V	7,500 A 450 rpm クリーニング用
同上駆動用同期電動機	160 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	1 φ	1,800 rpm
1 kW 励磁機	DC 220 V	"	"
50 VA バイロッド発電機	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じん装置	{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氣量に変換し、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、これらはバラスビーム形継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 横軸 チューラウララン水車、北陸電力称名川第2発電所は 8,430 kW 立軸ペルトン水車、岩手県岩洞第2発電所は 8,800 kW 立軸フランシス水車、住友共電五王堂発電所は 12,750 kW 立軸ペ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で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 をつけこれで水槽水位を電氣量に変換している。

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氣量に変換している。

磁気増幅器はプッシュプ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、その出力電流は次の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 77 M 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

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 MF₁ から電機子を通し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 MF₂ から電機子を通し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。

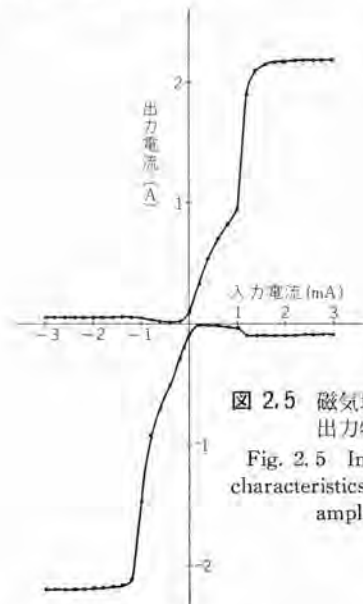


図 2.5 磁気増幅器入力-出力特性
Fig. 2.5 Input-output characteristics of magnetic amplifier.

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オメータの回転角に、ア

クチエータ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オメータの回転角を、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オメータの回転角から、負荷制限度に比例するポテンシオ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アグラムを示している。

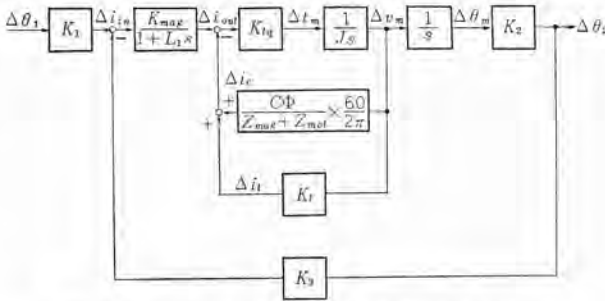


図 3.1 水位調整器のブロックダイアグラム（水位検出用ポテンシオメータ回転角から負荷制限度に比例したポテンシオメータ回転角まで）

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オメータ WLTR の回転角の変分 %
 - Δi_{in} = 水位変化検出用ポテンシオメータの回転に比例して出る電流の変分 %
 - Δi_{out} = 磁気増幅器からの出力電流の変分 A
 - Δt_m = 負荷制限用電動機 77M の出力回転力の変分 g-m
 - Δv_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オメータ GPTR の回転角の変分 %
 - Δi_c = 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
 - Δi_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オメータの伝達関数
- $\frac{K_{mag}}{1 + L_1 s}$ = 磁気増幅器の伝達関数
- 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力の伝達関数
- $\frac{1}{Js}$ = 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

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_2 = 負荷制限用電動機回転角からポテンシオ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

Φ = 負荷制限用電動機の毎極の磁束数

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する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_L = 負荷制限用電動機直結の回転計発電機の伝達関数

K_3 = 負荷制限用に比例してまわるポテンシオ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。

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

$$K_{mag} = 400 \text{ 無次元}$$

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

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

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

$$K_2 = 3.21 \times 10^{-3} \%/\text{rad}$$

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

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

$$K_3 = K_L$$

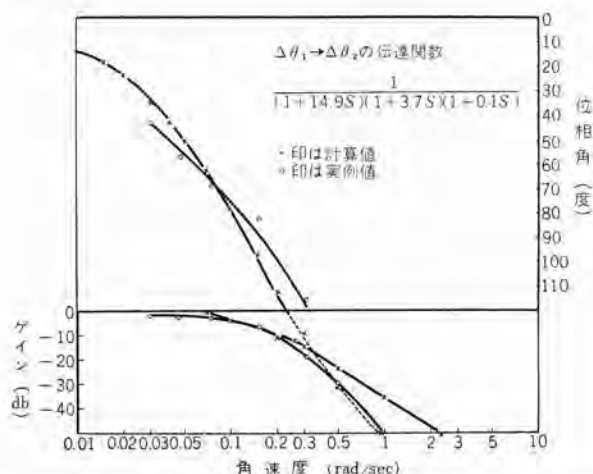


図 3.2 水位調整器のボート線図 (図 3.1 の範囲)

Fig. 3.2 Bode diagram of water level regulator.

以上の数値を用いて ボート線図を作ると図 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_{Lq} , Φ , $Z_{mag} + Z_{mot}$ 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 ルーラ 伝達関数から ゲイン 余裕を求めると、-45 db, 位相余裕を求めると、79°30' となり、やや安定に過ぎ、かつ応答度がおそい。

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ドレス調速機である。

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ーン開度を 20 % (無負荷開度) とし急にウキを離してガイドベーンを開かせた場合

(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ーン開度を 100 % (全負荷開度) とし急にウキを離してガイドベーンを閉じさせた場合の両方について

a. ガイドベーン 全閉 ↔ 全開時間 53.5 秒

ランナベーン 全開時間 37 秒 全閉時間 35 秒

b. ガイドベーン 全閉 ↔ 全開時間 53.5 秒

ランナベーン 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、

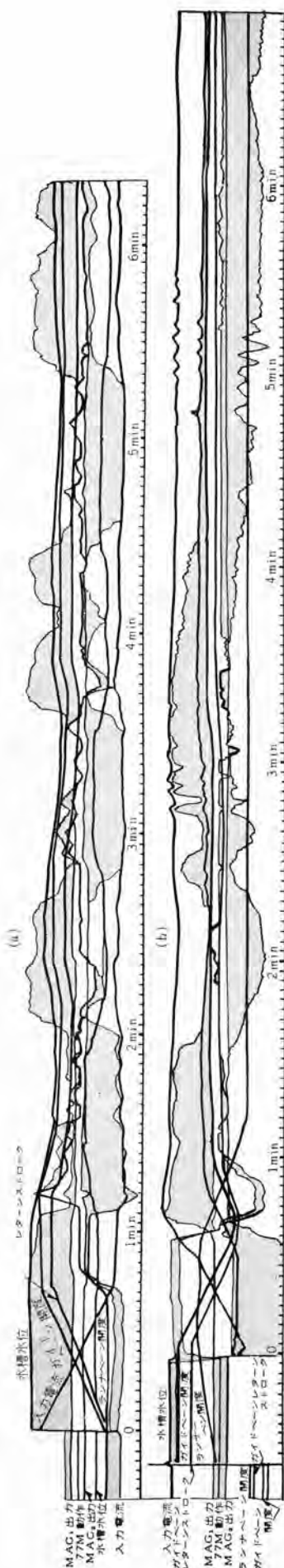


図 4.2 過渡応答試験記録
Fig. 4.2 Indicial response test record.

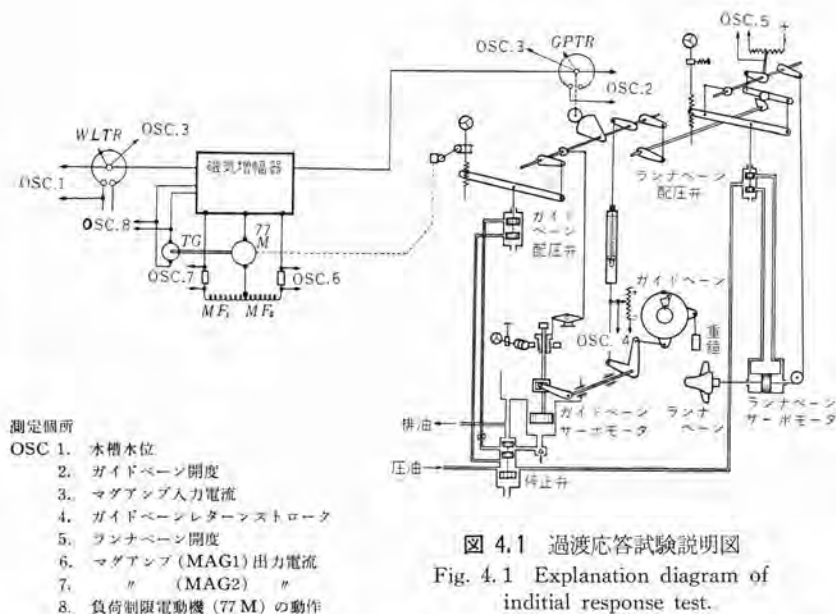


図 4.1 過渡応答試験説明図
Fig. 4.1 Explanation diagram of indicial response test.

ガイドベーン開度、磁気増幅器入力電流、ガイドベーンレターンロッドの動き、ランナベーン開度、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 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 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ベ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

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ベ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ベーンが 70% 以上の開度ではランナベーンが急速にしかもガイドベ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ベ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オ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、城江技師および田畑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 Telemetry Equipment

Electronic Works

Seiichi KITAGAKI・Shigeo UEDA
Shin MUROTA・Naonori TATSUTA

Mitsubishi telemetry 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 telemetry 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⁽¹⁾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⁽²⁾をも取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。

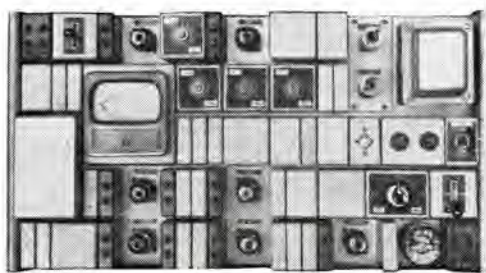


図 2.1 TM-T2 形送量器

Fig. 2.1 Type TM-T2 transmitter.

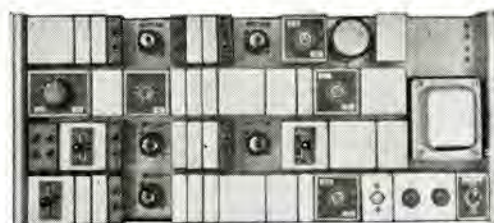


図 2.2 TM-R3 形受量器

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。

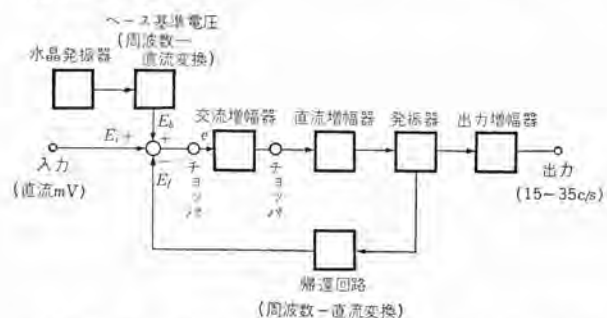
などである。

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



$$e = (E_i + E_b) - E_f, \quad e = \text{誤差電圧}, \quad E_i = \text{入力電圧}, \quad E_b = \text{ベース電圧}, \quad E_f = \text{帰還電圧}$$

図 3.1 送量器のブロックダイアグラム

Fig. 3.1 Block diagram of transmitter.

図 3.1 は送量器のブロックダイアグラムである。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プ、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らなりたっている。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、その微小誤差は直流誤差信号 e となる。この誤差信号はチョップ増幅器で変調、増幅、復調される。すなわちチョップ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プ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プによって同期整流される。

チョップ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レータ形発振器の周波数制御に用いられる。マルチバイブレータの 15~35 c/s の出力は増幅後伝送

系にあたえられる。

マルチバイブレータ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スである。プッシュプルドライブ段はマルチバイブレータ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。このパルスは整流波されて周波数に比例した直流電圧に変換され、チョップ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ス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ス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、飽和トランス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为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ス周波数検出回路、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

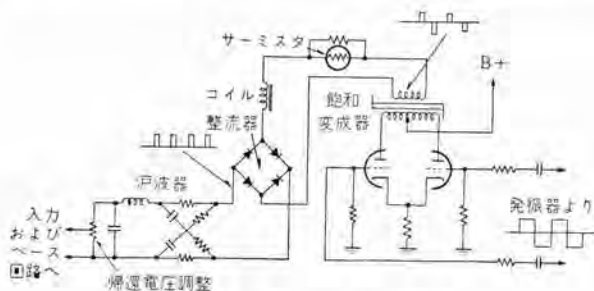


図 3.2 送量器帰還回路

Fig. 3.2 Transmitter feedback circuit.

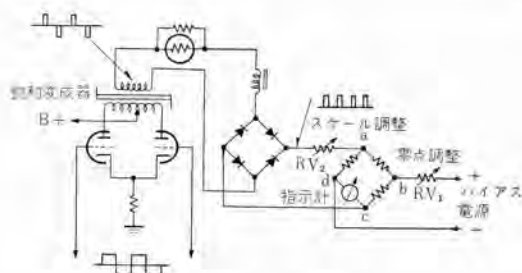


図 3.3 受量器主要回路

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_1 は零点を、 RV_2 はスケールパンを調整する。

受量器飽和トランス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リップル成分による指示計の振動を小さくするために、整流器のあとに濾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、整流後に濾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り、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プ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

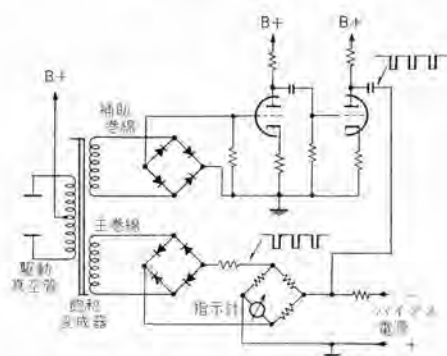


図 3.4 リップル相殺回路
Fig. 3.4 Ripple cancel circuit.

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⁽³⁾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ス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、交流成分だけをとり出し、このリップル電圧を、主出力直流成分に重畳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 $\pm 10\%$ 、周波数変動 $\pm 5\%$ 、温度 $\pm 20^\circ\text{C}$ に対しても上記の精度を保持する。

(2) 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 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ぎのとおりである。

(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 $\pm 10\%$ 、周波数変動 $\pm 5\%$ 、温度変化 $\pm 20^\circ\text{C}$ 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 $\pm 10\%$ 、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 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わせて、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。

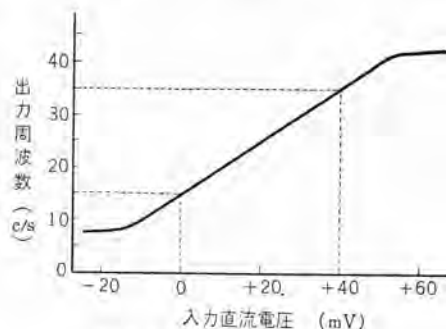


図 4.1 送量器の入出力特性

Fig. 4.1 Transmitter input-output characteristic.

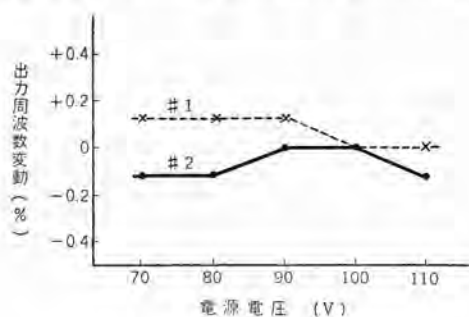


図 4.2 送量器の電源電圧変動特性

Fig. 4.2 Transmitter error for line voltage variation.

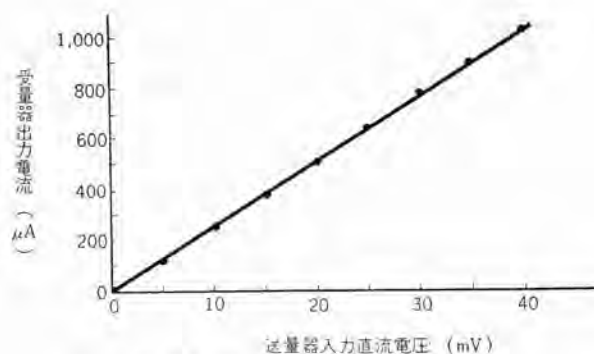


図 4.3 送・受量器総合入出力特性

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、 $15 \sim 35\text{ c/s}$ 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、それについてはあらためて紹介することにした。

最後にこの装置の改良に当たって種々有益な助言を賜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.

AN 3025 (Air Force-Navy Aeronautical Standard Drawing) で寸法、重量および特記事項が定められ、MIL-C-5026B Amendment-2 (Military Specification) で性能および要求条件が定められている。以上二つの規格を満足することがすなわち、認定試験に合格することでの試験の内容を概略記載する。

- (1) 製品検査 寸法は図 2.1 に示したとおりで重量は 2.7 ポンド 以下と外観検査。

図 2.1 は米軍規格そのままを記載したため英文かつインチ 寸法になっている。

(2) 調整

a. 差動電圧

発電機を停止し逆流によって カットアウトリレー が開路した後、発電機を停止させた後発電機電圧が、 18 ± 0.5 V で母線電圧より 0.5 ± 0.15 V 高いときのみ閉路すること。

b. 無電圧母線

母線から蓄電池を除き代りに $100 \pm 1 \Omega$ および 100Ω 以下のすべての負荷を接続し、発電機電圧を上昇させて 24 V 以下で閉路すること。

c. 逆流

母線電圧 28 V を一定に保ち発電機の電圧を低下させ接点を開く直前に流れる逆流を測定し 9~25 A であること。

d. 操作スイッチ

規格に指定された図 2.2 のように接続し周囲温度 71°C で操作回路の全抵抗 0.1Ω 以下とし下記の試験を行なう。

- (a) スイッチを“瞬時”に入れたとき接触器が 18 V 以下で閉路し、7 V 以下になるまで保持していること。
 (b) スイッチを“連続”に入れたとき、正規の動作を行なうこと。
 (c) スイッチを切にしたとき主接触器は開路して発

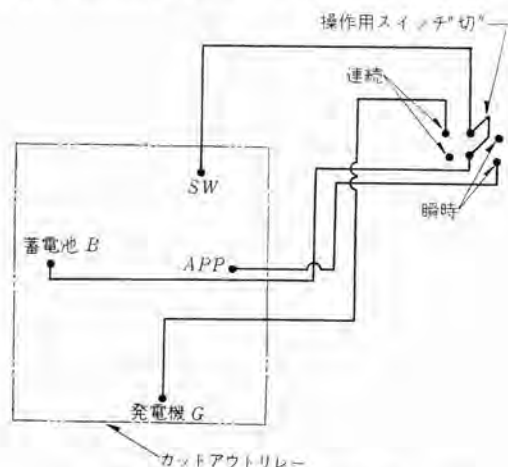


図 2.2 操作スイッチ試験回路
Fig. 2.2 Test circuit of operating switch.

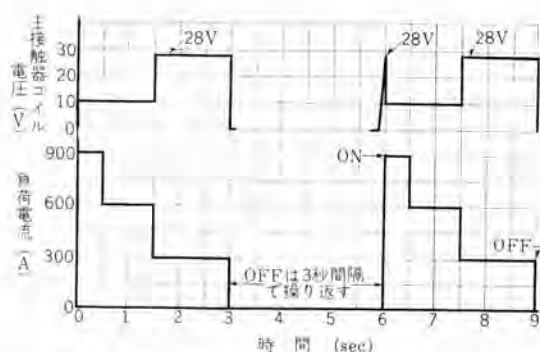


図 2.3 サージロード試験の電流と電圧の関係
Fig. 2.3 Relation between current and voltage in surge load test.

電機を切離すこと。

- (3) 電圧降下 GEN と BAT の端子間に 300 A 通電して 0.1 V 以下。
 (4) 過負荷 600 A を 500 回開閉し電圧降下 0.11 V 以下、かつ調整に合格すること。
 (5) サージロード 図 2.3 の負荷を 5,000 回開閉し電圧降下 0.11 V 以下、かつ調整に合格すること。
 (6) シャ断容量 2,500 A を常気圧と 65,000 フィートの高さに相当する気圧で 30 秒間隔で各 10 回 シャ断し、調整の差動電圧および逆流に合格すること。
 (7) 耐久試験 300 A を常気圧と 65,000 フィートの高さに相当する気圧で、各 5,000 回開閉し電圧降下 0.11 V 以下、かつ調整、絶縁に合格すること。
 (8) 誘導負荷 300 A で誘導回路の時定数 0.006 秒で常気圧と 65,000 フィートの高さに相当する気圧で各 1,000 回開閉し、調整、絶縁に合格すること。
 (9) 発電機界磁欠損による逆流 発電機 4 台と蓄電池 3 台を並列に接続し等価な回路に別に カットアウトリレーを接続した発電機の界磁回路を 1/2 分ごとに開放し、1 時間行ない調整の差動電圧および逆流に合格すること。
 (10) 絶縁 商用周波数で 1,000 V 1 分間耐えること。
 (11) ケース 絶縁 1/2 インチ 立方の銅を 982°C に加熱し、ケースの内面におきそのまま室温になるまで放置し、AC 500 V で 1 分間耐えること。
 (12) 主接触器の開閉速度 APP ターミナルに 28 V を印加し閉路 0.045 秒、開路 0.035 秒以内のこと。
 (13) カットアウトリレーの動作速度 SW ターミナルに 28 V を印加し閉路 0.06 秒、逆流 250 A で開路 0.04 秒以内のこと。
 (14) 低温 周囲温度 -54°C 中に 72 時間放置し調整の差動電圧無励磁母線および逆流に合格すること。
 (15) 高温 周囲温度 71°C 中で 29 V 300 A を 3 時間通電し、調整および絶縁に合格すること。

- (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、相对湿度 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 相对湿度 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、フタを封入し、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。カットア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 パッキン、絶縁板 A が APP, SW, IND 接続用スタッドと 2 本のビョウで取付けられ図 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.

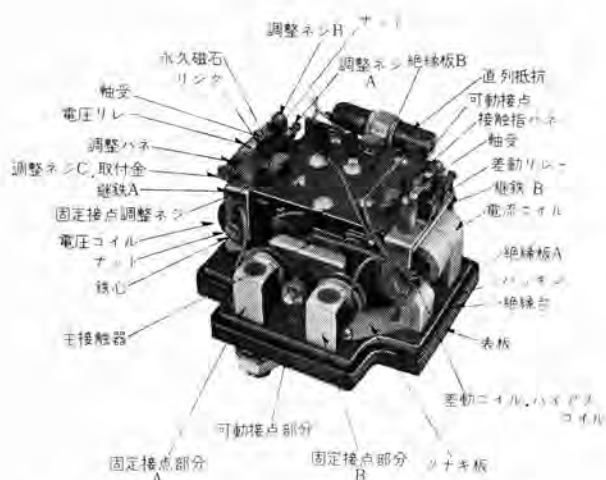


図 3.2 カットアウトリレー AN 3025-300 ケース を取はずした内部構造

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 ツナギ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 が取付き、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をとするため、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 プランジヤ 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っ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っており、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を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

カットア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

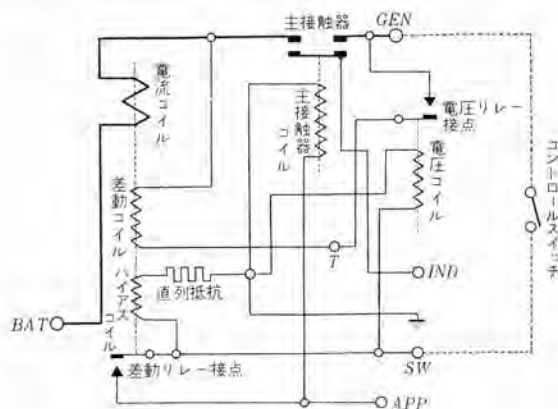
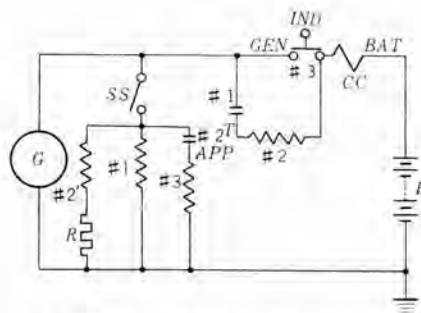


図 4.1 カットアウトリレー 配線図

Fig. 4.1 Wiring diagram of cutout relay.



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 カットアウトリレー 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 ± 0.5 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' と #2 の和動で G 電圧が B 電圧より 0.5 ± 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 9~25 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苛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 のようで少々バラツキは出ているが良好な結果である。

5.2 電圧降下

このリレーに関しては規格で非常に電圧降下がきびし

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)	主接触器投入電圧 (V)	主接触器落下電圧 (V)	過電流 (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
誘導負荷試験後	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
塩霧試験後	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	—
砂じん試験後	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、ツナギ板、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パツツ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な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 絶縁とがある。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ってから 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。

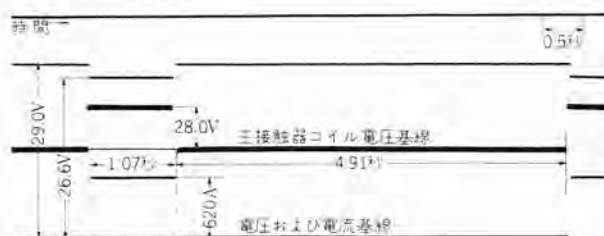


図 5.1 カットアウトリレー AN 3025-300 過負荷試験
Fig. 5.1 Overload test of AN 3025-300 cutout relay.

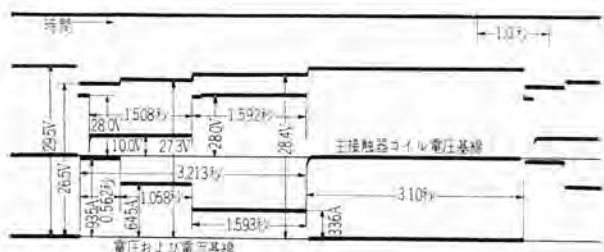


図 5.2 カットアウトリレー AN 3025-300 サージロード試験
Fig. 5.2 Surge load test of AN 3025-300 cutout relay.

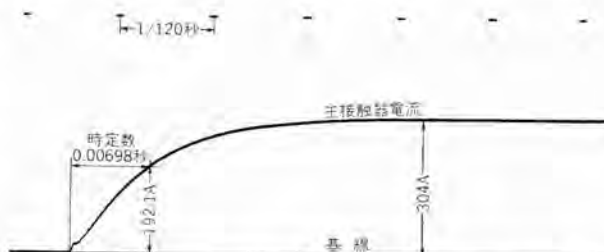


図 5.3 カットアウトリレー AN 3025-300 誘導負荷時定数
Fig. 5.3 Inductive load time constant of AN 3025-300 cutout relay.



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.

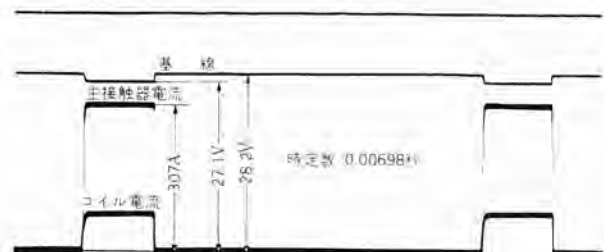


図 5.5 カットアウトリレー AN 3025-300 65,000 フィート 相当気圧における誘導負荷試験
Fig. 5.5 Inductive load test of AN 3025-300 cutout relay at atmospheric pressure corresponding to 65,000 ft.

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。

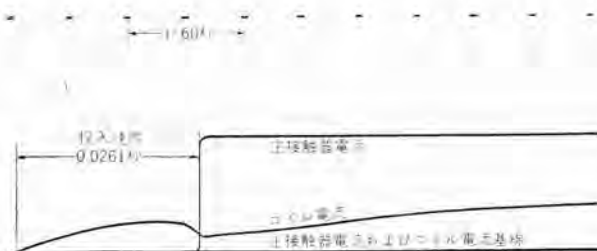


図 5.6 カットアウトリレー AN 3025-300 主接触器投入速度
Fig. 5.6 Main contactor closing speed of AN 3025-300 cutout relay.



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.

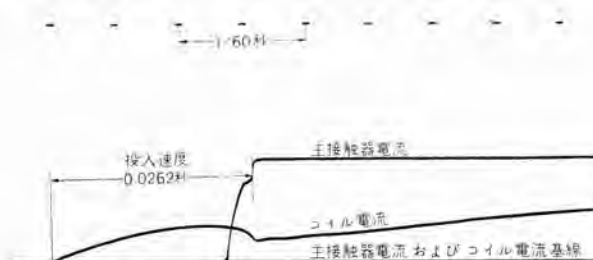


図 5.8 カットアウトリレー AN 3025-300 投入速度
Fig. 5.8 Operating time of AN 3025-300 cutout relay (for closing).

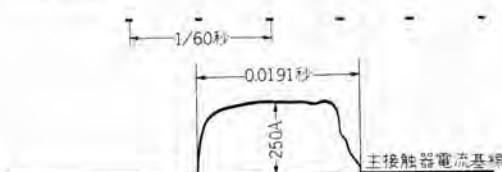


図 5.9 カットアウトリレー AN 3025-300 開路速度
Fig. 5.9 Operating time of AN 3025-300 cutout relay (for opening).

カットアウトリレー AN 3025-300・兼松・都築

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 アーク が切りにくくなるもので、低気圧におけるシャ断について研究された文献もあまりなく解決策に苦しんだ。このシャ断試験は過負荷、サージロ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 アーク 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。このようなの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おり、いかに低気圧のシャ断が苛酷であるかを証明している。

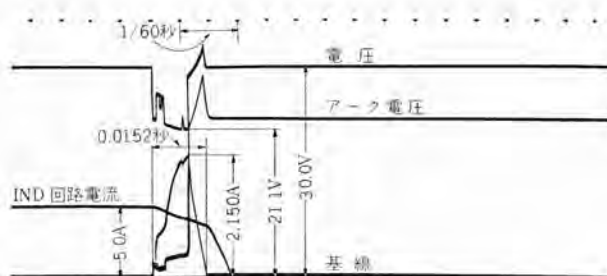


図 5.10 カットアウトリレー AN 3025-300 常気圧におけるシャ断
Fig. 5.10 Interruption at a normal atmospheric pressure of AN 3025-300 cutout relay.

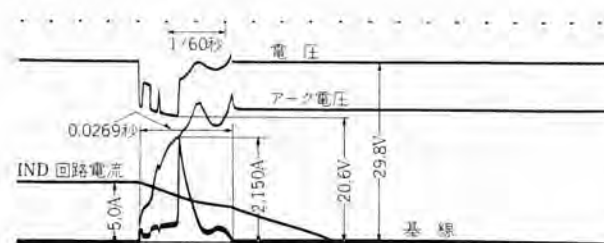


図 5.11 カットアウトリレー AN 3025-300 65,000 フィート相当気圧におけるシャ断
Fig. 5.11 Interruption at atmospheric pressure corresponding to 65,000 ft of AN 3025-300 cutout relay.

5.7 温度試験

低温、高温試験があり周囲温度 $-65 \sim 71^{\circ}\text{C}$ 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 パネ 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 ランブ 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 パラツキ 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眼して改良し、その結果良好になった。この試験は パラックスウェイト 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)	差動電圧 (V)	逆 流 (A)
0	20.52	0.52	21.3	15.1	5	0.54	13.4
10	20.51	0.51	18.6	15	5.1	0.53	15
20	20.51	0.51	22.1	14.2	5.3	0.57	15.4
30	20.48	0.48	22.3	13.8	5.4	0.58	15.4
40	20.52	0.52	21.6	12.4	5.3	0.42	14.8
50	20.4	0.4	19.4	11	5.4	0.43	17.8
55	20.38	0.38	18.6	11	5.4	0.45	17.2

5.10 環 境 試 験

- (1) 砂 じん 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 じん 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 にしたがって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は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 昇・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なはなやかな進歩、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、ブッシング構造の改良、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帯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. 方向性ケイ素鋼帯

巻鉄心に使用する方向性ケイ素鋼帯は、冷延と焼鈍を適当に組合わ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に方向性ケイ素鋼帯の磁気特性を示す。また図2.1および図2.2に方向性ケイ素鋼帯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は方向性ケイ素鋼帯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。方向性ケイ素鋼帯は以上のように非常にすぐれた磁氣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 巻鉄心形柱上変圧器
(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 素鋼帯の磁気特性

種類	厚さ (mm)	鉄 損 (W/kg)				磁 束 密 度 (G)			
		W 10/50	W 15/50	W 10/60	W 15/60	B ₂₅	B ₁₅	B ₂₅	B ₃₀
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

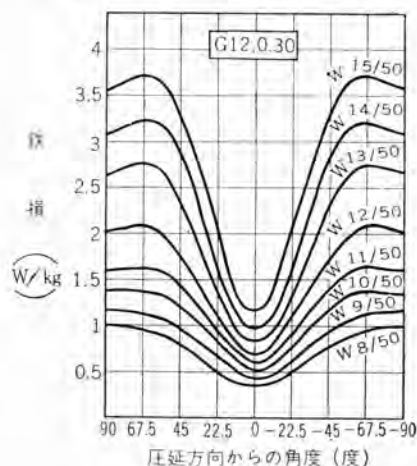


図 2.1 方向性 ケイ 素鋼帯の鉄損の方向性

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

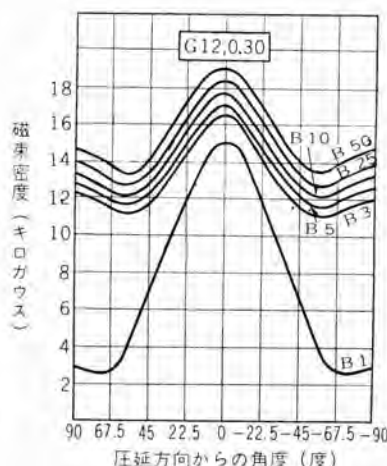


図 2.2 方向性 ケイ 素鋼帯の磁束密度の方向性

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

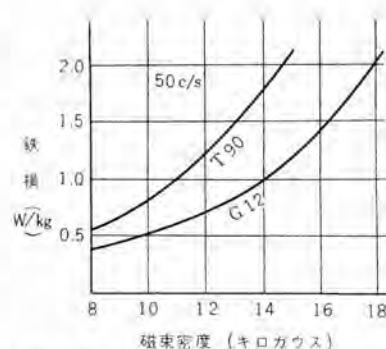


図 2.3 方向性 ケイ 素鋼帯 G12 と熱間圧延 ケイ 素鋼板 T90 の鉄損比較
Fig. 2.3 Comparison of iron loss between oriented silicon steel G12 and hot rolled silicon steel T90.

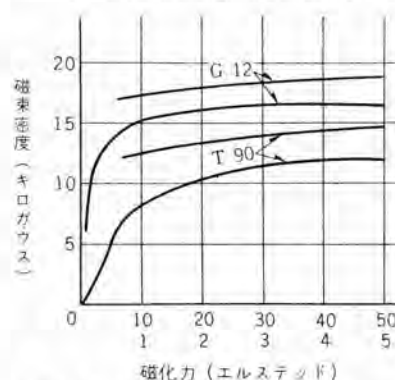


図 2.4 方向性 ケイ 素鋼帯 G12 と熱間圧延 ケイ 素鋼板 T90 の磁化特性比較
Fig. 2.4 Comparison of magnetization characteristic between oriented silicon steel G12 and hot rolled silicon steel T90.

3. 巻鉄心の構造

3.1 巻鉄心の分類

巻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 素鋼帯の特性を十分発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ぎの3種になる。

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

無切断方式には巻線作業後にこれに鋼帯を巻込むものと、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、後者を突合わせ-重ね接合 (butt-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。

巻鉄心の構造はこれまで種々のものが研究され、おの

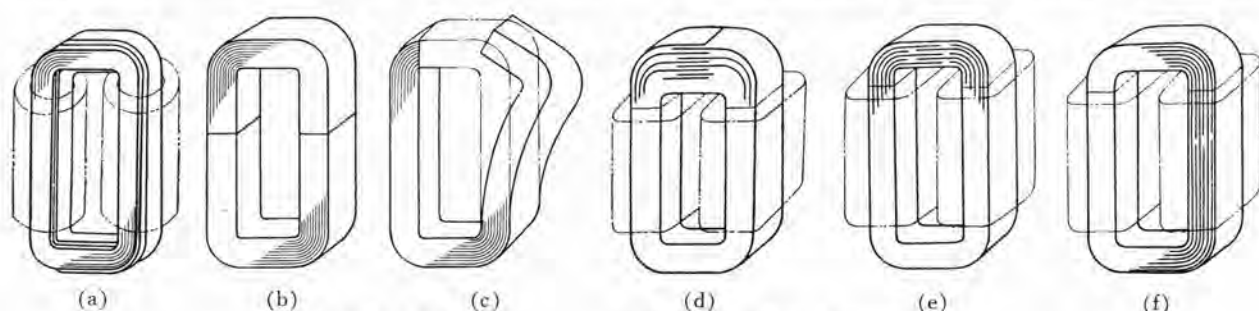


図 3.1 巻鉄心の形式

Fig. 3.1 Types of wound cores.

おの特長を持っている。無切断鉄心は材料の特性をもっ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わせ、鉄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-重ね接合(butt-lap joint)は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 は適当枚数の 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当数の 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 パンド 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。

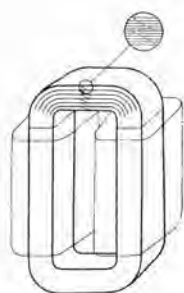


図 3.2 M コアの構造
Fig. 3.2 Construction of M-core.



図 3.3 M コア
Fig. 3.3 M-core.

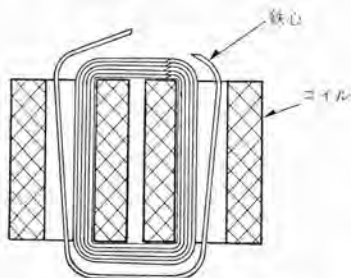


図 3.4 M コアの鉄心と巻線の組立
Fig. 3.4 Type M-core-and-coil assembly.

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。

接着剤を使用してい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. 巻鉄心形柱上変圧器の構造

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。鉄心と巻線の組合わせには、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、巻鉄心形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、鉄心の組合わ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。巻鉄心形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あいがある。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 素鋼帯はヒズミによ

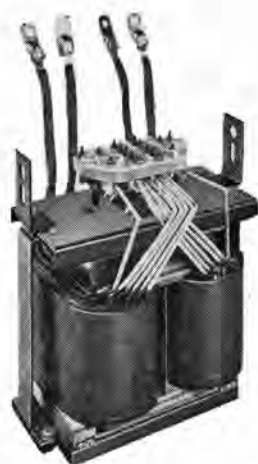


図 4.1 巻鉄心形変圧器
中身組立

Fig. 4.1 Interior construction of wound core transformer.

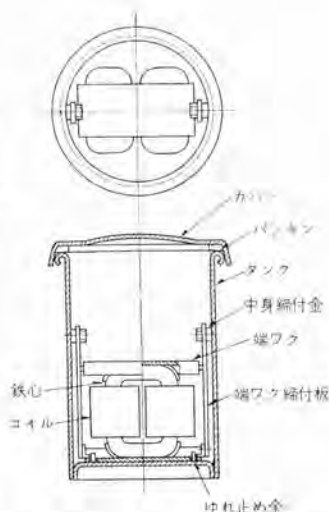


図 4.2 巻鉄心形変圧器中身
および タンク 構造

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



図 4.3 単相 15 kVA 巻
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 巻鉄心
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、構造を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

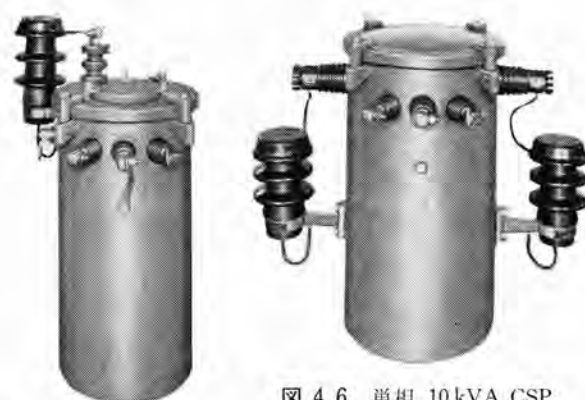


図 4.5 単相 5 kVA
CSP 形変圧器

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碗形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コイ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、鋼板製の特長をもっとも発揮した構造といえる。

5. 巻鉄心形柱上変圧器の特性

前述のように方向性ケイ素鋼帯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巻鉄心形変圧器は、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 JISC 4304 (小形 6 kV 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巻鉄心形変圧器と積鉄心変圧

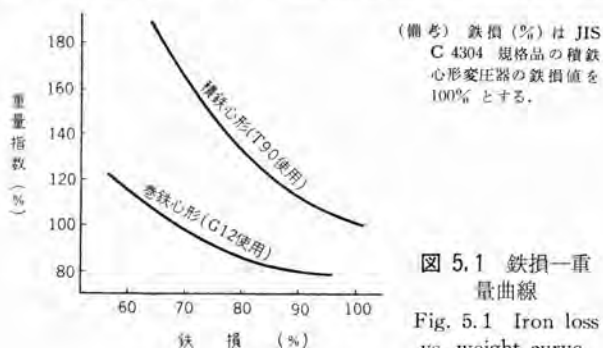


図 5.1 鉄損—重量
曲線

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 を使用したばあいである。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、積鉄心のばあい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うことはできないが、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 素鋼帯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に要する アンペアターン 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 素鋼帯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 50 c/s より 60 c/s のばあいが不利である。

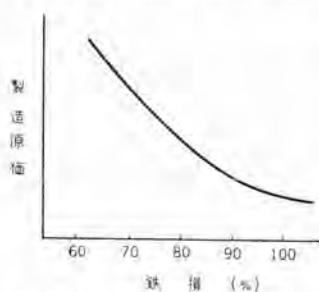


図 5.2 鉄損—製造原価曲線
Fig. 5.2 Iron loss vs. manufacturing cost curve.

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

巻鉄心形柱上変圧器・松井・木野崎



図 6.1 6kV 単相 5kVA 巻鉄心形柱上変圧器
Fig. 6.1 6kV Single phase 5kVA 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 50 c/s

		巻鉄心形 (A)	積鉄心形 (B)	A/B (%)
鉄損	損 (W)	34	48	71
銅効	損 (W)	123	127	
効電	率 (%)	96.95	96.61	
無負	率 (%)	2.47	2.55	
荷電	率 (%)	2.0	7.1	28
重	量 (kg)	82	97	85
油	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 60 c/s

		巻鉄心形 (A)	積鉄心形 (B)	A/B (%)
鉄損	損 (W)	195	252	78
銅効	損 (W)	690	722	
効電	率 (%)	98.26	98.08	
無負	率 (%)	1.4	1.46	
荷電	率 (%)	0.9	2.9	31
重	量 (kg)	319	450	71
油	量 (l)	90	90	100

ず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 50 c/s 巻鉄心形変圧器と積鉄心変圧器の特性および重量の比較を示す。表で見ると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 60 c/s 巻鉄心形変圧器と積鉄心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 素鋼帯の生産がまだ安定してないため、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 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)	
	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/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 (单相)

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)	
	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s
2	95.1以上	95.4以上	3.5以下	3.3以下	12.0以下	10.0以下	32以下	30以下
3	95.7 "	95.9 "	3.1 "	2.9 "	1.0 "	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格規を制定しているが、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 50 c/s は JIS の 65 %, 60 c/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、過負荷シャ断装置を取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、絶縁物の最高温度、したがって巻線の最高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。

$$\theta_{hs} = A + O + C_h \dots\dots\dots (7.1)$$

一定負荷における油の温度上昇

$$O = (O_u - O_i)(1 - e^{-\frac{t}{T_0}}) + O_i \dots\dots\dots (7.2)$$

一定負荷における油に対する巻線最高温度の温度上昇

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

ただし

θ_{hs} : 巻線最高温度 (°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温度の温度上昇 (°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_0 : 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温度の温度上昇値 (°C)

T_c : 巻線の熱時定数 (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巻線の最終温度上昇は、それぞれ変圧器全損失および巻線内損失の約 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巻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、巻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

変圧器の寿命に関係する最高温度は式 (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当である。(1), (2) では負荷条件や周囲温度により保護装置動作時の巻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い。

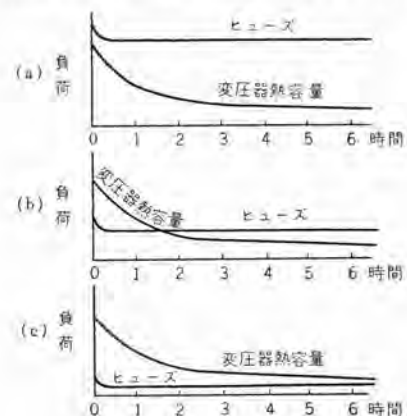


図 7.1 変圧器熱容量とヒューズ溶断特性

Fig. 7.1 Comparison of fuse characteristic with overload 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 6kV 単相 100kVA 巻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 温 度 上 昇	($^{\circ}\text{C}$)	200
巻線温度上昇 (抵抗法)	($^{\circ}\text{C}$)	38
油 の 熱 時 定 数	(h)	48
		2.8

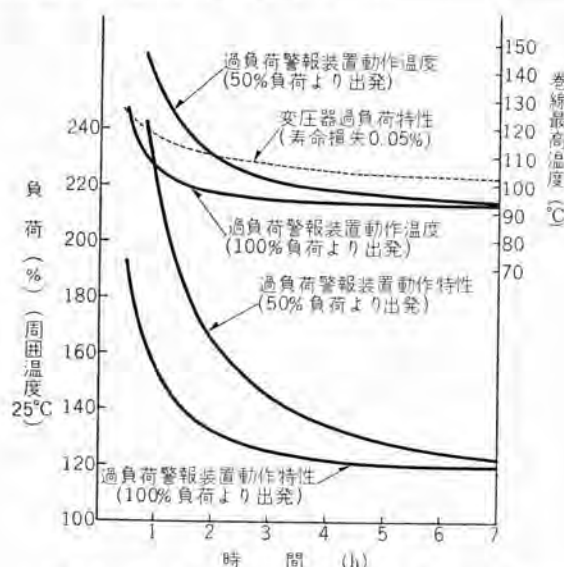


図 7.2 油温で動作する過負荷警報装置の動作特性 — 負荷と動作時間、動作温度との関係 —

Fig. 7.2 Performance curve of overload alarm device, tripped by oil temperature.

—load vs. tripping time and temperature.—

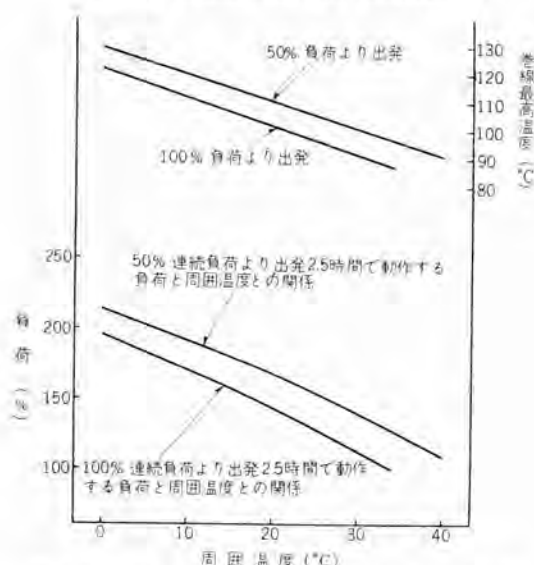


図 7.3 油温で動作する過負荷警報装置の動作特性 — 周囲温度と動作時間、動作温度との関係 —

Fig. 7.3 Performance curve of overload alarm device, tripped by oil temperature.

—ambient temperature vs. tripping time and temperature.—

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が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 巻鉄心形変圧器に油温で動作する過負荷警報装置を取付けたばあいの動作特性を示したものである。一般に当社巻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 $^{\circ}\text{C}$ 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づかしくなり、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油温のみに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すぎ、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 警報装置付単相
75kVA 巻鉄心形柱
上変圧器

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



図 7.5 警報装置付単相
100kVA 巻鉄心形
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

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

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 $C_{hu} \approx B$ 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

$$C_{hu} = C_{ft} P^{2n_c}$$

$$B_u = B_{ft} P^{2n_b}$$

ただし C_{ft} : 定格負荷における油と巻線の温度差

B_{ft} : 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_c : 巻線内損失と巻線温度上昇との関係を示す指数

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数

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

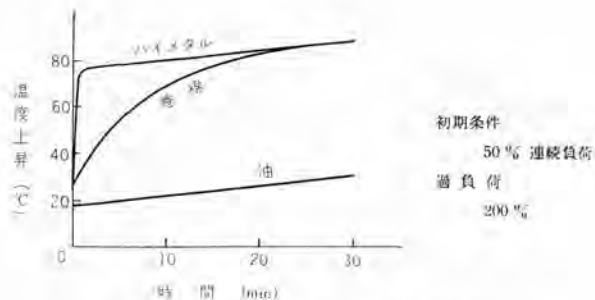


図 7.6 バイメタル と巻線の温度上昇特性

Fig. 7.6 Temperature rise characteristics of bi-metal and coil.

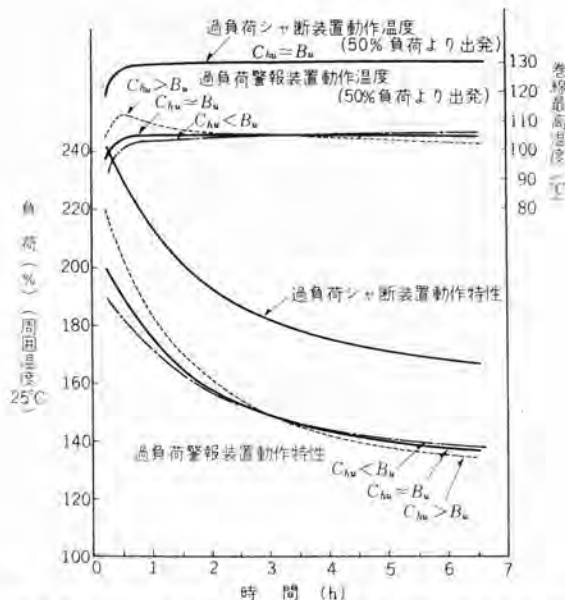


図 7.7 油温と負荷電流により動作する保護装置の動作特性
—負荷と動作時間、動作温度との関係—

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がよい。しかし C_{hu} と B_u と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

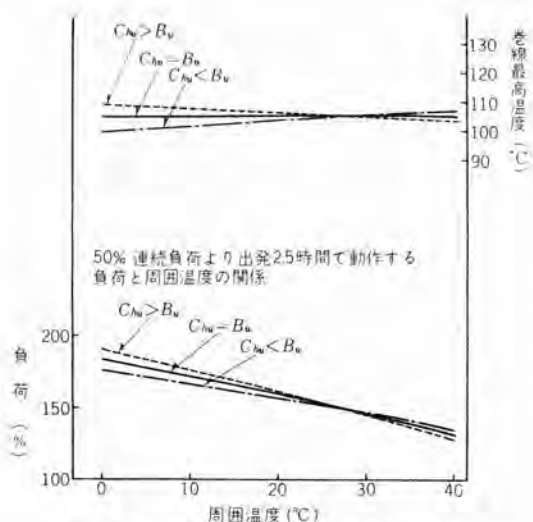


図 7.8 油温と負荷電流により動作する保護装置の動作特性

—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。しかし過負荷シャ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ャ断するので安全である。図 7.9 は図 7.7 で示した過負荷シャ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づかしい問題であるが、現在の規格および警報シャ断装置をそなえているばあいの両者の協調を考慮して

警報装置 巻線最高温度 105°C

警報装置とともに用いるシャ断装置

巻線最高温度 約125~130°C

程度に選ぶのが適当と考える。

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 + 抵抗法による巻線温度上昇 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。シャ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な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

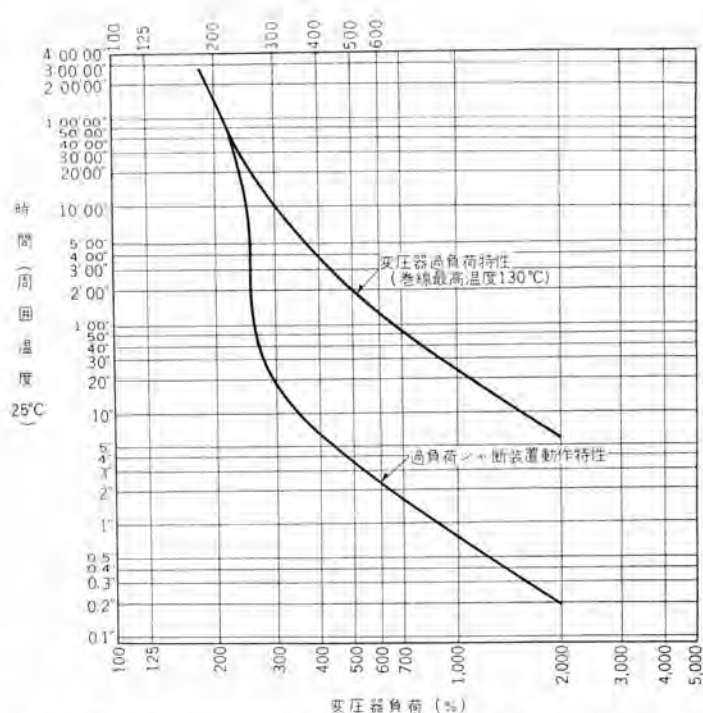


図 7.9 油温と負荷電流により動作する保護装置の短時間動作特性

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変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ぼ満足する。警報装置を併置しているばあいは警報装置とシャ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なくなり、警報装置の効用がうすれるので 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: C57.92 (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要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化しないこと、(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、

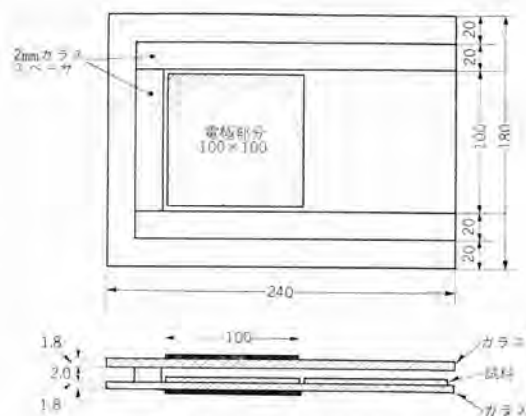


図 2.1 IEC の試験電極

Fig. 2.1 Proposed IEC test cell for corona aging.

まず現在までに提案され、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) ボイドコロナ法、(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、コロナを局部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⁽¹⁾。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受けさせる。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

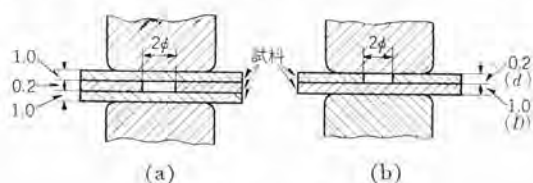


図 2.2 ボイドコロナ用試験電極

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⁽²⁾、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⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

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⁽⁶⁾⁽⁷⁾、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⁽⁸⁾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⁽⁴⁾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。

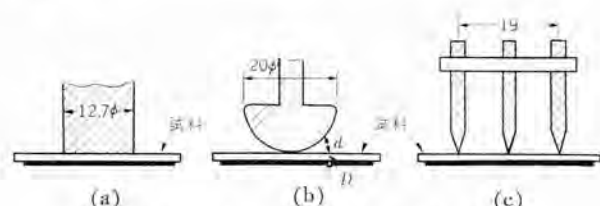


図 2.3 直接法による試験電極の一例

Fig. 2.3 Example of direct electrode methods.

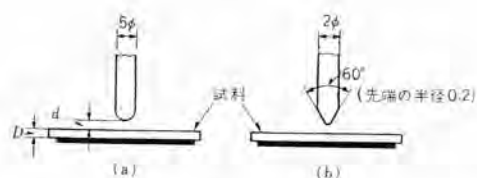


図 2.4 集中法試験電極

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⁽⁹⁾が、また (b) は筆者らが用いている電極である⁽¹⁰⁾。

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 ϵ 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であるので、 $d \gg D/\epsilon$ の条件を満足させ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がないので、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。

ポイドコロナ法では、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) のような人工ポイドを作ったときと、ポリエチレン製造中自然にできたポイドとについて各種の実験を行ない、ポ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、およびポイド中に放電を起させておくとポ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⁽³⁾。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⁽⁴⁾、さらに E. C. Rogers 氏⁽⁵⁾は、ポイドの直径と、ポイドの深さとをいろいろに変えて放電の安定性を調べ、ポ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、この原因はやはりポ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、このようにポ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 のマイラを試料として、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 4×10^{-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カ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。

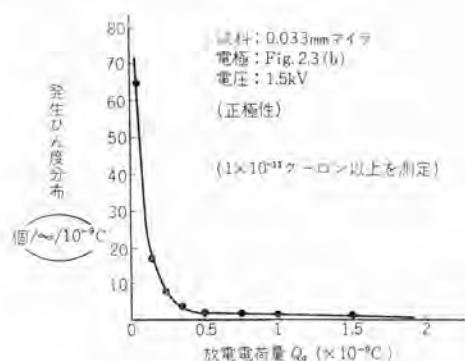


図 2.5 直接法電極による コロナパルス 発生分布の一例

Fig. 2.5 Typical charge distribution curve of corona pulse obtained by direct electrode method.

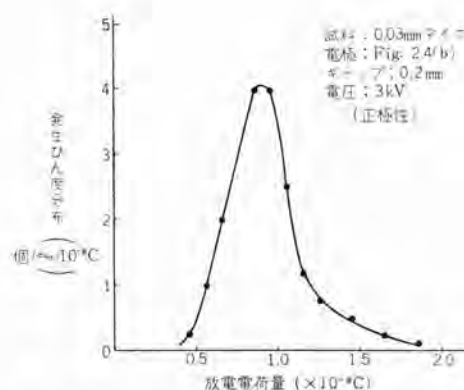


図 2.6 集中法電極によるコロナパルス発生分布

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、何ター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可能である。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⁽⁸⁾。

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⁽¹¹⁾、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、試料両端には瞬時的に δv 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 Qa とすると、



図 3.1 コナ測定回路

Fig. 3.1 Schematic diagram of corona measurement circuit.

$$\delta v = \frac{Q_a}{C_x + \frac{C_0 \cdot C_d}{C_0 + C_d}} \quad \dots (3.1)$$

となる。このとき検出抵抗 R_d 両端には

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

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 などによって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～数 μs 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

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

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

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

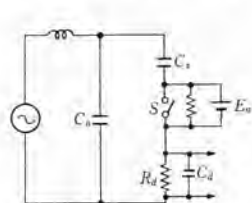


図 3.2 直列校正回路

Fig. 3.2 Series calibration circuit.

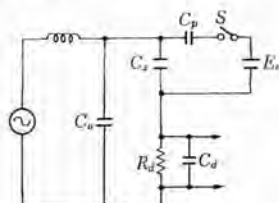


図 3.3 並列校正回路

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_a と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 $V_a/V_0 = n$ 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

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

となり、また図 3.3 の並列校正法では

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

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

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

なる関係が成立するので⁽⁵⁾、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_a 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、従来はシュミ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るが、われわれは 1 チャン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る。そのブロック図は図 3.1 に示したとおりで、この装置を図 3.4 に示す。図 3.1 で、高域濾波器と減衰器を通ったコロナパルスは広帯域増幅器 (2 Mc まで 70 db) で増幅され、その出力はゲートスライサで電源の半リサイクルに相当する区間だけをカットされる。ゲートスライサは、パルスのはね返りによる計数の誤差を除き、また内部コロナと外部コロナの分離測定にも利用される。波高分析器は、図 3.5 の動作説明図に示すように、コロナパルスの波高値があるチャンネル幅の間にある大きさのものが通過整形されて計



図 3.4 コロナパルス測定器
Fig. 3.4 View of corona pulse counter.

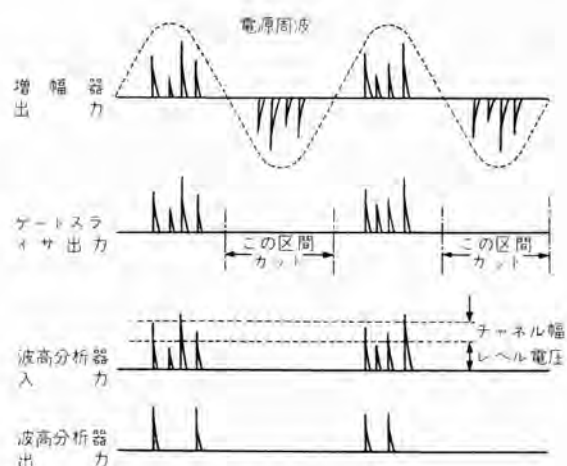


図 3.5 動作説明図

Fig. 3.5 Schematic representation of wave form at each step.

数装置にはいる。このチャンネル幅の大きさは可変で、希望する大きさにチャン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。なお増幅器内には極性変換器を自蔵し、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、波高分析器のチャンネル幅を、検出抵抗両端に換算した値でたとえば 5 mV に設定し、レベル電圧の値を 5 mV ごとに变化してコロナパルス进行数すれば、コロナの大きさを 5 mV 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 1.5 mm のタングステンの先端をとがらせたもの、(c) は直径 2 mm の

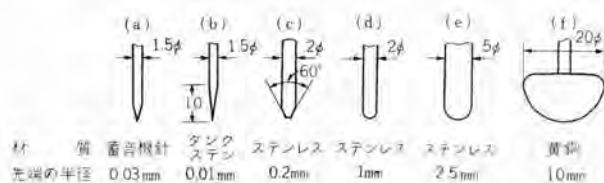


図 4.1 集中法試験のための各種上部電極

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 0.2 mm 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。すなわち図 4.1 (a) を 0.03 R 蓄音機針; (b) 0.01 R タングステン針; (c) 0.2 R ステンレス; (d) 1.0 R ステンレス; (e) 2.5 R ステンレス; (f) 10 R 黄銅)

試料として厚さ 0.033 mm 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 $0.2\sim 0.5\text{ mm}$ 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、また空隙長 0.2 mm 、印加電圧 2.5 kV (600 c/s) で寿命試験を行ない、寿命試験中コロナ強度の時間的变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 0.033 mm 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 $25\sim 29^\circ\text{C}$)、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

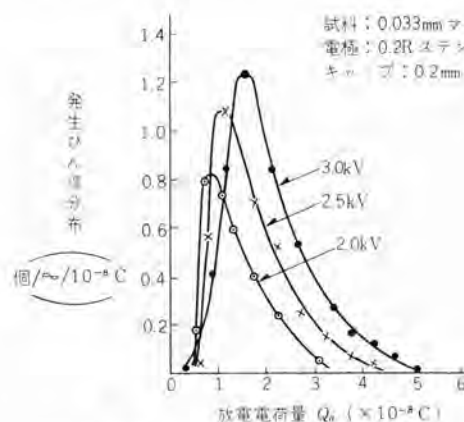


図 4.2 正極性コロナパルス分布の一例

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

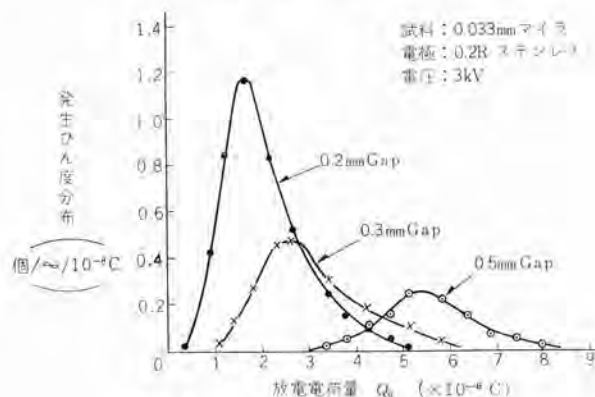


図 4.3 正極性コロナパルス分布の一例

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、コナ 開始電圧の約 2.5～3 倍以下の試験電圧が、耐 コナ 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

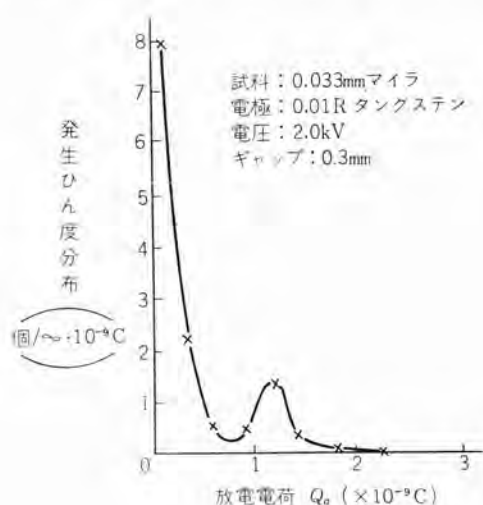


図 4.4 負極性 コナパルス の分布の一例

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 コナ は、一般に正極性 コナ 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 蓄音機針および 0.01 R タングステン 針電極以外の電極では、正極性 コナ とほぼ似た分布曲線の形状を示すが、0.03 R 蓄音機針および 0.01 R タングステン 針電極の負極性 コナ 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、数多くの小さいコナパルス と、少数の大きなコナパルス 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 コナ の波形とも関連がある。

4.2 コナ波形

図 3.1 の カソードフォア の出力端に シンクロスコープ を接続して、コナ 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

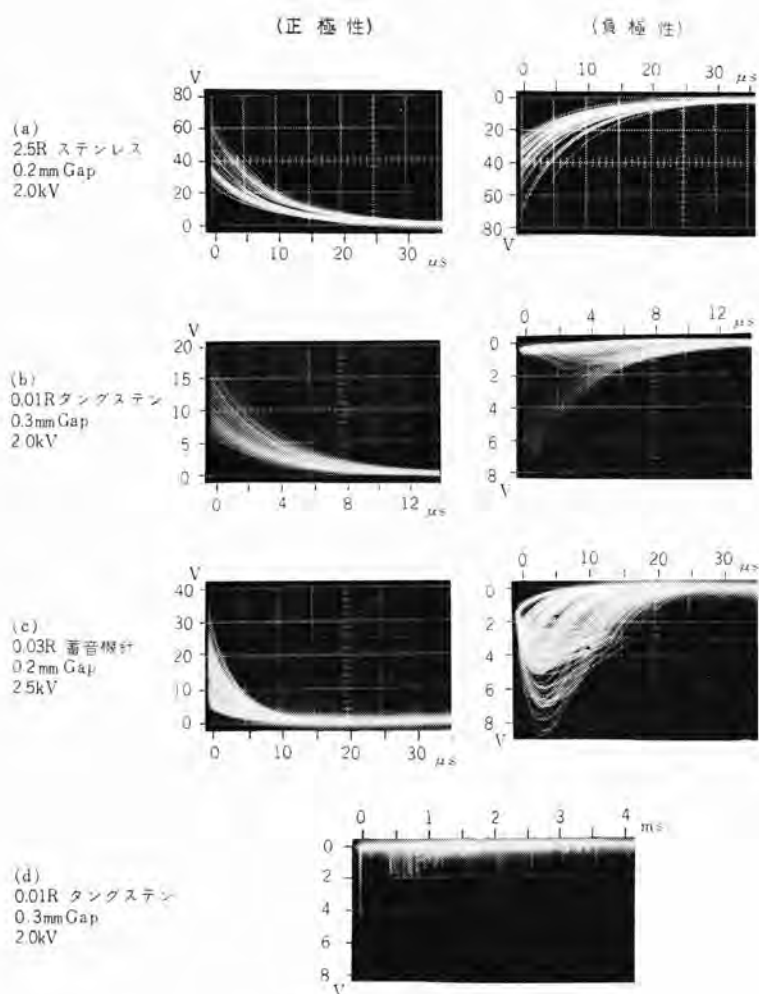


図 4.5 コナ波形

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ナともに図 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つて、式 (3.2) であらわされる波形になるが、0.03 R 蓄音機針および 0.01 R タングステン 針電極では、負極性コナの波形が正極性コナとことなり、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。この原因はコ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、引き続き電源周波数 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 薔音機針を除く他の 5 種類の電極を用いておのおの 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		0.01R タングステン	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
	σ	0.138	0.162	0.293	0.205	0.206
平均電荷量 ($Q_a \times 10^{-9} \text{c}$)	平均	2.03	7.93	13.1	17.6	61.7
	σ	0.18	1.87	4.52	3.01	21.9
発生数 (個/秒)	平均	0.46	2.24	3.80	6.72	30.7
	σ	0.13	1.08	2.48	3.44	23.2
$n \times Q_a$ ($\times 10^{-6} \text{C}$)	平均	9.22	2.75	2.03	2.43	2.86
	σ	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)	平均	13.9	5.51	5.76	4.90	4.16
	σ	1.51	1.46	2.32	1.48	1.89
1 サイクル中の 放電エネルギー (10^{-6}J)	平均	1.86	2.13	2.27	4.16	15.0
	σ	0.31	0.16	0.55	1.67	3.73
1 サイクル中の 放電エネルギー (10^{-6}J)	平均	0.63	1.10	1.68	2.80	9.40
	σ	0.16	0.24	0.09	0.34	3.59
寿命 (at 600 c/s) (min)	平均	76	56	88	127	63
	σ	11.9	8.3	18.0	25.9	14.3

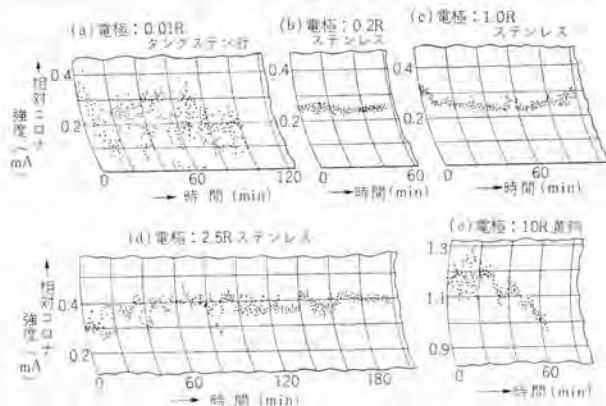


図 4.6 コロナ放電の安定性

Fig. 4.6 Stability of corona discharges.

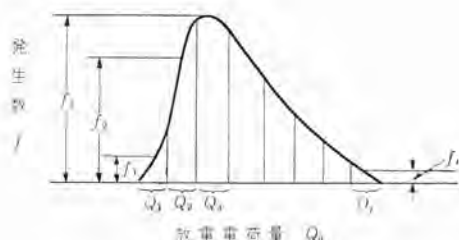


図 4.7 平均電荷量の求めかた

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 タングステン針のばあいのがもっとも低く、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、放電回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多い。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個所に集中しなくなるためであると考え、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 黄銅では放電のコン跡が明らかに数個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 強度の時間的变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グステン 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 タングステン 針や 0.03 R 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って、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 0.2 R 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く、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. IIA, 100, No. 3 (March, 1953).

(3) S. I. 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	サイバック	新 谷 保 次	神 戸
"-4-14	日本電気協会	3.6 kV 300 MVA 300 A センタフローアウト 式新形磁気シタ 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気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きやすくなる。

そこでアンテナを機体表面内に完全に埋込み、機体の空気力学的形状を少しもそこなうことなく、機械的故障も起き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働かせるものと、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⁽¹⁾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

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^{(2)~(4)}、また中形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) の実用化研究をも行なっている。

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働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働かせる方式の埋込み形アンテナは、一般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り付けるといふわけには行かない。

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かせる以外に方法がない。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実際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) 帯を主として考えると、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わせを上手に用いると、機体を能率の良い輻射体として働かせることが原理的には可能となる。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るような機体励振方法を考案することが、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づ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っ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⁽⁵⁾。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法をもつよう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変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

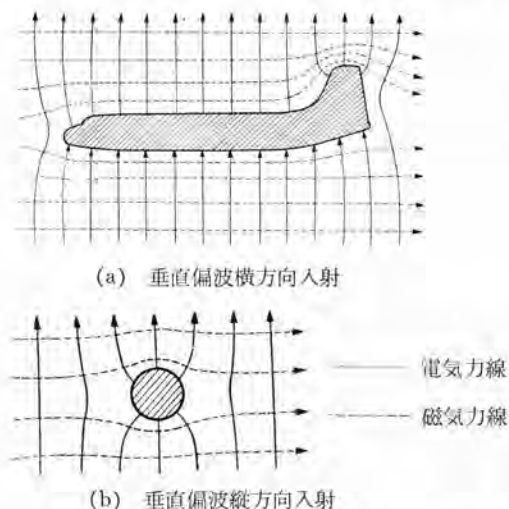


図 III. 1.1 機体近傍の準静電磁界

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*⁽⁵⁾ と呼ばれるものである。Douglas DC-6A についての測定結果⁽⁶⁾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、いま考え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⁽⁶⁾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、単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 センサアンテナのように、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⁽³⁾。Douglas DC-4 についての測定結果⁽⁶⁾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、強度は変っても方向は変

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)⁽⁷⁾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^{(5)~(7)}がよい。これは

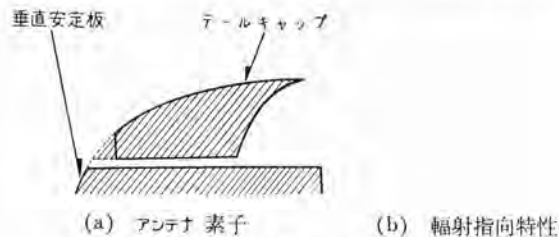


図 III.2.1 ロラン 用 テールキャップアンテナ⁽⁷⁾
Fig. III.2.1 A tail-cap antenna for loran system⁽⁷⁾.

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)⁽⁷⁾ 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畳の結果と考えることができる。

2.2 空洞アンテナ

ADF センサ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⁽⁸⁾が用いられる。

この種のアンテナは頂部負荷ユニポール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⁽⁸⁾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⁽⁶⁾⁽⁸⁾。

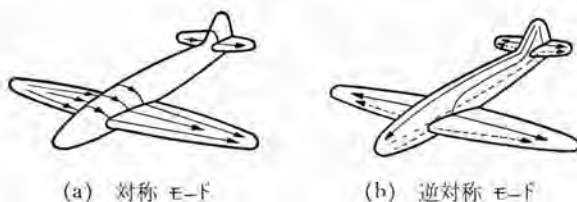
IV. 機体主要寸法と同程度の波長領域のアンテナ

周波数がほぼ 2 Mc から 30 Mc 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形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氣的共振現象を調べる必要がある。

1. 機体の電磁氣的性質

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⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。しかし根本的には、一般航空機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⁽⁶⁾、それぞれのモードの性質を調べることによって、機体の電磁氣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って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



(a) 対称モード

(b) 逆対称モード

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ブローおよび電流ループと対応させることができる⁽¹¹⁾。電圧ブローに相当するものはキャップアンテナ (cap antenna)⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾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ャントアンテナ (shunt-fed antenna)⁽⁶⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾およびノッチアンテナ (notch-fed antenna)⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾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、磁氣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。すなわち指向特性の一般的性質は、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、対称モー

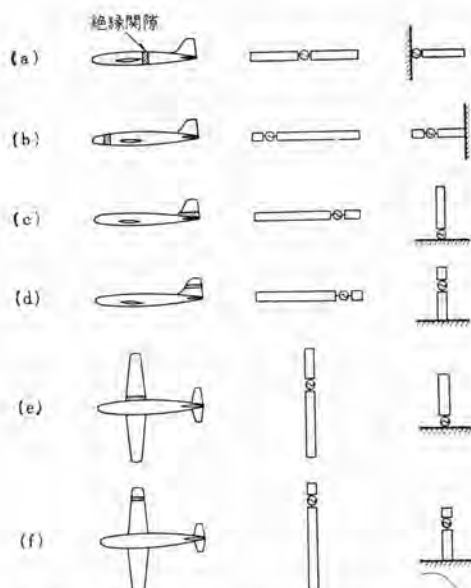


図 IV.2.1 原理的に可能な直列給電励振方法と、等価的ダイポールあるいはユニポールアンテナ

Fig. IV.2.1 Theoretically possible methods of series feed excitation and equivalent dipole or unipole antennas.

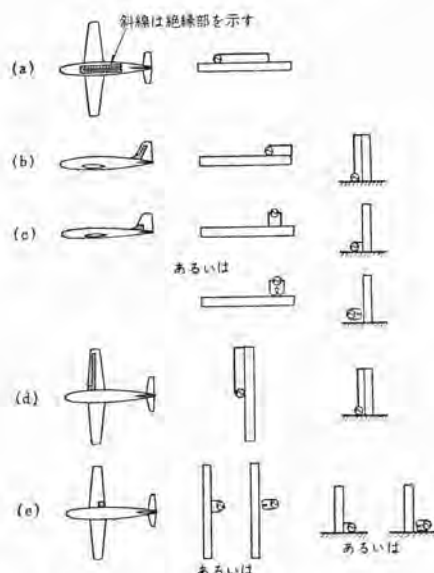


図 IV.2.2 原理的に可能な並列給電励振方法と、等価的ダイポールあるいはユニポールアンテナ

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両モードの重畳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⁽⁶⁾⁽¹⁷⁾。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⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾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せう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

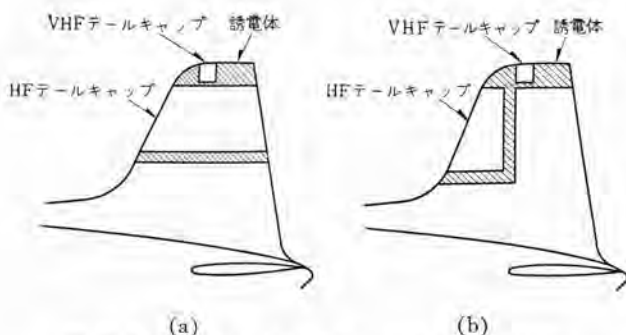


図 IV.3.1 中形輸送機の HF および VHF 通信用
テールキャップアンテナ

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。前者は電氣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氣的利点、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、電氣的には、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 底部よりも頂部のほうが、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 シナヘイ 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、機体を磁氣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⁽¹¹⁾。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って、これは純サセプタンスである。 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 は純サセプタンス 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

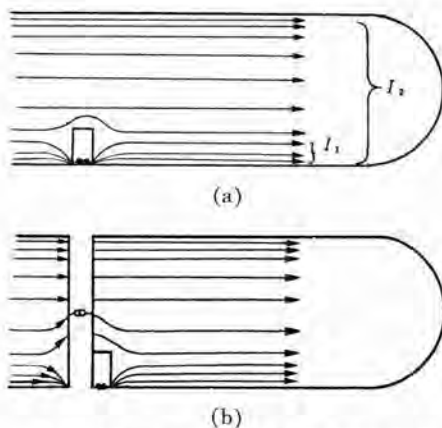


図 IV.4.1 ノッチアンテナ とその電流分布⁽¹¹⁾

Fig. IV.4.1 Notch-fed antenna and its current distribution⁽¹¹⁾.

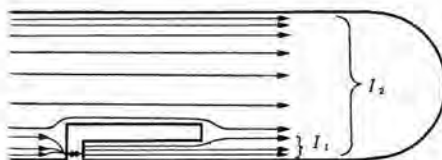


図 IV.4.2 シャントアンテナ とその電流分布⁽¹¹⁾

Fig. IV.4.2 Shunt-fed antenna and its current distribution⁽¹¹⁾.

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⁽¹¹⁾。

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って、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⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾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⁽¹³⁾。アンテナ構造物および給電線の損失を無視す

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はすでに若干の計算例⁽²⁰⁾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と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⁽¹³⁾⁽²¹⁾。

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. 機体の電磁氣的性質

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、すでに節 4.2 で述べた

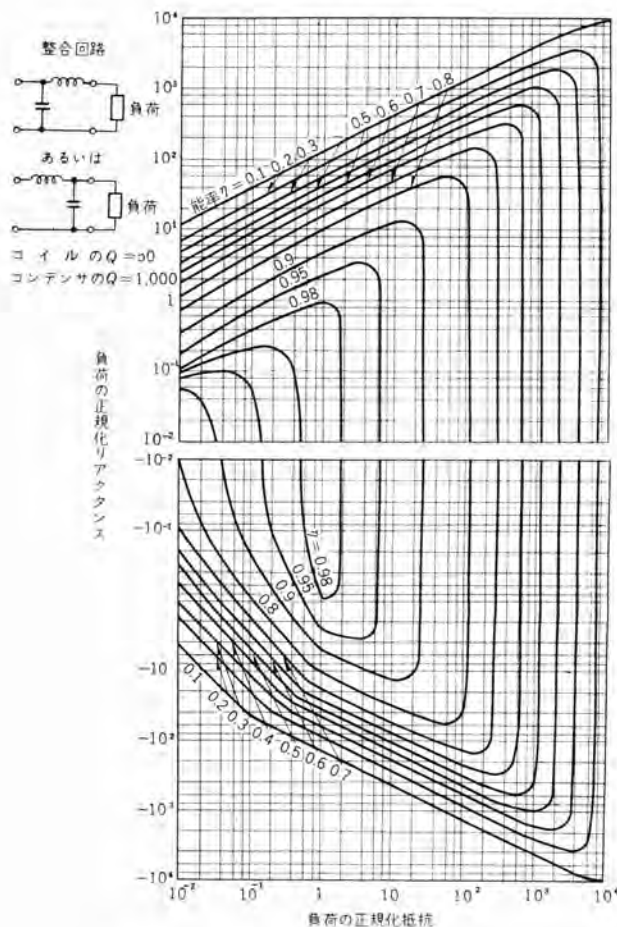


図 IV.5.1 インピーダンス整合回路電力伝達能率

Fig. IV.5.1 Power transfer efficiency of impedance matching circuit.

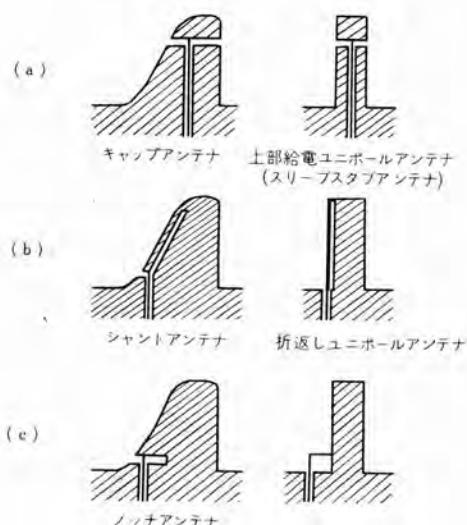


図 V.2.1 原理的に可能な垂直尾翼励振方法と、等価的 ユニポールアンテナ

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^{(2)~(4)(6)(12)(22)(23)} 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 スリプスタブアンテナ 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⁽²⁴⁾ 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⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾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

高速航空機用埋込み形アンテナとその諸問題 (1)・喜連川・武市

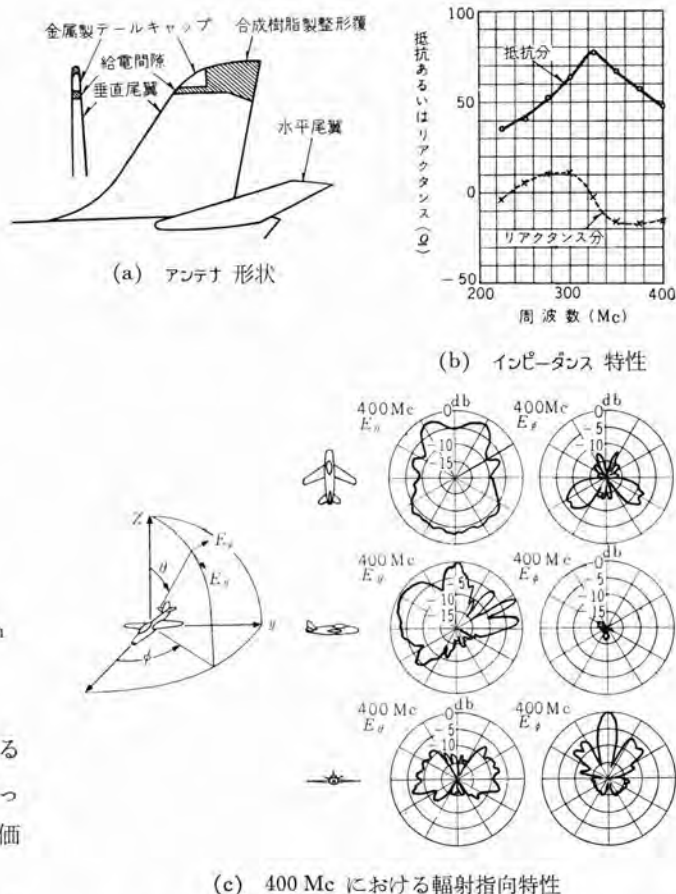


図 V.2.2 国産 ジェット 機の UHF 通信 (225~400 Mc) 用テールキャップアンテナとその電気的特性^{(2)~(4)}

Fig. V.2.2 The tail-cap antenna of the home-built jet plane for UHF communication (225~400 Mc) and its electrical characteristics^{(2)~(4)}.

用化に成功した既報の テールキャップアンテナ^{(2)~(4)}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.

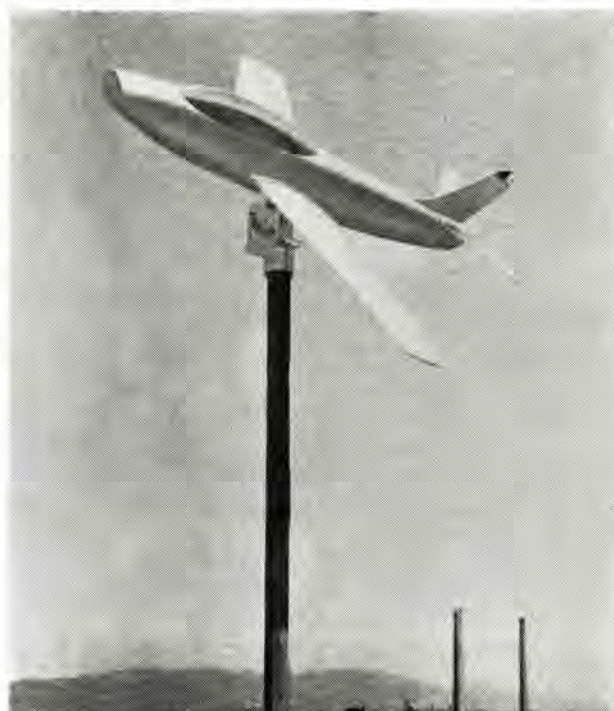


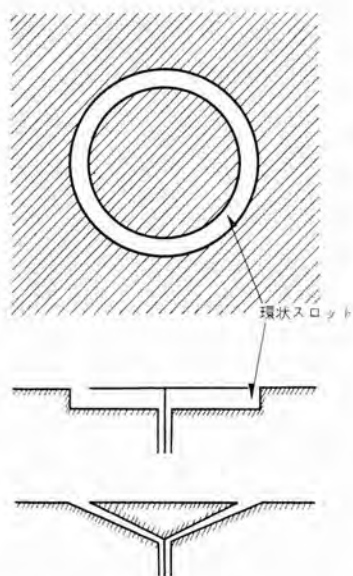


図 V.2.4 VHF テールキャップアンテナ 輻射指向特性測定中の中形輸送機 20 分の 1 縮尺模型

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 ± 5 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



(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.

のようなアンテナ素子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 帯垂直偏波水平面内無指



(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.

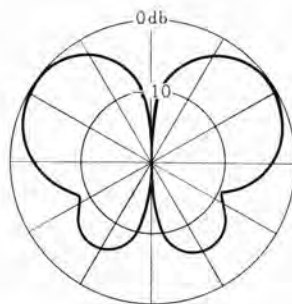
向性アンテナとして、従来もっとも広く使用されてきたユニポールアンテナ (スタブアンテナ) すなわち マスト (mast) 形、ホイップ (whip) 形、刃 (blade) 形アンテナなどに直接代る埋込み形アンテナがこの環状スロットアンテナ (annular slot antenna)^{(27)~(30)} であって、その原理図を図 V.2.5 (a) に示してある。垂直偏波水平面内無指向性を得るには、このスロットに最低次モードの電界を励振すればよく、スロット平均直径が約半波長以下の場合には、輻射指向特性は普通の 4 分の 1 波長ユニポールアンテナのそれとほとんど同じである。

通信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⁽³¹⁾。

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、その影響を受けないという原理に基づいている⁽⁶⁾。

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⁽⁶⁾である。

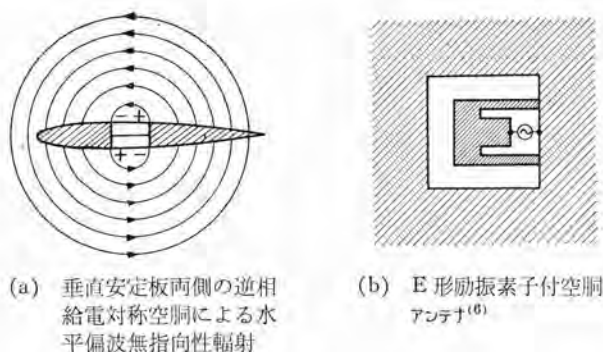


図 V.2.7 VHF オムニレンジ用埋込み形水平偏波無指向性アンテナ
Fig. V.2.7 Flush-mounted antenna having horizontally polarized omnidirectional coverage for VHF omni-range.

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けばよ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⁽⁸⁾⁽³²⁾⁽³³⁾。

高速航空機用埋込み形アンテナとその諸問題 (1)・喜連川・武市

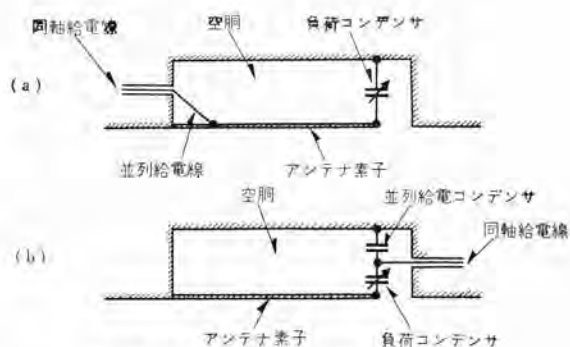


図 V.3.1 マーカビーコン用空洞アンテナ⁽³⁴⁾
Fig. V.3.1 Cavity antennas for marker beacon⁽³⁴⁾

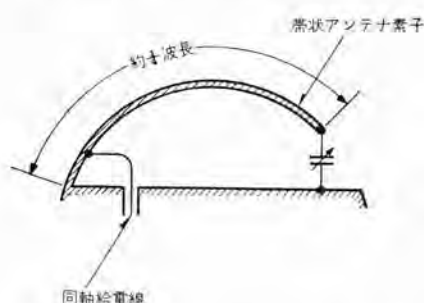


図 V.3.2 グライドスロープ用 curved bath tub 用アンテナ⁽³⁵⁾
Fig. V.3.2 A curved bath tub antenna for glide slope⁽³⁵⁾

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⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾。図 V.3.1 はマーカビーコン用アンテナの実例⁽³⁴⁾であり、図 V.3.2 はグライドスロープ用アンテナの実例⁽³⁵⁾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、以上のほ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、沈積空電雑音などが他の一般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からである。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従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. J. 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 Irtimeter 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 kg/cm^2 which is 12.5 times the limited load of 0.52 kg/cm^2 and 8.3 times the ultimate load of 0.78 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ので、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テ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

ことはもちろんであるが、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⁽³⁾および⁽⁴⁾に記してある。



図 2.1 日本電信電話公社納入 4,000 Mc パスレングス レンズアンテナの前面板

Fig. 2.1 Front panel of 4,000 Mc path length lense antenna.

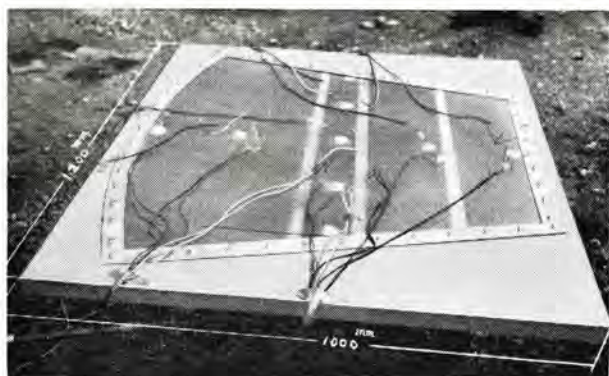


図 2.2 開口径 4 m のホーンレフレクタアンテナの前面板の破裂試験
Fig. 2.2 Breaking test of the front panel of horn reflector antenna.

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京一名古屋一大阪 4,000 Mc マイクロ波超多重中継線に納めたパズレンズ 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

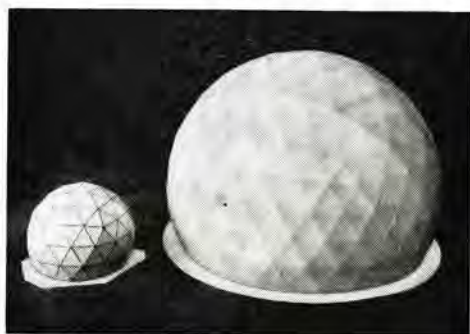


図 2.3 レーダアンテナとともに電子装置全体を収容する地上大形ラドームの模型

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 レーダ用薄皮サンドイッチラドーム
Fig. 2.4 Thin skin sandwich radome for 5,300 Mc radar.

らせるとともに、60 m/sec の風に耐えるように円筒状に湾曲させて強度をもたせてある。昭和 28 年 10 月電気通信研究所に納めたマイクロ波伝播試験用狭ビームアンテナの前面板もアクリル酸樹脂板であった。これらについては後掲の既報論文⁽¹⁾および⁽²⁾に記してあるが、単層薄壁ラドームの設計製作上の諸

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。これらは非常な強度があるのでガラス繊維強化ポリエステル樹脂を用いることにしているが、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⁽⁶⁾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、つぎにいいよ薄皮サンドイ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ドイ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ドイ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ドイッチラドームで、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⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾に記してあるが、薄皮サンドイ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ドイ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⁽⁷⁾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京一新潟および東京ー長野 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

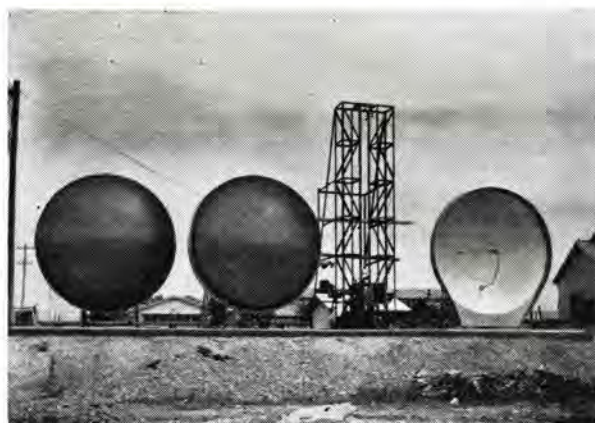


図 2.5 日本電信電話公社横手山中継局納入 4,000 Mc 円偏波パラボラアンテナの金網入り誘電体ラドーム
Fig. 2.5 Metal-mesh embedded dielectric radome for 4,000 Mc circularly polarized parabola antenna.

さ 4.5 mm の ガラス 繊維強化 ポリエステル 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もので、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⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾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



図 3.1 ジェット機機首ラドーム
世田谷製作所の新製品

Fig. 3.1 Nose radome for jet
plane-New product of
Setagaya Works.

射撃用レーダの開口径、高さ×幅が 107×133 mm²、軸長が 220 mm なる楕円錐形の垂直偏波輻射ホ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取入穴の上面に移っている。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ステ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ある。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、機体に取り付けるために、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

ジェット機機首ラドーム・尾島・石黒・前田・喜連川

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⁽³⁾および⁽⁸⁾に記してある。このラドームの破壊荷重は 6.5 kg/cm² で、これは制限荷重 0.52 kg/cm² に対し 12.5、終極荷重 0.78 kg/cm² 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ステ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ない。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ザ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ステル樹脂製品を作っている。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 H₁₁ 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 ϵ	力率 $\tan \delta$	比誘電率 ϵ	力率 $\tan \delta$
25.40×10.160	標準状態	4.2	0.010	4.2 以下	0.020 以下
	24 h 水浸	4.2	0.011	4.4	0.025
25.40×11.430	標準状態	4.1	0.010	4.2	0.020
	24 h 水浸	4.2	0.012	4.4	0.025
25.40×12.700	標準状態	4.2	0.010	4.2	0.020
	24 h 水浸	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⁽⁴⁾に記載のように材料研究のときには ϵ , $\tan \delta$ 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 g/cm^3 と 6.2 および 1.23 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 g/cm^3 および 1.81 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⁽¹⁴⁾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 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 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って 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って、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 $8.38 \pm 0.38 \text{ mm}$ であって、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の試験をして、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-STA-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⁽⁸⁾に記載の方法に従って行なった。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 m とした。供試サンドイッチ構造平面板を受信ホーンの前方約 0.3 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 mm 前後に動かし極大極小受信電力の平均を採り、供試板がないときの値と比較した。

表 4.2 サンドイ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	97.4	96.7	97.3	97.1	入射角 20 度にて 95% 以上
	入射角 20 度	98.0	97.6	98.5	98.0	
	反 射	6.5	4.8	5.2	5.5	な し
	電 圧	0.42	0.23	0.27	0.30	
	直 角 入 射	97	97	(98)	97	入射角 20 度にて 90% 以上
	電力	98	98	(98)	98	

備考 No. 3 のみ前後の比較のため環境試験を行わず。

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。

電力透過率および放射パターン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 以下に整合を採っ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、 λ は波長である。これより距離は 1.1 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 $\pm 1\%$ 以下に押えることになっている。

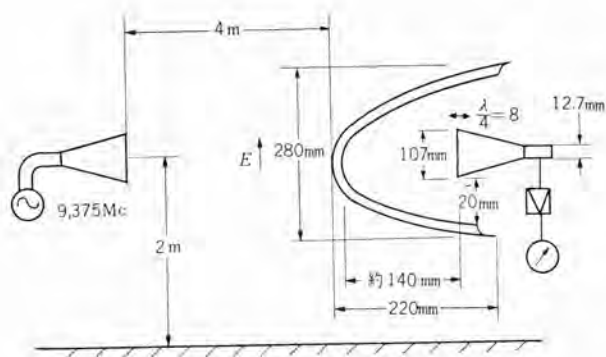


図 4.1 電力透過率の測定配置

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⁽⁴⁾の式 (54) を用いると、

$$l \geq \frac{0.6}{\sqrt{k-1}} \frac{\sqrt{s_f s_r}}{\lambda} = \frac{0.6}{0.1} \frac{\pi \times 5.4 \times 6.7}{3.2} = 2.14 \text{ m}$$

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 の測定のとときには送受間の距離は 4 m、両 アンテナの地上高は 2 m 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	+0~-0.1 db	+1~-2 db
	E 面内	+0~-0.4 db	
主ビーム電力半値幅変化率	H 面	-7.5%	±10% 以内
	E 面	0%	
サイドローブレベルの上昇	H 面右	+2.8 db	-20 db 以上のサイドローブの上昇 +3 db 以下
	H 面左	+2.8 db	
	E 面上	+1.5 db	
	E 面下	-3.3 db	
備	主ビーム電力半値幅	H 面	ラドームなし 20°
		E 面	ラドームつき 18.5°
考	第1サイドローブレベルが -20db 以下故測定不要なれど参考のため測定せり	H 面右	32.5° -33.8 db
		H 面左	32.5° -34.3 db
		E 面上	29° -20.7 db
		E 面下	29° -21.6 db

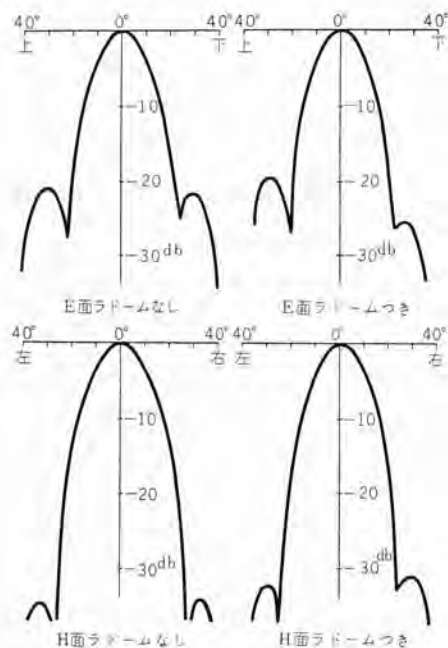


図 4.3 ラドーム装着による輻射パターン のヒズミ

Fig. 4.3 Antenna pattern distortion due to the radome.

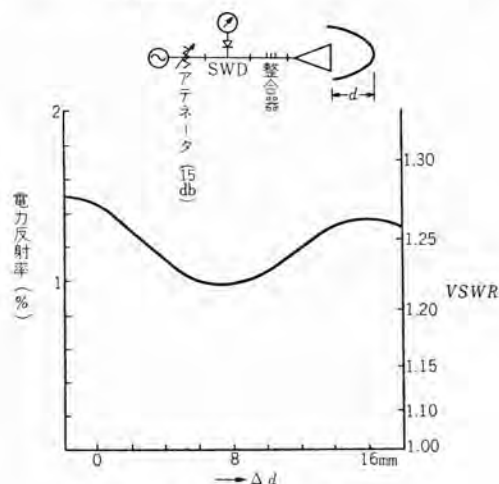


図 4.4 レーダ系に戻る反射波

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ときには サンドイッチ 構造平面板の測定のとときと同様に、距離 21 m 高さ 4.6 m としても測定してみたが、4 m のときも 21 m 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 ポリエステル 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 ポリエステル 樹脂製品を作っているの、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±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 0.76~1.02 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 (kg/mm ²)	29~33	>28
引 張 弾 性 係 数 (kg/mm ²)	1.70×10 ³	—
ポ ア ヅ 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 ハネカム 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 に従っ

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±0.4
表 皮 厚 さ (mm)	0.72~0.82	0.77	0.765±0.127
単位面積の重さ (g/cm ²)	0.368~0.383	0.377	<0.426
面方向引張強さ (kg/cm ²)	29~45	38	> 28
面方向圧縮強さ (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 袋を介して水压により負荷した。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。

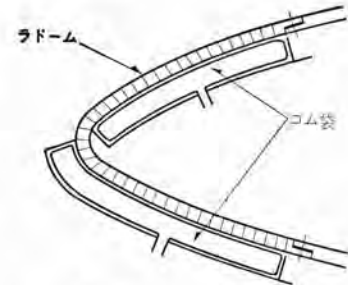


図 5.1 製品の機械的試験法
Fig. 5.1 Method of mechanical test for product.

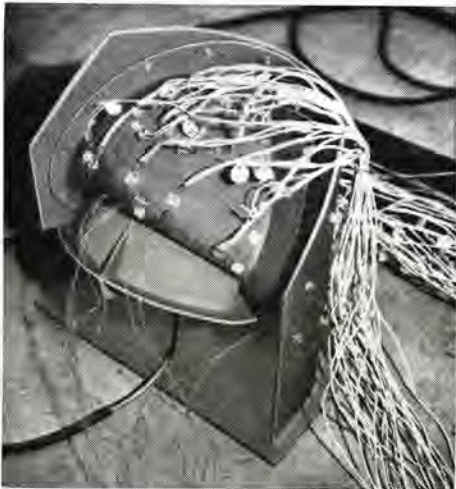


図 5.2 ジェット 機機首 ラドーム 強度試験

Fig. 5.2 Strength test of nose radome for jet plane.

変形量は ラドーム 先端部をダイヤルゲージで測定し、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 kg/cm² とその 1.5 倍の終極荷重 0.78 kg/cm² 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 下	255 μ	3 μ	315 μ	5 μ
前 後	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。

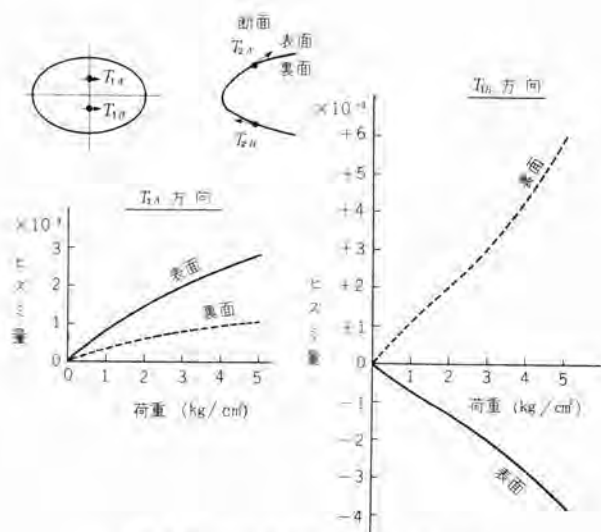


図 5.3 製品負荷時の表皮 ヒズミ 量
Fig. 5.3 Skin strain of product under load.

この後さらに破壊まで負荷した結果 6.5 kg/cm^2 で破壊した。この結果、制限荷重 0.52 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 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 $T1b$ 方向で起り荷重 5 kg/cm^2 の値は 6×10^{-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 kg/cm^2 における ヒズミ 量は 7.8×10^{-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はがれており、おそらくはこの接着部が最初に破壊し、続いて表皮板が割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 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きわめて優秀である。すなわち破壊荷重は 6.5 kg/cm^2 で、制限荷重 0.52 kg/cm^2 に対し 12.5、終極荷重 0.78 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。

擧げにあたり、多大のご協力、ご鞭撻を賜わった新三菱重工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 狭 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) および電気通信学会アンテナ 研究専門委員会資料 (昭 30-4-20).
- (4) 尾島学二: ポリエステル 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実現して来た。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が多かった。本年発表した HU-50 形 ヒートポンプ式 ユニテヤは空気式（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実現する。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ぎ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

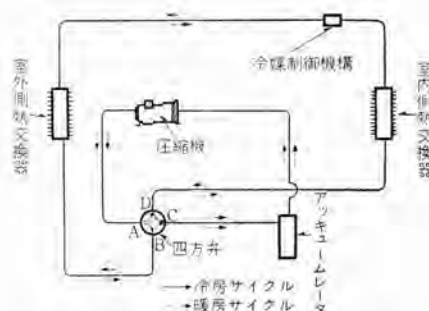


図 2.1 ヒートポンプ装置の冷凍サイクル

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

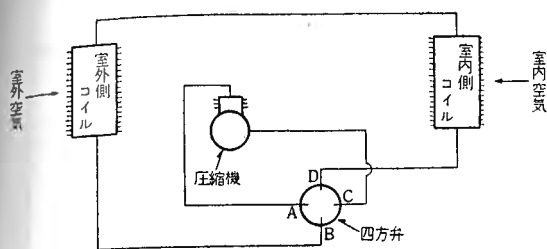


図 2.2 Air to air 式 ヒートポンプ 装置
Fig. 2.2 Air-to-air type heat pump apparatus.

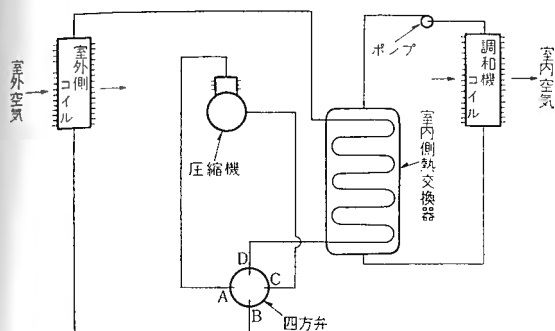


図 2.3 Air to water 式 ヒートポンプ 装置
Fig. 2.3 Air-to-water type heat pump apparatus.

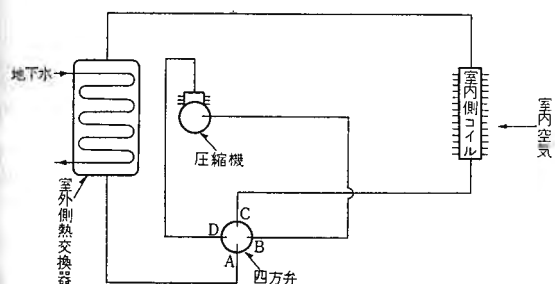


図 2.4 Water to air 式 ヒートポンプ 装置
Fig. 2.4 Water-to-air type heat pump apparatus.

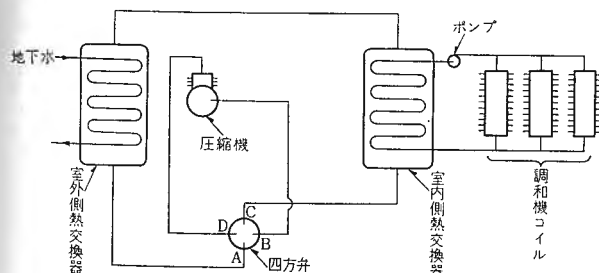


図 2.5 Water-to-water 式 ヒートポンプ 装置
Fig. 2.5 Water-to-water type heat pump apparatus.

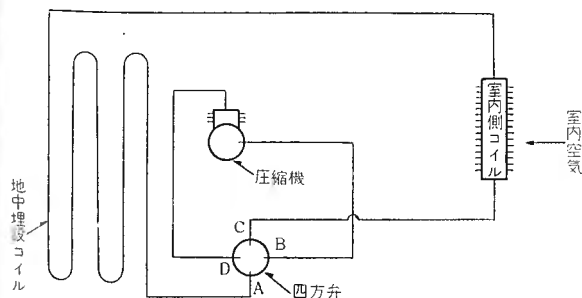


図 2.6 Earth-to-air 式 ヒートポンプ 装置
Fig. 2.6 Earth-to-air type heat pump apparatus.

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	<ol style="list-style-type: none"> 1. 室外側の熱交換器が小さく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 	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 室外側の熱交換器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ぎ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

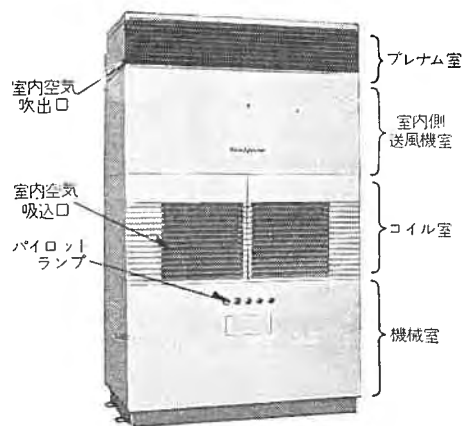


図 3.1 HU-50 形 ユニテヤ 外観
Fig. 3.1 Appearance of type HU-50 unitaire.

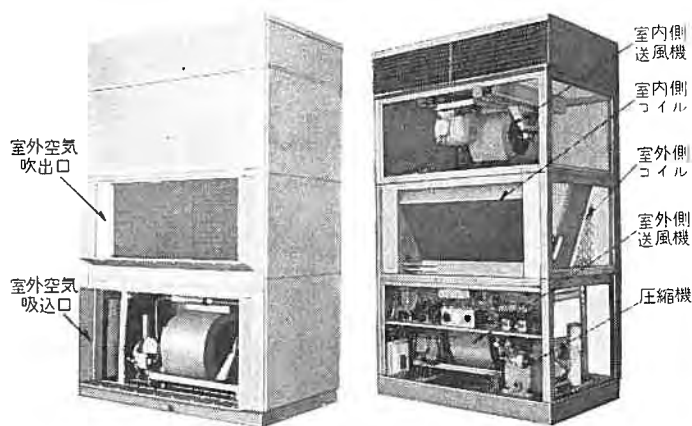


図 3.2 HU-50 形 ユニテ 裏面

Fig. 3.2 Back of type HU-50 unitaire.

図 3.3 HU-50 形 ユニテ 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きは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

表 3.1 HU-50 形 ユニテ 仕様

電 源			三相 200 V 50/60 c/s
外形寸法	高さ (mm)	サ (mm)	2,063
	高サ (プレナム付) (mm)		2,365
	幅 (mm)		1,450
	奥行 (mm)		889
圧縮機	形式	名	半 密 閉
	電 動 機 出 力 (kW)		CS65G1 3.75
室 送 風 機	形 式	量 (m ³ /min)	シ ロ ッ コ
	風 量		115
	最大可能静風圧 (mm/水柱)		18
	電 動 機 出 力 (kW)		1.5
室 送 風 機	形 式	量 (m ³ /min)	シ ロ ッ コ
	風 量		56.5
	最大可能静風圧 (mm/水柱)		15
	電 動 機 出 力 (kW)		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			サランフィルタ
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

【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. 補 助 電 熱 器

標準形には 3kW 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 6kW、9kW 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

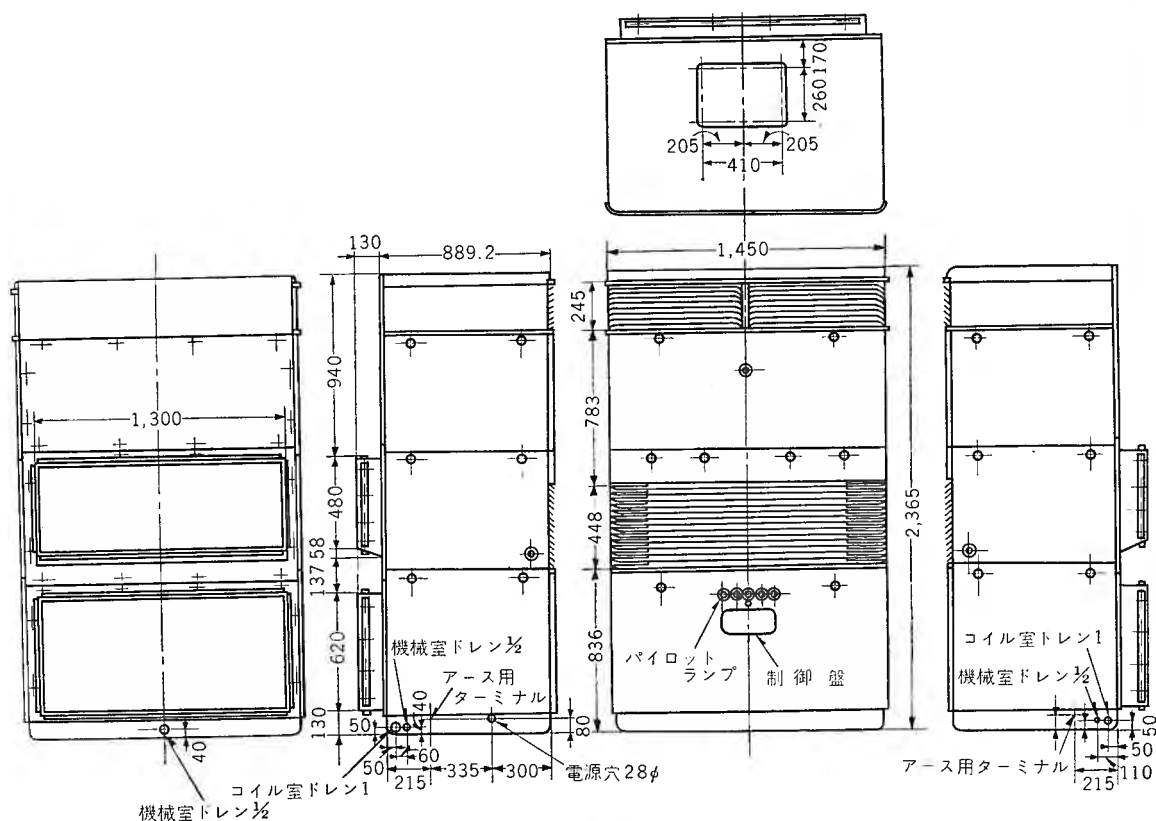


図 3.4 HU-50 形 ユニテ 外形寸法図 (mm)

Fig. 3.4 Outline dimensions of type HU-50 unitaire (mm).

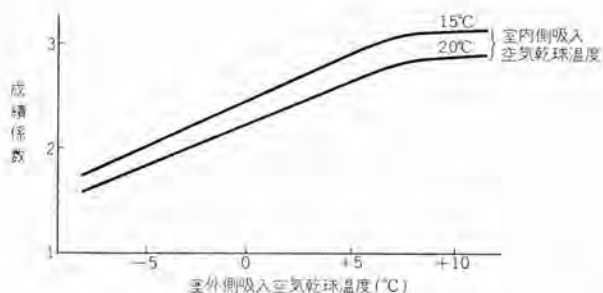


図 3.5 HU-50 形 ユニテ 暖房時成績係数
Fig. 3.5 Result factor of type HU-50 unitaire during room heating operation.

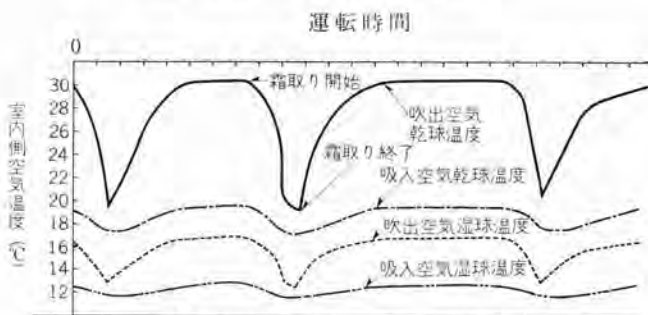


図 3.6 0°C 付近における運転状態
Fig. 3.6 Operating conditions at around 0°C.

ットポンプが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形はわが国では初めての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°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°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

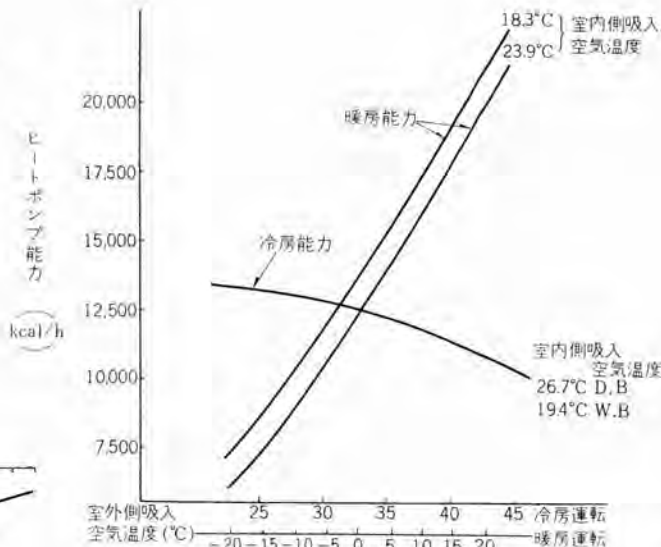


図 3.7 HU-50 形 性能曲線
Fig. 3.7 Performance curves of type HU-50.

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初めての全自動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。将来の年間空調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うすぐれたものに行きたい。

ワーレンモータの印加電圧と起動特性

福田製作所 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々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ディングコイルの効果に応じてもっとも適当な角度だけスラスする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せることができる。

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

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 ϕ なる交番磁束が発生するが、この ϕ はシェーディ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極にはシェーディングコイルがあるためにA極から発生する磁束は

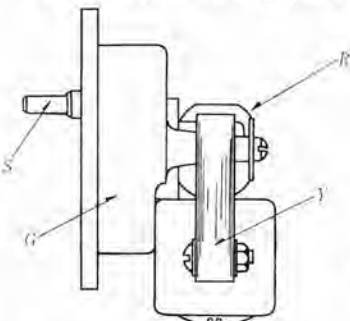


図 2.1 ワーレンモータの構造図
Fig. 2.1 Warren motor construction.

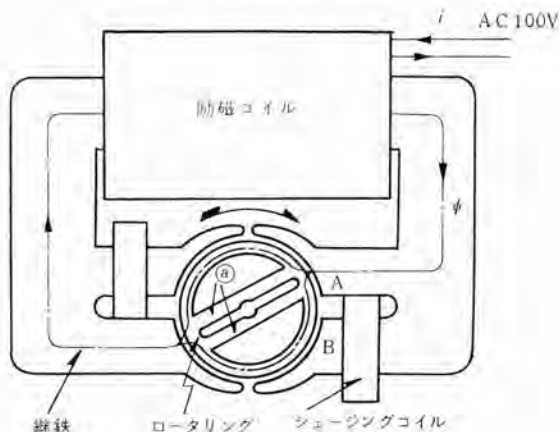


図 3.1 ワーレンモータの動作原理図
Fig. 3.1 Principle of Warren motor operation.

B 極から発生する磁束よりも電気角 θ 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楕円移動磁界、または楕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た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見ると、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 W 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

$$W_h = \eta f B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ watt} \dots\dots (4.1)$$

η : 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 (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

$$W_h' = \eta S f B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ watt} \dots\dots (4.2)$$

となり、回転子の出力は次の式で表わされる。

$$W = W_h - W_h' = \eta(1-S) f B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ watt} \dots\dots (4.3)$$

ゆえに回転子に発生する回転力は

$$\begin{aligned} T &= \frac{W \times 60}{2\pi N} \times 10^7 \text{ dyne-cm} \\ &= \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{\eta(1-S) f B_m^{1.6} V \times 10^{-7}}{(1-S) \frac{120f}{P}} \times 10^7 \text{ dyne-cm} \\ &= \frac{\eta B_m^{1.6} V P}{4\pi} \text{ dyne-cm} \dots\dots (4.4) \end{aligned}$$

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

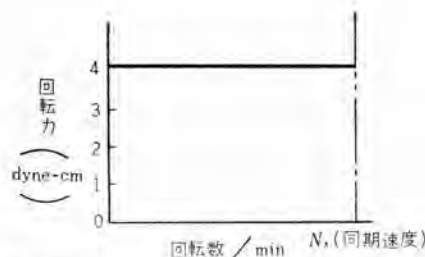


図 4.1 ワーレンモータ の回転力と回転数の関係
Fig. 4.1 Relation between torque and speed of rotation of Warren motor.

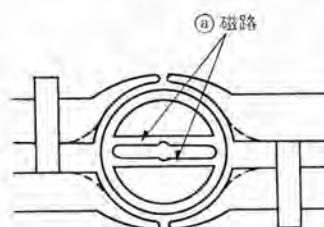


図 4.2 リングロータと磁極の関係
Fig. 4.2 Relation between the ring rotor and poles.

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ば図 4.2 に示すような位置から起動する場合である。

すなわち リングロータ の ① 磁路が磁極のセンタと一致した時がもっとも起動しにくいということになるが、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、この方法では同一ポ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

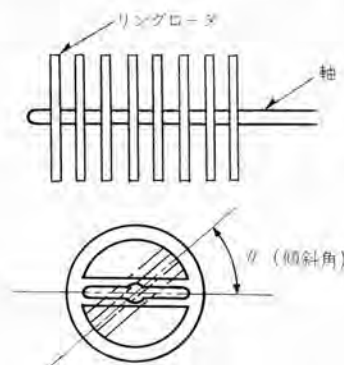


図 5.1 リングロータ の相互関係
Fig. 5.1 Mutural relation of ring rotors.

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すむ、ホルトアンペア 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ディング効果の大小と、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、シェーディング効果を利用して2磁束間に位相角を持たす最大限度は $\pi/4$ 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に示すような楕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を示している。

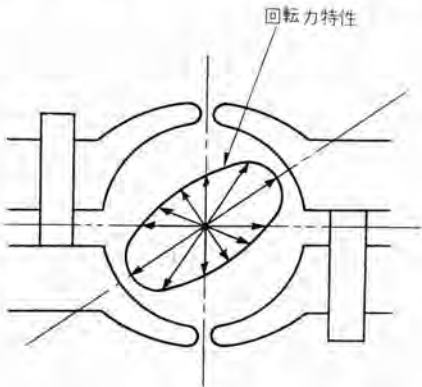


図 5.2 ワーレンモータの回転磁界
Fig. 5.2 Rotating field of Warren motor.

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きく、リングロータの角度をズラさない前のは、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枚をある傾斜角だけズラすことによって、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 正夫 牧 本 利彦 西 村 貞隆 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	フェ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生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ラブリ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奨される。

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、调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立つ。

火災報知があると油管系を手動でトリップができ、早く消火できる。油管系は間欠的に discharge し数回 shot を与えるよ

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にする。

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火設備が望ましい。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。

大形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道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。

また水素ガスポンプ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望ましい。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火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火

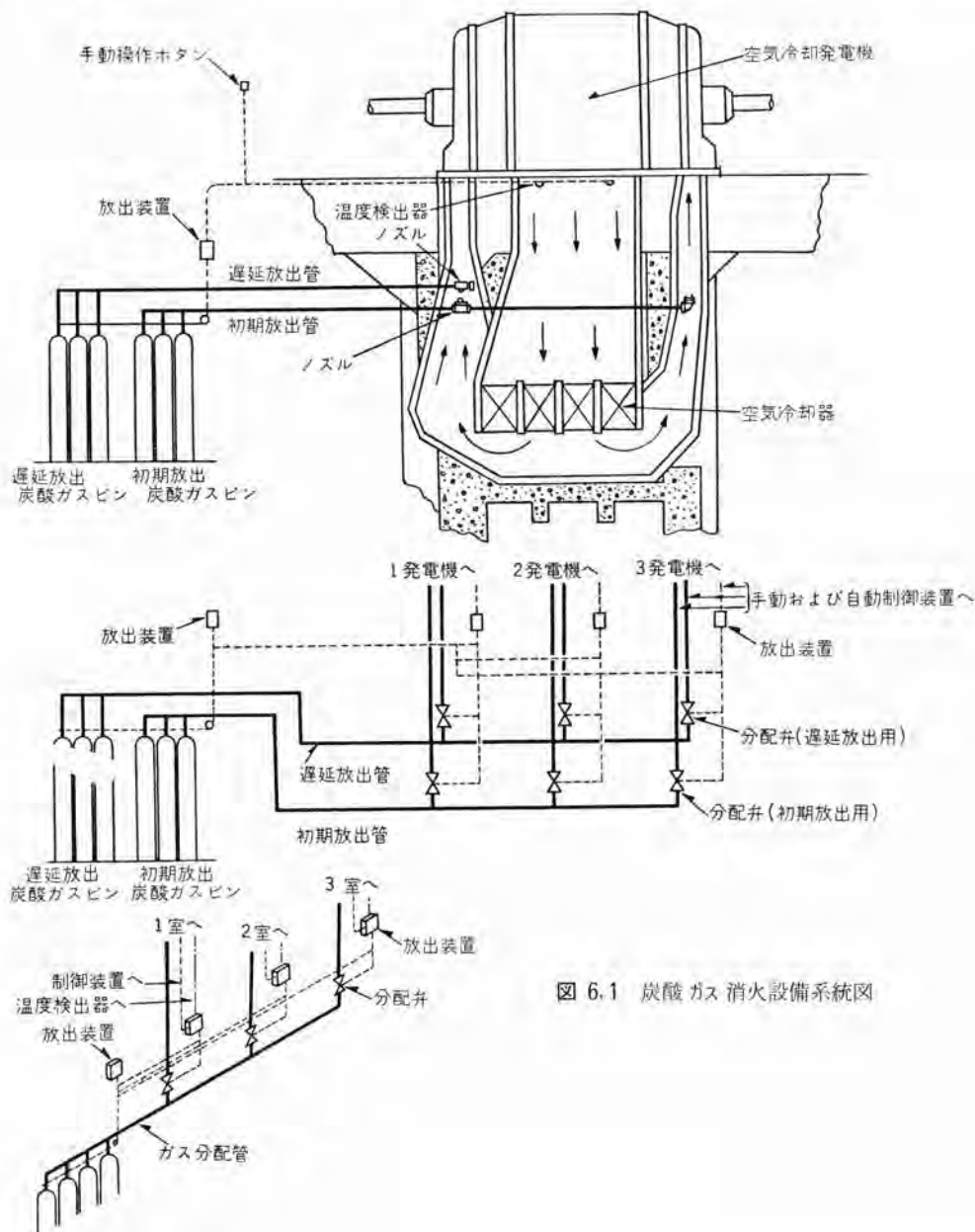


図 6.1 炭酸ガス消火設備系統図

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パ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

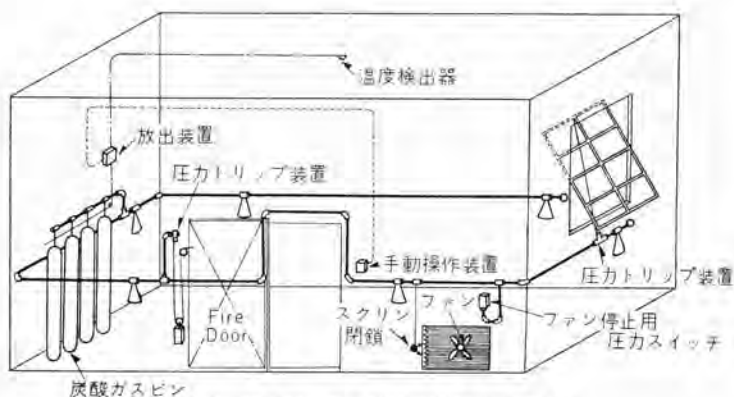


図 6.2 密閉室への炭酸ガス消火設備の適用

気装置で、雷撃によるコイルの破損、内部外部短絡故障、ラッキング故障などにより火災を発生しうが、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

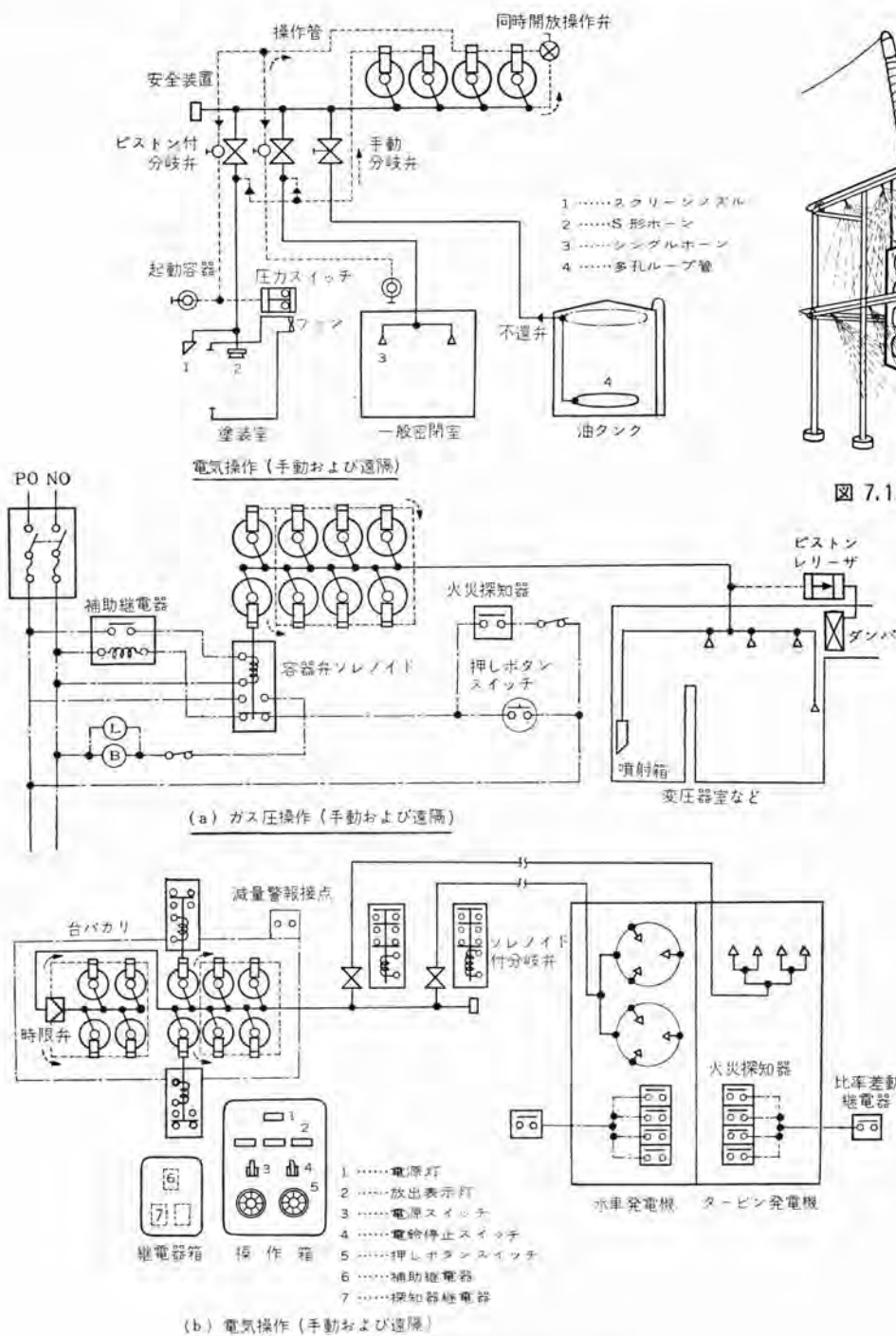


図 6.3 炭酸ガス消火装置動作説明図

直面にノズル付のパイリングを設置し、パイリングに給水する。(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レイ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、この水をスレイ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、

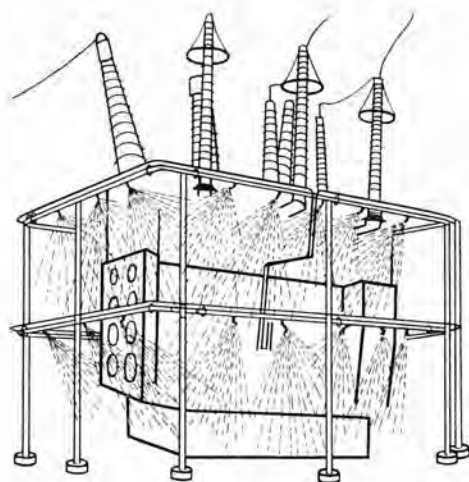


図 7.1 急激噴霧注水法を用いた変圧器

比率差動継電器を用いる。消火時間は5〜30秒といどである。

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。

シャ断器はふつう消火装置を設備しない。油入シャ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

- (1) How good is your fire protection, Power Engineering (April, 1959).

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すら、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ち密になるにつれ、今までどおりの技術によって小形で軽量、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、各部品の小形化でなく（したがっ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、したがっ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) 5 W 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った周波数選択増幅器、(4) 種々のマルチプライヤ (図 1 (c))、(5) 2 入力の数値和をつかったポテンシオメータ、(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 110 V の交流を 9 V 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）を透して熱電変換領域に流れ込み、ゼーベック効果によって電気的エネルギーに変換されて 9 V 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。したがっ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 3 mm 厚さ 0.1 mm 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 15 cm から 30 cm 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うたがうべくもない。

(研究所 大久保利美訳)

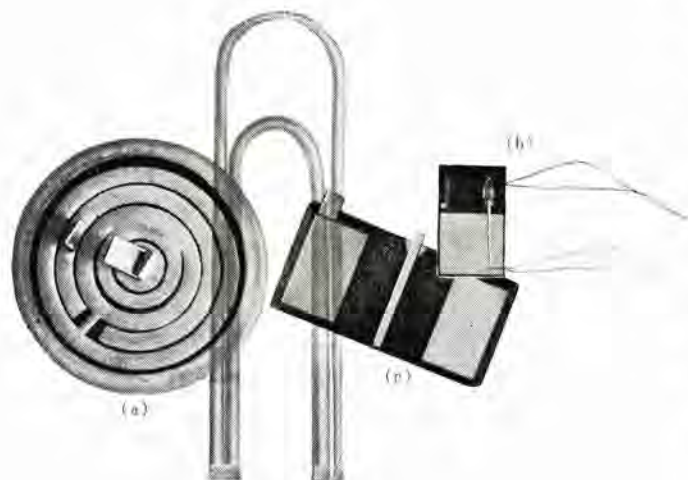


図 1
電力変換

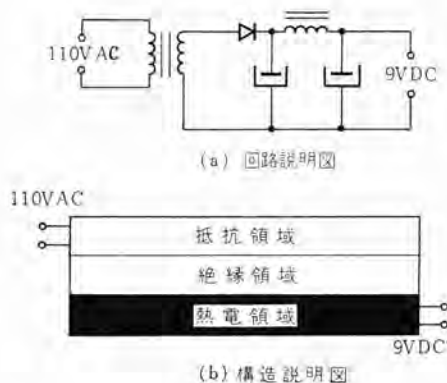


図 2

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。なかでも数千ワット級またはそれ以上の容量のも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現状をかいた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

代表的 シリコンパワートランジスタ* の電気的特性

Type	Structure ^b	Manufacturer	V _{CE} max (V)	I _C max (A)	β min @ (A)	I _C	R _s max (Ω)	t _r (μ sec)	f _α (kc)	R _{th} max (°C/W)	T _J (°C)	V _{CE} max I _C max ² (W)	I _C max ² R _s max ² (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	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
2N-1212	npn-D	TEC	60	5	12	1	2.5	0.25	2mc	0.50	200	300	62.5
2N-1250	npn-D	TEC	60	5	15	1	1.5	0.25	6mc	0.50	200	300	37.5
2N-1070	npn-D	STC/RCA	60	4	10	1.5	0.67	0.25	1.2mc	3.0	175	240	10.7
2N-1069	npn-D	STC/RCA	60	4	10	1.5	2.0	0.25	1.2mc	3.0	175	240	32
2N-1209	npn-D	TEC	45	5	20	1	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	12	1	1.5	0.25	6mc	3.0	200	135	27
S T-403	npn-D	TEC	45	3	15	2	3.0	0.25	8mc	2.1	200	120	20
2N-389	npn-D	TEC/TII	60	2	12	1	5.0	0.25	8mc	2.1	200	120	20
ARA-46P	Composite	ARA	40	3	10,000	1	5.0	0.25	8mc	2.6	200	120	45

V_{CE} max: 阻止電圧耐量 I_C max: 電流容量 R_s max: コレクタ抵抗 β: 電流変換比
f_α: 周波数応答性 t_r: スイッチング時間 R_{th}: 熱抵抗 T_J: 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.;

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という標準を満足しうる代表例である。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行は取扱い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形シリコンをとにも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といえることができる。

(伊丹製作所 加藤又彦氏)

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。すなわち肉眼でははっきり見分けがつかないような暗さではのかな光の目的物に向けた場合にも、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って見えてくる。

セルロイドの、いともとは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って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っている。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 明氏)

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「パーマコンチューブ」と呼ばれる撮像管が開発された。

標準のピジョン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う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

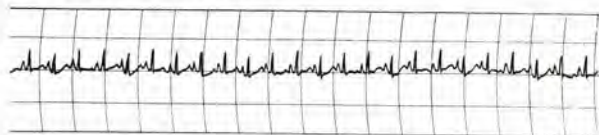


■ 日本生理学会でスポーツ医学用テレメータ装置公開

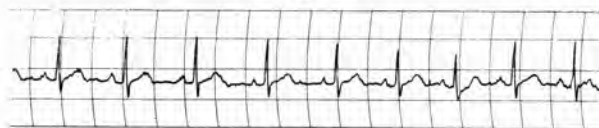
昨年 11 月名古屋大学医学部ならびに環境医学研究所と協力して心電図などの生体現象を無線遠隔測定するテレメータ装置の試作に成功したが(本誌 34 巻 2 号本欄参照), その後送信機を全トランジスタ化したものを製作, 4 月 26 日の日本生理学会総会(徳島)に名古屋大学医学部生理学教室高木健太郎教授より出品し, 人体と兎の心電図のテレメータを公開実験した。

全トランジスタ化した送信機の概要はつぎのとおりである。

方式	FM-FM 方式
入力	1 mV P-P
低周波利得	60 db
サブキャリア	3 kc
メインキャリア	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



兎の心電図



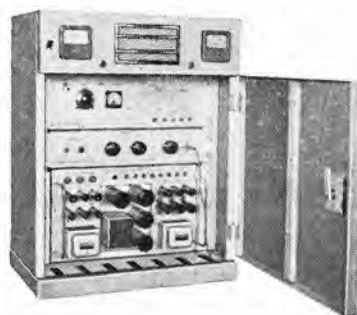
人間の心電図



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, 解明は夢ではなくなり, 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

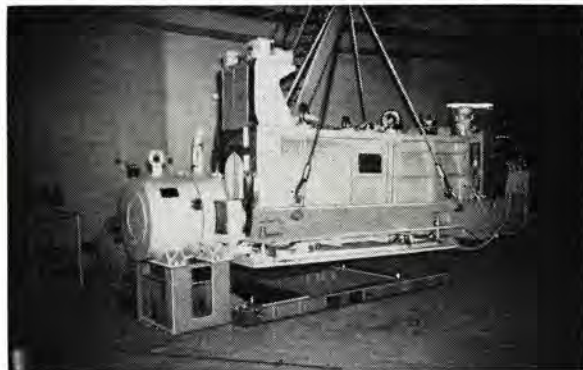
昨年 4 月日本原子力研究所から受注した JRR-2 ハンドリングキャスクがこのほど完成した。これは三菱 丸屋の手で製作された, CP-5 形原子炉 JRR-2 の実験孔の取扱いを行なうもので, 垂直形ならびに水平形とがあり, おおの垂直実験孔および水平実験孔について試料の出入, 運搬および, トラフの交換格納などを行なうものである。



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, 補助シャヘイ体を取付けて, 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ヘイするために最高 270 mm の鉛のシャヘイ壁を有し, 垂直形お



組立中の水平ハンドリングキャスク

よび水平形の主要部の重量はおおの 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 $\pm 10\%$

油入自冷式 内鉄形 負荷時 タップ 切換装置付

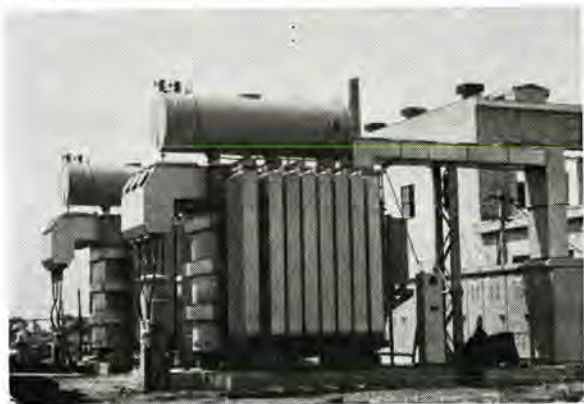
CR-URS 形 2 台

ケーブル は住友電工製 60 kV O.F. ケーブル

3C 80 mm² 500 m 2 回線

であり、間接式を採用しており、二次側も ラスタクト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 $\pm 10\%$ 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 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 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 は、昭和 32 年名古屋の名鉄ビルに、わが国最初のものを入納して以来各所に入納したが、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 方式エレベータを入納し、去る 5 月から営業運転には入っている。

このエレベータは、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ほだしいときには、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 centinel) 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、これを装置したことにより運転手のいないエレベータでも、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 継電器を使用し、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 ロットロー制御

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 乗場

容 量	1.120 kg	定員	17 名
速 度	150 m/sec		
停止個所	1 号機 B ₁ , 1~12, R 計 14 個 所		
	2 号機 B ₂ , B, 1~12, R 計 15 個 所		
	3,4 号機 B ₃ , 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っている。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滿、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、その繰り返しの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、水の濾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3.7kW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(2.2kW以下)の形式でエポ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。

構造は立形で軸受は上下のブラケットに筒軸受、下部にスラスト軸受を設けいずれも特殊青銅物を使用し、水潤滑により安定した運転が行なわれている。

構造は立形で軸受は上下のブラケットに筒軸受、下部にスラスト軸受を設けいずれも特殊青銅物を使用し、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、鋭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、かつとなりあうロールの速度差(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。前者に対してはメカシヨナルドライブ方式を、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おり、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を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 ± 0.1 rpm にて測定範囲 ± 5 rpm
 - b. 精度 ± 1 rpm にて測定範囲 ± 50 rpm
 - c. 精度 ± 0.1 rpm にて測定範囲 ± 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 ± 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 ラスチック 材料のように トランスファ 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. 端子などの鑄込みもできる。
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。

従来自家発電用 タービン 発電機としては、八幡製鉄戸畑向け 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パルで受注に成功し、引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 アイスレートのス および 11 kV 配電器具 | 1 式 |
| h. 66 kV ショ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 ボイラ 補機電動機およびコントロールセンタ | 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/cm² 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 ² |
| 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)とを合成樹脂の塑造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、これより泡沫充填材(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入封した後、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、いっさい継目がないので、泡沫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するので、取扱い運搬が容易である。

(特許第 248058 号) (鈴木記)

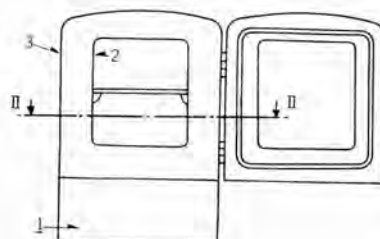


図 1

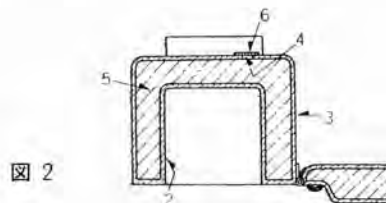


図 2

ス タ ン ド 扇 風 機 の 支 柱

考案者 栢 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)を貫挿する環状座(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帯(11)を定着し、さらに上記環状座に、バネ板(8)を介して、摩擦帯(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。

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、摩擦帯(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、摩擦帯(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)

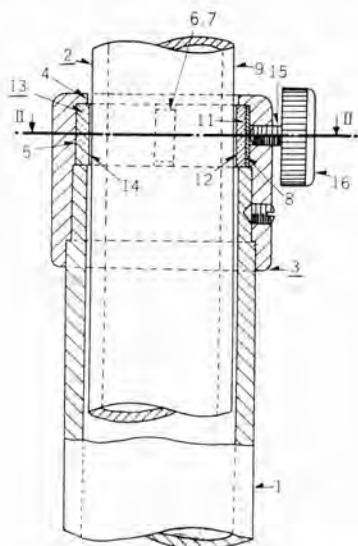


図 1

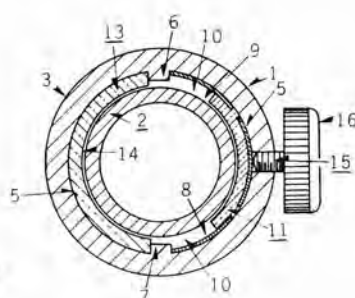


図 2

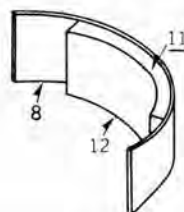


図 3

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 己 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
"	グラッチ 装置	"	508219	斉 藤 寛	神 戸
"	軸受装置	"	508220	柘 植 恵	中 津 川
"	過負荷継電器	"	508221	平 野 琢 磨・上 原 利 夫	福 岡
"	回路 シャ 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 本 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 シャ 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
"	单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 一・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 1 6 1 1
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル内) (電) 東 京 (211) 代 表 2511・2531
本 社 施 設 部	東京都千代田区丸の内 1 丁目 8 番地 (仲 27 号館) (電) 東 京 (211) 代 表 1261・1271・1281
東 京 商 品 営 業 所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル 3 階) (電) 東 京 (211) 代 表 2511
大 阪 営 業 所	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大 阪 (34) 代 表 5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り (電) 本 局 (23) 代 表 6231
福岡営業所	福岡市天神町 58 番地 (天神ビル内) (電) 福 岡 (5) 代 表 6 2 3 1
札幌営業所	札幌市大通り西 1 丁目 13 番地 (電) 札 幌 (3) 代 表 9 1 5 1
仙台営業所	仙台市大町 4 丁目 175 番地 (新仙台ビル内) (電) 仙 台 (2) 代 表 6 1 0 1
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 4 4 1 6 ビル直通 5 0 2 1
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 阪 (48) 8021
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵 庫 (6) 代 表 5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大 阪 (48) 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長 崎 (3) 代 表 3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大 阪 (48) 8021
名古屋製作所	名古屋市中区東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名 古 屋 (73) 1531
静岡製作所	静岡市小島 1 1 0 番地 (電) 静 岡 (3) 0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場 (電) 中 津 川 10・54・226
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和 歌 山 (3) 代 表 1275
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福 岡 (4) 代 表 1568
福山製作所	福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福 山 代 表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫 路 代 表 6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船 (電) 大 船 (067) 代 表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町 (電) 東 京 (414) 代 表 8111
郡山製作所	福島県郡山市境橋町 1 番地 (電) 郡 山 1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊 丹 代 表 4736
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町 (電) 東 京 (414) 代 表 8111
東京工場	東京都世田谷区池尻町 (電) 東 京 (414) 代 表 8111
札幌修理工場	札幌市北二条東 12 丁目 (電) 札 幌 (2) 3976

次 号 予 定

三菱電機 Vol. 34 No. 8

- アーク 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 クリネト (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 ラージ 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
- 火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	宗 村 平
常任委員	浅 井 徳 次 郎	委 員	山 田 榮 正
"	荒 井 安 潔 二 郎	"	新 井 野 真
"	安 藤 宗 明 一 郎	"	関 内 村 隆
"	小 川 清 一 郎	"	津 田 準
"	小 堀 富 次 郎	"	豊 米 俊 八
"	高 井 得 一 郎	"	井 上 八
"	中 野 光 雄 二 郎	幹 事	井 上 八
"	馬 場 文 夫	(以上 50 音順)	
"	船 橋 正 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ステル樹脂でできていて、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) $+71^{\circ}\text{C} \rightarrow -55^{\circ}\text{C}$ 25 サイクル 繰り返し および
- (2) 2,400 m \rightarrow 15,000 m の高度変化に相当する温度気圧の変化、 1°C 560 mmHg \rightarrow -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 kg cm^2 の圧力に対しては残留変形を生じないで 0.78 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 kg cm^2 で、これは制限荷重 0.52 kg cm^2 に対し 12.5 倍、終極荷重 0.78 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形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

サンドイ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 (kg cm^2)	38	28 以上
圧縮強さ (kg cm^2)	119	84 以上
曲げ強さ (kg cm^2) ヨコ	86	73 以上
" (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 kg cm^2 にて残留変形なし	合 格
圧力 0.78 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