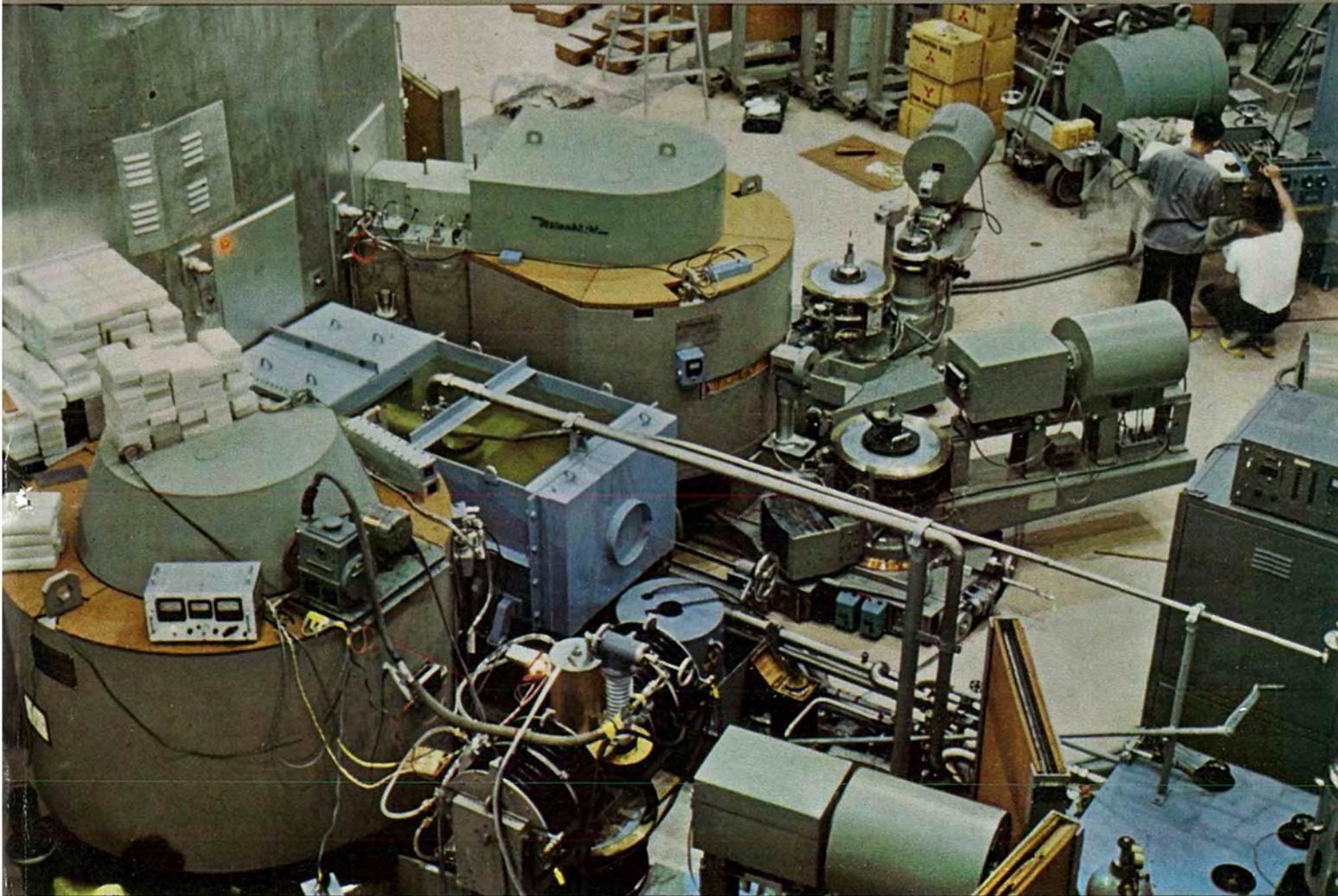


MITSUBISHI DENKI

三菱電機

Vol. 36 April 1962

中性子回折装置



4

北陸トンネル用EF70形交流電気機関車完成



国鉄北陸線における交流電化はわが国最大の北陸トンネルの開通により敦賀から福井まで延長され、11.5/1,000の勾配が13.5 kmも続くこのトンネルにおいてけん引定数 1,000t の貨物列車をけん引するための六動軸機関車 EF70形7両はかねてから完成を急がれていたが、本年1月8日の公式試運転をもって第1両目の引渡しを終わり、以後引続いて納入される。

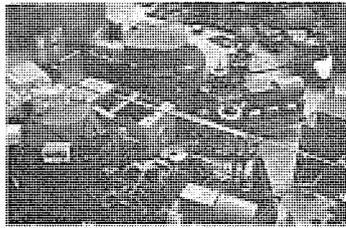
この機関車の主要な特長としては、
 (1) わが国最初の本格的な大容量シリコン整流器式機関車であること。
 (2) つり掛式主電動機を採用していること。
 (3) 三菱製の丸形タップ切換器を取付けたこと。であるが、その要目とおもな新設計電気品は右のとおりである。

要目

用途	主として貨物用 (客車用暖房電源付)
電気方式	単相交流 20 kV 60 c/s
機関車方式	シリコン整流器式
重量・軸配置	96 t (運転整備) B-B-B
形式	箱形両運転室
全長	16,750 mm (連結器面間)
全幅	2,805 mm
全高	4,210 mm (パンタ折りたたみ)
固定軸距離	2,800 mm
動輪径	1,120 mm
連続定格出力	375 kW × 6 = 2,250 kW
連続定格引張力	17,700 kg
連続定格速度	45.6 km/h
最大運転速度	95 km/h

主要電気品

主電動機	MT 52形 4極 丸形 連続 375 kW 750 V 540 A 920 rpm 強制強風 最大弱め 40%界磁 F種絶縁
駆動装置	つり掛式、1段減速、 パネ入 歯車使用 モジュール 12、歯車比 70/17 = 4.12
シリコン整流器	強制強風、単相ブリッジ 結線 連続 750 V 3,240 A
主変圧器	外鉄形、フォーム・フィット式、 送油風冷式 鉱油使用 電圧 20 kV/1,080 ~ 65 V/476 V/1,500 V 容量 2,580 kVA/2,450 kVA/130 kVA/ 420 kVA
高圧タップ切換器	円筒形油入選択 開閉器付電動機 操作 定格 13 kV 300 A 25 タップ



表紙説明

中性子回折装置は研究用原子炉に据付けて磁性材料や結晶構造などの物性研究に用いられる新しい大形実験装置である。わが国では当社で完成した3台の装置が日本原子力研究所、日本電信電話公社電気通信研究所、東京大学物性研究所へそれぞれ納入された。これらは JRR-2 原子炉に据付けられて高い分解能の中性子回折実験が行なわれており、その研究成果が期待されている。とくに後者の装置には世界でも初めてのプログラム制御装置が付属しており連続して長時間の測定を完全に無人で行なえるすぐれた性能をもっている。



三菱電機

昭和 37 年 第 36 卷 第 4 号

目 次

三菱鉱業 古賀山鉱業所納め選炭場総括制御装置	武田英夫・藤井二郎・中野久夫	2
高圧ガス循環ポンプ用 180 kW 二極三相誘導電動機(モグラモートル)	藤山辰之・奥 勝	7
添加剤による耐熱絶縁紙の開発	白井万次郎・大杉 肇・神谷友清・菅 寿郎・木野崎泰三	10
変圧器用接着鉄心(1)	伊藤公男・清水英範	15
自動車装着交流発電機用 シリコンダイオード	多田昭晴・長谷川透・平田 毅・諸永茂雄	22
自動追尾レーダの性能限界(2)	渡部 優	27
6,000Mc 帯各種導波管	東野義夫・香川 哲	34
中性子回折装置用 プログラムコントロール 装置	三宅静雄・星埜禎男・鈴木和郎・桂木久雄・ 吉江高明・弘中一光・茂木 充	39
イオン・電子切換形 パン・デ・グラフ 形加速器(VC-3形)	今村 元・滝口高志	46
電力系統過渡現象の解析法	馬場準一・芝滝寿宏	53
《技 術 解 説》		
ファンシリーズの解説	宮内貞夫	61
原子炉の計測制御(3)	八島英之	67
《文 献 抄 訳》		
設計に対する実験心理学の応用・電子計算機の2進数演算・制御用計算機の設計・火力プラント制御用計算機		75
《ニュース・フラッシュ》		
阪神電鉄納めわが国最初のシリコン整流器移動変電所完成・近畿日本鉄道団体車完成・4.16 kV/3.6kV 250 MVA 1,200 A 2,000 A 磁気シタ断器の完成・手動パネ投入式 DB 形気中シタ断器・川崎製鉄納め三相交流式 20 t 電気機関車完成・100 kV 計器用変圧変流器完成・船用発電機の強制並列・AGC(自動板厚制御)装置完成・ASDE 実用試験 羽田空港において実施		78
《特 許 と 新 案》		
(特) 原子炉制御装置・(新) 扉の錠止装置		82
《最近における当社の社外寄稿一覧》		83
《最近における当社の社外講演一覧》		83
《最近登録された当社の特許および実用新案》		9, 66, 84, 85
《表 紙》		
2. 北陸トンネル用 EF 70 形交流電気機関車完成		
3. NP 形、NQ 形電動油ポンプシリーズ完成		
4. 三菱換気扇		

連動運転を行ない必要に応じてさらに各系統間のインターロックを施すように計画される。

選炭プラントは石炭の流れを主体とした一連の関連機器、石炭硬輸送設備、選炭機、スクリーン、粉砕機などから構成される縦の運転フローとこれらの機器とフローの途中で側面的に横の関連性をもった重液、給水、洗浄水ポンプなどのポンプ設備、ジグフロウなどの付帯設備とが一体となって一定の関連をもって運転される。

選炭場の系統区分は従来はどちらかといえば前者の石炭の流れだけに着目し輸送系路の切れ目であるポケットシッタなどを境界として区分され後者の付帯設備のほとんどの機器は連動運転系統から除外され単独運転するように計画されるのが多かった。

しかし単独運転機を増したり、系統をいたずらに細分化することは制御回路は比較的簡単となるかわりに信号数を増し運転操作を複雑にし運転員の負担を増大し好ましくない。古賀山選炭プラントではこれらのことを考慮して系統を重選機、ジグ選炭機を主体とした主設備系統と浮選機を主体とした浮選系統の2系統に集約しプラントの全機をいずれかの系統に帰属させ、選炭機の運転と直接の関連なく適時必要なとき運転すればよい。二、三のポンプを除いて他はすべて連動運転させ、1組の押しボタン開閉器で一定の順序で自動起動・停止できるようにした。

3.2 制御の集中化

プラントの全機を完全に1人の運転員の制御下におき、現場には常時は人を配置せず中央制御室から遠隔操作、監視を行ないうよう制御の集中化をはかった。

このため現場には非常停止スイッチ、単独運転用押しボタンスイッチ以外の操作スイッチ、選択スイッチはまったく設けず、中央制御室で運転系路、運転機を選択、連動単独、起動停止の操作などのすべての操作選択を行ないうるようにした。

このように多数の機器をただ1人の運転員の制御下におくことは他面運転員の負担も増大するため、前述のように系統の集約化を行ない、さらに後述のようにシタールコンベヤの自動運転、フィーダの自動選択、ポンプの自動運転、重液比重の自動制御など、自動運転、自動制御化をはかり運転員の負担を軽減するようにしている。

さらに各種の保護装置、警報装置を設けこれらの作動時は、中央制御室に警報表示するとともに機器相互のインターロックを取ることでより事故を未然に防止し、また事故発生時は局部的被害にとどめ他への波及を防止するようにしている。

運転操作を確実にし、各機の運転作動状態を容易に把握できるように制御室には照光盤を設置した。現場と制御室との信号連絡はこのような中央にっさいを集中した総括制御方式では非常に問題でこれにはページングシステムによる指令通話方式を採用した。

3.3 連動一単独の選択

プラントの総括制御を行なう場合通常は中央制御室から

連動運転を行なうが、試運転、調整運転、点検など必要に応じて現場の機側で単独運転を行なえるようにする必要がある。このため一般には現場機側に連動一断一単独の切換スイッチを設け連動ノッチに操作すれば中央制御室からの連動運転、単独ノッチに操作すれば機側の単独運転ができるようにしている。また連動運転中現場で異常を発見した場合このスイッチを断ノッチに操作すればその機械は即時上流機はインターロック停止させるようにして現場停止スイッチとしての機能をもたせている。古賀山選炭場では連動運転を主眼として、現場には人をまったく配置していないためこのように現場スイッチは廃止し、連動単独の選択は中央制御室からだけ行なうようにした。このため現場スイッチの連動ノッチにあることのチェックも不必要となり回路も簡単になり補助継電器数も少なくなった。

3.4 順序起動停止

選炭場の機器は一定の関連のもとに設置されており、運転する場合はこれを一定の順序で逐次起動したほうがよく、これはまた他面、プラントの電動機はほとんどがカゴ形電動機で直入起動されるため起動電流の点からもいっせい起動せず各機を系統の下流から一定の順序と適当な時間間隔をもって自動的起動する必要がある。

古賀山選炭プラントでは石炭の流路と逆方向にコンベヤ、選炭機などを順次起動すると同時にこれらの機器と関連するポンプ、フロウなどを適時取入れ所定のプログラムにより起動するようにしている。

起動時間は極力短くしすみやかに全運転にすることが大切で、このためグループ起動方式を採用し起動電流の総和と電源容量を考慮して、主設備系統では75台の電動機合計1,000 kWの電動機を12グループにわけて起動し、浮選系統は35台 合計450 kWの電動機を6グループにわけ同一グループの電動機は起動信号によりいっせい同時起動するようにした。各グループ間の起動時間間隔は等時間とし約30秒にしているが重液ポンプと重選機間、系路最先端の原炭フィーダ起動後のジグフロウ起動までの間隔は運転の安定するのを考慮して数分をとっている。

停止方式には種々の方式があるが要は機器、および機器の連絡部に石炭を堆積することなく次の起動が円滑に行なえることでこのため、停止方式としては系統最先端の原炭フィーダ停止後、石炭が精炭ポケットに流出するまでの時間において自動いっせい停止させるようにした。

ただし重選機テスカとこれの関連機器は重液中のメグムムの沈殿防止のためさらに一定時間運転した後停止するようにした。

3.5 各機器間のインターロック

前述のように選炭場の各機器は相互に一定の関連をもって運転されるため石炭の流れによる縦の運転フローを形成する機器およびこれらの機器と横の関連性をもつポンプなどの付帯設備の機器間にインターロックを施し、ある機器の運転はこれより下流機器が運転しているときはじ

めて可能とし、またこの機器が停止した場合はこれより上流の機器は自動的にインターロックにより停止するようにしている。

3.6 単独運転

試運転、調整運転、点検などの場合は現場の機側で他の機器とは無関係にその機器だけ単独運転できるようにする必要がある。このため通常は連動単独の選択用現場スイッチを設けて来たがこれは前述のように廃止し、別個に単独運転専用の押しボタン開閉器を現場に設置した。ただしこの押しボタンは各電動機ごとに設置せず数台ないし十数台のグループに1個とししかもこれにより個々に単独運転できるようにした。これについては回路方式の所であらためて説明する。

3.7 保護装置

(1) 非常停止、現場15箇所および操作盤に1個の非常停止スイッチを設け、非常事態が発生した場合はこのスイッチを操作することによりプラントの全機をいっせいで停止するようにしている。

現場設置のものは切換開閉器式にして、機器点検時はこれを断ノッチに操作しておけば、中央制御室で誤って運転操作を行なっても運転できないよう危険防止回路にしている。このため中央制御室には表示ランプをもうけ全非常停止スイッチが入ノッチにあるかどうかを容易に判別できるようにしている。

(2) つぎの場合は保護継電器の作動でその機器は即時停止、上流機器はインターロック停止させている。同時に操作盤取付けのブザーをならし照光盤の該当機器の故障表示ランプを点灯し、事故の発生、故障機の発見を容易にしている。

- (a) 電動機が過負荷となった場合。
- (b) ベルトコンベヤのベルトがスリップまたは切断した場合。
- (c) シュートに石炭が異常堆積した場合。
- (d) 管路がつまったり、タンクが空となってポンプが軽負荷運転する場合。
- (e) タンクレベルが下限に達した場合。
- (f) 原炭フィーダの自動切換動作が渋滞した場合。
- (g) シャトルコンベヤが逸走した場合。

(3) つぎの場合はランプを点灯しブザーをならし警報するようにしている。

- (a) 原炭ポケット満量
- (b) 重液比重上限または下限
- (c) タンクレベル低下

(4) 停電

停電の場合は制御回路は運転開始前の状態に復帰し再運転するためにはふたたび起動押しボタンを操作するようにしている。

3.8 監視装置

(1) 照光盤

選炭場のように多数の機器が関連して運転している所

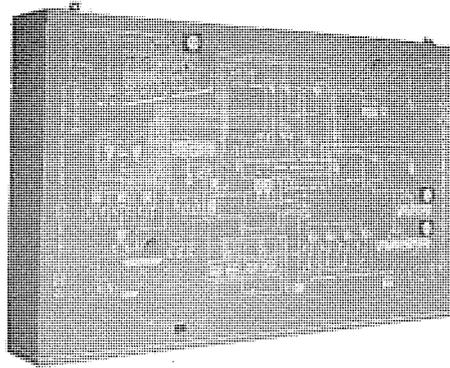


図 3.1 照光盤
Fig. 3.1 Illuminated diagram switchboard.

では、1人の運転員でもって全部の機器を監視することは無理であるため、プラントの全機を平面的に縮図し、機器と作業フローを象形図板と系路表示線で表示し表示ランプ、計器を取付けて全機の運転状態を容易に監視できるようにする。

古賀山選炭プラントの照光盤には、電動機の運転、故障ダンプの位置、ポケットの満空、タンクレベルの下限、バルブの開閉など表示ランプを設けさらにシャトルコンベヤの位置原炭ポケットのレベル、貯水池の水位をセルシオンにより遠隔指示している。

(2) 電気計器盤

通常の総括制御では電磁接触器を収納した電動機盤の盤面に各電動機の電流計を設けていたが、このように電流計を分散しておくことは監視上非常に不便なため、古賀山の選炭プラントではこの電流計と受電関係の計器を一括して一つのパネルに取付け制御室に設置し常時容易に監視できるようにした。

電流計を電動機1台ごとに設置することはこの計器盤が非常に膨大なものとなり、またその必要性もあまりないので15 kW以上の電動機だけとした。さらにこのうちの主要機だけ専用の電流計を設け、他は主設備、浮選設備に各1個の電流計として、電動機1台ごとに設けた押しボタンにより選択的に電流を計測できるようにした。

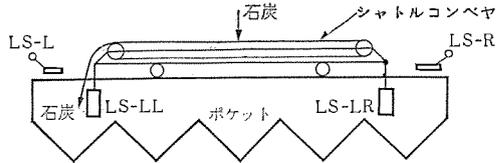
3.9 指令通話装置

プラントの総括制御を行なう場合、中央制御室と現場との連絡を緊密にすることは運転操作を確実に安全なものとする上に非常に大事な問題で、このため古賀山選炭プラントではページングシステムによる指令通話方式を採用した。中央制御室および現場に13個のハンドステーションと9個のスピーカを設置し、どのハンドステーションからもスピーカチャネルにより指令、警報の伝達が行なえたとともにスピーカチャネルで相手を呼び出した後電話回線に切換えることにより相互通話、集団通話を行なえるようにした。

3.10 自動運転

(1) シャトルコンベヤの自動運転

原炭ポケット、洗粉ポケット、上洗粉ポケットにはシャトルコンベヤを設置し石炭の装入そうを選択するようにしているが、このシャトルコンベヤの先端にノンコンタクト式静電容量式のレベルスイッチを設けポケットの満量検出し自動的に



LS-L : 左端位置決め用リミットスイッチ
 LS-R : 右端位置決め用リミットスイッチ
 LS-LL : シャトル左行時満量検出用レベルスイッチ
 LS-LR : シャトル右行時満量検出用レベルスイッチ

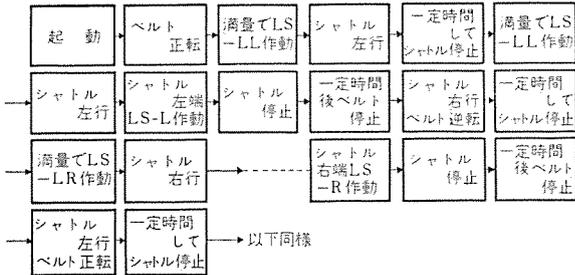


図 3.2 シャトルコンベヤ自動運転動作ブロック図

Fig. 3.2 Block diagram of shuttle conveyor automatic operation.

装入位置を移動するようにした。シャトルコンベヤの自動運転動作を図 3.2 ブロック図で示す。

シャトルコンベヤは順序起動操作よりこのように自動運転動作を行なうが、また照光盤にはシャトル位置指示計を設けこれを監視しながら中央制御室からの遠隔手動運転もできるようにしている。

このシャトルコンベヤの自動運転回路の継電器は作動ひん度が激しく運転の信頼度が問題となったため無接点化を計画し、トランジスタ式 NOR 要素を全面的に採用した。

(2) 原炭フィーダの自動選択

原炭ポケット下には3台のチェーンフィーダと2台の電磁フィーダを設置し、常時はチェーンフィーダ1台、電磁フィーダ1台で運転するように計画されている。このためポケットの炭量をリミットスイッチで検出し運転機のポケットが空量になると自動的に次のフィーダに切換わるような自動選択回路を設けた。

(3) ポンプの自動運転

重選系統洗浄水タンク、重液予備タンクなど6個のタンクにはフロートスイッチを設けこれらのタンクに供給し、またこれらのタンクから取出すためのポンプを順序起動後はフロートスイッチに自動的に運転停止を行なうようにした。

4. 総括制御回路

前述のように選炭プラントの全機を総括制御するに当たり自動順序起動用主幹回路、シャトルコンベヤの自動運転回路などの使用ひん度の激しい所にはトランジスタ NOR 要素による無接点継電器を採用し、また電磁接触器、補助継電器などの使用部品や配線数を節減するため従来一般の総括制御では行なわれなかった回路方式を採用したので、ここにその二、三を紹介する。

4.1 自動順序起動回路

順序起動には種々の方式があるが電動機台数が多く運

転フローが数系路以上に分岐している場合の方式として、当社では限時継電器2個と若干の補助継電器による一種のフリッカ回路を形成し、これより出される一定時間間隔のパルス信号で電動機を起動する方式を採用して来た。さらに数年前磁気論理要素サイパックの開発と同時にこれを採用して無接点化し、これを標準主幹回路方式として採用した。古賀山選炭プラントではこれをさらにトランジスタ無接点継電器を採用し非常に簡単な回路とした。図 4.1 の 3F, 3N, PN はトランジスタ NOR 要素、PA, PT は出力用パワー transistor 増幅要素である。

起動操作により補助継電器 RA の接点が開くとコンデンサ C と調整抵抗、 R_1R_2 によりきまる一定時間間隔をもってコンデンサの端子電圧は漸増、漸減動作をはじめ。これは PN, 3F 要素で成形される 3F 要素の出力は完全な方形波となって、ON, OFF 動作をくりかえす。この回路では R_1R_2 により ON, OFF の周期を互いに独立に設定できさらにコンデンサ容量をかえることにより 0.5 秒

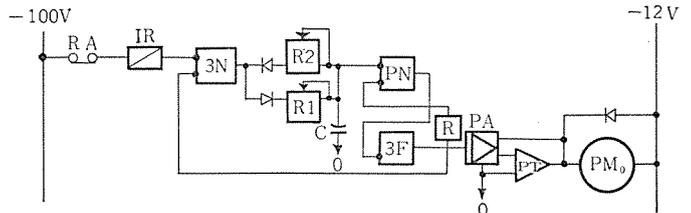


図 4.1 順序起動主幹回路

Fig. 4.1 Principal circuit of sequence starting.

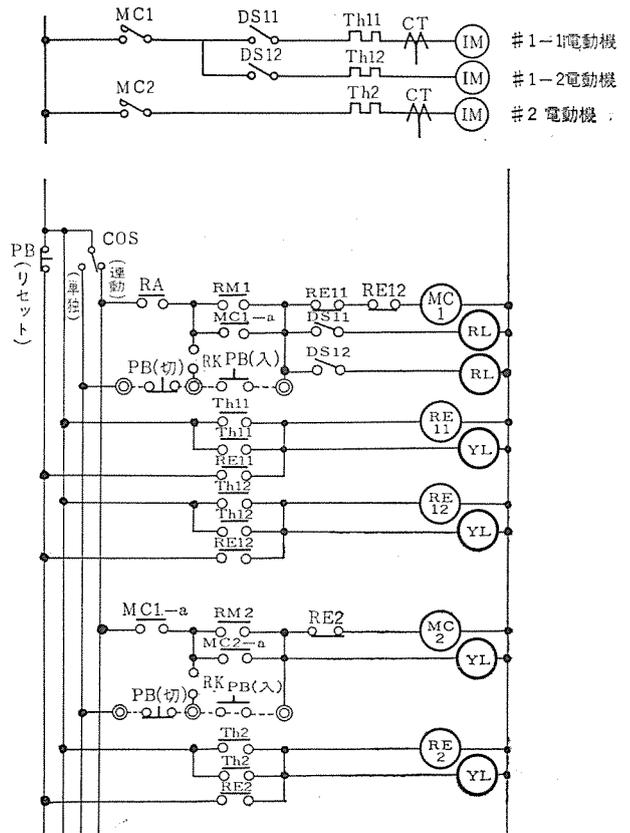


図 4.2 総括制御回路方式

Fig. 4.2 Multiple unit control circuit system.

程度から数分の周期まで安定したフリッカ動作を行なわせることができる。

補助継電器 RM₀ フリッカ動作による順序起動回路を図 4.2 に示す。図の RM₁ は RM₀ の a 接点, RM₂ は b 接点で作動する継電器で RM₁, RM₂ は交互に ON, OFF 動作をくりかえす。図のようにして系統の下流側より #1, #3, #5... の電動機回路には RM₁, #2, #4, #6, ... の電動機には RM₂ の接点を交互に入れ前段の電磁接触器 MC の補助接点でインターロックを取りながら順序起動させている。

4.2 グループ起動回路

総括制御運転の場合 運転フロー、起動電流を考慮すれば、数台の電動機を 1 グループとしてグループの全機をいっせいで起動、いっせいで停止することが許される。この場合は電磁接触器は電動機 1 台ずつに個々に設ける必要なく 1 個の電磁接触器で同時起動・停止すればよいので図 4.2 に示すような回路方式を採用し電磁接触器の使用数を節減した。過負荷継電器は電動機 1 台ごとに設け、グループの 1 台でも過負荷となった場合はグループの全機を停止するようにし、単独運転は断路器 DS で選択するようにした。

このような回路方式によると電磁接触器の節減だけでなく、順序起動、停止、運転インターロックなどの継電器回路が簡略化され、継電器数、接点数、配線数が少なくすみ、コスト低減と同時に事故が減少し保守点検も非常に容易となる。

4.3 単独運転方式

従来の総括制御方式では、単独運転は現場の機側に電動機 1 台ごとに設けられた連動一断一単独の切換スイッチを単独ノッチに操作することにより行なえるようにして

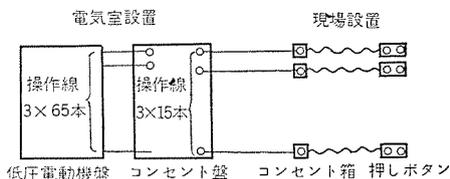


図 4.3 単独運転操作方式
Fig. 4.3 Single operation control system.

来た。この方式では電動機 1 台につき 3 本の操作線が必要で、機器が広範囲の地域に設置されている場合はこれの配線費だけでも相当な価格となっていた。古賀山選炭プラントでは 前述グループ起動方式 による電磁接触器の節減で操作線数を減らした上、さらに図 4.3 のようにして操作線を節減して、結局約 110 台の電動機の単独運転を 3 心の 15 回線の操作線で行なうようにした。

図 4.3 のコンセント盤は電気室に設置しコンセント盤には電動機盤の電磁接触器、現場の押しボタン数に対応するコンセント受口を設け盤内でプラグをもって運転機を選択して接続するようにしている。

図 4.2 の接点 RK は操作盤の連動単独選択スイッチを単独ノッチに操作したとき閉となる接点で、コンセント盤で

の接続により現場押しボタンは図の点線で示すように接続され、運転しようとする機器の断路器入れにおいて押しボタンを操作すれば所望する機器の単独運転が可能となる。

この方式では単独運転操作は従来の方式に比し多少不便ではあるが、単独運転は機器据付時の調整運転時以外はめったに行なうものでないで大した支障とはならない。

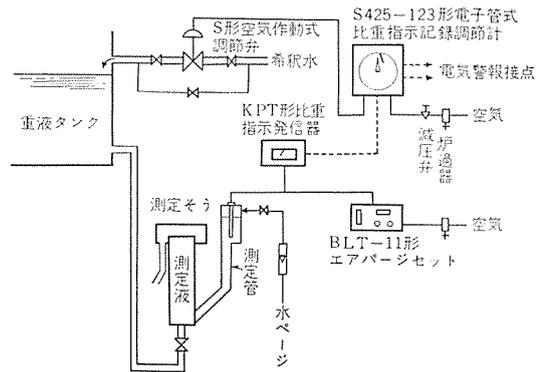


図 5.1 重液比重制御系統図
Fig. 5.1 Heavy media specific gravity control system.

5. 計装装置

5.1 重選機の自動比重制御

重液選炭では重液の比重をつねに一定にすることは石炭の品質上重要な問題である。図 5.1 に三菱造船および島津製作所の協力により古賀山選炭プラントで実施した方式をブロック図で示す。

被測定重液を比重測定そう内に導き測定管内には常時清水をパージし、測定管に重液が浸透するのを防止している。重液比重により測定管の水柱の高さかわるため空気を配管中の背圧が変化する。これを発信器で検出し偏差を発信器中の差動変圧器により電気信号にかえ、電子管式調節計に導き空気作動式調節弁を動作させ希釈水量を調節してつねに比重が一定となるようにしている。

5.2 計装

古賀山選炭プラントでは前述の重液の自動比重調整を粗選、精選重液についておこなうとともにこれらの指示記録を行ない、さらに細粉ゾグの給水流量、送風量、硬厚さなどの指示記録計を設け運転状態を容易に監視できるようにした。

6. むすび

以上のように三菱鉱業古賀山鉱業所の選炭プラントでは制御の集中化、自動運転化により完全な一人制御化を計画し、ほぼ初期の目的を達成し現在好調に運転を続けている。しかもこのような完全な一人制御化を行なう一方、運転方式、回路方式を合理的に簡略化し使用部品、配線材料を節減することができた。また使用ひん度のはげしい所にはプラントものとしては、はじめてトラジスタ式無接点継電器を使用好結果を得た。トラジスタ式 NOR 要素によると従来の磁気論理要素に比し大幅にコストを低減することができ性能的にも問題もなく 今後はプラントの総括制御にも大いに採用してもよいと考える。

高圧ガス循環ブロウ用180 kW 二極三相誘導電動機(モグラモートル)

長崎製作所 藤山辰之*・奥勝*

A 180 kW Two-Poles Three Phase Induction Motor for A High Pressure Gas Circulation

Nagasaki Works Tatsuyuki FUJIYAMA・Masaru OKU

A 180 kW three phase induction motor (called a mole motor) driving a blower for the circulation of high pressure gas in an ammonia synthetizing device has been built by Mitsubishi. This motor, combined with a blower, operates in a mixture of H_2 , N_2 and a small quantity of ammonium at a pressure of 350 kg/cm^2 for a very long time without stop. Since the unit is enclosed in a sturdy container withstanding the foregoing pressure and perfectly isolated from the outside, it needs very special construction in the lubrication of the bearing and the terminals for leading wires. The report covers, in addition to the main subject, the specification, features, construction and test of the motor.

1. ま え が き

アンモニア合成装置高圧ガス循環ブロウ用として、徳山曹達株式会社へ納入した三相誘導電動機は、その仕様構造などがきわめて特殊であって、これまでわが国には製作例がないものである。

この電動機は、新三菱重工業神戸造船所で製造されたブロウとともに、きわめてがんじょうな耐圧容器の中に組込まれて、運転中であると休止中であるとかかわりなく、つねに外界と遮断されているので、モグラモートル(ポップ)と呼ばれる。以下その仕様、特長、構造、試験、などについて説明する。

2. 仕様および特長など

2.1 仕様

$200 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ に加圧された、 N_2 , H_2 , それに少量のアンモニアの混合ガスを、さらに $15 \sim 25 \text{ kg/cm}^2$ 程度昇圧する多段ブロウと直結して、耐圧容器に組込まれて6か月間の連続運転をなすものである。

これまでこの用途に使用されていたレシプロコンプレッサと比較すると、モグラポップはつぎのように多くの利点を有している。

- (1) 吐出ガスに脈動がないので、関連する諸機械装置に衝撃を加えず、機械的事故が少ない。
- (2) 回転したりしゅう動する部分でシールする必要がなく、全部固定したシールをするので、構造が簡単であり、製作・保守ともに容易であるとともにガス漏れのおそれもない。
- (3) レシプロコンプレッサでは、シリンダ部より多量の潤滑油が高圧ガスに混入して、触媒の寿命を縮めるが、このおそれもほとんどない。
- (4) 基礎据付が簡単で、屋外の適当な場所に設置で

きるので、基礎建家などがほとんど省略でき、配管も簡単になる。

2.2 電動機の定格

出力	180 kW
電圧	440 V
周波数	60 c/s
極数	2
同期回転数	3,600 rpm
定格	連続
絶縁	B種(ダイラスタック)
形式	全閉形
軸受	NU 310-1個 6310-1個

3. 構造

この電動機は図3.1に示すように、細長い耐圧容器に組込まれるため、図3.2で見るとおり外径に比し軸長が長くなっている。なお固定子フレーム外周を流通する混合ガスには、湿ったアンモニアガスも含まれるため防食にはとくに留意した。

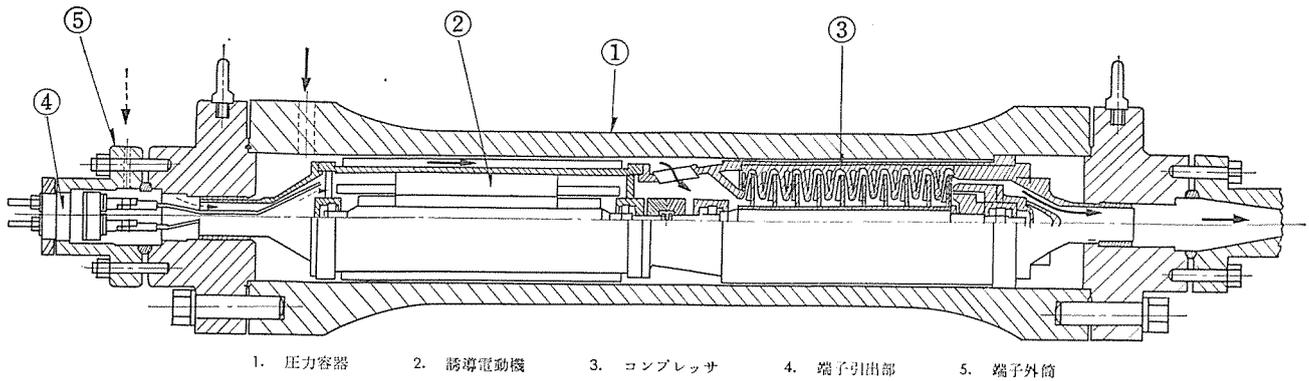
3.1 冷却方式

図3.1の実線の矢印で示すように、耐圧容器へ送り込まれた混合ガスが、フレームの外周を洗ってブロウへ流れ込むとき、電動機に発生した損失熱は、フレームの表面に設けられた多数の軸方向冷却ヒレを経て、混合ガスへ放出される。

3.2 固定子

フレームは軟鋼板の溶接製で、外周には多数の冷却ヒレを持ち、表面は強固な防食処理を行なった。

コイルの絶縁は混合ガスに対しても安全であるが、端子接続部を保護するとともに、絶縁の安全性を高めるため、端子部に小穴を設け、外部より固定子内へ、乾燥した清浄な N_2 ガスを混合ガスよりやや高圧で送り込むよ



1. 圧力容器 2. 誘導電動機 3. コンプレッサ 4. 端子引出部 5. 端子外筒

図 3.1 高圧ガス循環ブロウの組立断面図

Fig. 3.1 Sectional view of high pressure gas circulation blower.

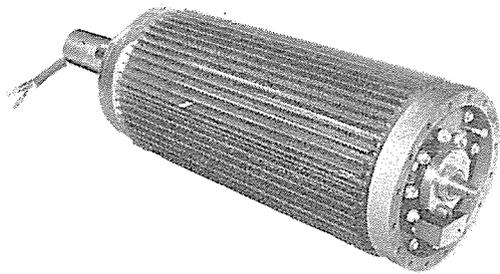


図 3.2 電動機の外観
Fig. 3.2 Appearance of motor.

うになっている。前述のようにフレームは径に比して長いので鉄心積と巻線の作業性を考慮して、フレームとは別個にコア・コイルを完成し、最後にフレームに押し込んで固定する構造である。このためコイルの絶縁処理は非常に安全性の高いものとなった。

3.3 回転子

高圧ガス中での高速回転による風損を軽減して、電動機の効率を向上するため、深溝カゴ形の溝は閉溝にして表面をなめらかに仕上げ、エンドリングとパー両端突出部には、ステンレススチール製のカバーを固くはめ込んで、前記風損軽減と混合ガスによる腐食より保護している。図 3.3 は軸と鉄心に防食処理を施して、完成した回転子である。

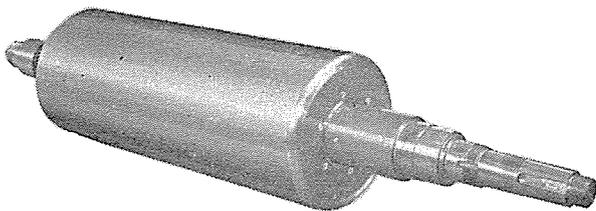


図 3.3 回転子
Fig. 3.3 Rotor.

3.4 軸受

耐圧容器中で運転中の電動機とブロウは、軸受の点検がまったく不可能である。しかも 3,600 rpm の高速回転で、6カ月の無休止運転をなす苛酷なもので、潤滑がきわめてむずかしく、普通の電動機のように、グリスを適宜補充排出するなどの方法はとれないので、耐圧容器に組込むときグリスを充填しておき、正常運転中は一定間隔に一定量の潤滑油を高圧ポンプで送り込み、廃油は

軸受部の廃油溜に貯留しておき定期分解のとき廃棄する。

この給油方法の安全性について必要なデータを得るため、後述する軸受試験を行ない、1日1軸受当たり 2.5g 程度を給油すると良好な運転を続けうるとの結論を得た。

3.5 端子の引出口

電動機に供給する電力は、耐圧容器を貫通して送り込まなければならない。端子の引出口は直接 300 kg/cm^2 の圧力が加わるので、耐圧容器としての十分な強度を持ち、高圧ガスのシールと電気的絶縁性を保持する必要があるため、この電動機ではもっともやっかいな部品であった。3相分計3本のクロムメッキした端子ボルトにモールド絶縁をなし、合成ゴム製のパッキンを用いて、ステンレススチール製のブッシュに固定し、その外筒とは銅環パッキンを用いてシールした。

図 3.4 は端子部だけの組立品、図 3.5 は耐圧容器の一端に結合すべく完成した端子引出部である。屋外や防食

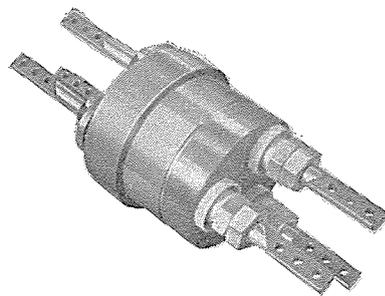


図 3.4 端子引出部
Fig. 3.4 Terminal lead.

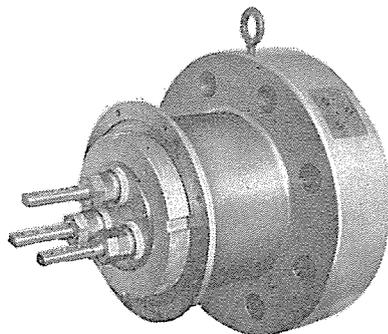


図 3.5 完成した端子部
Fig. 3.5 Completed terminal.

などのときは、小径側に端子箱を取付けて完全に密閉する。

なお大径側外周の小穴は、3.2で述べた N₂ ガス 送り込み用である。

4. 試 験

4.1 特性試験

正常運転と同じふんい気中でテストするのが望ましいが、工場試験を 300 kg/cm² の混合ガスの中で、施工することはできないため、大気中で無負荷試験を行ない、円線図法にて特性を算定した

出 力	180 kW
効 率	95.5 %
力 率	90.6 %
電 流	273 A

4.2 軸受試験

正常運転と同様に グリス を初充填して、その後補給する量と時間の関係を調査するのが望ましいが、相当長い期間を要するため、この試験では、電動機に使用したものとまったく同一の軸受部分を用意して、油気がほとんどない状態に組立てて、3,600 rpm の連続運転を行ない、一定時間ごとの補給油量を、逐次減らす方法により、1日1軸受当たり 1.5 g 程度でも連続運転できることを確認した。

4.3 端子の引出口

工場で 300~450 kg/cm² のガス圧を得ることができないため、端子部完成品に強固な盲ブタを固着して、まずフルオロ漏洩検知器によって気密状態を確かめてから、絶縁油で端子部内に、450 kg/cm² (最大使用圧力 300 kg/cm² × 1.5 倍) の圧力を加えて、機械的強度と無漏洩を確かめた。

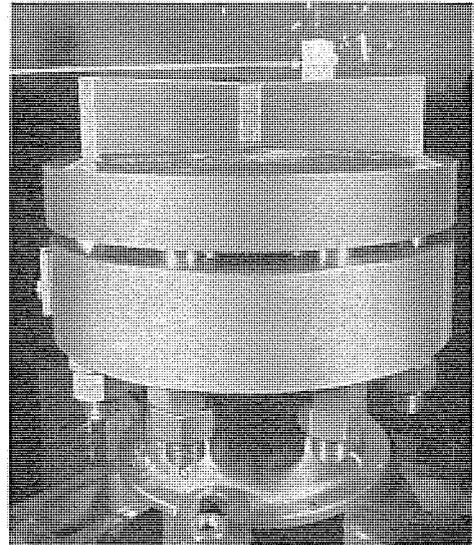


図 4.1 油圧試験中の端子部

Fig. 4.1 Terminal under oil pressure test.

さらにガスによる漏れテストとして、N₂ ポンプと直結して 120kg/cm² の圧力を導入し、そのまま数日間放置して無漏洩を確認した。なお端子 ボルト間の絶縁抵抗は 200 MΩ程度であった。図 4.1 は油圧試験中の端子部である。

5. む す び

以上 180 kW モグラモートル について述べたが、ほとんど無経験の仕様を持つ特殊機で、最初の製品であるにもかかわらず、順調に完成した。

この種の 高压ガス 循環 プラウ は、アンモニア 合成工業だけでなく、メタノール 合成工業などを含め、その他の化学工業にも、用途が広いと考えられるので、今回の経験をもとにして、さらに研究を積む所存である。

最近登録された当社の実用新案

区 別	名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 考 案 者	関 係 場 所
新 案	電気機器用足踏スイッチ	36- 9-12	206060	岩 田 尚 之・日 比 野 好 伸	日 建
"	扇風機の リモートコントロール用スイッチ	36- 9-12	206061	長 瀬 卯 三 郎	中 津 川
"	ラジオ受信機用キャビネット	36- 9-12	206062	若 林 弘 章・牟 田 克 己	無 線 機
"	中間周波数変成器	36- 9-27	552022	松 田 安 皓	無 線 機
"	回転軸の軸封装置	36- 9-27	552023	岸 田 公 治・前 田 登 美 男	伊 丹
"	半導体整流装置	36- 9-27	552024	細 野 勇	伊 丹
"	開閉器の圧縮空気操作装置	36- 9-27	552237	森 岡 照 二	伊 丹
"	クリーナー	36- 9-27	552238	田 原 義 太 郎・加 藤 悟	菱 電 機 器
"	磁気選別ローラ	36- 9-27	552239	河 合 登・高 島 秀 二 加 藤 庸 夫・柳 下 儀 兵 衛	大 船
"	磁気二段選別装置	36- 9-27	552240	河 合 登・高 島 秀 二 加 藤 庸 夫・柳 下 儀 兵 衛	大 船
"	蛍光灯器具	36- 9-27	552241	橋 本 武 雄	大 船
"	蛍光灯器具	36- 9-27	552242	橋 本 武 雄	大 船
"	冷房装置の再加熱装置	36- 9-27	552243	河 合 照 男	大 静 岡
"	蛍光灯器具の ガード枠取付装置	36- 9-28	552454	船 田 淳 三・鈴 木 実	大 船
"	蛍光灯器具の ガード枠取付装置	36- 9-28	552455	田 中 民 雄・久 能 健 一	大 船
"	蛍光灯器具	36- 9-28	552458	葉 山 昭	大 船

添加剤による耐熱絶縁紙の開発

研究所 白井万次郎*・大杉 肇**
 伊丹製作所 神谷友清***・菅 寿郎****
 名古屋製作所 木野崎泰三*****

Development of Heat-resistant Insulating Paper with Additives

Research Laboratory Manjiro SHIRAI・Hajime ŌSUGI
 Itami Works Tomokiyo KAMIYA・Hisao KAN
 Nagoya Works Taizo KINOZAKI

The output of transformers is limited by the temperature rise of component materials subject to thermal aging, which in most cases happen to insulating paper. Many attempts have been tried to improve this condition by the use of various materials other than paper. But none has surpassed oil impregnated paper so far because of drawbacks accompanying to the new materials. On the other hand there is another trial to improve the heat-resistant quality of the paper with additives of a certain quality. Successful reports are already made public in this connection in America. Mitsubishi has followed suit and developed several kinds of heat-resistant paper. This paper deals with this new product, describing its heat resistant effect under various conditions and the advantage when used for transformers.

1. ま え が き

よく知られているように変圧器の出力はおもに変圧器を構成する材料の中でもっとも耐熱性の弱いもの、すなわち絶縁材料の温度上昇限度によって制限される。現在油入変圧器の絶縁材料として マニラ紙、クラフト紙、プレスボードなどを油浸した、いわゆる A 種絶縁物がひろく使用されているが、これらの最高使用温度は 105°C (実用的には 95°) に制限されている。もし絶縁材料の耐熱性を改良し許容温度を上げることができれば、変圧器の設計製作上大きな進歩となることは明らかである。この見地から耐熱性のすぐれた絶縁材料を開発するための努力が続けられ、とくに近代化学工業のめざましい発展ともなつて、E. B. F. H. C 種絶縁物など、各種の耐熱性絶縁材料が生れた。しかし残念なことに、絶縁性および価格の点において古くから使用されている油浸紙にまさるものはいまだ発見されていない。一方現在用いられている絶縁紙自体の耐熱性を改良する試みが、米国において Westinghouse 電機会社 (以下 W 社と略す) によって始められた。同社は絶縁紙にある種の添加剤を加えることによって、その耐熱性を大幅に改良することに成功し、Insuldur (Durabl Insulation の意) の商品名で、電力用、配電用変圧器にひろく使用している。当社においても W 社方式によって耐熱絶縁紙の開発につとめてきたが、各種の耐熱絶縁紙を工業的に製造することに成功した。これら試作耐熱紙の各種の条件下における耐熱効果と、これらを変圧器に使用した場合に生ずる利点につき考察したところをここに報告する。

2. 油中におけるプレスボードの熱劣化

絶縁紙の耐熱性の研究は、絶縁紙の熱劣化機構そのものを明らかにする必要がある。絶縁紙の熱劣化は変圧器の寿命を決するものといわれ、この立場から油中における絶縁紙の熱劣化の研究はこれまできわめて多く報告されている。しかしこれらは紙の抗張力の減少、あるいは分解して発生するガスの測定より紙の寿命を推定しているもので、紙の熱劣化の化学反応メカニズムに触れているものは少ないようである。反応メカニズムに触れている文献には各種酸化剤によるセルロースの酸化機構の考察がある⁽¹⁾。油入機器中の絶縁紙においても油中に溶解している空気中の酸素による酸化反応がもちろん行なわれるが、窒素封入変圧器のように酸素が微量に制限されている場合がある。よってまず各種の状態の絶縁液体中におけるプレスボードの熱劣化を測定してみた。

加熱容器としては直径 95 mm、深さ 220 mm の鉄製密閉容器を用い、フタには真空バルブ 2 個がついている。この容器内に内径 70 mm、深さ 210 mm のガラス容器を入れ、この中に絶縁油を入れる。絶縁油としては市販の JIS 規格変圧器油と、これを加熱劣化させた劣化油、および不燃油を用いた。鉱油の場合に新油と劣化油を用いたのは、劣化油は酸価が高くなっており、これにより紙のセルロースが加水分解を受け、劣化するかどうかを見るためである。不燃油は鉱油と比較するために用いた。

これらの油は使用前に十分に脱気した。脱気した油にそれぞれ 1 気圧で酸素および窒素を飽和させた。これらのガス飽和油中に試料のプレスボードを入れ、油面上の空

間に油に飽和したガスと同じガスを1気圧でみだし密閉した。これは紙の劣化に対する油の溶解ガスの影響をみるためである。

プレスボードの厚さは約0.8mmで、抗張力の測定ができる形状に切っておく。切断する幅は15mmで、縦目の方向に切っている。試料はあらかじめ100°Cで5時間乾燥したものを用いる。プレスボードと油を密閉した容器は空気循環式恒温器に入れて加熱する。

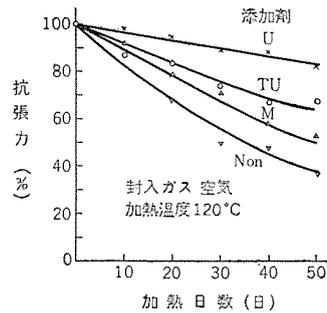
一定時間加熱ごとに試料の一部をとりだし、その抗張力と銅価を測定した。抗張力の測定はもっとも簡単な紙の劣化の尺度であり、これまで多くの研究者により用いられてきたものである。銅価はセルロース分子の還元基を測定するもので、銅価の増加はセルロースの末端基の増加を意味するから、セルロースの解重合の尺度となるものである。この測定はJIS P 80101によって行なった。ただし試料を規定のように2.5gとすると、銅価が6以上になる試料は値が不正確になるから試料は1gとした。

加熱温度が140°Cの場合の実験結果を図2.1に示す。紙の抗張力は始めの値に対する百分率で示してある。この結果によれば、酸素を封入した試料のほうが、窒素を封入した試料より劣化がいちじるしく大きい。変圧器は油劣化防止のために窒素封入を行なう場合があるが、これは絶縁紙の劣化防止にも非常に役だつことがわかる。

劣化油の酸価は0.122で、これはかなり劣化した油に相当するが、窒素封入の場合、プレスボードの劣化にあまり影響を与えていない。これはこの程度の油の酸価ではセルロースの加水分解に影響を及ぼさないことを示している。不燃油はプレスボードの劣化に対し、鉱油とあまり変わらない。加熱温度が130°Cの場合も試みたが、プレスボードの劣化の傾向は同様である。

3. 油に添加剤を加えた場合のプレスボードの熱劣化

添加剤により紙の熱劣化を防止しようとする方法の一つとして、油入機器の場合は油に添加剤を加える方法があり、⁽²⁾ まずこの方法を試みた。少量の添加剤を木綿の袋に入れ、これを油中に入れる。添加剤は各種のアミン類があげられているが⁽³⁾、尿素、チオ尿素、メラミンを試みた。これらの油への溶解度は微量であるが、これが紙



U:尿素, TU:チオ尿素, M:メラミン, Non:添加剤なし

図 3.1 油中に添加剤を加えた場合のプレスボードの熱劣化

Fig. 3.1 Thermal aging of pressboard in oil with additives.

に透過して紙に耐熱性を与えると考える。

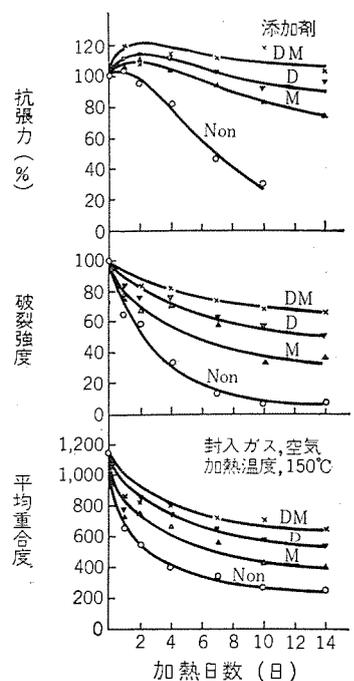
プレスボードの劣化試験は前節と同様に行ない、封入ガスは空気、加熱温度は120°Cである。劣化の尺度としてはプレスボードの抗張力だけを測定した。

実験結果は図3.1に示す。尿素はかなりの耐熱効果を紙に与えるが、メラミンの効果は明瞭でない。またこれらの添加剤の中には油に好ましくない影響を与えるものがある。耐熱効果が顕著でないのは、この方法では添加剤が紙に達するのが、油を介して間接的であるためと考えられる。この点から次節にのべる添加剤を直接に紙に加える方法のほうがすぐれている。

しかし紙の熱劣化防止方法としては、紙を加工する必要があるからもっとも簡単であり、適当な添加剤が発見されれば実用しうるものである。添加剤としては油にかなりの溶解性があり、紙の熱劣化防止に効果があり、しかも油および変圧器中の他の絶縁材料にわるい影響を与えるものであってはいけない。

4. 添加剤を加えた絶縁紙の耐熱効果

添加剤により紙に耐熱性を与える他の方法は、紙に直接に添加剤を加える方法である。絶縁紙に添加剤を直接に加えるには、実験室では普通に抄紙した絶縁紙を添加剤の溶液に浸漬し、しわにならないように乾燥して試料とした。添加剤溶液の濃度、紙の浸漬時間を適当にして



D:ジシアングアミド, M:メラミン

図 4.1 添加剤を加えた絶縁紙の油中における熱劣化

Fig. 4.1 Thermal aging of insulating papers with additives in oil.

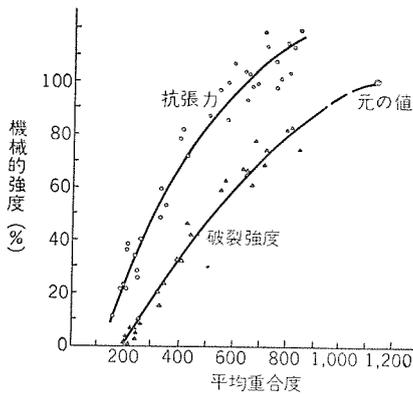


図 4.2 セルローズの平均重合度と紙の強度との関係
Fig. 4.2 Relation between average degree of polymerization of cellulose and mechanical strength of paper.

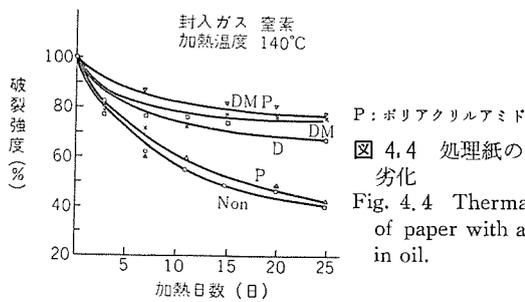


図 4.4 処理紙の油中熱劣化
Fig. 4.4 Thermal aging of paper with additives in oil.

適当量の添加剤を紙に加えることができる。添加剤はジシアングジアミド、メラミン、ポリアクリルアミドなどが文献にみえるので⁽⁴⁾、まずこれらを試みた。厚さ約 0.08 mm のクラフト紙を用いて実験した。

紙の熱劣化試験は前節までと同様に行なった。加熱温度は適当な期間に効果を見るため 140~170°C で行なった。封入ガスは空気、窒素、酸素である。紙の劣化の尺度としては抗張力のほか、破裂強度、セルローズの平均重合度を測定した。添加剤はジシアングジアミドとメラミンを単独に加えた場合と両者を混合した場合を行なった。

実験結果の一例を図 4.1 に示す。封入ガスは空気、温度が 150°C の場合である。紙の抗張力、破裂強度、セルローズの平均重合度の変化が加熱日数に対して示してある。いずれの性質に対しても添加剤の効果は明らかである。ジシアングジアミドはメラミンより効果がある。

セルローズの平均重合度と紙の抗張力、破裂強度の関係は図 4.2 に示す。紙の抗張力は加熱の初期には増加する。これは多くの研究者の報告に見られるところである。一方この期間もセルローズの平均重合度は低下するから、平均重合度が始めの値の半分くらいになって、はじめて紙の抗張力の低下が見られることになる。紙の破裂強度は加熱の初期に増加が見られないようで、これは平均重合度の低下とともに減少する。

封入ガスと加熱温度が処理紙の耐熱効果に及ぼす影響は図 4.3 に示す。紙の劣化の尺度としては抗張力の変化だけを、また処理紙はジシアングジアミド、メラミン混合添加の場合だけを示してある。前にも記したように、封入ガス

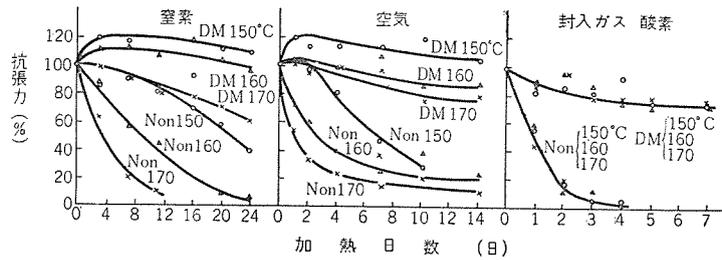


図 4.3 紙の熱劣化に対する油溶解ガスと温度の影響
Fig. 4.3 Influence of dissolved gas in oil and temperature on thermal aging of paper in oil.

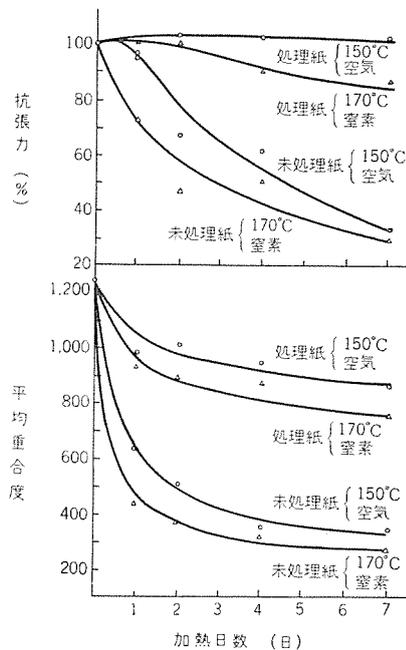


図 4.5 工業的に製造した処理紙の耐熱効果
Fig. 4.5 Thermal aging of insulating paper with additives manufactured commercially.

の影響はきわめて大きい。酸素の場合は劣化がはげしいので、150°C と 170°C の間では加熱温度による差が見られない。しかしいずれの場合も添加剤の効果は明瞭である。添加剤の効果は比較的少ない窒素封入の場合でも、処理紙 170°C の劣化が未処理紙 150°C の劣化より少ない。耐熱効果は封入ガスが空気、酸素となるほど大きい。これは添加剤の効果がセルローズの酸化生成物と添加剤の反応にあることを暗示している。

文献には添加剤としてジシアングジアミドとメラミンのほかポリアクリルアミドが示してあるが⁽⁴⁾、これは単独に使用すると、図 4.4 に示すように紙に対しあまり熱劣化防止効果が見られない。ポリアクリルアミドを添加すると紙がしなやかになるようである。

以上は実験室で絶縁紙に添加剤を加えた試料についての耐熱効果を示したものであるが、つぎに工場での工業的に製造した耐熱処理コイル絶縁紙の耐熱効果を示す。

実験の方法はこれまでとまったく同じである。150°C 空気封入と 170°C 窒素封入の場合を行なった。実験結果

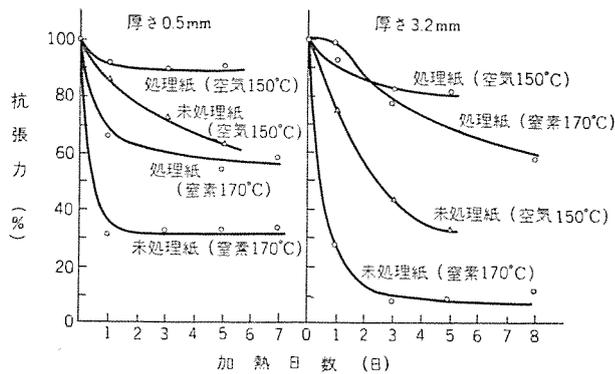


図 4.6 工業的に製造した処理プレスボードの耐熱効果
Fig. 4.6 Thermal aging of pressboard with additives manufactured commercially.

は図 4.5 に示す。紙の抗張力、セルロースの平均重合度を劣化の尺度として、いずれの場合も処理紙の耐熱効果は明らかである。

同様に工業的に製造した耐熱処理プレスボードの耐熱効果を図 4.6 に示す。厚さは 0.5 mm と 3.2 mm のものを作った。加熱条件は上述の絶縁紙の場合と同じである。抗張力だけを測定しているが、処理プレスボードの耐熱効果は明了である。

これら各種の耐熱絶縁紙の開発により、当社においては変圧器内のセルロース質絶縁材料をすべて耐熱紙に変えることが可能となった。

使用添加剤はいずれも工業的に用いられている薬品であり、また添加量も少量でよいため、添加剤処理による紙のコストの増加はきわめて少なく、変圧器全体の材料費の増加はほとんど無視しうる程度であるといえる。

5. 耐熱紙のエナメル線、ワニス、油に与える影響

耐熱処理紙が変圧器中の他の絶縁材料に与える影響を見るため、つぎの実験を行なった。密閉容器中に油を入れ、これに NEMA 規格にしたがってねじり合わせたエナメル線を入れ、これに処理紙、未処理紙を加えて加熱する。

表 5.1 処理紙のエナメル線、ワニス、油に与える影響

試料	エナメル線				絶縁紙			絶縁油		
	試験項目**	破壊電圧 (kV)				破壊電圧 (kV/mm)			tanδ(%) 抵抗(Ωcm)	
試料組合せ / 加熱日数*	0	5	11	15	0	5	15	15	15	
油 ⊕ PVF 線 A ⊕	処理紙	6.9	7.2	7.4	7.9	41.6	53.2	55.1	0.53	4.6 × 10 ¹²
	未処理紙	7.9	7.5	6.6	5.3	39.8	51.7	46.9	1.76	1.2 "
油 ⊕ PVF 線 B ⊕	処理紙	9.0	8.4	8.6	9.0	36.8	43.7	54.0	0.72	3.5 "
	未処理紙	7.9	8.0	8.0	8.0	36.0	55.1	46.5	0.53	4.6 "
油 ⊕ PVF 線 A ⊕ ⊕ ワニス処理 ⊕	処理紙	7.6	—	—	7.3	50.6	—	69.2	0.45	6.3 "
	未処理紙	7.0	—	—	7.5	48.0	—	70.7	0.45	6.2 "
油 ⊕ PVF 線 B ⊕ ⊕ ワニス処理 ⊕	処理紙	8.1	—	—	8.5	46.8	—	65.9	0.64	4.6 "
	未処理紙	8.8	—	—	7.6	49.1	—	49.4	0.94	2.4 "
油 ⊕ ワニス処理 ⊕	処理紙					50.5	—	72.4	0.45	4.6 "
	未処理紙					43.3	—	68.6	0.34	9.0 "
油だけ									0.49	8.7 "

* 加熱温度 150°C ** 測定温度, tanδ, 抵抗, 50°C, 破壊電圧, 室温

添加剤による耐熱絶縁紙の開発・白井・大杉・神谷・菅・木野崎

またワニスに与える影響を見るためには処理紙、未処理紙を配電変圧器用ワニスで処理乾燥し、これを油中に入れて加熱した。加熱温度は 150°C で、加熱日数は 15 日まで行なった。絶縁油は脱気せず、空気を溶解したままのものを用いた。一定時間ごとにエナメル線、絶縁紙をとりだし、破壊電圧を測定した。紙の厚さは 0.08 mm で、測定回数は電線、紙ともに 5 回で平均値を求めた。

これらの材料の組合せおよび実験結果は表 5.1 に示す。これらの結果によれば、エナメル線、紙ともに加熱前も加熱後においても、処理紙を組合せたものが、わるい結果を示すということはない。ワニス処理をした場合も同様な傾向で、この場合は加熱により処理紙も未処理紙も加熱前より高い値を示す。おそらくワニスの硬化が進行するためであろう。15 日間加熱後、油の試験を行なった。油の劣化の尺度としては、油の誘電正接と抵抗率を示したが、処理紙と未処理紙の油に及ぼす影響としての差は認められない。

これらの材料の工場における長期の試験結果でも、処理紙と未処理紙を使用した場合の差が認められなかった。処理紙は変圧器の他の絶縁材料にとくにわるい影響を与えないものと結論できよう。

6. 耐熱処理紙の変圧器への適用

耐熱処理を施した絶縁紙を変圧器に使用することにより、どのような利益を生ずるかを検討してみよう。

耐熱処理紙を現在の設計の変圧器に適用すれば、当然過負荷耐量と寿命が大幅に増加する。このことは変動を有する負荷に対して、定格容量の小さい変圧器を適用でき、設備費が軽減できることを意味する。また将来、負荷が増大したような場合にも、変圧器の取換え、増設などの必要がなくなるとか、取換え、増設を遅らせることができる。もちろん変圧器の過負荷運転することは、効率の低下、電圧変動の増大をきたすから、これらは取換え、増設の費用と経済比較を行なう必要がある。この点に関して米国では耐熱処理紙の採用にともない、変圧器

の損失比（銅損と鉄損の比）とインピーダンスを小さくして、過負荷できる利点を強く打ちだした例がある。これについてつぎに説明しよう。

従来の柱上変圧器では負荷の大きさは温度的に制限されることが多く、平均出力は変圧器定格に比べかなり低くおさえられていたので、電力会社では無負荷損失を少なくして、軽負荷における運転コストを下げようとしていた。現在の巻鉄心形変圧器では負荷損と無負荷損の比は 4:1 程度になっている。

耐熱絶縁紙を使用した柱上変圧器では、温度上昇による過負荷限度は

表 6.1 変圧器の過負荷特性⁽⁵⁾

		定格出力の倍数 (%)					
連上統負荷温度		95			105		
限度 (°C)							
過負荷	前 (%)	90	70	50	90	70	50
過負荷時間 (h)	1	133	139	145	146	152	157
	2	120	125	129	133	138	142
	4	110	114	115	123	124	127
	8	106	107	107	116	117	117
	24	100	100	100	110	110	110

* 変圧器の基準特性は表 6.2 による

表 6.2 変圧器の基準特性⁽⁵⁾

最高点温度上昇 (°C)	65
最高油温上昇 (°C)	35
巻線と油との温度差 (°C)	30
全負荷時の時定数 (h)	3.0
銅損対鉄損比	3.5 : 1
周囲温度 (°C)	30

緩和される。いま耐熱紙絶縁変圧器の温度上昇限度を安全側に見積って 10°C 高くできるものとする、日にかけるセツ頭負荷の大きさは表 6.1 となり⁽⁵⁾、従来の変圧器より約 10% 大きくなる。この場合、電圧降下、電力損失はもちろん大きくなる。6 kV, 3 kV, 共用 20 kVA 50 c/s 巻鉄心形変圧器の定格出力および 110% 負荷における特性を比較すると、全損失は 16%, 電圧降下は 10% 大きくなる。このように実質的に大きな負荷をかける耐熱紙絶縁変圧器では、従来の特性のままでは電圧降下、電力損失が大きくなるので、温度上昇に基づく負荷制限と経済的負荷から変圧器特性を検討しなおす必要が生じてくる。

米国ではこの種の高温に耐える絶縁を使用した配電用変圧器がすでに広く使用されている。初期の製品は従来品の絶縁だけをかえたもので、新しい絶縁に相応した温度上昇 65°C (平均)、出力 112% の定格を追加し、温度上昇は 55/65°C の二重定格としていたが、最近になり新しい絶縁に合った特性をもつ変圧器が発表された。この変圧器は温度上昇限度が 65°C であるので、小形軽量になっており、また無負荷損失、負荷損失を少なく設計してある。従来から米国の配電用変圧器は負荷損失が小で、損失比が 3:1 程度であったが、この新しい変圧器ではさらに負荷損失を少なくして、損失比が 2.5:1 程度になっているものがある。

この結果、電圧降下が小さくなり、高いセツ頭負荷を負担することができ、いかなる負荷においても従来の変圧器より運転費用が安く、かつ短時間負荷耐量も同等以

上であるといっている。これは耐熱絶縁紙の採用が変圧器の設計に根本的な影響を与えた一つの例である。

また変圧器の温度上昇が格上げされれば、変圧器製作上多くの利益が生ずることはない。単純に考えて変圧器の中身は同一設計としても、冷却器は約 20% 減少でき、これはとくに冷却の問題の苛酷な大容量器において大きな利点となる。また自冷式で製作できる範囲も大幅に拡大されよう。配電用変圧器においては、たとえば従来冷却フィンが必要としていた容量のものが、フィンが不要となり、構造の簡単化、寸法の縮小などの利点が生じてくる。

この場合問題となるのは、油の温度上昇が現在より高くなる点であるが、この点に関しては現在広く使用されているコンサータ付窒素封入方式のものでは心配がないといえる。コンサータ付のものでは、油面の温度は最高油温よりかなり低く、また接触する気体は窒素であるから、油の劣化あるいは蒸発減量なども問題がないと思われる。米国ではガスクッション形変圧器(コンサータがなく変圧器タンク内の油面上に空間を有する形式)が問題なく運転しており、また引火点の高い油を使用している例もある。

7. む す び

耐熱絶縁紙の油入変圧器への適用は、米国においてすでに実用期にはいっており、W 社が Insuldur を広く使用しているのをはじめ、GE 社はシアノエチル化紙を Permalex の商品名で使用し⁽⁶⁾、他の変圧器メーカーもこれに追随する形勢にある⁽⁷⁾。当社においても W 社方式による、各種の耐熱絶縁紙を工業的に製造することに成功したので、今後、電力用、配電用その他あらゆる種類の変圧器に広く使用して、変圧器の信頼性と過負荷耐量の向上のために、その利点を十分に生かしたいと考えている。(昭 37-2-10 受付)

参 考 文 献

- (1) 稲田・町田：化学の領域，p. 130 (昭 34)。
- (2) J.G. Ford and H.G. Leonard : AIEE. T.P. 58-311.
- (3) L. McClellack : USP. 2,722, 561 (1955).
- (4) J.G. Ford, A.M. Lockie and M.G. Leonard : Insulation Aug p. 24 (1960).
- (5) 変圧器専門委員会：電気学会技術報告第 18 号 p. 6 (昭 32)。
- (6) M.F. Beavers, E.L. Raab, J.C. Lesilee : AIEE. PAp and Sys No. 47, p. 64 (1960).
- (7) 水谷・中村・久保：東芝レビュー，p. 1161 (昭 36)。

変圧器用接着鉄心(1)

研究所 伊藤 公男*

伊丹製作所 清水 英範**

Bonded Cores for Transformers (Part 1)

Research Laboratory Kimio ITO

Itami Works Hidenori SHIMIZU

In applying bonded cores made of silicon sheet steel to transformers, they pose many problems in bonding technique and working characteristics in spite of their numerous advantages.

Of a number of adhesive agents, epoxy and vinyl series are considered the most appropriate with their shearing strength of about 300 kg/cm² and high layer insulating resistance. They deteriorate very little. Results of tests on thermal aging in hot air and in hot oil have revealed that they retain high adhesive strength for a fair length of time based on the half life time calculation. It has been also atested that transformer oil is not contaminated for a long period of time because of small contact areas of the adhesives.

1. ま え が き

ケイ素鋼板を接着して接着鉄心とする考えは、古くからCコア、積み鉄心などで研究されているが⁽¹⁾、当時は良好な接着剤もなくケイ素鋼板も大分異なっているため現在と比較にはならない。すなわち新接着剤の出現、ケイ素鋼板の特性向上、機械加工性の進歩などによって、最近ではCコア、積み鉄心はもちろんそれ以外のいままでもみられなかった特殊鉄心の製作が可能になってきた、また変圧器鉄心以外のものにも応用できることはいうまでもない。このような接着鉄心の特長はいろいろあるが大体つぎの諸点に要約できる。

- (1) 磁気特性が安定する。
- (2) 騒音が低減する。
- (3) 特殊構造の鉄心使用機器ができる。
- (4) 鉄心部の工作が機械化され多量生産ができる。
- (5) 組立が容易となり分割輸送もできる。

以上の利点がある反面接着剤にたいする問題として、接着加工性、耐熱性、耐溶剤性(主として油)、耐劣化

性などが心配である。また接着による鉄心の特性変化がどのくらいであるか、ということも問題である。

接着鉄心を製作する方法はおのおの鉄心構造によって異なるが大別すると図1.1のように含浸法、積層法、その他とに区別される。もちろん両方法の組合せにより特殊形状の接着鉄心とすることもできる。この報告においてはこれら接着剤にかんする諸問題を主として論じ、磁気特性の変化、ならびに実際の各種接着鉄心については第2報で報告する。

2. 接 着 剤

接着鉄心用の接着剤は、一般の接着剤としての特性のほか鉄心の電気的特性に悪影響をおよぼさないことが必要で大体つぎの諸項目を満足することがのぞましい。

- (1) 接着強度が大で、温度特性が良好なこと。
- (2) 適当な粘度をゆうし含浸、塗布が容易にできる。
- (3) 絶縁抵抗が高いこと。
- (4) 接着硬化のさいの発生ヒズミが少ないこと。
- (5) 膨張係数が金属に近いこと。
- (6) 劣化性、耐油性などがすぐれていること。

しかしこれらの諸点を全部満足することはむずかしい、相反する性質を示す場合が多く一方が良ければ他方が悪くなることが多い。これらの条件に近いものとしては、無機系のものより有機系の方が取上げやすいことはいうまでもない、そしてもっとも代表的な接着剤として、エポキシ系、ビニル系がありウレタン系、その他が今後の研究によって使用されることが考えられる。図2.1にこれら接着剤の化学構造を示した。もちろんこれは代表的なものの構造でさらにこれより出発した化合物、あるいは混合したものなど組合せは多くある。また使用箇所によってわけると鋼板用と接合部用になる。前者はケ

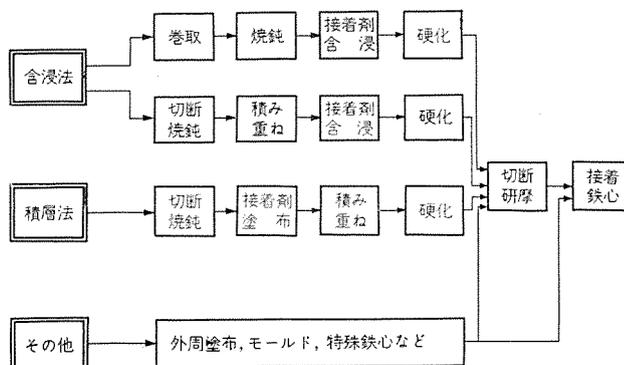


図 1.1 接着鉄心製造法

Fig. 1.1 Process of the adhesive bonded core.

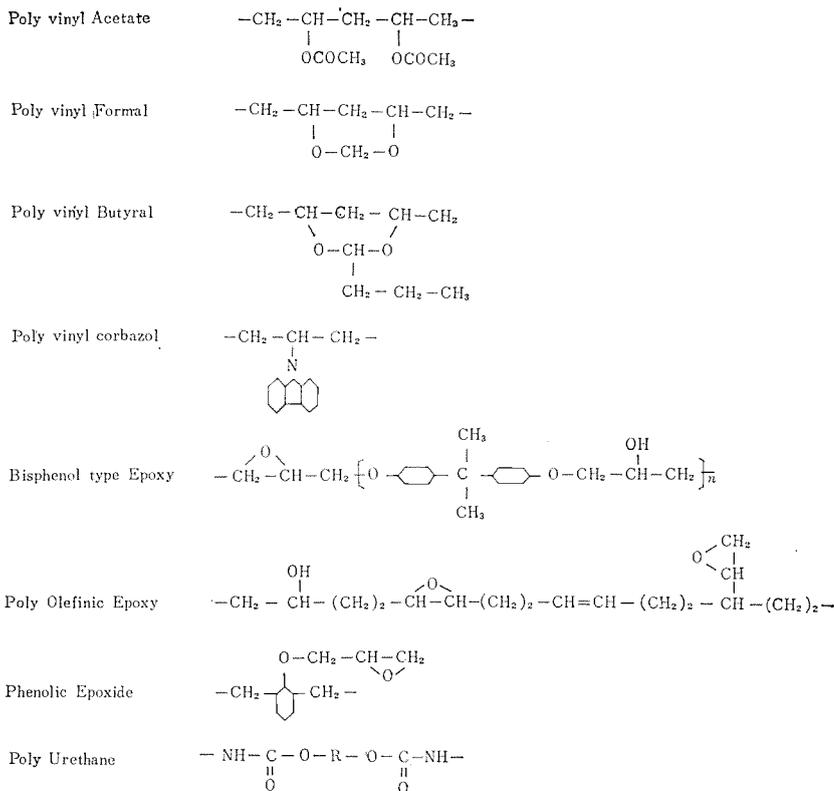


図 2.1 接着剤の化学構造例
Fig. 2.1 Chemical structure of typical adhesives.

イ素鋼板層間用であり、後者は接着鉄心同志の接着剤である。

2.1 接着方法

接着鉄心の製造方法には含浸法と積層法とがあることをのべた。含浸法においては接着剤の粘度が問題であり積層法ではケイ素鋼板に塗布される膜厚が均一で、塗りやすいことが必要である。まず含浸法において接着剤の間隙浸透速度は式(2.1)で表わされ粘度の低いことが必要である⁽²⁾。

$$\frac{dX}{dT} = \frac{\gamma \cdot \cos \theta}{2\eta} \cdot \frac{R}{X} \dots\dots\dots(2.1)$$

X = T 時間に液面の移動する距離
 γ = 表面張力 η = 粘性係数
 θ = 接触角 R = 毛細管の半径

γ , θ の大きいことは接着剤のぬれがわるいことであり、ぬれを良くすると浸透性はわるくなる。そこで接着剤の圧入操作が必要となる。圧入の場合は上式は適用できない。そしてこれらの粘度は経験的にいって1ポイズ以下がのぞましい。

積層法の場合は接着剤の塗布が均一になりやすいものが必要で塗布方法としてはスプレー法、ナイフコート、ロールコートなどいずれでもよいが、リパースロールを使用した方法が膜厚の均一性からいってもっとも良い。これらの作業は塩ビ鋼板の製作における接着剤の塗布方法と非常に類似点が多い⁽³⁾。

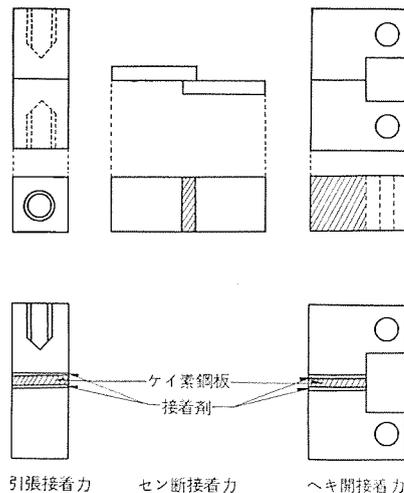


図 2.2 接着強度測定試料
Fig. 2.2 Adhesive strength measurement test piece.

つぎにこれら接着剤が塗布されたケイ素鋼板を鉄心とするために熱圧着が必要となる。このときの接着剤の流れは式(2.2)によって表わされる⁽⁴⁾。

$$h = H \left(\frac{3\eta\pi h^4}{3\eta\pi R^4 + H^2 W t} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.2)$$

h = 接着剤層の厚さ
W = 荷重

H = 塗布したときの厚さ
t = 圧着時間
R = 被接着材の直径

すなわち h は $\eta^{\frac{1}{2}}$ に比例している。また加熱圧着のとき η はつねに変化しさらに接着硬化が行なわれたときに流れが止まるわけで硬化反応のおそいものについてはある限度内において $\eta^{\frac{1}{2}}$ に比例して薄くなる。

含浸法、積層法などのいずれで行なうかは鉄心の形状寸法などによって決定されるものでありおのおの一長一短がある。すなわち含浸法においては含浸タック、圧入装置などが必要であり、接着剤としては無溶剤形がのぞまれ可使用時間、粘度の調整がむずかしいが、一度の操作で接着を完了することができる。積層法は1枚ごとに塗布する点が問題であるが、しかしCコア方式以外は鉄心として組立てる工程は大体同じと考えるとそうたいして問題とするほどのこともないとおもえる。またその他の方法は特別な場合に適用する。

2.2 接着強度

接着強度の測定法はいろいろあって問題点も多い⁽⁵⁾。しかし大別すると引張接着強度、せん断接着強度、へき開接着強度を測ればそのものの接着強度が大体判定できる。図2.2に測定試料を示し、まず鉄と鉄を接着したときの強度を図2.3に示した⁽⁶⁾。引張、せん断強度は大体同じくらいであるがへき開強度が相当低くなることは注意しなければならない。このときの接着締付圧力は10

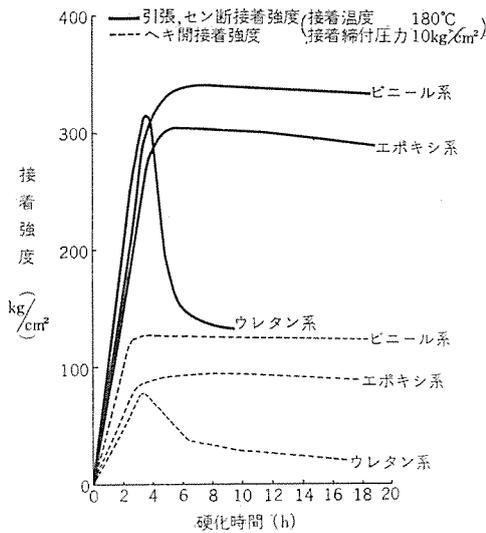


図 2.3 各種接着剤の鉄—鉄接着強度
Fig. 2.3 Fe—Fe Adhesive strength of the various bonding agents.

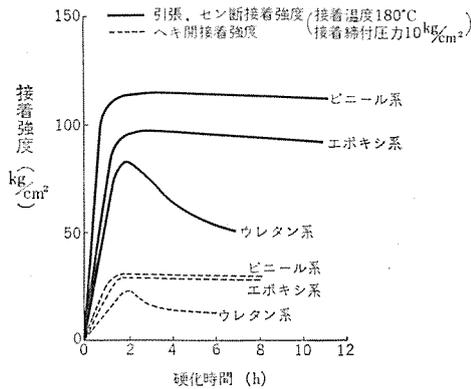


図 2.5 各種接着剤によるケイ素鋼板の接着強度
Fig. 2.5 Si-steel adhesive strength of the various bonding agents.

kg/cm²であるが、この締付圧力を変化させた場合を 図 2.4 に示した。大体 10 kg/cm² で強度が飽和する⁽⁷⁾。締付圧力は鉄心の占積率と層間絶縁抵抗に関係していることはいままでの間。以上は鉄と鉄の場合についてであるが、実際のケイ素鋼板は表面に絶縁処理皮膜が形成されているのでこの影響を無視することはできない。図 2.2 のように試料間にケイ素鋼板をはさみ接着強度を測定した結果を図 2.5 に示した。ケイ素鋼板の表面は各社の製品によってその粗さおよび絶縁皮膜層の厚さは異なり一様ではない。図 2.6 にその一例を示したが、接着強度にこの点が大きく影響することがわかった。すなわち接着強度測定後の試料表面を観察すると表面絶縁処理皮膜が接着剤側にとられ鋼板と処理膜間の強度を示しているといえる。もちろん表面絶縁処理膜の厚さは数 μ で非常に薄いので接着剤がその間に浸入することは考えられ、この処理皮膜の薄く層間絶縁抵抗の低いものほど接着強度は大であった。しかしケイ素鋼板と無機系の絶縁皮膜との密着性はあまり良くなく、接着鉄心の接着強度を上昇させるためにはこの絶縁処理皮膜のないほうがよ

変圧器用接着鉄心 (1)・伊藤・清水

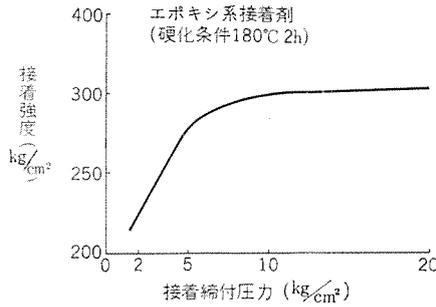
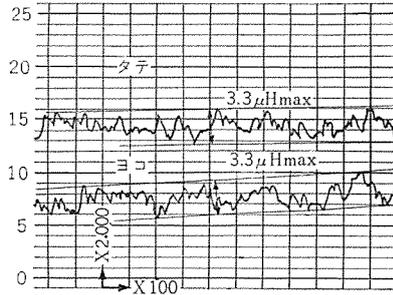


図 2.4 締付圧力と接着強度の変化
Fig. 2.4 Change of fastening pressure and adhesive strength.



冷間圧延方向性ケイ素鋼帯 Z11
図 2.6 ケイ素鋼板の表面絶縁皮膜の粗サ
Fig. 2.6 Roughness of the insulated film on the cold Rolled Oriented Si-steel.

ろしい。しかし一般にケイ素鋼板は層間絶縁抵抗だけでなく防錆作用もかねて表面に皮膜を形成させてある。接着剤による層間絶縁抵抗は非常に優秀なので接着鉄心とする場合は単なる防錆処理だけのほうがよい。また鋼板表面の油などのよごれは接着に悪影響をおよぼすが、加熱焼鈍工程ですべて取除かれる。そこで油塗布だけで防錆作用をもたせる考えもあるが、焼鈍時に融着、分解ガス の作用などがあり、保存中の防錆法はむずかしく接着剤塗布前のケイ素鋼板の表面処理が必要となる。

2.3 接合用接着剤

接着鉄心はいずれもコイルのそう入という問題にたいし鉄心の継目をどのようにするかということがおこる。これは機械加工性、磁気特性、組立取はずしの可能性などを考慮して決めなければならない。この継目を単に断面接触だけで行なうことは空隙間の磁気振動による騒音の発生などであまりこのましくないので接合用接着剤を使用する必要がある。この接着剤は騒音防止はもちろんのこと接合面の移動による特性変化を防ぐためにも必要で、使用するときの接着強度が大であるとともに、もしコイルを取はずす場合は簡単に引離せるような相反する特性をもっていることがのぞまれる。これはなかなかむずかしいことではあるが、一般に高分子化合物は転移温度をもっているゆえ、引離しが必要なときにはこの温度以上で行なうという考えで、まず接着強度が高温度でどのくらい低下するかを 図 2.7 に示した。エポキシ系接着剤の曲線は理想的ではあるが、転移点が幾分低く電気機器の熱区分からみてさらに高温度のものが必要なときは各種充填剤の混合、あるいは高温用接

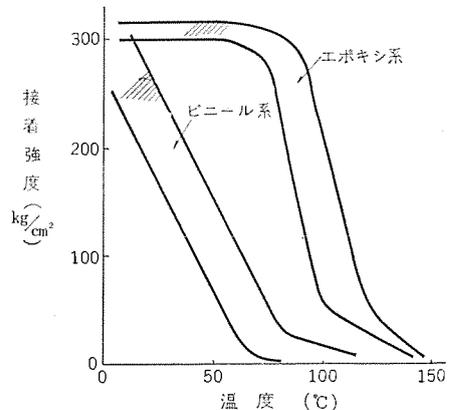


図 2.7 接着強度の温度特性
Fig. 2.7 Temperature-adhesive strength curves.

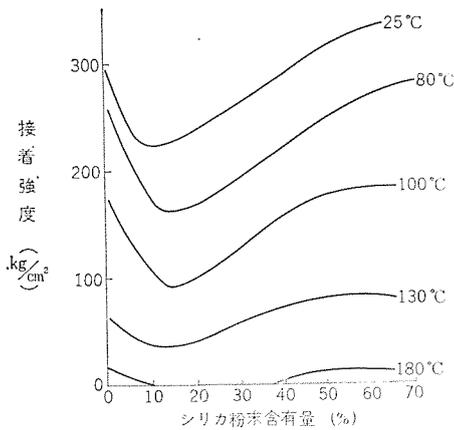


図 2.8 接着強度と充填剤の関係
Fig. 2.8 Relation between the adhesive strength and the filler contents.

着剤の使用が行なわれる。図 2.8, 2.9 にこれらの特性を示した。充填剤の効果などについては多くの研究がなされているが、複雑な点が多くまだ究明されていない⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

3. 電気特性, その他

接着鉄心中の渦流損を少なくするためには接着剤の絶縁抵抗の高いことが必要である。また接着剤が硬化する

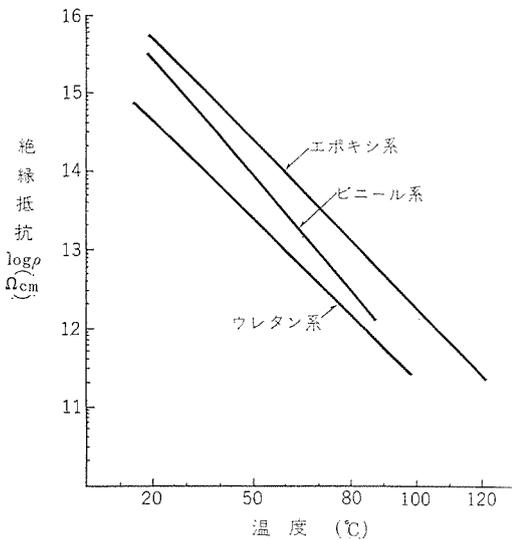


図 3.1 接着剤の絶縁抵抗温度特性
Fig. 3.1 ρ -Temperature curves for adhesives.

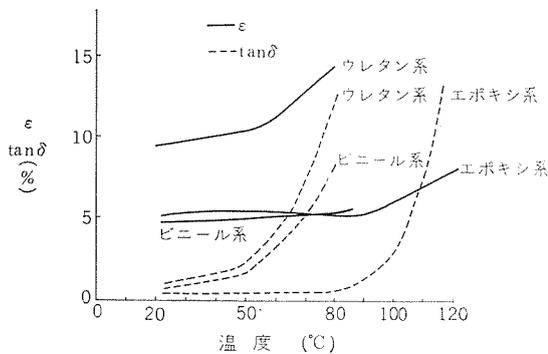


図 3.2 接着剤の誘電率誘電正接の温度特性
Fig. 3.2 $\epsilon, \tan \delta$ -temperature curves for adhesives.

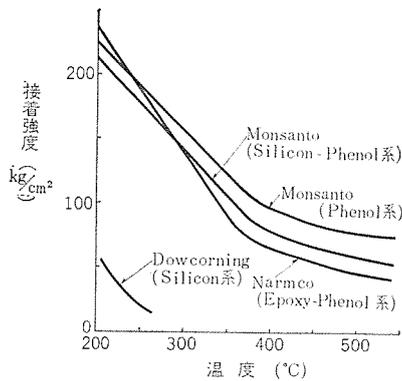


図 2.9 高温度用接着剤の接着強度
Fig. 2.9 Bonding strength of the high temperature adhesives.

る。ケイ素鋼板を接着する場合締付圧力と層間絶縁抵抗、占積率、磁気特性の変化はたがいに関連があることは容易に推察できる。このうち層間絶縁抵抗の変化が接着剤の硬化中にいかなる値を示すかについて図 3.3 の測定法を用い図 3.4 の結果がえられた⁽⁶⁾。ビニール系がもっとも良好なのは硬化温度、時間の関係で接着剤が硬化前に流出しにくいこと、皮膜生成性のすぐれていることを表わしている。また加熱 3 時間ぐらいより抵抗値が上昇していることは接着剤の硬化反応により高絶縁体になることを示している。もちろんこの特性はケイ素鋼板の表面状態によっても変化するのは当然である。いずれにし

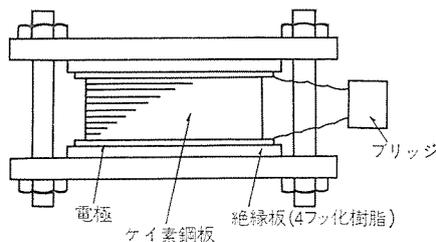


図 3.3 層間絶縁抵抗の測定法
Fig. 3.3 Measuring method of the layer insulation resistance.

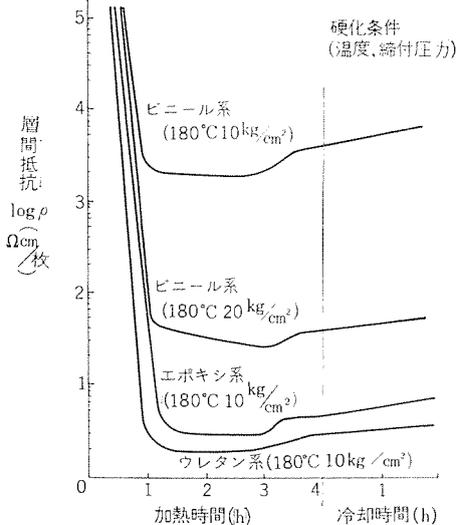


図 3.4 接着剤の硬化中における層間絶縁抵抗の変化
Fig. 3.4 Layer insulation resistance curves for the curing adhesives.

ときに発生する収縮ヒズミ、接着後の膨張係数の差によるヒズミなどが磁気特性にあたる影響は大分問題である。そこでこれらに関係した接着剤自体の特性をつぎに示す。なお占積率、磁気特性などについては第 2 報でのべる。

3.1 電気特性

接着剤自体の絶縁抵抗、誘電率、誘電正接の温度特性を図 3.1, 3.2 に示した。これらはいずれも有機絶縁材料として示す優秀な性質をもっており、十分使用にたえることがわか

る。でもこれら接着剤の層間絶縁抵抗は非常にすぐれていることがわかる。

3.2 接着剤の硬化収縮, および熱膨張

接着剤が硬化するとき収縮するだろうということはたとえばエポキシ、ポリエステル樹脂などが液体から固体になるとき体積収縮が 2~10% ぐらいあることから考え、また接着反応が収縮の終わったあとに起こるとはおもえないので、なんらかの形で応力が残留されるものと考えられる。もし同容積だけ液体を圧縮させようとするならば膨大な圧力を必要とする。しかし樹脂の硬化反応において化学結合に要するエネルギーは反応熱として発生するだ

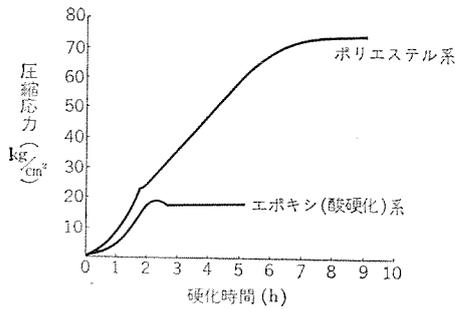


図 3.5 樹脂の硬化中におけるヒズミ変化
Fig. 3.5 Stress versus curing time curves for resin.

表 3.1 接着剤などの膨張係数

材 料	膨 張 係 数 /°C
Epoxy Resin	4.5~9×10 ⁻⁵
充填剤混合 Epoxy Resin	2~5×10 ⁻⁵
可溶性 Epoxy Resin	2~10×10 ⁻⁵
Poly Vinyl Acelate	23~30×10 ⁻⁵
Poly Vinyl Formal	7.7×10 ⁻⁵
Poly Vinyl Butyral	8~22×10 ⁻⁵
Phenol Resin	6~8×10 ⁻⁵
Al	2.3×10 ⁻⁵
Fe	1.1~1.3×10 ⁻⁵
Cu	1.6×10 ⁻⁵
ケイ素鋼板	1.3×10 ⁻⁵
石英	5×10 ⁻⁷

けで、ヒズミとして残留するものは不均一な硬化反応あるいは測定上の問題、たとえばストレージなどを使用すればそれらとの接着によって発生するものなどと考えられる。さらに加熱硬化を行えばそれらの熱膨張も関係してくるのでますます複雑となる。Sampson, Chamber⁽¹⁰⁾などによるストレージの封入法で測定した樹脂の収縮内部応力は図 3.5 のように割合大きい値を示している。もちろんこれらは硬化条件などによって異なってくるのは当然である。また使用樹脂量も接着剤の場合は非常に少ないので、これらの応力が鋼板に全部加わっているとはおもえない。

温度変化による熱膨張はケイ鋼板に近いことがのぞましい。表 3.1 に熱膨張係数を示した。接着剤のほうが約 1 ヶタ 大きいゆえこれらを小さくするためには充填剤の混合も一方法である。充填剤の混合は前に示したように良好な結果を与えるが、粒子の大きさと占積率、接着剤の保管、塗布含浸の工作法についての問題が起きてくる。

熱膨張係数の差によりできる応力を式 (3.1) で計算してみる⁽¹¹⁾。

$$P = \Delta T \cdot \Delta \alpha \cdot E / (1 - \sigma) \quad (3.1)$$

P = 応力 $\Delta \alpha$ = 膨張係数の差

ΔT = 転移温度と常温との差

E = ヤング率 σ = ポアソン比

エポキシ接着剤の場合 E , Δt をおのおの 2×10^4 kg/cm², 60°C とし、 P は約 85 kg/cm² となり相当大きな値となる。しかし E は温度上昇で小さくなり、したがって

P も小さい値となる。いずれにしてもこのような応力がなんらかの形で加わることはとくに磁気特性などにたいしてこのましくないで、収縮ヒズミの少なく、かつ膨張係数の金属に近い接着剤の出現がのぞまれている。

4. 劣化現象

電気機器の故障の 90% は絶縁材料部分の損傷によって起こるといわれているように、有機化合物の劣化は非常に問題となるところである。とくに接着鉄心とした場合接着剤の劣化は鉄心だけの問題でなく変圧器全体の特性に大きな影響をおよぼすことは明らかであり、とくに注意が必要である。一般にこれら電気機器の分類はその使用熱区分によって A, B 種などに分けられている。もっともこの分類法の根拠については論議される点が多いけれども、一応接着剤の場合もこれにしたがって電気機器全体の温度が鉄心の温度と同じとして取扱い、これらによる熱劣化、耐油劣化などについてつぎに示す。

4.1 熱劣化

一般の有機物は熱により劣化が起こる。その反応は図 4.1 のように α -メチレンの反応といわれ酸素の存在が大きな影響を与えており、架橋、環化などを起こして硬くなったり、結合が切断されて短い分子となり軟化するものなどにわかれる。これは材料自体の化学構造すなわち結合エネルギーの差によって決まるもので、多くの高分子化合物の C—C 結合エネルギーは 60~90 kcal/mol の範囲にあり、少し温度が高くなると分解が容易に起こることはいわずける。また分解活性化エネルギーは酸化による場合、熱分解だけによるエネルギーの約 1/3 ぐらいなので酸化に

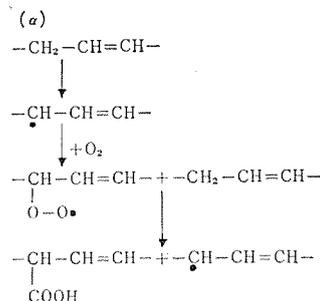


図 4.1 有機高分子の劣化反応
Fig. 4.1 Damage mechanism of the organic polymer.

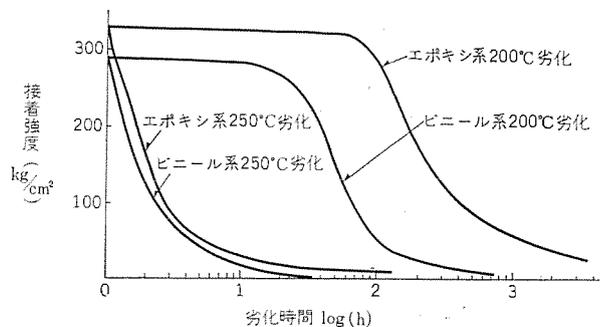


図 4.2 接着強度と熱劣化時間との関係
Fig. 4.2 Relation between the adhesive strength and the heat aging times.

よって劣化されやすいことがわかる。接着鉄心中の接着剤は鋼板間に存在するゆえ、酸化の影響をうけるのは断面露出部だけとなり全体に対しての割合は非常に少ない。すなわちある温度範囲内での劣化は純然たる熱だけの作用で、酸化による劣化は非常に少ないと考えられる。図4.2におおのこの温度に長時間放置したあとの常温における接着強度を示した。この結果から接着強度はある温度範囲内ではそれほど大きな変化をうけないことがわかる。また高温用接着剤についても最近各種の材料が研究されている⁽⁹⁾。

さて之等の結果から接着剤の寿命を推論してみる⁽¹²⁾。接着強度が劣化によって変化する割合、すなわち接着力を発生させる分子間力の変化と考えると式(4.1)として表わされる。

$$D=f(c) \dots\dots\dots(4.1)$$

D=接着強度 c=分子間力の割合

これらの反応速度を一次反応と考えると式(4.2)で表わされる。

$$\log c = -kt + \text{const} \dots\dots\dots(4.2)$$

k=反応速度 t=時間

t=0のとき D=D₀ とすると式(4.1), (4.2)より、

$$\log D_0/D = kt \dots\dots\dots(4.3)$$

tの変化でkは変化しないとし、温度によってだけ変化するとし、Arrheniusの式より、

$$k = A \exp(-E/RT) \dots\dots\dots(4.4)$$

E=活性化エネルギー R=ガス定数

T=絶対温度 A=比例定数

式(4.3), (4.4)よりつぎのようになる。

$$\log t = \log\left(\frac{1}{A} \cdot \log \frac{D_0}{D}\right) + \frac{E}{RT} \dots\dots\dots(4.5)$$

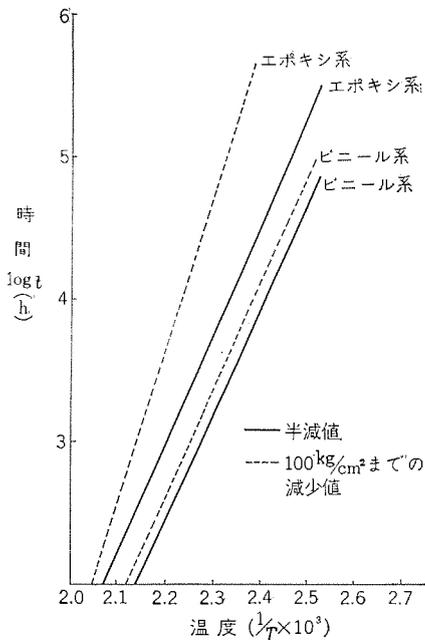


図4.3 劣化による接着強度の寿命
Fig. 4.3 Adhesive strength life during the heat aging.

すなわち log t と 1/T とは直線関係が成立する。また t は D₀ が D に変化する時間すなわち寿命として表わしうる。接着強度が最初の値の半分となる時間を基準として log t と 1/T を示すと図4.3のようになり、これよりエポキシ系、ビニール系接着剤の劣化は式(4.6), (4.7)のようにおのおの表わされる。

$$\log t = -13.62 + 7381.23/T \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\log t = -8.48 + 4893.68/T \dots\dots\dots(4.7)$$

しかしこれらはいずれも k が t によって変化しないとした場合であって、実際には k は変化するとおもわれるので、差異の生ずることはいたしかたがない。また問題となる点は接着鉄心の必要とする最低接着強度はいくらあればよいかということであって、まず最初の機械加工などを考えると約 20 kg/cm² あれば十分とおもわれる。しかし変圧器などに組立てたのち ケイ素鋼板間、鉄心継目間にどのくらいの力が加わるか、あるいは磁気振動によって絶えずどのくらいの力が加わっているかは機器によって異なり推定はむずかしいが、一応 100 kg/cm² あればよいと仮定してみると、これらの寿命は表4.1のようになる。この結果を一般の絶縁ワニスなどの材料と比較するとそれほど心配することはないといえる⁽¹³⁾。絶縁ワニスなどの熱劣化には多くの研究がなされているので省略する⁽¹⁴⁾。

4.2 油劣化

一般小形変圧器などは空気冷却で十分使用に耐えるが、大形となると冷却という問題が起きてくる。冷却の方法はいろいろあるが、油の使用がもっとも多く、絶縁材料の耐油性ということがつねに取上げられる。そこで接着剤自体が耐油性でありかつ油を汚染することがないか、また接着強度が減少することがないか、という点について考えてみる。まず油が接着剤との接触による特性

表4.1 接着強度の推定寿命時間

接着剤 耐熱区分	エポキシ系		ビニール系	
	接着強度の半減する時間(年)	接着強度の100kg/cm ² までになる時間(年)	接着強度の半減する時間(年)	接着強度の100kg/cm ² までになる時間(年)
A種(105°C)使用の場合	4.1×10 ²	1.7×10 ⁴	74	1.1×10 ²
B種(130°C)使用の場合	21	7.2×10 ²	5.8	7.7

表4.2 接着剤による油の劣化特性

油の特性変化	酸価	界面張力(dyne/cm)	ε	tan δ (%)	ρ (Ω cm)	備考
絶縁油だけ加熱	0.0110	40.32	2.34	0.28	47.3×10 ¹²	加熱条件 100°C 45h
エポキシ系接着剤(酸硬化)	0.0350	28.02	2.57	0.32	17.4×10 ¹²	エポキシ系接着剤は180°C 6h ビニール系、ウレタン系接着剤は110°C 6h 硬化させ油との接触は0.8 cm ² /ccで100°C 45h浸漬加熱後の常温における絶縁油の特性を示した
エポキシ系接着剤(アミン硬化)	0.0270	39.17	2.33	0.20	15.3×10 ¹²	
ビニール系接着剤	0.0103	34.45	2.67	0.37	39.2×10 ¹²	
ウレタン系接着剤	0.0190	30.13	2.55	0.57	10.2×10 ¹²	

の変化を表4.2に示した⁽¹⁵⁾。100°C 45時間の接触ということは非常に短いようにおもわれるかもしれないが、実際の変圧器における鉄心の断面が油と接触する面積と、使用油の量と、さらに鉄心の側面中に占める接着剤部の面積を考えると、もちろん変圧器の容量、形態によ

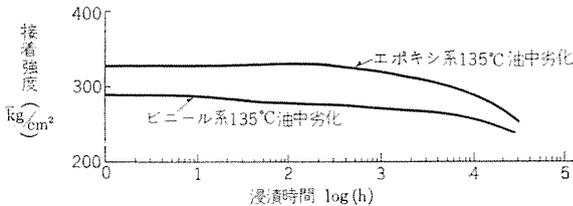


図 4.4 接着強度と油浸漬時間との関係
Fig. 4.4 Relation between the adhesive strength and oil immersing hour.

って異なるが、 $1 \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{cc}$ となり、試験した $0.8 \text{ cm}^2/\text{cc}$ の浸漬度にくらべ約 320~800 倍となっており、接着剤より油に、なにかが溶出される割合は浸漬度に比例すると考えると、約 2~4.5 年の劣化とひとしいことになり、普通の絶縁ワニスと同じくらいの耐油性があるといえる⁽¹⁴⁾。

つぎに接着強度の低下について図 2.2 の試験試料を加熱油中に浸漬し熱劣化と同じ試験を行なった結果を図 4.4 に示した。この結果と加熱劣化の結果を比較するとそれほどたいして変化がみられない。すなわち油の接着界面に浸入することはほとんどなく、かえって空気中の酸素の影響がなくなるので劣化が少くないといえる。変圧器油は高温にすることができないので寿命の推論はできないが、これらの結果から熱劣化も油劣化も一般の絶縁ワニスなどの劣化と同じぐらいとおもえるが、もしさらに心配であるなら接着鉄心の外周を絶縁ワニスなどで被覆して使用すれば寿命が一段と伸びることが考えられる。もちろんこれら劣化に関してはあらゆる角度からたえず研究を続けなければならない。

5. む す び

電気機器とくに変圧器用の接着鉄心はいろいろな長所があり、それを要約するとつぎのようになる。

- (1) 磁気特性が安定し騒音が減少する。
- (2) 多量生産ができ、組立が容易となる。

しかしその反面接着加工、ならびに接着剤の諸特性にたいしての十分な検討が要求される。

まず接着鉄心の製作法には含浸法、積層法、その他とあっておのおの鉄心構造および特性などによって製作法を決める必要がある。またこれらの方法を組合せて特殊鉄心の製作も可能になってきた。

つぎに接着剤としてはエポキシ系、ビニール系がよいことがわかった。そしてその特性として、接着強度は絶縁皮膜なしのケイ素鋼板間で引張、セッ断接着強度は大体同じくらいで $300 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上ある。しかしヘキ開接着強度はその 1/3 ぐらい低いのでヘキ開力が加わることのない

ようにしなければならない。このとき、表面絶縁処理皮膜がついている場合はこの皮膜の密着強度が弱いので接着強度は $120 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ぐらいになる。もちろんヘキ開強度はその 1/3 になることは同じである。そこでこれら皮膜のないケイ素鋼板を使用することが必要である。

電気特性として接着剤の絶縁抵抗は常温で $10^{15} \Omega \text{ cm}$ 以上と高く、層間抵抗も $10 \Omega \text{ cm}^2/\text{枚}$ 以上あるので十分といえる。

接着剤の熱劣化、油中劣化にたいしては接着強度の低下は少ないことがわかった。接着強度の寿命は接着鉄心の最低必要強度をいくらくらにおくかで変わってくるが、A 種 (105°C)、B 種 (130°C) とも連続使用で相当年月使用しうると推定できるので、接着剤以外の絶縁材料の劣化よりわるいとおもえない。さらに接着剤による油の汚染についても促進試験の結果では 2~4.5 年までなんら変化はなくまだまだ使用できるといえる。

しかしこれらの接着剤もすべての条件を満足しているわけではないのでそれらの点についてさらに研究することはたえず必要である。

なお磁気特性、実際の接着鉄心については続いて第 2 報で報告する。

最後にこの研究を行なうにさいし、つねにご指導ご援助くださった各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 浅川：「電気学会誌」69, 724 号, 68 (昭 24)
Brechna: Bulletin Oerlikon, No. 326, 6 Adhesive Age, 4, 24 (Oct. 1961).
- (2) E. W. Washburn: Phys. Rev. 17, 276 (1921).
- (3) 竹島：「石油と石油化学」5, 8 号, 58 (昭 36)
沖：「ラバーダイジェスト」12, 4 号, 14 (昭 35)
- (4) 堀岡：林試研報 89 号, (昭 31)
- (5) 接着科学委員会：接着理論と応用, 705 (昭 34)
- (6) 伊藤・清水：電気連合大会, 265 (昭 34)
- (7) 伊藤・清水：電気学会関西支部大会, 5-24 (昭 36)
- (8) 井上・他：「高分子」7, 76 号, 388 (昭 33)
G. Epstein: Adhesive Bonding of Metal, 73 (1954).
- (9) H. N. Homeyer: P. B. 111768 (1954).
H. H. Levine: Brit. Plast. 395 (July, 1961).
- (10) A. J. Bush: Mod. Plast. 143 (Feb. 1958).
R. N. Sampson・J. P. Lesnick: Mod. Plast. 150 (Feb. 1958).
R. E. Chamber・F. J. McGarry: S. P. I. 14th, Ann. Tech. and Manag. Conf. 12-B (1959).
- (11) 井上：「プラスチック」9, 3 号, 15 (昭 33)
- (12) T. W. Dakin: A.I.E.E. Trans. 67, pt1, 113 (1948).
- (13) 伊藤・清水：電気連合大会, 324 (昭 37)
- (14) 日月：電気絶縁ワニス及コンパウンド, 294 (昭 35)
電気学会：高分子材料の劣化 (昭 33)
- (15) 絶縁油：JIS C-2320.
絶縁油安定度試験法：JIS C-2101.

自動車装着交流発電機用 シリコンダイオード

北伊丹製作所 多田 昭 晴* ・長谷川 透**

姫路製作所 平田 毅*** ・諸 永 茂 雄***

Silicon Diodes for Motor Car Mounted AC Dynamos

Kitaitami Works Akiharu TADA ・ Tooru HASEGAWA

Himeji Works Takeshi HIRATA ・ Sigeo MORONAGA

Recent increase of electric load of motor cars poses problems on electric equipment which has been in most case a dynamo. To increase the output of dynamo, however, accompanies the raising of the speed of or the enlargement of the dynamo, either case bringing about unfavorable results to the operation. If a combination of an AC generator and a rectifier is used instead, the drawback will be done away with. This concept has not been put into practice until an appropriate rectifier of small size and heat resistant has been developed. Silicon diodes of recent development now fully meet the requirements and are about to dominate in the car mounted electric apparatus.

1. ま え が き⁽¹⁾

近年、自動車の電気設備は、ラジオ、エアークンデションなどのアクセサリがふえ、発電機およびバッテリーの負荷が増加する傾向にある。また交通密度の高い都市を走る自動車は、現在の直流発電機では、バッテリーへの充電の機会に恵まれない。この結果、発電機の出力を増加させるために、エンジンがアイドルランニングしているときの発電機の回転数を増加させるか、または発電機を大形のものにする必要がある。前者は走行中にブラシの摩耗がいちじるしく、その寿命が短い。後者は重量および寸法が増加することになり、自動車への装置が困難になる。

以上の欠点は交流発電機と整流器を組合せた装置を用いることにより解決される。すなわち、整流子をもたないため、高速回転が可能となり、エンジンのアイドルランニング中でも充電ができる。また三相回路が使用できることにより、同一重量の直流発電機に比べて大きな出力が取出せる。

以上述べたように、交流発電機と整流器の組合せは、従来の直流発電機に比べ多くの長所をもっているが、

近まで整流器として、小形かつ高温に耐えるものがなかったため、直流発電機が使用されていた。しかし上記条件を満足するシリコン整流器の進歩に伴い、現在では三相全波回路に必要な6個のダイオードが発電機のケースに納められるまでに進歩し、外国ではすでに実用化の段階に入っている。(図1.1)わが国でも各自動車メカが開発中であり、まもなく実用化の運びとなるであろう。

2. 自動車用ダイオードの特長

まえがきで述べたように、このダイオードは交流発電機の出力を整流し、バッテリーに充電する役目をはたしており、他のダイオードの応用の場合と大差はないが、つぎのような特長および問題点を持っている。

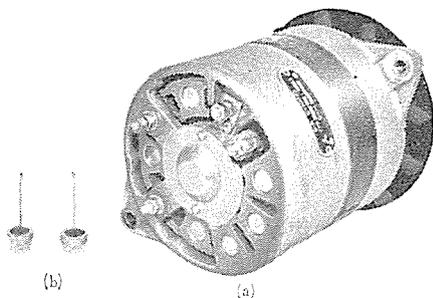
(1) 交流発電機は、自動車装着部品として、軽量、小形でなければならぬが、この発電機ケースに6個のダイオードを組み込むため、ダイオードとしても小形なものが要求される。

(2) 交流発電機が、従来の直流発電機に比べ、すぐれた性能を持っていることは明らかであるが、従来の直流発電機にとって代わるには、経済的に廉価なダイオードを大量生産する必要がある。

(3) 三相全波整流回路を用いるため、3個のダイオードを同一極性の電極に取付けられるように、ダイオードは二つの極性、すなわち、ケースが正および負となるような2種類の構造をもっている必要がある。(図3.1)

(4) 直流出力電圧は12V、24Vと低圧であるため、ダイオードの逆耐電圧は100V以上あれば十分である。また交流発電機は、出力電流が制限されるよう設計されているためダイオードの過負荷耐量について特別な考慮をほらう必要がないなど、ダイオードにとって有利な条件がある。

(5) ダイオードは、エンジンルームの最高温度130°Cに耐え、動作できなければならない。



(a) AC ダイナモ (A-1028) (b) シリコンダイオード (SR-10)

図 1.1 外 観
Fig. 1.1 Out-look

3. 構造および製法

当社の自動車用ダイオード SR 10 形は、400 W クラスの、交流発電機用として設計されたもので、その外形図および内部構造は、図 3.1 に示すようなものである。普通のダイオード 外装と異なる点は、ダイオード 取付部分が、ネジ

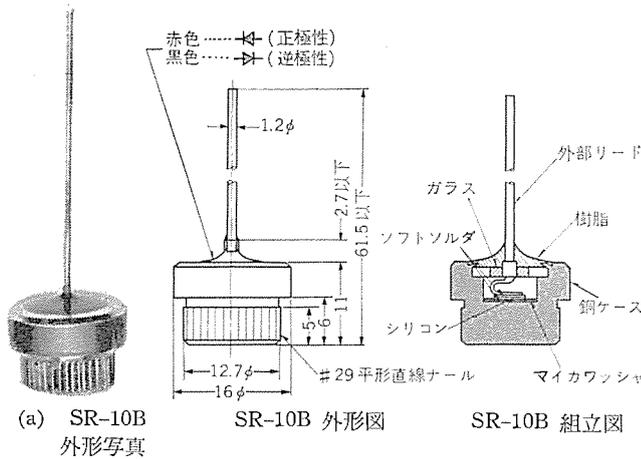


図 3.1 Fig. 3.1

の代わりに ナール になっており、発電機ケースに圧入するようになっている。

整流素子の要である シリコン は機械的な力に弱く、破損しやすい。このため シリコン は、ダイオード の圧入時、および圧入後の機械的な力を避けるため、ナール 部より上部へ取付けられている。気密封止、絶縁には ガラスシール を用い、さらに合成樹脂で コーティング を行なっている。また合成樹脂の色を変えることにより、二つの極性を区別している。

P-N 接合素子の製法として、合金法および拡散法が一般に用いられているが、合金法は シリコンウエハ に不純物として アルミニウム などの薄板を合金することにより、P-N 接合を作るが、合金中の冷却過程において、シリコン に、ヒズミ がかかり、破損する。これを防ぐために シリコン と熱膨張係数の似かよった、モリブデン などの金属とシリコン で、アルミニウム をはさみ合金しなければならない。これに対し拡散法は シリコン と不純物を、高温 (1,200~1,300°C) で、長時間 (10~20 時間) 熱し、不純物をシリコン 内へ拡散させ、P-N 接合を作る。この拡散後のシリコンウエハ に、メッキ を行なえば、ハンダ をロウ材として用い、シリコン と、銅ケース を直接接着させることが可能であり、合金法で用いたモリブデン は不必要となる。拡散法では、温度および時間を正確に コントロール することにより、特性の均一なものが製作できるが、合金法に比べ、行程がやや複雑であること、および時間がかかることなどの欠点がある。

SR 10 B の製法としては、大量生産のできる、廉価な P-N 接合の製造法である、拡散法を採用している。

簡単な製作 フローチャート を図 3.2 に示す。

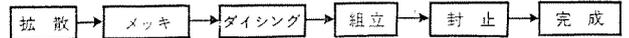


図 3.2 SR 10B 製作 フローチャート
Fig. 3.2 Flow chart of SR 10B.

4. 電流容量

4.1 接合部温度

整流体の電流容量は、内部に発生する電力損失による P-N 接合部での温度上昇によって制限を受ける。シリコン では接合部の最大許容温度上昇は約 200°C であるが、ダイオード 構成材料および温度による逆方向電流の増加などの関係により、140~190°C に選ばれるのが普通である。SR 10 B 形 ダイオード は、安全率を考慮し 150°C に定めている。

4.2 電力損失

電力用シリコンダイオード の電力損失は、順方向損失および逆方向損失からなるが、一般に前者は後者に比べずっと大きな量であるから、順方向電力損失だけを考慮する。

順方向の電力損失 (\bar{P}) は、平均順方向電圧降下 (\bar{E})、平均順方向電流 (\bar{I}) を知り、通電角により変化するホーム、ファクタ (4) を導入することにより、次式 (4.1) で表わすことができる⁽¹⁾。

$$\bar{P} = \bar{E} \cdot \bar{I} \cdot 4 \dots \dots \dots (4.1)$$

図 4.1 は SR 10 B の平均電流に対する、順方向電力損失を示している。

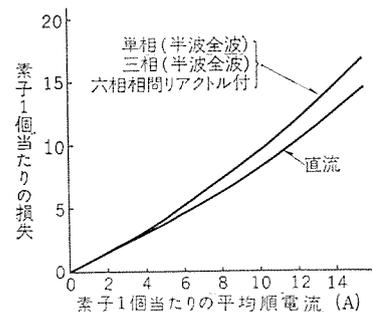


図 4.1 SR 10B-S (R) 平均順電流対損失の関係
Fig. 4.1 Relation between mean forward current and loss of SR 10B-S(R).

4.3 熱抵抗

電力損失によって接合部に発生する熱は、定常状態において、銅ケースを伝わり、冷却板へ流れ出すケース温度 (T_c) と接合部温度 (T_j) の差は、接合部で発生する電力損失 (W) に比例する。この比例定数を、接合部、ケース間の熱抵抗 (r) といい、次式 (4.2) の関係がある。

$$T_j - T_c = rW \dots \dots \dots (4.2)$$

熱抵抗の測定

熱抵抗を知るには、式 (4.2) よりわかるように、接合部の温度を知る必要があるが、これは小電流範囲で順方向の電圧降下が温度により直線的に変化することを利用して、測定することができる。図 4.2 は、直流電流 50mA における順電圧降下を接合部温度変化に対してプロットした一例である。供試ダイオードは、適当な冷却板を取付け、図 4.3 に示す回路を用いて、その接合部、ケース間の

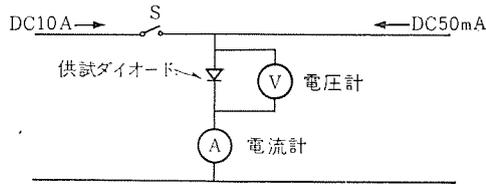
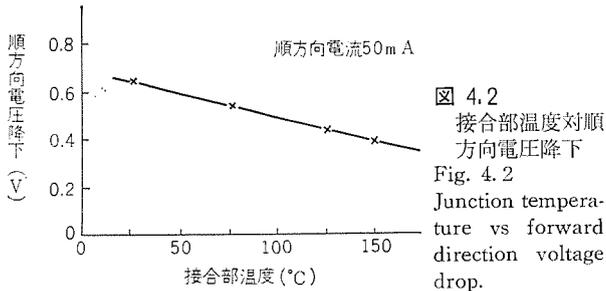


図 4.3 ダイオード熱抵抗測定回路
Fig. 4.3 Diode thermal resistance measurement circuit.

0.6~0.9°C/W の値となる。

熱抵抗の計算

接合部にて発生する熱はすべて、ナール部分を通り、冷却板へ流れ込むと仮定し、図 4.4 (b) のようなダイオードケースの模型を作り、電気抵抗と熱抵抗の相似性を利用して、銅ケースの熱抵抗を求める。それにソフトソルダの熱抵抗を加えて、接合部 ケース間の熱抵抗を計算した。

すなわち、銅ケースの熱抵抗 (r) は、図 4.4 (b) の AB 間の水の電気抵抗 (R) と、比抵抗 (ρ) を測定することにより次式 (4.3) から求められる。

$$r = \frac{1}{K} \cdot \frac{R}{\rho} \dots\dots\dots (4.3)$$

K : 銅の熱伝導度 (388 W/m°C)⁽²⁾

上式より求めた SR 10 B の銅ケースの熱抵抗は 0.3°C/W となる。またソフトソルダの熱抵抗は、熱伝導度 50.5 W/m°C⁽²⁾ を用いて求めると、0.32°C/W となり、接合部、ケース間の熱抵抗は 0.62°C/W となる。この値は測定値と良く一致している。

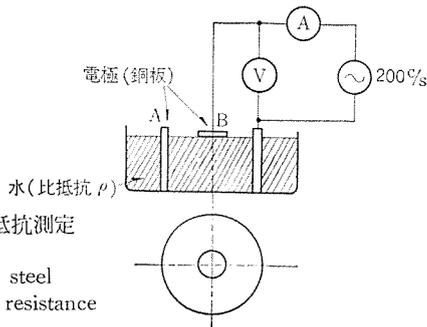
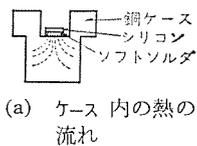


図 4.4 銅ケース熱抵抗測定模型

Fig. 4.4 Model of steel case thermal resistance measurement.

表 4-1 SR 10 B 定格

形名	SR 10 B-S SR 10 B-R
セ ン 頭 逆 方 向 電 圧	100 V
最 大 交 流 入 力 電 圧	70 V
平 均 繁 流 電 流	13 A
最 大 順 方 向 電 圧 (25°C 波 高 値)	1.2 V 以下/40 A
最 大 逆 方 向 電 流 (セ ン 頭 逆 方 向 電 圧 に お け る)	10 mA
最 大 許 容 過 電 流 (セ ン 頭 値)	200 A 1 サ イ ク ル
最 大 許 容 接 合 部 温 度	150°C

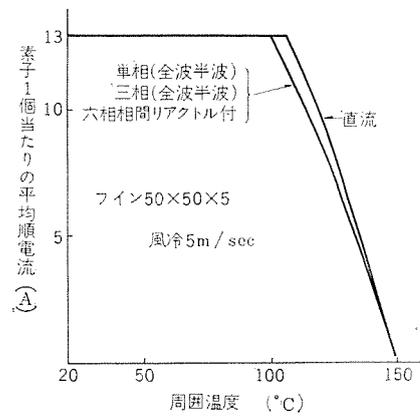
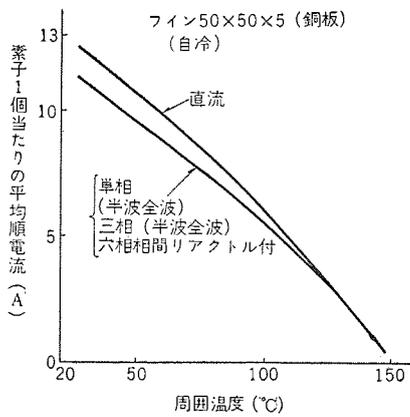
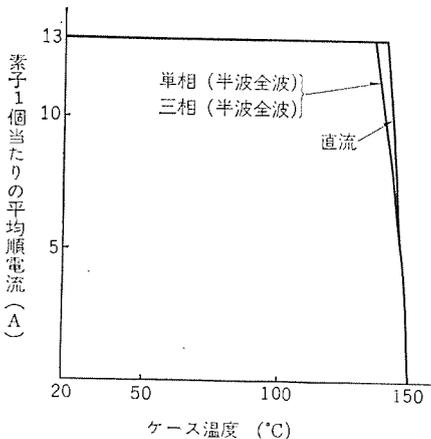


図 4.5(a) SR 10 B-S(R) ケース温度対平均順電流

Fig. 4.5(a) Case temperature vs mean forward current of SR 10 B-S(R).

図 4.5(b) SR 10 B-S(R) 周囲温度対平均順電流

Fig. 4.5(b) Ambient temperature vs mean forward current of SR 10 B-S(R).

図 4.5(c) SR 10 B-S(R) 周囲温度対平均順電流

Fig. 4.5(c) Ambient temperature vs mean forward current of SR 10 B-S(R).

熱抵抗を測定した。接合部温度はダイオードケース温度が定常状態に達した後、スイッチ S を開き、開放後の直流 50 mA における電圧降下をオシログラフにて測定し求めた。ケース温度はケースの冷却板に接している底部で測定した。電力損失は電圧計 V および電流計 A で測定し求めた。以上の測定結果による接合部、ケース間の熱抵抗は、

4.4 電流容量

接合部、ケース間の熱抵抗を 1°C/W とし、接合部温度 150°C になる素子 1 個当たりの平均許容電流を求めたのが図 4.5 である。以上の図より冷却条件が定めれば、周囲温度に対する素子 1 個当たりの平均許容電流を知ることができる。その他の定格は表 4.1 に示されている。

5. エージング試験

図 5.1 に平均電流 10 A における負荷 エージング の結果の一例を、逆セリ頭 電圧 100 V における逆電流の劣化特性をもって示しているが、変化はみとめられない。また逆耐圧 エージング 試験を図 5.2 のような回路を用い、ダイオードの周囲温度を 130°C で行なったが、負荷 エージング と同様な結果が得られている。

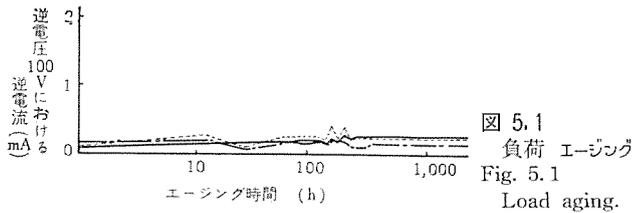
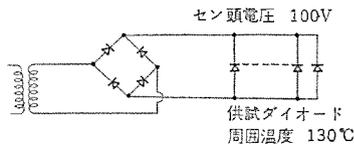


図 5.2 逆耐圧 エージング 回路
Fig. 5.2 Reverse withstanding voltage aging circuit.



6. AC ダイナモ 概説

自動車用充電発電機としては、一般に補極なしの直流分巻発電機が使用されてきたが、要求される速度範囲が発電機を装着する内燃機関に相応して広範囲であるから、高速駆動時の整流の困難さがある程度克服し、実用できるように発電機本体は定速度運転のものより若干大形化して製作されている。この大形化は速度範囲が広がるほど必要度が増してくる。とくに、充電発電機出力が大きいものでは高速度整流を比較的良好に保つため、その所要重量寸法を大きくし、自動車への装備を不可能にすることすらある。すなわち、自動車の装備電力負荷が大きく、高速はもちろん低速充電特性も良好であることを要求されると、今までの直流機でまかなうには、寿命低下、過剰重量のいずれかを前提条件とする必要がある。そこで自動車用充電発電機として、いわゆる“AC ダイナモ”を使用する気運が高まっている。すなわち、AC ダイナモと称しているものは三相交流発電機とその三相出力を直流出力に変換する半導体整流器（前述）を備えたもので三相全波整流方式を採用している。以後 AC ダイナモと呼ぶ。

これは設計上、直流機において考慮しなければならない整流上の工夫は不要で、最小重量で最大出力を得ることだけを目標にすればよい。ゆえに発電機は小形化されるし、直流機において第一の難関であった整流問題は静止形整流器が解決してくれる。この整流器における転流モードが発電機内部短絡現象を導びくが、その速度は直流機にて問題となる整流悪化速度をはるかに上回っている。

自動車装着交流発電機用 シリコンダイオード・多田・長谷川・平田・諸永

7. AC ダイナモ の特長

すでに概説で述べた事がらから明らかなように、使用速度範囲が広いことが第一の特長である。このことは機関との速度比を適当に選定することによって高速はもちろん、低速走行時においても十分な充電性能を自動車に付与せしめるので、従来の直流機を使用した場合に、自動車密度の高い市街地を走行する車に付随しがちだった充電不足および都市間を高速で走行する際に起こる整流子関係の諸事故があったのを防止することができる。

第二の特長は第一のそれと表裏の関係にあるが直流機に比較して保守が容易なことである。すなわち、整流子に対応するスリップリングの保守は比較にならないほど簡単であり、ブラシの寿命もはるかに長く、充電特性がよいので、蓄電池の補充電などもほとんど不要である。さらに構造そのものが簡単で分解、点検が容易である点も保守上有利な事がらである。

第三に小形軽量であることは前述したが、このことは車両設計上重要な要素であるほかに装着、離脱が容易である点も見のがせない。また、ラジオノイズ中、直流機の整流火花に起因し、惹起されていたものがなくなる。また、性能的に、電流制限器が不要である点や、逆流防止継電器が一般の場合不要である点も長所といえる。

8. AC ダイナモ の構造

発電機部と整流器部とから構成されていることは前述のとおりである。発電機部では回転子が界磁極を構成し、固定子が三相星形交流巻線を備えている点は一般の交流発電機となら異なるところはないが、固定子積層板が鉄損減少よりも加工上の問題から、その厚み、材質を決定している点が多少異なっている。図 8.1 は主要部品の組立写真である。回転子の極は図 8.2 に示すような磁気回路を構成し、全極が 1 個の円筒状 コイル で励磁されるようにしたのが一般的である。〔図 8.1 (c)〕また、極片の形状は、AC ダイナモ の場合正弦波交流を発生させることがとくに必要な事項ではないので、いわゆる電磁音を発生しないことと大量生産が容易であることを尊重し

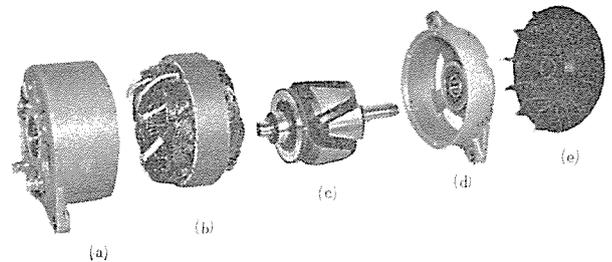


図 8.1 AC ダイナモ 主要部組立写真
Fig. 8.1 Main components for assembling of AC dynamo.

- (a) リアブラケット (被駆動側)
- (b) アーマチュア (固定子)
- (c) フィールド (回転子)
- (d) フロントブラケット (駆動側)
- (e) ファン付 ブラシ

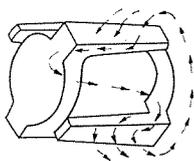


図 8.2 AC ダイナモの磁気回路
Fig. 8.2 AC dynamo magnetic circuit.

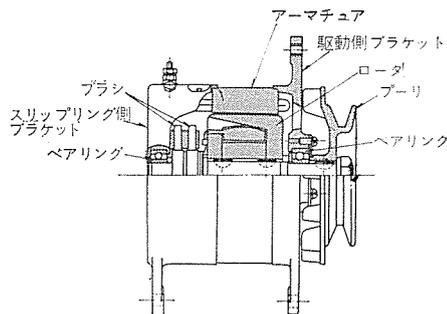
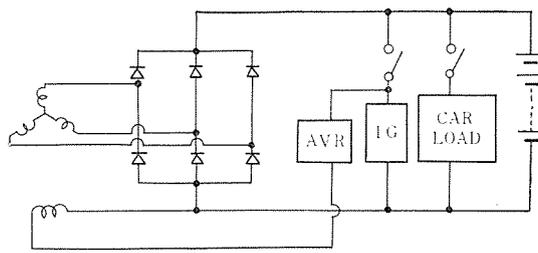


図 8.3 AC ダイナモの構造
Fig. 8.3 Construction of AC dynamo.



A.V.R. 電圧調整
IG 点火 コイル
CAR. LOAD ヘッドライト など
図 9.1 初期励磁回路
Fig. 9.1 Initial excitation circuit.

決定している。このような回転子構造では回転子重量、回転慣性性能率がともに小さく、コイル自体の高速回転に対する強度も大である。これらのことが直流式ダイナモに比して高回転にまで保証しうる重要な要素でもある。

回転子を支持する軸受には両軸端ともシール形ボールベアリングを使用し、オイルなどの侵入に対してはベアリングの外周を可及的小キヤップを残して密閉している。また、ベアリングの寿命を左右するベアリング温度は発電機自体の温度上昇、シリコンダイオードの温度上昇を強力なファン〔図 8.1(e)〕によって低下させて極力低い温度に押えている。このほか、ブラシとスリップリングの接触部およびブラシとブラシホルダ間へのオイルの侵入も少なくなるように考慮し、車の無整備走行 km 数の増大を計っている。整流器部は被駆動側ブラケットおよびダイオード取付台に圧入されたシリコンダイオードから組み立てられ強力なファンで発電機部に吸入される冷却風がそれらを冷却している。〔図 8.1(a)〕

9. 初期励磁と性能

シリコンダイオードの正方向抵抗は非線形低電流時に高抵抗を示すので、発電機の残留起磁力による定格電圧の確立を期待するのは、ほとんど不可能であり、AC ダイナモにおいても所定の電圧が確立するまでは他励磁する必要がある。ガソリン機関では機関の運転に先だって点火コイルの一次側に搭載蓄電池より通電するための点火キーが具備されている。AC ダイナモの界磁電流の通電は、普通この点火キーの閉路と同時に行なう方式を採用している。図 9.1 はこの回路を示している。この方式では機関始動操作直後、機関はアイドル回転速度に到達するが、この速度においても AC ダイナモはコンデンサを充電可能ならしめるよう設計するのが通例である。したがって界磁の他励磁期間はきわめて短く、コンデンサからの放電量はほとんど考える必要がない。ディーゼル機関では通常始動電動機との操作と関連して動作する方式が採用されている。

性能面では直流式ダイナモに比較し、低速高速のいずれにおいてもすぐれた充電特性を有していることは前述のとおりであり、実用にあたっては定電圧調整器を併用

して定電圧充電を行なっている。この点は直流式と異なるが、ここで注目すべきことは定格電圧が維持されているかぎり、定格回転速度以上のいかなる高回転においても、最高出力電流は定格出力電流を大幅にこえることがないよう、換言すれば過負荷によって発電機自体を焼損することがないように設計している。このため AC ダイナモでは通例、電流制限継電器は使用しない。前述のシリコンダイオードを取付けているので、いかなる使用状態においてもシリコンウエハの温度が最大許容接合部温度をこえないよう温度上昇には格別の注意をはらっている。

また、この AC ダイナモを装着した車の実車テスト中であるが、現在まで 15,000 km を何の異状もなく走っている。

10. むすび

以上当社で開発した自動車装着交流発電機およびシリコンダイオードにつき述べてきた。今後シリコンダイオードについては、自動車用交流発電機以外の分野で広く利用できるように、外装その他の設計変更を行ない、より逆耐電圧の高い、廉価なダイオードの製造法につき検討を加えていくつもりである。なお、AC ダイナモについてのデータは、次回にゆずることとする。

自動車装着交流発電機およびシリコンダイオードの開発にあたって、終止ご指導とご援助を賜った研究所、姫路製作所、北伊丹製作所の多くの方々に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) Werner Luft: Forward Voltage Drop and Power Loss in Silicon Rectifiers. AIEE Paper No. 60-34. p. 8.
- (2) E. J. Dibold: Transient Thermal Impedance of Semiconductor Devices. AIEE Paper No. 60-68 p. 12.
- (3) 清水, 中田: 電力用シリコン整流体, 「三菱電機」 33, No. 8 (昭 35).
- (4) Silicon Rectifiers Used in A-C Generator. Westinghouse Engineer May 1959.

自動追尾レーダの性能限界(2)

無線機製作所 渡 部 優*

“Maximum Performance of Tracking Radar”(2)

Electronics Works Masaru WATANABE

Following the previous issue, the writer's description covers the study on the tracking radar performance. In this issue, three examples of system design are given by changing the wave length as the parameter. The data on which the system design is made are adopted from many actual experimental values obtained from our experiences in manufacturing various radar equipments.

5. 測定の確度とその改善

測定の確度を左右するものには、大別して静的なもの
と動的なものがある。

静的な確度限界は、主として精度限界や機構上の精密
さの限界から生ずるものであり、動的なものは、サーボ誤
差と、外乱による誤差がある。つぎに、距離サーボと、角
度追尾サーボに分けて述べる。

5.1 距離追尾

(1) 静的確度

パルスレーダでは、送信パルスと受信パルスの時間差が距
離測定のもととなるので、この時間差を電気量や、機械
軸の回転角などに変換するトランスデューサが必要となる。
静的確度を主として左右するものは、このトランスデューサ
の確度である。

具体的な物としては、ポテンショメータとか、計算コンデンサ
による移相器などである。現在の技術では、前者を用い
ると全レンジの約0.1% 後者を用いると全レンジの約
0.01%程度の確度のものが製作できる。

(2) 動的確度

(a) サーボ動的誤差

サーボ系の伝達関数を $G_r(S)$ と表わすと、入力 $R_{in}(S)$
に対して

$$E(S) = \frac{R_{in}(S)}{1+G_r(S)} \dots\dots\dots (5.1)$$

式(5.1)で表わされる誤差 $E(S)$ が生ずる。

実際には、 $G_r(S)$ は、角度追尾に比し十分高帯域、高
利得のものを作りうる。また、入力信号 $R_{in}(S)$ は、高
速目標体の場合でもそれほど大きい値とはならず式(5.
1)で算出される誤差は、容易に実用上問題を起こさぬほ
ど小さい値になしうるのが普通である。

(b) 外乱による誤差

距離追尾の場合は、外乱としては、トランスデューサに影
響を与えるものが主である。たとえば、

- a. 電源電圧変動
- b. 温度変化

- c. 振動
- d. その他

これらの解決法は、きわめて常識的な手段で、a.~d.
の原因を取除くのである。實際上、これらは、0.1%ま
たはそれ以上のオーダとなって系に悪影響を与えること
が多い。

(c) 外来雑音による誤差

受信パルスが、雑音と共存してはいつてくるために誤差
を生ずるのであるが、サーボ系の帯域が狭いので、それほ
ど有害な誤差を生じない。

(3) 距離追尾の結論

距離追尾は、角度追尾に比し比較的容易に確度を高め
うる。前述の検討を総合して比較的容易に達しうるのは
0.1%のオーダの確度である。しかし最近、対象とする
距離がはなはだ大となり、高確度のものが要求されるよ
うになり0.01%の実現が必要となりつつある。筆者らは
水晶発振器に基準を置いた方式で、このオーダの実現に
成功した。このことは、近く別に報告することとする。

5.2 角度追尾

ここでは、指向性ビームを輻射するアンテナの方向制御
を行なって、測角を行なう通常の方法の確度の
検討を行なう。

(1) 静的確度

アンテナの方向により測角する場合、静的な誤差を生ず
る原因を列挙するとつぎのようである。

- a. 出力トランスデューサの誤差
- b. アンテナ軸の機械的な誤差
- c. アンテナ自体のヒズミによる誤差
- d. サーボ系の零点誤差
- e. その他

a. のトランスデューサは、軸の角度を伝達するためのも
のである。歯車とショックトランスを用いる方式では、誤差
値約0.5ミル程度で伝達できる。最近では多極ショックトラ
ンスを用いてより高精度のものが出てきている。

b. は機械工作の精度により生ずる誤差である。アンテナ
の寸法により異なるが、3mφ直径で約0.5ミル程度が工

作上の一応の限度であろう。

c. は アンテナ 自体 を 堅固 に 作り 極力 防 ぐ 必要 が ある。これ も 3 mφ で 約 0.5 ミル くらい は、 実 現 可 能 で ある。

d. の サーボ 系 の 零 点 誤 差 は、 誤 差 検 出 装 置 自 体 の 中 心 方 向 が 狂 っ て い る と き や、 サ ー ボ 増 幅 器 の 中 で、 パ イ ア ス 誤 差 の 加 わ る と き で あ る が、 こ れ は、 実 目 標 で も っ て 較 正 す る こ と が 可 能 で あ る。

(2) 動的確度

(a) サーボ動的誤差

距離追尾のときとまったく同様に

$$E_{\theta}(S) = \frac{\theta_{in}(S)}{1+G_{\theta}(S)} \dots\dots\dots(5.2)$$

$$E_{\phi}(S) = \frac{\phi_{in}(S)}{1+G_{\phi}(S)} \dots\dots\dots(5.3)$$

- ただし、 θ, ϕ : アンテナの二つの軸
- E_{θ}, E_{ϕ} : それぞれ θ, ϕ 軸のサーボ誤差
- S : ラプラスのオペレータ
- G_{θ}, G_{ϕ} : θ と ϕ サーボの伝達関数
- θ_{in}, ϕ_{in} : θ と ϕ 軸への入力命令値

式(5.2)および式(5.3)でもって算出しよう。

角度追尾の場合は、高速目標体追尾の場合には、上記の誤差値をある限度内に納めるために、 G_{θ}, G_{ϕ} に 実 現 上 か な り む ず か し い 要 求 が 加 え ら れ る こ と が 多 い。 す な わ ち、 アンテナ 自 体 が 大 き い 寸 法 と 質 量 を も ち、 大 き い 駆 動 装 置 で 動 か さ ね け れ ば な ら ない の か か わ ら ず、 高 い 共 振 周 波 数 を も ち、 か つ、 ダ ン ピ ン グ が 適 度 で あ る こ と を 要 求 さ れ る。 こ の た め、 アンテナ 自 体 が 機 構 的 に 堅 固 で、 質 量 や、 慣 性 率 の 小 さ い も の が 要 求 さ れ る。

量的な検討の結果だけ記すと、3 mφ の アンテナ の 場 合、 アンテナ の 機 械 的 共 振 周 波 数 を 約 16 c/s、 ダ ン ピ ン グ 比 を 約 1 に 仮 定 す る と

$$G(S) = \frac{K(1+T_2S)}{S(1+T_1S)(1+T_3S)^2} \dots\dots\dots(5.4)$$

- ただし、 $K=126$ rad/sec
- $T_1=0.0357$ sec
- $T_2=0.77$ sec
- $T_3=0.01$ sec

式(5.4)で示したようなサーボ系が比較的容易に構成できる。この系は、1.5 マッハ の 速 度 で 約 5 km 隔 た っ た 直 線 を 飛 ぶ 点 目 標 に 対 し て、 約 1 ミル の 誤 差 と な る。 こ こ で $1/(1+T_3S)^2$ の 項 は、 アンテナ の 機 械 的 性 質 に よ り ほぼ 定 ま り、 そ の 他 の 部 分 は、 電 子 回 路 で 比 較 的 自 由 に 設 計 実 現 で き る。(第 7 章 参 照)

(b) 外乱による誤差

角度追尾の場合に、問題となる外乱を列挙するとつぎのようである。

- a. 船用、航空機用などの 追尾レーダ では、ローリング、ピッチング、ヨーイング および 振動
- b. 地球外域の 飛体追尾時の 地球の自転公転

- c. アンテナ に対する 風圧
- d. 機械的摩擦
- e. 歯車の バックラッシュ および ジャギング
- f. その他

a. に対して簡単な解決法としては、レーダ自体 を スタビライザ上 に 乗 せ る 方 法 が 良 く 行 な わ れ る。 ま た レートジャイロフィードバック を 持 た せ た アンテナサーボ系 を 作 る と a. の 外 乱 は 影 響 が 少 な く な る。

a. と b. の 対 策 と し て、 計 算 器 と 組 合 せ た 追 尾 レーダ 系 を 作 る こ と に よ り 解 決 す る こ と も で き る。(参 考 文 献(1) 参 照)

c. の アンテナ 対 する 風 圧 の 影 響 は、 サ ー ボ 利 得 を 高 く し て あ る 程 度 軽 減 で き る。

d. の 摩 擦 の 影 響 は、 機 械 設 計 と 工 作 の 面 仕 上 げ の く ふ う で 小 さ く な し う る。

e. の 歯 車 の バックラッシュ は、 サ ー ボ 系 の 小 振 幅 振 動 や、 不 感 帯 の 原 因 と な る こ と が 多 く、 ジャギング と と も に は な は だ 有 害 な 誤 差 の 原 因 と な る。 こ れ ら は、 歯 車 の 設 計 を く ふ う し、 精 密 な 工 作 を 行 な っ て 発 生 を 未 然 に 防 ぐ 必 要 が あ る。

これらの外乱の影響は、使用状態により大幅に異なり、使用目的により機構上の相違でまた大幅に変わる。したがって、個々の場合に量的に検討を要する問題である。

(c) 外来雑音による誤差

角度誤差の検出装置は、レーダ受信信号 を 処 理 す る の で あ る が、 つ ぎ の よ う な 雑 音 が 共 存 し て は い っ て く る。

- a. 熱的じょう乱雑音
- b. 目標体の反射面積の変動
- c. 目標体の反射点の変動
- d. トランスポンダの変動
- e. トランスポンダアンテナのパターンに基づく変動
- f. その他

a. の 熱 的 じ ょ う 乱 雑 音 は、 S/N 比 が 約 20 dB 以 上 あ る と き は、 そ れ ほ ど 大 き い 割 合 と な ら ない。

b. d. e. な ど に よ る 入 力 信 号 の 時 間 的 変 動 は、 電 波 ビーム を 時 間 的 に コ ー ナ ル ス キ ャ ン ニ ン グ す る 方 式 に 対 し て は 雑 音 の 原 因 と な る。 こ れ を 避 け る に は、 指 向 方 向 の わ ず か 異 な っ た 二 つ の 電 波 ビーム を、 同 時 に 比 較 す る 方 式 に す れ ば 解 決 が つ く。(6.1 節 参 照)

c. の 目 標 体 反 射 点 の 変 動 は、 目 標 体 が 広 が り を も っ て い る と き は や む を 得 ない が、 結 果 と し て の 変 動 は 大 体 目 標 体 の 大 き さ の 内 に 納 ま る も の で あ る。

(3) 角度追尾の結論

角度追尾は、アンテナ という 質 量 の 大 き い も の を 駆 動 す る 必 要 上、 ま た 前 記 の 誤 差 発 生 の 諸 因 子 の 重 な り 合 う 関 係 上、 確 度 を 高 く 保 つ こ と が か な り む ず か し い。

現在の技術の総合で達しうる確度は、位置に換算して約 0.1% で 主 要 因 は 外 来 雑 音 で あ る。 し た が っ て 雑 音 の 影 響 の 少 ない 系 を 構 成 す る こ と と、 サ ー ボ 要 素 と し て の

アンテナの特性のすぐれたものを作ることが重要である。

角度誤差の軽減に関しても、位置に換算して0.01%の要求が現実の問題となりつつあるが、そのための指針は前述の論で明らかであると思う。

6. サーボ要素としてのアンテナの検討

測定器として重要な誤差軽減の問題については、第5章に述べたが、角度追尾は、距離追尾に比し困難が多い。問題となる点は

- (1) 外来雑音の多い点
- (2) アンテナの特性を、サーボ的に理想的なものを作ることがむずかしい点

の二つに集約される。

(1)に関しては6.1節に述べる角度誤差検出装置の改善案が有効である。

(2)に関しては、問題点を明らかにし、解決の努力指針を明らかにする目的で、6.2節、6.3節、6.4節に検討する。

6.1 角度誤差検出装置の改善

航空機などの目標体を時々刻々追尾するレーダでは、もっとも大きい追尾誤差の原因は、目標体反射面積の変動に基づく受信波の時々刻々の変動である。

この点に関し、解析によりその誤差発生の機構を明らかにしうる。その結果だけ記すと、時間的にコニカルスキャンニングする方式のものでは

$$\left(\frac{\partial V}{\partial \varepsilon}\right)_{\varepsilon=0} \dots\dots\dots (6.1)$$

ただし、 V : 受信機出力

$\frac{\partial V}{\partial \varepsilon}$: ε なる角度誤差を与えたとき受信機出力に現われる出力変化率

式(6.1)が小さい値であるように設計するほど、受信波の強度変化の影響が少なくなる。

この極端な場合として、 $V_{\varepsilon=0}$ をゼロならしめるようにくふうすれば、まったく強度変化の影響を受けなくなるが、この実現のためには、同時に二つのビームを輻射し、その差がゼロであるように系を構成することが必要となる。この場合、差を作る場所は種々考えうるが、つぎの注意を要す。

- (1) ビデオ信号 またはそれ以降で差を作るときには、特別な配慮は必要でない。
- (2) SHF または、if 信号で差を作るときには、最終段において $\frac{\partial V}{\partial \varepsilon}$ の値が、 ε の正負にかかわらず一定に保たれるよう、二つのビームの和の信号を基準にした、位相検波を用いる必要がある。

上記のような系に関しては、現在実現のための開発を行なっている。

6.2 アンテナの機械共振の影響

自動追尾レーダの性能限界(2)・渡部

早い現象や、早い外乱に対してサーボ的な誤差が少ないような系を作るためには、どうしてもサーボ系の帯域幅を広げることが必要となる。このときに、帯域幅を広げる妨げとなるものは、多くの場合アンテナの機械共振である。この機械共振の近くまで角度サーボ系の帯域を増加して行くと、だんだんと不安定になりついには発振を生ずるのである。どの程度まで近づきうるかは機械共振系のダンピング係数により左右されるが、一般的にいって、ダンピングは大きい値に製作することがむずかしく、これをできるだけ大きくする必要がある。

またもちろんこの機械共振周波数自体もできるだけ高くなるようにくふうすることが必要である。

6.3 アンテナのバックラッシュの影響

アンテナの歯車列を製作したときにバックラッシュが発生すると、小振幅の入力値に対して、90度近い位相遅れ要素となる。したがって、裕度の少ないサーボ系内に入れると不安定となり持続的な振動を起こす。

追尾レーダの場合は、低周波特性を良くする意味で lag-lead network

$$\frac{1+T_2S}{1+T_1S} \quad (\text{ただし } T_1 > T_2) \dots\dots\dots (6.2)$$

を入れて構成することが多いので、低い周波数域においてこの傾向はとくにいちじるしい。したがって、バックラッシュは、極力生じないように注意が必要である。

また、バックラッシュ除去のためにスプリングなどで、弾性的に力を加える構造とすると、一応バックラッシュは避けうるが、強力なトルクに対して、6.2節で述べた機械共振周波数が下がるゆえ、条件付の注意を要する。

6.4 アンテナのモメンタムの影響

追尾レーダのアンテナには、レートジャイロや、コニカルスキャンニングのための機構がついていることが多く、機械的なモメンタムが共存していることが多い。このモメンタムの影響について述べる。

図6.1に示すような関係のもとで、系を支配する微分方程式をたてると、つぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} M_x &= J_x \ddot{\lambda}_x - H_z \dot{\lambda}_y + H_y \dot{\lambda}_z \\ M_y &= H_z \dot{\lambda}_x + J_y \ddot{\lambda}_y - H_x \dot{\lambda}_z \\ M_z &= -H_y \dot{\lambda}_x + H_x \dot{\lambda}_y + J_z \ddot{\lambda}_z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.3)$$

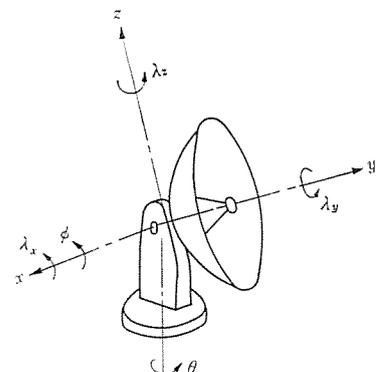


図 6.1 アンテナ座標系
Fig. 6.1 Co-ordinate definition of antenna.

ただし

- M_x, M_y, M_z : アンテナに加えるモメント
- J_x, J_y, J_z : おのおの x, y, z まわりの慣性能率
- $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$: おのおの x, y, z まわりの回転角
- H_x, H_y, H_z : おのおの x, y, z まわりのモメントム

簡単のために式 (6.3) をラプラス変換してテンソルを用いて表わすと、次式 (6.4) のようになる。

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} SJ_x & -H_z & H_y \\ H_z & SJ_y & -H_x \\ -H_y & H_x & SJ_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6.4)$$

逆変換を作ると、

$$\begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_z \end{bmatrix} = \frac{1}{S} \begin{bmatrix} SJ_x & -H_z & H_y \\ H_z & SJ_y & -H_x \\ -H_y & H_x & SJ_z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{S} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{21} & B_{31} \\ B_{12} & B_{22} & B_{32} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6.5)$$

- ただし, $[b_{ij}]$: 式 (6.4) のマトリックスとしたとき
- $[b_{ij}]^{-1}$: $[b_{ij}]$ の逆マトリックス
- $[B_{ij}]$: $[b_{ij}]$ の余因子マトリックス

また、もちろん $[b_{ij}]$ がゼロ点をもたない範囲に限る。

式 (6.5) は、 M_x, M_y, M_z より $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ への伝達関数を与えるものと解釈しうる。これよりわかるように、 H_x, H_y, H_z などのモメントムの存在しているときは、一般に $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ の各チャンネル相互間にクロスカップリングを生ずる。たとえば、 M_x は λ_x に影響するだけでなく λ_z にも影響する。これとは逆に、 M_z は、 λ_x, λ_z 双方に影響を与える。

また式 (6.4) から式 (6.5) を算出するときに $[b_{ij}]$ がゼロ点をもたない範囲であることを条件としているが、実際にもし、ゼロ点をもつとき、とくにそれが S の複素平面で虚軸上または、右半面にゼロ点をもつとアンテナ自体不安定な要素となる。

実際の場合、図 6.1 の y 方向にモメントムを持っていることが多い。このときを検討して見よう。

$$\left. \begin{matrix} H_x=0 \\ H_y=H \\ H_z=0 \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots (6.6)$$

式 (6.6) を式 (6.5) に代入すると、

$$\begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_z \end{bmatrix} = \frac{1}{S} \begin{bmatrix} SJ_x & 0 & H \\ 0 & SJ_y & 0 \\ -H & 0 & SJ_z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6.7)$$

となる。図 6.1 の関係を考慮しつつ微小角と仮定すると

$$\left. \begin{matrix} \lambda_x = \phi \\ \lambda_y = \theta \sin \phi \\ \lambda_z = \theta \cos \phi \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots (6.8)$$

$$\left. \begin{matrix} M_x = M_\phi \\ M_y = M_\theta \sin \phi + M_\psi \cos \phi \\ M_z = M_\theta \cos \phi - M_\psi \sin \phi \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots (6.9)$$

ただし、

- θ : 方位角 (図 6.1 参照)
- ϕ : 上下角 (図 6.1 参照)
- M_θ : 方位角軸に加えるモメント
- M_ψ : 上下角軸に加えるモメント
- M_ϕ : $\theta\phi$ に垂直な方向 ψ に関して加わるモメント

式 (6.8), (6.9) を用いて式 (6.7) に代入すると

$$\left. \begin{matrix} \phi = \frac{1}{S(S^2 J_x J_z + H^2)} (-H \cos \phi M_\theta + SJ_z M_\phi + H \sin \phi M_\psi) \\ \theta \sin \phi = \frac{1}{S^2 J_y} (\sin \phi M_\theta + \cos \phi M_\psi) \\ \theta \cos \phi = \frac{1}{S(S^2 J_x J_z + H^2)} (SJ_x \cos \phi M_\theta + H M_\phi - SJ_x \sin \phi M_\psi) \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots (6.10)$$

(図 6.1) の場合は、 $\theta\phi$ だけが可動で ψ 方向には拘束されているゆえ、 M_ψ は従属変数として式 (6.10) より消去しうる性質のものである。

式 (6.10) で重要なことは、分母が、

$$S = \pm j \frac{H}{\sqrt{J_x J_z}} \dots\dots\dots (6.11)$$

式 (6.11) で表わされる虚根をもつことである。これは式 (6.5) で述べたように、 $[b_{ij}]$ が S の虚軸上でゼロ点をもつ場合であって、ここで収斂性をもたなくなる。

このような要素をサボ要素として持つ場合、 M_θ, M_ϕ としては、安定化のための配慮を十分払ったものを加える必要がある。とくに H の大きい値の場合は注意が必要である。

7. システム設計例

この章では、つぎの条件でもって 追尾レーダのシステム設計を行ない、3種の周波数についてその相違を比較する。

- (1) 地上設置パルス方式追尾レーダで到達距離を大とする点に重点をおく。
- (2) 目標体は、1.5 マッハの航空機、近距離 0.65km まで。
- (3) 確度約 1 ミル を目標とする。
- (4) アンテナ寸法 $3m\phi$ のときおよび波長に比例させたとき。
- (5) 最大有効距離は、 possible の限り大きいこと。

(従来の 追尾レーダ では、20 km 程度である。)

システム設計の詳細は、本文に述べてきたような配慮で行なったが、その結果を表 7.1 に示した。これは、アンテナ直径を $3m\phi$ とした場合である。

7.1 周波数

マイクロ波レーダ帯の中で、互いに幾何級数的関係にある 3,000 Mc, 5,300 Mc, 9,400 Mc を選出して検討した。

表 7.1 空中線開口径を 3 m 一定としたときの設計例

使用周波数		9400 Mc	5300 Mc	3000 Mc
空中線	波長 (cm)	3.2	5.67	10
	空中線開口径 (m)	3	3	3
	ビーム幅 (度)	1.4	2.4	4.1
送信部	送信セン頭出力 (kW)	50	150	500
	繰返し周期 (c/s)	1,000	750	520
	パルス幅 (μs)	0.6	0.8	1.15
	Duty Cycle	6×10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁴
受信部	受信バンド幅 (Mc)	2	1.5	1.05
	雑音指数 (dB)	13.4	11.9	10.4
距離	Error Device	Bipolar Video	Bipolar Video	Bipolar Video
	範囲	200 m~9.0 km	200 m~120 km	200 m~170 km
追尾	距離誤差 (静的誤差)	±(10+ $\frac{R}{2,000}$)	±(13+ $\frac{R}{2,000}$)	±(19+ $\frac{R}{2,000}$)
	距離誤差 (動的誤差)	6 m 以下 (直距離 0.65 km) 以上 1.5 マッハの目標	6 m 以下	6 m 以下
部	Transferfunction (低周波特性)	1.2×10 ² (1+0.2S) S(1+1.22S)	同左	同左
	Error Device	§ 6.1 参照	§ 6.1 参照	§ 6.1 参照
角	測角方式	θ φ 二軸方式 (Pole は天頂方向)	同左	同左
	測角誤差 (静的誤差)	± 0.2	± 0.2	± 0.2
度	測角誤差 (動的誤差)	1 ミル以下 (直距離 0.65 km) 以上 1.5 マッハの目標	同左	同左
	Transferfunction (Radiation Beam) (軸を中心として)	126(1+0.77S) S(1+0.0357S)(1+0.01S) ²	同左	同左
追尾	駆動出力部	Thyratron	Thyratron	Thyratron
	駆動電動機	θ 軸 DC 7 HP φ 軸 DC 5 HP	同左	同左
部	最小角速度 (度/sec)	0.01	0.01	0.01
	最大角速度 (度/sec)	50	50	50
	最大角加速度 (度/sec ²)	25	25	25
	Servo Band φ (c/s)	3.5	3.5	3.5
捕捉	Search Motion	Sector Scanning and RH Scanning	同左	同左
	表示形式	PPI RHI and Ascope	同左	同左
総合的特性	使用可能伏仰角(度)	1.4~85	2.5~85	4.2~85
	最小距離	650 m (1.5 Mach の Target)	同左	同左
	最大距離 (lock in)	60	81	115
	空中損失無視 常態の空中 普通の雨 激	56 37 21	76 72 59	107 105 101
長所	波長による長短の比較	低角度まで使用可能 1.4 度 アンテナ寸法精度 大なるものが 必要 ±2 mm	2.5 度 ± 3.5 mm	4.2 度 ± 6.3 mm
		大気中の吸収損失が 大きくとくに 雨のときに、 Rmax が減る		Rmax が大で 天候に左右され にくい

表 7.2 開口径を波長に比例させたときの R_{max}

使用周波数 (Mc)	9,400	5,300	3,000
空中線開口径 (mφ)	1	1.8	3
最大追尾距離 (km) (空中損失無視)	20	48	115
常態の空中	19.5	45.5	107
普通の雨	16.1	44.3	105
激	11.5	38.4	101

7.2 空中線開口径

空中線を大きくすると、利得が大きくなり遠距離までとどくのと、ビーム幅が鋭くなって低角度まで使用可能となる利点がある。しかし一方角度追尾の困難さが大きくなる。その原因は、つぎのようである。

- (1) 慣性能率の増大
- (2) 摩擦の増大
- (3) 駆動力の増大
- (4) サーボ的要素時定数の増大
- (5) バックラッシュ、リジディティなど機械的性質もむずかしくなる。
- (6) その他

したがって、表 7.1 には サーボ系の困難さが、ほぼ同一の状態すなわち アンテナ寸法一定 (3 mφ) のときを検討した。

表 7.2 には、開口径を波長に比例させた場合を検討した。この場合の到達距離は図 2.6 に表わした。

7.3 送信部

送信セン頭出力は、図 2.1 に従って選定した。これらの値は、現在比較的容易に実現できる値であるが、現在技術の上限は、これらの値の 4~6 倍くらいであろう。

繰返し周期およびパルス幅は、R_{max}に見合っ選定した対象とする使用距離 γ は、1/2 R_{max} のところにあると仮定した。

7.4 受信部

パルス幅の決定は図 2.3 に従って行なった。

雑音指数の選定は、クリスタルミキサを初段に持つスーパーヘテロダイナ方式を考えている。

7.5 距離追尾部

誤差検出部装置は、従来のパルス方式追尾レーダと同様のものである。距離追尾の伝達関数は、

$$G_0(S) = \frac{1.2 \times 10^2 (1 + 0.2 S)}{S(1 + 1.22 S)} \dots \dots \dots (7.1)$$

を設計値とした。

7.6 角度追尾部

測角方式は、方位角 θ の軸の上に上下角 φ を設ける方式を用いることとした。この系は、天頂に極を有するが、小さく製作できる利点もっている。

静的測角誤差は、シフトの誤差と、機構上の誤差である。動的誤差は図 7.4 に示すように、目標体の広がり内に納まることを前提とすると、1.5 マッハの目標体を 650 m の距離のコースまで追尾可能である。

角度系の伝達関数は、5 km の距離のコースに、1.5 マ

マッハの点状の目標体を追尾したとき最大誤差が1ミルに納まるように決定した。なお、角速度や角加速度は視線角速度と視線角加速度を考えていることに注意を要す。

7.7 捕捉運動

捕捉には、立体的な表示が必要であるゆえこのようにした。

7.8 総合的特性

使用可能上下角の低いほうの限界は、ビームが大地に当たるための障害により生ずる。

最小距離は、1.5マッハの目標体が、与えられた確度内で追尾できる限度より生じたものである。この距離をさらに小さくすると、サーボ系に対する要求が急激にきびしくなる。長距離追尾レーダでは、近距離特性を多少犠牲にしても全体として安定で、バランスのとれた設計とするほうが良い。

最大距離については、図2.5の大気中の吸収損失の影響を加味して計算した。

7.9 波長による長所短所の比較

波長が短いと、同一のアンテナの開口径に対してもビームが鋭くなり、低角度まで使用できる。このことは、遠距離レーダとしては好ましいが、一方前述の諸般の事情により到達距離が減少し、とくに雨天時にその距離が激減する。これらの点から、使用目的による適切な判断が必要なことがわかる。

なお、製作上で、3mφアンテナに対して、±2mmの寸法精度は、かなり注意を必要とする。

7.10 角度追尾サーボ系に対する検討

このレーダでは、到達距離を大きくする必要上アンテナ寸法を3mφに選んだので、角度追尾系は、とくに注意を要する。

(1) 角度追尾系に対する理想入力

1.5マッハの目標体が、最短距離が0.65kmであるような直線経路を飛んだとき、入力関数は、図7.1のようになる。

(2) 角度追尾系伝達関数

図7.1に示される追尾入力に対し、最大サーボ誤差が1ミルとなり、しかも十分安定で、現在よく注意して設計製作すれば、実現可能と考えられる伝達関数を、つぎのように設定する。

$$G(S) = \frac{K(1+T_2S)}{S(1+T_1S)(1+T_3S)^2} \quad (7.2)$$

ただし $T_1 = 0.0357 \text{ sec}$
(設計値)

$T_2 = 0.77 \text{ sec}$
(設計値)

$T_3 = 0.01 \text{ sec}$ (機械系より決まる)

$K = 126 \text{ rad/sec}$ (設計値)

K の値は、これより大きくするとさらに誤差は減るが、この値で、ちょうど図7.1の入力に対して、最大誤差が1ミルとなる。このとき、位相余裕62度、利得余裕20dBで、十分安定な系である。(図7.2参照)

(3) 角度追尾系システムティック誤差

図7.1に示されるような入力に対し式(7.2)の伝達関数の系の誤差を算出すると、図7.3のようになる。図7.3の中で、破線は、30mの大きさの目標体が、直線経路

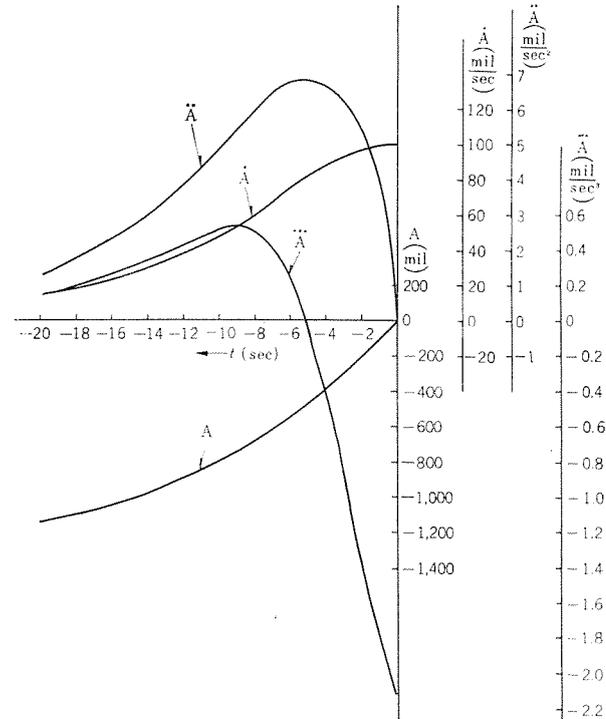


図7.1 最近点0.65kmなる直線上を1.5マッハで動く目標体のレーダに対する理想角度入力関数
Fig. 7.1 Idealized input angular function of a target moving at 1.5 Mach velocity on a straight line which has the nearest distance 0.65 km from radar.

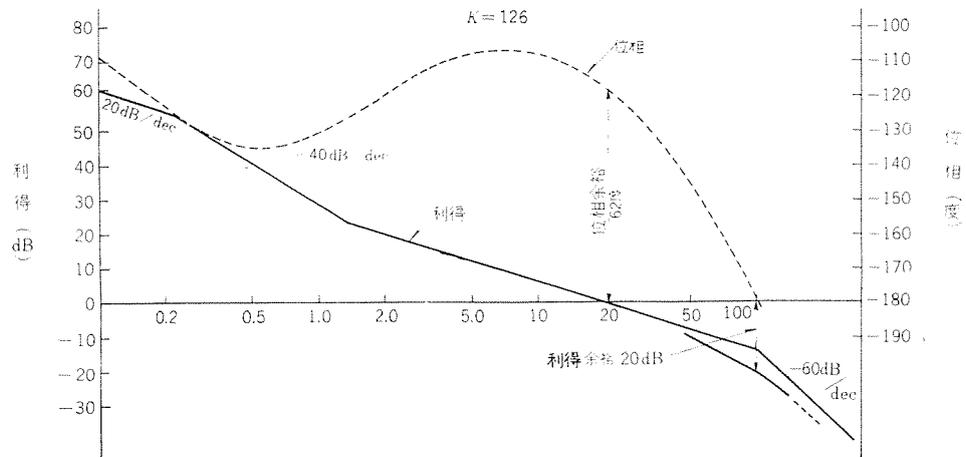
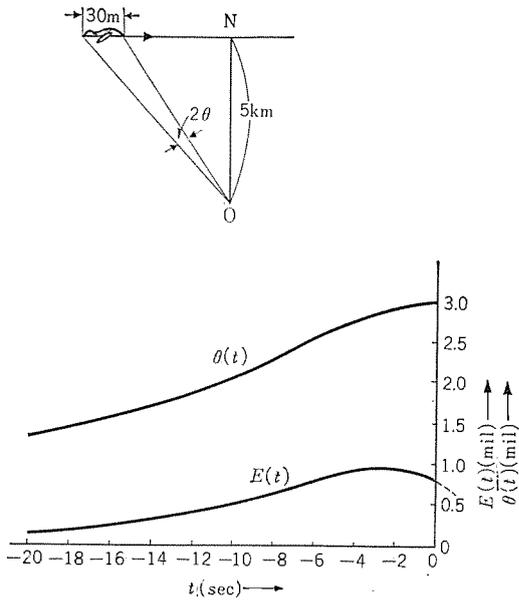


図7.2 式(7.2)の角度系伝達関数

Fig. 7.2 Transfer function of angular tracking channel expressed by equation (7.2)



$E(t)$: Systematic error
 $2\theta(t)$: 30m の target が占める角度

図 7.3 理想入力に対するサーボ誤差

Fig. 7.3 Servo error due to idealized input function.

を飛ぶ場合に、レーダに対して占める角度の半分を距離との関係として示している。一方、その直線までの距離が種々変わったとき生ずる最大誤差を実線で示した。これより、0.65 km 以上隔てた経路では、目標体の中心付近に反射点があるかぎり、誤差はあっても、ビームの中心はほぼ目標体の広がり内に納まることを示している。

8. むすび

追尾レーダの能力について、もっとも重要な有効距離と測定の確度の二つの問題に重点を置き、現在の技術を総合して達しうる能力限界と、その改善のための検討をなしそれらを明らかにした。

国産の全自動追尾レーダは、筆者らの完成した 60 cm 直径のアンテナのものおよび 4 m 直径の大形のものなど 3 種の機種が今までに誕生した。続いて現在もつぎつぎ

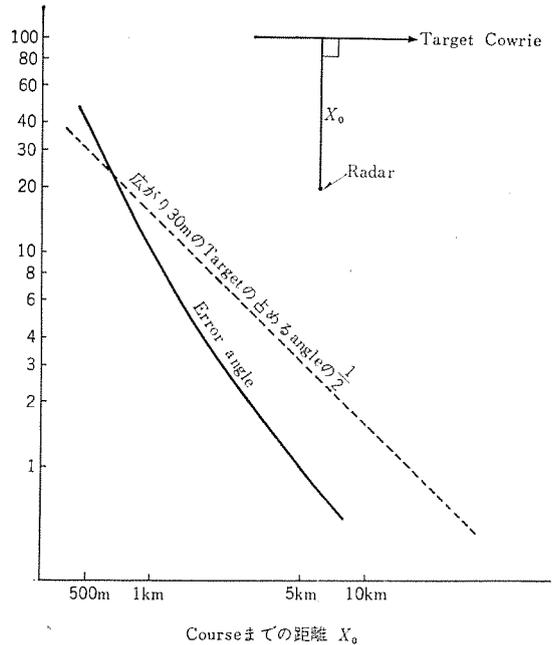


図 7.4 目標体飛しょう径路までの距離と最大誤差の関係
 Fig. 7.4 Maximum servo error versus distance from radar to target moving line.

と新しい機種を設計製作中であるが、この分野は、先進国の防衛秘の関係があって、今後とも独自の立場で進めて行く必要があると思う。この点で、本文の検討が、今後とも役だつようならば幸いと思う。

終わりに、これらの研究を進めるにあたり、つねにご指導と機会を与えられた榎本俊弥部長、津村隆部長、小田達太郎部長に深甚の謝意を表す。また研究の具体的な仕事に直接、また間接に携わる、先輩、同僚、後輩の諸氏と、本文の発表にご甚力下さった井上義男課長に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- (1) 渡部 優：サーボ系の記憶制御と定常的誤差軽減に関する考察およびその追尾レーダへの応用、電気学会雑誌，81，第 875 号 (昭 36-8)。

6,000 Mc 帯 各種 導 波 管

無線機製作所 東野義夫*・香川哲*

6,000 Mc Band Waveguide Components

Electronics Works Yoshio HIGASHINO・Satoshi KAGAWA

For use on new microwave relay links of the Nippon Telephone & Telegraph Public Corporation have been developed 6,000 Mc band waveguide components. These relay links are called SF-U₁ and SF-S₁, and are capable of increasing the number of channels accommodated on one route considerably. Antenna and feeder systems then call for the echo distortion kept down as small as possible from the viewpoint of noise. This comes to require the component parts of feeder coming up to a high standard. Making the most of broad band matching technique, the writers are successful in producing the components referred to satisfying all the need of the standard. For instance, corner guides thus made available have such VSWR values of 1,008 or less over a range of 5,925~6,175 Mc or of 6,175~6,425 Mc. Further description in this report touches on corners, twists and pressurizing windows.

1. ま え が き

最近のマイクロ波を利用した多重通信回線新設はめざましいものがあり、日本電信電話公社においてもすでに4,000 Mc 多重中継回線網はほぼ日本全国に行きわたっている現状にある。さらに増加する電話、テレビジョンなどの通信需要に対し一段と高性能化された6,000 Mc 多重中継回線の建設が4,000 Mc と並行に進められている。

この6,000 Mc 多重中継回線は従来の4,000 Mc に比較して1ルート当たりの収容回線を約4倍にしたものであり、これに使用するアンテナについてはすでに左旋円偏波と右旋円偏波とを同時に共用できる左右両旋円偏波パラボラアンテナを完成した⁽¹⁾。またアンテナと通信機を結ぶ給電用導波管系についてもアンテナと同様に高性能が要求されるのはもちろんであり、これを満足すべく導波管部品個々について今までに種々研究、開発を行ない製品化してきた。これら導波管部品の特性のうち、とくに電圧定在波比(VSWR)に関しては従来のものと比較していちじるしく改善され、きわめて小さい値にはいつている。

2. 導波管系の概要

一般に導波管系では屋外に配管される部分は管内を気密とし、屋内に配管される部分はとくに管内を気密にしない。屋外での導波管接続には気密形パットフラッジを用いるが従来の4,000 Mc の場合はすべてにガスケット溝があるいわゆる両溝式が使用されていたが、6,000 Mc の場合はガスケット溝は片側のフラッジだけに設けた片溝式が採用された。片溝式ではガスケットを完全にフラッジに収納してからフラッジ接続ができるのでガスケットの一部が溝の外部にはみ出してフラッジの接合が不完全になるのを防止するだけでなく、片側は平らなフラッジでよいか

らフラッジの加工費を低減しうる。

導波管はすべてJISに定められた1級の規格に準じ、内径は $(40 \pm 0.06) \text{ mm} \times (20 \pm 0.06) \text{ mm}$ である。フラッジの製作にあたっては高精度の治工具を使用し、フラッジを接続した場合の食い違いによるVSWR特性が劣化するのを極力小さくするように考慮されている。

導波管系の部品としては直線の接続導波管のほか、屋内用と屋外用との境には屋外側を気密に保つために空気充填用窓をそう入する。曲がり部分ではEコーナ導波管またはHコーナ導波管を使用している。また配管の都合によってネジレ導波管、可撓導波管さらに必要に応じて単向管などを使用している。これらの導波管のうち接続導波管以外は整合素子により、5,925~6,425 Mc を5,925~6,175 Mc (以下これを1号と称する) と6,175~6,425 Mc (以下これを2号と称する) に分割しておおのの周波数帯で広帯域整合を採っている。

曲がり部分の導波管としては、ある半径の円弧をもって曲げたものと角をつけて曲げたコーナ導波管とがある。円弧に沿って曲げた導波管は製作が容易であるが整合素子を設けても広い周波数帯にわたってVSWRを非常に小さな値にするのは困難である。それゆえ整合を採ることによって容易に良好なVSWR特性を得ることができ、コーナ導波管を採用している。

ネジレ導波管として従来は引抜導波管をその軸を中心として円周方向にねじったものであった。この方法で製作した導波管はVSWRの値が大きく、しかも特性のパラッキも大であった。これでは6,000 Mc 用に非常にきびしいVSWRの規格を満足する製品を作るのはほとんど不可能である。そこで規格のきびしいものについては当社では新しいタイプの階段式ネジレ導波管を製作している。これは導波管自体はねじらず、フラッジ接続部を数段設けてこのフラッジ面だけで円周方向に回転して取付け

たものである。フランジ面の回転角度および各フランジ接続部の間隔を適当に選択することにより、広い周波数帯域にわたりきわめて優秀な特性を得ることができる。すなわち、整合素子を併用した場合1号または2号の周波数帯でそれぞれ VSWR 1.008 以下である。

可撓導波管は導波管軸の食い違う部分やわずかな曲がり部分の配管、温度変化による導波管の伸縮その他の原因により導波管に力がかかる場合、機械的振動のある場所などには非常にちょうほうなものである。可撓導波管は本質的な構造のため他のコーナ導波管やネジレ導波管などと同様の VSWR 特性を得ることは困難であったが、その特性を究明することにより一応規格値を満足するものを完成した。

単向管はフェライトを利用した一方向だけ大きい減衰を持つ導波管で VSWR 特性改善のため近年盛んに使用されている。6,000 Mc の回線にもエコーヒズミの改善のため多量の単向管が使用された。フェライトは当社大船製作所の製品である。

表 2.1 はいろいろな導波管部品の規格をまとめたものである。

表 2.1 日本電信電話公社向け 6,000 Mc 帯各種導波管の性能一覧表

品名	電圧定在波比 (VSWR)	伝送損失	周波数	備考
空気充填用窓	1.010以下		5,925~6,175Mc または 6,175~6,425Mc	
Eコーナ導波管	屋内用	1.008 "	"	曲がり角度 5~90度
	屋外用	1.008 "	"	"
Hコーナ導波管	屋内用	1.008 "	"	"
	屋外用	1.008 "	"	"
ネジレ導波管	屋内用	1.008 "	"	ネジレ角度 5~90度
	屋外用	1.008 "	"	"
可撓導波管	屋外用	1.040 "	"	E面曲げ10度 H面曲げ5度 ネジレ5度
単向可撓導波管	屋内用	1.010 "	順方向 5,925~6,425Mc のうちの1指定周 波数±10Mc	VSWR は単 向管側フラン ジより測定

3. 空気充填用窓

空気充填用窓には薄い誘電体板を用いて管内を気密にする方法や厚さが2分の1波長あるいはそれ以上の誘電体ブロックで導波管内を埋める方法などがある⁽²⁾。誘電体としてはマイカ、フッ素樹脂、ポリエステル樹脂などが考えられる。レーダなどで大電力を通す場合は管内の高い電位傾度による絶縁破壊、誘電体損による発熱などを十分考慮しなければならないが、一般の小電力多重通信に使用する場合はそう入損失が大でない限りこれらはたいした問題とはならず、むしろ通過帯域全体で VSWR を小さくすることのほうが重要である。

3.1 構造

図 3.1 は 6,000 Mc 空気充填用窓の外観であり、図 3.2 はその構造図である。方形導波管断面の周辺に溝を切りマイカ板を中心に置いてその両側をシリコンゴムのパッキング

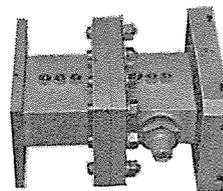


図 3.1 空気充填用窓
Fig. 3.1 Pressurizing window.

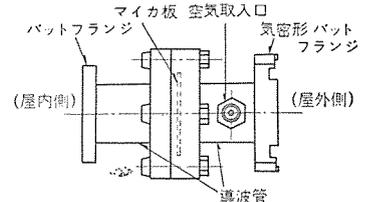


図 3.2 空気充填用窓構造図
Fig. 3.2 Structure of pressurizing window.

で押えている。屋外側の管内圧力は 0.2 kg/cm² 以下であり、導波管断面が 40 mm×20 mm と比較的小さいためマイカ板はごく薄いもので気密を保つことができる。

3.2 特性

導波管周辺に設けたパッキングを含む溝は等価的に誘導性リアクタンスが直列にはいったことになる。また溝にそう入したマイカ板は容量性リアクタンスが直列に接続されたように働く⁽²⁾。

$$\frac{X_L}{Z_0} = \tan \frac{2\pi}{\lambda_g} l_0 \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\frac{X_C}{Z_0} = -\frac{2\pi t \lambda_c^2}{\lambda_g (\lambda_c^2 - \lambda_0^2)} (k_e - 1) \dots \dots \dots (3.2)$$

ただし

- Z₀: 導波管の特性インピーダンス
- X_L: 誘導性リアクタンス
- X_C: 容量性リアクタンス
- l₀: 溝の等価電気長
- λ_c: ショ断波長
- λ₀: 自由空間波長
- λ_g: 管内波長
- k_e: 誘電体の誘電率
- t: 誘電体の厚さ

ここで溝の寸法およびマイカ板の厚さを適当に定めれば両者の呈するリアクタンスはたがいに打ち消し合って反射を小さくすることができる。つぎに周波数特性に注目すれば、溝の呈する誘導性リアクタンスの値は 6,000 Mc では l₀ の影響が大きく周波数特性がかなり大きい。一方マイカ板の呈する容量性リアクタンスは周波数特性が割合小であるから全体の周波数特性はほぼ溝の呈するリアクタンスによって決定される。図 3.3 の A 曲線はこれにより周波数帯の高域と低域で残留 VSWR が大きくなることを示している。この状態より導波管面に整合用のネジを立て、1号用として調整したものの一例を B 曲線に、2号用として調整したものの一例を C 曲線に示す。いずれも VSWR は 1.01 以下となっている。

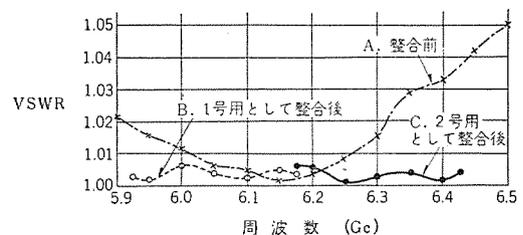


図 3.3 空気充填用窓の特性
Fig. 3.3 Characteristics of pressurizing window.

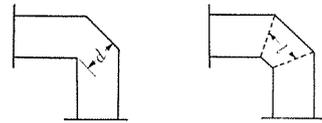
4. コーナ導波管

6,000 Mc に使用したコーナ導波管は図 4.1 (a) に示す

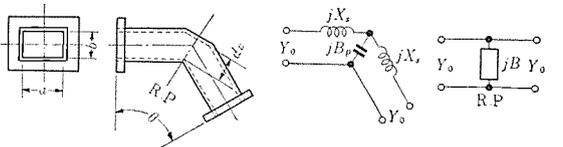
単屈曲形である。図 4.1 (b) に示す複屈曲形は l の部分の電気長を約 4 分 1 の波長として整合を採るのに対し、単屈曲形は d の寸法を変えて整合を採っている。複屈曲形は比較的設計が簡単であるが周波数特性がかなり大きい。一方単屈曲形は d の寸法の決定がむずかしく、設計を誤ると相当大きい反射を生じる恐れがあるが周波数特性が小さいので 6,000 Mc ではこのほうを採用している。コーナ導波管は完全な計算は不可能であるため、すべて精密な測定結果をもとにして設計しなければならない。

4.1 E コーナ導波管

図 4.2(a) に示すコーナ導波管の等価回路を図 4.2(b) に示す。また導波管が整合された状態に近い場合、これを簡略して図 4.2(c) のように中心点に等価サセプタンス B/Y_0 がそう入されたものとして考える。この B/Y_0 がほぼゼロとなるように d_E の寸法を定めればよい。E コーナにおいて d_E を大とすれば B/Y_0 は負となって回路は誘導性となり、 d_E を小とすれば B/Y_0 は正となって容量性となる。E コーナ導波管の簡易等価回路を図 4.2(c) とした場合の B/Y_0 を各種曲げ角度について実測したものが図 4.3 である。この図によれば B/Y_0 の大きさは 0.06 以下であり、これは VSWR がほぼ 1.06 以下にはいつていることを示している。また周波数が低くなるにしたがって B/Y_0 は負となり、高くなれば正となることがわかる。製品は整合素子によって 1 号用あるいは 2 号用として VSWR をさらに小さい値にすべく広帯域整合を行なっている。図 4.4 はこうして整合された 90 度 E コーナ導波管



(a) 単屈曲形 (b) 複屈曲形
図 4.1 コーナ導波管
Fig. 4.1 Corner waveguides.



(a) E コーナ導波管 (b) 等価回路 (c) 簡易等価回路

図 4.2 E コーナ導波管 等価回路

Fig. 4.2 Equivalent circuits of E plane corner waveguide.

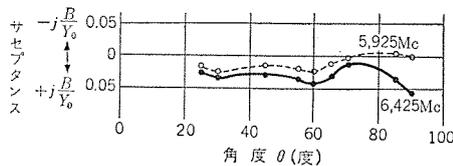


図 4.3 簡易等価回路における E コーナ導波管のサセプタンス
Fig. 4.3 Equivalent susceptance of E plane corner waveguides.

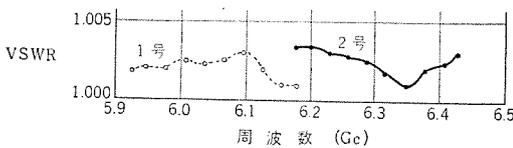


図 4.4 E コーナ導波管の特性 (角度 90 度整合後)
Fig. 4.4 Characteristics of 90° E plane corner waveguides.

の特性の例を示したものであり、VSWR は 1.008 以下と きわめて優秀なものである。図 4.5 は屋外用 E コーナ導波管で曲げ角度 70 度の外観であるが、屋外に配管されるコーナ導波管には温度変化その他の原因によるかなり大きい応力が局部的に集中するため十分機械的強度を持たせている。

4.2 H コーナ導波管

図 4.6(a) の H コーナ導波管の等価回路を図 4.6(b) に、またこれを簡略した簡易等価回路を図 4.6(c) に示す。この簡易等価回路において E コーナ導波管の場合と同様に B/Y_0 がほぼゼロとなるように d_H の寸法を定める。H コーナにおいては d_H を大とすれば B/Y_0 は正となって容量性となり、小とすれば B/Y_0 は負となって誘導性となる。図 4.7 はこの B/Y_0 の値を各種曲げ角度について実測したものであり、 B/Y_0 の大きさはほぼ 0.05 以下となっている。これは実測値の一例を示したものであり、実際には各部の寸法が設計値付近であるバラツキを持つため、この B/Y_0 もある幅のバラツキを持っている。周波数特性は E コーナ導波管の場合と異なり曲げ角度 50~60 度で反転している。製品はさらに整合素子で 1 号用あるいは 2 号用として整合を採り VSWR 1.008 以下に収めている。図 4.8 はその特性の一例であり、図 4.9 は屋外用 H コーナ導波管の外観である。

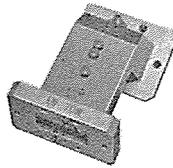


図 4.5 屋外用 E コーナ導波管 (70 度)
Fig. 4.5 70° E plane corner waveguide.

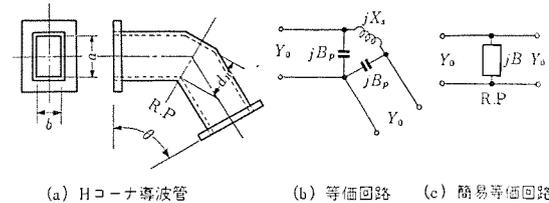


図 4.6 H コーナ導波管 等価回路

Fig. 4.6 Equivalent circuits of H plane corner waveguide.

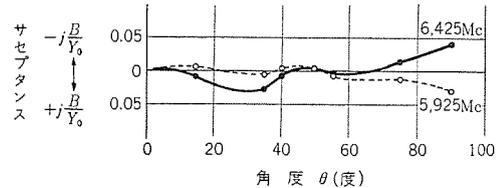


図 4.7 簡易等価回路における H コーナ導波管のサセプタンス
Fig. 4.7 Equivalent susceptance of H plane corner waveguide.

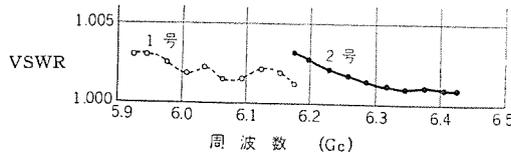


図 4.8 H コーナ導波管の特性 (角度 90 度整合後)
Fig. 4.8 Characteristics of 90° H plane corner waveguides.

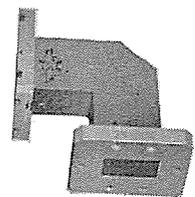


図 4.9 屋外用 H コーナ導波管 (90 度)
Fig. 4.9 90° H plane corner waveguide.

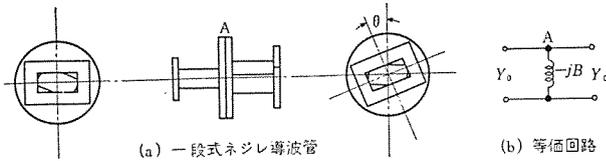


図 5.1 一段式ネジレ導波管
Fig. 5.1 One-step type twist waveguide.

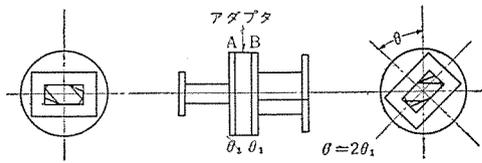


図 5.2 二段式ネジレ導波管
Fig. 5.2 Two-step type twist waveguide.

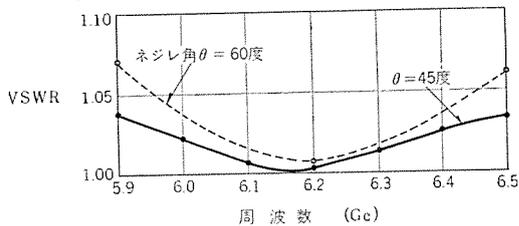


図 5.3 二段式ネジレ導波管の特性
Fig. 5.3 Characteristics of two-step type twist waveguides.

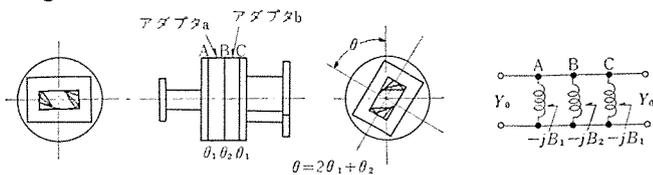


図 5.4 三段式ネジレ導波管
Fig. 5.4 Three-step type twist waveguide.

5. ネジレ導波管

図 5.1 のように 2 組の導波管を フラッジ 面で回転して取付ければ、その点に誘導性 サセプタンス が並列にはいったのと等価になる。ネジレ 角度が 10 度あるいは 20 度以下程度であればこの誘導性 サセプタンス はあまり大きな値とはならず、整合素子を導波管面に設けて整合するだけで十分特性の良いネジレ導波管として使用できる。

図 5.2 はこのようなネジレ部分を 4 分の 1 波長離して 2 段設けた構造のものであり、2 箇所 のネジレ部分の呈するサセプタンス が等しければ当然反射は打ち消し合っ てゼロとなる。このネジレ導波管では 2 箇所 のネジレ部分の間隔がちょうど 4 分の 1 波長となる周波数において完全に整合が採れ、その周波数からずれるにしたがい反射は徐々に大きくなる。(図 5.3 参照)

図 5.4 は電気長が 4 分 1 の波長であるアダプタを 2 個使用することにより、周波数のずれによる VSWR の増大を防ぎ、しかもネジレ角を大とすることを可能にしたものである。A 点および C 点におけるネジレ角は同一でこれを θ_1 とし、B 点におけるネジレ角を θ_2 とする。この θ_1 と θ_2 との比を適当な値に定めれば全体としての反射が小さくなり、しかも二段式ネジレ導波管にみられたような周波数特性も打ち消されて広い周波数帯域にわ

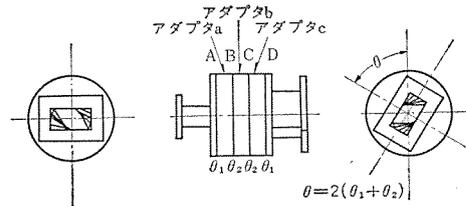


図 5.5 四段式ネジレ導波管 A
Fig. 5.5 Four-step type twist waveguide—A.

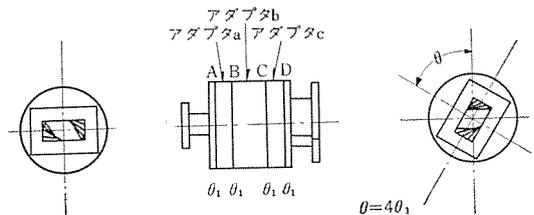


図 5.6 四段式ネジレ導波管 B
Fig. 5.6 Four-step type twist waveguide—B.

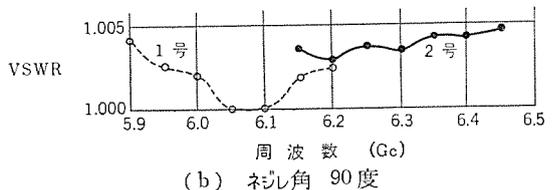
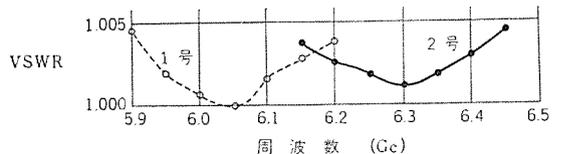


図 5.7 四段式ネジレ導波管 A の特性(整合後)
Fig. 5.7 Characteristics of four-step type twist waveguides.

たって VSWR 特性を良好にすることができる。

図 5.5 は電気長が 4 分の 1 波長であるアダプタを 3 個使用した場合である。A 点および D 点におけるネジレ角は同一であり、その角度を θ_1 とする。また B 点と C 点のネジレ角も同一であり、その角度を θ_2 とする。この θ_1 と θ_2 との比を適

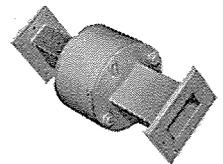


図 5.8 屋内用ネジレ導波管 (90 度)
Fig. 5.8 90° twist waveguide.

当にすれば三段式ネジレ導波管と同様に反射を小さくし、また総合の周波数特性も小さくすることができる。

図 5.6 も四段式ネジレ導波管であるが、これは電気長が 4 分の 1 波長であるアダプタ 2 個と 2 分の 1 波長であるアダプタ 1 個を組合せたものである。A, B, C, D 各点におけるネジレ角をほぼ等しくし、全体のネジレ角 θ の 4 分の 1 ずつにしておく。この場合も総合の VSWR は小さく周波数特性も小で広帯域にわたり良好な特性となる。

6,000 Mc ではネジレ角の大きさによって適当な段数の階段式ネジレ導波管を決め、さらに整合素子を併用することによって各周波数帯につき VSWR 1.008 以下ときわめて小さい値に整合している。図 5.7 は図 5.5 に示す四段式ネジレ導波管 A の特性の例を示したものである。この階段式ネジレ導波管は普通のネジレ導波管に比較し

て構造が複雑となり、とくに屋外用としては管内の気密を保つ機構を考えなければならず製作費は高くなるが、全長寸法を短くすることができ、また先に述べたように非常に優秀な電気特性を得ることができるなどの利点がある。

6. 可撓導波管

当社は今までに可撓導波管として薄い金属条をらせん状に巻いたコンポリュート式のものやインターロック式のものなどを開発してきた。インターロック式はコンポリュート式と比較して可撓性は劣るが電気特性が良好であるので、6,000 Mc 用としてはインターロック式を採用している。図 6.2 はこの可撓管の断面である。インピーダンス特性はこの可撓管

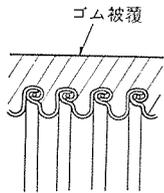


図 6.1
コンポリュート式可撓管断面図
Fig. 6.1 Cross section of convolute type flexible tube.

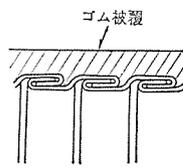


図 6.2 インターロック式可撓管断面図
Fig. 6.2 Cross section of interlock type flexible tube.

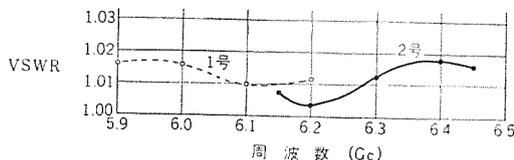


図 6.3 可撓導波管の直線時における特性 (整合後)
Fig. 6.3 Characteristics of flexible waveguides.

断面の形状、寸法などによって決定され、伝送損失は金属条の材質、接触状態などによって決定される。このような構造の導波管では必然的に製品の電気特性のバラツキも要求性能に対して大きいものとなり、可撓管部の両端に短い直線導波管部を設けこの部分に整合用のネジを設けて整合を採っている。可撓管部の保護、あるいは屋外用では管内を気密にするため外周にゴム被覆を行なっている。整合後の特性は図 6.3 に示すように実質的にはほぼ VSWR 1.02 にはいっている。ただ曲げあるいはネジレによってきわめてまれではあるが最悪時には約 0.02 程度の変化がある。伝送損失はほとんど 0.1 dB 以下であり、曲げあるいはネジレによる変化は小さい。

7. 単向可撓導波管

6,000 Mc 中継回線には分波器と通信機間に単向可撓導波管をそう入している。先に述べたように可撓導波管だけでは曲げ、ネジレなどによって反射が増大する恐れがあるため、これに単向管を接続して伝送路の性能劣化を防止している。もちろんこれは一つの伝送路で送受信を共用とする場合には使用できない。

図 7.1 のように単向管、E 面導波管および可撓導波管を 1 組としたものを単向可撓導波管と称している。使

用帯域は 5,925~6,425 Mc のうちの 1 指定周波数 ± 10 Mc の狭帯域であり、全体としての順方向損失は 0.4 dB 以下、単向管側のフラッジから測定した VSWR は可撓導波管を曲げ、あるいはねじった場合においても 1.010 以下という性能である。図 7.2 はこの単向可撓導波管に使用した電界変位形単向管⁽³⁾の断面図である。これに使用するフェライトはその材質、焼成の温度、時間、作業工程など種々の点から検討して製作したもので、最近では行き届いた品質管理によってロット中のバラツキはかなり小さくなり単向管の特性においても、とくに順方向損失は相当小さく 0.1~0.2 dB で逆方向損失は 25 dB 以上が安定して得られている。もちろんフェライト以外のマグネットの磁界の強さ、抵抗膜、各部の寸法精度などについても十分考慮して製作している。

一般に単向管は製作途上において特性を大きく変化するパラメータが多く、所要の性能を得るまでにかかり測

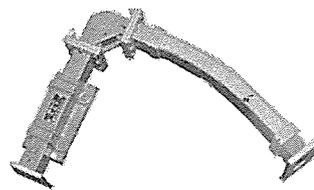


図 7.1 単向可撓導波管
Fig. 7.1 Outside view of the isolator, E plane corner waveguide and flexible waveguide.

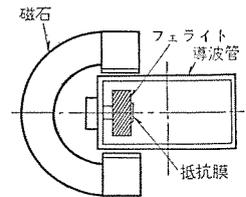


図 7.2 単向管断面図
Fig. 7.2 Cross section of isolator.

定、調整を繰り返さなければならない。したがってもっとも大きいファクタと考えられるフェライト、マグネット、抵抗膜などの品質には十分注意し調整の簡略化に努力している。

8. むすび

以上 6,000 Mc の導波管は従来のものより格段にすぐれた性能を持つものであることを説明したわけであるが、すでに 1,000 点以上納入し、現在も引き続き 2,000 点に余る導波管部品をトラブルなく生産している。これは整合用のネジの固定方法に至るまでの改良、優秀な整合技術、さらには新しい微小定在波測定装置⁽⁴⁾の完成などによって成されたものである。

最後に種々ごべん達を賜わった日本電信電話公社の関係部門のかたがた、当社研究所のご指導に対し感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 土井・他：6,000 Mc 超広帯域伝送用左右両旋共用円偏波パラボラアンテナ、「三菱電機」, 30, No. 2 (昭 31)。
- (2) George L. Ragan: Microwave Transmission Circuits, Radiation Laboratory Series.
- (3) 喜連川・中原：電界変位形単向管の逆方向減衰機構, 昭和 34 年電気通信学会全国大会講演論文集。
- (4) 河津・稲毛・江戸：微小反射係数測定器, 昭和 34 年電気通信学会全国大会講演論文集, p. 239.

中性子回折装置用プログラムコントロール装置

東京大学	三宅 静雄*	・星 埜 禎 男*
日本電信電話公社	鈴木 和郎**	・桂 木 久 雄**
研究所	吉 江 高 明***	・弘 中 一 光***
	茂 木 充****	

A Program Control Unit for Neutron Diffractometers

The University of Tokyo
Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation
Research Laboratory

Shizuo MIYAKE · Sadao HOSHINO
Kazuo SUZUKI · Hisao KATSURAGI
Takaaki YOSHIE · Kazumitsu HIRONAKA
Mitsuru MOGI

This is a transistorized device attached to types NX-1302 or NX-1303 neutron diffractometers and is capable of setting the goniometer arm and the sample table at a desired angular position with an accuracy of 0.01° so as to operate the beam shutter for counting and recording the intensity of diffracted neutron beam or background automatically. The instructions for this operation are given by a perforated program tape prepared with a digital computer or a flexowriter. A manual operation is also possible with this device through a keyboard. Thus the device will greatly reduce the labor and time in the experiment. Two control units have been installed at the JRR-2 reactor (Japan Research Reactor No. 2) on the order of the Electrical Communication Laboratory of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation and of the Institute for Solid State Physics, the University of Tokyo, operating satisfactorily since last June.

1. ま え が き

中性子回折装置を使用して実験を行なう際には、サンプルテーブルを駆動して試料への中性子束の照射角度を設定すること、ゴニオメータを駆動して散乱の角度分布を探ること、バックグラウンドの測定のためビームシャッターを閉じること、また中性子強度を設定点で測定するためスケータをスタートし、計数結果を記録することなど多くの操作を必要とする。一連の測定に当たってこのような操作はしばしば繰り返され、角度の設定も精密を要し、測定の手順も順序よく行なうのが望ましい。さらに測定時間も長時間にわ

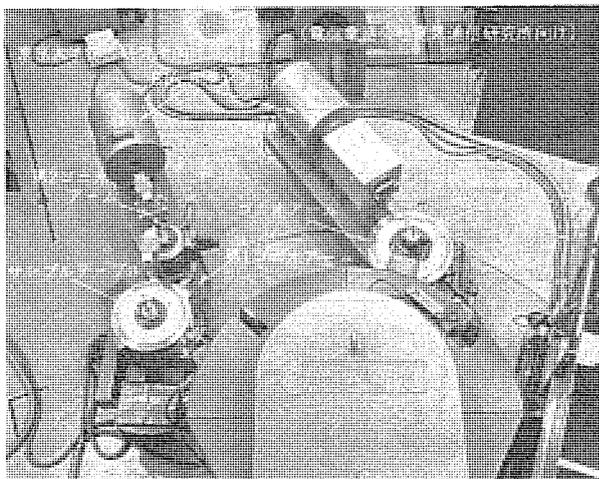
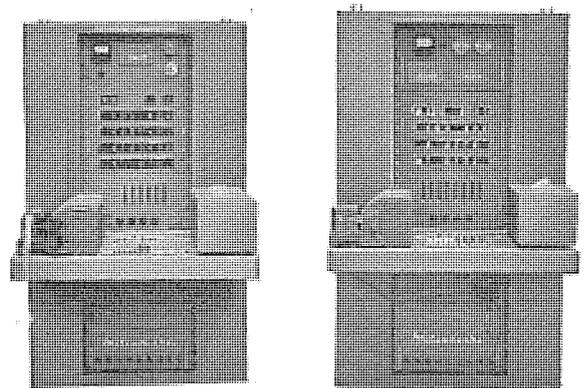


図 1.1 中性子回折装置

Fig. 1.1 Neutron diffractometers.



(a) 第1号機 (電信電話公社 電気通信研究所向け) (b) 第2号機 (東京大学物性研究所向け)

図 1.2 プログラムコントロール装置

Fig. 1.2 Program control units.

たり、操作上の誤りも発生するであろう。そこでこれらの操作の能率化と自動化により測定の精度、再現性をたかめ、操作や記録ならびに測定準備に要する労力や時間を節約することが考えられる。

昭和 36 年春に設置された日本電信電話公社電気通信研究所用および東京大学物性研究所用の二つの中性子回折装置 (図 1.1) にはそれぞれプログラム制御装置第1号機および第2号機が兼備された。これらのプログラム制御装置 (図 1.2) はいずれも上記の操作および測定をあらかじめ電子計算機あるいは印字穿孔機によって準備された紙テープ情報に従って自動的に行ない、測定結果を記録する。さらに違隔操作にも便利なように設定値などの表示を明確にし操作のキーボードを設けた。したがって実験に必

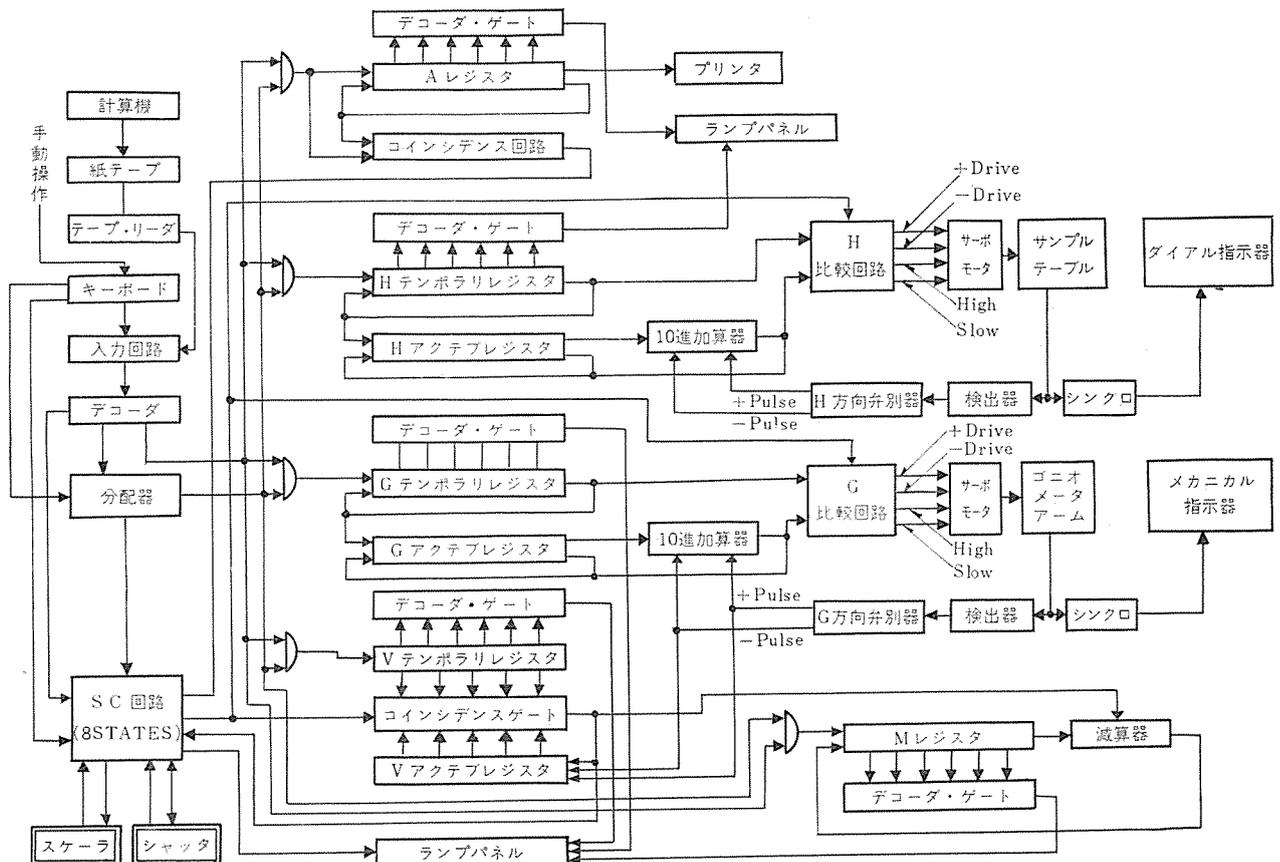


図 4.3 プログラムコントロール装置ブロック図
Fig. 4.3 Block diagram of program control unit.

御の場合はプログラムテープにするほど情報量は多くないので必要な数値をキーボードから与え操作モードをそれぞれのキーにより切替える。このときSC部はそれぞれのモードに対応した遷移を行なうように切替えられる。

これらのモードはおのおの“Automatic Mode”（プログラムテープにより制御される），“Manual Step Driving”，“Manual Preset Control” および “Remote Control” と呼ばれるがそれらの流れを図4.1および図4.2に示しておく。また指令装置全ブロック図を図4.3に示す。

以下各状態について述べる。

4.1 “Read”

始動時に電源を投入したときや、一連の測定が終わったときは“halt”の状態にある。

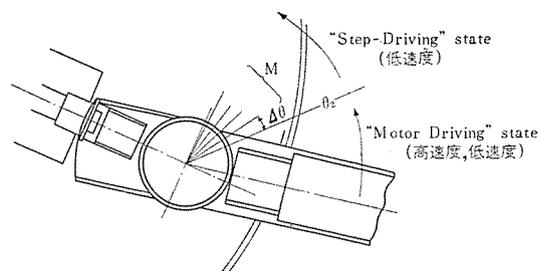
ここでキーを押すと“Automatic” modeであればテープ情報を読み始める。（“Manual” modeではリーダは働かず、キーボードから数値を与える。）読み込まれた信号は奇数検査されテープの各数値はそれぞれのOPコードに従い各レジスタに置数されて行く。1ブロックの情報の終わりにあるストップコードが来るとリーダは停止しつぎの“Motor Driving”の状態に移る。

以上は“Automatic” modeの場合であるが“Manual” modeでは“Read”の状態で各数値を設定し、つぎに“Manual Step-driving”か“Manual Preset Control”のいずれかに対応したキーを押してそれぞれの動作を始め

る。“Manual Preset Control”はAutomatic Controlの場合の1ブロックのテープ情報に従った動作と同様であるが図4.1に示したように“Read”に移ったときにテープを読むことなく“Halt”の状態になる。また“Manual Step-driving”では“Motor Driving”の状態がなく、アームがリミットスイッチに当たるまで与えられたステップ送りで動き各点でスペクトル測定を繰り返し行なう。この際“10”“20”“50”“100”のいずれかの、たとえば“10”のキーを入れておけばスペクトル測定10回ごとに1回バックグラウンド測定を行なう。

4.2 “Motor driving”

この状態では、ゴニオメータアーム(G)とサンプルテーブル(H)



θ_1 : 現在角度位置 (=Active Register の内容)
 θ_2 : 設定角度位置 (=Temporary Register の内容)
 $\Delta\theta$: ステップ送り角度 (=V Temporary Register の内容)
M: ステップ送り回数 (=M Register の内容)

図 4.4 ゴニオメータアームの角度位置設定
Fig. 4.4 Positioning of the goniometer arm.

の駆動モータが同時に独立に駆動される。すなわち“Automatic” Mode ではストップ・コード信号、“Manual Preset Control” では置数後“Rat”キーを押したときに Temporary Register の内容の設定指令数値と Active Register の内容の現在角度位置の数値が比較されその大小判定結果によりモータは正方向あるいは逆方向に駆動される。

図 4.4 にゴニオメータアームの位置設定の例を示す。

アームおよびテーブルの回転運動は光学的に 0.01 度ごとに検出される。検出パルスは方向弁別され、Active Register に加減されるから実際の角度位置の数値はつねに Active Register に保持されている。また検出パルスが加減されるごとに Temporary Register と Active Register の内容の比較が行なわれるがその差が一定値よりも大きい場合は高速度で駆動され、小さくなると低速に切換えられる。両内容が一致したときモータが停止される。

(G) および (H) がいずれも設定値に達したとき SC 部はシャッターが閉じているか、開いているかで“Background Measuring”あるいは“Shutter Closing”の状態に移る。

後者の状態ではシャッターが閉じられて④の信号が送られ SC 部は“Background Measuring”に移る。すなわち最初の設定位置で必ずバックグラウンドが測定される。

4.3 “Background Measuring”

この状態では SC 部からスケーラにスタート信号が送られ、リニアアップからの入力ゲートを開きバックグラウンドが測定され、その結果がプリントされる。このとき測定番号も同時にプリントする。スケーラはプリントが終わるとつねに測定終了の信号を SC 回路へ送るが、バックグラウンド測定 の終了信号で“Shutter Opening”に移る。

4.4 “Spectrum Measuring”

“Shutter Opening”でビームシャッターがマイクロモータにより駆動され開ききったときに図 4.1 あるいは図 4.2 において⑤で示した信号により“Spectrum Measuring”の状態になる。

このときスケーラの計数開始ゲートが開かれ回折中性子強度を測定記録する(スケーラの項参照)。記録終了の信号で SC 部は M レジスタの内容がゼロでなければつぎの“Step Driving”に移る。ゼロのときは“Shutter Closing”に移りバックグラウンド測定にはいる。

4.5 “Step Driving”

この状態ではゴニオメータアームだけが低速度で駆動され V active register (V_a) (始め clear されている) にアームの動き 0.01 度ごとのパルスが加算され V temporary register (V_t) (指令数値がはいっている) の内容に一致するまで送られる。一致信号により SC 部は“Spectrum Measuring”に戻り、同時に M レジスタの内容のステップ送り回数を 1 だけ減じ、 V_a の内容をゼロにクリアする。

4.6 “Step Driving” の繰り返し

SC 部はふたたび“Spectrum Measuring”に戻り、4.4、4.5 の状態を M レジスタがゼロになるまで繰り返し続けて、

ゼロになると SC 部が“Shutter Closing”に移り、ついでバックグラウンドの測定および記録を行なう。記録終了信号は 1 ブロックの情報に対する操作を全部終了したことになるからつぎのテープ情報を読むために“Read”に変わり、ふたたび新しい入力情報に基づいて動作を行なう。

もしそのブロックの最後に“Halt”コードが穿孔されてあればブロックに対する動作を終了後“Read”の状態に移らず“Halt”の状態になる。この場合つぎの操作はもちろん 4.1 から出発することになる。

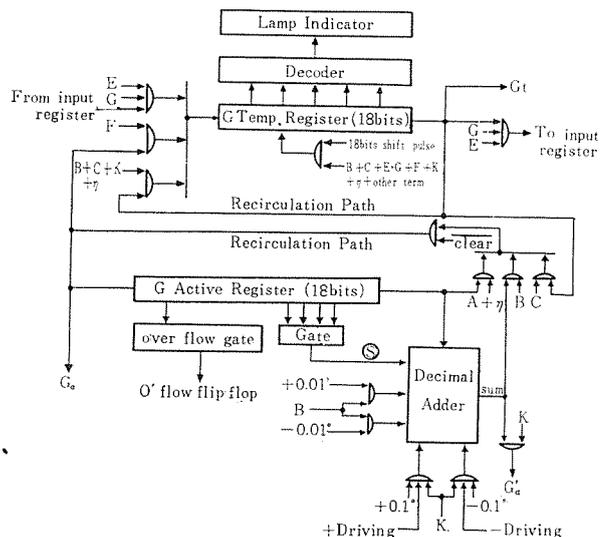
4.7 “Halt”

SC 部が“Halt”の状態になるのは 4.1、4.6 の項で述べたほかに、アームやテーブルが動作減をこえたことなどで各 Active Register の数値が定めた値以上になったとき、“Halt”になり (G) および (H) のモータ駆動を止めて、事故を防ぐ。さらにラップ表示に“ER”と出るのですぐ気づき、またどの部分で生じたエラーかということも簡単に見つけることができる。

5. ゴニオメータアームの角度設定の論理回路

角度設定の論理回路のブロック図を図 5.1 および図 5.2 に示す。

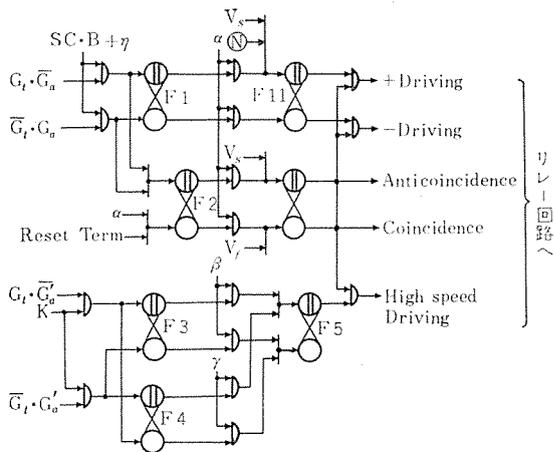
サンプル台 (H) の角度設定はゴニオメータアーム (G) と同様なので後者について述べる。G Active Register (G_a) および G Temporary Register (G_t) はいずれも 18 ビット長のシフトレジスタで前者にはアームの現在位置の角度数値が、後者には設定角度数値 (“Read”で置数される) がはいっている (図 4.4 参照)。数値はいずれも 2 進化 10 進符



- A: Active Register の内容を循環させるための信号
- B: フィードバックパルス 0.01 度あるいは -0.01 度を Active Register の内容に加減しさらに Temp. Register の内容と比較するための信号
- C: G Temp. の内容を G Active に移すための信号
- E: 数字コードが読み込まれるごとに 18 ビット時生ずる信号
- G: “G” コードが読み込まれたときに生ずる信号
- F: G Active の内容を G Temp. に移すためのゲート信号
- K: +0.1 度あるいは -0.1 度を Active Register の内容に加減しその結果の G_a と G_t の内容を比較するための信号
- ④: 最初に G_t と G_a を比較するための信号
- ⑤: ケタ上がりまたはケタ下ガリのコントロール信号

図 5.1 ゴニオメータアーム角度設定論理回路ブロック図

Fig. 5.1 Block diagram of logical circuit for the goniometer arm.



SC·B: SC回路が Motor Driving の状態にあるときは G_t, G_a の内容を比較する信号
 α : ゲート信号の SC·B あるいは η のいちばん最後の1ビット時に出る信号
 β : +Driving 信号が出ている場合に、ゲート信号 K のいちばん最後の1ビット時に出る信号
 γ : -Driving 信号が出ている場合に、ゲート信号 K のいちばん最後の1ビット時に出る信号
 η : “Read” の状態が終わったとき G_t, G_a の内容を比較するゲート信号 (いちばん最初に G_t, G_a の内容を比較する信号である)
 \otimes : G Active Register の内容が負数になったとき生じる信号
 V_s : “Step-Driving” でステップ送りを行なうときに生じる信号
 V_t : ステップ送りを終了したときに生じる信号 (図 6.1 の V coincidence を変換した信号)

図 5.2 比較回路のブロック図

Fig. 5.2 Block diagram of the comparator circuit.

号の10進数4ケタ(16ビット)、最上位1ケタ(1ビット)および符号1ビットの形であり、論理演算では最下位のケタから順に読み出され、最後に符号が読み出される。角度の設定値は0~180度の範囲であるから最上位のケタは1ビットを割当てればよく、また負の数値を与えることはないが遠隔操作のときなどに0度をわずかにこえることも考えられるので符号を設けた。(負数は200度に対する補数形である。)

図 8.1 にも示すように G, H, V の各 Temporary Register および M, A レジスタの内容はいずれもランプ指示部に10進表示されている。

さて G_t に置数の際には、G コードに続き数値は高位のケタから順に入力回路にはいってくるが、G コードは変換されてそれに対応する信号 G を出す。この信号は別の OP コードが読まれるまで続く。信号 E は数値が入力レジスタ(4ビット)にたくわえられた直後の18ビット時間生じ信号 G とともに入力レジスタと G_t レジスタ間の循環ゲートを開く。このとき両レジスタは18ビット時シフトされる。この結果、入力レジスタにはいった数値は G_t レジスタの最下位4ビットにはいる。つぎの数値がくるとふたたび循環が起こり、前の4ビットは左(高位)にシフトされ最下位4ビットには今読まれた数値がはいる。

各レジスタも同様に置数される。また“Read”の始めには、いったんクリアしておき、数値の高位のゼロを穿孔する不便さを取除いている。

一方、 G_a レジスタはつねにシフトされ、信号 A あるいは η により情報を循環して保持している。現在位置の角度数値(サーボ位置指示計につねに表示されている。)を置数する必要のあるとき(始動時など)は、キーボードよりいっ

たん G_t レジスタに置数し、ついで P キーにより信号 C を出して G_a レジスタに転送する。(デジタイザを用いればこの操作あるいは G_a レジスタも不要であるが現在位置よりずらした数値の設定も考えこの方式とした。)

さて各情報が置数されストップコードが読まれると状態は“Read”から“Motor Driving”に移る。このとき18ビット時の信号 η が送出され図 5.2 の $G_t \cdot \bar{G}_a$ および $\bar{G}_t \cdot G_a$ (\bar{G}_a, \bar{G}_t はそれぞれ G_a, G_t の1に対する補数形または論理積記号)のゲートを開け G_t および G_a レジスタの内容が比較される。

数値は下位からゲートを通るから $G_t > G_a$ ならば η が終わったとき、フリップフロップ F1 はセットされた状態で残り、 $G_t < G_a$ ならばリセットされたままである。 G_a が負の値のときは信号 \otimes により F11 をセットする。(G_t はつねに正の値である。) また F2 の入力は G_t, G_a の Exclusive Or であるから $G_a = G_t$ でないかぎりセットされる。信号 η の最後の1ビット時に出る信号 α は比較の結果である F1 および F2 の状態を次段のフリップフロップに移しつぎに比較が行なわれるまでたくわえられる。この出力によってアーム駆動モータが正または逆方向に低速度で送られる。

アームが回転すると0.01度ごとに方向弁別された信号(正方向は+0.01度、負方向は-0.01度)が帰還される。このとき18ビット時の信号 B も同時に生じ G_a の内容は10進加算器を通り最下位に1が加算または減算される。

この10進加算器は1の加減算しか行なえないが、帰還信号の時間間隔はシフトレジスタの1循環時間に比し十分遅いからこうすることにより論理構成を簡略化できる。

また1を加減するケタは簡単に選ぶことができるのでこれを利用してつぎのように高速駆動を行なっている。

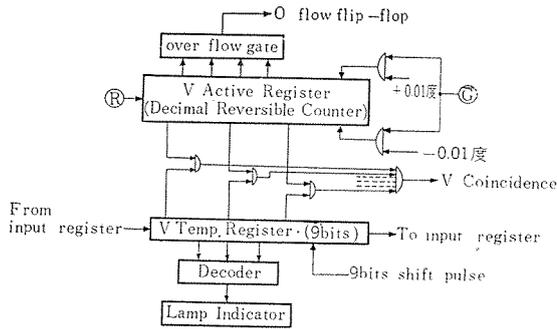
帰還信号により生ずる信号 B は前述のように演算を行なうと同時に信号 η と同様に演算結果の G_a と G_t とを比較する。さらに信号 K は信号 B の終了によって18ビット時生じ G_a の内容に仮りに0.1度に相当する数(10)を正方向送りのときは加え、負方向送りのときは減じその結果数 G_a' は図 5.2 下部の比較回路で G_t と比較される。この比較の結果 $G_a' > G_t$ すなわち $|G_a - G_t| > 1.0$ ならばフリップフロップ F5 がセットされ高速駆動信号が出る。

アームが送られ設定値との距離が0.1度以内になると F5 はリセットされ低速駆動になり設定点に達すると F2 もリセットし、モータは停止される。

信号 K, η, α, β および γ は一度設定点に達するとつぎの“Motor Driving”の状態になるまで出ないが、信号 B はアームの0.01度回転ごとに必ず出るので駆動信号がなくなった後アームが設定点を行き過ぎて(実際には最大0.01度である) G_a の内容は正しくアーム角度を保持している。

信号 F は G_a の内容を G_t に転送する信号で、ステップ送りの終了時またはキーの操作により生じ G_a の内容をランプ指示により知ることができる。

また G_a の内容が190度または-0.01度をこえるとオ



Ⓞ: ゴニオアームを set しているとき以外に生じる信号
 Ⓟ: V Active Register の内容をリセットする信号

図 6.1 ステップ送り回路のブロック図

Fig. 6.1 Block diagram of step driving circuit.

ーパフロ信号が出て各動作は停止される。

6. ステップ送り論理回路

ステップ送り論理回路のブロック図を図 6.1 に示す。

V_t レジスタは 9 ビットのシフトレジスタで G_t レジスタと同様にステップ送り数値が置数される。(数値の範囲は $0 \sim 1.95$ 度である。) V_a レジスタは可逆計数器で、 G_a と G_t の内容が一致した後アームの移動量を計数することができる。したがって 5 章で述べたアームの行き過ぎ量は V_a にたくわえられる。

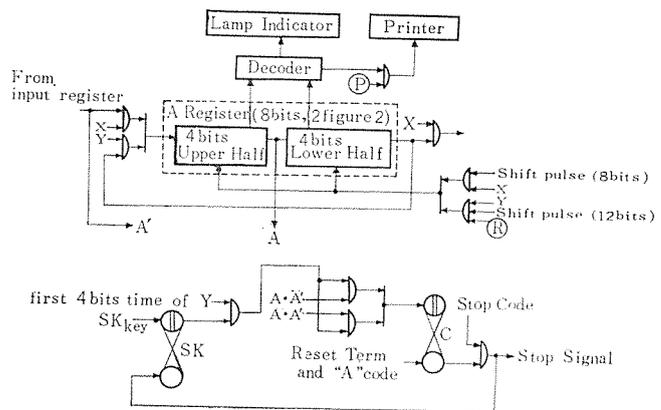
“Step Driving” になるとアームは低速度で正方向に駆動され、移動量は V_a に計数される。 V_a の内容が V_t と一致したとき図 5.2 の F2 はリセットされモータは停止する。この一致の信号は変換されて V_a をリセットしふたたび計数を可能にするとともに信号 F にも変換され G_a の内容を G_t に転送しさらに M レジスタの内容から 1 を減ずる動作を行なう。前述のように“Motor Driving”および“Step Driving”において駆動信号消滅後の行き過ぎがあってもその量は V_a にたくわえられているから転送される G_a の内容はつねにその前の G_t と V_t の内容の和に等しく、設定に誤差の累積することはない。またこの行き過ぎ量は V_a で監視され ± 0.04 度以上になればオーパフロ信号 (V_a が 1.95 度をこえたときも出る。) が出て各動作は停止される。 V_a は“Read”のときクリアされて最後の行き過ぎによる累積を防いでいる。

7. 測定番号

測定手順および結果の整理に便利のように 1 ブロックごとに 2 ケタの測定番号を穿孔している。測定番号を取扱う論理回路ブロック図を図 7.1 に示す。

A レジスタへの置数は他の Temporary Register と同様の方法で行なわれランプ指示されるとともにバックグラウンドを記録するときにあわせて記録される。

またこの回路により、プログラムテープ中から指定した測定番号のブロックを捜し出し、それ以後の情報から自動運転にはいることができる。



X: input register の内容を A# register へプレセッションするときのゲート信号
 Y: A# register の内容 A と input register の A' とを比較するとき生じる信号
 Ⓞ: “Back Ground Measuring” の場合に生じる信号
 Ⓟ: 数字コードを読み込むときに生じる信号

図 7.1 測定番号回路のブロック図

Fig. 7.1 Block diagram of logical circuit for measuring number.

まず所要のブロックの測定番号をキーボードから A レジスタに置数し“SK”キーによりフリップフロップ SK をセットする。(ランプ指示は A から K に変わる。)

この状態でテープを読ませると OP コード A に続く数値がきたときに置数のための信号 X に代わって Y が生じ A レジスタを 12 ビット時循環させ、さらに A レジスタの下位のケタと入力数値 (A') とを Exclusive Or 回路によって比較する。A レジスタは 2 ケタ (8 ビット) であるから入力数値のそれぞれ対応するケタの比較を行なった後は始めの置数状態に戻る。

比較の結果、A と A' が一致していればフリップフロップ C はリセットされた状態で残りこのブロックのストップコードが生きて通常の自動運転にはいるが、一致しないときはつぎつぎのブロックを読み続ける。

8. ランプ指示部

ランプ指示部は図 8.1 の例にも示すようにそれぞれのレジスタの内容を 10 進表示するほか、各種の動作状態を表示する。プログラム制御装置の状態はおもに左上端に示され、スケーラによる計数状態とビームシャッタの開閉状況は右上端に示される。

左上端の指示はつぎのとおりである。

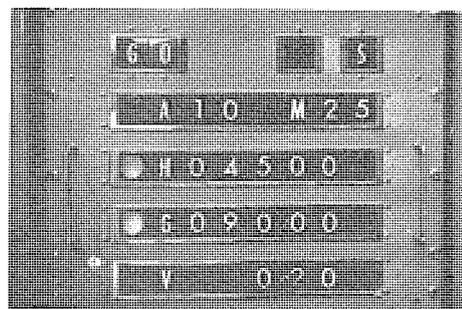


図 8.1 ランプ指示部

Fig. 8.1 Lamp indicator.

BO: Halt を示し、各モードの起動が可能である。
 GO: Automatic Control 中を示す。
 GR: Automatic Control でテープ読取中を示す。
 MR: キーボードより置数可能な状態を示す。
 MO: 各 Manual Control を示す。
 ER: エラーコード読取、各種のオーパフロ、機械部がリミットスイッチに当たったときなどエラーを意味する。
 右上端左はつぎの二つを示す。
 M (B): スペクトル (バックグラウンド) 測定を示す。
 右上端右はつぎの二つを示す。
 O (S): ビームシャッター開(閉)を示す。
 このほかに、“Motor Driving”ではGおよびHの左に駆動されているとき円形の赤ランプが点火し“Step Driving”ではGおよびVの左に点火する。また置数を行なっているレジスタは赤ランプ(G, HおよびVは右端, AおよびMは左端)が点火する。

9. スケアラ部

これはおのおの6ケタのメインおよびモニタの2チャンネルのカウントで構成され、各ケタ単位にユニット化されている。(図9.1)に組み込まれている。

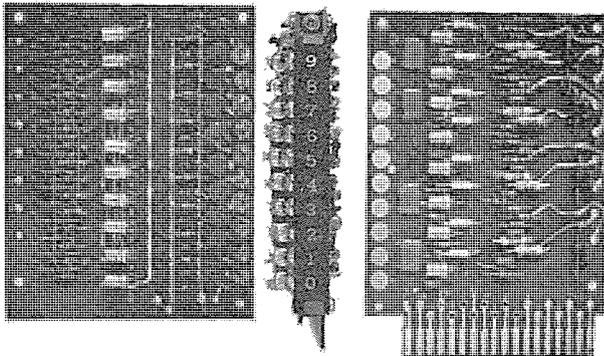


図 9.1 スケアラユニット
 Fig. 9.1 Scaler unit.

通常は、回折中性子の強度をメインチャンネルで測定し、モニタで原子炉内の中性子の強度を計数する。

計数値が選択スイッチでセットされた設定値に一致したとき両チャンネルのカウントとともに測定を止め、メインチャンネルの測定値をプリントする。

さらにチャンネルの交換や、内蔵のパルスゼネレータを用いて一般につぎの5種類の測定ができる。

- (1) モニタカウントを標準としてメインカウントで計数する。
- (2) メインカウントを標準としてモニタカウントで計数する。
- (3) メインカウントを標準としてタイマで計数する。
- (4) タイマカウントを標準としてメインカウントで計数する。
- (5) 両チャンネルともにタイマカウントを入れてスケアラチェックなどに用いる。

10. その他

第2号機の機能は第1号とほぼ同様であるが、第1ゴニオメータおよび第2ゴニオメータの両アームがあるために第2ゴニオメータアームの駆動機能が追加されている。すなわちプログラムテープが読み込まれた後、第1アームおよびサンプルテーブルの設定は前述と同様の論理回路で行なうが、つぎに第2アームをいったん負方向のリミットスイッチまで高速駆動で戻しておき、この位置からあらかじめスイッチで設定されたステップ送り角度で正方向に低速度で送られ、回折中性子強度を計数記録し、この動作を繰り返して正方向リミットスイッチに当たるまで行なう。

ついでまたプログラムブロックを読み込み第1アームおよびサンプルテーブルの設定を行ない以上の動作を繰り返すことができる。

また第2アームの駆動を行なわずに第1アームだけに対し1号機と同様の動作を行なわせることもできる。第1アーム駆動か第2アーム駆動かはテープにそれぞれに対応するOPコードを穿孔することによって自動的に選定される。

11. むすび

ここに述べたプログラム制御装置は論理部に信頼度の高いトランジスタパッケージ(約320枚)を用い、遠隔操作にも適するよう明らかなランプ指示部とキーボードを設けたコンパクトな装置であり、プログラムテープを用いて中性子回折実験を能率よく自動的に行なえ、研究者の貴重な実験時間と労力を節減することができる。

両装置とも設置以来、数百時間にわたって順調に運転され、有益な資料が得られつつあり、すでに昭和36年秋の国際磁気学結晶学会議にも報告された。

プログラム制御にあたっては装置自体の性能もさることながら制御対象である中性子回折装置の機械部分、中性子などの計測系、および駆動のためのサーボ機構などとの緊密な協調が必要であり、この装置により測定の自動化に成功したのは関係者各位のご尽力によるものである。終始ご指導を賜った電信電話公社電気通信研究所、進藤室長ならびに永井室長に深く感謝するとともに各部の設計製作に当たられた当社研究所菰原智研究員、宮下恭一技師、大野栄一技師および試作部の各位に感謝する。

参考文献

- (1) 星埜禎男: 中性子回折, 新物理学進歩シリーズ 5.
- (2) 大野・菰原・宮下・茂木・大野: 中性子モノクロメータ, 「三菱電機」, 33, No. 7, p. 21 (昭34).
- (3) 国富・浜口・菰原・宮下・茂木・大野: 中性子スペクトロメータ, 「三菱電機」, 35, No. 5, p. 55 (昭36).
- (4) 中塚・壺井: 計数形電子計算機 MELCOM-LD1 の論理要素, 「三菱電機」, 34, No. 12, p. 71 (昭35).
- (5) 三菱電機昭和36年度回顧特集: 18原子力, 「三菱電機」, 36, No. 1, p. 255 (昭37).

イオン・電子切換形バン・デ・グラーフ形加速器 (VC-3 形)

三菱原子力工業株式会社研究所 今村 元*・滝口 高志**

A Mitsubishi Van de Graaff Type Particle Accelerator Model VC-3

Mitsubishi Atomic Power Industries, Incorporated Gen IMAMURA・Takashi TAKIGUCHI

A Mitsubishi Van de Graaff type particle accelerator model VC-3 has been built for irradiation study or nuclear experiment. This is an ion-electron change-over type accelerator, the first of the kind in the world, operating with only one accelerating tube, through a remote control, to accelerate either positive ions or electrons without opening the high pressure gas tank. Experiments and adjustments with device have brought about the following data: the maximum voltage 3.15 MV, the maximum current 30 μ A for ion acceleration, and the maximum voltage 2.5 MV, the maximum current 300 μ A for electron. This unit is now in the Government Industrial Research Institute in Nagoya.

1. ま え が き

高速度で回転する絶縁ベルトで、電荷を運搬し、絶縁された金属の電極にその電荷を集積して、高い電圧を得るという原理の加速装置は、1931年に、現在 M. I. T. 大学の R. J. Van de Graaff 教授によって発見され、試作されたものである⁽¹⁾。

以来この種加速装置は、バン・デ・グラーフ形加速器と呼ばれ、国の内外をとわず、低エネルギー領域の原子物理学、核物理学の精密実験に大きな貢献をもたらしてきた。最近においてはこの領域のほかに、さらに放射線の利用という観点から、化学、工学、医学の広い領域にわたって、その有用性が認識されてきている。たとえば、この装置で加速された電子線の照射によって高分子化合物の性質の改良ができ、また、加速された陽イオンを中性子に変換して、それを照射することにより、微量含有物の放射化定量分析ができる。さらに、これらの応用が、工業的な規模で行なわれるようになり、加速装置の工場内進出が目だってきている。それにともない、各電機会社でこの開発が進められている。当社においても、数台のこの種装置の開発を行なった。たとえば、電子を 2 MeV まで加速する VE-2 形、3 MeV まで加速する VE-3 形などである⁽²⁾。これらはすべて電子だけの加速であるが、ここで述べる VC-3 形は、電子ばかりではなく、陽子あるいは重陽子を切換操作により加速できる新しい形である。今、ここでこれを述べる前に、従来から製作されてきたこの種加速器を、一つの装置で加速できる粒子の種類で分類してみよう。この分類から、VC-3 形の特長がどのようなものかわかる。

(1) 単能形

これは正、あるいは負の電荷を持つ粒子のいずれか 1 種類だけを加速するものでつぎの二つがある。

(a) 正イオン加速形：これは陽子、重陽子などの正の電荷を持った粒子だけを加速するもので、原子核実験が

そのおもな目的である。

(b) 負イオン加速形：これは負の電荷を持つ電子や、負イオンを加速するものである。おもに電子を加速して照射用に用いられる。工業的な利用の面で注目されているのもこの形である。タコデム形バン・デ・グラーフ⁽³⁾では、始め負イオンを加速し、後にこれを正イオンに変換して加速するという手段が取られている。

(2) 複合形

これは一つの装置で、正荷電粒子用と負荷電粒子用の 2 本の加速管をあらかじめ準備しておき、目的に応じてそれを取換える形の装置である。2 本の加速管をいっしょに入れておけばよいが、装置が大きくなる。また、取換える方法は、操作が相当にやっかいになる。取換形のは、米国の HVEC で製作されている。

(3) 複能形

1 本の加速管で、正および負の荷電粒子を同じ条件で加速できれば、各粒子の発生源の切換えと加速電圧の変換だけで、正および負の荷電粒子の加速が可能となる。これを、複能形と名づけた。この方法によれば装置が小形になり、複合形に比べて充填ガスの節約と交換に要する時間が節約できる特長をもっている。この種のは、これまでに開発されたことがなく、この VC-3 形が世界で初めてのものである。

この装置は、設置以来調整を重ねて設計目標と、動作特性とにほとんど差のない特性となった。表 1.1 にはこ

表 1.1 VC-3 形バン・デ・グラーフの動作特性

		設計目標	動作特性
加速電圧 (MV)	正電圧	2.0~3.0 可変	1.5~3.15 可変
	負電圧	2.0~3.0 可変	1.5~2.2 可変
電圧変動 (kV)	正電圧	± 30 以内	± 10 以内 (1%内)
	負電圧	± 50 以内	± 30 以内
出力電流 (μ A)	陽子流	分析管出口で 30	30 (最高)
	電子流	200	300 (最高)
ビーム集束 (mm ϕ)	陽子流	10 以内	
	電子流	10 以内	

の比較を示す。

現在、この VC-3 形 パン・デ・グラフ形 加速器は、工業技術院名古屋工業技術試験所に納入され、表 1.1 の特性で、陽子による核反応実験、電子線照射による半導体の特性研究などが行なわれて、着々、その成果をあげている。

以下この装置の構造の概要および実験結果の一部を述べる。

2. 装置の構造的特性

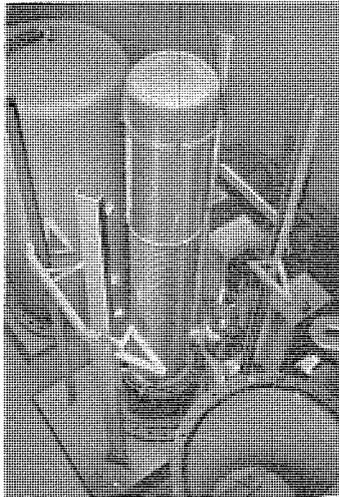


図 2.1 高電圧発生部
Fig. 2.1 High voltage generator.

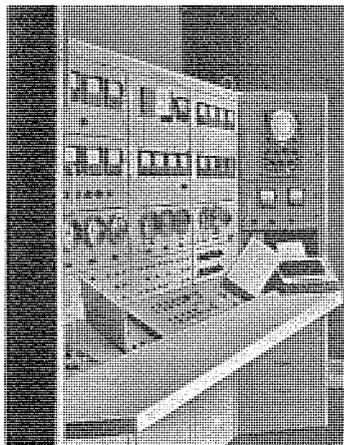


図 2.2 制御盤
Fig. 2.2 Control desk.

この装置の構造は VE-3 形と同様立形で、その模様は高電圧発生部を図 2.1 制御盤を図 2.2 に示す。ここでは主要部について述べる。

2.1 装置構造の概要

図 2.3 に、装置本体の断面略図を示す。表 2.1 には、主要な付属機器の仕様定格について示した。

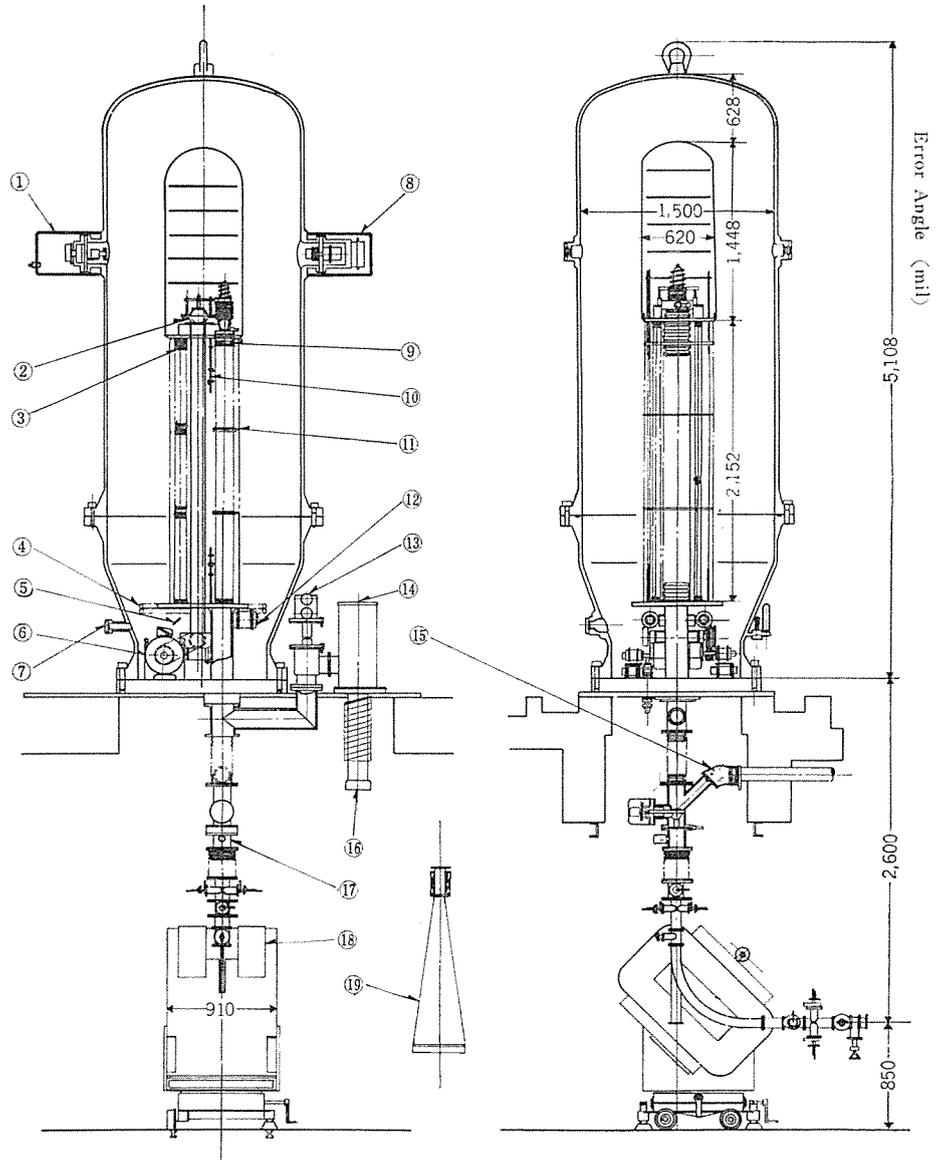
ベルト表面に電荷を散布する散布用高電圧電源は、正負両電圧からなり、端子の切換えによっていずれか一方

イオン・電子切換形パン・デ・グラフ形加速器 (VC-3 形)・今村・滝口

の電圧が得られる構造になっている。この出力は高電圧ケーブルと、高電圧ブッシングによって、絶縁ガスタック内の散布計に印加される。出力電圧の制御は、制御盤上にて行なうことができる。

イオン加速の場合、分析用電磁石を使用してエネルギーの分析を行なうが、電子加速においては、これは使用せず、スキャナを使用する。

加速管内の真空度は、ビーム放出のないとき 3×10^{-6} mmHg、陽子ビーム放出時においては、 1×10^{-5} mmHg、



①発電電圧計 ②高電圧電極内上部ベルトプリー ③絶縁柱 ④タンク内ガス温度調節フジエータ ⑤反射鏡
⑥ベルト駆動モータ ⑦のぞき窓 ⑧コロナポイント ⑨加速管 ⑩制御棒 ⑪フープ ⑫制御棒駆動セルシン
⑬6''φニューマチックバルブ ⑭液体窒素トラップ ⑮集束鏡 ⑯木炭散逸ポンプ ⑰電動バルブ ⑱分析電磁石 ⑲エレクトロンスキャナ

図 2.3 装置本体断面図

Fig. 2.3 Sectional view of the model VC-3 accelerator.

電子ビーム放出時においては、 $5 \sim 7 \times 10^{-6}$ mmHg であって非常に良好である。陽子放出の場合、その取出口付近で、さらに排気を行なうことができるように排気口を設けた。加速管内の排気は、サミスタ・ザーズ、フィリップス・ダ

表 2.1 設備機器および付属品の仕様

装置名	機能および定格	図 2.3 の相当番号
絶縁ガス封入タンク	高さ 5.0 m 内径 1.5 mφ 壁厚 28 mm 内壁面メタリコン仕上、ガス組成、N ₂ :CO ₂ =4:1 ガス圧力最高 25 kg/cm ²	
ベルト駆動モーター	5.5 kW 二極三相誘導電動機	⑩
ガスタンク内冷却パイプ	フロン冷凍機に接続され、タンク内本体の昇温をふせぐ。	④
ビーム検出系および取出具	ビーム集束系、X-Y モニタ、フラデー・カップ、スキャンナ、ビーム集束観測系	⑤ ⑥ ⑦ ⑧
分析電磁石	加速粒子のエネルギー分析を行なう。1,000~13,000 G	⑨
電磁石電源	電流範囲 0.5~15 A 安定度 1/10 ⁻⁴ ~5/10 ⁻⁵	
回転真空ポンプ	加速管補助真空用、およびタンク内予備排気用計 2 台 各 700 l/min	
水銀拡散ポンプ	加速管用排気用 6 in 800 l/sec	16
散布用高圧電源	直流出力 ±100 kV, 1 mA 半波整流	

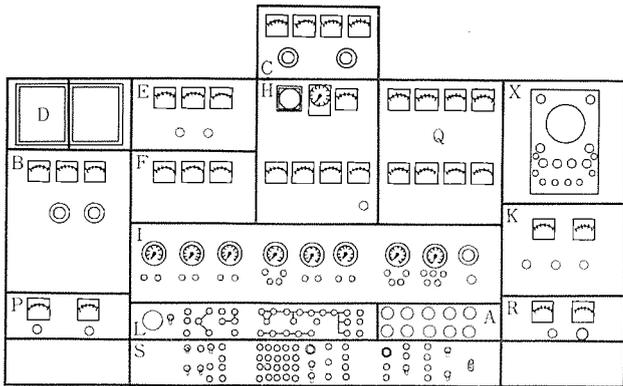


図 2.4 制御盤略図

Fig. 2.4 Outline of control desk.

ー、イオン・ゲージからの指示によって自動的にバルブが開閉できるような構造にもしてある。不測の事故によってビーム取出窓のアルミ箱が破れた場合、箱近傍に取付けた速動バルブ⁽⁴⁾が動作して、加速管内にその被害を及ぼさないような構造にした。

この速動バルブは、フィリップス・ゲージにより 1×10^{-3} mm Hg で動作を開始し、およそ 60 milli-sec で弁閉塞が行なわれる⁽⁵⁾。

図 2.4 には、この装置本体のほとんどすべての遠隔制御を可能にする制御盤のパネル平面図である。各パネルの機能を図 2.4 のパネル記号に従って説明するとつぎのようになる。

- A: 拡散ポンプなどの断水、過熱の警報赤ランプ
- B: 主電源電圧指示および散布電圧制御
- C: 集束コイル電源 および電流制御各 2 台
- D: 小形電子管式記録計 2 台
- E: トラップ および 低真空モニタ
- F: イオン・ゲージ、高真空モニタ
- H: 出力電圧、散布電流、コロナ・ギャップ電流、出力電子流指示計および時間計
- I: 遠隔操作指示盤、指示セルシユ
- K: スキャンニング電源

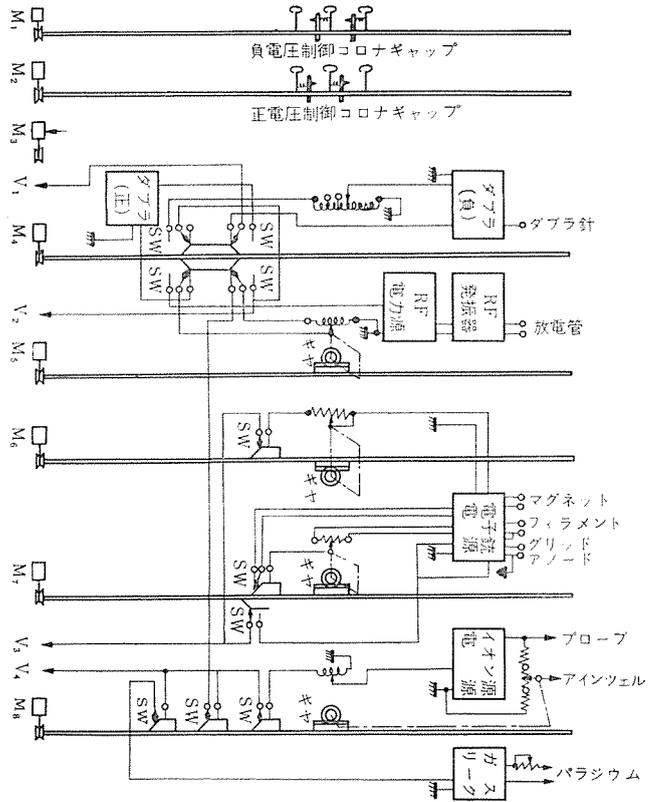


図 2.5 遠隔制御機構

Fig. 2.5 Block diagram of remote control system.

- L: 警報器およびパイロット・ランプ盤
- P: コロナ・ポイント電圧安定指示計
- Q: XY モニタ電流指示計
- R: エネルギー分析用電磁石電源制御
- S: スイッチ盤
- X: スキャンニング幅モニタ用オシロスコープ

遠隔操作の制御棒と駆動セルシユとの関係および、制御される電源との関係を示す系統図を図 2.5 に示す。この図において、M₁~N₈ は駆動セルシユを表わし、V₁~V₄ は高電圧電極内の滑車内に装備された磁石発電機 (500 W) の出力端子を表わす。図からわかるように、制御棒を上下に駆動することにより、高電圧電極内の各電源のスイッチ、可変抵抗およびスライダックなどを操作できる。

また電圧制御は、コロナ針のギャップ長を調整することによりできることを示している。

2.2 電圧昇圧機構

アース側でベルトへ電荷を散布する方法は二、三あるが⁽⁶⁾、この装置の場合、いわゆる「コロナ放電」による方法⁽⁷⁾を採用した。金属性レコード針を適当な間隔にくし状に並べた構造の散布針を使用した。

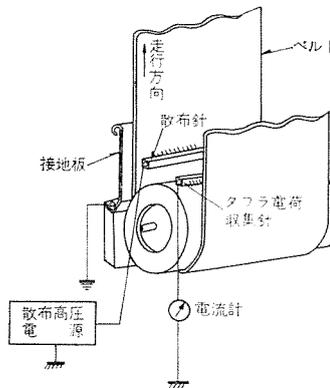


図 2.6 ベルトへの電荷散布機構
Fig. 2.6 Sectional sketch of charging system.

図2.6には、散布針、ベルト、接地板およびベルト・プーリとの関係位置を示す。針先端の構造は、安定なコロナ放電を発生させるのに重要であり、やや先細の構造を持つものがすぐれている。コロナ放電の発生の難易、安定性はタップ内封入ガスの種類、ガス圧力などにも関係する。

80%の窒素ガスに20%の炭酸ガスを混入(圧力比)した絶縁ガスでは、24 kg/cm²程度の圧力まで、安定なコロナが発生する。接地板と散布針との距離もコロナ放電の発生の難易および安定性に影響があるのでこの装置ではこの距離は微調整可能にしてある。

ベルトで運搬されてきた電荷は、高電圧電極内で、電極と同電位に接続された収集針により取られる。収集針は散布針と同様の構造を持ち高電圧電極内に置いた。

ベルトの運搬しうる電荷量を増加するためにダブラ⁽⁶⁾を使用しているが、このダブラ用の散布針も、これまでのものと同様の構造のもので、ダブラ針に印加する電圧の電源には、この装置では、最高出力電圧40 kVの正(電子加速用)負(イオン加速用)の電源2台を使用している。この電源の切換えおよび印加電圧の調節は、図2.5に示すように、制御盤上で操作できる。

ダブラを働かした場合は、ベルトの内側でベルトに垂直な方向の電界は、片側だけのときの2倍になる。この装置でもベルト・フープを、ベルトの両側に入れて、ベルト面上の不規則な電界強度分布を除いた。

絶縁ベルトは同一特性で長時間の使用に耐えうることも装置の信頼性、再現性の点で重要なことであるが、まず、電気的に絶縁性が高いこと、機械的強度が高いこと、とくに回転中の機械的特性の良いたことが望まれる。この装置のためのベルトとして、最初2種類のベルトを試供したが、上記の特性を満足するようなものはなかなか得がたく、種々実験を行なって材質をきめ、非常に優秀なベルトを製作できるようになった。

一般にベルトの構造は機械的強度を支える心地としての高い絶縁抵抗を有する布地にゴムをしみこませたものが使用されている。心地が木綿あるいは絹のものは、ベルトの回転中の機械的ふれ、およびプーリとの摩擦によって摩擦電荷が発生し、ベルト表面の電荷分布に局部的不均一が生じて、ベルト沿面およびそれに直角な方向の放電が発生する。これが出力電圧の低下の原因になっているような経験も得ている。しかし機械的特性のすぐれたベルトでは、このような現象はほとんど、みられない。

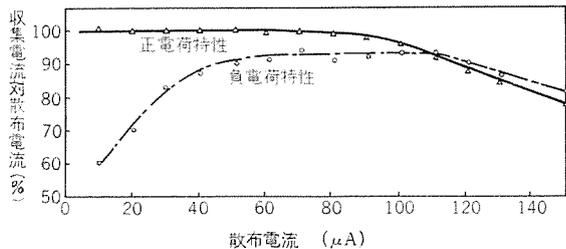


図2.7 大気圧中のベルトの電荷運搬特性
Fig. 2.7 Relation between charging and discharging currents operated in air at atmospheric pressure.

い、またベルトの表面抵抗の湿気の吸収、表面のよごれによる悪化は体積抵抗に比べいちじるしいが新しく開発したベルトは非常に改良されている。

ベルトの電荷運搬特性を大気圧中で調べた結果を図2.7に示す。横軸は散布針と接地間の放電電流、縦軸は高電圧電極と接地間にある電流計の指示を放電電流に対する比として表わしたものである。このとき使用したベルトは、絹と天然ゴムで作ったもので、機械的には比較的すぐれたものである。これから、高電圧電極に運搬される電荷量は、正電荷の場合散布電流に等しいが、負電荷の場合は最高で90%であることがわかる。また散布電流は、多くても、また少なくとも運搬特性は悪くなる。とくに負電荷散布の場合これが良く表われている。このことはベルト表面の電荷による電界が、大気中のコロナ破壊電圧に達するためと考えられるが、絶縁ガスを封入することによって、コロナ破壊電圧を高めてやれば良い。すなわちベルト表面の電荷密度を σ とすれば、ベルト表面に直角な方向の電界 E は、

$$E = \sigma / 2 \epsilon_0 \quad (\text{MKS 単位}) \dots \dots (2.1)$$

で与えられる。したがって、ガスにより耐電圧 E を上げてやれば、表面電荷密度が増加できる。

負電荷の運搬特性の劣性は、ベルトの摩擦による負電荷が影響しているものと思われる。木綿で作られているベルトの場合は、これと逆に正電荷の運搬特性が悪いという結果を得たことがある。

この装置においては、ベルト・プーリがベルトの駆動方向の上下移動および固定ができるような構造にしたので、回転によるベルトの伸び、および個々のベルトによる長さの差異に対しても適応できる。

2.3 電圧の分割と制御の機構

この装置では高電圧の分割に負コロナ放電における放電電圧電流特性を使った方法を用いている。ここでのコロナ放電とは、針板間コロナで、針は負電圧、板は正電圧となるような放電である。その構造は、円板状のアルミ板でできているフープ間に、コロナ針を正電圧用は上向きに、負電圧用は下向きになるように置いた構造である。したがって針先端はつねに負電圧としてフープ板に面する。コロナ針は金属性スプリング線條でフープと接続されている。各フープ内にあるコロナ針はそれぞれ正電圧用、負電圧用の2組に分けられて、2本のルサイト棒に取付けられている。図2.5からわかるように、駆動セルシ M₁ に接続された針は負電圧用、M₂ に接続された針は正電圧用である。駆動セルシによる移動は制御盤上の指示セルシにより0.5 mmの間隔で読み取りうる。

正電圧を発生させるとき、負電圧用のコロナ針のフープ板との距離はできるだけ広げ、正電圧用針は10 mmから18 mmの範囲で用いる。負電圧を発生させるときは、これと逆である。

加速粒子の集束の点から考えると、加速電極間のすべてに同一の電圧を印加したのでは望ましい結果は得られ

ない。エネルギー可変範囲全域にわたってビームの集束点を一定に保持するにはかなり大幅な初段電極電圧の変化が必要であるが、この装置ではイオン源直上にある単極レンズの調整が可能なので、加速初段電極の所に位置するコロナ針は、他の正規なものに比べ数ミリメートル程度短くしておき、独立な微調整機構とはしなかった。

電圧の安定度はコロナ針に流す電流で異なり、コロナ針電流が30 μA 以下では安定度は良くないが40~50 μA で安定である。電圧を調整するには、散布電流をコロナ針電流が40~50 μA になるように保ち、針チップを上下に調整することで得られる。大幅な電圧の変化を行なうには、絶縁ガス圧力を変えてやる。

2.4 陽子および電子発生源

正負両電圧を発生させ、1本の加速管で陽子あるいは電子を切り替えて加速する方法としてはいろいろな構造が考えられるが、両発生源が互いに他に影響を及ぼさないように陽子源と電子源は完全に分離した構造のものを考

えた。陽子源として、RF形イオン源、電子源としては普通の電子銃を図2.8に示すように配置した。両発生源の性能に関してはあらかじめ予備実験⁽⁹⁾によりその可能性を試験したものである。高電圧電極内に組込んだあとの操作は、図2.5に示した方式で遠隔操作を行なう。つぎにイオン源、電子源に分けて述べる。

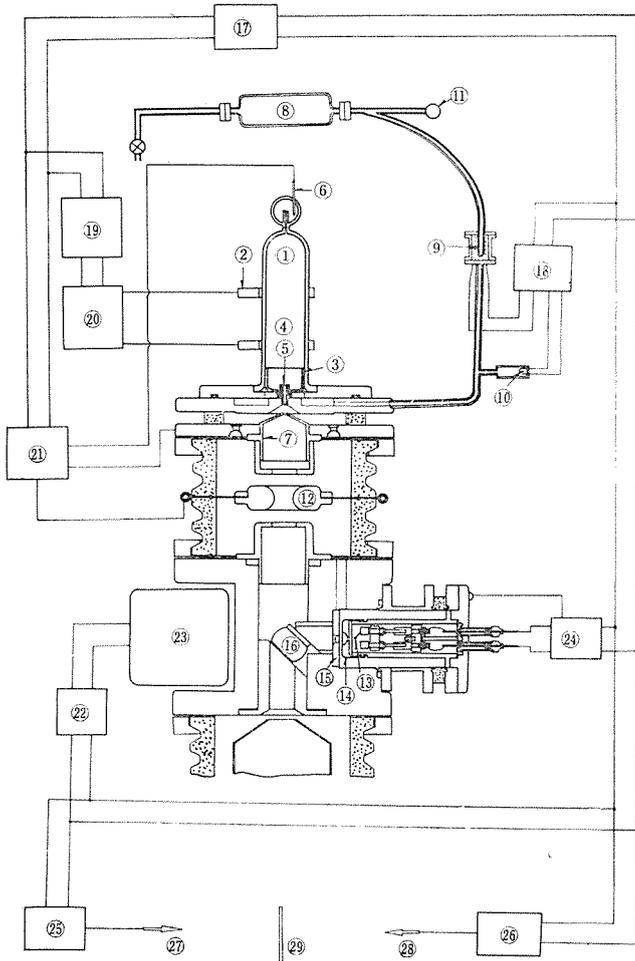
(1) イオン源

イオン源はいわゆる高周波放電形普通RF形とっているもの⁽¹⁰⁾である。図2.8に示すように放電容器①はパイレックス・ガラス製でこの容器にパラジウム⑩を通して水素ガスタック⑧から水素ガスを導入する。金属性リッジ②によって放電容器に印加する高周波は、周波数35 Mc、出力0~150 Wの電源⑭、⑮によって行なう。放電容器内プラズマの再結合による損失を少なくし、ビームの純度と安定度を増すため③と⑤のパイレックス・ガラスおよび石英管で金属面をシャヘイした。

放電容器に導入するガス流量は、サーミスタ・ゲージ⑩でとらえた真空度の変化を、パラジウム⑩に巻かれたヒータの電流値の制御回路⑰に入れてやることにより、安定化が行なわれている。水素ガス流量の調整は図2.5で示したように制御棒によって、電源⑭からの電流を調整することによってできる。容器内水素ガス圧力で示すと、可変範囲は、0からおよそ、150 μHg くらいである。

放電容器内の水素のプラズマから陽子を引出す方法は、押し出し電極⑥と引出し電極⑦によって行なう。押し出し電極にはカナル④に対して正の電圧 V_p 、引出し電極にはカナルに対して負の電圧 V_E を印加している。 V_p と V_E の比が1:2以下であるときビームの集束が良好である。 V_p および V_E の値は、制御盤からの遠隔制御は行なわない。

ビーム電流の調節は、放電容器に印加する高周波入力の制御およびガス流量の制御により行なう。高周波入力に対するビーム電流は入力70 W くらいまではほぼ単調増加⁽⁹⁾である。水素ガスの容器内圧力に対するビーム量は、図2.9のような関係にある。これはベンチテストの結果である。この二つの関係によって明らかなのは、ビーム量の増減の調節は、高周波入力の調節によって行なうほうがよいということである。図2.9において、ガス



①RF 放電容器 ②RF 入力リング ③シャヘイガラス ④カナル ⑤シャヘイ管 ⑥プローブ ⑦引出し電極 ⑧水素ガス容器 ⑨パラジウム管 ⑩サーミスタ真空ゲージ ⑪圧力計 ⑫単極レンズ ⑬電子銃フィラメント ⑭電子銃グリッド ⑮電子銃アノード ⑯電磁石ポールピース ⑰磁石発電機 ⑱パラジウムリッジ電源 ⑲RF 発振器電力電源 ⑳RF 発振器 ㉑引出し電極および単極レンズ電源 ㉒電磁石電源 ㉓電磁石コイル ㉔電子銃フィラメント電源 ㉕ダブル正電圧電源 ㉖ダブル負電圧電源 ㉗正ダブル針 ㉘負ダブル針 ㉙電荷運搬ベルト

図 2.8 イオン および電子発生源

Fig. 2.8 Sectional view of ion and electron sources.

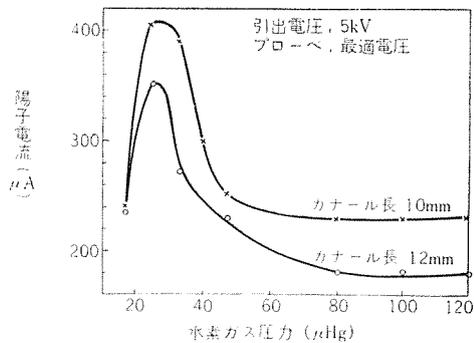


図 2.9 水素流量と陽子電流の関係

Fig. 2.9 Relations between hydrogen pressure and proton current.

圧の低い所にある。ピークはプラズマ密度と、プラズマ・シースとの関係からきており、ビーム放出に最適なプラズマ・シースを形成しているものと思われる。しかし実際には、安定なビーム放出という点から、このピーク近辺ではなく、40~80 μHg で使用する。

陽子ビームの集束を考えると、引出し電極のレンズ特性と、加速管のレンズ特性とを適合させるためには、この中間に変なレンズを必要とする。ここでは図2.8のような、単極レンズをこれに使用している。図の⑬がこのレンズの中間電極である。減速レンズとして動作するように引出し電極に対して正の電圧を印加する。この電極への電圧の印加および制御は図2.5に示した方式で行なっている。この系統に関するレンズ作用については、4において述べる。

(2) 電子源

図2.8からわかるように、イオン源単極レンズの F_1 側方に取付けられた電子銃がこの装置における電子源である。電子銃は、タングステン線で作られたフィラメント⑬、ビーム穴を持つ陽極⑭、および制御格子⑮からできている。これらの電極電圧は、制御盤では調節できない電圧であり、ビームの集束が最適な電圧として、あらかじめ調整しておく。

フィラメント電流の制御は図2.5に示した方式で制御盤で行なう。フィラメント電流に対するビーム量は単調増加の関係であり、最高ビーム電流2 mAが、およそ2 mm ϕ の集束で加速管に導入できるような電子銃である。電子銃から放出された電子ビームは、電磁石⑯によって90度偏向され、加速管に導入される構造である。この偏向電磁石は平行端にして、これによるビーム集束は避けている。またフリッジング磁界もできるだけ少なくなるような構造をとっている。電子ビームの加速管にはいる位置は、電磁石コイル⑰に流す電流を、電源⑱を制御することによって調節できる。この制御方式も図2.5に示した方法である。

加速された電子ビームの集束は、加速管出口に取付けられた集束コイルによっても調節できる。

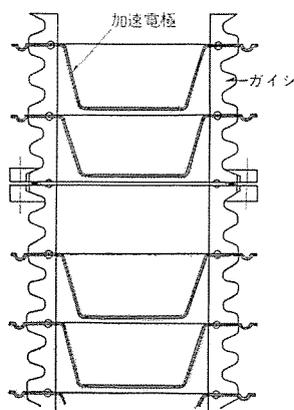


図 2.10 加速管断面図
Fig. 2.10 Cross section of accelerating tube.

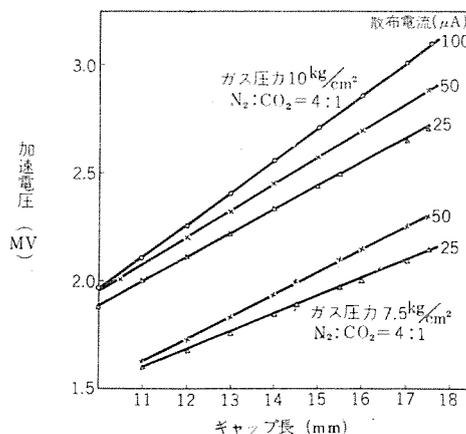


図 3.1 (a) 正電圧とコロナギャップ長の関係
Fig. 3.1 (a) Relations between positive potential and corona needle gap length.

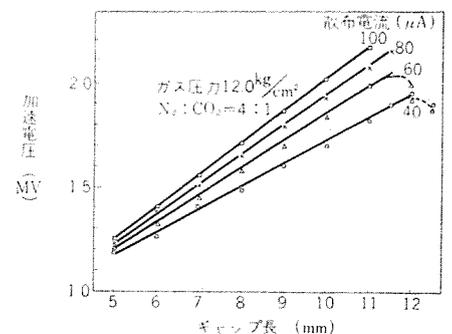


図 3.1 (b) 負電圧とコロナギャップ長の関係
Fig. 3.1 (b) Relations between negative potential and corona needle gap length.

イオン源、電子源に電力を供給する磁石発電機の端子は4本あって、うち3本が100 VA、1本が200 VAであり、各端子とも、170 c/s, 100 Vである。

2.5 加速管

この装置の加速管は、単能形電子パン・デ・グラーフの二、三の経験にもとづいて新たに設計したものである。図2.10に、この部分断面図を示した。構造上三つのブロックに分けられる。一つは、加速初段ブロック、他の二つは、レギュラーブロックである。三つのブロックの接続部は、ネオプレックによる真空シールが行なわれている。加速電極は、初段ギャップを入れて、39段からなっておりその材料は、ユバル板である。

電極間の絶縁には、ガイシが用いられ、ガイシと電極とはアラルダイト接着が行なわれている。

加速初段ブロックの上端には、円筒形電極があり、図2.8に示すように、イオン、電子源の下面におかれている。この部分の構造および、ギャップ長は、加速ビームの集束および安定性に関する。このギャップ間に印加する電圧は、他の加速電極電圧と独立に設定できる構造にしてある。加速エネルギーの変化にとまらぬビーム集束の変化は、この電圧の調整により、補正できる。

3. 加速電圧の特性

パン・デ・グラーフ形加速器において得られる最高到達エネルギーは、高電圧電極の接地に対する電圧によってきまる。装置における高電圧電極は、接地に対して、加速管、絶縁支柱、ベルト、制御棒、フープ、コナ針などが介在する。したがって、高電圧電極の構造をも含めた、上記のものの構造および材質が、最高到達電圧およびその安定性を支配する重要な要素になる。

この装置では、電圧を大幅に変えるのに、コナ針のギャップを変えることによって行なう。われわれがこれまで作った、単能形電子加速器、2 MeV, 3 MeVにおいて、いずれもこの方法を用いて良い結果を得ている。電圧を変える要素は、コナ針ギャップのほか、散布電流、およびタンク内封入ガス圧力がある。散布電流に対する電圧の

変動は、コロナ針 に対するそれよりも普通小さい。得られる電圧が安定であるためには、これが必要である。マック内封入ガスの、ガスの種類およびガス圧力は、電極の耐圧、コロナの安定性などに関する。つぎに上記三つの要因に対する電圧特性を述べる。

3.1 コロナギャップと電圧の関係

針先端を負電圧とする負コロナの放電特性の一つは、コロナ放電の開始電圧は低いがコロナ放電領域が広く、火花放電開始電圧が高いことにある。また、電流-電圧特性が、ある領域以上で負特性を示すことである。

図 3.1 (a) にコロナギャップ長と正の電圧との関係を示した。横軸がギャップ長、縦軸が出力電圧である。電圧値は較正した発電電圧計で測定したものである。ここで、パラメータとしては封入ガス圧力と散布電流をとった。

ガス圧力は、 10 kg/cm^2 および 7.5 kg/cm^2 であり、散布電流は、 $100, 50, 25 \mu\text{A}$ である。ビームを取出不いで電圧だけのとき、散布電流とコロナ放電電流（以下コロナ電流と略す）とは、ほとんど等しい。この図で得られた電圧は、 3 MV まではほとんど安定である。その安定性を示す特長としては、ギャップ長に対する電圧の変化率で示すことができる。ある一つの条件では、ほとんど一定の変化率を示す。変化率を変える要素は、ガス圧力および、散布電流である。図において、安定な電圧範囲での変化率は、ギャップ 1 mm あたり 0.1 MV/mm から 0.15 MV/mm の間にはいる。不安定な電圧範囲ではこの変化率は、電圧によって異なり電圧が増加すると、変化率が減少する傾向を示すようになる。このことは、負電圧において経験されたことがある。封入ガスの混合比は、圧力比で窒素 80% 、炭酸ガス 20% の割合であり、経験上この比がもっとも良い結果を与える。

図 3.1 (b) には負電圧特性を示す。このときのガス圧力は 12 kg/cm^2 、その混合比は今までと同様である。散布電流は図示のような場合である。電圧変化率は散布電流の増加とともに増加するが、これが一定のときは、ギャップ長 11.5 mm までほとんど一定である。変化率の範囲は 0.1 MV/mm から 0.16 MV/mm で、正電圧特性と同様である。異なる点は最高電圧である。

正電圧と負電圧にこのような差が現われる原因は、装置内の電圧特性に極性効果があるためと考えられる。加速管の電極構造、コロナ針の位置などがそのおもな原因と考えられる。

3.2 散布電流と電圧の関係

図 3.2 (a), (b) には散布電流に対する電圧の特性を示した。横軸は散布電流、縦軸は電圧である。

(a) は正電圧の場合で、ガス圧 11.2 kg/cm^2 、ギャップ長は $8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 11.5 \text{ mm}$ の場合である。(b) は、負電圧の場合で、ガス圧 12 kg/cm^2 、ギャップ長 $6.0, 7.0,$

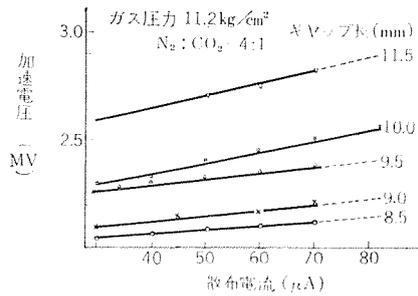


図 3.2 (a) 正電圧と散布電流の関係
Fig. 3.2 (a) Relations between positive potential and charging current.

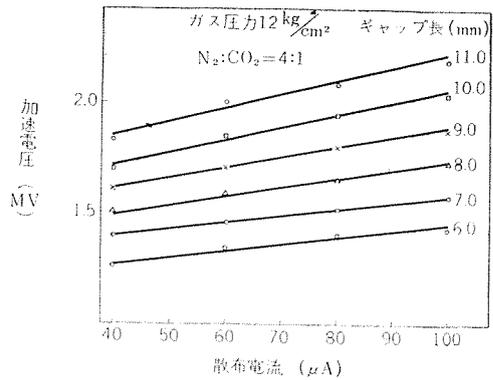


図 3.2 (b) 負電圧と散布電流の関係
Fig. 3.2 (b) Relations between negative potential and charging current.

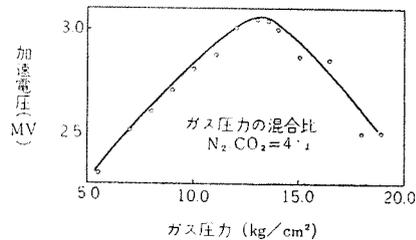


図 3.3 正電圧とガス圧力との関係
Fig. 3.3 Relation between positive potential and insulating gas pressure.

$8.0, 9.0, 10.0, 11.0 \text{ mm}$ の場合である。

散布電流に対する電圧の変化率は、正負両電圧とも、ギャップ長が増すとともに増加するが、一つの定まったギャップでは、散布電流および電圧によって変わらない。散布電流 $10 \mu\text{A}$ に対する電圧の変化率は、電圧が安定している場合、およそ、 $0.02 \text{ MV}/10 \mu\text{A}$ から $0.06 \text{ MV}/10 \mu\text{A}$ にある。この変化率が、これ以上大きくなると電圧の安定性は悪くなる。

高電圧の制御用コロナポイントを用いなくて、電圧の安定度を測定したが、散布電流に対する電圧変化率が、 $0.02 \sim 0.05 \text{ MV}/10 \mu\text{A}$ 以内であれば、およそ、 1% 以下の安定度が得られる。

3.3 ガス圧力と電圧の関係

高電圧電極のコロナ放電、火花放電に対する耐圧は、そのガス圧力、ガスの種類で異なる。ガスに混入している水蒸気の量は、絶縁物表面の沿面放電耐圧を低下させる。図 3.3 はこの装置の、安定な正の最高出力電圧とガス圧力に関する特性である。ガス混合比は、これまでの場合と同様である。この特性によって、最高出力電圧はガス圧力をあまり大きくしても増大しないことがわかる。圧力 13 kg/cm^2 までは、電圧はほぼ直線的に増大するが 13 kg/cm^2 をこえると、ややゆっくりだが直線的に減少する。

この装置の実際の運転は、このガス圧特性に従って、 $10 \sim 13 \text{ kg/cm}^2$ のガス封入によって行なわれている。封入ガスの湿度の除去には、ガス導入系統にシリカゲルなどの乾燥剤をおくことによつて行なっている。

負電圧の場合においても、正電圧の場合とまったく同じ傾向の結果が得られている。

電力系統過渡現象の解析法

研究所 馬場 準一*・芝 滝 寿 宏*

Analysis of Transient Phenomena in Electric Power System

Research Laboratory Juniti BABA・Hisahiro SIBATAKI

Studies on overvoltages and overcurrents in power systems are indispensable for rational design of electric apparatus used in the system. The calculation of the phenomena would be performed with a transient network analyzer, a kind of an analog computer. The power system, however, involves distributed parameter circuits which make it necessary to provide a number of elements for the analog, so that complicated technique is involved and false calculation is liable to occur. The writers have originated an analysis of the transient phenomena through a different concept by using the travelling method. Also they touch on a process to make clear of the mode of oscillations by an application of many profound mathematical methods.

1. ま え が き

電力系統の雷サージ、開閉サージなどの過渡現象の計算は、従来、抵抗、インダクタンス、キャパシタンスなどの受動素子と同期スイッチを組合せたアナログ計算機の一つである過渡現象解析機 (Transient network analyser) によって行なわれてきたが、電力系統では、送電線という分布回路を含み、その表示には多数の素子を必要とするので、与えられた設備で系統の問題を解くには、種々の技巧を必要とし、また計算誤差についても相当の配慮をしなければならない。

筆者らは、送電線路上の電圧あるいは電流波を前進波と後進波に分けて考えることにより、系統の方程式が連立定差微分方程式の形となり、また解析にとってもっとも容易な Nodal form で表示されることを見出し、計数形計算機によって解くことを試みた⁽¹⁾。さらに、集中回路素子を分布化することによって、系統の方程式が連立定差方程式となって、計算がさらに容易になることを示した⁽²⁾。また Z 変換と固有値問題の手法を適用して、過渡現象の振動姿態を明らかにしうることを示した。

2. 解 析 方 法

電力系統の過渡現象の計算を計数形計算機で行なう場合に考えられる手法としては、つぎのものがあげられる。

(1) 送電線を有限個の π 回路に分割して、微分方程式をたて、これを数値計算する方法

これは従来、過渡現象解析機で行なっていた方法をそのまま計数形計算機にうつした方法といえよう。この方法は、系統を Nodal form で表現できるという利点を有しているが、線路の分割法が問題となり、正確な計算を行なうには分割数が増大し、相当の記憶容量を必要とするのが欠点であろう。しかし、送電線路素子が π のような非線性を有しているときは、現在ではこの方法によるよりほかに方法はないであろう。

(2) 系統の電圧、電流を S の関数で表示し、Laplace transform によって解く方法

この方法は、解を Closed form で得ることができるという利点を有しているが、系統の構成を与えられた場合に、系統の電圧、電流を S の関数として表示するという事は、非算術的な作業で、現今の計数形計算機ではそのプログラムがむずかしく、また電圧、電流を S の関数として表示しえた場合でも、この関数の分母のゼロ点を求めることはかなりむずかしいという欠点を有している。

(3) 系統の周波数特性を求め、フーリエ積分によって過渡現象を計算する方法

この方法は、自動制御系の計算にはよく用いられているものであるが、電力系統のように減衰の少ない系では、相当広い周波数帯にわたって系の周波数特性を求めなければならない、また減衰の少ない系では、この周波数特性の計算がかなりむずかしいという欠点を有している。しかし、送電線路の零相定数のように、系統定数が周波数

表 2.1 各種解析法の比較表

方 法	利 点	欠 点
(1) (π 回路法)	(1) 従来広く用いられてきた方法の延長であるので考え方が容易。 (2) 系統を Nodal 形式で表示しうる。 (3) 非線性を考慮することが容易。	(1) 解の精度をあげるために分割数を増すと、Node の数が増し、変数が増加して計算時間が増す。 (2) フーリエ級数における Gibbs 現象 ⁽³⁾ による誤差は分割数をいくら増しても避けられない。
(2) (ラプラス変換法)	解が Closed form で出でくる。	(1) 大きな系統では、電圧、電流を S の関数 $V(S)$, $I(S)$ として表示することがむずかしい。 (2) 非線性を考慮したい。 (3) $V(S)$, $I(S)$ の極点を求めることがむずかしい。
(4) (周波数特性法)	系統定数が周波数特性をもつときに正確な計算ができる。	大きな系統について周波数特性を計算することはむずかしい。
(4) (進行波法)	(1) 系統を Nodal 形式で表示しうる。 (2) 変数は系統の Node の数だけでよいためから少なくすむ。 (3) フーリエ級数における Gibbs 現象 ⁽³⁾ による誤差はない。	(1) 非線性を考慮しにくい。 (2) 線路の途中の値が直接求まらない。

* 電気第一研究室

特性を持っているときに正確な計算を行なうには、この方法によるのが便利である。

以上のべた方法は、いずれもそれぞれ特長のあるものであるが、計数形計算機による計算法として採用するには躊躇するものである。われわれはまえがきでのべたように第4の方法として、つぎのものを提案する。

(4) 系統を連立定差微分方程式の形で表現して計算する方法

以下にこの方法について詳しくのべよう。

なお、ここでこれから説明する(4)の方法を含み、各種解析法の比較を表2.1に表示しておく。

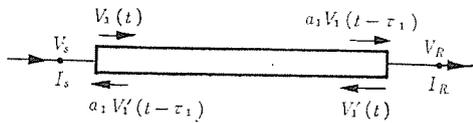


図 3.1 送電線路
Fig. 3.1 Transmission line.

3. 送電線の表示

送電線路が線形で保波形であると仮定すれば、線路の電圧または電流は、前進波と後進波とに分けられる。すなわち、図3.1に示すような送電線路においては、その送端および受端における電圧、電流はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \text{送端電圧 } V_S &= V_1(t) + a_1 V_1'(t - \tau_1) \\ \text{送端電流 } I_S &= \frac{1}{W_1} \{ V_1(t) - a_1 V_1'(t - \tau_1) \} \\ \text{受端電圧 } V_R &= a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t) \\ \text{受端電流 } I_R &= \frac{1}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \} \end{aligned} \right\} \dots (3.1)$$

W_1 : 線路の波動インピーダンス

τ_1 : 線路の伝搬時間 $= l_1/v_1$

(l_1 : 線路の長さ, v_1 : 波の伝搬速度)

a_1 : 減衰定数

式(3.1)において $V_1(t)$ は前進波を, $V_1'(t)$ は後進波を表わしている。

表 3.1 代表的回路と境界条件

回路	境界条件	回路	境界条件
	$E_s - \{ V_1(t) + a_1 V_1'(t - \tau_1) \}$ $= \frac{L_s}{W_1} \frac{d}{dt} \{ V_1(t) - a_1 V_1'(t - \tau_1) \}$		$\frac{1}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$ $= \frac{1}{W_2} \{ V_2(t) - a_2 V_2'(t - \tau_2) \}$ $\{ a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t) \}$ $- \{ V_2(t) + a_2 V_2'(t - \tau_2) \}$ $= \frac{L}{W_1} \frac{d}{dt} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$
	$C_s W_1 \frac{d}{dt} \{ E_s - \{ V_1(t) + a_1 V_1'(t - \tau_1) \} \}$ $= V_1(t) - a_1 V_1'(t - \tau_1)$		$\frac{1}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$ $= \frac{1}{W_2} \{ V_2(t) - a_2 V_2'(t - \tau_2) \}$ $C W_1 \frac{d}{dt} \{ [a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t)]$ $- [V_2(t) + a_2 V_2'(t - \tau_2)] \}$ $= a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t)$
	$a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t)$ $= V_2(t) + a_2 V_2'(t - \tau_2)$ $\frac{1}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$ $= \frac{1}{W_2} \{ V_2(t) - a_2 V_2'(t - \tau_2) \}$		$a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t) = V_2(t)$ $+ a_2 V_2'(t - \tau_2)$ $a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t)$ $= L \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \} \right]$ $- \frac{1}{W_2} \{ V_2(t) - a_2 V_2'(t - \tau_2) \}$
	$\frac{L_t}{W_1} \frac{d}{dt} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$ $= a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t)$ $-\frac{R_t}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$		$a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t)$ $= V_2(t) + a_2 V_2'(t - \tau_2)$ $C \frac{d}{dt} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t) \}$ $= \frac{1}{W_1} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t) \}$ $- \frac{1}{W_2} \{ V_2(t) - a_2 V_2'(t - \tau_2) \}$
	$C_t W_1 \frac{d}{dt} \{ a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t) \}$ $= a_1 V_1(t - \tau_1) - V_1'(t)$		$E_s - \{ V_1(t) + a_1 V_1'(t - \tau_1) \}$ $= \frac{L}{W_1} \frac{d}{dt} \{ V_1(t) - a_1 V_1'(t - \tau_1) \}$ $+ LC \frac{d^2}{dt^2} \{ V_1(t) - a_1 V_1'(t - \tau_1) \}$

送電線路がサージインピーダンスの異なる線路あるいは集中回路素子と接続される点においては、前進波および後進波の反射が起こり、回路条件によって定まる境界条件を満足しなければならない。代表的な回路について示せば表3.1のとおりである。

以上で、送電線を含む電力システムの方程式を導く方法を明らかにしたが、実際に、システムの過渡現象を計算するには、 α - β -0法と、重ね合せの理とを併用するのが便利である。

たとえば、電力システムの1線地絡時の過渡現象を調べるためには、図3.2に示すように α 回路 Z_a と零回路の半分 $Z_0/2$ とを直列にし、かつ α 回路の起電力をすべてゼロとして、故障直前に故障点に表われる電圧と大きさが等しく、位相が逆の電圧 E を印加して過渡成分を求め、これに定常時の値を加算すれば所要の値が得られる。

このように、重ね合せ法を利用して求められる過渡成分にたいしては、前進波および後進波の初期値はいずれもゼロである。すなわち

$$\left. \begin{aligned} V_i(t) = V_i'(t) = 0 \\ t \leq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

4. 集中回路の分布化

L, C などの集中定数を分布回路で近似することができれば、システムの方程式は連立定差方程式となって、微分方程式の数値計算法を用いる必要がなく、つねに算術的演算だけによって解くことができ、計算プログラムの作成その他において、さらに便利になる。

この章ではこの目的で、集中回路を分布回路で近似する方法について述べる。

4.1 インダクタンス

図4.1に示すようなインダクタンス回路では、その四端子定数は、

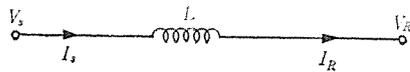


図 4.1 インダクタンス
Fig. 4.1 Inductance.

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sL \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.1)$$

また、分布回路の四端子定数は、

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh s\gamma l & W \sinh s\gamma l \\ 1/W \sinh s\gamma l & \cosh s\gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.2)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} \gamma = \sqrt{l_1 c_1} \\ W = \sqrt{l_1/c_1} = \sqrt{l_1 l/c_1 l} = \sqrt{L_1/C_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.3)$$

l_1, c_1 : 分布回路の単位長あたりのインダクタンスとキャパシタンス

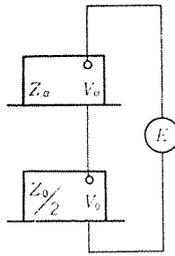


図 3.2 1線地絡時の等価回路
Fig. 3.2

l : 線路互長

L_1, C_1 : 線路の全インダクタンスおよび全キャパシタンス
したがって伝搬時間は、

$$\tau = \gamma l = \sqrt{l_1 c_1} l = \sqrt{L_1 C_1} \dots\dots\dots (4.4)$$

ここで、 $s = j\omega$ とおけば、集中回路の分布化を行なうためには

$$\left. \begin{aligned} \cos \omega\tau \approx 1.0, \quad \sin \omega\tau \approx \omega\tau \\ 1/W \cdot \sin \omega\tau \approx 0, \quad L_1 = L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.5)$$

であることが必要である。ここに ω は、過渡現象において考慮すべき動揺周波数の最高のものをとる。この値は問題によって、おおよその見当をつけることができるが、多くの場合、過渡動揺の基本の周期の10倍をとれば十分であろう。たとえば、超高圧系の1線地絡時の過渡動揺の周期が500 c/sであれば、5,000 c/sまで考えれば十分である。

式(4.5)で与えられる条件のうち、 $\cos \omega\tau \approx 1.0, \sin \omega\tau \approx \omega\tau$ は、誤差 ϵ_ϕ (%)を指定することによって、

$$\left. \begin{aligned} \cos \omega\tau \geq 1 - \epsilon_\phi/100 \\ \sin \omega\tau/\omega\tau \geq 1 - \epsilon_\phi/100 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6)$$

を同時に満足する $\omega\tau$ によって定まる。十分に小さい ϵ_ϕ にたいしては、 $\cos \omega\tau \geq 1 - \epsilon_\phi/100$ を満足する $\omega\tau$ は、 $\sin \omega\tau \geq 1 - \epsilon_\phi/100$ を満足するから、

$$\omega\tau \leq \phi_\epsilon, \quad \cos \phi_\epsilon \geq 1 - \epsilon_\phi/100 \dots\dots\dots (4.7)$$

つぎに式(4.5)のうち、残された条件 $1/W \cdot \sin \omega\tau \approx 0$ については、

$$W = \sqrt{L_1/C_1} = L_1/\sqrt{L_1 C_1} = L/\tau > W_\epsilon \dots\dots\dots (4.8)$$

なる条件によって表わすことになる。

W_ϵ は送電線路と集中回路との接続点における直角侵入波(単位関数)にたいする応答を比較することにより、つぎのような考察によって定める。

すなわち、時間の早いところでも近似回路が十分な精度を持つようにするという見地から図4.2と図4.3において接続点の電圧の $t=0_+$ における値を比較し、両者が十分近い値であるように W_ϵ を定めるのである。

単位関数の電圧にたいして、接続点の電圧は、 $t=0_+$ で、

図 4.2 (a) $V_a = 2.0$

図 4.3 (a) $V_b = 2.0/(1 + W_1/W_\epsilon)$

したがって、誤差電圧は、

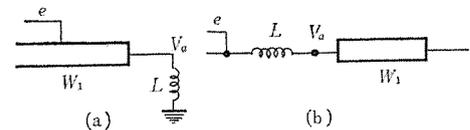


図 4.2 Lと線路との接続点
Fig. 4.2 Junction of L with a line.

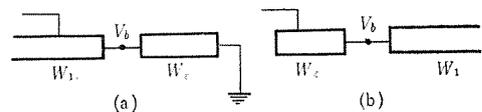


図 4.3 近似分布回路と線路との接続点
Fig. 4.3 Junction of approximate distribution circuit and the line.

表 4.1 ε_v と W_e/W_1 との関係 (インダクタンス)

$\varepsilon_v(\%)$	W_e/W_1
1	200
2	100
3	67
4	50
5	40

表 4.2 ε_v と W_e/W_1 との関係 (キャパシタンス)

$\varepsilon_v(\%)$	W_e/W_1
1	1/200
2	1/100
3	3/200
4	1/50
5	1/40

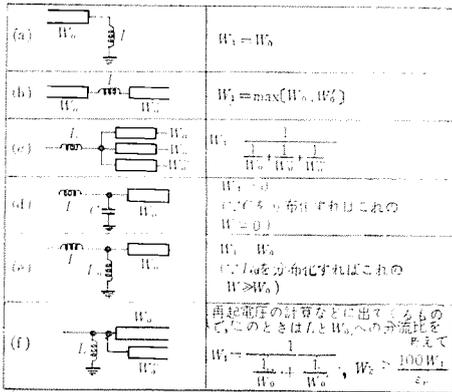


図 4.4 インダクタンスを分布化する場合の W_1 の値
Fig. 4.4 Value of W_1 when inductance is distributed.

$$V_a - V_b = 2 \frac{W_1}{W_e} \left(1 + \frac{W_1}{W_e} \right) \approx 2 \frac{W_1}{W_e}$$

同様に、

図 4.2 (b) $V_a = 0$

図 4.3 (b) $V_b = 2.0 / (1 + W_e/W_1)$

$$\text{誤差電圧 } V_a - V_b = -\frac{2}{1 + \frac{W_e}{W_1}} \approx -2 \frac{W_1}{W_e}$$

となり、誤差電圧を $\varepsilon_v(\%)$ 以下にするためには、

$$W_1/W_e \leq \varepsilon_v/200 \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

ゆえに、

$$W_e/W_1 \geq 200/\varepsilon_v \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

表 4.1 に ε_v と W_e/W_1 との関係を示す。

以上のべたところにより、インダクタンス L を分布回路で近似するためには、式 (4.7), (4.8) 両式より

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \min [\phi_e/W, L/W_e] \dots \text{伝搬定数} \\ W &= L/\tau \dots \text{サージインピーダンス} \\ \cos \phi_e &= 1 - \varepsilon_\phi/100 \\ W_e &= 200 W_1/\varepsilon_v^* \end{aligned} \right\} \dots (4.11)$$

となる。

なお、式 (4.11) を適用するにあたり、 W_e の決定法についての注意を図 4.4 に示しておく。

4.2 キャパシタンス

ここでは、並列キャパシタンス だけについて考えることにする。

図 4.5 のキャパシタンス回路では、その四端子定数は、

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ C_S & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

前項とまったく同じ考え方により、 C を分布回路で近似

* 再起電圧の計算では $W_e = 100 W_1/\varepsilon_v$ となる (図 4.4 (f) 参照)

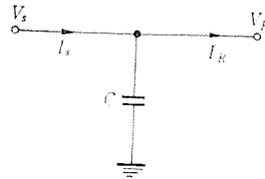


図 4.5 キャパシタンス
Fig. 4.5 Capacitance.

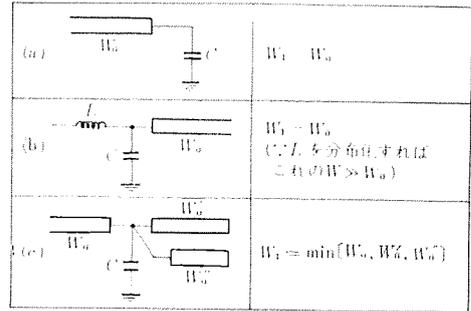


図 4.6 キャパシタンスを分布化する場合の W_1 の値
Fig. 4.6 Value of W_1 when capacitance is distributed.

するためには、

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \min [\phi_e/W, CW_e] \dots \text{伝搬定数} \\ W &= \tau/C \dots \text{サージインピーダンス} \\ \cos \phi_e &= 1 - \varepsilon_\phi/100 \\ W_e &= \varepsilon_v \cdot W_1/200 \end{aligned} \right\} \dots (4.13)$$

表 4.2 はこの場合の ε_v と W_e/W_1 の関係を示し、図 4.6 は W_e を決定する際の W_1 の値について示す。

4.3 その他

実際に計算機によって計算を実施するに当たっては、集中回路の近似分布回路の伝搬時間 τ は、計算プログラムの作成上、式 (4.11), (4.13) 両式で定まる τ 以下であって、かつ送電線の伝搬時間 $\tau_j (j=1, 2, 3, \dots)$ の最大公約数となるような τ_0 を選び、これを近似分布回路の共通の伝搬時間とするのが便利である。

4.4 誤差の評価

前章に示したような方法によって、集中回路を分布回路によって近似化して、系統の過渡現象の計算を行なった場合に、どのような種類の誤差が、どの程度はいつてくるかを検討してみよう。

分布化に伴う誤差としてはつぎの二つが考えられる。

(a) 集中回路の分布化によって、もとの系統の振動の振幅および周波数が変わられる。

(b) 集中回路を分布化したために、この線路の往復振動に起因する高周波の振動が付加される。

この2種類の誤差については、つぎのことがわかっている。

(a) の誤差は $(\beta\tau)^2$ のオーダー。

(b) の誤差は付加的高周波振動の振幅が $(\beta\tau)$ のオーダーである。ただし、 β は振動の角周波数、 τ は近似分布回路の伝搬時間である。

したがって、過渡振動に現われる周波数の範囲におい

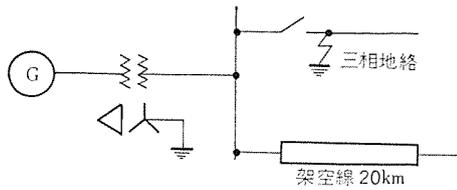
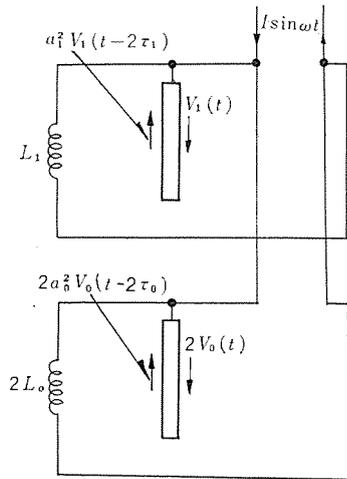


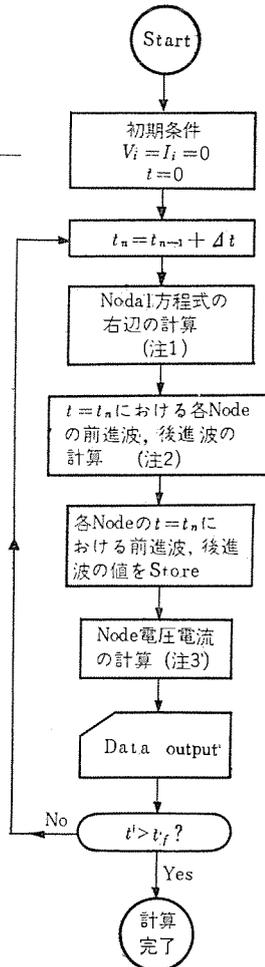
図 5.1 モデル系統
Fig. 5.1 Model system.



系統定数： 電圧 275 kV
 発電所短絡容量： 1,000 MVA, $X_0/X_1=0.5$,
 $L_1=200$ mH, $L_0=100$ mH
 送電線路： 直長 20 km
 正相定数： $L_1=1.15$ mH/km, $C_1=0.01$ μ F/km
 $W=\sqrt{L_1/C_1}=340$ Ω
 $V_1=\frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}=294$ m/ μ s
 $a_1=1.0$ (減衰なし)
 零相定数： $L_0=3.45$ mH/km, $C_0=0.005$ μ F/km
 $W_0=\sqrt{L_0/C_0}=830$ Ω
 $V_0=\frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}=240$ m/ μ s
 $a_0=1.0$ (減衰なし)

図 5.2 (a) 等価回路

Fig. 5.2 (a) Equivalent circuit.



(注 1) 図 5.2 の例では式 (5.2) の右辺になる。
 (注 2) 図 5.2 の例では連立二元一次方程式を解いて $V_1(t+\Delta t)$, $V_0(t+\Delta t)$ を求めること。
 (注 3) 図 5.2 の例では
 正相電圧 $v_1(t)=V_1(t)+a_1^2 V_1(t-2\tau_1)$
 零相電圧 $v_0(t)=V_0(t)+a_0^2 V_0(t-2\tau_0)$
 a 相電圧 $V_a(t)=v_1(t)+v_0(t)$
 t_f : 計算終了時間

図 5.2 (b) フローチャート

て、 $(\beta\tau)$ を十分小さくすれば、正しい解が得られることがわかる。

5. 計算例

5.1 再起電圧の計算

図 5.1 に示すような回路において、第 1 相がシャ断したときのシャ断点における再起電圧を求めようとするものである。第 3 章にのべたように重ね合せの理と、 α - β -0 法とを利用して求めれば、等価回路は図 5.2 (a) のようになる。

5.2 精密解

系統の方程式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} V_1(t) + a_1^2 V_1(t-2\tau_1) &= 2V_0(t) + 2a_0^2 V_0(t-2\tau_0) \\ \frac{1}{L_1} \int_0^t \{V_1(t) + a_1^2 V_1(t-2\tau_1)\} dt + \frac{V_1(t) - a_1^2 V_1(t-2\tau_1)}{W_1} \\ + \frac{1}{L_0} \int_0^t \{V_0(t) + a_0^2 V_0(t-2\tau_0)\} dt + \frac{V_0(t) - a_0^2 V_0(t-2\tau_0)}{W_0} \end{aligned} \right\} = I \sin \omega t \quad \dots (5.1)$$

表 5.1 数値計算の結果

時間 t (μ s)	再起電圧 V (p.u.)		時間 t (μ s)	再起電圧 V (p.u.)	
	$\Delta t=2 \mu$ s	$\Delta t=4 \mu$ s		$\Delta t=2 \mu$ s	$\Delta t=4 \mu$ s
0	0	0	360	1.1770	1.1771
40	0.08004	0.08005	400	1.2666	1.2667
80	0.15151	0.15151	440	1.3419	1.3420
120	0.21529	0.21530	480	1.4572	1.4573
160	0.35099	0.35100	520	1.4422	1.4422
200	0.53160	0.53131	560	1.3847	1.3848
240	0.68266	0.68268	600	1.3549	1.3551
280	0.82129	0.82161	640	1.2432	1.2433
320	1.0155	1.0156			

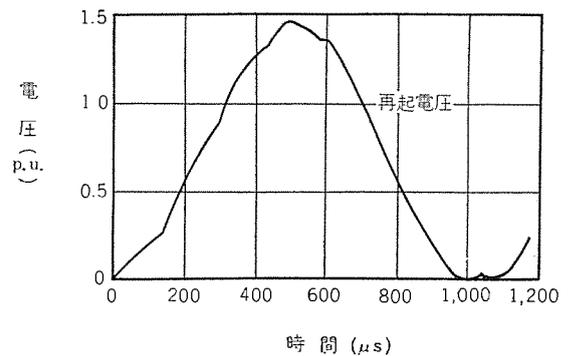


図 5.3 再起電圧の時間的变化

Fig. 5.3 Changes of recovery voltage according to time.

これを Modified Euler 法で解くときは式 (5.1) はつぎのようになる。また、計算の Flow diagram は、図 5.2 (b) のとおりである。

$$\begin{aligned} V_1(t+\Delta t) - 2V_0(t+\Delta t) &= -a_1^2 V_1(t+\Delta t-2\tau_1) + 2a_0^2 V_0(t+\Delta t-2\tau_0) \\ &= \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_1}\right) V_1(t+\Delta t) + \frac{W_1}{W_0} \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_0}\right) V_0(t+\Delta t) \\ &= \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_1}\right) V_1(t) - \frac{\Delta t}{2T_1} a_1^2 \{V_1(t+\Delta t-2\tau_1) \\ &+ V_1(t-2\tau_1)\} + \frac{W_1}{W_0} \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_0}\right) V_0(t) \\ &- \frac{W_1}{W_0} \cdot \frac{\Delta t}{2T_0} a_0^2 \times \{V_0(t+\Delta t-2\tau_0) + V_0(t-2\tau_0)\} \\ &+ a_1^2 \{V_1(t+\Delta t-2\tau_1) - V_1(t+2\tau_1)\} \\ &+ a_1^2 \left(\frac{W_1}{W_0}\right) \{V_0(t+\Delta t-2\tau_0) - V_0(t-2\tau_0)\} \\ &+ I \omega W_1 \cos \omega \left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \\ T_1 &= \frac{L_1}{W_1}, \quad T_0 = \frac{L_0}{W_0} \dots (5.2) \end{aligned}$$

$\Delta t=2 \mu$ s および 4μ s としたときの計算結果は表 5.1 に示してある。両者ともほとんど差がない。いまの場合、 $T_1=588 \mu$ s, $T_0=120.4 \mu$ s であるから、 $\Delta t=4 \mu$ s は T_0 の 1/30 に相当する。なお、再起電圧 v は、 $v=V_1+V_0$ で与えられるが、その時間的变化を図 5.3 に示した。

5.3 近似解

この場合、再起電圧の基本の周波数はほぼ 1,000 c/s であるから、その 10 倍までを考慮するとすれば、式 (4.11) において、

$$\omega = 2\pi \times 10^4$$

また、 W_1 としては図 4.4 (f) の場合に相当するので、送電線の正相サージインピーダンス 340Ω と、送電線零相サージインピーダンス 830Ω の 2 倍との並列合成値をとることになり、

$$W_1 = 282.2 \Omega$$

したがって式 (4.11) より、正相インダクタンス L_1 にたいして、

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \min \left[\frac{\phi_\varepsilon}{2\pi \times 10^4}, \frac{200 \text{ mH}}{W_\varepsilon} \right] \\ \cos \phi_\varepsilon &= 1 - \frac{\varepsilon_\phi}{100} \\ W_\varepsilon &= \frac{100 \times 282.2}{\varepsilon_v} \end{aligned} \right\} \dots\dots (5.3)$$

零相インダクタンス L_0 の 2 倍にたいして、

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \min \left[\frac{\phi_\varepsilon}{2\pi \times 10^4}, \frac{200 \text{ mH}}{W_\varepsilon} \right] \\ \cos \phi_\varepsilon &= 1 - \frac{\varepsilon_\phi}{100} \\ W_\varepsilon &= \frac{100 \times 282.2}{\varepsilon_v} \end{aligned} \right\} \dots\dots (5.4)$$

したがって $\varepsilon_\phi = \varepsilon_v = 3\%$ とすれば、近似分布回路の伝搬定数 τ は、ほぼ $4 \mu\text{s}$ となる。

$\tau = 4 \mu\text{s}$ とすれば、正相リアクタンス L_1 および 零相リアクタンス L_0 の 2 倍の近似分布回路における サージインピーダンス W_1, W_3 は、それぞれ、

$$W_1 = 200 \text{ mH} / 4 \mu\text{s} = 5 \times 10^4 \Omega$$

$$W_3 = 200 \text{ mH} / 4 \mu\text{s} = 5 \times 10^4 \Omega$$

となり、図 5.2 等価回路は図 5.4 の等価回路によって近似される。したがって、この系統の方程式は、つぎのようになる。

電圧の式

$$V_1(t) - V_1(t - 2\tau_1) = V_2(t) + a_2^2 V_2(t - 2\tau_2) \dots (5.5)$$

$$V_1(t) - V_1(t - 2\tau_1) = V_3(t) - V_3(t - 2\tau_3) \dots\dots (5.6)$$

$$V_1(t) - V_1(t - 2\tau_1) = V_4(t) + a_4^2 V_4(t - 2\tau_4) \dots (5.7)$$

電流の式

$$\begin{aligned} & \frac{1}{W_1} [V_1(t) + V_1(t - 2\tau_1)] + \frac{1}{W_2} [V_2(t) - a_2^2 V_2(t - 2\tau_2)] \\ & + \frac{1}{W_3} [V_3(t) + V_3(t - 2\tau_3)] + \frac{1}{W_4} [V_4(t) - a_4^2 V_4(t - 2\tau_4)] \\ & = I \sin \omega t \dots\dots\dots (5.8) \end{aligned}$$

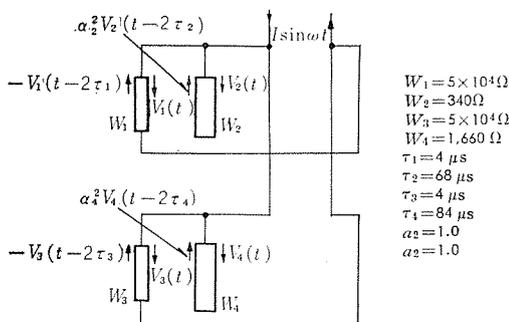


図 5.4 図 5.2 の近似等価回路

Fig. 5.4 Approximate equivalent circuit of Fig. 5.2.

これを書き改めて、

$$V_1(t) - V_2(t) = V_1(t - 2\tau_1) + a_2^2 V_2(t - 2\tau_2) = A_1 \dots\dots\dots (5.9)$$

$$V_1(t) - V_3(t) = V_1(t - 2\tau_1) - V_3(t - 2\tau_3) = A_2 \dots\dots\dots (5.10)$$

$$V_1(t) - V_4(t) = V_1(t - 2\tau_1) + a_4^2 V_4(t - 2\tau_4) = A_3 \dots\dots\dots (5.11)$$

$$\begin{aligned} & V_1(t) + \frac{W_1}{W_2} V_2(t) + \frac{W_1}{W_3} V_3(t) + \frac{W_1}{W_4} V_4(t) \\ & = I W_1 \sin \omega t - V_1(t - 2\tau_1) + \frac{W_1}{W_2} a_2^2 V_2(t - 2\tau_2) \\ & \quad - \frac{W_1}{W_3} V_3(t - 2\tau_3) + \frac{W_1}{W_4} V_4(t - 2\tau_4) \\ & = A_4 \dots\dots\dots (5.12) \end{aligned}$$

式 (5.9) $\times \frac{W_1}{W_2}$ + 式 (5.10) $\times \frac{W_1}{W_3}$ + 式 (5.11) $\times \frac{W_1}{W_4}$ + 式 (5.12) より

$$\begin{aligned} & \left[1 + \frac{W_1}{W_2} + \frac{W_1}{W_3} + \frac{W_1}{W_4} \right] V_1(t) \\ & = A_1 \frac{W_1}{W_2} + A_2 \frac{W_1}{W_3} + A_3 \frac{W_1}{W_4} + A_4 \dots (5.13) \end{aligned}$$

ゆえに、

$$V_1(t) = \frac{A_1 \frac{W_1}{W_2} + A_2 \frac{W_1}{W_3} + A_3 \frac{W_1}{W_4} + A_4}{1 + \frac{W_1}{W_2} + \frac{W_1}{W_3} + \frac{W_1}{W_4}} \dots\dots (5.14)$$

したがって、

$$V_2(t) = V_1(t) - A_1 \dots\dots\dots (5.15)$$

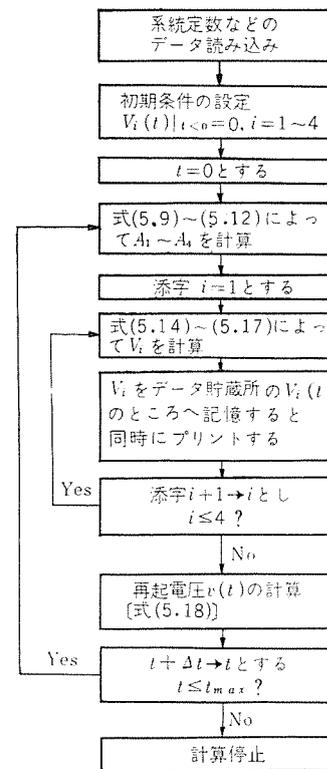


図 5.5 再起電圧計算のフローチャート

Fig. 5.5 Flow chart of recovery voltage calculations.

表 5.2 再起電圧の計算結果

時刻 (μs)	正解 A (p.u.)	近似解 B (p.u.)	誤差 B-A (p.u.)
0	0	0	0
40	0.080045	0.080052	0.000007
80	0.15151	0.15154	0.00003
120	0.21530	0.21536	0.00006
160	0.35100	0.35112	0.00012
200	0.53161	0.53184	0.00023
240	0.68268	0.68306	0.00038
280	0.82131	0.82189	0.00058
320	1.0156	1.01643	0.00083
360	1.1771	1.17826	0.00116
400	1.2667	1.26826	0.00156
440	1.3420	1.34402	0.00202
480	1.4573	1.45983	0.00253
520	1.4422	1.4453	0.00310
560	1.3848	1.38830	0.00350
600	1.3551	1.35898	0.00388
640	1.2433	1.24763	0.00433
680	1.0802	1.06473	0.00453
720	0.92295	0.92759	0.00464
760	0.79083	0.79494	0.00456
800	0.59739	0.60173	0.00434
840	0.39869	0.40256	0.00387
880	0.27728	0.28049	0.00321
920	0.17370	0.17261	0.00251
960	0.039748	0.041340	0.00159
1,000	-0.005826	-0.004725	0.00110
1,040	0.0026997	0.002655	-0.00004
1,080	0.014265	0.012870	-0.00140
1,120	0.071167	0.068850	-0.00232
1,160	0.20684	0.203785	-0.00306
1,200		0.34298	

$$V_3(t) = V_1(t) - A_2 \quad \dots\dots\dots(5.16)$$

$$V_4(t) = V_1(t) - A_3 \quad \dots\dots\dots(5.17)$$

また、再起電圧は、

$$v(t) = 1.5\{V_2(t) + a_2^2 V_2(t - 2\tau_2)\} \dots\dots(5.18)$$

これらの式を図 5.5 に示す フローチャート にしたがって、計数形計算機によって数値計算すれば、表 5.2 に示すような値が得られる。表 5.2 には正解も併記してある。ここにいう正解とは、文献 (1) に示す方法によって解いた値である。この表から見てわかるように両者はきわめてよく一致している。

6. 振動状態の解析

Z 変換の手法と固有値問題の手法とを適用して解析を進める。

一様分布回路は図 6.1 のような π 回路で表示されることは周知のことである。

$$Y_1 = g / \sinh(\tau s) \quad Y_2 = g \tanh\left(\frac{\tau s}{2}\right) \quad \dots\dots(6.1)$$

$$g = 1 / \sqrt{LC} \quad \tau = \frac{l}{v} = \sqrt{LC} l \quad \dots\dots(6.2)$$

g: Surge admittance (inverse of surge impedance)

τ: Propagation constant

ここで、Y₁、Y₂ を書き直すと、

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= g \frac{2}{e^{\tau s} - e^{-\tau s}} = g \frac{2Z}{1 - Z^2} \\ Y_2 &= g \frac{e^{\tau s/2} - e^{-\tau s/2}}{e^{\tau s/2} + e^{-\tau s/2}} = g \frac{1 - Z}{1 + Z} \end{aligned} \right\} \dots\dots(6.3)$$

$$Y_1 + Y_2 = g \frac{1 + Z^2}{1 - Z^2} \dots\dots\dots(6.4)$$

6.1 系の方程式

系の方程式をたてるに当たっては、各分布回路をそれぞれ伝播時間 τ の区分に分割してゆく。したがって、線路の長さが最小単位 τ よりも長いものは、いくつかに分割されるわけである。これは分布回路を有限個の L-C の回路で分割してゆくのと同一の手法ではある。しかし、分布回路のまま分割してゆくところが、この方法の新しいところである。したがって、この方法によるときは、Gibbs 現象などは発生しない。

図 6.2 のような系統については、つぎのような Nodal Equation が成立つ。

$$\begin{bmatrix} 2g_1 \frac{1+Z^2}{1-Z^2} & -2g_1 \frac{Z}{1-Z^2} & 0 & \dots \\ -2g_1 \frac{Z}{1-Z^2} & (g_1+g_2+g_3) \frac{1+Z^2}{1-Z^2} & -2g_1 \frac{Z}{1-Z^2} & \dots \\ 0 & -2g_1 \frac{Z}{1-Z^2} & (2g_2) \frac{1+Z^2}{1-Z^2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E}{1-Z} 2g_1 \frac{Z}{1-Z^2} \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \dots\dots(6.5)$$

ここで、admittance matrix Y をつぎのように展開する。

$$[Y] = \frac{1+Z^2}{1-Z^2} \begin{bmatrix} 2g_1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & (g_1+g_2+g_3) & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 2g_2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} - \frac{Z}{1-Z^2} \begin{bmatrix} 0 & 2g_1 & 0 & \dots \\ 2g_1 & 0 & 2g_1 & \dots \\ 0 & 2g_2 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} = \frac{1+Z^2}{1-Z^2} [Y_S] - \frac{2Z}{1-Z^2} [Y_M] \quad \dots\dots(6.6)$$

(Y_S) は対角行列であって、その逆行列は簡単に求められる。

$$(Y_S)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2g_1} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1/(g_1+g_2+g_3) & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad \dots\dots(6.7)$$

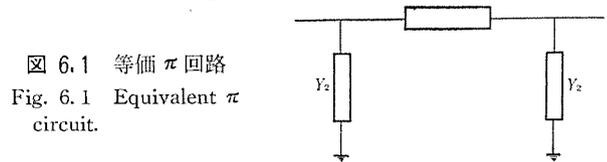


図 6.1 等価 π 回路

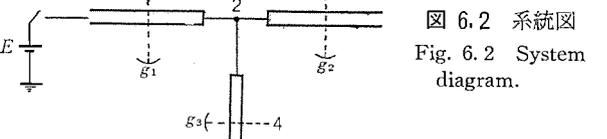


図 6.2 系統図

したがって、式 (6.5) は両辺に $(1-Z^2)$ を乗じて、

$$\{(1+Z^2)(Y_S) - 2Z(Y_M)\}[V] = \begin{bmatrix} 2g_1 \frac{Z}{1-Z} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots (6.8)$$

$$\{(1+Z^2)(Z) - 2Z(Y_S)^{-1}(Y_M)\}[V] = (Y_S)^{-1} \begin{bmatrix} 2g_1 \frac{Z}{1-Z} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots (6.9)$$

ここで、 $Y_S^{-1}Y_M = A$ とおき、 A の固有値と固有ベクトルをそれぞれ $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$; (v_1, v_2, \dots, v_n) とする。すなわち

$$Av_j = \mu_j v_j \dots (6.10)$$

相異なる固有値に対応する固有ベクトルは一次独立であるから、

$$[V] = a_1 v_1 + a_2 v_2 + \dots + a_n v_n \dots (6.11)$$

と記せることになる。

また、 $(Y_S)^{-1} \begin{bmatrix} 2g_1 \frac{Z}{1-Z} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix}$ も n 次元ベクトルであるから、

これもまた v_1, v_2, \dots, v_n の一次結合によって表示しうる。すなわち、

$$(Y_S)^{-1} \begin{bmatrix} 2g_1 \frac{Z}{1-Z} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} = (b_1 v_1 + b_2 v_2 + \dots + b_n v_n) \frac{Z}{1-Z} \dots (6.12)$$

b_j は Z を含まない定数

式 (6.10), (6.11), (6.12) の関係を利用して式 (6.9) を書き換えれば、

$$\sum_{j=1}^n \{(1+Z^2) - 2Z\mu_j\} a_j v_j = \sum_{j=1}^n b_j v_j \frac{Z}{1-Z} \dots (6.13)$$

ここで v_j は一次独立であるから、

$$\{(1+Z^2) - 2Z\mu_j\} a_j = b_j \frac{Z}{1-Z} \dots (6.14)$$

$$\therefore a_j = \frac{b_j}{(1+Z^2) - 2Z\mu_j} \frac{Z}{1-Z} \dots (6.15)$$

a_j を時間領域に変換することは、比較的容易であろう。

すなわち $\mu_j < 1$ のときには、

$$a_j = \frac{b_j}{2(1-\mu_j)} \left[\frac{1}{1-Z} - \frac{1-Z}{1-2\mu_j Z + Z^2} \right]$$

$$= \frac{b_j}{2(1-\mu_j)} \left[\frac{1}{1-Z} - \frac{1-\mu_j Z}{1-2\mu_j Z + Z^2} + \frac{(1-\mu_j)Z}{1-2\mu_j Z + Z^2} \right]$$

ここで、 $\mu_j = \cos \beta_j \tau$ とおけば、

$$a_j = \frac{b_j}{2(1-\mu_j)} \left[\frac{1}{1-Z} - \frac{1 - (\cos \beta_j \tau) Z}{1 - 2(\cos \beta_j \tau) Z + Z^2} + \frac{(1-\mu_j)/\sin \beta_j \tau Z (\sin \beta_j \tau)}{1 - 2(\cos \beta_j \tau) Z + Z^2} \right]$$

これを時間領域に変換して、

$$a_j(t) = \frac{b_j}{2(1-\mu_j)} \left[V(t) - \cos \beta t + \frac{1-\mu_j}{\sin \beta_j \tau} \sin \beta_j t \right] \dots (6.16)$$

かくて $(V) = \sum a_j(t) v_j \dots$ この関数は Sample 点で正解を与える。

すなわち、系統の行列の固有値および固有ベクトルによって振動姿態が与えられる。

7. む す び

(1) 送電線路の電圧または電流波を前進波と後進波とに分けて考えることにより、系統の方程式は Nodal form で連立定差微分方程式で表わされ、計数形計算機により解きやすい形となることを示した。

(2) 系統の解析には α - β -0 法と重ね合わせの理を用いるのが便利である。

(3) 数値計算には Modified Euler 法を用い、そのときの誤差を理論的に導き、時間間隔 Δt の選定の基準を与えた。

(4) 送電線路という分布回路を含む電力系統の過渡現象を計算するときに、系統の集中回路素子を近似的に分布回路で表わせば、計算をまったく算術化(微分方程式を解く必要がない)しうることを示した。

(5) 集中回路素子を分布化する方法と基準を示した。

(6) 分布化による誤差には、

(a) 正解の振動の振幅、周波数の変わり

(b) 集中回路の近似分布回路の往復反射に起因する付加的高周波振動

の2種あることを示し、それぞれの誤差の目安を与えた。

(7) Z 変換と固有値の手法を適用して、振動姿態をあきらかにしうることを示した。

参 考 文 献

- (1) 馬場・芝滝：電学誌，80 巻 1475 (昭 35)。
- (2) 馬場・芝滝：電学誌，81 巻 587 (昭 36)。

ファンシリーズの解説

長崎製作所 宮 内 貞 夫*

1. まえがき

通風機は容量、用途、取扱いガスの種類および温度駆動方法または使用条件などにより多くの形式に分れる上に技術の進歩によっても次々に新しい形式が生まれてくる。けれども工業上の多種多様の用途に対してもっとも適した通風機を選定できるように、標準形通風機の完全なシリーズを準備することが大切である。当社では発電所、鉱山、製鉄所、ソーダ工場、セメント工場、紡績工場、化学工場を始め一般建築物、車両船舶などに至る広範囲の用途に対し優秀な技術と多年の経験をもって多くの製品を送り出しているが、これにともなって標準形シリーズも多種類に上っている。そこでこれらシリーズの特長および用途を簡単に説明し当社通風機選定の参考にした。

2. 通風機の種類

現在当社で製作している通風機は市場で一般的に通風機またはファンと呼ばれるもので形記号とシリーズ番号をもって区別する。大略の容量は最大風圧 2,200 mmAq 以下、最大風量 30,000 m³/min 以下に限られる。通風機は羽根車形状によって分類するのが普通で、遠心形と軸流形に大別する。

2.1 遠心形通風機

(1) TV 形

ターボファン

(2) FA 形 4000 シリーズ 翼形通風機

(3) FA 形 2100 シリーズ 翼形通風機

(4) FA 形 2200 シリーズ 翼形通風機

(5) FE 形 8000 シリーズ 一般翼形通風機

(6) ID 形

ターボペーン形誘引通風機

(7) FG 形 9000 シリーズ

ターボペーン形誘引通風機

(8) FB 形 7000 シリーズ

プレート通風機

- (9) FM 形 2000 シリーズ 多翼形誘引通風機
- (10) FOL, FOM, FOH 形 オードナンス電動通風機
- (11) FS 形 100, 1000 シリーズ 一般多翼形通風機
- (12) FC 形 小形フロウ
- (13) FL 形 400, 500 シリーズ 一般用プレート通風機

表 2.1 通風機の比較

形 式	羽根形式	容 量			配 置	用 途	特 長
		風量 (m ³ /min)	風圧 (mmAq)	温度 (°C)			
TV	ターボペーン 板 羽 根	40 より 14,000 まで	560 まで	-29 より 480 まで	1 3 8	ボイラ押込用 鉱山主扇 一般換気 機器冷却 暖冷房	効率が非常に良い。 無過負荷特性をもつ。 騒音が小さい。 保守点検容易である。 ペーンコントロールがつく。
FA 4000 シリーズ	ターボペーン 翼形羽根	200 より 25,000 まで	1,150 まで	-29 より 480 まで	1 3 7 8	微粉炭噴射用	
FA 2100 シリーズ	ターボペーン 翼形羽根	170 より 1,420 まで	1,650 まで	-29 より 480 まで	1 8	高圧空気が押込用	
FA 2200 シリーズ	ターボペーン 翼形羽根	710 より 9,920 まで	1,140 より 2,290 まで	-29 より 480 まで	1 3 8	空気調和 一般換気 機器冷却 暖冷房	Vベルト駆動を標準とする。 効率が良い。 無過負荷特性をもつ。 騒音が小さい。ペーンコントロールがつく。
FE 8000 シリーズ	ターボペーン 翼形羽根	20 より 14,000 まで	6 より 250 まで	-29 より 180 まで	1 3	ボイラ誘引用 キルン // // 焼結炉 // // ガス再循環用	耐摩耗性がある。 ペーンコントロールがつく。
ID	ラジアルチップ 板 羽 根	500 より 19,000 まで	1,070 まで	-29 より 430 まで	1 3 8	ボイラ誘引用 キルン // // 焼結炉 // // ガス再循環用	耐摩耗性がある。 非常にがんじょうである。 物質の粘着が少ない。
FG 9000 シリーズ	ラジアルチップ 板 羽 根	1,000 より 30,000 まで	150 より 985 まで	-29 より 430 まで	1 3 8	ボイラ誘引用 キルン // //	効率が良い。 小形軽量である。 騒音が小さい。 低速である。
FB 7000 シリーズ	プレート 板 羽 根	300 より 14,000 まで	1,780 まで	-29 より 480 まで	1 3 8	ボイラ誘引 キルン誘引 機器冷却 換気	小形軽量である。 騒音が小さい。
FM 2000 シリーズ	シロッコ 板 羽 根	310 より 13,000 まで	76 より 750 まで	-29 より 430 まで	1 3 8	ボイラ誘引 キルン誘引 機器冷却 換気	小形軽量である。 騒音が小さい。
FOL FOM FOH	シロッコ 板 羽 根	1,700 まで	6 より 200 まで	-29 より 200 まで	1 8	鉱山扇 一般換気 機器冷却	小形軽量である。 騒音が小さい。
FS 100 シリーズ	シロッコ 板 羽 根	20 より 2,000 まで	5 より 150 まで	-29 より 65 まで	1 3	一般換気 空気調和 機器冷却	小形軽量である。 騒音が小さい。
FS 1000 シリーズ	板 羽 根	40 より 500 まで	5 より 75 まで	-29 より 65 まで	3	ユニテヤ 一般換気	効率が良い。
FC	プレート 板 羽 根	50 まで	50 より 600 まで	-29 より 100 まで	1 4	一般換気	小形である。 小風量で高風圧に適合する
FL 400 シリーズ	ターボペーン 板 羽 根	20 より 1,400 まで	25 より 460 まで	-29 より 480 まで	1 4 8 9	一般換気 流体輸送 集じん装置	効率が良い。
FL 500 シリーズ	プレート 板 羽 根	350 まで	25 より 360 まで	-29 より 180 まで	1 4 8	一般換気 流体輸送 集じん装置	がんじょうである。 小形である。
FR	プレート 板 羽 根	150 まで	350 より 2,200 まで	-29 より 100 まで	1 4	ガス圧送用 乾燥用 流体輸送	小形軽量である。 抵抗変化で風量が変わらない。
FP	軸 流 翼形羽根	100 より 1,000 まで	10 より 75 まで	-29 より 65 まで		一般換気 空気調和 乾燥用	小形軽量である。 効率が良い。 逆転可能。
FH 8200 シリーズ	ターボペーン 翼形羽根	130 より 1,400 まで	6 より 150 まで	-29 より 65 まで	1 9	暖冷房	効率が良い。 騒音が小さい。 高風圧を出す。

技術解説

(14) FR 形

遠心圧縮機

2.2 軸流形通風機

(1) FP 形

軸流通風機

(2) FH 形 8200 シリーズ

翼形通風機

これらの容量、用途、特長、配置などについては表 2.1 に記した。

このうち シリーズ番号 のないものは昭和 32 年以前の形式で、その後の製品には全部 シリーズ番号 がついている。各シリーズの下 2 ケタ または 下 3 ケタ は概略扇車直径 (in) を表わす。形番が大きさを表わすものでは、

FC 形 上 2 ケタ が扇車直径 (cm)

FR 形 " " (in)

FP 形 扇車直径 (cm)

がある。また市場で番手と称する大きさは、1 番が 6 in なのでこれらの扇車直径を 6 で割れば換算できる。

3. 構造の説明

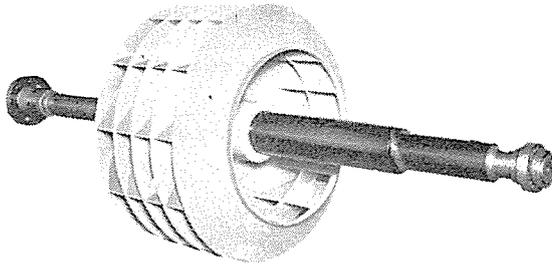


図 3.1 TV 形扇車

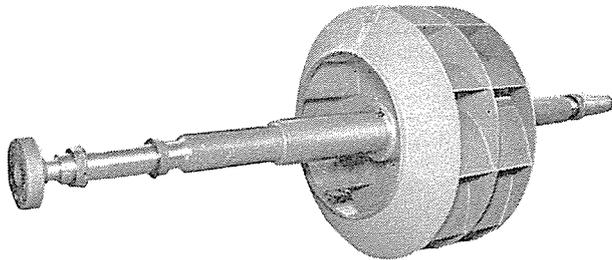


図 3.2 FA 4000 扇車

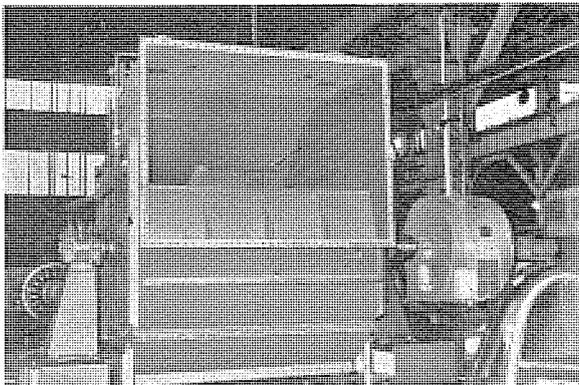


図 3.3 FA 形

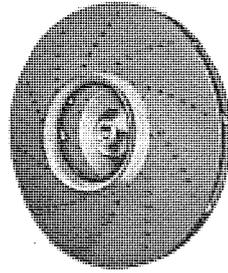


図 3.4 FA 2100 扇車

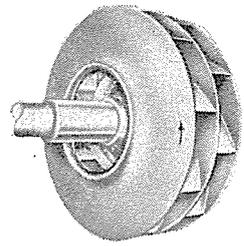


図 3.5 FA 2200 扇車

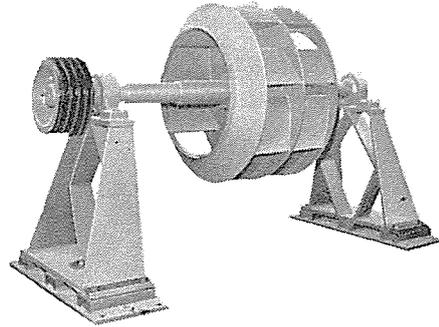


図 3.6 FE 形扇車

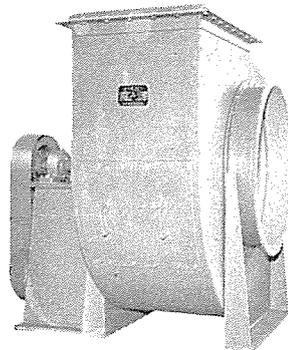


図 3.7 FE 形

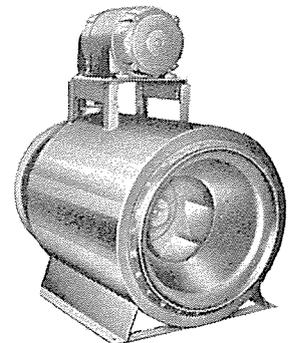


図 3.8 FH 形

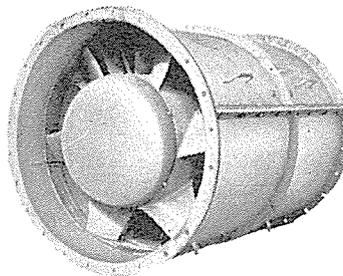


図 3.9 FP 形

TV 形は直線状の後向羽根をもつ旧形で効率、騒音の点から大部分流線形の後向羽根をもつ翼形通風機 FA 形、FE 形、FH 形に変わった。FA 4000 シリーズは大風量用、2100 と 2200 シリーズは小風量でより高風圧用に使う。FE 8000 シリーズは一般用として使うために V ベルト駆動を標準としている。FH 8200 シリーズは FE 形扇車を円筒形ケーシングに内装した新形式でダクトの途中に装入することができるので据付面積が非常に小さく、FP 形で発生できないほどの高風圧を必要とする高速ダクト用として適している。

ID 形、FG 形はラジアルチップの羽根をもつので摩擦が少なく比較的大風量に適している。ID 形片吸込には特殊構造の扇車

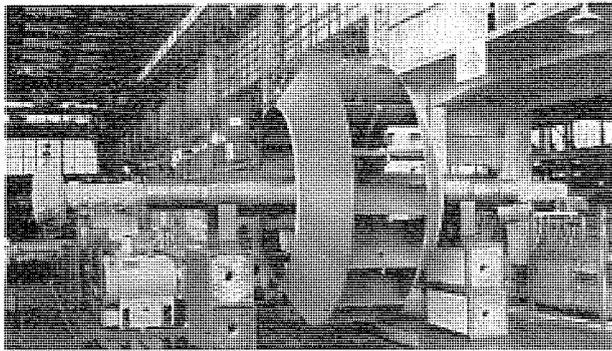


図 3.10 ID 形扇車 (両吸込)

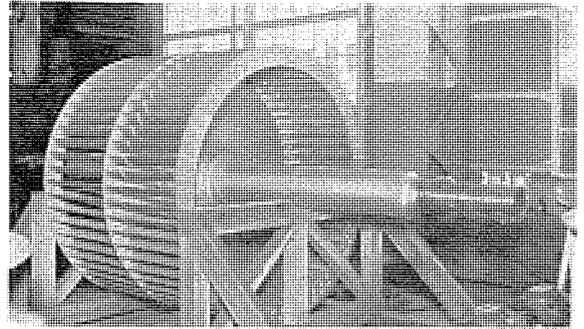


図 3.15 FM 形扇車

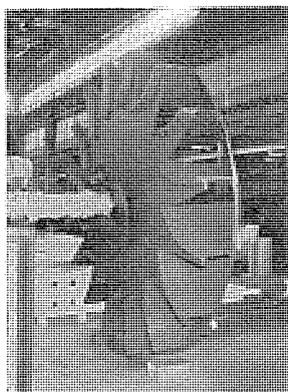


図 3.11 ID 形扇車 (片吸込)

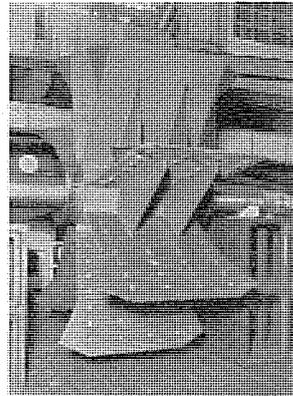


図 3.13 FB 形扇車

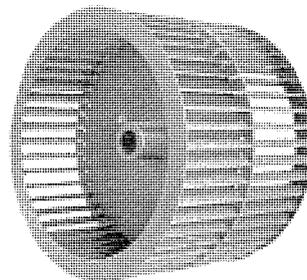


図 3.16 FS 1000 扇車

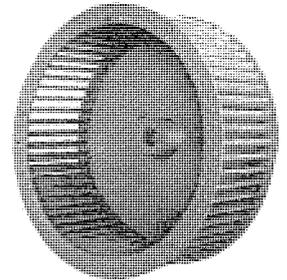


図 3.17 FS 100 扇車

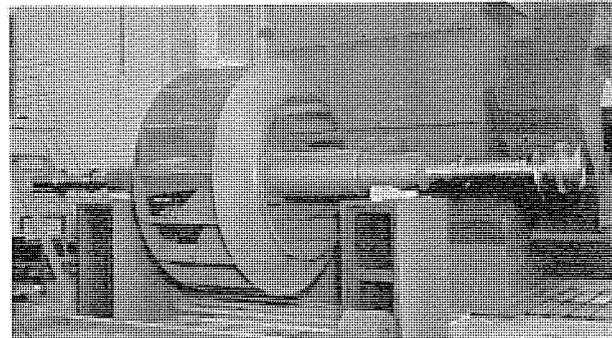


図 3.12 FG 形扇車

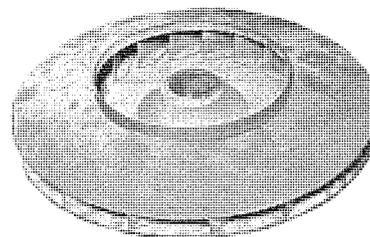


図 3.18 FC 形扇車

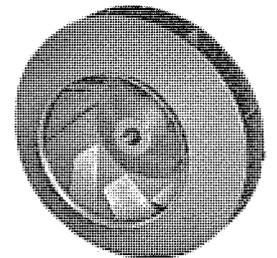


図 3.19 FL 400 扇車

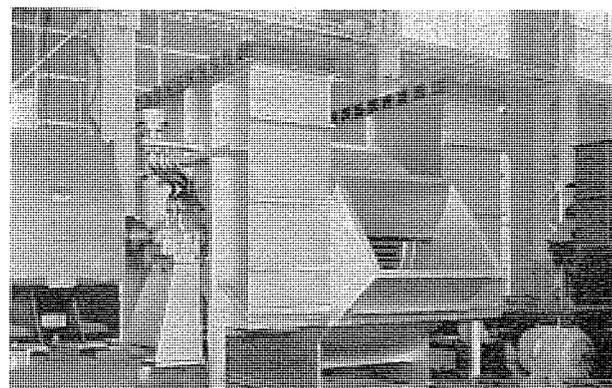


図 3.14 FM 形

があって羽根と主板が溶接されている。これは高温でダスト量が多く温度変化のはげしい場所に使う。

FM 形は前向羽根をもつので比較的効率がよく大風量に適している。

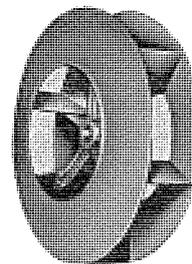


図 3.20 FL 500 扇車

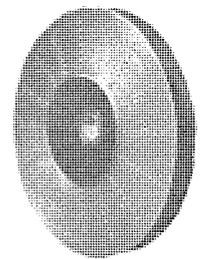


図 3.21 FR 形扇車

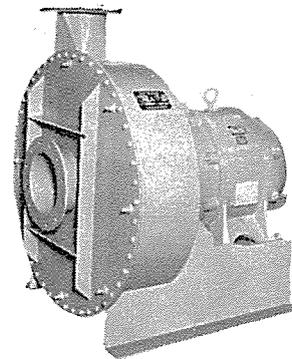


図 3.22 FR 形

FB 形は半径方向の長い羽根をもち摩耗、温度変化に対しても

技術解説

つともがんじょうであって風量は FM 形ほど多くなくて高風圧の場所に使える。

一般通風機のうちで FO 形および FS 形は前向羽根で小形軽量になり小容量の換気用として用いられる。

工業用通風機には FC 形、FL 形、FR 形があっていずれも片吸込だけに使用する。FC 形は従来小形ブロウと呼ばれたもので旧設計の後向羽根のものと新設計の径向羽根のものがあるが漸次 FL 形に統一したいと考えている。

FL 500 シリーズは径向羽根で小風量の場所に、FL 400 シリーズは後向羽根をもちやや風量の多い場所に使う。

FR 形は遠心圧縮機で径向羽根をもち高速回転のためにいち

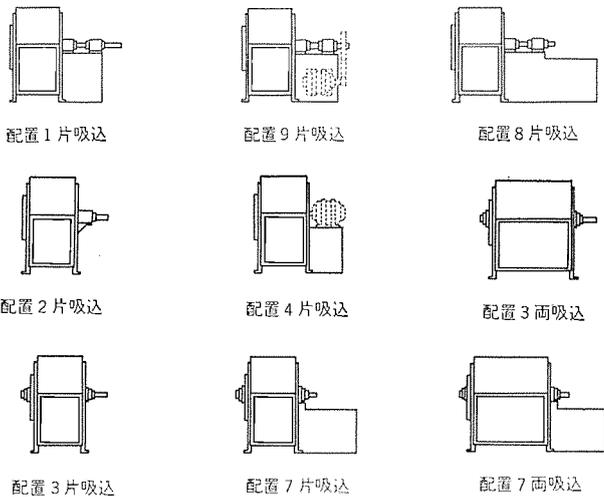


図 4.1 通風機の配置

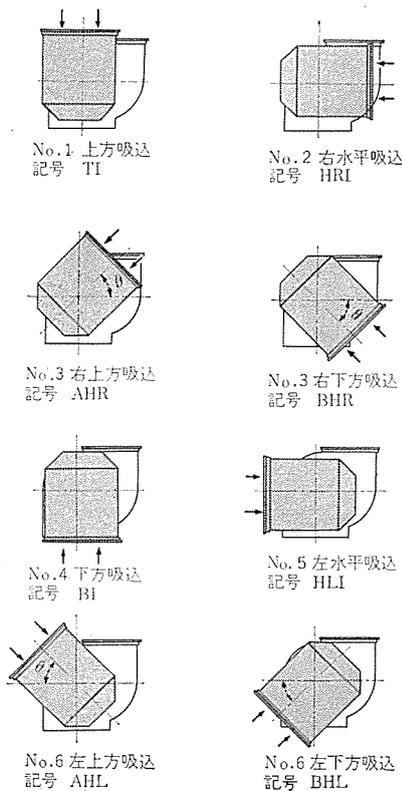


図 4.2 吸込方向の指示

ばん高風圧を出すことができる。

4. 通風機の配置および級番

4.1 配置

軸受および電動機の位置による形式の分類を配置といい次の7種がある。

(1) 配置1 一つの台床上に二つの軸受があり、片吸込扇車を片持構造にしたもの。

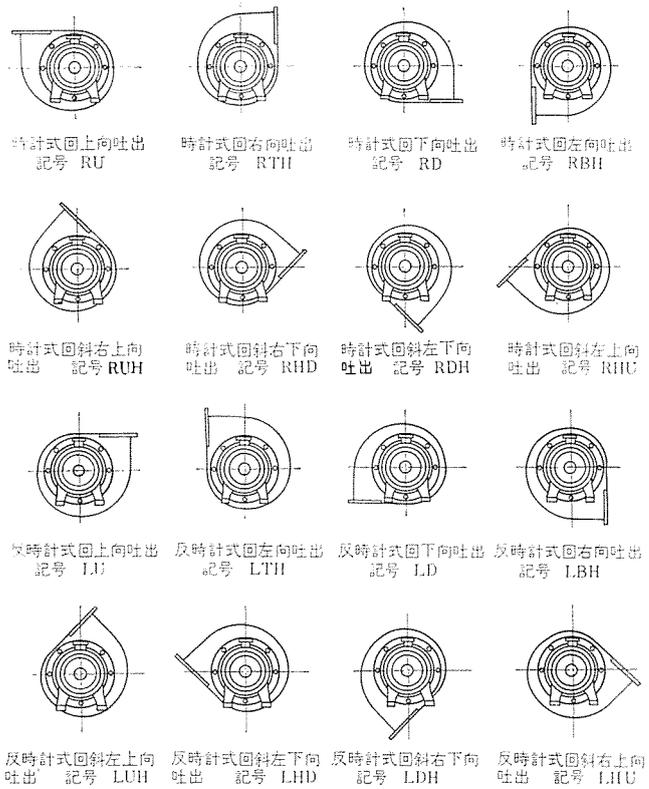


図 4.3 回転方向および吐出口の位置

表 4.1 級番と周速の関係

級番	周速 (m/sec)		TV FA	FE FH	ID	FG	FB	FS FM	FL
	風圧 (mmAq)								
a	150 200	より まで		61				31	
b	220 270	"	66	73	58	61		40	61
c	330 380	"	81	92	66	71		46	76
d	530 580	"	102	109	81	84		61	
e	640 690	"	117			97		69	
f	830 880	"	132		102	107			
g	1,100 1,200	"	153		117		109		
h	1,600 1,700	"	178						
i	1,800 1,900	"	191				148		
j	2,000 以上								

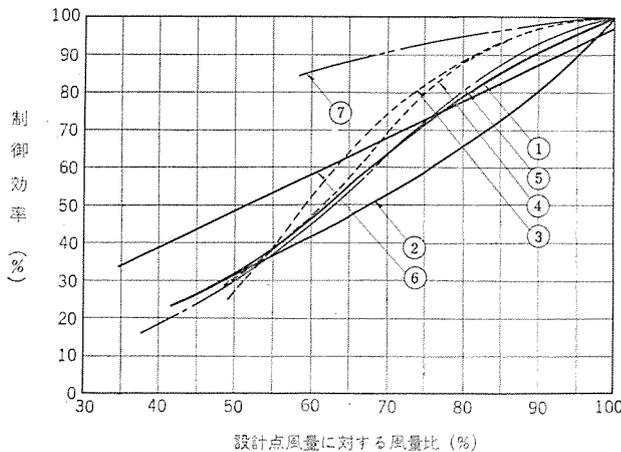
- (2) 配置2 ケーシング片側に二つの軸受があり片吸込扇車を片持構造にしたもの。
 - (3) 配置3 ケーシング両側に軸受があるもの。
 - (4) 配置4 一つの台床上に電動機がありその軸端に片吸込扇車を片持構造にしたもの。
 - (5) 配置7 配置3において一つの電動機台床を付属するもの。
 - (6) 配置8 配置1において台床上に電動機をおくもの。
 - (7) 配置9 配置1において台床側面に電動機をおくもの。
- 配置に関連して吐出方向、吸込方向の指示を図4.1, 4.2のように行なう。

4.2 級 番

発生風圧（したがって扇車周速）による分類を級番といい10種類に分類する。風圧と周速の関係は羽根車形状によって変わるので概略値を表4.1に示した。

5. 通風機のえらび方

通風機は一般的に鋼板をいろいろ加工成形し、ピョウ締め、ボルト締め または溶接作業を行なうため相当の治工具を必要とし、よほど大容量とか多量生産でないとは様に合わせて品物を作る



$$\text{制御効率} = \frac{\text{使用点の効率}}{\text{設計点の効率}}$$

- | | |
|----------------|-------------|
| 1. TV 形ターボファン | ベーンコントロール |
| 2. TV 形ターボファン | 出口ダンパコントロール |
| 3. ID 形ターボファン | ベーンコントロール |
| 4. ID 形ターボファン | 入口ダンパコントロール |
| 5. FM 形シロッコファン | 入口ダンパコントロール |
| 6. 液体継手 | |
| 7. FP 形プロペラファン | 可変ピッチ |

図 5.1 各種風量制御方法の制御効率比較

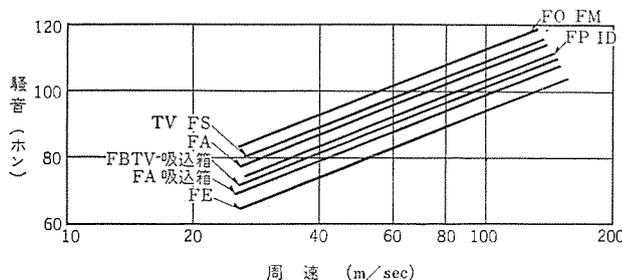


図 5.2 騒音と周速

すなわち オーダメイド にするわけに行かない。したがって既定のシリーズの中から適当なものをえらんでくるということになる。

通風機の選定条件としては通風設備の重要度、値段、容量、取扱いガスの種類、使用温度、駆動方法、使用条件、用途などがある。

5.1 通風設備の重要度

通風設備が製品品質、生産量または作業能率などに及ぼす影響の大小をいい通風機性能の良否、経年変化、故障の有無、修理点検の難易、予備品の種類、台数などに関係がある。

5.2 値段

設備全体の寿命、原価償却を考慮した設備費、保守運転費の合計をいい通風機性能、形番、重量などに関係がある。通風機の値段はシリーズの種類、形番、級番、配置などで変わるほかに分割方法、吸込箱の有無、風量制御方法、フィルタその他の付属設備によっても変わる。一般の会社、銀行、病院、学校、官公庁、の建物などでは通風設備の寿命も相当長くなければいけないので設備費に比べ保守運転費が大きくなる。したがってこのような場所では効率のよいものが望ましく低速ダクトを用い低風圧の通風機をえらぶ。これに反して一般工業用では寿命はそれほど長くないことが多いので設備費が重要になる。この場合には高速ダクトを用い高風圧で小形の通風機をえらぶと据付面積も小さく設備費も少なくすることができる。

5.3 容量

通風機の容量は用途、設置場所、ダクトの大きさなどから決められる。

5.4 取扱いガスの種類

通風機の中を通る気体に腐食性、爆発性があったり摩耗性または粘着性のダクトを含む場合には通風機材質、扇車形状に注意しなければならない。

5.5 使用温度

気体温度および周囲温度が常温でない場合には扇車材質、軸封装置、軸受冷却方法などが変わる。

5.6 駆動方法

容量が大きい場合 V ベルト駆動 とすることはむずかしいので大体 100 kW を限度として直結に変える。

5.7 使用条件

起動停止の回数、保守点検の度合、風量制御の方法、並列運転の有無、設置場所およびその大きさ、搬入口の大きさ、騒音の制限、電源容量などいろいろの特殊条件を考慮する。

5.8 用途

給気用か排気用かで吸込口にダクトを設けたり吸込箱を設けたりする。

5.9 シリーズの選定

各シリーズの非常に大まかな決め方を次に述べる。通風機の特性を効率、騒音、高温度、温度変化、耐摩耗性、外形寸法の六つで表わすと大容量用と一般用、工業用のおのおのについてその順位は表 5.2 のようになる。

5.10 形番の選定

FE 形, FH 形, FOL, M, H 形には容量表ができていて、このうちから形番をえらぶにはまず風量、風圧欄のいちばん右上のランクに近いものを見つける。このときの軸馬力に10ないし15%の余裕をとって電動機の標準定格表から電動機をえ

技術解説

表 5.1 用途早見表

形式 用途	一般用					工業用					大容量用					
	FE 8000	FO	FS 100 1000	FP	FH 8200	FC	FL 400 500	FR	TV	FA 4000	2100	2200	ID	FG 9000	FB 7000	FM 2000
暖冷房及び換気	A	A	A	A	A		B		A	A						A
暖冷房、換気	A	A	A	A	A		B		A	A						A
生産工程																
排気	A	A	A	A	A		A		B	B						
機器冷却	A	A	A	A	A		A	A	B	B						B
集じん装置	B	B	B	B	B		A		B	B			A	A	A	
流体輸送						A	A	A	B	B	A	A	B	B	B	
臭気および蒸気の排気	A	A	A	B	B	A	A	B	A	A			A	A		A
乾燥用	A	A	A	B	B	A	A	B	B	B			B	B		
高温用						A		A	A	A	A	A	A	A	A	A
機械通風																
押込通気	B							B	A	A	A	A				
誘引通気																
ガス再循環	B					B		B	B			A	A	A	A	
空気調和																
生産工程	A	A	A	A	A											
事務所	A	A	A	A	A											
空気清浄																
一般用	A	A	A	A	A		B									
生産工程	A	A	A	A	A		B									

A 適当 B 使用可能

らぶ。余裕が多いときは通風機形番をできるだけ小さくなるように変えてみるとよい。据付場所、値段、騒音値などの特殊条件があるときはその条件から適当な形番が決まることもある。大形通風機で電動機に直結する場合には選択しうる回転数が少

表 5.2 通風機特性の比較

形式 特長	一般用					工業用			大容量用							
	FE 8000	FO	FS 100 1000	FP	FH 8200	FC	FL 400 500	FR	TV	FA 4000	2100	2200	ID	FG 9000	FB 7000	FM 2000
効率大	1	4	4	2	2	5	3	5	2	1	1	1	5	4	6	3
騒音小	1	3	4	8	2	6	5	7	2	1	1	1	3	3	5	4
高温に耐える	3	4	4	6	6	2	1	5	5	4	3	2	6	7	1	8
温度変化に耐える	3	4	4	5	5	2	1	6	5	4	7	8	2	3	1	6
耐摩耗性大	4	3	3	5	4	2	1	5	5	6	7	8	2	3	1	4
外形寸法が小さい	8	3	2	1	7	6	5	4	5	6	7	8	4	3	2	1

ないので客先で回転数の指定を行なわないほうが望ましい。

6. むすび

通風機は羽根車形状で大略の特性が決まるので与えられた仕様に適当な形式は大体決まってくる。たとえば燃焼空気の押込用には効率がよく高風圧を出す翼形通風機を使い、燃焼ガスを吸出する誘引用には耐摩耗性のあるラジアルチップとか耐摩耗性はややおとるが効率のよい多翼形通風機を使うなどである。したがってシリーズとか形番の選定よりはむしろ通風設備の設計のほうが問題になることが多いのではないかと考える。どのような用途にしても年々効率がよく使いやすい通風機シリーズを準備し製作するためにわれわれは今後よりいっそう努力して行きたいと考える。

最近登録された当社の実用新案

区別	名称	登録日	登録番号	発明考案者	関係場所
新案	ドラム形磁気選別機	36-9-28	552547	河合登・高島秀二 加藤庸夫・柳下儀兵衛	大船
"	冷凍装置の凝縮器	36-9-28	552548	石川嘉孝	静岡岡
"	蛍光灯安定器	36-9-28	552549	山下源一郎・東昇	大船
"	磁気選別機の電磁石	36-9-28	552550	加藤庸夫	大船
"	光天井に於ける透光板支持装置	36-9-28	552551	船田淳三	大船
"	開閉扉の錠止装置	36-9-28	552552	木下忠男・海野賢 織田隆嗣	静岡岡
"	開閉扉の錠止装置	36-9-28	552553	加藤庸夫・柳下儀兵衛	大船
"	開閉扉の錠止装置	36-9-28	552554	河合登	大船
"	電気車の弱め界磁装置	36-9-28	552631	北岡隆・長井成吉	伊丹
"	電子管用傍熱型陰極	36-10-10	553336	山下博典	研究所
"	磁気増幅器を用いた自動制御回路の乱調防止装置	36-10-10	553479	阪上茂	伊丹
"	排気用扇風機	36-10-10	553273	入江淳三	中津川
"	扇風機	36-10-12	553695	吉村広・市岡洋	中津川
"	扇風機羽根車	36-10-12	553696	柘植恵	中津川
"	冷房機	36-10-12	553697	河合照男	静岡岡

原子炉の計測制御 (3)

研究所 八島 英之*

8. 原子炉のプロセス計測

前節までに原子炉の核計装について述べたが、原子炉を運転する場合に必要な情報は中性子束レベルやその変化率だけでは不十分で、炉内各点の温度、圧力、冷却材の流量、液位などいわゆるプロセス変数の値を知らなければならない。これらのプロセス変数は一般の化学工場や火力発電所などで計測制御の対象になっているもので、その測定器も在来から使われているものと原理的に異なったものではない。しかし、高温高压の場所で使用されるものでは完全に漏れのない構造にすることが必要で、また高いレベルの放射線にさらされるものに対しては材質や構造に特別な工夫が要求されている。

実際の動力用原子炉プラントでは、どのようなプロセス計測器が使われているかを示したものが図8.1で、ここでは加圧水形原子炉の一次系を例にとりあげている。これらのプロセス計測器の二、三の代表的な例について以下に説明しよう。

8.1 温度計

原子炉で使われる温度計には一般の温度計と同じく、抵抗温度計と熱電対温度計とがある。後で述べるように動力用原子炉

では炉内の温度情報だけで運転の制御を行なう場合があるので温度計の役割は重要で、とくに高い信頼度と早い応答性が要求される。原子炉内で使用する場合に問題になる点は、中性子による素子の誘導放射能および放射線による損傷である。

(1) 抵抗温度計

ここであげる抵抗温度計の一例は図8.2のような構造をもっている。これは潜水艦用原子炉の温度計として開発されたもの(G.E.製)で、感温素子にはタングステン線を使用している。タングステン線を選んだ理由は、これが白金線のように加工成形する

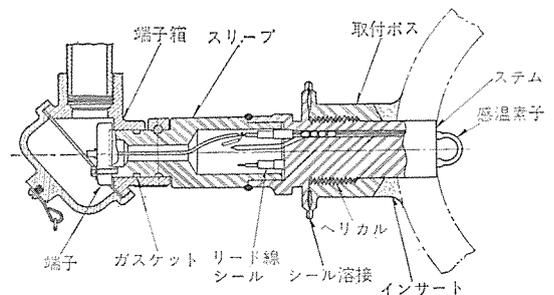


図 8.2 抵抗温度計

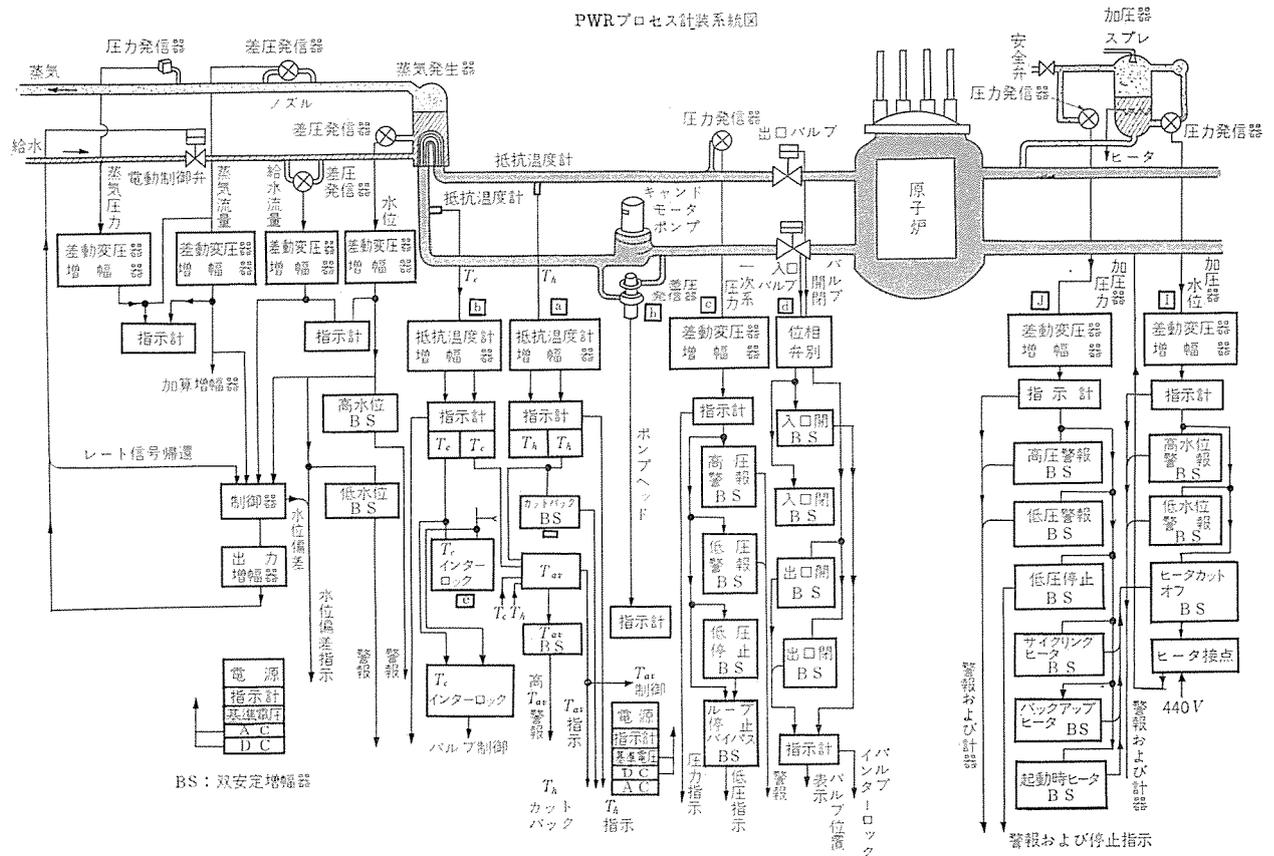


図 8.1 PWR のプロセス計装

注： 原子炉の計測制御 (1) は本誌 Vol. 33 No. 7, (2) は Vol. 34 No. 8 の技術解説欄をご参照願います。

際のヒズミによる特性変化が少なく、抵抗値や温度計数を細かく調整できる点にある。タングステン線はマイカ片に巻き、これを不銹鋼の偏平管に入れ、U字形にまげる。この不銹鋼管が保護管となる。素子はステムに溶接し、これを一次冷却材配管の側壁にヘリカルインサートを用いてねじ込み、シール溶接する。以上のような構造であるから、温度測定の時定数は表 8.1 の仕様に示すように非常に小さい。この抵抗温度計がγ線や中性子の照射をうけた場合の影響をしらべるために、Brookharvenの実験炉で 40 時間（実際の使用状態での 40,000 時間に相当）照射した結果を表 8.2 に示してあるが、これをみると放射線による影響はほとんどないものと考えられる。

他の実験例として MTR でしらべたものがあるが、ここでも高温下、高い照射をうけても性能の低下は認められなかった。

(2) 熱電対温度計

上にあげた例は原子炉冷却材の配管にとりつけられ一次系の温度を測るものであるが、原子炉の炉心内にも多数の温度計素子がとりつけられて測温している例が多い。

原子力発電株式会社の第 1 号炉（黒鉛減速形）では、約 240 個の熱電対が配置されている。この素子はアルメル・クロメル (AC) を使用、マグネシウムで絶縁され、不銹鋼の保護管にはいる。これらの温度計の役割は燃料要素の温度測定、減速材の黒鉛のウイグナ・エネルギーの蓄積の監視である。その出力は選択スイッチで走査され、多点記録計あるいはアナログ・デジタル変換器を通した後、数字で記録されるようになっている。

(3) 温度計の使用実績

これらの原子炉用温度計が実際の動力用原子炉でどのような運転実績をもっているかを述べよう。

放射線レベルの低い主冷却材配管にとりつけられている温度計は満足な稼動状態を示しており、あまり問題はないようである。問題になるのは炉心内にとりつけられる温度計である。

Shippingport PWR の炉内温度の測定ではクロメル P-アルメルの熱電対を使用し、304

表 8.1 原子炉用抵抗温度計仕様

感温素子	タングステン線
保護管	U字形不銹鋼偏平管
測定範囲	10~700°F (直線性からのずれ 1/4°F)
時定数	0.4 秒 (冷却材流速 30 ft/sec) } 63% 応答 0.6 秒 (冷却材流速 5 ft/sec) }
自己発熱	熱放散 1 W で 1.7°F } 熱放散 0.1 W で 0.2°F } (流速 15 ft/sec)
耐 圧	5,000 psi

表 8.2 放射線照射結果

[Brookharven の実験炉にて 40 時間 (40,000 時間の使用状況に対応)]

	温 度 (°C)	変 化	
		平 均	最 大
被照射素子 (9 個)	0	+0.004	-0.05
	100	-0.002	-0.03
対 照 (12 個)	0	+0.001	-0.06
データの最大偏差			±0.04

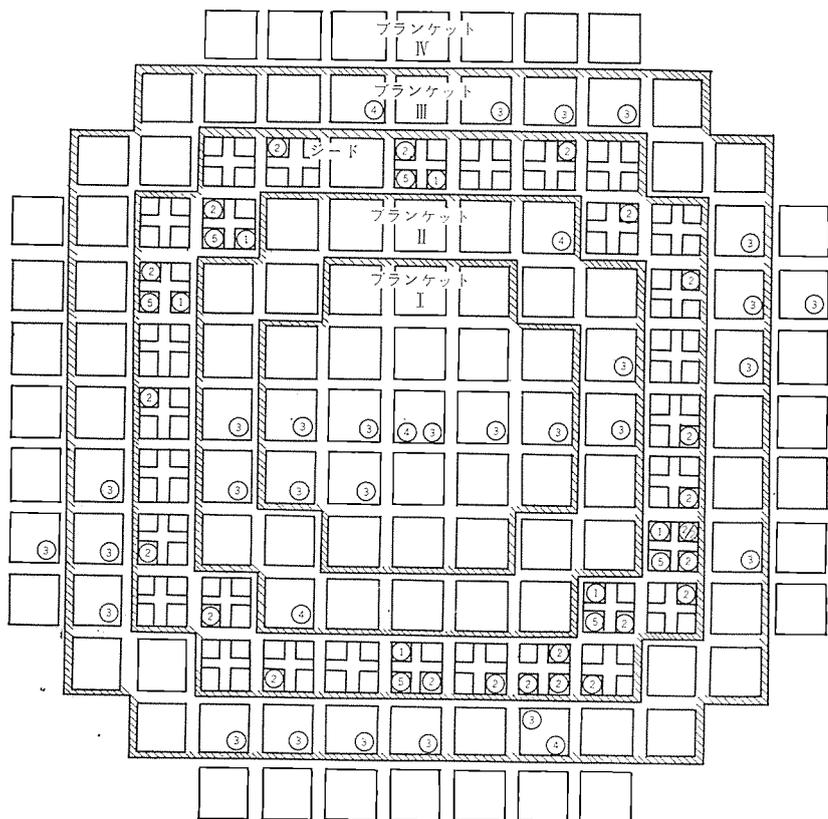
不銹鋼保護管に ZrO₂ を絶縁物として充填した。Shippingport PWR の炉心はよく知られているように、高い濃縮度のウランを使ったシード部と天然ウランから成るブランケット部から構成されているが、熱電対はシード、ブランケットの各部に図 8.3 のように配置して測定した。較正は 500 ないし 1,000 時間ごとに行なっている。1 年間の運転の結果相当多数の故障を生じ、とくにシード部にそう入した熱電対はほとんど破損する結果になった。この原因はすべてが素子への放射線の影響と断定することはむずかしいようであるが、破損した保護管をしらべると 304 不銹鋼の結晶粒の間に炭化物が析出してもろくなっていることがわかった。その後、材質を 347 不銹鋼に変更して温度計の事故は急減している。

この後 Yankee PWR が建設されたが、ここで使用されている計測器はこれらの経験を生かして改良され、故障なく作動していることが報告されている。たとえば、炉内出力分布（中性子束分布）を測るために冷却材の出口に設けられた 27 本の熱電対温度計の作動は満足すべきもので、その誤差は±2°F とみられている。

8.2 圧力計および差圧計

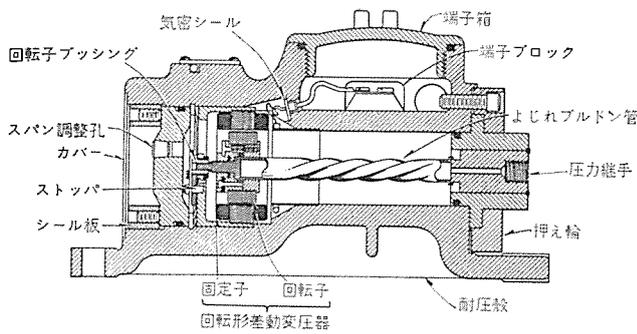
(1) 圧力計

原子炉用の圧力検出素子としては普通のプロセス計装と同様にバルブ管またはベローズが使用される。その材質には一次冷却材による腐食を防ぐために不銹鋼が用いられ、また隔膜による腐食防止法がとられている。



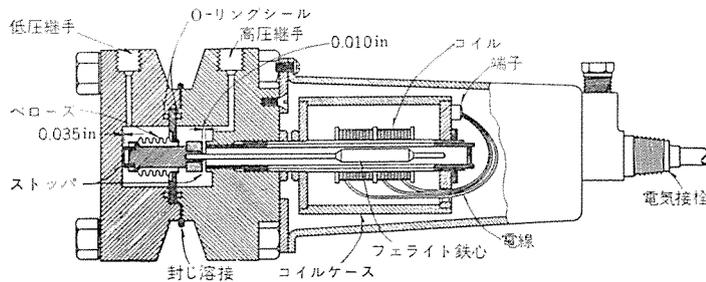
① シード燃料板温度計 ② シード出口水温 ③ ブランケット出口水温
④ ブランケット入口水温 ⑤ シード入口水温

図 8.3 PWR の炉心と温度計配置



仕様 圧力範囲 0~2,500 psig 試験圧力 5,000 psig 出力 0~8.5 V 精度±1% 周囲温度 200°F

図 8.4 ねじれブルドン管形圧力計



仕様 差圧範囲 0~50 psi~125 psi 精度 3% 試験圧力 6,000 psi

図 8.5 差圧計

図 8.4 は圧力検出器の一例 (Norwood Control 製) で、ねじれ形のブルドン管を使用し、その先端には差動変圧器の鉄心ととりつけられている。圧力によるブルドン管のねじれ角の変化を差動変圧器の出力として取出す。この形のブルドン管は高い過大圧力に対してじょうぶであり形がコンパクトに設計され、原子炉計測器として必要な条件のドレン抜きが容易であるという特長をもっている。すなわち、原子炉によっては冷却減速材が高い放射性物質を含んでいることがあるので、保守や修理の際に容易にドレンを抜くことができることが要求されている。外部の耐圧殻はブルドン管が破損したときの保護の役目をするものである。

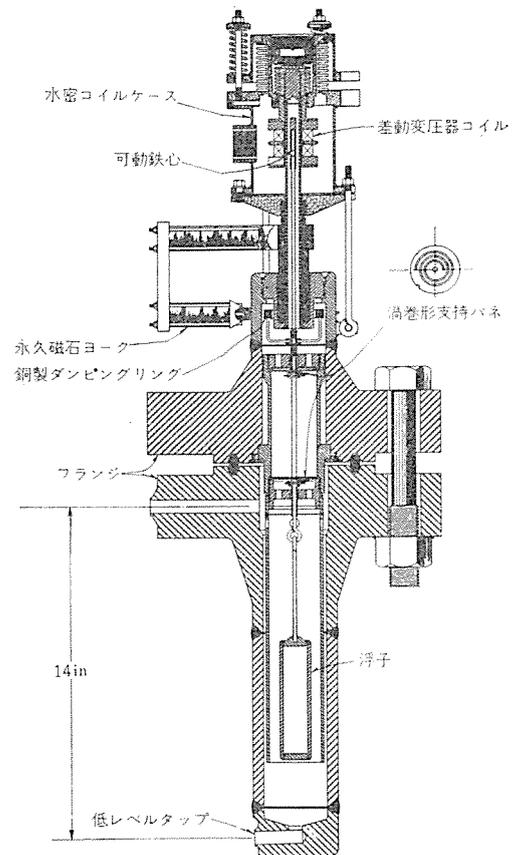
(2) 差圧計

原子炉の冷却材の流量の測定には流路に設けられたオリフィスあるいはベンチュリの両側の圧力差を差圧計で測り、算定することができる。また液位の測定も水頭の値を差圧計で測れば求められる。このような測定法には必ず差圧計が必要である。

図 8.5 はこれらに使われる差圧計 (d/p cell) の一例 (Foxboro Instrument Co.) である。圧力検出にはベローズを使用し、差圧によるベローズの変位を差動変圧器の鉄心の変位に変え、電気的出力として取出す。差動変圧器の鉄心は非磁性合金の耐圧トウ管の中にあり、コイルがその外側に巻かれている。この検出器の耐圧は 4,000 psi に設計され、差圧の範囲は 50~125 psi である。さらに小さい差圧を測るにはダイヤフラムを使用することが多い。

(3) 液位計

原子炉計の液位計には浮子形の液位検出器も作られている。図 8.6 はその一例で Oak Ridge National Laboratory で開発されたもので、使用圧力 2,000 psi (試験圧力 3,750 psi)、液位の範囲 0~5 in (H₂O) である。液位の測定範囲は浮子の大きさを



範囲 0~5 in H₂O 使用圧力 2,000 psi

図 8.6 液位計

変えることによって変更することができる。使用温度は 300°C まで可能である。差動変圧器からの出力信号は 1,000 c/s AC で 0~20 mV/V である。浮子の振動の減衰には磁気的ダンパ (外部に永久磁石を設け、浮子の軸には銅のダンピング・リングととりつけたもの) を使用する。この種の液位計で問題になるのは測定対象の液体の比重および浮子を支持するパネの弾性係数が温度によって変わることである。この補正は手動または自動的に行なわれるようになっている。

以上に説明した差圧計や液位計の信号のとり出しは差動変圧器によっているが、普通のプロセス計測器と同様に検出素子の変位を伝達レバーの変位として外部にとり出し、力平衡形変換器を介して電気信号または空気信号として伝送する場合もある。この方式では高圧の系内からレバーの変位を外部へとり出す部分のシール機構が必要になる。

(4) 原子炉用流量計の実績

Shippingport PWR の炉心内流量を測るために、フローノズルあるいはベンチュリと差圧計を組合せ、シールド部に 16 個、ブランケット部に 20 個とつけて働かせた。その結果は表 8.3 に示してある。主冷却系の 3 ループ運転の場合と 4 ループ運転の場合についてそれぞれ計算値と実測値とを比較してあるが、同じブランケット部の測定でもフローノズルのほうが誤差が多いようである。これは水力学的な原因によるものと考えられており、差圧発生時のしぼり機構さえ適当なものを設計すれば、この種の流量計で十分正確に炉心内の流量の測定ができるものと結論することができる。

表 8.3 流量測定結果

領域	流量計		3 ループ運転			4 ループ運転		
	型	数	流量 (lb/h×10 ⁴)	計算値 (%)	測定値 (%)	流量 (lb/h×10 ⁴)	計算値 (%)	測定値 (%)
ブランケット I	Nozzle	3	8.32	80	73.0	10.53	100	90.2
	Venturi	2	8.32	80	80.2	10.53	100	102.3
	II Venturi	4	17.17	80	81.9	21.74	100	101.3
	III Venturi	9	15.96	80	82.2	22.20	100	102.2
シ - F	IV Nozzle	2	6.13	80	74.5	7.76	100	93.5
	Venturi	16	25.65	80	80.3 ±1.09	32.40	100	100.0 ±0.91
ブランケット平均値 (Venturi だけ)					81.5 ±2.7			102.2 ±1.7

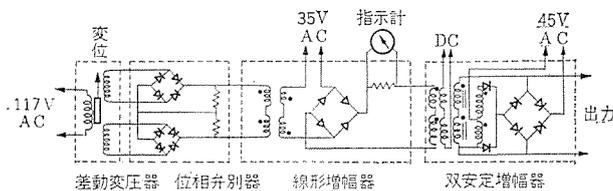


図 8.7 増幅回路

8.3 計測用回路

これらの検出器から得られた信号を増幅し変換する回路ではその信頼度を高めるために、回路素子には真空管に代わって磁気増幅器や半導体素子が、また継電器には磁気素子を用いた無接点式継電器が多く使用されるのが最近の一般的傾向である。図 8.7 は磁気増幅器を使った回路の例で、差動変圧器からの信号（交流）は位相弁別器で直流に変換され、つぎの線形増幅器で増幅される。この出力は指示計、記録計にはいるか、あるいは双安定形磁気増幅器の制御巻線に加えられて制御動作を行なう。双安定形磁気増幅器の特性は図 8.8 に示すように、リレーと同じような特性を示す。したがって、その出力で普通のリレーと同様に外部回路を制御することができる。

トランジスタは真空管に比べて種々のすぐれた特長をもっているが、まだ素子の特性が不安定で一つ一つの素子のバラツキが存在すること、温度依存性が大きいこと、雑音レベルが高いことなどで原子炉計装用としては信頼度の点で不十分であるようである。しかし今後の技術的改良によってトランジスタが原子炉計装回路にひろく使用されることは期待してよいであろう。

9. 反応度の制御方法

原子炉の反応度変化には、負荷や炉の冷却材の流量や温度のようなパラメータの変化に伴う短時間の変動と、燃料の燃焼や X_e の濃度変化による長期の変動とが存在する。原子炉の出力の調整には PWR のような例では反応度の負の温度係数が大きいので自己制御性が強く、正常の運転では反応度を外部から制御する必要はないが、負の温度係数が小さい炉では出力変化の際にある程度の反応度の制御が必要になる。また非常に大きな出力変化や長期的な反応度変化に対しては、どうしても外部からの操作で反応度を制御しなければならない。反応度の調整法にはつぎのような種類がある。

- (a) 制御棒を炉内に出し入れする方法。
- (b) 減速材の量を加減する方法。
- (c) 減速材中にポロンのような中性子を吸収する物質を溶解

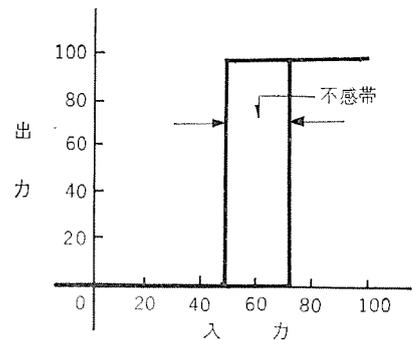


図 8.8 双安定磁気増幅器の特性

する方法。(Liquid Poison)

- (d) 長時間にわたる反応度の低下を補償する (Shimming) ために、ポロンのような中性子を吸収しながら消失してゆく物質を加える方法。(Burnable Poison)
- (e) 中性子スペクトルの形の変移により反応度を制御する方法。(Neutron Spectral Shift Control)

これらの諸方法のうちで、もっともひろく採られている方法は制御棒を操作する方法である。制御棒の駆動方式には、

- (a) 鋼索によりつり下げ、索を巻胴に巻いて上下するもの。(例：英国の黒鉛減速ガス冷却形動力炉)
- (b) ラック・ピニオンまたは送りネジとナットによるもの。(例：各種の実験用原子炉で実施)
- (c) 磁気的なつかみと駆動機構によるもの——磁気ジャック。(例：Yankee PWR)
- (d) 水圧機構によるもの。(例：Dresden BWR)

などがある。反応度制御機構の二、三の例について構造と動作を説明しよう。

9.1 制御棒駆動機構

(1) 磁気ジャック

図 9.1 は Yankee PWR で使用されている磁気ジャックで、原子炉内部の高圧高温部と外部からの操作機構は耐圧殻によって完全に密閉構造に作られ、制御棒操作はこの非磁性（インコー

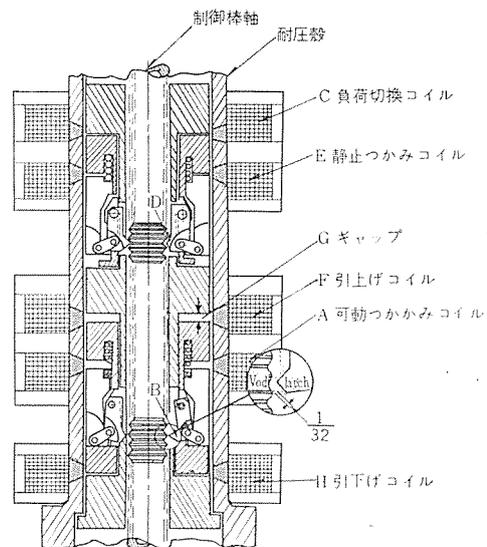


図 9.1 磁気ジャック

ね) の耐圧殻を通して磁気的に行なわれる。運転条件として 2,500 psi 600°F に耐えるように計測されている。

耐圧殻の外には 5 個の操作コイル、すなわち、静止つかみ、負荷切換え、引上げ、可動つかみ、引下げのコイルがあり、これらが正しい順序で励磁されると制御棒は上下する。その動作を説明すると、

- (a) 静止つかみおよび負荷切換えが励磁された状態で 1 サイクルが始まると仮定する。コイル A を励磁するとラッチの腕 B が駆動棒のノッチとかみ合う。
- (b) コイル C の電流を切ると静止つかみと制御棒は落下し、可動つかみの歯 B の 1/32 in のすきまがなくなり、静止つかみはさらに 1/32 in だけ落下し、D から完全に負荷がはずれる。
- (c) コイル E の電流を切るとラッチ D がかみ合せを解く。
- (d) コイル F を励磁する。可動つかみと駆動棒が 1 段上がる。
- (e) コイル E を励磁する。D がノッチにはいる。この場合歯の表面には負荷がかかっていない。
- (f) コイル C を励磁する。静止つかみはすきまの分だけ上昇し、可動つかみの歯から負荷をはずす。
- (g) コイル A の電流を切るとラッチ B がはずれる。
- (h) コイル F の電流を切り、コイル H を励磁する。可動つかみは落ちて、つぎの変化に備える。

励磁の順序は誘導電動機で回転するカムスイッチによって進められる。1 サイクルのストロークは 3/8 in で、毎分 16 サイクルの割合で操作されるから、制御棒の速度は毎分 6 in となる。駆動装置の上部には位置指示用のコイルがとりつけられ、これからの出力が制御盤上に制御棒の位置をランプで表示する。

スクラムの際には保持コイルの電流を断てばラッチがはずれて棒は炉内に落下する。Yankee PWR で実測されたスクラムの時間はつぎのとおりであった。

制御棒落下時間	0.89~1.27 秒
(150~250 psig, 冷却材流量 1,000 gpm)	
制御棒落下時間	1.56~1.96 秒
(運転状態)	
入力信号がはいってからのシャ断器が開放されるまでの時間	
(始動時間)	
入力信号	始動時間 (msec)
手動スクラムボタン	22~26
高中性子束信号	250~290
高起動率 (短炉周期) 信号	190~233
圧力喪失信号	599~609
流量喪失信号	737~885

なお実測によれば同一の制御棒の落下の繰り返しでも、その時間には 10% 程度の変動があった。

(2) 水圧駆動機構

制御棒の駆動機構に水圧機構を利用して、通常のゆっくりした操作を行なわせることも可能であるが、むしろスクラムのように急速に炉心内にそう入る場合に利用するのが効果的である。スクラムを自然落下だけにたよっていると最高加速度は g より小さくなるのは当然である。これ以上の急速そう入には、パネによる加速、あるいは水圧機構が必要である。また原子炉の構造上容器の底部に駆動機構をとりつけなければならない場合があり、この目的には水圧機構がもっとも適している。

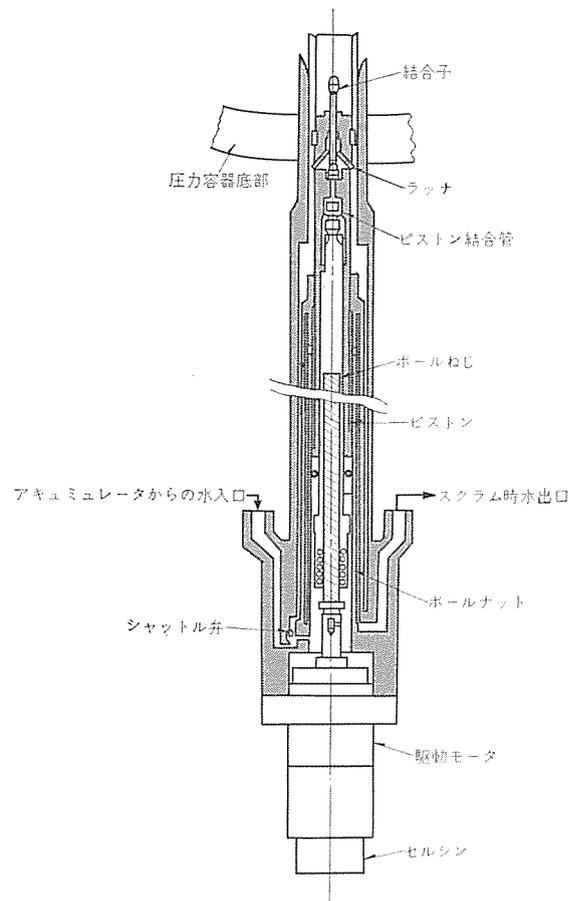


図 9.2 水圧式駆動装置

図 9.2 は Dresden BWR で使用されている水圧式の駆動装置で、炉の圧力容器の底部にとりつけられる。正常運転時の操作は駆動モータにより、ボールナットと送りネジを介して行なわれるが、スクラム時は水圧系の蓄圧器 (Accumulator—圧縮空気によりつねに加圧されている) からの圧力で水がシリンダ内に送られ、制御棒を保持したピストンは炉内に押し込まれる。このときボールナットは送りネジからはずれるようになっている。

9.2 化学的物質による反応度制御

(1) Burnable Poison

燃料に適当な中性子吸収断面積をもった Poison を加えて置いて長期的な反応度の制御を行なわせるものである。この種の物質を加えることにより、機械的な制御棒駆動機構の数を減らすことができ、また制御棒による中性子束のヒズミを小さくすることが可能である。しかし、その反面初期燃料の装荷量が多くなることも考えられる。ところが Burnable Poison の分布を適当にして置けば炉内中性子束分布を平坦化することができ、燃料の Burn Up を向上させうる可能性がある。これらの諸条件を勘案して炉心の設計、Burnable Poison の量と分布をきめ経済的にもっとも有利な点を求めることが試みられ、すでに二、三の動力炉ではこの方法が採用されている。

(2) Liquid Poison

適当な中性子吸収断面積をもった元素の化合物を一次冷却材に溶かして、その濃度を調節することにより炉の反応度を制御するもので、Yankee PWR では高温と常温の間の反応度の差

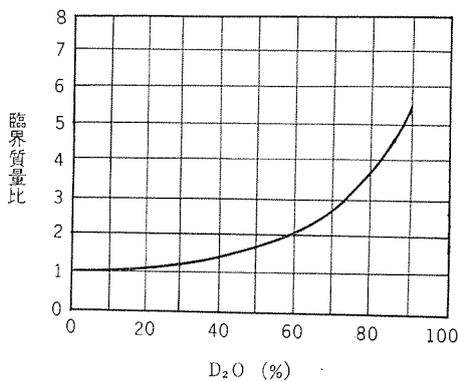


図 9.3 D₂O の濃度の臨界質量比

表 9.1 必要な反応度制御量

反応度に及ぼす影響	制御棒の持つ% ΔK	S.S.C. による% ΔK
温度効果	—	8.4
Xe と Sm の平衡	—	2.8
燃料減損と同位元素蓄積	—	19.0
ドップラ効果	2.7	—
停止時余裕	3.0	—
Xe トランジェント	2.1	—
合計	7.8	30.2

を補償する目的に使われている。Burnable Poison が燃料の燃焼に伴う長期の反応度制御を目的とするものであるのに対し、Liquid Poison はもっと速い変化、たとえば Xe のピークの乗切りなどの場合にも使われる。また Liquid Poison はスクラム動作のバックアップとして緊急時に一次冷却材中に放出されることがある。

Liquid Poison に関係した問題としては

- (a) 注入および除去の操作
- (b) 濃度の制御
- (c) 注入物質と一次系構成材料への影響
- (d) 反応度の温度係数への影響

などがあげられる。現在使われている物質には、ホウ酸、ホウ酸アンモニアなどが多く、その除去にはイオン交換樹脂が採用されている。これに関連した問題は実際の動力炉や動力用実験設備でいろいろ研究がすすめられている。

9.3 中性子スペクトルの変移による制御

原子炉出力の粗調整 (Shimming) の方法として中性子スペクトルの変移を利用する制御 (Neutron Spectral Shift Control—S.S.C.—) が提案されている。(Babcock & Wilcox Co.)

UO₂ または UO₂·ThO₂ の燃料を使った炉中で稠密充填の水減速の格子 (容積比 0.7~1.2) において D₂O を H₂O で希釈すると反応度が増加する。これは主として U²³⁵ の共鳴吸収が減るためである。D₂O の減速能 ξs は H₂O の

13%であるので H₂O の容積比が 40% から 100% に上昇すると、中性子の減速が早くなり共鳴吸収帯の付近を早く通過するので、共鳴吸収は半分になる。H₂O で希釈したとき増倍係数に影響する効果としては、

- (a) 燃料や Fertile Material の共鳴を逃れる確率 p の減少
- (b) 軽水素核や構造材料による中性子吸収の増加
- (c) 中性子漏れの減少
- (d) Episcadmium Fission の割合の減少

この結果、反応度の変わり方、すなわち、 k_{eff} の変化は炉心の設計や炉の形によって大きく左右されるが、PWR のような稠密構造では p の変化が大きい割合を占めている。D₂O の割合と U²³⁵ の臨界質量比との関係を示したものが図 9.3 である。燃料の燃焼がすすむに従い、次第に H₂O を加えて中性子スペクトルを熱中性子の臨界質量を小さくする。寿命の終期にはほとんど H₂O だけになる。

現在計画されている炉の例では表 9.1 のように制御棒と S.S.C. とで反応度を受けもっている。この設計では急減な負荷変動に対してだけ制御棒で補償することとし、全負荷運転中は原則として全制御棒は引抜いて置き、炉出力を落す場合にだけ使用するようになっている。

この方式の利点としては

- (a) 高い出力密度
- (b) 均一な燃焼度
- (c) 熱効率の向上
- (d) 炉心寿命が長くなり燃料費が低下する
- (e) 高い転換比が得られる。(たとえば Th→U²³³)

などがあげられ、将来発電原価を低減するのに有力な方法と考えられ研究がすすめられている。

10. 原子炉プラントの制御

実際の動力炉では、今までに述べた計測制御装置がどのように組合わされて働き、いかなる制御効果を示しているかを PWR の例について説明しよう。

10.1 Shippingport PWR の制御

Shippingport PWR の温度出力制御系の構成は図 10.1 に示されている。この系は炉心の出口および入口の減速・冷却材の

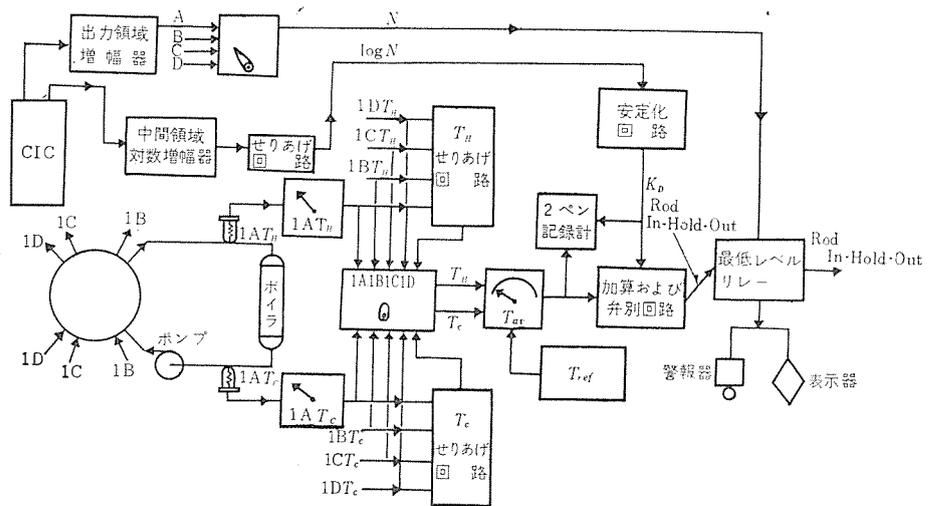


図 10.1 Shippingport PWR 温度出力制御系

温度 (T_H および T_C) を測り、これから減速材平均温度 T_{av} を作り、これを温度基準値 T_{ref} と比較して温度偏差 ΔT を作り出す。このほかに 炉内中性子束レベル の対数値を作り、これを微分して安定化信号とし、さきの ΔT に加えたものを制御信号とする。この信号の値が等価温度にして $\pm 3^\circ F$ をこえたとき制御棒が始動するようになっている。

なおここで、主冷却材の T_H および T_C は各ループで1点ずつ、全部で4点測定されるが、せりあげ回路 (Auctioneering Circuit) によってそのうちもっとも指示の高いものを選び出され T_{av} が作られる。最高指示のものを選び出す理由は、温度計の故障などの場合、指示が実際の温度より低く出る可能性が多いので安全側にとるためである。

制御信号は次の形で与えられる。

$$K_c = K \log N \frac{T_1 s}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} + K_t \dots (10.1)$$

ここに

K_c = 全制御信号

K_t = 温度偏差信号

$\log N$ = 炉出力レベル の対数値

K = 利得係数 ($^\circ F/\text{decade input}$) [10~100 $^\circ F/\text{decade}$]

T_1 = 微分回路の時定数 (sec) [10~50 秒]

T_2 = 炉波回路の時定数 (sec) [0.1~1 秒]

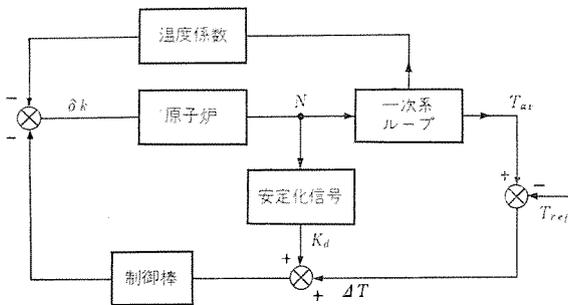


図 10.2 Shippingport PWR のブロック線図

この原子炉系は三つの負帰還回路を有し、それぞれ全体の制御系に影響する。(図 10.2)

その一つは負の温度係数のループで、炉心に固有のものである。X₀ の濃度および制御棒の位置がきまっているときには、一定の平均温度で臨界に達している。負荷の変化により平衡が破れても負の温度係数によって元の温度に復帰する。ポード線図についてみると温度係数が大きくなると位相おくれが小さくなり、位相余裕が大きくなって安定化することがわかる。このループの時定数は数秒のオーダーで、炉の出力レベルや係数の大きさの関数である。

第二に平均温度のループがある。このループの機能は T_{av} を検出し、それが一定になるように制御するもので、その構成要素には温度検出器、温度計測系、一次系ループ、制御棒ループまでが含まれ、時定数は30秒から2分までである。周波数応答をみると、安定化回路がないとゲイン1以上の点で180度の位相ずれがあるので、どうしても不安定になる。この不安定性は制御棒駆動部の積分性、リレーのヒステリシス、原子炉自身の特性、温度計および配管

のおくれなどが積み重なって生じたものである。

最後に安定化ループがある。この必要性は上述のとおりであるが、その要素には核計装と制御棒駆動系が含まれる。ここではレベルの対数値をとり長い時定数の微分回路で微分し、平均温度ループに加える。このループにより制御棒系入力と炉出力の間の位相おくれ、したがって平均温度ループの位相おくれが補償され、棒のゆきすぎを防止する。ループの時定数は1~2秒である。対数値の微分、すなわち n'/n をとった理由は出力レベルの低下とともに原子炉のゲインが低下するのを補うような可

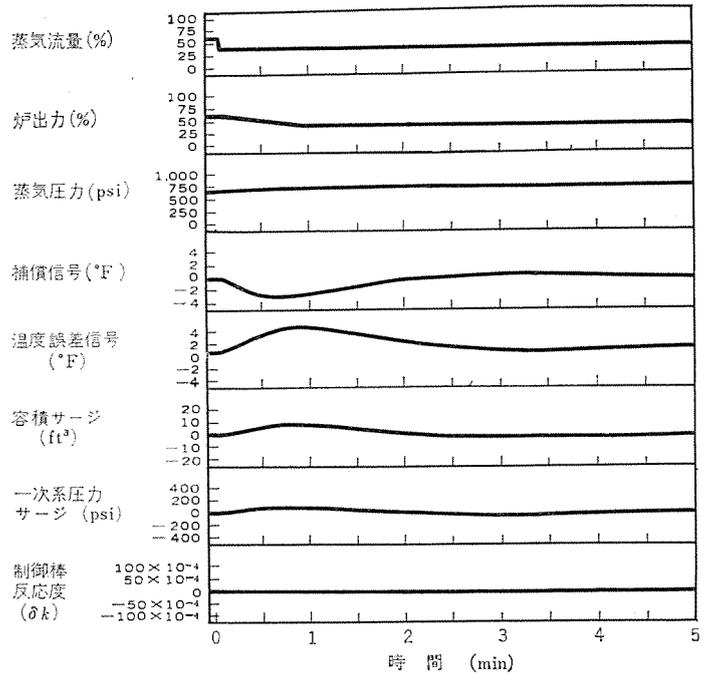


図 10.3 出力変化 60%→40%に対する応答

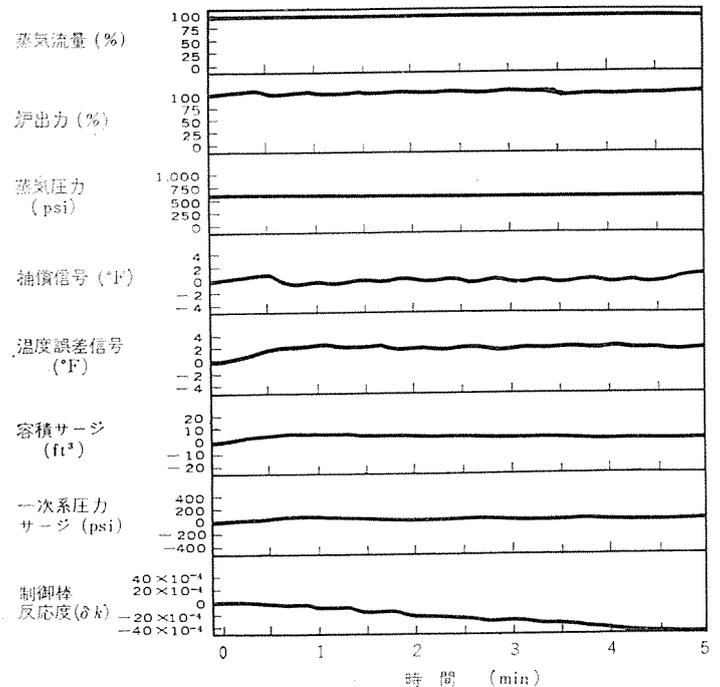


図 10.4 再起動時の X₀ 燃焼に伴う系の応答

技術解説

変ゲインが得られるためである。

さきに述べたように、PWR では反応度の負の温度係数による自己制御性が大きく、小さな負荷変動に対しては制御をまったく動かさずに乗切ることができる。この様子は図 10.3 に示したシミュレータによる解析の結果からも明らかである。この解析は炉出力（二次蒸気流量）が定格出力の 60% から 40% にステップ状に減少したときの応答で、制御棒による反応度の変化はまったくないことがわかる。この解析では温度係数は $-2 \times 10^{-4} \Delta k/F$ とした。つぎに、炉が再起動する際に、蓄積された X_0 が燃焼して $2 \times 10^{-5} \Delta k/sec$ の割合で反応度が付与される場合の応答を解析したものが図 10.4 である。この場合は前と異なり、温度係数だけでは反応度は抑制できず、制御信号が限界値に達すると制御棒が動いて一定値の反応度を順次導入する。各種のパラメータはこのため振動的な応答を示している。

一般に原子炉で反応度の変化割合がもっとも大きくなる現象は X_0 の燃焼の場合であるから、制御棒の運動速度の最大値はこの作用を十分抑制するだけの大きさに設計されている。

10.2 Yankee PWR の制御

制御方式の他の例をあげると

(a) Yankee PWR

$$K_c = K(T_{av} - T_{ref}) \dots (10.2)$$

すなわち、減速材平均温度の単なる比例制御である。制御棒の出し入れ始動の限界は $\pm 3^\circ F$ である。

(b) Savannah (原子力船)

$$K_c = K_1 F_s + K_2 (T_{av} - T_{ref}) + \frac{(T_{av} - T_{ref})}{T_s} \dots (10.3)$$

ここで $F_s =$ 二次蒸気流量

制御棒始動の限界温度は $\pm 6^\circ F$ である。

図 10.5 は Yankee PWR の制御系統図を示すものである。なおこの種の自動制御は炉の出力がある程度（たとえば定格出力の 10%）以上にならないと働かないよう、最定レベルリレーによってインターロックされている。

Yankee PWR の制御特性をシミュレータで解析したものが図 10.6 で、全負荷時にトリップした場合の応答を示している。図において実線はスクラムをしない場合、破線はスクラムを行なったときの各種のパラメータの変動を示す。スクラムを行なわなくても一次系の圧力は安全弁によって一定に保たれ、また各部の温度も頭うちの傾向がみられ十分の安全性が期待される。

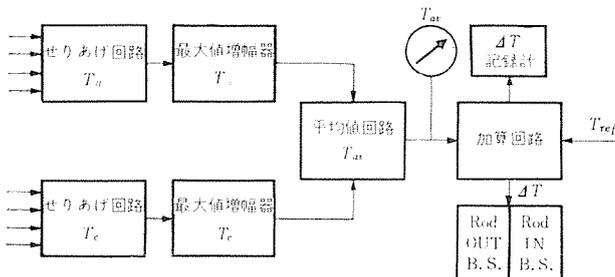


図 10.5 Yankee PWR の制御系統図

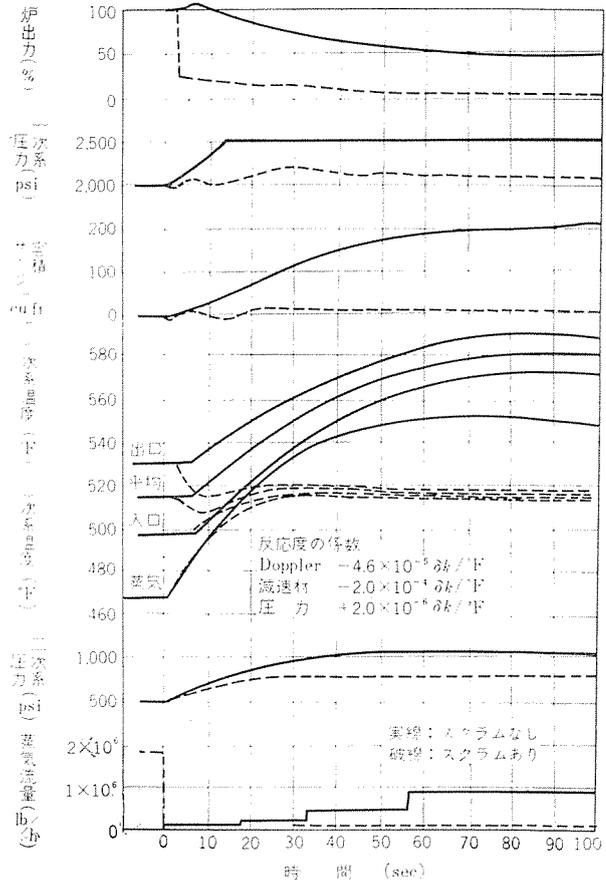


図 10.6 Yankee PWR の動特性（解析）（全出力よりトリップ）

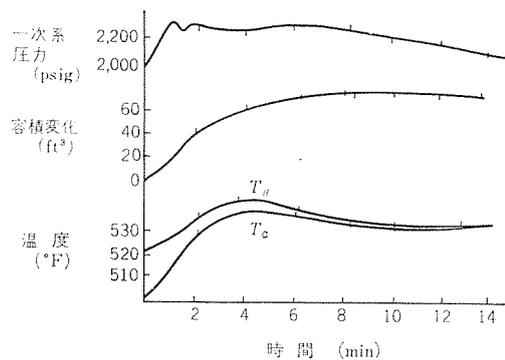


図 10.7 Yankee PWR の制御特性実測

Yankee PWR でステップ状の負荷変動を与えたときの実測結果の一例を図 10.7 に示す。これは発電所負荷を 60 MW から 30 MW に急減したときの応答で、炉出口冷却材温度は 542 °F、冷却材圧力は 2,330 psig、二次系圧力は 850 psig に上昇したがプラントの制限値をこえなかったと報告されている。

(昭 37-2-24 受付)

設計に対する実験心理学の応用

Experimental Psychology... A New Variable in Design
(Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 4, July, 1961, p. 112)

最近の軍用機器に使用されている制御装置や指示装置の設計者はその装置がもっとも効果的に使用されるためには人間としての操作者の要求と能力を十分考慮した上で設計を行なわなくてはならない。人間に対する装置の適合性を改善するための心理学的研究、技術の応用は比較的最近検討されるようになった。それにはまず分析的で実験的な調査を計画することが必要であることは明らかで、計画に当たっては二つの観点から人間を考えなければならない。すなわち機械から送られてくるものを受け取る機構として、また機械から送られてくるものを送り出す装置としてである。この分野における実験的な仕事を大別すると

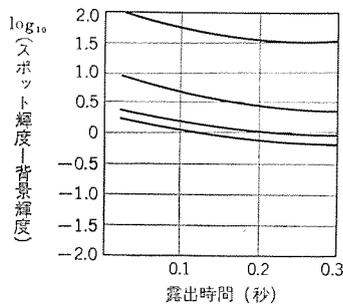
- (1) 眼の特性とレーダ表示の設計との関係。
- (2) 人間の知覚能力と搜索方式の設計との関係。
- (3) 情報の伝達者としての人間の能力。
- (4) トラッキング装置の一部分としての人間の特性。

以上四つの主要な部分に区分することができる。

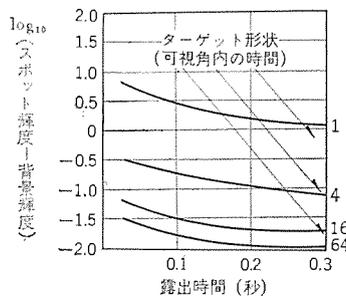
人間の視覚

人間は眼を通して情報の大部分を得ることができるゆえ、まず眼の機能を理解しなければならない。視覚研究の応用の第一歩は夜間飛行のパイロットを暗やみに慣れさせるために赤い眼鏡を使用させたことで、これは光の波長に対する眼の感度差について研究が行なわれた結果である。

また眼の機能についての研究成果はレーダ観測に対しても応用されたがレーダの場合には他に各種の条件を考慮しなければならない。ある研究者は、(1) ターゲットが出現している時間、



(a) 背景輝度 100 フット・ランバート



(b) 背景輝度 1 フット・ランバート

図 1

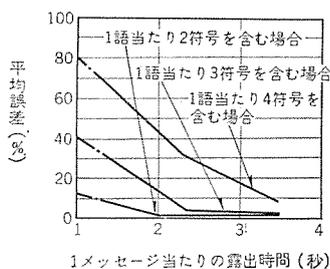


図 2

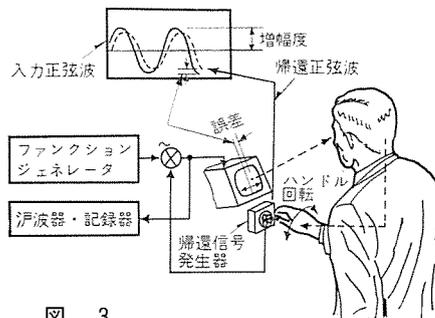


図 3

(2) 視角で表わしたターゲットの大きさ、(3) 観測されたターゲットに対するブラウン管上の背景の輝度、(4) ターゲットの輝度、との関係を検討した。図1のカーブは背景の輝度、出現時間、ターゲットの大きさおよびターゲットを、50%の可能性をもって検出する輝度との関係を示すものである。よってレーダ設計に当たっては上記諸条件の関係と眼の機能を考え合せブラウン管の表示の調整ができるようにしなければならない。

知覚力

レーダの根本目的は目標物または目標群の信号を検出することであるが、監視レーダの開発によってパターンを検知と、パターン中の目標物の区別をつけるという課題が生じた。心理学者はスコア上のターゲットの大きさや画素の粗さが観測上の誤差に与える影響、あるいは受験者に一定時間記憶させた一つの形を、黒白の線でパターンを写したスコア全面の中から見つけ出させてその正確さを研究するなどの実験を行なった。この実験の結果は監視装置に対して要求される測定の可能性を決定するのに応用された。

情報伝達作用

機器に半自動とか自動制御方式が採用されるようになり、人間が送られて来たデータを処理する必要が生じた。この結果人間がデータを取扱いうる可能性を定量的に分析するという課題につき研究が行なわれた。たとえばある目的に対して1分間に受取ったメッセージの数を数える機能と、1語間に含まれるシンボルを数える機能を調査することである。この調査の結果は図2に示されている。

システム構成部としての人間

トラッキング装置の一構成部としての人間の操作機能についてウエスチングハウスと心理学者とによって実験が行なわれた。この実験の目的はシステムノイズの大きさ、動作ひん度、操作者用スコアで誤差を検出するための目盛読取精度が操作機能に与える影響を調査することである。この実験の一例を図3に示している。図3のファンクションジェネレータは一定の周波数と増幅度をもつ正弦波信号を送り出す装置である。この実験はハンドルを回せばブラウン管上を動くようにスポットを表示しておき、これと同じブラウン管に現われた入力信号に合わせるように操作させて行なわれ、これによって操作誤差を測定することができる。

前述の各研究は人間により操作される装置の設計に対する実験心理学の寄与する分野を指示したものである。(無線機製作所 山田稔訳)

電子計算機の2進数演算

Bit-by-bit arithmetic by a digital computer
(Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 5, Sep., 1961 p. 130)

最初の計数形電子計算機は人間と同じように10進法で計算するように作られたが、やがて大形高速になるにしたがって2進法のほうが適してい

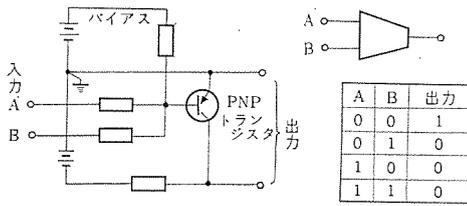


図1 NOR素子の回路および記号と論理値表

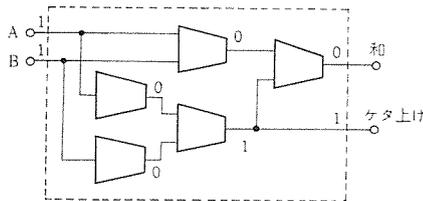


図2 NOR素子による半加算回路

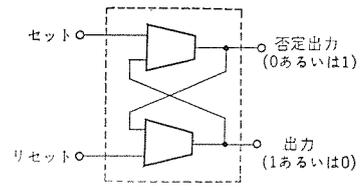


図3 NOR素子によるフリップ・フロップ

ることがわかった。2進数を使えば、数を回路が二つの状態(たとえばONかOFF)のどちらにあるかによって1と0を表わすだけなので信頼度も大きい。10進数と2進数の表現法を対応させれば、たとえば173について、

$$10 \text{ 進数 } 173 = 1 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

$$2 \text{ 進数 } 10101101 = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

となり、2進数は見ためにはわかりにくい。2進数の演算は10進数と同じで、たとえば加減算は

$$\begin{array}{ll} 0+0=0 & 0-0=0 \\ 1+0=1 & 1-0=1 \\ 0+1=1 & 1-1=0 \\ 1+1=0 \text{ ケタ上げ } 1 & 0-1=1 \text{ かり } 1 \end{array}$$

で乗算も同じようにして行なわれる。

$$\begin{array}{r} 1001 = 9 \\ \times 101 = 5 \\ \hline 1001 \\ 0000 \\ 1001 \\ \hline 101101 = 45 \end{array}$$

これらの2進数の演算に必要な基本素子としてW社のProdac control computerではNOR素子を用いている。NOR素子は図1に示すように抵抗とトランジスタによって構成されている。入力がどれか一つでも1(負電位)になればトランジスタが導通となり出力は0(アース電位)となる。入力が全部0のときだけトランジスタは遮断状態となり出力は1となる。図では入力は二つだがさらに多くの入力端子をもうけることもできる。この基本素子を組合せることによって、いろいろ複雑な演算回路を構成させる。上述の加算はNOR素子を図2に示すように接続することによって行なわれ、さらにこれを組合せることにより幾ケタにもわたる加算を行なう加算回路が作られる。フリップ・フロップは1か0を一時的に記憶しておく素子として重要であるが、これは図3に示すように接続することによって構成される。

計算機には情報を記憶する能力がある。記憶装置としては磁気ドラムやディスクが広く用いられてきたが、新しい計算機では磁気コアがもっとも多く用いられている。これは磁性材料でできた小さなトロイダル状のコアで、方形のヒステリシス特性をもっている。情報は、このコアがどちら向きに磁化されているかによって記憶される。

計算機内の演算回路や記憶回路の動作は制御ユニットによって制御される。制御ユニットは、クロックパルス発振器、各部の動作順に従って制御信号を送る順序回路、記憶装置からの命令を解読するデコーダマトリックスおよびその信号によって制御信号を作

る制御回路からなっている。

計算機内では数千のトランジスタやダイオードが用いられているので、これらの故障などによる誤動作を自動的に検出することが望まれる。とくにON-LINEで使われるプロセス制御用計算機ではこのことは重要である。パリティ検査は、この目的のためにもっともよく用いられる方法であるが、大形の計算機ではそのほか種々の誤動作検出回路が組み込まれるようになるだろう。(研究所 壺井芳昭訳)

制御用計算機の設計

W. W. Ramage: Design of a control computer (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 5, Sept., 1961, p. 145)

制御用計算機は、オンライン動作を行なうため、その設計にあたっては、科学用(オフライン)のものとは多少重点のおき場所をかえなければならぬ。この文献では、W社の制御用計算機システム、Prodac (Programmed Digital Automatic Control) computer system、を例にとって、その設計の要点を具体的に説明している。

一つのProdacは、いくつかのUnitsが集まって作られている。すなわち、Storage Unit (コアとドラム)、System Control Unit, Priority Selector, Arithmetic Unit, Buffer Storage Unitsがあり、中央にInformation Transfer Systemがあって、各Unit間の情報の通路を作っている。

System Control Unitは各Unitに仕事をわりあて、命令の遂行を制御する。

Priority Selectorは、必要に応じてプログラムの中断を行ない、新たなプログラムを割り込ませる。また、低速の入出力動作中には、待ち時間の間、他の動作を行なう。

1語は28ビットであるが、半語長単位で扱われる。演算は並列で、37,000回/秒の速度である。テープリーダー、テープパンチ、タイプライタ、ラインプリンタ、手動スイッチのほか、プラント入出力点として3,584点を扱う。

以上のように、機能的には、高速度、短語長、割り込み動作などの特長があるが、オンライン計算機としては、信頼度に対する要求が大きい。

Prodacでは、信頼度を上げるために、論理設計、回路設計、プログラミングの各部門で工夫がなされ、お互いにカバーし合って全体的効果を上げている。

プログラミングの具体的な手法は述べられていないが、論理設計、回路設計における要点は、以下のようである。

論理設計

(1) システム内部では、Arithmetic Unitの出力を除いて、

つねに パリティ・チェック がとられている。

- (2) オーバ・フロー が検出できる。
- (3) 論理回路の動作中に、計算機が正しく働いているかどうか、特殊な検査が行なわれる。
- (4) 各 Operation の実行時間が、定められた範囲をこえないかどうか検出できる。
- (5) 各 Unit で誤動作が検出されたとき、プログラム 中断を実際に行なうかどうかの制御情報 (1ビット) があり、システムプログラム が、Higher Priority のものを実行しておれば、中断は行なわれず、単に誤動作の表示が行なわれるだけである。

回路設計

- (1) すべての素子について、最大定路の 50% で設計している。
- (2) すべての トランジスタ は、個別、Logic Unit, Package Unit, の 3 度にわたって検査される。
- (3) パネル 背面の接続は、Wire-wrapping を採用している。
- (4) テスト を容易にするため、Maintenance Panel がある。

(無線機製作所 曾我正和訳)

火力プラント制御用計算機

J. W. Skooglund and R. B. Squires : Computers for Steam Station Control (Westinghouse Engineers, Vol. 21, No. 5, Sept., 1961, p. 150)

計算機工学の高度の発達とともに、制御の分野に計算機が導入された。従来人間が行っていた各種プロセスの制御をデジタル計算機で置換えプラントの信頼性を高め、かつプラント効率の向上により運転の合理化を行なわせる。

要するに、火力プラントのデジタル計算機制御とは、起動・シャ断時 に対しては計算機に組み込まれたプログラムに従って自動的にプラント機器の起動・停止を行ない、他方正常運転時 に対しては計算機によりプラントの各サブルーの制御状態を常時モニタし、異常に対してコントローラの設定点を修正したり、あるいは適当な較正ルーチンを始動することにより、プラントをつねに適正運転状態に維持するものである。ウエスチングハウスで用いるプロセス制御用の計算機 PRODAC につきのべる。

アナログ入力

代表的火力プラントでは 1,200 点のアナログ入力を備えそのうち 70% は温度測定量である。平均走査率は 30~50 点/秒、起動時のタービン速度のような重要な測定点は 2 秒ごとに走査する。

接点开閉入力および出力

圧力スイッチ、接触器、リミットスイッチなどの接点の開閉入力信号で、制御される機器の状態を表わす。走査は毎秒 1 回である。計算機は水銀接点継電器を開閉してデジタル制御信号をフィードバックして直接プラント機器を制御する。一般に約 400 点のデジタル

入力と 600 点のデジタル出力を持つ。

アナログ出力

蒸気圧等のアナログ・コントローラの設定点を制御するもので約 40 点のアナログ出力を備える。

記憶装置

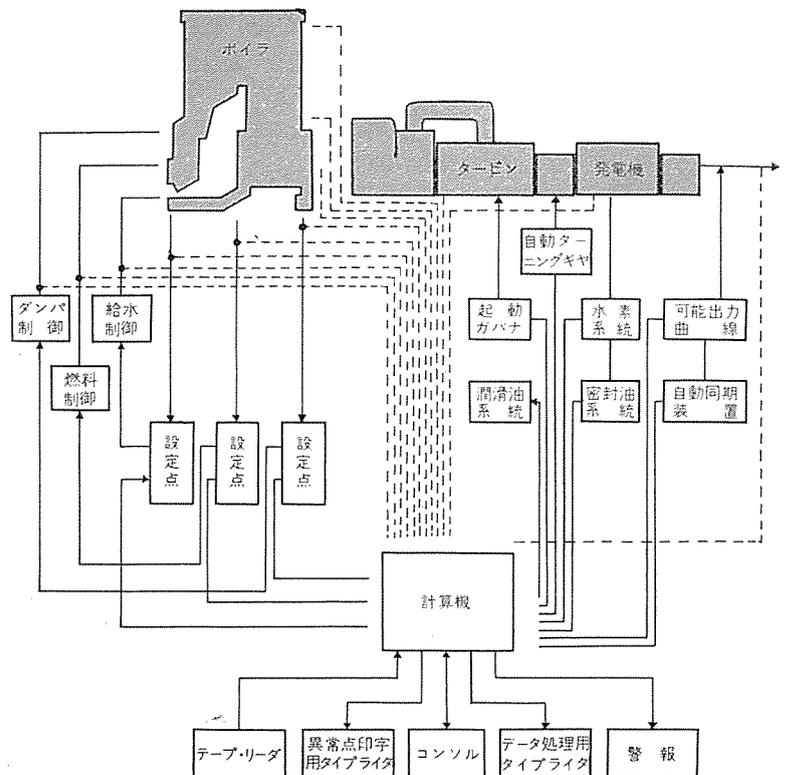
この計算機は、起動時などの制御の高速化の必要性に対して高速度 random access 磁心記憶装置を備え、さらにその back up として大記憶容量の磁気ドラムを持つ。磁気ドラムは全記憶容量の大半を占め、一般にその容量は 50,000~100,000 語である。

重点操作機構 (Priority Director)

火力プラントの運転は数多くの機器の並列操作からなる。したがって起動時タービンを加速しながらボイラの燃焼率の上昇を行なうことなどの種々シーケンスの同時考察が必要である。Prodac 計算機の重点操作機構は数多くの運転シーケンスの優先順位を決め、もっとも重要なシーケンスを最初に行なわせる。

火力プラントの計算機制御の問題として、従来のサブルーと計算機との協調の問題がある。この点現在の計算機工学の段階では、サブルーを最大限に活用して、計算機は単にサブルーをモニタする方法を取るが、サブルーの機能を計算機に置換えることも可能であり、計算機の信頼性の向上とともにこの傾向が深まるものと思う。いずれにしてもプラントの計算機制御には、プラントの静的・動的特性を十分解析して完全なプログラムを組むことが必要であり、この見地からプラントのシミュレーションが今後大いに要望される。

(本社重電技術部火力計画課 新宅三喜男訳)



■ 阪神電鉄納めわが国最初のシリコン整流器移動変電所完成

このたび阪神電鉄納めシリコン整流器式の トレーラ形移動変電所を完成、各種の厳密な試験を終了して2月末には阪神電鉄西宮変電所に納入され、ただちに運転を開始する。この種の移動変電所にシリコン整流器を採用したのはわが国で初めてこのことであり、関係各方面の注目をあびている。

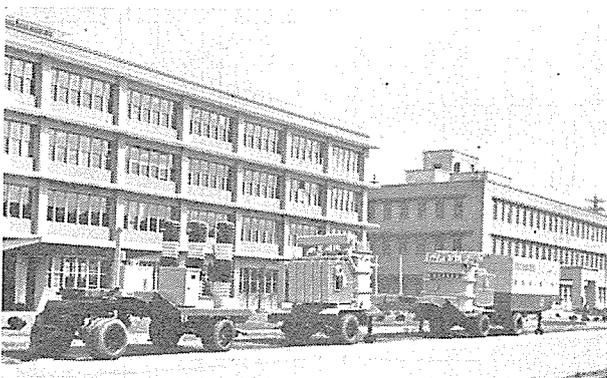
電鉄用移動変電所は、新規の電車路線建設時とか、変電所機器の修理、更新などの際に必要なものであり、当社としては今までイグナイトロン整流器によって第4号機まで製作している。こんどのばあい、ますます増加する運輸事情に備えて、阪神電鉄では、架線電圧を現在の 600 V から 1,500 V に昇圧する計画であるが、このほか既設および新設予定の各変電所の共通予備機として、さらに緊急の出力増強用、老朽回転変流機の更新の際の非常用として使用される。

移動変電所としては、シ+断器車1台(ガイシ形シ+断器搭載)変圧器車2台(整流器用変圧器搭載)整流器車1台(シリコン整流器、高速度気中シ+断器、配電盤など搭載)の4車からなる。各トレーラは長さ6m重量10t以下の小形軽量になるよう最新の技術を導入して設計されており、それぞれ別々にけん引車に接続し出動できるものである。とくに整流器車は WAGON と名づけられ、当社技術管理部意匠課の協力を得てスマートなツートンカラーに塗装された姿は人目を引いている。変圧器車が2台にわかれているのは上記重量制限を守るためである。

工場試験としては、各機器ごとの各種試験をはじめ、総合試験として電氣的組合せ試験、各種の配列試験、走行試験、注水試験などを行ない万全を期した。

その仕様は在来の変電所用と比べて大幅に異なるところがあがるが、これは上述したような特殊性に起因している。

出力	1,200 kW/1,500 kW
電圧	600 V/1,500 V 両用
定格	100%連続 200% 1.5h 500% 30 sec



阪神電鉄納めトレーラ式シリコン整流器移動変電所 (全景)

受電 20 kV 三相 60 c/s
結線方式 六相二重星形結線 2回路直並列切換方式
なおこの移動変電所は無人変電所としても使用可能な設計となっている。

■ 近畿日本鉄道団体車完成

全車両が2階展望室を有する長距離用電車が完成した。この電車は大阪一名古屋間を結ぶ近鉄大阪線の団体客輸送を主目的に計画されたもので、当社はこれの主要電機品を製作した。

この電車には従来の電車から飛躍した新しい試みが多く採り入れられており、そのおもなものをあげれば次のものがある。

(1) MTM を固定編成とし、両端 M 車には主電動機および駆動装置だけを有し、制御用電機品および空制部品は中央の T 車にまとめられている。



全車両が2階展望室つきとなった近畿日本鉄道の新しいビスタカー

(2) T 車は2階が M 車と同じ客室となっているが、1階は機械室になっていて制御回路電機品、空気部品、MG 制御装置などの比較的危険の少ない機器が納められ、さらにこの床下に断流器、主抵抗器、抵抗短絡スイッチ、組合せスイッチなどの主回路高圧電機品および付属機器が取付けられている。

なおこの床下機器の車体のスカートでおおわれていて外観からは隠されている。

(3) スカート内の主抵抗器は強制換気により冷却される。この電車の仕様は次のとおりである。

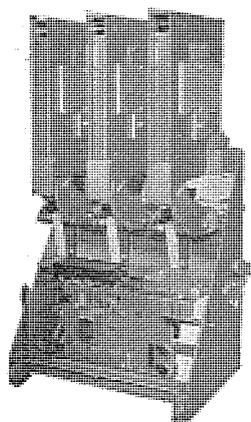
編成	MTM 固定編成
車重	M=38.09 t T=41.97 t
定員	M=148人 T=102人 計 398人/編成
主電動機	125 kW 8台 WN ドライブ方式
最高速度	110 km/h

■ 4.16 kV/3.6 kV 250 MVA 1,200 A 2,000 A 磁気 シャ断器の完成

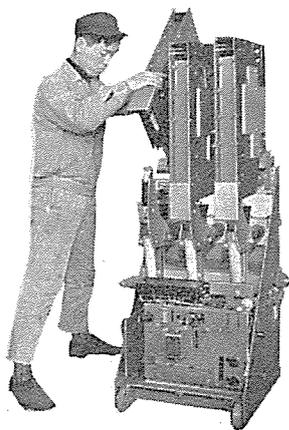
従来の 3.6 kV 200 MVA 磁気シャ断器と外形寸法がほぼ同じでセンタ・ローアウト式消弧室をもつ 4.16 kV/3.6 kV 250 MVA 定格電流 1,200 A および 2,000 A 磁気シャ断器が開発され、4.16 kV 250 MVA 用として東京電力横浜火力に 1,200 A 18 台、2,000 A 3 台がこのほど納入された。定格は下記のとおりで、写真に正面バリヤを取はずした 2,000 A シャ断器と消弧室をあけて接触部を点検中の 1,200 A シャ断器を示す。

形名	4-DHM-25	
定格電圧	4.16 kV	3.6 kV
定格電流	1,200 A または 2,000 A	1,200 A または 2,000 A
定格シャ断容量	250 MVA	250 MVA
定格投入電流	94 kA	109.3 kA
定格短時間電流	35 kA	40.1 kA
定格シャ断時間	5 サイクル	5 サイクル
定格開極時間	0.06 秒	0.06 秒
絶縁階級	6 号	6 号
定格再起電圧	20 kc	20 kc
標準動作責務	甲号または乙号	甲号または乙号

このシャ断器はすでに当社で豊富な製作経験のあるセンタ・ローアウト式消弧室を備え、吹消コイルが消弧室の中心にあり、吹消磁束が強力かつ均一になるためシャ断性能がきわめてすぐれていると同時に、開極極間の電位分布が均一であるから比較的短い開極距離で規定の衝撃電圧耐圧値が得られるなどのすぐれた特長をもつものである。



正面バリヤを取りはずした 4-DHM-25 形 4.16 kV/3.6 kV 250 MVA 2,000 A 磁気シャ断器



接触部点検中の 4-DHM-25 形 4.16 kV/3.6 kV 250 MVA 1,200 A 磁気シャ断器

■ 手動パネ投入式 DB 形気中シャ断器

DB 形気中シャ断器の投入操作方式は、従来直接手動操作および電磁操作によっていたが、これらに加えて、今回手動パネ

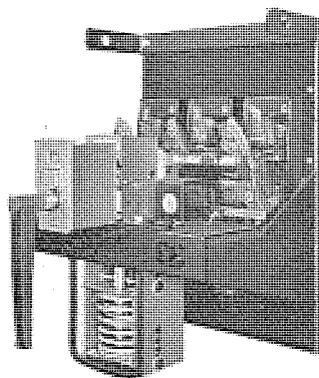
投入装置を完成した。

この方式は、シャ断器投入操作の際、操作者の操作力に直接たよることなく、投入用パネをひとまず手動ハンドルで操作で蓄勢し、つづいてこれを放勢して投入を行なうものである。

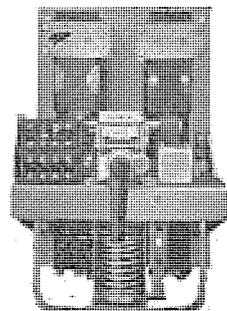
この方式の採用により、操作者の操作力および操作技術に無関係に、安定した投入速度を得ることができる。また、保守点検のときには、投入用パネを着勢させずに緩徐な開閉操作を行なうこともできる。

操作者に対し、安全であり、また電磁投入のものに比べて廉価なことも一つの特長である。

写真は DB-50 形と特殊仕様の DB-25 形気中シャ断器に手動パネ投入機構を装備したところを示す。



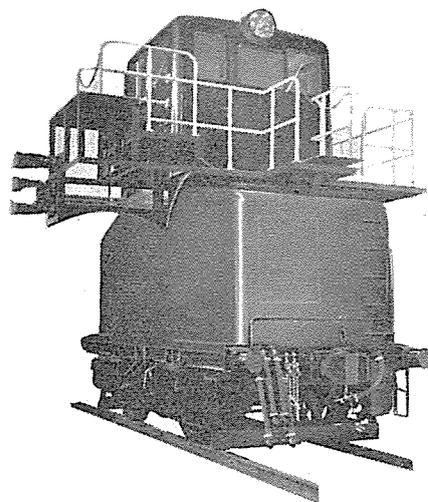
手動パネ投入式 DB-50 形気中シャ断器



手動パネ投入式特殊仕様 DB-25 形気中シャ断器

■ 川崎製鉄納め三相交流式 20 t 電気機関車完成

消火車けん引用の三相交流式電気機関車は川崎製鉄千葉製鉄所へすでに 3 両納入し好成績で運転されているが、今回さらに同社へ 20 t 電気機関車 1 両を受注し製作をすすめていたが、2 月 14 日現地試運転を行ない好評のうちに無事納入することができた。この機関車のおもな仕様はつぎのとおりである。



20 t 電気機関車

全重量	20 t
車輪配置	B
機関車定格	
出力	55 kW
電圧	三相 400 V 50 c/s
速度	7.2 km/h
機関車寸法	
全長	5,630 mm
全幅	4,065 mm
全高	5,050 mm
車輪径	860 mm
歯車比	15.98
主電動機	MS 形三相 400 V 55 kW 8 極
電動空気圧縮機	M-3-K 形
制御方式	電磁接触器式間接制御方式
ブレーキ方式	SM-3 形空気ブレーキ方式

(1) 灼熱コースを消火車に積込む場合、追尾運転装置によって機関車の速度とコースの押出速度をほぼひとしい速度で運転することができる。

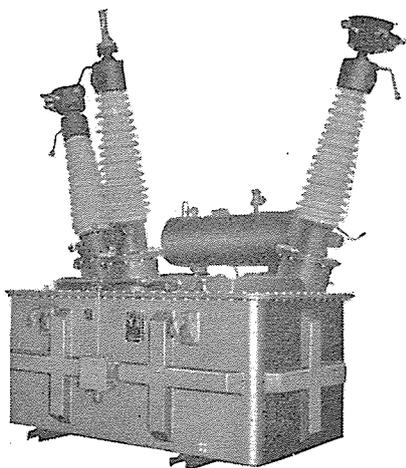
(2) 消火車を消火塔の中で停止させる場合、自動停止装置によってほぼ定位置で停止させるとともに、冒進防止の役目もすることができる。

(3) 消火車トビラの開閉は押しスイッチの操作による空気圧操作で簡単に行なうことができる。

(4) そのほかスイッチ類はノーヒューズシヤ断器、照明器具はケイ光灯、運転室内は大形電気機関車なみのパネル式の機器配置、ツイパの新設など既納機関車の貴重な経験を十分とり入れ一段と運転取扱いに便利にしてある。

■ 100 kV 計器用変圧変流器完成

電力取引量の増加につれ、特別精密級の積算電力計および精密級の計器用変成器が必要となり、このためには、できるだけ高電圧で電力を計測することが不可欠となった。元来電圧が高くなるに伴い、必要とされる絶縁物が多くなり、計器用変成器



HS-10 形計器用変圧変流器
PT 110 kV/110 V 2×100 VA
CT 100-50/5A 2×40 VA

0.5 M 級 絶縁階級 100 号 (耐塩害用ガイ管使用)

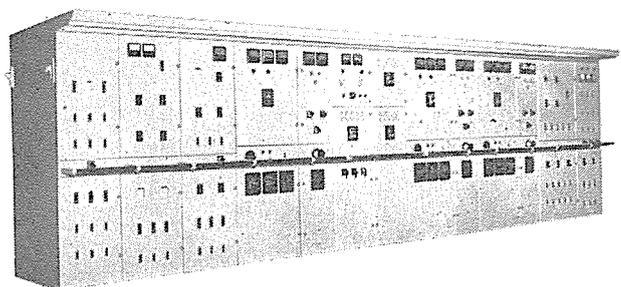
自体の特性低下、形状の大形化などをまねき、組立輸送を不可能とし、現地組立および現地出張検定を余儀なくされていた。

この新形計器用変圧変流器は、適切な設計により、110 kV 高電圧用にもかかわらず、特別精密級計器用変成器の誤差規格 0.5 M 級を十分の裕度を持って合格し、現行検定規格最高の超精密積算電力計と組合せた超精密検定にも十分合格できる特性を持っている。また完全密封窒素封入形としているため、絶縁劣化のおそれもなく、一次ブッシングを上部に付けた従来の構造と異なり、一次ブッシングを下部まで落した構造を採用したため、高さはかなり低くなり、工場検定、および組立輸送が可能となった。また変形タンクを採用することにより、重量は 15% 減となった。

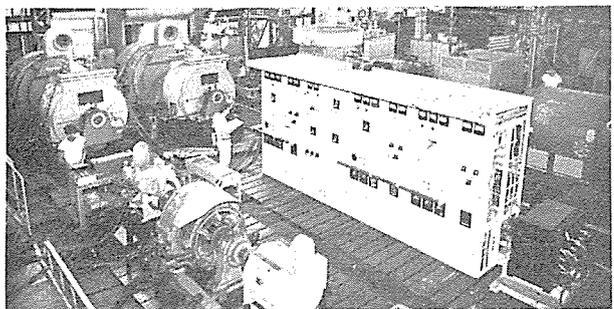
写真は中国電力納め HS-10 形計器用変圧変流器外観である。

■ 船用発電機の強制並列

広島造船建造の連輸出船向けとして納入した自動発電機 400 kVA×3 400 V 50 c/s 三相 10 極 600 rpm (2 船分) に船用としては初めての自動同期化装置を設置した。この方式は強制並列投入を採用したもので並列機の回転数を大体定格値に合わせるだけで、両機の電圧、位相差には無関係に母線に強制投入し、原動機ダンパおよび発電機制動巻線による制動トルクと発電機の同期化トルクによって並列に引込ませるものである。このとき過大な電流が流れないように投入すべき発電機をリアクタを介して母線に接続し、一定時限後電力動揺の減衰を検出してリアクタを短絡する方法を採用した。もしこの間に同期引込みの行なわれないときには周波数条件を調整後再投入を行なうようにした。



船用主配電盤 400 kVA×3
強制同期並列投入装置組入



工場内における強制並列投入テスト

テスト結果は投入時のスリップが $-2\% \sim +4\%$ の範囲内においては投入位相のいかんを問わず円滑に同期引込みが成功し、発電機自体リアクタなどにはなんら異常なく電源電圧変動、突入電流も満足できる値におさえることができた。

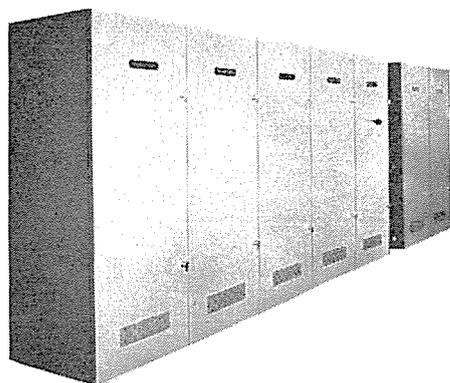
このように簡単な方法で並列投入が可能であるということは運転の安全性を高めることになりさらに船内電源自動化の第一歩として有意義である。

■ AGC（自動板厚制御）装置完成

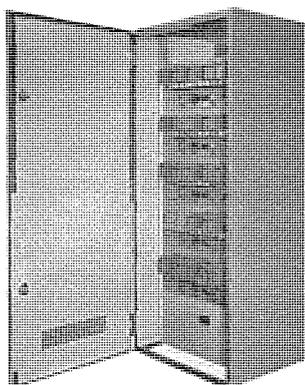
6 スタンドコールドミルにおける板厚制御に、圧下制御と張力制御とを併用した、自動板厚制御装置を完成し、このたび八幡製鉄株式会社納入した。

（1）圧下制御

板厚の検出はX線厚み計で行ない、これを増幅して得た信号電圧を、厚みゲージ電圧と比較して、ロール開度を制御するものである。信号電圧がゲージ電圧範囲内にあるときは、圧延ロールの開度制御を行なわないが、ゲージ電圧をこえたときには、入力ゲートによりX線厚み計の検出信号入力をストップするとともに、圧延ロール開度の修正制御を行なう。あらたに設定された開きのロールで圧延された板が、X線厚み計の位置まで移動してから、ふたたび厚みの検出信号をこの制御装置に導入する必要がある



AGC キュービクル



AGC キュービクル内部

ので、板の移動量を計数して、入力ゲートを導通にする時期を変化させる移送カウンタを設けている。つまり、圧下制御はサンプルリング制御である。

（2）張力制御

張力制御は二つの方法を用いている。

その一つはロードセルにより、ロールの圧延力を検出し、圧延力が増せば、前段スタンドのロール速度を下げて板の張力を増し、圧延力が減少した場合は前述と逆の動作を行なわせ張力を減らすようにしている。

他の一つは、最終スタンドを出た所に設置したX線厚み計により板厚を検出し、板が厚ければ、前段のロール速度を増し、薄ければ減じて、板に加える張力を制御して、製品の品質向上を計っている。

制御要素はすべてトランジスタなどの半導体を用いた完全無接点式で、温度変化によるドリフトや、ノイズの補償をした自動零調整形アナログ用演算器を用いて、巧みな制御を行なっている。

■ ASDE 実用試験 羽田空港において実施

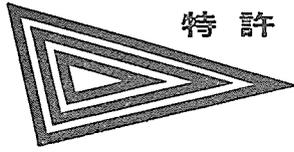
かねてより研究開発中のASDE（RH-3レーダ）が昨年末完成したので本年2～3月にかけて羽田空港において運輸省に依頼して実用試験が実施され、最後に官庁関係者、学識経験者を招待して機器の公開を行ない、好意ある講評をいただいた。

近時とみに輻湊して来た空港の管制業務のうち、離着陸についてはすでにレーダが使用されているが、滑走路、エプロンなどの地表面の監視にレーダを使用している例は諸外国において二、三の例はあるが、幾多の技術的問題を含んでいる。今回完成したRH-3レーダは極短パルスの送受信機・狭ビームアンテナ、高解像度指示機からなり、600m先において3m、3mの総合分解能を実現した。これにより航空機の形式を識別し滑走路上の小形自動車はもちろん人間をも検出することができる。

この種のレーダを空港に設置することにより運航の安全性をいっそう高め、不測の事故を予防することができる。

周波数	24,000 Mc
セリ頭出力	40 kW
パルス幅	0.02 μ s
アンテナビーム幅	0.3 度
指示機	16 インチ高感度



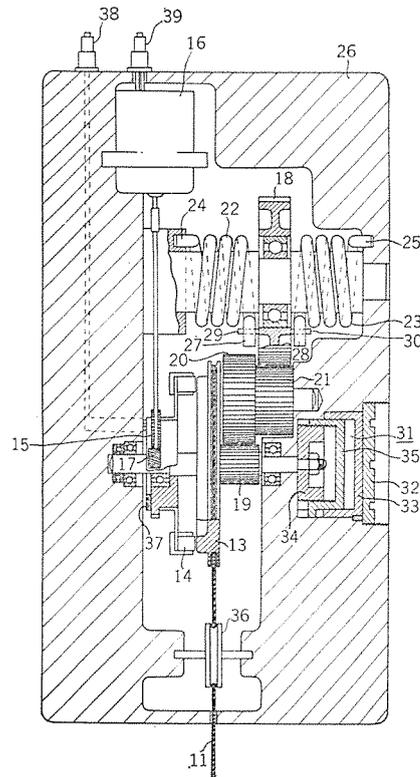


特許と新案

原子炉制御装置

発明者 穂原 智

この発明は、原子炉中へ制御棒を鋼索でつり下げよう入し、そのそう入の度合を加減する原子炉制御装置で、緊急時に制御棒をその自重により自由落下させ、最後にきわめてなめらかに躍動なく停止させることができるようにしたものである。図において制御棒をつり下げる鋼索(11)は巻胴(13)に一端を係止して巻かれており、巻胴(13)はウォームギヤ(17)、駆動輪(15)、電磁クラッチ(14)を介して電動機(16)により回転駆動されている。緊急時に制御棒を自由落下させようとするときには、電磁クラッチ(14)をはずし、制御棒の自重により巻胴(13)は急速に巻戻される。この巻戻しにより制御棒が所定位置近くまで落下すると、回転歯車(18)に設けられたピン(29)(30)が巻バネ(22)(23)の一端(27)(28)に係合し、回転歯車、巻胴の回転、すなわち制御棒の落下が巻バネ(22)(23)により緩衝的に停止する。ただしバネだけでは制御棒は躍動してすぐにはとまらないから、巻胴(13)の軸に取



付けられた空気制御装置(31)によってこの躍動を押える。すなわち巻胴(13)の急速な巻戻し回転によりネジ(34)が回転しピストン(35)をしてシリンダ(33)中をしゅう動させ、急速にシリンダ中の空気室を圧縮する。空気室内の圧力は体積に反比例するから、巻胴が回転し空気室が圧縮されるにつれ最初は圧力増加は少ないが、後に急激に圧力は増加する。したがって巻胴の巻戻し回転の始めにはほとんど影響を与えないが、巻戻しが進み制御棒が停止位置に達するころには、空気室の圧力が急激に増し巻胴の回転に大きい制動を与え、上記躍動を押える。なお、常時の制御時には巻胴(13)の回転速度が大きくないから、空気制御装置の空気室の圧力は空気の漏れによってほとんど変化せずなんら制動力を与えない。

(特許第 259131 号)

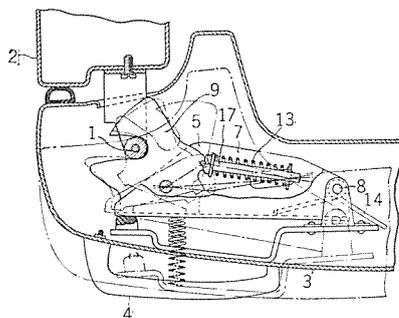
(葛野記)

扉の錠止装置

考案者 木下 忠男・駒形 栄一

この考案は、トビラの開閉を簡易化するために、トビラの前側に固定ハンドルを設け、トビラの錠止装置としていわゆるトルク機構式、すなわち、トビラの閉合操作時に箱体の受金に衝合することにより自動反転し、上記受金と掛合してトビラを錠止し、また、トビラの開放操作時に逆反転し、自動的に上記受金と離脱してトビラの解錠をなすトルク機構を備えた掛金装置を設け、トビラの開放操作は、ただ単に固定ハンドルをひっぱることによって解錠を行なうようにしたものの改良に関するものである。

すなわち、この考案は、上記掛金装置(5)を枢軸(8)によりトビラ(3)の内側に枢着した揺動金(7)に装着し、この揺動金は上記掛金装置(5)のトルク機構(17)の圧縮バネ(13)より弱い弾性力を有するひねりバネ(14)によりトビラの開放方向に付勢するようにしたので、トビラ(3)を開放する場合、固定ハンドル(4)をひっぱると、まず付勢力の弱いひねりバネ(14)に抗して揺動金(7)がトビラの開放方向



にさからうことなく時計方向に回動し、ついで掛金(9)を強力な圧縮バネ(13)に抗して回動させ受金(1)との掛合を釈放するように作動する。

したがって、固定ハンドル(4)をひっぱった瞬間には弱く、順次その力を増すようにしてトビラを開くことができるから、従来のこの種錠止装置のように、トビラを開く瞬間から力を入れる必要がないので、トビラを開放するときの体位いかにによって身体の安定を失うようなことがない。また、トビラを急激に閉じた場合に、箱体(2)の受金(1)と衝合した掛金(9)が、ガスケットの反発弾性力によりふたたび反転しようとしても、その前に付勢力の弱い揺動金(7)が掛金装置(5)とともに時計方向に回動するから、受金(1)から掛金(9)が離脱してトビラが開放するようなことのない効果も有している。

(実用新案登録第 528363 号)

(土居記)

最近における当社の社外寄稿一覧

年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
36-11- 8	電子技術	磁気テラによる数値制御フライス盤	小島一男	無線機
36-11- 9	電気学会雑誌	蓄勢リアクトルを用いた交流遮断器の合成等価試験方法	伊藤利朗・大倉敏幹	研究所
36-11-13	OHM	水銀整流器の実用等価試験	阿部久康	研究所
36-11-14	電気学会誌時報	250 kW パルス電力発生器	加藤又彦	伊丹
36-11-14	電気学会誌時報	半導体装置による電力制御	加藤又彦	伊丹
36-11-15	工業技術	日本の頭脳はこう考える —拓けゆく新分野をかく占う—	石黒克己	研究所
36-11-20	エンジニア “最近の通電加工技術”	放電型彫り	斎藤春雄	研究所
36-11-20	単行本(日刊工業新聞社) モータファン社	油圧機器と油圧回路 エンジン始動装置についての最近の傾向	金子徹夫 藤野健次・松原英二	無線機 姫路
36-11-22	エレクトロニクスダイジェスト	デジタル電子計算機 MELCOM-1101	嶋村和也	無線機
36-11-22	日本機械学会誌	リアトル制御(荷役機械への応用)	高岡明雄	名古屋
36-11-26	電気学会誌時報	特性曲線による半導体破損分析	加藤又彦	伊丹
36-11-26	電気学会誌時報	正弦波大電力用インバータ	加藤又彦	伊丹
36-11-27	電気学会誌時報	固体と液体誘電体の境界面に沿った絶縁破壊	岩崎晴光	伊丹
36-11-28	リビングデザイン大系第2巻	照明設計	小笠原善丸	大船
36-12- 2	電気計算	半導体整流装置の損失の測定法	加藤又彦	伊丹
36-12-11	電気学会	逆Z変換について	真鍋舜治・竹内秀憲	研究所
26-12-18	エレクトロニクスダイジェスト	パラメトリック増幅器を使用した気象用レーダ	植田英雄・御法川秀夫	無線機
36-12-23	経済運用関係諸装置	三菱電力経済配分計算機	前川善六	研究所
36-12-30	電気公論	電力関係の電子計算機使用の実例	馬場準一	研究所
36-12-30	応用物理	Cds: Ag 焼結膜の光電特性	伊吹順章・吉沢達夫	研究所
37- 1- 9	コロナ社 電子計算機ハンドブック	三菱電機の電子計算機	豊田準三	研究所
37- 1-10	電気学会誌時報	S・C・R の保存時の特性	加藤又彦	伊丹
37- 1-10	電気学会誌時報	周波数変換器 22年間運転す	加藤又彦	伊丹
37- 1-10	電気学会誌時報	シリコン整流器	加藤又彦	伊丹
37- 1-12	エレクトロニクスダイジェスト	サーキュレータの応用と問題点	喜連川隆	研究所
37- 1-13	電子科学	わが社のマイクロエレクトロニクス	山本隆一	研究所
37- 1-17	電気現場新技術	10年間における技術の進歩-電力用変圧器	村上 有	伊丹
37- 1-19	1/30岐阜県主催講演会資料	最近の建築照明の考え方(テキスト)原稿 —事務所・学校・病院—	小堀富次郎	本社

最近における当社の社外講演一覧

年月日	主催または開催場所	題名	講演者	所属場所
36- 6-24	日本計測学会材料研究部会	異方性 50%Ni-Fe 合金の研究	小倉忠利	世田谷
36- 8- 3	新三菱重工大江工場	AN/ARC-552A 無線機について	大木谷又三郎	無線機
36- 8-17	大垣工業高校	アナログ計算機解説と取扱方法	井塚秀弥・奥田 治	無線機
36- 8-18	ブリジストンホール	トランジスタの特殊応用	忍足 博	無線機
36- 8-22	堺市	金型の放電加工機について	東田孝彦	無線機
36- 8-27	NTV	テレビ・ゲストとして出演	馬場文夫	無線機
36- 8-29	松阪工業高校	アナログ計算機解説と取扱い方法	井塚秀弥・奥田 治	無線機
36- 8-29	関電ホール	デジタル微分解析演算のできる電子計算機とその応用	渡辺 優	無線機
36- 8-30	機械試験所	工作機械の数値制御	小島一男	無線機
36- 8-31	電機工業会館	データ処理装置	松元雄蔵	無線機
36- 9- 1	産業訓練協会	経営とIE	前田幸夫	本社
36- 9- 3	東京工業大学	ヒ塩化ケイ光体の研究	井手平三郎	大船
36- 9- 4	薄膜研究委員会	Epitaxial Growth について	伊藤利朗	研究所
36- 9- 5	月刊工業	金型用放電加工機について	斎藤長男	研究所
36- 9- 9	放電加工研究会	電極面積と加工速度との関係	斎藤長男	研究所
36- 9-12	粉末冶金協会	フェライトの収縮率について	友森正信	大船
36- 9-12	愛知県包装技術研究会	包装管理	堀 直昌	本社

最近登録された当社の特許

区別	名称	特許日	特許番号	発明・考案者	関係場所
特許	交通両用電気車の交直切換方式	36-11-20	287642	小原太郎	伊丹
"	イグナイトロン整流器の点弧装置	36-11-20	287654	細野勇	伊丹
"	原子炉用制御棒	36-11-20	287664	大野才三	研究所
"	核反応装置用燃料体	36-11-20	287665	岸田公治	伊丹
"	開閉扉	36-11-25	287830	河合登・高島秀二 柳下儀兵衛	大船
"	冷蔵庫の扉開閉装置	36-11-25	287860	加藤庸夫・柳下儀兵衛	大船
"	高周波酸化金属磁心	36-11-25	287972	中村弘・井手平三郎 水上益良	大船
"	油圧送り工作機械の送り制御装置	36-12-1	288281	奥島欽吾	名古屋
"	光電導セル	36-12-1	288304	山下博典・伊吹順章 森利雄	研究所
"	高圧用線輪体	36-12-1	288339	伊藤公男	研究所
"	フェーシングの影響を低減した自動追尾レーダ方式	36-12-9	289371	渡辺優	無線機
"	誘導電圧調整器	37-1-6	290521	武田英夫	長崎
"	蓄電池の充電制御装置	37-1-6	290534	片井正男	姫路
"	比較交流電気量の基準交流電気量と所定位相角の成分を導出する装置	37-1-12	291105	北浦孝一	神戸

最近登録された当社の実用新案

区別	名称	登録日	登録番号	発明考案者	関係場所
新案	緩み止めねじ	36-10-12	553698	新倉宗寿	中津川
"	扇風機	36-10-12	553699	森川洋・熊沢俊治	中津川
"	蛍光灯器具	36-10-21	554513	船田淳三・山崎肇	大船
"	蛍光灯用スイッチ	36-10-21	554515	小笠原善丸	大船
"	電気掃除機	36-10-21	554519	武井久夫	菱電機器
"	クリーナー用集塵袋	36-10-21	554522	武井久夫・祖父江常雄	菱電機器
"	クリーナー防音装置	36-10-21	554527	東邦弘・武井久夫	菱電機器
"	埋込型蛍光灯器具の天井配線点検穴封塞装置	36-10-21	554551	船田淳三・鈴木明美	大船
"	避雷器	36-10-21	554514	岡田昌治	伊丹
"	大電流用半導体整流装置	36-10-21	554516	加藤又彦	伊丹
"	垂直形刷子保持器	36-10-21	554517	奥谷庄一	神戸
"	半導体整流器	36-10-21	554518	加藤又彦	伊丹
"	交直両用電気車の電圧切換装置	36-10-21	554520	待鳥正・小原太郎	伊丹
"	磁石装置	36-10-21	554521	藤木一	無線機
"	同期機の界磁	36-10-21	554523	杉山昌司	名古屋
"	連動開閉器	36-10-21	554524	太田政太郎	長崎
"	半導体整流器の制御装置	36-10-21	700249	細野勇	伊丹
"	半導体整流器の制御装置	36-10-21	700250	細野勇	伊丹
"	半導体整流装置	36-10-21	700251	細野勇	伊丹
"	電解用整流装置の構造	36-10-21	700252	加藤又彦	伊丹
"	半導体整流器装置	36-10-21	700253	加藤又彦	伊丹
"	電気アイロン	36-10-31	555465	高橋正晨・千賀辰二	菱電機器
"	複写機用光源装置	36-10-31	555467	井手平三郎・依田功	大船
"	複写機用光源装置	36-10-31	555468	高島秀二・井手平三郎 依田功・山崎清司	大船
"	電気アイロン	36-10-31	555478	増谷良久・小原英一	菱電機器
"	扇風機の首振旋回安全装置	36-10-31	555481	新倉宗寿・糸魚川佐富	中津川
"	回転電機の電機子	36-10-31	700267	内海権三・河村寿三	伊丹
"	電気弁インバータの保護装置	36-10-31	700268	細野勇	伊丹
"	電気ルミネセンス板を併用した蛍光灯点灯回路	36-10-31	555760	高島秀二・山崎肇	大船
"	自動電気釜	36-10-31	555761	加藤義明 高橋賢治	菱電機器 山

≡≡≡最近登録された当社の実用新案≡≡≡

区 別	名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 考 案 者	所 属 場 所
新 案	車両用天井形冷房装置	36-10-31	555762	牛田善和・加藤敏夫	静 岡
"	熱風乾燥機	36-10-31	555763	武井久夫・服部信道	菱 電 機 器
"	小形電動機用固定子	36-10-31	700273	新倉宗寿	中 津 川
"	格子制御放電管の制御装置	36-10-31	555464	武藤 哲	神 戸
"	水車発電機用入口弁の開閉表示装置	36-10-31	555466	松尾 潔	神 戸
"	接地継電器	36-10-31	555469	大野栄一・平野琢磨	}研究 所 福 岡
"	蓄電池の充電制御装置	36-10-31	555470	浅野哲正	姫 路
"	保護継電装置	36-10-31	555471	北浦孝一	神 戸
"	位相比較式搬送保護継電装置	36-10-31	555472	北浦孝一	神 戸
"	磁気楔	36-10-31	555473	片山仁八郎・甘粕忠男	長 崎
"	位相比較式搬送保護継電装置	36-10-31	555474	北浦孝一	神 戸
"	水車発電機用入口弁の開閉表示装置	36-10-31	555475	松尾 潔・梅名茂男	神 戸
"	水車発電機用入口弁の開閉表示装置	36-10-31	555476	松尾 潔・梅名茂男	神 戸
"	定電圧電源装置	36-10-31	555477	三木隆雄	姫 路
"	固定子巻線用巻型取付装置	36-10-31	555479	大森淳夫	名 古 屋
"	金属整流装置	36-10-31	555480	小林 凱	伊 丹
"	水銀整流器の等価試験装置	36-10-31	555482	阿部久康・山口峯男	研 究 所
"	水銀整流器の逆弧防止装置	36-10-31	555483	奥村儀一	伊 丹
"	ピスの廻り止め装置	36-10-31	555484	梶田保雄	名 古 屋
"	故障点表示装置	36-10-31	555485	松尾 潔	神 戸
"	電線端子の締付装置	36-10-31	555486	魚住幸男・木野崎泰三	名 古 屋
"	交流発電機の励磁装置	36-10-31	555487	細野 勇	伊 丹
"	過電圧倍数の大きい電圧継電器装置	36-10-31	555488	藤井重夫	神 戸
"	可撓紐線	36-10-31	555515	源野武司・大西守 (大日電線と共同出願)	伊 丹
"	可撓紐線	36-10-31	555516	源野武司・林 貴 (大日電線と共同出願)	伊 丹
"	可撓紐線	36-10-31	555517	源野武司・大西守 (大日電線と共同出願)	伊 丹
"	集電装置	36-10-31	555764	村田 実・岸木繁雄	伊 丹
"	巻鉄心変圧器	36-11- 8	556113	松井武男・伊藤芳夫	名 古 屋
"	巻鉄心	36-11- 8	556097	吉野敏夫	名 古 屋
"	油入変圧器の冷却装置	36-11- 8	556098	田宮利彦	伊 丹
"	電子加速装置の電子線電流自動制御装置	36-11- 8	556100	{菅野正雄・今村元敦 後藤正之・藤永 敦}	研 究 所
"	記録車固定装置	36-11- 8	556101	高部俊夫・田中 浩	研 究 所
"	密封形導体接続装置	36-11- 8	556099	西山 貞	大 船
"	刷子保持器	36-11- 8	700279	市川 和・本庄由尚	姫 路
"	モシンの水平送り調整装置	36-11-11	556532	三津沢武夫・森田 稔	和 歌 山
"	揚水ポンプ装置	36-11-11	556533	佐々静男・松崎哲男	福 岡
"	電動機空隙測定装置	36-11-13	700321	吉野昌孝	中 津 川
"	小型直流機用回転子	36-11-13	700322	大築勅靖	中 津 川
"	小型電動機用固定子	36-11-13	700322	今井 進・柘植 恵	中 津 川
"	磁石装置	36-11-27	557557	藤木 一	無 線
"	複数電動機運転用表示燈装置	36-11-27	557580	木内 修・藤井三郎	長 崎
"	半導体整流装置	36-11-27	557581	加藤又彦	伊 丹
"	端子板	36-11-27	557582	村上 寛	無 線
"	電子加速装置の電子線電流測定装置	36-11-27	557583	{今村元・藤永 敦 後藤正之}	研 究 所
"	回路保護装置	36-11-27	557584	武藤 正	}福 名 古
"	冷蔵庫のガスケット	36-11-27	557148	木下忠男・駒形栄一	静 岡
"	冷蔵庫の霜取装置	36-11-27	557558	木下忠男	静 岡
"	冷蔵庫の霜取装置	36-11-27	557559	木下忠男	静 岡
"	巻鉄心	36-11-30	558331	吉野敏夫	名 古 屋
"	冷蔵庫扉の開放装置	36-11-30	558013	木下忠男	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) 東京 (201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電) 東京 (211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電) 東京 (211) 代表 1261・1271・1281
東京商品所	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	大阪府北区堂島北町8番地1(電)大阪(34) 代表 5251
大阪商品営業所	大阪府北区堂島北町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2の4(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 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通り西1丁目13番地 (電) 札幌 (3) 代表 9151
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 6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電)富山(2)0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電)広島(2)4411~8
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル内) (電) 高松 (2) 代表 5021(ビル) 4416(直通)
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電)小倉(52)8234
静岡出張所	静岡市七間町9番地10(電)静岡(2)2595(3)2962
金沢出張所	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3)6213
長崎出張所	長崎市江戸町30(電)(2)8266
岡山出張所	岡山市上石井174番地(岡山会館4階) (電) 岡山 (3) 2948(2) 2564
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
商品研究所	神奈川県鎌倉市大船782番地(電)大船 代表 3131
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
無名線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73)1531
静岡製作所	静岡市小島110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 2121~8
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(82) 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
神奈川製作所	神奈川県鎌倉市大船800番地(電)大船 代表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町437(電)東京(414) 代表 8111
郡山製作所	福島県郡山市字境橋町1番地(電)郡山 1220~1223
伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地(電)伊丹 大代表 5131
鎌倉製作所	神奈川県鎌倉市上町屋325番地(電)大船 4141
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1
東京工場	東京都世田谷区池尻町305(電)東京(414) 代表 8111
札幌修理工場	札幌市北二条東12丁目98番地(電)札幌(2)3976

次号予定

三菱電機 Vol. 36 No. 5

エレクトロニクス特集

- 巻頭言
- 12 GC 帯簡易多重通信装置
- ホーン・リフレクタ・アンテナ
- 観測用ロケット追尾レーダ(GTR-1形)
- 地上大形硬質レードーム
- 相関装置によるS/N比の改善
- トランジスタ化産業用テレビジョン装置
- プロダック制御装置
- シリコン制御整流素子による電動機制御
- MELCOM-1101 計数形電子計算機(2)
- YAC(操車場自動制御用計算機)
- データ処理装置(1)
- 過渡安定度計算機
- MAMA自動プログラム方式
- UHF帯テレビコンバータ
- 三菱トランシーバ
- 技術解説: 電子機器の超小形化の現状と将来最近のフェライトとその応用

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	小倉弘毅	常任委員	馬場文夫
副委員長	宗村平	"	山田栄一
常任委員	浅井徳次郎	委員	片岡高示
"	荒井潔	"	榎本俊弥
"	安藤安二	"	篠崎善助
"	小川清一	"	関野博雄
"	小堀富次雄	"	前田祐彦
"	高井得一郎	"	米野俊彦
"	中野光雄		(以上50音順)

昭和37年4月21日印刷 昭和37年4月23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 小倉弘毅

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
東京都千代田区丸の内2丁目3番地 電話東京(201)1611

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



NP形, NQ形電動油ポンプシリーズ完成

工作機械の切削油または潤滑油の給油用をはじめ一般産業用として、NP形およびNQ形電動油ポンプを開発しこのほど生産を開始した。

この電動油ポンプはNP形およびNQ形各4機種で標準仕様は下表のとおりである。

NP形は任意の床の上に設置して運転する自吸ポンプ、NQ形は油そう内へポンプ部分を浸油させて使用されるもので、モートルはいずれも三相200V 2Pである。とくにNQ形は新標準形で今後の需要が大いに期待される。



特長

- (1) 近代化された各種機械にマッチした形状で、かつ、小形軽量である。
- (2) ポンプ性能をきわめて向上させたので、豊富な油量が供給できる。
- (3) モートルは全閉形または全閉外扇形で、水滴、油滴、ホコリなどに対して完全な保護方式としている。
- (4) モートルとポンプ室は一体に組立てられ、スムーズで静かな運転ができる。
- (5) 十分吟味された材料および部品を選択使用しているので寿命が長い。
- (6) 据付、取扱いはきわめて容易である。
- (7) 端子箱は、上下左右に向きを変えられ、配線が便利である。
- (8) 給油不要のシールドボールベアリングを使用している。

標準仕様

名称	形名	電圧 (V)	周波数 (c/s)	揚程 (m)	流量 (l/min)	使用電動機
床 置 形	NP-50	200 200	50 60	1.5 1.5	10 12	50 W 三相誘導電動機
	NP-150	200 200	50 60	2 2	25 30	150 W "
	NP-250	200 200	50 60	3 3	50 70	250 W "
	NP-400	200 200	50 60	4 4	80 100	400 W "
浸 油 形	NQ-50	200 200	50 60	1.5 1.5	11 13	50 W "
	NQ-150	200 200	50 60	2 2	30 35	150 W "
	NQ-250	200 200	50 60	3 3	60 80	250 W "
	NQ-400	200 200	50 60	4 4	90 110	400 W "

注：油の粘度は40センチストークス（レッドウッド約160秒）のばあい。