

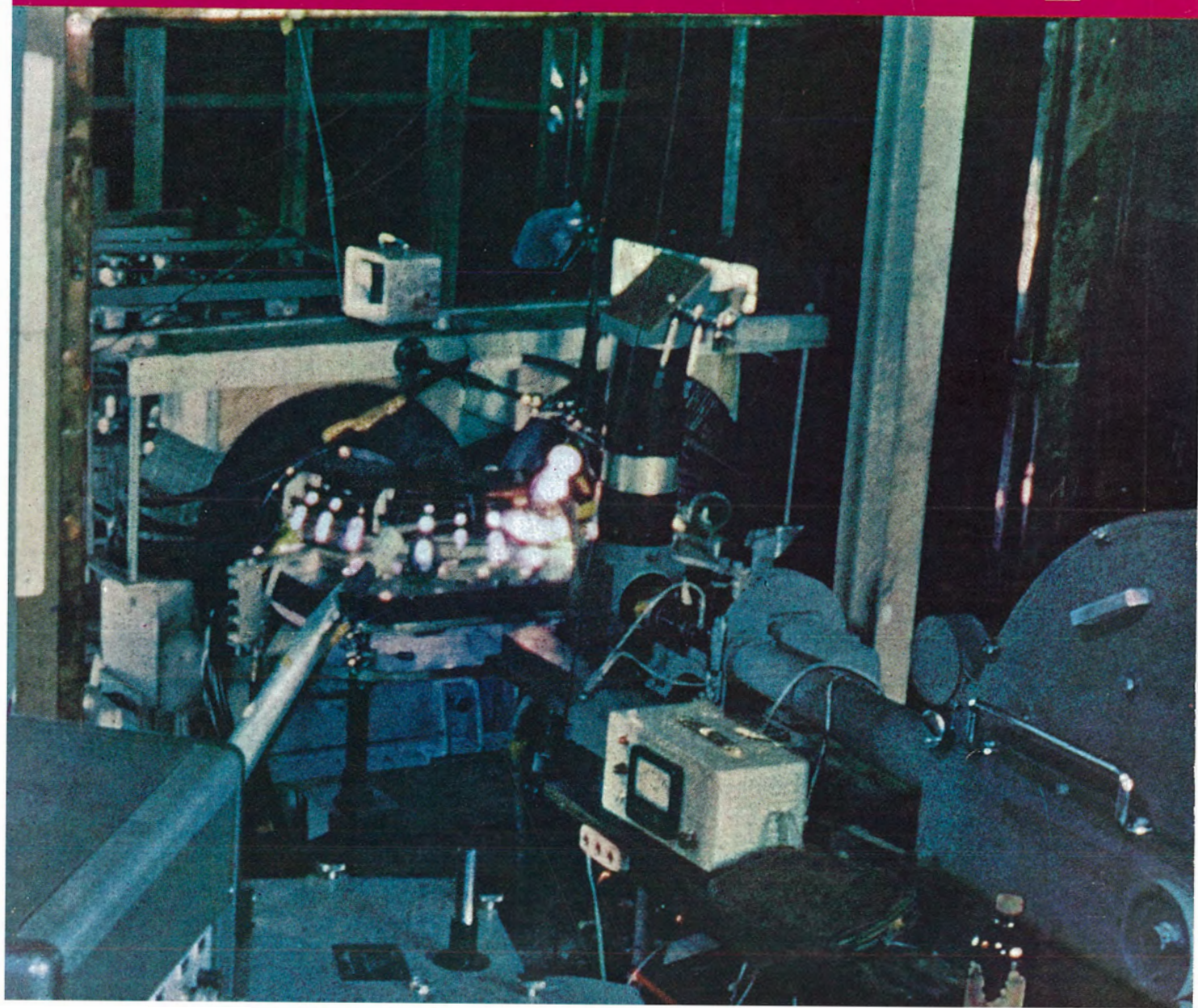
MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

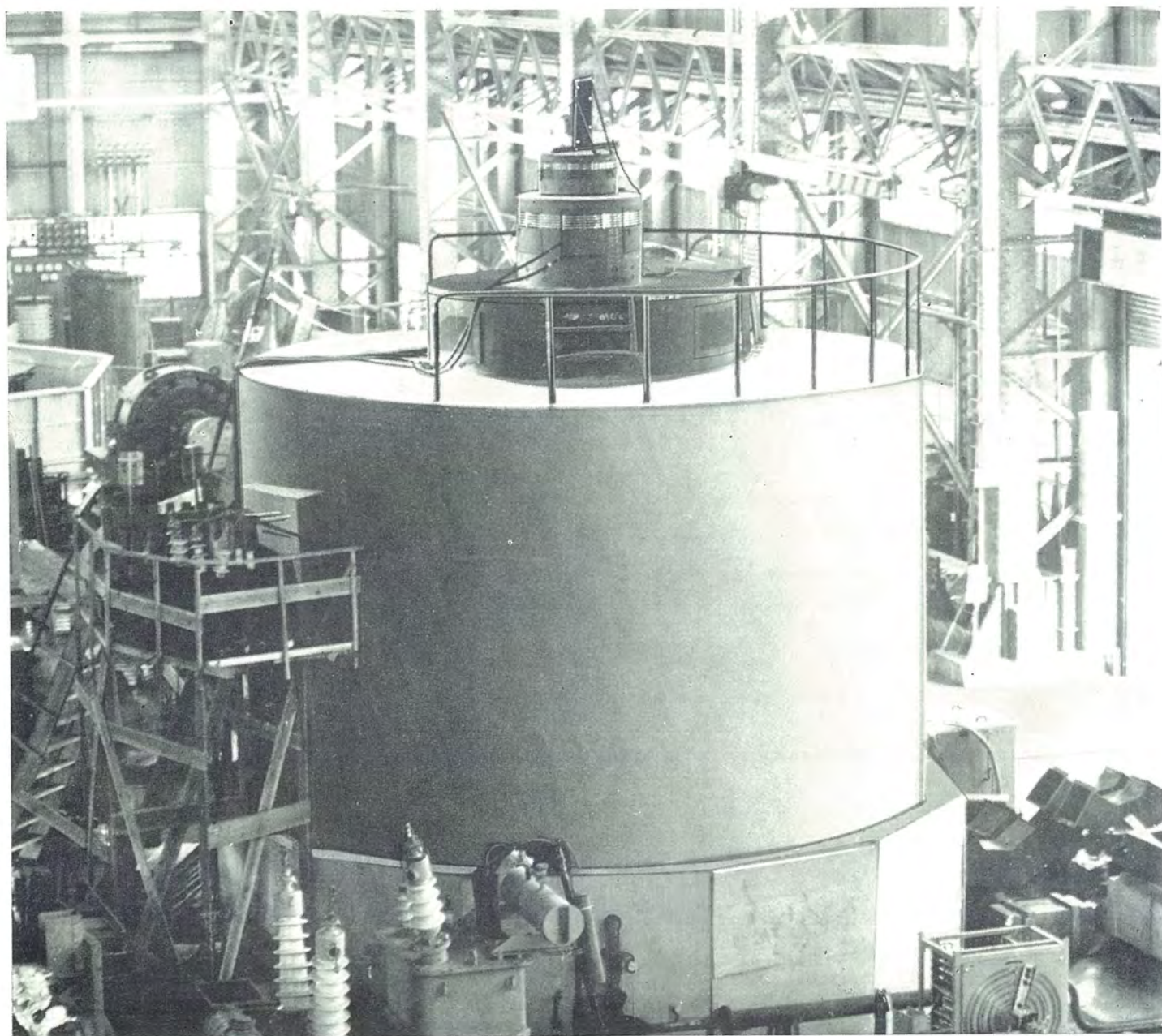
Vol. 37 April 1963²⁹

4

高温 プラズマ 発生用環状放電装置



メキシコ サン・バルトロ発電所納め 21,000kVA 水車発電機完成



このたび、かねてから製作中であったメキシコ電力庁発注 サン・バルトロ 発電所納め、立テ軸フラッシュ 水車直結、普通形水車発電機が完成し工場試験も好成績のうちに完了した。

現地にすえ付けられメキシコの首都メキシコシティに電力を供給することになる。

■ 特 長

1. 115% 過負荷 24,150 kVA で運転できる二重定格である。

2. 電圧が $\pm 15\%$ 変化しても定格出力が出せるように設計されている。

3. 立テ軸 600 rpm 機としては、比較的容量が大きい。ため、構造上種々の配慮がなされている。

■ 定 格

出 力	21,000 kVA
電 圧	13,800 V
回転数	600 rpm
力 率	90 %
周波数	50 c/s
G D ²	115 A-m ²



社会と企業を結ぶ PR 施設
 三菱電機スカイリング



表紙説明

当社研究所では昭和37年初夏に完成した放電装置2号器を用いて、高温プラズマの意欲的な研究が続いている。この装置は、ジュール加熱された自己ピンチプラズマの周囲にプラズマ安定化および圧縮のための軸方向磁界を印加するユニークな方式の装置であって、断面内径120φ、曲率半径300φのドーナツ状放電管の内部に持続時間300μs、温度数十万度のプラズマを発生できる。この実験は、高温プラズマの加熱および閉じ込めの分野における一つの活路を開拓するものとして注目されている。



三菱電機技報

昭和 38 年 第 37 卷 第 4 号

目 次

ベトナム 共和国 ダム 第一発電所向け 4×45,000 kVA 水車発電機	森 与志彦	2
中国電力新徳山変電所納め配電盤	長町恒資	7
低圧屋外用空気シヤ断器	潮 恒 郎・森岡昭二・吉田頼弘	12
最近の送電線保護継電装置(3)—PC-312 形搬送保護継電装置—		
北浦孝一・古谷昭雄・室田 慎・小林 茂		16
トランジスタ式移動用 400 Mc/FM 無線装置	黒田忠光・奥村 徹・桂川 弘・中村信弘	22
自動車用 400 Mc 帯高利得 アンテナ	喜連川 隆・武市吉博・水沢丕雄・桂川 弘・大林愛弘	29
航空機用超短波無線装置	平岡敏也・山口哲夫・浜口道雄・村山 昇	33
陰極無絶縁形エキサイトロン	阿部久康・池田和郎	39
強磁性蒸着薄膜の試作	野口英男・上坂達生	47
単アドレス計算機における命令のひん度	壺井芳昭・木村孝之	52
大形焼結 ブロウ	宮内貞夫	57
油浸 プレスボード の耐 コロナ 性	原 仁 吾・平林庄司・田畑則一	61
固体試料分析用二重収束質量分析器 (II)	甲斐潤二郎・尾形善弘	66
クロムステンレス 鋼羽根車の ロウ 付	稲岡千種・平川俱起	71
エナメル 線の熱劣化 (2)	森田義男・坂田桂三	75
高温 プラズマ 発生用環状放電設備とその工学的諸問題		
河 合 正・杉本盛行・近藤博通・岩本雅民・飛田敏男		82
《文 献 抄 訳》		
より高速で多用途の コンピュータプロセス 制御装置・高精度トルク 平衡形変換器・アリゾナ パブリックサービス 電力会社向けの On-Line 計算機制御・試験用変圧器		90
《ニュース・フラッシュ》		
インド 国鉄第二次 イグナイトロン 式交流機関車完成・関西電力 天ヶ瀬発電所納め 55,000 kW 水車発電機・巻上特殊2段速度 ホイスト 完成・新 シリーズ EM 形電磁開閉器・MR 形電磁継電器・RP 形 プラグインリレー・磁気増幅器式 アナログ 計算機完成・高速反応研究用直視形高分子質量分析計		93
《特 許 と 新 案》		
車両用天井形冷房装置・回転電機の回転子		98
《最近における社外講演一覧》		89
《最近登録された実用新案》		28
《表 紙》		
2. メキシコ サン・バルトロ 発電所納め 21,000 kVA 水車発電機完成		
3. 技術の先端をゆく電解加工機		
4. 三菱電機洗たく機 三菱 アイロン		

ベトナム共和国ダニム第一発電所向け 4×45,000kVA 水車発電機

森 与志彦*

Four 45,000 kVA Water Wheel Generators for Republic of Viet Nam

Kōbe Works

Yoshihiko MORI

Four 45,000 kVA horizontal type water wheel generators each to be coupled to 42,000 kW horizontal Pelton turbines are now in the course of shipment to Viet Nam. The units are the second largest horizontal water wheel generators built in this country. Upon completion of the power station projected, Viet Nam can boast of new generating equipment rated 160,000 kW, which surpasses the existing facilities of 119,000 kW. The generator has unique talking points of supporting the total rotating weight including the turbine runner and its thrust. This results in the provision of the largest bearings ever built by Mitsubishi.

1. ま え が き

この発電機はベトナム共和国ダニム第一発電所向けとして、42,000 kW 横軸ペルトン水車に直結されるもので、横軸機としては本邦最大を誇る台湾電力竜潭発電所向け 54,000 kVA 水車発電機につぐ大容量機である。

ベトナム共和国は 1954 年 ジェネーヴ協定によって現在の政権が確立された。178,000 km² の国土に 1960 年には 1,350 万の人口を擁するに至っている。この国は豊富な水資源に恵まれているにもかかわらず電力はサイゴン地区を主としてほとんど火力発電に依存しており、他地方においても大部分が小規模のディーゼル発電によっている現状でその全設備容量は 1960 年度において 118,900 kW に過ぎない。この火力発電設備のうちには老朽化して能率の低下したものもあり、燃料も大部分輸入に頼らなければならない状態であるため水力資源の開発は、この国の経済的社会的発展にとって不可欠のものであった。

ここにベトナムの有史以来最大の規模を誇る総出力 160,000 kW のダニム第一発電所が、日本とベトナム共和国との賠償および借款協定に基づいて 1961 年 4 月に着工された。この発電機 4 台はこのダニム第一発電所に納入されるもので、発電所完成のあかつきには豊富安価な電力を供給することによってベトナム共和国の

発展に大きく貢献するものとして期待される。

2. 発電所地点

発電所は図 2.1 に示すとおりサイゴンの東北約 250 km、避暑地として知られているダラットの南約 30 km の地点にある。ダラットの東北方の安南山脈に源を発するダニム河はダノン河に注ぎ中流でソソ、ランガ河を合わせてドンナイ河となり、サイゴン南方でサイゴン河に合し南支那海に注いでいる。そのダニム河をドラムにおいてせき止め 5 km のトンネルによって東海岸側に流域変更して 800 m の落差を得ている。ここで発生した電力は 230 kV の送電線でサイゴンに向け送られる。

3. 発電機

発電機は横軸機で発電機主軸の一端に 42,000 kW ペルトン水車のランナをリマボルトで直結し他端に主励磁機、永久磁石発電機、副励磁機をクニ状に直結した構造である。したがって水車には軸受がなく、発電機の 2 個の軸受で発電機回転子および水車ランナの重量および水車の噴射水の合成推力を支持するものである。とくに水車寄りの軸受はこのほかに軸方向の推力にも耐えるように設計されている。この軸受は当社で製作した最大級のもので運転の安全性を高めるために冷却および給油方式には万全の措置がとられている。

通風方式は閉鎖風道循環形で幅 8.0 m、高さ 3.6 m、長さ 4.3 m に及ぶ角形の鋼板製風道で発電機をおおい内部に 2 個の空気冷却器を置いている。

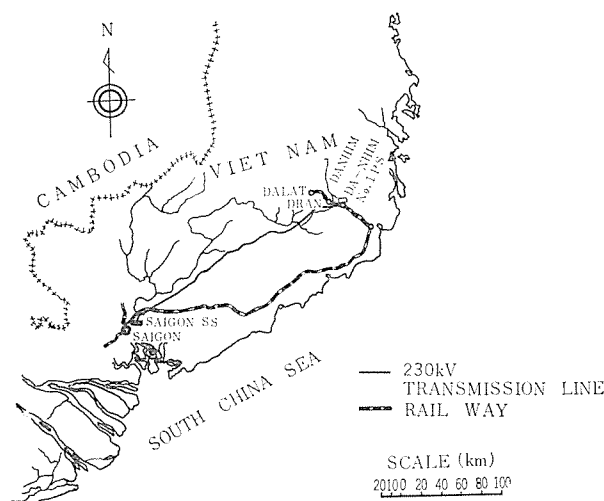


図 2.1 発電所地点図
Fig. 2.1 Site of the power station.

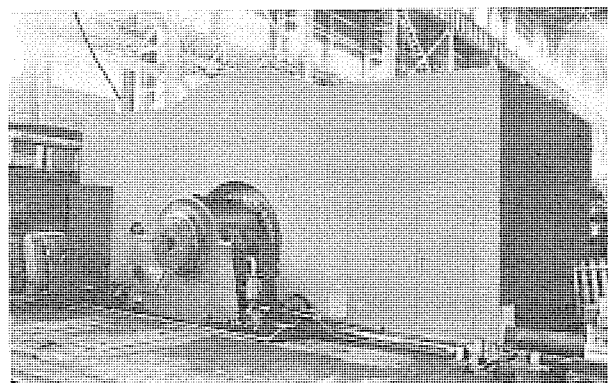


図 3.1 発電機工場完成写真
Fig. 3.1 Generator completed at the factory.

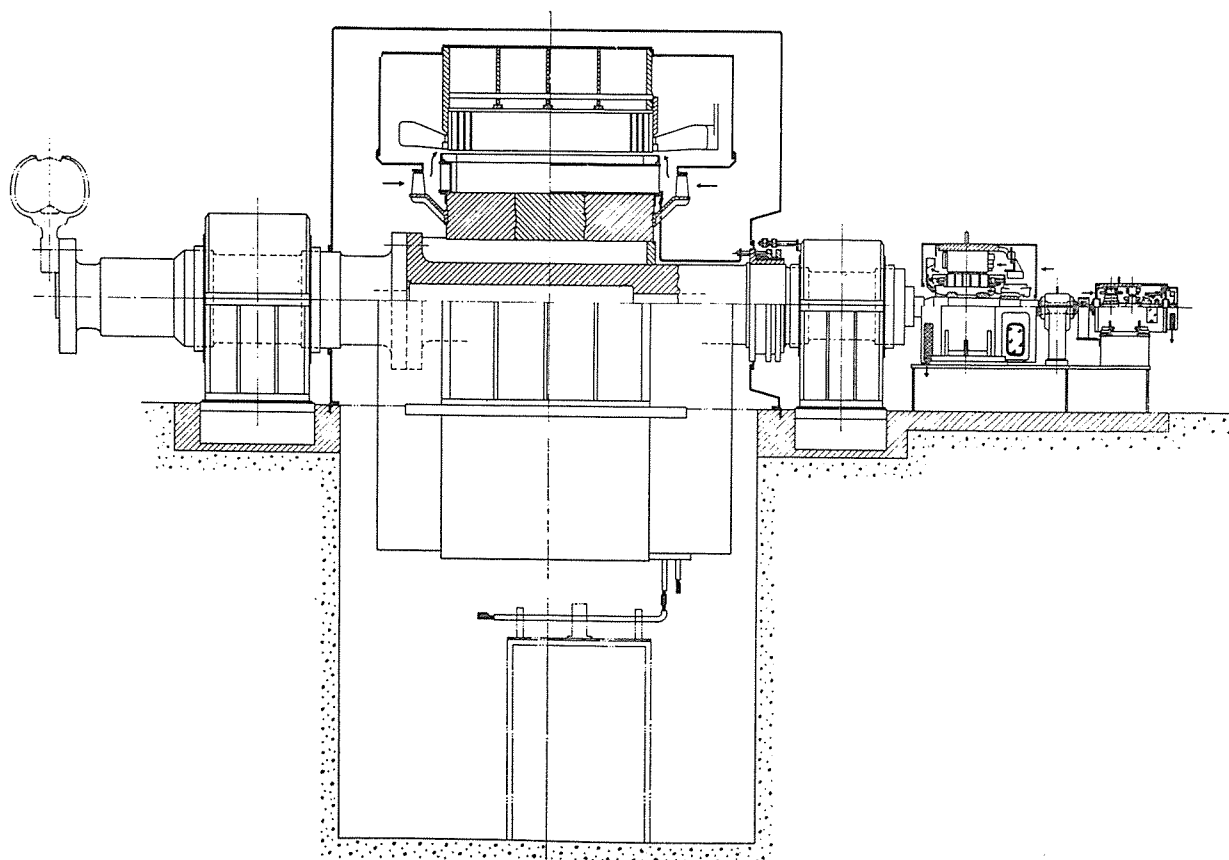


図 3.2 構造断面図

Fig. 3.2 Cross section of machine.

図 3.1 は発電機の工場完成時の写真を示し、図 3.2 はその構造を示す断面図である。横軸の大形機については、当社は十分の経験を有するものであるがさらに最新の技術を駆使して漸新な構造もいくつか採り入れている。とくに工場完成後 920 rpm という高速で 5 分間の無拘束速度試験を無事終了したことは、その構造の優秀性を遺憾なく発揮したものといえよう。以下にこの発電機の概要を述べる。

主要機器の設計仕様はつぎのとおりである。

(1) 主発電機

形 式	横軸回転界磁閉鎖風道循環形 (空気冷却器付)		
定格出力	45,000 kVA (巻線温度上昇 70°C)		
電 圧	13,200 V		
力 率	89% 遅れ		
回転数	500 rpm (無拘束速度 920 rpm)		
周波数	60 c/s		
極 数	12 極		
はずみ車効果	365 t·m ²		
短絡比	1.2 以上		

(2) 主励磁機

形 式	開放保護形		
定格出力	160 kW		
電 圧	220 V	頂上電圧	300 V
極 数	6 極	速応比	1.0 以上

(3) 副励磁機

形 式	開放保護形		
定格出力	1 kW	電 圧	110 V
極 数	4 極		

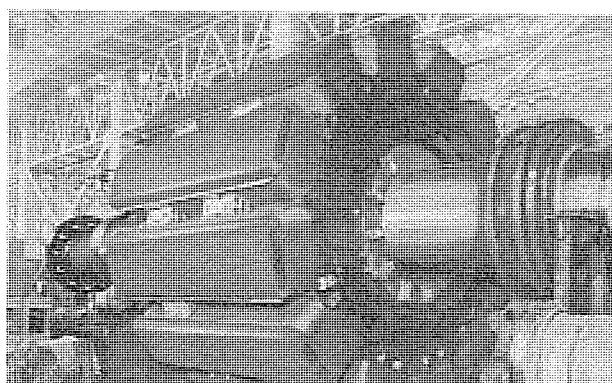


図 3.3 発電機回転子
Fig. 3.3 Generator rotor.

(4) 永久磁石発電機

定格出力	250 VA	電 圧	110 V
周波数	25 c/s		

3.1 回 転 子

図 3.3 は工場組立中の発電機回転子を示す (図において通風用ファンは未取付の状態)。回転子は 30 トンの輸送制限上、各部に分割式の構造を採用したがそのために高い剛性を失わぬように工夫した。また、はずみ車効果 365 t·m² を得るために機械的な強度の許す範囲内でできるだけ回転子の径を上げ重量の軽減を計った。

水車の無拘束速度 920 rpm 時には回転子の周速は 140 m/s に達し、磁極 1 極あたりの遠心力は単位長あたり約 19 トンという巨大な値となる。このため磁極鉄心には高い降伏点強度を持つ良質の薄鋼板を使用し、また最大級の非対称ダブルダブルールを開発しこれを使用した。磁極の両端は鍛鋼製の端板をあてボルト締めで一

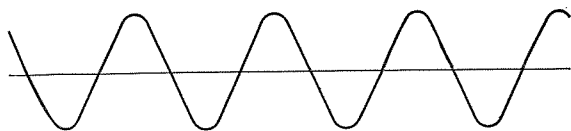


図 3.4 無負荷電圧波形 (13,200 V)
Fig. 3.4 Generator voltage wave form.

体としている。

磁極の形状については磁束の利用率をできるだけ高めるとともに、機械的な強度も考慮して従来と異なる新しいものを採用した。磁極形状の決定においては発電機の電圧波形についても十分の考慮を払う必要がある。本機においては無負荷電圧 13,200 V において波形狂い率 2.19% という良好な結果を得た。図 3.4 に無負荷電圧波形のオシログラムを示す。

また磁極表面に埋め込まれた制動巻線は、磁極の両端において極間の接続を行なわない、いわゆる非連続制動巻線である。このため制動巻線の極間接続部分が機械的な弱点部分となる心配はなくなったが、このような非連続制動巻線を採用した場合、次過渡時の直軸リアクタンスおよび横軸リアクタンスの不平衡に基づく異常電圧が発生することが古くから種々の文献で報告されている。このため本機では直軸および横軸次過渡リアクタンスの不平衡をできるだけ少なくするように、とくに設計上注意を払った。この結果“ X_d ”および“ X_d' ”の比は Da-Ca 法による実測の結果 1.26 という良好な結果を得た。

界磁コイルは裸平角銅帯を平打巻に曲げ、巻回間絶縁としてアスベスト紙、対地絶縁としてアスベスト布および可とうマイカナイトを使用し温度を上げ、コイルの遠心力に相当する高い圧力でウオスの焼付けを行なっている。磁極間の空間にはクサビ状の軽合金製の界磁コイル締金 2 個を設け、無拘束速度時においてもコイルの横方向の剛性を確保するようにした。また界磁コイル下面にはコイル押上用の板バネをそう入し、コイル絶縁の枯れに基づく異常振動の発生を防止した。

スパイダルムは上述の磁極および界磁コイル等を支持し回転部分中最もか酷な機械的強度を要求されるものである。鍛鋼製で 3 分割しリブ付の主軸に焼きばめしている。主軸は輸送の都合上 2 分割し中空軸とした。2 本の軸の結合には作り出しのフランジを介して強力な特殊鋼製リーマボルトで締付けている。このリーマボルトは伸びにより締付圧力を測定できるようにして、フランジ面の面圧を所要値以上に確保するようにした。この 2 本の主軸のうち発電機側主軸には、その外周に鍛鋼製の 6 本のリブを溶接しその上に前述したスパイダルムを焼きばめしている。図 3.5 は発電機側主軸にリ



図 3.5 リブ溶接中の発電機主軸
Fig. 3.5 Generator shaft with ribs being welded.

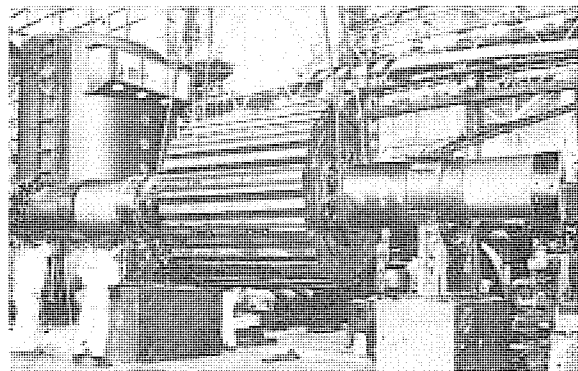


図 3.6 スパイダルムおよび発電機主軸
Fig. 3.6 Spider rim and generator shaft.

ブ溶接中の状況を示す。このリブおよびスパイダルム間には円周上 3 個のトルク伝達用キーを設けている。スパイダルムを焼きばめしたあとこのキーを円周方向に固着させるためにキーは 3 分割されている。すなわちまず逆 T 形のキーをリブに取付けておき、スパイダルム焼きばめ後その両側に他の 2 本のキーを打込んで円周方向に張らすようにしたものである。図 3.6 は主軸にスパイダルムを焼きばめしたところを示す。

通風用ファンは鋼材溶接製の軸流ファン 2 個をスパイダルムの両端に取り付けている。

回転子は水車の無拘束速度時にも異常振動を生じないように危険速度について電子計算機を用いて十分の検討を行なった。

3.2 固定子

固定子ワックは鋼材溶接構造で輸送および組立分解の都合上 2 分割の構造とした。そして固定子の上半分を分解することによって容易に回転子の取はずしや点検ができるような構造とした。すなわち固定子巻線については上口コイルおよび下口コイルの配列およびその接続に考慮を払い、固定子の分割面をはさんで一部のコイルの継ぎサヤをはずすだけで上下に分割できるようにした。また固定子ワックには合計 4 個のガイドを設けて、上半分の固定子の分割および組立の際に固定子巻線を損傷することのないようにした。

固定子鉄心には 0.35 mm 厚み的高级ケイ素鋼帯を使用した。これを扇形片に打抜いたものを積層する。途中に適当数の通風間ガキを設け固定子コイルおよび鉄心とも、できるだけ平均して冷却できるようにし、異常な高温部ができないように留意した。固定子鉄心の両端は非磁性のフィンガープレートおよび押え板を介してボルトで強固に締付け、長期間運転後の鉄心のゆるみによる振動および騒音を生じないようにした。

固定子コイルは 1 ターンハーフコイルを採用した。導体は多くの二重ガラス被覆平角銅線で構成し、固定子鉄心のスロット内でローベル転位を実施して交流損失の減少をはかった。対地絶縁は連続マイカテープおよび保護用としてガラステープを使用し、これに当社独特のダイヤレジン、すなわち不飽和ポリエステル樹脂を含浸しこれを加熱重合させた B 種絶縁である。コイル表面にはコロナ防止処理を施している。

コイル接続には波巻を採用しコイル間の接続が最小数で済む構造とした。固定子分割面にまたがるコイルについてはに前述したように分割し易い構造とした。各コイルの端部は絶縁したアルミ合金製のさきえ輪にそれぞれ縛り付け、さらにコイルとコイルとのスナキ間には適当数のマイカルタ製スペーサをそう入しコイルとともに固く縛り付け、各コイル端部を一体としてその強度を保つように

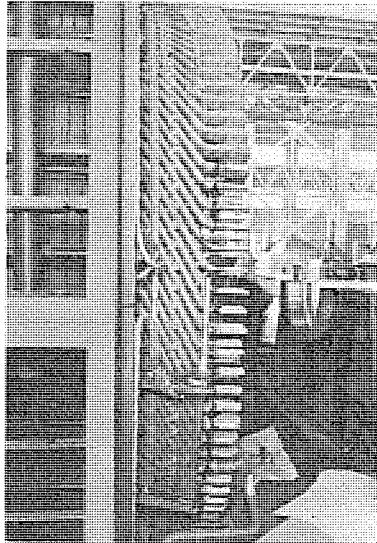


図 3.7 発電機固定子
Fig. 3.7 Generator stator.

している。図 3.7 は固定子分割面付近の コイル 端部の模様を示す写真である。なお コイル 温度測定用として上口および下口 コイル 間に合計 12 個の サーチコイル をそう入し、うち 6 個を予定としている。

3.3 軸受および潤滑系統

軸受は 2 個でいずれも水冷式軸受である。とくに水車側軸受は発電機回転子および水車 ランナ 重量のほかにペルトン 水車噴射水の荷重もかかるため励磁機側軸受より大形となっており、このほかランナケットの中心と噴射 ノズル 中心の不一致に基づく軸方向推力にも耐えるようになっている。

軸受 シェル は鋳鋼製で外面を球形座とした自動調心形構造である。内面には高級 ホワイトメタル を鋳込み精密仕上げしている。とくに直接荷重をささえる軸受下半部の軸受 シェル と ホワイトメタル との間に厚銅板を張り、これに軸方向に多数の通水孔を設けこれに冷却水を通して冷却効果を高めている。給油は軸受台内の油だめから 4 本の シンチュウ 製の オイルリング により油をくみ上げるほか、強制油循環も併用して運転の安全性を高めている。すなわち各軸受の油いつ流口から流れ出た熱油は、自然流下により油 タンク にいったん集められたあと油循環 ポンプ でこれをくみ上げ、油冷却器を通して冷却されたあと軸受側面に設けた給油孔から給油される。また起動時主軸と ホワイトメタル が金属接触を起さぬように各軸受に圧油 ポンプ を設け、軸受下部から圧油を送入して油膜を生成せしめ起動が容易に行なえるようにしている。

軸受台は鋼材溶接構造で内部に油だめを有する。その脚部は軸電流が流れぬように絶縁板、絶縁 ノック および絶縁 ボルト で絶縁して基礎に固定されている。また軸受内部で発生した油露が外部に漏れぬように風圧による空気 シャ 断を行なっている。軸受には温度測定用としてダイヤル 温度計素子および サーチコイル をそう入した。図 3.8 は軸受下半分を示す写真である。

3.4 風道その他

風道は薄鋼板製で固定子を角形におおひ、内部に 2 個の空気冷却器を置いた。すなわち発電機内部で発生した熱風は固定子鉄心背部に出て固定子 ワッ 側部に設けた空気冷却器を経て風道内を循環し、前述の ファン でふたたび機内に吹込まれる。エンドベル は界磁からの漏れ磁束の通路となり漂遊損増加の原因とならぬよう、その磁路の一部を非磁性鋼板で断つようにした。

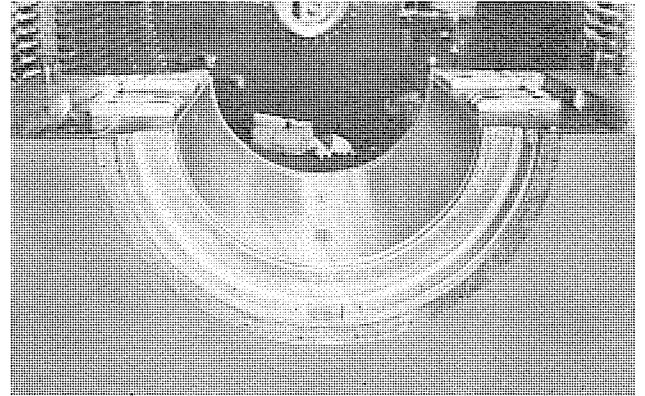


図 3.8 発電機軸受
Fig. 3.8 Generator bearing.

空気冷却器は アルミブラス 製の冷却管を使用しその外周に銅線をコイル 状にまいてハンダ 付してフィン を構成した表面冷却形である。冷却管の両端には取はずし可能な水室を設けている。水室は鋼板溶接構造で防食に留意した。冷却水温が低く空気中の温度が高いと冷却管上に露を生ずる。こうしてできた水滴は空気冷却器下部から排水できるような構造とした。同様に風通内の水管表面にも結露しやすいので適当な断熱処理を施した。

風道には励磁機側に トビラ を 2 個所設けた。また風道内部にはケイ 光灯照明を施し点検の便をはかった。

発電機下部のピットにはワッ を設けて CT を設置した。また適当に スペースヒータ を配置し、必要に応じて発電機の保温に使用できるようにした。このピットは トビラ 2 個で密閉できるようにし炭酸 ガス 消火装置を設けた。炭酸 ガス 消火装置は差動継電器の作動および火災検出要素として空気冷却器の熱風側に設けたサーモスタットの作動により、自動的に炭酸 ガス を放出する。ガス 放出は 1 次、2 次の 2 段階にわけて行なわれる。1 次放出では急速に ガス を放出して機内 ガス 濃度を 40% 以上に保ち、ついで 2 次放出では遅延放出用として発電機が停止するまで発電機内 ガス 濃度を 25% 以上に保つものである。ガス 放出はこのほか手動によっても行なえる。

4. 励 磁 機

励磁機は図 3.2 に示すとおり主励磁機、永久磁石発電機、副励磁機および起動停止確認装置の順に構成され発電機に直結される。通風方式は軸に直結された ファン による自己通風形である。

励磁方式は BJ 形自動電圧調整器との組み合わせによる速応励磁方式を採用した。

5. 試 験 結 果

ベトナム 政府および日本検査会社立会いのもとに行なわれた工場試験の結果はつぎのとおりである。

(1) 特性曲線

無負荷飽和曲線および短絡曲線を図 5.1 に示す。この結果

短絡比 1.3 (保証値 1.2 以上)

電圧変動率 定格出力定格力率 23.1% (同 30%)

定格出力 1.0 力率 12.9% (同 20%)

(2) 効率算定

図 5.2 に発電機出力-効率曲線を示す。この結果 89% 力率で最高 98.14%、100% 力率で最高 98.4% という効率を得、いずれも保証値を大きく上回る好結果である。

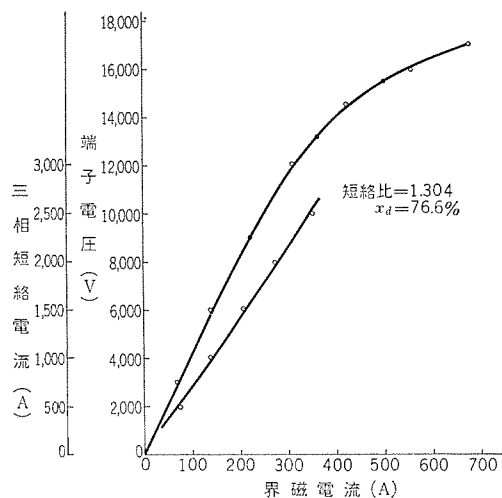


図 5.1 無負荷飽和曲線および短絡特性曲線
Fig. 5.1 No load saturation and short circuit characteristic curves.

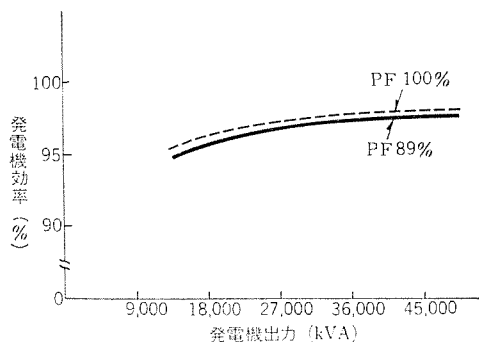


図 5.2 発電機出力-効率曲線
Fig. 5.2 Generator output vs efficiency curves.

(3) リアクトランス および時定数

リアクトランス を %, 時定数を秒で表わした結果はつぎのとおりである。

$x_d=76.6$	$x'_d=23.6$ (不飽和値)
$x''_d=17.2$	$x_2=20.5$
$x_0=9.24$	
$T_{d0}'=11.4$	$T_d'=2.32$
$T_d''=0.0136$	

(4) 等価温度上昇試験

工場における等価温度上昇試験の結果定格負荷 45 MVA における温度上昇推定値はつぎのとおりである。

固定子 コイル	43°C
界磁 コイル	約 55°C
水車側軸受温度	36°C
励磁機側軸受温度	27.5°C
ダイアル 温度計読み	
冷却水温度 14°C	

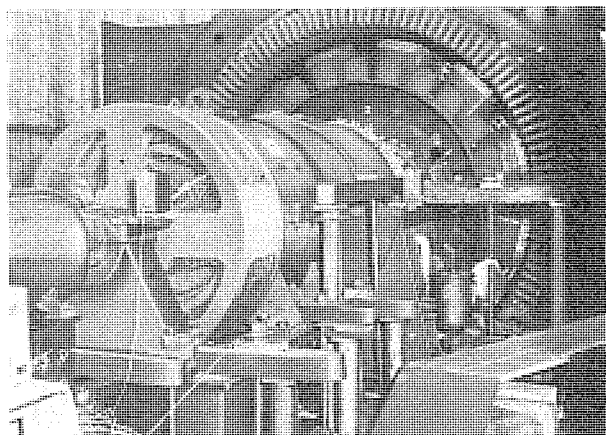


図 5.3 無拘束速度試験時の励磁機および発電機
Fig. 5.3 Exciter and generator under runaway test.

(5) 無拘束速度試験

発電機および励磁機を直結した状態で 920 rpm, 5 分間の無拘束速度試験を実施した。この種の横軸大容量機の無拘束速度試験はさきに竜潤発電所向け 54 MVA 機について 900 rpm, 1 分間の工場試験を実施したが、今回はそれをさらに上回る回転子周速および継続時間であり、試験実施にあたっては万全を期した。その結果仮組立の悪条件にもかかわらず振動、騒音とも、きわめて少なく無事終了し、その構造の優秀性を遺憾なく発揮することができた。図 5.3 は無拘束速度試験終了後の励磁機および発電機を示す写真である。

(6) 励磁機関係

頂上電圧	360 V
速応比	2.41

(7) その他

線路充電容量は実測結果から計算値 50,500 kVA (保証値 43,000 kVA) を得た。また GD^2 は実測 363.5 t-m² を得た。波形狂い率は 2.19% で発電機電圧波形は図 3.4 に示すとおりである。

6. む す び

以上 ダム 第一発電所の水車発電機についてその概要を述べた。全 4 台のうちすでに 1, 2 号機は現地で据付中であり 3, 4 号機は目下工場での製作が急がれている。この発電所完成のあかつきにはベトナム共和国はもとより東南 アジア における最も代表的な水力発電所としてその活躍が期待される。

参 考 文 献

- (1) 佐藤: “ダム 発電所の着工と ベトナム の電源開発について” 動力 7 月 (昭 36.)
- (2) 「三菱電機」32, 3 (昭 33)

中国電力新徳山変電所納め配電盤

長 町 恒 資*

Switchboard delivered to Shintokuyama Substation of Chugoku Electric Power Co.

Kōbe Works

Hisashi NAGAMACHI

Switchboards used for the latest substations at extra high voltage need bulky spaces of installation due to large capacities of banks and a number of transmission lines coming in them, making centralized supervision on thus difficult. This has brought forth a trend of using what is called graphic panels by arranging analogons electric power systems on switchboards with luminescent buses and by decreasing the number of supervisory meters. Shintokuyama substation is built according to this latest type and with features of a reduced floor space, operating apparatus through the flicker of luminescent bus, prediction of changes in the system, a two step control systems with selecting push buttons and gang operating switches and telephone relays for control service. There is also transmission line relaying on a 110 kV side in addition to the protecting relays for apparatus.

1. ま え が き

中国電力新徳山変電所は、200 kV 送電線で中国電力超高压幹線を東西に連けいするとともに、等価容量 175 MVA 主変圧器で 100 kV に降圧され、既設徳山変電所などを通じて、100 kV 幹線群に連けいされ、徳山工業地帯に電力を供給する最新鋭の一次変電所である。

この変電所の配電盤のうち、主配電盤、機器保護および 100 kV 送電線保護継電器盤などを当社が製作担当したので、以下これを主体として説明するが、この変電所の一つの大きな特長は、従来形式の配電盤に代わって最近の一次変電所における配電盤形式として漸次一般的となりつつある照光式模擬母線系統に指示計器および各種表示器を組み込んだいわゆるグラフィックパネル形式が採用されているということであり、系統および機器の操作に際しては、別に設けられた制御機から、機器を選択の上制御を行なうなど最近の傾向を強くおし出しているといえる。また送電線保護継電装置としては、表示線継電器として従来の 2 重環形に代わって極性要素を主体とした改良形が納入された。

2. 変電所の概要

新徳山変電所の概要を示すために、変電所全体の単線接続図を図 2.1 に示している。

図からわかるように、超高压系統は直接接地系統であり、各 2 回線でもって山口および広島の変電所に連けいされ、また 110 kV 側 4 回線は既設幹線に連けいされるリアクトル補償の高抵抗接地系統である。

主変圧器は現在では 1 バックのみであるが、3 バックまでの増設が計画されており、いずれもその一次側に負荷時電圧調整器が装備され、自動運転ができるようになっている。

主変圧器三次の用途は現在では所内電源用のみであるが、将来は静止形調相設備が主変圧器 バック 1 組ずつ設置される予定である。

3. 監視と計測

図 3.1 に主配電盤の概要を示しているが、変電所に必要な監視はすべてこの盤に集約される。

主配電盤 1 面はこれを大別して盤最上部の故障表示面、盤中央部の計器および照光式模擬母線面および最下部の切換スイッチおよび試験用端子面に分けることができる。

主配電盤を監視および計測面からみた場合の特長を列記すればつぎのとおりである。

(1) 照光式模擬母線を使用し、系統の運転状況に応じてこれを点滅制御させていること。

(2) シュ断器断路器などの開閉表示灯は 1 灯式としていること。

(3) 監視計器はこれを大幅に減少させ、一相のみを監視するとともに、送電線電力計などは平行 2 回線の総合量を計測していること。

(4) 積算計器は必要に応じて逆転防止形あるいは可逆形を適宜使用し、その受量器は 18 素子入りのケースを別の監視機に設置していること。

(5) 故障表示器はラウを用いた 2 重表示式であるが、故障復帰時にこれをフリッカさせることにより、それを確認していること。また、表示文字を色別することにより、運転表示灯と区分したこと。

(6) 計器用変圧器二次回路の切り換えは誤切換表示灯を設け、断路器の接続と切換開閉器の接続が相違している場合はこれを点灯させたこと。

などである。なお故障計器については主配電盤には設置されないが、母線にそう入されたダイヤモンド計のほか、超高压系統路には各相ごとに、また 100 kV 系にはゼロ相に、それぞれ最高指示電流計が使用されている。

一方自動オンロは、超高压系に 2 台、100 kV 系に 1 台設置されている。

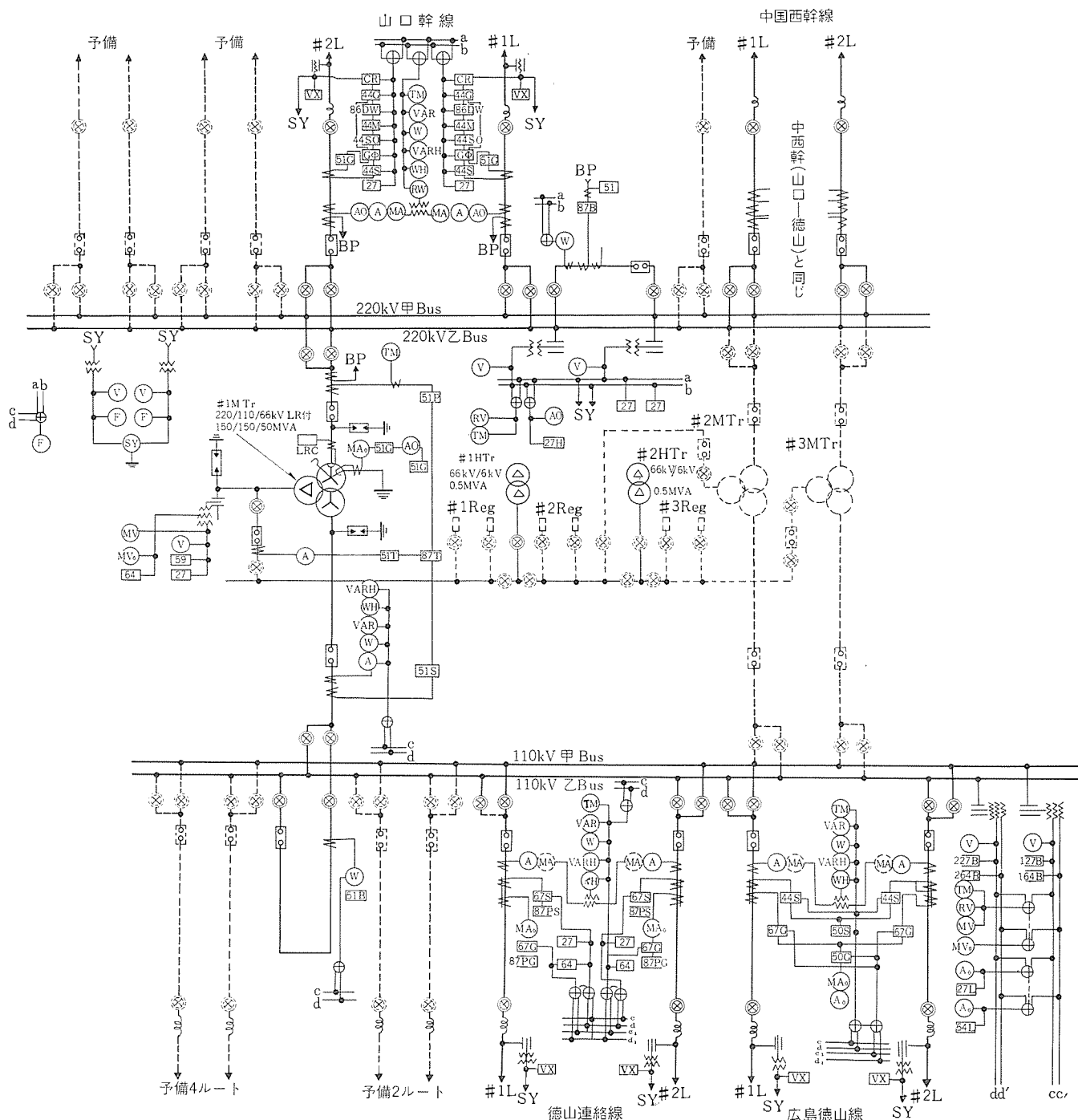


図 2.1 新徳山変電所単線接続図
Fig. 2.1 Schematic diagram of Shintokuyama substation.

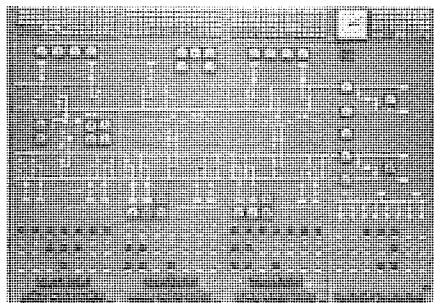


図 3.1 (a) 照光式主配電盤
Fig. 3.1 (a) Front view of luminescent switchboards.

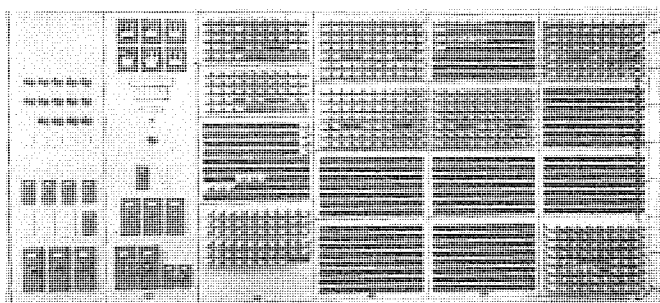


図 3.1 (b) 制御継電器盤
Fig. 3.1 (b) Front view of control relay panels.

4. 制 御

4.1 シャ断器, 断路器の制御

これら開閉器は、制御機にある照光式押しボタンを用いた選択のうえ制御される2段方式である。

すなわち、開閉器の操作に際しては、各開閉器に付属された選択用押しボタンと、全体に共通な1個の操作開閉器によりこれを行なうものでつぎの順序により行なわれる。

(1) 各機器に付属された押しボタンにより、機器の選択を行ない、グラフィックパネル上の機器表示灯および操作による関連系統

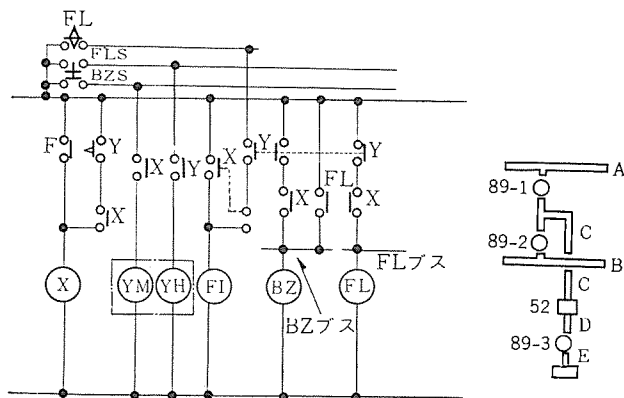


図 4.1 軽故障表示回路
Fig. 4.1 Light fault indication circuit.

をフリッカさせ選択の確認を行なう。この場合、一括操作スイッチ付属の表示灯は、選択された機器の開閉状態を示す。

機器は必要なインターロック条件が満足されなければ選択することはできないが、一度任意の機器が選択されると、他の機器はインターロック条件のいかににかかわらず、選択を行なうことができない。また、被選択機器が誤っている場合は復帰ボタンによりこれを解除することができる。

(2) つぎに必要ながあれば全体に共通な同期検定スイッチを操作して、選択と同時にあらかじめ用意された被選択機器間の同期検定を行なわせる。

同期検定スイッチは、200 kV、100 kV 側におのおの 1 個設け、同一系統の甲乙母線一送電線間、母線相互間、および高低圧母線相互間の検定ができるようになっている。

(3) 同期確認ののち、一括操作スイッチの操作により、機器の操作を完了し、選択継電器などの制御継電器群はリセットされグラフィックパネル上のフリッカは停止し、新たな系統状態を表示するが、操作の際に誤った方向に操作しても、制御継電器群は動作を続け、正しい操作が行なわれてから始めてリセットされるようになっている。

また線路試充電の場合には、シタ断器の投入操作後ただちに引はずし操作が行なわれることがあるが、このような場合の臨時引はずしを行なうために、試充電用切換スイッチを別に設け、これの切り換えにより、シタ断器投入後も、ただちに引はずしが可能なよう選択回路を保持する回路も用意している。なお変電所の全停電というような非常時には一刻も早く、線路シタ断器を開放して、事故復旧を迅速化する必要がある。このような場合には選択ボタンによる 2 段制御方式は有利とはいえない。このために前述した回路とは別に、非常シタ断用スイッチを設け、このような際には、200 kV 側および 100 kV 側がそれぞれ一括して引はずせる回路を付加した。

以上説明した機器の制御方式は、継電器を用いた間接制御式であるため、従来の直接式に比べて操作回路が複雑になるのはある程度さけることはできないが、各主回路の固有条件を実用上不便をきたさない限りにおいて整理統合し、いずれにも共通な 2、3 の標準制御ユニットを系統別区分により作り、これの組み合わせによって全体の制御回路を構成する方法をとった。

4.2 照光母線の制御

照光母線の点滅制御は、系統充電部を忠実に点灯させるといういわゆる電圧点灯方式を採用し、前述したとおり系統操作時にこれをフリッカさせるものであるが、これらの制御の基本的な原理

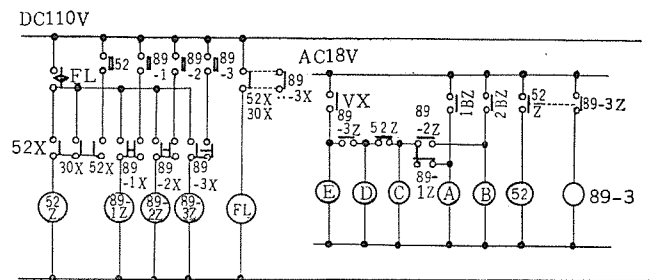


図 4.2 送電線単位の照光母線とその制御回路
Fig. 4.2 Luminescent buses for transmission line unit and their control circuits.

は電源端（各送電線線路側）の電圧を検出する継電器と、シタ断器などの開閉器補助スイッチと動作をともにし、系統操作時断続閉路する継電器接点を用いて、系統構成そのままに照光ランプ回路を構成していくもので、その一例を図 4.1 に示している。

図中接点 VX は電圧検出継電器接点であり、また末尾に Z を付している接点は前述の性質を有する継電器接点である。

なお照光母線はシタ断器自動シタ断時にも、関連機器表示灯と母線をフリッカさせるが、これは従来の操作スイッチの残留接点に代わって、選択ボタンおよび一括操作スイッチの操作と連動させた磁気保持形小形継電器により自動シタ断を検出している。

なおこのような場合の母線フリッカの停止はフリッカ停止ボタンにより行なわれる。

4.3 故障表示器の制御

故障表示器は前述したようにランプ式であり、表示に際しては文字部分が赤く光る形式のものを使用している。

制御回路は、重故障、軽故障の別に関係なく 2 重表示が可能であるような継電器回路を構成すればいいわけであるが、こうすると継電器の占有面積が増大するので、原則的にはおのおの別の継電器回路を構成した。

すなわち、重故障表示に対しては、保護継電装置より限時復帰表示用接点を継電器で受け自己保持のうえ表示器の点灯を行なうものでごく単純な回路である。一方軽故障表示（連続故障表示）に対しては、2 個の制御継電器を用い 2 重表示回路を作るとともに故障復帰に際しては、表示器をフリッカさせるとともに、ブザーを断続鳴動させてその旨を知らせる。

この回路を図 4.2 に示す。

4.4 主変圧器の冷却制御

主変圧器の冷却器は 13 のユニット（内 1 ユニットは予備）から成り、これを 3 群に分割して自動運転される。

すなわち、第 1 群は、主変圧器の励磁とともに起動し、第 2、3 群は変圧器の負荷状況により、起動停止の自動制御が行なわれるが、巻線温度が上昇すれば負荷状態には関係なく 3 群とも運転されるようになっている。

なお各冷却器のユニットは冷却キューピクルにある切換スイッチにより任意の群に自由に組み入れることができるし、また配電室から各群を順序起動させることができる。

4.5 負荷時電圧調整器の制御

負荷時電圧調整器は、別途設置された XY レコーダを用いて電圧および無効電力により自動制御される。

将来 3 台の並列運転および単独運転が行なわれるよう計画され

ているが、検出装置に無効電力が使用されているため、並列運転時故障等により系統が分離された時には、装置がロックされるようになっている。また将来給電指令所からの操作指令に基づき、操作ができるよう呼出し装置が付属されている。

5. 保護継電方式

5.1 徳山連絡線表示線保護継電装置

徳山連絡線は新徳山-徳山間約7.7 kmを連絡する架空平行2回線であり、地絡保護関係の系統条件はつぎのとおりである。

- (1) リアクトル 補償高抵抗接地系
- | | |
|-----------------|------|
| NGR (徳山側) | 100A |
| NL (徳山側) | 90A |
- (2) 系統充電電流
- | | |
|------------|------|
| 徳山側 | 221A |
| 新徳山側 | 111A |
| 区間内 | 5.4A |

これに対して、表示線継電装置は、短絡、地絡とも電流循環式であり、極性要素を主体とした HCB-4 形継電器が使用され、短絡に対しては、瞬時保護、地絡に対しては、限時継電器と組み合わせて限時遮断を行なっている。

図 5.1 に表示線回路の接続を示している。

表示線監視は新徳山変電所側で行ない、短絡、地絡表示線とも断線、地絡、および短絡保護を行ない、また中和変圧器を通じて表示線電流の常時監視を行なっている。

なお継電装置の表示線側耐圧は 6kV としている。

次に後備保護継電器としては、コンタクトス 形方向継電器 プラス 限時継電器により地絡保護を、また短絡に対しては、方向過電流継電器 (新徳山側) あるいは電圧抑制付方向過電流継電器 (徳山側) を使用するとともに、表示線継電器動作に対しては、三相再閉路を行なわせている。

なお納入に際しては、模擬送電線設備で系統条件を忠実に模擬し、単純故障から、内外にわたる多重故障にいたる各種のケース

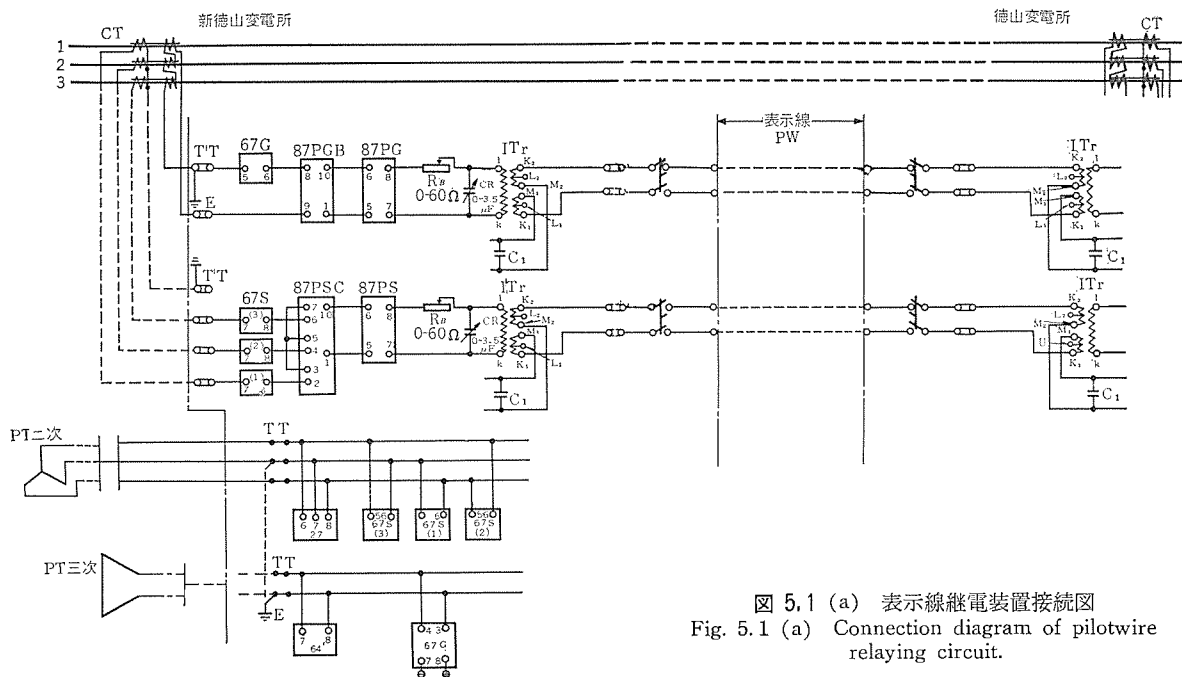


図 5.1 (a) 表示線継電装置接続図
Fig. 5.1 (a) Connection diagram of pilotwire relaying circuit.

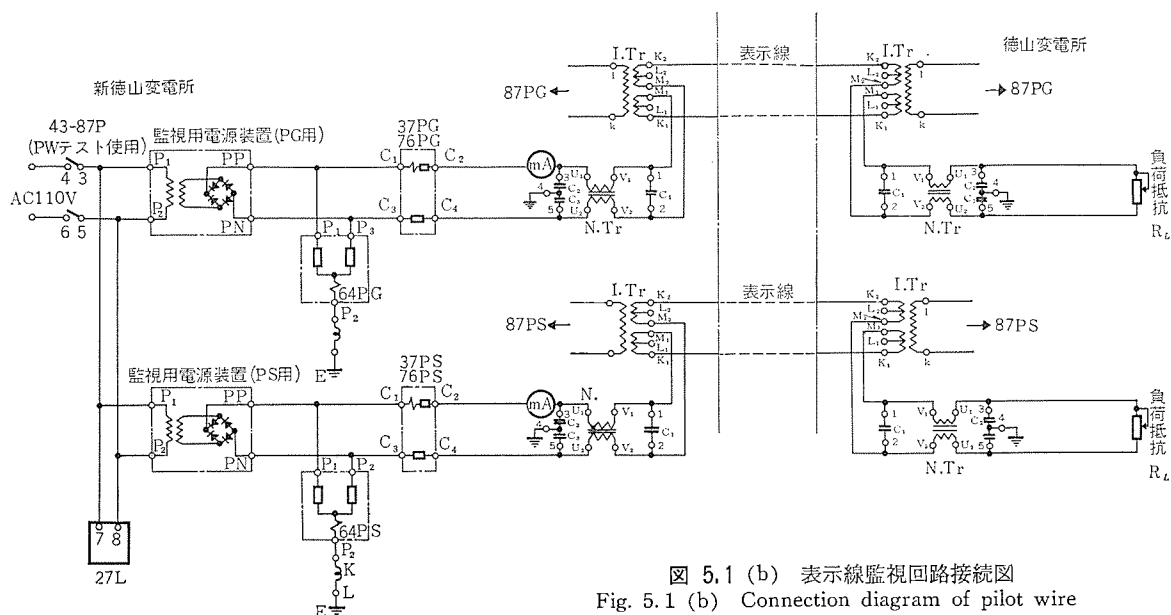


図 5.1 (b) 表示線監視回路接続図
Fig. 5.1 (b) Connection diagram of pilot wire monitoring circuit.

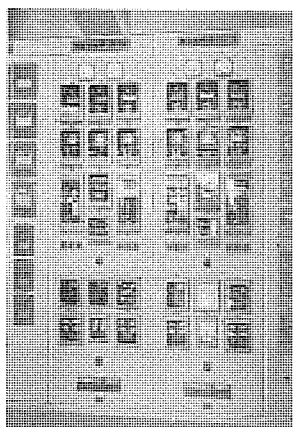


図 5.2 表示線保護継電器盤
Fig. 5.2 (a) Pilot wire relay panel.

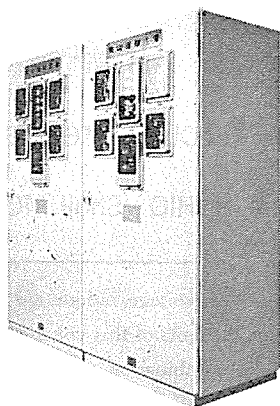


図 5.2 (b) 表示線保護用補助変成器キュービクル
Fig. 5.2 (b) Pilot wire relay auxiliary cubicles.

について、正動作が確認された。

5.2 その他の保護継電装置

110 kV 母線には、低電圧継電器および地絡過電圧継電器による系統分離装置が設置されている。

すなわち、これらの継電器に、限時継電器を組み合わせ、一定时限後動作した継電器が接続されている母線につながれた線路シヤ断器または母線連絡用シヤ断器を引はずすもので、切換スイッチによりいずれかを選択するようになっており、また、各シヤ断器は、トリップロック用テストターミナルにより、任意に、また、短絡地絡別にロックすることができる。

つぎに変圧器保護用比率差動継電器としては、第2高調波抑制形の HUB-2 形が使用され高速度保護を行なっている。

また変圧器の機械的保護としては瞬時圧力継電器が用いられ、シヤ断器の引はずしに際しては、前者と直並列の切り換えが可能となっている。

6. 配電盤

6.1 配電盤の概要

当社が納入した配電盤の一覧表を表 6.1 に示しているが、盤自体としては、主配電盤を除けば通常の JEM 規格品であり、特記する事項はないが配電盤のアレンジの面から考えると、主配電盤も含めて、すべて機能別区分となっているということである。

6.2 主配電盤および制御機

照光式配電盤を図 3.1 に、また制御継電器盤を図 6.1 に示しているが、前面をグラフィックパネルとし、後面に前面の制御に必要な補助継電器群を取り付けている。

前面のグラフィックパネルは通常形式のものであるが、後面の制御継電器盤は、1 面を横割りの 4 分割とし、これをもって接続の 1 単位とし、移設、取り換えなどの際に他の単位に支障をきたさないよう、各単位は送電線 1 ルートあるいは変圧器 1 バック単位で区分するとともに、各単位相互間の直接的な依存関係をなくするような配線方式をとった。

このために、1 単位から外部に接続される電線はすべて相番号を付したマルチコネクタ接続を行ない、線の切り離しを容易にしている。

制御継電器は、一括操作を除き、すべてプラグイン式電話用継電器を使用し、将来の増設分に対しても、標準化されたユニットの

表 6.1 納入配電盤一覧表

配電盤名称	形 式	面 数
照光式主配電盤	垂直壁支持形	4
主配制御継電器盤	垂直壁支持形	4
制 御 機 盤	デスク形	4
主変圧器保護および制御継電器盤	両面自立形	2
送電線保護継電器盤	両面自立形	3
積算電力および記録計盤	両面自立形	3
積算電力カウンタ盤	机上すえ置形	1
自 動 オ シ ロ 盤	垂直壁支持形	2
主 変 冷 却 制 御 盤	屋外キュービクル形	1

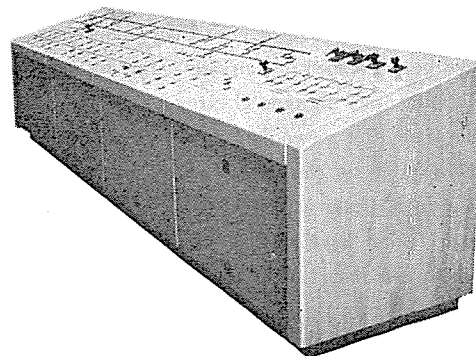


図 6.1 制御機
Fig. 6.1 Control desk board.

配線を完了しているので、故障表示などの部分的な変更に対しても十分応じられるため、使用に際しては継電器のみをそう入すればよい。

一方これらの制御継電器に接続される電線は、0.5 mm² とならざるをえないが、適宜並列使用するか、あるいは配線方式をかえるなどして、十分な容量をもたせている。

照光母線はすべて 18 V で点灯され、標準化された模擬ユニットを組み合わせることにより、線路および機器を構成している。

つぎに制御機としては図 6.1 にしめすように照光母線とまったく同一の模擬母線配置を行ない、各選択ボタンには、給電番号を刻印するとともに、機種別にグローブを色別して操作を容易にし、また常時はカバーをかぶせて誤操作防止の一助とした。

なお、一括操作スイッチおよび同期検定スイッチは通常のネン回形を用いている。

6.3 制御回路の電源分割

制御電源は DC 110 V と AC 18 V からなり、前者は一般制御に、また後者は照光母線制御に使用される。

シヤ断器制御、保護継電装置などの一般制御電源は各ルートごと、バックごと等の回路別区分を行なっているが、照光母線と関連ある選択継電器および照光母線制御継電器等は盤面別区分を行ない、さらに盤内においては 0.5 mm² 電線の保護をかねて、3~4 回路に、ヒューズ付スイッチで主回路別に区分されている。

つぎに AC 18 V 照光母線用電源は所内 AC 200 V から照光盤内で降圧され、所内盤で各盤面ごとにナイフスイッチで区分されるとともに照光盤内では前者と同様ヒューズ付スイッチで細かく区分されている。

7. む す び

以上新徳山変電所の配電盤設備について照光形配電盤の制御方式を主体として述べたが、この変電所は中国電力超高压幹線の一翼として今後の活躍が大いに期待されるところである。

終りに、この配電盤設備の設計製作に対して、ご助言とご援助を賜った中国電力関係各位に厚くお礼を申し上げる。

低圧屋外用空気シャ断器

潮 恒 郎*・森岡 昭二**・吉田 頼弘**

Low Voltage Circuit Breakers for Outdoor Use

Itami Works Tsunero USHIO・Shōji MORIOKA・Yorihiro YOSHIDA

Mitsubishi has developed type C cross-air-blast circuit breakers for low voltage indoor use, and the considerable numbers of them have been shipped out already. But recently the demands for similar units of this voltage class for outdoor use are increasing. In such applications the type C circuit breakers were sometimes used in combination with outdoor type cubicles. Careful consideration from the viewpoint of economy based on the rating and others has revealed that this combined equipments are not always favourable for that purpose and so, the development of new economical air blast breaker has been undertaken. This breaker is three phase with external series isolating blades operating on a parallel low resistance switching system. Single phase units of this kind have had successful experience in Kita-kyūshū line of the J. N. R. New three phase circuit breaker is now in operation in Kawabata power station of the Hokkaido Government Office.

1. ま え が き

低圧屋外用のシャ断器としては従来油シャ断器か、屋内用空気シャ断器を屋外用キュービクルと組合せたものが使用されてきたが、前者は保守点検の面で後者は経済的な面で必ずしも有利ではない。この種の用途に屋外用の空気シャ断器を当てればシャ断性能、実用性能ともにすぐれており経済的にもなるので、新しい試みとして24kV, 36kV用の屋外用空気シャ断器の開発を行なった。さいわい、低抵抗シャ断方式を用いた24kV単相キ電用空気シャ断器⁽¹⁾を34年度に開発し、国鉄北九州交流電化変電所へ多数納入して好評をかくしているのをこれを三相に発展させこのたび36kV, 1,000 MVA, 24kV, 750 MVA定格のものの開発を完了しその1号機として24kV 500 MVA I号用空気シャ断器を37年夏に北海道庁川端発電所に納入した。以下このシャ断器の構造動作および工場内で行なった試験結果について述べる。

2. 設計の方針

開発にあたっては、次のような点が設計上考慮された。

(1) 再起電圧のか酷な回路にも使用できること

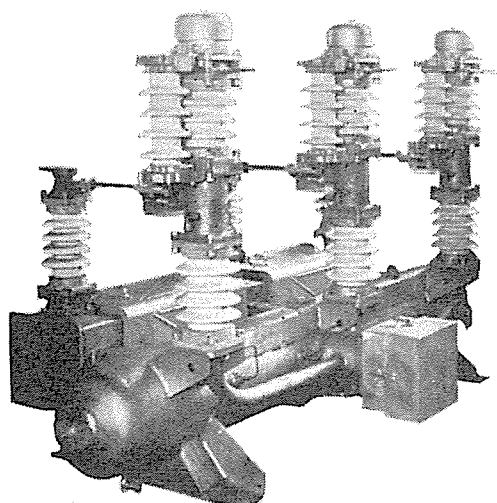


図 2.1 20-AHW-75 形空気 シャ断器
Fig. 2.1 Type 20-AHW-75 air blast circuit breaker.

空気 シャ断器はその シャ断性能が再起電圧の影響を受けやすい。一方低圧用 シャ断器は局所電力の シャ断あるいはサージインピーダンスの低いケーブル回路に使用されるといった再起電圧のか酷な条件にさらされることが多い。そこでこの シャ断器には上のような使用条件でも使えるようにII号用として低抵抗シャ断方式を採用し回路固有の再起電圧上昇率を下げた シャ断性能を向上させることができるようにした。

(2) 実用性能上の考慮

実用性能の面からは構造をできるだけ簡単にし部品の種類および数を少なくすること、また他の機種との共通部品を多くして加工の精度をあげ交換性をもたせ信頼度の向上を計ることが必要である。この シャ断器も北九州に納入した単相空気 シャ断器と操作機構の一部および吹付弁の一部をのぞいてほとんど同一部品を使用することにした。

(3) 経済性

屋外用の油シャ断器と比べてシャ断性能、実用性能はもちろんであるが、経済的にも有利であることが必ずの条件である。(2)項で述べたようなことから、かなり経済設計が可能となるが、この シャ断器はさらに再起電圧の周波数の高くない回路に使用する、いわ

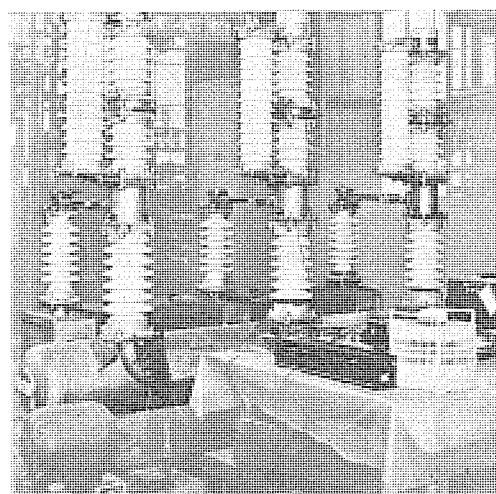


図 2.2 10⁴ 回連続開閉操作試験中の 30-AHW-100M 形空気 シャ断器
Fig. 2.2 Type 30-AHW-100M air blast circuit breaker under life test.

ゆるⅠ号用 シュ断器とか酷な条件で使用されるⅡ号用 シュ断器とをわけ、Ⅱ号用はⅠ号用に低抵抗と抵抗 シュ断点を追加するだけで簡単に改造できるようにした。こうすることにより用途に応じて経済的に使用することが可能になる。図 2.1 はⅠ号用の シュ断器の外観を図 2.2 は 10,000 回連続開閉試験中のⅡ号用試作 シュ断器を示す。

3. 定 格

この シュ断器の定格を表 3.1 に示す。

表 3.1 空気 シュ断器定格一覧

形 式	20-AHW-75	20-AHW-75M	30-AHW-100	30-AHW-100M
電 圧 (kV)	24	24	36	36
電 流 (A)	600(800)1200	600(800)1200	600(800)1200	600(800)1200
周 波 数 (c/s)	50/60	50/60	50/60	50/60
シュ断容量 (MVA)	750	750	1,000	1,000
投入電流 (kA)	49.3	49.3	43.8	43.8
短時間電流 (kA)	18	18	16.0	16.0
開 極 時 間 (sec)	0.045	0.045	0.045	0.045
シュ断時間 (c/s)	5	5	5	5
再 起 電 圧 (kc/sec)	1.8	9	1.4	7
操作圧力 (kg/m ² -g)	15	15	15	15
引はずし電圧 (DC V)	100	100	100	100
絶 縁 階 級 (号)	20 号 A	20 号 A	30 号 A	30 号 A
無負荷投入時間 (sec)	0.20	0.20	0.20	0.20
標準動作責務	甲号	甲号	甲号	甲号
投入制御電圧 (DC V)	100	100	100	100
シュ断器空気タンク容量 *(l)	250 (500)	250 (500)	250 (500)	250 (500)
総 重 量 *(kg)	1,000 (1,200)	1,200 (1,400)	1,100 (1,300)	1,300 (1,500)

* () 内は CO 2 回を要求された場合のタンク容量と総重量を示す。

4. 構造および動作

4.1 構 造

15 kg/cm²-g の圧縮空気で充気された シュ断器空気タンクは CO

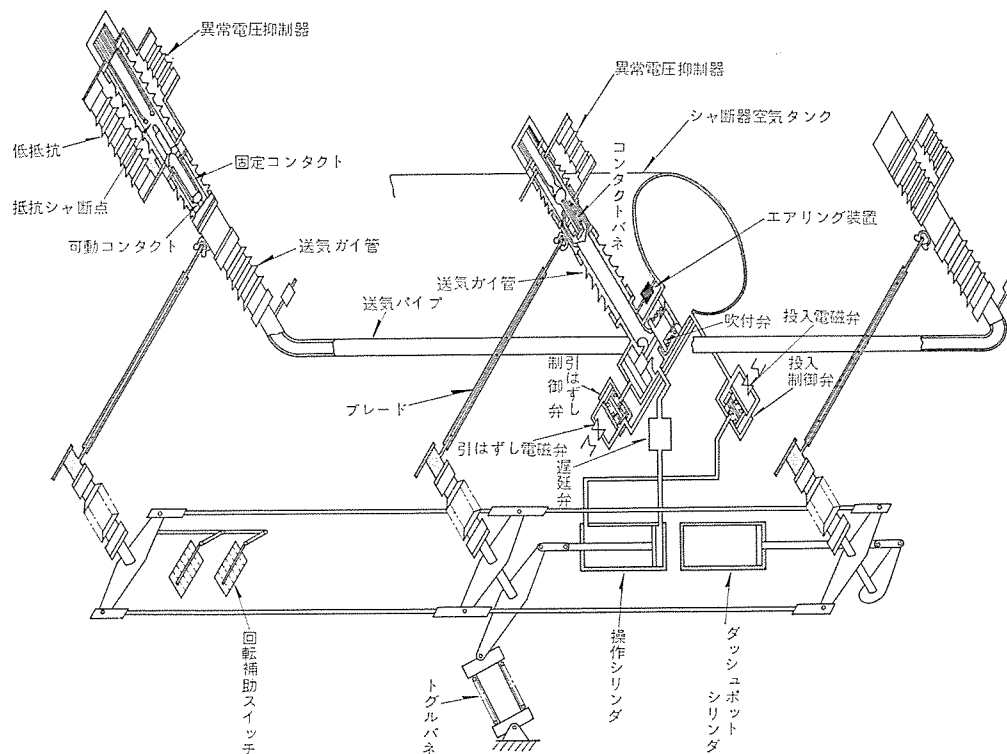


図 4.1 AHW 形空気 シュ断器動作説明図

Fig. 4.1 Schematic diagram of type AHW air blast circuit breaker.

1 回分あるいは 2 回分に十分な容量をもっている。この タンク を基部にはさんで シュ断部と断路部があり シュ断部は三相共通の吹付弁と三相に分流する送気 パイプ 送気 ガイ管を通して消弧室、排気 カバー がつらなっており消弧室には非直線特性をもった異常電圧抑制器がついている。断路部の下部には三相連続して動作させる操作機構が箱内に含まれ、別に置かれた制御箱内の制御装置によって動作の指令が与えられる。Ⅱ号用の シュ断器はさらに乾燥ガス で密封された数十 オーム の直線低抵抗が消弧室に並列にとりのけられる。消弧室には ノズル を形成する固定 コンタクト と棒状の可動 コンタクト が コンタクトパネ の力によって接触し、一方送気 ガイ管下部には三相それぞれに微量の乾燥空気を送りこむ エアリング 装置があつて ガイ管内の水分凝結による耐電圧低下を防いでいる。

4.2 動 作

(1) 引はずし動作

図 4.1 は投入状態を示している。左側の相にⅡ号用の場合の シュ断部断面を、中央にⅠ号用の場合の シュ断部断面を、簡略化するために同一図面に示した。引はずし指令が与えられると、電磁弁、制御弁、吹付弁が連続的に開いて シュ断器空気 タンク 内の圧縮空気が各相の送気 ガイ管に分流して シュ断部に導入される。したがって コンタクトパネ の力で閉路状態にあった可動 コンタクト を押し開き発生する アーク を ノズル にしぼりこんで消弧させる。Ⅱ号用 シュ断器の場合は図 4.2 の等価回路にみられるように シュ断電流が大きい、あるいは再起電圧の上昇率が高い時、主 シュ断点で発生した イオンガス が下流に設けられた抵抗電極付近に流されて アーク が抵抗電極の方に移り、抵抗が回路にそう入されることにより主 シュ断点の シュ断を容易にする。抵抗電極の方に移った アーク は抵抗によって電流がしぼられるとともに力率の良い回路になるので継続して吹付られる圧縮空気によって主 シュ断点が シュ断された後、約 1/4 サイクル で消弧される。また電流サイ断時の過電圧は異常電圧抑制器によって抑制される。他方吹付弁から遅延弁を通

り、圧縮空気が三相共通の断路部操作 シリンダ へ送られるので主 シュ断点が開離してから 2~3 サイクル の時限を置いて ブレード が開かれ極間の絶縁を保つ。ここで圧縮空気の吹付はやめられ可動 コンタクト は コンタクトパネ の力によってふたたび閉路するが ブレード はトグルパネ によって最終位置に保持される。

(2) 投入動作

投入は断路部の投入によってのみ行なわれる。投入指令によって電磁弁、制御弁が開き操作 シリンダ に圧縮空気が送られて引はずし時と反対に ブレード を回転させて投入する。断路部の緩衝動作はダッシュポットシリンダによって行なわれる。

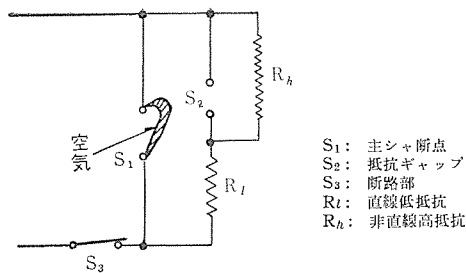


図 4.2 抵抗シャ断方法
Fig. 4.2 Parallel resistance switching.

4.3 引はずし自由動作

故障回路を投入した場合は投入と同時に引はずし指令が与えられ引はずし動作に移る。この時ポンピング動作は電氣的に防止している。

4.4 操作条件

定格操作圧力の 85% 以上で定格投入シャ断容量を保証している。なお最低動作圧力は数 kg/cm²-g 以上である。

5. 試 験

5.1 連続開閉操作試験

36kV, 1,200 A, 1,000 MVA のシャ断器で 10⁴ 回の連続開閉操作試験を実施した。試験前後に各部の寸法測定、浸透損傷試験を行ない途中ネジ部のゆるみ、変形、ガスケットのいたみなども検査したが満足すべき結果が得られた。表 5.1 に開閉時間、投入時間の実測結果を示す。

5.2 温度上昇試験

図 5.1 および表 5.2 に 800 A, 1,200 A を通電した場合各部の温度上昇値を示す。一方低抵抗の温度上昇は大電流シャ断時、回復電圧により約 1/4 サイクル電流が流れることによって生ずるのであるが温度ラッカを用い実際のシャ断試験時、上昇する温度を測定したが設計値どおり十分余裕のあることがわかった。

5.3 短絡シャ断試験

低抵抗のない I 号シャ断器に対しては JEC 145 I 号の性能を有していることを当社の短絡試験設備で検査し短絡試験設備の容量不足は Weil の等価回路による試験を行なった。表 5.3 にそのおもな結果を表 5.4 に Weil の等価試験条件を図 5.2 に Weil の等価試験回路と代表的なオシログラムを示す。

5.2 充電電流シャ断試験

コンデンサバンクを用い A 相に対して位相制御を行なって単相の充電電流シャ断試験を行なった。その場合の操作圧力は定格操作圧力の 80% で印加電圧は $36 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times 1.25 = 26 \text{ kV}$ のみならず裕度をみるために 35 kV, 45 kV と電圧を上昇させたが再点弧はみられなかった。結果を表 5.5 に示す。

5.5 励磁電流シャ断試験

無負荷変圧器励磁電流シャ断試験ならびに無負荷変圧器突入電流シャ断試験を位相制御をしつつ行なったが異常電圧抑制器の効果により異常電圧の最高値は変圧器側で給与電圧波高値の 2 倍あ

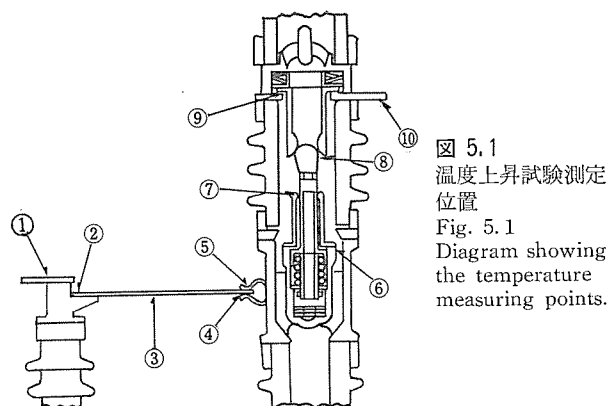


図 5.1
温度上昇試験測定位置
Fig. 5.1
Diagram showing the temperature measuring points.

表 5.1 連続開閉操作試験結果

操作回数	0	1,000	2,000	3,000	5,000	10,000
開極時間 シャ断部(sec)	0.037	0.037	0.036	0.037	0.037	0.040
断路部(sec)	0.089	0.091	0.096	0.095	0.097	0.092
投入時間(sec)	0.144	0.145	0.143	0.140	0.142	0.140

表 5.2 各部温度上昇値

通電電流 (A)	測定点および温度上昇値 (°C)									
	1	3	3	4	5	6	7	8	9	10
800	21.5	15.5	21.5	20	18	26	26	27	23	20
1,200	38	28	33.5	36	31	46	48	48	38	34

表 5.3 短絡シャ断試験結果

号	動作責務	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (kA)	周波数 (c/s)	再 起 電 圧		シャ断時間 (試験周波数における)			試験相	操作圧力 (kg/cm ² -g)
					固有周波数 (kc)	振幅率	開 極 (ms)	アーク (c/s)	全 (c/s)		
I	*1 O	31.2	18	60	1.4	1.5	40	0.50~0.55	2.90~2.95	AまたはC	12.8
	*1 O	31.2	18	60	1.4	1.5	39	0.25~0.55	2.60~2.90	AまたはC	15
	O	31.2	7.5	50	7	1.5	40	0.35~0.65	2.30~2.60	C	12.8
	O	23	7.5	50	9	1.6	40	0.40~0.80	2.35~2.75	C	12.8
	O	23	11	50	2.5	1.3	40	0.40~0.70	2.35~2.65	C	12.8
	O	23	11	50	4	1.7	40	0.35~0.70	2.30~2.65	C	12.8
	O	23	11	50	6	1.6	40	0.35~0.75	2.30~2.70	C	12.8
	O	23	11	50	9	1.6	40	0.50~0.70	2.45~2.65	C	12.8
	O	8.4	18	50	5.7	1.5	40	0.20~0.80	2.15~2.75	C	12.8
	O	8.4	18	50	7.5	1.4	40	0.20~0.80	2.15~2.75	C	12.8
	CO	10	18.5	50	5.7	1.4	40	0.15~0.60	2.10~2.55	3 相	12.8
	CO	31.2	6.6	50	3	1.6	40	0.35~0.65	2.30~2.60	A	12.8
II	O	31.2	3.1	50	8.5	1.6	40	0.25~0.70	2.20~2.65	A	12.8
	O	31.2	7.0	50	10	1.5	40	0.25~0.65	2.20~2.60	A	12.8
	*2 O	24	3.8	60	9/27	1.4	40	0.30~0.65	2.70~3.05	A	13

*1 は Weil 等価回路によるシャ断試験。

*2 は 9kc と 27kc の複周波数の再起電圧下で行なったシャ断試験結果である。

表 5.4 Weil の等価試験条件

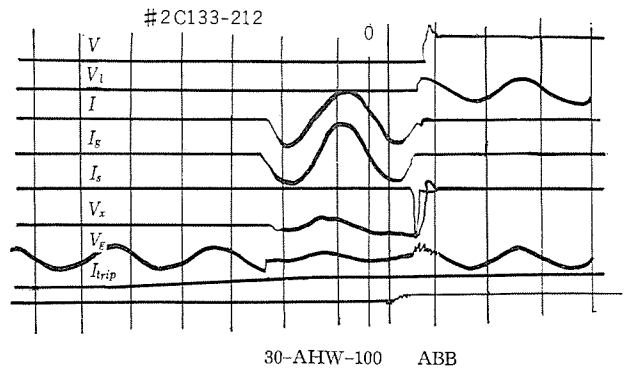
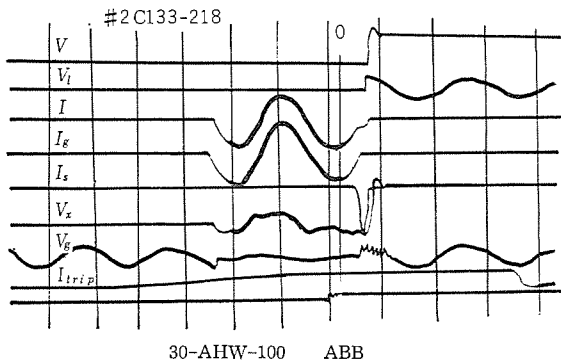
試験方法	試験相	等価 回復電圧 (kV)	等価 シャ断電流 (kA)	等価 周波数 (kc)	等価 再起電圧 振幅率	高電圧回路		低電圧・大電流回路		
						電 流 Imax (kA)	電 圧 F (c/s)	電 流 Ieff. (kA)	電 圧 F (周波数) (c/s)	電 圧 (kV)
単相 等価 試験	A相 または C相	31.2	18	1.4	1.5	5.8	264	59.5	18	60

表 5.5 充電電流シャ断試験結果

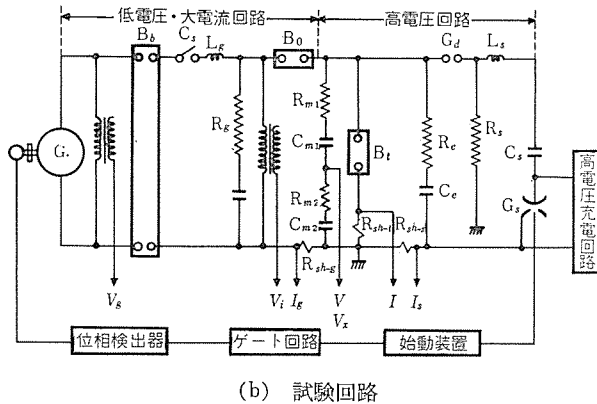
動作責務	操作圧力 (kg/cm ² -g)	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (A)	アーク時間 (c/s)	再点弧の有無		試験回数
					再点弧 回数	N.L.R. の有無	
O	12	26	2.3	0.15~0.35	0	有り	6
O	12	26	58	0.20~0.50	0	有り	12
O	12	35	25	0.25~0.40	0	無し	20
O	12	45	25	0.25~0.40	0	無し	9

表 5.6 無負荷励磁電流シャ断試験結果

動作責務	操作圧力 (kg/cm ² -g)	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (A)	アーク時間 (c/s)	変圧器側異常電圧倍数		試験回数
					変圧器側 異常電圧	変圧器側 異常電圧	
O	16.5	31.2	2.8	0.35~0.40	0.95~1.70		12
O	16.5	31.2	50~300	0.50~0.65	1.90~2.10		4
O	16.5	31.2	300~400	0.30~0.85	0.90~1.90		8



(a) オシログラム



(b) 試験回路

まりで他機器の絶縁をおびやかすほどの値にはならないことを確かめた。結果は表 5.6 に示すとおりである。以上のほか開極後の無負荷絶縁耐力回復特性の測定を行ない小電流 シュ断に対する試験結果の裏づけをした。

6. 特 長

この シュ断器のおもな特長をあげると次のとおりである。

- (1) 再起電圧上昇率の高い系統に使用する II 号用 シュ断器は I 号用に低抵抗とその シュ断点を簡単に追加するだけであるから用途に応じて経済的な使用が可能である。
- (2) 保守点検が容易であること。とくに シュ断部の点検は 4 本の ボルト をゆるめるだけで可能である。
- (3) 気中断路方式であるから極間の絶縁に信頼性があり投入開路状態が外部から観測できる。
- (4) 抵抗 シュ断方式は シュ断電流が 2~3 kA 以上の場合のみ自動的にそう入されるので抵抗の熱的使用条件が楽であり抵抗 シュ断部に可動部分がないので機械的条件も有利である。

測定項目説明	回路機器説明
V : 供試シュ断器電圧	G : 50 MVA 短絡発電機
V_t : 発電機回路母線電圧	B_0 : 後備シュ断器
V_g : 発電機電圧	C_3 : 投入スイッチ
V_x : 発弧点検出	L_0 : 発電機回路リアクトル
I_0 : 発電機電流	B_1 : 供試シュ断器
I_s : 高電圧回路電流	$L_3 \cdot C_3$: 高電圧回路リアクトル・キャパシタ
I : 供試シュ断器電流	R_{sh} : 電流測定用低抵抗
I_{trip} : 引はずし操作電流	$R_0 C_0 \cdot R_1 C_1$: 波形調整用抵抗・コンデンサ
	R_s : 充電抵抗

図 5.2 Weil 試験回路とその試験結果
Fig. 5.2 Diagram of Weil circuit and 2 examples of the test results.

(5) 抵抗は温度上昇に十分余裕をもたせて密封構造をとってあるので耐湿性は問題ない。

(6) 可動部分には各部に液体を使用しない緩衝装置をそなえて機械的信頼度を高めている。

7. む す び

以上、新しく開発した低圧屋外用空気 シュ断器について概要を述べた。

抵抗 シュ断方式を使用した場合の シュ断容量限度は今までのところ求めていないが、近い将来は少なくとも 34 kV で 1,500 MVA, 24 kV で 1,000 MVA の定格になるものと考えている。

最後にこの シュ断器製作試験に多大の御指導、御協力をいただいた関係各位に紙上をかりて深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 五十嵐, 富永, 森岡: 24 kV 単相キ電線用屋外空気 シュ断器「三菱電機」34, p. 855 (昭 35)

最近の送電線保護継電装置(3)

—PC-312 形搬送保護継電装置—

北浦孝一*・古谷昭雄**・室田 慎***・小林 茂***

The Latest Protective Relaying Scheme for Transmission Lines (3)

—Type PC-312 Carrier Protective Relaying—

Kōbe Works

Kōichi KITAURA・Akio FURUYA

Electronics Works

Shin MUROTA・Shigeru KOBAYASHI

Basic problems concerning the merits and demerits of the phase comparison scheme and the direction comparison scheme and also those of various transmission systems together with practical examples of concrete planning and analysis of systems have been already made public in the previous issues. In this paper are accounted for that main relays required for directional comparison type carrier protective relaying scheme are provided with cylindrical elements and transistor circuits, and power line carrier devices have been also transistorized. Scheme which permit broad application not restricted by system condition have established. As one of examples type PC-312 carrier protective relaying scheme and type PC-4 powerline carrier equipment are given briefly with their test results.

1. ま え が き

位相比較方式と方向比較方式の優劣、各種伝送方式の優劣など一般的な計画上の基本問題⁽¹⁾⁽²⁾および、具体的な計画方法系統解析実施例⁽³⁾については、すでに発表した⁽⁴⁾が、その後主継電器のシリコン要素化^{(4)~(10)}、静止回路網化^{(11)~(13)}が完成し、方式も故障時任意の端局が無電流となるような系統であっても保護できる普遍性に富む方向比較方式が確立した。また、電力線搬送装置もオールトランジスタ化されて、信頼度が著しく向上したので、ここにその基本形の一つとしてのPC-312形搬送保護継電装置およびPC-4形電力線搬送装置の概要および模擬送電線設備による試験結果を紹介する。

2. PC-312 形搬送保護継電装置

2.1 特長

PC-312 形搬送保護継電装置は、短絡保護、地絡保護とも故障時送出阻止釈放方式の方向比較式搬送保護継電装置であるが下記特長を有する。

(1) 短絡、地絡保護とも、無電流端対策がとられている。すなわち、異周波方式(送信、受信の搬送周波数を約300c/sずらせて自局への回り込みを許さない方式)とし、かつき還方式(受信出力により送信部を制御する方式)を併用することにより、故障時いずれの端局が無電流となっても両端同時シャ断が可能であり、両端無電流の外部故障でも誤動作しない方式である。

(2) 微小地絡故障電流対策がとられている。すなわち、この方式は高抵抗接地系統保護を対象としているが、さらに、回線数が多いため故障電流が分流し、その値が微小となった場合を考慮して、外部方向検出要素には2回線の和電流を供給し、両端の内外判定協調を確実化している。

(3) 故障電流反転対策がとられている。並行送電線において、他回線の自端側または相手端の一端のみが先行シャ断し、故障電流が反転しても誤動作しないよう反転時の誤動作防止回路が付加

され、両端の協調を確実化している。

(4) 系統ジョウ乱時の誤動作防止対策として、脱調現象発生時あるいは、外部間欠地絡故障発生時に自端局の鎖錠のみならず搬送波を介して、相互に相手端の鎖錠も行ない、誤動作防止を確実化している。

(5) 使用されている主継電器類の性能が向上したことにも起因するが、前記無電流端対策がとられているため、広範囲の入力値に対し装置全体としての動作時間が高速度一定化された。

(6) 装置の自動、手動、点検には打返し方式を採用して、自局のみならず伝送路および対向端局の、送受信回路を含めた総合点検を行なわせている。

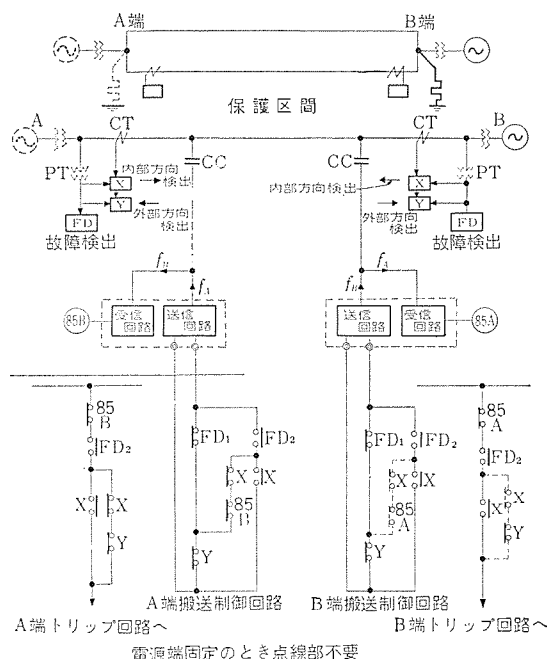


図 2.1 PC-312 形搬送保護継電装置原理回路図
Fig. 2.1 Schematic connection of type PC-312 carrier protective relaying.

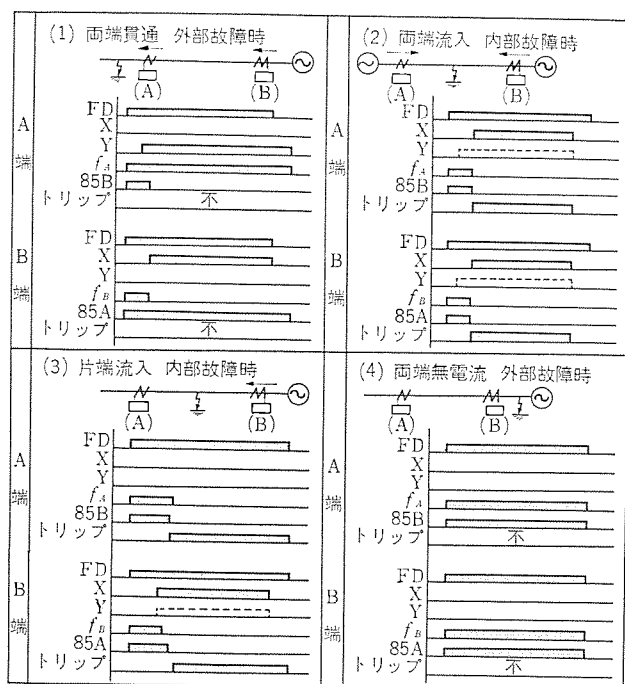


図 2.2 PC-312 形搬送保護継電装置動作原理図
Fig. 2.2 Operational principle diagram of type PC-312 carrier protective relaying.

2.2 原理の概要

この方式の主旨は地絡、短絡とも同一であるから、以下の説明ではとくに区別せず表現し、図 2.1 および図 2.2 によってその原理動作を説明する。

(1) 両端貫通外部故障

故障発生すれば電圧要素からなる故障検出要素 (FD₁, FD₂) 動作し、両端それぞれ搬送波を送出し、内部方向判定要素 (X) の動作した端局は送出を停止する。しかし、外部方向判定要素 (Y) の動作する端局がある場合は、上記送出停止に先だてて連続的にトリップ回路ロック用の搬送波を送出すると同時に自端トリップ回路をもロックする。したがって両端とも誤動作しない。

(2) 両端流入内部故障

両端とも内部方向判定要素 (X) が働き、それぞれ自端送出の搬送波 (相手端トリップ回路ロック用) の送出を停止する。したがって、両端ともトリップする。この場合、外部方向判定要素 (Y) は、一般には動作しないが、短絡用では至近端故障時動作することがある。しかし、この場合は必ず (X) が働き、送出停止条件が解かれることはない。

(3) 片端流入内部故障

流入端 (B 端) は上記のとおり自端送出の搬送波の送出を停止するが、無電流端は内部方向判定要素 (X) が不動作であるため、自端送出の搬送波の送出を停止できない。このままでは故障電流流入端のトリップが不可能となるゆえ、無電流端は重故障検出要素 (FD₂) が動作しているにもかかわらず内部方向判定要素 (X) も、外部方向判定要素 (Y) もともに不動作であるという条件と、相手端搬送波の送出が停止したという条件で自端搬送波の送出を停止し、流入端のトリップを可能とする。したがって、両端ともトリップする。

(4) 両端無電流外部故障

片端電源の電源側外部故障時には両端とも無電流となるが、この場合は両端とも内部方向、外部方向判定要素がともに不動作となり、故障検出要素が動作して送出した搬送波を停止するものがない。各端互いに相手端の搬送波を受信しているから、それぞれ自端が無電流 (あるいは無判定) と判定していても自端搬送波の

送出を停止しない。この状態は故障検出要素が動作している限り継続し、除去によって平常に復帰し、誤動作することはない。

2.3 保証性能

実測データは後述の 4. 試験結果に示すが、保証性能の概要は下記のとおりである。

(1) 単純外部故障では完全不動作である。

(2) 内部短絡故障発生からトリップ回路形成までの時間は、
両端流入の場合 5 c/s 以内 (実測値約 55~65 ms)
一端流入の場合 7 c/s 以内

(3) 内部地絡故障発生し NGR 再投入からトリップ回路形成までの時間は (地絡方向リレー整定タップ値の 300% 以上の入力に対して)

両端流入の場合 10 c/s 以内

一端流入の場合 15 c/s 以内

なお、多重故障時の動作に関しては後述の模擬送電線による動作テスト結果は下記のとおりであった。

(a) 異相地絡故障時の動作

両回線にまたがる同名相地絡時または両回線にまたがる多重故障の 1 線地絡故障回線側は (たとえば、 $a-a'b'$ $b-a'b'$ $b-b'c'$ $c-b'c'$ $a-c'a'$ $c-c'a'$ の abc 側) は相手回線の短絡除去後、地絡リレーにより保護する。しかし、短絡故障回線側は両端トリップする。なお、上記以外の両回線同一地点の多重故障は両端同時シャ断となる。

(b) 短絡故障が内外にわたる場合は、内部短絡を優先する。

(c) 内部 1 線地絡、外部短絡発生時は、短絡優先回路により地絡回路をロックし、外部故障除去後保護動作を行なう。(短絡優先)

(d) 内部断線 (1 相断線短絡、地絡を含む) の場合、不動作となることがある。

2.4 装置の構成

表 2.1 はこの装置に使用される継電器の一覧表であり、図 2.3

表 2.1 使用継電器一覧表

※ A 端のみ設置
※※ B 端のみ設置

用途	器具番号	形名	調整タップ	主要素	特性
短絡故障検出 (高感度)	127	KVA-1-M 形電圧継電器	70-100V 低電圧閉路式	シリンド要素	80 V 以下検出
短絡故障検出 (低感度)	227	KVA-2-M 形電圧継電器	40-70V 低電圧閉路式	シリンド要素	50 V 以下検出
内部方向検出 (短絡)	44X	KZ-1-M 形方向短絡距離継電器	0.5-6.8Ω 80°	シリンド要素	250% 保護範囲 56
外部方向検出 (短絡)	44Y	KZ-2-M 形方向短絡距離継電器	0.74-10Ω 80° 後方微少動作域付	シリンド要素	50% 56
観測検出	56 ※※	KZ-3-M 形方向短絡距離継電器	前後 1-20Ω 0-5Ω	シリンド要素	500% 164 264
一線地絡検出 (高感度)	164	KVG-3-M 形一線地絡継電器	$V_0=20-50V$ $V_2=20-30V$	トランジスタ使用 (極性リレー)	
一線地絡検出 (低感度)	264	同上	同上		
内部方向検出 (地絡)	67X	DGB-M 形方向地絡継電器	0.15-0.6A	回路網 (可動コイル形)	67X 67Y
外部方向検出 (地絡)	67Y ※	同上			
地絡方向電圧回路制御用	64T	JD-5-F 形限時継電器	1-5 sec	DC タイマ	NGR 投入時間 (たとえば 3 sec) - α A 端 (たとえば 2.5 sec) B 端 (たとえば 2.8 sec)
短絡後備用	44S	CZB-FT 形インピーダンス継電器	4-12A 100% 1,000% 3 sec 入力	誘導円板 (電圧抑制付)	比例限時特性
	67S	KRA-3-M 形電力方向継電器		シリンド要素	30° 進み
	44ST	JD-5-F 形限時継電器	1-5 sec	DC タイマ	至近端故障後備保護用
地絡後備用	67GT ※※	JD-5-F 形限時継電器	1-5 sec	DC タイマ	67X により付勢
自動点検用	66T	TKH-F 形時限継電器	1 h	AC タイマ	1 時間に 1 回振点マーク

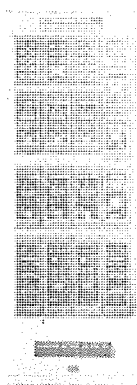


図 2.3 搬送保護継電装置
正面図
Fig. 2.3 Front view of
carrier protective relay
scheme.

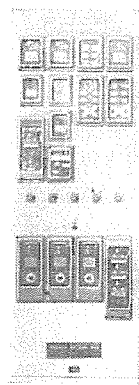


図 2.4 後備保護継電装置
正面図
Fig. 2.4 Front view of
back-up protective relay
scheme.

は PC-312 形搬送保護継電器盤正面図、図 2.4 は同じく後備保護継電器正面図である。

3. PC-4A 形電力線搬送装置

この装置は方向比較式、故障時送出（または常時送出）阻止継放方式の電力線搬送装置であって、回路構成図を図 3.1 に示す。

3.1 特 長

この装置は従来のこの種装置と異なり全トランジスタ化され、かつ小形実装方式の採用により信頼度が高く、保守が容易であるのみならず、下記特長を有している。

(1) 狭帯域異周波自己受信阻止方式

送信周波数と受信周波数は 300 c/s 異なり、自局の送出搬送波はハイブリッドおよび受信ロハ器で阻止され受信されない、したがって、同時に送出された場合のビートによる誤動作を考慮する必要がない。

(2) 伝送帯域幅

搬送波の所要帯域幅を図 3.2 に示す。\$f_1\$ および \$f_2\$ チャンネルはおのの \$\pm 100\$ c/s の帯域幅を有し、1 回線の所要帯域幅は異周波自己受信阻止方式にもかかわらずわずか 500 c/s で、多重性に富んでいる。

3.2 装置説明

1. 送信部

搬送波はゲート回路の制御端子開放で送出され、地気で阻止される。発振器出力はゲート回路および出力調整用減衰器を経て送信電力増幅回路に加えられ、増幅されて線路に送出される。この増幅器は負帰還回路を有し、安定度とヒズミ率の点に特に注意が払われている。回路は線路出力 +30 dBm 用と +40 dBm 用の 2 種類がある。線路ロハ器は耐圧に特に注意が払われており、また避雷装置は大電力ゼナーダイオードと真空避雷管を併用し、サージに対し万全を期している。

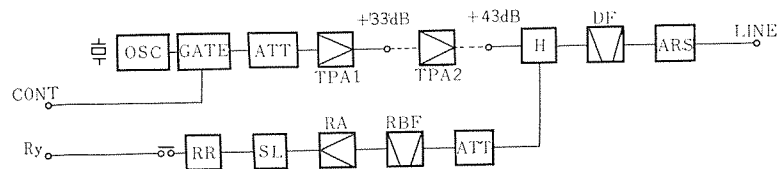


図 3.1 PC-4A 回路構成図

Fig. 3.1 Type PC-4A power line carrier equipment block diagram.

送信部仕様

送信出力	線路端で +30 dBm または +40dBm
高調波 ヒズミ	線路端で -40 dBm 以下
出力 インピーダンス	75 \$\Omega\$ \$\pm\$ 20 %
搬送周波数帯域	200~250 kc
送受信周波数差	300 c/s
送出阻止キャリアリフ	-50 dB 以下

2. 受信部

受信信号はハイブリッド回路から受信回路に伝送される。方向性は 35 dB 以上を有し、この出力は半固定減衰器で線路損失に同じレベルを調整した後受信用水晶ロハ器に導く。このロハ器は狭帯域水晶ロハ器で自己受信せぬよう急しゅんなシャ断特性をもっている。搬送波は増幅検波したのち波形成形する。この成形回路は立上りに無関係に立下がり時間を 0~10 ms 遅延させるもので、出力は受信継電回路で電流増幅し継電器を駆動している。

受信部仕様

入力レベル	線路端で 標準 +15 dBm 最低 +5 dBm
受信ロハ器	水晶ロハ器 通過帯域 \$f_0 \pm 100\$ c/s
立下がり遅延時間	0~10 ms 半固定可変
受信継電器接点容量	DC 100 V 0.2 A (抵抗負荷)
受信継電器耐圧	AC 500 V 1 分間

受信部の総合入出力特性は、線路損失の異常増加を線路故障とみなす 10 dB 低下不感動特性と、搬送波断における雑音に対する安定度を満足するため、波形成形回路において図 3.3 に示すように急しゅんなシャ断特性をもたせている。

3.3 総合特性

装置の総合動作時間は周知のとおり受信ロハ器の通過帯域幅で定まり、広帯域ほど応答速度は早くなる。この装置の総合動作時

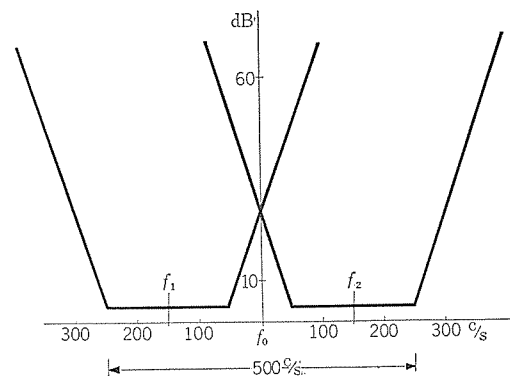


図 3.2 周波数配置図

Fig. 3.2 Frequency allocation.

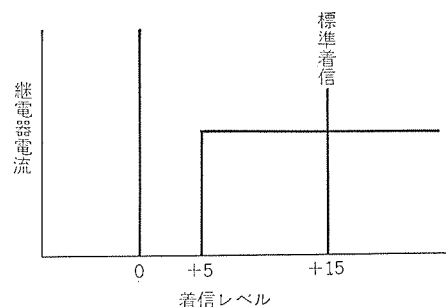


図 3.3 受信部入力出力特性

Fig. 3.3 Receiver input-output characteristic.

標準着信 レベル で 8 ms 以下
最低着信 レベル で 12 ms 以下 である。

3.4 電源および付属装置

装置使用条件

交流電源	AC 100/200 V 50/60 c/s
	標準電圧 ±10 % 以内
直流電源	−24 V ±10 % 以内
周囲温度	0~40°C
周囲湿度	30~90 %

なお、電源回路のヒューズ断、および電源喪失の場合は、ラザー警報を発するとともに継電器架に接点を与える。

装置構造は高さ 2,300 m/m, 幅 520 m/m, 奥行 225 m/m の標準搬送鉄架を使用した密閉構造とし, 1 架に 2 回線分の送受信部

とレベルメータ、操作盤および電源を内蔵している。

3.5 装置の信頼度予測

電力線搬送装置はとくに高度の信頼度と無調整保守が要求されている。したがって、回路部品、構造などについてもとくに信頼度を考慮しているが、試みに同性能の真空管式装置とこの装置の回路について信頼度の予測を行なった。信頼度は各回路を構成する部品の信頼度関数の積であり、一般に平均故障間隔(MTBF)⁽¹⁾で表わされる。表3、

(MTBF)⁽¹⁾ で表わされる. 表3, 1⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ を用いて計算するとお

表 3.1 部品故障率表

部 品 名	瞬 時 故 障 率 ($\lambda_t \times 10^{-6}$)
真空管	3.4
定電圧放電管	3.4
ゲルマニウムダイオード	0.45
トランジスタ	1.0
ゼナーダイオード	0.45
固定抵抗器	0.1
固定ホーロー抵抗	0.017
可変抵抗器	0.15
コンデンサ	0.15
マイカ	0.065
チタコン	0.44
ケミコン	0.14
ペーパー	0.5
水晶共振子	0.5
水晶ロハ器	0.4
変成器	0.5
リレー	0.7
スイッチ	

のおの MTBF は、真空管式装置の場合約 900h、トランジスタ式装置の場合約 1,800h となり約 2 倍の信頼度が期待される。

4. 模擬送電線による試験結果

4.1 試驗系統

図4.1はこの装置を適用した実システムの % インピーダンスマップである。この系統においては

$$\text{CT 比} = 1,000 \text{ A} / 5 \text{ A} = 200$$
$$\text{PT 比} = 110\text{kV}/110\text{V} = 1,000$$

CT 三次……25 ターン または 30 ターン 使用

PT 三次…… $V_{0\max}=110\text{V}$ であるから,

インピーダンス換算式

$$Z(\Omega) = \frac{(\%Z) \times (\text{kV})^2 \times 10}{\text{kVA}} = (\%Z) \times \frac{110^2 \times 10}{10^4} = 12.1 (\%Z) \dots\dots\dots(4.1)$$

式 (4.1) から

線路 インピーダンス $Z_L(\Omega) = 12.1 \times (j 0.282) = j 3.42 \Omega \dots\dots(4.2)$

P/S 側電源 インピーダンス

$$Z_{P/S}(\Omega) = 12.1 \times (j 0.73 \sim j 1.62) = j 8.85 \sim j 19.6 \Omega \dots (4.3)$$

S/S 側電源 インピーダンス

$$Z_{S/S}(\Omega) = 12.1 \times (j0.972 \sim j1.38) = j11.8 \sim j16.7 \Omega \dots (4.4)$$

PT, CT 二次側 インピーダンス (リレー 換算 インピーダンス)

$$Z'(\Omega) = Z(\Omega) \times \frac{\text{CT 比}}{\text{PT 比}} = 0.2 Z(\Omega) \dots\dots\dots(4.5)$$

式 (4.5) から

線路 インピーダンス $Z'_L(\Omega) = 0.2 \times (j 3.42) = j 0.68 (\Omega) \dots\dots (4.6)$

P/S 側電源 インピーダンス

$$Z'_{PS}(\Omega) = 0.2 \times (j 8.85 \sim j 19.6) = j 1.77 \sim j 3.9 (\Omega) \dots (4.7)$$

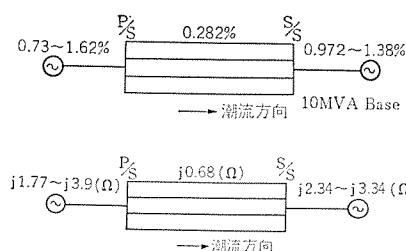
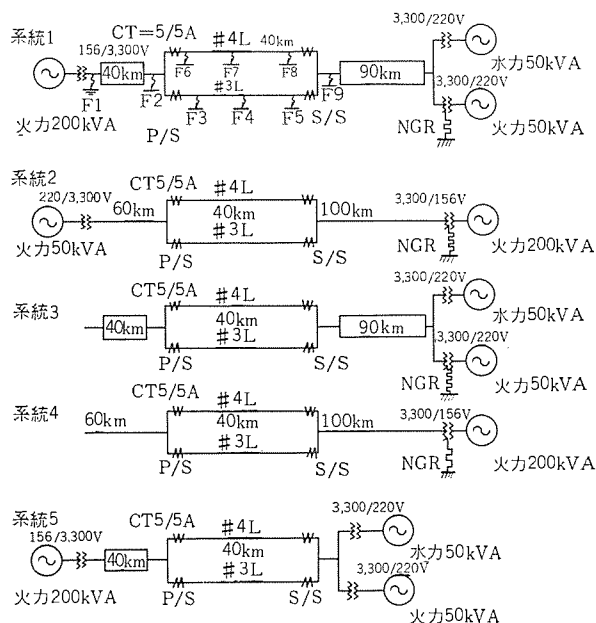


図 4.1 % インピーダンスマップ
Fig. 4.1 Percent impedance map.

図 4.2 リレー換算
インピーダンスマップ
Fig. 4.2 Impedance seen from the relay side.



脱調ロックテスト時系統図

図 4.3 試験系統図

Fig. 4.3 Schematic diagram of testing circuit.

S/S 側電源 インピーダンス

$$Z'_{ss}(\Omega) = 0.2 \times (j 11.8 \sim j 16.7) = j 2.34 \sim j 3.34 (\Omega) \dots (4.8)$$

図 4.2 は上記計算に基づく リレー 換算 インピーダンスマップ であり、図 4.3 は前記実系統と等価の模擬送電線 (ATL)⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾ 試験系統図である。図 4.3 中、系統 (1) は両端が最大電源を有するときであり系統 (2) は両端電源であるが、最小電源の場合である。系統 (3) は系統 (1) において P/S 側を無電源とした場合であり、系統 (4) は系統 (2) において P/S 側を無電源とした場合を示している。いずれも PT 二次電圧、CT 二次電流、したがって リレー 換算 インピーダンス がそれぞれ実系統の場合と一致するよう ATL の

表 4.1 継電器整定表

器具番号	継電器形名	P/S	S/S
127	KVA-1-M 形 短絡故障検出	80 V	80 V
227	KVA-2-M 形 短絡故障検出	50 V	50 V
44X	KZ-1-M 形 方向距離	1.7 Ω 80°	1.7 Ω 80°
44Y	RZ-2-M 形 方向距離	3.38 Ω 80° (後方 0.4 Ω)	3.38 Ω 80° (後方 0.4 Ω)
56	KZ-3-M 形 方向距離		前 3.75 Ω 後 1.87 Ω
164	KVG-3-M 形 1 線地絡検出	$V_0=30$ V $V_2=25$ A	$V_0=30$ V $V_2=25$ V
264	KVG-3-M 形 1 線地絡検出	$V_0=40$ V $V_2=20$ V	$V_0=40$ V $V_2=20$ V
67X	DGB-M 形 方向地絡	0.2 A	0.25 A
67Y	CGB-M 形 方向地絡	0.2 A	
67X 67Y 用	調整抵抗		P=0.2 S=0.25 Ry=0.2
44S	CZB-FT 形 過電流	6A タップ 100% 抑制	6A タップ 100 抑制
44ST	JD-5-F 形 限 時	2 sec	2 sec
64T	JD-5-F 形 限 時	1 sec	1.5 sec

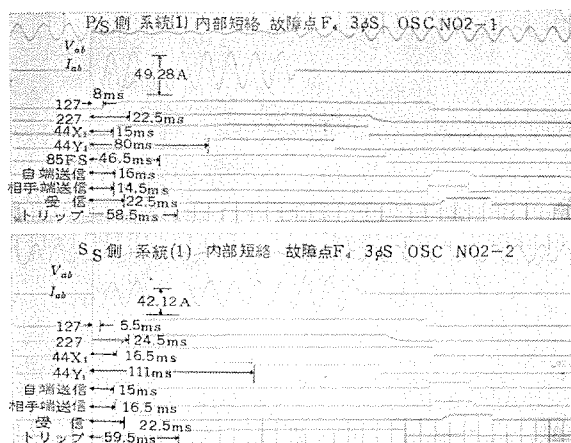


図 4.4 両端流入内部 3 ϕ S 故障 オシログラム
Fig. 4.4 Oscillograms for three line ground fault for protective zone, where fault currents flow in from both sides.

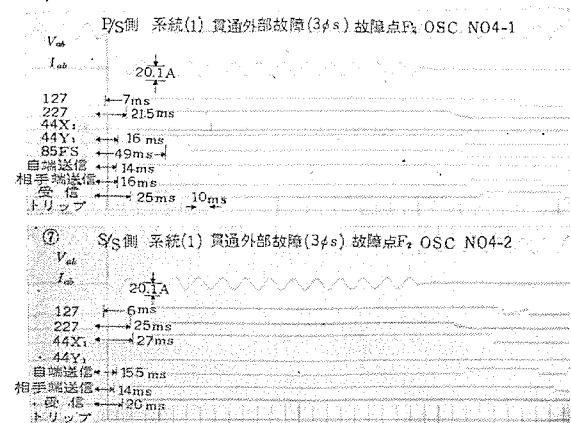


図 4.5 貫通外部 3 ϕ S 故障 オシログラム
Fig. 4.5 Oscillograms for three line ground fault beyond protective zone, though where fault current flows.

PT 比, CT 比, 線路長, および電源を選定してある。

4.2 継電器整定

表 4.1 は試験時の各継電器整定一覧表である。

4.3 試験結果

図 4.4 ないし図 4.10 は、試験結果を示すオシログラムである。図 4.4 (OSC No. 2) は系統 (1) で故障点が保護区間中央の両端流入内部 3 ϕ S 故障である。故障発生からトリップ回路形成までのいわゆる動作時間は、P/S 側 58.5ms S/S 側 59.5ms ではほぼ同時遮断となっている。図 4.5 (OSC No. 4) は系統 (1) で故障点が P/S 側区間外にあり、故障電流が貫通する外部 3 ϕ S 故障である。故障発生、除去時とも両端の協調が確実に行なわれ、両端とも誤動作していない。図 4.6 (OSC No. 6) は系統 (3) (一端電源) で故障点が S/S 側 (電源端) 近傍であり、一端流入となる内部 3 ϕ S 故障である。動作時間は、無電流端の P/S 側が 60 ms, 流入端の S/S 側が 64 ms となっており、4 ms の差を生じているがこれは、流入端が自端搬送波を停止したことにより無電流端が搬送波を停止し、それによって流入端がトリップするという打返し方式をとっているためである。図 4.7 (OSC No. 7) は、同じく系統 (3) (一端電源) で故障点が S/S 側 (電源端) 外部であたるため、両端とも無電流となる外部 3 ϕ S 故障である。両端とも搬送波を停止するものがないため、故障継続中連続的にトリップ阻止として作用する搬送波が存在し、両端とも誤動作していない。図 4.8 (OSC No. 8) は系統 (2) で故障点が P/S 側近傍の両端流入内部 2 ϕ S 故障であるが、動作時間は故障電流が 40.2 A の P/S 側 (大電流端) が 55 ms, 故障電流が 17.6 A の S/S 側 (小電流端) が 59.5 ms

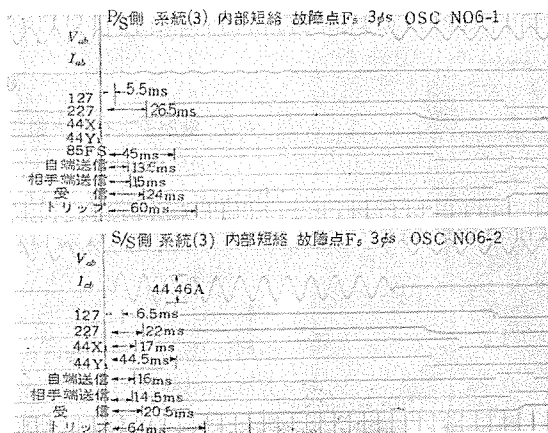


図 4.6 一端流入内部 3 ϕ S 故障 オシログラム
Fig. 4.6 Oscillograms for three line ground fault for protective zone, where fault current flows into from a single side.

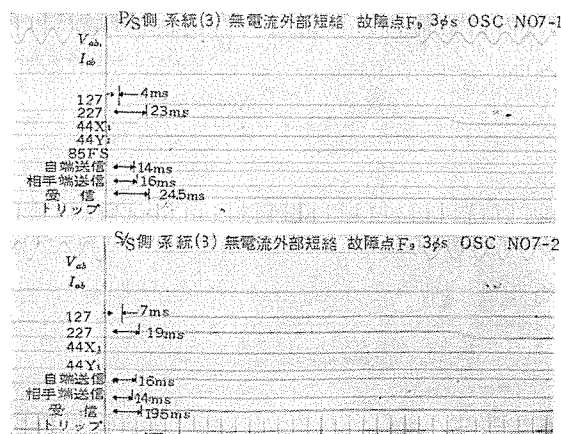


図 4.7 両端無電流外部 3 ϕ S 故障 オシログラム
Fig. 4.7 Oscillograms for three line ground fault in the out side of protective zone, where no fault current flows.

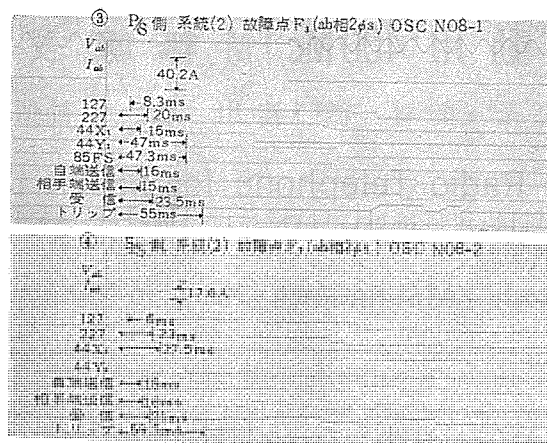


図 4.8 両端流入内部 2φ S 故障 オシログラム

Fig. 4.8 Oscillograms for two line ground fault for protective zone, where fault currents flow into from both side.

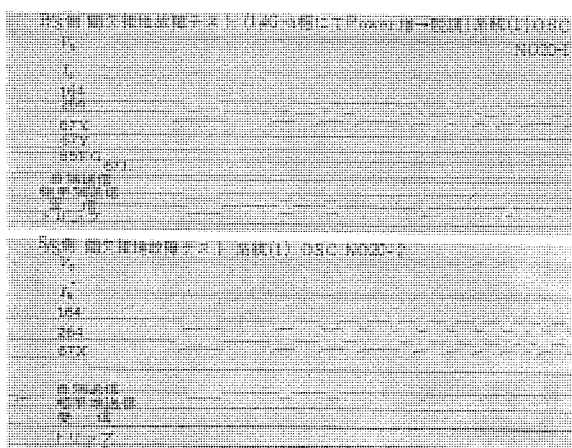


図 4.9 間欠地絡故障 オシログラム

Fig. 4.9 Oscillograms for intermittent one line ground fault.

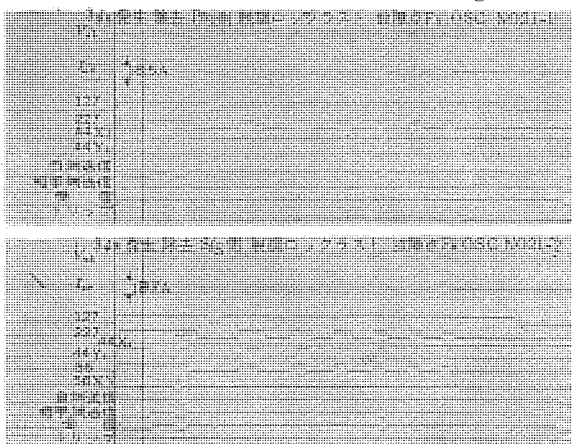


図 4.10 脱調現象 オシログラム

Fig. 4.10 Oscillograms for out-of-step conditions.

で約 4.5ms の差を生じている。その他の故障たとえば 1φ G, 2φ G など、上記と大差なく保証値以内であり、また多重故障についても前記保証性能の項に記載した事項が確認された。図 4.9 (OSC No. 20) は、系統 (1) において潮流を増大して脱調現象を発生させ、発生直後 P/S 側外部に a 相 1φ G 故障を発生させ、図示のごとく零相電圧 V_0 の振幅をあたかも間欠地絡時の V_0 の振幅のごとく波打たせたものである。かかる故障状態に長時間さらしても両端の協調が確保され誤動作していない。図 4.10 (OSC No. 21) は系統 (5) において S/S 側外部に 3φ S 故障を発生させて脱調現象を発生せしめ、電氣的中心が保護区間内にはいってくるようにしたもので、かかる場合にも誤動作しないことを確認したものである。実系統をそのまま模擬した系統 (1)~(4) では電氣的

中心が S/S 側背後に存在するため、全然誤動作する可能性なく脱調ロックテストとならないため実系統とは相違するが系統 (1) の S/S 側背後 インピーダンス を減じ電氣的中心が、保護区間内にはいってくるようにした系統が系統 (5) である。以上、経験上考えられるあらゆる系統故障、系統現象に対し PC-312 形搬送保護継電装置は、動作すべきときは両端同時に高速度動作し、動作すべきでないときは両端の協調が確保されて確実に不動作となっていることが確認された。

5. む す び

以上、機械式継電装置による方向比較方式の基本形の一つとして、シリンダ要素化された KZ シリーズ、KV シリーズ 静止回路網化された DGB、KVG シリーズを主体とする PC-312 形搬送保護継電装置および オルトロンジスタ 化された PC-4 形電力線搬送装置の特長、原理、構成、性能、試験結果について述べた。しかし、主継電器として相別継電器 KZ シリーズ を、故障種類別継電器 KD シリーズ⁽¹⁵⁾ に切替えたもの、あるいは直接接地系統保護用として、地絡保護、短絡保護兼用の KZG シリーズを使用したものがあり、これらは多重故障に対する保護能力を増大し消費 VA を軽減し、盤面積を節約している点で、今後、当社の推奨方式となるものである。なお、継電装置一式 オルトロンジスタ 化したものも開発中であるが、これらについては後日あらためて発表させていただく。

最後にこの装置の製作試験にご助力いただいた中国電力関係各位に、感謝の意を表し、また、神戸製作所、無線機製作所の製作、試験関係者に対し、ご助力を感謝する。

参 考 文 献

- (1) 北浦・竜田：超高压送電線の保護継電装置と搬送装置、「三菱電機」, 33, No. 4, 超高压送電機器特集号 (昭 34)
- (2) 北浦・竜田：搬送保護継電装置、「三菱電機」, 33, No. 12, 技術解説火力発電 シリーズ (昭 34)
- (3) 北浦：最近の搬送保護継電装置、「三菱電機」, 33, No. 12
- (4) 北浦・古谷：最近の距離継電器 (1), 「三菱電機」, 35, No. 4 (昭 36)
- (5) 北浦・古谷：最近の距離継電器 (2), 「三菱電機」, 35, No. 5 (昭 36)
- (6) 北浦・古谷：最近の送電線保護継電器 (1), 最近開発された距離継電器の現地試験報告, 「三菱電機」, 35, No. 5 (昭 36)
- (7) 北浦・古谷：最近の送電線保護継電器 (2), 接点協調式優先シャ断装置, 「三菱電機」, 35, No. 12 (昭 36)
- (8) 北浦・古谷：KD 形高速度方向距離継電器, 昭 36 電気連合大会
- (9) 北浦・古谷：多相距離継電器の入力導入方式, 昭 36 電気関西支部連合大会
- (10) 北浦・古谷・山内：優先シャ断装置の模擬線試験結果報告, 昭 36 電気関西支部連合大会
- (11) 北浦・古谷・伊吹：トランジスタ化距離継電器の諸特性, 昭 37 電気連合大会
- (12) 北浦・古谷・伊吹：1 線地絡検出継電器のトランジスタ化について, 昭 37 電気連合大会
- (13) 北浦・古谷：静止形故障検出継電器, 昭 37 電気関西支部連合大会
- (14) 市田嵩・永松勇雄：電気計測器の信頼度測定結果, 「品質管理誌」, 12, No. 5, (1961)
- (15) Charles A. Krohn: Reliability Analysis Technique Proceeding of IRE 2 (1961)
- (16) 北浦・三上・関：模擬送電線設備, 「三菱電機」, 35, No. 5 (昭 36)
- (17) 北浦・三上：模擬送電線設備, 昭 36 電気連合大会
- (18) 北浦：特許, 第 270304

トランジスタ式移動用 400 Mc/FM 無線装置

黒田 忠光*・奥村 徹*・桂川 弘*・中村 信弘*

Transistorized 400 Mc/FM Radio Telephone for Mobile Use

Electronics Works

Tadamitsu KURODA・Tōru OKUMURA

Hiroshi KATSURAGAWA・Nobuhiro NAKAMURA

Rapid increase in the demand for electric waves brought forth the opening of 400 Mc baud for public use in 1958. Along with the improved manufacturing technique of the radio equipment, there after the radio law has been revised the standards for official approval of the type of the radio equipment have been established. On this occasion, with the transistorization of the radio equipment, Mitsubishi has completed the development of the small and less consumed type FM-11D 400 Mc/FM radio telephone equipment for mobile use, with its RF power output of 5 W, which has been approved by the officially Ministry of Posts and Telecommunications.

1. ま え が き

急速に増加してきた電波需要に対処するため、昭和 34 年末より 400 Mc 帯が開放され、一般に使用されるようになった。その後、機器製作技術の進歩に伴い電波法の改正、無線機の形式検定規則の制定などが行なわれ、400 Mc 帯 FM 無線機の形式検定も 37 年より実施されることになった。一方、トランジスタの製作技術も非常に進歩を遂げ、超高周波トランジスタ、大電力用トランジスタなどが製造されるにおよんで、無線機の小形、軽量、低電力化はいっそう叫ばれるようになった。

当社はこれらの要望にこたえるため、機器のトランジスタ化を押し進め、性能上、構造上の上記要求を十分満足するトランジスタ化 FM-11D 形移動用 400 Mc/FM 無線機の開発を完了したので、ここにその概要を紹介する。

なお本機はすでに郵政省型式検定に合格（合格番号 F 第 62059 号）している。

2. 移動用無線機としての諸問題

2.1 サービスエリア

サービスエリアは

- (1) 送信出力、受信機感度、空中線利得など設備に係るもの。
 - (2) 伝搬損失
 - (3) 受信点における外部雑音
- などの諸要素によって決まる。

伝搬損失はほぼ周波数の 2 乗に反比例して高い周波数ほど不利に

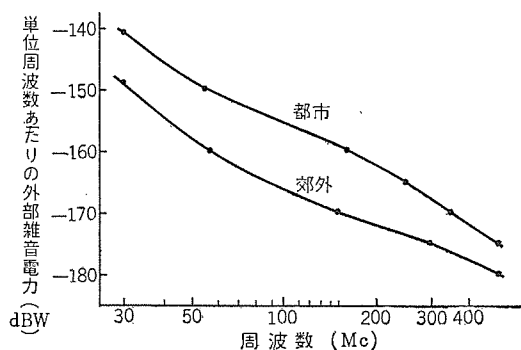


図 2.1 外部雑音の周波数特性

Fig. 2.1 Frequency distribution of environmental noise.

なるが、受信点における外来雑音では図 2.1⁽¹⁾ に示すように都市ないし市街では、かなり有利である。また波長の短い 400 Mc 帯は VHF 帯に比べ高利得の空中線のすえ付が容易であるため、送信出力が少なくても空中線のほうでこれを補うことができる。

これらの理由のため、装置としては部分的に構造上やや複雑であるが、全体として VHF 帯の装置と同程度に小形軽量で低消費電力のものにできるので、都市または市街地用としては 400 Mc 帯のほうが VHF 帯に比べむしろ有利である。

2.2 電源の問題

電源の問題としては、電力消費と電源電圧の二つがある。

(1) 電力消費

自動車に取り付けられている電池、ダイモなどの容量は、一般に夜間の使用時にややオーバロードになる程度のものに設計されているようである。昼間の使用では照明のためのものが不要になるので消費量は夜間の約 20% 程度に減少する。

中形自動車に無線機をすえ付ける場合を考えると、無線機を主として昼間に使用し、送信・受信の時間比を考慮した場合、無線機に許容される消費電力は送信時で 100 W 前後である。

(2) 電源電圧

自動電圧調整器（通称 Cut out relay）で電池電圧がある幅に納まるように電池-ダイモ間が制御されているが、図 2.2⁽²⁾ に示すようにこの幅は ±10% 程度はあり、さらに電圧調整器が故障に近い状態に陥いることも考慮すると無線機は 30% 程度の電圧上昇においても故障しないようにしておかなければならない。

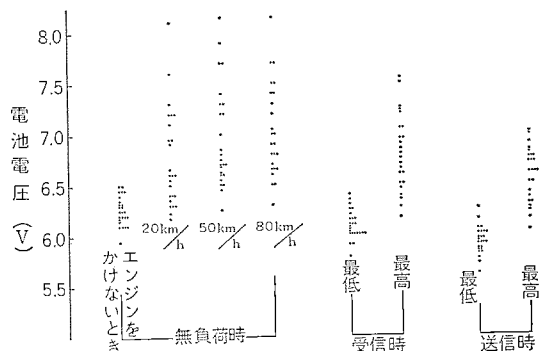


図 2.2 電池電圧の分布

Fig. 2.2. Distribution of battery voltage under working conditions.

表 2.1 各部の温度上昇

		温 度 上 昇 (°C)	
		セ ダ ン 形	ジ ー プ 形
ダッシュ板	窓 閉	15~17	16~18
	窓 開	6~8	9~11
ト ラ ン ク 部		18	—
座 席 後 部		—	20~25

表 2.2 振動に対する各種規格

	全 振 幅 (mm)	振 動 数 (回/min)	最大加速度 (g)
型式検定規則	3	0~500	0.4
	1	500~1,800	1.8
電力統一仕様	3	120~600	0.6
	2	600~2,000	4.5

表 2.3 主要部品故障率

部 品 名	故障率 (10 ⁶ 時間)
電子管 (出力管)	10.0
ゲルマニウムトランジスタ	0.9
シリコントランジスタ	0.5
ゲルマニウム ダイオード	0.3
シリコン ダイオード	0.2
セラミックコンデンサ	0.1
タンタルコンデンサ	0.1
固定抵抗器	0.03

2.3 各部の温度

無線機の周囲温度はすえ付場所、車の種類、走行停止の別、窓の開閉などによって異なるが、およそ表 2.1 (警察庁無線通信課の実測値) の程度である。

この値より、自動車のダッシュ板に取り付けるようにするのが、他の場合に比べ有利であることがわかる。

2.4 振 動

自動車の振動は普通の走行時では 2g 以下であるが、無線機的设计は実際のものより、かなりかこくな検定規則、電力統一仕様などを満足することが必要である。表 2.2 は型式検定規則、電力統一仕様で定められている振動条件を示す。

2.5 す え 付

車内の温度上昇の点から、装置全体をダッシュ板に取り付けるのが望ましい。また小形の乗用車が多数使用されるようになったため、小形軽量化はこの点からも必要である。さらに車種が非常に多いので無線機をダッシュ板以外の場所にもすえ付けねばならないことが起こりうるから、これらにも適合するすえ付方法をあらかじめ考慮しておく必要がある。

2.6 機器の信頼性

何種類かの部品を何個か組み合わせて一つの機器が構成される時、その機器の故障率は近似的に各部品の故障率の和になる。部品についての故障率をあげると表 2.3⁽³⁾ のようになり、これからわかるようにトランジスタは電子管に比べて故障率は約 1/10 で、トランジスタ化することは信頼度向上の意味からも有利であり、また送信時に比べて受信時の長い移動局においては受信機を全トランジスタ化することは非常に有意義である。

3. 機 器 の 概 要

3.1 機器の設計

移動無線の一般的な問題点は前に述べたとおりであるが、機器

トランジスタ式移動用 400 Mc/FM 無線装置・黒田・奥村・桂川・中村

設計における具体的問題および設計方針について述べるとつぎのようになる。

小形、軽量、低電力消費化するためには、トランジスタ化が是非必要であるが、数 W におよぶ 400 Mc 帯の送信トランジスタは将来の出現に待たねばならず、現段階としては電子管とトランジスタの混用形式となる。したがって、必然的に発熱が多くなるので、放熱効率を高めるような構造を考慮しなければならない。また自動車の電源電圧、接地の種類などは統一されていないので、すべての自動車に簡単に選合させるためには、無線機側で対策を施す必要がある。

さらにいろいろな意味で機器の標準化を推し進め、信頼度の向上、標準品の組み合わせによる各種需要への速応など生産の合理化をはかることも必要である。

この機器は以上の要素を考慮して、つぎに示す方針によって設計した。

- (1) 主要 パネル は移動用、固定用 のいずれにも使用できる。
- (2) 簡単な手段により同時送受信用の機器に変更できる。
- (3) プリント 配線をできるだけ使用して、性能 パラツク を極力少なくする。
- (4) 機能回路ごとにできるだけユニット化し、必要に応じてこれらのユニットの組み合わせによりパネルを構成し、簡単に所要の性能の回路をつくることができる。
- (5) 各 パネル はララダイン方式とし、保守・点検・取換が容易にできる。
- (6) 受信部は全トランジスタ化する。
- (7) 送信部は極力トランジスタ化し、高出力段はヒータの接続変更に便利な電子管を採用する。また特殊ラジエータ内に収容して機器内部の温度上昇を少なくする。
- (8) 電源部はトランジスタ DC-DC コンバータを使用し、小形高能率にする。
- (9) 全密閉形とし、内部汚損を防ぐ。
- (10) 自動車のダッシュ板に取り付けるのをたてまえとし、場合によっては座席の後部あるいはトランク内にもすえ付可能とする。
- (11) 電力増幅装置の付加によって簡単に増加できること。

3.2 構造および構成

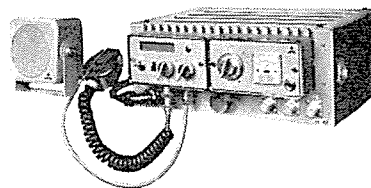


図 3.1 FM-11D 形無線機外観図
Fig. 3.1 External view of type FM-11D radio equipment.

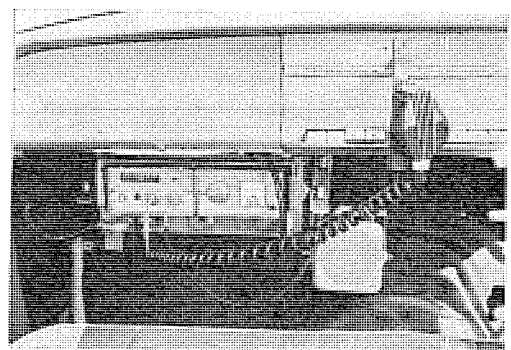


図 3.2 FM-11D 形無線機実装例
Fig. 3.2 An example of mounting on a car.

自動車内部の温度上昇からすれば機器全体をダッシュ板に取り付けるのが寿命の点からも望ましく、また保守の面から有利である。

この装置は図 3.1 に示すように本体に制御器、計器部をプラグによって直接取り付けることができ、この状態で自動車のダッシュ板に取り付けるのをたてまえとしている。しかし場合によっては本体と制御器を分けて、本体を自動車の後部に、制御器をダッシュ板に取り付けることもできる。図 3.2 は本体と制御器、計器部を一体にしてダッシュ板に取り付けた場合の状況を示す。本体は密閉構

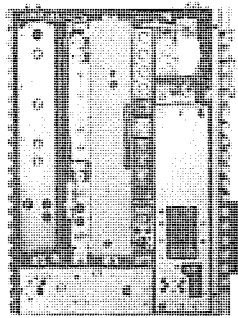
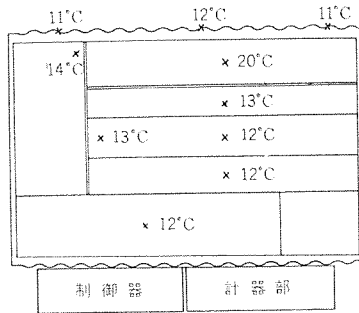


図 3.3 本体内部構造
Fig. 3.3 Top view of panel locations.



試験条件：送信 1 min, 受信 (送信管のヒータ接)
3 min で 8 時間連続動作
数値は×点における温度上昇

図 3.4 本体内部の温度上昇
Fig. 3.4 Temperature rising of the interior of the equipment.

造とし、放熱は前面および後面のラジエータによって行なっている。本体の内部構造と本体内部各部の温度上昇を図 3.3, および図 3.4 に示す。図 3.3 からわかるようにパネルはすべて上面からそう入

表 3.1 本体構成表

パネル名称	電源電圧の区別	
	DC 6/12 V	DC 24 V
送信テイ倍部	○	○
送信出力部	○	○
受信前段部	○	○
受信後段部	○	○
電源前段部 (6/12 V)	○	○
電源後段部 (24 V)	○	○
空中線接続部	○	○

表 3.2 付属品構成表

構成番号	設置形式	制 御 器 部	計 器 部	本 体 ・ 制 御 器 間 ケ ー ブ ル	防 震 台 ※	ス ピー カ ー ボ ッ ク ス	ハ ン ド セ ッ ト	ハ ン ド マ イ ク ル	電 池 ・ ケ ー ブ ル	空 中 線 ケ ー ブ ル	空 中 線 ケ ー ブ ル
1	FRONT-MOUNT	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	REAR-MOUNT	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※ 要求により装備

表 3.3 400 Mc 帯 FM 無線機型式検定規則および三菱標準仕様

項 目	型式検定規則	三菱標準仕様	項 目	型式検定規則	三菱標準仕様
概 要		A バンド 364.5~365.6 Mc B バンド 372.5~373.6 Mc C バンド 414.5~415.5 Mc	(1) 変調入力インピーダンス		0.3~3 kc において 40±10 Ω 不平衡または 600Ω±10% 平衡
(1) 周波数	335.4~470 Mc		(2) S/N		1 kc 100% 変調で 45 dB 以上
(2) 通話方式		プレストーク方式	(3) 残存 AM 変調		1 kc 100% 変調で 5% 以下
(3) 電力消費		電源電圧 DC6V 時 送信時 約 12 A 受信時 約 4 A 待受時 約 1.6 A 電源電圧 DC12V 時 送信時 約 2 A 受信時 約 2 A 待受時 約 0.8 A	受 信 部		水晶制御二重スーパーヘテロ ダイナ方式
(4) 使用定格		送信 1 分, 受信 3 分 繰返し使用	(1) 受信方式		10.7 Mc
(5) 周囲条件	1. 使用する環境 2 (周囲温度 -10~+50°C) 2. 相対湿度 +35°C で 95%	1. 周囲温度 -10°C~+50°C 2. 相対湿度 +35°C で 95%	(2) 第一中間周波数		455 kc
送 信 部			(3) 第二中間周波数		50 Ω 不平衡
(1) 空中線電力	公称値 +20% -50%	5 W+20% -50%	(4) 周波数許容偏差	±0.002%	±0.001%
(2) 出力インピーダンス	温度範囲 -10°C~+50°C, 電圧変動 ±10%	50 Ω 不平衡	(5) 感 度	20 dB QS 8 dB(μV) 以下	20 dB QS 6 dB(μV) 以下
(3) 変調方式		可変リアクタンス位相変調	(6) S/N		1 kc 70% 変調 30 dB(μV) 入力時 40 dB 以上
(4) 最大周波数偏移	±12 kc	±12 kc	(7) 通過帯域幅	6 dB で 20 kc 以上	6 dB で 26 kc 以上
(5) 周波数許容偏差	±0.002%	±0.001%	(8) 選択度	70 dB 減衰 60 kc 以内	70 dB 減衰 50 kc 以内
(6) テイ倍数	温度範囲 -10°C~+50°C, 電圧変動 ±10%	36 (=2×3×2×3)	(9) スプリアス感度	-70 dB 以下	-70 dB 以下
(7) 変調周波数特性		1 kc 20% 変調基準 0.3 kc -10.5±3 dB 2 kc +4±3 dB 3 kc +6±3 dB	(10) 感度抑圧効果	±50 kc で 80 dB (μV) 以上	±50 kc で 80 dB(μV) 以上
(8) 占有周波数帯幅	30 kc 以内	30 kc 以内	(11) 相互変調特性	同方向 50 kc, 100 kc 65 dB (μV) 以上	同方向 50 kc, 100 kc 65 dB(μV) 以上
(9) スプリアス発射強度	1 mW 以下かつ -60 dB 以下	1 mW 以下かつ -60 dB 以下	(12) 低周波出力		1 kc 70% 変調 20 dB(μV) 入力で 30 dB (mW)
(10) ヒズミ	1 kc 70% 変調で -20 dB 以下	1 kc 70% 変調で -20 dB 以下	(13) ヒズミ	-20 dB 以下	-20 dB 以下
(11) 標準変調入力		70% 変調入力 -4±3 dB (mW)(1 kc)	(14) 周波数特性		1 kc 20% 変調基準 0.3 kc +6±3 dB 以内 2 kc -4±3 dB 以内 3 kc -8±3 dB 以内
			(15) スケルチ特性		0 dB(μV) 以下~10 dB (μV) 以上調整可能
			寸法, 重量		140 mm (高)×350 mm (幅)×300 mm (奥行) (含 制御器)
			(1) 寸 法		
			(2) 重 量		約 15 kg (含制御器)

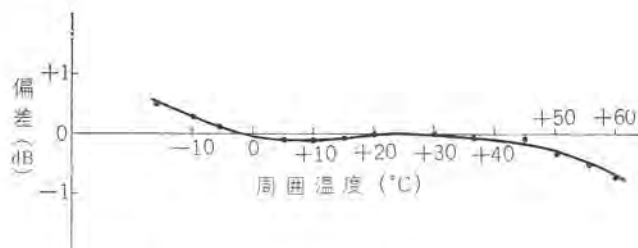


図 3.5 温度変化による変調感度の変動
Fig. 3.5 Modulation index drift vs temperature.

する構造で、ラジライン方式を採用しているので着脱は非常に容易である。電源電圧、取付場所によって機器の構成が異なるが、それぞれの形式を表 3.1, 3.2 に示す。また、400 Mc 帯無線機の型式検定規則および当社の仕様を表 3.3 に示す。

3.3 送信部

(1) 変調関係

温度変動に対して非常に安定な可変容量ダイオード位相変調器を用いた。変調回路の Q を非常に低くしているの、調整が簡単に行なえ、製品による性能のバラツキはない。図 3.5 に変調特性の温度特性を示す。

(2) 終段管の選定

終段管の選定についてはつぎの諸点により検討した。

(a) 装置の消費電力は自動車のほうの電池、ダイナモなどの容量から許容されるもの以下であること。

(b) 装置の大きさは車内の各部温度分布により、ダッシュ板に取り付けるのが望ましいから、この要求を満たすこと。

(c) 簡単に入手でき、取り換えが簡単に行なえ、かつ取り扱いに便利なもの。

(d) 基地局に高利得空中線設置が容易であることを留意しておく。

(e) サービスエリアは 150 Mc 帯で一般に使用されている移動無線機のそれと同程度のものとする。

これらの条件を満たすものとして、6939 (4~5 W) と 2B52 (10~15 W) が候補にあげられ、仕様の比較を表 3.4 に示す。

表 3.4 6939 と 2B52 の仕様の比較

使用真空管	高周波出力 (W)	冷却方法	励振電力 (W)	外形寸法 (mm)
6939	4~5	自然空冷	1.2	78×22.2φ
2B52	10~15	自然空冷	1~1.5	85.5×46φ

励振電力は 2 者はほぼ同程度であるから、終段管の前までの回路構成は同じでよく、したがって消費電力は 2B52 を使用した場合 100 W 前後、6939 の場合これより 25 W 前後少なくなるが、いずれの場合でも移動無線機として許容できる消費電力の範囲にある。ただし 2B52 を使用した場合、電子管の種類が増し、電源電圧の種類もふえる可能性がある。消費電力の増加に伴い内部発熱量も増すから放熱に対し、より一層の注意が必要になる。またパネルの幅は 6939 の場合の少なくとも 50% 増にする必要があるの、全体としてかなり大きくなる。

一般に一基地局に対して多数の移動局が使われるので、移動局側はなるべく小形で簡単なものとし、これらの不足を基地局側で補うのが有利である。

以上のような検討の結果、小形で構造が簡単になる 6939 を終段管として使用することにした。

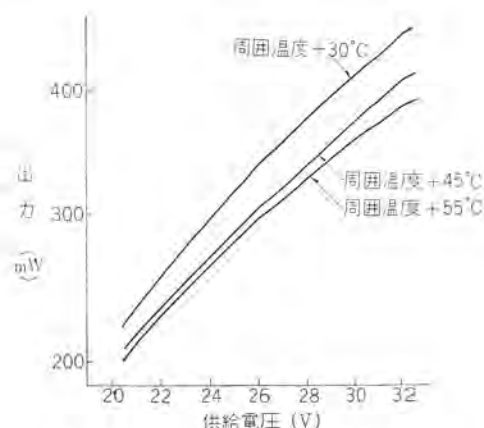


図 3.6 トランジスタ 段出力—電源電圧
Fig. 3.6 Power out-put of transistor stage vs supply voltage.

(3) トランジスタ 部と電子管部のつなぎ

電子管の数をできるだけ少なくするため、ラインアッパとして

6360—6939 (3 テイ倍)—6939 (出力)

を用い、6360 を約 200 mW で励振した場合、3×2 テイ倍で使用して、6939 (3 テイ倍) を十分励振できることが判明した。この程度であれば、周波数も低く電力も小さいので、十分余裕をもってトランジスタ 部と接続ができる。

これらの電子管は ヒータ 電圧が 6 V, 12 V のいずれにも使用できるので電源電圧の変更に対して便利である。図 3.6 にトランジスタ 部の出力特性の一例を示す。これは電源電圧が +30% 上昇した場合でも破損することのないようになっている。

(4) 電子管部

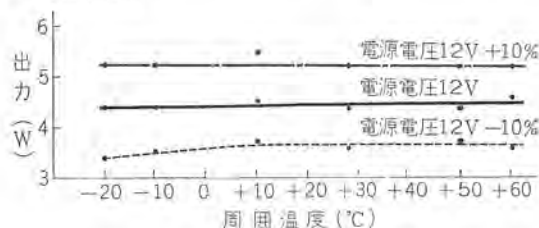


図 3.7 送信出力—温度特性
Fig. 3.7 RF out-put power vs temperature.

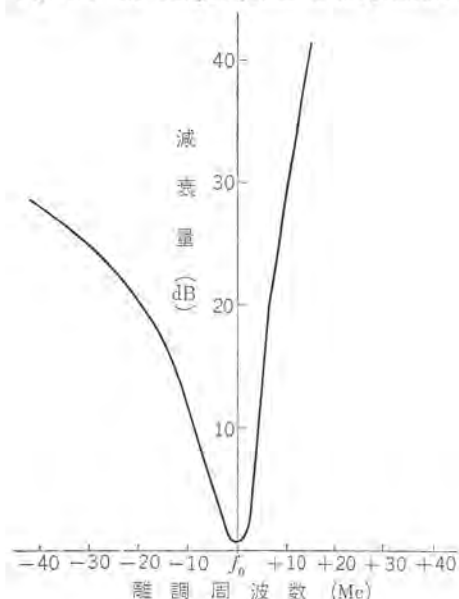


図 3.8 スプリアスフィルタの選択特性
Fig. 3.8 Selectivity of coaxial type band pass filter for rejecting spurious emission.

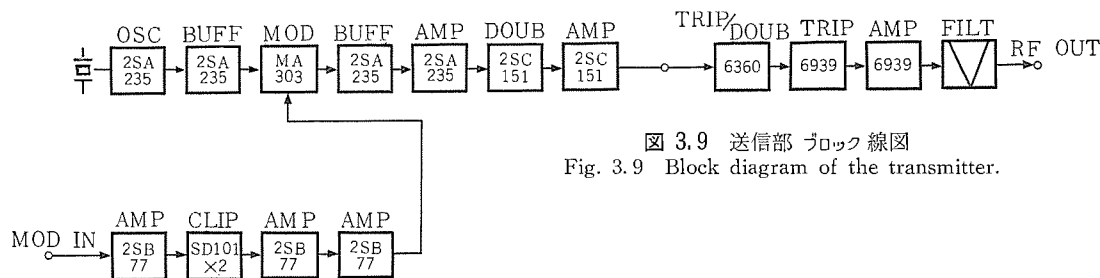


図 3.9 送信部 ブロック線図
Fig. 3.9 Block diagram of the transmitter.

電子管部では 400 Mc 帯回路の カバーリング の問題、放熱効率を上げるための構造上の問題がある。

400 Mc 帯のかなり広い A, B, C バンド を一種類の構造として、簡単な調整のみでカバーさせるため、400 Mc 帯の同調回路は先端短絡のレッヘル線を用いた。この構造は寄生振動の問題に対しても有利である。

放熱の問題は、パネルの実装方法を考慮して処理しなければならない。パネルを簡単に着脱するため、電子管とシャーシの関係を従来のものと変え、倒立させた構造とした。この構造にすることによってパネルの着脱が容易であるうえ、熱は電子管の管壁から金属パネルを経て、箱体に設けられている放熱片へ確実に伝えられる(実用新案出願中)。

スプリアスは帯域ろ波器を用いて除去することとし、増幅 ティ 倍回路は能率を主眼に考えた。図 3.7, 3.8, 3.9 に出力特性、スプリアフィルタ 選択特性、ブロック線図を示す。

3.4 受信部

(1) 受信部の ラインアップ について

ラインアップを決定する際に問題になることは、感度と 2 信号特性の間の相反性をいかに処理するかということである。まず感度の向上のみを考えると、これは総合の雑音指数を小さくすることがすべてであるから、初段には低雑音指数で高利得の回路を使用し、次段以降の雑音指数の影響を極力少なくすることが最も妥当な解決策である。

つぎに 2 信号特性、すなわち相互変調特性と感度低下特性の向上について考える。

相互変調による妨害は、隣接チャンネルと次隣接チャンネルの信号による変調積によるものが最も支配的である。隣接および次隣接チャンネル妨害波の振幅をそれぞれ A, B とすると、これら 2 者によって生ずる相互変調積のうち希望波と一致する周波数成分はつぎのようになる⁽⁴⁾。

$$\text{増幅段では } \frac{3a_3}{4a_1}A^2B$$

$$\text{混合段では } \frac{3a_4}{2a_2}A^2B$$

ただし、 a_1, a_3 : 増幅段の一次、三次 ヒズミ 係数

a_2, a_4 : 混合段の二次、四次 ヒズミ 係数

この式からわかるように相互変調特性を良くするためには妨害変調積を小さくするようにヒズミ係数を選ぶか、非直線部分に加わる妨害波振幅 A, B を小さくすればよい。隣接および次隣接チャンネルの妨害波は、希望波からそれぞれ 50 kc, 100 kc しか離れていないため、帯域幅を決定する集中フィルタ(以下 BPF と記す)までは、ほとんど減衰を与えることはできない。この空中線入力より BPF までの間で高利得をとることは、妨害波振幅が大きなものになって非直線部分に加わるため、相互変調妨害の立場から望ましくない。

感度低下は BPF までの間の能動回路の飽和特性によって生ずる。すなわち希望波から 50~100 kc しか離れていない強力な妨害波が受信機入力に加わると前述のように BPF までの間では妨害波に対してほとんど減衰を与えることができないため、大振幅の妨害波が増幅回路、混合回路などに加わり、それら回路の動作を飽和領域へ追い込むことになる。この感度低下を軽減するには、妨害波と微弱な希望波が同時に存在する段では、妨害波によって回路が飽和しない範囲に妨害波振幅を抑えればよい。

結局感度と 2 信号特性の向上をはかるためには、2 信号特性の悪化する機会を少なくするため、できるだけ BPF を前段に持って行き、BPF までの利得を感度を低下させない範囲で極力抑え、BPF 通過後高利得増幅器で所定の振幅に増幅するように回路を構成すればよい。

具体的にはイメージ除去フィルタの損失を少なくし、かつ雑音指数の小さい高周波増幅段、混合段、中間周波段を使用し、さらに BPF までの間の能動回路の直線領域を広げるように回路定数を

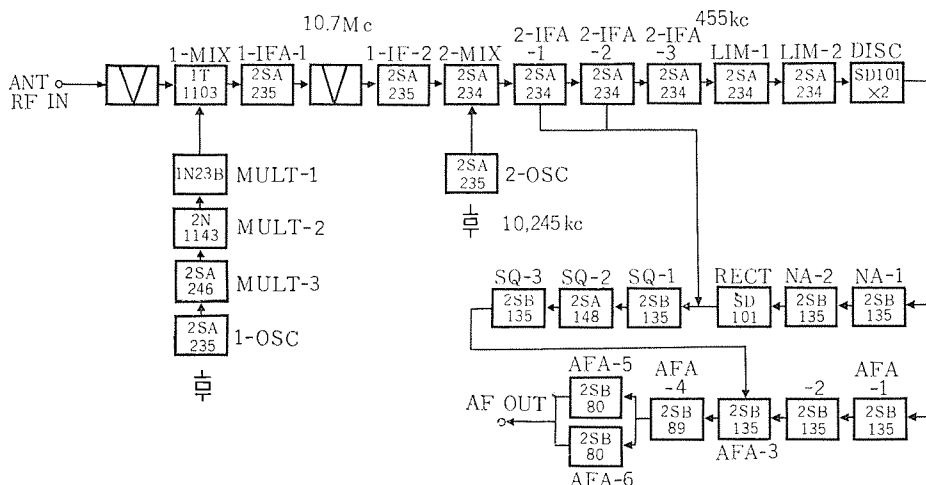


図 3.10 受信部 ブロック線図
Fig. 3.10 Block diagram of the receiver.

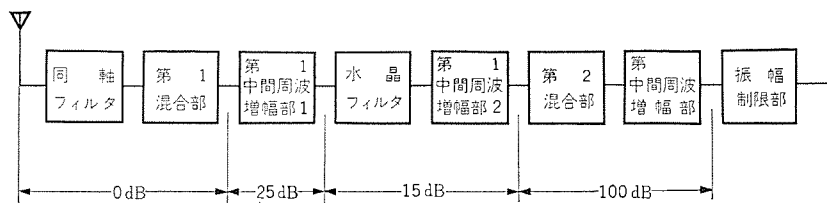


図 3.11 受信部の各段利得配分
Fig. 3.11 Gain distribution of each stage of the receiving section.

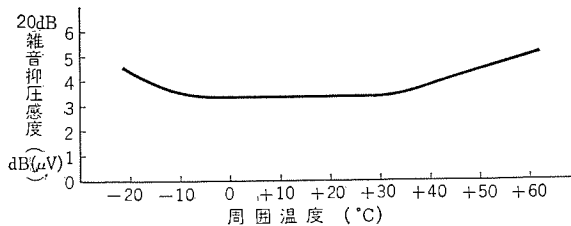


図 3.13 20 dB 雑音抑圧感度—温度特性
Fig. 3.13 Characteristic of 20 dB noise quieting sensitivity vs temperature.

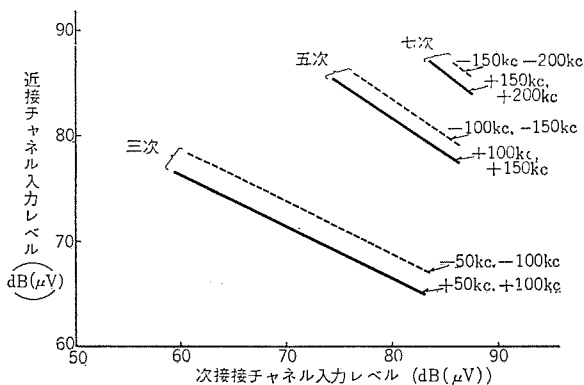


図 3.14 相互変調特性
Fig. 3.14 Intermodulation characteristics.

選ぶことである。

この受信部ではこれらの問題をつぎの方法によって処理した。イメージおよび局部発振副次発射抑圧のため、低そう入損失、高選択度の半同軸共振器を使用した。雑音指数の問題は低雑音指数で変換利得を有するエサキダイオード混合器と低雑音指数の中間周波増幅段を使用した。この結果、高周波増幅段を持たない簡単な回路構成で、十分な感度とすぐれた2信号特性を得ることができた。図 3.10, 3.11 にブロック線図、各段の利得配分を、図 3.12 に半同軸フィルタを、図 3.13, 3.14, 3.15 に感度、相互変調、感度抑圧効果特性を示す。

(2) 混合器

ダイオード混合器、トランジスタ混合器が一般に使用されているが、前者は変換損失が大きく、また後者は温度特性、回路構成の面で問題があるので、この受信部ではエサキダイオードの負特性を利用した回路を採用した。エサキダイオード混合器は雑音指数が低く、変換利得もかなりあり、温度変化に対してすぶる安定である。この結果空中線入力から第1中間周波段入力までの変換利得は約 0 dB、総合の雑音指数は空中線入力端子で測定して約 14 dB であった。

(3) 第1中間周波増幅段および水晶フィルタ

前に述べたように2信号特性を改善するために第1中間周波段に水晶フィルタをそう入したが、このフィルタは受信部に要求される帯域幅選択度特性を十分満足するものである。この構成で留意すべきことは、雑音指数の低いこと、BPF 以前の増幅段の直線範囲

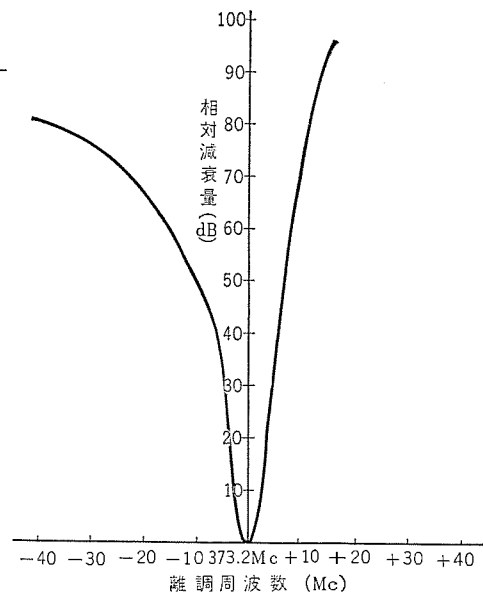


図 3.12 受信用同軸形バンドパスフィルタの減衰特性
Fig. 3.12 Attenuation characteristic of a coaxial type band-pass filter for receiver.

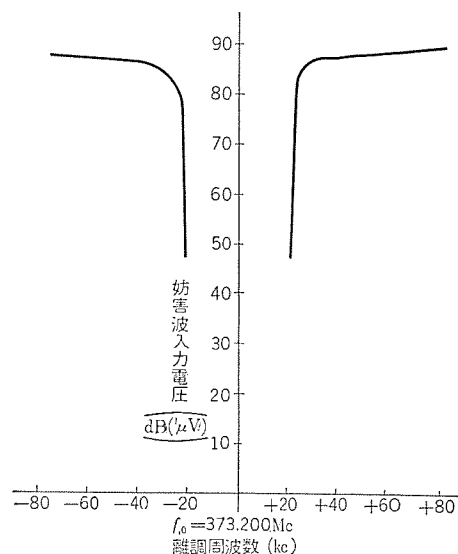


図 3.15 感度抑圧効果特性
Fig. 3.15 Desensitization characteristic.

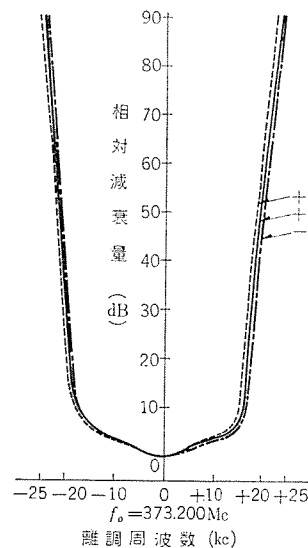


図 3.16 選択度温度特性
Fig. 3.16 Temperature characteristics of receiver selectivity.

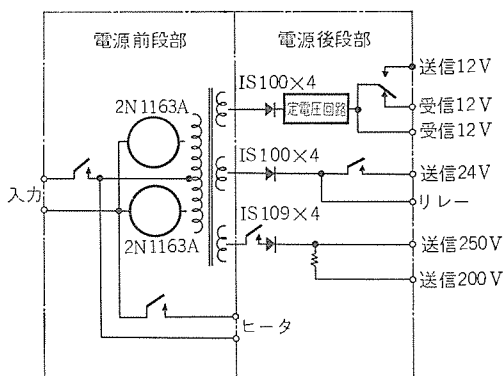


図 3.17 電源部系統図 (6/12 V 入力の場合)
Fig. 3.17 Block diagram of power supply system.

が広いこと、および水晶フィルタと増幅段の整合が環境条件の変化により変わらないことである。第1中間周波段入力から測定した雑音指数は約 4.5 dB であった。図 3.16 に選択度特性の温度変化に対する特性を示す。これは局部発振回路、水晶フィルタと増幅回路の整合の良さの程度を示す一つの目安となる。

3.5 電源部

移動用無線機の電源としては

- (1) 能率が高く、安定に動作すること。
- (2) 振動、衝撃によく耐えること。
- (3) 小形軽量であること。

を満足し、さらに各種の電源電圧に簡単に応ぜられるために、

- (1) トランジスタコンバータを採用し、
- (2) 電池電圧をスイッチングにより方形波にして希望電圧にする回路(電源前段部)と、
- (3) その方形波を整流して平滑にする回路(電源後段部)とに分け、
- (4) 電池側は回路をアースから浮かして、電池の接地が ⊕⊖ いずれでも使用できる。

ようにしてある。

電池電圧が 6 V、12 V の場合は電源前段部における簡単なタップの変更で両者間を切り換えることができ、24 V の場合は電源

前段部を 24 V 用に差し換えればよく、電源前段部以外のパネルはどの電源の場合も共通である。

温度上昇の比較的大きいスイッチングトランジスタとコンパトランスは本体前面のラジエータに密着させることによって、機器全体の温度上昇を抑えるとともに、スイッチングトランジスタを保護している。電源部の系統を図 3.17 に示す。

3.6 その他

制御器には無線機の消費電力を軽減するため、電子管のヒータ断スイッチを設け、また送受折り返しによる送信変調監視スイッチを設け、保守・点検を容易にしている。

また図 3.1 に示すように制御器の右側に着脱容易な計器部を取付け、送信出力はじめ送受信部の各部電圧をチェックできるようにするとともに電池電圧も監視できるようにしている。

4. む す び

以上で新しく開発した新電波法に適合するトランジスタ化 FM-11D 形移動用 400 Mc/FM 無線機の概要について紹介したが、今後高周波大出力トランジスタの開発、部品の小形化と相まって、いっそう小形、軽量化される傾向にあり、また貿易の自由化に対処するため生産の合理化をはかり安価にすることが必要である。以上の流れに合致すべき無線機を製作するため、今後いっそうの努力を誓うとともにここに改めて種々のご指導ならびにご協力をいただいた関係各位に対し厚く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 岩井文彦・森永隆広：移動無線通信(電子・通信工学講座), 7 (昭 34)
- (2) 警察庁無線通信課：無線自動車の電圧変動状況調査結果について、「警察通信」71, 50, (昭 37)
- (3) D. R. Earles: Reliability Growth Prediction during The Initial Design Analysis, 7th PNSRQC, 383~388 (1961) (新幹線通信信頼度委員会資料)
- (4) 岩井文彦・森永隆広：移動無線通信(電子・通信工学講座), 39 (昭 34)

◆◆◆最近登録された実用新案◆◆◆

名 称	登 録 日	登録番号	考 案 者
貯蔵室付水冷式冷凍装置	37-11- 6	706830	入沢淳三・市岡 洋
蝶番金具	37-11-29	707746	小林和夫
換気扇	37-11-29	707747	入沢淳三
換気扇	37-11-29	707748	入沢淳三
扇風機スタンド支柱上下操作装置	37-11-29	707749	糸魚川佐富
押しボタン開閉器の遠隔操作装置	37-11-29	707784	熊谷健司
タップ台の切換接続装置	37-11-29	707785	松井武男・魚住幸男
柱上変圧器の使用タップ表示装置	37-11-29	707786	佐藤竜興
柱上変圧器の使用タップ表示装置	37-11-29	707787	佐藤竜興
柱上変圧器の使用タップ表示装置	37-11-29	707788	魚住幸男
無接点開閉器の制御装置	37-11-29	707789	吉田太郎・梶田保雄
配電盤用端子台	37-11- 29	707790	文殊義夫
回路シャ断器	37-11-29	707791	武藤 正
直流電動機の運転制御装置	37-11-29	707792	細野 勇

名 称	登 録 日	登録番号	考 案 者
回路シャ断器	37-11-29	707793	藤方賢一
回路シャ断器	37-11-29	707794	清瀬信吾・藤方賢一
冷蔵庫	37-11-30	579420	駒形栄一
電気車の荷重応動装置	37-11-30	579473	小原太郎
船用ウインチ電動機	37-11-30	579474	{ 神浦秀太郎・有働見一 中西清馬
船用ウインチ電動機	37-11-30	579475	{ 神浦秀太郎・有働見一 中西清馬
電気車制御装置	37-11-30	579476	北岡 隆
電気車制御装置	37-11-30	579477	{ 北岡 隆・松田 武 大野栄一
故障表示装置	37-12- 6	579663	松尾 潔
軸受部の漏油防止装置	37-12- 7	708067	早田作平
接続端子	37-12-12	708580	石橋泰夫
整流子ライザ補付装置	37-12-12	708581	杉原治造
電動機の軸受	37-12-12	708582	小形博徳
ブラシ押さえ装置	37-12-12	708583	宮野正和

自動車用 400 Mc 帯高利得アンテナ

喜連川 隆*・武市 吉博**・水 沢 丕雄**
桂 川 弘***・大林 愛弘***

Vertically Polarized Omnidirectional High-Gain Antennas
in 400 Mc Band for Mobile Application

Research Laboratory Takashi KITSUREGAWA・Yoshihiro TAKEICHI・Motoo MIZUSAWA
Electronics Works Hiroshi KATSURAGAWA・Yoshihiro ŌBAYASHI

Vertically polarized omnidirectional high-gain antennas in 400 Mc band have been developed for mobile application, reaching considerable success. The antenna is formed by sections of coaxial lines stuck up in a series with their inner and outer conductors transposed at each junction. Typical performances obtained with a one-and-half-wave antenna are: a gain of about 4dB over the conventional quarter-wave whip antenna, and an input voltage standing wave ratio of less than 1.5 on a 50 ohm coaxial feeder at both the transmitting and receiving frequencies of 340.7 Mc and 363.0 Mc.

1. ま え が き

VHF・UHF 帯の車両無線には、移動局のアンテナとして普通約 4 分の 1 波長のホイップアンテナが用いられているが、このような形式のアンテナに代わる垂直偏波水平面内無指向性の高利得アンテナを実用化すれば、無線回線に大きな利益が生ずる。すなわち通達距離の延伸、送信機出力の低減、あるいは受信信号対雑音比の改善をはかることができ、したがって無線機の小型化、消費電力低減に貢献するところがきわめて大である。

今回このような見地から、自動車に装備して用いるための 400 Mc 帯垂直偏波水平面内無指向性高利得アンテナの試作研究を行なって良い結果を得た。図 1.1 は試作品の一つを自動車に実装した状態の写真である。



図 1.1 自動車の緩衝器に取付けた 400Mc 帯垂直偏波無指向性高利得アンテナ

Fig. 1.1 A vertically polarized omnidirectional high-gain antenna in 400 Mc band mounted on the bumper of a car.

2. 縦続接続同軸アンテナの理論

垂直偏波水平面内無指向性高利得アンテナは、垂直偏波放射素子の collinear array による方法、circular array による方法などによって得ることができる。今回は図 2.1 の原理図に示してあるよ

うな、機構的に簡単なアンテナ形式⁽¹⁾によることとした。

このアンテナは原理的には図 2.1 のように、同軸導体を多段に積み重ね、継目のところで内部導体と外部導体とを相互につなぎかえて行く形式のものである。放射導体を兼ねている同軸外部導体の外面に同振幅同位相の電流を流せば、H 面内無指向性の高利得アンテナを得ることができる。

2.1 等価回路

この形式のアンテナについて、一般に図 2.2 のような k 番目、 $k+1$ 番目……の接続部ならびにそれらの間の線路部分の考えると、その等価回路は図 2.3 のように書き表わされる。 $I_k, I_{k+1}, \dots$ および $Y_k, Y_{k+1}, \dots$ はそれぞれ k 番目、 $k+1$ 番目……の接続部において外部導体外面に流れる電流、および放射によるアドミタンスであり、 $\theta = \beta l$ は特性アドミタンス Y_0 なる同軸線路内部の電気的長さである。

アンテナの等価回路的モデルとして、図 2.3 のような区間が無限に接続されている回路を考え、 $Y_k = Y_{k+1} = \dots = Y$ と仮定すれば、1 区間 $k-k' \sim (k+1) - (k+1)'$ の 4 端子定数は

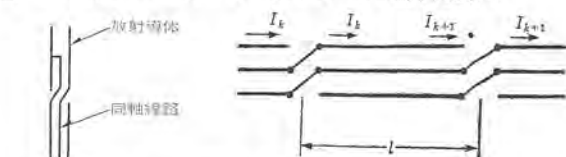


図 2.2 アンテナを構成している同軸線路
Fig. 2.2 Coaxial lines of which an antenna is composed.

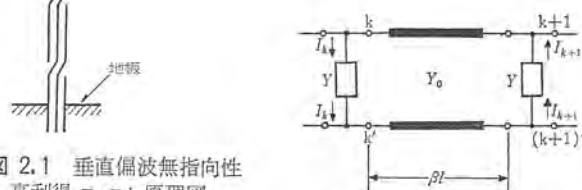


図 2.1 垂直偏波無指向性高利得アンテナ原理図

Fig. 2.1 Illustration of a vertically polarized omnidirectional high-gain antenna.

図 2.3 図 2.2 に対する等価回路
Fig. 2.3 Equivalent circuit for Fig. 2.2.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta l + j \frac{Y}{Y_0} \sin \beta l & j \frac{1}{Y_0} \sin \beta l \\ j Y_0 \sin \beta l + Y \cos \beta l & \cos \beta l \end{bmatrix} \quad \dots\dots(2.1)$$

であり、端子対 k-k' から見た反復インピーダンス Z_K は

$$Z_K = \frac{A-D+\sqrt{(A+D)^2-4}}{2C} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

で、伝バ定数 θ_K は

$$\theta_K = \cosh^{-1} \frac{A+D}{2} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

または

$$e^{-\theta_K} = A - CZ_K \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

である。今

$$\theta_K = \alpha_K + j\beta_K,$$

すなわち α_K および β_K をそれぞれ 4 端子回路 k-k' ~ (k+1) - (k+1)' の減衰定数および位相定数とし、

$$Y = G + jB$$

とすれば、式 (2.1) と (2.3) とから

$$\cosh \theta_K = \cosh (\alpha_K + j\beta_K)$$

$$= \cos \beta l + j \frac{Y}{2Y_0} \sin \beta l$$

$$= \left(\cos \beta l - \frac{B}{2Y_0} \sin \beta l \right) + j \frac{G}{2Y_0} \sin \beta l \quad \dots\dots(2.5)$$

が得られる。 $\cosh \theta_K$ の実数部および虚数部をそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta l - \frac{B}{2Y_0} \sin \beta l &= x \\ \frac{G}{2Y_0} \sin \beta l &= y \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

とすれば、減衰定数 α_K は

$$\left. \begin{aligned} e^{-\alpha_K} &= \sqrt{1 + \sinh^2 \alpha_K} - \sqrt{\sinh^2 \alpha_K} \\ \sinh^2 \alpha_K &= \frac{x^2 + y^2 - 1}{2} + \sqrt{\left(\frac{x^2 + y^2 - 1}{2} \right)^2 + y^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(2.7)$$

で、位相定数 β_K は

$$\cos^2 \beta_K = \frac{x^2 + y^2 + 1}{2} - \sqrt{\left(\frac{x^2 + y^2 + 1}{2} \right)^2 - x^2} \quad \dots\dots(2.8)$$

で表わされる。

2.2 放射電流の振幅および位相

図 2.2 において、放射にあずかる電流 I_k と I_{k+1} とが同振幅同位相となる条件は

$$\left. \begin{aligned} \alpha_K &= 0 \\ \beta_K &= \pi \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

である。すなわち

$$\left. \begin{aligned} x &= \cos \beta l - \frac{B}{2Y_0} \sin \beta l = -1 \\ y &= \frac{G}{2Y_0} \sin \beta l = 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(2.10)$$

であればよい。

したがって、一つの点周波数において $I_k = I_{k+1}$ 、あるいは比較的狭い周波数範囲において $I_k \approx I_{k+1}$ とするためには、その点周波数あるいは帯域の中心周波数において

$$\beta l = \pi \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

となるように、放射導体内伝送線路の長さを選べばよい。

広い周波数範囲にわたって $I_k \approx I_{k+1}$ とするためには、アドミタンス Y が

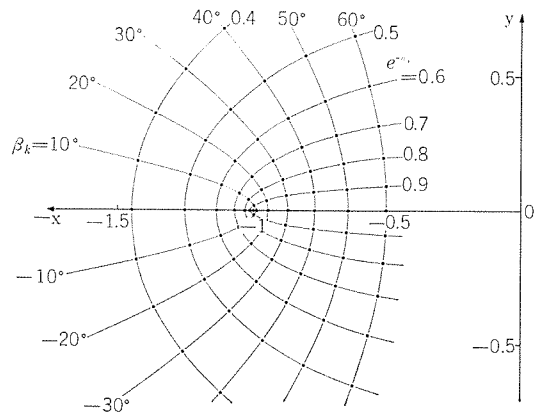


図 2.4 $\cosh \theta_K$ 平面上 α_K , β_K 一定の軌跡
Fig. 2.4 Curves for constant α_K and β_K in $\cosh \theta_K$ -plane.

$$\left. \begin{aligned} G &\approx 0 \\ B &\approx 2Y_0 \cot \frac{\beta l}{2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

のような特性をもつことが必要である。式 (2.12) のような条件を満たし広帯域化する方法については本文末付録に述べてある。

なお図 2.4 は、 $\cosh \theta_K$ 平面上に α_K あるいは β_K 一定の軌跡を描いたもので、この平面上に式 (2.6) の数値をプロットしてゆけば、 α_K および β_K がすぐわかり、周波数特性を調べるのに便利である。

2.3 アンテナの長さと利得

放射導体 1 段の長さは普通半波長以下であるから、段数が多い場合には、放射導体全体に一樣な電流が流れていると仮定して計算した利得の値と実測値とがかなりよく一致することが示されている⁽¹⁾。

そこでいま図 2.5 のような長さ l_l の均一線状電流が存在する場合を考えると、その放射指向特性 $D(\theta)$ は

$$D(\theta) = \tan \theta \sin \left(\frac{\pi l_l}{\lambda} \cos \theta \right) \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

で与えられる。これから $\theta = 90^\circ$ 方向の絶縁利得 G_0 を求めると

$$G_0 = \frac{\frac{\pi l_l}{\lambda}}{Si \left(\frac{2\pi l_l}{\lambda} \right) - \frac{\lambda}{\pi l_l} + \frac{\lambda}{2\pi l_l} \cos \left(\frac{2\pi l_l}{\lambda} \right) + \left(\frac{\lambda}{2\pi l_l} \right)^2 \sin \left(\frac{2\pi l_l}{\lambda} \right)} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

となり、 $l_l/\lambda \gg 1$ のときには

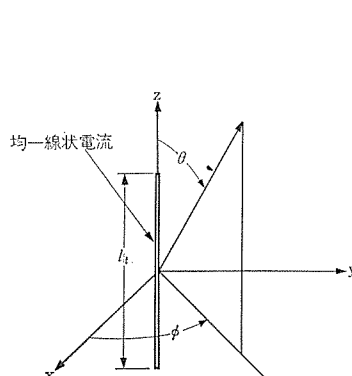


図 2.5 長さ l_l の均一線状電流と座標系
Fig. 2.5 A uniform current filament of length l_l and a coordinate system.

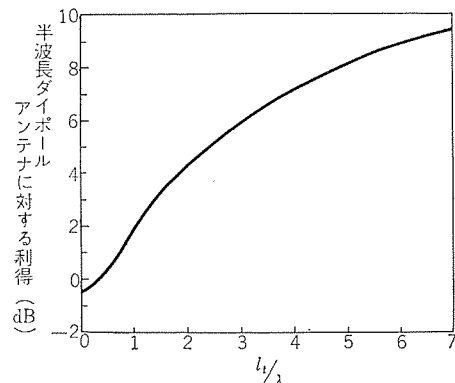


図 2.6 均一電流分布線状アンテナの長さ
と利得
Fig. 2.6 Gain of a linear antenna of uniform current distribution vs its length.

$$G_0 = \frac{2l_t}{\lambda} + \frac{4}{\pi^2} - \frac{2}{\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi l_t}{\lambda}\right) \\ \approx \frac{2l_t}{\lambda} \dots\dots\dots (2.15)$$

図 2.6 に式 (2.14) を用いて計算した アンテナ 長さ と 利得 と の関係を示してある。実際のアンテナにおいては、電流分布が完全に均一でないために、その利得は図 2.6 の値よりやや低くなるようである。

3. 構造および強度

以上の基礎的な考察を基にして設計試作した アンテナ の外観および構造を図 3.1 および図 3.2 に示してある。これらの図において、長い方のアンテナ (#1) は物理的長さ 3 分の 1 波長の放射導体を $4\frac{1}{2}$ 段積み重ねたものであり、短い方 (#2) は $2\frac{1}{2}$ 段積み重ねたものである。放射導体と同軸線路とは分けて構成してあり、線路の電気的長さを 2 分の 1 波長としてある。放射導体最下段内部には送受 2 周波数共用のためのインピーダンス整合回路を設けてある。プラスチック製外被によって防水構造とし、その上に耐候性塗料を塗って保護してある。地板は長さ約半波長の導体板あるいは導線によって形成する。

このアンテナは自動車の屋根、緩衝器などに垂直に取付けて使用する。自動車に取付けた場合の機械的強度の問題について考えると、まず上下方向に関しては、アンテナの形が上下方向に長い棒状であり、また上下方向の力は自動車のタイヤ、スプリング、ショックアブソーバなどによって緩衝される。したがってこのアンテナについて強度上考慮しなければならないのは水平方向に受ける外力についてである。すなわち自動車が急に発進または停止する場合に前後方向に加えられる加速度、および急旋回する場合に横方向に加えられる加速度による力について考える必要がある。

自動車技術会発行の自動車強度資料⁽²⁾によれば、対称前後荷重に対する荷重係数は 0.8 (力による加速度は重力による加速度の 0.8 倍)、横荷重に対する荷重係数は 0.6 である。また上記資料第 1 編自動車強度規準では安全率についてつぎのように定めている。

- | | |
|------------|-----|
| 1) 所要破壊安全率 | 1.8 |
| 2) " 降伏 " | 1.3 |
| 3) " 疲労 " | 1.3 |

したがってこのアンテナに加わる力としては破壊荷重として 1.44g、降伏および疲労荷重として 1.04g を考慮すればよく、これらに耐

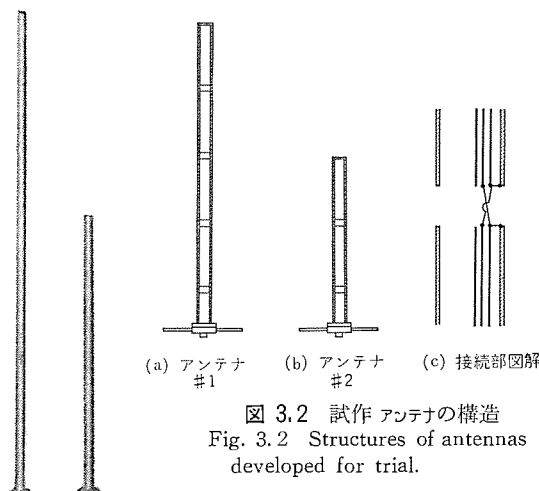


図 3.2 試作アンテナの構造
Fig. 3.2 Structures of antennas developed for trial.

図 3.1 試作 400Mc 帯垂直偏波無指向性高利得 アンテナ
Fig. 3.1 Vertically polarized omnidirectional high-gain antennas in 400Mc band.

えるように設計してある。

また走行中の風圧に対する配慮として、風速 25m/sec のときに速度 80km/h (22.2m/sec に相当) で走行する場合を想定したが、この場合より 60m/sec の台風下に屋外に放置される場合のほうがきびしい条件ということになるので、後者に対して十分な強度をもつようにしてある。

車体との共振の問題については、エンジンから受ける振動、悪路を走行する場合に受ける振動などに対して、また走行時発生するカルマン のカ (渦)列については、ウズ の発生数とアンテナの機械的固有振動数が一致することによって破壊することがないよう、一応注意を払ってある。

4. 試作試験結果

4.1 インピーダンス整合

図 3.1 の試作 アンテナ につき、送受両周波数 340.7Mc および 363.0Mc に対して インピーダンス 整合をとった。整合回路は図 4.1 のとおりで、これを放射導体の最下段に内蔵してあって、他に付加整合器を必要とせずに 2 周波数共用ができる。

アンテナ #1 および #2 についての インピーダンス 整合結果をそれぞれ図 4.2 および図 4.3 に示してある。50Ω 同軸給電線に対する入力電圧定在波比は上記両周波数において 1.5 以下である。なおこれらの図はアンテナに直径約半波長の円形地板を取付けたときの測定値を示したものであるが、地板の大きさがこれ以上になっても、また地板の代わりに長さ半波長の地線を取付けても、入力インピーダンスはほとんど変化しない。

4.2 放射特性

試作 アンテナ #1 および #2 の E 面放射 パターン 測定結果をそれぞれ図 4.4 および図 4.5 に示してある。両 アンテナ とも ビーム の傾きは生じていず、放射電力は水平方向によく集中されており、水平面内放射特性はほとんど完全に無指向性である。

アンテナの利得測定値は、半波長ダイポールアンテナに対して、#1 は 3dB、#2 は 0.7dB である。ただし、従来自動車用として使用されているホイップアンテナの半波長ダイポールアンテナに対する利得は -1dB 程度であるから、試作アンテナのホイップアンテナに対する利得は、#1 は約 4dB、#2 は約 2dB となる。なお参考のために

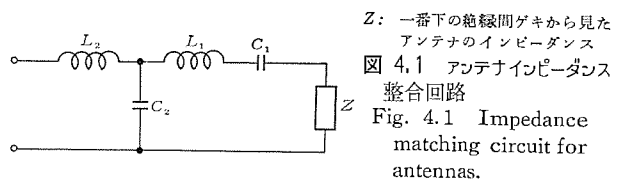


図 4.1 アンテナインピーダンス整合回路
Fig. 4.1 Impedance matching circuit for antennas.

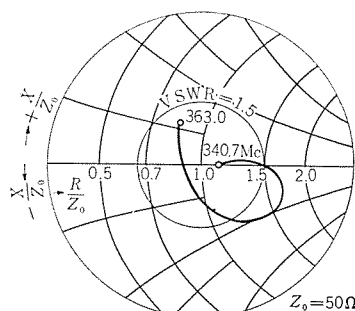


図 4.2 試作アンテナ #1 ($4\frac{1}{2}$ 段) の入力インピーダンス
Fig. 4.2 Input impedance of the antenna #1 ($4\frac{1}{2}$ sections.)

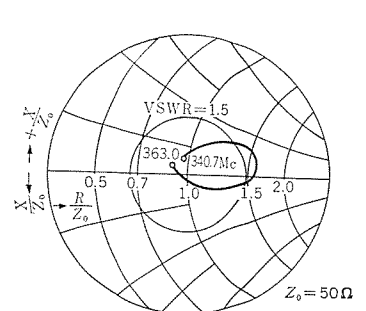


図 4.3 試作アンテナ #2 ($2\frac{1}{2}$ 段) の入力インピーダンス
Fig. 4.3 Input impedance of the antenna #2 ($2\frac{1}{2}$ sections).

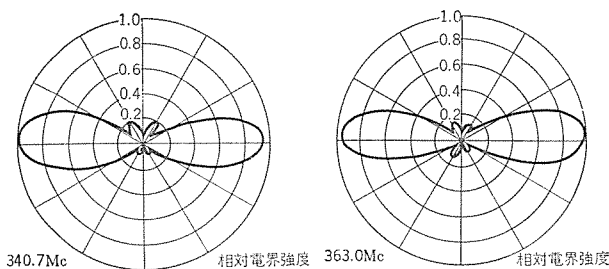


図 4.4 試作アンテナ #1 (4½ 段) の E 面放射パターン
Fig. 4.4 E-plane radiation patterns of the antenna #1 (4½ sections).

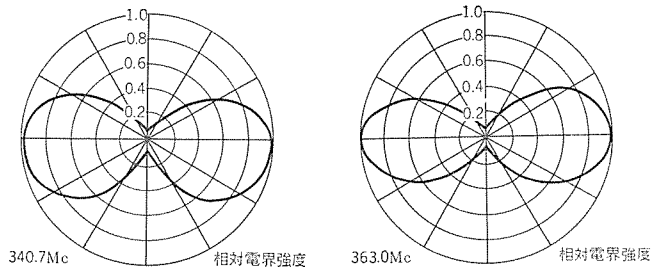


図 4.5 試作アンテナ #2 (2½ 段) の E 面放射パターン
Fig. 4.5 E-plane radiation patterns of the antenna #2 (2½ sections).

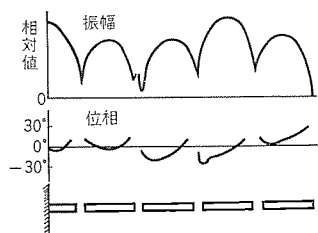


図 4.6 試作アンテナ #1 (4½ 段) の電流分布
周波数 350 Mc
Fig. 4.6 Current distribution on the antenna #1 (4½ sections) at 350 Mc.

放射導体外面に流れる電流の振幅分布および位相分布の測定結果の一例を、アンテナ #1 について図 4.6 に示してある。

5. む す び

自動車用の 400 Mc 帯垂直偏波水平面内無指向性高利得 アンテナ

の試作研究を行なって良い結果を得た。このアンテナはむしろ固定局用に好適のものであるので、車両用の完べきなものとして目下可卜性のものを検討中である。

研究の機会を与えられ、ご指導ご鞭撻を賜った警察庁関係各位に深く謝意を表する。(昭 37-12-4 受付)

参 考 文 献

- (1) Harold A. Wheeler: A Vertical Antenna made of Transposed Sections of Coaxial Cable, IRE Convention Record, 4, Pt. 1, p. 160 (Mar., 1956).
- (2) 光石: 自動車強度資料, 自動車技術会 (昭 30-4).

付 録 広 帯 域 化

広帯域にわたって $I_k = I_{k+1}$ とするためには、アドミタンス Y が

$$\left. \begin{aligned} G &= 0 \\ B &= 2Y_0 \cot \frac{\beta l}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.12')$$

でなければならない。 $G=0$ とは放射しないことを意味するから実際は不可能であるが、近似的に $(G/Y_0) \sin \beta l \approx 0$ であればよいであろう。 B は $2Y_0 \cot(\beta l/2)$ に等しいことが必要で、これを付図 1 に示してある。

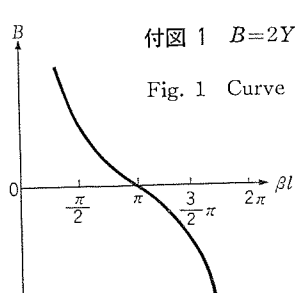
放射アドミタンス Y が付図 2 (a) のような並列共振回路形である場合には、そのサセプタンスの曲線は付図 2 (b) に示すような曲線で、 $2Y_0 \cot(\beta l/2)$ に従うような曲線はできない。したがって一つの点周波数においてのみしか式 (2.12') を満足せず、広帯域性

はもっていない。

放射アドミタンス Y が付図 3 (a) のような直列共振回路形である場合には、そのサセプタンスの曲線は付図 3 (b) のようになり、 $2Y_0 \cot(\beta l/2)$ の曲線に近似させることができる。このとき位相定数 βk の変化が小さくなり、広帯域性をもたせることができる。

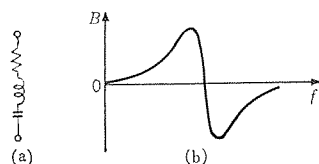
放射アドミタンス Y が並列共振回路形の場合でも、付図 4 (a) のように並列共振回路に直列にインダクタンス L または容量 C をそう入することによって、付図 4 (b) のようなサセプタンス曲線を得ることができる。この曲線を $2Y_0 \cot(\beta l/2)$ に沿うようにすることによって広帯域化が可能となる。

数値例として、放射インピーダンスの値を仮定して、位相定数の周波数特性を計算した結果を付図 5 に示してある。

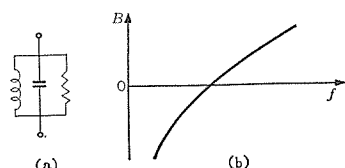


付図 1 $B=2Y_0 \cot \frac{\beta l}{2}$ 曲線

Fig. 1 Curve for $B=2Y_0 \cot \frac{\beta l}{2}$

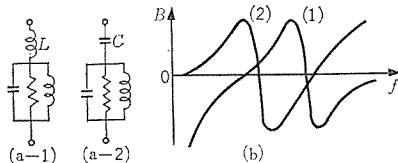


付図 3 直列共振回路のサセプタンス曲線
Fig. 3 Susceptance curve of a series-resonance circuit.



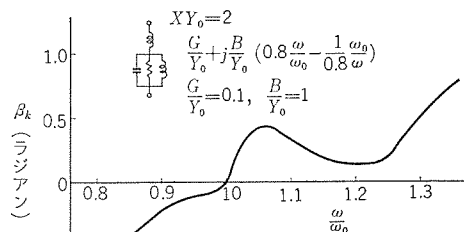
付図 2 並列共振回路のサセプタンス曲線

Fig. 2 Susceptance curve of a parallel-resonance circuit.



付図 4 L あるいは C を付加した並列共振回路のサセプタンス曲線

Fig. 4 Susceptance curves of the parallel-resonance circuits to which L or C is added.



付図 5 位相補償用リアクタンス X を接続したときの位相定数 βk の周波数特性

Fig. 5 Frequency characteristic of the phase constant βk when a phase-compensating reactance X is added.

航空機用超短波無線装置

平岡 敏也*・山口 哲夫*・浜口 道雄*・村山 昇*

Aircraft VHF Radio Communication Equipment

Electronic Works Toshiya HIRAOKA・Tetsuo YAMAGUCHI・Michio HAMAGUCHI・Noboru MURAYAMA

The radio set described herein is VHF radio communication equipment designed for use in light planes on local service. The equipment comprises, as the basic components, a transceiver, a control unit and an antenna, of which the transceiver is of entirely remote control. This radio set operates on eight crystal controlled channels in a frequency range of 118~144 Mc. These frequencies are generated with a crystal controlled oscillator in common use for transmitting and receiving. This radio set comes up satisfactorily to the standard of the Japan Radio Laws revised recently and also meets every environmental condition on aircraft installation. Noise limiting circuits and AVC circuits of the receiver are so designed as to demonstrate satisfactory receiving performance when the set is installed on aircraft subject to electrical noise troubles.

1. ま え が き

近年、航空路線の漸増に伴う航空機の急激な増加によって、航空管制、業務連絡に使用する VHF 帯無線装置の需用が急速に増大してきた。また国際的には VHF 帯航空通信の統一などが要求され、わが国においても電波関係法令を改定する必要が生じ、昭和 36 年に RTCA, ARINC 等の規格に準拠して無線設備規則および無線機器型式検定規則が改定された。同時に機器に対しては高度の電氣的、機械的性能および高信頼度の要求がなされるようになり、航空機とて載用無線装置は非常に高度の技術水準が求められるようになった。

このような要求に応じた航空機用超短波無線装置として開発したのがこの MAR-4 形無線機であって、主として国内航空路を航行する航空機の航空管制、業務連絡等に使用する。使用周波数範囲は 118~144 Mc であって、上記の国内法規を満足するとともに航空機とて載時に発生すると考えられるすべての条件において満足な性能を得ることができるものである。また小形航空機やヘリコプタ等、機体から発生する雑音の比較的多い航空機に装備した場合においても、十分にその性能が発揮できるように各所に細心の注意をはらって設計を行なったので、以下これらの諸点について紹介する。

2. 新旧電波法の比較とそれに対する対策

航空機用超短波無線装置として、従来製作していた MAR-2 形無線装置は、新電波法制定に伴い、その性能上合致しない部分が出てきたので、新しく、この MAR-4 形無線装置を開発した。

MAR-2 形無線装置に対して、MAR-4 形無線装置が、性能上回路上主としてどういう相違があるかは、表 2.1 に見られるとおりである。表から明らかなとおり、そのおもな変更箇所は、送信機 スプリアス 放射の抑圧、受信機選択度の向上、環境条件のか酷化であることが理解される。

3. 装置の概要

3.1 構成

航空機用超短波無線装置 MAR-4 は、送受信機、防振台、制御器および空中線からなっている。送受信機は専用の防振台を使用して、直接機体に装備するようになっており、離れた場所に設置された制御器により、遠隔操作されるようにできている。制御器および空中線は、各種の航空機に最も適したものが採用できるように、表 3.1 に示すごとく、制御器 3 種、空中線 2 種を任意に組み合わせて使用できるよう考慮した。

空中線 MAT-1B/MAR は 1/4 波長のホイップアンテナであり、低速度の航空機に適しており、MAT-3/MAR は、高中速機に使用する目的で製作された プレードアンテナ である。図 3.1 に空中線の外観を示す。

制御器および空中線についての詳細は、5 章 を参照されたい。

3.2 動作概要

この装置は、周波数範囲 118~144 Mc において、あらかじめ定められた 84 チャンネル の中の任意の 14 チャンネル を選び、A3 の通信をプレストーク方式によって行なう無線電話装置である。送受信機は、制御器によって、遠隔操作されるようにできているので、制御器には電源接断、チャンネル 切換えなどの必要なすべての操作機能を有している。また呼出信号等に使用するための約 1,020 c/s の トーン 送信機能を有している。

表 2.1 新旧電波法主要相違点およびそれに対する改定点

動作区分	項 目	旧電波法規格	新電波法規格	MAR-4 形無線装置におけるおもな改定点
送信機	送信スプリアス	基本周波数の±25%以内の周波数では 25 μW 以下 その他は 2 mW 以下	25 μW	1. アンテナ回路にローパスフィルタを追加した 2. 平衡変調回路を改良した 3. 通倍回路の一部を変更した
	周波数許容偏差	±0.01% 以内	±0.005% 以内	水晶の規格を変更した
受信機	受信感度	入力 15 μV で S+N/N 10 dB 以上	入力 5 μV で S+N/N 6 dB 以上	受信 RF 回路の一部を変更した
	通過帯域幅	6 dB 低下で 80 kc 以上	6 dB 低下で 40 kc 以上	水晶フィルタをミキサのあとに新たに追加し、IF 回路の変更を行なった
	減衰量	60 dB 低下で 440 kc 以内	60 dB 低下で 160 kc 以内	
	総合ヒズミおよび雑音	なし	350~2,500 c/s, 80% 変調の入力電圧を 20 μV~20 mV まで変化させたとき 12 dB 以上	低周波回路の一部を変更した
総合	環境条件	温度 -35~+45°C (動作) -40~+70°C (非動作)	-40~+55°C (動作) -65~+70°C (非動作)	1. 部品の再選択を行なった 2. 部品規格を一部変更した
		湿度 +45°C 95% R.H.	+55°C 90~100% R.H.	
		振動 ±0.4 mm 600~3,600 rpm	全振幅 1.5 mm 600~3,300 rpm	

表 3.1 航空機用超短波無線装置 MAR-4 構成表

構 成 品 名	数 量	備 考
送受信機 MRT-3/MAR	1	電源使用電圧により DC 27 V 用と DC 13.5 V 用とがある
防振台 MMT-1B/MAR	1	
制御器 MCU-1B/MAR MCU-3/MAR MCU-4/MAR	いずれか 1	DC 27 V 用および DC 13.5 V 用 DC 27 V 用 DC 27 V 用
空中線 MAT-1B/MAR MAT-3/MAR	いずれか 1	ホイップ形 ブレード形

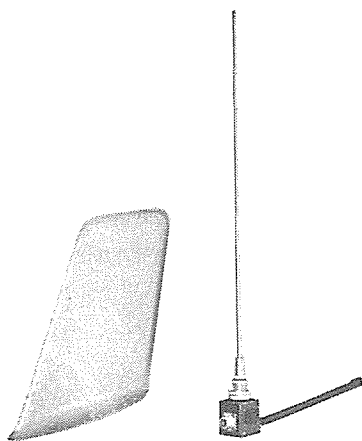


図 3.1 空中線 MAT-1B/MAR (右) および MAT-3/MAR (左)

Fig. 3.1 Antenna MAT-1B/MAR (right) and MAT-3/MAR (left).

制御器でチャンネルを切換えると、送受信機は、あらかじめ調整 (Preset) された周波数に機械的に自動同調され、その周波数で通話可能な状態となる。またこの送受信機は、正副操縦者間のインターホン増幅器としても動作させることができる。

3.3 主要性能

この装置の主要性能はつぎのとおりである。

(1) 一般的事項

周波数範囲	118~144 Mc
チャンネル数	8
電源電圧	DC 27 V または DC 13.5 V
送信・受信周波数	同一周波数
変調方式	振幅変調 A3
通話方式	プレストーク方式
周波数安定度	±0.005% 以内

(2) 送信部

送信出力	10 W $\begin{matrix} +20\% \\ -50\% \end{matrix}$
総合周波数特性	350~2,500 c/s で 6 dB 以内
スプリアス放射	25 μ W 以下

(3) 受信部

感度	入力 5 μ V (1,000 c/s 30% 変調) で S+N/N 6 dB 以上
定格出力	50 mW
選択度	6 dB 帯域幅 40 kc 以上 60 dB 帯域幅 160 kc 以内
スプリアスレスポンス	50 dB 以上
AVC 特性	入力 10 μ V~20 mV で変化量 10 dB 以内

(4) 外囲条件

高度	10,000 m
温度	動作状態 $-40 \sim +55^{\circ}\text{C}$ 非動作状態 $-65 \sim +70^{\circ}\text{C}$

湿度	+50 $^{\circ}\text{C}$ で 95~100% R.H.
振動	全振幅 1.5 mm 周波数 600~3,300 c/s
加速度	上方向 5 G 下方向および両側方 2 G

(5) 消費電力

受信時	150 W 以下
送信時	220 W 以下

4. 送 受 信 機

航空機とう載用無線装置は、小形軽量であると同時に、保守調整が容易でなければならない。そのような見地から、送受信機はつぎのような特長を有している。

(1) 送受信機は、1 箱体で構成され表 4.1 に示すような構成部分からなっている。このうち受信部・送信部・増幅部および電源部は、モジュール構造としたので着脱可能である。変調部のみは、きょう(筐)体部に付属しており、取りはずすことはできない。各モジュールの写真を図 4.1~図 4.5 に示す。また送受信機の外観を図 4.6 に示す。

(2) 上述の各モジュールには、調整時に必要なメータリングのソケットが付いており、点検に必要な各部の電流値を読めるようにしてある。

(3) 本体の前面には、取りはずし可能な前面カバーが付いており、前面カバーの内部には、チャンネル切換機構、水晶振動子ソケットおよび準備調整に必要な各種スイッチを有している。また前面下部には、試験時に使用するための送話器および受話器のジャックを有している。したがって、水晶振動子を取換えて準備調整をする場合には、前面カバーを取りはずすのみで、制御器を使用しないで、すべての調整および動作をさせることができるようになった。

表 4.1 送 受 信 機 構 成

ユニットの名称	数量	備 考
受 信 部	1	きょう体部から取り出せる
送 信 部	1	"
変 調 部	1	きょう体部に付属している
増 幅 部	1	きょう体部から取り出せる
電源部 (27 V 用または 13.5 V 用)	1	"
きょう体部	1	

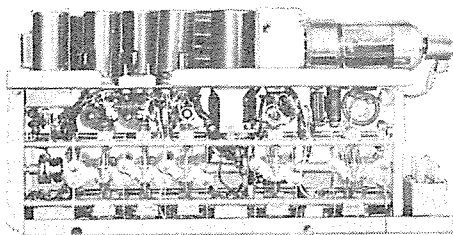


図 4.1 送 信 部

Fig. 4.1 Transmitter subassembly.

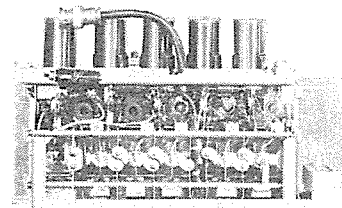


図 4.2 受 信 部

Fig. 4.2 Receiver subassembly.

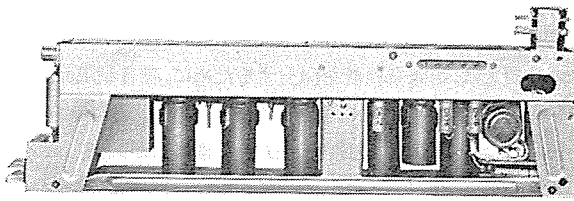


図 4.3 増幅部
Fig. 4.3 IF & Audio subassembly.

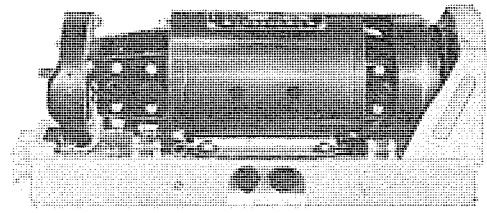


図 4.4 電源部
Fig. 4.4 Power converter subassembly.

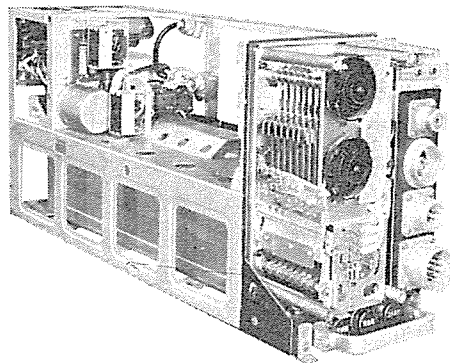


図 4.5 きょう体部および変調部
Fig. 4.5 Modulator & main chassis, subassemblies.

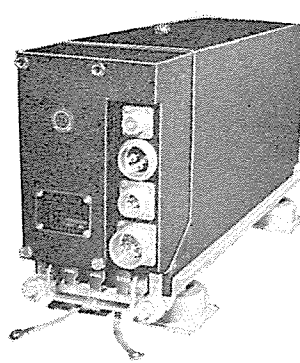


図 4.6 送受信機 MRT-3/MAR
防振台 MMT-1B/MAR
外観
Fig. 4.6 Receiver-transmitter
MRT-3/MAR with shockmount
MMT-1B/MAR.

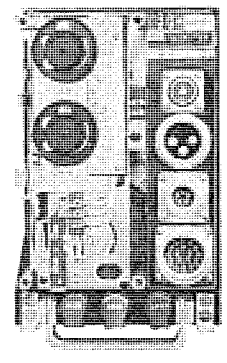


図 4.7 送受信機前面部
(前面カバーを取り除く)
Fig. 4.7 Receiver-transmitter
MRT-3/MAR,
front cover removed.

ている。図 4.7 に前面カバーを取りはずした内部を示す。

(4) 送受信機は防じん構造を採用しており、本体カバーの背面部に空気ろ過網が付いていて、電源部のコンパターを利用して本体内部を強制空冷している。

送受信機の系統図を図 4.8 に示す。

4.1 受信回路

(1) 新電波法によって、帯域幅、選択度とも、従来の機器より特性を良くする必要がある、そのために、中間周波数増幅部にブロックフィルタを追加したが、スペースの点、環境条件の点から、水晶フィルタとした。9.72 Mc の中間周波数に対して、6 dB 低下で

40 kc 以上という帯域幅を持たせることは、水晶フィルタとしても相当やっかいな問題であったが、十分安定で性能の良いフィルタを得ることができた。図 4.9 に選択度特性を示す。

(2) 航空機とう載用無線装置は、航空機の発生する電気的機械的雑音に対して、十分に耐えるようにしなければならない。航空機とう載時には、受信機の入力端子には、エンジン等から発生するインパルス性の連続雑音に加わって、その雑音電界強度は、到

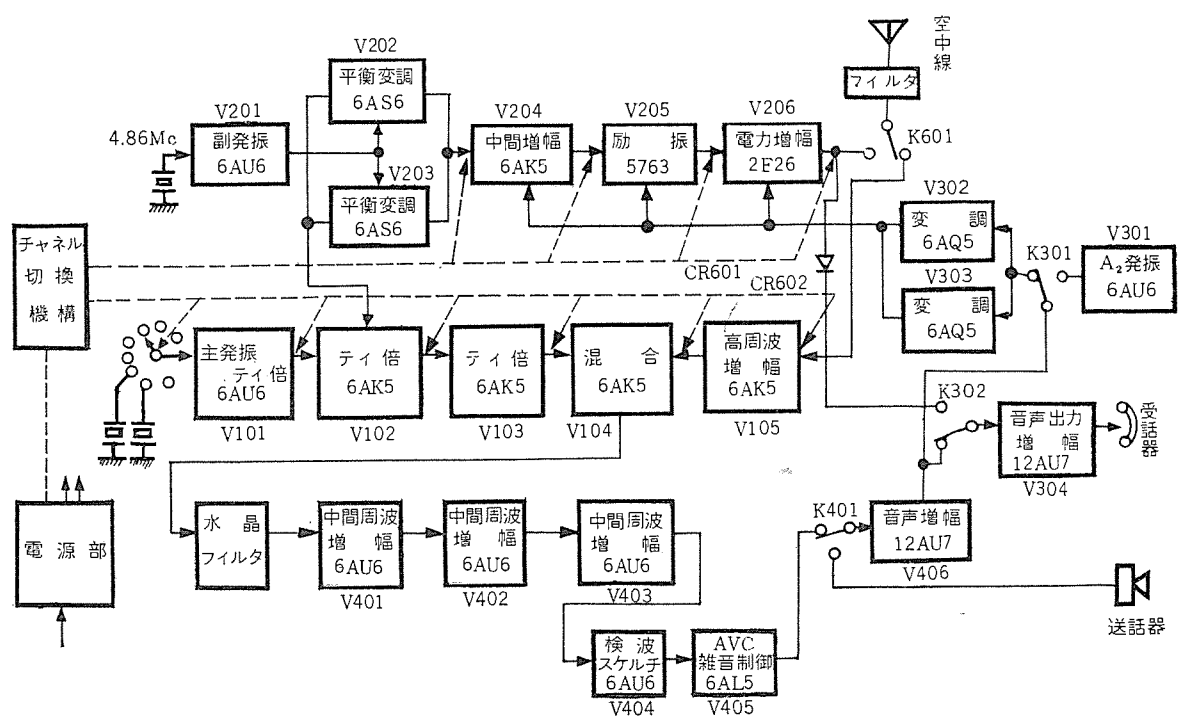


図 4.8 送受信機 MRT-3/MAR 系統図
Fig. 4.8 Receiver-transmitter MRT-3/MAR block diagram.

来する信号電波の電界強度よりも、はるかに強くなることがある。このような場合には、無線機の耐雑音性能を向上することが、無

線機の通話距離をのばす唯一の方法であり、受信機の感度向上とともに重要なことである。

この装置では、耐雑音性能を向上するために、雑音制限回路およびAVC回路についてとくに検討した。すなわち、通常のAVC回路を使用した場合には、大きなインパルス性雑音が到来したとき、その雑音入力によってAVC電圧が発生し、受信機の感度を低下させてしまう。そこで信号入力に対しては正確に動作し、雑音入力に対して動作しないAVC回路を採用したので、AVC増幅管の作用と相乗して、信号入力に対しては理想的なAVC特性が得られ、雑音入力が増大しても受信感度が低下しないようにすることができた。雑音制限回路についても同様の考慮をほらい、他に類を見ないほど耐雑音性のすぐれた無線装置とすることができた。図4.10にこの装置の耐雑音性能を示す。この測定は、図4.11に示す回路で行なったもので、パルス性雑音としてはパルス幅 $10\mu\text{sec}$ 、くりかえし周波数 $1,000\text{c/s}$ のパルス変調波を加えた。図4.10で明らかのように、この無線装置においては、パルス性雑音が良好に抑圧され、復調出力は、雑音の混入のない場合とほぼ同じ

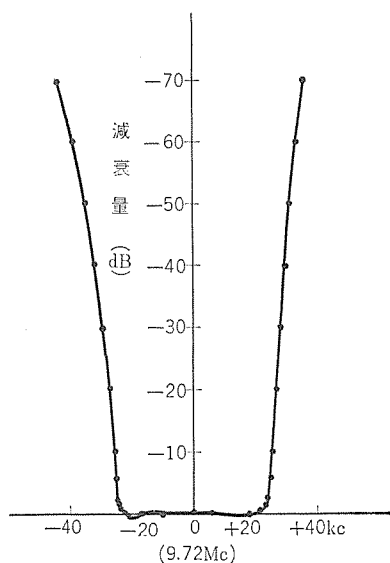


図 4.9
受信部選択特性
Fig. 4.9
Receiver selectivity.

信号入力電圧 (1,000% 30%変調)	雑音入力のない場合の出力波形	雑音入力電圧 $150\mu\text{V}$ の場合	
		他の無線装置の出力波形	MAR-4形無線装置の出力波形
$2\mu\text{V}$			
$5\mu\text{V}$			
$20\mu\text{V}$			

図 4.10 航空機用超短波無線装置の耐雑音性能
Fig. 4.10 Noise limiting performance.

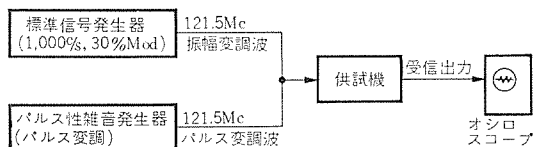


図 4.11 耐雑音性能測定回路
Fig. 4.11 Measuring circuits of noise limiting performance.

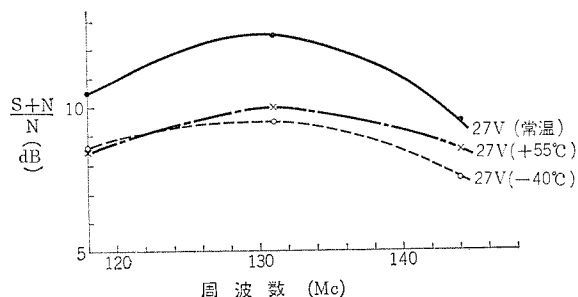


図 4.12 受信部感度特性
Fig. 4.12 Receiver sensitivity.

である。通常の雑音制限回路および AVC 回路を有している無線装置では、雑音入力が入ると復調出力が低下し、パルス性雑音の影響が顕著に現われることが観取できる。

(3) 受信音声出力は、通常の使用状態では約 200 mW で、制御器にある音量調整器によって、適当に減衰させて使用する。

(4) 受信機の音声増幅回路は、送信時には マイク 増幅回路および側音増幅回路として動作する。またこれらの回路を正副操縦者間の インタホン 増幅回路として動作させることもできるようになっている。

受信機の感度特性を図 4.12 に示す。

4.2 送信回路

(1) この装置の送信周波数と受信周波数とは同一であるから、受信回路の局部発振回路の一部を送信時にも使用し、送信時と受信時は同一の水晶振動子を使用するようになっている。すなわち、送信時にも受信部の水晶発振回路、通倍回路を使用し、水晶振動子の 9 倍の周波数を受信部から加える。送受同一周波数とするためには、受信機の中間周波数分だけの補正をする必要があるので、送信部には、受信機の中間周波数で発振する副発振回路を有しており、これと受信部からの主発振信号とを合成して、送信周波数を作る。この場合通常の混合器を使用したのでは、送信スプリアスが劣化するため、とくに平衡変調回路を採用し、良好な平衡度を保つようにして、送信周波数の近傍でのスプリアス特性を向上させた。

(2) 空中線回路には、搬送波の高調波のスプリアス放射を除去するために、低域ロハ器をそう入してある。このロハ器の特性は図 4.13 に示す。平衡変調回路および低域ロハ器の特性によって、送信スプリアスを、新電波法に規定された $25 \mu\text{W}$ 以下にすることが可能になった。

(3) 変調器は 6AQ5 のプッシュプル増幅回路からなり、最終段陽極およびスクリーングリッド変調、前段および前々段には、スクリーングリッド変調をかけることによって、ヒズミの少ない変調を行なっている。

(4) またこの装置は約 1,020 c/s の トーン 信号で変調することも可能であり、必要なあいには呼出信号、方探信号などに使用できるようになっている。

(5) 送信出力の一部を自蔵のダイオードで検波して、側音出力として通話者が聞くことができるようになっているので、送信回

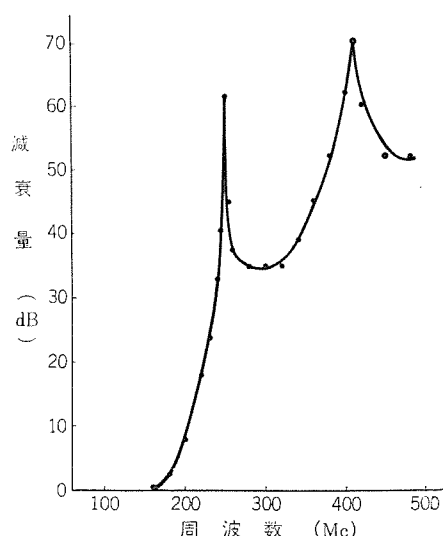


図 4.13 低域ロハ器特性

Fig. 4.13 Characteristics of RF lowpass filter.

路の動作をパイロットが確認しながら通話することができる。

4.3 電源回路

(1) 航空機の無線機用電源としては、DC 27 V と DC 13.5 V の両方があり、航空機体によって異なっている。

この装置は、この両電源のどちらにも、ただちに適用できるように考慮をはらっている。すなわち、送受信機内のすべての回路は、電源部を交換することによって、自動的に電圧切り換えが行なわれるように設計されており、モジュール構造の電源部だけを、DC 27 V 用または DC 13.5 V 用にすれば、ただちにその電圧で動作可能である。

(2) 電源部はその内部にコンバータを有していて、直流高圧電源および直流 バイアス 電源を本体に供給している。

(3) コンバータには、冷却翼がついていて、コンバータが動作すると送受信機内部が強制空冷されるようになっている。

(4) チャンネル 切換時には、コンバータの駆動動力を減速機構を通じて取り出し、パリのコンの回転などに利用している。

4.4 チャンネル切換機構および制御回路

送受信機には、最大 8 個のチャンネルをプリセットすることができる。このチャンネルの選択は、すべて制御器によって遠隔制御されるようにできている。チャンネル切換機構は、制御器で選択されたチャンネルの水晶を選択するとともに、送信機の 5 連パリのコンおよび受信機の 5 連パリのコンを所定の位置まで回転することにある。このパリのコンの回転位置は、各チャンネルごとに、あらかじめ機械的に記憶させておき、駆動機構によってその角度まで回転させる方法を用いている。このチャンネル切換機構は、非常に安定していて、正確な位置にパリのコンを固定させ、誤差が少ないという特長を有しているので、チャンネル切換のひん度の多い場合でも、長期間にわたって準備調整を行なう必要がない。

送受信機の制御は、すべて制御器およびラレストークスイッチから遠隔制御できるように、電源の接断、送受切換、機内通話などの動作は、すべてリレーを用いて行なっている。

5. 制御器および空中線

制御器は、航空機の種類および制御内容によって、最適のものが採用できるように、3 種類製作してある。制御器の寸法は、他の機器の制御器とともに、操作者の近くにまとめて設置する関係から、航空機とう載用無線装置の制御器に最も多く適用されている米軍規格 MS-25212 によった。したがって、ほとんどすべての航空機のコックピット内に、容易に装備することができる。

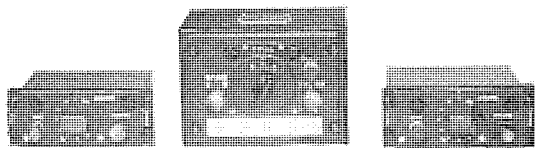
図 5.1 に制御器の外観を示す。制御器の制御項目は、

- (1) 電源接断
- (2) チャンネル 切換
- (3) 受信音量調整
- (4) インタホン 音量調整
- (5) トーン 送信 の 5 項目である。

ただし、MCU-3/MAR は、インタホン系統を別に有する航空機用を意図しているため、インタホン 音量調整器を有していない。

図 5.2 に各制御器を使用した場合の機器系統図を示す。図 5.2 (A) はヘリコプタのごとき操縦カで操縦する航空機に適した装備であり、図 5.2 (B) は軽飛行機などに適した装備である。

空中線については 3.1 項で述べたように航空機の種類および速度と応じて、十分な強度と性能を発揮するよう 2 種類製作してある。この空中線は、いずれも垂直偏波無指向性の空中線であ



MCU-3/MAR (左) MCU-1B/MAR (中央) MCU-4/MAR (右)

図 5.1 制御器

Fig. 5.1 Control unit.

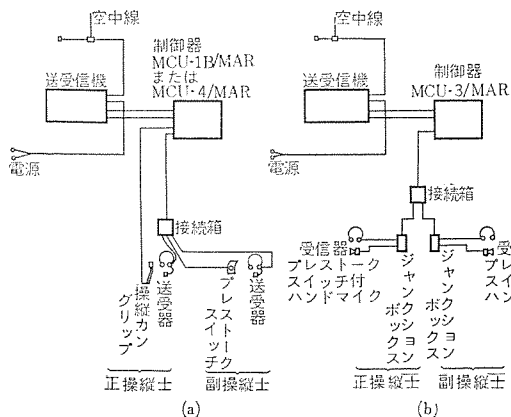


図 5.2 MAR-4 無線装置機器系統図

Fig. 5.2 Interconnecting block diagram of basic installation.

て、対航空機間または対地上局間と良好な通信が行なえるようにできている。空中線のインピーダンスは 50Ω であり、 $118 \sim 144 \text{ Mc}$ の通信周波数帯内のインピーダンス特性は図 5.3 および図 5.4 に示す。

空中線を航空機に取り付ける際には、十分なアース面を有する場所に取り付けるよう考慮する必要がある。

6. む す び

以上 MAR-4 形航空機用超短波無線装置の概略を述べた。この装置は、小形軽量であるため、小形、中形の航空機やヘリコプタとう載用として、現在のところでは、信頼度、価格などの点から最適の機種であると考えられ、防衛庁(陸幕)において使用する JARV-1 改良形無線機も、その改造の骨子はこの無線機の回路を採用したものである。しかしながら、電子工業の進歩は早く、トランジスタを始めとして、小形部品の開発も進んできているので、近い将来における小形化や、信頼性の向上に対する努力をおこたってはならない。こういう見地から、今後もさらに使用上の経験からの改良や、新しい機種の開発に向って、関係者一同いっそうの努力をおこたらない所存である。

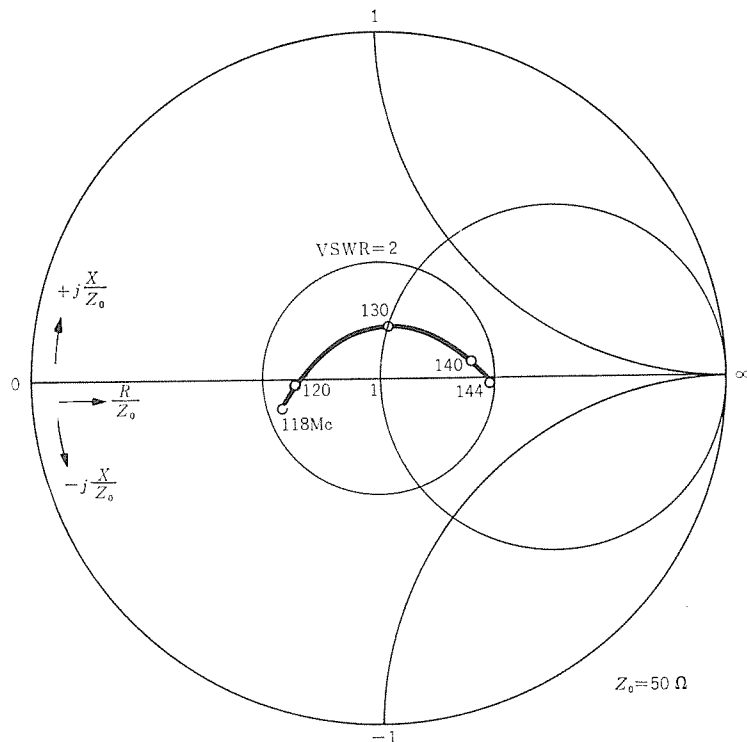


図 5.3 空中線 MAT-1B/MAR インピーダンス 特性

Fig. 5.3 Impedance characteristics of antenna MAT-1B/MAR.

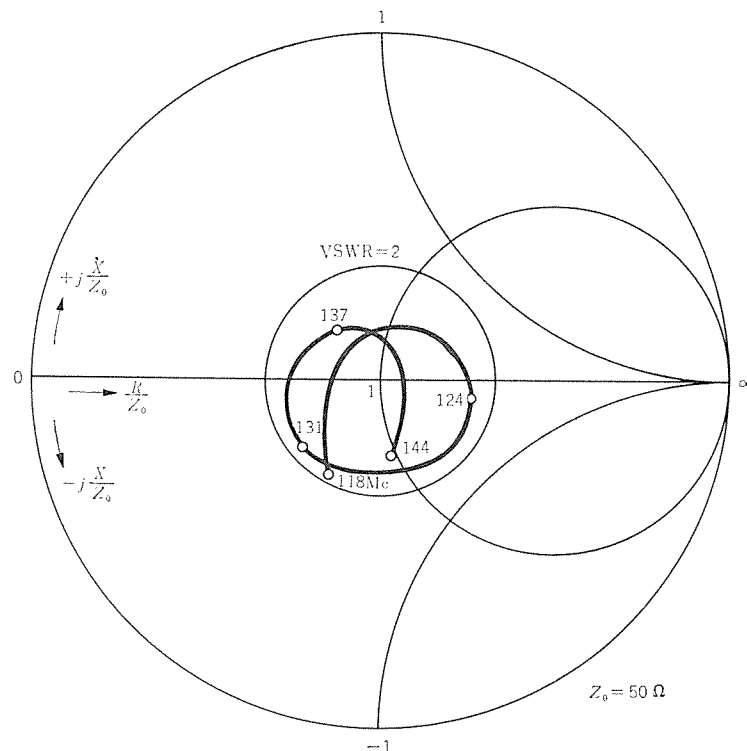


図 5.4 空中線 MAT-3/MAR インピーダンス 特性

Fig. 5.4 Impedance characteristics of antenna MAT-3/MAR.

陰極無絶縁形エキサイترون

阿部久康*・池田和郎**

Excitron-Type Mercury-Arc Rectifiers with Uninsulated Cathode

Research Laboratory Hisayasu ABE・Kazuo IKEDA

In excitron-type single-anode mercury arc rectifiers with the cathode spot continuously maintained by direct current, insulation has been indispensable between the vessel and the cathode. The latest design in Europe, however, has dispensed with this insulation for practical use by providing an arc shield. In connection with this uninsulated design, two fundamental problems, that is, cathode spot transfer and cathode spot extinction have been exhaustively studied, so that success has been achieved in getting the unit uninsulated without arc shield. A rectifier thus built for trial is found to have a very stable excitation performance, so that repetitive overload of 200% is withstood with no extinction and transfer of cathode spot, a proof of its very excellent characteristics.

1. ま え が き

よく知られているように、単極形水銀整流器にはイグナイトロン形とエキサイترون形がある。両者の違いは、イグナイトロンでは陰極点は毎サイクル新しく作られ、陽極電流の流れ終りとともに消滅するのに対し、エキサイترونでは、運転の初めに点じられた陰極点が直流の補助アークで連続保持されることである。

このため二つの間には整流器タンクの構造に大きな相違があり、イグナイトロンでは水銀ダマ(溜)のある陰極部とその上方のタンク部分を絶縁する必要がなく、両者を一体として製作できるのに対し、これまでのエキサイترونではこの陰極部の絶縁が不可欠であった。すなわち直流で連続して陰極点を保持するため、陰極点がタンクに転移してここに保持され、これから陽極電流に相当する電子放出が行なわれてタンクを損傷する危険があるためである。このタンク部分と陰極部の間の絶縁には高度の気密性が要求されるとともに、運転中あるいは化成時の熱的、機械的ヒズミに耐えなければならないから、各社ともその構成には苦心を払っており、エキサイترونの構造上の最大の難点の一つである。これに対し、最近この絶縁を廃しようとする試みが盛んで、すでに欧米では大容量の実用器も出現しているようである⁽¹⁾。これらはいずれも放電空間とタンク内面との間にアークシールドを設け、アークがタンク面に接触して陰極点を発生することを防止しようとするものである。

しかし筆者らは、このようなアークシールドを用いず、イグナイトロンとまったく同様なタンク構成の陰極無絶縁形エキサイترونの開発に成功した。本稿は、このような陰極無絶縁化にあたって必要な問題点の究明とその対策のために行なった研究の概要、および試作器の特性を述べたものである。

2. 陰極無絶縁形エキサイترونの問題点

いうまでもなく第1の問題点は、陰極点のタンク転移をいかにして防止するかである。この転移には二つの形態があり、一つは陰極水銀面を漂動する陰極点の水銀とタンクとの接触部分に達し、そのまま連続的にはい上がる場合で、この原因によるものを1次の転移と名づけることにする。他はプラズマ中の陽イオンが陰極電位のタンクに流入し、その際、タンク表面に2次陰極点を生じて転移する不連続的な場合で、この現象を2次の転移と呼ぶことにする。

このうち前者に対する対策は比較的容易であり、陰極点が漂動する範囲の水銀面を、タンク面から適当に隔離することによって防止することができる。あるいは、また、後述のような陰極点固定法の採用によって防止することも不可能ではない。これに対して2次の転移は、現象自体のはあくがこれまで十分行なわれていなかった上、その対策も後述するようにやや困難であって、陰極無絶縁形エキサイترونを実現する上の最大の問題はこの2次の転移の防止対策であるといえる。これを欧州で行なわれているように、アークシールドを採用してタンクへのイオンの流入をなくしてしまえばもちろんよいが、同時にアーク空間と凝結冷却面との間の水銀蒸気の流通も阻害される恐れがあり、この間の協調がめんどろな問題である。筆者らは後に述べるような方法で、アークシールドを用いることなくこの2次の転移も防止することができた。

次にエキサイترونとして安定な運転を期待するためには、安定な励弧を行なうことが不可欠の条件である。しかるにエキサイترونにあっては、負荷運転中この励弧アークがしばしば消滅することが経験される。これは後に詳述するように、陽極電流消滅直後に生じやすく、その原因は、この位相では励弧極がタンク内のどの電極よりも高電位にあるため、励弧電流がこれらの電極、すなわち陽極、格子、パフル、他の励弧極、陰極表面などに流出し、それだけ陰極点電流が減少して陰極点が不安定になるためと解される。しかるに陰極無絶縁形で、しかも筆者らの意図したようにアークシールドも設けない構造では、陰極電位のタンクに自由に流入する陽イオン(いわゆるタンク電流)によって運ばれる電流も励弧電流の流出にあずかるため、陰極絶縁のあるエキサイترونよりも一層励弧が不安定になる懸念がある。したがって従来のものに比して一層安定な励弧の方法を得ることが、また重要な問題である。

さらにこれら2点の対策は、整流器本来の機能との十分な協調の上に立てられることが必要であり、この見地からの総合的対策を求めなければならない。

3. 陰極点転移現象

3.1 1 次的転移現象

水銀陰極点の自由漂動によって生ずる1次的転移現象を、研究用の鉄製水冷式エキサイترون(図3.1)を用いて実験観測した。この

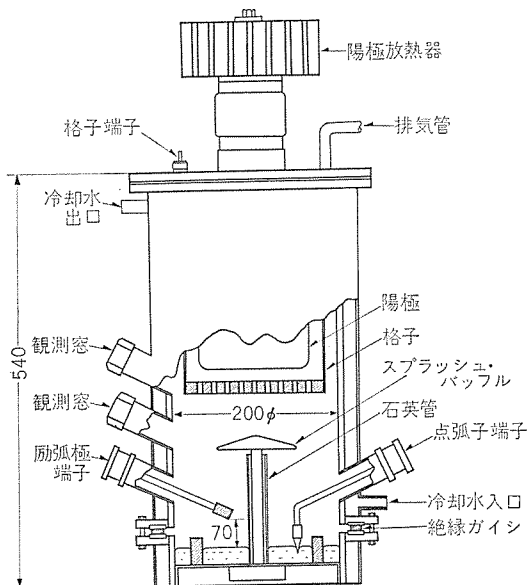


図 3.1 実験用エキサイترون
Fig. 3.1 Excitron used throughout experiment.

供試器は陰極がガイシおよびゴムパッキンで絶縁されているが、陰極水銀量を増して、絶縁部分が水銀中に没し、タンクと陰極が水銀で短絡されている状態にし、直流励磁を行なって陰極無絶縁形エキサイترونとして運転した。単相または三相運転で、最大数 100 A までの陽極電流を流し、タンクに陰極点が 1 次的転移をする状態をガラス窓から観測したが、転移は全く不規則にまたぎわめて容易に起った。(タンク材料は整流器に普通用いられる鋼板である。) 転移した後も陰極点は水銀上と同様自由に走行するが、電流値の小さい場合 (20~30 A 以下) には時として 1 箇所にとどまり、これは 1 分間以上も継続することがあった。また、陰極点がタンク面と陰極水銀面の間を不規則に往復する現象もひんぱんに発生した。

このような 1 次的転移および転移した後のタンク面での走行は、タンク面に多量の水銀が凝結している場合には当然生じやすいが、さらに一見水銀の凝結が認められない場所でも容易に生じた。転移が生ずるとタンク内の真空圧力は、タンクの処理状態、転移時間にもよるが、数 10 μ Hg 程度に上昇し、アーク電圧も 20% ぐらい増加する場合があった。実験後開き上げて調べてみると、転移したあとには Richtenberg 像として知られる放電あとが一面に認められ、ところどころに 0.5 mm 程度の深さにへこんだ直径数 mm 程度のあともあった。これはタンク面がスパッタリングを受けたためとみられる。飛散した分は陽極、水銀面などに降下付着し、内部の汚損、逆弧の誘発など整流器の機能に悪影響を与える原因になる。

このように、転移によって著しい真空低下と構造部分の損傷の生ずることをあらためて確認した。イグナイトロンの場合にこの種の転移の生じないのは、毎サイクル新しい陰極点がタンクから十分離れた水銀面中央に点じられるため、半サイクルの寿命期間中に 1~10 m/s といわれる漂動速度ではこの部分に達することがないためと考えられる。

3.2 陰極点固定法

上述のような陰極点の 1 次的転移は、陰極点の漂動をなくしたいわゆる固定陰極点を実現すれば防止しうることは明らかである。その他、固定陰極点では水銀蒸発量が自由陰極点の 10% 以下、したがって整流タンクの容積も 10~20% になるといわれ⁽²⁾、その利益は大きいものがある。古くから行なわれている固定法は、水銀にぬれる W, Mo など水銀中に立てると、水銀との接触際に

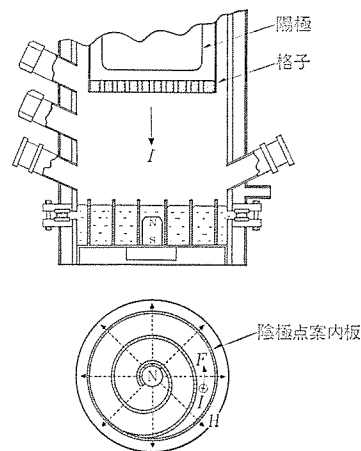


図 3.2 逆駆動現象に基づく陰極点の磁氣的固定法
Fig. 3.2 Magnetic fixation of cathode spot based on retrograde motion.

陰極点が固定されるという性質を利用するもので、この場合には陰極降下も 1~2 V 減少することが知られている。しかしこの方法は、次の理由から大電力用整流器への適用が不可能である。

- (1) 安定に固定できるためには固定部の熱放散をよくすることが必要であるが、このようにしても、一つのアンカ (anchor) で固定できる最大電流は 50 A 程度である。
- (2) 固定作用が過負荷により失われること。
- (3) 固定作用を得るのに、小電流から始めて長期にわたって次第に電流を増し、所要の電流に慣れさせるような予備処理が必要である。

今度の実験でも Mo 板をらせん状に巻いてアンカにしてみたが、単相または三相運転の陽極平均電流 100 A までは固定できたが、それ以上ではまったく不安定で、実用にならないことがわかった。これに対し筆者らはかねてから水銀整流器アークの磁界中での性状に関心をもっていたので、陰極点転移の防止にこの性質が利用できないかと工夫した結果、次のようにして陰極点を強力に固定することができた。よく知られているように、水銀整流器が動作する範囲の気圧では、陰極点の約 0.5 wb 以下の磁界中ではフレミングの法則と反対の方向に動くいわゆる逆駆動現象を呈し、それ以上の強さの磁界ではこれと反対方向に動く。したがって今、図 3.2 のように磁極を作る時、陰極点に流入する電流には反時計方向の力が働き、このため陰極点は水銀中に設けた spiral 状の案内板に沿って駆動されて中央に固定されるようになる。実験では図 3.1 の供試器の水銀タメ中央に 0.04 wb の永久磁石を設け、案内板としては磁器製のものを使用し、この方法によって単相または三相運転の陽極平均電流 250 A を通じている陰極点を完全に固定することができた。この場合のアーク電圧その他の特性の変化については、特別に測定はしなかったが、固定の方法としてはきわめて有効であると考えられる。このような方法で陰極点を水銀面の中央に固定し、1 次的転移を防止することができるが、実用化する場合には、陰極点の集中による案内板の消耗の問題、磁界分布および漏えいの問題などについて検討すべき点が多い。後述のように、簡単な陰極コイル板の使用によって、陰極点の 1 次的転移は完全に防止することができたので、今回の無絶縁形エキサイترونにはこの方法は採用しなかった。なお、磁石としてはいうまでもなく電磁石でもよく、むしろこの方が好ましいであろう。

次に、以下のような方法によっても、ある程度の陰極点固定が

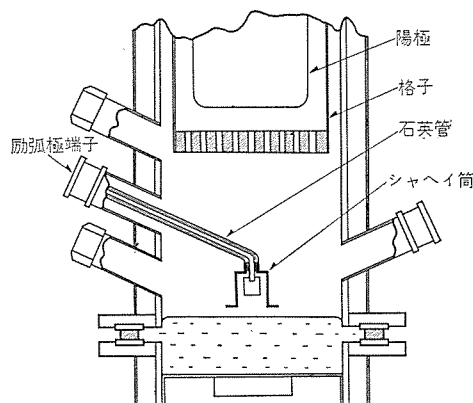


図 3.3 陰極点漂動を制限するための励弧極のシャヘイ
Fig. 3.3 Exciter shielding for limiting cathode spot movement.

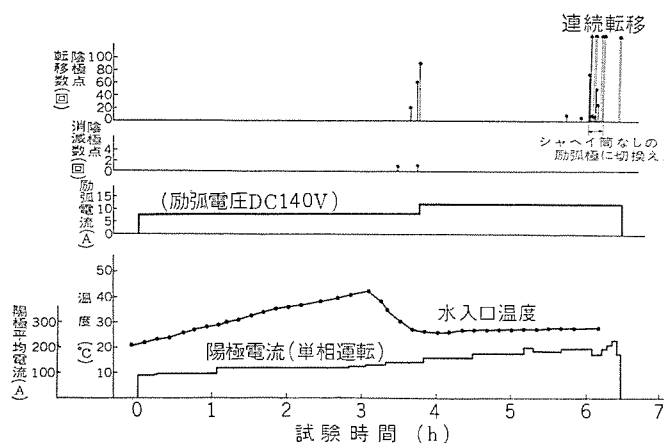


図 3.4 励弧極をシャヘイした時の陰極点転移試験の結果
Fig. 3.4 Result of test on cathode spot transfer with shielded exciter.

可能なことを知った。すなわち図 3.3 のように、励弧極を陰極面近くまで延びた、下端につばのあるシャヘイ筒でおおう。このシャヘイ筒は鉄製であるが、励弧極とは絶縁されている。励弧極支持棒も空間に対し露出しないよう、石英管などの耐熱絶縁物でおおう。シャヘイ筒下端のつばは水銀面と平行にあり、適当な長さを有して、励弧極と水銀面の間に点じられた励弧アークがつか外に伸びようとする時、アークに対する抵抗を増加してアークの逸出を防ぐ。したがって陰極点はつばの下の一範囲から外に出られず、漂動が制限されて転移が防止されるのである。供試器の陰極絶縁部に水銀を満たして陰極無絶縁形とし、つばの長さ 10 mm、つばの外径 50 mm のシャヘイ筒を陰極面から 7 mm 離れた場合について転移回数を測定した結果を図 3.4 に示す。励弧極下面と水銀面との間隔は 20 mm、また筒の部分の外径は 30 mm である。転移は皆無ではないけれども非常に抑制されている。転移の検出は、観測窓に陰極水銀面に向けて光電導セルを取付け、陰極点がタンク転移して入射光量が減ることによるセルの抵抗変化を検出して行なった。この方法により、転移の有無は陽極電流の各サイクルで確実に検出することができた。図 3.3 には示していないが、図 3.4 の試験では同一タンク内にシャヘイ筒があるものと露出形の 2 種類の励弧極を設け、それぞれの結果について比較している。励弧極を露出した場合には転移が連続的に発生し、両者の差異は明確に現われ、シャヘイ筒の効果が確認できた。しかしこの方法では陽極の点弧がやや困難なこと、およびシャヘイ筒が励弧アークおよび主アークにより過熱されるなどの欠点がある。

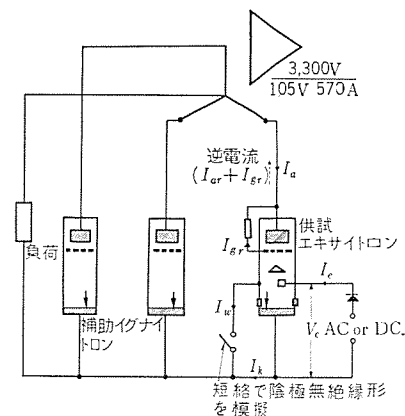


図 3.5 陰極点転移の実験回路
Fig. 3.5 Circuit for experiment on cathode spot transfer.

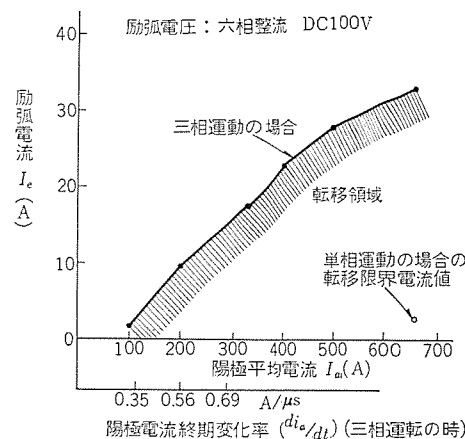


図 3.6 陽極電流と陰極点転移防止に必要な最小励弧電流
Fig. 3.6 Anode current vs minimum excitation current necessary to prevent cathode spot transfer.

3.3 2 次的転移現象

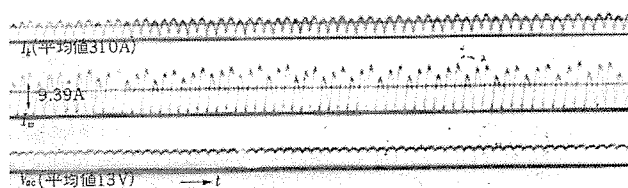
タンク面に 2 次陰極点の発生する原因は、陽極の逆弧などと同じく高エネルギーの衝突、または表面の絶縁性微粒子の陽イオンによる充電などが考えられるが、われわれはまず 2 次的転移の生ずる条件を以下のようにして調べた。

供試器のタンクと陰極の間の絶縁を、外部で導線で短絡して陰極無絶縁形エキサイトロンを模擬し、2 次的転移によってこの導線に流れる陽極電流を検出することにより、2 次的転移を検出することにした。まず供試器を正規のイグナイトロンとして運転して 2 次的転移の有無を調べたが、転移はまったくなく、このことは通常のイグナイトロンで、転移によると思われる事故がまったく起らないことから当然予想される場所である。この場合の試験回路は図 3.5 のとおりで、随時単相または三相整流運転を行ない、供試器には陽極平均電流 50~600 A を流した。陽極平均電流 1,000 A (波高値約 3,500 A) の時には小陰極点がタンク面に散発的に生じ、タンク一陰極間の短絡回路に通常のタンク流入電流よりもかなり多い電流が流れ、これに応じて陰極電流 (図 3.5 の I_k) に約 10% 程度の減少が陽極電流最大値付近で起ることがあった。すなわちこのように定格値の数倍程度の過負荷では、イグナイトロンでも 2 次的転移の生ずることがわかる。しかし全電流がタンクに転移することではなく、タンクの小陰極点には 10% 内外の電流が散発的に流れるだけであるから、真空低下やタンク損傷は認められなかった。次に直流励弧を行なってエキサイトロンとして運転し、2 次的転移を観測した結果では、一定陽極電流に対し励弧電流の少ない場合

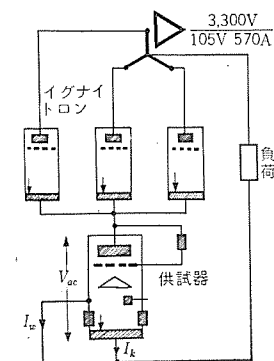
に転移がひん発したが、励弧電流の増加とともにその回数が減り、ついにはまったくなくなってきた。図 3.6 にこの関係を示す。この時の弧励電源電圧は六相整流平均値が 100 V である。

次に転移発生位相を確認するため、タンクと陰極の間の短絡回路の電流波形をオシロで観測した結果、この導線に 2 次的転移によるとみられる電流の流入がある時は、常に完全な陽極電流の波形をしており、したがって転移は陽極の通電開始直後か、あるいは休止期間中に励弧電流がまず転移し、次の正サイクルで陽極電流がこの転移陰極点に流入するものと考えられた。しかし無負荷で、励弧電流だけが流れている場合には、供試器のようにタンクと陰極が構造的に隔離されていると、決して陰極点のタンクへの転移は生じないものである。一方図 3.6 のように、一定陽極電流に対しある限度以上の励弧電流を与えると転移を生じなくなることがわかったので、さらに転移の発生位相を確かめるため、波高値 40 A、幅 1 ms の正弦波パルス陽極電流の通電初期および電流消滅点の位相において重畳し、転移発生状況を観測した。この結果では、陽極電流消滅位相で重畳した場合には転移は生じなかったが、この現象は結果的にみて、陽極全電流のタンクへの流入が、まず励弧アークが陽極電流消滅とともにタンクに転移し、これが次サイクルまで保持される結果であることを示している。このように転移は陽極電流消滅直後においてのみ発生するので、転移機構の研究には実際に直流励弧電流を流さなくても、この位相で交流励弧を行なうことにより現象的には全く同じ結果が得られる。この交流励弧法は、イグナイトロンと同じようにイグニタで毎サイクル陰極点を点じ、励弧極には、陽極電流消滅位相でほぼその最大値になるような 60 c/s 交流半波電流を流すものである。(陽極電流との位相関係は図 3.8 (e) を参照。)

交流励弧による実験の結果、転移の原因は次のように考えられることがわかった。すなわち励弧アークが 2 章で概略説明し、また 4.2 で詳述するように、陽極電流消滅直後に生ずる励弧電流の流出現象により陰極点が消滅して失弧した後、再点弧することがあり、この再点弧がタンク面との間に生じた時に直流電流によって引き続き保持されるため、次サイクル以後で陽極電流が流入し、前述のように 2 次的転移として観測されるのである。念のため図 3.7 (b) のような接続で、供試器に主電流として直流電流を流し(最初にイグニタで起動。励弧極は使用せず。) 2 次的転移発生の有無を確かめたが、まったく起らなかった。同図のオシロに示す



(a)

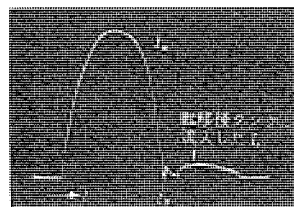


(b)

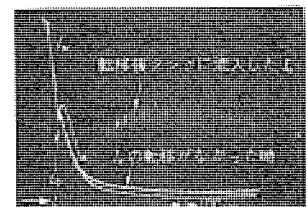
図 3.7 供試器に直流の陽極電流を流した実験の回路と結果
Fig. 3.7 Circuit and result of experiment in which DC anode current was supplied to test valve.

とおり、タンクには通常の拡散電流しか流れていない。これは陰極無絶縁形にした場合に、1 次的転移がないようにすれば、たとえ 310 A の直流主電流を流してもアークが消滅しない限り 2 次的転移が発生しないことを証明している。図 3.8 に交流励弧の時に励弧アークが陽極電流消滅直後失弧してタンク上に再点弧し、励弧電流がタンクに流入していることを示す一連のオシロを掲げた。(各記号は図 3.5 参照。) これらの場合には、励弧アークの失弧から再点弧までかなりの時間があり、明らかに再点弧したことが認められるが、場合によってはこの時間が全く認められず、あたかも失弧しなかったかのようにみえながら、転移は生ずるといことがあったが、これも同じ原因によるものと判明した。

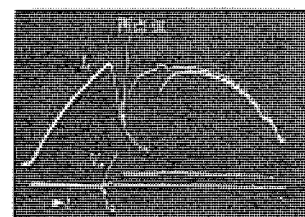
このような再点弧には当然ながら励弧電圧の影響が予想され、またこの電圧を再点弧不可能な値にまで引下げれば 2 次的転移が消滅し、転移防止の重要な対策となりうることが期待できる。表 3.1 はこの関係を直流励弧を行なって測定した結果で、励弧電圧は六相整流波形である。同表の示すように、励弧電圧 40 V 以上から転移が生ずるようになり、電圧が高いほど、転移後のアークが安定に保持されることがわかる。また図 3.9 は励弧電圧をパラメータにとり、各負荷電流で励弧アークの失弧および転移防止に必要な励弧電流値を示したものである。陽極電流消滅直後に前述の理由で陰極点が消滅し、励弧電流が減衰しはじめても(陰極点が消滅しても励弧電流はただちに 0 にはならない。図 4.1 参照)再



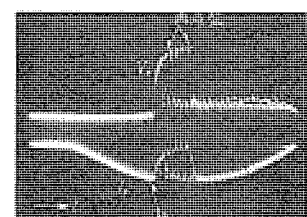
(a) I_a および転移した I_c



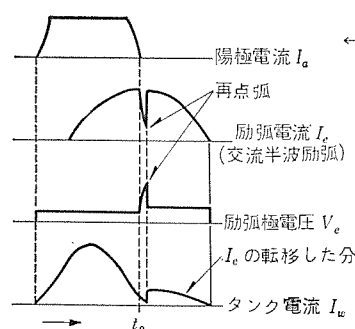
(b) I_a 波尾を拡大した例



(c) 再点弧時の I_e および V_e



(d) 再点弧時の V_e と I_c (下向き)



(e) 再点弧現象の図示的説明

図 3.8 陰極点のタンク転移が陰極点消滅後の励弧アークのタンク上での再点弧によることを示すオシロ
Fig. 3.8 Oscillograms revealing cathode spot transfer to wall is caused by reignition on wall of excitation arc after spot extinction.

表 3.1 励弧電圧が陰極点の転移回数および失弧回数に及ぼす影響

励弧直流電圧 (V)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10 min 中の転移回数 (回)	0	0	4	1	19	63	96	124	137
10 min 中の総転移時間 (c/s)	0	0	12	8	121	500	905	1570	2490
転移 1 回あたりの平均継続時間 (c/s)	0	0	3	8	6.1	7.9	9.4	12.7	18.2
10 min 中の失弧回数 (回)	12	20	48	33	3	1	0	0	0

陽極平均電流 300 A (三相連転), タンク温度 50°C 励弧電流 15 A

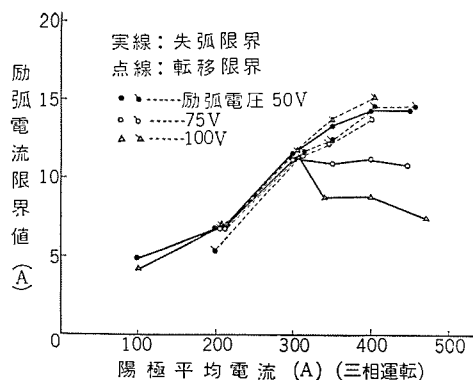


図 3.9 各陽極電流で励弧電圧をパラメータにして陰極点消滅および転移を防止するための最小励弧電流を測定した結果

Fig. 3.9 Result of measurement of minimum excitation current necessary to prevent cathode spot extinction and transfer at various anode current values with excitation voltage as parameter.

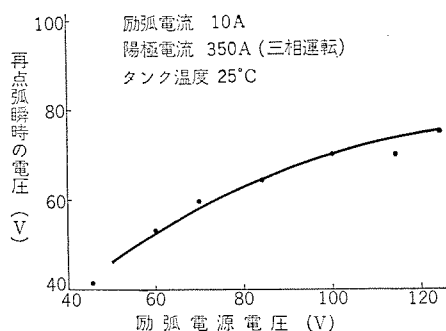


図 3.10 励弧電源電圧と再点弧瞬時の励弧極-陰極間電圧

Fig. 3.10 Excitation source voltage vs voltage between exciter and cathode at moment of reignition.

点弧すれば再び励弧アークが生ずるから、結局整流器としては失弧しないことになる。図 3.9 の失弧限界とはこの再点弧も生じない、整流器として失弧してしまうような限界の励弧電流を示すもので、励弧電圧の高いほうが再点弧しやすいため、同図中の失弧限界は低くなっている。また同図の転移限界とは次のような意味である。すなわち 2 次転移は、陰極点がいったん消滅した後再点弧によってタンク面に再び陰極点の生ずる現象であるから、この転移限界とは陰極点が全く消滅しない励弧電流限界値を意味する。この場合には、励弧電圧が前述のような励弧電流出現象に影響しないなら、励弧電圧は後述のような再点弧発生限界電圧 (35 V) 以上の電圧範囲において転移に無関係のはずであり、事実図 3.9 の測定結果もそのとおりになっている。なおこの実験では、再点弧に要する電圧は表 3.1 に示したように 40 V 以上であるが、この表の電圧値は励弧電源電圧であり、再点弧瞬時の励弧極-陰極間電圧はこれより低い。図 3.10 はこの再点弧電圧を直接測定した結果で、大略数 10 V で生ずることがわかる。このように低い電圧でタンク面に陰極点の生ずる機構は、スプレー放電と類似の機構、つまり表面の絶縁性微粒子にイオンが蓄積され、高電界が形成されて冷電子放射に至ると考えることができるが、この点の詳細な検討は行っていない。タンク面の水銀滴の状態、すなわち汚れとか浮遊物の影響が大きいと思われる。

以上のほか、陽極通電中にたまたま 2 次陰極点が生じた場合の影響を調べるため、陰極水銀面の一部に絶縁した別の水銀陰極を設け、この部分に第 2 の陰極点を強制的に発生並存させ、陽極電流の第 2 陰極への転流状態を調べる実験も行なった。紙数の都合

で詳細は省略するが、第 2 陰極点への分流は全電流の 30% 以下であり、全電流が新陰極点に転流することはなかった。このような場合の分流状態は両アーク路のアーク抵抗および陰極の通電容量によってきまるものと考えられる。この実験ではタンクに 2 次陰極点が生ずると、前述のようにアーク電圧に約 20% の増加が認められたので、通常の負荷状態では陽極電流の通流期間中にタンクに 2 次陰極点が生じて全電流がこの部分に転移することではなく、主電流の継続的なタンク転移は励弧アークの消滅に伴う再点弧によってのみ原因が構成されるものと考えられる。

4. 陰極点消滅現象

4.1 陰極点消滅位相

負荷運転中のエキサイトロンの励弧アークの消滅、いわゆる励弧切れ現象を調べるため、まずその発生位相を確かめた。図 3.5 の接続で供試器のタンク-陰極間の短絡回路を開放して絶縁のある状

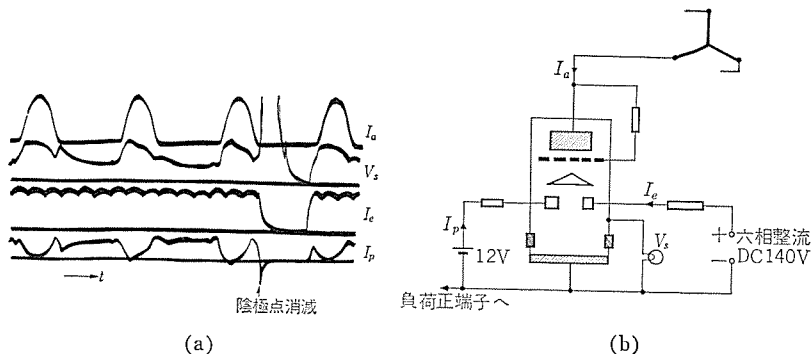


図 4.1 陰極点消滅時の各部波形 (三相運転)

Fig. 4.1 Waveforms when cathode spot extinction occurred.

態にし、励弧アークの消滅が起る前後の各部波形を測定した。このような励弧の消滅は偶発的に生ずるが、図 4.1 はこの現象を捕そくしたオシロの一例を示すものである。陽極電流波形 (I_a) はオシログラフ振動子の制動が不良で、忠実に真の波形を示していないが、明らかに陽極電流消滅直後に励弧電流 (I_e) の減衰が始まり、数 ms で 0 になっている。この場合の陰極点消滅位相は、光学的な測定などで確かめたわけではないが、以下に述べる理由から減衰の開始する位相で消滅したものと考えられる。指数関数的なその後の減衰過程は残留プラズマの減衰時定数によるものである。

陰極点が存在する時は陰極点とプラズマ部分の間に約 10 V の陰極降下があるから、プラズマ電位は陰極より大略この値だけ高い。一方陰極点が消滅していわゆる残留プラズマの状態になると、プラズマ電位はプラズマが接している最高の電極電位より 1 V 以下の値だけ正になり (この値はイオンおよび電子温度、それに陽、陰極表面積比できまる。)、かつ、この追随はほとんど瞬間に (10^{-8} sec. 以下) に行なわれる⁽³⁾。図 4.1 (a) のオシロで、励弧電流の減衰の始まる位相で、探極として陰極に対し +12 V の電圧が加えられている別の励弧極の流入電流の向きが逆になり、プラズマから外部に向かって流出する逆電流となっている。また陰極に対し絶縁されているタンクと陰極の間の電圧波形は、励弧電流の減衰に伴って急昇している。陰極点が励弧電流減衰開始位相で消滅していれば、その後のプラズマ電位は上述のように接触している最高の電極電位にほとんど等しくなる。今の場合陽極と格子は同電位で、陽極電流が流れ終わった後であるからアーク電圧以下ないしは負に下がっている。励弧極は電源電圧が 140 V で、これから制限抵抗

による電圧降下だけ差引いた値にある。結局、励弧極が最高電位であって、プラズマ電位もほぼこれに等しくなる。タンクは陽極、陰極、励弧極、そのほかすべての電極から絶縁されているのでいわば浮遊電位にあり、残留プラズマ中では1V以下の値だけプラズマよりも負である。したがってプラズマ電位を表わすものと考えてよい。図4.1(a)の○でタンク電位 V_s が上昇しているのは、陰極点消滅によりプラズマ電位が励弧極電位に上昇したことを示し、探極電流 I_p の逆方向への立上がりは、このため探極電圧12Vに打ちかかってプラズマからイオン電流の流入があったものと解釈できる。以上はタンクと陰極の間が絶縁されている時であるが、外部で両者間を短絡した場合にも全く同じようにして、陽極電流消滅直後に陰極点の消滅の起ることが確認できた。ただしタンク電位の上昇はもちろん起らない。陰極の絶縁されているエキサイトロンでは、上記のように陰極点の消滅によってタンク電位が上昇するので、インパル運転などでタンク内最高電位が陽極電位である場合、この電位上昇は著しく大きくなり、絶縁が破壊される危険がある。このため通常タンクと陰極の間にCRの異常電圧吸収回路を設けて保護しているが、無絶縁形では当然ながらこのような危険は生じない。

4.2 陰極点消滅原因

H.V. Bertele 氏によれば⁽⁴⁾、自由陰極点の電流値と平均寿命の関係について図4.2の結果が示されている。個々の測定値のバラ

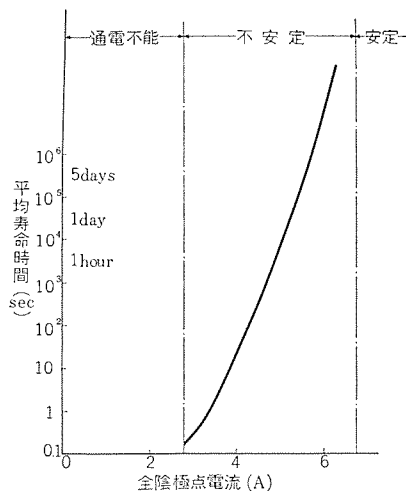


図 4.2 水銀陰極点の電流値と平均寿命時間の関係 (H.V. Bertele による⁽⁴⁾)

Fig. 4.2 Average life of cathode spots on mercury pool as function of cathode current.

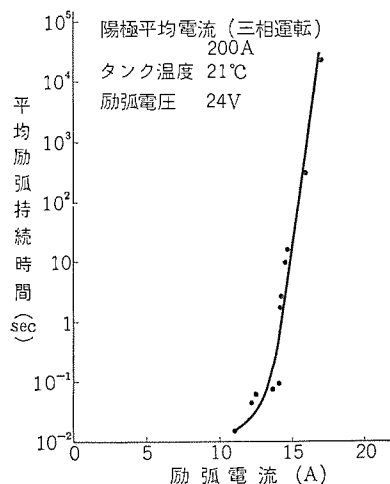


図 4.3 負荷運転中の励弧アークの電流値と平均持続時間の関係
Fig. 4.3 Relation between excitation current and average duration of excitation when valve is loaded.

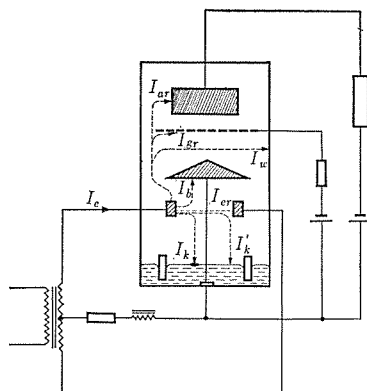


図 4.4 陰極無絶縁形エキサイトロンにおける励弧電流の流出
Fig. 4.4 Excitation current deviation of excitron with un-insulated cathode.

ツキ、あるいは水銀蒸気圧の違いによって多少の差は生ずるであろうが、陰極点を安定に保持するには最小数 A 程度は必要であり、2~3 A では全く保持できないことがわかる。水銀陰極点が多数の小陰極点の集合であることはよく知られており、個々の陰極点は発生、成長、消滅の life cycle をくりかえすといわれる。また小陰極点の数はアーク電流に比例する。このためアーク電流が減少して小陰極点数が減ると、life cycle 中の消滅が同時に起って陰極点の消滅する確率が増し、これが小電流で陰極点が不安定になる理由であるといわれる。⁽⁴⁾ また電流が 10^{-9} sec の間とぎれても陰極点は消滅してしまうことが知られている。⁽⁵⁾

さて、エキサイトロンの励弧電流は、無負荷運転中に上のような不規則な陰極点消滅の生じないように、安定保持限界以上の十分大きな値に選ばれている。それでも負荷運転に入ると、前述のように陽極電流消滅直後に励弧切れが発生する。これは励弧電流によって保持されるべき陰極点の電流が、なにかの原因によりこの位相で、図4.2の安定限度以下に減少し、このため陰極点が消滅する確率が生じて励弧アークが切れる結果と考えられる。 10^{-9} sec というような短時間の、しかも偶発的に生ずる現象をつかまえることは困難であるが、励弧切れが生ずる瞬間に励弧回路にはなんら変化が生じないようである。すなわち励弧回路からは、陽極電流消滅直後も陰極点を安定に保持するに足るだけの励弧電流が供給されているにもかかわらず、陰極点が消滅してしまう。したがって供給電流のうち、実際に陰極点に流れているのは図4.2の安定限界以下の値であり、残りは陽極電流消滅直後なお豊富に残存している陽イオンによる拡散電流として、タンク内の他の部分に流出しているものと考えられるわけである。図4.3はこのように陽極電流消滅直後に生ずる励弧切れのひん度を、一定励弧電圧のもとに励弧電流に対して測定し、これから各励弧電流で保持できる励弧アークの平均持続時間を求めた結果である。この時の励弧電圧は24Vの低値であり、3.3に述べたような再点弧現象は起っていない。また別に、一定励弧電流のもとで励弧電圧を変化し、再点弧した場合を除いて励弧切れひん度との関係を調べたが、相互に関係は認められなかった。このことは図3.9にもみられるとおりである。このように励弧切れひん度が励弧電圧によって変わらず、励弧電流によって大きく変化する事実は、前述の励弧電流の流出分だけ陰極点電流が減少して励弧切れが生ずるとする考えを裏付けるものといえるであろう。この励弧電流の流出は、プラズマに接している、励弧極より低電位のすべての電極に向かって生ずるはずで、陽極電流消滅直後では図4.4のように、陽極、格子、陰極表面、パル、休止中の励弧極などに流出する。ことに筆者らの意図しているような、内部にアークシールドを設けない陰極無絶縁

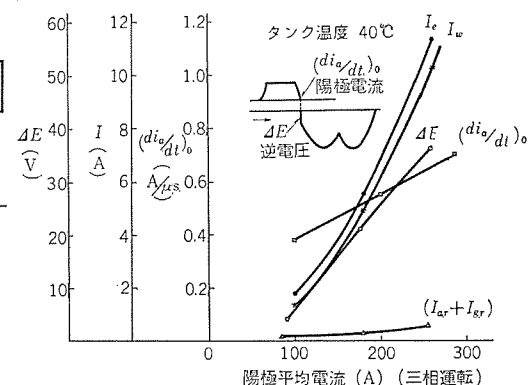


図 4.5 ほとんど毎サイクル励弧切れが生じている時の陽極電流と励弧電流および励弧流出電流の関係
Fig. 4.5 Relation of excitation current and excitation endangering currents with anode current when excitation extinction occurs almost every cycle.

形では、アーク空間に対しかなり大きい露出表面積を有するタンクへの流出分 I_w の影響の大きいことが予想される。図 4.5 は各流出分を分離測定した結果で、これは 3.3 に記したように、陽極電流消滅位相付近に最大値がくるような交流半波励弧を行ない、ほとんど毎サイクル陰極点消滅が発生している状態で求めたものである。この測定では陽極電圧が低く、また格子抵抗が大きいので陽極と格子への流出分の和 $(I_{ar}+I_{gr})$ はわずかで、タンクへの流出分 I_w が大半を占めている。このほか陰極水銀表面、陰極電位のバツル表面に拡散流入するイオンによる流出分 I_k' および I_b もあるが、外部で測定することはできない。供給されている励弧電流 I_e から流出分の和を差引いた残りは、図 4.2 に示されている陰極点の安定保持電流値に比して小さく、観測されたような励弧切れひん度を与えると考えられる。

図 4.5 には、各流出分の大きさを左右する残留プラズマ密度に重要な関係のある陽極電流零点付近の電流変化率 $(di_a/dt)_0$ 、および陽極への流出分に大きく影響する飛躍逆電圧 ΔE もあわせて示した。図 4.6 は各流出分および励弧切れが起っている時の励弧電流 I_e の波形である。図 4.5 の I_e および I_w は陽極電流消滅位相の瞬間値、 $(I_{ar}+I_{gr})$ はそのセン頭値をプロットしたものである。励弧切れはこれらの流出分により、励弧アーク特性および励弧回路特性に関して次のようにして生ずるものと考えられる。今図 4.7 のように励弧回路の電源電圧を V_0 、励弧電流制限抵抗を R とし、曲線 A を R の電圧降下曲線、B を励弧極アーク電圧特

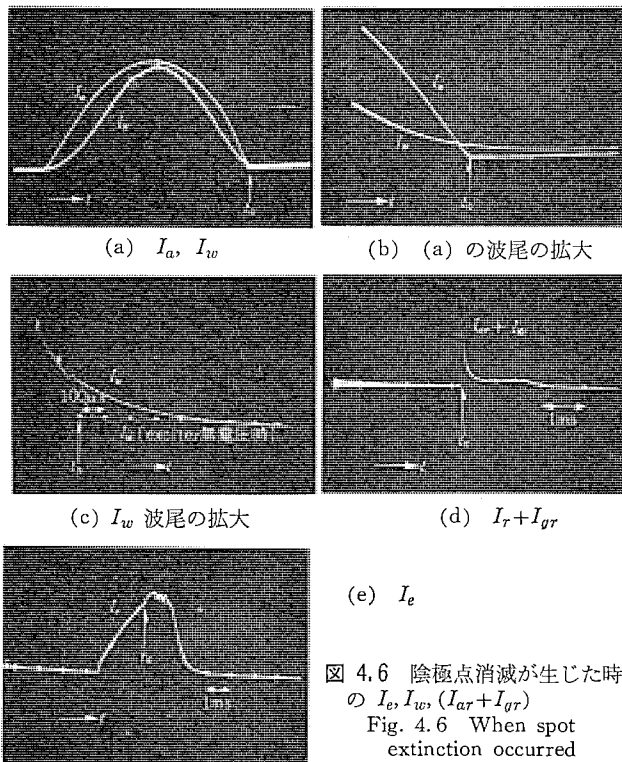


図 4.6 陰極点消滅が生じた時の $I_e, I_w, (I_{ar}+I_{gr})$
Fig. 4.6 When spot extinction occurred

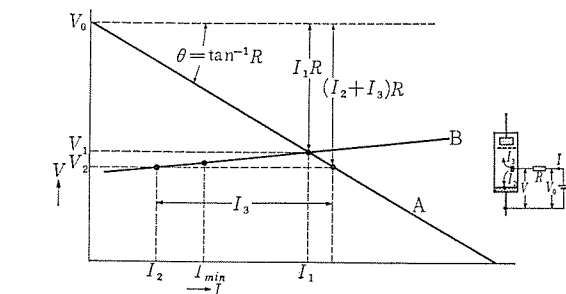


図 4.7 励弧アーク特性と陰極点電流減少分の関係
Fig. 4.7 Graphical analysis of relation between excitation arc characteristic and decrease in cathode spot current.

性曲線とすると、流出のない場合励弧アークは両曲線の交点の状態、すなわちアーク電圧 V_1 、アーク電流 I_1 、である。流出現象のため励弧電流の流出分 I_3 が生ずると R の抵抗降下はそのためにならふえようとし、それだけアーク電圧は下がるからアーク電流は減少しなければならない。すなわち抵抗降下は $(I_2+I_3)R$ となり、アーク電圧は $V_0-(I_2+I_3)R=V_2$ に下がってアーク電流は I_2 になる。この I_2 が陰極点保持に必要な最小電流 I_{min} よりも減った時、陰極点の消滅する確率が生ずると考えられるのである。アーク電圧曲線 B の傾斜はわずかであるから、流出した励弧電流分がそのまま陰極点電流の減少分であると考えられることができる。前述の各流出分は荷電体密度分布などを仮定することによって解析できるがここでは紙数の都合で省略したい。

5. 試作陰極無絶縁形エキサイトロンの特性

5.1 構造

2 章に述べたところから、アークシールドを用いることなく陰極無絶縁化を行なうためには、次の諸点の対策を講ずればよいことがわかる。

(1) 通常の負荷電流では陰極点の 2 次的転移は励弧アークの失弧後再点弧によるから、励弧電圧をできるだけ低くしてタンクへの再点弧を防止する。

(2) 励弧電圧を下げると再点弧確率が減るが、それだけ励弧の不安定性が増す。したがって励弧電流の効果的な増強をはかるとともに励弧極の構造および配置を工夫し、励弧の安定化をはかる必要がある。

(3) 励弧電流流出分を減らすため不必要な電極表面の露出を避け、あるいはプラズマ中心部から適当に隔離し、なるべく浮遊電位をとらせ、かつ回路的にも流出分に対し高インピーダンス回路となるよう工夫する必要がある。ただしこれらは、点弧電圧、アーク電圧、逆弧耐力などとの協調をはかることが重要である。

(4) そのほか 1 次的転移を防止するために、陰極点の漂動する水銀面をタンクから隔離する必要があることは当然である。

図 5.1 に試作器の陰極部の構造の概要を示す。これは水冷排気式イグナイトロン(定格電流 300 A)を改造したもので、上述の諸条件を満たすための考慮が払われている。アークリングの外側の水銀面を陰極シャヘイ板でシャヘイしているが、これは 1 次的転移を防止するためのもので、電気的に浮遊しており、また水銀の滞留を防ぐため適当な傾斜をもたせてある。

励弧極の形状と配置には最も苦心したが、その結果従来のものとはかなり異なって、グラファイト製環状電極を陰極面から至近距離に設けることによって、20 V の低い励弧電圧でもきわめて安定な励弧特性を得ることに成功した。従来の棒状励弧極でも長さおよび配置を適当にすれば相当よい結果が得られる。最初の点弧には

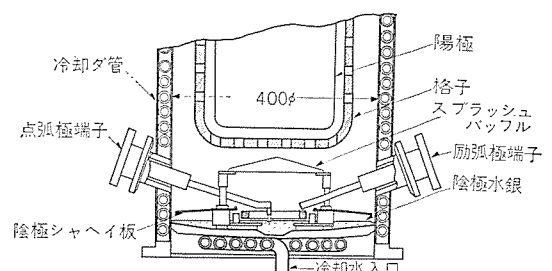


図 5.1 陰極無絶縁形エキサイトロンの陰極部構造
Fig. 5.1 Structure of unshielded cathode of newly-developed excitoron.

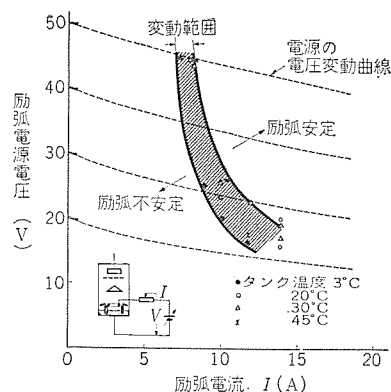


図 5.2 試作器の無負荷時の安定励弧に必要な最小励弧電圧および電流
Fig 5.2 Minimum excitation voltage and current necessary for stable excitation of newly-developed excitron with uninsulated cathode when it is in no-load operation.

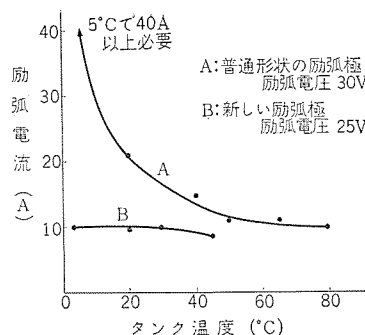


図 5.3 試作器のタンク温度と無負荷時安定励弧に必要な励弧電流の関係
Fig. 5.3 Relation between cylinder temperature and minimum excitation current necessary for stable excitation of newly-developed excitron with uninsulated cathode when it is in no-load operation.

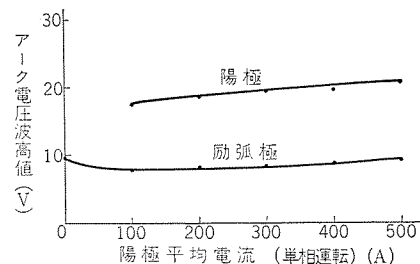


図 5.4 試作器の陽極および励弧極のアーキ電圧特性
Fig 5.4 Arc voltage characteristics of anode (upper) and exciter of newly-developed excitron with uninsulated cathode.

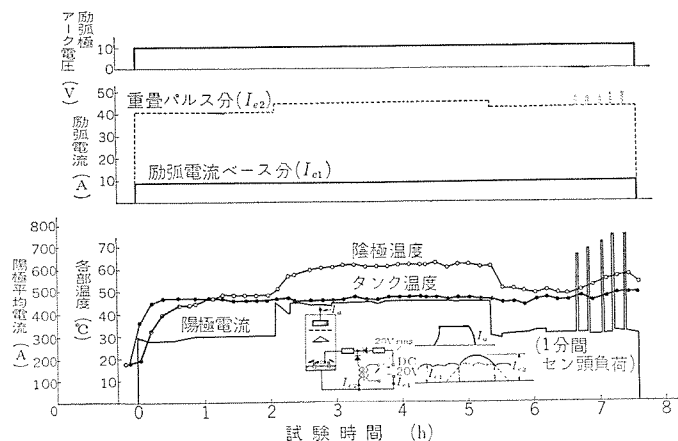


図 5.5 試作器の過負荷試験 (三相運転)
Fig. 5.5 Overload test of newly-developed excitron with uninsulated cathode (three-phase rectifier operation).

イグナイタをそのまま使用した。陽極および格子付近の構造については従来のものとくち変わった点はない。

5.2 励弧特性

図 5.2, 5.3 に無負荷運転時の安定励弧に必要な励弧電圧, 電流をタンク温度を変えて求めた結果を示す。3°C の低温でも 25 V 10 A で十分であり、アーキ電圧は 10 V 一定で、固定陰極点のような安定性を示した。温度による限界電流値の変化はわずかである。図 5.3 の通常の励弧極の特性と比較してその特長が明らかである。図 5.4 は低圧負荷試験中に陽極および励弧極のアーキ電圧を求めたもので、励弧極アーキ電圧は 9~10 V で負荷電流の有無あるいは大きさにほとんど関係しない。主アーキは励弧極の開孔部を貫通するようになっているが、通常の単極形整流器と同じように低い。

5.3 負荷試験

図 5.5 に励弧アーキの失弧およびタンク転移の有無を調べるために行なった低圧過負荷試験の結果を示す。この結果から明らかに運転中陰極点転移は全く認められず、タンク温度 45°C でセンテリ極平均電流 600 A (200% 過負荷) のくりかえしにもきわめて安定な運転を行なうことが確認された。この場合の励弧方法は図 5.5 に付記したように直流電流に陽極電流消滅位相で交流半波を重ねたもので、従来の衝流を利用する方式に比べはなはだ簡単な回路構成であるが、位相制御による陽極電流消滅位相の変動を十分カバーし、安定な励弧を行なうことができる。励弧電圧は

20 V の低値であり、励弧電力は直流ベース電流と重畳交流半波電流の合計で 620 W で従来のエキサイترونより消費電力が少ない。

なお別途等価試験による高圧負荷試験の結果では、タンク温度 45°C 連続陽極平均電流 300 A において飛躍逆電圧 3.5 kV 以上に耐えた。試作器は単格子であるから 2 重格子にすれば六相、1500 V 2,000 kW 用として十分な容量を有するものとみられる。

6. む す び

従来のエキサイترونはタンクと陰極の間の絶縁部に構造上の弱点があり、一方イグナイترونは点励弧所要電力がエキサイترونより若干上回る欠点があった。

陰極無絶縁形エキサイترونは両者の長所を兼ね備えたものであり、最近欧州では活発な研究が行なわれ、すでに数 1,000 kW 級の製品が実用化している。陰極無絶縁形エキサイترونにおける最も大きな問題は陰極点の安定な保持とタンクへの転移防止であるが、当社ではこれらに関する一連の基礎研究の結果、アーキシールドを用いない当社独特の陰極無絶縁形エキサイترونを開発した。この新形エキサイترونはすぐれた励弧特性を示し、高圧逆流試験、過負荷試験に異常なく耐え、六相 1,500 V 2,000 kW 級整流器として十分な耐量を有することが確認された。目下、伊丹製作所において実用器の製作が進められているが、今後モータやそのほか電圧制御を必要とする工業用電源として一般に広く使用されるものと期待している。

終りにのぞみ、この研究に対する当社電気第一研究室安藤室長の絶えざるご指導と、伊丹製作所整流器設計二課課長、塚本同課係長ならびに電機工作課関係各位のご協力に深く謝意を表するとともに、終始実験に尽力された当所電気第一研究室山田敏彦氏に厚くお礼申し上げる。(昭 37-11-7 受付)

参 考 文 献

- (1) たとえば AEG Mitt. 3/4, p. 107, (1961).
- (2) H. V. Bertele: PIEE, 101, Pt. II, 493, (1954).
- (3) L. B. Loeb: Basic Processes of Gaseous Electronics, Chap. IV p. 354, Univ. of California Press, (1955).
- (4) H. V. Bertele: Brit. J. appl. Phys., 3, Nov., 358, (1952).
- (5) G. Mierdel: Z. tech. Phys. 17, 452, (1936).

強磁性蒸着薄膜の試作

野口英男*・上坂達生*

Experiments on Evaporated Magnetic Thin Films

Research Laboratory Hideo NOGUCHI・Tatsuo UESAKA

Evaporated ferromagnetic thin films, which have been extensively studied in recent years, offer a matter of great interest to both scientific and practical fields. Experiments being set about for making evaporated thin films adaptable to the high speed computer memory, the purity, thickness, chemical composition and magnetic property of thin films have been studied in connection with the depositing condition. As a result it has been made possible that a group of small circular films completely in the same direction as for the magnetic easy axis is formed on the surface of glass substrate by depositing in magnetic field.

1. ま え が き

真空蒸着や電着などによって、適当な下地面上に形成された厚さ 1μ 以下の磁性金属薄膜は、それが角形ヒステリシス特性を持ち、かつその磁化反転速度がきわめて早い ($1\sim 10\times 10^{-9}$ 秒) ことが発見⁽¹⁾されてから、高速度電子計算機の記憶素子として大いに期待されるようになった。もちろんこの磁性金属薄膜の応用面としてはパラメロン素子、強磁性共鳴素子など多くの分野があるが、前記の発見を契機として磁性薄膜についての理論的研究が急激かつ精力的に実施され、その物性に関する多くの事柄が明らかになった。そして、これに続いて行なわれた技術的研究の成果として、ここ 1~2 年来磁性金属薄膜をその記憶素子に用いた高速電子計算機がわずかではあるが実用されはじめた。

しかし、なおこの磁性金属薄膜については、理論的にも技術的にも不明な点がきわめて多く残されており、実際にある目的に適するもの、たとえば、記憶素子に用いる磁性薄膜を製造する際などに発生する多くの問題を、簡明に解決することはほとんどできない状態で、結局試行錯誤によって前進させざるをえない。

そこで、われわれはこの磁性金属蒸着薄膜の研究をはじめるとあたり、まず高速度電子計算機用記憶素子として使用できるものを製作することを目標として選び、この目的に適するものをつくるための第一段階として、薄膜の純度・組成・厚さ・磁気特性などに対する各種蒸着条件の影響について実験した。

2. 実験方法

2.1 蒸発源の配合組成

ここで報告する実験では、いずれもその蒸発源として鉄 20% ニッケル 80 % の配合組成のものを用いた。用いた鉄とニッケルに含まれるおもな不純物は表 2.1 の化学分析結果のとおりである。それぞれ $1\sim 0.5\text{ cm}^3$ 程度の破片状塊とし、まず表面のサビの荒落しを行ない、アセトン 中に入れてよく洗浄したのち、純水素中 $1,200^\circ\text{C}$ で 3 時間純化処理を行なって、炉中放冷後取り出して計量し、

表 2.1 原料の化学分析結果

原 料	不 純 物 Wt%							
	C	Si	Mn	P	Co	Fe	Mg	Cu
電解鉄	0.113	0.003	0.083	0.004	—	—	—	—
電解ニッケル	—	0.005	<0.001	—	0.85	0.004	0.001	0.001

* 研究所

鉄 20 g と ニッケル 80 g 計 100 g を蒸発用 ルツボに入れて用いた。

2.2 蒸着方法と装置

(1) 蒸着操作: 計 100 g の原料を入れたルツボを図 2.1 に示す真空蒸着タンク中に設置し、下地板を適当なマスクとともに、その加熱ブロックに装着して所定位置に置き、タンクを密閉したのち真空系を働かし、図 2.2 に示すごとく、真空度が 2×10^{-6} Torr 以下になってからヒータコイル用電源である高周波発振器を起動して、蒸発源温度をゆっくり上昇させる。同時に下地加熱ブロックのヒータ電流を増してその温度を 300°C まで上昇させ、下地板および原料の脱ガスを行ないつつ、蒸発源温度をさらに上昇させて原料を溶解させ、その温度がほぼ一定になりかつ真空度が $5\sim 10\times 10^{-6}$ Torr 以下になったのち、シャッターを開いて蒸着を開始し、所定時間経過後シャッターを閉じて蒸着を完了するようにした。

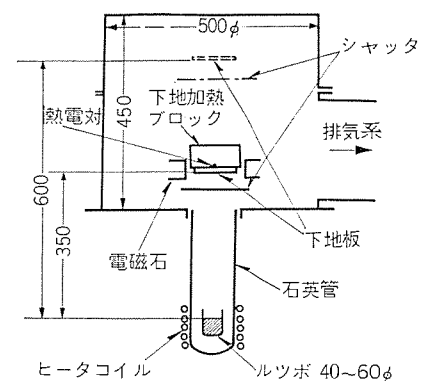


図 2.1 真空蒸着タンクの概要

Fig. 2.1 Schematic diagrams of vacuum evaporating apparatus.

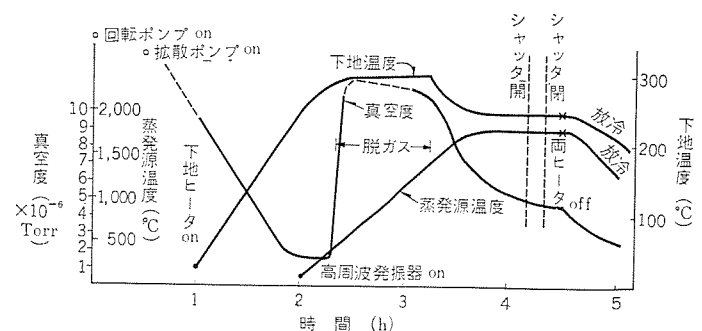


図 2.2 真空蒸着工程の例

Fig. 2.2 An example of vacuum evaporating process.

(2) 蒸着装置：図2.1の蒸着タンクは斜入射角効果⁽²⁾と下地面上的位置による膜厚さの差を極力小さくできるように、蒸発源と下地との距離は600 mmまでとりうるようにつくられており、また蒸発源の径は、60 mmまでひろげられるようになっている。

また加熱用電源は10 kW、450 kcの高周波発振器で、加熱用のコイルは真空タンク外に置かれている。なお排気系としては、1,500 l/secの油拡散ポンプと1,500 l/minの油回転ポンプとを用いている。

(3) 下地：薄膜を蒸着する下地板としては、厚さ0.2~0.6 mmで50×50 mm²の大きさの平滑なガラス板を、つぎの順序で洗浄して用いた。

まず、ガラス板を濃硫酸の重クロム酸カリ飽和溶液中に24時間以上浸せし、取出して蒸留水でよく洗浄したのち、純アルコール中で十分振り洗いを行なって取り出し、表面についたアルコールを手早くカーゼでふき取った。

(4) 蒸発源：図2.3は蒸発源の構成を示す。図中の保温材としては最初グラファイトルツボを用いたが、悪影響があることがわかったので、タングステン線に変更した。しかし、これでも膜の純度に影響することが明らかになったので、最終的には保温材を用いないようにした。

また、外側ルツボを設けたのは加熱中内側ルツボが割れて、溶湯が流出し石英管に直接接触することを防ぐためである。

(5) 膜厚の制御：この実験ではもっぱら高周波発振器の出力と蒸着時間を調整して膜厚を制御した。

2.3 薄膜の特性測定

真空蒸着して得られた薄膜については、その厚さ、抵抗および10 kcでの磁化特性を、それぞれつぎに示す方法で測定した。

(1) 膜の厚さ：下地板に蒸着した磁性薄膜および膜のない

部分の上をおおるように、別の真空蒸着装置を用いて鉄またはアルミニウムを蒸着し、厚さ約200 Åの反射膜を形成させ、くりかえし反射干渉計を用いて膜厚さを測定した。

図2.4はくりかえし反射干渉計の原理図を示し、図2.5は試料部分の構成を示す。図2.5の磁性薄膜のついた部分とない部分との境界では図2.6にみられるようにシマ模様のずれが観察され、このずれとシマの間隔とを図2.7に示すごとく Δa 、 a とすれば、パーマロイ膜の厚さ t は式(2.1)から求められる⁽³⁾。

$$t = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\Delta a}{a} = 2730 \cdot \frac{\Delta a}{a} \text{ Å} \quad (\lambda = 5460 \text{ Å}) \quad \dots\dots(2.1)$$

この a と Δa を正確に求めることができれば、膜の厚さ t も正確に得られるが、そのためには図2.6にみられる干渉シマの明暗の差が大きいかつシマが極力細い線になることが必要で、最良の状態での測定精度は $\pm 10 \text{ Å}$ といわれているが、現在の膜厚測定精度は $\pm 50 \text{ Å}$ である。

(2) 膜の電気抵抗：蒸着膜の一部を下地板といっしょに幅5 mmに切断するか、他の測定に用いる膜と同時に近接位置で幅5 mmに蒸着したもののいずれかを試料とし、この両端部に電流端子を蒸着し、図2.8に示すごとく4端子法で膜の電気抵抗を測定した。

図2.8で膜の電圧端子間の抵抗 R_X は式(2.2)から

$$R_X = \frac{V_X}{V_s} \cdot R_s \text{ (Ω)} \quad \dots\dots(2.2)$$

また膜の比抵抗 ρ は電圧端子間隔を l 、膜の厚さと幅をそれぞれ t と b とすれば式(2.2')から求められる。

$$\rho = R_X \cdot \frac{l}{b \cdot t} \text{ (Ω-cm)} \quad \dots\dots(2.2')$$

この方法で膜の抵抗を求める際の誤差は、式(2.2)の R_X に対

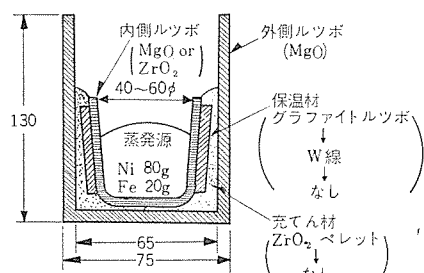


図 2.3 蒸発源の構成
Fig. 2.3 Construction of evaporating source.

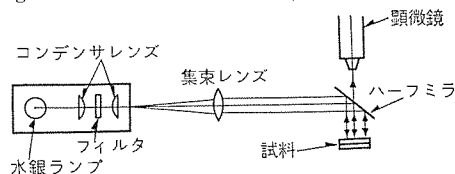


図 2.4 繰り返し反射干渉計の原理図
Fig. 2.4 Principle of multiple beam interferometer.

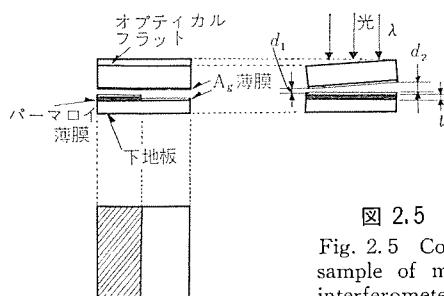


図 2.5 試料構成
Fig. 2.5 Construction of sample of multiple beam interferometer.

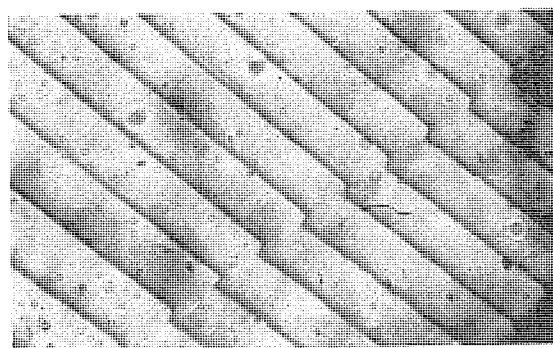


図 2.6 干渉シマ模様
Fig. 2.6 An example of interferogram.

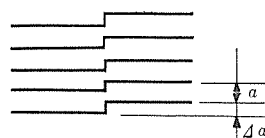


図 2.7 測定位置の説明
Fig. 2.7 An example of measuring position.

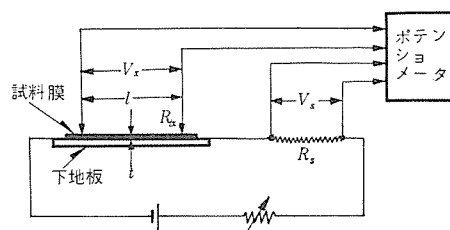


図 2.8 抵抗測定回路
Fig. 2.8 A measuring circuit of electrical resistance.

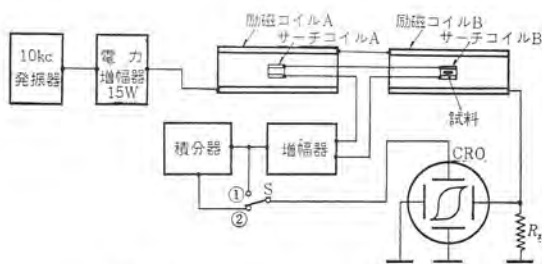


図 2.9 10 kc 磁化特性測定回路
Fig. 2.9 Block diagram of 10 kc hysteresis loop tracer.

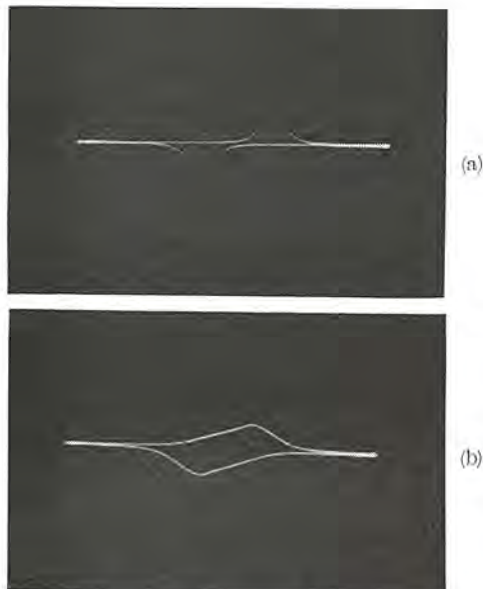


図 2.10 $e-H$ ループの例
Fig. 2.10 Example of $e-H$ loop.

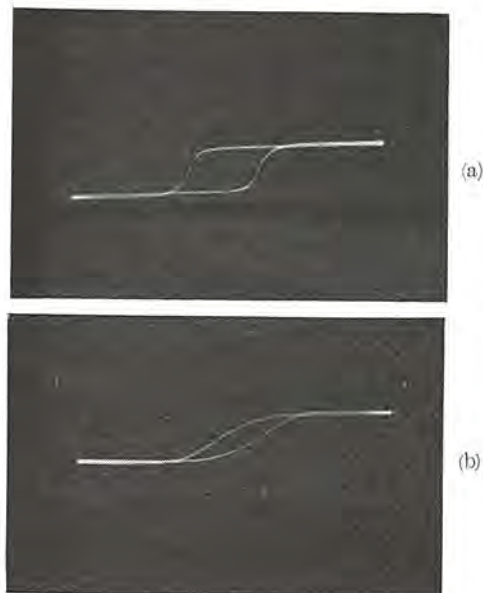


図 2.11 $4\pi M-H$ ループの例
Fig. 2.11 Example of $4\pi M-H$ loop.

しては $\pm 0.1\%$ 以内と考えられるが、式 (2.2') の ρ に対しては厚さの測定誤差が $\pm 50\text{\AA}$ あるため膜厚の薄いものほど誤差が大となる。

(3) 膜の磁化特性: $50 \times 50 \text{ mm}^2$ の下地板の全面に広く蒸着磁性蒸着薄膜の試作・野口・上坂

着したものについては、その一部から幅 $5 \sim 10 \text{ mm}$ の短冊状薄膜を下地板といっしょに切断し、また径 5 mm の小円形に蒸着したものについてはそのおのおのを下地板といっしょに切取って試料とし、図 2.9 の回路を用いて 10 kc での磁化特性を測定した。

図 2.9 において、励磁コイル A, B およびサーチコイル A, B はそれぞれ同一形状・寸法のコイルで、前者は内径 32 mm 、巻数 650 回 1 層巻、巻長さ 113 mm 、後者は $3 \times 12 \text{ mm}^2$ の断面をもつ 100 回巻きのコイルである。そして、スイッチ S を①側に倒せば CRO 面上には図 2.10 のような $e[nA \cdot d(B-H)/dt] - H$ 曲線が得られ、 S を②側に倒せば図 2.11 のような $4\pi M(=B-H) - H$ 曲線が得られる。ここで、 e は薄膜内の磁束中サーチコイルに鎖交する分による誘導電圧、 n はサーチコイルの巻数、 A は薄膜の断面積、 B はサーチコイルに鎖交する薄膜内の磁束密度、 H は薄膜の位置の磁化力、 M は薄膜の磁化の強さを示す。

また、図 2.10, 2.11 において、(a) は薄膜の磁化容易方向について得られたものであり、(b) は磁化困難方向について得られたもので、これらは、サーチコイル B 内の薄膜試料を水平面内で回転させて測定したものである。

ところで、この測定の精度であるが、まず縦軸の e あるいは $4\pi M$ については、試料膜の厚さとサーチコイルの厚さとの比が $1:10^4$ 程度であり、試料膜を通った磁束が全部サーチコイルに鎖交するとは考えられないので、たとえ試料膜ごとに磁束分布の様子が変わらないとしても、相対的な値しか得られない。一方横軸の H については、試料位置の磁界 H と CRO の横軸上の目盛との関係を正確に更正して置けば、CRO 面上の輝線の太さからくる読取り誤差のみで、その大きさを $\pm 3\%$ 以下とすることは可能である。また、磁化容易方向および困難方向の判定感度は $\pm 5^\circ$ であまり高精度とはいえない。

2.4 成分分析

蒸着源の組成、薄膜の組成は、分光分析法・一般の化学分析法・湿式微量分析法および X 線回折による格子常数から求める方法によって調べた。また、薄膜中の微量不純物については分光分析法によって定性的に求めた。

3. 実験結果と検討

3.1 薄膜の純度・抵抗・磁化特性

図 2.3 の蒸着源構成中保温材を除いて磁界中蒸着を行なった試

表 3.1 磁界中蒸着膜の特性例

試料	ヒータ出力 ($\text{kV} \times \text{A}$)	蒸着時間 (min)	厚さ ($\text{\AA}$)	蒸着速度 ($\text{\AA}/\text{min}$)	真空度 (Torr)	保磁力 (Oe)
D-1	5.4×1.3	10	1,250	125	2.1×10^{-5}	2.9
D-2	5.4×1.35	9	1,600	155	1.5×10^{-5}	2.9
D-3	5.4×1.3	11	2,200	200	1.4×10^{-5}	3.4 *
D-4	5.4×1.3	9	1,850	205	1.1×10^{-5}	11.0 *
D-5	5.2×1.25	5	500	105	8.7×10^{-6}	2.8
D-6	5.1×1.3	10	3,200	320	1.5×10^{-6}	2.2
D-11	5.0×1.2	10	2,300	230	9.4×10^{-6}	7.9 *
D-12	4.8×1.2	6	1,200	200	8.2×10^{-6}	1.9
D-21	4.9×1.2	7	1,300	190	1.3×10^{-5}	1.9
D-22	4.9×1.25	10	2,100	210	9.0×10^{-6}	7.1 *

- 注 1. 蒸着源はマグネシウムを使用
2. 保温材 なし
3. 下地温度 250°C
4. 印加磁界 300 Oe
5. 径 5 mm の小円形に蒸着したものである
6. 下地と蒸着源の距離 250 mm
7. * 印は石英管内面に汚れていたもの

料の特性例を表3.1に示した。この実験より前に保温材としてタングステン線を内側ルツボに巻付けて蒸着したものでは、比抵抗が $15\sim60\mu\Omega\text{-cm}$ 、保磁力が $3\sim30\text{Oe}$ であったのに比べ、このものは相当高純度になっていることがわかる。またこの点は薄膜の分光分析の結果からも判断できた。

この表中大きな保磁力を示した試料は、いずれも実験直後の調査で、さきの図2.1における石英管内面が多少汚染したままで蒸着されたものであることが知られた。このようなものを除けば、すなわち以上に示した方法および装置で、蒸着開始前に蒸着タンク

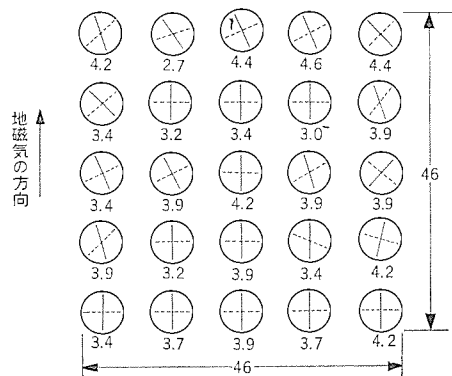


図 3.1 磁界なしで蒸着した膜の磁気特性のパラッキ
Fig. 3.1 Variation of magnetic easy axes and coercive force of thin films deposited without artificial magnetic field.

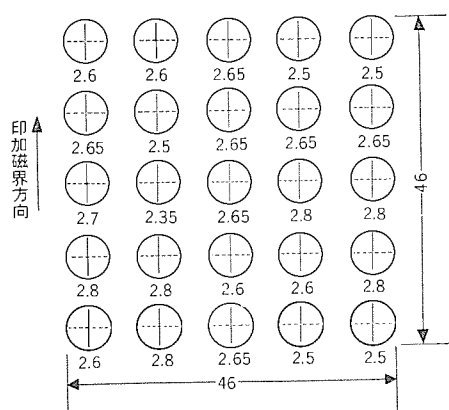


図 3.2 300 Oe の磁界中蒸着した膜の磁気特性のパラッキ
Fig. 3.2 Variation of magnetic easy axes and coercive force of thin films deposited in 300 Oe.

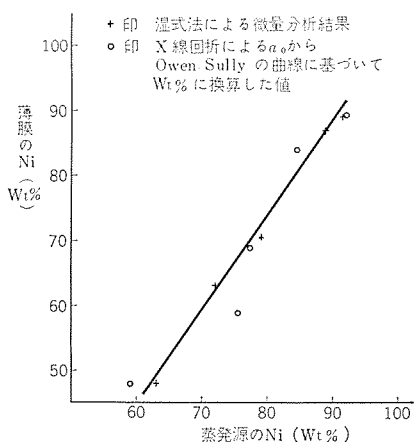


図 3.3 蒸着源組成と薄膜組成の関係
Fig. 3.3 Relation of chemical composition between the evaporating sources and deposited films.

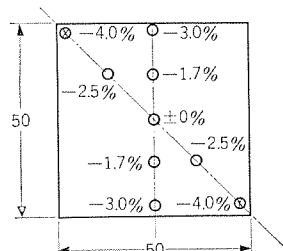


図 3.4 場所による厚さの差
Fig. 3.4 Variation of thickness in a film.

内面の汚れを取除いて蒸着を行なえば、一応保磁力 2Oe 程度の厚さ $1,000\text{Å}\sim2,000\text{Å}$ の薄膜をつくることは可能である。

しかし、これらの内にはルツボ材からのマグネシウム、および蒸着源材料中の不純物などが含まれており、十分高純度であるとはいえない。

つぎに図3.1および図3.2は、径 5mm の穴を 5×5 個もった厚さ 0.1mm のマスクを下地面上にあてて蒸着した試料の各小円形薄膜の特性例を示し、図中各小円の下にその保磁力を、円内にその磁化容易方向と困難方向とを示した。

磁界をかけずに蒸着した図3.1の例は、保温材にタングステン線を用いたものであり、保磁力の値もやや大きくかつその位置による差も小さいとはいえない。しかし、磁化容易方向に関しては地球磁界方向に比較的良くそろっており、いわゆる斜入射角効果による方向性はほとんど現われていない。この例からみて、われわれの装置・方法では蒸着中に磁界を加えることによって、小円形薄膜の磁化容易方向を一方向にそろえることが可能であると考えられた。

そこで、約 300Oe の磁界中で蒸着を行なった結果は、図3.2の例にみられるごとく、各小円形薄膜の磁化容易方向の印加磁界方向からのかたよりは検出できなかった。また、保温材を用いないでタンク内を清浄に行なえば、このように位置による保磁力の差も小さくでき、同一下地面内の各素子間の特性偏差としては、一応電子計算機用記憶素子として使用可能な範囲にあると考えられる。

3.2 薄膜の組成

ここで報告する実験はすべて鉄とニッケルを $20:80$ の割合で配合した蒸着源を用いて行なったのであるが、数回の蒸着実験を行なったのちの溶塊の組成は鉄が $18.1\sim19.4\%$ 、ニッケルが $80.2\sim80.4\%$ となった。

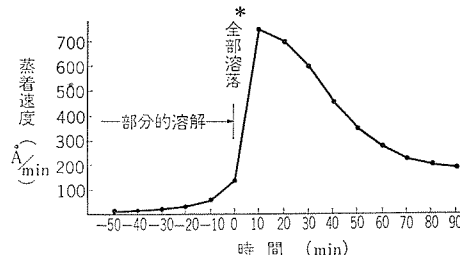
一方蒸着膜の個々についての分析は行なわなかったが、配合組成を変えてつくった溶塊を用いて、保温材を用いない方法で約 200Å/min の蒸着速度で 10 分間蒸着した薄膜と、それに用いた溶塊との両者について組成分析を行なってその関連を求めた結果は図3.3のとおりである。

図に見られるごとく、多少乱点があるがほぼ直線関係が成立している。この結果とさきの溶塊分析値との関係から試料薄膜の組成は鉄 26% 、ニッケル 74% 程度であることがわかり、また、ニッケル $78.5\sim80\%$ の薄膜⁽⁴⁾を得るためには、われわれの装置・方法では蒸着源組成としてニッケル $83\sim84\%$ のものを用いる必要がある。

この点とさきの純度についての改善を行なえば、薄膜の保磁力を 1Oe 以下にすることは可能であると考えられる。

3.3 蒸着速度と薄膜の厚さ

2.2 項で述べたように斜入射角効果と位置による膜厚の差とを



注 1. * 印の点は蒸着源直上にグローが発生する
2. 内径 60mm マグネシウムルツボが保温材なし
3. 発振器 出力 $5.4\text{kV}\times1.3\text{A}$

図 3.5 蒸着速度の変化の例
Fig. 3.5 An example of change of depositing rate.

極力小さくするために、下地と蒸発源の距離を 600 mm までとるようにしたが、この距離を 600 mm にすると、高周波電源出力を最大にしても約 100 A/min の蒸着速度しか得られず、これでは蒸発源組成と蒸着膜組成との差が大となり⁽⁵⁾、またタンク内ふんい気から不純物を拾い込む割合も多くなると考え、実験はすべてこの距離を 350 mm として行なった。

このように、下地と蒸発源の距離を 350 mm とした時の蒸着速度は、高周波電源の出力(陽極電圧×陽極電流)を調整することにより、100~700 A/min にすることができ、また、内側ルツボ(図 2.3)の内径を 50 mm とし、蒸着面積を 50×50 mm² とした時の蒸气流の下地面への斜入射角は ±6° 程度で、いわゆる磁気異方性に対する斜入射角効果が多少生ずるのではないかと懸念されたが、結果は 3.1 項で述べたごとくほとんど無視しうる程度であった。

一方、上と同様の下地板および内側ルツボを用いて、約 200 A/min の速度で 10 分間蒸着した場合の下地面上の位置による膜厚の差は図 3.4 のとおりである。これは各測定点について 10 回ずつ測定して平均厚さを求め、中央部の厚さと各点の厚さとの差の百分率で示している。なお、ここに示した例は 10 枚つくった同様の試料の内最も大きな偏差率を与えたもので、全体としては図中の○印の点で偏差 -2.5~4% であり、10 枚の平均値をとれば -3% となる。この厚さの偏差の点についても、3.1 項の保磁力の偏差と同様、実用可能な範囲にあるものと考えられる。

ところで、われわれは加熱を高周波によって行なっているので、蒸発源の温度はその形状と量に大きく左右されることが予想され、2.1 項に述べたごとく、いつも同じ形状の原料を同量ずつルツボに入れて実験するように注意した。しかし、溶湯の表面状態が異なれば当然温度が等しくても蒸発量が変化するはずである。

図 3.5 はその蒸発量の変化を下地面上に 10 分間ずつ蒸着させた膜の厚さによって描いたもので、この例は、下地と蒸発源の距離を 350 mm として実施したものである。

このように、全部溶落直後に最高の蒸着速度になり、その後しばらくして急激に蒸発量が減り、さらに時間が経過したところから蒸発量の減少割合が低下し、次第に一定の蒸発量に近づく傾向

を示すのは、原料およびルツボから出た不揮発性の不純物によって溶湯表面がおおわれるためであろうと考えられる。

現在は、上記の関係から溶湯の履歴、蒸着開始時期によってシャッタ開放所要時間を定め、あわせて電源出力を調整して膜厚の制御を実施しているが、所要厚さからの偏差は ±20% 程度で良好とはいえない。

この点に関しては、蒸発源材料としてより高純度のものを用いるとともに、ルツボの前処理、材質などについて検討を加え、溶湯表面の汚れることを極力減少させ、蒸発量の減少割合を小さくする必要がある。さらに、蒸発量を測定するか、蒸着中の膜の厚さを直接または間接に測定して、これによって膜厚さを制御する必要がある。

4. む す び

以上、真空蒸着方法によって記憶素子用の強磁性薄膜を製作するために行なった第 1 段階の実験結果について述べた。

まだ膜厚さの制御、膜の純度、組成などの点について検討改善すべき余地が多分にあるが、膜の保磁力および 1 枚の下地面上における磁性と膜厚の偏差などについては、一応実用可能段階に達したものと考える。

なお、この報告中化学分析と分光分析は化学第 2 研究室石橋主任研究員の、また X 線回折は材料研究室竹内技師の協力によって行なったものであることを述べ、謝意を表する。

(昭 37-10-31 受付)

参 考 文 献

- (1) H. S. Blois: J. Appl. Phys. **26** 975, (1955).
- (2) D. O. Smith, H. S. Cohen, G. P. Weiss: J. Appl. Phys. **31** 437, (1960).
- (3) S. Tolansky: Multiple Beam Interferometry of Surface and Films.
- (4) たとえば
F. B. Humphrey, F. W. Reynolds, G. R. Stillmel: 5th National Sym. on Vacuum Tec. Trans (A.V.S.), (1958).
- (5) たとえば
W. A. Blown: 5th National Sym. on Vacuum Tec. Trans (AVS) (1958).

訂 正

本誌 Vol. 36・No. 11「整流器式電気車における電圧変動率曲線」のうち誤を下記のように訂正いたします。

ページ	誤	正
4 (右) 5 行目	図 2.10	図 2.9
4 (右) 12 行目	つぎ事項が知られる	つぎの事項が知られた
6 (右) 28 行目	$\frac{V_r}{V_p}$, $u\mu$ ならびに	$\frac{V_r}{V_p}$, u , μ ならびに
7 (左) 図 3.7	Fig. 3.7 Calculated chart.....	Fig. 3.7 Calculation chart.....
7 (右) 21 行目	関係をめ,	関係を求め,

単アドレス計算機における命令のひん度

壺井 芳昭*・木村 孝之*

Frequency of Commands used for A Single Address Computer

Research Laboratory

Yoshiaki TSUBOI・Takayuki KIMURA

Principal characteristics of the sequence of commands in programs for a digital computer have been studied with the following details.

1. The number of each command used.
2. The transition probability between two commands.
3. The number of arithmetic commands between "Clear and Add" and "Store".
4. The length between "Branch" commands.

As a result, valuable information has been acquired for use in the design of new computers and program systems. The number of commands examined has amounted to ten thousands.

1. ま え が き

当社研究所に電子計算機 Bendix G-15D が設置されてからすでに4年になり、その間に各種の問題を解くために作られたプログラムは相当数なる。これらのプログラムを分析することにより、新しいプログラム方式あるいは計算機を設計するための資料を得る目的で、まずつぎの点について調査を行なった。

1. プログラムに用いられた各命令の使用ひん度
2. 2個の命令の間の遷移確率
3. "Clear and Add"と"Store"命令の間にあるArithmetic演算命令の数
4. "Branch"命令の間にある命令の数

プログラムを分析するにあたっては、プログラムの流れにあるルーが問題となる。ルーを考えに入れた場合の理論については章2でふれる。実際には計画の第一歩としてルーはただ一度だけ通るものとして分析したが、これはルーをくりかえし通るような、より一般的な分析を行なうための第一段階となるものである。

Bendix G-15D 自体はマルチアドレス方式を採用しているが、計算のほとんどは単アドレス方式のインタプリタ、Intercom 1000, によって行なわれている。したがって分析にはこのIntercom 1000の単アドレス方式の命令で書かれたプログラムを対象とした。この命令形式は付録に示すように、本来単アドレスである計算機の機械語と非常によく似た構成のものである。

計算機のアドレス方式として単アドレス方式は命令の形が単純であり、マルチアドレス方式の基本となるものである。単アドレス方式を採用している計算機あるいはプログラム方式は非常に多い。

分析の資料としたプログラム（以下、資料プログラムという）はおもに数値計算あるいは工学的な設計計算のためのものである。調査した資料プログラムの数は47でこれらの全命令数は約11,000個である。以下に分析のために作成した分析ルーの概要および資料プログラムに対する分析結果を示すとともに、それに対する検討を述べる。

2. 命令ひん度の測定

2.1 命令ひん度に対する考察

計算機がある命令、あるいは一連の命令を、ある期間に実行し

たひん度を正確に知るためには、その計算機内に特殊なカウンタを設けなければならないが、その期待値ならば、その期間に使用されたプログラムのコーディングシート（テープ）と計算機の運転記録から、ある程度推定することができる。その場合、使用されたプログラムのうちにルーが存在しなければ、コーディングシート上のひん度と、機械が実行したひん度とは厳密に一致するから問題はない。しかし一般にはルーの処理が問題となる。

いま、ある期間に $R_1 \cdots R_i \cdots R_n$ の n 個のルーチンによって計算機が稼動されたとし、各ルーチンの使用ひん度を μ_i とする。また、各ルーチン R_i に与えられるデータ X_i は (R_i のデータ空間を Ω_i として) Ω_i の上で、ア・リオリな分布 $\nu_i(X_i)$ をもつとする。すなわち

$$X_i \in \Omega_i, \int_{\Omega_i} \nu_i(X_i) dX_i = 1$$

つぎに、 R_i のコーディングシートから、 R_i が p 個のルー $L_{i1} \cdots L_{ij} \cdots L_{ip}$ からなっていることを知る。一般には、各ルーが多重ルーをなすことも多いが、たとえば図2.1のような場合には、 b と $a+c$ が各々1個のルーであると考え、そこで R_i にデータ X_i を与えて計算を実行したときに、各ルーを通る回数を $N_{ij}(X_i)$ とかけば、 Ω_i 上の N_{ij} の期待値は

$$\bar{N}_{ij} = \int_{\Omega_i} \nu_i(X_i) N_{ij}(X_i) dX_i \quad \cdots \cdots (2.1)$$

である。一方測定対象となる命令の各ルーにおけるひん度を f_{ij} とすれば、 R_i でのそのひん度の期待値は

$$f_i = \sum_{j=1}^p \bar{N}_{ij} f_{ij} = \sum_{j=1}^p f_{ij} \int_{\Omega_i} \nu_i(X_i) N_{ij}(X_i) dX_i \quad (2.2)$$

であるから、その期間に計算機が実行したひん度の期待値は

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_i \left[\sum_{j=1}^p f_{ij} \int_{\Omega_i} \nu_i(X_i) N_{ij}(X_i) dX_i \right] \quad \cdots \cdots (2.3)$$

として与えられる。

上式に含まれるパラメータのうちで、 f_{ij} と、 μ_i , $\nu_i(X_i)$ はそれぞれコーディングシート、運転記録から知ることができるが、 N_{ij} については実測が必要である。したがって、式(2.3)にもとづい

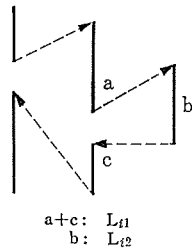


図 2.1
ループの表示法
Fig. 2.1
Notation of loops.

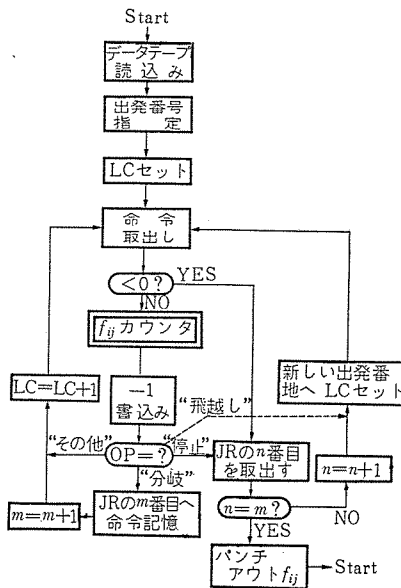


図 2.2 ひん度計数ルーチンのフローダイアグラム
Fig. 2.2 Flow diagram of frequency counter.

て、機械実行のひん度を求める手順は、主として、コーディングシート上の f_{ij} を計数することと、 $N_{ij}(X_i)$ を実測することからなりたっているといえる。

2.2 ひん度計数ルーチン

そこで、このプロジェクトの第一段階として、 f_{ij} を計数し、 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p f_{ij}$ を求めるための“ひん度計数ルーチン”（以後 FCR, Frequency Counter Routine と略す）を作成した。なお、 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p f_{ij}$ は式 (2.3) に $N_{ij}(X_i)=1$, $\mu_i=1$ を代入したものであって、各ルーチンがその期間に一回だけ使用され、与えられたデータに関係なく、各ループを一回だけ通るものと仮定した場合のひん度である。また別の表現をすれば、残されたコーディングシート上のひん度の総和であるといえる。

FCR は測定対象であるルーチンの流れを、計算を伴わないで追尾してゆきながら、種々の命令の出現ひん度を計数してゆくルーチンであって、Intercom 1,000 の制御ルーチンと同じロケーションにストアされている。以下図 2.2 のフローダイアグラムを参照して、FCR を簡単に説明する。

まず、Intercom 1000 用語で書かれたデータテープ (R_i) を読み込み、実際に演算を行なうときとまったく同じ状態でストアする。そこで、何番地から追尾を始めるかを指定すれば、ロケーションカウンタ LC にその番地をセットして追尾をはじめる。すなわち LC で指定されたロケーションの命令を取り出してきて、“ f_{ij} カウンタ”で計数し、その番地には -1 を入れて、その番地の命令の計数処理が終わったことを示す。そして LC を 1 だけ増してつぎの命令を取り出してくる。取り出した命令が分岐命令の場合には、その計数処理が終わったあとで、その命令をジャンプレジスタ JR の m 番目（最初は $m=n=0$ にセットしてある。）にストアしておいて、 m を一つ増す。そして分岐命令のつぎの命令から追尾を再開する。また、取り出した命令が停止命令であったり、-1 の場合には、JR の n 番目の内容で LC をセットして n を 1 だけ増しておき、新しい出発番地から追尾をはじめる。

上の過程を、 $m=n$ になるまで続けた後、“ f_{ij} カウンタ”の結果を、あとの処理のため紙テープにパンチアウトする。

3. 命令のひん度

3.1 各命令の使用ひん度

計算機を設計する場合、その計算機によって実行される各命令のひん度が、あらかじめわかっているならば、各命令の演算速度を合理的に決定することができる。たとえば、非常にひん度の高い命令に対しては、できるだけその演算速度を早くすることが必要である。一方、ひん度の非常に小さい命令で、その命令と同じ演算を、ほかの命令を何個か用いることによって実行できる場合は、それを廃止することも考えられる。これは新しい計算機を設計する場合だけではなく、新しいプログラムシステム（インタプリタなど）の計画にも有益な資料となるだろう。

命令のひん度の計数は、前述のひん度計数ルーチン FCR の f_{ij} ひん度計数ルーチンによって行なわれる。FCR は、資料プログラムの命令を順々に取り出し、その取り出された命令の OP 部（付録参照）によって分類を行なう。そして各 OP コード、45 種類、についてその出現ひん度を計数する。

資料プログラムの命令 10,577 語に用いられた全命令についてひん度を測定し、それから各命令の出現率を求めた結果を表 3.1 に示す。一部の命令をのぞき、大部分の命令はインデックスレジスタによりアドレス部の変更が可能であり、これらの命令に対してはインデ

表 3.1 各命令の出現ひん度 (%)

命 令	インデックスされていない	インデックスされている	計
Store	18.00	1.56	19.56
Clear and Add	14.14	1.66	15.80
Multiply	11.54	0.63	12.17
Add	6.70	0.42	7.12
Subtract	5.48	0.37	5.85
Divide	4.59	0.10	4.69
Unconditional Transfer	4.47	0.02	4.49
Perform Subroutine	2.73		2.73
Clear and Subtract	2.39	0.09	2.48
Increment Word Base and Jump		2.38	2.38
Floating point data Input	1.97	0.08	2.05
Assign Word Base		2.02	2.02
Type Floating point number and Tab.	1.53	0.04	1.57
Mark Place and Transfer 1	1.44		1.44
Carriage return and/or Tab.	1.35		1.35
Assign Word Difference		1.31	1.31
Assign Word Limit		1.28	1.28
Type Fixed point number and Tab.	0.83	0.18	1.01
Assign Channel Base		1.00	1.00
Type Floating point number and C.R.	0.85	0.07	0.92
Transfer if (AR) < 0	0.81	0.02	0.83
Transfer if (AR) = 0	0.80	0.02	0.82
Return to Marked Place 1	0.80		0.80
Inverse Divide	0.74	0.02	0.76
Mark Place and Transfer 2	0.64		0.64
Ring Bell	0.62		0.62
Transfer if (AR) ≥ 0	0.55		0.55
Halt	0.50		0.50
Fixed point number Input	0.41		0.41
Break Point Halt	0.34		0.34
Type Fixed point number and C.R.	0.31	0.02	0.33
Return to Marked Place 2	0.32		0.32
Increment Channel Base and Jump		0.31	0.31
Read Punched Tape	0.22		0.22
Clear and Add Absolute Value	0.16	0.05	0.21
Write Magnetic Tape	0.17	0.01	0.18
Assign Channel Difference		0.17	0.17
Assign Channel Limit		0.17	0.17
Command Type In	0.14		0.14
Write File No. on Magnetic Tape		0.12	0.12
Type Tabulating Number	0.06	0.05	0.11
Do Nothing	0.07	0.02	0.09
Search File No.	0.01	0.05	0.06
Read Magnetic Tape	0.02	0.02	0.04
Type Command from Memory	0.01		0.01

Total 10,577 words

表 3.2 演算の種類別にみた命令の出現率

演 算 の 種 類	出 現 率 (%)
Arithmetic	71.4
Control of Transfer	10.0
Index register	8.6
Out put	5.5
Input	2.9
Others	1.6

レジスタが用いられた場合と、用いられていないものとのわけて分類を行なっている。表 3.1 では両方の合計の出現率が大きいものの順にならべた。表 3.2 は、これらの結果を命令の機能別に六つの組に分けて、各組に対する出現率を計算したものである。Arithmetic には四則演算に関する命令のほか“Store”および“Perform Subroutine”の命令を含む。後者は、サブルーチンのほとんど全部が $\sin x$, $\log x$ あるいは $\sqrt{x}$ など関数計算のためのものなので Arithmetic のなかに入れた。“Control of Transfer”はプログラムの流れを制御するための命令で“Unconditional Jump”や“Branch”の命令を表わす。

これらの結果から 70% 以上の命令が Arithmetic 関係の命令によって占められていることがわかる。ルーチの問題を考慮すれば、この割合はさらに増加するものと思われる。Arithmetic のうちでは“Inverse Divide”と“Clear and Add Absolute Value”の出現率が、ほかのものより非常に小さい。どちらもほかの命令を組合せて同じ演算結果を得ることができるので、計算機あるいはプログラム方式の設計にあたってこの命令を組込むかどうかは、その組込みのための出費(手元)とかねあいで決定すべきである。

Control of Transfer のうち約半分は“Unconditional Transfer (Jump)”によって占められている。単アドレス計算機では命令は通常、アドレスの番号順に実行されていく。したがって、プログラムの訂正などのために、その途中に新しい命令を何個か入れる必要が生じたときは、図 3.1 に示すように“Unconditional Transfer”によって命令の流れを一度追加すべき命令の方へ移し、ふたたび“Unconditional Transfer”によってもとの流れに帰さなければならぬ。このため“Unconditional Transfer”の数が増加する。間違いの多かったプログラムほど“Unconditional Transfer”の出現率が多いわけである。

3.2 2 個の命令の間の遷移確率

相続く 2 個の命令あるいは表 3.2 に用いたような命令の組の間の遷移確率をつぎのように定義する。計算機にある命令 α (あるいは組 α に属する命令)が実行されているとき、つぎの命令が β (あるいは組 β に属する命令)である確率を、 α から β への遷移確率 $P_{\alpha\beta}$ とする。 $P_{\alpha\beta}$ が 1 であれば、計算機は命令 α の後にならず命令 β を実行することを意味している。命令間の遷移確率は、プログラムの中の命令の流れの状態を知るための資料となる。

遷移確率 $P_{\alpha\beta}$ と α の出現率 P_{α} の積を $P_{\alpha\beta} \cdot P_{\alpha}$ とすると、

$$P_{\alpha\beta} = P_{\alpha\beta} \cdot P_{\alpha}$$

これは、プログラムのうちに、命令 α と命令 β が続いたものの現われる確率を示す。 $P_{\alpha\beta}$ がかなり大きな値となる 2 個の命令に対しては、もし可能であれば、それら 2 個の命令と同じ演算をする 1 個の命令で置きかえることが望ましい。これは $P_{\alpha\beta}$ が 1 に近い命令の組に対しても同じことがいえる。

すべての命令の組合せについて測定しようとするれば、組合せの数が非常に多くなり、また無意味な組合せも多い。前記 FCR では、希望する命令の組合せを指定することができる。また命令を希望する種類別に組分けし、各組間の遷移確率を調べることもで

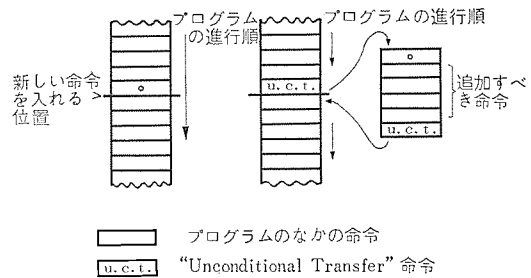


図 3.1 “Unconditional Transfer” による命令の追加
Fig. 3.1 Insertion of additional commands by “Unconditional Transfer”.

表 3.3 $P_{\alpha\beta}$, Arithmetic 命令間の遷移確率 (%)

$\alpha \backslash \beta$	MIS	CS	S	CA	A	M	CAA	ID	D	ST
MIS	59.35	2.90	2.14	2.39	.58	2.58	.22	.36	.73	7.70
CS	6.15		8.85		17.30	37.69		.38	9.23	20.38
S	26.30	.17	9.21		7.04	13.07	.50	1.34	8.87	33.50
CA	12.34		14.10		12.34	26.93		.18	6.63	27.48
A	8.15	.68	6.38		12.49	17.65		2.99	7.06	44.24
M	4.87	1.18	6.13		18.62	19.56		1.57	11.08	36.92
CAA	4.55		86.36						4.55	4.55
ID	5.13	1.28	2.59		8.97	24.36				57.69
D	11.82	1.86	3.73		6.64	14.73	.21	.41	14.52	46.04
ST	21.19	7.78	.50	52.40	3.71	6.06	.63	.73	.94	3.08

CS: Clear and Subtract CAA: Clear and Add Absolute Value
S: Subtract ID: Inverse Divide
CA: Clear and Add D: Divide
A: Add ST: Store
M: Multiply MIS: Miscellany (その他)
(CS はアキュムレータの内容の符号を変えるために使われることがある。)

表 3.4 $P_{\alpha\beta}$, 二つの命令群の間の遷移確率 (%)

$\alpha \backslash \beta$	Misc.	Arith.	Transfer of Cont.	Input	Output	Index	Special
Misc.	9.52	33.33		4.76		19.04	33.33
Arith.	.01	86.19	5.20	0.8	2.91	2.54	3.02
Transfer of Cont.		72.50	6.60		9.52	6.76	4.61
Input		9.43	.34	80.80	3.37	3.70	2.37
Output		37.06	5.21	1.35	41.69	9.84	4.83
Index	.11	23.14	1.10	1.54	3.31	64.36	6.39
Special	6.71	57.86	.52	1.55	9.04	6.46	17.82

表 3.5 $P_{\alpha\beta}$, 二つの Arithmetic 命令が組になって出現する確率 (%)

$\alpha \backslash \beta$	MIS	CS	S	CA	A	M	CAA	ID	D	ST
MIS	16.78	.83	.60	6.60	.16	.73	.06	.10	.20	2.17
CS	.16		.24		.46	1.00		.01	.25	.54
S	1.61	.01	.56		.43	.80	.03	.08	.54	2.05
CA	2.08		2.38		2.08	4.54		.12	4.63	16.85
A	.61	.05	.48		.94	1.33		.23	.53	3.36
M	.64	.15	.80	.01	2.43	2.55		.20	1.44	4.81
CAA	.01		.19						.01	.23
ID	.04	.01	.02		.07	.19				.46
D	.58	.09	.18		.33	.73	.01	.02	.72	2.27
ST	4.16	1.53	.69	10.23	.73	1.19	.12	.14	.18	.60

きる。

表 3.3 に各 Arithmetic 命令 (ただし“Perform Subroutine”命令をのぞく) およびそれ以外の命令の間の遷移確率 $P_{\alpha\beta}$ の調査結果を示す。表 3.4 は各命令を Arithmetic (“Perform Subroutine”をのぞく), Transfer of Control, Input, Output, Index register, Special (“Perform subroutine”を含む“Ring Bell” “Halt” など) およびそれ以外の七つの組に分け、各組の間の遷移確率を調べたものを示す。表 3.5 は、表 3.1 および 3.3 の結果から Arithmetic 命令に対する $P_{\alpha\beta}$ を計算したものである。

表 3.3 から“Clear and Add”のあとに“Store”がくる確率は約 27% となっているが、これはデータの転送に用いられているものと思われる。単アドレス計算機では、ある番地から他の番地にデータを転送する場合、かならず一度アキュムレータを通して行なわなければならないためである。

アキュムレータの演算結果を一度“Store”したのち引続いてそれに演算を加える場合は約12%で、“Perform Subroutine”がくる場合をいれば多少増加するが、かなり小さい値である。それに反し、一度“Store”すれば、つぎに新しいデータをアキュムレータに入れる場合が61%で大半を占めている。あるArithmetic演算のすぐあとに“Clear and Subtract”あるいは“Clear and Add Absolute Value”が現われているのは、これら命令のアドレス部をアキュムレータ自身にすることにより、まえの演算結果すなわちアキュムレータの内容の符号反転あるいは絶対値をとる演算を行なうためである。

表3.4からわかるように、ArithmeticのあとにArithmetic、InputのあとにInputなど同種の組の命令が続いて出現する割合が、ほかの命令があとに続く場合に比べて非常に大きいことは注目に値する。表3.5からArithmeticのうちで $P_{\alpha,\beta}$ の大きなものをひろってみると、“Store”→“Clear and Add”、“Multiply”→“Store”、“Clear and Add”→“Store”および“Clear and Add”→“Multiply”の順になる。

3.3 “Clear and Add”と“Store”の間のArithmetic命令の数

これはアキュムレータの内容をメモリに一時移すことなく、ひき続きアキュムレータに演算を加えることができるArithmetic演算の段階を示す。たとえば、 $(A+B+C)(D+E)$ ばを計算するためには、まず $A+B+C$ （あるいは $D+E$ ）を行ない、その結果を一時メモリのどこかに“Store”しておいてから $D+E$ （あるいは $A+B+C$ ）を同じアキュムレータで計算しなければならない。このように途中で計算を区切ることなく行なえる段数が“Clear and Add”から“Store”までのArithmetic命令の数に対応するわけである。

“Clear and Add”と“Store”の間のArithmetic命令の段数について、それぞれの出現ひん度を資料プログラムについて調査した。図3.2に示すように“Clear and Add”のすぐあとに“Store”がくる場合を、段数 $n=0$ とし、両者の間にはさまれるArithmetic命令だけを数える。“Ring Bell”“Type out”などArithmetic以外の命令はとばして数えていく。また、Conditional Transfer (“Branch”)が間にはさまれ、プログラムの流れが分れる場合は、分岐したのち“Clear and Add”がくるまでの間は無視する。図3.3に、各段数のものの出現ひん度を資料プログラムについて計数した結果を示す。

プログラム全体に対するArithmetic命令の段数 n の平均値 $\bar{n}_a$ は

$$\bar{n}_a = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n S_n}{\sum_{n=0}^{\infty} S_n} \quad n=0, 1, 2, \dots$$

によって計算される。ここで S_n は段数 n のものの出現ひん度である。図3.3の結果から、資料プログラムに対してはこの平均段数 $\bar{n}_a$ は約1.3となる。ただしこの値はデータの転送にアキュムレータを用いているものも含めている。 $n=0$ のものはデータの転送だけに用いられているものと近似すれば、正味のArithmetic演算に対する段数 $\bar{n}'_a$ は、 $n=0$ に対するひん度 S_0 をのぞいて、

$$\bar{n}'_a = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} n S_n}{\sum_{n=1}^{\infty} S_n} \quad n=1, 2, 3, \dots$$

により計算される。図3.3に対し $\bar{n}'_a$ の値は約2.0となる。

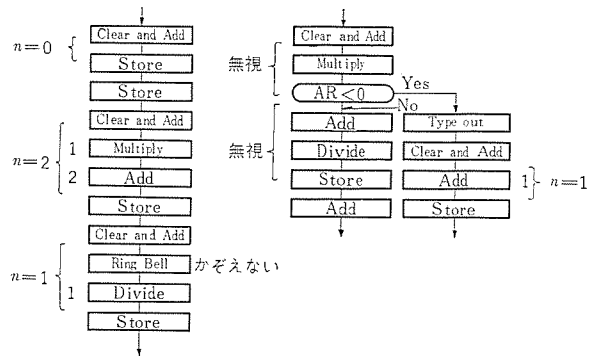


図 3.2 “Clear and Add”と“Store”命令の間のArithmetic命令の数 n

Fig. 3.2 n , number of arithmetic commands between “Clear and Add” and “Store”.

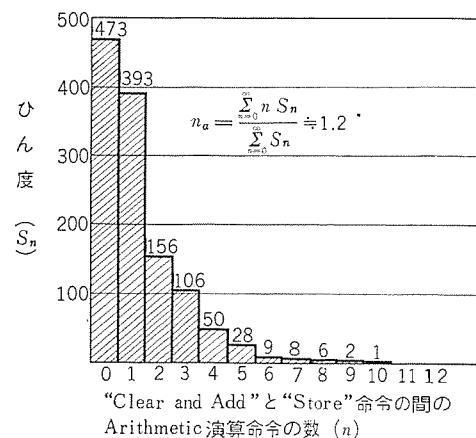


図 3.3 “Clear and Add”と“Store”命令の間のArithmetic演算命令の数の分布

Fig. 3.3 Distribution of number of arithmetic commands between “Clear and Add” and “Store”.

以上の結果から、ある数がアキュムレータに入れられてから“Store”により取出されるまでに、平均1回強なんらかのArithmetic演算を受けること、データの転送に対するものをのぞき、ひき続きArithmetic演算を受けることを目的としてアキュムレータに入れられたデータについては、平均2回のArithmetic演算を受けることがいえる。アキュムレータの内容を“Store”によりメモリに移したのちも、ひき続きそのアキュムレータの内容に演算を加える場合もあること、およびルーラによるくりかえしを考えれば、上記の値はどちらも多少大きくなると考えられるが思ったより小さな値である。

3.4 “Branch”から“Branch”までの間の命令数

図3.4に示すように、プログラムの流れが“Branch”(Conditional Transfer)命令によって分岐してから、ふたたび“Branch”命令で分岐するまでの間に計算機が実行する命令の数 n について、各 n のものの出現ひん度を調べた。 n に対するひん度を n_B とすれば、 n の平均値 $\bar{n}_B$ は、 $\bar{n}_a$ と同様に、

$$\bar{n}_B = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n B_n}{\sum_{n=0}^{\infty} B_n} \quad n=0, 1, 2, 3, \dots$$

によって計算される。プログラムの流れで、計算機は平均 $\bar{n}_B$ 個の命令の間“Branch”することなく順々に実行することを意味する。この $\bar{n}_B$ は、計算機の先回り制御方式において、先取り段数を決定するための資料になる。

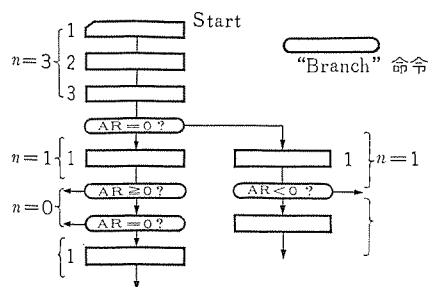


図 3.4
“Branch” から
“Branch” まで
の命令数, n
Fig. 3.4
 n , Length
between
“Branch”
commands.

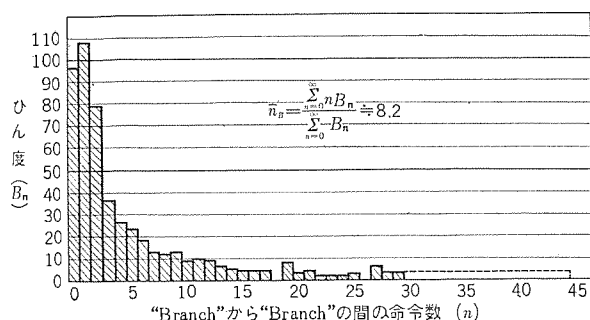


図 3.5 “Branch” から “Branch” までの命令数の分布
Fig. 3.5 Distribution of length between
“Branch” commands.

図 3.5 に資料 プログラム についての結果を示す。 $n < 30$ なる n については、各 n の値に対するひん度を計数したが、 $n \geq 30$ の場合はそれらをまとめて計数した。 $n \geq 30$ のものは資料 プログラム 全体で 45 回出現しているが、これはプログラム の出発点から初めての “Branch” 命令までの間の命令がかなりの数を占めている。というのは、プログラム の出発点では初期値の設定などの手順が多く、それ以後の部分に対し比較的プログラム の分岐は少ないと考えられるからである。

$n \geq 30$ の場合のひん度に対しては、図 3.5 に点線で示したように一様に分布しているものと仮定して計算した $\bar{n}_B$ の値は、約 8.2 である。これからプログラム のうちの命令の流れは、約 9 個目に 1 個の割で “Branch” 命令により分岐する機会があるといえる。図 3.5 からわかるように、“Branch” 命令のつぎにひき続いて “Branch” 命令がくる機会あるいは間に一つほかの命令があるだけの場合 (すなわち $n=0$ および 1) の出現ひん度がかなり大きなことは注目すべきである。

4. む す び

プロジェクト の一部として、これまでに得られた成果は、それほど顕著ではないが、これまでばく然と推量されていたパラメータに対して、ある程度具体的な数値を与えることを可能にしたといっても差支えない。今度の実測から知られた事柄のうちから、2, 3 の興味あるものを挙げてみる。

1. 一つのオペランドに対して実行される算術演算の数は割合に少ない。(平均約 2)
2. 関数 サブルーチン の実行も含めて、Arithmetic 命令のひん度が 70% をこえる。(もしループを考慮すれば、この値はもっと大きくなる可能性がある。)
3. 浮動小数点入出力命令が固定小数点入出力命令よりも、ひんばんに使われる。また入出力命令は連続して使われる傾向がある。

データとして用いたルーチンは、過去 2 年間に使用された数値計算ルーチンでフーリエ解析、弾道計算、アンテナパターン設計などのためのものである。また、当研究所の Bendix-G15D の稼動時間の大部分は、Intercom 1000 用語で書かれたこれらのプログラム の実行でしめられている。

プロジェクト のつぎの段階として、差当って考えられるのは

- (1) ループの内側における命令のひん度と、外側のそれを比較すること。もし、それらの間に差異がなければ、 $N_{ij}(X_i)$ を実測する必要がなくなって、ひん度の総和は機械の稼動時間と、その命令の演算時間から求められる。これはループの問題に対する一つの解答になるであろう
- (2) 使用されたインデックスレジスタの数を調べること

などである。

終わりに、この研究に関する問題点および調査結果について種々ご指導、ご検討をいただいた当所電気第二研究室の各位に厚く御礼申し上げる次第である。(昭 37-12-10 受付)

参 考 文 献

壺井・木村：単アドレス計算機における命令のひん度および選移確率，情報処理学会予稿(昭 36)

付録，Intercom 1000 について

まえがきで述べたように、分析のための資料プログラムとしては、機械用語で書かれたものではなく、単アドレス方式のインタプリタ，Intercom 1000，のために書かれたものを用いた。Intercom 1000 は、Bendix G-15 形計算機のためのインタプリタ方式のプログラム方式であり、浮動小数点および固定小数点による入出力が可能で、プログラムの準備およびプログラムのチェックの機能をそなえている。

Intercom 1000 の命令は、付図 1 に示すように 7 ケタの 10 進数で構成されている。第 1 ケタ，K はインデックスレジスタを指定する。つぎの 2 ケタ，OP はその命令によって行なわれる演算の種類(表 3.1 を参照)を示すためのもので演算コード(OP コード)と

よばれる。最後の 4 ケタ，ADDR は被演算数(オペランド)の番地を示すアドレス部である。このアドレスの上の 2 ケタはメモリアドレスのチャンネルを、下の 2 ケタはワードの位置を表す。

プログラム の命令は “Transfer of Control” の命令がこないかぎりには、命令の置かれている番地の順に実行されていく。

1	2	3	4	5	6	7	
K	O	P	A	D	D	R	

K: インデックスレジスタ
OP: 演算 (OP) コード
ADDR: アドレス

付図 1 Intercom 1000 の命令形式
Fig. 1 Command form of intercom 1000 system.

大形焼結ブローワ

宮内 貞夫*

Large Sintering Blower

Nagasaki Works

Sadao MIYAUCHI

A sintering blower is the main exhaust unit of a sintering furnace which roasts dust are into a great mass. Increasing the melting capacity and decreasing the coke ratio of the blast furnace needs evening up the particle size of raw materials. This makes the blast furnace large sized and in turn makes the sintering furnace and its blower large sized. According to circumstances, Mitsubishi has been supplying large ventilating fans to power plants, soda factories and cement mills, now delivering a large sintering blower to Wakayama factory of the Sumitomo Kinzoku Co. This is a type FB plate fan and very sturdily built against the thermal stress and the erosion, being suitable for the main blower subject to the scattering of ashes.

1. ま え が き

わが国では鉄鉱資源が乏しく必要量の大部分を輸入にあおいでいる現状で、製鉄原料は主として多量の大塊鉱石と少量の硫酸カス(滓)、砂鉄、平炉カス、スチール砂鉄から成立っているが、溶鉱炉の出鉄量を増し コークス 比を減少するためには製鉄原料を整粒する必要がある。

近時大塊鉱石の破碎整粒が行なわれるとともに粉鉱の発生量が増加し貧鉄処理等による粉鉱の増加も著しい。これらの粉鉱を塊成化するものに焼結炉がある。鉱石の焼結炉はますます大容量化し 2,000 t/day ないし 4,000 t/day の大形炉がふえてきている。当社は従来火力発電所、ソーダ工場、セメント工場等に大形通風機を納入し非常に好評を得ているが今回住友金属和歌山工場に大形焼結ブローワを納入したのでその概要を説明する。

2. 仕様と特性

焼結炉には連続したパレットが 1~6 m/min の低速度で移動するドワイトロイド式、焼結ナベが固定しているグリーナルト式および焼結ナベが移動する AIB 式の 3 種がある。ドワイトロイド式および

AIB 式には大形炉が多く、住友金属和歌山工場のもは前者に属し容量は 3,000 t/d である。

図 2.1 はドワイトロイド式焼結炉の系統図を示し貯鉱タンク A には粉状石灰、コークス粉、硫酸カス、粉鉱が納められている。これらは混和機で所定割合に混合され漏斗 B にたまる。漏斗 C には小塊の床敷鉱が入れてあってエンドレスベルト D 上のパレット E に一定厚さだけ積み重ねられる。F は点火炉でコークス炉ガスまたは重油で点火し燃焼させる。

燃焼空気はパレット上方から吸込まれ分岐管 G、集合管 H、サイクロン I を経て主排風機 J に吸込まれた後煙突 K に吐出される。エンドレスベルトを出た焼結鉱は碎鉱機 L、格子フルイ M を経て貯鉱タンクに入れられるがこの途中に冷却装置 N がある。取扱い気体は非常に堅い飛灰を含むのでコークス中の灰分および集じん器の性能によって使用できる通風機の形式が異なってくる。

図 2.2 は吸込気体中の含じん量による形式選定基準を示したもので縦軸に許容含じん量、横軸に吸込ガスの単位体積重量を 1.2 kg/m³ (吸込温度 20°C, 吸込圧力 760 mmHg に相当する) と考えた場合の発生風圧をとってある。この曲線は種々の文献、モデルファンによる摩擦試験、多年の実績等を基礎として決めたもので図中の曲線は大体 1 年間連続運転可能な許容限界を示している。

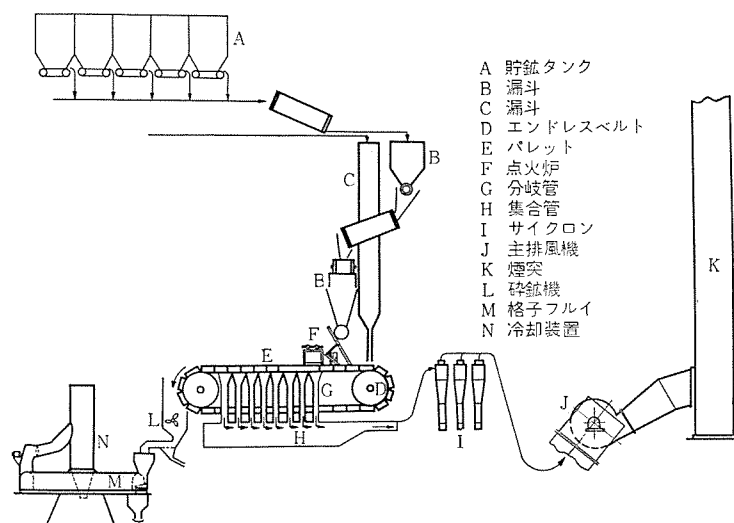


図 2.1 ドワイトロイド式焼結炉の系統図
Fig. 2.1 Schematic diagram of the Dwight-Lloyd sintering plant.

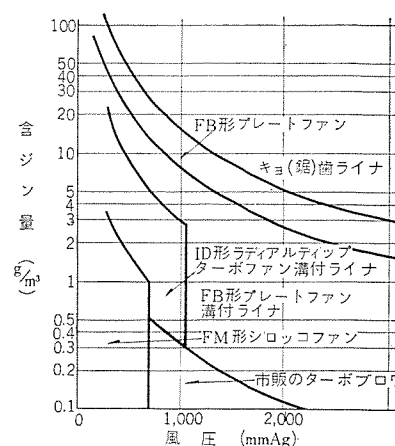


図 2.2 含じん量による形式選定基準
Fig. 2.2 Selection chart of the allowable dust loading.

羽根ライナの摩耗は飛灰の種類、粒径、粒度分布、羽根ライナ材質、羽根ライナ形状等によっても変わるが一番影響が大きいのは周速度または発生風圧である。含じん量が少なく発生風圧が小さい間は多翼形通風機 FM 形やラジアルチップの ID 形ターボファンが使えるが、含じん量、風圧、ともに大きくなると FB 形プレート通風機が適当である。従来焼結ブロワとして用いられている後方傾斜のターボファンは、当社には標準形がないが比較の都合上図中に付記してある。焼結ブロワの発生風圧は標準状態で約 1,800 mm Aq、含じん量は 0.1 ないし 0.8 g/m³ であって、FB 形プレート通風機が適していることがわかる。とくに含じん量は集じん装置の良否によって大幅に変化し指定値の 2 倍位に達することがあるので注意が必要である。

住友金属和歌山工場向け主排風機としてはこれらの点を考慮して FB-7120 プレート通風機を選んだ。おもな仕様はつぎのとおりである。

駆動方式	横軸直結両吸込形
風量制御方式	入口ダンパ
設置場所	屋内形
風量	9,000 m ³ /min
風圧 吸込側	-1,200 mmAq
吐出側	0 mmAq
回転数	900 rpm
温度	130°C
電動機	2,900 kW
	AC 3,300 V, 60 c/s, 8P

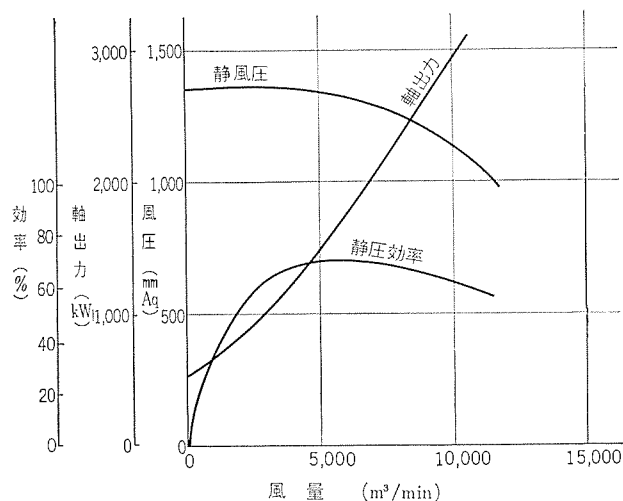


図 2.3 特性曲線
Fig. 2.3 Characteristic curve.

この通風機は当社が東京電力横須賀発電所第 1 号ボイラ、第 2 号ボイラ用として納入したものと同じ大きさで扇車外径は約 3.2 m、ケーシングの概略寸法は 6×7×6 m³ である。この通風機の特長は図 2.3 に示すように風量、風圧曲線は漸減カーブをなしてピークがなく軸馬力曲線は風量とともに漸増する。

3. 特 長

(1) 耐摩耗性

扇車には取り換え可能なアウトツのある羽根ライネを用いる。半径方向羽根なので相対速度が小さく耐摩耗性が大きい。うえごみやちりがタイ積しない。

(2) 強 度

扇車には側板がなく開放形であり羽根は半径方向に取付けられ、断面はテーパ削りしてあるので応力が小さく扇車の寿命が長い。

(3) 安定な特性

風圧は使用範囲で安定な垂下特性をもつ。

(4) 風量制御

入口ダンパによって風量を加減できる。

4. 構 造

4.1 扇 車

扇車は 8 枚の羽根を持っており各羽根は高抗張力鋼板から作り

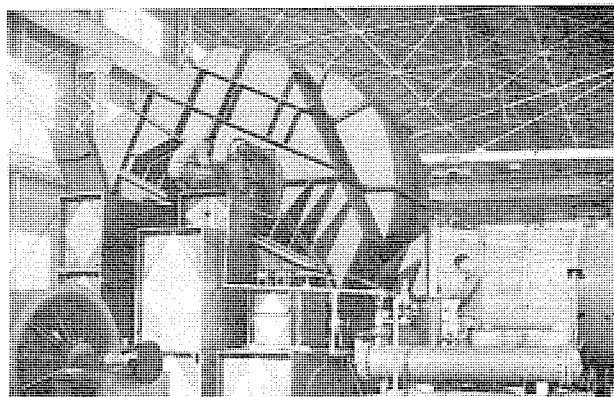


図 4.1 FB-7120 通風機 (1)
Fig. 4.1 FB-7120DW plate fan.

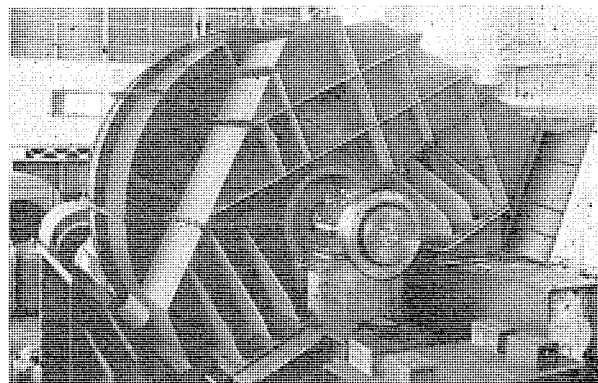


図 4.2 FB-7120 通風機 (2)
Fig. 4.2 FB-7120DW plate fan.

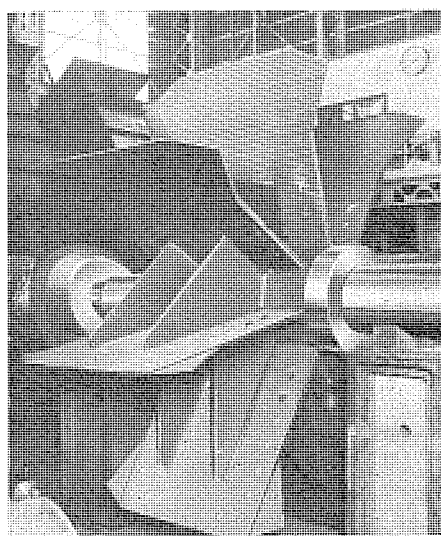


図 4.3 FB-7120 扇車および軸
Fig. 4.3 Rotor assembly of the FB-7120DW plate fan.

突起付の炭素鋼 ボス に溶接する。羽根と ボス の溶接部分は最も大きな応力を受ける部分で、とくに入念な溶接を行ないX線検査を行なう。羽根は テーパー に削ってあるので側板がないこととあいまって

- a. 慣性 モーメント (GD^2) が小さい。後方傾斜のターボファンに比べて半分以下になり電動機の起動は容易である。
- b. 遠心力に対して非常にがん丈で大きな周速度に耐えることができる。

扇車の中央部には扇車外径より小さく羽根に沿って切欠いた高抗張力鋼板製主板が2枚あり羽根および ボス にそれぞれ溶接され

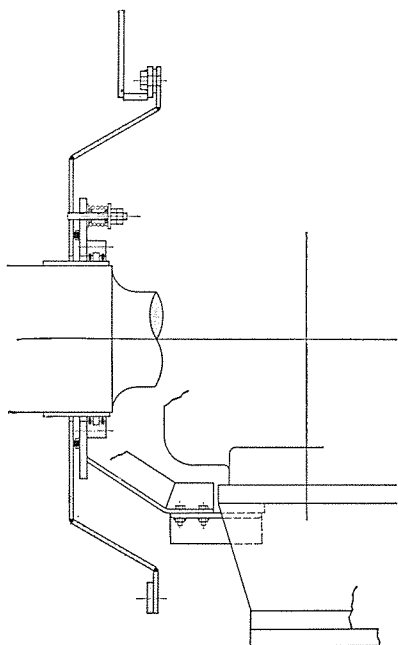


図 4.4 軸封装置
Fig. 4.4 Shaft seal device.

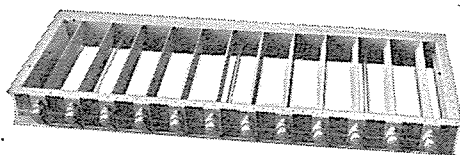


図 4.5 入口ダンパ
Fig. 4.5 Inlet damper.

ており羽根の弾性振動を防いでいる。羽根にはおうとつをついた軟鋼製羽根 ライナ を ビョウ 締めおよび ボルト 締めしてあり取換え可能である。ボス は一端を カラ および ピン で軸に固定し他端はカラで押えてあるが熱膨脹を許してある。

4.2 軸

軸は炭素鋼を用い危険速度は常用回転数の 40% 以上を取ってある。

4.3 ケーシングおよび吸込箱

ケーシング および吸込箱は配置の都合で大部分が床下に設けられるため支持脚は中心線に近く吸込箱の周囲に溶接される。ケーシング および吸込箱は厚鋼板溶接製で十分な補強を行ない運搬、保守、工作の便宜上3分割してある。ケーシングライナは軸鋼製でケーシングの背板および側板の一部にネジ止めされており取り換え可能である。ケーシング底部にはスプリングマウントの台板があって、ケーシング重量の一部を支持している。軸貫通部には軸受支持台に固定された軸封装置があって外気の流入を防いでいる。図4.4はこの軸封装置の断面図で石綿パッキンをパネで吸込箱に押付けてある。吸込箱は熱膨脹で移動するが気密状態は変化しないので、軸封装置を吸込箱に固定した浮動形の場合よりパッキンの取り付けが簡単である。

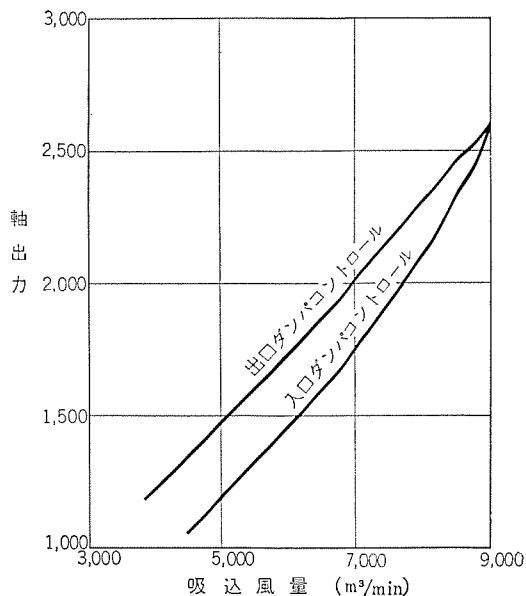


図 4.6 制御曲線
Fig. 4.6 Control curves.

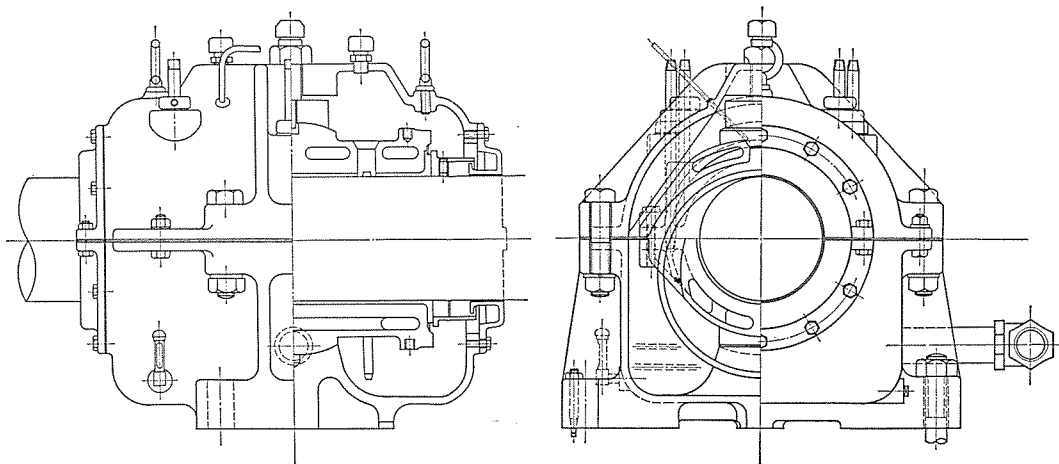


図 4.7 軸受断面図
Fig. 4.7 Bearing assembly cross section.

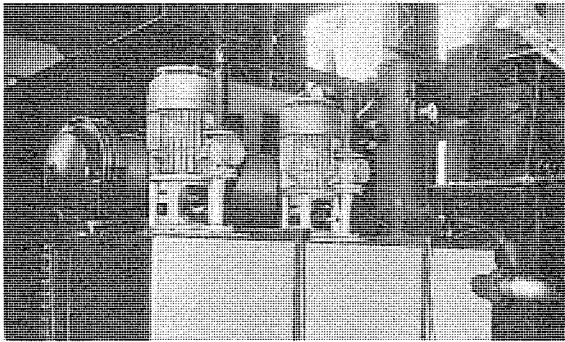


図 4.8 パッケージ形潤滑装置
Fig. 4.8 Package lubrication system.

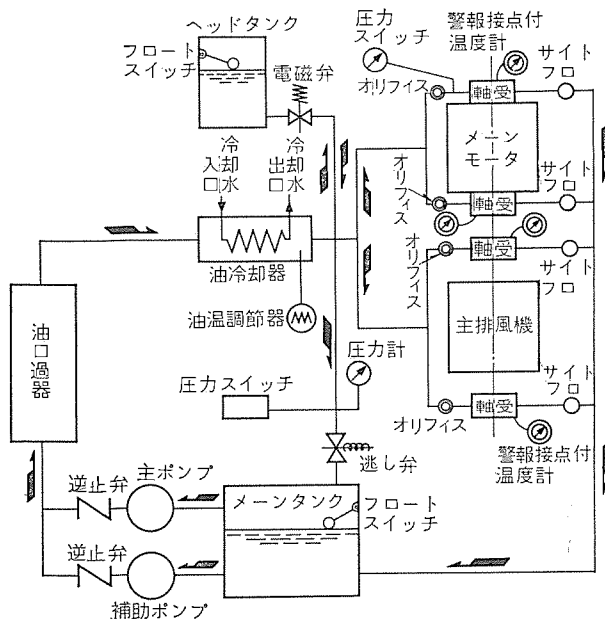


図 4.9 配管系統図
Fig. 4.9 Schematic diagram of package lubricator system.

4.4 入ロダンバ

通風機入口に設けた多葉傾斜流れ形で山形鋼および厚鋼板溶接製ワックに軸および軸受を固定し羽根は軸にセツ溶接する。このダンパは全閉時も羽根と羽根の間にスキがあって、漏れ風量は大きいが制御効率は重なりのあるものと同様である。

4.5 軸受

軸受 オイルリング 給油自動調心球面座を有する鋳鉄製円筒軸受で水冷式になっている。この軸受は油ポンプによる油浴を併用しており新鮮な潤滑油が点検孔の部分に流入するようになっている。この扇車は両吸込みで側板がないために軸推力を生ずることは少ないが、固定側軸受のスラストカラーでかなりの推力を受けることができる。

4.6 強制潤滑装置

この潤滑装置は通風機軸受および電動機軸受の両者の潤滑を兼ねており通風機と別置のパッケージ形である。

主要部分は電動油ポンプ、主油タンク、油口過器、油冷却器などで付属品とともに主油タンクに取り付けられている。

電動ポンプは遠心形ポンプで、歯車ポンプに比べると高速回転、小形で回転部分に接触するところがなく油中没入形であるために呼び水を必要としない。ポンプ出口には球形逆止弁があり、配管中の油がポンプを通して油タンクに逆流しないようになっている。油口過器は積層薄金属板形で手動ハンドルを操作すると運転中でも簡単に掃除することができる。油冷却器は横置水管形で十分な容量を持っている。

図 4.9 は配管系統図で潤滑油は主油タンク、電動ポンプ、油口過器、油冷却器を経て軸受に送られる。配管の途中には補助タンクがあって自重による給油も可能である。

安全装置としては

- (a) 油圧低下
- (b) 油温上昇
- (c) 油面低下

が考えられそれぞれ主電動機を停止させるようになっている。

主電動機の起動順序はつぎのとおりである。

- (a) 主油ポンプ起動
- (b) 補助油タンクに潤滑油充满
- (c) 油冷却器出口圧力が一定値に達す
- (d) 起 動

主電動機が運転中

- (a) 軸受温度上昇の場合は警報ランプおよびベルで報知する。
- (b) 油圧が低下すると補助油ポンプを起動させる。
- (c) 停電したとき主排風機が停止するまでの給油は補助油タンクの油で行なう。

などの操作を行なう。

5. む す び

FB 形 プレート 通風機は熱応力および摩擦に対して非常に強くがんな構造であるため、飛灰の多い焼結炉の主排風機として適している。主排風機として従来後方傾斜のターボファンが用いられていて効率はかなりよいが、集じん装置がよくないと使えない。

最近の焼結炉の大容量化に伴い主排風機としてどの形式が適当であるかは今後の課題として残されている。これは集じん装置の良否に左右されるところが大きいが当社としては従来の経験を生かして耐摩耗性、効率ともに良好な通風機を製作し需要家各位のご期待に沿いたいと考えている。

油浸プレスボードの耐コロナ性

原 仁吾*・平林庄司**・田畑則一**

Corona Resistant Characteristics of Oil Impregnated Pressboards

Research Laboratory Jingo HARA・Shōji HIRABAYASHI・Norikazu TABATA

Recently, in the extra high voltage oil immersed transformers the corona causes a great problem on the design of insulation. This report deals with the result of study on the corona resistant characteristics and the aspect of discharge under needle to plane electrodes, using the pressboards which construct the main insulation of oil immersed transformers. Particular mention in that the corona streamers in oil tend to propagate along the layers of oil, and that the corona resistance of pressboards is very weak. Experiments have been also made on nylon and polyethylene, and results show that their corona resistance is very weak in oil compared with that in air.

1. ま え が き

発電機などの乾式機器において気中コロナが問題になっていると同様に、最近の超高压油入変圧器では油中コロナが絶縁設計上の重要な課題となってきた。一般に油の絶縁耐力は固体絶縁物に比べて低く、また誘電率は普通固体絶縁物より小さいので、油と固体絶縁物で構成される油入機器では油が局部破壊を起しやすい。すなわち油中コロナが発生する。油入機器に発生する油中コロナについては、古くから油中コロナの検出方法に対する研究が比較的多く行なわれてきているが⁽¹⁾⁽²⁾油中コロナの様相とか、絶縁物に与える損傷の問題についての研究は非常に少ない。

筆者らは先に絶縁物の気中耐コロナ性試験法を確立し⁽³⁾、発電機の絶縁構成材料について耐コロナ特性を明らかにしたが⁽⁴⁾、この試験法を油中コロナにも適用して、針対平板電極配置のもとに油中のコロナ放電の様相を調べ、油入変圧器の主絶縁構成材料である油浸プレスボードの耐コロナ特性を明らかにすることができた。

2. 試 験 法

電極配置を図2.1に示す。コロナは局部的に発生する性質があり、1発のコロナの放電範囲は非常に限られた部分であるので⁽⁵⁾、油中のコロナ発生量を定量的に求めるには気中コロナの場合と同様に針対平板電極配置が適当であると考えられる。

絶縁油は2号油で、その特性は現用変圧器油に近い誘電正接0.057%, 誘電率2.31, 絶縁耐力65kV (JIS C 2320)の油を使用した。またプレスボードの特性は誘電正接0.5%, 誘電率4.1である。電極のセットは油にガスと水分が溶解すると破壊電圧が非常に低下するので⁽⁶⁾、試験条件を統一するために次の手順で行なった。まずプレスボードを100°Cで24時間乾燥し、試験前電極にセットして約0.1mmHgで1時間真空処理をした。次に紙フィルタでろ過した油を約0.1mmHgの真空度で噴霧注油し、注油が終わると大気圧に戻してコロナ試験を行なった。

図2.2に試験回路を示す。絶縁物の耐コロナ性を定量的に評価するには、試料に発生するコロナの放電電荷量と絶縁物が破壊するまでの寿命との関係を求めるのが合理的であると考えられる⁽³⁾。いま試料 C_a にコロナ放電が起り、見掛け上 Q_a の放電電荷が現われたとすれば

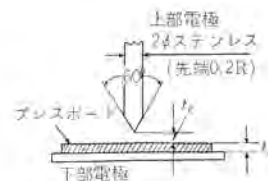


図 2.1 電極配置
Fig. 2.1 Electrode arrangement

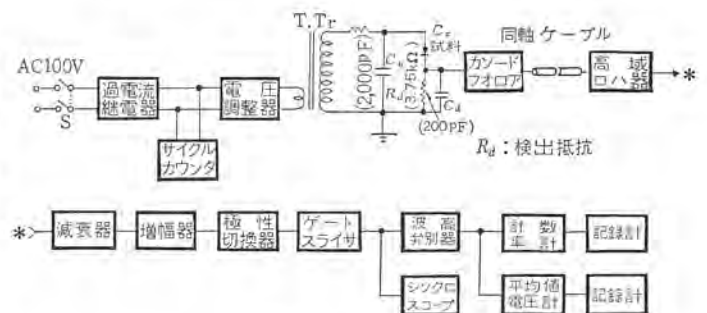


図 2.2 試験回路
Fig. 2.2 Test circuit

$$V_d(t) = \frac{Q_a}{C_x + C_d + \frac{C_x C_d}{C_0}} \cdot e^{-\alpha t} \dots \dots \dots (2.1)$$

ただし

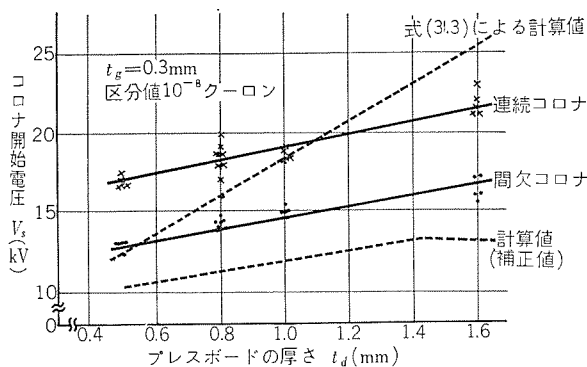
$$1/\alpha = R_d \left(C_d + \frac{C_x \cdot C_0}{C_x + C_0} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

なる電圧が検出抵抗両端に生ずるので、このパルス電圧の大きさを測定し、測定回路系の感度校正を行なえば放電電荷量 Q_a を求めることができる。試験は印加電圧を徐々に上昇させて(1kV/sec)まずコロナ開始電圧を求め、引きつづきさらに電圧を上昇させて、連続的にコロナが発生する印加電圧においてコロナパルス発生回 n 、放電電荷量 Q_a と n との積すなわちコロナ電流 nQ_a 、およびコロナパルス波形の時間的変化を記録し、さらにプレスボードが破壊するまでの寿命時間 t を測定して、寿命時間とコロナ放電量との関係を求め、油浸プレスボードの耐コロナ性を調べた。なおナイロン、ポリエチレンについても同様の実験を行ない、プレスボードと比較検討した。

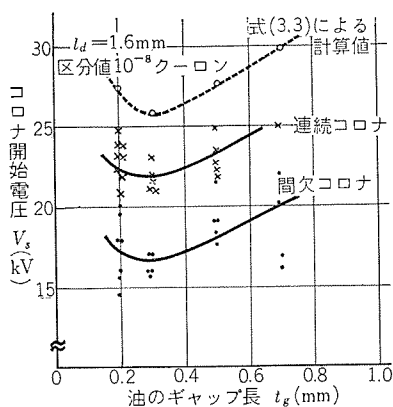
3. 試験結果と考察

3.1 コロナ開始電圧

測定結果を図3.1に示す。油中コロナは印加電圧を上昇させて



(a) V_s-t_d の関係



(b) V_s-t_g の関係

図 3.1 コロナ開始電圧

Fig. 3.1 Corona starting voltage.

いくと、最初不規則に間欠的にコロナパルスが現われ、さらに電圧を上昇させると油中およびプレスボードからガスが発生しはじめ、連続的にコロナパルスが発生するようになる。図 3.1 において間欠コロナとは電圧を徐々に上昇させてゆき (1kV/sec), 1発でもコロナパルスが発生したときの印加電圧である。また連続コロナの開始電圧は、気中のコロナ開始電圧の測定⁽⁷⁾に準じてコロナパルスの発生ひん度 n が 60 個/秒 (1 個/c/s) となる印加電圧である。

油とプレスボードが図 3.2 のように、無限の平行平板の直列回路でできているとすれば、コロナ開始電圧 V_s は

$$V_s = V_g \left(1 + \frac{t_d}{t_g} \cdot \frac{\epsilon_g}{\epsilon_d} \right) \quad (3.1)$$

で与えられる⁽⁸⁾。ここに V_g は油ギャップの破壊電圧、 t_g は油のギャップ長、 t_d は油浸プレスボードの厚さ、 ϵ_g は油の誘電率、 ϵ_d は油浸プレスボードの誘電率である。したがって油の破壊電圧とギャップ長との関係がわかれば V_s を求めることができる。一般に液体誘電体の絶縁破壊の現象は複雑であり、気体に比べて液体の破壊理論はまだ確立されていないといってよい。実験によって油の破壊電圧とギャップ長との関係を求めると、図 2.1 の針対平板電極配置のもとに図 3.3 の結果がえられた。これから

$$V_g = 17.1 t_g^{0.71} \quad (3.2)$$

となる。単位は V_g (kV), t_g (mm) である。式 (3.2) を式 (3.1) に代入して、求めるコロナ開始電圧は

$$V_s = 17.1 t_g^{0.71} \left(1 + \frac{t_d}{t_g} \cdot \frac{\epsilon_g}{\epsilon_d} \right) \quad (3.3)$$

となる。式 (3.3) から t_g を一定にすれば V_s は t_d に比例し、また t_d を一定とすれば V_s と t_g の関係は V 特性を示し、 $t_g = 0.41 \epsilon_g / \epsilon_d$ において V_s が最小となる。図 3.1 の計算値は式 (3.3) から算出したものである。実測値は計算値と傾向は一致しているが、 t_d が増すにしたがって計算値より低くなっている。こ

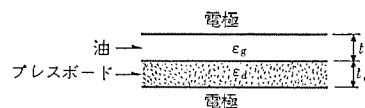


図 3.2 平等電界配置

Fig. 3.2 Electrode arrangement of uniform field.

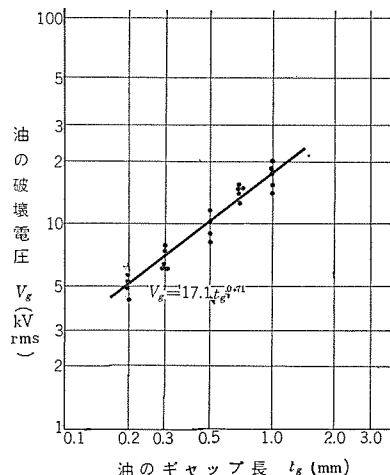


図 3.3 油の破壊電圧 (針対平板)

Fig. 3.3 Breakdown strength of transformer oil with plane-needle gap.

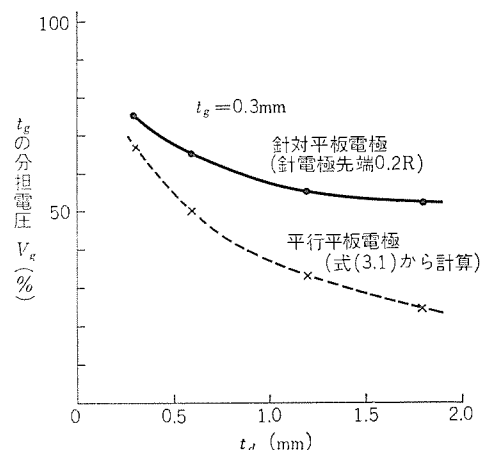


図 3.4 油ギャップの分担電圧

Fig. 3.4 Voltage distribution of oil gap.

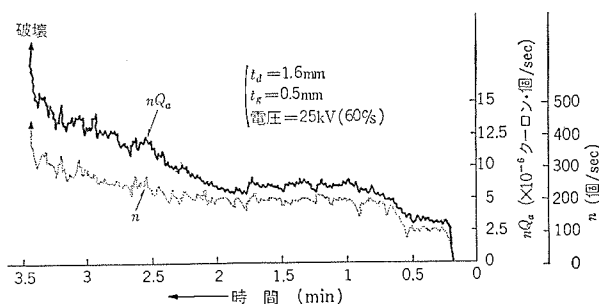


図 3.5 コロナ発生ひん度 n とコロナ電流 nQ_a の時間変化

Fig. 3.5 Changes of corona pulse frequencies n , and corona pulse currents nQ_a , with time.

れは針電極と平板電極との間ギャップ長 ($t_g + t_d$) が大になると、針電極先端の電界の不等性が増し、 t_g 一定としても相対的に t_g にかかる電圧が増加するためであると考えられる。図 3.4 に t_g 一定として t_d を変えたときの t_g の分担電圧を示す。これは軸対称三次元模型の電解液タンクで求めたものである⁽⁹⁾、図 3.4 を用いてコロナ開始電圧を求めると図 3.1 の計算値 (補正值) が得られる。これから油中コロナの開始電圧は間欠コロナの開始電圧

コロナ開始直後

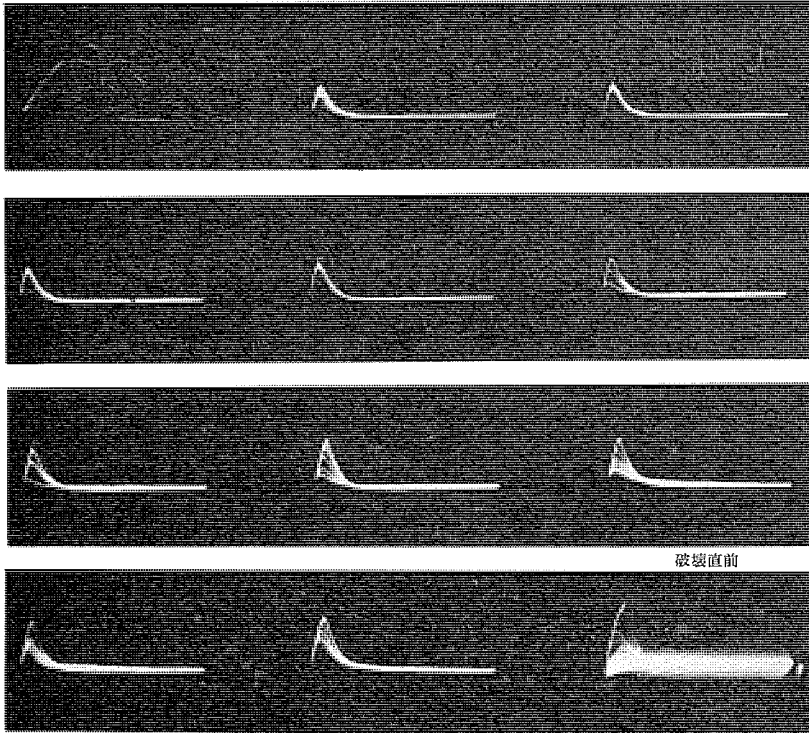


図 3.6 油中コロナパルス波形

Fig. 3.6 Changes of corona pulse waveforms in oil.

が計算値と比較的よく一致することがわかる。

3.2 コロナ放電量およびパルス波形の時間特性

図 3.5 にコロナ発生ひん度 n とコロナ電流 nQ_a の時間特性の代表例を示す。また図 3.6 にコロナパルス波形が時間とともに変化する様相を示す。電圧印加直後はプレスボード表面にはげしい表面放電が見られ、この段階で n は時間とともに増大し、コロナパルス波形は油中コロナ特有の立上り時間の長い複雑なパルス波形を示している。時間が経過すると放電がプレスボードの内部に入り込み、ガスの発生が盛んとなる。この段階では n は一度低下するものが多く、またコロナパルス波形は次第に気中コロナと同じ急しゅんな立上りのパルスが現われるようになる。さらに時間が経過すると n は時間とともに次第に増加し、破壊に至る。 nQ_a も n とほぼ同じ傾向をたどっている。したがって図 3.6 から明らかなように 1 発のコロナパルスの放電電荷 Q_a は時間的変動が比較的小さい。

次に油中コロナに特有の、立上り時間の長いパルス波形から放電電流のいない手、すなわち電子またはイオンの移動度 μ を概算すると、そのオーダーは $0.2 \sim 0.6 \text{ (cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec)}$ 程度となる。鉱油中では正負イオンの移動度は $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ (cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec})^{(6)}$ であり、また n -Hexane について、移動度は電界が 0.5 MV/cm までほぼ一定である⁽¹⁰⁾。さらに液体アルゴン中では電子は負イオンを形成せず、自由電子としてふるまい、正イオンの移動度 k^+ と電子の移動度 k^- の比 k^+/k^- は 10^{-4} 程度である⁽¹¹⁾。これらのことから油中のコロナ破壊において、電流のいない手はほとんど自由電子が作用しているように思われる。

3.3 プレスボードの耐コロナ性

気中コロナでは固体誘電体の破壊強度が気体の破壊強度に比べて非常に大であるので、時間的に安定なコロナ放電を起させることができ、また耐コロナ性におよぼす諸因子を広範囲に変えるこ

とができるので、その結果定量的にコロナ放電量と耐コロナ性の関係を研究することができる。

しかし油中コロナでは、油浸プレスボードの破壊強度が油の破壊強度に比べてあまり高くなく、紙の密度によって異なるが油浸紙は $100 \sim 300 \text{ kV/mm}$ 程度であり⁽¹²⁾、供試油は 30 kV/mm である。したがってコロナを発生させるとただちに破壊するものが多く、印加電圧や、油のギャップ長、プレスボードの絶縁厚などを広範囲に変えて耐コロナ性寿命特性を求めることがむずかしい。さらに放電の不安定性やガスの発生が関係してデータが非常にばらつき、一層これらの関係を求めることが困難である。図 3.7 はこれらのうちでやや相関があると思われる油のギャップ長 t_g と寿命時間 t との関係をプロットしたものである。 $\log t - t_g$ の関係は図 3.1 (1) の $V_g - t_g$ の関係と傾向が似ており、V 特性を示して、 t_g が $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ のところで V_g 、 t ともに最小となっている。したがってプレスボードの寿命はコロナ開始電圧と関係があるように思われる。

気中コロナでは耐コロナ性とコロナ放電量との間に次の実験式が成立する⁽⁴⁾。

$$t = \frac{A}{nf} U^{-\gamma} \dots \dots \dots (3.4)$$

ここに f は印加電源の周波数、 U は 1 発のコロナパルスの放電エネルギー、 A および γ は定数で空気中 1 気圧では $\gamma \approx 0.7$ である。式 (3.4) はコロナ電流 nQ_a を用いて近似的に

$$t = A' (nQ_a)^{-\gamma} \dots \dots \dots (3.5)$$

とおくこともできる。

図 3.5 に示したようにコロナ放電量は時間的に一定性がないので、便宜的にこの記録結果から n, nQ_a の破壊までの時間平均を求めて、式 (3.4) および式 (3.5) にしたがって整理すると図 3.8 が得られる。データが非常にばらついているのでこれから耐コロナ性とコロナ放電量との関係を定量的に求めることはできないが、その傾向は気中コロナと同様にコロナ放電量が増すと寿命時間は指数的に低下している。

図 3.7 または図 3.8 に示したように、 $0.8 \sim 1.6 \text{ mm}$ 厚さの油浸

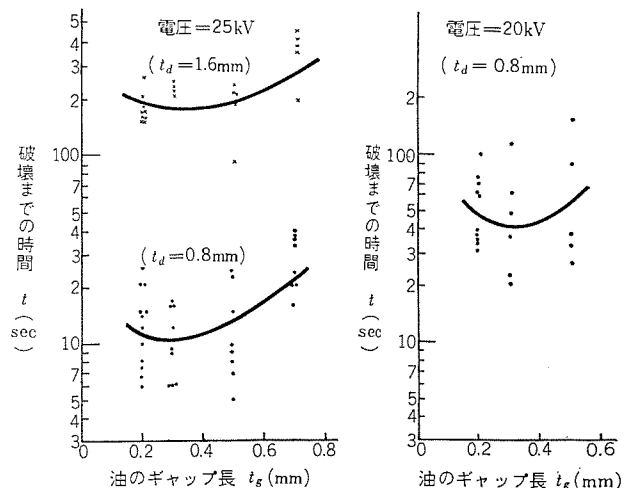


図 3.7 寿命時間
Fig. 3.7 Life span.

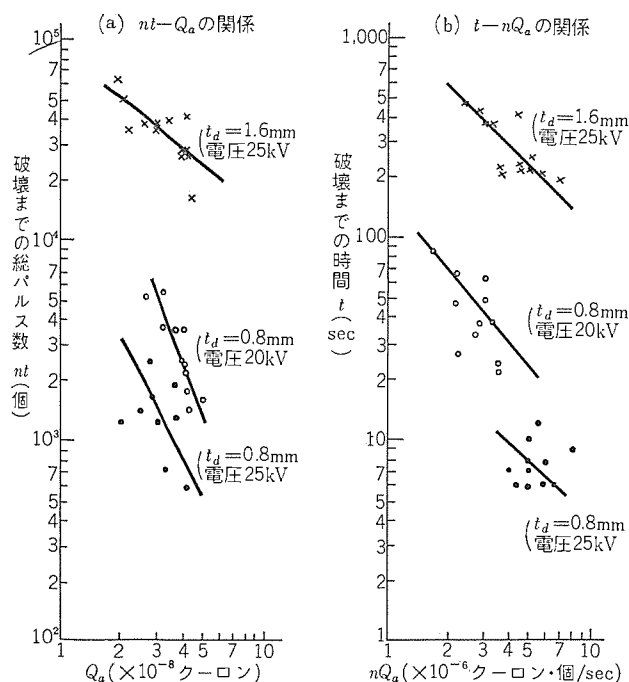


図 3.8 コロナ放電量と耐コロナ性の関係
Fig. 3.8 Relation between corona pulse magnitude and corona resistance.

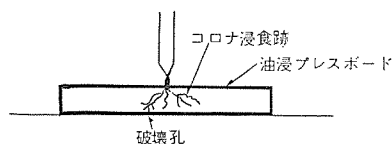


図 3.9 破壊孔の一例
Fig. 3.9. Typical breakdown channels of pressboard.

プレスボードの耐コロナ性は AC 60 c/s において数秒～10 分程度であり、寿命時間が非常に短い。また破壊の跡を観測すると、破壊孔は必ずしも電極直下に生ずるとは限らず、図 3.9 のように 5～15 mm 離れたところに生ずるものが大部分であった。これはコロナストリーマがプレスボードの内部に入り込むと、プレスボードには面方向に油層があるので、この油層に沿ってストリーマが進展するためであると思われる。実際プレスボードを 2 層にすると、1 枚のプレスボードの厚さ 0.5 mm、印加電圧 20～25 kV において破壊が電極直下から非常に離れた 50～80 mm のところに生じた。

以上の結果からプレスボードを絶縁の主体とした油入機器では油中にコロナが発生すると、ストリーマが油の層に沿って著しく進展することが予想され、またプレスボード自体の耐コロナ性が弱いために、短期間のうちに全路破壊に至ると思われる。換言すれば油入機器では油中コロナを絶対に発生させないような絶縁設計を施さなければならないことを示唆している。

3.4 ポリマーの油中コロナ特性

厚さ 0.2 mm のポリエチレンおよび 1 mm のナイロンを用いて油中のコロナ放電の様相を調べた。使用した油の絶縁耐力は 4.5 kV/0.1 mm で、電極セットのとき、真空噴霧注油をしていない。測定結果の概要を表 3.1 に示す。また n および nQ_a の時間特性の一例を図 3.10 に、コロナパルス波形の時間とともに変化する様相を図 3.11 に示す。表 3.1 においてナイロンのコロナ開始電圧の実測値（間欠コロナ）が計算値よりも非常に低くなっているのは、厚さが大で電界が不平等になっているためである。寿命時間はナイロン、ポリエチレンともに非常に短かく、ポリエチレンについて気中コロナの場合と

表 3.1 試験結果の概要 25°C, $t_g=0.1$ mm, AC 60 c/s

試料	厚さ (mm)	枚数	印加電圧 (kV)	コロナ開始電圧 (kV)		コロナ放電量			寿命時間 (sec)
				実測値 (間欠)	計算値	n (個/sec)	nQ_a (10^{-6} クーロン・個/sec)	Q_a (10^{-8} クーロン)	
ナイロン	1	5	17.5	11.8～12.8	21.7	80～165	2.8～6.0	3.2～4.0	41～91
ポリエチレン	0.1	5	15	12.5	14.5	60～75	2.0～4.4	3.3～5.9	6.4～12.1

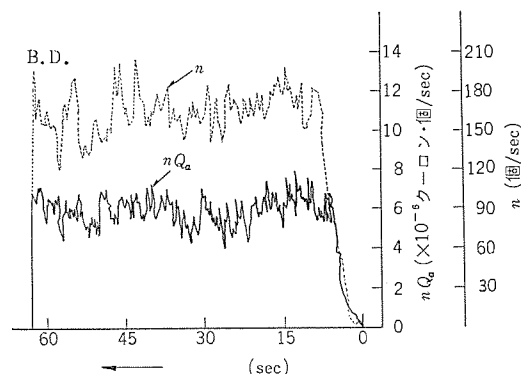


図 3.10 コロナ発生ひん度 n とコロナ電流 nQ_a の時間変化
Fig. 3.10 Changes of corona pulse frequencies n and corona pulse currents nQ_a with time.

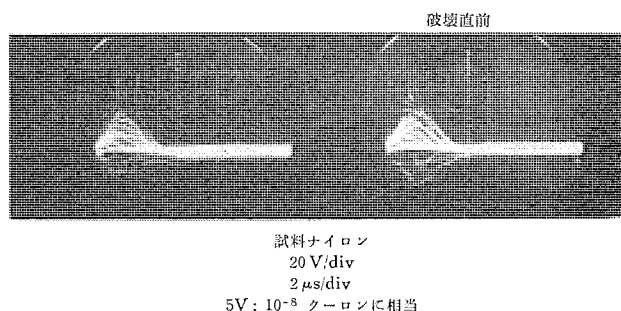
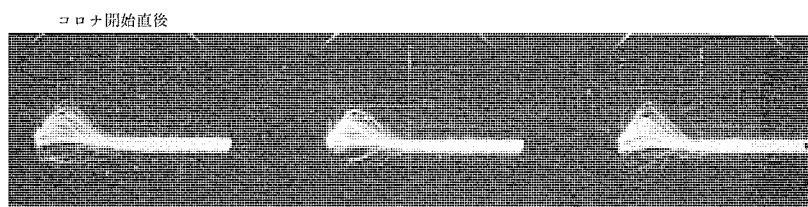


図 3.11 油中コロナパルス波形
Fig. 3.11 Changes of corona pulse waveforms in oil.

比較すると、気中コロナではポリエチレンを 0.2 mm 侵食するに要する総コロナパルス数は Q_a が $1 \sim 2 \times 10^{-8}$ クーロンにおいて 10^8 個程度であるが⁽¹³⁾、一方油中では 6×10^2 個程度となる。したがって油中コロナに対する耐コロナ性は非常に弱いことが結論される。この原因は明らかでないが、 Q_a が油中と気中で同程度であったとしても、コロナパルスのエネルギーが油中のほうが 10 倍程度高いことや、油中のコロナストリーマは気中のコロナストリーマに比べて固体内に侵入し易い性質がある⁽¹⁴⁾ことなどが関係していると思われる。

図 3.10、図 3.11 から、放電の様相はプレスボードに比べて時間的に安定しており、また油を脱気していないにもかかわらず、ガスの発生が少なく、コロナパルス波形は破壊の直前まで油中コロナ特有の波形となっている。したがってプレスボードでは油中にコロナが発生すると、プレスボード自体から分解生成ガスが非常に発生することがわかる。

4. む す び

油入変圧器の主絶縁構成材料である プレスボード を用いて、油中の コロナ 放電の様相と、耐 コロナ 性を調べた。また ポリマー についても同様の実験を行ない、プレスボード と比較した。まず プレスボード については

- (1) 油中 コロナ の開始電圧は、間欠 コロナ の開始電圧が計算値と比較的一致する。
- (2) 油中に コロナ が発生すると、ガスが発生するのでコロナ放電量は時間的に一定せず、複雑な変化を示す。また発生するガスは、大部分 プレスボード からの分解生成ガスと思われる。
- (3) コロナパルス波形は、最初油中 コロナ に特有の波頭長の長いパルスが現われるが、以後次第に急しゅんな立上りの気中コロナと同じ波形のパルスが現われる。
- (4) コロナストリーマ は油の層に沿って進展しやすく、油浸 プレスボード の耐 コロナ 性は非常に弱い。したがって油入機器では、油中 コロナ は絶対に発生させないような絶縁設計をしなければならぬ。

また ナイロン、ポリエチレン については

- (a) コロナ放電量は時間的に安定で一定しており、ガスの発生が少なく、コロナパルス波形は破壊の直前まで油中コロナ特有の波形となっている。
- (b) ナイロン、ポリエチレン とともに油中の耐 コロナ 性は非常に弱く、

ポリエチレン について気中の耐 コロナ 性と比較すると、同一 コロナ 電荷量において寿命は 10^5 倍程度異なる。

終りにこの試験に際し、いろいろご指導をいただいた電気第一研究室安藤室長、ならびに電解液 タンク による電位分布の解析をしていただいた山田技手に謝意を表する。

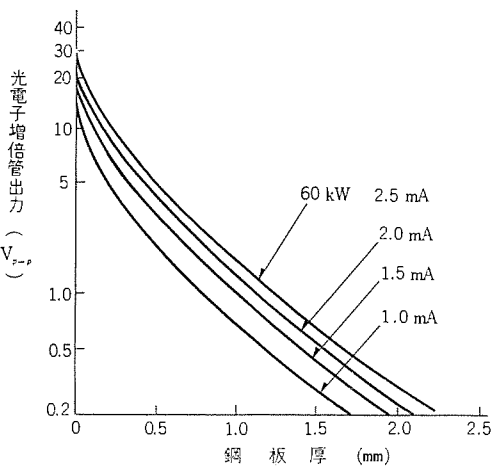
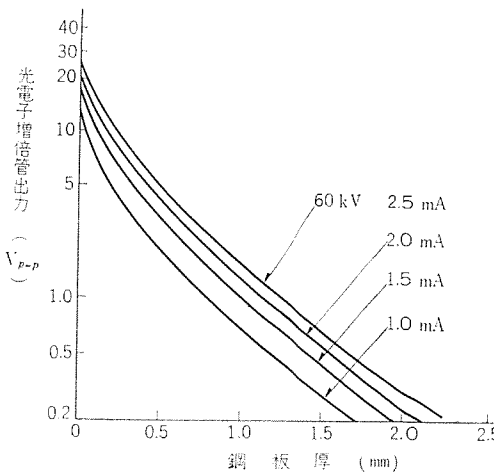
(昭 37-11-9 受付)

参 考 文 献

- (1) 木村, 津村, 横須賀: 電学誌 59, 612 (昭 14)
- (2) T. W. Liao, J. S. Kresge: Detection of Corona in Oil at Very High Voltages, AIEE, Tech. Paper 54-396.
- (3) 原, 平林: 「三菱電機」34, 890 (昭 35)
- (4) 原, 平林: 「三菱電機」34, 1448 (昭 35)
- (5) 井関, 倉橋: 電学誌 81, 1060 (昭 36)
- (6) 放電ハンドブック (電気学会) 418
- (7) 原, 平林, 水野: 昭 37 電連大 59
- (8) 電気学会技術報告 45, (昭 36)
- (9) 岡: 「三菱電機」29, 280 (昭 30)
- (10) Chong P., Inuishi I.: 1960, Technology Reports of the Osaka University, 10, 545.
- (11) Swan, D. W.: 1961. Proc. Phys. Soc., 78, 423.
- (12) 坂本, 吉田: 関西絶縁技術懇談会資料 No. 63-3
- (13) 岡本: 電学誌 80, 379, (昭 35)
- (14) W. P. Baker: Nature 181, 1726 (昭 33)

訂 正

本誌 Vol. 36・No. 12「X線厚み計」のうち誤を下記のように訂正いたします。

ページ	誤	正
3 図 2.4		
3 (左) 式 (2.3)	$I_1 = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-(\mu/\rho) \rho x} = I_0 e^{-(\mu/\rho) \rho x}$	$I_1 = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-(\mu/\rho) \sigma} = I_0 e^{-(\mu/\rho) \rho x}$
3 (左) 最後の行へ追加		σ : 吸収物質の表面密度 (g/cm ²)
3 (右) 式 (2.5)	$\ln(I_1/I_0) = -\{(\mu/\rho)_A W_A + (\mu/\rho)_B W_B\}$ $P_{A+Bx} = -\mu_A + Bx$	$\ln(I_1/I_0) = -\{(\mu/\rho)_A W_A + (\mu/\rho)_B W_B\}$ $\rho_A + Bx = -\mu_A + Bx$

固体試料分析用二重収束質量分析器 (II)

甲斐潤二郎*・尾形善弘**

A Double Focusing Mass Spectrograph for The Analysis of Solids (II)

Research Laboratory Junjirō KAI・Yoshihiro OGATA

A mass spectrograph has been built for the analysis of solid—chiefly metal and semiconductor—particularly a very small amount of impurity. This instrument is of the Mattauch-Herzog type and provided with a Dempster type hot spark ion source, having its electric field of 150 mm in radius. The detection limit of trace elements determined by the levels of residual gas spectra is about 10^{-7} in atomic fraction for the elements of mass number higher than 45. This detection limit may be extended by improving the vacuum system and the ion source. The quantitative analysis with the mass spectrograph has been discussed somewhat in details to throw a light on problems.

1. ま え が き

金属や半導体の物性の研究や応用がさかんになるにしたがい、素材の高純度化がますます必要になってきた。そのために、素材の化学分析は一層重要になるとともに、より高感度な方法の開発を要求されるようになってきた。

われわれがさきに、京都大学理学部の依頼により、開発した固体試料分析用質量分析器⁽¹⁾は、このような要求に基づいたものである。その後、同種の質量分析器の米国および英国における発展にはみるべきものがあり、場合によっては ppb (10^{-9}) のケタの微量不純物を検出することができるという報告もある⁽²⁾。

本器は、スパーク形のイオン源を備え、収束方式は Mattauch-Herzog 形である。スパーク形のイオン源は、ほとんど元素間の感度差なしに使えるという特長がある。しかし、イオンの初速度のひろがりが大きいために装置は二重収束形とする必要があり、また、イオン流強度が時間的に変動するためにイオンの検出を積分的に行なう必要から、通常、写真乾板が用いられる。したがって、定量分析はフォトリによらねばならない。Mattauch-Herzog 形は、このようなことから考えて最適の収束方式である。

われわれは、前報⁽¹⁾に述べた装置の製作経験から、より合理化された装置を設計製作し、自家用として稼働している。本器の性能に係る部分の寸法は前報のものと同一であるが、全体として小形になり、高真空を得やすい構造になっている。写真乾板は長くしたので1回の露出で撮影される質量範囲が広がった。

この報告には、装置のあらましと現在までに得られた稼働結果について述べ、また、質量分析器を用いる場合の定量分析法について検討した結果をやや詳しく述べることにする。

2. 装 置

2.1 分析器本体

図 2.1 に本体の断面図を示してある。

前報のものと異なる点はつぎのとおりである。

- (1) 真空容器はすべてステンレス鋼製にしたこと。
- (2) 精度よく工作できるような設計を行なって、イオンビームの調整箇所は、主スリット—電場間の距離のみにしたこと。
- (3) 主スリット—電場—磁場の相互の位置関係を固定したまま

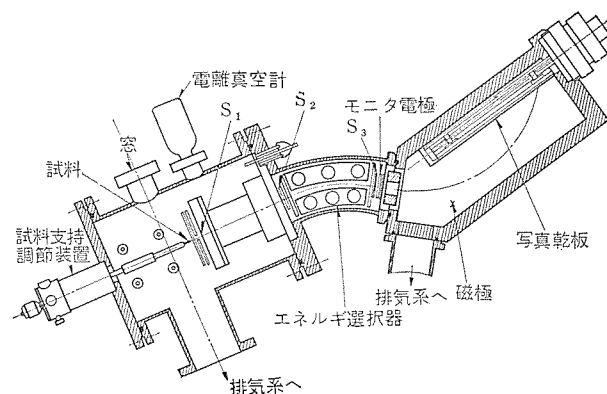


図 2.1 本体断面

Fig. 2.1 Plan view of the instrument.

でイオン源部の真空容器を取り換えるようにしたこと。これは、種々のイオン源を用いて実験するために必要なことである。

- (4) 磁場部を除いて、 200°C 程度のベークアウト排気ができるようにしたこと。

などである。

イオン源は、試料2本を電極として高周波の高電圧をパルス的に印加し、スパークさせる形式のものである。高周波の周波数、電圧、持続時間、およびくりかえしなどの条件は、実際の分析にあたって重要であると考えられるから、最適条件を見出す必要がある。

イオンの加速系は、直径 3 mm の丸穴をもつ タンタル板と、それにつづく レンズ電極 (ハーフプレート)、および主スリットからできている。

主スリットと電場との間の距離は、理論値付近で真空を破らずに調節できるようにしておき、調整ののち、調節機構を取りはずして固定した。

電場は、前報のものと同様に、中心軌道半径 150 mm で、電極は金メッキして用いた。

磁場は、磁極間隔が 3 mm で、最高 20 kG 程度が得られる。磁極はやはり金メッキした。乾板に到達するイオンの磁場内での軌道半径は、最小 37 mm 最大 153 mm である。

電場の入口と出口および磁場の入口には、それぞれの場の周縁補正板⁽³⁾を設けた。

電場と磁場との間には モニタ 電極を設け、磁場に入る前の イオン 流の一部を切ってその電荷を コンデンサ にため、コンデンサの両端の電圧を測定することにより、露出量を決定することができるようにした。

イオン 検出用の写真乾板は イルフォード Q2 を用いたが、その大きさは $30 \times 165 \text{ mm}$ で、1 回の露出で M から 16 M までの質量範囲のスペクトルが撮影される。乾板は真空の外から幅方向に移動させ、1 枚の乾板に最低 7 回の露出ができる。

2.2 排気系

図 2.2 には、本器の排気系統を示してある。

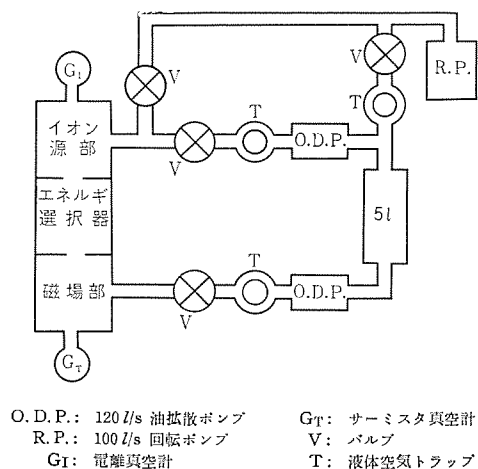


図 2.2 排気系

Fig. 2.2 Vacuum system.

すなわち、排気はイオン源と磁場の部分の2箇所から行ない、それぞれバルブおよび液体空気トラップを介して排気速度 120 l/sec の油拡散ポンプにつながっている。

拡散ポンプ油にはアビエシオン C を、また回転ポンプ油には、バックグラウンドの低減をねらって、拡散ポンプ油 (ライオン A) を用いた。ガスケットはフッ素ゴム (パイトン) のものを用い、 200°C 程度のベークアウトに耐えるようにした。

2.3 電源部

電源はつぎのようなものからできている。

(1) スパーク用高周波電源

周波数 4 Mc, 電圧 0~30 kV の高周波を、幅 $300 \mu\text{s}$ だけ持続させ、これを 60 c/s でくりかえすようになっている。

(2) イオン加速電源

最高 30 kV まで可変な直流電源である。

(3) エネルギー選択器電源

加速電圧に見合う直流電圧をエネルギー選択器の電極に与えるためのもので、中心軌道 (アース電位) に対して、最高 $\pm 1.5 \text{ kV}$ まで可変である。

(4) 電磁石励磁電源

最高 400 mA まで可変の直流電源で、掃引回路を持ち、その時定数も可変である。安定度は 5×10^{-5} 程度が実現されている。

(5) 直流増幅器

モニタ電極によって取り出したイオンの電荷は、通常 500 PF あるいは 5,000 PF のコンデンサにためる。その電圧は振動容量形電位計で測定する。

(6) 排気系制御回路

IG-305 形電離真空計、TG-R1 形サーミスタ真空計、および断水、真空度低下に対する保護警報回路などからなっている。

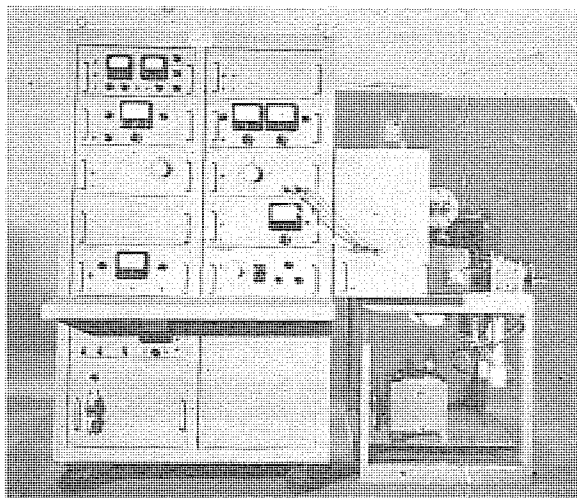


図 2.3 質量分析器

Fig. 2.3 Completed mass spectrograph.

以上で装置の概略を説明したが、図 2.2 および図 2.3 に装置の写真を示してある。

3. 稼働結果

3.1 分解能

イオン源の主スリットの幅を s 、電場の中心半径を a_e とすれば、二重収束の理論から導かれる分解能 R は次式で与えられる。

$$R = \frac{m}{\Delta m} = \frac{a_e}{2s} \dots \dots (3.1)$$

幅 0.2 mm の主スリット

を用いて、白金の試料について得られた質量スペクトルは図 3.1 (a) に示すとおりである。この場合、式 (3.1) から算出される理論分解能は 375 であるが、図から 300 程度の分解能が実現されていることがわかる。

3.2 分析例

図 3.1 (b), (c) および (d) は、それぞれ、純鉄、ゲルマニウム、およびガリウム-ヒ素合金の質量スペクトルである。

得られた質量スペクトルから定量分析を行なう方法については後節に検討してある。

図 3.1 (b) は純鉄中の銅およびマンガン の分析を行なった例であり、また (c) はゲルマニウム中にドーパされたアンチモン の分布状態を調べた例である。この二つの試料については、後で 4.2 (4) に述べるような場合、すなわち鉄と銅およびマンガン、ゲルマニウムとアンチモン のイオンの生成の様子が、それぞれ同じであるととし、さらに乾板に対する黒化作用もそれぞれ等しいと仮定して定量した。その結果は、純鉄中の銅は原子分率で 10 ppm, マンガンは 20 ppm となり、またゲルマニウム中のアンチモンは、図 3.1 (c) の上からそれぞれ 90 ppm, 20 ppm, および 10 ppm となった。純鉄中の銅については発光分光分析も行なったが、上述の結果とよく一致した。図 3.1 (d) は、亜鉛をドーパしたガリウム-ヒ素合金の分析例で、キャリア濃度から推定される亜鉛の量は原子分率でほぼ 120 ppm である。

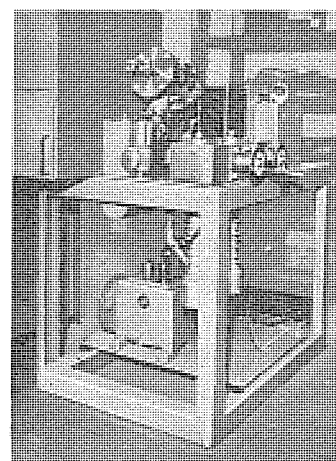


図 2.4 分析器本体および排気系
Fig. 2.4 Analyzer and vacuum system.

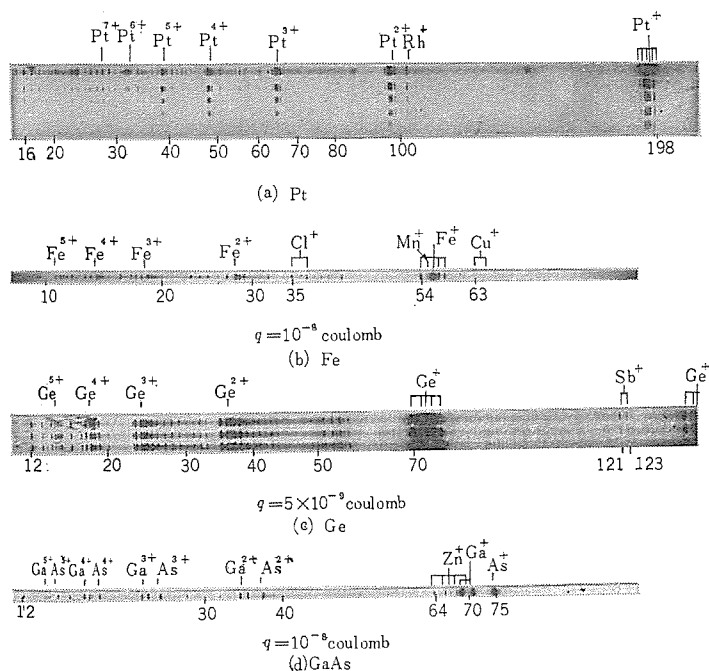


図 3.1 質量 スペクトル の例 (加速電圧: 13 kV)
Fig. 3.1 Mass spectra (accelerating: 13 kV)

なお、図 3.1 (a) および (c) の バックグラウンド が高いのは装置の ベークアウト を行なっていないためである。

3.3 残留ガスによるバックグラウンドスペクトル

微量不純物の分析のためには、残留ガスによるバックグラウンドスペクトルが問題になる。スパーク形イオン源を使ってバックグラウンドスペクトルだけを観測することはできない。試料を電極としてスパークさせてはじめて残留ガスをイオン化することができるからである。このような事情から、とくにバックグラウンドスペクトル対策を必要とする。残留ガスによるバックグラウンドスペクトルには

- (1) 残留ガスがスパーク空間でイオン化されて生ずるもの
- (2) スパークによって試料から生じた多荷イオンのうち、飛行中に残留ガスと衝突して荷電数が減少したイオンによるものの2種がある。

後者はもとの多荷イオンのスペクトルとの間に尾を引く。対策としては、できるだけ残留ガスを減らすことと、分解能を大きくして残留ガスのスペクトルと試料中からきた目的元素のスペクトルとを区別できるようにすることの二つが考えられる。

われわれは、いくつかの高純度金属あるいは半導体を分析し、得られた質量スペクトルから残留ガスによるバックグラウンドスペクトルを確認し、その規模を推定した。詳細な検討は他の機会に報告することとしてここでは結果だけを簡単に述べる。

まず、前述の(1)に属するバックグラウンドの現状は図3.2に示す程度である。この図の横軸には質量数を、また縦軸には、試料中の不純物濃度(原子分率)に換算したスペクトル強度を示してある。これらのスペクトルのうち、質量数70付近および120付近のスペクトルはかなり変動があり、これよりも少ない場合もある。図に示したスペクトルは、拡散ポンプ油の分解生成物のスペクトルの傾向と一致している。また、前述の(2)に属するバックグラウンドは、図には示さなかったが、大きいもので $1 \sim 2 \times 10^{-5}$ (原子分率)相当の大きさをもっている。

現在、装置の到達真空度は、イオン源のところで 2×10^{-6} mmHg程度であり、スパーク中は $6 \sim 8 \times 10^{-6}$ mmHg程度になる。この到達真空度のあたりでは、バックグラウンドの量はほぼ圧力に比例して

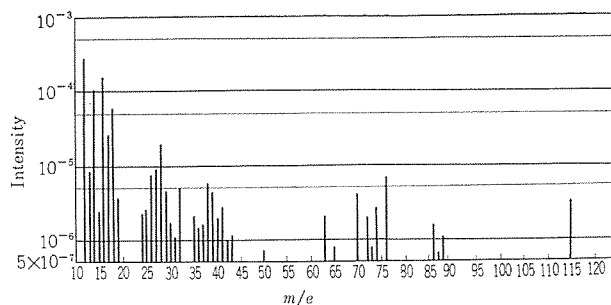


図 3.2 残留ガスの質量スペクトル
Fig. 3.2 Mass spectra of residual gases.

いる。したがって、拡散ポンプ油の逆拡散をもっと押え、かつ differential pumping を行なうことにより、イオン源付近の到達真空度を 10^{-8} mmHg の域にできれば、たとえば質量数45以上の元素の検出限界を10 ppb あるいはそれ以下に向上させる可能性がある。

バックグラウンドスペクトルについて注目すべきことは、スパークしやすい試料としにくい試料とでは、同じ露出量に対して、前者のほうが、上述の(1)に属するバックグラウンドスペクトルは低くであるということである。このことは、イオン源の高効率化が、この種のバックグラウンドの減少にも役立つという可能性を示している。

4. 定量分析法についての検討

さきに述べたように、得られた質量スペクトルから定量分析を行なうには フォトメトリ によらなければならない。これには分光分析法の知識や技術が大いに役立つものと思われる。また、質量スペクトルの特長を活用した方法も考えられねばならない。この観点から、さきにいくつかの方法を提案し試用した⁽⁴⁾。また、その後、モニタ電極を利用して露出を制御することにより、同位体存在比の測定についての実験を行なった⁽⁵⁾。ここでは、モニタ電極によって露出を制御する場合の定量分析法について、さらに検討してみることとする。

4.1 検量線作成法の基礎的考察

得られた質量スペクトルから定量分析を行なうには、着目する元素Aの線スペクトルの黒化度Dを測定し、その結果からなんらかの方法で、Aの濃度C(原子分率)を求めねばならない。すなわち、つぎの関係を示す検量線が必要である。

$$D = f_1(C) \quad (4.1)$$

Dは、実際には、そこに到達したいくつかのイオンによって形成される。他の実験条件を同一に保った場合、黒化度は、同じ元素では乾板上の単位面積あたりに飛来したイオンの数nとのみ関係し、イオン流強度には関係しないと仮定すれば(仮定1)、Dとnとの間に次式が成立する。

$$D = f(n) \quad (4.2)$$

そこで、元素Aの濃度Cとnの関係が検量線を作成する上で本質的に重要である。つぎにこの関係について考察することにする。

さて、スパークによって試料は消耗し、その一部はイオンになる。そのイオンの一部は加速されてのち、エネルギー選択をうけて磁場に向かう。磁場に入る前に、さらにその一部はモニタ電極に捕集される。事がらを簡単にするために、Bなる元素中にAなる元素が不純物としてCなる濃度(原子分率)で混入している試料を考えてみよう。

1 回のスペクトル撮影で、全体で N 個の原子が試料から消費されたとする。この原子の一部がイオンになるのであるが、生成しうるイオン種は、

- (1) A のみからなり、一般式が $A_{n_1}^{m_1+}$ で表わされるイオン
- (2) B のみからなり、一般式が $B_{n_2}^{m_2+}$ で表わされるイオン
- (3) A, B 両元素の化合物の形で一般式が $(A_{n_1'} B_{n_2'})^{m'+}$ で表わされるイオンの3種に大別される。

消費された原子数に対するこれらのイオンの生成の割合は、スパークの条件が一定である限り、A の濃度 C のみによってきまると考えて、それぞれ $f_A(C)$, $f_B(C)$ および $f_C(C)$ で表わすことにすれば、イオン源で生成したイオンの全個数 N_I は次式で表わされる。

$$N_I = N[f_A(C) + f_B(C) + f_C(C)] \quad (4.3)$$

これらのイオンの一部はモニタ電極に捕集され、測定される。その個数 N_M は、捕集される割合を K_M とするとき次式で表わされる。

$$N_M = K_M \cdot N[f_A(C) + f_B(C) + f_C(C)] \quad (4.4)$$

実際には N_M は測定されず、 N_M 個のイオンの持つ電荷量が測定されるのである。今、モニタに捕えられたイオン種 $A_{n_1}^{m_1+}$ ($n_1, m_1 = 1, 2, 3, \dots$) について考えると、その全個数は、式 (4.4) から、 $K_M \cdot N \cdot f_A(C)$ であるが、そのうち $A_{n_1}^{m_1+}$ のしめる割合を ${}_{n_1}^{m_1}P_A$ と書くならば、このイオン種全体の電荷は、 $e \cdot K_M \cdot N \cdot f_A(C) \cdot \sum_{m_1, n_1} (m_1 \cdot {}_{n_1}^{m_1}P_A)$ となる。ただし、 e は電子の電荷の絶対値である。他のイオン種についても同様の考え方ができるから、結局、モニタに捕えられるイオンの全電荷 q は次式で与えられる。

$$q = e \cdot K_M \cdot N [f_A(C) \sum_{m_1, n_1} (m_1 \cdot {}_{n_1}^{m_1}P_A) + f_B(C) \sum_{m_2, n_2} (m_2 \cdot {}_{n_2}^{m_2}P_B) + f_C(C) \sum_{m', n_1', n_2'} (m' \cdot {}_{n_1'}^{m'} {}_{n_2'}^{m'} P_C)] \quad (4.5)$$

さて、最終的に乾板に飛来するイオンは、生成したイオンのごく一部であり、その割合を K_D とすると、イオン種 $A_{n_1}^{m_1+}$ ($m_1, n_1 = 1, 2, 3, \dots$) については、 $K_D \cdot N \cdot f_A(C)$ 個が飛来することになる。実際にはそのうちでも A^+ なるイオンが最も強く記録されるから、不純物の定量にはこのスペクトルを用いることになる。 A^+ のイオンのうち、同位体存在比 r ($\sum r = 1$) なる同位体の線スペクトルに着目するならば、その線スペクトルを形成したイオンの全個数 N_{AD} は、結局、次式で表わされることになる。

$$N_{AD} = K_D \cdot N \cdot {}_1^1P_A \cdot r \cdot f_A(C) \quad (4.6)$$

したがって、線スペクトルの面積を A で表わせば、単位面積あたりに飛来したイオンの個数 n は、

$$n = \frac{K_D \cdot N \cdot {}_1^1P_A \cdot r \cdot f_A(C)}{A} \quad (4.7)$$

と書くことができる。

式 (4.5) と式 (4.7) とから N を消去すれば次式が得られる。

$$n = \frac{K_D \cdot {}_1^1P_A \cdot r \cdot q \cdot f_A(C)}{e \cdot A \cdot K_M [f_A(C) \sum_{m_1, n_1} (m_1 \cdot {}_{n_1}^{m_1}P_A) + f_B(C) \sum_{m_2, n_2} (m_2 \cdot {}_{n_2}^{m_2}P_B) + f_C(C) \sum_{m', n_1', n_2'} (m' \cdot {}_{n_1'}^{m'} {}_{n_2'}^{m'} P_C)]} \quad (4.8)$$

式 (4.8) は、最も一般的な n と C との関係式である。つぎに、この式から考えられる検量線の作成法について述べる。

4.2 検量線作成法

検量線の作成法をいくつかの場合にわけて考えてみる。

(1) 任意に標準試料が得られる場合

式 (4.8) は

$$n = g(C) \cdot r \cdot q \quad (4.9)$$

と書くことができる。一般には、この $g(C)$ は複雑な形をしてい

る。任意に標準試料が得られる場合には、 C の異なる種々の試料を使い、同じ r と q との値について D を測定し、 C と D との関係すなわち式 (4.1) をプロットして検量線をつくることができる。

(2) 同位体存在比の測定

一つの試料中に含まれている元素 A の同位体のスペクトルを、露出量を種々にかえて撮影する場合を考えると、式 (4.9) の $g(C)$ は一定であるから、次式が成立するはずである。

$$n = k \cdot r \cdot q \quad (4.10)$$

ただし、 k は試料によってきまる定数である。式 (4.2) と式 (4.10) とから、 r と q との積が等しければ同じ黒化度を生ずるはずである。ゆえに、各同位体のスペクトルの黒化度と q との関係を示す検量線を作れば同位体存在比を求めることができる。すなわち、二つの同位体 (存在比 r_1, r_2) が同じ黒化度になるときの q を検量線から求めて、それぞれ q_1, q_2 であったとすれば、 $k \cdot r_1 \cdot q_1 = k \cdot r_2 \cdot q_2$ 、したがって存在比は $r_1/r_2 = q_2/q_1$ となるわけである。われわれは、さきにこの方法で同位体存在比を測定し、従来報告されているところに一致する結果を得た⁽⁵⁾。

(3) 定量すべき元素の濃度が小さい場合

はじめに、式 (4.8) をもうすこし実験に即した考え方に基づいて書きかえてみることにする。

まず $A_{n_1}^{m_1+}$ ($n_1 \geq 2$)、あるいは $B_{n_2}^{m_2+}$ ($n_2 \geq 2$) のような多原子分子イオンや、 $(A_{n_1'} B_{n_2'})^{m'+}$ のような化合物の分子イオンについて、われわれの知る範囲ではつぎのようなことがいえる。

(a) 2 荷以上のイオンは認められない。

(b) 1 荷イオンの強度も弱く、単原子の一価イオンの数%以下である⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

したがって、単原子の多価イオンを含めた全イオン数に対しては、これらの分子イオン種はきわめて少量であって、フットメトリの精度から考えて、式 (4.8) から除外し、 A^{m_1+} および B^{m_2+} なるイオンのみを考えることにする。

つぎに、試料からスパークで N 個の原子が消耗したときに、元素による分別効果は起らず、したがって N 個のうち NC 個を元素 A がしめ、 $N(1-C)$ 個を元素 B がしめていると仮定する (仮定 2)。そして、 A^{m_1+} および B^{m_2+} なるイオン種は、それぞれの消耗原子数に比例して生成すると仮定する (仮定 3) と、式 (4.3) はつぎのように書ける。

$$N_I = N(k_A C + k_B (1-C)) \quad (4.11)$$

したがって

$$f_A(C) = k_A C, \quad f_B(C) = k_B (1-C) \quad (4.12)$$

式 (4.12) を式 (4.8) に代入すると、

$$n = \frac{K_D \cdot k_A \cdot {}_1^1P_A \cdot r \cdot q \cdot c}{e \cdot A \cdot K_M [k_A C (\sum_{m_1} m_1 \cdot {}_1^{m_1}P_A) + k_B (1-C) (\sum_{m_2} m_2 \cdot {}_1^{m_2}P_B)]} \quad (4.13)$$

が得られる。

さて、定量すべき元素 A の濃度 c が小さいときには、式 (4.13) の分母 $[]$ 内第 1 項は第 2 項に比べて無視できるから

$$n = \frac{K_D \cdot k_A \cdot {}_1^1P_A \cdot r \cdot q \cdot c}{e \cdot A \cdot K_M \cdot k_B \sum_{m_2} (m_2 \cdot {}_1^{m_2}P_B)} \quad (4.14)$$

となる。したがって、 ${}_1^1P_A$ および ${}_1^{m_2}P_B$ が c に無関係である——換言すれば、多価イオンの生成割合は、他元素の存在量が変わっても変化しない——と仮定すれば (仮定 4)、A は同位体のスペクトルについては事実上一定であるから、式 (4.14) は

$$n = K_1 \cdot r \cdot q \cdot c \quad (4.15)$$

と書ける。これと式 (4.2) とから、

$$D = f(r \cdot q \cdot c) \quad (4.16)$$

を得る。

式 (4.16) の意義は、 $r \cdot q \cdot c$ の積が同じであれば同一の黒化度 D が得られるということにある。すなわち、元素 A の濃度 C のわかっている標準試料 1 個を用いて種々の q について D を測定し、また A がいくつかの同位体から成っているときには、それらの線スペクトルをすべて利用して、黒化度 D と、 $r \cdot q \cdot c$ の積との関係をプロットして検量線を作ることができる。

図 4.1 は 3.2 に述べてあるガリウム—ヒ素合金中の亜鉛の量を 120 ppm として、上述の方法で作成した検量線である。横軸には $r \cdot q \cdot c$ を、縦軸には黒化度をとっている。黒化度 D の表わし方にも種々の方法が考えられるが⁽⁵⁾、ここでは $(I_0 - I)/I$ (I_0 : 乾板に対する透過光強度、 I : スペクトル最黒部の透過光強度) を用い、縦軸・横軸ともに対数目盛を使ってある。

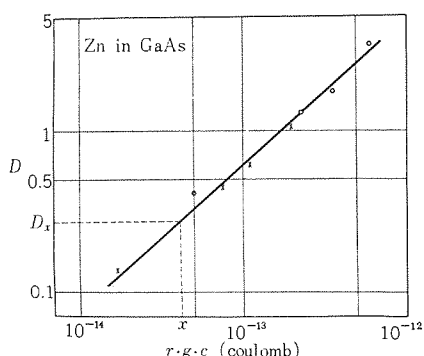


図 4.1 ガリウム—ヒ素中の亜鉛の検量線

Fig. 4.1 Calibration curve for zinc in gallium arsenide.

いま、 c_x なる量の亜鉛を含むガリウム—ヒ素合金のスペクトルを q_1 なる露出量で撮影し、亜鉛の同位体のうち r_1 なるひん度で存在するものによるスペクトルの黒化度として D_x なる値を得たとすれば、図 4.1 から求められる横軸上の座標 x は $r \cdot q_1 \cdot c_x$ に相当するから、求める亜鉛の濃度 c_x は次式で求められる。

$$c_x = \frac{x}{q_1 \times r_1} \quad (4.17)$$

(4) 試料中の定量すべき元素と残る他の元素とのイオンの生成の様子が似ている場合

この場合には、 $k_A \approx k_B$, $m_1 P_A \approx m_1 P_B$ であるから、式 (4.13) はつぎのように近似される。

$$n = \frac{K_{D1} P_A \cdot r \cdot q \cdot c}{e \cdot A \cdot K_M \left(\sum_{m_1} m_1 \cdot P_A \right)} \quad (4.18)$$

$$\approx K_2 \cdot r \cdot q \cdot c \quad (4.19)$$

このときも、4.2 (3) の場合と同様の方法で標準試料 1 個を使うだけで検量線を書くことができる。しかもその標準試料は、元素 A の純物質でもよい。

ここで注意しておきたいことは、式 (4.19) が A, B 両元素について成立しても、検量線は A, B 両元素について必ずしも同一ではないことである。それは、質量や化学的な性質の差のために、式 (4.2) で示される関係は元素によって異なるからである。たと

えば、金—アンチモン合金中のアンチモンの定量を上述の方法で行なった場合、純アンチモンを使って検量線を作成して分光分析値の 2 倍程度の値を得たが、金を使って検量線を作った場合には 5 倍程度の値になった。

5. む す び

自家用として稼働中の固体試料分析用質量分析器の概要を述べ、稼働結果の一端を示したが、まだまだ多くの問題が残されている。

その一つは、検出限界をもっと下げることである。現状は、バックグラウンドによってきまる検出限界は、質量数 45 以上ではいくつかの例外を除いて 10^{-7} のケタであり、45 以下では $10^{-8} \sim 10^{-4}$ と高くなる。真空系統を改善しとくにイオン源の真空度を向上させる必要がある。しかし低質量の微量不純物の分析には、最終的には装置の分解能を大きくしてバックグラウンドを区別しなければならぬであろう。スパークしやすい試料の分析の場合に、バックグラウンドが相対的に低くなることの理由は、スパークの機構とそれによる残留ガスのイオン化の機構が明らかでないで、不明である。しかし、イオン源の高効率化によってバックグラウンドスペクトルを相対的に減少させる可能性を示していると考えられる。

つぎに、定量分析法の研究はちょいついたばかりである。その根本になる検量線の作成法については、かなり合理的な仮定を置いて検討したつもりである。このうち、最も有用なのは、4.2 (3) に述べた微量成分の定量法であろう。この方法が正しければ、すくなくとも試料間の同一元素の濃度比を求めることができる。設定した四つの仮定のうち、仮定 1 は分析精度内で確立され、また、仮定 2 はスパーク形イオン源の特長とされている性質である。しかし、仮定 3 および 4 については当否を判定するに至っていない。また、いかなる濃度まで、4.2 (3) に述べた方法が適用されるかも問題である。これらのことを明確にするには、今後なお多くの実験データの積重ねが必要である。ただ、4.2 (4) に述べたような仮定を置いて分析した場合にも、従来の経験では、一応不純物濃度のケタを求めることはできそうである。

もう一つはイオン源の問題である。定量分析法の研究結果をおりこんでスパーク形イオン源を定量分析により適合させてゆくような研究が必要である。このためには、スパークによるイオンの生成機構にも立入った研究が望まれる。

(昭 37-11-7 受付)

参 考 文 献

- (1) 後藤, 甲斐: 「三菱電機」, 33, 310 (昭 34)
- (2) C. F. Robinson, G. D. Perkins, and N. W. Bell: "Instruments and Measurements", 1, 260 (Academic Press, N. Y. & London, 1961) R. D. Craig, G. A. Errock, ibid, 261.
- (3) R. Herzog: Z. f. Phys., 97, 596 (1935)
- (4) 佐々木, 甲斐: 質量分析, 12, 64 (1959)
- (5) 小寺, 植田, 甲斐, 福田, 河野: 質量分析, 18, 39 (1961)
- (6) 佐々木, 恩地, 甲斐: 質量分析, 12, 69 (1959)
- (7) J. Eranzen und H. Hintenberger: Z. f. Naturforschung, 16 a, 535 (1961)

クロムステンレス鋼羽根車のロウ付

稲岡千種*・平川俱起**

Brazing of Impellers made of Chromium Stainless Steel

Kōbe Works

Chitane INAOKA

Nagasaki Works

Tomoki HIRAKAWA

Impellers for centrifugal compressors are required corrosion resistance and sufficient strength high accuracy in dimensions, because they run in Freon gas at the tip speed of about 12.5 km/min. Their main disks and blades are cast integral and to them are brazed shrouds of an umbrella shape. They are all of chromium stainless steel and brazed for fabrication in a furnace of hydrogen atmosphere. Brazing material used is nickel base alloy. The results of brazing, it is stated in the report, is more governed by overall effect than by individual condition.

1. ま え が き

遠心圧縮機の羽根車にロウ付を利用した。羽根車は周速約 12.5 km/min で一秒間約 0.8 m^3 のフロンガスを圧縮する。したがって、寸法精度とともに耐食性および強度が必要である。

主板と翼は一体鋳造品で、これにカサ形の側板がロウ付される。いずれもクロムステンレス鋼である。

ロウ付には水素ふんい気炉を用い、ニッケル基合金をロウ材とした。

ここでは本工事の概要、とくにロウ付上の問題と考えられる事項について報告する。

2. 羽 根 車

ロウ付、機械加工が終わった羽根車を図 2.1 に示す。図 2.2 はロウ付前の羽根車本体、側板である。

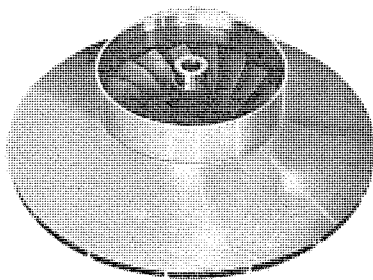


図 2.1 羽根車
Fig. 2.1 Impeller.

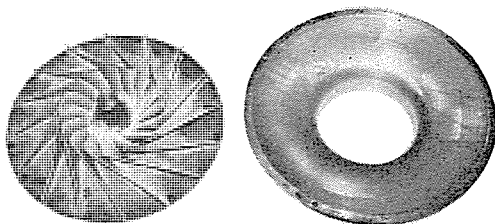


図 2.2 羽根車本体および側板
Fig. 2.2 Hub and front shroud.

3. 羽根車の製作手順

- 羽根車本体および側板の鋳造（焼鈍を含む）
- 荒削りおよび継手の仕上削り

- 継手のスリ合せ
- 表面処理
- ロウ付
- 焼入れ、サザロ
- 焼戻し
- 仕上削り
- バランシング

4. ロウ付法決定のいきさつ

この羽根車は、溶接ないしリベット構造を避け、ロウ付により羽根車本体と側板を組立てる形式のものである。ただし、超高速の回転体で、しかも、ロウ付に不向きなクロムを含有しているの

- 組立誤差の少ない
- 継手強度の高い
- クロムの影響を受けない、ロウ付法を選ばなければならない。

また、構造上多くの継手を有し、作業中点検するとか手を加えるなどの操作が困難な形状にあるので

- 安定度の高い、ロウ付法が必要である。

以上の観点から水素ふんい気炉中ロウ付を採用した。

炉中ロウ付は製品全体を一様に加熱するので、局部的変形が少なく、制御ふんい気たとえば脱酸乾燥水素を用いる場合は強力な還元作用により、信頼性の高いロウ付部が得られる。また複雑な装置を必要とするが、正確な作業管理が行なえる特長を有するためである。

5. ロウ付条件表

表 5.1 にロウ付条件を列記する。（次頁）

6. ロウ付上の問題点

ロウ付法そのものが比較的新らしい手法で、未解明の分野が多く、また製品自体もさきに述べた諸条件を満足せねばならないので、工事遂行上種々の問題点があった。以下そのおもなものについて述べる。

6.1 継手間ゲキ

ステンレス鋼をニッケル基合金を用いてロウ付する場合、継手間ゲ

表 5.1 ロウ付条件

継手	継手間ゲキ...0~ $\frac{2}{100}$ mm ロウ材を置く位置...側板外周, 翼端 組立...カン合 製品の支持法...側板下面, 外周を均一に支持 継手長...150 mm×16 箇所
母材	クロムステンレス鋼製品, JIS SCS-2 鋳造方式...ロストワックス法
表面処理	サビ取り...ニコクリーン洗浄 脱脂...電解脱脂 洗剤... アルコール脱水
ロウ材	ニッケル基合金 AMS 4775 量...1 g/150 mm
溶剤	使用せず ただし, ロウ材固定剤として Microbraz cement を利用
ふんい気	脱酸乾燥水素 A.W.S. Brazing atmosphere type No. 7 相当
加熱, 保持, 冷却	加熱...1,130°C まで約 3 h 保持...1,130°C で 30 min 保持 冷却...室温まで炉冷
熱処理	焼入...960°C, 30 min 保持後空冷 サブゼロ...70°C で 2 h 保持 焼戻し...650°C, 4 h 保持後空冷
炉	ベル形電気炉
検査	外観検査, 寸法検査, 硬度検査

注) 空冷とはベルを switch off 後取除き, 羽根車を納めた容器に水素を供給し続けた操作をいう。

キは $\frac{2.5}{100} \sim \frac{5}{100}$ mm とされている。たとえば, 日本溶接協会, 耐熱材料研究委員会の報告によると, 間ゲキ $\frac{2.5}{100}$ mm 以下の場合ロウ材の接着性がよくない⁽¹⁾。また W.H. Chang 氏は間ゲキ $\frac{5}{100}$ mm 以上で継手強度が激減することを示している⁽²⁾。

すなわち, その有効範囲はきわめて狭いことになる。しかし, これらはあくまでも特定の試験条件における結論であって, 実際には製品, 設備に応じた条件で再確認しなければならない。

羽根車の継手に準じた Tee flow test piece をロウ付した結果, 端部断面(ロウ材を置いた位置)ではロウ材が流れていない部分が存在するが, 中央断面では間ゲキがゼロであるにもかかわらず良好な接着性を呈した。

また中央断面にはゼイ(脆)化層が存在しなかった。(図 6.2, 6.3, 6.4 参照)

前者はロウ材の接着性が過小間ゲキよりも, ロウ材を置いた位置に左右されることを示し, 後者は $\frac{5}{100}$ mm 以上の間ゲキでも強度が激減するものでない証拠である(文献⁽²⁾参照)。

以上本件の場合, 継手間ゲキが $\frac{2.5}{100} \sim \frac{5}{100}$ mm に限定されないことを確認した。事実, 図 6.6 のインペラでも接着性不良はもちろん, ゼイ化層を認めなかった。ただロウ付温度では製品の変形により間ゲキが増加しうるので, $\frac{2}{100}$ mm 以下を目標にスリ合せした。

なお, ニッケル基合金ロウ材の継手強度が間ゲキにとくに敏感な原因はロウ合金層内のゼイ化層によるといわれる⁽³⁾。

ゼイ化層はロウ合金自体の組織で, 成分中の Si, B が母材中へ十分拡散しない場合, また水素ふんい気中へ逃げえない場合に認められる⁽⁴⁾。したがって継手間ゲキだけでなく, 継手幅, 加熱温度, 加熱時間, ロウ材量, 材料などがゼイ化層の消失を左右する。

6.2 ロウ材を置く位置

側板外周, 各翼の根本に粉末状のロウ材を置いた。量は継手長 150 mm あたり 1 g とし, 液状の Microbraz cement を用いて固着した。ロウ材を置く位置はほかに, 側板内周, 継手全面に均一, 継手上数箇所等に間隔, 等が考えられる。ただし, ロウ材を置いた位置には under cut (母材のくぼみ) や, 母材組織の変化が生じやすく, また前記ロウ材の接着性不良が伴う。したがって, 側板外周がロウ材を置く位置として適している。この部分に生じた欠陥はロウ付後の機工により削除できるからである。

under cut は母材とロウ材の合金化によるもので, 母材の一部がロウ材とともに熔融流出した跡である。

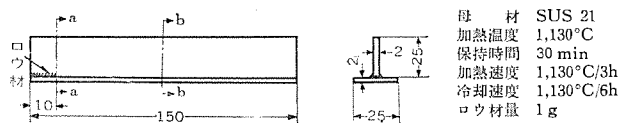
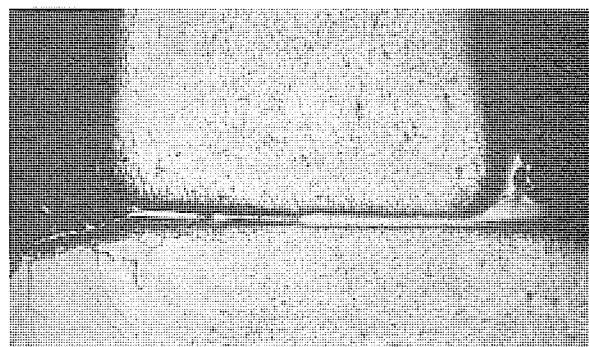
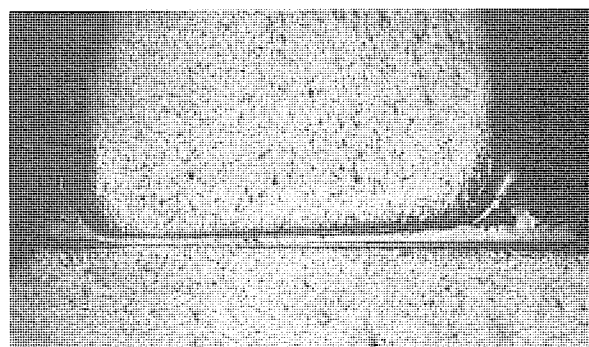


図 6.1 Tee flow test piece.
Fig. 6.1 Tee flow test piece.

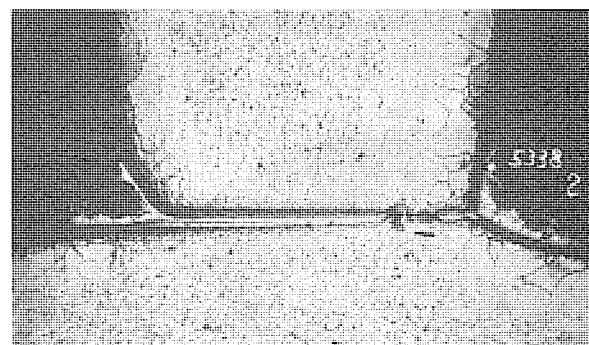


a-a 断面

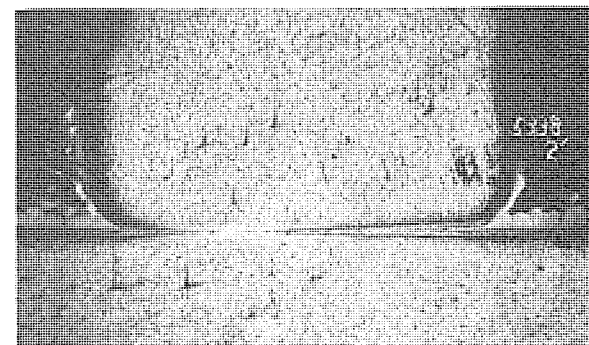


b-b 断面

図 6.2 Tee flow test piece 断面 ロウ材 AMS 4775.
Fig. 6.2 Section of tee flow test piece, filler metal AMS 4775.

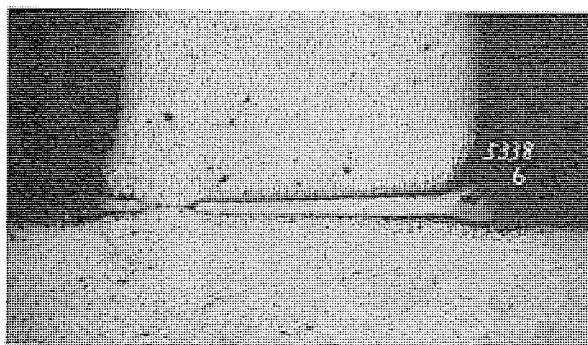


a-a 断面

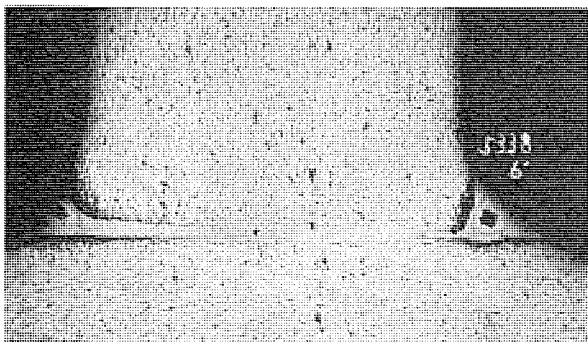


b-b 断面

図 6.3 Tee flow testpiece 断面 ロウ材 AMS 4777.
Fig. 6.3 Section of tee flow test piece, filler metal AMS 4777.

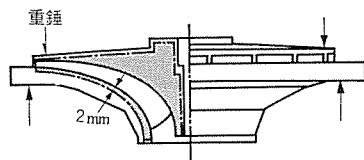


a-a 断面



b-b 断面

図 6.4 Tee flow test piece 断面 ロウ材 AMS 4778.
Fig. 6.4 Section of tee flow test piece, filler metal AMS 4778.



鎖線は仕上形状を示す。

図 6.5 羽根車の支持方法
Fig. 6.5 Supporting of impellers.

同様に、母材組織の変化は母材とロウ材の拡散が大量のロウ材によって著しく進行した結果である。(図 6.2, 図 6.3 参照)

つぎに、ロウ材の必要量は $1\text{ g}/2(\text{継手幅}) \times 150(\text{継手長})\text{ mm}^2$ が適当である。Tee flow test piece の場合 150 mm に対し 0.5 g 以下、また 1 g のロウ材で 300 mm 以上のロウ付が容易であることを確認した。

6.3 製品の支持方法

炉中で羽根車を支持する方法は図 6.5 の方式を採った。

製品の変形、とくに継手間ゲキの変化を防ぐ目的から支持方法には特別の注意を払った。側板の肉厚を仕上寸法に対し異常に大きくとったのもその一例である。側板厚が 5 mm 程度では側板全面をささえる精密な治具を用いねばならなかった。図 6.5 の方式による継手間ゲキの実測例を表 6.1 に示す。

6.4 ロウ材、溶剤

母材に匹敵する継手強度と耐食性を有する点で ニッケル 基合金を採用した。一般に、クロム 含有合金を水素ふんい気中でロウ付する時はロウ付温度の制限上⁽⁵⁾低温ロウ材は不適当である。

AMS (Aeronautical material specification) No. 4775, 4777, 4778 の内 4775 を採用した。4778 は炉気に敏感のようである。継手強度には大差ない⁽⁶⁾。参考までに母材およびロウ材の規格(化学成分)を表 6.2 に示す。

AMS No. 4775 の固相点は $1,010^{\circ}\text{C}$ 、液相点は $1,066^{\circ}\text{C}$ であ

クロムステンレス 鋼羽根車のロウ付・稲岡・平川

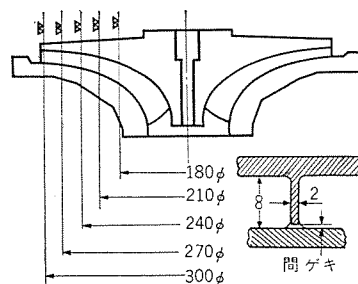


図 6.6 継手間ゲキの測定箇所
Fig. 6.6 Measuring points of joint clearance.

表 6.1 継手間ゲキの実測値(ロウ合金厚) $\times 1/100\text{ mm}$

測定径	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
300	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15	10	10	10	10	10	10
270	15	15	15	10	10	5	10	10	5	10	10	10	5	5	10	10
240	15	15	15	15	10	5	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10
210	15	15	15	15	5	10	10	5	5	10	10	10	5	10	10	10
180	10	15	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

表 6.2 母材およびロウ材の化学成分

		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ni+Co	Co	Fe	B
母材	JIS SCS-2	0.16 ~ 0.24	1.50 以下	1.00 以下	0.050 以下	0.040 以下	0.60 以下	11.50 ~ 14.00				
	4775	0.6 ~ 1.3	3.0 ~ 5.0					13.0 ~ 20.0	65.0 ~ 75.0	1.0 以下	3.0 ~ 5.0	2.75 ~ 4.75
ロウ材	AMS 4777	0.50 以下	3.0 ~ 5.0					6.0 ~ 8.0	78.0 ~ 86.0	1.0 以下	2.0 ~ 4.0	2.5 ~ 3.5
	4778	0.50 以下	3.0 ~ 5.0						89.0 ~ 95.0	1.0 以下	1.8 ~ 3.5	

表 6.3 水素ポンプ圧力と露点の関係

ポンプ 10 本組, 平均流量 $2\text{ m}^3/\text{h}$

ポンプ圧力 (kg/cm^2)	供給圧力 (kg/cm^2)	ポンプ出口露点 ($^{\circ}\text{C}$)	パラジウム 出口露点 ($^{\circ}\text{C}$)	モレキュラシーブ 出口露点 ($^{\circ}\text{C}$)
40	5.5	-40	-34	-60
140	5.5	-49	-43	-60

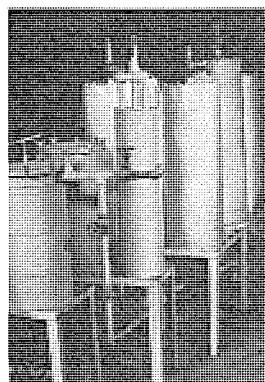
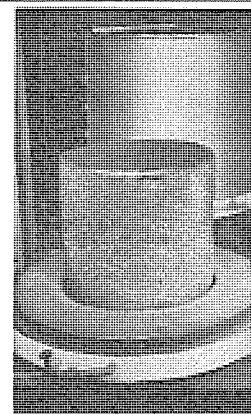


図 6.7 水素浄化装置
Fig. 6.7 Hydrogen purifier.



手前 中間容器および炉床
後方 加熱容器
図 6.8 ベル形電気炉
Fig. 6.8 Bell type electric furnace.

る。溶剤は使用しなかった。一般に、この種ロウ付ではふんい気不安がある場合のみ使用される。未融合部、空孔生成の点で好ましくないとされている⁽⁷⁾。

6.5 ふんい気

クロムの酸化物を還元し、ロウ材に良好なじみ性を与えるため脱酸乾燥水素を用いた⁽⁸⁾。

水素の露点はロウ付温度にもよるが、普通 -40°C 以下とされている⁽⁹⁾。このため図 6.7 に示す浄化装置を新設し、 -60°C 以下の露点を得た。ポンプからの水素は 270°C のパラジウムアスベスト中を通過する際、遊離酸素が水分に変わり、水冷後五酸化リンおよびモレキュラシーブ中で脱水される。

脱酸乾燥水素はそのまま炉内に入り、さらに炉の排気口で燃焼

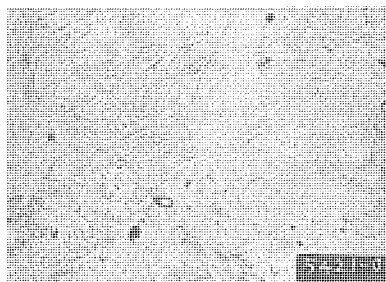


図 6.9
側板の顕微鏡組織
Fig. 6.9
Micro structure
of shroud.

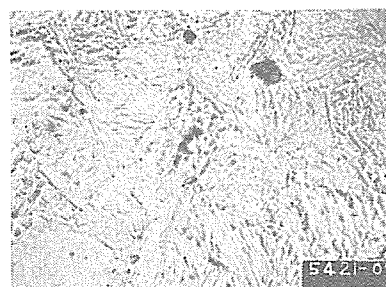


図 6.10
側板の顕微鏡組織
Fig. 6.10
Micro structure
of shroud.



図 6.11
側板の顕微鏡組織
Fig. 6.11
Micro structure
of shroud.



図 6.11 と同じ処理を施したものを改めて 960°C から空冷したもの

図 6.12
側板の顕微鏡組織
Fig. 6.12
Micro structure
of shroud.

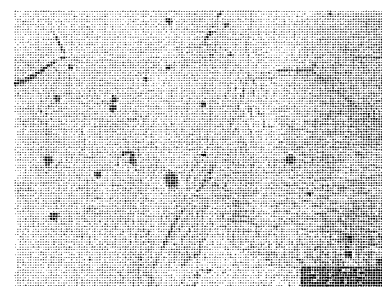


図 6.11 と同じ処理を施したものを 1,130°C 30 min 保持後空冷したもの

図 6.13
側板の顕微鏡組織
Fig. 6.13
Micro structure
of shroud.

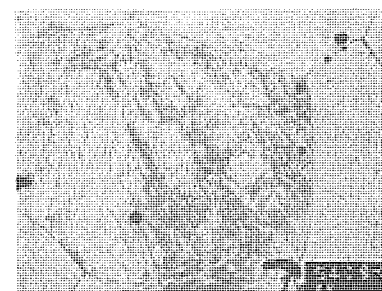


図 6.11 と同じ処理を施したものを 1,130°C 5 h 保持後空冷したもの

図 6.14
側板の顕微鏡組織
Fig. 6.14
Micro structure
of shroud.

する。また水素ポンプの内圧が低くなると露点が増加するので⁽¹⁰⁾、浄化能力には十分な余裕が必要である。この装置の実験結果を表 6.3 に示す。

6.6 加熱

ベル形電気炉を使用した。

ベルを最初からかぶせて徐熱すると、ろう材のなじみ性が悪い。うえ、母材の脱炭に伴う強度低下、水素の消耗が大きいので、あらかじめ 1,200°C に加熱したベルをかぶせた。また水素の危険防止と供給水素の汚損防止のため、製品を納入した容器とベルの間に別の容器を準備した。ベルを最初からかぶせて加熱した場合、約 10 時間、1,200°C のベルをかぶせる場合は約 3 時間でろう付温度に達した。

実験用炉はともかく、大形炉でのろう付が容易でないのは水素浄化装置の能力、炉内での純度保持、試験片どのような急熱などに制約が伴うためと考える。

水素を炉内に導入する際、炉内空気を排除しなければならないが、これには窒素を利用した。水素の供給を中止する場合もどうようである。

ろう付温度は 1,130°C とした。普通、ろう材の液相点に対し (10~100°C) 高い値にする。過熱の場合は、母材の劣化、ろう材の流れ性減少、ろう材母材間の拡散、が顕著である⁽¹¹⁾。

6.7 熱処理

熱処理はろう付と別個の操作にしなければならなかった。すなわち、ろう付温度 1,130°C から 1,000°C まで炉冷し、これから急冷する方式を試みたが、硬度はともかく、母材に粗大結晶粒が認められた。これは鋳造品そのものの結晶粒が大きいので、上記

の操作では微細化が望めないことが判明した。

ろう付の際は徐冷し、改めて熱処理を行ない、結晶粒を微細化した。

7. む す び

以上、ろう付条件のうち、この工事の特長と考える項目について述べた。ただろう付結果は個々の条件だけでなく、その総合効果に左右される点の大きいことを付記しておく。

最後に、本ろう付法の適用に際し協力を戴いた研究所石原技師、伊電岩佐技師、長電玉田、柳下技師および神電水畑技手に深謝する。

参 考 文 献

- (1), (10) 耐熱材料研究委員会, 耐熱合金 ろう付による精密溶接法の実用化に関する研究, 溶接技術 6 (1960)
- (2), (3), (6) W.H. Chang: Basic characteristics of some heat-resisting brazing filler materials, W.J. Sep. (1956)
- (4) 石原: ステンレス鋼のろう付, 「三菱電機」35 (昭 36)
- (5) W.H. Chang: A dew point-temperature diagram for meta-metal oxide equilibria in hydrogen atmospheres, W.J. Dec. (1956)
- (7) E. V. Beatson: Brazing in controlled atmospheres and in vacuo, B. W. J. Ap. (1958)
- (8) Brazing manual A. W. S.
- (9) 耐熱材料研究委員会, 耐熱合金 ろう付による精密溶接法の研究, 溶接技術 3 (1961)
- (11) W. Feduska: The nature of high-temperature brazing alloy-base metal interface reactions, W. J. Feb. (1958)

エナメル線の熱劣化(2)

森田 義男*・坂田 桂三**

Thermal Deterioration of Enameled Wire (Part 2)

Research Laboratory Yoshio MORITA・Keizō SAKATA

Thermal life has been examined on specimens of various varnish treated, enameled wire from the viewpoint of the occurrence of physical faults by the AIEE test procedure No. 57. The results have revealed that, in the case of aged PVF wire, cracks penetrating the varnish and enamel films are found at the boundary between the thickest film in the neighbourhood of twisted contacting portion and the outer thin varnished film on the wire. Likewise, the specimens of aged polyester wire have been found with a number of pores in their enamel films. These experiments tell that the physical fault on aged wire is one of major cause of failure under test voltage to determine the life. Similar studies have been made on other enameled wires.

1. ま え が き

エナメル線の耐熱寿命について多くの報告が行なわれているが⁽¹⁾, 試片のどのような劣化の様相に基づいてその耐熱寿命が示されるかを検討した報告はほとんどみられない。

前報⁽²⁾ではワニス処理を施していない各種の合成樹脂エナメル線について、上述の観点から検討を行なったが、これに引き続きワニス処理を施した場合についても検討した。すなわち、組成の異なる種々のワニスによって処理されたホルマール線、ポリエステル線のより合せ試片を用い、ワニス種類の相違による耐熱寿命を比較するとともに、加熱劣化にともなう巨視的な物理的欠陥の発生と検出電圧破壊との関係を検討し、さらにこの欠陥発生におよぼす加熱温度、ワニス塗布回数の影響を調査した。なお、より合せ試片と直線状試片の両者を用い、その加熱劣化による破壊電圧低下の特長なども比較した。また、他の数種のエナメル線についても追加検討した。これらの結果をまとめて報告する。

2. 試料および試験法

本実験に採用したすべてのエナメル線を表 2.1 に示した。いずれも A メカ製の線径 1.0 mm, 皮膜厚さ 0.05~0.07 mm 程度のものである。表 2.2 はこれらのエナメル線を処理するのに用いたワニスの種類を示したもので、組成をあらわす通称名と同系統のものを区別する記号を用いて表示した。製造者は 4 社におよんでいる。これらのエナメル線とワニスを適宜組み合わせて実験したが、その詳細については結果の項でその都度述べることにする。

表 2.1 供試エナメル線

エナメル線の種類	線径 (mm)	実測皮膜厚さ (mm)	皮膜等級
油性エナメル線	1.0φ	0.052	0 種
ホルマール線	"	0.071	0 種以上
ポリエステル線	"	0.067	"
エポキシ線	"	0.078	"
ポリウレタン線	"	0.067	"
変性シリコン線	"	0.075	"

表 2.2 使用ワニス

ワニス種類	製造元
油性系 (1)	M
フェノール系 (1)	"
" (2)	H
" (3)	T
フェノリックアルキッド系 (1)	M
シリコンアルキッド	DC

耐熱寿命を調べる試験は、前報⁽²⁾と同様に AIEE No. 57 に準拠し、よりあわせ試片を用いたが、必要に応じて直線状試片を採用し、連続加熱に伴う破壊電圧の低下を調べるなどの試験を追加した。

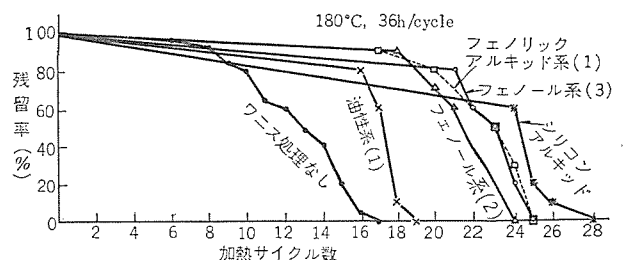
また劣化試片の表面を顕微鏡的に観察するとともに、劣化試片をエポキシ樹脂によって注形し注意深く研磨を施して断面状況の観察に供した。

3. ホルマール線の熱劣化

前述した各種のエナメル線のなかで、現在最も広く使用されているホルマール線を取りあげ、種々のワニス処理を施した試片の耐熱寿命試験を行ない、ワニス種類による相違および 2, 3 の因子の影響、物理欠陥の発生状況などを検討した。以下これらの実験について述べる。

3.1 処理ワニスの種類による耐熱寿命

油性系 (1) ワニス、フェノール系 (2), (3) ワニス、フェノリックアルキッド系 (1) ワニス、シリコンアルキッドワニスなどの計 5 種類のワニスを選び、それぞれのワニスを 1 回浸セキ処理し、130°C で 6 時間乾燥した 10 本ずつのよりあわせ試片を用意し、加熱温度 180°C, 加熱時間 36 h, 室温放置 12 h のくりかえし加熱サイクルによる劣化試験を行なった。この試験条件は A 種材料の劣化試験に最も普通に採用される内の代表的なものである。試片の寿命終点を検出する電圧は AIEE No. 57 に準拠して 2,000 V とした。それらの結果を検出電圧によって破壊せずに残留した試片の全試片数に対する % (残留率) と加熱サイクル数との関係として示したものが図 3.1 である。同図にはワニス処理なしの試片 25 本による同様の結果を併記して比較に供した。図に見られるようにいずれのワニスを処理した試片も、ワニス処理なしの試片に比較してその耐熱寿命を



3.1 ホルマール線に種々のワニスを処理した場合の耐熱寿命

Fig. 3.1 Thermal life of PVF wire treated by the various varnishes.

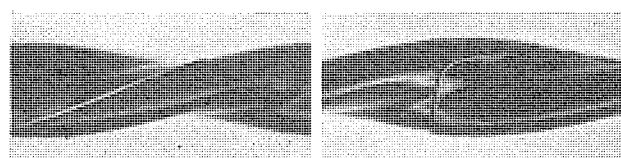
かなり延長しているが、油性系 (1) ワニス を除いてはその延長の仕方に大きな相違はみられない。

これらの試片の寿命終点となる様相を検討するために、劣化試片の表面および断面状況の観察を行なった。これに用いた試片は寿命検出に用いた 10 本の試片とは別個のもので、同時に加熱劣化を行なわせ各 サイクル ごとに取出したものである。図 3.2、図 3.3 に油性系 (1) および シリコンアルキッドワニス の場合について代表的な表面および断面写真を示しておく。他の ワニス の場合も同様な状態であったので写真を省略した。

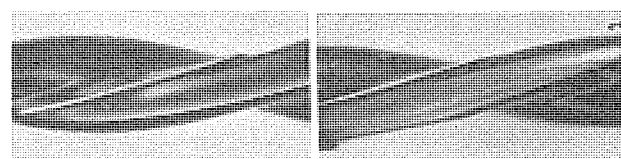
図 3.2 に見られるように、試片表面には線の長さ方向の ネジリに沿って キ 裂が発生しており、その キ 裂先端は 2 線にまたがっている場合さえも見るけられる。また、その キ 裂の長さは一般には 10 mm 程度であるが、長い場合には 50 mm におよぶ場合もあり、長時間加熱後には キ 裂部の一部がはげ落ちて銅膚が露出しているものもみられる。

これらの試片を断面から観察すると、図 3.3 に見られるように表面観察でみとめられた線の長さ方向に沿う キ 裂箇所は 2 線のよりあわせ接触部付近にたまった厚いワニス 部と エナメル 線周囲のうすいワニス 膜との境界部付近 (以下ワニス 膜厚薄境界部と記す) にあり、表面ワニス のみでなく エナメル 皮膜を貫通していることが認められる。

表 3.1 は試片の表面および断面から キ 裂を認め始めた加熱 サイクル と、検出電圧による試片の破壊始めと終りを示す サイクル 範囲との関係を示したものである。いずれの ワニス でも大方の場合、破壊の始まる 3~5 サイクル 前から表面の キ 裂が認められる。また、断面観察に見られる キ 裂は表面に認められるより早い サイクル ですでに認められることがわかる。したがって、以上の結果から表面観察では認めがたい微小の キ 裂が ワニス 膜の厚薄境界部付近のところどころに始まり、これが生長して表面 キ 裂として



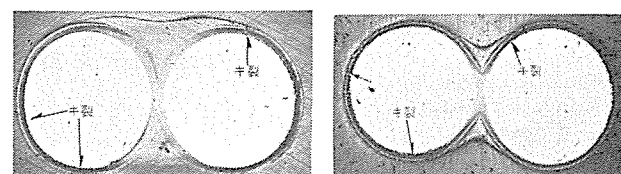
180°C, 612 h (17 サイクル) 油性系 (1) ワニス処理
180°C, 756 h (21) シリコンアルキッドワニス処理



180°C, 756 h (21 サイクル) 油性系 (1) ワニス処理
180°C, 1080 h (30) シリコンアルキッドワニス処理

図 3.2 ワニス 処理した ホルマル 線の劣化試片の表面写真

Fig. 3.2 Photographs of outer surface of varnished PVF wire specimens after heat aging.



180°C, 468 h (13) 油性系 (1) ワニス処理
180°C, 720 h (20) シリコンアルキッドワニス処理

図 3.3 ワニス 処理した ホルマル 線の劣化試片の断面写真

Fig. 3.3 Photographs of cross section of varnished PVF wire specimens after heat aging.

表 3.1 ワニス 処理した ホルマル 線の キ 裂発生 サイクル (180°C, 36 h/cycle)

項 目	ワニス 処理なし	油性系 (1)	フェノール系 (2)	フェノール系 (3)	フェノリックアルキッド系 (1)	シリコンアルキッド
検出電圧破壊開始~終了サイクル	6~17	16~19	18~24	21~25	17~25	24~28
表面キ裂を認め始めたサイクル	6	13	15	17	17	18
断面キ裂を認め始めたサイクル	5	5	9	9	7	13
平均寿命時間 h (cycle)	462 (12.8)	630 (17.5)	803 (22.3)	832 (23.1)	824 (22.9)	900 (25)

表 3.2 ワニス 処理した ホルマル 線の平均寿命 (h)

加熱温度 °C	ワニス 処理なし	油性系 (1) ワニス	フェノール系 (2)	シリコンアルキッド
160	1,650	—	1,950	—
180	462	630	803	900
200	132	240	265	325
220	56	100	104	200

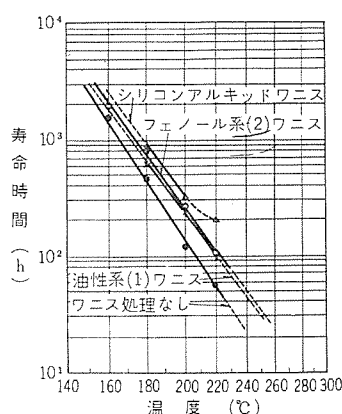


図 3.4 ワニス 処理した ホルマル 線の耐熱寿命曲線

Fig. 3.4 Thermal life curves of PVF wire treated by the various varnishes.

肉眼でも観察されるようになるものと想像され、検出電圧による破壊のチャンス はこれらの キ 裂が 2 線にまたがるか、ごく接近した場合に生ずると考えるのは自然であろう。試みによりあわせ試片のエナメル 皮膜に故意に欠陥を与えた試片では、欠陥が近接している場合には検出電圧の 2,000 V 程度で破壊するが、欠陥がやや離れている場合には破壊しがたいことを認めている。

3.2 加熱温度の相違による影響

ワニス 処理を施した ホルマル 線の劣化をすすめる加熱温度をさらに変更した場合について前述までと同様の検討を行なった。ここでは油性系 (1) ワニス、フェノール系 (2) ワニス、シリコンアルキッドワニスの 3 種類の ワニス を選んで 160°C, 150 h/cycle, 200°C, 12 h/cycle のそれぞれ温度、サイクル で加熱劣化を行ないその結果を平均寿命で示したのが表 3.2 である。比較のためにワニス なしの場合の結果を追加して示した。前述の 180°C, 36 h/cycle の場合の結果を加えて寿命曲線を描くと図 3.4 のようになり、いずれの加熱温度でも ワニス なしの場合に比較して耐熱寿命を延長している。

これら試片の表面状態の例を図 3.5 に示す。

160°C 加熱の場合は 180°C の場合に述べたと同様の表面 キ 裂がみられるので図を省略したが、さらに高温の場合には、180°C の場合の状態に加えて、写真に示したような試片の長さ方向を横ぎって生ずる キ 裂も認められ、高温になるにしたがってこのような キ 裂の数を増加するようであった。

断面からの観察では、図 3.3 に示したと同様にワニス 厚薄の境界部付近の キ 裂が多くみとめられ、エナメル 皮膜周囲の キ 裂は僅少であった。

以上の結果から普通の劣化試験に採用される加熱温度範囲で劣化を行なわせた試片に生ずる キ 裂の様相は加熱温度によって多

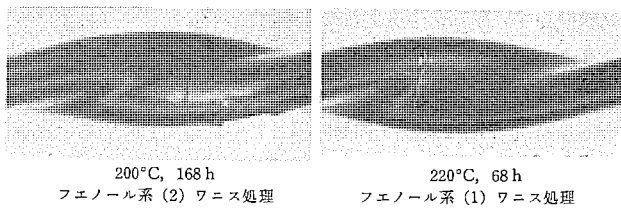


図 3.5 ヲニス処理したホルマル線の劣化試片の表面写真
Fig. 3.5 Photographs of outer surface of varnished PVF wire specimens after heat aging.

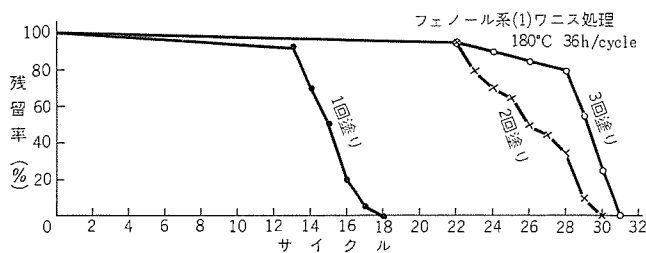


図 3.6 ヲニス塗布回数によるホルマル線の耐熱寿命
Fig. 3.6 Thermal life of PVF wire with changes of the numbers of varnish coating.

表 3.3 破壊開始サイクルと表面キ裂開始サイクルの関係

フェノール系(1) ヲニス塗布回数	1	2	3
項目			
検出電圧破壊開始サイクル	13	22	22
表面キ裂を認め始めたサイクル	9	17	17



フェノール系(1) ヲニス 4 回塗布
180°C, 720 h 加熱後の写真

図 3.7 ヲニス処理ホルマル線の典型的な表面キ裂

Fig. 3.7 A photograph of outer surface caused the typical crack on varnished PVF wire after heat aging.

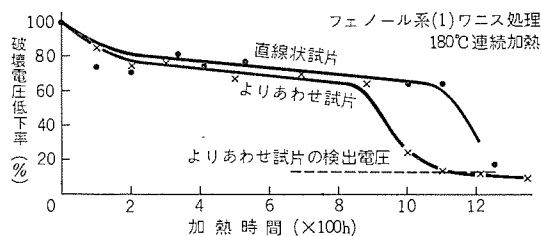


図 3.8 直線状よりあわせ試片によるホルマル線の加熱時間と破壊電圧低下率

Fig. 3.8 The changes of breakdown voltage by continuance heating of straight and twisted specimens of varnished PVF wire.

少の相違がみられるが、ヲニスの厚くたまった部分とエナメル線周辺のヲニス膜のうすい部分との境界に生ずるものが主であることがわかる。

3.3 ヲニスの塗布回数の影響

ヲニスの塗布回数すなわちヲニス膜の厚さの違いがエナメル線の耐熱寿命にどのような影響を与えるかを検討した。

ここで取上げたヲニスはフェノール系(1)ヲニス1種類で1, 2, 3回塗布の試片をそれぞれの場合について20本ずつ用意した。塗布回数を重ねるごとに浸セキ塗布の方向を逆にし、また各回ごとに130°C, 6h硬化焼付けを行なった。これらの試片を180°C, 36h/cycleのくりかえし加熱方法で熱劣化させ、その結果を検出電圧による試片破壊の残留率で示したのが図3.6である。1回塗り

さらに大となっている。

これらの試片の表面キ裂を認め始めたサイクルと検出電圧による試片の破壊開始サイクルとの関連を示したのが表3.3である。

ヲニスの1回塗り試片と2, 3回塗り試片では表面キ裂の開始サイクルにおいてもかなりの相違が認められる。

図3.7に4回塗布した試片の劣化状態の代表例を示したが、ヲニス塗布回数が多くなると劣化試片の表面に典型的に長大なキ裂を生じやすいことを認めており、ヲニス膜厚さの厚薄部境界付近においてヲニス収縮が最も大であると考えられるので、このヲニス収縮がキ裂のおもな原因であると推察される。

1回塗りと2, 3回塗りではヲニスの膜厚さが異なり、ヲニス膜の硬化の仕方に遅速を生ずることが耐熱寿命に差異を生ずるおもな原因の一つであろう。1回塗り試片ではその長さ方向に沿ってヲニス膜厚さの、とくにうすい部分を生じやすく、早期寿命となるのではないかと考えられる。

3.4 直線状試片とよりあわせ試片による耐熱寿命の相違

より合せた試片と、それと同等長さ(120mm)の直線状試片とを用いて、加熱時間と破壊電圧低下率の関係を検討した。この場合に用いたヲニスはフェノール系(1)ヲニス1種類である。直線状試片の場合、普通に用いられるヲニス粘度ではエナメル表面に均一にヲニスを塗布できないので、この試験ではいずれの試片にもヲニスを溶剤で薄めて使用し、回数を重ねるたびに試片を上下反対にし4回浸セキ塗布したものを用いた。このヲニス膜厚さは前述した2回塗りの膜厚さにほぼ相当している。試片の数はいずれも50本ずつで180°Cの炉中で連続加熱し、所要時間ごとに5本ずつ取り出し短時間破壊電圧を測定した。直線状試片の破壊電圧の測定には長さ50mmが直線状のまま浸セキできる水銀ダマを用いた。

図3.8はそれらの平均破壊電圧低下率の変化を比較して示したものである。よりあわせ試片の場合の破壊電圧は約900時間を経過するあたりから急低下をはじめ、1,100時間で10%(2,000V)程度に達している。直線状試片の結果は、前者よりも約200時間遅れて同様な低下傾向をたどっていることが認められる。

これらの試片の表面状況を観察してみると、直線状試片は1,100時間までは異常が認められず、1,250時間で一試片のうち2, 3箇所リング状のキ裂が認められた。よりあわせ試片は900時間までは異常がなく、1,000時間以後前述したような線の長さ方向のネジりに沿った小さなキ裂が認められた。

以上の結果から、劣化試片にみられるキ裂の状態およびその発生時間は試片の構造にも左右されることがわかる。

4. ポリエステル線の熱劣化

最近とくに使用範囲を増大したポリエステル線についても前述と同様の検討を行なったので、つぎに述べる。

4.1 処理ヲニスの種類による耐熱寿命

ここではよりあわせ試片を処理するヲニスとして、油性系(1)ヲニス、フェノール系(1), (2), (3)ヲニス、フェノリックアルキッド系(1)ヲニス、シリコンアルキッドヲニスの6種類を用い、それぞれのヲニスに対して10本ずつの、よりあわせ試片を準備した。ヲニス処理は1回の浸セキによって行ない、130°Cで6時間乾燥した。試験にはB種材料の劣化試験に最も普通に用いられる条件のうちの代表的なものとして、220°C, 36h/cycleのくりかえし加熱の方法を採用し、比較のためヲニス処理なしの試片25本を同時に追加した。

図 4.1 はそれらの結果を検出電圧 2,000 V による試片破壊の残留率と加熱 サイクル 数との関係として示したものである。ワニス処理を施した場合は ワニス 処理なしの場合に比較して耐熱寿命が同等か低下するものが多いが、シリコンアルキッドワニスとはくに寿命を延長させており、フェノリックアルキッド系 (1) ワニス でもいくぶんかの延長が認められる。

図 4.2 は以上の試験による劣化試片の表面状況を示す代表的な写真を示したもので、(a) は油性系 (1)、(b)、(c) はフェノール系 (2)、(d) は フェノリックアルキッド系 (1)、(e) は シリコンアルキッドワニス 処理の場合である。これらの写真にも認められるように、シリコンアルキッドワニス の場合を除き、他の ワニス を処理した試片は加熱劣化の進行によって、いずれも ワニス 表面に小さい オウツ (凹凸) が認められる。この オウツ は (b)、(c) の例に示されているように、加熱の 2~3 サイクル (72~108 時間) ころから認められ始め加熱の進行とともに増大する。

図 4.3 は劣化試片の断面状態を示す一例を掲げたもので、油性系 (1)、フェノリックアルキッド系 (1) ワニス 処理の場合である。シリコンアルキッドワニス を除く他の ワニス の場合も図 4.3 と類似の状態であるので写真を省略した。これらの写真から加熱劣化した試片においては、より合わせた 2 線の接触部の ワニス の厚くたまった部分が ワニス 収縮によると思われる変形を起しており、それに伴ってエナメル皮膜にも変形が与えられていることを認めることができる。この変形は加熱温度 220°C では 2~3 サイクル 経過後あたりから認められ始め、加熱時間とともに ワニス の厚くたまった部分の収縮によりこの部分と エナメル 外周辺の中間に最も ワニス や エナメル

皮膜のうすい部分を作るように変形している。

また、シリコンアルキッドワニス を除く他のいずれの ワニス 処理の場合も 2~3 サイクル 後、線周辺部の エナメル 皮膜に ポア が認められ始め、この ポア 発生数は、加熱時間とともに増大している。なお、この ポア は エナメル 線の外周辺部に認められやすい特長がある。前述した表面 ワニス 膜の オウツ として認められた状態はこのような ポア の発生個所、発生時間と一致している。また、エナメル 皮膜の厚さも加熱時間とともに減少していることが認められる。

図 4.4 はこれらの ワニス 皮膜の状況をさらに拡大して示した代表的な写真である。そのうち (a)、(b) は図 4.3 と同様の状態の一部を拡大して示したものであり、(c)、(d) は試片の長さ方向に平行に切断した場合の拡大写真である。これらの写真からわかるように上層 ワニス は図 4.3 では認めがたい線の長さ方向と円周方向のキ裂がワニス 層のみに発生していることを示している。このような ワニス 膜のキ裂はシリコンアルキッド、フェノリックアルキッド系 (1) ワニス の場合を除いて 3 サイクル 以後に認められたことを付記しておく。

つぎに図 4.5 (a)、(b) に シリコンアルキッドワニス を用いた場合の劣化試片の断面状況を示した。前述までの他の ワニス の場合に比べて ワニス、エナメル 皮膜にほとんど特別の変形が認められず、加熱時間の増加とともに ワニス、エナメル 皮膜のいずれも均一にうすくなっていることを認めることができる。また、2 線のよりあわ

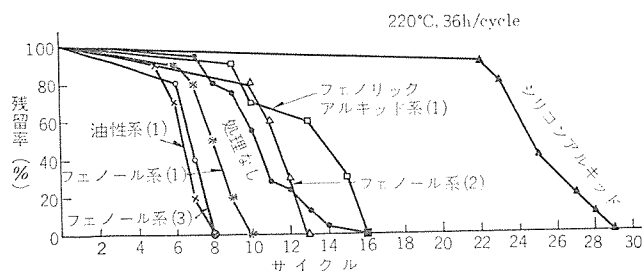


図 4.1 各種 ワニス を処理した ポリエステル 線の耐熱寿命
Fig. 4.1 Thermal life of polyester wire treated with various kinds of varnish.

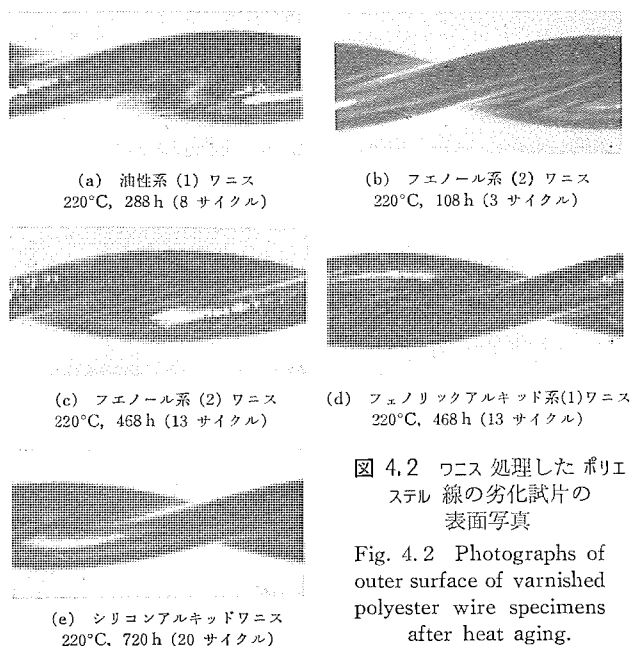


図 4.2 ワニス 処理した ポリエステル 線の劣化試片の表面写真

Fig. 4.2 Photographs of outer surface of varnished polyester wire specimens after heat aging.

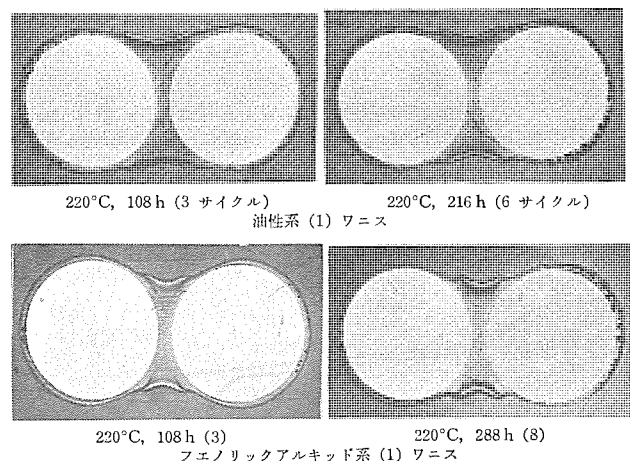


図 4.3 ワニス 処理した ポリエステル 線の劣化試片の断面写真
Fig. 4.3 Photographs of cross section of varnished polyester wire specimens after heat aging.

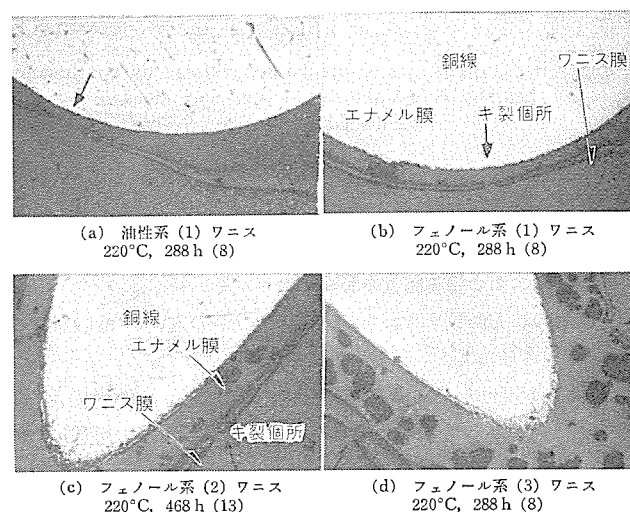
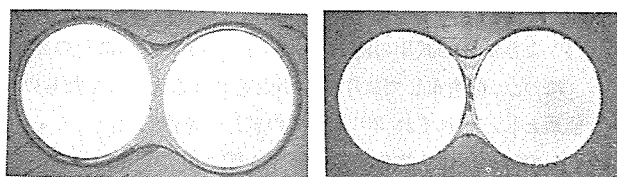


図 4.4 ワニス 処理した ポリエステル 線の断面についての部分的拡大写真

Fig. 4.4 Partially enlarged photographs of cross section of varnished polyester wire specimens after heat aging.



(a) 220°C, 36 h (1 サイクル) (b) 220°C, 828 h (23)

図 4.5 シリコンアルキッドワニス を処理した ポリエステル 線の劣化試片の断面写真

Fig. 4.5 Photographs of cross section after heat aging of polyester wire treated by Sylkyd varnish.

表 4.1 ワニス 処理 ポリエステル 線の ポア, キ 裂, 破壊開始 サイクル 一覧表 (220°C, 36 h/cycle)

項目	処理ワニス ワニス処 理なし	油性系 (1)	フェノール系			フェノ リック 系 (1)	シリコ ンアル キッド
			(1)	(2)	(3)		
断面ポア発生サイ クル	なし	2~3	2~3	2~3	2~3	2~3	ポアなし
表面ワニスキ裂開 始サイクル	—	3	3	5	3	キ裂なし	キ裂なし
検出電圧破壊開始 サイクル	7	5	6	10	6	9	22
平均寿命サイクル	10.8	6.8	8.4	11.7	7.2	13.5	25.6
時間 (h)	388	245	302	421	259	486	922

表 4.2 フェノール 系 (1) ワニス を処理した ポリエステル 線の加熱温度の相違による平均寿命時間

加 熱 温 度 (°C)	180	200	220	240
平 均 寿 命 時 間 (h)	5,940	310	302	184

せ接触部付近の エナメル 皮膜は加熱時間とともに薄くなり, より合わせた2線が近づいているのが注目された. これらの現象から, この組み合わせの場合, ワニス 膜が相当に厚くても ワニス 膜を通してかなり自由に エナメル 皮膜が加熱によって揮散していることが推察される. 他の ワニス の場合はこのように顕著な現象は認められなかった.

エナメル 皮膜には, 長期の加熱によってもまったく ポア の発生がなく, 前述した表面状況になんらの変化も認められなかったことと対応している.

以上までに述べた種々の ワニス 処理試片の劣化状況を検出電圧破壊, ポア 発生および ワニス キ 裂の開始時間などで比較するために一覧表に示したものが表 4.1 である. エナメル 皮膜の ポア, ワニス 膜の キ 裂などの発生しない シリコンアルキッドワニス は最も寿命が大であり, エナメル 皮膜の ポア は認められるが, 表面 ワニス に キ 裂の認めがたい フェノリックアルキッド 系 ワニス がこれについており, いずれの欠陥の発生も認められるその他の ワニス の場合が寿命を低くしていることが示されている.

ワニス 処理した ポリエステル 線の熱劣化試験においては, かかる物理的欠陥の発生が試片の寿命終点となる検出電圧破壊のおもな原因の一つであろうことは想像にかたくないであろう.

4.2 加熱温度の相違による影響

以上に引き続いて劣化試験温度を変えた場合について検討した. すなわち フェノール 系 (1) ワニス を用い 180°C, 540 h/cycle, 200°C, 150 h/cycle, 240°C, 12 h/cycle の加熱劣化試験を行ない, その結果を平均寿命時間で示したのが表 4.2 である.

これらの試片の エナメル 皮膜断面の ポア, ワニス 膜 キ 裂などの欠陥発生状態は前述した 220°C の場合の状態と大体同様であったので, その詳細は省略した.

4.3 ワニス塗布回数の影響

フェノール 系 (1) ワニス を ホルマル 線の場合と同様にそれぞれ エナメル 線の熱劣化 (2)・森田・坂田

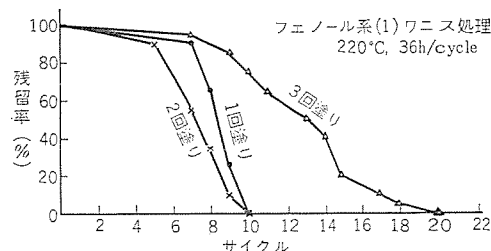
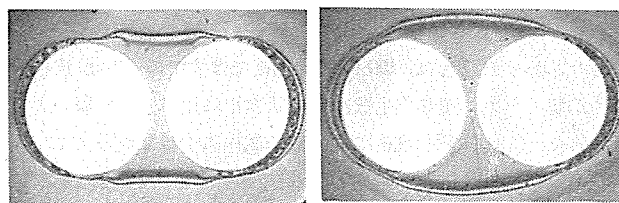


図 4.6 ポリエステル 線の ワニス 塗布回数による耐熱寿命

Fig. 4.6 Thermal life of polyester wire with changes of the numbers of varnish coating.



フェノール系 (1) ワニス 2 回処理 180°C, 252 h (7 サイクル) フェノール系 (1) ワニス 3 回処理 180°C, 252 h (7)

図 4.7 ワニス 塗布回数の異なる ポリエステル 線の劣化試片の断面写真

Fig. 4.7 Photographs of cross section of polyester wire after heat aging when the number of varnish treatments were changed.

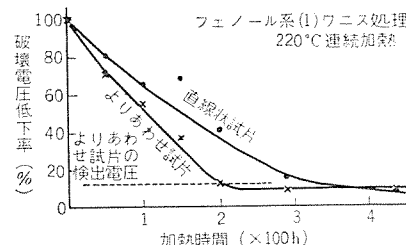


図 4.8 ワニス 処理した ポリエステル 線の直線状およびよりあわせ試片の加熱による破壊電圧

Fig. 4.8 Breakdown voltage by continuance heating of the straight and twisted specimens of varnished polyester wire.

1, 2, 3 回塗布した ポリエステル 線のよりあわせ試片各 20 本ずつを用い, ワニス 厚さによる耐熱寿命の相違を調べた. この劣化試験の条件は 220°C, 36 h/cycle である. その結果を検出電圧による試片破壊の残留率と サイクル 数との関係として示すと図 4.6 のようになる. この結果から 1 回および 2 回塗布したものはほぼ同等の耐熱寿命を示すが, 3 回塗布のものはこれらより寿命がかなり大となっていることがわかる. これらの試片の断面における エナメル 皮膜の ポア 発生程度は図 4.7 に示したように 1~2 回塗布の場合はとくに相違がなく, これに比べて 3 回塗布の場合にはやや減少しているようにみうけられた. また劣化の進んだ試片では ワニス 表面における キ 裂がいずれにも認められたが, 塗布回数による相違は明確でなかった.

4.4 直線状試片とよりあわせ試片による耐熱寿命

フェノール 系 (1) ワニス を処理した直線状試片とよりあわせ試片とを用い, 試片形状による影響を検討した.

この場合の試片は ホルマル 線の場合と同様に薄めたワニス を 4 回塗布したもので, このワニス 膜厚は図 4.6 の場合の 2 回塗布にほぼ相当する. これらの試片を 220°C の炉中で連続加熱し, 所要時間ごとに 5 本ずつ取り出して破壊電圧を測定した. 図 4.8 にその結果をそれぞれの平均破壊電圧低下率と加熱時間の関係として示した.

ホルマール線の場合には図 3.8 に示したようにワニスキ裂が発生して始めて破壊電圧を低下させたが、これと比較して図 4.8 では検出電圧に近い値までは時間に比例して破壊電圧を低下させている。このことからエナメル皮膜の欠陥は加熱時間とともに増大しているであろうことを想像させる。

なお、これらの劣化試片の表面、断面の観察を行なったところ、直線状試片の場合、100~200 時間の加熱ではエナメル皮膜のポアのみが認められ、300 時間加熱後のものにリング状のワニス皮膜のキ裂が認められた。この結果と対応して 200 時間で、平均破壊電圧は 40% (5kV) に低下するが 300 時間になると 15% (2kV) まで低下している。

よりあわせ試片では、100 時間加熱後ではすでにエナメル皮膜のポアが認められ、その発生数は直線状試片に比べてやや多いようであった。200 時間加熱後には一部の試片に少数ながらワニス皮膜のキ裂を発生しており、300 時間では試片を横切るワニス皮膜のキ裂が増大しているのが認められた。これと対応して破壊電圧は、200 時間加熱後ではすでに相当低くなっている。また、200、300 時間の加熱でよりあわせ試片表面のアウトツは直線試片のそれよりもはなはだしい。

このような結果からよりあわせ試片は直線状試片に比べ、ポアの発生もワニス皮膜のキ裂もやや進みやすい傾向に認められる。これはよりあわせ試片においてはワニス膜の厚薄部の存在により、直線状試片の場合に比べて前掲写真のようにワニス膜厚にかたよりを生じやすいことが一つの原因ではなかろうかと考えられる。

4.5 無処理試片の劣化についての再検討

ワニスなしのポリエステル線のよりあわせ試片を熱劣化させた場合、より合わせた 2 線の接触部に融着点を生じ、その部分のエナメル皮膜があたかも架橋したような状態にのこるまで皮膜が減少し、ついにはその近傍の皮膜にキ裂を生ずる。これが検出電圧破壊の一原因であろうことはすでに述べたところである⁽²⁾。

さて、ワニスなしの場合のポリエステル線よりあわせ試片の劣化試験中、より合わされた 2 線が長期の加熱によってルーズになって動くことをたびたび経験した。もちろんこれを防ぐために試片の一端にスペーサがそう入されているが、長時間加熱では役に立たなくなるようである。したがって前述したワニス処理なし試片の皮膜キ裂の発生は、この試片の 2 線がルーズになることに関係がないかを検討した。そのためつぎのようにスペーサのとめ方を種々変更して 220°C、36h/cycle のくりかえし加熱による劣化試験を行なった。

(a) AIEE No. 57 のとおり、よりあわせ試片の片側にスペーサをそう入したままのもの。

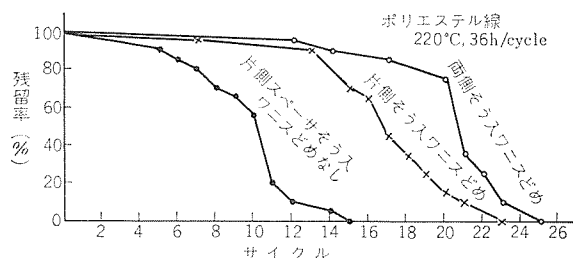


図 4.9 ワニス処理なしの試片のスペーサそう入の仕方の相違による耐熱寿命

Fig. 4.9 Thermal life of unvarnished specimens when the methods of spacer insertion were changed.

(b) 上記の片側スペーサ部にワニスを塗布して固定したもの。
(c) よりあわせ試片の両側にスペーサを入れ、さらにその部分にワニスを塗布して試片両端が固定されるようにしたもの。
の 3 種類とし、それぞれ 20 本ずつの試片を準備した。

これらの試片による劣化試験の結果を図 4.9 に示す。片側、両側ともにスペーサをワニスで固定した (b), (c) の試片の平均寿命時間は、スペーサを一端にそう入したままの (a) の試片よりも耐熱寿命が延長されることがわかる。(a) の試片の加熱当初はスペーサのそう入により固定されているように見られるが、劣化の進行とともに 2 線のよりあわせ融着部が第 1 報に示したように架橋状を呈するようになり、同時にエナメル皮膜も薄くなっていくのでスペーサ部がルーズになり、取扱時の少しの外力により合わされた 2 線が動き、架橋状となっている融着部周辺のエナメル皮膜にキ裂を生じたものと考えられる。スペーサを固定した試片ではより合わされた 2 線が動くことが比較的少ないはずであるので、エナメル皮膜のキ裂を防がれ寿命が大となったのであろう。

ポリエステル線のように耐熱寿命が大で、高温、長時間の加熱によって皮膜が極度にうすくなるまでも寿命を保ちうるようなエナメル線の場合には、普通のスペーサそう入ではその部分が加熱によってルーズになり、外力でエナメル皮膜にキ裂を生ずることも想像され注意を要する点である。

5. その他のエナメル線の熱劣化

以上までに、ホルマール線、ポリエステル線の熱劣化の様相を述べたが、表 2.1 に掲げたその他のエナメル線すなわち、油性、エポキシ、ポリウレタン、変性シリコン線についても同様の検討を行なった。

これらの線種のフェノール系 (I) ワニス処理による寿命曲線については、すでに第 1 報で述べたので、ここではとくに劣化試片断面の状態を比較することとした。

図 5.1 はフェノール系 (I) ワニスで 1 回浸セキ処理して作った各種エナメル線の加熱劣化後のよりあわせ試片断面の写真を代表例をもって示したもので、(a) は油性、(b) はエポキシ、(c) はポリウレタン、(d) は変性シリコン線の場合である。加熱温度は AIEE No. 57 で A, B 種材料に普通に用いられる温度である。油性、エポキシ線は加熱劣化によってホルマール線と同様にワニス膜とエナメル膜とを貫通するキ裂を起すものであり、変性シリコン線はポリエステル線と同様に周辺部エナメル皮膜にポアを生ずるものであることがわかる。

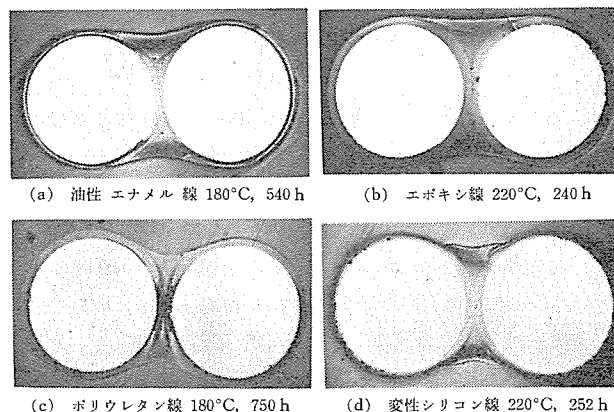


図 5.1 フェノール系 (I) ワニスによって処理された各種エナメル線の劣化試片の断面写真

Fig. 5.1 Photographs of cross section of varnished various enamel-wire specimens after heat aging.

これらの エナメル 線の以上のような形態の発生個所およびその経過はそれぞれ前述した ホルマル 線あるいは ポリエステル 線の場合とはほぼ類似しているため、ここでは省略しておく。つぎに、図 5.1 の (c) の ポリウレタン 線は他の エナメル 線とその断面状態を異にしており、2 線のよりあわせ接触部付近の エナメル が軟化融着している。この融着部は加熱劣化の進行とともににはなはだしく変形し、ついにはこの部分に空孔さえも生ずることを認めている。この状態は加熱温度が高いほどその程度がはなはだしい。なお、検出電圧による破壊はけっして試片の外部には現われず、この融着個所で行なわれているのが注目された。

6. 結果の要約と考察

以上までに ワニス 処理を施した各種の エナメル 線について、主として物理的欠陥発生面から加熱劣化の様相を検討してきたが、それらの結果を要約しつつ考察を加える。

(1) ワニス 処理した ホルマル 線の場合は、A 種材料の加熱促進劣化に用いられる普通の温度範囲で、劣化の進行によって 2 線のよりあわせ接触部付近の厚い ワニス 部と、線周辺の薄い ワニス 膜厚さとの境界部に、主として線の長さ方向に沿う $\times$ 裂が発生する。この $\times$ 裂は ワニス 膜と エナメル 皮膜とともに貫通しており、その発生個所および ワニス 膜厚さを大とした場合の典型的な発生状態などからみて、加熱劣化の進行による ワニス の収縮がおもな原因となるものと考えられた。ワニス 塗布回数が少なく、加熱硬化が進みやすいと考えられる場合が $\times$ 裂を早く発生しており、また膜厚に不同を生じやすいよりあわせ試片の場合が、直線状試片の場合より $\times$ 裂の発生を早め、またその様相に相違を生ずることも認められた。 $\times$ 裂の発生時間は処理 ワニス の種類によっても差があり、耐熱寿命に多少の相違がみられたが、このことも ワニス 膜の硬化と関係があるように思われる。なお、加熱温度が比較的高い場合には、線を横ぎる $\times$ 裂の発生がさらに加えられることが認められた。

劣化試片の検出電圧による破壊開始 サイクル と $\times$ 裂発生 サイクル との関係において想像されたように、これらの $\times$ 裂は検出電圧による試片破壊のおもな原因の一つであろう。このことに加熱時間が相当進行して始めて平均破壊電圧を急激に低下させることから理解されるところである。

(2) B 種材料の加熱促進劣化に用いられる普通の温度範囲で、一般の ワニス を処理した ポリエステル 線の場合、ワニス 膜および エナメル 皮膜に、ワニス 収縮によると思われる変形を生じ、ワニスの厚い部分と、線周辺の薄い部分の中間に最も ワニス 膜および エナメル 皮膜の薄い個所を生じており、同時に エナメル 皮膜に多数の小さな ポア の発生が認められ、加熱時間とともにその数を増大するようであった。また、この ポア 発生部分は試片表面のワニスの オウトツ 部と対応しており、エナメル 皮膜におよばない ワニス 膜のみの $\times$ 裂の発生も認められた。

エナメル 皮膜の ポア の発生が ワニス 膜厚さの大きい場合に少ない傾向にあること、ワニスの厚い部分の エナメル 皮膜には一般に ポア が認められにくいこと、ワニス 膜厚さに違いのできやすいよりあわせ試片の方が直線状試片より ポア を早く生ずること、ワニス 処理を施さない試片には ポア が認められないことなどから、ワニス 膜の存在および ワニス 膜厚さの大小による硬化の遅速がこの ポア 発生となんらかの関係にあるように考えられる。

このような エナメル 皮膜の ポア の発生が少ない ワニス の場合は
エナメル 線の熱劣化 (2)・森田・坂田

と平均寿命時間が大であることや、この発生がかなり早期から始まる ワニス の場合ほど耐熱寿命が小であることなどからも、これらの ポア 発生が耐熱寿命と深い関連にあることは想像にかたくない。加熱劣化の進行によって、ポアの発生は増大するようであったので試片の破壊電圧を徐々に低下させるのは当然と考えられ、ついには検出電圧による破壊に至るのであろう。

シリコンアルキッドワニス 処理の ポリエステル 線の場合は、以上に述べたポアの発生や ワニス 表面の オウトツ、 $\times$ 裂等が認められず、エナメル 皮膜は ワニス 膜を通してかなり自由に揮発するものと想像され、そのために ワニス 膜および エナメル 皮膜とも均一に減少し、またより合わされた 2 線は ワニス の収縮も加わって次第に接近する。この ワニス を処理した場合は、他の一般の ワニス の場合に比べて寿命がかなり大となっている。このことも一般の ワニス を処理した上述の場合の ポア 発生が試片の検出電圧破壊のおもな原因の一つであることを裏付けているものと思う。

(3) ワニス を処理した各種の エナメル 線を普通の促進試験温度で劣化した場合、おもな物理的欠陥の発生状態から分類すると

- ワニス 膜および エナメル 線皮膜に $\times$ 裂を生ずるもの：油性 エナメル 線、ホルマル 線、エポキシ 線
- エナメル 皮膜に ポア を生ずるもの：ポリエステル 線、変性 シリコン 線
- エナメル 皮膜が軟化溶解し、2 線の接触部付近に空孔を生ずるもの：ポリウレタン 線

の三つに大別され、それぞれ類似の現象を生ずることが認められ、これらの物理的欠陥の発生が試片の寿命終点を示す検出電圧破壊と関係深いことが想像された。

(4) ワニス 処理なしの場合は、いずれの エナメル 線の場合も 2 線のよりあわせ接触部が加熱により融着し、その近傍のエナメル 皮膜に $\times$ 裂を生じ、それが表面 $\times$ 裂となることが認められ、これらの物理的欠陥の発生が寿命終点となるおもな原因の一つであることはすでに述べた。これらの各種 エナメル 線のなかでポリエステル線のように加熱劣化に際して耐熱寿命が大で、加熱によって エナメル 皮膜が薄くなるまでも寿命を保つようなものは、試片にそう入する スペーサ が ルーズ になり、取り扱いによってもエナメル 皮膜に $\times$ 裂を発生しうることが注意された。試片構造を検討する必要があるであろう。

7. む す び

種々の ワニス を処理した エナメル 線の耐熱寿命が、ワニスの種類あるいは性質とどのような関連をもつか、どのような ワニス との組み合わせが最適であるかなどについて、これらの問題をいくらかでも普遍的にするためには、まず劣化の状態を知る必要がある。ここではその第 1 段階として、主として試片の物理的欠陥の発生面から劣化様相を検討した。ワニス との関連の詳細については第 3 報で述べることにする。

この実験は三村昭朗君の努力によったもので謝意を表する。

(昭 37-12-17 受付)

参 考 文 献

- (1) たとえば AIEE Committee Report: AIEE, 78, pt I (Communication and Electronics) p. 91 (1959).
H. L. Saums, W. W. Pendleton: ibid p. 1-4.
- (2) 森田, 坂田:「三菱電機」, 34, No. 9, p. 109 (昭 35)

高温プラズマ発生用環状放電設備とその工学的諸問題

河合 正*・杉本盛行**・近藤博通**・岩本雅民**・飛田敏男**

Toroidal Discharge Apparatus for Thermonuclear Research and Discussions on The Technique for High Current Discharge

Research Laboratory

Tadashi KAWAI・Moriyuki SUGIMOTO・Hiromichi KONDŌ

Masatami IWAMOTO・Toshio TOBITA

A toroidal discharge apparatus has been built with an aim of experimenting the stabilization of plasma by virtue of reversed stabilizing field in Mitsubishi Research Laboratory. This article deals with a simple theory of stabilization as an introduction, which is followed by elucidation of the construction of this apparatus and a circuit system of power supply, calculated results as a basis of the design also being touched on. Furthermore, behavior of switching ignitrons during the flowing of heavy current, operating methods of there ignitrons, and test results of special co-axial cables of trial product for the feeder of power supply has been discoursed on as related matters.

1. ま え が き

当研究所では、昭和 33 年度から原子力平和利用委託研究費をうけた三菱原子力株式会社と協力して高温 プラズマ の発生およびこれに関連した工学技術上の諸問題の研究に着手、すでに環状放電装置 1 号器における電流値 30 kA、持続時間 300 μ s、推定温度十万度の プラズマ 発生実験を終了⁽¹⁾⁽²⁾、ひきつづき 37 年度夏にこの装置を改良した 2 号器を完成するとともに各種電源、測定器などの実験設備全般にわたる改良、増強を終わり、以後この 2 号器について詳細な実験を続行している。この実験は 1 号器で見られた プラズマ 不安定性現象を究明し、さらに安定な数十万度程度の プラズマ を発生することを目標とするもので、現在すでに多くの成果をあげているが、この報告ではこの改造設備の概要やその建設の基礎となった工学的研究の成果を紹介するとともに、プラズマ発生工学の諸問題について展望を試みることにしたい。

2. 高温プラズマ発生方式の原理⁽³⁾

多くの発生方式が実施または提案されているが、最も簡単な方式は図 2.1 (a) の直線ピンチ放電の方式であって、放電管軸方向電流の発生する自己磁界 B_θ の圧力によって プラズマ は収縮（自己ピンチ）して半径 r_p 、圧力 P の円柱となる。この場合の定常的な圧力平衡の式は次式

$$2\pi r \frac{d}{dr} \left(P + \frac{B_z^2}{2\mu_0} \right) = -\mu_0 I_z j_z \quad (2.1)$$

ただし $I_z = \int_0^r j_z 2\pi r dr$, j_z : 軸方向電流密度

である。ここで B_z は プラズマ 安定化のために放電管にまいたコイル (B_z コイル) の生ずる磁界である。 B_z がなく B_θ が プラズマ 柱

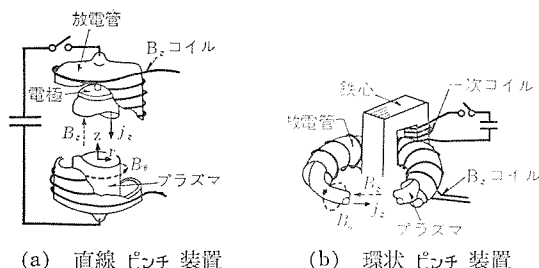


図 2.1 自己ピンチ形放電装置

Fig. 2.1 Self-pinch device.

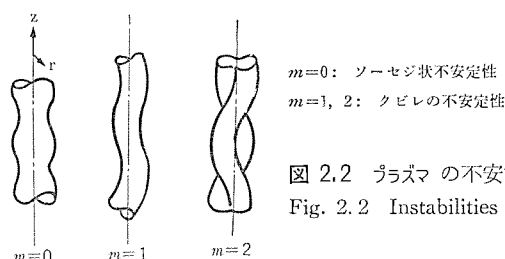
にしみこまないような理想化された条件のもとでは式 (2.1) は簡単となり、プラズマ 表面で自己磁界圧力 $B_\theta^2/(2\mu_0)$ が プラズマ 圧力 P とつりあう。しかし実際の直線ピンチ放電では持続時間がきわめて短くまた電極からのガス放出が激しい。

これに比べ図 (b) のような環状放電装置は、変圧器の原理を応用した無電極放電により同様な自己ピンチプラズマを比較的長い時間（たとえば英国の大形装置 Zeta で数 ms）発生できる。この方式では、プラズマ は主として j_z の発生するジュール損によって加熱（ジュール加熱）されるが、このジュール損に寄与するプラズマ比抵抗 ($1/\sigma$) の式はローレンツ・ガス・モデルに基づいた Spitzer 氏の解析⁽⁴⁾によれば

$$1/\sigma = 65.3 \log A / T^{3/2} \quad (2.2)$$

である。ただし $\log A$ は電子密度および プラズマ T の関数で高温プラズマでは大体 10~25 程度の値をとる。この式によれば比抵抗は高温になるほど下がり、 10^7 度で銅と同程度となる。ジュール加熱に限界があるとされるのはこのような予想に基づくものであるが、自己ピンチ方式でこれよりも問題となるのはプラズマの不安定性である。

ノーマル・モードの方法とよばれる不安定性理論の表現をかりれば、円柱状プラズマの物理量 q ——たとえばプラズマの各微小体積要素の位置——を、安定な平衡配位にある時の値 q_0 と微小変位 $q_1(r) \exp(im\theta + ikz + \omega t)$ [$m=1, 2, \dots$] との和で表わす時、 $\omega^2 > 0$ の場合に プラズマ は図 2.2 に示すような変形を生じ不安定となる。プラズマ 表面に電流が集中した場合について Taylor 氏が与えた安定条件⁽⁵⁾によれば、一般に安定化のためには、放電管壁の電気伝導度が大きく プラズマ 内の B_z は B_θ に近い大きさであること、またたとえば $m=1$ の不安定性を抑えるためには プラズマ 外に残留する B_z が小さいことが必要である。しかし、もしもプラズマの内と外とで B_z の向きが反対となるようないわゆる反転安定磁界

図 2.2 プラズマの不安定現象
Fig. 2.2 Instabilities of plasma.

* この報告では、文中の式はすべて MKS 有理単位系で示してあるが、それ以外の箇所では便宜上たとえば長さの単位としてとくにことわらないかぎりすべて mm、磁束密度の単位として Gauss, k Gauss などを用いた。

の配位が実現できたとすれば、プラズマはかえって安定となることが予想される。これは Suydam 氏が、プラズマ柱全般に電流が分布している場合について与えた安定の必要条件⁽⁶⁾、すなわちプラズマ内のいたる所で満足しなければならない次式

$$\frac{2\mu_0}{B_z^2} \left(\frac{dP}{dr} \right) + \frac{r}{4} \left(\frac{1}{b} \frac{db}{dr} \right)^2 \geq 0 \dots \dots \dots (2.3)$$

ただし $b = B_\theta / (r B_z)$

から説明できよう。円柱状プラズマにおいて、左辺第1項は常に負であるが、反転安定磁界配位が実現できれば第2項はプラズマ表面上では非常に大きな正の値をもつことになるから、少なくともプラズマ表面に関する限りこの配位は安定条件を十分に満たしているといえる。ただし、このような論議の基礎となっている電磁流体力学の理論は、問題とする現象の経過時間——変化の周期ないし時定数など——がプラズマ内の荷電粒子の緩和時間 (relaxation time) より短い場合、たとえば温度の高い非常に稀薄なプラズマの場合には成り立たない。したがって、このような場合にあらわれる不安定性は、図 2.2 のものとはおのずから異なった形のものとなるであろう。また電磁流体力学的不安定現象として、図 2.2 のもの以外に、たとえば交換性不安定現象 (interchange instability) もあげることができる。

しかしながら、1号器で観察された不安定性は⁽¹⁾、明らかに図 2.2 の種類に属するものであって、初期に $m=1$ 、末期に m がかなり大きくなるような性質のものであった。このような不安定性を防止する方法として期待のかけられるのは、前述の安定磁界反転の方法であるが、この方式の実験については海外でも予備研究段階の報告⁽⁷⁾がある程度でほとんど結果が出ていないのが現状である。この理由の一つは、この実験が、通常よく用いられる金属製放電管では実施できにくく、また電源回路技術の上でも種々問題をはらんでいるためである。幸いわれわれは、ガラス製放電管を用いた1号器の実験においてこの方式を実施し貴重な経験を積むことができたので、2号器においてはこの本格的な実施を主目的としてとりあげた。この装置の構造、電源回路の構成は、最近有望視されているカスプ状ないしピケット・フェンス状の磁界による環状プラズマ閉じこめの実施にも適したものであって、設備全体の建設、改造においてはこの種の実験の可能性についても十分配慮を払ったが、ここでは反転安定磁界実験の場合に限定して設備の説明を行なうこととしたい。

3. 主回路および実験制御方式

図 3.1 は現在2号器の実験に使用している主回路の結線図である。反転安定磁界の実験の場合、イグナイトロン整流器 (図の REC 230 V, 短絡時出力 15 kA) から B_z コイルに直流電流 i_z を流して放電管内に直流安定磁界 B_{zd} を発生させ、一方予備電離コイルに高周波を印加して放電管内を軽度電離しておいた後に、イグナイトロン T_1 を動作させて電源コンデンサ C_1 の電圧を一次コイルに印加し、放電管の軸方向にプラズマ電流を流す。一次コイル電流 i_1 が最高値に達したところにクランピングイグナイトロン (クローバイイグナイトロン) T_2 を動作させて一次コイルを短絡しその電流にしたがってまたプラズマ電流を長く持続させる。この途中の適当な時点で、 T_3 を動作させ電源 C_2 から B_z コイルに i_z とは逆方向のパルス電流 i_3 を流す。この i_3 によって作られる軸方向パルス磁界 B_{zr} はプラズマ内にはしばらく浸透できず、一方直流磁界 B_{zd} の磁束はプラズマのピンチの際プラズマといっしょに圧縮されたままなので、

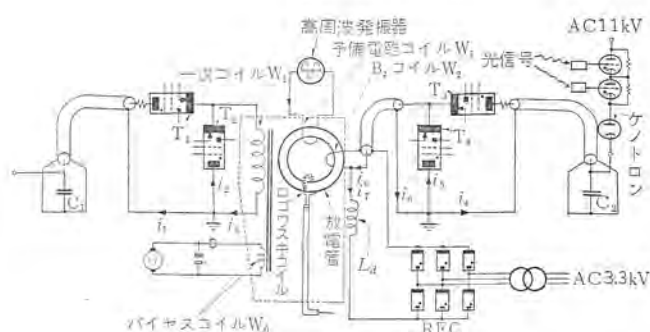


図 3.1 反転安定磁界実験の主回路
Fig. 3.1 Main circuit used for experiments of stabilization by reversed magnetic field.

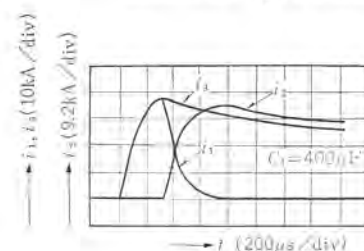


図 3.2 クランピング方式の回路の電流波形
Fig. 3.2 Wave forms of currents on a crowbar circuit.

プラズマ表面を境にして B_{zr} と B_{zd} とが互いに逆向きに配列されたことになる。ジュール加熱によってプラズマの比抵抗が低くなっていけばいいほど、このような磁界分布は長く続くが、やがて両磁界はプラズマの内外に拡散して混ざり合う。この拡散の時定数は1号器の場合数十 μs 程度であった⁽¹⁾、なお T_4 は B_{zr} をできるだけ長く持続させるためのクランピングイグナイトロンである。また図のバイアス巻線は鉄心の直流励磁を防ぐためのものである。後述のように鉄心にはギャップを設けたので、このコイルには直流発電機 G から 2.5 kA 程度の比較的大きな電流を供給している。

C_1 , T_1 , T_2 からなるジュール加熱電源回路、 C_2 , T_3 , T_4 からなる反転磁界電源回路のようなクランピング方式の回路では、一般に負荷となるコイルのインダクタンスが小さいほど、また回路の残留インダクタンスが大きいくほど、回路電流中に含まれる寄生振動成分が大きくなる。⁽⁸⁾⁽⁹⁾ これは、電源コンデンサ側に減衰抵抗を入れることによって防止できる。図 3.2 にこの例として、後述の陰極転移現象の測定のために行なった T_1 , T_2 の通電試験のオシログラムを示す。この試験では一次コイルの代わりに 25 μH のリアクトルを負荷として用いたが、0.25 Ω の減衰抵抗のため寄生振動は完全に押えられている。ただし減衰抵抗が非常に小さい場合でも、寄生振動電流は負荷側にはあまり流れず主として C_1 , T_1 , T_2 を結ぶ閉ループ中で環流する⁽⁸⁾。

図 3.1 のコンデンサ C_1 , C_2 は当社製無誘導コンデンサであって、いずれも蓄積エネルギーは 50 kJ, 使用電圧は 16.8 ないし 33.6 kV であるが、現在は 16.8 kV で使用している。これを 33.6 kV で使用する場合には同図のスイッチングイグナイトロン各 1 本の代わりに直列接続された 2 本のイグナイトロンを用いなければならないが、この際各イグナイトロンに適正な電圧を与える分圧法が大きな問題となる。この分圧に低抵抗分圧器を用いれば分圧は適正に行なわれるが、その反面電源コンデンサの電荷の漏れが大きくなる。この難点を解決するため、当社が阪大工学部に納入したカスプ磁場によるプラズマ閉じこめ装置では図 3.3 のような特殊な分圧法を採用している。この方式は電源コンデンサ C , C' は倍電圧整流回路によりほぼ等しい電圧に充電され、その各電圧が投入用イグナイトロン T_1 , T_1' のおのおのに加えられるようになっているのでコンデンサ

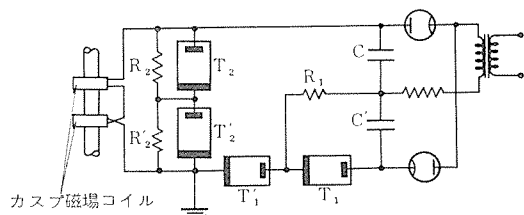


図 3.3 クランピング方式の回路における直列接続されたイグナイトロンの確実な分圧法

Fig. 3.3 Potential dividing method to assure the desired operation of crowbar ignitrons connected in series.

電荷の漏れはない。図の抵抗 R_1 の抵抗はかなり低く、 T_1, T_1' のいずれかがさきに放電した場合、 C ないし C' からこれに数 A 程度の電流がしばらく流れつづけるようにしてあるので、両イグナイトロンの制御信号を厳密に同期させる必要もなくなっている。また両イグナイトロンの動作前の暗流が R_1 に生ずる電圧降下は無視できるから T_1, T_1' に均等な電圧が与えられることはいうまでもない。一方クランピングイグナイトロン T_2, T_2' には抵抗分圧器 R_2, R_2' から電圧を与えるようになっているが、この分圧器はコンデンサ電荷の漏れを生ずる恐れがなくまた低インピーダンスのコイルと並列にはいつているので、適確な分圧が可能となる程度の低い抵抗値に選ぶことができる。なおこの方式では、回路電圧がさらに高くなった場合、これに応じて直列接続の個数を増し図 3.3 と同様な分圧法を行なうことができるので回路素子の標準化も容易である。このほか直列接続の際問題となるのは、大地に対して高電位にある各イグナイトロンの制御方法である。20~30 kV 程度以下の電位ならば、現在われわれが実施しているように、制御信号を高耐圧パルス変圧器を通して格子およびイグナイトタに送り、それらをそれぞれ 1.5 μ s 程度の遅れで動作させることも可能であるが、数万 V 以上の場合には、たとえば制御信号を搬送波にのせ結合コンデンサを通して送りこむか、あるいは制御信号を光にかえて送るなどの方法も考えられる。後者は比較的簡便で実験設備にはとくに適しているので、図 3.1 の電源コンデンサ充電装置の整流用サイトロン制御にもこれが採用されている。

なお、図 3.1 の実験設備では、以前から専用タイマによってほとんどすべての機器を自動制御する方式をとっていたが⁽²⁾、その後環状放電管の排気およびガス導入系について改良を加え、放電直後の汚損ガスの排気、所要圧力のガスの導入も自動的に行なわれるようにした。

4. 環状放電装置 2 号器

1 号器の実験では、光学的観測などの必要上、数~数十 μ Hg の比較的高いガス圧の範囲で実験を行なったが、反面プラズマの温度が上がりやすく、またそのふるまいも放電初期から不安定の傾向を持ち反転安定磁界をかける前に不安定現象がいちじるしく進行した。また装置の構造がガスの予備電離、プラズマ観測、装置の分解を円滑に行なえることを主眼にしたものであったために、安定磁界の分布の均一度がぎせいとなり、一次コイル漏れインダクタンスが大きくプラズマ電流の上昇速度が小さくなったことも不安定現象の原因としてあげられる。したがって、2 号器の製作にあたっては、これらの不本意な要因をとりのぞき単純化、理想化された物理的条件のもとに円滑な実験を遂行できるようにするため、種々検討、工夫を行なった。図 4.1 はこの結果製作された装置の

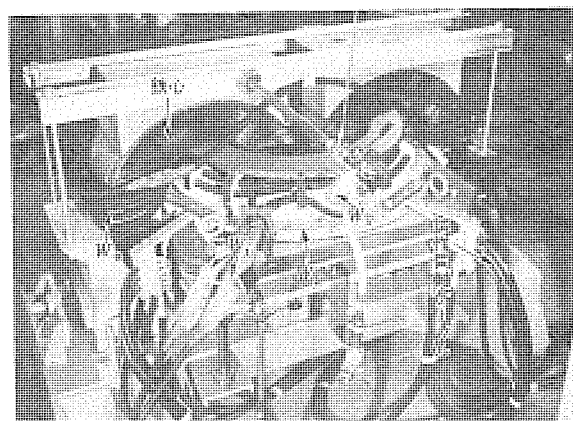


図 4.1 環状放電装置 2 号器

Fig. 4.1 The modified toroidal discharge device.

写真であって以下その各部について概略説明する。

4.1 放電管

1 号器のものと同じコパールガラス製、断面内径 120 ϕ 、肉厚 3、曲率半径 300 のドーナツ状放電管である。この装置はこのような絶縁物製放電管を用い、閉じこめない安定化のための磁界をプラズマに急激に印加できるようにしたところに特色がある。この放電管が予想以上に放電時の熱的ショックに耐えることは 1 号器の実験でよく実証されている。観測専用の枝管 2 本以外に観測にも使用できる排気用、ガス導入用枝管各 1 本がついている。

4.2 B_z コイル

B_z コイルはこの放電実験において最も重要な役割を果たすものであって、均一な強磁界を発生できること、この磁界の急激な反転を可能にするためにインダクタンスが小さいこと、分解組立てが容易なことが要求される。このため全体を各 9 ターンのコイル 4 組にわけ、各組のコイルは図 4.2 に示すように半輪状銅板コイルをボルトどめでつなぎ合わせる構造のものとした（以下この 1 ターン分を単位コイルと呼ぶ）。

(1) 発生磁界 各組のコイルは互いに直列または並列に接続

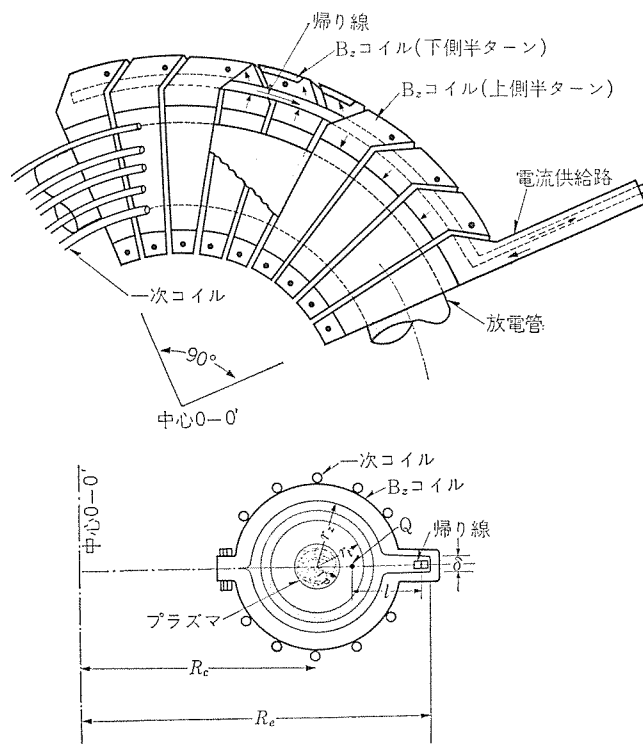


図 4.2 2 号器の B_z コイル および一次コイル

Fig. 4.2 Coil assembly of the modified device.

できるが、発生できる磁界 B_z は コイル 内の体積 v 、電源 コンデンサの電圧および容量を C, V とすれば、接続方法のいかんにかかわらず次式

$$\int_{(v)} \frac{B_z^2}{2\mu_0} dv \leq \frac{1}{2} CV^2 \quad (4.1)$$

で定まる上限を持つ。したがってこの上限 $(B_z)_{\max}$ は図 4.2 の記号を用いると

$$(B_z)_{\max} = K\sqrt{CV} \quad (4.2)$$

ここで

$$1/K = \sqrt{4\pi^2 R_c^2 \{R_c - \sqrt{R_c^2 - r_z^2} + \delta / (2\pi) \log(R_e/R_c + r_z)\} / \mu_0}$$

で与えられる。図 4.3 にこの計算例を示す。電源回路の残留インダクタンスおよびこのコイルのインダクタンスを L_s, L_z とし、磁界が発生後最高値に達するまでの時間を $\tau (= \pi \sqrt{(L_s + L_z)C/2})$ とすれば、実際に得られる磁界 B_z は

$$B_z = zK\tau V L_z / \{\pi(L_z + L_s)^{3/2}\} \quad (4.3)$$

これから $L_s = 1 \mu\text{H}$, $L_z = 1.02 \mu\text{H}$, $V = 17 \text{ kV}$, $\tau = 20 \mu\text{s}$ とすると B_z は $2,600 \text{ G}$ となる。

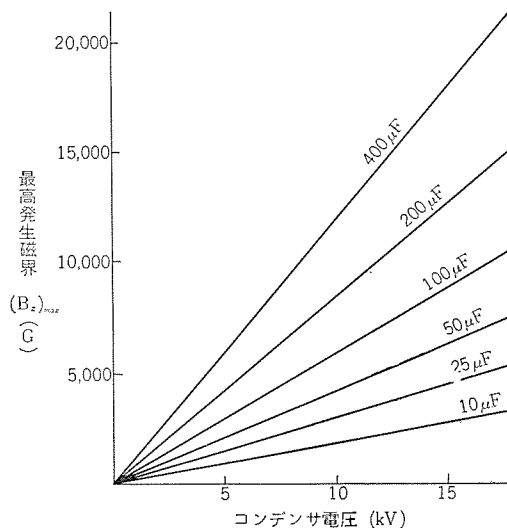


図 4.3 B_z コイルの最高発生磁界

Fig. 4.3 Maximum values of the stabilizing magnetic field produced by the B_z coil.

(2) 磁界の均一度 このコイルは環状放電管上にほぼ一様に巻いてあるから、放電管内の磁界は図 4.2 の中心線 $O-O'$ からの距離に大体反比例して変わる。これは稀薄なプラズマの場合電荷分離をひきおこす原因となるものと考えられているが、ここで問題にしている不均一性は放電管の軸方向でのそれであって、これは主として単位コイル間のギャップに起因する。このコイルを直円筒のコイルとして近似的に計算すると放電管中心軸上での空間的脈動は $\pm 1\%$ 以下であるからとくに問題とはならない。またこのコイルのようにターン数の少ない組立て式コイルでは各单位コイルをつなぐ渡り線の発生する磁界 B_c が問題となる。渡り線は放電管に沿ってその管壁近くを走るから、 B_c は B_z と直交し、その大きさは B_z の $10 \sim 20\%$ の大きさとなる。したがってこの装置では図 4.2 に示すように半輪状コイルの端部をそのまま渡り線として用い、この上下の半輪状コイル端部の空気にコイル電流の帰路(帰線)を通し、渡り線磁界を帰線磁界で打消す構造とした。図 4.2 に示す任意の点 Q における両者の合成磁界 B_L は、単位コイル全部の数を N^* とすれば

$$B_L/B_z \approx \{R_c / (N^* l)\} \{ \delta / (2l) \}^2 \quad (4.4)$$

で与えられる。これから計算すると B_L は B_z の 0.1% 程度となり、渡り線磁界の問題はほとんど解決できたと考えられる。

(3) インダクタンス 渡り線、帰り線のインダクタンスは上記の構造によってはなほ小さくすることができたが、これを含めたコイルの全インダクタンス L_z は巻数を N として

$$L_z = \mu_0 N^2 [R_c - \sqrt{R_c^2 - r_z^2} + \frac{\delta}{2\pi} \{ \log(R_e/R_c + r_z) \}] \quad (4.5)$$

となり、4組のコイルを全部並列にした時の値は $1.02 \mu\text{H}$ である。

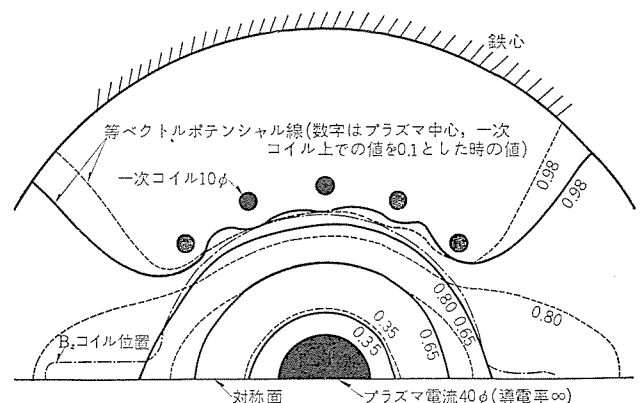
4.3 一次コイル

1号器の実験では、一次コイルが11ターンの時プラズマの一次換算抵抗値が、たとえば $5 \sim 1 \Omega$ 程度であるのに対し一次コイルの漏れインダクタンスは約 $100 \mu\text{H}$ でプラズマ電流の上昇の時定数は $100 \mu\text{s}$ 程度に及ぶ場合があった。そこで2号器ではインダクタンスを低減し、またプラズマの周囲の磁界の分布を単純にして荷電粒子の複雑なドリフトをできるだけ少なくするために図 4.2 に示すように一次コイルを B_z コイルのすぐ上に巻きつける形とした。この磁界およびインダクタンスの計算ははなほ困難である。ことにむずかしいのは B_z コイルのウズ電流の影響であって、これが流れるために一次コイルから見た損失は増しインダクタンスは減る。しかしながら、われわれは分布抵抗と分布容量とからなる模擬装置によってこのようなウズ電流のある場合の電磁界を求める方法⁽¹⁰⁾を案出できたので、これを用いてこの放電装置の磁界を求めてみた。図 4.4 はこの結果を示したものである。ただしこの図は放電装置を近似的に二次元配置として求めたもので、点線がウズ電流の影響を無視した場合、実線が一次コイル印加電圧を 1 ke の正弦波としてウズ電流を考慮した場合の磁界分布であって、プラズマの近傍で比較的単純な分布となっていることがわかる。これから求めた放電管単位長さあたりの漏れインダクタンス、ウズ電流損は前者の場合 $30.7 \mu\text{H}/\text{m}$, $0 \text{ W}/\text{m}$, 後者の場合 $28.4 \mu\text{H}/\text{m}$, $450 \text{ kW}/\text{m}$ である。

なおこの一次コイルの構造はプラズマの観測の点からもほぼ満足すべきもので、装置の横からも上からもプラズマを撮影できる。図 4.5 は装置の真上に高速カメラをおき $10,000 \text{コマ}/\text{sec}$ の速度で撮影したプラズマの写真である。

4.4 予備電離コイル

2号器では、放電管を B_z コイルでほとんどスキマなくおったために予備電離コイルをどの個所に取り付けるかが問題となった。一次コイルの発生する放電管内の軸方向電界 E_z がある程度大きければ予備電離なしにガス中で放電を開始させることもでき



(点線: B_z コイルのウズ電流を無視した時、実線: B_z コイルのウズ電流を考慮した時)

図 4.4 2号器の磁界分布の計算例

Fig. 4.4 Examples of calculated flux distribution in the modified device.

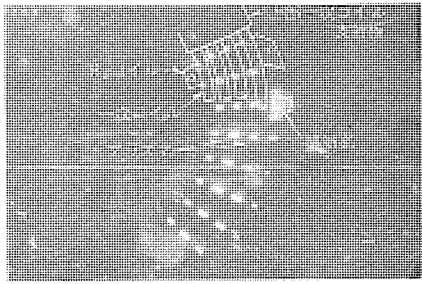


図 4.5 2 号器の プラズマ の高速撮影写真
(上から見下ろしたもの)

Fig. 4.5 High speed photograph of the plasma in the modified device (bird-eye view).

るが、その条件式は放電管の曲がりの影響を無視すれば次式⁽³⁾

$$\frac{\alpha}{p_0} \geq \left(\frac{2.405}{p_0 r_t} \right)^2 \frac{2\pi}{(3E_z p_0) \{1 + (\omega_b / \nu_m)^2\}} \quad (4.6)$$

α : タウンゼント 電離係数, p_0 : 封入 ガス 圧力, n : 電子の平均運動 エネルギ, ν_m : 衝突, 周波数, $\omega_b = e B_z / m c$, m は電子の電荷, 質量]

で与えられる。この式から $10 \mu\text{Hg}$ の水素 ガス の放電開始に必要な電界 E_z を求めると B_z が 1, 0.5, 0.03 kG の時にそれぞれ 0.2, 0.5, 1 V/cm 以下, また $B_z = 0$ の時非常に大きな値となる。しかし 1 号器の実験によると アルゴンガスの場合は別として一般にこのような低い値では放電が開始しにくい, 予備電離をかけた時の放電開始はこれに近い電界の時に起こる。式 (4.6) は放電開始前にならな空間電荷が発達しているものとして導かれた式であるからむしろ弱い予備電離の場合に近い値を与えても不思議ではない。いずれにせよ, 2 号器では B_z の分布の乱れが少なく放電が開始しやすいことは確かであるので, 排気および ガス 導入用の枝管にこの コイル を巻くこととした。製作後の試験の結果によると, この コイル 全体に 3 Mc 数 kV 程度の高周波電位を与えるだけで十分効果があるようである。

4.5 鉄 心

従来の額 ラチ 形の鉄心の代わりに, 当社伊丹製作所で特別に製作した外径 580, 内径 340, 幅 120 の大形 C コア を四つ用いた。C コア は分解組立が容易で特性もよく, B_{zr} の急激な印加のときに生ずる鉄心中の誘起電流を防ぐための絶縁も容易である。

5. スイッチイグナイトロンの諸問題

一般に高温 プラズマ 発生装置主回路用 スイッチ⁽¹¹⁾は, 大電流回路に入れられる関係上電流耐量が大きく インダクタンス が低いこと, 他の スイッチ や測定器などとの同期のための始動遅れおよびそのパルク が小さいことが要求され, クローバスイッチ の場合にはさらに動作開始電圧, 動作時内部損失 (イグナイトロン でいえば点弧電圧, アーク 損) も小で, 長波尾大電流に耐えることが要求される。この反面, 動作のくりかえし数はきわめて小さく, たとえば 1 時間あたり数十ないし数百回といった程度である。また動作前の耐圧は大きくなければならないが, 動作直後の耐圧はとくに要求されないのが普通である。現在各国ではこの スイッチ として, 機械的 スイッチ, 低気圧 スイッチ, 火花 ギャップ, イグナイトロン が用いられている。このうち イグナイトロン は, 保守が容易で動作時の音響も少なく, ことに クラッピングスイッチ としてすぐれた性質を持っているので, 英米では盛んに使用されている。われわれも図 3.1 の主回路スイッチ として当社製二重格子 イグナイトロン GU31A を使用するが

たわら, 各種 イグナイトロン について各種の試験研究を続けてきた。以下この経験に基づいて使用上の問題点を簡単に論じてみたい。

5.1 耐 圧

たとえば商用周波数の交流の整流などの場合に要求される耐圧は通電後の残留 イオン や水銀蒸気発生流動がある状態での耐圧であるが, このような用途に用いられる 600~1,500 V 級程度の イグナイトロン でも運転休止時には 10~30 kV 程度の電圧に耐えるのが普通であるから, これらを プラズマ 発生装置に流用することができ。しかしながらこの休止時の耐圧は, 電極間 ギャップ 長や管内蒸気圧力だけの関数ではなく, むしろ電極やその近傍の器壁の表面状態によって著しく変わる性質のものである。図 5.1 は水銀蒸気中の鉄製模型電極の耐圧試験の結果を示すもので, 電極間の絶縁破壊の際電極表面の水銀滴やその他の異物質微粉末が吹飛ばされるので, 耐圧は試験を重ねるたびごとに上昇している。実際のイグナイトロン でも電極に水銀滴が附着している状態で耐圧試験を開始すると, たとえば第 1 回に 16 kV, 数回後には 25 kV という耐圧の上昇現象が起る場合がある。

数万 V 以上の回路電圧に耐えられるようにするためには, 直流送電用 イグナイトロン のように陽極陰極間に中間電極をそう入してこの間の電位分布をよくするとともに荷電粒子の直線的飛行を防ぎ, また陰極水銀を適当に冷却して管内蒸気圧をできるかぎり下げることが考えられる。ただしこの際問題となるのは大電流通

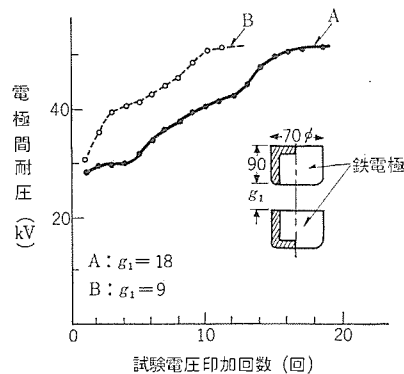


図 5.1 水銀蒸気中の模型電極の耐圧試験結果

Fig. 5.1 Breakdown voltage of the model electrodes in mercury vapour versus number of current application.

電時のいわゆる スターベーション による アーク 電圧の異常上昇であるが, 筆者らがさきに二重格子 イグナイトロン について試験した結果⁽²⁾によると, この懸念はまず不要と見てよいようである。しかしながら現在この種の中間電極つき大電流用 イグナイトロン はまだ開発されていないから, その代わりに通常の イグナイトロン を直列接続して用いなければならない。いずれの場合も中間電極ないし各イグナイトロン に適正な電圧を与える分圧法が大きな問題となるが, これは図 3.3 のような結線方式によって解決できる。

5.2 始動遅れ

最も問題となるのは イグナイタ の点弧遅れである。岡田氏⁽¹²⁾の実験によると, イグナイタ に印加する方形波電圧 E , 点弧に要する時間 t の間には次の関係

$$E^2 t = A \quad (5.1)$$

が成立つ。 A は各 イグナイタ の種類, 温度, 浸 セキ 深さに関係する常数であるが, プラズマ 実験用 イグナイトロン では通電のくりかえし数が少ないので温度はほとんど常温, 浸 セキ 深さは水銀面静止時の値に等しいと見てよい。しかしながら温度が低いことはイグ

ナイタの点弧遅れにとっては好ましいことではない。図 5.2 はイグナイタにこれを予熱するための直流電流を常時流しておいて方形波電圧を印加した時の点弧特性を示すもので、たとえば $2\mu\text{s}$ の曲線はそれより右側の範囲であれば $2\mu\text{s}$ 以内に点弧できることを示している。ただし図の点線は常温時の抵抗（冷抵抗）が高く予熱によって著しく抵抗値が低くなるイグナイタ、実線は冷抵抗が低く予熱によってそれほど抵抗値が低下しないイグナイタについてのデータであって、いずれの場合も予熱電流が大きいほど、また印加電圧が高いほど点弧遅れが小さくなる。プラズマ発生装置ではたとえば $10\sim 1\mu\text{s}$ 以下の点弧遅れが要求されるが、印加電圧をいわずに大きくすることは得策でないので、われわれの放電実験設備ではイグナイタ点弧回路中に予熱用回路を入れてその低減をはかっている。

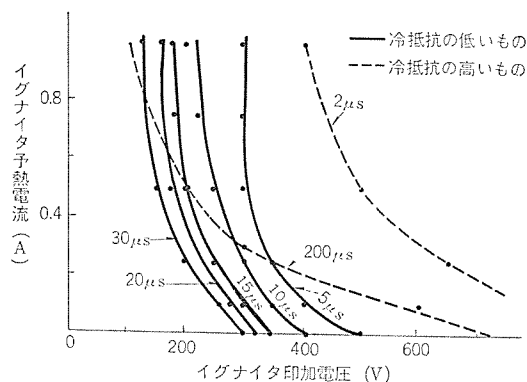


図 5.2 予熱されたイグナイタの点弧特性

Fig. 5.2 Ignition characteristics of a pre-heated ignitor.

5.3 陰極輝点転移

大電流通電時に輝点が管壁に転移する現象は、イグナイトロンの通電能力や寿命を低める最も好ましくない現象であることが指摘されているが^{(13)~(15)}、この転移の起る時間（転移時間） t についてはアメリカで少し報告⁽¹⁴⁾されている程度であるので、当社製イグナイトロン GU-31A（管径 300φ，二重格子），MI-1201（管径 120φ，格子なし，傘形パツル付き），MI-1200（管径 120φ，格子およびパツルなし）の 3 種について行なった試験結果を概略説明する。

転移の発生は（イ）器壁電位，（ロ）イグナイタ電圧，（ハ）陽極電圧〔いずれも陰極に対する電位差〕の波形から判別できる。転移が起ると（イ）は急増，（ロ）（ハ）は急減する。ただし（イ）の転移時の波形変化はかなり判別しにくい。試験は 16 kV，50 kJ のコンデンサを電源とするクランピング方式の回路で行なわれ、クランピングイグナイトロンに図 3.2 の i と相似の波形の電流を流した際の転移現象について測定が行なわれた。図 5.3 の右上はこのイグナイトロンの通電開始後の陽極電圧波形の一例を示すもので、この電圧が急激に下降しているところで輝点の転移が起っている。同図のグラフの実線は通電電流の波高値 I_m ないし初期上昇率 $(di/dt)_{t=0}$ と転移時間 τ との関係を示すもので、ある電流値以下では輝点転移は起らないが、それより上では比較的短い時間に転移が起ることがわかる。このうち、MI-1200，MI-1201 の測定結果は、同管径のイグナイトロンについて行なわれたアメリカでのそれと大体似たような値を示している。同図の点線は GU31A の測定結果を、転移時の電流 $(i)_{t=\tau}$ と τ の関係に書き直したものであるが、初期電流上昇率が $92\text{A}/\mu\text{s}$ のあたりを境にして曲線の傾向が異なるのは興味のある事実である。この境界の時間は陽イオン

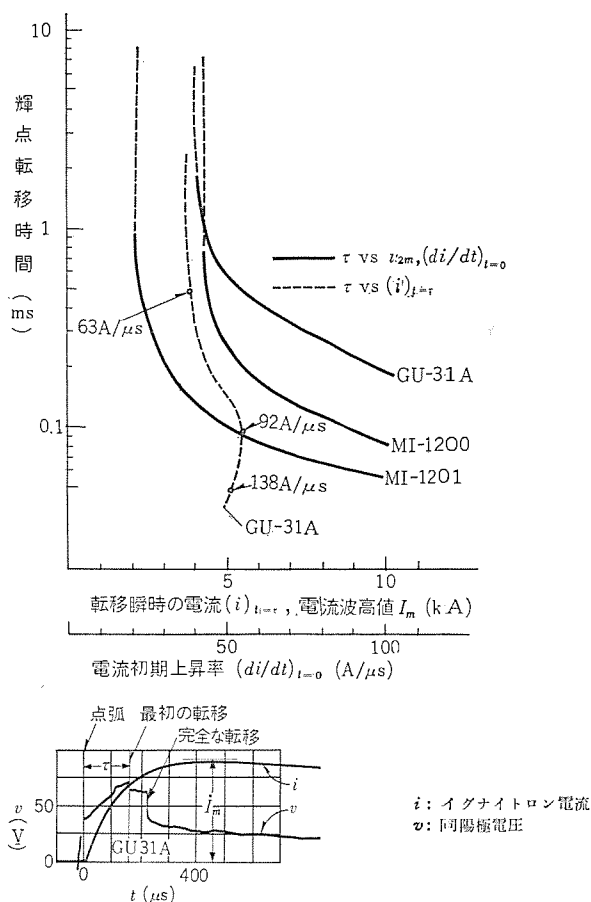


図 5.3 クランピング試験におけるイグナイトロンの輝点転移時間

Fig. 5.3 Cathode spot transfer time of crowbar ignitrons.

が陽極—陰極間を走行するに要する時間と大体同程度であるから、この境から下の曲線の部分では下にゆくほど管内アークの空間電荷が著しく過渡的な分布状態となっており、曲線の上の方の定常的なし準定常的な分布状態の場合と異なった傾向を示すのであろう。

転移そのものまたはこれによる損傷の防止のために、陰極を絶縁する、器壁の前面に浮遊電位のパツルをおく、器壁内面をグラファイトでおおうなどの方法が各国で実施されたまたは考えられているが、普通のイグナイトロンでも器壁に水銀滴が付着している際には転移による損傷が比較的起こりにくいと思われる。われわれがイグナイトロンの試験や使用の経験を多く積んだ今日もなお、輝点転移によるはなはだしい損傷の実例を見ることができないのは多分このためであらう。

5.4 その他

アーク電圧はたとえば輝点転移試験の場合の例では数十 V，またインダクタンスは現用のイグナイトロンの場合でも陰極リードを器壁の上部に設け陽極リードと同軸状に配置すれば、 $1\sim 0.1\mu\text{H}$ 程度にできる。

6. 主回路の無誘導化

プラズマ発生設備の主回路のインダクタンスは、直線ピンチ放電、誘導ピンチ放電のような急激な放電を行なわせるもので $0.1\sim 0.01\mu\text{H}$ 程度、環状放電のように比較的ゆるやかな放電を行なわせるものでたとえば $10\sim 1\mu\text{H}$ 程度にする必要がある。高電圧でしかも配線距離が通常 $1\sim 10\text{m}$ 程度の主回路のインダクタンスをこ

の程度に押えるためには、負荷、スイッチ、電源コンデンサ、ケーブル等のそれぞれについて非常な努力を払う必要がある。たとえば図 3.1 の主回路で使っている当社製無誘導コンデンサでは、1 ユニット (16.8 kV, 20 μ F, 2.5 kJ) あたりの内部インダクタンスを 80 m μ H 程度に押え、さらに外部端子部を同軸ケーブルと直接接合できる構造にしてこの部分のインダクタンス低減をはかっている。しかしながらこのような回路素子の個々についての努力には限界があるので、これらを許される限り多く並列に結線してさらに低減を図る必要があるが、この並列結線のためには配線しやすくしかもインダクタンスの低いケーブルおよびそのコネクタを大量に用いる必要がある。従来われわれは図 3.1 の主回路配線に仕上り外径 21 ϕ , 39 ϕ の特殊ケーブルを用いているが上記の観点からもっと細くて曲りやすいケーブルについて開発研究を行なった。われわれが耐圧、電流容量、インダクタンス、曲げ易さ等を考慮に入れて定めた 30 kV 用同軸ケーブルの標準的な構造および寸法は図 6.1 に示したようなものである。この特長は通常の同軸ケーブルと異なって内側導体も筒状となっていることである。ただし電線会社数社に製作を依頼した同軸ケーブルのうちには、この仕様どおりのもの以外に、心が直径 9 ϕ のポリエチレンコルデル 7 本からなっているものや塩化ビニル製のもの、また外側導体の表面に半導体性ゴム引きテフロンを入れたものなども含まれている。屈曲試験の結果によるとこの程度の構造寸法のものはいずれも曲率 50 ϕ 程度に曲げることは容易である。導体間の絶縁層をケーブルの常識からいえば極端に薄いものとしたが、直流耐圧試験の結果ではたとえば 210 kV ではじめて絶縁破壊が見られた例も 2, 3 あり、悪い例でも 100 kV 近辺の破壊値を示したにすぎない。ただし、上記の半導体性ゴム引きテフロンは少なくともこの試験結果に関する限り、とくに耐圧向上に役立っているとは考えられなかったため、これを省いてインダクタンスを低減したほうが得策であろう。耐圧で問題となるのは上記のような絶縁層の貫通破壊よりむしろ露出部のコロナ放電であるが、試験の場合少なくとも 35 kV 以下でコロナが発生した例はない。また最高 120 kA におよぶ 25 kc の減衰振動電流の通電試験を実施したところ、内側導体との間にスキ間のあるビニルコルデル心の場合を除いては内側導体の変形は認められなかったが、外側導体は電流分布の悪い末端が 100 kA 以上の通電の際に変形を生じ、また素線の編み方の荒い外側導体は、120 kA の通電時に端末からかなり離れた箇所にも変形を生じた。したがってケーブルの接続にはケーブル導体の電流分布を乱さないような構造のコネクタを使うことが必要であるが、われわれはこの目的にかなう着脱自在のコネクタについても開発を進めている。なおこれらのケーブルの単位長さあたりのインダクタンス、同静電容量、波動インピーダンス、伝ぱ速度、内側および外側導体直流抵抗の一例を示すとそれぞれ 88 m μ H/m, 485 PF/m, 13.5 Ω , 1.54 $\times 10^8$ m/s, 3.48 m Ω , 3.12 m Ω である。以上を総合すると図 6.1

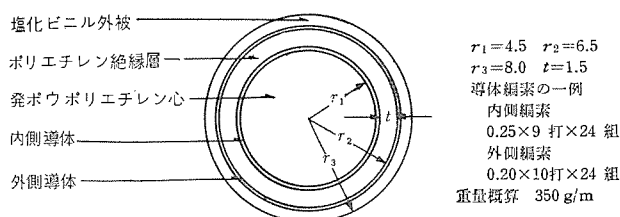


図 6.1 コンデンサ放電用 30 kV 同軸ケーブルの標準的構造

Fig. 6.1 Standard construction of the 30 kV low inductance co-axial cable to be used in fast capacitor discharging.

のケーブル構造寸法は 30 kV, コンデンサ放電用ケーブルの標準として採用できると考えられる。なおこの試作ケーブルは章 2 の環状放電装置の B₂ コイルと電源回路との間の配線に使用されている。

7. 測定上の問題

7.1 電磁誘導

たとえば波高値 10 kA, 周波数 10 kc の電流を流すプラズマ発生用主回路母線があったとする。プラズマ実験ではこの程度の電流値、周波数はごくありふれた小さな値にしか過ぎず、配線の無誘導化にそれほど気を使う必要はないから、母線の一部分が直径 500 ϕ 程度のルーアを描いていてもとくに問題はないように思われる。しかしながら、このルーアから 10 m 離れた地点で測定線がたまたま 50 ϕ 程度のルーアを形成していたとすると、この測定線のルーアには最大 0.5 V 程度の電磁誘導電圧が生じうる。このような電磁誘導障害のよい例は、図 6.5 のような対称接続の測定の際に見られる。この場合、測定用同軸ケーブルの間を貫く磁束 Φ が測定に障害を与える。図では両ケーブルの外側導体が 2 個所で結ばれ閉ルーアを形成しているため Φ の侵入はある程度防止されているが、ケーブルとして 3C2V を用い Φ の振動周波数が 5 kc の場合について実測した結果では、閉ルーアができていない場合の値の 10% 程度の磁束は必ず侵入することが明らかとなっている。したがって当所の設備では測定用ケーブルをすべて厚い銅パイプのなかに納めてこの種の障害を防いでいる。しかしながら、光電測光やマイクロ波によるプラズマ診断の際のように、ごく微弱な信号を扱わねばならぬ測定では、上述のような対策だけですべて事足りるというわけにはゆかない場合が多い。最も望ましいのは、放電装置やその電源の配線からできるだけ磁束を外に出さぬようにすることである。このために、装置のうちにたとえば直円筒状コイルがあれば、それから外に出る磁力線の通路として鉄製の板または棒をコイル近傍に配置するような配慮は当然必要であり、また電源の配線には前章で述べたような同軸ケーブルを用いることが望ましい。

7.2 電流測定

環状プラズマ電流の測定には通常分流器を用いることができないので、図 3.1 に示すようなロウスキ・コイルがよく用いられる。このコイルが外径 D , 幅 b のピンに厚み a で巻かれ、その巻数が n , 巻線抵抗が r_l で、コイルに負荷抵抗 R_l が結ばれ、またコイルに負荷電流 i_R ボビン内にプラズマ電流 i_p が流れているとすれば、 R_l の端子電圧 v_R は次式

$$v_R = i_R R_l = s n \frac{d}{dt} [M i_p - L i_R] \dots \dots \dots (7.1)$$

ただし

$$M = \frac{b \mu_0 n}{2\pi} \ln \frac{D+a}{D-a}, \quad L \approx \frac{a b \mu_0 n^2}{\pi D}, \quad s = \frac{R}{R+r}$$

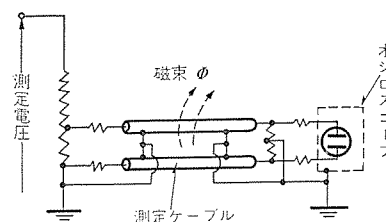


図 6.2 対称接続測定線における妨害磁束

Fig. 6.2 Interfering magnetic flux in co-axial cables symmetrically arranged for wave form measurement.

で与えられる。 i_p したがって v_R が角周波数 ω で振動している時には、それらをベクトル I_p , V_R で表わすと V_R の表示式は

$$V_R \approx \frac{s}{1 + \left(\frac{\omega L}{R+r}\right)^2} \left(j\omega M + \frac{\omega^2 ML}{R+r} \right) I_p \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

となる。問題となるすべての ω の値について、 $R+r$ が ωL , ωM より著しく小さい時は v_R , 著しく大きい時は v_R の積分値が、それぞれ i_p とほぼ相似の波形をもつ。当所の放電装置では i_p に含まれる代表的な振動成分の ω は 10^4 rad/s 程度であって前者の条件を満たすコイルは作りにくいので v_R を積分して測定している。この測定に用いているコイルの寸法は $n=100$, $a=0.15 \text{ mm}$, $b=2 \text{ mm}$, $D=2 \text{ mm}$ である。

このほかの主回路電流の測定には抵抗 $0.5, 2 \text{ m}\Omega$ の同軸分流器を用いている。これらの分流器の時定数は $0.03 \mu\text{s}$ であって周波数特性の点では信頼がおけるが、これを主回路配線用同軸ケーブルと接続する際に前節で触れたような配線のルーティングができる点に難点があるので、これに代わる同軸ケーブル電流測定用分流器ないし変流器を新たに開発する必要があると感ぜられる。

7.3 その他の測定

今回の2号器の実験では、プラズマ状態の観測のために撮影速度 $4 \text{ mm}/\mu\text{s}$ の高速流しカメラおよび毎秒 $25,000 \text{ コマ}$ の高速コマ取りカメラ、スペクトル測定のために波長範囲 $2,000 \sim 8,000 \text{ \AA}$ の光電測光装置つき水晶分光器、撮影速度 $4 \text{ mm}/\mu\text{s}$, 波長範囲 $1,000 \sim 10,000 \text{ \AA}$ の分光流しカメラ、その他プラズマ内電流ないし磁界分布測定のために磁気探針、逃走荷電粒子測定のためにファラデー・カップなどを動員して一斉測定を行なっている。これらのプラズマ物性測定には論ずべき問題がきわめて多いが、プラズマ現象と切離してこれらを紹介することは不可能であるから別の機会に譲りたい。

8. む す び

以上、当所の高温プラズマ発生実験設備と、その建設や運転の土台となった設計計算、基礎実験、開発研究の成果について、かなりくわしく報告したが、現在この設備の実験はこのような工学技術の基盤の上になつて着々と進行している。この種の工学技術

の進歩は、単に高温プラズマ研究のみならず、その他の関連諸分野の発展に寄与するところが大きいと信ずる。

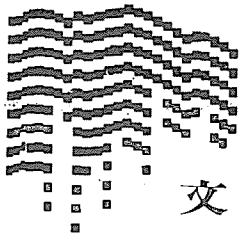
なお、高温プラズマ発生の工学的諸問題のうちでは、強磁界発生の問題が非常に重要であるが、本文は当所の設備を中心として論じたために、これを広い角度から展望することができなかったことをとくにおことわりしておきたい。核融合発電やMHD発電の成否を左右するこの問題の解決のために今後非常に大きな努力が注ぎこまれなければならないであろう。(昭 37-10-23 受付)

参 考 文 献

- (1) T. Kawai, M. Sugimoto, H. Kondo, M. Iwamoto: Mitsubishi Denki Research Report 3, 269 (1962).
- (2) 河合, 杉本, 近藤: 「三菱電機」 35, 825 (昭 36)
- (3) たとえば D. J. Rose, M. Clark, Jr: Plasmas and Controlled Fusion, M. I. T. Press and John Wiley & Sons, Inc.
- (4) L. Spitzer, Jr: Physics of Fully Ionized Gas 83 (1956).
- (5) R. J. Taylor: Proc. Phys. Soc. (London), B70, 31 (1957).
- (6) B. R. Suydam: Geneva Conference Paper (1958) P/354.
- (7) S. Berglund, S. Svennerstedt: Nuclear Inst. and Methods, 13, 201 (1961).
- (8) D. L. Smart: I. E. E. Convention on Nuclear Science No. 2932 (1959).
- (9) 河合, 近藤, 杉本: 昭 35 電連大予 145.
杉本, 細道, 飛田: 昭 36 電連大予 125.
- (10) 河合, 岩本: 昭 37 電連大予 111.
- (11) 安藤, 河合: 「電気評論」 49, 1 (1961)
- (12) 岡田: 電学誌 78, 17, 1175 (1958)
- (13) D. B. Cummings: I. R. E. Trans. on Nuclear Science, 23 (Sept 1959), UCRL-5411 (1958).
- (14) H de B Knight et. al: I. E. E. Convention on Nuclear Science, No. 2947 (1959).
- (15) 難波江: 昭 35 電連大予 688

最近における社外講演一覧

年 月 日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所属場所
37-11-20	関西電力	発電電機機器について	林 幸 平	伊 丹
37-11-20	IE ゼミナ	プラントレイアウトとエンジニアリングエコノミ	高 田 真 藏	本 社
37-11-20	生産性本部	原価低減の諸方策	奈 川 敏 雄	本 社
37-11-20	真空協会	オメガトロンの諸特性	花 坂 孝 雄	研 究 所
37-11-20	第5回自動制御連合	伝達関数測定問題の概念構成の一試論	竹 内 秀 憲	研 究 所
37-11-20	第5回自動制御連合	マイクロプログラム方式による万能論理回路	福永圭之介	研 究 所
37-11-21	第5回自動制御連合	最適化制御における探索信号法と試行法の比較	福永圭之介	研 究 所
37-11-21	第5回自動制御連合	2相サーボ・モータの等価回路定数の測定	前 川 善 六	研 究 所
37-11-21	第5回自動制御連合	波高値形磁気増幅器とその応用	山 崎 英 蔵	研 究 所
37-11-22	第5回自動制御連合	パルス幅変調によるトランジスタ直流サーボ増幅器	大 野 栄 一	研 究 所
37-11-22	第5回自動制御連合	磁気変調器特性の磁心特性との関係について	山 崎 英 蔵	研 究 所
37-11-30	電気通信学会パラメトリック増幅器研究専門委員会第30回	実用化 1,300 Mc パラメトリック増幅器の諸特性	白 幡 潔	研 究 所



文献抄訳

より高速で多用途のコンピュータ プロセス制御装置

Technology in Progress: Faster and More Versatile
Computer Process Controllers (Westinghouse Engineer,
Vol. 22, No. 4-5, July-Sept, 1962, p. 126)

多用途の自動プロセス制御系であるプロダック 500 シリーズは、複雑な一般工業および公益事業プロセスのオンライン制御用としてとくに設計された高速デジタル計算器を使用している。この計算器の読取り書き込みサイクルの所要時間は 4 ミリ秒で、また 1 秒間 10 万回以上の計算ができる。この高速と入出力装置（これにより記憶内容が演算ユニットおよびその周辺の入力および制御装置により処理できるようにするものである）の融通性のため、この制御系はこの分野において最も進歩したものとなっている。

この計算機は高速性と優先選択ができるので、主プロセスの制御、副部分の制御およびオフライン計算を同時に行なうことができる。このプロセス制御のプログラムは自動的に優先度の低い操作（データの集積あるいは換算のような）を切放すので計算器は必要な操作を即時に行なえ、また最高の能力を発揮できる。

コアによる記憶はランダムアクセスモジュールであり 4096 から 16384 語（1 語 18 ビットより成る）の容量がある。ドラム形による記憶は 32768 および 65536 語（18 ビット）の容量がある。

この新シリーズの制御方式には現在プロダック 510 とプロダック 7580 の 2 種ありともに同じ標準の構成で、共通の用語および同一のプログラムを使用している。おもな相違はプロダック 580 の方が 510 より大きく融通性がありまた同時に異なった情報を処理しうる容量がそれだけ大きくなっている。

プロダック 510 は主として単一プロセスの制御、データロッキング、監視、電力事業の計算などに用いられるもので、プロダック 580 の方は火力プラント、圧延機などの計算器制御のようにいくつかのプロセスを一つの計算器で制御するような用途に用いられる。

この新しい制御系は W 社とスペーランド社ユニパック部門との共同開発によるもので、計算器の主体と入出力装置のあるものはユニパックにより作られる。計算器を含めた全体の制御系は W 社により供給され、またすえ付、サービスなどが行なわれる。

（神戸製作所 香川重光訳）

高精度トルク平衡形変換器

B.E. Lenehan and J. T. Wintermute: A High-Accuracy
Torque-Balance Transducer (Westinghouse Engineer,
Vol. 22, No. 4-5, July-Sept, 1962, p. 114~115)

トルク平衡形変換器は交流電力、二つの直流電流の積、あるいは電流または電圧の実効値に比例した直流出力が得られ、とくに低

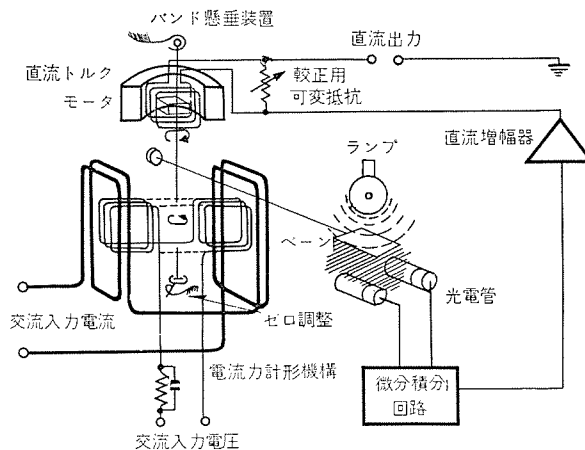
エネルギーあるいは力率の低い入力でも十分高精度で動作しうるサーボ機構である。この変換器は高圧送電線のコロナ損、トランスの鉄損などを測定するために開発されたものであり、モータへの入力変化を測定することによりジャイロスコープのモータ軸受の摩擦量をすることもできる。

動作原理は従来用いられてきた精密電力計と同様に可動部は実際にはほとんど回転しないので変位形計器のような相互インダクタンスの影響がない。しかしこの種の装置は読取りが不便でありまた出力信号が得られない欠点があるが、843 形変換器はこれらの欠点をとり除いた。図に示すように同軸上に電流計形トルク発生機構とこれと反対向きのトルクを発生する平衡機構（トルクモータ）が取り付けられ、軸の回転摩擦をなくするために軸端は懸垂バンドでつてある。入力が増加すると電流計形機構にトルクが発生し平衡状態がくずれて光電管検出部に誤差信号が発生し、これにつりあう逆回転方向のトルクを発生させるような電流がトルクモータに流れる。この直流電流は入力電力に比例し、指示計器、記録計、テレータなどに使用される。光電管から発生した誤差信号が微分積分回路を通ることによって、出力は急激な入力変化時にも早く応動した平衡状態においても高精度を保つようになっている。

標準の電力変換器は入力 2.5/5 A, 100-200 V で直流出力 20 mA, 精度は $\pm 0.1\%$ であるが入力がわずか 3 Wh, 24 V, 最大出力電流 2 A のものまで作ることができた。負荷は 2 k Ω まで接続可能であり、鉄心のインダクタンスを使用していないために入力周波数はかなり低いものから数千 c/s まで変化しうる。

変位形電力計では力率 10% 以下では動作不能であるが、この装置では入力電圧回路に抵抗とコンデンサを入れて補償することによって力率 0.5% 以下でも動作可能である。

装置の較正はトルク発生機構とトルクモータのみから決定され増幅器の利得には関係がなく、調整は出力回路の可変抵抗によって行なう。光電管は安定度の高いものを使用するが仮りに一方の光電管に特性変化が起こってもゼロ点変動が起こるだけであり、ゼロ点調整は懸垂バンドによって行なう。温度変化の影響は交、直両トルク発生機構ともに同量で反対向きのトルクが発生するので打消されてしまう。



トルク平衡形電力変換器

入力電流が多レンジにわたる場合には励磁コイルを各レンジごとに独立させて取り付ければ多レンジ電流変換器を作ることができる。変換器本体は気密ケースでナイフブレードコネクタになっている。可動部支点にピボット軸受を使わず懸垂バンドにしたことによって精度が非常に向上し、不感帯がなくなった。

(神戸製作所 庄司忠一訳)

アリゾナ・パブリックサービス電力 会社向けの On-Line 計算機制御

Technology in Progress: On-Line Computer Control for Arizona Public Service (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 4-5, July-Sept, 1962, p. 126)

自動デジタル負荷配分および処理システム (ADDAPS) はまもなくアリゾナ電力会社とソールト・リバーの系統を結んでいるシステムにおいて、全ユニットの出力を経済的に調整するようになるであろう。そしてその電力会社とソールト・リバー電力会社およびその周辺の電力会社間の来たるべき電力融通協定に対する経済的な融通の情報が得られるだろう。つまりデータログシステムと運転データ、運転中の発電ユニットの最適な組合せ、無人発電所の監視と制御、系統負荷の予想、余裕プラントの最適化、システムの安全性の調査、off-line 計算の遂行などについてである。このシステムは電力系統運転に応用するにはまだもっともむずかしいものである。その非常に高度の計算速度は従来の on-line 計算機の能力をはるかに越えていて、未来の新しくかつ複雑な問題を解くのに十分な能力をもっている。この装置は 1963 年末に運転にはいる予定である。ADDAPS は次のような問題を処理するようにプログラムされている。経済配分、ユニットの指令発電容量の最適化、電力経済勘定および電力量計算、保守計画、on-line の潮流計算、損失式の計算および短絡計算などである。将来には on-line で故障解析まで行なう。またプラントのプロセス計算機とシステム制御計算機の協調なども行なわれるだろう。この ADDAPS は二つの基本的な部分からなっている。負荷変動にあわせるように発電機を調整する固体アナログシステムと経済的な情報を常に出し、また上述の機能を遂行する Prodac-580 デジタル計算機システムである。

■アナログシステム

このシステムは全発電量の偏差を決めるため総融通量と系統周波数を測定する。この偏差が配分装置にまえて設定された命令に一致するように調整用の各発電機に送られる。負荷変化の信号は個々の発電機に送られ、それらの増減を行なう。実際の発電信号は発電負荷が適当であるかどうか確かめるための負荷配分のオフィスに返送されてくる。発電機が常にその可能容量曲線内にあるかどうか最大、最小キロワット制限で確かめられる。経済的な最大、最小キロワットも同様になされる。さらに加えて運転員は計算機が動いていないならば発電機に対して基本経済負荷を設定することができる。デジタルとアナログ装置を効果的に協調することにより手動と計算機運転との転換の困難性は減らされる。

たとえば計算機は手動調整を自動的に変化して個々の発電機に基本の経済発電量を割当てるようになっているので、転換がなされたときでもこの量にはほとんど偏差は見られない。

■デジタルシステム

Prodac-580 計算機システムは 223 個のアナログと 378 個のデジタル入力をもっていてその出力は 254 個である。

非常に速い計算速度をもっているので現在システム運転で処理されているものよりはるかに多くの困難な問題でさえも解くことができる。

(研究所 外山守城訳)

試 験 用 変 圧 器

R. S. Farmer: A Transformer to Test Transformers (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 4-5, July-Sept, 1962, p. 119~121)

■試験用変圧器

電力用変圧器の高電圧大容量化に伴い、これら変圧器の試験の問題も重要になってきた。現在および将来の大容量変圧器試験用には弾力性のある特殊設計の変圧器が必要である。これは MUNCIE 工場に設置された 2 台の変圧器の設計によく示されている。

■一般的考察

大容量電力用変圧器の試験には温度試験における大電流・鉄損測定・加圧試験における高電圧が必要である。しかし大電流と高電圧は同時に必要ではない。

- (1) 負荷巻線 小電流で広範囲の高電圧あるいは大電流で広範囲の低電圧を被試験変圧器に供給する巻線。
- (2) 蓄電器巻線 温度試験中の変圧器のリアクタンス負荷を補償するためにコンデンサ群に接続する巻線。
- (3) 発電機巻線 大容量電動発電機に直結し試験用変圧器を励磁するとともに試験時の必要電力を供給する巻線。

以上 3 巻線が必要である。つぎに各巻線の必要電圧範囲、電力を決定する。

■設計要素

1. 1957 年の生産実績より将来に予想される最大容量変圧器を推定する。3φ 1,000 MVA, 750 kV, インピーダンス電圧 30%。これを 2 台の試験用変圧器で試験する。

2. 1 項より負荷巻線と蓄電器巻線容量を 125 MVA, 発電機巻線容量を 20 MVA とする。

3. 必要電圧範囲を得るためのタップ点数、結線を決定する。

負荷巻線 Y△/△, 直並列切換。無電圧遠隔操作電動機構による切換。線路側 BIL825, 中性点側 BIL450。線路側套管は高電圧、大電流のため送油式。

蓄電器巻線 Y△/△ 切換。電圧調整は無電圧タップ切換器と負荷時タップ切換器の併用による。

発電機巻線 △ 結線で 2 台の無負荷タップ切換器によって発

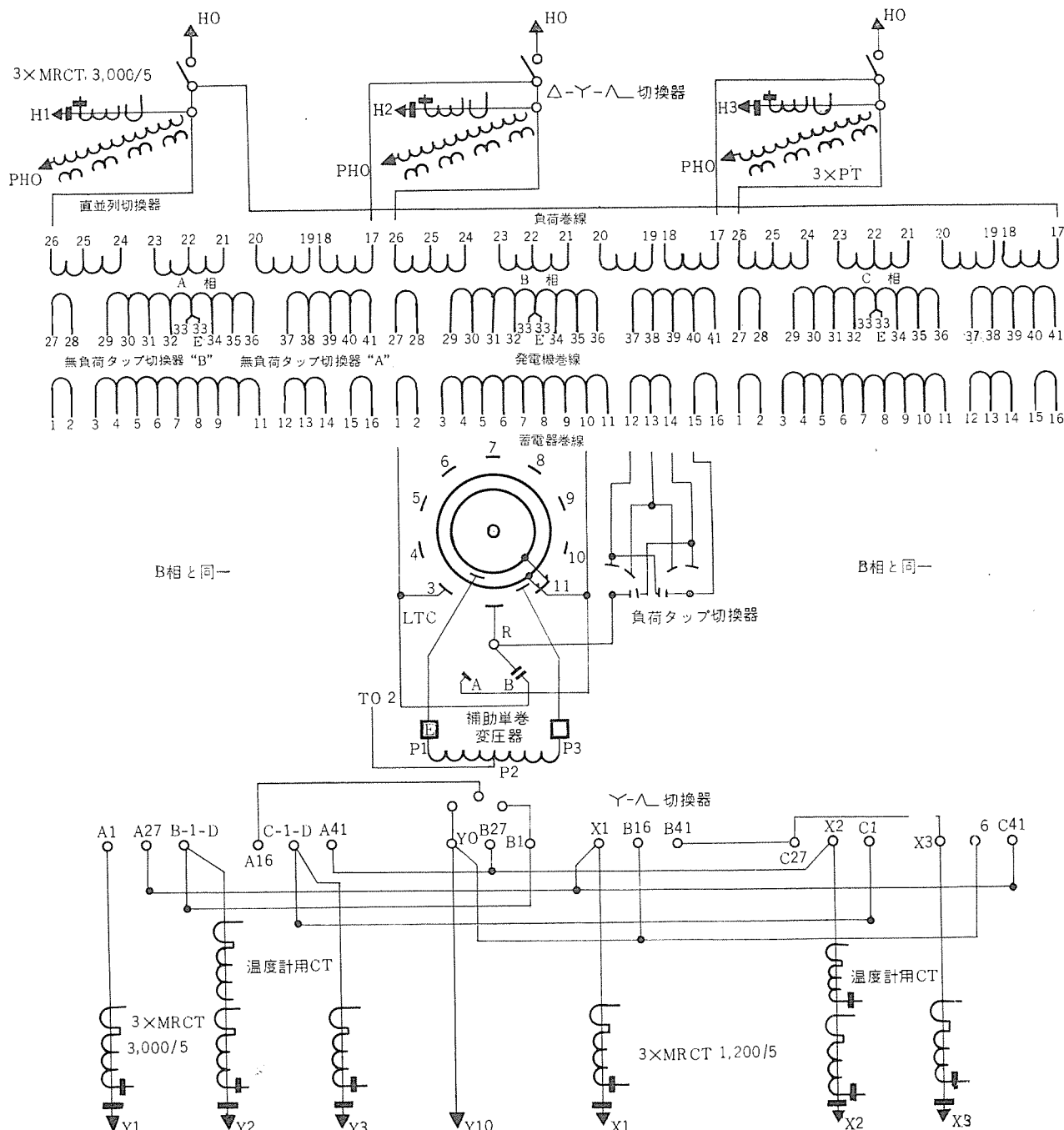
電機からの印加電圧を調整でき、V/T を変化する
ので (1)、(2) 巻線の電圧調整も可能。

上記の電圧調整機構により得られる電圧範囲はつぎのとおり。

負荷巻線 23,940 V ~ 287,360 V 120 ステップ Δ
20,730 V ~ 248,870 V 120 ステップ Y
11,970 V ~ 143,680 V 120 ステップ Δ
蓄電器巻線 6,490 V ~ 42,210 V 5,775 ステップ Δ
5,620 V ~ 36,560 V 5,775 ステップ Y

4. 負荷巻線の電圧測定用 $1\phi \times 3$, BIL825 の PT を内蔵。
5. 床面積節約のため送油水冷式採用、冷却水源は上水道による。
6. 直並列切換、 $Y\Delta\Delta$ 切換用スイッチなどは上部タンクに納める。
7. 完成重量約 440 t, 幅 4.9 m, 長さ 10.4 m, 高さ 12.8 m, 油量 106,000 l で最大の試験用変圧器である。

(伊丹製作所 原 啓治訳)



新試験用変圧器の巻線設計

負荷巻線切換器

Δ 結線 A17-B26, B17-C26, C17-A26
 Y 結線 A17-B17-C17-HO
 Δ 結線 A17-B26, B17-C17-HO

直並列切換器

4 番 結線 24-23, 21-20, 19-18
3 番 結線 26-23, 18-24, 20-21, 17-19
2 番 結線 26-22, 18-25, 20-21, 17-19
1 番 結線 20-22-26-18, 19-21-25-17

蓄電器巻線切換器

Y 結線 A16-YO
 Δ 結線 A16-B1

W 社試験用変圧器結線図

■ インド国鉄第二次イグナイトロン式交流機関車完成

昭和 36 年末受注以来製作を急がれていた 28 両中の最初の 2 両ができ上り、厳格な種々の試験を受けた後 3 月上旬、糸崎港（新菱重三原製作所）より船積みされ インド の カルカッタ 港向け発送された。この機関車はまず初めは カルカッタ 郊外線 で 9 両編成 郊外電車列車の電動車が量産されるまでその代役を勤めるもので 8 両付随車の中央に置かれたけん引車として使用されたのち、将来は既納 10 両と同様な主要幹線の貨客兼用機関車に改造されることになっているが既納 10 両との相違点はつぎのとおりである。

- (1) 先頭の制御付随車より遠隔制御される自動加速装置を備え付随車 8 両の荷重 376 t をけん引するとき平坦直線路において 1.6 km/h/s の平均直線加速度を得ることができる。
- (2) 列車全体の圧縮空気を供給するよう 3 台の コンプレッサ を備え（うち 2 台は将来真空 ブレーキに取り換え、真空 ブレーキに改造されるものである）、電磁空気式直通 ブレーキにより時間遅れのない ブレーキ 制御が行なわれる。
- (3) 電気式軸重移動補償装置が付設されているので重荷重をけん引しての起動時により高い粘着性能を示すことが期待できる。
- (4) 付随車 8 両分の電源車として定電圧制御された約 10 kW と直流回転機用約 250 kW のシリコン 整流器装置を含む DC 110 V 電源装置が納められている。
- (5) このような追加装置をふくめても種々の設計改良によって機関車重量は既納 10 両の限度約 76 t におさめられている。

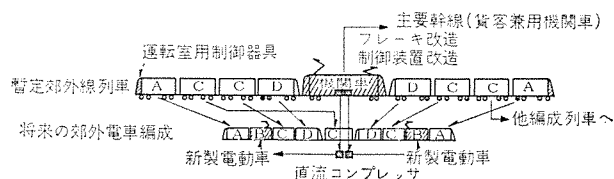


図 1



図 2 インド国鉄向け WAM 20310 形イグナイトロン式交流機関車

機 関 車 要 目

※……既納 10 両との相違点

電 気 方 式	単相 50 c/s 25 kV
様 式	水冷 イグナイトロン 整流器式
軸 配 置	B ₀ B ₀
運 転 整 備 重 量	※76 t (限度 76.2 t)
車 体 寸 法 (mm)	13,700 (長さ) × 3,500 (高さ) × 3,105 (幅)
固 定 軸 距	2,600 mm
車 輪 径	1,090 mm (計算用 1,050 mm)
連 続 定 格	出力 2,100 kW, 引張力 14.5 t, 速度 52 km/h
変 圧 器	外鉄形送油風冷式 連続定格 3,000 kVA
整 流 器	密封水冷式 イグナイトロン 725 V 780 A/2. タンク 計 8 タンク
主 電 動 機	直流直巻 6 極、台車装荷形、弱界磁 50% 連続定格 525 kW 725 V 780 A 940 rpm 計 4 台
駆 動 装 置	一段歯車減速, WN ギヤカップリング 歯車比 17:66=1:3.88
制 御 装 置	変圧器一次側 タップ 制御 永久並列接続弱界磁制御 ※自動加速制御付 制御電圧 DC 110 V
補 助 回 転 機	400 V 150 kVA アルノ 相変換機式 三相 50 c/s 誘導電動機 ※DC 110 V 空気圧縮電動機
ブ レ ー キ 装 置	※電磁直通式空気 ブレーキ (将来、真空 ブレーキに改造) 単車 ブレーキ 付

■ 関西電力天ヶ瀬発電所納め 55,000 kW 水車発電機

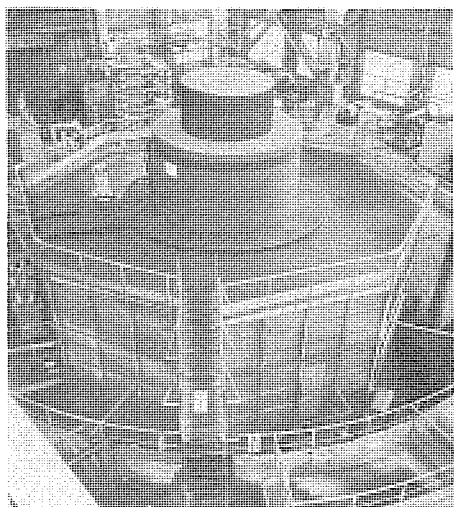
かねてより、関西電力株式会社 天ヶ瀬発電所納め用として、鋭意製作中であった 55,000 kVA 水車発電機が工場で完成し、好成績で工場試験を終了した。

おもな仕様は

形 式	立軸 カサ 形回転界磁閉鎖風道循環形 空気冷却器付
出 力	55,000 kVA
定格電圧	13,200 V
力 率	85%
回 転 数	180 rpm
GD ²	4,200 t-m ²
極 数	40

なお、励磁機容量として、320 kW 330 V である。

この発電機は、デリヤ 水車として、わが国最大容量を誇る新三菱重工業立軸 50,000 kW デリヤ 水車に直結される。



天ヶ瀬発電所 55,000 kW 水車発電機

おもな特長として、固定子コイルは、絶縁特性のよいダイレジン絶縁を使用した、1ターナーフコイルで、固定子スロット内でロベール転位を施している。スパイダは、鋼板全溶接製で、スパイダリムとの間のキーは、当社独特のバネキーを使用して締め付けた構造で、従来の、熱膨脹によるキーの打ち込みが必要ないので、現地組立工程を短縮できる。推力軸受は専用の昇降装置で、発電機を分解する事なく、推力軸受パッドを点検できる構造である。また発電所が観光地にあるため、意匠カバーを使用して外観をよくしている。

■ 巻上特殊2段速度ホイスト完成

発泡コンクリートプラント用として田中機械より受注、鋭意製作していた上記ホイスト7台が完成、工場試験も優秀な成績で終了し納入された。

従来の巻上2段速度ホイストは、巻上電動機の極数変換によってその速度を切り換えるもので、速度比も1:2または1:3程度であったが、今度完成したホイストは、特殊仕様の電磁クラッチ、2台の巻上電動機、および減速装置の組み合わせにより巻上速度比を1:20~1:5と非常に大きくし、かつ高速用巻上電動機の出力

も11kWという大容量のもので、わが国では例を見ない画期的な製品である。

各部の構造や電気回路には、今まで長年のデータ、実績をもとにした信頼性の高い方式が採用されるとともに、斬新なアイデアも数多くもり込まれ、要求された高ひん度の使用にも十分耐えるように製作されている。

概略仕様

1. 6t ガータ用ホイスト

定格荷重	6t
ワイヤロープ	16mm 径 4本づり
巻上速度	高速 7.2 m/min 低速 0.36 m/min
巻上電動機	高速用 11 kW 低速用 0.75 kW
揚程	8 m
横行速度	18 m/min
横行電動機	2 kW
電源	220 V 60 c/s 3相
概略重量	1,650 kg
全長	約 2,200 mm
定格	ED (負荷時間率) 30% 以上
形式	HB-6LM (モノレール 電動走行形)

2. 12t ガータ用ホイスト

定格荷重	2t (ワイヤロープ 引張荷重)
ワイヤロープ	16mm 径 1本
巻上速度	高速 24 m/min 低速 1.5 m/min
巻上電動機	高速用 11 kW 低速用 1.1 kW
ロープ有効長	32 m
概略重量	1,500 kg
全長	約 2,200 mm
形式	HB-2H (すえ置形)

電源、定格は前記のものと同じ

以上の7台のほか、やはり同形式で、巻上速度が高速 9 m/min 低速 0.9 m/min の2段切換、定格荷重 3t、巻上電動機が 5.5 kW と 0.75 kW、電源 440 V 60 c/s ダブルレール 電動走行形ホイストが山本輸送機経由で三菱広島造船に納入され、現在、工作機の組立に好成績で活躍している。

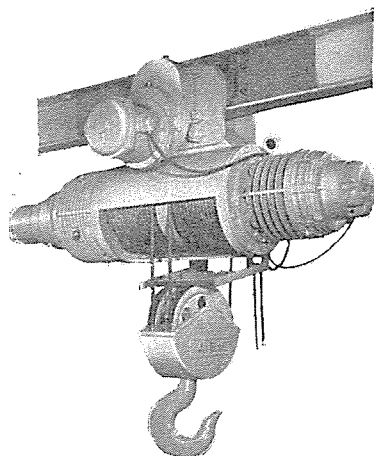


図1 6t 電動走行形巻上特殊2段速度ホイスト

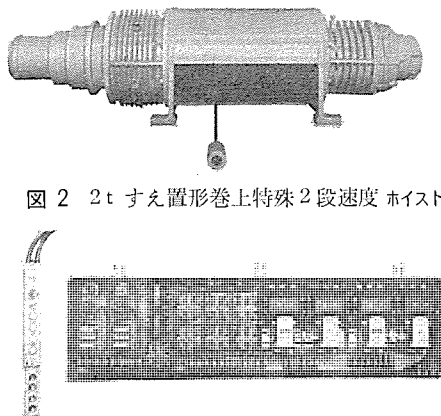


図2 2t すえ置形巻上特殊2段速度ホイスト

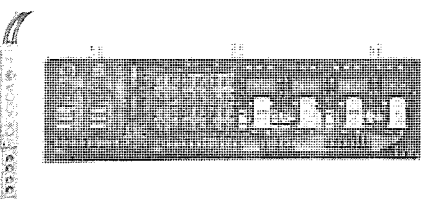


図3 巻上特殊2段速度ホイスト2台総括運転制御器

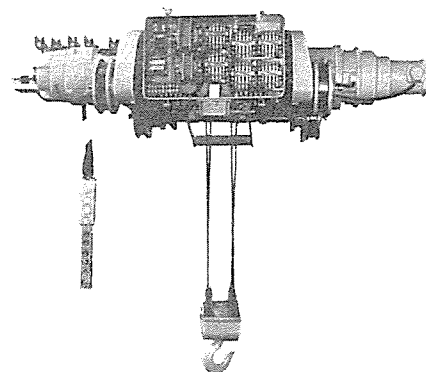


図4 3t ダブルレール形巻上特殊2段速度ホイスト

特 長

1. 速度切換には、ホスト用として高速高ひん度の使用に耐えるよう特別設計された直流電磁クラッチを採用している。
2. 電磁ブレーキは、7.5t～15tホストと同一構造のものを採用している。この方式は、使用実績、長期寿命試験によってきわめて高い使用ひん度に耐え、かつ調整間隔が非常に長いことが証明されている。
3. 押しボタン操作方式を採用、たとえば高速上という1個の押しボタンを押すだけで、高速で巻上運転するように回路が構成されるので操作は簡単、誤りがない。
4. インチング操作するときも、普通の単速度ホストの場合と全く同様に操作できる。
5. クラッチ板の摩耗を無視できるほど小さくするような構造および電気回路が採用されている。
6. クラッチコイルは静止形で、鉄心は鋼板を使用しているので構造的に強く、かつ保守点検の手間がかからない。

注：このホストについて特許2件、実用新案3件出願中。

し、周囲温度補正付でかつリレー接点はAB接触可能とした。

6. 保守点検がきわめて容易：箱入りの場合フタの着脱または本体部分、接点コイルの点検取り換えがきわめて容易。

電磁開閉器 仕様

形 名	箱 入	EM -7	EM -15	EM -35
	開 放	EMO-7	EMO-15	EMO-35
定格容量 (kW)	200～220 V	1.5	3.7	7.5
	400～550 V	1.5	5.5	11
制 御 回 路		200 V 50 c/s, 200～220 V 60 c/s その他 100 V, 400 V, 500 V など可能		

電磁接触器 仕様

形 名		M-7	M-15	M-35
定 格 電 圧 (V)		600	600	600
定格電流 (A)	250 V	7	15	30
	600 V	4	10	25
補 助 接 点		最大 2A または 2B または 1A1B	最大 2A2B	最大 2A2B

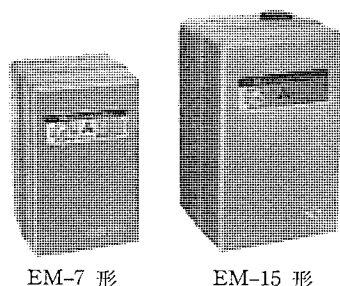
注：上記可逆形も標準仕様で開発完了。

■ 新シリーズ EM 形電磁開閉器

新 M 形シリーズとして小形軽量で取り扱いの容易な高性能 EM-7, 15 形電磁開閉器の開発を完了した。

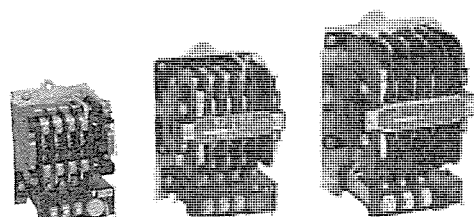
おもな特長と性能は、

1. 最高級の性能：JIS の最高級の性能 A 級 1 号 1 種を上回る高性能長寿命である。
2. 小形軽量化：コンパクトな構造で小形軽量化され価格も低減した。
3. 信頼性が高い：構造が簡単でかつじょうぶであり、水平動作を取り入れた動作は安定しており、長寿命で信頼性が高い。
4. 広範囲な使用：極数を 5 極とし補助接点を 7 形は A または B 2 個まで 15 形は、2A2B まで必要なときに取り付けることができ使用範囲が広い。
5. 過電流継電器は正しい保護特性であり動作電流は可調整と



EM-7 形

EM-15 形



EMO-7 形

EMO-15 形

EMO-35 形

■ MR 形電磁継電器

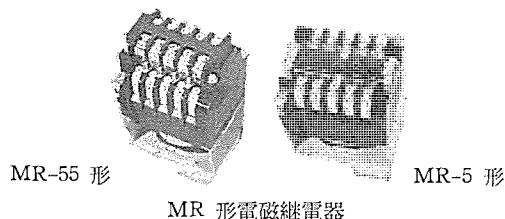
従来の NR, NZ 形電磁継電器にかわる小形軽量で動作確実な信頼の高い新形の多接点交流電磁継電器 MR-5 (5 極) と MR-55 形 (10 極) の開発完了した。

おもな特長と性能は、

1. 最高級の性能
定格は AC 250 V 5A, 600 V 3A で開閉ひんばん度 1,800 回/時で 1,000 万回以上の機械的寿命をもち、また閉路シャ断電流容量は定格の 10 倍以上の性能をもつ。
2. 信頼性
構造が簡単でかつじょうぶで接触子部分はごみや配線くずが入るのをさけるため防じんカバー付で接触不良の心配がなく長寿命、取り扱いの容易とあいまって高い信頼性がある。
3. 長寿命
開閉ひんばん度 1,800 回/時で機械的に 1,000 万回電氣的には、220 V で 25 A 投入、5 A シャ断で 50 万回以上 15 A 投入、3 A シャ断で 100 万回以上、10 A 投入 2 A シャ断で 250 万回以上の長寿命をもつ。
4. 多接点配置
MR-5 形は 5 極で接点配置 5A, 4A1B, 3A2B, 2A3B ととれ MR-55 は 10 極で電氣的に独立した 5A5B 接点と多くの組み合わせの多接点配置で複雑な制御のリレーとして広い使用範囲をもつ。
5. 取り扱いの容易さ
接点部分およびコイルの取り換えは表面から容易にできた電線の接続も容易となっている。

仕 様

形 名	MR-5	MR-55
定 格 電 圧 (V)	600	600
定 格 電 流 (A)	250 V 5 600 V 3	5 3
接 点 配 置	5A または 4A1B または 3A2B または 2A3B	5A5B
制 御 回 路	200 V 50 c/s 200~220 V 60 c/s その他 100 V, 400 V, 500 V など可能	



■ RP 形プラグインリレー

一般工業用電磁継電器と弱電用小容量 リレー の中間に位する小形な プラグインタイプ 透明防じん カバー 付の RP 形電磁継電器の開発を完了した。おもな特長は

1. 取り扱いの便利さ

制御装置の小形化にこたえ小形 プラグインタイプ とし取付、取換を容易とした。またさし込みは特殊 クランプ でクランプするので振動、衝撃で抜け出る心配はない。

2. 長寿命

単純な構造で毎時 3,600 回以上の開閉で機械的に 1,000 万回以上、電気的には定格電流 (AC) の 5 倍投入、1 倍シャ断で 100 万回以上の長寿命である。

3. 使用範囲が広い

透明防じん カバー 付ではこりやごみに対して接触は安全である。

接点配置は 2 極の 2AB, 4 極の 4AB で、また操作 コイルも直流用、交流用と範囲が広い。

仕 様

形 名	RP-2	RP-4
定 格 電 圧 (V)	250	250
定 格 電 流 (A)	125 V 3 250 V 2	1.5 1
接 点 配 置	2AB	4AB

シャ断閉路電流量は定格の 10 倍
操作コイル定格電圧, AC100, 200 V, DC12, 24, 48, 100 V



■ 磁気増幅器式 アナログ 計算機完成

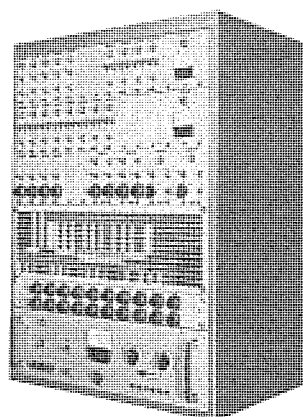
最近各種工業分野において高度のオートメーション化が進展するにつれて、直接 プロセス の内に用いて計算制御を行なういわゆる オンライン 制御用の アナログ 計算機が多方面に使用され始めた。このような用途に対してはとくに信頼度が高く長寿命で保守の不要な堅ろうなものが望まれることはいうまでもない。今回完成した MELCOM EA-7501 形 アナログ 電子計算機は工業制御用直流増幅器としてすぐれた実績を持つ磁気増幅器を演算増幅器に用いた磁気増幅器式 アナログ 計算機で、化学 プロセス の制御装置を始め各種の制御装置に使用して高い性能を期待できるものである。

おもな特長

1. 信頼度が高く、堅ろうでドリフト も小さく、オンライン 制御用として最適である。
2. 電圧相似形の採用により従来の電子管式 アナコン の技術がそのまま適用できて取り扱いが簡単である。
3. 高周波電源 (1 kc) の採用により、応答を速めた上に、磁気増幅器も小形軽量化されている。
4. 電気的に相互に絶縁された入力をそのまま加えることができる。
5. 入力巻線の極性切換によって 1 台の演算器で多入力の加算、減算が自由にできる。したがって符号変換器は不要である。
6. 飽和要素、ON-OFF 要素、乗算要素などの非線形特性要素や、インピーダンス 変換用の入力演算器および電力増幅用の出力増幅器を内蔵しており、広い用途に使用できる。
7. 演算要素は前面からの プラグイン 式となっており、互換性もあって使用に便利である。
8. 集中 ジャック 盤方式の採用により演算回路の構成が簡単である。

内部演算器の性能

出力電圧電流	±10 V, ±15 mA _{max}
標準演算抵抗	10 kΩ
直 線 性	±0.5% 以内
ド リ フ ト	±0.05%/h 以内
折点周波数	200 c/s 以上 (倍率 1)



磁気増幅器式 アナログ 計算機

構 成

パネル名称	演算要素名	備 考	要素数
1 演算器盤	入力増幅器	絶縁入力 2 コ	5
	内部演算器	加算減算切換可能	10
	電圧比較器	動作幅 1 μ A 以下	5
	リミッタ	0 $\sim$ ±10 V 可変	2
	乗算器	4 象限乗算	2
	出力増幅器	±50 V, 200 mA	2
2 ポテンシオメータ盤	電流可変ポテンシ	10 k Ω	10
	分圧形ポテンシ	1 k Ω 片線接地	10
3 ジャック盤	演算回路組立用端子	演算器, ポテンシオメータの入出力端子その他	1 式
	演算器電器	1 $\sim$ 100 μ F	計 25
	演算抵抗器	1 $\sim$ 100 k Ω	計 52
	演算用リレー	積分器初期値用	12
4 電源および制御盤	高周波電源	1 kc 100 Vpp	1 式
	単位電源	±10 V	
	演算制御監視機構その他	DC メータ, スイッチなど	

■ 高速反応研究用直視形高分子量質量分析計

SF₆ ガス シャ 断器開発のための基礎資料を得る目的で、かねてから SF₆ ガス 中の シャ 断現象の研究を行なってきた。このたび、SF₆ ガス 中の消弧現象をより基礎的に把握するため、高速反応研究用 直視形高分子量質量分析計を開発した。

この装置は、試料 ガス の スペクトル をブラウン 管上に描かせ、刻々の ガス 成分の変化を直視できるものである。上にも述べたとおり、特殊な研究を目的として開発されたもので、試料導入系、スペクトル 記録系に特別な装置を付属している。試料導入系の構成は研究対象によって、異なるため、必要に応じて、設計する必要があるが、分析計自身の直視形としての性能は、つぎのとおりであって、スペクトル の時間分解能は、この種分析計としては最高である。

スペクトル 時間分解能: 100 μ s

スペクトル 質量数分解能: 140 M/e

直視可能 質量数範囲: 磁場設定中心質量数の両側 ± 45

正 イオン 流の直視可能: 10⁻⁶ mmHg, 分解能 140 において、
限界値 10⁻¹⁴ A

スペクトル 記録装置は

- (1) ブラウン 管上 スペクトル 像を高速 カメラ で撮影記録する方法。
- (2) 短時間の スペクトル 変化を 1 枚の フィルム に収めるため、Y 軸方向に スペクトル を掃引する方法。(Y 軸方向掃引速度は、50 μ s)
- (3) 多くの質量 ピーク の時間変化の包絡線を、ブラウン 管上に同時に描かせ、反応開始後の各成分の時間変化を、コマ 取写真に収める方法。(この場合の分解能 100 μ s)

の三つの方法のうちいずれかで記録できるよう設計されており、必要に応じて適当な方法を選ぶことができる。このほか、本機では、普通の磁場掃引による正負両 イオン 分析も行なうことができる。本機は、特殊な研究を目的としたものであるが、これに適当な改造を施すことによって、般用直視分析計、あるいは化学工業の工管管理を目的とした工業用分析計とすることもできる。

図 1 はこの装置の外観写真である。右端 フレーム 内は、真空系、分析管、電磁石などの分析管本体、左は電子管装置である。

図 2 は (1) の方法で記録された、バックグラウンド スペクトル 写真の一例である。

なお、本機を普通の磁場掃引による分析計として使用した場合、その性能を付記すれば、つぎのとおりである。

分 解 能: M/e 140

分 析 範 囲: M/e 2 $\sim$ 200

正イオン流検出感度: 磁場掃引の場合、分解能 140 にて
10⁻⁶ mmHg のとき、10⁻¹⁶ A.

イオン 流 増 倍 系: 三菱 ND-9112 形電子増倍管および超
低雑 カスケード 前置増幅器。
または、振動容量電位計。

分 析 管: イオン 半径 150 mm 60 度 Nier 形。

真 空 系: 全金属、ステンレス 製。

可 変 磁 場: 0.1 $\sim$ 8 kG

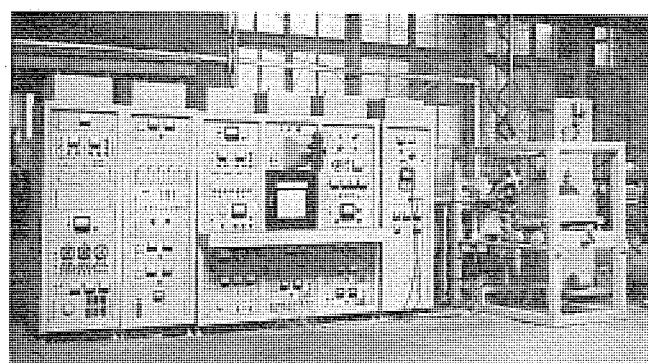
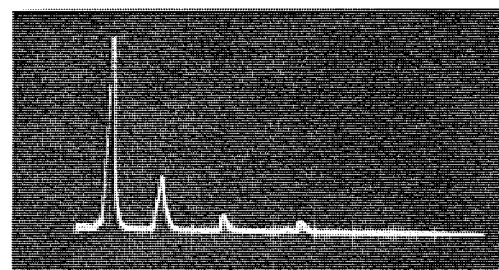
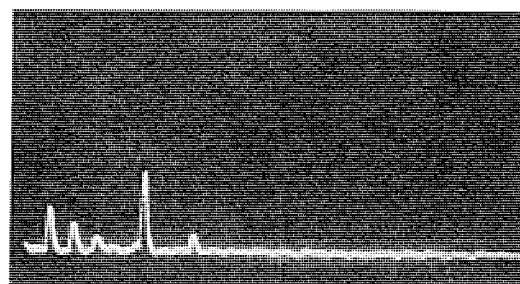


図 1 直視形質量分析計



H₂O+HO+O₂++CH₃
+CH₄+

(a) H₂O⁺ 近傍



O₂+N₂+CN⁺

(b) N₂⁺, O₂⁺ 近傍

図 2 直視スペクトルの一例 (バック グラウンド)

車 両 用 天 井 形 冷 房 装 置

考案者 牛 田 善 和・加 藤 敏 夫

この考案は車両の天井に取り付けられ冷風を直接車内に送風する形の冷房装置に関するものである。

図において (1) は車両の天井、(2) はこの天井の開孔 (3) を閉そくする冷房装置の台板で、この台板の上面には機械室 (12) が形成され、機械室内には、電動圧縮機 (4)、凝縮器 (5)、蒸発器 (6)、蒸発器で冷却した冷空気を車内に送風する送風機 (10)、凝縮器 (5) に強制通風するファン (11) 等が収納されている。また台板 (2) の下面には、中央部に吸気口 (8) を有する吸気ダクト (7) とこの吸気ダクトの外周に設けられ周壁に送気口 (9) を有する送気ダクト (13) とがそれぞれ設けられている。(14) は上記台板 (2) を貫通し上記吸気ダクト (7) に吸引された車内空気を上記機械室 (12) 内の凝縮器 (5) に吹きつける排出ダクト、(15) は上記機械室 (12) と吸気ダクト (7) 間を連通し、機械室内に流入する外部空気を吸気ダクト (7) に導く給入ダクト、(16) は冷房装置の箱体内部にはり付けた断熱板、(17) は上記吸気口 (8) に設けられた防じんフィルタ、(18) は給入ダクト (15) 内に設けた防じんフィルタである。

そして、送風機 (10) の運転により吸気口 (8) より吸気ダクト (7) に吸入された車内の空気は蒸発器 (6) によって冷却され、しかる後送気ダクト (13) を経て送気口 (9) より車内に送り出されるものである。

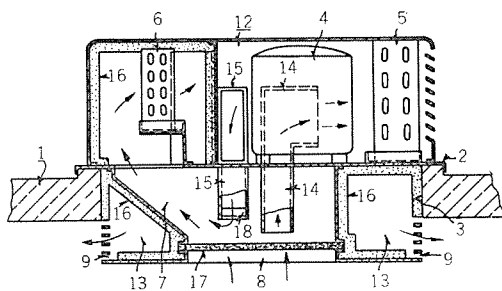


図 1

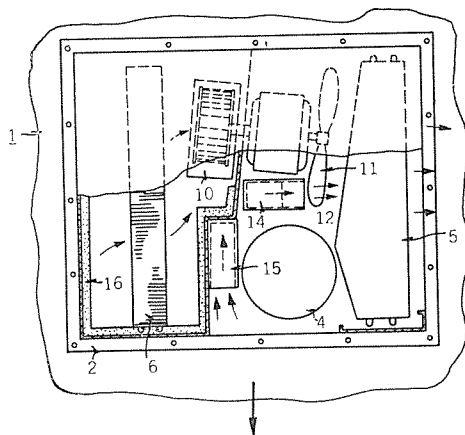


図 2

(実用新案登録第 555762 号) (倉屋記)

回 転 電 機 の 回 転 子

考案者 田 附 和 夫

この考案はキー (1) (2) の打ち込みによりカン (嵌) 着されるスパイダ (3) と回転子リム (4) とのあいだに、回転子リム (4) の径方向に弾性をもつバネ (5) (6) を介在させて、各部の機械的強度をできるだけ小さくすることができ、しかも機械的結合を確実に保つことができる経済的な回転電機を得ようとするものである。

この考案によると、回転子リム (4) が回転速度や温度の増加により、遠心力や熱のため膨張した場合でもスパイダ (3) と回転子リム (4) とのカン着による機械的結合を確保することができる。そして、回転子リム (4) が縮小している回転子の静止時にもスパイダ (3) に過大の応力を与えることがなく、したが

って、回転電機の重量を軽減することができる。

(実用新案登録第 700634 号) (竹中記)

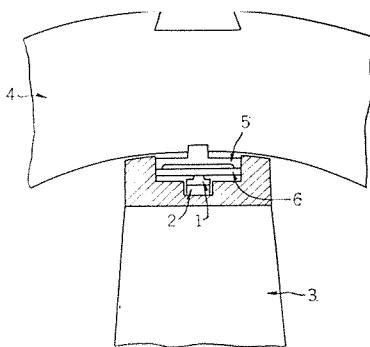


図 1

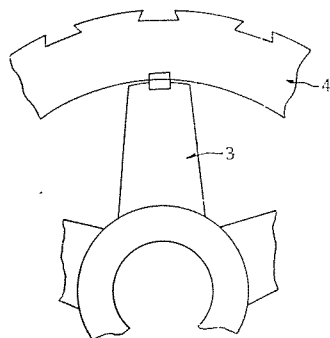
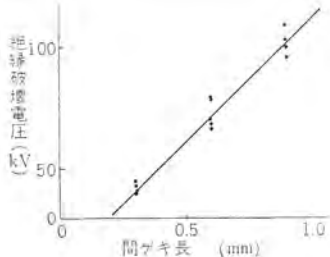
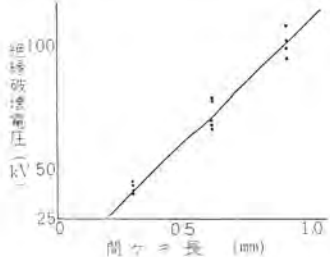
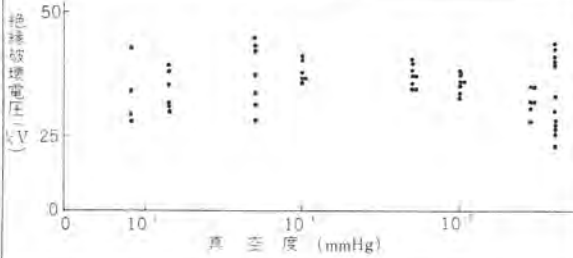
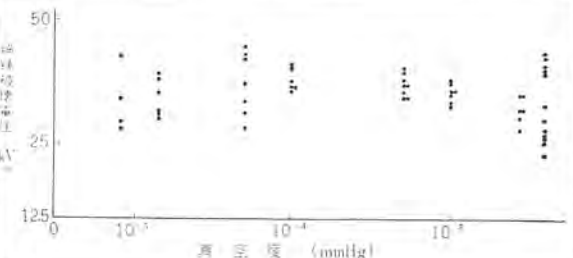


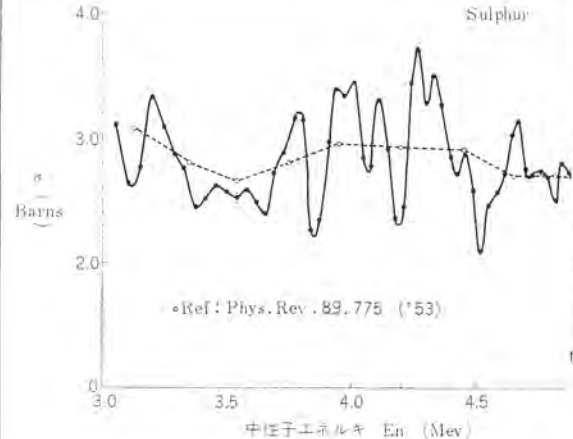
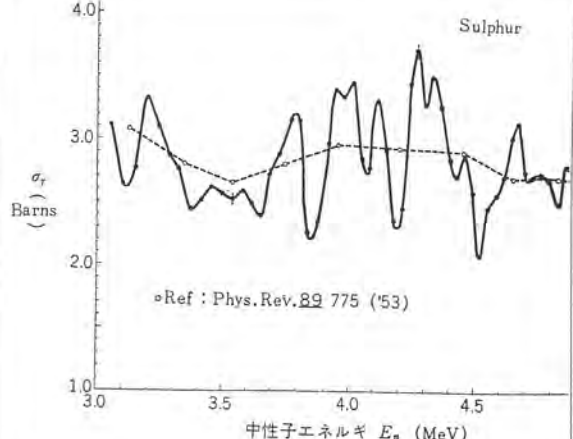
図 2

訂 正

本誌 Vol. 36・No. 11「真空スイッチ」のうち誤を下記のように訂正いたします。

ページ	誤	正
91 (左) 4 行目	対して非常に力のある特性を……	対して非常に魅力のある特性を……
92 図 4.1	 (a) 絶縁破壊電圧	 (a) 絶縁破壊電圧
93 図 4.3		
94 表 5.1	表 5.1 各条件における シュ断能否	表 5.1 各種陰極材料の裁断電流
98 表 6.1	表 6.1 各種陰極材料の裁断電流	表 6.1 各条件における シュ断能否

本誌 Vol. 36・No. 11「有機シンチレータを用いた速中性子検出器」のうち誤を下記のように訂正いたします。

ページ	誤	正
100 (左) 16 行目	ただし A は定数ならば	ただし A は定数, ならば
100 (左) 19, 20 行目	AV'_{AD}	V'_{AD}
100 (左) 23 行目	ただし $AV'_{AD} < V_{AD}$ ならば	ただし $V'_{AD} \ll V_{AD}$, ならば
102 図 4.5 (a)	図 4.5 (a) RCA 6342 (1),	図 4.5 (a) RCA 6342A (1),
103 (左) 6 行目	核反応 $\alpha(D, He^3)n$	核反応 $d(D, He^3)n$
103 図 5.1		

次号予定

三菱電機技報 Vol. 37 No. 5

シリコン制御整流素子特筆

- SCR の原理と動作
 - SCR の特性と定格
 - SCR のゲート回路
 - SCR 応用回路の基礎
 - SCR の交流電動機制御への応用
 - SCR の交流発電機励磁回路への応用
 - SCR による直流電動機の制御
 - SCR の小容量直流電動機への応用
 - SCR のインバータへの応用
 - SCR によるサーボモータの制御
 - SCR の超音波発振器への応用
 - SCR の事故とその防止
-
- 三菱電機 スカイリフ および三菱 ドリームセンタ の電気機器
 - 三菱電機 スカイリフ および三菱 ドリームセンタ のエレベータ設備
 - ASIA 自動プログラミングシステム
 - HK 形電磁クラッチ
 - 密封形水冷却式および冷却式 ターボ 冷凍機用電動機
 - 力平衡形変換器
 - 技術解説: 同期機の過渡現象

三菱電機技報編集委員会

- 委員長 小倉 弘 毅
 副委員長 宗村 平
 常任委員 安藤 安二
 " 北川 和人
 " 小堀 富次雄
 " 高井 得一郎
 " 中野 光雄
 " 馬場 文夫
 " 山田 栄一
 委員 岩原 二郎
 " 大野 寛孝
 " 片岡 高示
 " 榎本 俊弥
 " 篠崎 善助
 " 堀 真幸
 " 前田 祐雄
 " 向井 徳樹
 (以上 50 音順)

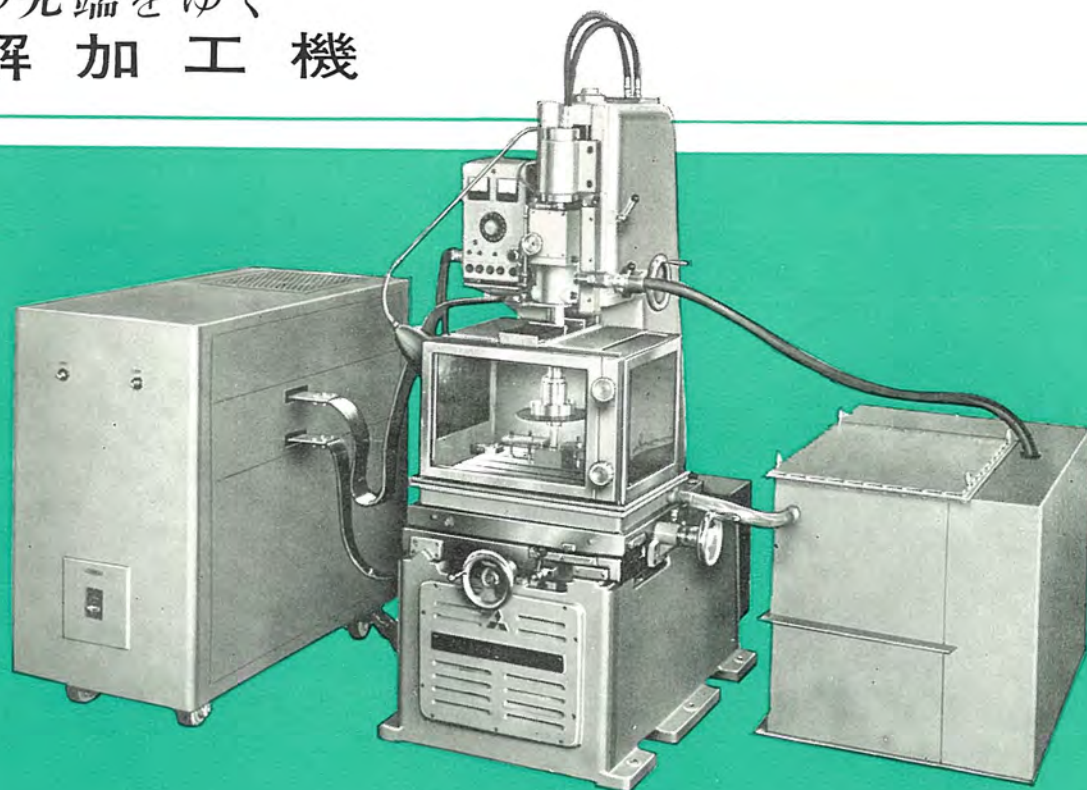
昭和 38 年 4 月 22 日印刷 昭和 38 年 4 月 25 日発行
 「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 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「三菱電機技報社」
 東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内)
 (電) 東京 (212) 大代表 6111
 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

本社	営業所	研究所	製作所	工場	所在地
本 社	東京	東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (電) 東京 (212)	三菱電機ビル内	大代表 6111	
東京商品営業所	東京	東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル 3 階) (電) 東京 (212)	大代表 6111		
大阪営業所	大阪	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (312)	大代表 1231		
大阪商品営業所	大阪	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (312)	大代表 1231		
名古屋営業所	名古屋	名古屋市中区広小路通り 2 の 4 (電) 本局 (23)	大代表 6231		
" 商品部	名古屋	名古屋市中村区広井町 3 丁目 88 番地 (大名古屋ビル内) (電) 名古屋 (56)	大代表 5311		
福岡営業所	福岡	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	札幌市北二条西 4 丁目 1 番地 (北海道ビル内) (電) 札幌 (6)	大代表 9111		
仙台営業所	仙台	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	富山市総曲輪 490 の 3 (明治生命館内) (電) 富山 (3)	代表 3151		
広島営業所	広島	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	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・4416 (直通)		
小倉出張所	小倉	北九州市小倉区京町 10 丁目 281 番地 (電) 小倉 (52)	8234		
静岡出張所	静岡	静岡市七間町 9 番地 10 (電) 静岡 (53)	代表 9186		
岡山出張所	岡山	岡山市上石井 174 番地 (岡山会館 4 階) (電) 岡山 (4)	0331~2		
長崎出張所	長崎	長崎市江戸町 30 (電) (2)	0293		
金沢出張所	金沢	金沢市田丸町 55 番地 1 (電) 金沢 (3)	6213		
研 究 所	大阪	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481)	大代表 8021		
商品研究所	大船	鎌倉市大船 782 番地 (電) 大船 (6)	代表 3131		
神戸製作所	兵庫	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (67)	代表 5041		
伊丹製作所	大阪	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481)	8021 伊丹局 代表 2481		
長崎製作所	長崎	長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3)	代表 3101		
名古屋製作所	名古屋	名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73)	代表 1531		
福岡製作所	福岡	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (88)	代表 0431		
福山製作所	福山	福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 (2)	代表 2800		
姫路製作所	姫路	姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 (23)	大代表 1251		
相模製作所	相模原	相模原市小山字久保 224 の 224 (電) 相模原 (7)	代表 3231・3241		
静岡製作所	静岡	静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (3)	0141~0145		
中津川製作所	中津川	中津川市駒場 928 番地 2 (電) 中津川	2121~8		
和歌山製作所	和歌山	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3)	代表 1275		
大船製作所	大船	鎌倉市大船 800 番地 (電) 大船 (6)	代表 2121		
郡山製作所	郡山	郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 (2)	1220~1223		
群馬製作所	群馬	群馬県新田郡尾島町大字岩松 (電) 尾島 270 番 太田 3981 番	800 番地		
無線機製作所	大阪	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481)	大代表 8021		
北伊丹製作所	伊丹	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹	大代表 5131		
鎌倉製作所	大船	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 大船 (6)	大代表 4141		
京都製作所	京都	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所 1 (電) 高槻 (5)	1607 神足 401		
相模製作所	東京	東京都世田谷区池尻町 437 (電) 東京 (414)	代表 8111		
世田谷工場	東京	東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (421)	4783		
鎌倉製作所	東京	東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (421)	4783		
東京工場	札幌	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (2)	3976		
札幌修理工場					

技術の先端をゆく 電 解 加 工 機



電解加工とは 電気分解による溶出作用を 金属の穿孔、切断、形彫りなどの加工に応用した新しい金属加工法である。工具とワークの極間距離を臨界間げき（普通 0.1 mm 程度）以下に保ち その間げきに相当速い流速の電解液を供給しながら 被加工物を陽極に 工具を陰極にして 10 V 程度の直流電圧を印加し 20~200 A/cm² 程度の高い電流密度で電解を行ない これによってワーク側に工具電極に対しメス形となる加工を行なう。

■ 特 長

1. 仕上面あらさは常時 1~3μHmax で多くのばあい光沢面となる。
2. 側面のクリアランスは0.1~0.5mm であるが高性能油圧サーボ方式による極間距離の制御によって工具電極の底面の

複雑な模様でも忠実にワークに模写される特色がある。

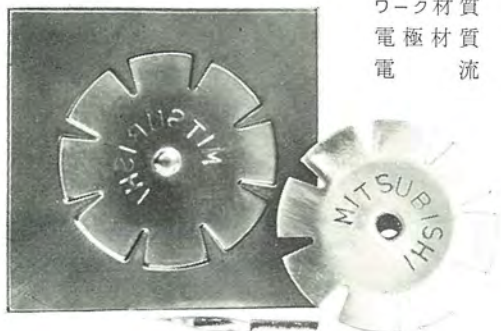
3. 機械の剛性、真直度が高く、再現性の高い加工物が得られるとともに使いやすくできている。
4. 加工による沈澱物の処理が容易である。
5. 操作は簡単で未熟練者でも容易に取り扱える。
6. 鍛造形、ダイカスト形、絞り形、モールド形の製作 文字ほり加工に好適である。

■ 用 途

新しい加工法なので 適切な用途を見い出すことは今後の課題であるが 現在でも鍛造形、モールド形、絞り形、ダイカスト形などの製作 文字ほり加工などにすぐれた用途がある。

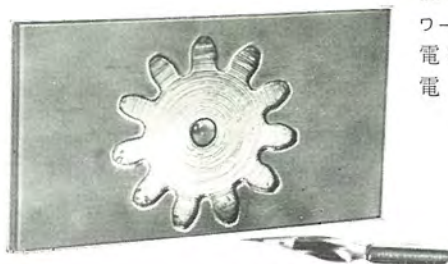
加工例

1. 刻印加工



電極面積	21 cm ²
加工深さ	1 mm
加工時間	4 min
ワーク材質	軟鋼
電極材質	黄銅
電 流	300 A

2. 歯車形



電極底面の旋盤加工によるバイト目が忠実に模写されている

電極面積	9 cm ²
加工深さ	1 mm
加工時間	2 min
ワーク材質	軟鋼
電極材質	黄銅板
電 流	180 A