

Vol. 37 June 1963

-

则助式 150kVA 三相低周波抵抗溶接機



産業界のフェスチバル 第5回東京国際見本市開かる!



第5回東京国際見本市は4月16日から5月6日まで21日 間にわたって東京晴海埠頭において31ヶ国が参加し、会場 の総面積25万余平方メートル、一般展示館11館,特設館12 館,計23館に15万点の出品物を集め開催された.

今回の見本市は、本格的な貿易の自由化の波のなかで、い つにない激しい国際商戦が繰り広げられ、日本の産業界は優 秀な製品を多数展示し、外国との商戦に堂々と対抗し、今後 の日本の輸出増進に大きな貢献を果した.

当社は、三菱 グループ の一環として2号館に、各種新製品、 新技術を展示し好評を博した.





表紙説明

次

目

先般,日本車両製造株式会社東京 支店に納入された当社伊丹製作所製, 機動式 150kVA,三相低周波抵抗溶 接機で,鋼製または,軽合金製の鉄 道車両の側構,妻屋根など大形構造 物に適するもので,溶接機全体を機 動車台上に搭載して,操作員も機動 車台上にあって自動的に機械本体を 前後左右にまた本体の上下移動もで き,固定されたままの状態の被溶接 物を スポット 溶接を行なうものであ ります. 82 (14) 倍接を11なりものであ ります. 本機1台で20m, 鋼製車体なら1 両分を6時間で溶接する能力があり ます.





昭和 38 年 第 37 巻 第 6 号

三菱電機株式会社

イッド 国鉄納め第2次 イグナイトロッ 電気機関車	2
パラメトロン 式低速度 データ 伝送装置大鳥羽幸太郎・鈴 木 昌 三・江 塚 昭・竹内康太郎…	15
ケイ素鋼板の交流磁化特性と ウズ電流異常野 ロ 英 男・土 屋 英 司…	24
NC 形 コットロールセッタ	32
パラメトリック 増幅器の液体窒素冷却による雑音指数の改善	38
同時 u-ビッグ 方式角度誤差検出装置 GTR-3 形 樫本 俊弥・渡部 優・竹内 政和…	44
航空機用交流電源の電圧調整器	49
化学加工石原克己·田口 修…	56
三菱 スカイリック および三愛 ドリームセッター の空気調和設備	
一冷暖房・衛生・給排水設備のすべて―	61
マイクロ 波用気球空中線	68
ジアリルフタレート 樹脂成型品	72
高温燃料電池秦 卓也·村山邦彦…	76
三菱 マイクロテレビ 6P-125	82
寒冷地向け電気機器用金属材料の低温試験実 博 司・石 原 克 己…	87
環状 プラズマの電磁圧縮の実験河合 正・近藤博通・杉本盛行・岩本雅民・飛田敏男…	94
低磁界における Overhauser 効果の実験下地 貞夫・富 島一成・野崎 悦子・仲森 誥 貢…	101
《技術解説》	
電車自動運転装置待鳥 正	108
《文献抄訳》	
レクトホーマ・電力用, 合金形 トランジスタ の進歩・高性能 エレベータ 制御方式	114
《ニュース・フラッシュ》 愛媛県道前道後向け自励式水車発電機完成・札幌気象台向け気象 レーダ納入・精密級 アナログ計算機続々納 入・わが国最初の ASDE (空港表面監視装置) 羽田・小牧空港へ納入・プログラム による列車自動運転装置	
(P.T.O.) 完成!・MB 形速度制御 ブレーキ の完成・鋼板 フレーム 製 SCL-R 形 コンデンサ 起動 コンデンサモー	
トル および SCF-R 形全閉外扇形 コンデンサ 起動形単相 モートル の生産を開始・東海道新幹線電車用電機品	
大量に受任・国鉄北陸線増備用 EF 70 形交流機関車受注・三菱鉱業株式会社大夕張砿業所納め 12 t 鉱山 田震気機関東城注	
加电风候风平交往 "你能 我 我 我	116
※行 計 こ 利 条// 磁気増幅器付継電器・速度形真空 バルブ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	120
《最近における社外寄稿一覧》	121
《最近における社外講演一覧》	75
《最近における特許と実用新案》	, 86
《表 紙》	
2. 産業界の フェスチバル 第 5 回東京国際見本市開かる	
3. 姫路第二発電所向け内部冷却 タービン 発電機完成	

4. 三菱 ルームクーラ

インド国鉄納め第2次イグナイトロン電気機関車

藤 野 友 霰* 市** 田 新 松

The Second Delivery of Ignitron Electric Locomotives for the Indian Raliways

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited, Mihara Works Yūji FUJINO Mitsubishi Electric Corporation, Itami Works Shin'ichi MATSUDA

It was the year of 1960 when the first lot of 10 ignitron electric locomotives started operation on the lines of the Indian Railways. They were built by a group of Japanese manufactures consisting of four companies as Mitsubishi its center in response to the requirement of the purchaser who made a decision of AC electrification at 25 kV 50 cycles in 1957. The excellent operation result of these locomotives on the main line around Asansol brough on the repeat order of 28 units. Mitsubishi also being the leader of the builder group, completed initial 2 locomotives in such a short time of 14 months. Passing the rigid test of the Technical Associate (S. N. C. F.), the new locomotives with an adhesive improvement and a little increase in output, are now operating with success at the destination.

1. まえがき

1957 年に スタート した インド 国鉄の 25 kV, 50 c/s 単相交流電 化は,主要国策として第2次から第3次5ヵ年計画へと図1.1の ように進行中であるが、これに対する最初の交流車は欧州 グループ 製 イグナイトロン 式機関車100両と, 三菱電機, 新三菱重工が中心 となり日立, 東芝の協力をえた日本 グルーラ が製作した 10 両のィ グナイトロン 機関車とであった. この 10 両はわが国最初の輸出交流 機関車であって, 三菱側が設計製作の全責任を負い誠心誠意をこ



図 1.1 インド 国鉄の単相 50 c/s, 25 kV 交流電化計画 Fig. 1.1 Planning of single phase 50 c/s, 25k V, AC electrification of the Indian Railways.



図 1.2 第2次 イヴナトロン 電気機関車外観 Fig. 1.2 View of the second ignitron electric locomotive.

めて完成させたもので、昭和36年初めから アサンソル 機関車区を 根拠地として、しゃく熱の地 イッドの広野を欧州 グループ 製 100 両とともに運転されているが、まったく主要装置に事故なく好実 績を示したので,主要装置は原則的に同一という条件で,第2次 イヴナイトロン 機関車 28 両が三菱電機を窓口とする日本 グループ にふ たたび発注されたのが昭和 36 年末であった. 以来 インド 側の最 短納期要望にこたえるべく製作を急いでいたが,第1次の場合と 同様 テクニカルアソシエート の フランス 国鉄技術者による, 厳格な形式 試験に合格した最初の船積分2両は、3 月上旬に カルカッタ 向け船 出することができた.

この第2次 イグナイトロン 式機関車の第1次機関車(1)との主要相 違点は、まず用途として カルカッタ 郊外線(図 1.1 の セルダ 線区) を走る9両編成交流電車の電動車代用として暫定郊外線列車の運 転に利用されるために、電車運転用制御機能が加えられた設計と なっていることであるが、この任務が終わると第1次車と同じ貨 客兼用機関車に改造できるようになっている. また実出力や粘着 性の向上および操作上の改良を加えながら第1次車の場合とほと んど同じ 76.2tの制限重量に納めるために、設計製作上種々の苦 心がなされたことも特記すべき点であるのでその内容について紹 介する.



2. おもな特長

2.1 郊外電車運転装置

図2.1に示すように暫定列車編成においては,機関車は前後各 4 両ずつの付随車の中間におかれ(機関車には事故監視員が置か れる)先頭付随車の運転室から遠隔制御される.この場合 36 本 の引き通し線と2本の空気管が列車を貫通して設けられ、自動加 速制御,自動 ブレーキ 付電磁直通空気 ブレーキ および付随車用直 流 110 V の供給を行なうようになっている.なお機関車が片側 4 両の付随車の先頭になって運転されることもあるため,機関車の マスコン や ブレーキ 弁は一般機関車運転と電車運転とに使いわけで きるようになっている.

(1) 自動加速制御裝置

機関車の高粘着性を十分に利用するため ノッチ 進段に伴い,加 速電流が6段に漸減する限流 リレー 装置の支配のもとで(機関車 速度の上昇に従い粘着限界が下がるため),列車先頭に位置する制 御車運転室の マスコン から列車引き通し線を介して機関車側の高 圧 タップ 切換器の自動進段,さらには ヨワメ 界磁進段が制御され るもので,この自動加速中に万一機関車で車輪空転が生じた場合 は,空転検出 リレー により ノッチ 進段の停止と砂まきが自動的に 行なわれ,空転回復後は時間遅れをもって ノッチ 進段の再開がな されるようにしてある.

(2) 電磁直通式空気 ブレーキ 装置

この郊外電車には英国 Westinghouse ブレーキ アンド シグナル 社 (以下英W社と称す)の自動空気 ブレーキ 付電磁直通式空気 ブレーキ が装備されるので、これと同じ ブレーキ 装置が機関車にも設けら れ制御付随車または機関車のどちらの ブレーキ 弁からでも制御さ れるようになっており、列車引き通し線を介して各車の作用 ユル メ 電磁弁が コントロール されることにより列車全体の ブレーキ の適 用と ユルメ が遅れなく行なわれる. この場合列車引き通し管は元 ダメ 管 ブレーキ 管の 2 本であり, 前者は機関車だけにとう載され ている コンプレッサ よりの圧縮空気を送るために, 後者は電磁直通 式が故障の場合使用される自動空気 ブレーキ と, 非常 ブレーキ と のために設けられている. コンプレッサ は既納車と同じ AC 400 V, 三相の エリコン 社製 (9 kg/cm², 1,000 l/min) 1 台に加えて DC 110 V の英W社製 (7 kg/cm², 1,080 l/min) 2 台が既納機関車の 場合の真空 ポップ に代わって設けられている. なお機関車が主要 幹線用に改造されるときは2台の DC コンプ とともにこの装置は 撤去され,代わりに既納機関車用と同じ真空 ブレーキ 装置が設け られることになっている.

(3) 付随車用直流電源装置

インド国鉄納め第2次 イグナイトロン 電気機関車・藤野・松田

付随車に対して機関車は電源車の役割を要求されたため、主変 圧器の三次巻線を電源として追加した補助変圧器によって降圧し 補助シリコン整流器により DC 110 V に整流したうえで列車引き通 し線により供電されるようにしてある.この場合付随車の灯回路 用と、停電時使用される非常灯の電源となる鉛電池充電用の約 10 kW 分は、電圧変動を極力小さくする必要上この回路には誘導 電圧調整器を適用し、他の DC コンプモータ 用と付随車のファンモータ 用の約 250 kW 分の回路とは分離されている.

(4) 制御付随車用器具

運転制御用として供給する器具はつぎのとおりで インド 現地で 運転室に取り付けられる.

a. デッドマン 装置付き主幹制御器

- b. パンタグラフ 操作 スイッチ
- c. ロックハンドル 付き制御 スイッチ 箱
- d. ABB 回路用 NF ブレーカ
- e. 表示灯
- f. 速度計装置

2.2 運転性能の改良

客先の要請により性能に関係するつぎの改良設計が行なわれた ので実際上さらに強力な機関車になっている.

(1) 主電動機熱容量の増大

第1次車用主回路機器は規定値に対する熱容量はそれぞれ十分 であるが過負荷に対する時間,温度上昇を比較してみると,主電 動機の電機子が最も早く限度に達する成績を示しているので,電 機子巻線の導体断面積を約4%増大することにより余裕の増大が 計られた.これによって過負荷運転時間の延長が可能となりまた この $\epsilon-g$ の連続定格出力は公称上 525kW であるが,実力上は 540~550kW となったことは注目に値する.

(2) 電気的軸移動補償装置

機関車粘着性能向上のために設けられたもので、荷重 τ_{2} 引時 に生ずる軸重の相違に対し、各軸 ϵ_{-9} の界磁率の差を作ってそ れぞれ引張力を相応させる方法であるが、今回は第 1 軸用 ϵ_{-9} のみを他の3 軸の ϵ_{-9} の約 88.5% 相当の引張力になるよう 設 計し比較的簡単な主回路で実用効果を得るようになっている.(図 3.3 参照)なお、この軸重移動補償制御は比較的低速範囲でしか 必要でなく、また高速になるほど効力もうすれるので 30 km/h 付 近 26 $j_{0,95}$ で自動的に開放するようにして器具の軽量化が計られ ている.

2.3 軽量化と保守の改善点

追加装置が加わっても機関車重量は 76.2t に制限されたので各 器具の軽量化を計るため、また第1次車の使用経験に基づく点検 保守を便利にするためつぎの改善がなされた.

- (1) 前照灯定格電圧 110 V→32 V
- (2) イグナイトロン 整流器装置の軽量化
 - a. 制御回路の簡単化
 - b. 冷却水予熱 ヒータの容量低減
 - c. 再冷器の軽量化
- (3) 主変圧器用電動油 ポップの小形化 10 HP→5.5 HP
- (4) タップ 切換器中間 ノッチ 抵抗器と直流 リアクトル の軽量化
- (5) 逆転器と界磁制御 スイッチ の軽量化
- (6) プラグイン 式 シャントレスリレー の適用
- (7) 相変換機の冷却排気の車外への排出
- (8) 機器配置

- a. 機械室両側廊下を完全通り抜け通路にしたこと.
 - ・電動水 ポップ,水 タック 類の配置変更
 - ・蓄電池を鉄箱上に納めて床下配置に変更
- b. 各点検部に必要な スペース を作ったこと
 - ・イッナイトロン 制御 ワク 内の部品配置改良
 - ・ タップ 切換器制御部点検 スペース 増大(1号機 ワク 上方)
 - ・No. 1,2 補機室の合理的な機器配置
 - ・機関車転用のため改造に応ぜられるよう真空 ブレーキ 用 主要配管の実施

3. 機関車要目と主要性能

3.1 要 目

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	酉	2	置	Во Во
運	云整	備重	量	*(1) 76t (限度 76.2t)
車	体	寸	法	13,700 (長さ)×3,500 (高さ)×3,105 mm (幅)
固	定	軸	距	2,600 mm
車	南	R	径	1,090mm (計算用 1,050mm)
連	続	定	格	出力 2,100 kW, 引張力 14.5 t, 速度 52 km/h
変	E	Ε	器	外鉄形送油風冷式 連続定格 3,000 kVA
整	\tilde{v}	旕	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	1 段歯車減速,WN ギャカップリング
				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
				*(2) 自動加速制御付き 制御電圧 DC 110 V
補	助日	回載	玉機	400 V 150 kVA アルノ 相変換機式
				三相 50 c/s 誘導電動機
				*(3) DC 110V 空気圧縮電動機
ブレ	/+	装	置	*(4) 電磁直通式空気 ブレーキ(将来, 真空 ジ
				レーキ に改造) 単車 ブレーキ 付き
注	: \$	第 1	次機関	車の場合は *(1) 75.2t(限度 75.952t)
	거	'(2)なし	*(3) 三相 50 c/s 式 *(4) 真空 ブレーキ で
		ちス		

ある・

3.2 主要性能

(1) 起動条件

1/625 上り コウ 配で 3,660 t および 1/200 上り コウ 配で 2,340 t の貨物列車を ケン 引起動することができる.

(2) つりあい速度

電車線電圧 22.5 kV, 車輪径 1,050 mm (半摩耗)のとき表 3.1

			192	
 コウ佰	荷 重 (km/h) 亡 (º/oo)	686t (旅客列車)	3,660 t (貨物列車)	2,340 t (貨物列車)
и.	0	112.6	64.2	
均衡	5	88.5		48.4
速	10	72.4		
度	12.5	64.4		

表 3.1 つりあい速度

ただし列車抵抗の等式は次式による 旅客列車 R==1.45+0.005 V+0.000257 V² kg/t 貨物列車 R=1.40+0.0065 V+0.0002 V² kg/t

 $z \in R = kg/t$ V = km/h 1 t = 2,240 lbs







図 3.2 郊外列車運転用 ノッチ 曲線 Fig. 3.2 Notching curves for suburban service.

の仕様書指定値を満足することができる.速度引張力特性は図 3.1 に示す.

(3) 最大速度

最大許容安全速度は 120.7 km/h, 最大運転速度は 112 km/h である.

(4) 暫定郊外線列車運転

6 段に変化する自動加速用限流制御の状態を図3.2に示す.満 員の付随車8両分 376 t ケッ 引時に平たん直線路における平均直 線加速度は約 1.6 km/h/s である.

常用 ブレーキ 平均減速度は 96 から 50 km/h まで 2.73 km/h/s, 50 km/h から停車まで 3.24 km/h/s の予定となっている.

(5) 主回路 ッナギ (図 3.3)



軸重補償装置の追設による空転防止,主変圧器二次側巻線の並 列使用による再粘着性の改善が計られている.また郊外列車運転 のために限流 リレー と空転検出 リレー が追設されている.

4. 輸入機器

4.1 算	51	次車	と同	O	もの
-------	----	----	----	---	----

AM 形	ก <i>ื่นดว่</i> รว	FAIVELEY	製	2 台/車
DBTF	空気 シャ 断器	B. B. C.	製	1 台/車
	高圧 タップ 切換器	B. B. C.	製	1 台/車
	三相交流式電動空気圧縮機	OERLICON	製	1 台/車
	速度記録計装置	HASLER	製	1 組/車
	低圧回路 サージギャップ	SOULE	製	1 個/車
10				

4.2 第1次車と異なるもの

(1) 3HC55 形直流 110 V 式電動空気圧縮機 英W 社製 英W社との技術提携により将来 インド で国産されるためとくに 指定あったもので電動機直結式でその定格は 7.03 kg/cm³、1,080 *l*/min, 1,150 rpm である.

(2) 電磁直通 ブレーキ 装置 英W社製

付属車用と同一品であるため指定あったものだが, 直通管も列 車を貫通しておらずわが国の郊外電車に普及されている HSC 形 (米W社系)のような セルフラップ 機能はもっていない.

(3) 電気連結器 ンケット J. STONE 製 8 組/車

付属車側と合わせるため指定されたもので 19 心, 10 A の容 量をもち プラグ, ソケット, プラグホルダ で 1 組となっているが機関車 側は ソケット だけ備えることに取り決められた.

(4) 補助 シリコン 整流器用 ギャップアレスタ SOULE 製 1個/ 補助変圧器の一次側に設け シリコン 整流器の サージ 保護に役立 たせている。

インド国鉄納め第2次 イグナイトロン 電気機関車・藤野・松田

5. 主回路機器

5.1 主変圧器

主変圧器は仕様面では前回納入の第1次車用と同じである.

また変圧器本体についても既納品と変わるところはない.ただ 既述のように、今回機関車全体として新しい機器が追加される関 係上主変圧器に対しても、重量の軽減と寸法の縮少を要求された. しかし変圧器本体ではこれ以上重量の軽減は不可能であったが、 付属品の送油 ポップ について検討の結果、羽根の設計その他の合 理化による効率の向上により、電動機の容量を小さくしても、既 納品以上の性能を得ることができた.これにより重量の軽減が可 能となり、全体として第1次車用変圧器に比べて約 1.5% 軽量化 されている.

また今回の変圧器全体としては一部付属品の取り付け位置の変

更を行なったが、各付 属品については既納品 との互換性は考慮され ている.

冷却器部分は既納品 と同じである.

図 5.1 に主変圧器の 外観を示す.

試験結果を次に示す が,油 ポップ は小形化 にもかかわらず,十分 その性能を有している ことがわかる.



図 5.1 主変圧器 Fig. 5.1 Main transformer.

試 験 結 果	
(1) 損 失	
鉄損最大 3,600 W	
銅損最大 81,350W	
(2) 励磁電流 1.20A	
(3) 温度上昇 (カッコ 内は限度を	を示す)
油(最高) 32°C (45°C)	
コイル(抵抗法)	
$A_0 - A_{19} = 37.6^{\circ}C (55^{\circ}C)$	
$A_0 - A_{22} = 48.0^{\circ}C (55^{\circ}C)$	
A_{19} — A_{21} 48.5°C (55°C)	
$a_5 - a_7 = 43.5^{\circ}C (55^{\circ}C)$	

5.2 イグナイトロン整流器および温度調整装置

(1) イグナイトロン 整流器および制御装置

既述のとおり 35 年末から出荷された第1次車積載の水冷密封 形 イグナイトロンは約2年間故障なく運転されてきている. 今回のイ グナイトロン 整流器も同じ定格 (725 V, 780 A×4) であり, かつ整 流 *svo* の既納品との互換性も要求されたため根本的な改造は実 施しなかった.

ただ機関車仕様上の追加機器の関係で,重量軽減,容積減少が 要求された.前回の整流器に比較して約5%の重量軽減であり, 約6% 床面積減少が必要となった.

このため主として次の2点の検討が行なわれた.

- a. 制御回路の簡素化
- b. ワク 組の軽量化

制御回路の変更は整流器の運転特性に影響するものであり、等



図 5.2 整流器 タイプテスト 結果 Fig. 5.2 Type test result of rectifier. (with 2 tanks)



図 5.3 イグナイトロン 整流器 セット Fig. 5.3 Ignitron rectifier set.

価試験,負荷試験の成績を基にして検討された結果,制御格子の パイァス 回路を省略することとなった. 制御格子の パイァス 回路の 機能は, 陽極前面の消 イオン 作用と事故時の電流 シャ 断であるが, 制御格子に加える交流電圧の位相を陽極電圧の位相に対して、適 当に選べば陽極電流通流終了時点の、いわゆる飛躍逆電圧領域の 最も逆弧しやすい領域で制御格子に消 イオン に十分な負電圧を与 えることができる.また格子による電流 シャ 断は イグナイトロン では イヴナイタ が点弧しなければ通電しないため, イヴナイタ の短絡で代 替することができる. 同様に通電位相も イグナイタの点弧位相で決 定されるため通弧の点も問題とはならない. これらの理由で イグ ナイトロン では制御格子の バイァス 回路は省略できる・ バイァス 回路 の省略により制御格子交流電源の電圧も小さくなり容量も小さく なる. この制御回路の変更により整流 タンク は前回と同じである が, タイプテスト として 800 V での 10 分間の加速負荷試験が要求 されたが、図5.2に示す結果となり前回と同様の性能を示してい Ъ.

ワク 組の軽量化としては, 整流 タンクワク と制御回路 ワク とを一体とし, 強度的にも再検討して ワク 材の軽量化を図ったほか, タンク の取付台の変更, アルミ 製部品の採用, そのほかが実施された. 結果として所期の要求は満された. 整流 タンク は付属品の内には前回と同一部分と変更された部分があるが, タンク 自体は前 10 両分の タンク との互換性が確保されている.

図 5.3 はこの整流器 セット の外観を示している.

(2) 温度調整装置

整流器の冷却系は, 前回納入のものとほとんど変わらないが,







軽量化を計るため、冷却器、車内配管および パルラ 類はすべてァ ルミニウム を使用している. アルミニウム は、異種金属と接触すると腐 食されるので、この点をとくに留意した. 図 5.4 は アルミニウム 製 冷却器で、車の両側面の窓に 10 個を、つイルタ を介して取り付け られている. 冷却器の重量および容積は、前回のものに比べ、そ れぞれ 36%、42% と極度に小さくなり、しかもその性能は前回 のものを上回っている. 図 5.5 は、この冷却器 1 個についての特 性曲線で、インド の気候における、風速-熱交換量の関係を示した ものである.

図5.6は、アルミニウム 製自動温度調節弁で、整流器を循環する循 環水の温度を一定に保つために、冷却器回路と、冷却器を パイパス する回路を流れる水量を自動的に調節するためのものである. 図 の(a)は冷却器回路が、(b)は冷却器 パイパス 回路が全開したと ころを示している.動作温度の調節は前回納入のものと同様可変 であるが、今回は手動調節も可能な構造にしてある. すなわち、 スピッドル を操作することにより、ピストッ を引き上げたり、下ろし たりすることができ、固有の調節機能と無関係に冷却器回路、ま たは パイパス 回路を開閉できる.

5.3 主電動機および駆動装置

(1) 主電動機

今回の機車受注にあたって、インド国鉄から要請された事項は 主電動機の容量を若干増大することであった. 定格は第1次車用 と同じく

連続定格 525 kW 725 V 1,020 rpm

であるが,相当重負荷の条件が与えられたために,主電動機も含めて電機品の若干の容量増大を実施した.

主電動機の絶縁は電機子はF種,界磁はH種であってきわめて シビヤ な設計を採用したにもかかわらず,設計を合理化し,とくに 絶縁工作を吟味することにより,温度上昇はきわめて満足すべき ものとなり,整流も問題とはならなかった.

今回の容量増大は主として温度上昇の熱時定数の小さい電機子 に施され、電機子 ミジ 寸法はそのままで絶縁をぎせいにするこ となく絶縁寸法許容差を シピヤ にとることによって電機子導体寸 法を大きくとり、断面積を約4% 増大することができた.また鉄 心材料も グレード を一段上げた.このことにより熱容量は約5% 増大することができる.

さらにわれわれに示された仕様によると、形式試験は全項目に ついては実施しなくてよいが、IEC 規格にある温度上昇のパラッキ を規正しなければならず、絶縁工作の均一性がとくに重要課題で あるが、前回も十分に イッド 国鉄の仕様を満足したので、この点 についても問題はない. そのほか若干の イッピーダッス 測定、絶縁 破壊試験なども良好な結果をおさめた.

問題の温度上昇試験には インド 国鉄の立ち会いを受け,表 5.1 に示す \vec{r} -9 が公式 \vec{r} -9 として認められた.参考までに前回受 注の形式試験公式 \vec{r} -9 を カッコ 内に示す.表 5.1 にはさらに仕 様外の特殊 1時間温度試験が追加されてあり,これにも問題なく 厳重な試験に パス した. なおこの試験は前回との比較という意味 で直流の場合についてだけ実施された.

この データ によると期待された以上に電機子の温度上昇は低く なっており, きわめて満足すべき結果となっている,

さらに重量の点でも今回は一そうの軽減を施こし重量あたり出 力もその記録を更新した.

(2) 駆動装置

インド 国鉄納め第2次 イグナイトロン 電気機関車・藤野・松田

表 5.1 定格温度上昇試験結果

		斌	験	条	件	連続定格試験	1 時間定格 試 験	特殊1時間 定格試験
	負	荷	電	流	(A)	780	815	855*
	端	子	電	Æ	(V)	725	725	725
	風			虛	(m ³ /min)	82.6 (84)	82.6 (84)	82.6
201	1	電機子:	コイル	(特性口	h線より算定)	105°C (116.5°C)	109°C (117.5°C)	114.3°C
度	1	主界磁 :	コイル	(抵抗注	£)	107°C (113°C)	110°C (111°C)	125°C
F	7	雨極コノ	イル (排	氏抗法)		101°C (114°C)	107°C (120°C)	123°C
昇						76.5°C 55°C (56°C)	79.5°C 61.5°C (52 .5 °C)	82°C 64.5°C

注 - 1. *印は 1 時間定格電流の 105% の電流値.

カッコ内の数値は既 10 両機関車の時の形式試験成績を示す。

駆動装置としては、重量軽減のために、鋳鋼製であった ギャ・ ケース を溶接構造に変更した以外は第1次車用と同一である.

5.4 直流リアクトルおよび中間ノッチ抵抗器

(1) 直流 リアクトル

定格としてはつぎに示すように第1次車のものとほとんど変わらない.

形 式: 乾式 H種絶縁 風冷式 連続定格

電 流: 780 A

インダクタンス: 4mH

温度上昇: 160°C (IEC-48 による)

前回の製作経験からつぎの諸点を考慮して約 50 kg の重量軽減 を行なった.

- a. 電線寸法を約 10% 小さくして, 銅重量の低減を計ると ともに, 鉄心寸法の縮少化による鉄心重量の軽減もあわせ 行なった.
- b. 図5.7に示すように コイル 締め付け方式を前回以上に簡 素化して コイル,鉄心以外の重量軽減をも考慮した.



図 5.7 直流 リアクトル Fig. 5.7 Smoothing reactor.



図 5.8 直流 リアクトル 温度上昇試験配置図 Fig. 5.8 Arrangement of smoothing reactors.

図 5.8 のような実際の配置で L_3 直流 リァクトル には 780 A (脈流) を通電し, 残り L_1 , L_2 , L_4 直流 リァクトル には 780 A (脈流) と等しい温度上昇を与えるような直流 820 A を通電して温度上昇 試験を実施したが,抵抗法による温度上昇結果は 67.5℃ であった.

この温度上昇実測値は規格値に対してはかなり低い値であるが 実際運転時の つう配起動時の条件を過酷に考えて,780 A 連続使 用後 1,400 A,30 秒通電 30 秒停止を4回繰り返し,さらに引続き 1,200 A,3 分,1,050 A,7 分,960 A,15 分の条件を勘案して規 格値程度に納まるように計画したものである.

(2) 中間 ノッチ 抵抗器

タップ切換器の タップ間電流を制限する中間 ノッチ 抵抗器は,車体中央の床下に装置され,常に 230 m³/mm の風量で冷却されるが,高圧回路につながれているため特別の絶縁支持台および絶縁風胴を用いて車体との間に耐圧を持たせてある.

抵抗体は鉄 クロム 合金の帯を耐熱ガイシの上に エッジワイズ状に巻いたもので,機械的強度が大きく,過電流に耐え,冷却効果も良好である. これを9本1 ワクとし,2 ワクで1組となっている.

今回の抵抗器は極力軽量化を計るため, 既納 10 両に対し下記 のとおり設計変更がなされた.

(a) 抵抗体の冷却効果を良くし,温度上昇の熱時定数を最適 なものとすることにより,抵抗体本数を21本から18本に減少し た.また前回の試験成績を検討して抵抗帯の厚みも78% に減ら した.この抵抗体の重量減と本数減により ヮク および箱の大きさ,







重量も大幅に減少することができた。

(b) 絶縁支持 ガイシ を中実円筒から中空円筒のものに換えて 外形寸法を小さくするとともに,抵抗本体部の軽量化に伴って個 数を4個から3個に減らしえたので重量は約 28% と大幅に減少 した.

(c) 絶縁風胴の材質を ガイシ から エポキシ 樹脂に換えて厚み も約半分に薄くできたので重量は約 37% となった.

以上により全体として 560kg あった抵抗器は 360kg と約 63% に軽重量化された.

図5.9にこの抵抗器の試験結果を示す.

補助回路と機器

6.1 相変換機回路

変圧器三次巻線からの単相交流を二相交流に変換する役目をす る相変換機の負荷は、機関車が主幹線へ転用のとき第1次車と同 じになるのでその連続定格は 400 V, 150 kVA のままであるが⁽²⁾, 車内温度の上昇を防ぐために自己冷却後の排気を車外に排出する よう直流発電機の反対側に強力化された づロワ を装備している. この相変換機から電力供給をうける三相誘導電動機はつぎのとお りである.

用 途	台数	出	カ	内	容	
主電動機送風機	§ 2	37 kW (50æ)	第1次	車と同じて	である
空気圧縮機	1	8.2 kW	(111)		"	
水 ポンプ	1	$2.2\mathrm{kW}$	(3 IP)	(直流電	電動機側は	直卷式
				に変更)	
油 ポンプ	1	3.8 kW	(5P)	前回の	7.5 kW Z	r小形化
				した		
真空 ポンプ	2	8.3 kW	(111)	改造時	取り付けり	られる
6.2 補助シ	リコン	整流器回	路			
補助変圧器の	·一次1	肌汁同転	総同路と、	舔道雷	下調藪哭	Г в ши,



図 6.1 相 変 換 機 (150 kVA 4 P 400 V 50 c/s) Fig. 6.1 Phase converter.

表 6.1	ポールレグ	(誘導電圧調整器)	組合せ性能試験結果
-------	-------	-----------	-----------

補助変圧器 一次側電圧 (∇)	*静止器側 直流電圧 (V)	静止器 側 負荷電流 (A)	回転機回路
332	110	88	全負荷
524	112,1	3	無 負 荷

* 全試験中の変動範囲-----108.2~113 V

表 6.2 直流空気圧縮電動機組合せ試験結果

補助変 圧器 一次 側 電 圧 (V)	回 転 機 回 路 全 電 流 (A)	空 気 (吐出空 電 流 (A)	E 縮 電 E気圧 7.03 kg 電 圧 (V)	動機 g/cm ²) 回転数 (rpm)
331	239	94.5	75	800
460	248	95.7	110	1,164
520	254	102	124.7	1,368



回転機回	回路用	静止器回路用
連 続 定 格	110 V, 235 A	110 V, 93 A
組み合わせ	$1 \text{ S} \times 3 \text{ P} \times 4 \text{ A}$	$1 \mathrm{S} \times 1 \mathrm{P} \times 4 \mathrm{A}$
冷却法	強制通風	自然通風

7. 制御回路と器具

制御回路電源は相変換機軸端につけた 4kW, 110 V の直流発 電機から充電される 60 Ah, 110 V の アルカリ 蓄電池から供給さ れる点,過電圧保護に低圧 アレスタが設けられ,各回路ごとに ノー Lューズ シャ 断器が設けられる点は第1次車と同様である. パンタグラ > 操作回路, 空気 シ+ 断器回路なども同様であるが, 主幹制御器 には逆転 ハンドル に郊外線列車運転位置が,主 ハンドル部に デッドマ ン 装置が追加されている. 自動加速制御には、 タップ 切換器の進 段に応じて限流 リレーの補助 コイル 電流を切り換えることにより, 限流値を6段に変化させる方法が用いられている. これは機関車 の速度粘着特性を十分に活用することによって、列車全体として の平均加速度の向上を計ったものである. 付随車運転室から列車 引き通し線により操作されるのは、パンタグラフ、空気 シャ 断器,主 電動機送風機, DC 110 V 補助電源接触器, 空気圧縮機であり, 弱界磁段を含み5段の最終 ノッチ 選択ができるようになった電車 用主幹制御器により力行運転がなされ、機関車と同じ ブレーキ 弁 によって電磁直通式 ブレーキ 運転が行なわれる. また空気 シャ 断 器の動作,直流発電機の運転,補助電源の供給,タップ切換器「0」 位置,空転検出,電磁直通 ブレーキの電源,非常 ブレーキ 作用につ いては付随車運転台の表示灯に現われるようになっている. なお

起動前に機関車運転室の軸重補償 スイッチ を入れると、逆転器連 動により機関車進行方向に応じた軸重補償抵抗器 スイッチ が投入 され、タップ切換器 26 ステップで自動的に復帰するようになってい る.接触器と リレー 類の仕様は表 7.1, 7.2 のとおりで、両者と も動作が外部から確認できるよう ターゲット が付けられている.

8. 機器配置およびブレーキ装置

主 トランス, イグナイトロン 箱, 機器 ワク, 制御箱, 主 ブロワ などの 主要機器の配置は, 図8.1 に示すとおり第1次車とほとんど同じ になっているが, おもな変更点は次のとおりである.

- (1) 機械室の廊下が片側貫通式であったのを両側貫通式とす るため,水 ポップや バッテリの移設が行なわれた.
- (2) 電車運転を行なうために、 ブレーキ 装置が真空 ブレーキ から電磁空気 ブレーキ (EP ブレーキ) になった.
- (3) 付随車用電源装置(補助 トランス,補助 シリコン 整流器, 補助 リアクトル など)がとう載された.
- (4) 先頭付随車から機関車を遠隔制御するために,機関車に 自動加速その他の部品がとう載され,車端に電気連結器が 設置された.
- (5) インド 国鉄標準の前照灯 (32 V, 250 W) を使用するため に、前照灯用電源装置が運転室に設置された.

以下大きく変更になった ラレ−+ 装置について若干の説明を加 える.

この機関車は最初の数年間は、EP ブレーキ 装置を装備した付随 車とともに使用されるので、EP ブレーキ 装置を装備し、さらに機 関車単独で走行する際に ブレーキ 操作が容易に行なえるように単 独 ブレーキ 装置を装備してある.

将来,電動車が完成し,この機関車により真空 ブレーキ を装備 した客車または貨車を ケン 引する場合は, EP ブレーキ 装置を取り はずし真空 ブレーキ 装置が装備できるように設計されている.

EP ラレーキ 装置は、すでに現地で使用されている EMU 付随車 の部品と互換性を持たすように、主要部品は英W社から輸入し、 単独 ラレーキ 装置および真空 ラレーキ 装置は、既納の 10 両の部 品と互換性を持たすように「フランス Westinghouse 社から輸入し た.

インド 国鉄納め第2次 イグナイトロン 電気機関車・藤野・松田

		招 役 才	VESP	VMF 20G	御御回路	DC 100		7 kg/cm ²		68				1,500		68 (7 kg/cm ²) 直列抵抗含む			190	0.26\$	5,470T	IN 51677 絮放電圧 10V以上 (4.9kg/cm ²) 直列连抗含む
-		范 按 弁		VMF 20A	制御回路	DC 100		7 kg/cm ²		68				1,500		68 (7 kg/cm ²)			840	0.18\$	T009,11	IN 51677 報放電圧 10V以上 (4.9kg/cm ²)
2		DC 空気圧輸電動機用	CCP 2, 3	CMT WL 5-01	征平用袖助馆源回路	DC 100	(2 極並列使用) DC 91		60	68	85	1,500	1,500	1,500	DC 100V 280A 公20mH 空心 0mH	68	0.7	10	370Ω/2	0.32¢	9,400T×2	IBC 77 IN 51675
		出被邓仲峰市刀	CRG 1, 2	MT WL 5-01	電 東 用 袖 助 電 源 回 路	AC 400	(3 極並列使用) AC 100		60	68	85	2,850	2,250	1,500	AC 480V 700A △力瑞最大 70%	68	0.7	10	370Ω/2	0.32 <i>ф</i>	9,400T×2	IN 51675
	R	相変換微 売 動 用	C118	GPS IS40A-11 C	補助回路	AC 600	AC 200		60	68	85	3,350	2,700	1,500	AC 720V 2800A △力楽段大 70%	68	2.0	17	260	0.42 <i>ф</i>	7026	IN 51675
檪	猿	水加熱器用	CRE 1-2	GPS IS10A-22	補助回路	AC 200	AC 120		60	68	85	2,500	1,900	1,500	AC 240V 840A △力率段大 70%	68	0.5	1	530	0.29\$	13,000T	IN 51675
住	逛	イ イング (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	CEX	GPS IS5A-22	イグナイトロ ソ創御回路	AC 200	AC 40		60	89	85	2,500	1,900	1,500	AC 240V 280A △力率段大 70%	68	0.25	10	580	0.26¢	13,000T	IN 51675
뫒	72	直流水水 弦刀记动动	CPE 2	[S5A-22	DC 水ポンプ キータ回路	100	50		0	89	35	500	500	.500	110V 50A H 狴心	68	.25	10	580	.26ф	,000T	c n
触		锴 信 光 武 王	C130	GPS	充储回路	DC	DC		9	2		-	-	-			0			0	13	IE
辚		主送闻记 動 機 用	C105, 106	CMT WLC10A-01	植助回路	AC 400	AC 100		60	68	85	2,850	2,250	1,500	AC 480V 700A △力等最大 70%	68	1.5	12	360Ω/2	0.35¢	10,500T×2	IN 51675
₹ 7,1		交流 空気 圧 輸電動 歳用 (真空ポンプ用)	$\begin{pmatrix} C101 \\ C121, 124 \\ C122, 125 \\ 125 \end{pmatrix}$	CMT WL 5A	植助回路	AC 400	AC 50		09	68	85	2,850	2,250	1,500	AC 480V 350A △力兼最大 70%	68	0.7	10	370Ω/2	0.32¢	9,400T×2	IN 51675
THA		。 第 道		RSCPOH- C	- 祝 回 州	DC 725	DC 780	7 kg/cm ²	60	68		3,650	2,950	1,500		68 (7 kg/cm ²)	14	16	840	0.18\$	T003,11	IN 51394
		(16 C11~14	S HV 100A		DC 725	780 DC 90	7 kg/cm ²	60	68	85	3,650	2,950	1,500	DC 200V 270A 20mH △発心	3 (7 kg/cm ²)	6	10	840	0.18 <i>ф</i>	L009'11	53479 IN 53479
		國 	32~34 42~44 C15,	40A CW		25	90 DC	m²						0	Vo He He	(cm ²) 64				φ	DT TO	3480 S480
		弱界磁楼)	S 12~14, 5	TFS HV	e #	DC 7	DC 3	7 kg/c1	60	68	35	-) 3,65(2,95	1,50	DC 2 201 100 10 100 10 100 10 100 10 100 10 100 10 100 10 100 10 100 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1	68 (7 kg/	9	10	840	0.18	109'11	ZI ZI
		威 器 允	鐵器帶号	影	路	催 E(V)	電 流(A)	空 知 正 力	主接触子(°C)	動作ヨイル(°C) (DC110V)	終 H イ ト (°C)	:接触子	:触子——接触子問(V)	:圧回路アース間(V	* 原 资 価	注動作 	她 圧 力 (kg)	子ギャップ (mm)	(ル の 抵 抗(0)	へ と の 穀 寸 法	トトの施設数	記 事 (試驗仕紙 No.)
		数 器	<u>بن</u>		Ē		<u>ا</u>	 ≴		一一		50 c/s ≢	1 min 1 一 税	咽止 試験値 低		日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日	核	接牌	л Т	π	n	

10 (742)

:	-14 1	氧烟粘雜 띕器	CI 1~4	CM. NL2	イグナイトロン単独回	AC 600	DC 100V	AC 20	DC 110V		68	4,380	1,500	68	565	0.26¢	12,600T	0.8	6			IN 51686	u
	1×	创造汇流能记器	QLM	COC21 T-21	击 回 路		200A/ 5A	5	5A		68		1,500			φ/.1	125T (6A タッブ)		4	401~9	6. 7. 8. 10A	ターゲッ ト付 N 51686	;
	器到	低電圧線電影	Q30	CVC21 T23-21	植助回路	AC 400	AC 400V	5	AC 480V		68	2,850	1,500			0.4¢	4,700T	(積音) (積音)	4	川上付電用 320V 教成電圧 約 170V 以上		衆放電圧 20V±5% 直列抵抗 含み)	N 51686
	交流補助維	構成の で の で の の の の の の の の の の の の の	QD Si 1,2 QTIG	CVC21 T22-22	植助回路	AC 200	AC 200V	5	AC 240V		68	2,500	1,500	135		0.6¢	2,300T	接点人 時後点切時	4	1 143		IN 51686	I
	接地維電器	主回路ッレー 神 3 回 略	QOP QOA	CGC T-21	主回路 補助回路	AC 960	AC 960V 2 SEC	5				4,380	1,500	DC 50/ AC 110		0.8\$	1,200T	0.15: 0.12:	4			ターゲット付 IN 51686	
		限時維電器	Q44	RT CA-3B	制词回路	DC 100	DC 100V	5	DC 110V		68		1,500	68	(1) 457 (2) 6.22	(1) 0.26¢ (2) 0.6¢	(1) 8,000T (2) 900T	0.08	s.			押ボタン付 関時 0.7~ 0.8 SEC	LN 51686
様		注 回 派 線 記 路	QAC	RC BB-IUI	部	DC 725	DC 780A	e	DC 780A 記事構参照	85	68	3,650	1,500	2T	(1) 450×2 (2) 50×2	 0.26φ×2 0.26φ×2 0.26φ×2 	(1) 8,000T×2 (2) 1,600T×2	0.04	5	限 税 740~1240A 主コイル単独 1240A		限コイル,引上げ コイルは DC 77V (Q43 用コイル合 み) アドバンスコイル は DC 110V (抵	抗 ROACI 含み) IN 51686
住	왕	板出離 電器	Q21, 22	RWS PH-2	注回 彩	DC 725		5	3.5V (直列抵 抗含み)		68	3,650	1,500		0.84	1.2φ	500T	0.08	S	釈放電圧 2.0,2.25, 2.5V 引上げ 2.8,3.15, 3.5V以下		IN 51686	
瀕		過電圧維電器	Q20	RV B-IA	主モーク回路	DC 100	DC 100V	e	DC 110V		68		1,500		328×2	0.23 <i>ф</i>	6,550T×2	0.04	ę		100, 110V	釈故電圧 92%以下 IN 51686	
I		光信回紫道 流維電器	QCB	RRC BIB	光信回路	DC 100	DC 50A	e	DC 110V	85	68		1,500		(1) 168×2 (2) 16×2	(1) 0.2 $\phi \times 2$ (2) 0.65 $\phi \times 2$	(1) 3,200T×2 (2) 1,800T×2	0.04	e	a		逆流電流 5A 以下 IN 51686	
5	×	 か彼 夕哉 夕認	Q42 Q43 Q46 Q52	RAX 446	11日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日	DC 100	DC 100V	e	DC 110V(直列抵抗含み)		68		1,500	68 (直列抵抗含み)	190	0.29ϕ	9,000T	0.02	5			IN 51686	
表 7.2	一株記	金 家 が 子 ・	Q45	RAX E444	制御回路	DC 100	DC 100V		DC 110V		89		1,500	89	1,070	0.18¢	L000'61	0.02	7			甲しボタン付	
		 補 執援 其毛 弱 自切 非1 機 重換 空1 界 動後 常年 院 祉労 能 第 4 動後 常年 第 4 動後 常年 第 4 動後 第 7 用 第 四川 ブ用 	Q40 Q41 Q47 QWF QLE QBP	RAX E445	制团	DC 100	DC 100V	m	DC . 110V		68		1,500	68	1,070	0.18¢	T000,91	0.02	2			IN 51686	
		主 记 动 機 過電流難電器	Q1~4	ROACH-80-2	33 回 州	AC 960	780 A/V ²	S	780A	85		MAIN 4,380V	1,500	no (LI	0.08	5	1200~1600A	1200~1600A	ターゲット付 IN 51686	
		機器	機器造	影	用回路合	回路征圧(V)	ョイルの配圧 または電流	接点の記説容 肚 (A)	信任または記 流	茶コイル(°C)	補助コイル(°C)	・ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	低圧回路 アース間(V)	ຮ動作 馆圧(V)	イルの抵抗(Ω)	イトの線ナ法	イトの治效	帧 圧 力 (kg)	1 ギャッブ(mm)	為當	・ブ値(セット値)		
			₩		闵	災	:	\$	現世	二月四日	(55)	50c/s	朝田	5 2 2	п	п	n	资	接角	R	4	₩ <u>₩</u>	

インド国鉄納め第2次 イグナイトロン 電気機関車・藤野・松田



図 8.1 運転室 Fig. 8.1 Drivers desk.

圧縮機は3台装備し,内2台は付随車に必要な圧縮空気を供給 するためのもので将来電動車用として転用可能なように英W社か ら輸入し,残り1台は機関車に必要な圧縮空気を供給するための もので第1次車の部品と互換性を持たすようにスイス OERLIKON 社から輸入した.将来真空 ブレーキ 装置を装備する際は前記2台 の圧縮機を取りはずしたあとに真空 ポップ を2台装備する.

EP ブレーキ 装置は単一 ブレーキハンドル で,電磁空気 ブレーキ と自 動空気 ブレーキ の操作を行なうことができる.電磁空気 ブレーキ は 電磁直通式 ブレーキ 装置で,機関車および付随車に,同期的敏速 に繰り返し作用させることが可能である.自動空気 ブレーキ は一 般に使用されている形式のもので電磁空気 ブレーキ が使用不能の 場合に使用される.

単独 ブレーキ 装置は一般に使用されている形式のもので,機関 車のみに直通空気 ブレーキ を作用させる.



項目	祝 99	当り	項日	82 VI	当り	項目	an 91	当り
1	パンダグラフ	2	13	ARNO 変換器	1	25	タップ切換リアクトル	1
2	空気シャ断器	1	14	空気圧縮機 (AC)	1	26	接 続 箱	4
3	主断路器	1	15	パッテリ	12	27	接地極	2
4	パンタグラフ衛路器	2	16	イグナイトロン再冷器	8	28	中間および後部冷却器	1
5	空気圧縮機(DC)	2	17	水ポンプ	1	29	主電動機	4
6	ブロワ	2	18	木 槽	1	30	補助シリコン整流器	1
7	イグナイトロン箱	2	19	変換器始動用抵抗	2	31	ポンプ用抵抗	1
8	イグナイトロン制御箱	2	20	補助抵抗器	1	32	砂撒弁	1
9	#1 制御プロック	1	21	#1制御キャビネット	1	33	補助変圧器	1
10	主変圧器	1	22	#2制御キャビネット	1	34	ボールレグ	1
11	タップ切換器	1	23	主変圧器用放熱器	1	35	EP プレーキ	1
12	#2制御プロック	1	24	平滑抵抗器	4	36	計器用変圧器	1

図 8.2 機器配置 Fig. 8.2 Apparatus arrangement.

1 12 2



9. 台車および車体

電気品と同様に、台車、車体および ギ 装についても、インド 国 鉄の要求により、一部の変更を施すとともに既納 10 両ロの現地 での使用経験によって細部にわたり検討を加えた.しかしながら 構造的には既納車と同様であるため、今回は台車および車体の荷 重試験は行なわれなかった.

9.1 台 車

台車は既納 10 両口とまったく同じ揺れ マクラ 式2軸 ボギー で あるが、インド 国鉄の要求により、横 ハリ と揺れ マクラ の当たり 面を車両限界ぎりぎりまで下げて引き出し時の軸重移動を少くし 粘着引張力の向上を図るとともに、砂マキ 管の途中に ゴムホース を 入れて タイヤ が摩耗した場合の砂マキ 管の高さ調整が容易に行な えるようにした.また ブレーキシリンダ に、ストロークインジケータ を取り 付けて、点検、保守の便を図った.

9.2 車 体

車体も既納 10 両口とまったく同じ箱形構造であるが,おもな 変更点は次のとおりである.

(1) 重量軽減のための変更

(a) Cattle guard の変更: 既納 10 両口では,山形鋼, ミジ 形鋼の組み合わせ構造であったが,今回は鋼管を主とし使 用し大幅な重量軽減を行なった.

(b) 屋上歩み板の変更: 既納10両口では, 車体の全長に わたって, 左右両側に設けられていたが, 今回はパンタグラフ部 分の片側のみに設けた.

(c) 軽合金の使用: 高圧室安全 トビラ, 天井板, 窓 ワク, エ アフィルタワク, 床板, 機器の カパー, ハシゴ, 再冷器配管などに耐食 アルミ 合金が使用されている.

(2) 機器室内の温度低下のための変更

インド 国鉄の要求により,機器室内の温度を下げるため相変換 機の冷却空気を床下に排出するとともに, EP ウレーキ 用に設置 された DC コンプ の排気も床下に排出する構造とされている. なお, DC コンプ は, リアクトル 冷却用の風の一部を パイパス させ て冷却する構造とされている.

(3) 運転室の Ventilation

Monsoon 時でも運転室の Ventilation が有効に行なえるようにするために、機械室の負圧を利用した Ventilation の方法 が採用されており、豪雨時でも最大約 $10 \text{ m}^3/\text{min}$ の通風が行な えるようになっている.

(4) エアフィルタ 部の雨漏り防止策

エアフィルタ 部からの雨漏りについては, 既納10両口でも慎重 な現車試験を重ねて出車したため, 現地でもまったく雨漏りが なく非常に好評を得たわけであるが, 今回の機関車でも慎重な ペンチテスト を重ね既納10両口よりは一そう簡単でかつ豪雨にも 耐える軽量な雨漏り防止法完成に成功した.

(5) Side buffer の変更

既納10両ロでは欧州連合設計の Side buffer を装備したが、 インド において使用結果衝突速度が高いため、やや強度不足であ ることがわかり、今回は インド 国鉄の強い要望により ドイッ 製 (Ring feder) の Side buffer が装備されている.

9.3 ギ 装

車体の # 装についても,そのやり方としては既納の 10 両とま ったく同じ方法がとられている.

すなわち配線は、耐圧 ネオプレン 電線を使用し高圧、中圧、低圧 を分けて配線し、各線には線番を付し、かつ各線が、各配線 グル ーラ のどこの位置に配線してあるかもはっきりさせて、配線の識 別がきわめて容易に行なえるようにしてある. ブレーキ 配管につい ては、EP ブレーキ 装置用配管が行なわれていることはもちろんの こと、約2年先に予定されている main line 用機関車に復帰する 場合に、その復帰が容易に行なえるように、真空 ブレーキ 用の列 車管や一部の真空 ブレーキ 機器があらかじめ設置されている.

なお, 真空 ブレーキ の列車管は, 既納の 10 両では 2 インチ の パ イラ であったが, 今回は真空 ブレーキ の性能向上のために, 3 インチ に変更された.

また、イグナイトロン 冷却回路用配管は、重量軽減のために耐食 ア ルミ 管が使用されている.

10. む す び

今回の第2次ィヴオイトロン電気機関車は,第1次車をベースにし た技術内容とはいえ,(1)郊外線電車運転装置の新設付加,(2) 第1次車でのィンド現地運転試験に基づいた諸改良,(3)機関車 制限重量の厳守という三つの点で設計製作上の苦心があり,また 新規設計および設計変更部分については第1次車と同様に厳格な タイプテストが行なわれた.

しかしながら、第1次車での貴重な製作経験を足場とする、関係者一同の熱意と協力により、受注後約1ヵ月の短期間で始めの 2両を完成させ、インド国鉄側の要請の繰り上げ納期である本年3 月末までに現地に到着させたことは日本の交流機関車 メーカ に対 する国際的信用をさらに高めるのに役立つものと信ずる.

さらに本年3月同じ4社 メンバーからなる日本 グループは、三菱 電機を窓口として昨年5月国際入札以来交渉を続けていた インド 国鉄マドラス 地区向け 52 t シリコン 整流器式交流機関車 18 両の受 注契約を結ぶことができ、さっそく製作に着手した.

交流車両の技術はなおも進歩を続け、世界各国の交流電化も次 第に普及されつつあるとき、われわれは一歩一歩着実に輸出経験 を積み重ねて国際的技術信用を築き上げたいものと念願してい る.

終わりに日本国鉄ならびに フランス 国鉄関係各位のご援助と, 日立,東芝関係者のご協力に対し厚く謝意を表する次第である.

参考文献

- (1) 藤野・松田: インド国鉄向け イグナイトロン 電気機関車,「三 菱電機」35, No. 3, (昭 36).
- (2) 大野・八木・臼田・和田: インド向け交流電気機関車用相 変換機,「三菱電機」, 34, No. 8, No. 9, (昭 35).
- (3) 亀山・早瀬・青木:「三菱電機」, 35, No. 7, (昭 36).

UDC 621. 394. 6: 681. 177

パラメトロン式低速度データ伝送装置

大鳥羽幸太郎* · 鈴 木 昌 三* · 江 塚 昭* · 竹内康太郎*

Parametronic Single Channel ARQ System

Electronics Works Kotaro OTOBA · Shozo SUZUKI · Akira EZUKA · Kotaro TAKEUCHI

Data transmission without error has come to the front through the centralization of business transaction. The data transmission equipment has come to play an important part of the IDP system. Type TZ-11 low speed data transmission equipment is the expansion of the ARQ system extensively used for international communication. By correcting errors on the transmission circuit, and being provided with function of correcting errors including those of input and output devices from the reading to the punching of paper tape, they constitute ideal transmission circuits. This equipment is installed corresponding to a 6-unit printing telegraph circuit, and provided with parametrons at its principal part, it has secured for better reliability and very stable operation for long, continuous operation.

1. まえがき

企業規模が拡大され、それに伴う事務量と労力の増加は、企業 の合理化と機械化を必然的に促し、電子計算機の導入となり、従 来計算による事務処理とは別途に考えられてきた データの伝送も、 経営の集中管理につれて近時急速に注目されるに至り、誤りのな いデータ伝送は計算機によるデータ処理とともに、IDP方式の理 想形態を実現させる重要な一素因となった.

いわゆる IDP 方式 (Integrated Data Processing System) は, 情報を発生個所で記録すると,それ以後は自動的に処理し,求め られた経営管理のための資料を作成する事務処理方式であるが, これを大別すると

- (a) 記録すること
- (b) 記録されたものをそのままの形で伝送すること
- (c) そしてこれを計数処理すること

になるが、 \vec{r} -9 伝送は、この記録に始まり、処理に終る一連の系統に介在して、原始 \vec{r} -9 の誤りのない伝達に寄与する重要な一部分を担当する.かような集中管理方式において取り扱われる \vec{r} -9 は膨大なものであり、しかもその伝送系に要求される誤り率は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ というきわめて高品位のものである.

情報を遠隔地から送ったり,情報を処理するために機器を通す ことによって,誤字発生の機会が増加する.原因は雑多であるが, 時々断,符号 ビズミ,機器の誤動作などで,この原因を完全に取り 去ることは無理なことであり,また取り去りうるとしても膨大な 経費を要しよう.かような誤りの原因の除去はまず不可能と考え られるから,発生した誤りを検出,除去し,訂正する手段が必要 となる.上記のように,誤りの発生は大別して,情報の処理機構 におけるものと,伝送路に起因するものになるが,データ伝送とい う言葉に課された使命は送端とまったく同一のパターンを受端に 再現することで,情報の処理過程で発生する誤りについては無視 して,もっぱら伝送系で発生する誤りの検出,訂正を施し,系の 品位向上に寄与する一連の装置が対象となる.

2. 誤りの検出,訂正

Tape to Tape の要望にかなう伝送装置としては、伝送路の ジ * 無線機製作所 ョウ 乱による誤りの検出,訂正のみならず,入出力機器の誤動作 に基づく誤りの検出も考慮しなければならない.現在の機械的な ON-OFF 方式による入出力装置の動作は,通常,十分な保守が 行なわれていても $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度の誤り率となることは事実で あり,したがって伝送路のみの品位向上を計っても,Tape to Tape の観点からすればまったく無意味となる.一般に,入出力機器の 誤動作に起因する誤りは,伝送路のジョウ乱による誤りに比較し て $10 \sim 10^2$ 程度低いが,伝送路の誤り率向上によって,入出力機 器の誤り率が伝送系全体の誤り率を支配するのは望ましくない. このような理由から = -3 符号の読取りおよびさん孔時の誤り検 出の必要性が生じてくる.

さて無線回線,交換系を含む伝送路の誤り検出,訂正方式にも 種々あるが,それらを列挙すればつぎのとおりである.

(a) 反復伝送方式 (Van Verdan の方法)

この方法は同一回線で同一符号を繰り返し数回送るか,または 数回線に同時に同一符号を送るものである.このときの符号形式 はその配列順を変えたり,極性を反転して送ってもよい.受信側 では,受信した符合を照合して間違いがあれば,送信側に再送を 要求して再度送らせる方法である.この場合に誤りの検出できな いのは数回送った符号中の同一個所に妨害を受けたときである. この場合の誤字率 q_r は

$$q_r \doteq \frac{n}{2} (q_m^a + q_s^a)$$

で表わされる. ただし n は単位符号, q_m , q_s は $\neg -0$, $2^n - \lambda$ 各 単位の誤り確率, a は繰り返しの回数である. またこの方法で a回の繰り返しのうち, b 回と a-b 回を $\neg -0$, $2^n - \lambda$ を反転して 送れば

$$q_{r} \stackrel{:}{=} \frac{n}{2} (q_{m}^{b} \cdot q_{s}^{a-b} + q_{m}^{a-b} \cdot q_{s}^{b})$$

になる. 実際には誤りの確率は独立でなく、符号単位の誤りより も、数単位にわたることが多いし、 q_m, q_s も等しくない.

この方法は回線の使用能率は著しく低下するが、簡単な装置で たりるので情報量の少ない場合にはすぐれている.

(b) 定=2-2方式 (r out of n code)

この方法は n 単位の符号中, r だけ マーク または スペース に定

めた符号である.ある定まった符号の総数に対し,符号形式の単 位数を最小とするのは

$n=2r\pm 1$

であって、このときの組合せ総数は

 $_{n}c_{r}=_{2r\pm 1}c_{r}$

となる. 送信側ではこの定 $\neg - 2$ 符号を送り, 受信側ではこの $\neg - 2$ 数であるか否かを f_{xy2} し, 規定の $\neg - 2$ 数でない場合は再送させる. この方法で検出できない誤りは, 同一符号中の $\neg - 2$ と $\neg - 2$ が同時に誤ったときであるから q_r は

 $q_r \doteq r^2 q_m q_s$ (ただし n 偶数のとき)

となる. q_m , q_s のいずれかが小さい場合は q_7 は小さくなる.

このような訂正方式による伝送能率 η は、和文 6 単位送号を 例にとれば、n=8 (m=4, s=4) であるから $\eta=3/4$ となる. し かし和文6単位の場合は6単位のほかに 2q-1, 2t-3 符号を付 加するから、同期方式を変えてやれば、実質的な伝送能率の低下 はない. 回路は多少複雑となるが、伝送能率の点からいえばきわ めてすぐれ、また回線障害のうちで最も多い時々断に対して誤り の検出が確実なことから賞用される訂正方式である.

(c) 逆送検定方式

これは送信した符号を受信側から逆送してもらい,送信側で f_{xy2} する方法である.この場合に検出できないのは,送信中に 妨害を受けた符号が,逆送中に再度妨害を受けてもとの符号にも どったときである.誤り率は $q_r \doteq nq_m \cdot q_s$ で表わされ,2回の繰 り返し方法のときに q_{-2} , χ^{q}_{-2} を反転して送る場合と等価とな る.ただしこの方法では伝送能率は 1/2 で非常に低いが,検出で きない符号は逆送の u-3 を考慮すれば実際にはきわめて小さく なる.

(d) Hamming の方法

この方法は符号自身に誤り訂正能力を付加するものであるが, 妨害がほとんど時々断によると考えられる回線には適用不可能で ある.このため変形方式が考えられ,情報理論の見地からは興味 ある方法であるが,将来の問題となろう.

3. ARQ 動作の原理

以上いくつかの訂正方式をあげたが、このうちいずれが最良な 方法であるかは速断できない、したがってわれわれもこの装置の 製作にあたっては、過去の データと実績から判断し、適用する伝送



図 3.1 TZ-11 形 パライト ARQ 装置 Fig. 3.1 Parametronic single channal ARQ terminal TZ-II.





表 3.1 6 単位, 8 単位符号変換表

路の誤り率,その内容が問題となるがたとえば,時々断,雑音な どの妨害の性質,ひん度と,要求される誤り率および技術的な難 易さ,経済的な面から検討して,定マーク方式による誤り検出,再 送による訂正方式のいわゆる ARQ 方式が望ましいものとの結論 に達した.

誤読取り, 誤さん孔対策としては, テーラの同一符号を異なる 接点で2度読取り, これを照合して誤りを検出すること, および さん孔後の テーラ 符号を読取り, これをさん孔信号と照合する方 法を採った. 図3.1にこの装置の外観を示す.

この方式ではさきに述べたごとく、従来の印刷電信符号と異な る"誤りの検出基準を含む特殊な8単位符号"が用いられ、この 符号を図3.2に示す送受両局間で授受することにより誤字の検出 および自動的な訂正が行なわれる.いまA局, B局間で上り,下 り両方向で回線が構成されている.両局の送信部においては、従 来の6単位印刷電信符号は前述の"誤りの検出基準を含む特殊な 8単位符号"に変換される.この8単位符号は表3.1に示すよう に,8単位の符号はすべて4単位の マーク と4単位の スペース の組 み合わせで構成されるものに限られ,他の組み合わせ,たとえば 5 単位の マーク と 3 単位の スペース などは許されない. この マーク, スペース 比(M/S)を誤りの検出基準として用いれば誤字の検出が 可能となる. 伝 パン 障害を受けて誤字となると、同一女字内で マ -ク と スペース とが同段ずつ転位するような障害を除き、必ずこの M/S 比が変化し、8:0 から 0:8 までのいずれかの符号構成とな る. したがって受信部では受信される符号ごとに M/S 比を チェッ ク すれば誤字が検出される.

つぎにA局からB局へ伝送する回線に誤字が発生したとする. B 局の受信部はこの文字を受信し終わると M/S 比が 4:4 でない ことから誤字と判定して、ただちに ARQ 動作に入る. 誤字のない 正常な場合には上下両回線はまったく独立の回線で動作している が、ARQ 動作にはいると、B 局では誤字がさん孔されぬように さん孔機のさん孔動作を一時停止させ、同時に自局の送信部の動 作も中断してA局に向けて再送要求信号を強制そう入して送出し、 A局にB局での誤字検出を通報する. このように ARO 回線では 再送要求信号の送出のために上下2回線を必要とするのである. 再送信号を受信したA局でも同様に受信部のさん孔動作を停止し、 送信部に対して新たな文字の送出停止を指令し、前に誤字となっ た文字を含めて自局に蓄積されている文字と再送要求信号を含め た6 文字の再送を開始する. さきに誤字を受信した B 局受信部で は、この再送された文字を再 チェック し、判定が正しければ、さ きに誤った文字を受信した所からさん孔機の動作を復活させて訂 正された文字をさん孔させる. これら一連の動作は人手の 送〒 介入はなく自動的に行なわれる.

動作の実際

ARQ 動作の原理について述べたが、つぎにとの装置の 具体的な回路動作を図4.1,図4.2,図4.3により説明する.



Fig. 4.1 Time diagram of ARQ procedure.

前述のように ARQ 回線は上下2回線が対向して結合され,両 回線に誤りのない場合はまったく独立な回線として信号の援受が 行なわれている.いったん,いずれかの回線に誤字が検出される と,上下回線が閉ルーラを構成し,再送要求信号と蓄積文字の再 送動作が開始される.この動作から明らかなように,A局,B局 はまったく独立な位相関係で結合されているのでなく,ある一定 の位相をもって拘束されている.ここに主局(Master),従局 (Slave)の位相関係から区別される特殊な時間関係を生ずる.す なわち対向する端局のいずれかが主局となり,他方が従局となる のである.主局は送受信部が時間的に独立して動作しうるもので, 従局は送受信部がある時間だけ遅れて固定される.したがって主 局の送信部が2端局の時間基準となり,これに伝送時間だけ遅延 して従局の受信部が固定され,こちに従局送信部は自局の受信部 にある時間遅れて固定され,これに主局の受信部が伝送時間だけ 遅延して固定されるのである.

(1) 送信部の動作

テープ符号は送信機から6単位同時信号として読込まれる.AR Q 動作をしてないときは、 テープ 読取り制御回路から文字間隔で 送信機駆動 パルス を送出し, クラッチマグネット を励磁して, 第1 読 取り接点で テープ 符号を読取り, テープを フィード した後, 引続き この符号を第2読取り接点で読取るとともに UT コンタクト により 送信部に読込み指令を与える. 読取り制御回路では, この指令に より,第1,第2各6線接点(料~#6,料~#6)を同時に読込 み、二重一致による照合回路に送り #1~#6 各単位ごとに照合す る. 一致したならば第1読取り側の符号を1文字蓄積回路へ送る とともに、つぎの4文字蓄積回路、6→8単位符号変換回路へ送り 込む. もし 料~拍 と 料~抬' のいずれか一つでも一致しない場 合は "Misread" として, 駆動 パルス の送出を一時停止し, 1 文 字蓄積回路を リセット して回線を休止時間信号 Idle time β に強 制変換する.休止時間とは回線が Traffic の状態にない アキの時 間をいい、この装置では二つの休止時間信号 Idle time α, Idle time β があって, つぎのように区別して使われている.

Idle α: テ-- β 送信機が接続されていないとき.

Idle β: テ-ウ 送信機は接続されているが, クラッチマグネット の接 点が開かれているとき, および テ-ウ に余長のないとき.

Idle α , β は表 3.1 に示したごとく, Signal I₁, Signal I₂, Bell 1, Bell 2 信号とともに 8 単位信号にのみ存在し, 対応する 6 単



Fig. 4.2. Block diagram of transmitting & receiving section.

パラメトロン 式低速度 データ 伝送装置・大鳥羽・鈴木・江塚・竹内



Fig. 4.3 Time diagram of transmitting & receiving section.

つぎに再送動作にはいると図 4.1 に示すごとく,まず 6 文字間 \overline{z} -- う送信機への駆動 パルス と読込み パルスを停止して,4 文字蓄積 回路への新規の文字読込みをとめる.再送 6 文字の最初の 2 文字 間は 4 文字蓄積回路の内容を \overline{z} - ト せず,再送要求信号 Signal I₁, Signal I₂ を連続して送り出す.これは後述の符号変換回路終段 で作られる・つぎの 4 文字は,記憶内容を順次 \overline{z} - ト しながら読み 出して符号変換回路へ送る.すなわち,再送信号 Signal I₁, I₂ に 続いて,さきに送信した最後の文字を入れて送信済みの 4 文字を 送出する.この再送動作が連続するときには 6 文字周期で繰り返 される.

6→8 符号変換回路の入力となる蓄積回路からの信号は,符号変 換の途上で数 クェンチング の遅延を生じて8単位分配回路に入る. 8 単位分配 パルス は チ+ネルパルス と同期して作られ,2 進数で表わ される分配 パルス により時間的に直列な記号として次段 サンプリン グ 回路で信号の各単位前端 5 ms の点で サンプリング され,つりップ フロップ で状態信号として送出される. この サンプリングの意味は符 号変換回路での遅延による符号 ヒズミ をきょう正するためにある.

(2) 受信部の動作

受信部の動作は,送信部に比較してやや複雑となる.

受信信号はその極性変換点で微分し、AFC を動作させて サップ リップパルス が常に受信信号素子の中央になるよう駆動 パルス を制御 する.サップリップ された信号は 8 単位分配回路で並列信号に変換 するとともに、誤字検出回路で各文字ごとに マークパルス を計数す る. 正しく受信された信号はいずれも 4マーク、4 スペース で構成さ れた 8 単位 パルス であるから、その計数が 4 以外であれば誤符号 と判定する.

一方8単位に分配された各素子は、1文字分の蓄積回路に記憶 し、8→6符号変換回路で6単位信号に変換される.変換された 信号はさらに1文字蓄積回路に記憶される.この回路は6単位の ほかに Idle α , β , Signal I₁, I₂, Bell 1, 2 および誤字を記憶す るために 13単位から構成されている.さきの誤字検出回路の判 定が正しければ、さん孔制御回路から1文字間隔のさん孔機駆動 パルス によって クラッチマグネット を励磁 し、1 文字蓄積回路の記憶内容が並 列6単位信号として読み出されテープ にさん孔される・さん孔されたテープ はさん孔後ただちにフィードされて読 取り ピッ により,逆に装置に読込ま れ,蓄積回路の内容と各単位ごと照 合される. 誤さん孔のないときは, そのままつぎの文字について同様に 繰り返される. もし照合結果が一致 しない場合は,つぎに述べる誤字に よる再送動作に還元して ARQ 回線 を強制的な ブロック 状態とする. 休 止信号 Idle α , β , ベル 信号 Bell 1, 2 を受信した場合は, さん孔駆動パル

スを止めて,さん孔動作を停止させる.

一方誤字を受信すると自局の送信部に再送指令を送るとともに、 再送制御回路を起動して6文字周期の再送動作に入る.再送制御 回路は6文字計数器で構成され、誤字によっても、また Signal I₁ (Signal I₂ は含まれない)によっても始動する.すなわち受信部 では ARQ 動作に関して誤字と Signal I₁ を同一に取り扱われる.

図4.1に示すように再送動作に入ると、さん孔動作を6文字間 停止し、さきに誤って受信された文字を含め、再送される6文字 について正誤の判定を行ないながら、計数を進め、ちょうど誤っ た文字が再度受信される位置で再送動作が終了する. もし再び誤 って受信されれば、計数は連続して続けられ、正しく受信するま で継続する. 再送動作の完了の条件として、さきに誤った信号が 正しく受信されることはもちろんであるが、再送される6文字中 に必ず Signal I₁, I₂ の連続 パターンが受信される必要がある. I₁, I₂ のいずれか一方またはともに受信されぬ場合には、再度誤字 が受信されると同様、再送動作は継続される.

誤さん孔が検出されると, 誤字または Signal I₁ を受信した時 と同様に 6 文字計数回路を始動させる. 誤さん孔は手動訂正とし ているので, 訂正操作が終了するまで $j_{0,97}$ される.

5. 誤読取り, 誤さん孔訂正動作と ARQ 動作の関係

ARQ 動作は、伝送路の障害による誤りによって、対向両局が 閉 ループを形成して行なわれ、その時間関係は両局間の伝送時間 と従局の固定時間差のみを考慮すればよかった.ところが入出力 装置の誤り検出、訂正動作を ARQ 動作に結合する場合、対向両 局が特殊な時間位相で結合されているため、読取りさん孔訂正を



まったく独立に取り扱うことはできない. したがって ARQ 方式 ですでに規正されている時間関係をかく乱せず, しかも冗字, 脱 字などが生じないような タイムダイヤグラム を組む必要がある.

受信部における誤さん孔は、検出に要する時間遅れを無視すれ ば、伝送路で生ずる誤字と同一に扱うことができることに着目し, 誤りが検出されたら、それに続いて送られてくる文字が、正しく 受信されてもこれを誤字と判定させ、誤さん孔を誤符号検出に置 換すれば、ARQ 動作に結合させることができる. 図 5.1 にこの 関係を示す. A 局送信部から送られた文字 A, B, C, …… が, B 局受信部で順次さん孔され, 文字 D のさん孔終了後, 誤さん孔と なった場合を示す. D に続いて送られてきた E があたかも誤字 として受信されたと見なされ ARQ 動作に入る. このため ARQ 回線では Signal I1, I2 と E~H 4 文字の再送による ブロック 状態 となり、この間、B 局受信部ではさきに誤さん孔となった文字D の再さん孔操作を行なう. この場合、1 文字蓄積回路に文字 Dを 蓄積しておき、リセット信号を与えるまで保持させる。訂正指令に よって, さん孔 テープ には誤さん孔 D に続けて オールマーク (まつ 消)をさん孔し,これに続けて蓄積中の D を再さん孔する.1回 の訂正操作でなおかつ誤さん孔となれば、何回でも訂正操作はで きる.

一方, ARQ 回線では ブロック 状態を続けているが, 訂正操作が 完了して リセット 信号を与えると, ちょうど文字 E が誤字となっ て再送された位置で ARQ 動作を終了し, 訂正された文字 D に 続いて E, F, …… がさん孔されることになる. 以上の動作から 明らかなごとく, 誤さん孔によって ARQ 動作はまったく影響を 受けない.

送信部の誤読取りについては簡単に扱える. すなわち誤って読 み出された文字はいったん1文字蓄積回路に読込まれるが,ただ ちに送信機駆動 $_{\mu\lambda}$ の送出を停止し,蓄積文字を $_{Jtット}$ する とともに,この文字の代わりに Idle β をそう入するのである. したがって片回線のみ休止状態となるだけで,他方の回線にはな んら影響がなく,また1文字蓄積回路を付加することにより冗字, 脱字も生じない.

6. 主要回路の構成と動作

(1) 符号変換回路

6→8単位,8→6単位符号変換は以下に述べるごとき変換法則 にしたがって論理回路を組み立てた. 表6.1に示すごとく相方の 単位を4群に分けて対応させ,符号素子の変数を表のようにとる.

a. 第1群および第4群の変換は次式で示され、論理回路は単 に否定してやればよい.

$X = \overline{U}, \quad U = \overline{X}$

b. 第2群,第3群は**表6.1**(b)のごとき2種類の変換,Z 変換, \overline{Z} 変換を行ない,これらのいずれを選択するかはつぎの組み 合わせによる.

(a) 6 単位の第1群と第4群がともに0またはともに1でない場合.

1.6単位の第2群は第3群が00以外ならZ,00なら Z.

D. 6単位の第3群は第2群が00以外ならZ,00なら
 Z.

ハ. 第2群,第3群の00はそれぞれ101,010とする.
(b) 6単位の第2群は,第1群と第4群がともに0または1
パラメトロン式低速度 データ 伝送装置・大鳥羽・鈴木・江塚・竹内

表 6.1 符号変換群対応表

	第1群	第	2	群	第	3	群	第	4 ∄	岸
人的村	1	2		3	4		5		6	
U HA IL	x_1	x_2		Y2	x_3		¥3		x_4	
8 附 位	1	2	3	4	5	6	7		8	
4 12.	<i>u</i> 1	142	v_2	w_2	163	v_3	w_3		w4	

(a) 群の対応



(b) 2 詳 3 群の変換

表 6.2 符号変換論理回路の構成





の場合.

- イ.6単位の第2群は、第1群と第4群が00で、第3群 が00の場合と、第1群が11で、第3群が00以外 の場合 Z,それ以外の場合および第1群と第4群が11 で第3群が00の場合 Z.
- □. 6 単位の第3群は第1群と第4群が00で,第2群が
 00以外の場合および第1群,第4群が11で第2群が
 00の場合 Z. それ以外の場合 Z.

これらの組み合わせを次式に適用する.

 $U = X \cdot \overline{Y} \cdot \overline{Z} + \overline{X} \cdot Y \cdot Z + X \cdot Y \cdot Z + \overline{X} \cdot \overline{Y} \cdot Z$

 $V = X \cdot \overline{Y} \cdot Z + \overline{X} \cdot Y \cdot \overline{Z} + X \cdot Y \cdot Z + \overline{X} \cdot \overline{Y} \cdot Z$

 $W = X \cdot \overline{Y} \cdot Z + \overline{X} \cdot Y \cdot Z + X \cdot Y \cdot \overline{Z} + \overline{X} \cdot \overline{Y} \cdot Z$

以上のことから**表 6.2**(a) の論理回路が得られる. ただしつぎ の 6 とおりについては例外変換となる.

$1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \rightarrow 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0$

また変換は次式で示され表 6.2(b)の論理回路が得られる. X=U· \overline{V} ·W+U·V· \overline{W} + \overline{U} ·V·W+ \overline{U} · \overline{V} ·W=U· \overline{W} + \overline{U} ·W

 $Y = \overline{U} \cdot V \cdot \overline{W} + U \cdot V \cdot \overline{W} + \overline{U} \cdot \overline{V} \cdot W + U \cdot \overline{V} \cdot W = V \cdot \overline{W} + \overline{V} \cdot W$ 実際の変換回路は下記の例外回路を含むので、多少複雑になっている。

(2) AFC

ARQ 方式における同期方式は6単位符号に スタート, ストップ 極 性を付加したいわゆる調歩式でなく, 独立同期方式であるため, 装置には周波数確度の高い周波数源(パラメトロン の クロック 周波数) があり, 符号素子の位相を合せるため AFC が行われる.

基準周波数源として、8kc±1×10-5 以上の精度の水晶発振器 をもち、後述するように、これでパラメトロン 励振三相変調波を得 ている. この クロック 周波数を分周して駆動 パルス、サンプリングパルス としている. AFC ではこの サンプリングパルスと一定位相をなす位相 検出 パルス と受信信号の極性変換点との位相差を検出し、この検 出信号を積分して時間平均をとり、位相検出 パルス を制御する方 式をとっている.

図 6.1 に示すように、受信信号は微分回路でその変換点が取り 出され、比較回路で位相検出 パルス と比較される. 図に示すごと く、位相検出 パルスが"1"の状態にあるとき信号の変換点 パルス があれば自分の位相が進みであるという判定 パルス を出し、逆に "0"の状態にあるときこの パルス があると遅れであるという判定 パルス を出す. この遅れ、進み判定 パルス は可逆計数(2 進)によ る積分器で計数されるが、遅れの パルス は正方向に計数させ、進 みは逆方向に計数させる. 積分器の終段が正方向に計数して 1→ 0 に変わるときの ケタ 上げ パルス は自分の位相を進ませる パルス であり、逆方向のそれが 0→1 に変わるときの ケタ 上げ パルス は 遅相用の パルス である. これらの パルス で分周器の分周比を制御 させる.

つぎに受信信号があって正常な AFC 動作が行なわれていると き突然信号の中断があり, AFC が行なわれなくなった場合, どれ くらいの時間経過すれば信号素子との同期が保持されなくなるか



Fig. 6.1 AFC circuit.

は,重要な問題である、今受信信号の8単位符号素子長を τ_0 ,基準 周波数の中心値 f_0 ,およびその偏差を $2f_0$ とすれば、中断によっ て符号の半素子長だけ位相がずれる時間 t は次式で表わされる.

$t \doteq \tau_0/4 \cdot f_0/\Delta f_0$

これより、この装置が回線の中断があって後、AFC が動作して、 もとの同期位相に固定されない時間は約5分となる.

また AFC の応動速度は, 雑音による誤動作を起さない範囲で できるだけ早いほうが望ましいので, 受信信号の変換点数が平均 の場合(2個)で, 半素長の時間間隔を回復するに要する時間を約 7秒としている. 信号が パイァスヒズミをともなって不規則 ヒズミのな い場合は, この AFC が 2 値の制御系であるため安定点が 2 個 あることになるので, 進み遅れがないにかかわらず, 移相 パルス を出す恐れがあるから片側の変換点 パルス に限って使用している.

また受信信号に雑音があると,その変換点の微分 パルス が多数 個得られ,検出 パルス の"1"または"0"の1周期中に送られ ることにより,多数の進相,遅相 パルス を生ずる恐れがあるため 図のごとく比較回路に つリップフロップを付加して,移相 パルス が 1 周期中に 1 個だけしか出さないようにしてある.

(3) IPC

前項では AFC によって符号素子の同期維持を説明したが、こ れだけでは文字として正しく受信されるとは限らない. すなわち 文字として正しく受信されるためには $f+\lambda$ 位相を検出しなけ ればならない. $f+\lambda$ 位相は一度合致させれば、あとは AFC に よって維持されるが、長時間にわたる回線中断などが生ずると A FC が行なわれなくなり、 $f+\lambda$ 位相もずれてしまう. かような $f+\lambda$ の位相同期操作を IPC と呼ぶ.

IPC 操作を行なう場合,最も重要なことは同期の確認である.

独立同期方式では受信する文字に切れ目がなく、したがって位 相がずれているときは受信信号は誤字検出の基準(4マーク、4スペ ース)に無関係に、誤符号(Mutilation)とも正しい符号(Correct) ともなりうる。そしてその状態は文字の組み合わせと取り出す位 相によって異なってくる。しかし普通は種々の文字が順次送られ ているから、位相はずれとなる過程で誤字となる確率が増す。い ったん Mutilation が受信されると前述の再送動作が行なわれる が、再送される6文字中には Signal I₁, Signal I₂ が含まれるの で必ず 1 個以上の Mutlation が検出され、再送動作の連続とな る。同期のとれた状態ではもちろんすべての文字は Correct とな り、回線障害のあった時のみ、Mutilation となる。すなわち同 期の状態は再送される6文字中に、Signal I₁, I₂の連続受信があ り、しかもこれに続く最後の文字が Correct であることをもっ て判定するのである。

再送符号として I_1, I_2 の 2 文字を採用するのは、ある特定の文 字の組み合わせによっては、再送文字中に、"にせの再送符号" が受信され、しかも最後の文字が Correct となる確率が、単一 $f+ * \mathbb{U}$ では非常に大きいからである。たとえば再送符号として Sig I_1 のみとした場合、図 6.2 に示すごとく、再送される 5 文 字の中、Sig I_1 に先行する文字は Mutilation となるが、 I_1 に続 く 2 文字はいずれも Correct となり、同期位相にないにもかか わらず同期と誤判定する. I_1, I_2 の連続 2 文字を再送符号とする のは、このような"にせの同期状態"を完全に除去しうるからで あり、雑音による誤判定以外はまったくなく、同期の確認にはき わめて有効な手段となる.

つぎに重要なことは、位相はずれ検出である.前述したように、 一般に位相はずれによって受信される Mutilation の確率が増す



が、回線状態が悪化したときも Mutilation は増加する. このよ うな場合に位相はずれによる Mutilation か、回線障害による Mutilation かの区別をつけにくい. そこで Mutilation による再 送文字に注目してつぎのごとき方法が採られる.

まず送受信間の位相がはずれる過程で Mutilation が生ずると、 6 文字周期の再送を開始する. この場合、6 文字の周期の時間で みると、この周期中に含まれる $\neg - 2$ 数は一定なはずである. す なわち、6 文字周期で Signal I₁, I₂ と蓄積中の 4 文字が繰り返し 送信されるのであるから、いかなる時間で6 文字をとっても $\neg - 2$ 数は一定となる. つぎに位相の合致しているとき 雑音で Mutilation が生ずる場合は、6 文字間で $\neg - 2$ 数は変化する.

したがって位相はずれ判定条件として、6 文字間に Mutilation が検出されて、しかも マーク 数が一定であることをもって行なえ ば、雑音による誤判定が少なくなる。このような思想で構成され た IPC 回路を図 6.3 に示す.実際には雑音による誤判定を軽減 するために上記の判定条件に、さらに 4 回連続することを付加し ている.すなわち再送される 6 文字中に Mutilation が検出され、 マーク 数が一定であることが連続して 4 回続くと、初めて位相は ずれと判定するのである。この判定結果は フリップロップ に蓄積さ れ、1 再送ごとに受信位相を 8 単位素子長だけ遅らせて移相操作 が行なわれる。

移相の結果,同期位相にはいると全文字 Correct になるととも に,再送される 6 文字間に必ず Signal I₁, I₂ の連続 R_{P-2} を受 信するから,これによって移相操作を終了させる.この位相はず れ検出方式による判定時間は 3.8 秒であり,判定後最も条件の悪 い位相から同期位相まで移相するに要する時間は 6.3 秒である.

つぎにこの位相はずれ検出方式が雑音によってどのくらいの確率で誤動作するかを求めてみる. 今符号素子の誤まる 確率を P_e とし,その誤りは不規則で発生するとすれば,誤符号の受信される 確率 P_d は

$$P_d = 1 - \sum_{r=0}^{4} ({}_4C_r)^2 \cdot P_e^{2r} (1 - P_e)^{8 - 2r}$$

となり、r=0に対する Σ は全素子に誤りのない確率を、r=1~4 は q-2/3ペース の同数転位による誤りを表わす.6 文字周期中に誤符号を受信し、このようなことが4回続く確率 P_{6M} は

$$P_{6M} = \{1 - (1 - P_d)^6\}^4$$

で表わされる.また6 文字間の符号素子数を N とし、そのとき パラメトロン 式低速度 データ 伝送装置・大鳥羽・鈴木・江塚・竹内 受信される マーク 数を確率変数と すれば,その 分布関数は近以的に がな 分布で与えられ,そ の分散 o² は次式で示される.

$$\sigma^2 = NP_e(1 - P_e)$$

このときある マーク数 n が受信される確率は 誤差関数を $(n \pm 0.5)/\sigma$ の範囲積分することに より得られる・

つぎに 6 文字間の マーク 数が規定値であって そのようなことが 4 回連続する離率を P_{4r} とす れば,この検出回路が誤って位相はずれと判定 する確率 P は

 $P = P_{6M} \cdot P_{4r}$

で示される. これらを計算した結果 P_e が 3% ぐらいのときが最も誤動作の確率が高く $P=5 \times 10^{-3}$ である.

7. パラメトロン励振系

この装置の主要論理動作は パラメトロン (PM-5H) により行なわれる.使用素子数は 1,275 個,励振周波数 2.3 Mc, クロック 周波数 8kc である. 1,275 個の パラメトロン は 3 相に分けられ,各相約 25 W の励振電力により駆動される.図7.1 にこの装置励振系の ブロック 線図を示す.

(1) 3 相励振電源

励振電源は大別して 2.3 Mc (2*f*) 発振器, クロック 周波発振器, 3 相変調波発生回路および変調電力増幅回路から成る. 2*f* 発振 器は 6005 による カソード、グリッド + 還の水晶発振器で、その出 力は定数 パラメトロン および 3 相変調増幅器励振入力となる. 出力 は約 4W で A 級動作である.

 $9 \square 9 \square 9 \square 7$ 周波発振器は 8kc 恒温 9 2 9入り水晶発振子を用い双 3 極管 5751-1/2 で構成している. 5751 後半で制限増幅し,共振 回路で出力波形を整形し,次段の移相器の誤差を軽減する. この 発振周波数精度は電源電圧 $\pm 10\%$ 変動に対し 1×10^{-5} 以内に保 たれている. 8kc 正弦波は CR 移相器により 3 相 (各相 120°の 位相差) に分けられ, 12BH7A による トリガ 回路で入力電圧の ゼ ロレベル で スライス して方形波とし,変調電力増幅器に加え, 2f 励 振入力を スイッチ する. この出力は,負荷電流の変動で スライスレベ ル,出力電圧が変化しないよう カソード からとっている.

変調電力増幅器は各相とも 6005 の 4 本による並列 ラッシラル で 構成している.1 相分の パラメトロン 425 素子を励振するため ピーク 電力最大 30 W の出力が得られる ラリッド 変調 C 級増幅器であ る. 並列 ラッシラル 方式を用いることにより,稼働中にも真空管の 交換が可能であり,交換のため運転を中止する必要がない.

(2) 励振整合回路と常数 パラメトロン

1 相あたり 425 素子の パラメトロン を 2f 変調液で励振するが, これをさらに3回路に分離して励振するため 25 素子分の ダミーロー ドを付加し,実質的負荷として1回路 150 素子をおのおの整合 ト ランス を介して直列に接続される. さらにこれらと直列な補助 イン ダグタンス と同調 コンデンサ により 75Ω 同軸 ケーブル に整合されて いる. 1 ブランチ 150 素子の最初と最後の パラメトロン の励振電流の 振幅差は 7% 前後で,位相差は約 3° である. また最初の パラメ トロン では最大振幅の励振電圧が加わり 170 V P-P 程度である.

パラメトロンバイアス (Inc) は整合 トランス 二次側で 3 相の各 ブランチ とも直列に給電される. また クロック 周波成分が励振線と結合し





Fig. 7.2 Input converter.





逆起電力が発生するのでこれを防止するため チョークコイル がそう 入してあり, さらに各励振線に不平衡電流が流れるのを防ぐ接地 コンデンサ を入れてある・

パラメトロン 発振位相の基準となる常数 パラメトロンは、論理回路用のパラメトロンで作ってもよいが、多数個のパラメトロンとつぎに述べる入出力変換器にも供給する必要から、大出力の常数用パラメトロンを1個備え、これを無変調の2f励振波で励振し、その出力を

している. 励振電流は IDC に対 して論理用 パラメトロン を逆相に し,発振位相を 90 度づらせて リアクタンス 結合による位相差を 打消している. リアクタンス 結合 によれば常数 パラメトロン の出力 が大幅に軽減される利点がある. この発振電圧は論理用パラメトロン の発振電圧の約7倍で出力約 1 W である.

全 パラメトロン に リアクタンス 結合

(3) 入出力変換器

パラメトロン の位相信号を電圧 の ON-OFF 信号に変換する出 力変換器および逆の変換を行な う入力変換器がある. これを図 7.2 図7.3 に示す. 出力変換器 では, 出力 パラメトロン が "0"の とき二次側に加えられた常数 パ ラメトロン と逆位相になるため, その発振電圧は打消されて べ-ス 電流は流れない.一方"1" のときは、出力に常数が重畳さ れ ダイオード を通して ベース 電流 が流れ, トランジスタ が導通する. パラメトロン の発振周波数は トラン ジスタのシャ 断周波数を低くと ることにより出力側に現われな い. すなわち トランジスタは クロッ っ周波数 (8kc) で ON-OFF し、これを CR ロハ 器で平滑し て直流出力を得ることができる.

出力は"0"のとき 0~2 V, "1"のとき 8~12 V, 負荷電流 10 mA である.

入力変換器は、入力信号が"1"(+50 V)のとき ベース 電流が 流れ、エミッターコレクタ 間の インピーダンス が低下して線輪 (jzx) の 両端が短絡される. このとき入力 パラメトロン は常数 パラメトロン と 同位相で発振("1")する. 入力が"0"のとき エミッターコレクタ 間は開放状態のため線輪 (jzx) と コンデンサ (-jx)によって入力 パラメトロン は常数 パラメトロン と逆位相("0")で発振することにな る.

8. 装置の構成と仕様

装置の外観を図3.1に示す.内部に送受信パラメトロン盤、電源盤I、電源盤I、エキサイタ盤I、エキサイタ盤I、ジャック盤、リレー盤、警報器盤が収容され、前面にコントロール盤が装着されている. 入出力装置は端局とは別個に据え付けられ、その接続は後部の接 セン(栓)群により行なわれる.

- (1) 主要各盤の機能
- (a) コントロール 盤

日常操作に必要な表示灯,入出力装置制御電 ケン(鍵)テープ 誤 読み取り, 誤さん孔訂正操作電 ケン,相互連絡用操作電 ケン,およ び装置の動作状態を指示する機能をもつ. (b) ジャック 盤

日常操作に必要ないが,装置試験に必要な ドット 信号送出制御 電 ケッ, ARQ 動作制御電ケッおよび入出力接続 ジャック 群から成 る.

(c) リレー 盤

8 単位出力信号 (複流 ±20 mA),入出力装置駆動 パルス (80 mA),受信出力信号 (80 mA) 電流増幅の トランジスタリレー および 受信入力信号波形整形回路から構成される.線路送出電流は線路 抵抗 1.7 ka まで調整可能である.

(d) 電源盤 I および Ⅱ

電源盤 I は入出力装置関係の給電を担当し, ±50 V 定電圧電 源を内蔵して線路送出電流を規定値に保つ.

電源盤 II はその他の装置全電力を供給する. パラメトロン 直流 パ イアス 用定電流電源が含まれる.

(e) パラメトロン 盤

送受信部 パラメトロン 論理回路,入出力変換器,常数分配回路などを収容し,この装置の主要部となる.

(f) エキサイタ I,および Ⅱ

パラメトロン 励振電源および励振整合回路を収容し,論理回路の駆動源となる. また パラメトロンモニタ,励振電流,位相差測定回路がある.

(g) 警報器盤

誤読み取り, 誤さん孔警報 ブザー および相互連絡用 ベル を収容 する.

(2) 入出力装置

この装置に付属して使用される入出力装置は,新興製 SL-4-2 形 テープ読取りさん孔機である.入力および出力機器が同一基台 に取り付けられ,ACシンクロナスモータ、テープ読取りユニット、テープさん 孔読取りユニット、ならびにテープ巻取りユニットから構成されている.

テープ読取り ユニット は第1読取部,第2読取部から成り,第1読 取部において送信 テープの符号を読取り,引き続きこの符号を第2 読取部において読取った後その符号を6線接点で表示し,同時に UT コンタクトを閉じ,装置からの読み出し パルス で照合回路へ読 み込まれる.

テージさん孔読取り ユニットは、6 線 セレクタユニット、さん孔部、テー ジ 読取部から成り、装置からの駆動 パルス により 6 線 セレクタマグ ネット に表示された符号をさん孔し、これと隣接して置かれた テ ージ 読取部によりさん孔符号をただちに読取り、同時に IC コンタ クトを閉じ,装置からの読み出しパルスで照合回路へ読み込まれる。 (3) 仕様

この装置のおもな仕様を表8.1に示す.

表 8.1 おもな仕様

通信速度	50 ボー 単位素子長 20 ms
6 単位 側 入 力	同時継続式6単位印刷電信符号
伝送路個入出力 (a) 送信部出力 (b) 受信部入力	±20 mA の複流 (線路抵抗 1.7 kΩ まで可) ±20 mA の複流または +20 mA の単流
伝送路における符号	4 マーク, 4 スペースの 8 単位符号
送出符号ヒズミ	±5% 以下
許容受信符号ヒズミ	±40%(±25% 以上でアラーム表示)
 文字の誤り訂正に 要する時間 	960 ms
誤字町正可能な最大 片道伝送時間	152.5 ms
消費 電力	約 300 VA AC 200 V/100 V 単相 50/60 c/s
外形寸法	幅 1,060 奥行 450 高さ 1,600
重 量	約 250 kg
周囲条件	温度 0~40°C 湿度 40~85%

9. む す び

以上この装置の概要を説明したが,現在この装置は実回線(東京 -門司間) にそう入稼働中であり,運用 データの収集が続けられて いる. これら データの検討によってさらに改良点が指摘されると 思われるが,操作の簡便化と小形化については早急に解決されね ばならない. また最も問題の多かった入出力装置の二重読取機構 は今後に残された課題であろう. データ伝送も次第に高速化され るに従い,入出力機器,変復調方式等問題点も多くなるが,この装 置の実用化を足掛かりとりして,さらに高速度のデータ伝送装置 開発に意を注ぎたい. 終りにこの装置の運用試験を快諾された小 野田 セメント 関係各位に感謝の意を表する.

(昭 38-1-12 受付)

参考文献

竹内,熊谷,馬場,大鳥羽ほか: TZ-2 形電子管式自動誤
 字訂正時分割多重電信装置,「三菱電機」32, No.7 (昭 33)

(2) 国際電々研究所編, パラメトロン を用いた ARQ 端局装置, 研究資料 第 192 号(昭 35)

UDC 538.23; 621.318.1

ケイ素鋼板の交流磁化特性とウズ電流異常

野口英男*·土屋英司*

AC Magnetizing Characteristics and Eddy-Current Anomaly of Electrical Sheet Steets

Research Laboratory Hideo NOGUCHI • Hideshi TSUCHIYA

Of silicon steel plates on the market were selected ten kinds so as to give precise measurement with power ranging from DC to 1,000 cycles AC on magnetizing characteristics and iron losses, anomalous phenomena being studied based on the results. Abnomaly of AC hysteresis loops were found to appear remarkably in materials of large eddy current while anomaly factors of iron losses were observed small beyond expectation because of relatively small magnetic domains of samples, being such as to the extent of 1~1.5. However, the anomaly factor of eddy current loss was discovered getting larger as the thickness became less and the resistivity became higher of the material. Above 400 cycles, it increases nearly in proportion to $\rho \cdot b/t^3$ (where ρ : resistivety, b: width of magnetic domain, t: thickness of plate); at 60 cycles it is affected by other factors than those mentioned above such as crystal orientation and others.

1. まえがき

ケイ 素鋼板を高周波発電機,高速度電動機や磁気増幅器などの 鉄心として,可聴周波数域で使用することが,近年になってます ます増大してきた.ケイ 素鋼板をその飽和磁化が大きいという特 長を生かして,可聴周波数領域において高磁束密度で用いる時に は、ウズ 電流の挙動が非常に優越し,磁化特性,鉄損などに異常 な現象の起こることが知られている.

この内,鉄損の異常については古くから多くの研究がなされて おり,磁化力が正弦波の場合には,磁化曲線を理想的な方形と仮 定し Maxwell の方程式から導いた ウス電流損の理論式が,かな り広範囲にわたって実験値と非常によく一致することを報告され ている⁽¹⁾.しかし磁束が正弦波の場合における ウズ電流損を十分 な精度で計算する式はまだ解析的にも実験的にも求められていな い.

一方,磁化曲線の異常については,磁化反転の機構を種々な角度から探究した報告はかなり見うけられるが,実用材料について その形を実測し検討したものはごくわずかである.

前述の機器においては、鉄心中の磁束を正弦波として使用する ことが多く、その条件における実際の磁気特性を知ることは機器 の設計、製作上ぜひ必要なことと考えられる.

そこで現在市販されている ケイ素鋼板のうち代表的なものを選び,磁化特性および鉄損を,ほぼ磁束正弦波条件のもとで精密測 定するとともに,その結果について異常現象の検討を行なった.

2. 異常交流特性の概説

磁気材料を交流で励磁した場合には、いろいろな異常現象(古 典的な意味での)を生ずることが知られているが、ここでは可聴 周波数以下の比較的低い周波数領域で観測される鉄損と ヒステリシ スループにおける異常現象について概説する.

2.1 鉄 損

鉄損の異常は一般に ウズ 電流異常といわれ, 直流で測定した ヒ ステリシスループの面積から求めた ヒステリシス 損に, 材料が均質であ

ないところに原因がある. まず簡単な模型⁽²⁾によって上記両者の差異を求める. 今図 2.1 (a) に示したような半径 r₀ の円柱を考え, これを長軸に沿って 一様な速度で磁化したときの単位体積あたりの電力損失は式(2. 1) のようになる.

ると仮定して導かれたウズ電流損を加えた値が交流で実測した鉄

損と異なった値を示し,後者が前者より大きくなる現象をいう. これは前記 ウズ 電流損が材料を均質と考えて導かれているのに対

し、実際の材料が磁区構造をもち、均質であるとの仮定が成立し

$$P = \frac{1}{\pi r_0^3} \int_0^{r_0} 2\pi E(r) \cdot i(r) \cdot r \cdot dr$$

= $\frac{1}{2\rho r_0^2} \left(\frac{dI}{dt} \right)^2 \int_0^{r_0} r^3 \cdot dr = \frac{r_0^2}{8\rho} \left(\frac{dI}{dt} \right)^2 \dots (2.1)$
ここで ρ : 円柱の固有抵抗
 r_0 : 円柱の半径
 I : 磁化の大きさ

E: 磁化の変化により生じた電界

しかし実際の磁性体においては、多くの場合磁壁移動によって 磁化変化が生ずる.そこで図2.1(b)のように円柱が半径 R の円 筒状の磁壁で二つの磁区に分けられているものと考えて、同様な



(b)磁壁移動

図 2.1

円柱の ウズ 電流

Fig. 2.1

Eddy current in

column.

ŻR

دا ج

図 (b) の場合はこのように磁壁の 位置 R によって P は異なるが,こ れを平均すると

計算を行なうと、単位体積あたりの

 $P = \frac{r_0^2}{2\rho} \log\left(\frac{r_0}{R}\right) \left(\frac{dI}{dt}\right)^2 \cdots (2.2)$

電力損失はつぎのようになる.

$$\overline{\log\left(\frac{r_0}{R}\right)} = \frac{1}{r_0} \int_0^{r_0} \log\left(\frac{r_0}{R}\right) dR = 1$$

.....(2.3)

となるので、結局単位体積あたりの 電力損失の平均は次のようになる.

 $\overline{P} = \frac{r_0^2}{2\rho} \left(\frac{dI}{dt}\right)^2 \dots (2.4)$

これを図(a)について求めた式(2.1)と比較すると、実に4倍 も大きな損失となることがわかる.

このように鉄損の異常は、材料が磁区構造をもち、磁気的に不 均質なために生ずることが明らかとなり、その構造がわかればウ え電流損は正確に計算できる。しかし実用材料は多くの磁壁をも っており,その形、間隔、分布、さらに印加磁界の速さによって はその変化状態も異なるので、個々の材料についての ウス電流損 を正確に計算することはきわめてめんどうである.

次に実用材料について実験から求められた鉄損異常の傾向を述 ~ 3.

Aspden はおもに ケイ素鋼のウズ電流異常に関して一連の論文 を発表している(3)~(5). それらを要約すると次のようになる.

すなわち、古典理論では、磁気的に均質であると仮定している ので,異常が生ずるのは ヒステリシスルーラ の非直線性に由来する磁 束波形の ヒズミ が原因であるとされた. しかし磁区構造を考える ことによって大きな異常係数の説明が可能になり、また磁化過程 における磁東変化の時間遅れの影響もこれにあずかっていること が示された.

そして,板厚が薄く,固有抵抗の大きな鋼板は一般に大きな異 常係数をもち、この場合は磁気的に不均質であることが主要因で ある. すなわち薄板では表面と内部における磁束の振幅差および 位相差は小さく, 磁束波形の ヒズミ が損失の増加に及ぼす影響は 小さい、また方向性材料のように高特性の鋼板では、EZテリシスル -ブ のある範囲で非常に高い微分透磁率を有するので、もし鋼板 が磁気的に均質ならばかなり大きな磁束波形 ヒズミ が生じるが, 不均質ならばこの ヒズミ はそれほど問題にならない、さらに波形 ヒズミを減ずるもう一つの原因は時間遅れの影響で、これは周波数 の増加につれて ヒステリシスループを ダ円状にし高調波を減少させる.

また板厚が厚く,固有抵抗の小さい鋼板は一般に異常係数は小 さい. これは板厚が厚くなるほど磁区が板厚に比べて小さくなる ので磁気的に均質となるためであり、この場合は磁束波形の ヒズ この影響が重要となる.

なお Rusbiildt も ケイ 素鋼板の ウス 電流異常についての研究 を発表し(6)、広い磁東密度範囲にわたって種々検討を行なった結 果,50 c/s 以上の周波数において、とくに方向性鋼板が高磁東密 度で大きな異常係数をもつことを示した.

2.2 磁化特性

強磁性体の磁化特性曲線は一般に初透磁率範囲,不連続磁化範 曲,回転磁化範囲および飽和漸近範囲にわけて考えられ、それぞ れの範囲がいかなる機構によるかは各種類の材料についてよく研 究され明らかにされている.

磁化特性曲線の異常というと、たとえば表面酸化した C。粒子 の磁化曲線が低温において正負の方向に非対称になる現象やの。 近年発達のめざましい強磁性薄膜に見られる非常に珍しい磁化曲 線(8)(9)などがある.

しかし、ここでははん用材料において微分透磁率 dB/dH がト ステリシスレープのある部分で負になる現象のみを採りあげる. この 現象は, ループの上昇側(第1,3象限)および下降側(第2,4 象限)の両方にも生ずる可能性がある.

まず直流励磁の場合、普通の方法ではこうした負の微分透磁率 は測定不可能で、磁束の変化率を一定に押えるように2次側から 励磁側(1次側)に フィードパック 回路を作る必要があり、こうし た例には古くは Stewart⁽¹⁰⁾ の実験, 最近では Barker⁽¹¹⁾⁽¹²⁾らの

ケイ素鋼板の交流磁化特性と ウズ電流異常・野口・土屋

実験がある、

その結果によると、ループの下降側において微分透磁率が負にな ることが示され、その原因を次のように説明している、磁東の反 転を生じさせるべき逆磁化の芽の生成には保磁力よりも大きいエ ネルギを必要とする場合があり(逆磁化の芽を生ずる核となる粒状 インクルージョン、層状析出物、結晶粒界などが少ない完全結晶や、高 緯度の角形 Fステリシス 材料などにおいて)、これらでは、一度磁化 の逆転がおこると、あとは励磁側の エネル手 がもっと小さくなっ ても磁束の反転が続行する.

こうした磁化反転機構に関する報告はかなり見受けられ(13)(14), それぞれいろいろな角度から研究されている.

次に交流励磁で、表皮効果があまり問題とならない程度の周波 数の場合,前記と同じく ループの下降側において負の微分透磁率。 が観測され、古くは Lord(15)、すこし遅れて Both(16)が各種の材 料について測定例をあげている. これは前の直流の場合とまった く同じ理由によるものである.

ここで注目されるのは、環状鉄心において外径/内径比が大き くなると、この異常現象がおこりやすいことである(17). この場合 は鉄心の外側と内側とで磁化力の分布が異なり、鉄心全体の磁束 を反転させるには相当な過剰磁化力を必要とし, 前述した磁化反 転機構の特長が助長されると考えてよい. こうした鉄心の位置に よる磁化力および、磁東分布の状態についての研究もしばしば報 告されている.

また交流励磁の場合, ルーラの上昇側における異常も Lord(15) の報告にみられる. これは ウズ 電流分磁化力が磁束に対してほぼ 90 度進んでいるため、ウズ電流分磁化力の割合が大きい材料に見 られる現象と解釈できる。

3. 実験用試料と測定法

実験に用いた試料は、現在わが国で市販されているケイ素鋼板 の内代表的なもの 10 種類である。その試料の内訳を実測板厚さ および実測固有抵抗値とともに表 3.1 に示した.

3.1 磁気特性の測定

上記試料を,800°C で 2 時間水素気流中で ヒズミ 取り焼鈍し, 25 cm エウスタイン 試験 ワク にそう入して, 次の (1), (2) に示す 磁気特性の測定に用いた.

この際磁化力の計算に用いる実効磁路長および鉄損計算に用い る実効重量は、試料の透磁率や測定周波数によって変更するのが 望ましいのであるが(10),今回の実験においてはこの点に対する考 慮をはらわず,磁路長はすべて 88 cm とした. このための誤差 によって,得られた特性は試料の真の特性から多少はずれるが, その周波数特性を論ずる場合の相互間の誤差は問題とするほどで はたいと考える、

	表 3.	1 試料(の内訳	
Ĩ	板學	重量	固有抵抗 (μΩ-cm)	-

研知	試料記分	(mm)	(g)	(μΩ-cm) at 19.5°C	偭	卷
穒	S 23F S 09F	0.33 0.35	731.8 741.8	25.7 59.4	各戦	圧 熱 延 間
方向性	S 23 S 18 S 12	0.45 0.51 0.34	698.5 789.1 793.8	34.5 36.5 45.6	ずつ横目	符
1	G 12 G 10	0.32 0.33	745.8 753.5	46.3 45.8	縦	間
万向性	A [*] A社製 B B社製 C C社製	0.10 0.095 0.10	731.8 743.5 766.8	45.9 50.0 45.5	日のみ	延

注 1. * 印は方向性が不十分なもの 2 磁気特性測定用で幅 30 mm×長さ 280 mm に切断してある。







G: 正弦波発電機, W: 光示式低力率電力計, S: 試料. I: 積分器, E_f: 磁東電圧計 ($Z_{t=1}$ M Ω) E_p: 波高値電圧計 ($Z_{t=1}$ M Ω) AC. V. T.: 交流電圧トレーナ, P. S.: 移相器, R: X-Y レコーダ

図 3.2 交流磁気特性測定回路 Fig. 3.2 Connection diagram of AC magnetic properties.

(1) 直流磁化特性

無方向性材料については、最大磁化力が 25 Oo における ヒステ リシスループ を、また方向性の材料については、同じく 10 Oo にお ける特性を、直流記録磁束計を用いて測定した・

この際読取り精度を向上させるため X-Y 記録計上の フルスケー u (それぞれ ±12.5 cm) が X 軸ではそれぞれ前記の最大磁化力 になるようにし、Y 軸では SO9F に対しては 16 kG, その他の 無方向性材料に対しては 18 kG に、また方向性材料に対しては 20 kG になるようにした、測定回路を図 3.1 に示した.

(2) 交流磁化特性および鉄損

周波数 60,400 および 1,000 c/s における ヒステリシスルーラ を直 流と同じ最大磁化力について,Kittl 形の交流記録磁束計⁽²⁰⁾を用 いて測定した.

この際無方向性材料については 25 O_e, 方向性材料については 10 O_e の _{ヒステリシスル}ープ 測定時に, 光示式低力率電流力計形電力 計を接続して, JIS C-2550 の 25 cm ェウスタイン 試験法に準じて, 各周波数における鉄損を同時に測定した.

測定回路を図 3.2 に示したが、この際も交流記録磁束計の精度 向上のため記録計上のフルスケールは直流測定の場合と同じになるよ うにした.

3.2 電源と波形

今回の実験においては 60 c/s と 400~1,000 c/s 用の2台の正 弦波発電機を電源として用いた.

周知のように交流磁気特性の測定時に、磁束波形中に高調波を 含んでいると、ウズ電流損が増加するので、この波形 ヒズミの程 度を測定 f-g 中に表示する必要があるが、ここでは試験器の二 次誘起電圧を波高値指示電圧計の読み E_p の $1/\sqrt{2}$ (正弦波であ れば実効値になる)と磁束電圧計(平均値指示形で目盛を 1.11 倍 したもので正弦波であれば実効値になる)の読み E_f との比を用 いた.

Both⁽¹⁶⁾ はこの両電圧の比に基本周波数を乗じたものを「等価 26 (758) 周波数」と呼び,特性を論ずる場合の参考にしている.

なお、ここで高精度の得られる実効値電圧計を用いないで、精 度のやや劣る波高値電圧計で E_p を求め、その $1/\sqrt{2}$ の値を用 いた理由は、試料内の ウズ電流が磁束の変化速度に左右されるか ら、その波高値を知る必要があるためである.

3.3 ループ面積の測定

記録磁束計による測定結果を トレーシングペーパ 上に複写し,それ を切抜いた紙の重量を測定し,次式によって ヒステリシスループ の面 積 *A* を求めた.

この際 ループ 複写時,切抜時および重量測定時にそれぞれ誤差 の入ることが考えられるが,これらを総合して1% 程度の誤差に 納まることを確かめた.

$$A = \frac{10 M}{m} \quad (\rm cm^2)$$

ここで M: 切抜いた ヒステリシスループ の重量(g)
 m: 切抜いた 10 cm² の紙の重量(g)

なお一般に プラニメータ が面積の測定によく用いられているが, これは複雑な形のものの追跡にはいくぶん技術を要し,再現性が あまり良くないので今回は使用しなかった.

3.4 磁区幅

磁気測定に用いた試料と同時に ヒズミ 取り焼鈍した試料からとった約 10×15 mm の試片を フェノールレジン 積層板にはりつけて研 摩し,粉末図形法によってその磁区幅を観測した.

4. 測定結果

4.1 磁化特性

前記 3.1 節に述べた方法によって測定した,直流および交流 ヒ ステリシスルーラ をまとめて図 4.1 および 図 4.2 に示した. ただし 試料 S 23 と S 18 については,温度上昇が大きかったので 1,000 c/s での測定を中止した. この図から,直流および 60 c/s では明 確でないが,400 c/s 以上の ヒステリシスルーラ には 2.2 節で述べた 異常が明らかに認められる. なお,これら ヒステリシスルーラ の形に ついては,この測定時に ブラウン 管を用いた交流磁気特性直視装 置⁽²¹⁾を併用して,ほとんど同一の形が示されることを確認した.

表 4.1 はこれらの $L_{Z=J=J=\lambda L-J}$ (縮尺前)から注意して読み とった B_m , B_r ,および H_c の値を示す. これらを周波数を横軸 にとって $J_{J=J}$ に書けば図 4.3~4.5 のようになる. すなわち B_m は測定周波数の上昇につれて、ごくわずか低下する傾向もみられ るが、ほとんど変化しない. また B_r と H_c は測定周波数の上昇 とともに明らかに増加するが、試料の厚さ、固有抵抗、および直 流での特性値などによって増加の傾向が異なることがわかる.

また表 4.1 の右側に測定時の磁束波形のヒズミの程度を知るため $(E_p/\sqrt{2})/E_f$ の値を併示した. この値からみて,励磁電流の小さい方向性材料の場合にはほとんど磁束正弦波条件が満されていると考えられる.また励磁電流の大きい無方向性材料の場合,400 c/s および 1,000 c/s で多少大きい値を示したものもあるが,これは、このような回路での磁気測定における二次電圧を正弦波ならしめるための条件式⁽²¹⁾からみて疑問があり,波高値電圧計の誤差によるものと推定され、この場合も磁束正弦波条件がほぼ満されていると考えられる.

4.2 鉄 損

上記 ヒステリシスループ から求めた鉄損および光示式電力計をそう 入して同時に直読した鉄損とを表 4.2 に示した. この表中 W_h ,









図 4.4 残留磁束密度の周波数特性 Fig. 4.4 Residual induction vs frequency curves.



- f: 周波数 (c,s)
- d: 試料の密度 (g/cm³)
- *t*: 試料の厚さ (cm)
- B_m: 直流 ヒステリシスループ の最大磁東密度(G)
- ρ: 試料の固有抵抗 (Ω-cm)

また W₄ は交流記録磁束計によって, 各周波数ごとに測定した _{ヒステリシスル}-- プの面積 A' を式 (4.4) に入れて計算した値である.

$$W_{A} = \frac{K'A'}{4\pi} \times \frac{f}{d} \times 10^{-8} \text{ (W/kg)} \dots (4.4)$$

- ここで K': 各周波数での ヒステリシスループ の単位面積 あたりの B と H の積 (G-O_e)
 - A': 各周波数での ヒステリシスループ の面積(cm²)

麦 4.1 磁化特性測定結果

	and the second se			~~~~												
			B_{π}	. (k	G)		Br	(kG)		H_{c}	(Oe)	E_{p}	V 2'/.	Eſ
科記代	数 (c/s) (O=)	DC	60	400	1,000	DC	60	400	1,000	DC	60	400	1,000	60	400	r,000
S 23F		153	15.5	15.4	15.3	13.6	14.2	14.5	14.7	0.73	0.97	2.95	5.25	1.05	1.07	1.08
S 09F		14.3	14.5	14.5	14.5	7.7	9.0	11.9	13.4	0.46	0,50	1.70	2.82	1.05	1.08	1.08
S 23	25	16.2	16.4	16.3		14.0	14.6	15.5		0.75	1.10	4.30	-	1.03	1.06	-
S 18		15.4	15.6	15.4	-	13.1	13.2	14.1		0.70	1,15	4.85		1.02	1.04	-
S 12		14.9	15.1	15.0	14.9	9.0	10.0	13.7	14.1	0.48	0.55	2.00	3.65	1.03	1.07	1.08
G 12		18.1	18.3	18.2	18.1	15.2	16.8	17.2	17.4	0.11	0.42	1.50	3.53	1.00	1.01	1.01
G 10		17.8	18.0	18.0	17.9	15.3	16.5	17.1	17.2	0.09	0.41	1.65	3.67	1.00	1.01	1.01
A	10	15.9	16.0	16.1	16.0	14.5	14.5	15,2	15.6	0.75	0.90	1.06	1.18	1.00	1.02	1.03
В		16.3	16.4	16.5	16.5	14.4	14.5	15.0	15.5	0.40	0.57	0.77	0.98	1.01	1.02	1.03
Ċ		164	16.7	16.6	16.4	14.6	15.0	15.3	15.7	0.32	0.44	0.69	0.86	1.00	1.01	1.03

注 (1) 記号 S 23F~G 10 は JIS 制定記号, A~C は仮記号である.

B_m: 各最大磁化力における最高磁束密度

Br, Hc: 各最大磁化力から波磁した時の残留磁東密度,保磁力

 $E_p/\sqrt{2}/E_f$: 2 次電圧の波形ヒズミの程度を示す値

(2) Skin depth の試算 $\mu = 10^3$ $\rho = 30 \mu\Omega - cm$ とすれば

f=400 c/s で s. d.=0.436 mm f=1,000 c/s で s. d.=0.276 mm

,....

表	4,2	鉄損測定結果
表	4, Z	鉄頂側正結朱

					鉄							kg)				
现 _定 武 国	ヒス	テリ: 損 *	シス	ウズ	记流出	0	計	算值	×	光示コ	に電力 5 実測	計に 値	記録 よ	磁束 る値	μκ Δ	
科、厚	皮数	Wh				W_e			Weal			W]		WA	
記号	(mm) (s)	60	400	1,000	60	400	1,000	60	400	1,000	60	400	1,000	60	400	1,000
S 23F	0.33	4,37	30.3	75,0	0.74	33.2	208	5.11	63.5	283	5.16	71.3	341	5.07	79.6	315
S 09F	0.35	2.68	17.9	44.4	0.33	14.5	90.6	3.01	32.4	135	3.02	41.1	167	2.91	49.2	189
S 23	0.45	4,33	28.8	72.0	1,18	52.3	327	5.51	81.1	399	5.68	102	-	5.58	112	-
S 18	0.51	3.97	26.5	66.0	1.32	57.3	358	5.29	83.8	424	5.49	105		5.44	111	-
S 12	0.34	2.68	18.0	45.0	0.43	19.1	119	3.11	37.1	164	3.27	52.0	206	3,28	57.3	233
G 12	0.32	1.22	8.10	20.0	0.54	23.8	149	1.76	31.9	169	2.43	48.6	221	2.45	47.2	242
G 10	0.33	1.06	7.10	18.0	0.57	25.3	158	1.63	32.4	176	2.33	49.3	223	2.32	49.7	248
A	0.10	3.67	24.5	61.1	0.04g	1.82	11.4	3.71	26.3	72.5	3.91	29.6	84.3	4.10	29.1	88.8
В	0.095	2.41	16.1	40.2	0.038	1.65	10.3	2.45	17.7	50.5	2.92	25.8	73.8	2.99	24.3	78.0
С	0.10	1.94	13.0	35,1	0.045	2.01	12.6	1.99	15.0	47.7	2.38	22.1	70.3	2.40	22.8	71.6

注 1. ÷印 式 (4.2) により求めた値 × 印 式 (4.1) により求めた値 ○ 印 式 (4.3) により求めた値 △ 印 式 (4.4) により求めた値

2. 無方向性材料は Hm=25 Oe. 方向性材料は Hm=10 Oe で測定した.

T I	(実測	鉄損値	の比	実測	ウス電話	荒損	ウズ電流損の割合							
IT III		1	W/W_{A}		(W-1	W_h) (V	N/kg)	(W	$-W_{\hbar}$)	W		We W			
「記号」見さ	(mm)	60	400	1,000	60	400	1,000	60	400	1,000	60	400	1,000		
S 23F	0,33	1.02	0.90	1.08	0.79	41.0	266	0,15	0.58	0.78	0.14	0.47	0.61		
S 09F	0.35	1.04	0.8	0.88	0.34	23.2	123	0.11	0.56	0.74	0.11	0.35	0,54		
S 23	0.45	1.02	0.91		1.35	73.2	—	0.24	0.71	-	0.21	0.51			
S 18	0.51	1.01	0.95		1.52	78.5		0.28	0.75	-	0.24	0.55			
S 12	0.34	1.00	0.91	0.88	0.59	34.0	161	0.18	0.66	0.78	0.13	0.37	0.58		
G 12	0.32	0.99	1.03	0.91	1.21	40.5	201	0.50	0.83	0.90	0.22	0.49	0.67		
G 10	0.30	1.00	0.90	0.90	1.27	42.2	205	0.53	0.85	0.92	0.24	0.51	0.71		
Α	0.10	0.95	1.02	0.95	0.24	5.10	23.2	0.063	0.17	0.28	0.011	0.062	0.14		
В	0.095	0.98	1.06	0.95	0.51	9.70	33.6	0.18	0.33	0.46	0.013	0.064	0.14		
č	0.10	0.99	0.97	0.98	0.44	9.10	35.2	0.22	0.41	0.50	0.023	0.091	0.18		

表 4.3 鉄損の比と ウズ 電流損

表 4.3 は表 4.2 の測定結果から計算した値を示す. 表の左端 に示した実測鉄損値の比は光示式電力計による実測鉄損 W と, 交流記録磁束計によって得られた ヒステリシスループ の面積から求め た鉄損 W_A との比である.

この両者は 60% においてはきわめて、よく一致しており、周 波数が高くなるとやや一致の程度が低下するが、それでも両者の 差の最大が +8%、-16% で標準偏差は 6.7% 程度である.こ の両実測鉄損の差が、いずれの測定系の誤差により多く起因して おり、あるいはまたいずれの値がより真値に近いかについてはい ろいろ議論のあるところであるが、ここではそれを省略し、以下 実測鉄損値としては電力計によって求めた値 W の方を用いる. また表中の実測 ウズ 電流損は上記電力計による値 W から式



Fig. 4.6 Total and eddy current losses vs frequency curves.



図 4.7 ウズ 電流損の割合の周波数特性 Fig. 4.7 ($W-W_h$)/W vs frequency curves.

(4.2) による ヒステリシス 損 W_h を差引いた値であり、ウズ 電流損の割合は、この ($W-W_h$) および式 (4.3) による計算 ウズ 電流損 W_e が実測鉄損中に占める割合を示す.

表 4.2 と表 4.3 のうち,実測鉄損 W,実測 ウズ 電流損 (W- W_h) および両者の比 (W- W_h)/W を周波数を横軸にとって書け ば図 4.6,図 4.7 のようになる.すなわち,いずれも周波数上昇 につれて増大するが,試料の厚さ,固有抵抗などによって増加の 傾向が異なることがわかる.

5. 実験結果の検討

5.1 磁化特性

(1) 図 4.1, 図 4.2 および図 4.3 にみられるように一定の 磁化力を与えた時の最大磁束密度 B_m は周波数が増加してもほと んど変化しない. これは, 今回用いた 1,000 c/s までの周波数で

ケイ 素鋼板の交流磁化特性と ウズ 電流異常・野口・土屋

表 5.1 残留磁束密度と保磁力の交流分

HI HI	项 周 波 ***	残留	l磁束密度 ⊿Br	の差 (kG)	保磁力の差 ⊿H _c (O _c)				
料 記 号 学	t (mm)	60	400	1,000	60	400	1,000		
S 23F	0.33	0.6	0.9	1.1	0,24	2.22	4.52		
S 09F	0.35	1.3	4.2	5.7	0.04	1.24	2.36		
S 23 S 18 S 12	0.45 0.51 0.34	0.6 0.1 1.0	1.5 1.0 4.7	5.1	0.35 0.45 0.07	3.55 4.15 1.52	3.17		
G 12	0.32	1.6	2,0	2.2	0.31	1.39	3.42		
G 10	0.33	1.2	2,8	2.9	0.32	1.56	3.58		
A	0.10	0	0.7	1.1	0.15	0.31	0.43		
B	0.095	0.1	0.6	1.1	0.17	0.37	0.58		
C	0.10	0.4	0.7	1.1	0.12	0.37	0.54		

注 1. $\triangle Br = (Br)_{AC} - (Br)_{DC}$

2. $\triangle H_c = (H_c)_{AC} - (H_c)_{DC}$



図 5.1 $\Delta B_{\tau} \geq \Delta H_{c}$ の周波数特性 Fig. 5.1 ΔB_{τ} and ΔH_{c} vs frequency curves.

は, 表皮効果は小さく試料内部まで磁束が浸透していることを示 し, 表 4.1 の注(2) に示した skindepth の値からも推察し得る.

(2) 次にこのように一定の磁化力で, 試料ごとにほぼ一定の 最大磁東密度における $L_{ZFJ \cup ZN-7}$ の残留磁東密度 B_r は図 4.1, 4.2 および図 4.4 に見られるように周波数の増大とともに高くな る. そして表 5.1 に示した交流励磁における値 $(B_r)_{AC}$ と直流励 磁における値 $(B_r)_{DC}$ との差 AB_r と周波数 f との間には式 (5.1) のような関係がほぼ成立する (ただし, 今回の試料では $0.5 \ge x \ge 0$) ことがわかる (図 5.1 参照).

 $\Delta B_{\tau} = (B_{\tau})_{AC} - (B_{\tau})_{DC} = Xf^{(0.6\pm x)}$ (5.1) このような周波数の増大に伴う残留磁束密度の増加は、明らかに 磁化の時間遅れによるものと考えられるが、式(5.1)の X と x の値を左右する因子については、この実験結果のみからは明確に することができなかった.

(3) 図 4.1 および図 4.2 の交流 $t_{\lambda = 1,2, N-J}$ の下降側お よび上昇側の異常については、数値的に扱わなかったが、その大 小は表 4.3 および図 4.6 に示した ウズ電流損($W-W_h$)あるい





図 5.2 ウズ 電流損と交流分保磁力との関係 Fig. 5.2 $(W-W_h)/f^2$ vs $\Delta Hc/f$ curves.





は図 4.7 に示した ウズ 電流損の割合 $(W-W_h)/W$ の大小との 間に明らかな相関が認められ、Lord⁽¹⁵⁾ の説とよく一致する.

(4) 保磁力は図4.5に見られるように周波数に比例して大と なるが表 5.1 に示した交流での値 $(H_c)_{AC}$ と直流での値 $(H_c)_{DC}$ との差 $4H_c$ と周波数 f との間には,図 5.1 に見られるように, 式 (5.2) のような関係がほぼ成立する (ただし, $0.6 \ge y \ge 0$) こ とがわかる.

 $\Delta H_c = (H_c)_{AC} - (H_c)_{DC} = Yf^{(1\pm y)}$(5.2) 周波数の増加に伴う ΔH_c の増大は明らかに ウズ電流によるも のであり、図 5.2 に見られるように、 $\Delta H_c/f \ge (W-W_h)/f^2 \ge$ の間には明確な相関があり、その相関係数を求めると r=0.94 で あった. そこで式 (5.2)の Y. y の値を左右する因子としては、 まず古典的な ウズ電流損をあたえる式 (4.3) から t^2/ρ が考えら

表 5.2 異常係数

式 型 料 型		損異常係 W/Wca	<数 1	ウズ間 (W	磁区幅 平均值				
記号	1 (mm) (u)		60	400	1,000	60	400	1,000	(μ)
S 23F	0.33	25.7	1.0 ₁	1.12	1.2 ₁	1.07	1.24	1.2 ₈	22
S 09F	0.35	59.4	1.0 ₀	1.27	1.2 ₄	1.03	1.60	1.3 ₆	38
S 23 S 18 S 12	0.45 0.51 0.34	34.5 36.5 45.6	1.03 1.04 1.05	1.26 1.25 1.40	1.26	1.14 1.15 1.38	1.4 ₆ 1.3 ₇ 1.7 ₈	1.35	10 11 16
G 12	0.32	46.3	1.3 ₈	1.52	1.3 ₁	2.26	1.7 ₀	1.35	57
G 10	0.33	45.8	1.4 ₃	1.52	1.2 ₇	2.23	1.67	1.30	67
A	0.10	45.9	1.05	1.13	1.16	5.74	2.8 ₀	2.03	11
B	0.095	50.0	1.19	1.46	1.46	13.5	5.2 ₁	3.26	23
C	0.10	45.5	1.20	1.47	1.47	9.62	4.5 ₃	2.80	20



図 5.4 ウズ電流損異常係数 $(W-W_h)/W_e \ge \rho \cdot b/t^3 \ge 0$ 関係 Fig. 5.4 Anomaly factor of eddy current loss vs $\rho \cdot b/t^3$ curves.

れる.

図 5.3 の点線はこの t²/ρ と ΔH_c との関係を示したものであ り、これから各周波数ごとに方向性 ケイ素鋼板と無方向性 ケイ素 鋼板とで傾斜は異なるがよい相関が認められ、

$$\Delta H_c = Y' \frac{t^2}{2} f^{(1\pm y)} \dots (5.3)$$

なる関係式が得られることがわかる.ここで注目されることは、 方向性材料の回帰直線の傾斜と無方向性材料のそれとの差は周波 数の増大につれて小さくなり、1,000 c/s では両者の差はほとんど なくなる.これは、式 (5.2)の $Y \ge y$ を左右する因子のうち t^2/ρ 以外に考えられる磁区の大きさ、容易磁化方向のそろい方な どの影響が、高い周波数では小さくなることを意味するものと考 えられる.

5.2 鉄 損

(1) まず図 4.6, 4.7 から,実測鉄損 W,実測 ウズ 電流損 (W-W_h) および両者の比 (W-W_h)/W と周波数との間には,それぞれ

$$W = \eta f^{(1.3 \pm \alpha)} (tz t \pm 0.3 \ge \alpha \ge 0) \dots (5.4)$$

$$W - W_h = \zeta f^{(1.8 \pm \beta)} (tz t \pm 0.4 \ge \beta \ge 0) \dots (5.5)$$

$$\frac{W - W_h}{W} = \frac{\eta}{\zeta} f^{(0.5 \pm \gamma)} (tz t \pm 0.3 \ge \gamma \ge 0) \dots (5.6)$$

なる関係がほぼ成立していることがわかる.

これらのうち、ウズ 電流損については ΔH_c の場合と同様に、 図 5.3 の実線で示されるように t^2/ρ との間によい相関が認められ、

$$W - W_h = \zeta' \frac{t^2}{\rho} f^{(1.8 \pm \beta)}$$
(5.7)

なる関係式が成立することがわかる.また方向性材料と無方向性 材料との回帰直線が異なった傾斜を示し,数値的にもずれている ことから, , β を左右する因子が t²/ρ 以外にもあることがわか る.その因子としては,磁区の大きさ,結晶粒のそろいかた(容 易磁化方向のそろい方)と大きさ,などが当然考えられる.

(2) 表 5.2 は,表 4.2 および 表 4.3 から計算した鉄損お よび ウズ電流損の異常係数と,3.4 節によって求めた磁区幅 *b* と を示す.

この表に見られるように,鉄損異常係数は,あまり大きな値を 示さず,また Aspden^{(3)~(5)}の説「厚さが薄く固有抵抗の大きい ものほど異常係数は大きい」は同じ種類の範囲内でのみほぼ成立 しているようであるが,全般的にはそのような傾向は認められな い.またいろいろな因子を横軸にとって検討したが,いずれもあ まりよい相関は得られなかった.これは,この異常係数の分母, 分子には上記のような指標にあまり関係しない ヒステリシス 損まで 含まれているためと考えられる.

このような ヒステリシス 損を除いた ウズ 電流損についての異常係 数は表に見られるように,方向性 ケィ素鋼板ではきわめて大きく, また厚さ 0.1 mm の薄板ではとくに大きな値となり,Aspden の 説をほぼ満足させるようである.しかし 2.1 節で述べたごとくこ の異常は材料内に磁区が存在し,均質でないことに起因している と考えられるので,図 5.3 に用いた指標 t^{2}/ρ に,材料の厚さ内 に存在する磁区の数 t/b を乗じたものの逆数 $\rho \cdot b/t^{3}$ を横軸にと つて J_{57} を描けば図 5.4 のようになり,少なくとも方向性材料 については全周波数域で,また 1,000 c/s と 400 c/s とでは全試 料にわたってきわめて良い相関が認められ,

ウズ 電流損異常係数 $=\frac{W-W_h}{W_e}$ $\infty \rho \cdot b/t^3$ (5.8)

という関係がほぼ成立する. なお 60 c/s での回帰直線が方向性材料と無方向性材料とで食い違っているのは結晶のそろい方などの違いによるものと考えられる.

6. む す び

現在一般に用いられている 5イ素鋼板のうち代表的なものを試料として選び,1,000 c/s までの磁気特性を磁束正弦波条件の下で 測定し,その結果について検討した。その結果を要約すれば次の とおりである.

(1) 磁化力が同じならば最大磁束密度は周波数が増してもほ とんど変化しない.

(2) 交流での残留磁気と直流でのそれとの差 *ΔB_r* は周波数 のほぼ (0.6±*x*) 乗に比例して増大する. (ただし 0.5≥*x*≥0)

(3) 交流での保磁力と直流でのそれとの差 $4H_c$ は周波数の ほぼ $(1\pm y)$ 乗に比例して増大 $(0.6 \ge y \ge 0)$ し,また厚さの2乗 に比例し、固有抵抗に逆比例する.そして増大は明確に ウズ電流 によるもので 4H/f と $(W-W_h)/f^2$ との間にはきわめて良い相 関が認められる.

(4) 交流 ヒステリシスループ の異常は ウズ 電流損の大なるものほど大きくあらわれる.

(5) ウズ 電流損は $\frac{t^2}{\rho} \cdot f^{(1.8\pm\beta)}$ に比例する $(0.4\geq\beta\geq0)$ が, さらに磁区の大きさ、結晶粒のそろい方と大きさなどによっても

ケイ 素鋼板の交流磁化特性と ウズ 電流異常・野口・土屋

左右されるものと考えられる.

(6) ウズ電流損の異常係数は p·b/t³ に大略比例して増大する
 が,周波数が低いところでは結晶のそろい方などにも左右される
 ものと考えられる.
 (昭 38-1-26 受付)

参考文献

- (1) P, D. Agarwal: "Eddy-current losses in solid and laminated iron" A.I.E.E. 78 p. 1 p. 169 (1959)
- (2) 近角: "強磁性体の物理" 裳華房 p. 231 (FZ 34)
- (3) H. Aspden: "The eddgy current anomaly electrical sheet steel" P.I.E.E. 103 Pt. C p. 272 (1956)
- (4) H. Aspden: "Magnetic time-log effects in solid steel core" ibid. p. 279
- (5) H. Aspden: "An investigation of the eddy-current anomaly in a low-silicon sheet steel" P.I. E. E. 104 Pt. Cp. 2 (1957)
- (6) V. Rusbiildt: "Die Wirbelstromanomalie bei kornorientierten Electroblechen" E.T.Z.-A 78 S. 335 Mai (1957)
- (7) W.H. Meiklejohn & C.P. Bean: "New magnetic anisotropy" Phys. Rev. 102 p. 1413 (1956)
- (8)対馬: 物学昭 35 秋分科第 6 分冊 p. 75
 小谷・五味: 物学昭 35 秋分科第 6 分冊 p. 82
- (9) 小野寺ほか: 昭 37 電学連大, 講演番号 310
- (10) K. H. Stewart: "Experiments on a specimen with large domains"
- R.C. Barker & R.M. Brownell: "Measuring slow magnetigation in tape-wound cores" A. I. E. E. 80 Pt. 1 p. 402 (1960)
- (12) R. M. Brownell & R. C. Barker: "Measurement of the domain wall area-mobility product during slow flux reversals" J. A. P. Suppl to 32 No. 3 p. 284S (1961)
- (13) J. B. Goodenough: "A theory of domain creation and coercive force in polycrystalline ferromagnetics" Phys, Rev, 95 p. 917 (1954)
- (14) E. M. Gyorgy: "Flux reversal in soft ferromagnetics"J. A. P. Suppl. to 31 No. 5 p. 110S (1960)
- (15) H.W. Lord "Dynamic hysteresis loop for several magnetic core employed of magnetic amplifier" A.I. E. E. 72 Pt. 1 p. 85 (1953)
- (16) E. Both: "Static and dynamics of magnetization characteristics magnetier amplifier core materials" Conference on Mag. & Mag. Mat. p. 65 (1955)
- (17) "環状鉄心の標準寸法" 電気学会技術報告第 47 号 p. 35(昭 36)
- (18) たとえば R.M. Brownell: "Direct observation of outward-progressing flux change in tape-wound cores at power frequencies" J.A.P. 33 No. 1 p. 118 (1962)
- (19) D.C. Dieterly Symposium on megnetic testing p. 39
 (1948) 成田: 電気彙報 20 No. 3 p. 180 (昭 31)
- (20) 野ロ・土屋: 精密交流記録磁束計,「三菱電機」34 No. 2
 p. 31 (昭 35)
- (21) 野口・須藤: 交流磁気特性直視装置,「三菱電機」30 No.11 p. 29 (昭 31)

UDC 621, 316. 3

NC形コントロールセ 19

蟹 江 邦 雄*•梶 田 保 雄*

Type NC Control Center

Kunio KANIE · Yasuo KAJITA Nagova Works

A control center is a group of steel cubic cases in which combinations of a nofuse breaker and a magnetic switch are housed in each sectionalized compartment so as to be a drawout unit. It has many features and applications to control of low voltage motors and branching of feeder circuits. A new control center is built with a steel framework in place of the conventional case so as to save materials, reduce weight and equalize the temperature rises of the contents. In fixing the unit a latchm echanism is used. The control terminals are composed several units of plug-in outlets. The set screws for spring nuts are made of plastic to make the attaching and detaching easy.

It is easy to provide current limiting reactors, an instantaneous restarting device for power failure and an air circuit breaker for a incoming power line. It also permits parallel use with a type CNF self standing distribution panel through a bus bar.

1.まえがき

昭和 30 年国内で初めて コントロールセンタ を製作して以来満8年, この間幾多の歴史を持って製作された コントロールセンタ は累計約 5,000 面に達した.

最近においては,火力,水力発電所をはじめ石油,化学,化繊, ビル およびその他一般工業における低圧電動機の制御, または キ 電回路の分岐用として、急速にその需要が増大し、月産100面を 越える生産を続けるようになった.

今回この コントロールセンタ の性能をよりよくし、かつ生産を合理 化して コスト を下げるため,若干の改良を行なったので,その概 要を説明するとともに コントロールセンタ の応用と近況について簡単 に述べる.

2. コントロールセンタの概要

多数の電動機を制御する場合,一般的には ノーヒューズシャ 断器と 電磁開閉器を組み合わせて使用されている. この場合 ノーヒューズシ +断器は回路の分岐と短絡保護の役目をし、電磁開閉器は電動機 の運転停止と過負荷保護をしているが、両者の協調した保護特性

[\s ~[<u></u>[

図 2.1 NC-23BD 形 コントロールセンタ (両面形) Fig. 2.1 Type NC-23BD control center (two faced type).

を得るためには適正な選定が必要である. すなわち電動機の起動 電流以内の電流については, 電磁開閉器の サーマルリレー によって 電動機および回路の保護をし、それを越える電流については、電 磁開閉器の サーマルリレー が動作する前に、 ノーヒューズシャ 断器が開 路するような選定をすることが望ましい.

コントロールセンタ は図 2.1 に示すように、外観上は鋼板で包まれ た直方体であるが、内部には共通な母線が設けられており、その 一端を電源に接続する.

直方体の箱内を一定の基準寸法で区切り、その部分に脱着可能 な ユニット を設け、ユニット 内には前記の制御動具などが取り付け られている.

外箱は必要に応じて何面でも列盤とすることができ、 ユニット は 内部取付器具の容量および数量によって、その寸法を異にするが 同一寸法のものは互換性を持っている.

一般に コントロールセンタ はつぎのような特長を持っている.

- (1) 電気的,機械的ならびに人的にきわめて安全である.
- (2) 回路および負荷の保護が確実にできる.
- (3) 標準寸法の採用により完全な互換性を持っており、かつ 計画が非常に容易である.
- (4) 集中制御であるため管理がきわめて容易である.
- (5) 保守点検が容易で故障が少ない.万一故障を生じてもュ ニットの取り換えが簡単迅速であり、かつ他の ユニット に 影響を与えない.
- (6) 据付面積が少なく,据付および配線が簡単である.

3. 新形コントロールセンタの構造と機能

3.1 外箱

外箱は図3.1に示したように、L状鋼板の縦ワクを4本柱とし、 その上部および下部において山形鋼で ヮヮ 組し, さらに左右の中 央にはU形鋼板を相対して直立させた取付 ヮヮ を設けて, 主要な 強度を持たせた主柱とし、U形取付 ヮヮ と縦 ヮヮ との間には数本 の平鋼を連結して互いに補強する構造とした.

そのため従来2面以上列盤としたとき二重となっていた列盤面 の鋼板を節約し、全重量を軽減することができたが、列盤の両側 には幅 40 mm の側板が必要となった. なお列盤時各面から発生 する熱量による箱内温度上昇を平均化することができるなどの利







図 3.2 NC 形 ローレ センタ 母線部分 Fig. 3.2 Type NC control center bus section.

BD

 \overline{AA}

図 3.1 NC 形 コットロールセンタ 外箱 Fig. 3.1 Outer case of type NC control center.

点を得ることができた.

U形取付 ヮク に渡した取付金に絶縁物を介して,平角銅条の垂 直母線が外箱の中央に図3.2 のように強固に取り付けられている・ この垂直母線ささえには当社製 ダイヤミックス 成形物(パラスポリエステ ル 樹脂)を採用したので強度,絶縁,耐熱などの点がさらに改善 された.

外箱の上部(前側または後側)には 600~800A の水平母線が 絶縁物によって支持されている.この水平母線は列盤とした場合 隣接する外箱を貫通するようになっており,水平母線から各外箱 の垂直母線に分岐されている.なお水平母線を前後に並設するこ とによって母線の電流容量を最大 1,600A とすることも可能となった.

コントロールセンタ を数面並べて設置する場合には,各面の側面に設けた ボルト 穴を利用して隣接する外箱を連結し共通な チャネルベース 上に設置する. 電源を上から引き込む場合には通常水平母線の一端に端子または パスダクト を使用して接続し,電源を下部から引き 込む場合には 600~800A の垂直母線を使用し,その下端に端子 を設けて接続する. 最近においては パスダクト のすぐれた長所を活 用して電源引き込みに使用する ケース が非常に多くなった.また ケーブル 引き込みの場合には従来の ソルダーレス 端子方式から圧着端 子による接続方式の方がより多く採用されるようになった.

外箱の断面形状は図3.3のように垂直母線を基準として前後に 対称である.したがって ユニット を図3.3に示したように前後両 面に取り付けることができる.また ユニット が外箱の左寄に取り 付けられているため右側に得られた垂直の スペース は ユニット から 外部に出る配線の ダクト として使用される.

また図3.3によっても明らかなように側面の鋼板を節約しても, 垂直母線はもちろん各 ユニット は隣接する外箱内も含めて完全に シャヘイ されているので,事故を生じた場合の ユニット や母線など に事故を波及することがない.

図 3.4 および図 3.1 は新形 コットロールセッタ の外形寸法および種 類を示す.形名によって外箱の高さ (1,600, 1,900, 2,300 mm), 奥 行 (520, 320 mm), 負荷端子の引出方向 (下,上) および ユニット

重直母線 ユニット 図 3.3 コントロールセンタ 断面図 Fig. 3.3 Cross section 1 I V of control center. トビラ ВÅ 図 3.4 NC 形 コン Β́ Β́Β トロールセータ 外形寸 法図 Fig. 3. 4 Dimension of type ₿₽ NC control center. - -

表 3.1 NC 形 コントロールセンタ 標準外形寸法表

形	名	「基準	[ユニ 徴	負荷	外		形		4		法		橫略
片回形	両面形	360 mm	240 mm	朝出	Λ	AA	B	BA	BB	BC	BD	C	(kg)
NC-23BS	NC-23BD	5	8	٦	510	40	2300	180	360×5 240×8	320 200	50	520	250 350
NC-19BS	NC-19BD	4	6	ㅋ	510	40	1900	180	360×4 360×6	280	50	520	200 250
	NC-16BD	3	5	ጘ	510	40	1600	200	360×3 240×5	320 200	50	520	150 200
NC-16BS		3	5	ተ	510	40	1600	200	360×3 240×5	320 200	50	320	150
NC-23TS	NC-23TD	5	7	노	510	40	2300	420	360×5 240×7	80 320	50	520	250 350
NC-19TS	NC-19TD	4	6	노	510	40	1900	380	360×4 240×6	80	50	520	200 250

の取付(片面取付,両面取付)などを分類した. 図3.4 は3 面列 盤の場合を示し, 寸法 BA および BC は水平母線ならびに外箱 相互の配線および引出し端子用 スペース であって, BB 部分に ユニットが収納される.ユニットの縦寸法は 240 mm および 360 mm のそれぞれ整数倍である2 系列があり 240 mm の3 段分は 360 mm の2 段分と等しい. 新形の外箱はこれらの2 系列の ユニ ット を 図 3.1 の中央に示したように容易に混成することができ る構造とした.したがって ユニット の収容率がよくなり経済的と なった.

また外箱の主要材料には、高級仕上鑽板を使用し、極力 プレス 加工および点溶接によって製作する構造としたため、精度のある 外箱が容易に生産できるようになった。コントロールセンタ は生産の 頭初より各部品の寸法精度を重点的に管理したので製作途中で現 品合わせをすることなく最終組み立てを行なうことができ、した がって納入後 ユニット の差し換えを行なっても支障を生ずるよう なことはなかった.

3.2 ユニット

ユニットは図3.5 および図3.6のように、正面および右側面がなく底面が傾斜した箱に表3.2に示すノーヒューズシャ 断器,電磁開閉器,電源接続用 クリップ および端子などを取り付けており、両側面の下部には外側に突き出したそう入案内用のピン があり上部中央内側には取手およびユニット脱着用 ラッチ 機構が取り付けてある. 外箱の方には図3.7のようにピンとはめ合う案内金および取は

NC 形 コントロールセンタ・蟹江・梶田

電 正計 SAT SVT 常 E 計 SAT SVT 載 E 計 SAT SVT その街 1 1 1 I 11 * I I 1 I -----1 今じ 17 1 1 1 ď * ... I 1 I 1 L 1 ł * " 2 -I * . 32 割額 トランス (VA) ю 300 (300)(300) l 1 41 " 150 300) 300) # " # 150 750 100) 5 1 l ł // 4 750 . 22 . 300 ψ ţ 觐沭器 Ξ A 3 0 0 0 7 I I " I 1 4 5 11 # 1 臣 Ę 切扱 スイッチ 淵 1 1 T I I 1 ~ 111 1 11 T I l 1 . 11 -. " . ~ . ñ 4 ボ ギ イ 2 30100 I 1 1 নি 1 T ł I 0 П 1 1 ł * * 1 . 5 " * 1 * 1 Ч 信号灯 2×2 0 " 11 # * * * # 11 --* * " 電流計 I 11 . -" 5 . # " " " 4 " 1 Ш. 搖 $500 \sim 600 V$ ノーヒューズシャ 防器 シャ 断容量 A (NEMA) 5,00020,00030,000 30,000 5,000 30,000000 15,000 20,000 15,000 15,00020,000 30.000 5,000 5,000 ,000 15,000 15,000 20,000 " # 000, 15,000 5,000 15,000 " * 7,500 $\begin{array}{r}
 15,000 \\
 20,000 \\
 7,500 \\
 30,000 \\
 \end{array}$ $\begin{array}{c}n\\15,000\\7,500\\7,500\\7,500\\7,500\\15,000\\20,000\\20,000\\20,000\end{array}$ 30.000 15,00020,000 7,500 $\frac{15,000}{20,000}$ 30,000 $\frac{15,000}{20,000}$ 7,500 ,500 500 7,500 # 250V# " # * . 制領回路用 1Pコンセン ト個数(最大) ŝ 4 1 6 I 1 . T 1 I 1 S . 4 1 17 I 2 " - る間級 (最大) 2×100 or 200 2×200 or 325 8.5 2×100 or 200 2×100 or 200 38 80 38 38 38 38 38 38 38 00 2×100 0r 200 2×200 or 325 3.5 3.5 ನ್ನ ∞ ನ್ನ g 8 [<u>3</u> 8 100 8 4 1 . 22 * 08 38 80 8 * . * × 38 图0 中 四 四 四 二 Ē A Sla Sla 主回路 端子容鼠(1 <u></u>00 600 600 400 100 80 50 100 52 2022 * 80 11 ... 8 * 150 150 150 400 * ŝ 50 " \$ 80 100 80 80 80 50 ÷ 墩 £ クリッブ 容鼠(A) 2×225 111 I 1 225 I 1 1 225 1 00 20 . 50 # 100 0 # * 00 . 225 225 ð EKO-2×105 EKO-2×155 EKO-2×105 EKO-2×155 ų EMO-2×15 EMO-2×35 EKO-2×65 EKO-155 EKO-105 EKO-155 電磁開閉器 EMO-15 EMO-35 $N-2 \times 305B$ EKO-105 EKO-65 N-305B Ч N-605 I ļ 111 I I I. i. 1 1 " # Þ * 5 1 2×NF-50B 2×NF-100C 3-NF-50B NF-225D 2×NF-100B NF-225D NF-50B NF-100C NF-50B NF-100C NF-50B NF-50B NF-100C NF-400A NF-400A NF-600A 、 1 1 ぎょう し イレー NF-100C NF-50B NF-100C NF-100B NF-100B NF-100B NF-100B NF-225D NF-400A NF-400A NF-100C NF-100C NF-100B NF-100C NF-100B 600A NF-600A NF-50B -NF-エレ L2-05B2M03 L2-10C2M03 L2-10B2M06 S4-10B2M06 L3-22D2K10 L3-22D2K10 L4-22D2K10 L4-22D2K10 L4-22D2K15 S1-05B2M01 L1-05B2M01 L1-05B2M03 S2-05B2M03 S2-05B2M03 S2-10C2M03 *L4-60A2N30 S1-05B S1-10C L1-05B L1-10C L1-10C S2-10B2M03 L2-10B2M03 *L4-40A2N30 S1-05BM01 S1-05BM03 S1-10CM03 L1-05BM03 L1-10CM03 L2-10BK10 L2-22DK10 S4-22DK10 S4-22DK10 S4-22DK15 L3-22DK10 L3-22DK10 L3-22DK10 L1-3×05B S2-22D L2-22D ユニット形名 *L4-40AN30 L1-2×05B L1-2×10C L2-60A-S L3-60A-L L3-60A-S L1-10BM03 L1-10CK06 L1-10BK06 *L3-40AN30 *L4-60AN30 *L4-60AL60 S2-10CK06 S2-10BK06 *L3-60AN30 $L1-2 \times 10B$ L2-60A-L L2-40A L1-10B $400 \sim 440 \text{ V}$ 5.5 5.5 37 75 75 Ξ 53 33 20 75 75 150 250 Π Π 83 150 機 容 服大) **敏**、 適用電 $200 \sim 220 V$ 3.7 5.5 5.5 7.5 7.5 5.5 7.5 5.5 . * . " 3.7 # 13 * 15 75 125 S 37 37 37 75 37 37 mm×2 (兩面) mm×3 (周囲) mm×4 (阈面) 360 mm×2 0 mm×3 2 (両面) $mm \times 4$ $360 \text{ mm} \times 2$ $360 \text{ mm} \times 3$ $240 \text{ mm} \times 2$ $mm \times 2$ $mm \times 2$ $240 \text{ mm} \times 4$ $360 \text{ mm} \times 3$ $240 \text{ mm} \times 2$ 240 mm×4 $360 \text{ mm} \times 4$ (回回) шш 88 шш 240 mm 240 mmユニット шш 縱寸法 240 360 360 360 360 1 ×2 360 1 ×2 360 : × 2 X201 X201 X201 X201 240360 <u>م بر</u> ノーヒューズシャ簡器エニット <u>ب</u> « 正子器硇冠派 巡起動器ユニ Ē 区間 111 E

3.2 コントロールセンタ 用標準 ユニット ー

表

慰波

34 (766)

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

L2-60元S および L3-60A-B は電戯用, L2-60A-L および L3-60-L は負荷用を示す. ノーヒューズシャ情器が 600 Aの場合にはその斑面にユニットの取付ができない. L3-60A-S および L3-60A-L には WHM 2×PT などを取り付けることができる. N-205R ホトrが N-605 の段端装器には TM-40 形変流器と TR-10 形態動難電器を使用する.

()内指示のものは同一ユニット内に重復取付ができない.

.

迅


図 3.5 S1-05BM03 形 ユニット Fig. 3.5 Type S1-05BM03 unit.



図 3.8 バネビスハンドル 機構 Fig. 3.8 Spring set screw and handle

mechanisms.



図 3.9 パネビス と ハンドル 機構

Fig. 3.9 Spring set screw and handle mechanisms.



図 3.6 S1-05BM03 形 ユニット Fig. 3.6 Type S1-05B03 unit.



図 3.10 1P コンセント のはずし方



図 3.7 ユニットをはずしたところ Fig. 3.7 Unit removed.



図 3.11 L1-10BK05 形 ユニットの取はずし Fig. 3. 10 How to take off 1P concent. Fig. 3. 11 Removal of type L1-10BK05 unit.

EMO-35 形

兕

図 3.14 EMO 形電磁開閉

Fig. 3. 14 Type EMO electromagnetic switch.



図 3.12 L1-10BK05 形 ユニットの 取はずし Fig. 3.12 Removal of type L1-10BK05 unit.

ずしが容易にできる ユニット 区切 ワク が取り付けてあり、前面に はトビラが取り付けてある。トビラには内部 ノーヒューズシャ 断器の操 作用 ハンドル 機構が取り付けてあり、 ノーヒューズシャ 断器が断の状態 でなければ トビラ を開くことができないように インターロック されて いるがとくに ノーヒューズシャ 断器が入の状態でも トビラ を開くこと ができる ネジが ハン ドル の右下に取り付けてある. なお ト ビラ には 電流計, 信号灯, 押し ボタンスイッチ, および切換 スイッチ などを取 り付けることができる. トビラの固定用として図3.8および図3.9 に示すような プラスチック 製の バネビス を採用したのでその ツマミ を 180 度回わすだけで トビラ の固定ができるようになった.

1ニットの右側に取り付けてある制御回路用端子には, 1P コンセン ト を採用したので、制御回路が充電されている場合でも安全に ュ ニット を取はずすことができる. 図 3,10 は 1P コンセント のはずし 方を示す. また ユニット の固着用として バネビス を使用していたが, 前記の ユニット 脱着用 ラッチ 機構の採用により取手の近くに設けた レバーを右へ押すことによって, ユニット外箱間の連結をはずして迅 速かつ容易に ユニット の取はずしができるようになった. 図 3.11 図 3.12 は ユニット の取出し方を示す.



図 3.13 NF 形 ノーヒューズシャ 断器 Fig. 3.13 Type NF nofuse breaker.

> 図 3.15 MR 形電 磁継電動 Fig. 3.15 Type MR electromagnetic relay.



MR-55 形

MR-5 形

EMO-15 形

1ニットは表3.2に示されるように内部取付器具によってその大 きさを異にするが、前記のように 240 mm および 360 mm の整 数倍に統一されている.表3.2は代表的な標準 ユニット の寸法, 形名,最大適用電動機容量, ユニット内取付器具, ノーヒューズシャ 断 器の シャ 断容量およびその ユニット に追加取付できる器具と数量 を示す. したがって ユニット の選択をする場合には ユニット の種類, 電動機の容量(電圧によって変わる)と ノーヒューズシャ 断器の シャ 断 容量および追加取付器具によって、形名および寸法を定める.

図 3.13~図 3.15 は ユニット 内に取り付けられる, ノーヒューズシャ 断器と最近開発された電磁開閉器,および補助 リレーを示す.

3.3 その他

コントロールセンタ内に ユニット を片面(前面)だけに収納する場合に は、後面の空間が煙突作用をするので内部の空気が循環し自冷作

NC 形 コントロールセンタ・蟹江・梶田

用をして温度上昇を防ぐので外部を密閉した構造とすることがで きるが、前後両面に ユニット を収納する場合には、内部温度上昇 を防止するため原則として上部および下部表板部に換気穴を設け る. したがってちりやごみが多い場所や若干でも腐食性 ガス があ る場所には両面形の コントロールセンタ を設置することはとくに望ま しくない. コントロールセンタ 内の空気温度は周囲温度に対して 10~ 15℃ 高くなる.

4. コントロールセンタの応用と近況

4.1 限流リアクトルの採用

プラントの負荷容量増大に伴って回路の短絡電流も大きくなり, ノーヒューズシャ 断器の シャ 断容量では保護し得ない場合がある. こ のような場合には限流 リァクトル を電源側に接続して回路の短絡電 流を 15,000 A 以下に抑制することが望ましい. 図4.1 は NC 形 □ントロールセンタ1 面分に 3φ 600 A の限流 リァクトル を収納した例を 示す.限流 リァクトル を使用すれば短絡電流 100,000 A を 15,000 A 以下に抑制することも可能である. (限流 リァクトル については本誌 Vol. 36・No. 2・1962 を参照されたい)

4.2 瞬時停電自動再投入装置の取付

瞬時的な停電または電源電圧の低下によって自己保持回路が開 放されて電動機が停止し,再起動のため多くの労力を必要とした り停止によって生産に大きな影響を与える場合がある.

このような時には電源容量を検討して重要負荷については電源



復活と同時に自動的に再投入することが望ましい. その方法としては各起動器ごとに タイマ を設けて その整定時限以内の瞬時停電に対しては自動的に 再投入する方法が一般的に採用されているが,電 動機の数が多い場合には数種の時限を持った代表 の タイマ を設け,各 ユニット には セレクタスイッチ を 設けて停電時間の長短によって再投入を選択する 方法も採用している.

4.3 直流励磁電磁開閉器の採用

一般に電磁開閉器は交流電磁石を使用している が、直流励磁交流電磁開閉器を使用することによ って、うなり、振動などの欠点を除き保守および 取り扱いを容易にすることができる.なお機械的

図 4.1 限流 リアクトル を取り付けた コントロールセンタ Fig. 4.1 Control center fitted with current reactor.



- 図 4.2 電源引込用ノーヒューズシャ断器を取り付けた コントロールセンタ
- Fig. 4.2 Control center fitted with nofuse breaker for receiving power supply.

ならびに電気的寿命をさらに長くすることができるので高ひんぱ ん度の回路に適当である.また投入時の自己保持回路に抵抗を接 続すれば コイル の温度上昇を低下し長時間投入のまま運転する回 路に最も適した方法となる.さらに瞬時停電に対する自動再投入 装置も交流の場合より簡易とすることができる.

4.4 引込みシャ断器の採用

一回路の短絡電流が 30,000 A 以下の場合には一般に 30,000 A の シャ 断容量をもった ノーヒューズシャ 断器を、1 群の コントロールセンタ電 源引き込み用として使用する.この場合には電源引き込み用と分 岐用(各 ユニット) ノーヒューズシャ 断器が縦接続されることとなるので、 短絡事故時分岐 ノーヒューズシャ 断器の安全 シャ 断限界を越える場合 があり回路の保護は引き込み用 シャ 断器に頼ることとなる.図4. 2 および図4.3 は引き込み シャ 断器を持った コントロールセンタ を示 す.

4.5 キ電回路の分岐用

電源変圧器の二次盤として コントロールセンタ を採用される場合も 多いが、この場合には分岐 ノーヒューズシャ 断器としては 30,000 A のシャ 断容量を持った NF-225A フレーム 以上の ノーヒューズシャ 断 を使用することが望ましい、高圧受電盤と変圧器と二次盤を組み



図 4.3 1 面ごとに電源引込用 ノーヒューズシャ 断器を 取り付けた コントロールセンタ Fig. 4.3 Control center fitted with nofuse breaker on

each panel for receiving power supply.







図 4.5 DB-25 形気中 シャ 断器を電源引込用 とした コーレールセンタ Fig. 4.5 Control center with type DB-25 air circuit breaker used for power supply service.



合わせて ロードセンタ とする場合が多く,二次盤の引き込み シャ 断器を コントロールセンタ 形式にまとめて列盤とした例を図4.4 および図4.5 に示す.

4.6 電磁引はずし装置のみを持ったノーヒューズシャ断器と の協調

一般に電磁開閉器の $\eta_{-\tau\nu}\eta_{\nu-}$ によって電動機電流の 100% までは電動機および回路の保護をすることができる.したがって 電動機の起動電流を越えた保護可能範囲で $J_{-t_2-,\overline{z}_{2+}}$ 断器の電 磁引はずし装置が動作するように選択すれば協調した保護特性を うることができる.そのためには、 $J_{-t_2-,\overline{z}_{2+}}$ 断器の電磁引はず し装置が可調整形でありかつ パラッキの少ないことが必要である. NF-100A $\tau_{\nu-4}$ D 形および NF-225A $\tau_{\nu-4}$ D 形などの完成に よって良好な協調が可能となった.

4.7 バスダクト引込み

コントロールセンタの電源引き込み用としては、一般に ケーブル が使 用されていたが、容量の増大、保守点検の容易さ、信頼度の大き いこと、寿命が長いことなどの長所をもった パスダクト が急速に採 用されてきた.電源 トランス と コントロールセンタ 間あるいは電源盤と コントロールセンタ 間などに使用されており コントロールセンタ との接続例 を図 4.6 に示す.(パスダクト については本誌 Vol. 36・No. 2・1962 を参照されたい)

4.8 CNF 形分電盤との列盤

コントロールセンタ は他の盤と列盤にすることが比較的容易である が、とくに CNF 形自立 ノーヒューズ 分電盤は同一高さ、同一奥行 でありかつ水平母線部分および 列盤用 ボルト 穴が コントロールセンタ に合わせて設計されているので共通母線とすることも可能である.

CNF 形分電盤は動力回路または電灯回路などの分岐用として 使用,内部 ノーヒューズシャ 断器は図4.7 のように ガラス 窓を持った 小トビラ を開いて操作する. なお前面が1つの大トビラ となって いるので内部を点検することが容易である.

図4.7 は上部より バスダクト によって電源を引き込む形式とした CNF 形分電盤を示す.



図 4.7 CNF 形自立 ノーヒューズ 分電盤 (上部より パクダクト により引き込む) Fig. 4.7 Type CNF self standing nofuse distribution panel.

4.9 その他

コントロールセンタ は電動機各個の運転のみならず総括制御的要素 を持った リレー 類なども ユニット 化して収納することができるの で配線を節約することができる.この場合には表側に電動機 ユニッ トを裏側に関連ある リレー 類を取り付けることが望ましい.

なお屋外形 コントロールセンタ を採用すれば建屋を節約できるので 経済的である

5. む す び

以上の説明のように コントロールセンタ は 200 V 125 kW,400 V 250 kW 以下の誘導電動機の制御をはじめ,各種の制御装置をも ユニット 化して収納することができ,安全でしかも信頼性のある制 御装置ということができる。しかし各 ユニット の選択にあたって は シャ 断容量などについて十分検討して効果的に使用することが 大切である。今後ますますその需要が増大するものと信じ品質の 向上と価格の低減のため努力したい。 パラメトリック増幅器の液体窒素冷却による雑音指数の改善

喜連川 隆*·白 幡 潔**

UEC 621. 375. 9. 096

Improvement on the Parametric Amplifier of Its Noise Figure by Liquid Nitrogen Refrigeration

Research Laboratory

Takashi KITSUREGAWA · Kiyoshi SHIRAHATA

Internal noise—one of three main problems with the parametric amplifier—has not been given much attention up to the present. This paper, however, deals with a study of improvement of the noise figure by refrigerating the parametric amplifier with liquid nitrogen. First the process of leading the theoretical equation of the noise figure is given to clarify the origin. Next is a description of some experimental results by means of a 1.6 Ge nondegenerate parametric amplifier. The experiments consist of two parts : one is examination of three kinds of diodes through comparison, and the other is theoritical, experimental consideration on one specific diode. In the latter, an experimental noise figure is $0.5 \, dB (35^\circ K)$ which accords fairly well with the theoretical value $0.45 \, dB (32^\circ K)$ at the state of refrigerated temperature of $98^\circ K (-175^\circ C)$.

1. まえがき

パラメトリック 増幅器の主たる問題点は,増幅帯域幅,動作の安定 性、および内部雑音の三つと考えられる.しかし内部雑音は特別 な考慮を払わなくとも,雑音温度については 100~300°K (雑音 指数 1.3~3 dB)と低いので,今までは広帯域化と安定度の改善 を目標に研究を続けてきた⁽¹⁾⁽²⁾.実用面からも 10 dBの受信機の 雑音指数を 2~4 dB に改善することで満足されることが多かっ た.しかし最近宇宙通信などでさらに微弱な信号を キャッチ する ために内部雑音をもっと下げることが要求されている.

空の雑音温度は、周波数はもちろん、観測位置、方向および時 刻などで異なるが、1~10 Gc では仰角 10° 以上で 20°K 以下であ る. ところが従来の マイクロ 波受信機 システムの雑音温度は約 2,600 °K (雑音指数 10 dB) であるから、受信雑音のほとんどは受信機 が発生していたことになる. ここに低雑音増幅器の必要が生ずる わけで、アンテナ が水平方向に向いている場合 は、雑音温度 100 ~300°K の パラメトリック 増幅器、天頂を向くような システム には数 °K の メーザ が似あうということになる.

メーザ は液体 ヘリウム で冷却しなければ働かないから, 雑音温度 が低いというのは, 副次的なものであるともいえる. 一方 ダイオー ドを用いた パラメトリック 増幅器は, 室温で動作するのみならず, 冷却すればさらに雑音指数を下げることが可能である. 液体窒素 温度まで冷却すれば メーザ に迫る低雑音増幅器として, 雑音温度 が数 K°の製作費, 維持費ともに安いものができよう.

本文は パラメトリック 増幅器を液体窒素で冷却することによる雑 音特性改善の研究結果をまとめたもので、まず雑音指数の理論式 を導き,内部雑音の起因を明示し、次いで 1.6 Gc 非縮退形増幅 器での実験結果を記し、アメリカ における実験結果と合わせて、上 記理論との比較検討を行なった.

2. 理 論

一般に増幅器の雑音指数 F は式 (2.1) で表わされる.

 $F = \frac{(S_i/KT_0B)}{(S_0/N_0)} = \frac{N_0}{KT_0BG}$ (2.1)

38 (770) * 研究所(工博)**研究所

- ここに S_i :入力の有能信号電力
 - S₀: 出力の有能信号電力
 - G: 増幅器の有能利得 (= S_0/S_i)
 - KT₀B: 入力の有能雑音電力
 - K: Boltzmann の定数 1.36×10-23 (Joule/°K)
 - $T_0: 290^{\circ}\mathrm{K}$
 - B: 帯域幅 (c/s)
 - No: 出力の雑音電力

である. N_0 は外部から入って増幅された雑音と内部雑音との 2 成分からなっており,前者は KT_0BG で示されるものである. パラ メトリック 増幅器の内部雑音は,信号周波数 ω_1 で発生するものの ほか, アイドラ周波数 $\omega_2(=\omega p - \omega_1)$ で発生し,周波数変換されて ω_1 の雑音になるものがある. すなわち

である. したがって式 (2.1) は

と表わされる.

パラメトリック 増幅器の等価回路表示にはいろいろ考えられるがその一例を図 2.1 に示す. 増幅器は サーキュレータ を用いて信号の入 出力を分離しているので, 信号源 コンダクタンス は増幅器からみえない. 図 2.1 で

- G_{g} : 信号負荷の コンダクタンス
- G₁: 信号空胴の コンダクタンス (ダイオードの ω₁ での損失分を 含む)



Fig. 2.1 Equivalent circuit.

G2: アイドラ 空胴の コンダクタンス (ダイオード の w2 での損失 を代入すれば, 結局, 分を含む)

GL: アイドラ 外部負荷

であって、 G_1 、 G_2 の実温度が T° K、また G_L の実温度が T_L であるとする. また G1, G2 にはさまれた箱は、 ポップ 周波数 ω2 で励振されている ダイオードの可変容量がもたらすところの, w1 と ω2 の間の周波数変換器を表わしている. すなわちこの作用を アド ミタンスマトリックスの形で表わせば式 (2.3) となる.

ここに、 添字 1,2は信号および アイドラ を示し、C は可変容量の 振幅を示す。* 印は共役を示す。

式 (2.2) にもどって、No1 を求める、w1 の雑音の発生源は Go および G1 であるが、Ga で発生する雑音は、サーキュレータがある ため、増幅器へはもどってこないから考えなくてよい、G1による 雑音電流 i1 は,

 $i_1^2 = 4KTBG_1$(2.4)

であるから、信号負荷 Ga に流入する雑音電力 Not は

である. ただし Gr は端子 1'-1' から アイドラ 側を見たときに, パラメトリック 作用によって現われている コンダクタンス であって, 式 (2.2)を用いて式 (2.6)のよう計算される.

 $\omega_1\omega_2C^2$ $G_N = -\frac{\omega_1 \omega_2 C^2}{4(G_2 + G_L)} \qquad (2.6)$

また 2-2 端子から信号側を見たときの コンダクタンス GN は

である:

次に No2 を求める. ω2 の雑音の発生源は G2 および GL であ って, 雑音電流 i2 は

$$i_2^2 = 4KB(G_2T + G_LT_L) \cdots (2,8)$$

である. また雑音電圧 e2 は

$$e_2 = \frac{t_2}{G_2 + G_L + G_N'}$$
.....(2.9)

であるから式 (2.9) に代入して

を得る. この w2 雑音電圧 B2 が w1 の雑音電流 in に変換される 場合にも式 (2.3) の関係があてはまる、すなわち

である.したがって wg で発生して w1 に周波数変換されて信号負 荷 G。に流入する雑音電力 Nog は

となる. さらに式 (2.6) から

を導き、式 (2.13) に式 (2.13)、(2.11)、(2.8) および (2.14)

パラメトリック 増幅器の液体窒素冷却による雑音指数の改善・喜連川・白嶠

$$N_{03} = 4KB \frac{G_g(-G_N)}{(G_g + G_1 + G_N)^2} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{G_2 T + G_L T_L}{G_2 + G_L} \quad (2.15)$$

を得る.

サーキュレータ形パラメトリック増幅器の利得は、増幅器の開口、図 2.1 の端子 1-1 における電力反射係数であるから

となる.したがって利得の十分大きい場合には,近似的に

であり、

$$G \doteqdot \left(\frac{2G_g}{G_g + G_1 + G_N}\right)^2$$
(2.18)

とたる.

式 (2.15) に式 (2.17) を代入すれば

$$N_{02} = 4KB \frac{G_{g}(G_{g} + G_{1})}{(G_{g} + G_{1} + G_{N})^{2}} \cdot \frac{\omega_{1}}{\omega_{2}} \cdot \frac{G_{2}T + G_{L}T_{L}}{G_{2} + G_{L}} \cdots (2, 19)$$

を得る。式 (2.2) に式 (2.5), (2.19) および (2.18) を代入す れば、利得の十分大きい場合の雑音指数は

$$F = 1 + \frac{T}{T_0} \cdot g_1 + \frac{T}{T_0} \left(\frac{\frac{T_L}{T} + g_2}{1 + g_2} \right) \frac{\omega_1}{\omega_2} (1 + g_1) \dots (2.20)$$

となる、ただし

$$g_1 = G_1/G_g$$

 $g_2 = G_2/G_L$ $\}$ (2.21)

とおいた、もし $T_{L}=T$ であれば、式 (2.20) から g_2 が消えて しまい, アイドラ 外部負荷がない場合と同一の式となる.

さらに T=To であれば

となる. 式 (2.23) が常温における雑音指数の式である. 式 (2.20) は、また

$$F = \left\{ 1 + \frac{T}{T_0} \left(g_1 + \frac{\omega_1}{\omega_2} + g_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} \right) \right\} + \left\{ \frac{T - T_L}{T_0} \left(\frac{1 + g_1}{1 + g_2} \right) \frac{\omega_1}{\omega_2} \right\}$$
(2.24)

のようにも表わされるが、右辺第1項はすなわち式 (2.22) と同 ーであり、第2項が ァイドラ 負荷の影響を示している。

パラメトリック 増幅器を冷却する際には、増幅器全体を同一温度に 保つこととし、以後式 (2.22) を中心に吟味することとする。式 (2.22) を雑音温度 T. で表わせば式 (2.25) となる.

式 (2,22) および (2,25) を $g_1, \frac{\omega_1}{\omega_2}$ および T の関数として ノ モグラフ にして示したのが図 2.2 である、 $g_1(G_1,G_n)$ は図 2.1 と 式 (2.16) から明らかなように、Gx=0 すなわちポップ 電力を印 加しない状態で、図 2.1 の端子 1-1 における反射係数を測定す れば直接求まる量である.

式 (2.25) から、もし g1 が温度に無関係に一定であるならば、 雑音温度は増幅器の実温度に比例することがわかる- これは パラ メトリック 増幅器が温度に無関係な ショット 雑音を含まず, すべて熱 ジョウ乱雑音のみを雑音源と仮定して計算していることによる.し かし g1 は一般にかなり変化する. g1 は主として ダイオードの R* によるが、もともと半導体の比抵抗が、格子振動に基づくものと、 キャリアの易動度に基づく抵抗との2成分からなり、それぞれの温



図 2.2 雑音温度(指数)を求める ノモグラフ Fig. 2.2 Nomograph for noise temperature.

度特性が互いに逆の傾きをもっているので, R_s はある温度で最 小値をとる. これが一般に使用されている パラクタ・ダイオード では 100~200°K のようである. したがって式 (2.25) によって T° K での雑音指数を予測するには, T° K での g_1 を測定しなければな らない.

3. 実験および結果の検討

3.1 供試ダイオード

供試 g/1 - F は, a, b, c および d の 4 種である. 冷却した 場合 d は 2, 3 の資料についていずれる 0~-30°C の間で開い てしまい,実験不能となったので,結局,実験は a, b および c の3 種の g/1 - F について行なった.

3.2 供試空胴

パラメトリック 増幅器空胴は、他目的に作ったものを多少改造して 用いた. 後述の実験 No.2 で用いた空胴の外観を図 3.1 に示 す.

3.3 冷却装置

冷却する際に肝要なことは、空胴内に液体窒素の入りこまない こと、および空胴内に霜のつかないことであると考えられる。空 胴はそれ自体真空封じできれば、これが一番望ましいであろうが、 さしあたって、実験室的には、ロッドを通じての伝導冷却とし た.

第1の実験の場合は,従来 rイドラ 負荷用として接続されてい た無反射終端を肉厚の銅製で,中に抵抗板を含み,かつ両端開放 の導波管に置き換えこれを冷却導体として液体窒素の中へ浸した. 管内の液面から気化した flx は,空胴内を通って放出ロへ出る. 放出口には減圧装置をつけた.空胴は空気中にさらしたままであ



図 3.1 供試增幅器空胴 Fig. 3.1 Parametric amplifier cavity under test.

る.温度測定点は、冷却導体で空胴の近くである.(図 3.2)

第2の実験では、もっとよく冷え、外部にも霜がつかず調整が なめらかにでき、ガス を流通させる必要のなくなるように改良し た. すなわち空胴に第2冷却 ロッド をつけるとともに、空胴全体 が窒素 ガス のふんい気の中に浸るように断熱筒で囲ってある. 断 熱筒から外への連結部には、ステンレス や洋白材料を用いてある. またできるだけ ダイオード の結晶の温度に近いものを測定するため に考慮を払った. 液体窒素の容器は市販のいわゆる ジャー である が、予冷なしに液体窒素を注入しても破壊することはなかった. (図 3.3)

3.4 測定回路

雑音指数の測定系,および線路の損失,および ミキサ の雑音指数は実測によって図 3.4 のようである.

3.5 実験 No.1

ダイオード a, b および c についての測定結果を図 3.5~3.7 に



図 3.2 実験 No.1 の冷却状態 Fig. 3.2 Refrigerating state of experiment No.1.



図 3.3 実験 No.2 の冷却状態 Fig. 3.3 Refrigerating state of experiment No.2.



三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

示す.冷却状態は図 3.2 であって冷却時の温度は 140°K であっ た. ダイオード の結晶部の温度もこれに近いはずである. この実験 では雑音指数は単に ポップ 電力の関数としてのみ測定した. ポップ 電力が十分供給され,利得の十分高い状態では,測定された総合 雑音指数の中の パラメトリック 増幅器以降の雑音成分が,きわめて 小さくなるから,図 3.5~3.7 に見るように雑音指数はほとんど 飽和する. この飽和値から,増幅器に先だつ損失分 1.23 dB を差 し引いたものを一応本体の雑音指数とした. 図 3.5~3.7 で左側 の目盛が総合雑音指数の測定値,右辺が本体の雑音指数を示す. 以上の結果から室温 21°C (294°K) と冷却時 140°K での雑音指 数を表 3.1 に示す.

表 3.1 の室温での値が確からしいものとし、また冷却時におい ても g_1 が不変であるとした場合の、冷却時の雑音指数は表 3.2









図 3.7 ダイオード"c"での雑音指数 Fig. 3.7 Noise figure of amplifier with diode "c".

表 3.1 各種 ダイオード での本体の雑音指数の測定値

温度		#1 #- 1	а	ь	c	
室	溫	(294°K)	1.67±0.09	2.43±0.09	1.39±0.09	ĺ
冷	刧	(140°K)	0.73±0.09	0.89±0.09	0.85±0.09	

表 3.2 g1 不変としたときの冷却時の雑音指数

ダイオード a		Ь	c		
冷	却	(140°K)	0.88dB	1.35 dB	0.72 dB

表 3.3 g₁ の温度変化

温度		ダイオード	a	b	с
室	溫	(294°K)	0,25	0.50	0.18
冷	却	(140°K)	0.18 (-27%)	0.26 (-48%)	0.24 (+37%)

のようになる. したがって表 3.1 と 3.2 から,冷却時における g_1 の変化は表 3.3 となる. GaAs の a,および b は負であり, Si の c は正となっている.

この実験結果を文献に発表されたものとを比較するため,図 3.8 に Uenohara および Knechtli^{(3)~(8)} のものと表 3.3 の結果 とを グラフ にしてある. この実験の結果は,いわゆる非縮退形で あるが,他はすべて縮退形である.曲線(1)~(7)のうち破線で示 した(4),(6) および(7)は,室温および冷却温度での雑音温度 はわかるが,途中のそれはわからないものである.

 g_1 が不変としたときの理論的な曲線は、両目盛ともに0の点か ら、室温での雑音温度の点へ引いた直線となる. 図 3.8 の測定値 をこの g_1 一定の直線と比較して g_1 すなわち R_s の変化を読み とり、グラフにしたのが図 3.9 である. この中の曲線 (5) は文献 (10) に出ている 0.05 Ω cm の Ge および Si についての Q の 計算値から C が変化しないとして求めた R_s の変化である. こ の結果から、材料また比抵抗の違いからくる R_s のさまざまな変 化の様子がうかがわれる.

室温から冷却していった場合,一般に 200~150°K までは冷却 効果が著しく 100°K くらいではゆるくなり,これ以下では超低 温を除いてあまり効果がなくなるといえそうである.

パラメトリック 増幅器の液体窒素冷却による雑音指数の改善・喜連川・白幡





図 3.8 冷却による各種 ダイオード での雑音指数の低減 Fig. 3.8 Reduction of the noise temperatures of amplifier with various diodes in refrigeration.



図 3.9 冷却による各種 ダイオードの R_s の変化 Fig. 3.9 Varitations of R_s of various diodes by refrigeration.

3.6 実験 No.2

実験 No. 1 で ダイオード の冷却についてのあらましが, は握で きた. そこで実験 No. 2 では冷却効果がよく供試空胴に適合し た a のみを取り上げて改良した空胴, 冷却装置でより精密な確か らしい測定を行ない理論値との比較検討を試みることにした.

図 3.3 の冷却装置で,液体窒素の液面が空胴の近くにあると き、ダイオード 近傍の温度は 98°K,冷却導体の下端近くまで下がっ たとき 120°K であった. この間,4時間くらいの間隔があったの で,時間的な温度の変化はわずかであり、十分安定な状態で測定 ができた.

図 3.10 パイアス 電圧および温度を パラメータ とした信号空胴の アドミタンス 軌跡(ダイオード"a") Fig. 3.10 Admittance locus of signal cavity with

parameters of bias voltage and temperature (diode "a").

表 3.4 総合雑音指数の測定値

利得温度	10 dB	15 dB	$20\mathrm{dB}$	25 dB	30 dB
室温 292°K (19°C)	3.98 dB	3.22 dB	2.71 dB		
冷却 98°K (-175°C)	3.70 dB	2.42 dB	1.96 dB	1.84 dB	1.72 dB

表 3.5 増幅器本体の雑音指数

温度	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB	30 d B
室温 292°K (19°C)	1.26 dB	1.46 dB	1.29 dB	*****	-
冷却 98°K (−175°C)	0.82 dB	0.50 dB	$0.50\mathrm{dB}$	0.47 dB	$0.46\mathrm{dB}$

表 3.6 増幅器本体の雑音指数実測値と理論値との比較

温度	理論値	実 測 值	差 異
室温 292°K (19°C)	1.12 dB	1.3 dB	0.2 dB
	(86°K)	(101°K)	(15°K)
冷却 98°K(-175°C)	0.45 dB	0.5 dB	0.05 dB
	(32°K)	(35°K)	(3°K)

3.6.1 信号空胴の損失ファクタ g1 の測定値による雑音指数の 推定

292°K および 98°K で, バイアス 電圧を パラメータ とした信号空 胴の インピーダンス の軌跡を図 3,10 に示す.

98°K の場合は軌跡がほぼ

$$\frac{G_1}{G_q} = 0.14 \cdots (95^{\circ} \mathrm{K})$$

の線に乗っている. 292°K の場合は規準面を少し Generator 側へ 動かして軌跡がほぼ G_L/Gg 一定の線に乗るようにすると

 $\frac{G_1}{G_g} = 0.11 \cdots (292^{\circ} \mathrm{K})$

を得る. これが各温度での g1 である. また,

$$\omega_1 = 1,600 \text{ Mc}$$

ω₂=9,600 Mc

であるから, 式 (2.22) によって

292°K では(⇒290°K とする)

$$F = (1 + 0.11) \left(1 + \frac{1,600}{9,600} \right) = 1.29$$

 $=1.12 \text{ dB} (85.5^{\circ}\text{K})$

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

42 (774)

また 98°K では

$$F = 1 + \frac{98}{290} \left(0.14 + \frac{1,600}{9,600} + 0.14 \times \frac{1,600}{9,600} \right) = 1.109$$

= 0.46 dB (31.6°K)

が期待される.

3.6.2 雑音指数の測定

測定系は実験 No.1 と同様に図 3.4 であるが、ただ少し性能 のよい ミキサ を用いている. 全系の雑音指数は各温度、各利得で 表 3.4 のようであった. サーキュレータ の逆方向漏れが 35 dB であ るから、25 dB および 30 dB での値は信頼性が薄い. これらの値 から、増幅器に先行する損失を差し引き、ミキサの イメージレスポンス による影響を取り去り、さらに増幅器に後続する部分による影響 を除いて、増幅器本体の雑音指数を求めれば、表 3.5 となる.

以上の結果から

292°K (19°C) では 1.3 dB (101°K)

98°K (-175°C) では 0.5 dB (35°K)

が確からしい値として得られる、先に求めた推定値と実験値とを 一括すると表 3.6 となる、

両者は、増幅器に先行する回路損失の誤差範囲を考えると、かなりよく一致しているといえよう.しかし常温における差異が大きいので、この原因を考えてみるために図 3.10 の インピーダンス 軌跡をみると、292°K の軌跡は 98°K のそれに比較して、正 バイアス 領域での チャート の内側への引きこみが目だつ. g_1 を決定するときには、正 バイアス の深くかかった領域は無視したが、実際はほとんどいっぱいに振っているわけで無視できない.全振幅にわたって平均したときの g_1 は先に読み取った値 0.11 よりは大きくなるはずである.今、測定値 1.3 dB が正しい値と仮定すると g_1 は 1.5 となる.

次に 98°K での実験結果について、疑問の生ずる点は、アイドラ 外部負荷(第1冷却導体)の温度が冷却機構の構成からみて、 d_{74-F} の温度 98°K により低かったであろうことである。補正 は式 (2.24)によって行なうことができる。 $d_{T_L}=77.4^{\circ}$ K, $g_2=1$ (実際は $g_2>1$) $g_1=g$ とすると、ほんとうに全体が 98°K ならば、 0.5 dB が 0.53 dB になるであろうことがわかる。

4. む す び

98°K までの冷却実験により、ダイオード のふるまいを確めた. GaAs は、液体窒素温度でもよい特性を示すが、Si はやや劣化が 月だつ.しかし、200°K くらいまで電子冷凍などの手段により冷 却する場合は Si ダイオード もすぐれた特性を示すであろう.

g1 は温度に対してかなり変化するが、g1 が知れれば雑音指数のほぼ確からしい値が推定できる。98°K に冷却したときの理論値 0.45 dB (32°K)の増幅器の実測値は 0.5 dB (35°K)であった。なおこの増幅器の室温での雑音指数は 1.3 dB (101°K)であった。定常的冷却状態では増幅器の動作は非常に安定である。

この研究により実用的液体窒素冷却パラメトリック 増幅器の将来が大いに期待されることが知れた. (昭 38-3-5 受付)

参考文献

- T. Kitsuregawa, K. Shirahata : "Wide band parametric amplifier" Mitsubishi Denki Labo. Reports 3 No. 4, p. 183.
- (2) T. Kitsuregawa, K. Shirahata: "Improvement of the stability of parametric amplifier" Presented at the 4th International Congress on Microwave Tubes, held on 3∼ 7th Sept. (1962) the Hague Holland.
- (3) R. C. Knechtli, R. D. Weglein: "Low Noise Parametric Amplifier" IRE 47. No. 4, p. 584 Apr. (1959).
- M. Uenohara: "Low Noise Parametric Amplifier Using Germanium p-n Junction Diode at 6k Mc" IRE 47, No. 12, p. 2,113, Dec. (1959).
- (5) M. Uenohara: "An Extremely Low-Noise 6k Mc Parametric Amplifier Using GaAs Point Contact Diodes" IRE 47, No. 12, p. 2, 114, Dec. (1959).
- (6) R. C. Knechtli, R. D. Weglein: "Low Noise Parametric Amplifier" IRE 48. No. 7, p. 1,218.
- (7) R. D. Weglein: "Some Limitation on Parametric Amplifier Noise Performance" IRE MTT-8, p. 538, Sept.
- (8) M. Uenohara, R. Wolfe: "Parametric Amplifier with Thermoelectric Pefrigeration" IRE ED, p. 521, Nov. (1961).
- (9) K. Kurokawa, M. Uenohara: "Minimum Noise Figure of the Capacitance Amplifier" BSTJ 40. p. 695, May (1961).
- (10) Eng, Waters: "A Gold-Banded Germanium Diode for Parametric Amplifier" National Electronics Conf 12 (1959).

パラメトリック 増幅器の液体窒素冷却による雑音指数の改善・喜連川・白幡

UDC 621. 396. 965: 531. 74. 088. 6

同時ロービング方式角度誤差検出装置 GTR-3 形

樫本俊弥*•渡部 優*•竹内政和**

Type GTR-3 Angle Error Detection Equipment with Simultaneous Lobing System

Electronics Works Toshiya KASHIMOTO · Masaru WATANABE · Masakazu TAKEUCHI

The field of tracking radar application is rapidly expanding, coming to involve satellite tracking in Japan as well as in the rest of the world, with a design trend of shifting from sequential to simultaneous lobing in the antenna lobing system.

An experimental model of 4,000 Mc band angle detection equipment employing simultaneous lobing antenna system has been designed and built; its system together with its theory of operation are given herein. Very stable angular detection was achieved down to a very low S/N ratio by the use of a phase-locked demodulator in this simultaneous lobing. The experimental results are applied to new tracking systems now under manufacture by Mitsubishi. They are communication satellite tracking system with a paraboloid antenna of 6 m in diamter and a rocket telemeter signal tracking system having a huge Cassegraim antenna 18 m in diameter.

1. まえがき

無線機製作所では、早くから追尾 レーダの分野で、独自の立場 から技術開発を進め、先に ジェット 機とう載用小形追尾 レーダに始 まり、4 m 直径 パラボラ を用いた GTR-1 形観測用 ロケット 追尾 レーダ、1.5 m 直径 パラボラ を用いた ミサイル 追尾、操 ダ 指令兼用 GTR-2 形追尾 レーダ など、わが国で設計製作の行なわれた唯一 の追尾 レーダ 群を完成してきた. これらの追尾 レーダの製作は マイ クロ 波、自動制御、精密機械など各分野の技術を総合して始めて 成功するものであって、広範囲でしかも高い総合的技術水準が要 求される.

これらの追尾 $\nu-g$ 群に引き続いて,現在さらに,6m 直径 nボラ の通信衛星追尾用 $\nu-g$, 18m 直径の巨大な $r \nu + f$ を有す る $n \tau_{0}$ ト 用 $r \nu + g$ 追尾 $\nu-g$ を製作中である. これらが完成 すれば,この分野において,さらには,その関連技術分野におい て,世界にも誇りうるものとなるのであるが,今回その橋渡しと しての性格をもった GTR-3 形同時 $n-\ell \nu - f$ 方式角度誤差検出 装置を完成した.これは,主として高精度と高感度の角度検知の 受信系を研究するのを目的としている.

この装置はもちろん、わが国で最初のものであり、今後の関連 技術の先駆をなすものであるので、ここにその概要を報告する.

2. 同時ロービング方式

2.1 従来の方式との比較

自動追尾 ν - σ の角度誤差検出には、従来円 λ イ 走査方式が一 般に使用されている. これは rンテナ から出る一本の ビーム を rンテナ 軸から偏心して円 λ イ 状に走査し、目標体が回転軸上にあ るときは受信入力が一定であることを利用している. しかしこの 方式の欠点は目標からの入力信号変動で角度誤差を生ずることで ある. とくに変動の周期が走査の周期と一致したときに著しい. 入力信号の変動は、 ν - σ の場合は目標体の姿勢の変化に伴う実 効面積の変化、トランスポンダや人工衛星の場合は送信電力の変動, 伝パン 途上の減衰,妨害などで容易に、しばしば起こる性質のも のである. また偏心した ビーム を回転させるための機構は、かな りの技術的困難を伴う.

同時 n-ビッグは、指向方向の少し食い違った2 個以上の ビーム で受信信号を受けて信号比較を同時に行なうことにより、ほとん ど瞬間的に方位の誤差を知ることができ、電波の振幅的変動によ る角度誤差を生ずることもない. そのうえ ビーム は静止している から ァッテナ の一次 フク 射器を機械的に回転させる必要もない. さらにのちに述べるが、受信帯域を非常に狭くすることができる から、円 スイ 走査方式に比べ、ずっと S/N の低い信号でも角度 誤差の検出が可能である. このため同時 n-ビッグ 方式を追尾 レー るの方向検知用に用いると誤差の少ないうえに、感度の良い装置 を作りうる.

2.2 原 理

簡単のため二次元の平面のみを考える.一つの反射鏡の焦点近 くに二つの一次 フク射器を近接しておき,図 2.1 (a)のように それらの二次 パターン が オーバラップ しているようにする.二つの 一次放射器を同相で給電すると図 2.1 (b)の和 パターン となり, 逆相で給電すると (c)のように中心に ゼロ 点をもつ差 パターン と なる.すなわち和 パターン と差 パターン は ゼロ 点の方向を境にし て,その一方の側で同相であれば,他方の側では逆相である.し たがって追尾しようとする信号源が差 パターン の ゼロ 点の近傍に あるとすると,和 パターン からの信号振幅で差 パターン の信号振幅 を規準化すれば,その大きさが誤差角を表わし,差 パターン 信号 の位相を和 パターン 信号のそれと比較すれば,信号源が ゼロ 点の



どちら側にあるか判別がつく.

3. 試作装置

3.1 構成

各種の設計資料を得るために,必要な機器を作ることとし,装置が設計された. 図 3.1 にこの ブロック 線図を示す.

ハイブリッド,局部発振器, IF 前置増幅器は ァッテナ本体に取り付けた.反射鏡の向きは手動で任意の方向に向けることができる. IF 主増幅器, AFC, AGC, 位相同期復調回路, 直流電源などは ラック形式にして測定の便を計った.

3.2 性 能

反射鏡直径	1.8 mø	
反射鏡可動範囲	仰角	$+85 \sim -5^{\circ}$
	方位角	$\pm 360^{\circ}$
反射鏡2軸直交角度偏差		$\pm 0.05^{\circ}$
受信電波	円偏波	
中心周波数	4,195 M	c
中間周波数	30 Mc	
位相検波回路	位相同其	防式
位相検波回路中心周波数	30 Mc	
総合雑音指数	10 dB 🔰	「下

3.3 アンテナ

反射鏡は目の細かい ェキスパンドメタル を用い,風の抵抗を少なく してある.放射器は導波管の切放し ホーン とし,4 本をたばねて 焦点に配置した.後に説明するが上の2本と下の2本で仰角の差 チャネル を構成し,左右の2本ずつで方位角の差 チャネル を構成す る.4 本全部で和 チャネル となる.

まず設計上問題となるのは,差 パターンの ビーム の開き具合で ある. ホーン単体の パターンを余弦形で近似し,図 3.2 に示すよう に開き角度を φ ,二つの ビーム A, B の電界利得関係をそれぞれ $A(\theta), B(\theta)$ とすれば,

$$A(\theta) = \cos \pi \left(\frac{\theta + \varphi}{\Theta}\right)$$

$$f(\theta) = \cos \pi \left(\frac{\theta - \varphi}{\Theta}\right)$$

$$B(\theta) = \cos \pi \left(\frac{\theta - \varphi}{\Theta}\right)$$



Fig. 3.1 Block diagram of this system.

同時 ロービング 方式角度誤差検出装置 GTR-3 形・樫本・渡部・竹内

 $\texttt{tttl} - \left(\frac{\Theta}{2} - \varphi\right) < \Theta < \left(\frac{\Theta}{2} + \varphi\right)$

と書き表わしうる. ここで Θ は ビーム 幅である.

 $A(\theta) + B(\theta) \equiv \Sigma(\theta)$

 $A(\theta) - B(\theta) \equiv \varDelta(\theta)$

とおくと、いま、和 チャネル から送信し、これの 目標からの反 射波を受ける一次 レーダ の場合は、差 チャネル の入力は送信電力 に比例する. したがって差 チャネル の感度は

$$\frac{\partial}{\partial \theta}(k \cdot \Sigma(\theta) \cdot \varDelta(\theta)), \quad k:$$
 定数

であり,感度の
のに対する変化率は

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (k \cdot \Sigma(\theta) \cdot \varDelta(\theta)) = -\frac{2k\pi^2}{\Theta^2} \cdot \cos\frac{2\pi\theta}{\Theta} \cdot \cos\frac{2\pi\varphi}{\Theta}$$

となる. $\theta=0$ の位置で φ を $\beta_{5,y-g}$ にしたとぎ の感度最大点

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (k \cdot \Sigma(\theta) \cdot \varDelta(\theta))_{\theta=0} = 0$$

の位置で,これは == 0/4 となる.

ビーム 半値幅を θ_0 とすると $\theta_0/\Theta = 1/2$ であるから $\varphi = \theta_0/2$ である.

すなわち開き角を ビーム 半値幅の半分にすれば感度最大となる. しかし二次 レーダ のように誤差電圧が和 パターン に直接には関係 しない場合は,

感度は $\frac{\partial}{\partial \theta} \Delta(\theta)$ であり,感度の ϕ に対する変化率は

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \mathcal{\Delta}(\theta) = -\frac{2\pi^2}{\Theta^2} \cdot \cos \frac{\pi \theta}{\Theta} \cdot \cos \frac{\pi \varphi}{\Theta}$$

となり、この極大点は $\varphi = \Theta/2$ のときである. これでは A, B 二つの ビーム が重ならないから、同時 $u - U \partial \beta A = - 2$ が形成され ない. また φ は $\Theta/2$ より小であっても、 $\Theta/4$ を越えると和 パタ ーン の ヒズミ が大きくなる. 和 パターン に ヒズミ を生じない程度に しようとすれば、やはり $\varphi = \theta_0/2$ 前後に選ぶのが適当と思われる.

ビームの開き具合を加減するには、一次放射器の間隔を加減す ればよい. ところが ビーム 開き角を上記の値にしよ うとすれば、 放射器間隔は、放射器の口径程度か、それ以下とな り、放射器は 導波管 モード の カットオフ となってしまう. そこで放射器に誘電

> 体を充 テッして放射器の口径を小さくした.図 3.3 に アッテナの外観を示す. ミキサ, IF 前置増 幅器,局部発振器とその分配回路は反射鏡の裏 にきょう体をつけて収容した.

> 方位角差 パターン, 仰角差 パターン および和 パ ターン の測定結果を図 3.4 に示す.

3.4 ハイブリッド

和と差の計算は、普通の マジック T や、ラット・



Fig. 3.2 Antenna beam configuration.

(777) 45

レースの回路でも行ないうるが、導波管の構成が立体的になり不便 であるので、マジックTの二つの アーム を折曲げた構造の変形 マジ ックTと、図3.5 に示すように平行に接触して並べた2本の導波 管の共通壁を一部取り除いて結合窓とした ハイブリッド を用いた・ ハイブリッド 群の構成を図3.6 に示す.

同時 ロービッグ 追尾装置の設計上最も重要な点は、位相関係で、 とくに マイクロ 波回路の位相誤差を少なくすることがその キイポイ ット である.マイクロ 波回路の位相誤差がなければ、IF 回路の位 相誤差は ァッテナ の ボァサイト の変位の直接の原因とはならない. これを簡単に説明する.

図 2.2 のような二つの ビーム A, B で同時 ロービングパターン を 形成しているとする. θ は rンテナ に固定した座標系(ボアサイト 方 向を θ =0 とする) で測った目標体の方向を示す角度とする. 放 射器への入力をそれぞれ $A(\theta)$, $B(\theta)$ とすると, 目標体が rンテ ナから遠方の等距離の円周上を移動するとすれば, $A(\theta) \ge B(\theta)$ は同相であるが振幅は目標の方向(θ) により変化し, θ が rンテナ ボアサイト に一致したとき両者の振幅が一致する. $|\theta|$ が小なる範 囲では振幅変化が直線的と仮定すると

 $A(\theta) \!=\! \alpha(1\!-\!k\theta)\,\cos\,\omega t$

 $B(\theta) = \alpha(1+k\theta) \cos \omega t$

ここで α: ァンテナが目標を向いたときの信号強度



図 3.3 同時 ロービングアンテナ Fig. 3.3 Simultaneous lobing antenna.





ω: マイクロ 波の位相角

k: ァンテナ 利得定数

と書き表わしうる. ここでつぎの三つの場合について考える. (a) ハイブリッド までに $A(\theta)$ のみが位相推移 τ を持つ場合 $\theta=0$ の位置で $A(\theta)+B(\theta)$ と $A(\theta)-B(\theta)$ の位相差を調べる

$$A(\theta) + B(\theta) = 2\alpha \cdot \cos\frac{\tau}{2} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\tau}{2}\right)$$
$$A(\theta) - B(\theta) = 2\alpha \cdot \sin\frac{\tau}{2} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \frac{\tau}{2}\right)$$

であるから $0 < |\tau/2| \ll \frac{\pi}{2}$ なら両者は $\pi/2$ の位相差をもってい る. したがって $\{A(\theta) + B(\theta)\}$ を用い $\{A(\theta) - B(\theta)\}$ を位相検 波すれば出力は ぜっとなるから $\theta = 0$ の位置では誤差電圧は生じ ない. しかし $|\tau/2|$ が大きくなり 90° にもなると $A(\theta) + B(\theta)$ は ぜっ になってしまう.

(b) ハイブリッド 以後に位相推移 φ がある場合

ハイブリッド から位相検波器までの間で和信号が差信号に対し φ の位相推移を生じているものとすると、

 $A(\theta) + B(\theta) = 2\alpha \cdot \cos(\omega t + \phi)$

 $A(\theta) - B(\theta) = -2\alpha \cdot k \cdot \theta \cdot \cos \omega t$

となる. 位相検波器の出力は差信号を和信号の正(あるいは負) の半周期間にわたり積分したものであるから出力誤差電圧 *e*_d は,

$$e_{d} = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{\pi} -2\alpha \cdot k \cdot \theta \cdot \cos\left(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2}\right) d \cdot \omega t$$

= $K_1 \cdot \theta \cdot \cos \phi$, ただし K_1 : 定数 となる. $\theta = 0$ の位置では $e_d = 0$ となるが. $\cos \phi < 1$ であるか ら $\phi = 0$ のときに比べ e_d が減少する. ϕ が小であれば問題ない が、90° に達すると感度は ゼロ になり、90~270° の範囲では極 性が反転する.

(c) ハイブリッド の前にも後にも位相推移がある場合



図 3.5 ハイブリット Fig. 3.5 Hybrid.



図 3.6 ハイブリット 群を用いた コンパレータ Fig. 3.6 Comparator using four hybrid junctions.

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

放射器から ハイブリッド までに $A(\theta)$ のみが位相推移 τ を持ちさ らに ハイブリッド から位相検波器に至る間で $A(\theta) + B(\theta)$ に ϕ の 位相推移を生じている場合は、 $\theta=0$ のとき

$$\begin{split} &A(\theta) + B(\theta) = 2\alpha \cdot \cos\frac{\tau}{2} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\tau}{2} + \phi\right) \\ &A(\theta) - B(\theta) = -2\alpha \cdot \sin\frac{\tau}{2} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\tau}{2}\right) \end{split}$$

であるから(b)のときと同様,和信号の半周期にわたり積分して出力誤差電圧 e_d を求めると

 $e_d = K_2 \cdot \sin \frac{\tau}{2} \sin \phi$ ただし K_2 : 定数

となる、 $\tau=0$ であれば $e_d=0$ であるが、 $\tau>0$ 、 $\phi>0$ なら明ら かに $\theta=0$ の方向で誤差電圧を発生することになる。

すなわち、マイクロ 波回路の位相推移がとくに大切である. これ に関連して、ハイラリッドの機構,配置に大きな問題があった. それ は、反射鏡の直径が波長に比べ、それほど大きくないため、ハイブ リッドをどこに置くべきかということであった. 一次放射器の後に 円偏波一直線偏波変換器をつけ、そのつぎに4個の ハイラリッドを つけると、著しく放射電界を乱し、アンテナの先端を重くして不都 合である. パラボラ 焦点近傍に設けた Sub-dish 双曲面により2重 反射を行なわせる カセクレイン 式の アンテナ にすると、ハイラリッド な どが パラボラ の背面にくるからこの心配はないが、Sub-dish は使用 波長により最適の大きさが決まってしまうので、波長に対し、小 さな パラボラ 反射鏡では Sub-dish による シャヘイ の影響が大きく なり思わしくない. そこで ハイラリッド は パラボラ 反射鏡の背面に 置き、一次放射器と円偏波一直線偏波変換器は焦点の近くに置い て、前者とは J 形の導波管束で接続した.

こうすると内回りと外回りの導波管の長さの差 J₁ による相対 位相差

 $\alpha = 2\pi l_1 \lambda_q$ ただし λ_g : 管内波長 ができ、これは大きな周波数特性をもっていて不便である. そこで短い方の導波管の広辺を長さ l_2 にわたって狭くして、 これによる位相の進み B を起こさせた.

 $\beta = 2\pi l_2(1 \wedge_q - 1/\lambda_{g2})$

ただし, Aga: 広辺を狭くしたときの管内波長

すると

$$\frac{3\alpha}{3} = -K_1 \lambda^{-5} < 0$$

であるのに対し

 $\frac{\partial \beta}{\partial \lambda} = K_2 \lambda^{+3} > 0$

であるから $k_1 = k_2$ になるように選べば $\alpha + \beta = \gamma = \text{const}$ となり γ を周波数特性の少ない定位相器で補なえばよい. この 結果,広い帯域にわたり,線路長の差による周波数特性の変化を 除くことができた. 図 3.7 はこの結果を示す.

3.5 位相同期復調回路

方位角誤差,仰角誤差および和信号は共通の局部発振器で IF に変換し,同じ増幅特性の中間周波増幅器で増幅した後,和信号 で方位角および仰角差信号を同期検波する.同期検波は非直線特 性を用いた通常の AM 検波器と異なり,規準信号電圧の半周期 間の積分であるから,規準信号周波数の(もしくは奇数倍の周波 数の)信号以外は,検波された出力直流電圧の平均値は ぜっにな る.すなわち,この系の雑音帯域幅は,ほとんど規準信号回路の 帯域幅で決まるから,規準信号に雑音がなければ,信号の S/N は



図 3.7 アンテナフィーダ の位相補償 Fig. 3.7 Phase compensation of the antenna feeder.





Fig. 3.8 Servo block diagram of the phase locked oscillator.

1 以下であっても動作するのである. この装置は和信号の代わり に、和信号に位相同期した被制御発振器の出力を用いている. こ れは図3.8 に示すような自動制御回路であって、和信号と発振器 出力との位相差に相当する電圧を、位相検波器で検出し、低域 ロ 波器を通して発振器に帰還する.

この回路の伝達関数は

$$\frac{\omega_2(s)}{\omega_1(s)} = \frac{K(1+t_2s)}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

だだし、 $\omega_n = \sqrt{\frac{K}{t_1}}$ (固有振動周波数)
 $\zeta = \frac{1+Kt_2}{2\omega_n t_1}$ (制動率)
 $K = K_1 \cdot K_2$

であって、カットオフを ω_n にもつ低域 u 波回路として動作する。 ω_n は低域 u 波器 F(s) の定数を変えることにより縮小される。 入力雑音に対する応答はその雑音帯域幅で表わすことができ、一 般に ω_n に比例する。

引込幅は、最良の場合(1)

 $|\Delta \omega| \simeq \sqrt{2\zeta \omega_n K}$ titl, $\omega_n \ll K$

で表わすことができ、wn の2乗根に比例して減少する.

信号周波数が変動する場合は、局部発振器の漂動等も考慮した IF 周波数の変動範囲より引込幅を小さくすることができないか ら系の帯域幅の縮小できる一つの限界条件がこれで決まる。

また信号の変動の速さと,許容位相誤差,過渡応答特性などか らも一つの条件が決まる。

K₁ はできるだけ大きくして引込幅を大きくし,定常位相誤差 を小さくすることが望ましい。一方この系は内部雑音に対しては w_nを horhフ とする高域 u 波器として動作するから,K₂ はあ まり大きくとると内部雑音に対して大きな雑音出力を発生し,良 くない。

以上は非常に単純に考えたが、実際には経済性なども考慮して、 総合的に検討し、 K_1 、 K_2 、F(s)を決定する。

帯域幅が与えられると最小受信 レベル も決まる. 和 チャネル の

同時 u-ビンジ 方式角度誤差検出装置 GTR-3 形・樫本・渡部・竹内

最大出力で規準化した差 チャネル の誤差出力は

 $\frac{\Delta(\theta)}{\Sigma(\theta)_{\theta=0}} = -\tan\frac{\pi\varphi}{\Theta} \cdot \sin\frac{\pi\theta}{\Theta}$

で、 $\theta=0$ では誤差信号出力は ゼロ であるが、誤差出力の S/N が1まで上昇する偏位角 $\Delta\theta$ と帯域幅 B_s を与えると、このとき の r-2=テナ 入力端での受信 レベル は

$$P_{s\min} = \frac{KTB_s}{\left(\frac{\varDelta(\theta)_{\theta=\varDelta\theta}}{\Sigma(\theta)_{\theta=0}}\right)^2}$$

ただし, K: ボルリマン 定数, T: 総合雑音温度 である.

この レベル 以下では $\Delta \theta$ の偏位に対し誤差信号出力の S/N は 1 以下である. たとえば、 $\Delta \theta = 1$ mil、受信系の雑音指数を 10 dB ($T = 3000^{\circ}$ K)、 $B_s = 1$ kc とすると $P_s = 102$ dB m となる.

B。を変えて実験ができるよう,位相同期回路の低域 ロハ 器は プラグインタイプ にしてある.

位相検波器は ゲルマニウムダイオード を ブリッジ 形に組んで構成した. 3.6 AGC, AFC

誤差 $f + \lambda \mu$ の信号強度が、 $r = \tau + \lambda \mu$ の信号強度に関係 なく、角度に比例したものとするには、和 $f + \lambda \mu$ の信号強度で 規準化すればよい.実際には、和 $f + \lambda \mu$ 出力を一定に保つよう AGC をかけ、この制御電圧を誤差 $f + \lambda \mu$ の受信機に共通に供 給している. AGC 電圧は、被制御発振器の出力を 90° 移相して 和 $f + \lambda \mu$ 信号を同期検波して得ている.

送信周波数の浮動および局部発振器の発振周波数の変動による 受信機帯域幅の余裕を少なくするため、AFC を設けた.

3.7 その他

IF 前置増幅器と主増幅器との間隔はかなり長く, 位相誤差を 心配したが,マイクロ 波に比べ波長が長いゆえか, 周波数特性もゆ るく,あまり問題にならなかったが, ケーブル 間の クロストーク が若 干認められた.

IF 増幅器は 3 チャネル とも,同じ回路,同じ部品を用いて組み 立ててたが,部品の特性の バラッキ などにより,パイァス 電圧対利得 特性がそろわず,和 チャネル を規準にして得た AGC 電圧をその まま差 チャネル IF の増幅器に供給できなかった.

位相検波器は 30 Mc の高い レベル で動作し,高能率のもので, 特性のそろった2 個あるいは4 個の ダイオード が必要であるが,こ れに適合する ダイオード の種類は少ない.また 30 Mc の移相器は 可変範囲が広く,帯域も広いものが望ましいなど,なかなかむず





かしい問題があった.

図 3.9 は、この装置の最終出力である直流角度誤差電圧の特性である。

4. む す び

以上で,同時 ロービング方式の研究を主目的として設計と製作を 行なった GTR-3 形装置について,その概略を述べた.

この装置の試作により,高精度で,高感度の同時 ロービング方式 角度検知装置の基礎が完成したこととなる. これは,今後の自動 追尾 レーダ の心臓部となるものである.

これらの結果は,現在製作中の 6 m 直径 パラボラ の通信衛星追 尾 レーダ,および 18 m 大口径 パラボラ の ロケットテレメータ 追尾 レー ダ に適用され,さらに高度の技術的水準を獲得してゆく一段階と なってゆくであろう.

終わりに、この装置は、郵政省電波研究所のご発注の仕事とし て進められたものであることを付言し、種々ご教示を賜わった同 研究所の青野次長,屋上室長、遠藤技官、会田技官に感謝の意を 表する.また、この装置の設計、製作、実験には、関係部課の多 数の人々の参加、協力があったことを述べ、ここにお礼の言葉と したい. (昭 38-1-12 受付)

参考文献

(1) W. J. Gruen: "Theory of AFC synchronization", Proc. IRE, 41, p. 1043, Aug. (1953.) 航空機用交流電源の電圧調整器

戸谷利雄*·吉田太郎*·篠原守-*

UDC 621, 316, 722, 027, 2:629, 13

Voltage Regulators of AC Generators for Aircraft

Nagoya Works

Toshio TOYA · Taro YOSHIDA · Moriichi SHINOHARA

Scores of years ago a wind-mill driven AC generator was used for aircraft power supply. This, however, was gradually displaced by a DC generator combined with batteries and regulated by a carbon pile. Nevertheless, a great increase in the speed of airplane and rapid development of electronics applied to aviation of today have resulted in revival of AC power on flying machines. To share with technological advances of the latest AC generators, voltage regulators using magnetic amplifiers and also those operating on mansistors have been developed. They are lightweight, highly reliable and durable, moreover being applicable to even DC machines with a partial modification.

1.まえがき

航空機用電源の歴史を顧みるに、第1次世界大戦と前後して風 車による交流発電機が出現したが、その後漸次電池を併用した直 流電源方式が採用されるに至った。戦後生産が再開されたジェット 練習機ならびに戦闘機はいずれもこの直流発電機と電池の併用に よるもので、電圧調整器もカーボンパイル式が使用されている。しか しながら航空機の速度増大と射撃航法電子機器の飛躍的発達に伴 い、電源は増大をしいられ、現用の直流発電機方式では容量およ び高度飛行の点で交流方式に劣るため、交流化が進められ、ここ に述べる交流電源方式が確立した。中形輸送機 YS-11 の開発に あたり電源方式研究の一貫として交流電源用電圧調整器の開発を 推進してきたが、その結果について可飽和鉄心による磁気増幅器 方式とトランジスタ方式とに要約し、とくに後者について詳述する。

これらの電圧調整器は軽量で信頼度が高く,かつ寿命が長いと いう航空機に必要な特長を有するが,単に航空機用交流電源のみ ならず一部改造するだけで直流電源の電圧調整器にも応用が可能 であり,一般民需にも応用されつつあることをここに付記してお く.

2. 電圧調整器の種類

一般に交流発電機は直流発電機と比較して電圧変動が大きく、 直流発電機のように複巻特性を与えることもできないので発電機 電圧を一定に維持するには電圧調整器が必要である、電圧調整器 は高感度,速応性,完全な乱調防止,広範囲な制御という条件を 具備しなければならないが,動作原理から表2.1のような分類も できる.航空機用電源の電圧調整器は従来おもにカーボンパイル式を 使用していたが、近年磁気増幅器式,トランジスタ式を採用しつつあ る.したがってここにカーボンパイル式,磁気増幅器式,トランジスタ式 の状況を簡単に述べておく.

2.1 カーボンパイル式

負荷が変化した場合でも発電機電圧を一定にするには、電圧変 動に応じて励磁機界磁の直列抵抗を変えなければならない. この ような原理によるものが カーボンパイル 方式で、電圧変化に伴う電磁 吸引力の変化をカーボンパイル に加え、圧力変化による カーボンパイル の

麦 2.1 電圧調整器の種類

勤(作	制御	創调の方法	1-	おもな種類	
版	嘢	界磁抵抗器の一部または全部を接点によ	D	紅流振動形	
动	叔	り短格開放を繰り返し電圧に応じその時 即の期合を変化し防衛電波を加速する	交流振動形		
應	御	PARTICIPACITY CONTRACTOR CONTRACTOR	(i	山転力ム形	
新 段	100	電圧変動に応じ界磁抵抗を加減する		多重接点式	
	階段		接換作	カーボンバイ ル式	
抗	またけ		式	接触抵抗式	
24	連続		問	発電機抵抗式	
融	调御			励磁機抵抗式	
				油庄操作式	
飯	illi	電圧の変化分を検出時幅のうえ界磁電流	1	王子 管式	
接	続	として負帰還	堆	的福発電機式	
高盛	.(6U		磁	致地幅器式	
-us	.fee		ŀ	ランジスタ式	



図 2.1 カーボンパイル 式電圧調整器 Fig. 2.1 Carbonpile voltage regulator.

接触抵抗の変化を利用している.いま発電機電圧が上昇した場合 を考えると、制御巻線を流れる整流電流は増して巻線の起磁力を 増大させ、機械的に カーボンパイル にかかる圧力を減らす.そこで、 接触抵抗が増加し界磁電流を減少させ電圧上昇を押える、発電機 電圧が低下した場合は カーボンパイル はこの逆に動作して,電圧を制 御する、カーボンパイル 電圧調整器は カーボンパイル、圧縮子、制御巻線、 調整 ネジ、電磁石、可動鉄片の空 ザキ 調節から構成される.この特 長は

- (1) 連続的可変抵抗要素で交流直流いずれでも制御可能.
- (2) 低電圧大電流の制御に適し形状は小さくできる。
- (3) 接点部分がなく寿命は長い。

であるがつぎの欠点もある。

(a) 調整個所が多くおのおのの関係が複雑で調節に熟練を要 する.

(b) いかなる場合でも最低抵抗が存在しぜことならない.

(c) 衝撃によって カーポンパイル が動き接触抵抗が変化する.

これらの欠点を解決するため,静止電圧調整器が要望され,磁気 増幅器式,トランジスタ 式へと推移する傾向にある.

2.2 磁気増幅器式

航空機用交流電源系統で カーボンパイル 方式に 続いて多く 使用さ れる電圧調整器は磁気増幅器式である.この電圧調整器は交流発 電機電圧を受電して整流し励磁機に電流を供給する励磁形電圧調 整器で,基準電圧と発電機電圧を比較する検出回路とこの差電圧 を増幅制御する2段の磁気増幅器ならびに電源から構成される.

検出回路はあらかじめセットされた基準電圧と交流発電機の三相 整流電圧の差に比例した誤差信号を発生する.この信号は第1段 第2段磁気増幅器で電力増幅され,励磁機に励磁電流を供給し発 電機電圧を一定にする.磁気増幅器式の特長は,

(1) 無接点式で寿命は半永久的である.

- (2) 出力容量は他の方式に比較して大きい・
- (3) 振動衝撃に強い.

であるが他方つぎの欠点もある・

- (a) 重量が比較的大きい.
- (b) 交流電源の 1/2 c/s 以上の遅れが存在し増幅度に応じて 応答時間は変化する.
- (c) 鉄心および整流器の特性の均一なものが得がたい.

2.3 トランジスタ式

前節で述べたように航空機用交流電源の電圧調整器は カーボッパ イル 式が主で,磁気増幅器式がそれに次いで使用されていたが,近 年電子工業の進歩発展により信頼度が高く大電力を制御できるト ランジスタ が生産され,入手が容易になったので,電圧調整器を









トランジスタ化しようという機運にある.トランジスタ式電圧調整器は, 発電機電圧と基準電圧を比較する検出回路と検出電圧の脈動分を パルス幅に変調し,成形増幅して励磁機に電流を供給するトランジス タ制御回路と発電機の乱調を防止して動作を安定にする安定回路 およびトランジスタ制御回路用電源から構成され,発電機の並列運 転を行なう場合には横流補償回路が付属する.(図2.3)

トランジスタ 式の特長は

- (1) トランジスタ の ON, OFF 動作を利用し発電機を制御する パルス 幅変調方式で動作が安定している.
- (2) トランジスタによる無接点方式で寿命が長く保守が容易であ る.
- (3) 電圧変動率が少なく応答が迅速である.
- (4) 形状は小形軽量である.

3. 磁気増幅器式

航空機用電圧調整器開発の第1歩として ウェスチングハウス 製 400 c/s 115/200 V 30, 40 kVA ブラシレス 交流発電機用電圧調整器の回 路を応用した磁気増幅器式の試作を行なった.ここにその動作原 理および特性について述べる.(図3.1)

3.1 構造および動作原理

磁気増幅器式電圧調整器は検出回路と2段の磁気増幅器すなわ ち並列 $j_{222,3}$ ル形ならびに三相接続自己飽和形磁気増幅器,安 定回路および電源から構成される.図3.2は発電機一電圧調整器 の電圧制御過程を示すもので理解しやすいように検出,第1・第2 段磁気増幅器および励磁機,発電機特性を理想化してある.電圧 調整器は発電機電圧が定格の場合誤差信号 $I_s=0$,第1段増幅器 の出力 $E_0=0$ で,第2段増幅器の出力が大体最大値の約 1/2 に なるように セット する. 今発電機がなんらかの原因によって乱さ







れ電圧が定常値より H まで瞬時に増加したと仮定する. 検出部 は第1段増幅器に負の信号 I_s を送り、その結果第1段増幅器は 負信号 E_0 を第2段増幅器に送って励磁電流は定常値より少ない I_F となる. 励磁電流が減少すれば発電機は H より低い電圧値と なり、この繰り返しにより平衡状態に達する. 電圧が定常値より 低くなった場合はこの逆の動作により平衡が保たれる.

3.2 特 性

検出一検出回路は定電圧放電管と抵抗器の ブリッジ回路から構成 され,発電機電圧の変化分と検出電流はほとんど直線的関係 にあり電圧調整抵抗を変えることにより定常値 ±10% の電 圧設定ができる.(図 3.3)

増幅一第1段増幅器は並列 ブッシュブル 形で増幅器に適当な パイァ スを与え全体として直線領域を広げる.

第2段増幅器は三相接続自己飽和形で制御電流0で直線部 分の約1/2となる バイアスを与えている. 電機に永久磁石を設けて残留電圧を大きくしていることに起因している.したがって残留電圧を大きくすれば電圧の自己 確立が可能となる.無負荷,全負荷に対する電圧変動率は常 温において±1%以内,応答速度,負荷の急変,起動時にお ける応答速度は 0.14 sec という結果が得られた.

4. トランジスタ式

航空機用交流電源のトランジスタ電圧調整器は電圧調整器のトラン ジスタ 化という時代の要求にこたえ W 社特許の原理を応用した もので +71~-55°C というきびしい環境試験に耐えるように NPN シリコントランジスタ を使用し暗流防止のため ベース に逆 バイアス をかけている.

4.1 構造および動作原理

トランジスタ 式電圧調整器は電圧検出回路,トランジスタ 制御回路, 安定回路ならびに電源回路と発電機の並列運転用構流補償回路に 大別される.(図 4.1)

(1) 検出回路

発電機電圧は三相検出変圧器を経て整流器に印加され ゲイン を 上げるためにその脈動分を CR □ 波器で平滑する. この脈動分の 少ない電圧は抵抗器と $t_{1-g_{1}+1}$ の $j_{1,j}$ 辺路から成る検出 回路に加えられ、 t_{1-} 電圧 V_{2} と発電機電圧と比例する電圧 V_{0} との差電圧が $h_{5,j}$ 制御回路に供給される. (図 4.2) この回路 を設計するにあたって次の考慮がはらわれている.

(a) 初段 トランジスタ の温度による変化が少なくなるような入 力電圧・電流を選定する.

(b) ゼナーダイオード の電圧に温度変化があるので対辺の ブリッジ 枝に サーミスタ を入れ温度補償を行なっている.

(2) トランジスタ 制御回路

トランジスタ 制御回路は パルス 幅変調および成形増幅回路から構成 される.

パルス 幅変調: パルス 幅変調回路は脈動分を含んだ検出電圧を Tr_1 . の入力として受電する. NPN トランジスタ は $I \leq vg \cdot \exists L og$ 間 に電圧が加えられている場合 $(-2 \cdot I \leq vg)$ 間が正電圧ならば導 通,負電圧ならば v + 断となるので Tr_1 の出力は検出電圧に 比例した幅の パルス に変えられる. この回路は $\exists L og$ から抵抗 Rf₁ を通して (-2) に負帰還させ増幅特性を改善して周囲温度 による増幅率の変化を少なくしている.

成形—Tr₂, Tr₃ は Tr₁の出力を成形する回路で Tr₂ に Tr₃ の出力を正帰還させ完全な パルス 幅に成形し Tr₃ は増幅も兼ね

制御特性一航空機用三相 400 c/s 120/208 V 30 kVA ブラシレス発電機(発 電機時定数 0.038 sec, 励磁機時定数 0.087 sec) と磁気増幅器式電圧調 整器と組み合わせ,制 御系を形成した場合無 負荷時における発電機 の回転数と電圧の関係 は図 3.4 で示され,発 電機の回転数が 4,000 rpm 以上になれば電圧 が確立する.これは発



航空機用交流電源の電圧調整器・戸谷・吉田・篠原

ている。

増幅—Tr₄, Tr₅ は電力用 トランジスタ で Tr₃ の出力を増幅し励 磁機に電流を供給する. ここで Rx₂, Rx₃ は逆 パイァス 用 *ತ*イ オード で Tr₁, Tr₅ の暗流を防止し *ತ*イオード Rx₄ と コンデンサ C₃ は励磁機界磁巻線に発生する サージ 電圧吸収の作用をする.

以上が トランジスタ 制御回路の動作で制御系としては発電機電圧が 定常値より上昇した場合,検出電圧は増加し パルス 幅変調回路の 出力 パルス は増大する.その結果励磁機の界磁電流すなわち Tr₅ の出力は減り定常値まで発電機電圧を低下させる.逆に発電機の 出力が低下した場合は Tr₅ の出力電流を増加させ発電機電圧を 上昇させ定常電圧を維持させる.





(3) 安定回路

トランジスタ 制御回路は電源変動に対して 検出変圧器と 平滑回路 の遅れだけでほとんど瞬時に応答するが,発電機側は励磁機およ



Fig. 4.5 Characteristic.



図 4.6 (a) 起動特性 Fig. 4.6 (a) Staring characteristic.



び発電機の二次遅れがあり、電源の変動に対してすぐ応答せず乱 調を起こす。

これを防止するために安定回路が必要となる. この回路は CR で構成され トランジスタ Tr_3 の コレクタ から Tr_1 の \prec -ス に帰還し ている.

(4) 電 源

電源は単相全波ならびに三相全波整流電源で構成され,単相全 波整流電源は トランジスタ 制御回路の前段小容量 トランジスタ の電源 に使用され,三相全波整流電源は最終段電力増幅用 トランジスタ の 電源である.

(5) 横流補償回路

横流補償回路は変流器と相互 リァクトル から構成され発電機の並 列運転時に検出回路に補正信号を送る.しかし発電機の単独運転 時は変流器の二次と相互 リァクトル の一次を短絡して横流補償回路 を切り離す.図4.4 は横流補償の動作をわかり易くするため ベクト ル図を用いて表わしたもので、4・5・6・7 は図4.1 に対応する線 番の電位を示している.4-5、5-6、6-4 はそれぞれ線間電圧を 7-6 は相互 リァクトル に誘起される電圧を示し、*Ir* は変流器の二次 出力電流で,変流器は発電機の¹7相にあるから発電機出力電流と 同相で比例関係にある.

(a) は上の関係を示すもので、ベクトル 図 7—6 の相互 リアクトル の 二次出力電圧は相互 リアクタンス に I_T を乗じたものにほぼ等しく、 位相も I_T より 90°進むため ベクトル 7—6 は I_T より反時計式に 90°進められる. 抵抗負荷の場合は (b) のように発電機線間電圧 は三角形 4—5—6 で表わされ、変圧器入力は三角形 4—5—7 で 表わされる. しかるに三角形 4—5—6 と三角形 4—5—7 は面積が 等しいことからわかるように整流器の出力平均値は等しく、検出











図 4.7 (c) 過渡応答 Fig. 4.7 (c) Transient response no load-full load.

航空機用交流電源の電圧調整器・戸谷・吉田・篠原



Fig. 4.8 Characteristic curve by temperature.



図 4.9 トランジスタ 式電圧調整器 Fig. 4.9 Transistorized voltage regulator for aircraft.

回路に影響を与えない. 誘導負荷または過励磁の場合は(c)のように検出変圧器入力の三角形4-5-7は増大し,したがって整流 出力も上昇して検出信号は過電圧を示すため発電機電圧は低下する. 逆に容量負荷または不足励磁の場合は(a)のように検出信号 は不足電圧を示し発電機を上昇させる.

4.2 特性

検出回路一検出信号と電源電圧の関係はほとんど直線的である。 トランジスタ制御回路一電源電圧とトランジスタ制御回路最終段の出 力電流の関係は図4.5 で表わされる.

制御特性一磁気増幅器式電圧調整器の試験に用いた航空機用三 相 400 c/s 120/208 V 30 kVA ブラシレス 発電機と トランジスタ 式電圧 調整器と組み合わせ電圧制御を行なった場合の特性は次のとおり である.

起動特性: 図4.6(a) は起動特性で励磁機の時定数 0.089 sec, 発電機は起動後 0.2 sec 以内で定常状態となる.図4.6 (b) は 発電機の回転数と励磁電流,発電機電圧の関係を示すが4,500 rpm以下で電圧は確立せずそれ以上になれば自己確立する.

過負荷: 150% 定格電流2分間過負荷に耐えうる.200% 定格電流5秒過負荷に耐えうる.

- 過渡応答: 全負荷→無負荷, 無負荷→全負荷の急変において 0.1 秒以内である. (図4.7)
- 電圧上昇: 励磁機界磁開閉器の投入時の電圧上昇は 140%.
- 電圧変動率: 無負荷→全負荷の変動は ±0.5% 以内である.
 - 温度+71~-55°C における電圧変動は ±3% 以内にはいる (図 4.8 (a)).

図4.8(b)は電圧調整器,発電機の エージング 特性で起動後 5 分以内でほとんど落ち着き,以後電圧変動は見られない.

並列運転: 並列運転時無効負荷分の分担の差は定格の10%以 内に調整できる.

耐久: 定格負荷,定格速度で5秒投入5秒 シャ 断を 100 時間運 転し異常は認められない.

単相運転: 一相あたり 1/6, 1/3 および 2/3 負荷を接続し,個

々の相電圧の変動は 1, 2, 4% 以内にはいる. 速度特性: +71~-55°C における速度特性は図4.8(c) で示 される.

以上の結果から トランジスタ 式電圧調整器は非常に安定しているこ とがわかる. これらの試験は MIL 規格に準じたもので MIL 規 格に合格しているが,参考のために航空機用電圧調整器の MIL 規格について簡単に述べる.

5. 規 格

航空機用交流発電機および電圧調整器の規格 MIL-G-6099 において発電機ならびに電圧調整器は飛行の高度,温度範囲によ

表 5.1 試 験 方 法

	受入	赋 験	12	定試	¢
試 驗	976 ET3 1814	ज्ञान संस्थलन	発電	豊および 調査	多器
	卵電機	891 D2 77	No. 1	No. 2	No. 3
製品検査	×	×	×	×	×
調整可能最大速度	×	×	×	×	×
加然					
ブラスト空気冷却	×		×	×	×
自己冷却			×	×	
過負荷	×	×	×	×	×
過 速 度	×		×	×	×
● 総 録 耐 力	×	×	×	×	×
過渡応答	×	×	×		
電圧変動率		×	×	×	
電圧調整して影響する因子			×	×	
相平衡	×		×	×	
能率			×	×	
短絡容量			×		
出力電圧調整			×	×	
並列運転			×	×	
無線障害			×	×	
波 形			×	×	
耐 久			×		
動作位置			×		
塩 水 噴 霧			×		
耐力ビ性			×		
ひジン				×	
加速				×	
振 動		-		×	
衝撃		-		×	
可トウ駆動	1	-		×	
湿度				×	
最大圧力降下					×
共 振 周 波 数				×	
高度定格図表			×		
分解および検査			×	×	×
注 水					×
防爆性					×



図 5.1 A,B,C 級発電機および調整器 高度-温度範囲 Fig. 5.1 Temperature-altitude range class A, B and C generator and regulator.



- 曲線 A: 短絡回路を切り離した時または界磁開閉器を閉じた時の最大電圧上昇
- 曲線 B: 1 単位負荷を切り離した時 曲線 C: 0.8 遅れ力率で単位負荷を加えた時電圧は不平衡負荷のないすべての動 作状態で制限される
- 図 5.2 定速発電機に対する過渡電圧および定常電圧の限界 Fig. 5.2 Transient and steady state voltage limit for constant speed generator.
- って A 級, B 級, C 級の3種類に分類される(図5.1).

これらの発電機および電圧調整器は表 5.1 に示される各項目の 認定試験または受入試験を実施するように規定されている.表 5. 1 の試験で電圧は図 5.2 の規定内に存在しなければならないと定 められている.

- 過負荷: A,BおよびC級に相当する温度で全負荷運転し次の 過負荷を加える。
 - (a) 最小定格遅れ力率で 150% 定格電流を2分間
- (b) 最小定格遅れ力率で 200% 定格電流を5秒間
- 過渡応答:発電機および電圧調整器の組み合わせ状態において 過渡応答を測定。

- 電圧変動率:十分な エージング後最小および最大定格速度で電流 0から定格電流に急変させる.
- 電圧変動率に影響する因子:温度 25±15°C, -55±5°C, +71 ±5°C (A 級)の温度で 50, 100, 150, 200% 定格試験を 行なう.
- エージング: 電圧調整器は -55°C の低温にすくなく とも 10 時間 以上放置後5分間のならし運転を行ない調整電圧を測定.
- 短絡容量: 定速発電機に対し平均定格速度で 300% 定格電流 を最小5秒間流す.
- 並列運転: 並列運転時発電機から供給される 無負荷分担の差 は1台の発電機定格の 10% 以内.

耐久: 定格負荷,速度で100時間運転し5秒接5秒断にする。 環境試験: MIL-E-5272 に規定される塩水噴霧,耐かじ性 砂 ジン,振動,衝撃,防爆試験を行なう。

以上のような過酷な認定試験を行なうように規定されている.

このほか,最近立案された JIS 航空機用電圧調整器の規格もあ るが骨子は上記と同様である.

6. む す び

航空機用交流発電機電圧調整器の概要と試作の磁気増幅器式な らびに トランジスタ 式電圧調整器について説明した. トランジスタ式電 圧調整器は市販部品を使用しているが,それでも航空機用として 十分実用に耐えらるものを製作できた. なおこれを応用して商用 交流発電機の トランジスタ 式電圧調整器を製作し好結果が得られた (図6.1). 今後とくに トランジスタ 式電圧調整器が実用化されるこ とを望む次第である.



図 6.1 トランジスタ 式電圧調整器 Fig. 6.1 Transistorized voltage regulator for frequency.

参考文献

- (1) 山下: 自動電圧調整装置便覧
- (2) MIL-G-6099 Specification of AC Generator and Regulator for Aircraft.
- (3) JIS 航空機用空冷交流発電機および調整器
- (4) Training Manual Westinghouse Electrical Equipment.

UDC 621. 794 化学加工 石原克己*・田口修* Chemical Milling Research Laboratory Katsumi ISHIHARA・Osamu TAGUCHI

Chemical milling is a process in which metal surface is chemically dissolved so as to make the metal into a proper shape. Experiments have been made on the chemical milling of aluminium, copper and stainless steel by the use of several etching reagents to examine the effects of concentration and temperature of etching reagents and of the working hour on the milling rates and the milled surfaces. Also masking materials have been tested about their chemical resistivity against etching reagents together with heat resistivity and adhesive property. The results reveal the following. (1) Hydro-chloric acid and caustic soda solution suit for the work on aluminium. The milling rates increase with the concentration and temperature of the etching reagents. (2) For copper 30% solution of nitric acid is suitable and for stainless steel aqua regia fits. (3) Synthetic rubber is the best for use in masking.

1. まえがき

科学技術のめざましい発達に伴い,各種工学分野で使用される 金属材料の種類は急激に増加した.そのため,従来の機械的な加 工法のみでは加工が困難な材料も多くなり,金属の堅さに無関係 に加工できる新しい加工技術の確立が緊急課題となっている.化 学加工も,そのような意味で注目されている比較的新しい加工法 の一つで,ミサイル 弾頭の加工などにも応用されている.

化学加工は、金属表面の加工を受けない部分に耐薬品性塗料を 塗り、酸または アルカリ 溶液の中に浸 セキ し、化学反応によって金 属表面を溶解加工する方法である.したがって、化学加工では機 械加工におけるような高い加工精度や、大きな加工速度が望めな いのは当然であるが、つぎのような長所もあり、その適用いかん によっては特色を十分生かすことができると考えられる.

- (1) 非常にカタイ金属でも柔らかい金属でも加工できる.
- (2) 加工硬化や加工 ヒズミ を生じない.
- (3) きわめて大きなものや複雑な形状の加工ができる.
- (4) 簡単な設備で多量生産ができる.

この研究では、このような化学加工がどの程度実用化できるか を検討するため、被加工体として アルミニウム、銅および 18-8 ステン レス 鋼の3種の材料を選び、耐薬品塗料の試験ならびに加工条件 と加工性の関係などの検討を行なった。

2. 化学加工の方法

化学加工は,前処理工程,塗膜工程,加工工程および後処理工 程の四つの段階に分けることができる.

前処理工程は、金属面と塗膜の密着性を良くするために、被加 工体表面の油やごみや サビを除去する工程である。油やごみは、 トルエン、アセトン などの有機溶剤で洗浄し、酸化物は酸洗いで除去 して、表面はできるだけきれいにしておかなければならない。

塗膜工程は、被加工体の加工されない部分を薬品の溶解作用か ら保護するため、その部分に耐薬品性塗料を塗る工程である。加 工されない部分に塗料を塗る代わりに、全面に塗膜を作って、加 工する部分の塗膜を ハク 離してもよい. この実験ではこのような 方法を用いた. 塗膜工程は、化学加工においては最も重要な工程



図 2.1 複雑な形状の化学加工工程 Fig. 2.1 Chemical milling process on objects of complex shapes.

で,塗膜の良否によって,加工の成否が左右される.

塗膜工程の終わった被加工体は、加工液の中に浸 セキ し一定の 深さまで溶解加工を行なう.加工液は金属の種類によって異なる が、一般に化学研摩液よりも強力な液を用いる.加工速度を大き くするためには、液を加熱したり カクハン することも必要である. これが加工工程である.

後処理工程は,加工の終わった部品から塗膜を除去する工程で ある.塗膜の除去は普通有機溶剤で行なうが,それのみで完全に 除去できない場合は、ブラッシングなどを併用する.塗膜を除去した 後は、十分水洗いし、乾燥して全工程を終わる.

簡単な加工の場合は、1回の工程で終了するが、複雑な加工を 行なう場合は、塗膜工程と加工工程を何回も繰り返さなければな らない、図2.1は、複雑な形状の部品の加工を行なう場合の工程 を模型的に示したものである。

3. 化学加工と耐薬品性塗膜

3.1 供試塗料の性質

塗膜工程は前にも述べたが、化学加工ではきわめて重要な工程 で、化学加工を行なうにあたっては、まず適切な塗料を選び、塗 装法にも十分注意する必要がある.一般に塗膜に要求される性質 としては、つぎのような点が考えられる.

(1) 種々の加工液に対して十分な耐食性を有すること.

(2) 加工液は,溶解速度を大きくするために高い温度で使用 するので,塗膜は耐熱性にすぐれていなければならない.

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963



図 3.1 塗膜の密着性が側面側侵食に及ぼす影響 Fig. 3.1 Effect of adhesion of maskant on side etching.

塗料の種類	塗装条件	耐酸性	耐アル カリ性	耐熱性	管置性	伸び性	溶剤による 除去の難易
塩化ビニール 塗料	常温乾燥	4		×	*	Ó.	0
エトキシリン 樹脂塗料	焼付 (180°C)	0	0	0	Q	×	×
ポリウレタン 樹脂塗料	毙付 (120°C)	0	Ø.	0	Ò	×	×
ネオブレンゴ ム塗料	高温加破 (80°C)	0	0	0	À	Q	a
ハイバロンゴ ム塗料	高温加蔵 (70°C)	0	Ø	Ö	Ö	Ö	0
Orres	·良好	23=14		A.	×	…不良	

表 3.1 供試耐薬品性塗膜の性質

(3) 塗膜は密着性が良好でなければならない、塗膜の密着性 が良好な場合は、加工断面は図3.1(a) に示すようになるが、塗 膜の密着性が良くないと、図3.1(b) に示すように、塗膜の下か

ら加工液が浸透して加工深度に比べて側面侵食度が大きくなる,

(4) 塗膜には気 ホウ(泡)があってはならない。気 ホウがある と加工中に膜が破れることがあり、良好な加工を行なうことがで きない。

(5) 加工部分の塗膜を ハ2 離して加工する場合は、塗膜はあ る程度 ハ2 離性が良くなければならない. ハ2 離性と密着性は相 反する性質であるが、化学加工に用いる塗膜としては、加工中に 側面侵食が起こらない程度に密着しており、しかも N2 離が可能 であることが望まれる.また膜の N2 離性がすぐれているために は、塗膜にある程度の伸びと強度があることが必要である.

(6) 塗膜は加工後溶剤で簡単に除去できることが望ましい.

耐食性塗料としては多くのものが市販されているが、市販品は すべて塗装用として作られたものであり、上述のような化学加工 用としての特殊な要求を満足するかどうかは疑問である。そこ で、との実験では、加工の実験にさきだって、数種類の合成樹脂 系塗料ならびに合成ゴム系塗料について、塗膜の耐薬品性、耐熱性、 密着性などの性質の検討を行なった。試験に供した塗料は、塩化 ビニール塗料 (D 社製)、エトキシリン 樹脂塗料 (D 社製)、ポリウレタン 樹脂塗料 (D 社製)、ネオブレンゴム 塗料 (N 社製)、ハイパロンゴム 塗 料 (N 社製) の 5 種類である。

試験結果を表3.1に示したが、塩化ビニール塗料以外はすべて、耐酸性、耐アルカリ性、耐熱性ならびに密着性にすぐれている。しかし、エトキシリン樹脂塗料とポリウレタン樹脂塗料は、焼き付け乾燥すると伸びが無くなり ハク離が困難であり、加工後の溶剤による除去 も不可能で、化学加工用の塗料としては適当でないと考えられる。

ネオラレンゴム 塗料と ハイパロンゴム塗料では、耐薬品性、耐熱性およ び伸び性などの点では差異が認められなかったが、密着性の点で はネオラレンゴム 塗料がやや劣り、加工したときに側面侵食が認めら れた: ハイパロンゴム 塗料は、ネオラレンゴム 塗料よりも密着性にすぐれ ており、加工部分を ハク離する工程でやや難点があったが、側面 侵食を起こさず、試験に供した5種類の耐薬品性塗料の中では、 最も化学加工に適していると考えられる。そこでこの実験では、 耐薬品性塗膜にはすべてハイパロンゴム 塗料を用いた. なお、合成ゴム

化学加工・石原・田口

系の塗膜は、 トルエン, アセトン などの溶剤に浸せ+すると膨潤して, 容易に被加工体から除去できるので,後処理工程はほとんど問題 にならない。

3.2 塗装法

塗膜自体の性質とともに、塗装の良否も、塗膜の密着性、均一 性などの性質に影響を及ぼすので、二、三の塗装法について検 討した結果を簡単に述べる。

(1) 漫 t+ 塗裝法

浸 セキ 塗装法は, 塗料の中に被加工体を浸 セキ し, 引き上げて 被加工体表面に塗膜を形成させる方法である.この方法では, 塗 料の粘性が大きいと被加工体の上側と下側で膜の厚さが異なって くるが, 塗料を溶剤で薄めて使用すると均一な膜厚が得られる. 塗料を薄めると膜厚が薄くなり耐薬品性が悪くなるので, 膜が乾 燥してから 2~3 回塗装を繰り返す必要がある.この塗装法で最 も問題になるのは塗料を薄めたときにできる気 ホウである.塗料 に含まれている気 ホウはそのまま塗膜に残り, 膜の性質が悪くな る.塗料を薄めて カクハン したときにできる気 ホウは,約20分間 放置すると表面に浮いて消失する.気 ホウがほとんど無くなって から浸 セキ 塗装を行なうと良好な結果が得られた.

また長時間使用していると、溶剤が蒸発して塗料の濃度が高く なるので、そのような場合は適時溶剤を加えて濃度を一定に保つ 必要がある。

この方法では、塗料を多量に要するのが欠点であるが、簡単で しかも良好な性質の塗膜を得ることができるので、この実験では 塗膜工程は浸 セキ塗装法を用いた.

(2) スプレー 塗装法

耐食塗料は高分子系で一般に粘度が高いので,普通の空気スラレ - 法で塗装すると,塗料が糸を引いて、くもの巣状になり、膜に ビンホールが形成されやすい. このような弊害は、塗料を溶剤で薄め、 かつ塗料を暖めて使用することにより解決できるが、前記の浸 セキ 法のほうが、より好結果が得られるようである.

(3) ハケ 塗り法

ハケを用いて塗装する方法も簡単な方法であるが、均一な膜厚 を得ることがむずかしく、気 ホウを生じやすいのが欠点である。 この方法では、塗膜が半ば乾燥したときに、ハケに溶剤をつけて膜 面をなでることにより、気 ホウをある程度除くことができる。ハケ 塗り方の場合にも気 ホウを防ぐには、塗料の濃度は薄いほうが好 ましく、十分な膜厚を得るには塗装を 2~3 回繰り返す必要があ る. なお、この方法は被加工体が大きくて、前記の浸 セキ法が適 用できない場合には効果的である。

4. アルミニウムの化学加工

4.1 実験法

アルミニウム は酸にも アルカリ にも溶けて, 化学加工が比較的容易 にできる材料である. この実験では, 市販の純 アルミニウム 板 (AIP-3)を力性 ソーダおよび塩酸を用いて加工し, 加工条件と加工性の 関係を検討した.

試験片の大きさは 5×50×50 mm とし、前処理としては、トル エン で脱脂後、70°C の 10% NaOH 溶液に約 10 秒間浸 セキ し て表面を化学研摩した。耐薬品性塗膜には、前記の ハイパロンゴム 塗 料を用い、浸 セキ 塗装法で、3 回塗りした。加工は 11 ビーカ を 用いて行ない、加工液の量は 1 個の試験片につき 0.51 とし、 加工面の大きさは 30×30 mm とした。加工液の温度は恒温水

(789) 57





表 4.1 NaOH ならびに HCl 溶液で アルミニウム を 加工した場合の液の濃度と加工面の荒さの関係 (加工温度:70°C,加工時間:1h)

加工液	NaOH	(70°C)	HCI (7	70°C)
濃度	平均荒さ	機械加工 との比較	平均荒さ	機械加工 との比較
加工前	3μ	上仕上		
2,5%	7	中仕上		
5	12	中仕上	15 μ	中仕上
10	14	中仕上	16	中仕:上
15	14	中仕上	15	中仕上
20	16	中仕上		
25	16	中仕上		

タンク で一定に保った.また、加工液は長時間使用すると蒸発し て濃度が変化するので、1時間に1回水を補給して、液量をほぼ 一定に保つようにした. なお試験片の数は同一条件につき3個と した.

4.2 加工条件と加工速度

化学加工は、加工液と被加工体の化学反応によって加工を行な うものである。したがって、加工液の種類や濃度、温度などの加 工条件によって加工速度が異なるものは当然である. この実験で は加工液として、NaOH と HCl の水溶液を用い,加工液の濃度 および温度が加工速度におよぼす影響の検討ならびに、同じ液を 長時間使用した場合に、液の劣化が加工速度に及ぼす影響の検討 を行なった・

(1) 濃度の影響

図4.1 は、2.5、5、10、15、20% および 25%の NaOH 溶液と, 5, 10% および 15% の HCl 溶液を用いて, 70°C 1時 間加工したときの,加工液の濃度と加工速度の関係を示す.

この図から明らかなように、NaOH で加工した場合は、濃度が 約 15% までは、加工速度は液の濃度に比例して直線的に増加し ている。加工液の濃度が増加して 20% 以上になると、加工速度 は一定の値に飽和する傾向が認められる.

これに対し、加工液として HCl を用いた場合は、この実験で用 いた 15% までの濃度範囲では、加工速度は濃度が増すと加速度 的に増加しており、NaOH の場合に比べて、加工速度に及ぼす 濃度の影響は著しく大きい. また同じ濃度の NaOH と HCl に よる加工速度を比較すると、後者は前者の場合よりも大きいこと が認められる・

(2) 液温の影響

加工液の温度も濃度とともに、加工速度に影響を及ぼす因子 の一つである. 図4.2は、5% NaOH、15% NaOH および 10 % HCl の液を用いて, 60, 70°C および 80°C の各温度で1時



図 4.2 加工液の温度が加工速 度に及ぼす影響(アルミニウム) Fig. 4.2 Effects of temperatures of etching reagents on milling rates of aluminium.

加

表 4.2 NaOH ならびに HCl 溶液で アルミニウム を 加工した場合の加工温度と加工面の荒さの関係 (加工液の濃度 : NaOH 15%, HCl 10%, 加工時間:1h)

の関係(アルミニウム)

Fig. 4.3 Relations between

milling depth and milling

time (aluminium).

加工液	NaOH	(15%)	HCl (10%)		
工温度	平均荒さ	機械加工 との比較	平均荒さ	機械加工 との比較	
60°C	11 µ	中仕上	16 µ	中仕上	
70	14	中仕上	16	中仕上	
80	16 中仕上		17	中仕上	

間加工したときの加工深 度と液温の関係を示した ものである.この結果に よると, NaOH の場合も HCl の場合も,加工速度 は加工液の温度にほぼ比 例して増加していること が認められる.

(3) 液の劣化の影響 加工液は長時間使用し ていると,ァルミニウム が溶 解して液の成分が変化し, 加工性にも影響を及ぼす と考えられる.加工液の 劣化が加工速度に及ぼす 影響を検討するため, 15% NaOH と 10% HCl 溶液を用いて、それぞれ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 時 間および3時間加工した ときの加工深度を測定し

た. その結果を図4.3に示す. 加工面積は前述したように 30× 30 mm とし, 液の量は 1 個の試料につき 0.51 用いた結果であ る.

3-

図4.3の結果をみると 15% NaOH の場合は、加工深度は加 工時間に比例して増加しており、3 時間までの加工時間では、液 の劣化による加工速度の変化は認められなかった.

70℃ の 10% HCl で加工した場合は、図4.3の結果から認め られるように、時間が増加するにしたがって、加工速度は次第に 減少しており、加工時間が2時間を越えると、液の劣化の影響が 明らかに認められる.

4.3 加工面の表面荒さ

金属に対する酸や アルカリ の溶解作用は, 金属に含まれる不純 物や金属組織の不均一性の影響をうけて局部的に不均一になり、 その結果化学加工した表面に オウトッ(凹凸)が生ずる.

表4.1は, 温度一定の NaOH と HCl でそれぞれ アルミニウム を加工したときの加工液の濃度と表面荒さの関係を示すもので, 表4.2は、加工温度と表面荒さの関係を示すものである。この結 果によると、NaOH で加工した場合は、液の濃度ならびに温度 が増加するにしたがって、加工面が荒くなっていることが認めら れる. HCl で加工したときは、加工面の荒さは液の濃度にも温 度にもあまり影響をうけていないようである. NaOH と HCl で 加工した場合の表面荒さのこのような相違は、アルミニウムの不純 物に対する NaOH と HCl の溶解作用が異なることがおもな原 因と考えられる. アルミニウム には, 通常 Fe, Cu, Si, Mn などの 不純物が含まれており,それらの不純物は,Si を除いて NaOH に溶解せず,黒い不溶性残 サ(渣)となって加工面に残る.このよ うな残サが加工面に付着すると,残サと加工面の間に局部電池 が形成され、そのため腐食が局部的に進行して表面荒さが増す原 因になると考えられる. NaOH の濃度と温度が増すほど加工面 が荒くなるのは、濃度や温度が増加すると溶解作用が大きくなり、 表面に付着する残サの量が増加することに基因していると考え られる.事実,この不溶性残 サを加工中に一定間隔をおいて何

表 4.3	NaÒI	I 溶液で	アルミニウ	ムを加工	した場合
溶解残	† が表	面荒さに	及ぼす景	/響 (加	口工液の濃
底 :	15%	温度:7	0°C ∄⊓	丁時間:	2h)

反,10/0, 血反,1		j
加工条件	平均荒さ (µ)	機械加工 との比較
加工前	3	上仕上
残サを 10 min ごとに除去し た場合	7	中仕上
残サを 20 min どとに除去し た場合	12	中仕上
残サをまったく除去しない場 合	16	中仕上



図 4.4 アルミニウム の加工例 (加工液: 15% NaOH) Fig. 4.4 Examples of chemically milled aluminium. (etching reagent: 15% NaOH)



図 4.5 アルミニウム の加工例 (加工液: 10% HCl) Fig. 4.5 Examples of chemically milled aluminium. (etching reagent: 10% HCl)

回も除去して加工すると, 残 サ を除去しないで加工する場合に比 べて表面荒さが小さくなることが認められた. 表 4.3 は 70°C の 15% NaOH 溶液で2時間加工したとき,不溶性残 サ を一定時間 ごとに除去すると,表面荒さがどのように変化するかを検討した 結果である.この結果をみると,残 サ を 10 分ごとに除去した場 合の表面の平均荒さは約 7 μ , 20 分ごとに除去した場合は 12 μ , 全然除去しなかった場合は 16 μ で,明らかに不溶性残サが加工面 の荒さに影響を及ぼしていることが認められる.

これに対し、HCl で加工した場合に、加工液の濃度や温度の影響が認められないのは、Fルミニウムに含まれる、Fe, Cu, Si, Mn などの不純物が HCl に溶解するためであると考えられる. 実際、 HCl で加工したときは、NaOH の場合のような黒い残サは加工 面に付着せず、NaOH で加工したときに加工面が荒くなる原因 の一つが、表面に付着した残サの影響であることを裏付けして いるものと考えられる.

金属の酸や アルカリ に対する溶解作用が局部的に異なる原因と しては、このような不純物の作用のほかに、不純物が地金と金属 間化合物を形成している場合に生ずる異相間の局部電池作用の影 響、金属組織の加工 ヒズミ の影響および結晶粒界の影響などが考 えられる. アルミニウム を HCl で加工したときに生ずる表面荒さの 原因は、主としてこのような金属組織の不均一性に基づくものと 考えられる.

4.4 アルミニウムの加工例

化学加工は,前にも述べたように,精密な加工や深い穴あけ加 工などには適用できないが,表面の比較的浅い加工の場合は,平 面に限らず曲面の場合でも均一に加工できる.また塗膜工程と加 工工程を繰り返すことにより,かなり複雑な形状の加工もでき, 被加工体を一定速度で加工液の中に浸 t+または引上げ操作を繰 り返すことによりテーパ加工も可能となる.

図4.4は、厚さ 5 mm の アルミニウム 板を NaOH 溶液で加工 した例で、図4.5は同じ アルミニウム 板を HCl で加工した場合の 写真である. HCl 溶液で加工したときは、加工面に光 タク がない ので、この試験片は、HCl で加工後 70°C の 10% NaOH に数 秒間浸 セキ してつや出しを行なったものである. 図4.6は、HCl 溶液を用いて、アルミニウム の丸棒に ミリ切り加工を行なった例で ある. いずれの場合にも、耐薬品性塗膜には ハイパロンゴム 塗料を 用いた.

4.5 アルミニウムの適性加工条件

以上, $r\nu z = 54$ の加工液として NaOH と HCl の水溶液を用い,加工条件と加工性の関係を検討したが,加工速度の点からみて液の濃度は,NaOH では約 15%,HCl では $10 \sim 15\%$ が最も適当であると考えられる.加工液の温度は,加工速度ならびに塗膜の耐熱性の点からみて,NaOH の場合も HCl の場合も $70 \sim 80^{\circ}$ C が適当と考えられる.

図 4.6 アルミニウム の加工例 (加工液: 10% HCl) Fig. 4.6 Examples of chemically milled aluminium (etching reagent: 10% HCl).



また, NaOH で加工するときは, 表面薫きを小さくするため, 10 分間隔ぐらいで加工面にできる黒い不溶性残 サ を除く必要が ある.

5. 各種金属材料の化学加工

化学加工は、加工液と耐薬品性塗料を適当に選べば、非常に多 くの材料に適用できる. アルミニウム や銅合金はもちろん、炭素鋼 やステンレス鋼、インコネル などの耐熱耐食合金や、タンタル、モリブデン な どの レアメタル も化学加工が可能であるといわれている、アルミニウム および アルミニウム 合金の加工液としては、前述のように NaOH 溶液と HCl 溶液が適当であるが、銅および銅合金 では HNO₈、 炭素鋼では HCl、ステンレス 鋼や インコネル などでは王水または フッ 酸硝酸混液を加工液として用いることができる. 加工液の温度は、 耐薬品性塗膜の耐熱性や液の取り扱いやすさなどの点から 60~ 80℃ が適当である.



図 5.1 加工時間と加工深度の関係 (銅). Fig. 5.1 Relations between milling depth and milling time (copper).

化学加工・石原・田口



図 5.2 銅の加工例 (加工液: 30% HNO₃) Fig. 5.2 Examples of chemically milled copper (etching reagent: 30% HNO₃).



図 5.3 加工時間と加工深度の関係 (18-8 ステッレス) Fig. 5.3 Relations between milling depth and milling time (18-8 stainless steel).

図 5.4 18-8 ステレレス 鋼の加工例 (加工液: 王水) Fig. 5.4 Examples of chemically milled 18-8 stainless steel. (etching reagent: aqua regia)

表 5.1 18-8 ステンレス 鋼を王水で加工したときの 熱処理と表面荒さの関係

	袤	面 荒 さ ()	L)
加工時间 (n)	購入のまま	溶体化熱処理 (1,050°C 水冷)	敏感化熱処理 (650°C/h)
0.5	30	30	29
1,5	37	37	
2.5	38	37	35

HNO₃ では約 3.5 mm/h である. また 15% HNO₃ は溶解量が 少ないので,3 時間使用しても劣化は認められないが,30% HNO₃ は,1 時間以上使用すると,液が劣化して加工速度がやや落ちる ことが認められる. 図 5.2 は,銅を 30% HNO₃ で加工したもの の写真である. なお,耐薬品性塗膜には ハイパロンゴム 塗料を用い たが,HNO₃ に対する耐食性ならびに銅に対する密着性は良好 であった.

18-8 ステンレス 鋼は, 王水または硝酸フッ酸混液で化学加工できる が, この実験では加工液として王水を使用した. 試験片の大きさ は5×50×50 mm で, 加工される部分の面積は 30×30 mm, とし た. 加工液の量は1個の試験片につき 0.51 で, 加工温度は 60°C とした. 18-8 ステンレス 鋼は, 500~800°C に加熱すると, 粒間に クローム炭化物が析出し, 粒間腐食が起こりやすくなる. 粒間に析 出したクローム炭化物は,1,000°C以上の温度に加熱して急冷すると, オーステナイト相に固溶して耐食性が回復する. したがって, 18-8 ス テンレス 鋼を化学加工する場合は, クローム炭化物が粒間に析出して いるかどうかによって, 加工速度や表面荒さが異なってくること が予想される. この実験では, このような金属組織と加工性の関 連を検討するため, 入手したままの状態と, 1,050°C で溶体化熱 処理を行なったものおよび, 溶体化熱処理後 650°C で 1 時間敏 感化熱処理を行なった ステンレス 鋼を用いた.

図5.3は、入手のままの状態、溶体化熱処理を行なった状態な らびに敏感化熱処理を行なった 18-8 ステンレス 鋼を,60C°の王 水で加工したときの加工時間と加工深度の関係を示す. この図か らも明らかなように、加工速度は入手のままの状態でも溶体化熱 処理を行なっても、また敏感化熱処理を行なってもまったく異な らないことが認められる.

表 5.1 は、同じ試験片の加工面の荒さを示すものであるが、加 工面荒さにも熱処理の影響は認められない、18-8 ステッレス 鋼は前 述のように 500~800°C で敏感化熱処理を行なうと、粒間に 20 -4 炭化物が析出し、粒内と粒間で 20-4 含有量に差が生じ、一 般には粒内と粒間で腐食の程度が著しく異なるのであるが、王水 による溶解作用にはそのような影響が認められないことが明らか になった.したがって、18-8 ステッレス 鋼を王水で加工する場合は 熱処理の影響は考慮しなくてよいと考えられる.

図5.4は、18-8 ステッレス 鋼を王水で加工した一例を示す. 耐薬 品性塗膜には ハイパロッゴム 塗料を使用したが、 この塗料は、 60°C の王水にも十分耐えることがわかった. ステッレス 鋼の 60°C 王水 による加工速度は約 0.8 mm/h で、 アルミニウム や銅の場合に比較 すると小さいけれども、十分実用に供しうるものと考えられる. なお、 2.5 時間加工した結果では、 図5.3 から明らかなように加 工液の劣化はまったく認められない.

6. む す び

化学加工に使用する各種耐熱性塗料について試験した結果,ならびに アルミニウム,銅および18-8ステッレス鋼の化学加工について,その実用性の検討を行なった結果を要約するとつぎのとおりである.

(1) 化学加工に使用する耐薬品性塗膜としては,耐酸性,耐 rubリ性,耐熱性,密着性,伸び性,溶剤に対する可溶性などの すぐれたものを選ばなければならないが,これらの性質を比較的 よく満足する塗料は,ハイパロン系合成 ゴム 塗料であった.

(2) アルミニウム の加工液としては, 15% のヵ性 ソーダ 溶液, ならびに 10~15% 塩酸溶液が適当である. 加工 温度は 70~80℃が適している.

(3) アルミニウム を カ 性 ソーダ で加工するときに生ずる不溶性 残 サ は,表面と局部電池作用をし,加工が進むにしたがって加工 面は荒くなるが,この残 サ を約 10 分間隔で除去して加工を行な うと,加工面のあらさが小さくなることが明らかになった.

(4) アルミニウム を塩酸溶液で加工する場合は、加工面荒さは、 加工液の濃度、加工温度、加工時間などの影響をほとんど受けな いが、これは アルミニウム に含まれる不純物が塩酸に溶解し、不溶 性残 サができないことに基因していると考えられる.

(5) 銅の化学加工は 30% 程度の硝酸が適当で,加工温度は 60~70℃ が適当である.

(6) 18-8 ステッレス 鋼の化学加工は 60°C の王水が適当である. また ステッレス 鋼の粒間に析出した クローム炭化物は, 王水で加工す る場合,加工性にまったく影響を及ぼさないことがわかった.

(昭 38-1-26 受付)

参考文献

- J. B. Mohler: Introduction to Chemical Milling. Materials in Design Engineering. Apr (1961).
- (2) H.M. Deutsch: Maskants for Chemical Milling. Materials in Design Engineering, May (1961).
 (3) 佐藤: 化学的加工法.
 - 名工試報. 12月(昭33),3月,6月(昭34).

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

60 (792)

三菱スカイリングおよび三愛ドリームセンターの空気調和設備

-冷暖房・衛生・給排水設備のすべて――

安部宗昌*

Air Conditioning Installations of Mitsubishi Sky Ring and San-Ai Dream Center All the installations including air conditioning, sanitary work and water piping------

Head Office Sosho ABE

The air conditioning installations and sanitary facilities of the Mitsubishi Sky Ring involve many talking points built with ingenious concepts of the Company to cope with the unique design of the building. All the apparatus are of automatic operation with meticulours care for not only the most agreeable temperature and humidity throughout the year but also for dust prevention that is now attracting attention. The Mitsubishi Cleanaire plays the vital part in this purification of air. The building is provided with many lights which produce heat several times of the ordinary edifice. In addition, the glass panes around the building permit entry of much heat. All these conditions bring about the need of cooling the premises for a very long period of the year, so that almost not heating arrangements are required even in winter.

1. まえがき

三菱 スカイリング (三愛 ドリームセンター) は近来つぎつぎに竣工した 建築物の中でも異色の存在といえよう.地下3階・地上9階・塔 屋4階・床面積 2,490 m² (冷房面積 1,500 m²) の円筒形 ガラス の この建物は、シンメトリックな鏡壁の両翼にささえられ、昼なお明る く夜はこおこおと輝き、また屋上には巨大な当社の広告塔が音楽 によってその都度 プログラム を変えながら美しく明滅し家路を急ぐ 人々の足をしばし止めている.

しかしながらこの透明な光の塔も,その機能を維持するための 冷暖房・衛生給排水・受変電・昇降機などの諸設備があってこそ, その建築物としての役割を十分に果すことができるのである.

建物内の空気調和も戦後の急速な経済発展に従って増加の一途 をたどり、現在ではほとんど必要欠くことのできないものとなっ たが、予算面から受ける制約は別として、まだまだ建築意匠およ び構造上の都合からその設備の機能を十分に発揮できないような 制約を受けることが多いようである.

建築物の構成美はもちろん芸術の一つの尺度となる美という観 念の カテゴリー に入るだろうが、建築物の存在価値の中にはその実 用性も含まれることは確かであって、いわゆる芸術品との本質的 な相違もそこにあり設計者の苦悩もそこから生じてくるというも のである.つぎに設備の概要について述べてみよう.

2. 当社の誇る機器

空気調和および衛生給排水設備の主要機器は図2.2,4.1,8.1 に 示すとおり,地下3階と非常階段上の9階,そして塔屋4階の各 機室および塔屋上に設置されている.空気調和設備に使用されて いる機器はもちろんのこと各種の電動機はすべて当社の技術の粋 を集めたもので、クリネヤ(電気式空気清浄装置)・送排風機・冷凍 機, ルーム・クーラ、エア・タオル などが配置されているが、とくに最 近開発された CT-100 形密閉式単段 ターボ 冷凍機は当社のたゆま ざる技術に対する研究と多年にわたる経験の結晶であって、小形 で運転時の静かなこと、高能率な機種であることは既に業界でも 定評を得ている.



図 2.1 右-ターボ 冷凍機 (1 号機), 左-凝縮水 ポップ Fig. 2.1 Turbo refrigerator No. 1 on the right condensing pump on the left.



図 1.1 全 景 Fig. 1.1 Full view.



N 0.	機器名称 台	数No.	機器名称	台数	No.	機器名称	台数
1	冷凍機	2 10	加温スプレイ	1	19	地階換気排風機	1
2	凝縮水ボン ブ	1 11	冷却加熱コイル	2	20	地階換気排風機	1
3	冷温水循環ポンプ	1 12	クリネヤ	1	2!	トランス排風機	1
4	暖房用熱交換器	1 13	1~3F系統排風機	1	22	冷温水ヘンダ(往) 1
5	セクショナル・ボイラ	1 14	B1, B2 F系統送風	.機 1	23	冷温水ヘンダ(置) 1
6	オイルバーナ	1 15	加湿スプレイ	1	24	汚物ポンプ	2
7	真空給水ボンブ	1 16	冷却加熱コイル	2	25	排水ポンプ	2
8	重油貯蔵タンク	1 17	クリネヤ	1	26	揚木ポンプ	1
9	1~3F送風機	1 18	B1, B2 F系統排展	1機 1	27	消火ポンプ	1

図 2.2 地下3階機械室配置図 Fig. 2.2 Machine layout of basement No. 3.

3. 冷暖房からみたスカイリングの特長 (暖房は冬季でもほとんど不要)

この光の塔の冷暖房は、その実体が一般の建物とはおよそ趣を 異にすることが設計段階より予測されていた.それは外壁がすべ て ガラス であるため、建物の内部に侵入する日射熱量が非常に多 く(日射熱量は冬季も夏季もほとんど同じで、単に太陽の方向と 高さが違うことそして時間的ずれがあること)、また内部の照明が 一般の建物に比べて単位面積あたり7~10倍くらいあるので、そ の発熱による負荷が非常に大きいことである.

これらの条件から単位冷房面積に対して必要な冷房容量は一般 のビルの4~5倍となっている.その結果従来の建物における冷 暖房シーズンという概念はまったくくつがえされ、冷房期間はだ いたい初春から晩秋、暖房期間は晩秋から初春の間であって、冷 暖房の必要がなく外気のみで換気を行なういわゆる中間期がない. しかも日射の熱量に大きく影響されるので―1日をつうじての 熱負荷の変動がきわめて大きい―という結果になる.

つまり冬季は晴天で日射を受ける日中は外気のみによる換気を 行ない,陽が傾けば外気量をしぼり,夜になって外気温が下れば 暖房が必要になるといった状態にある.そして日射をとくに多く 受ける中階以上と,それより下の階および日射をまったく受けな い地階とでは,外界の状態が同じであっても熱負荷という観点か ら考えればまったく違った状態におかれている.

空気調和の系統

この建物の空気調和 システム は図 4.1 のとおり三つの ジーン・コン トロール に大別することができる. すなわち,地下 1・2 階系統お よび地上 1~3 階系統は冷温風循環方式で行ない,地上 4~9 階 系統は冷温風循環方式 (5・7・9 階)と,冷温水循環による クライ メータ方式 (4・6・8 階) を併用している.

そして各系統の空気調和器ごとに電子管式空調用制御盤があり, 温湿度を適当に設定すれば室内の状態は常に設定された温湿度に 保つことができるようになっている.

5. 類例のない自動化

これら,熱負荷変動の要素を考え合わせれば建物内の温度の変 化は複雑多様でありしかもその変化の度合がはげしいことは当然 であって,各階の温湿度を絶えず快適な状態に保つことは容易な ことではない.

そこで空気調和の操作を容易にするため冷凍機・ボイラの完全 自動化をはじめとして各機器を自動化し,空調用自動機器を多く 用いて電子管式空調自動制御盤を介して各階の温湿度の制御を簡 単にし,さらに中央操作監視盤をおいて各機器の操作と運転の確 認を容易にするとともに電子管式温度指示計で外気の乾湿球温度 ・各階の温度・その他冷温水や空気調和器の主要点の温度の監視 をできるようにしてある.

また最近注目されている除 ジャ ということについても, クリネヤ を設けて建物内の空気清浄度を高度に保つよう細心の考慮をはら っているのである.

自動機器を大別すればつぎの3種類に分けることができる.す なわち冷凍機の自動運転用(後述)・空気調和器内の冷却加熱 コイ



図 5.1 左-9-ボ冷凍機 (2 号機) 側面,右-中央操作監視盤 Fig. 5.1 Turbo refrigerator No. 2 on the left central supervising panel on the right.



図 5.2 電動三方弁 Fig. 5.2 Motor operated crow valve.



ル に流れる冷温水を制御する電動三方弁用・暖房用熱交換器に流 れる蒸気を制御する電動二方弁用となり、その他電動 *⋬*ンパ も使 用している.以下主要機器を用途別に略記すれば

5.1 室内の温度を一定に保つ

室内(地上 1~3 階系統) あるいは還気 ダクト 内(地下 1・2 階 および地上 4~9 階系統)におかれた主温度調節器が,室内の温 度変化を電子管パネルに指令し電動三方弁の開度を変えると,冷 却加熱 コイルに流れる冷温水の量は自動的に制御され,室温は設

三菱 スカイリング および三愛 ドリームセンター の空気調和設備・安部

定された温度に絶えず保たれる.

5.2 室内の温度変化の幅を小さく

室内の温度は常に設定された温度に保つことが理想的であるけ れど,前記主温度調節器だけで制御すると室温は設定された温度 を中心としてある程度の高低を繰り返えし,またその高低の周期 も短かくなり不快感を起こさせるようになる.

この原因は空気調和器と室内との間には多くの場合相当の距離 がありまた吹出し口と主温度調節器との間にも多少の距離がある ことに基づいている. この遅 れのための制御温度によって 生ずる室温の波の高低の幅を 小さくし周期を長くして設定 温度に常に近づけておくため, 調和器の出口 ダクト 内に設け られた温度調節器はその温度 変化を検知して電子管パネル に指令し主温度調節器の指令 度をある程度小さくするよう に押え、一定時間後に主温度 調節器の指令度になるよう動 作する.

5.3 夏季, 外気温に適し た室内の温度を設定 する

夏の外気温度はその日その 日によって変化し、26~27℃ のこともあれば 32°C を越え ることもある. 室内温度を一 定の温度に設定した場合,外 気温度が極度に高くなり室内 温度との差が大きくなること は健康上にもあまり好ましい ことではないので室内の設定 温度を外気温に応じて変更す ることが必要となる.外気取 入 ダクト 内に設けた温度調節 器は, 外気温がある温度(た とえば20°C) 以上になると作 動し, 外気温度を検出して電 子管 パネル に指令し主温度調 節器が設定している室内温度 を変更する.





図 6,1 1 号冷凍機回路

夏と冬の快適な温度は当然異なるので、その室内温度を設定温 度に保つため電子管パネルの回路を外気温度によつて自動的に切 り換える・

5.5 外気量の調節

三つの空気調和系統ごとに還気および排気 ダクト 内に電動 ダン パを設置し、中央操作監視盤で開度指示計を見ながら遠隔手動調 節して還気と外気の風量の比を任意に制御することができるよう にしてある.

6. 2 台の冷凍機の自動平行運転とその保護

2 台の冷凍機は全電圧起動方式を用い、起動順位を選択でき、 負荷減少によって停止したとき以外は自動再起動せず、なお同時 起動を防止するよう考慮してある.図6.1は1号機回路であるが 2 号機も同様なので省略する. つぎに各記号について略記すれば

Th 熱架動 リレー

Ths……サーモ・スタット

MC……マグネチック・コンタクタ

Fig. 6.1 Circuit of refrigerator No.1.

RT……タイム・リレー LCR……電流制限 リレー 105% で断 95% で接 RB-I.....冷却塔送風機の補助 リレー (インターロック) RB-II 冷温水 ポンラ の補助 リレー (インターロック) LW……制御回路電源表示 ランプ (白) LR……運転表示 ランプ (赤) LG……停止表示 ランプ (緑) LO……危険停止 ランプ (橙) SV......ソレノイド・バルブ T415B……起動指令用温度調節器 (^{8℃} で接(温度上昇の時) 冷水還り温度 6℃ で断(温度下降の時) T915C ……ベーン・コントロール 用温度調節器 Q441A #1……ベーン・コントロール・モータ 補助 リレー 冷凍機の停止中は接 Q441A #3……ベーン・コントロール・モータ 補助 リレー ベーン 開度がある開度以上になると接

RT-111……励磁後 2 分 30 秒経過すると作動

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

1 油ポンフ

冷波槌

Cel: 2.01

の長

RC

RC

200/24V

手動自動切換

QN406BY-1F

М1. Т915С

RC-112

- 116

-117

Q.

*∞*LC

RT-116……励磁後 3 分 30 秒経過すると作動 コ・カ・ソ はおのおの コントロール・センタ,中央操作監視盤,冷凍 機操作盤に機器が設置してあることを示す.

7. 空気調和の主要機器

ボイラ 関係・冷却塔・ポンプ・クライメータ および熱交換器以外は当 社製品である.

密閉式単段 ターボ 冷凍機 CT-100 形 2 台
冷却能力 302,400 kcal/h
回 転 数 12,500 rpm
電動機出力 100 kW
冷 媒 R-11
冷却塔使用

地下 1・2 階空調系統用 各1台 翼形 ターボ 送風機 FE-8030 風量 320 m³/min, 静圧 70 mm, 電動機出力 7.5 kW 翼形 ターボ 排風機 FE-8030 風量 320 m³/min, 静圧 45 mm, 電動機出力 5.5 kW 電気式空気清浄装置 CH-B302 地上 1~3 階空調系統用 各1台

翼形 ターボ 送風機 FE-8037
 風量 580 m³/min, 静圧 102 mm, 電動機出力 22 kW
 翼形 ターボ 排風機 FE-8027
 風量 580 m³/min, 静圧 57 mm, 電動機出力 15 kW
 電気式空気清浄装置 CH-B420

```
地上 5・7・9 階空調系統用 各1台
翼形 ターボ 送風機 FE-8033
```



図 7.1 4 階 クライメータ 吹出口 Fig. 7.1 Climater blow outlet on the 4th floor.



図 7.2 塔屋上冷却塔送風機 Fig. 7.2 Cooling tower blower on the roof.

三菱 スカイリング および三愛 ドリームセンター の空気調和設備・安部

風量 470 m³/min, 静圧 102 mm, 電動機出力 15 kW 電気式空気清浄装置 CH-B320 地上 4・6・8 階空調系統用 24 台 クライメータ 冷却能力 3,024 kcal/h, 風量 1.7 m³/min 電動機出力 0.135 kW 5 階電話交換室, 7 階事務室 各1台 ルーム・クーラ RBH-10 冷却能力 3,024 kcal/h ヒート・ポンプ 式 冷却塔 200D 特殊形 1 基 風量 1,570 m³/min, 水量 2,680 l/min 同送風機用電動機出力 5.5 kW 2 台 蒸気式 セクショナル・ボイラ 4M-8-S 1 基 常用出力 192,700 kcal/h オイル・バーナ 50-DP-12-FS 1 台 電気 ガス 着火式 真空給水 ポップ V.W.T-500 1 台 暖房用熱交換器 シエルエンドチューブ 式 1 基 能力 194,000 kcal/h 凝縮水 ポップ 180×160 LFM 1 台 水量 2.8 m³/min, 揚程 22 m, 電動機出力 19 kW 冷温水 ポップ 160×100 LHM 1 台 水量 2.4m³/min, 揚程 25 m, 電動機出力 19 kW 换気用送排風機 多翼形 各1台 地下3階電気機械室換気用 送風機 FS-124 風量 91 m³/min, 静圧 32 mm, 電動機出力 3.7 kW 排風機 FS-118 風量 91 m³/min, 静圧 25 mm, 電動機出力 1.5 kW 変圧器用 排風機 FS-115 風量 80 m³/min, 静圧 25 mm, 電動機出力 1.5 kW 塔屋 2~4 階機械室用 排風機 FS-111 風量 24 m³/min, 静圧 25 mm, 電動機出力 1.1 kW 一般階便所用 排風機 FS--110 風量 30 m³/min, 静圧 25 mm, 電動機出力 0.75 kW 地下2階便所用 排風機 FS-106 風量 8.5m³/min, 静圧 19 mm, 電動機出力 0.2 kW 8. 衛生・給排水・消火セン設備 8.1 給水設備 地下3階機械室床下の受水 タンク へ本管より水道水を引き込み, 揚水 ポンラ で塔屋4階の高架水 タンク に揚げ,各器具に給水する.



図 8.1 衛生・給排水系統図 Fig. 8.1 System diagram of sanitary facilities.

冷却塔への補給水,9 階機械室 クリネヤ 洗浄用水および同調和器 用加湿 スプレ 用水は, 圧力 タンク より給水するようになっている.

8.2 排水通気設備

各階ごとに排水を主管に結び、地上1階以上の排水は自然放流 にて都下水本管に結び、地下の排水は地下3階機械室床下に設け られた汚水 タンク に導き、汚物 ポンプ にて揚水して都下水本管に 流している.また機械室床下湧水の排水は、排水 ポンプ で揚水し 都下水本管に流す.

通気は回路通気とし,汚水本管に並べて立上げ,塔屋1階で屋 外に開口排気している.

8.3 消火セン設備

地下2階から屋上までの各階 コア部に,各1組の消火 セン 箱を 設け,屋外に双口 サイアミーズ・コネクション を1組設置している.

8.4 給排水・消火センポンプの仕様

揚水 ポップ 50MSVIIM 1 台

水量 0.2 m³/min, 揚程 62 m, 電動機出力 5.5 kW 汚物 ポップ 70VWWM 2 台

水量 0.3 m³/min, 揚程 18 m, 電動機出力 3.7 kW 排水 ポップ 70SQ 2 台

水量 0.23 m³/min, 揚程 18 m, 電動機出力 3.7 kW 消火 ポップ 70MSVIIM 1 台

水量 0.3 m³/min, 揚程 80 m, 電動機出力 11 kW 加圧 ポップ 40RSM 1 台

水量 0.09 m³/min, 揚程 30 m, 電動機出力 1.5 kW



図 8.2 ファ 外周の消火セン箱 Fig. 8.2 Fire hydraut case around the core.



図 8.3 工事中, 奥-消火 ポップ 手前-揚水 ポップ Fig. 8.3 Fire pump in the back water pump in the side.

9. 各機器の操作・監視・表示

9.1 操作

すべての機器は中央操作監視, コントロール・センタ, コンビネーション・ 5イン・スタータ, 操作盤(冷凍機・クリネヤ・ポイラ に付属している) お よび手もとのいずれか, あるいは前記の何個所かで起動・停止を

表 9.1 各機器の状況表示表

機械名称				퀑	ŧ		示
 ○印は中央操作盤に表示されるランプ ソ、セの記号はおのおの提佐数あみいは制御数 		う 中り	9 ン ブ e操作監視盤				
に表示されるランプ 3. A, B, C・・・の記号は 右表の注に記してある	宽	運	特	故	巒	洗	注
4. 同一表示の機器は一つ の覧にまとめてある	颂	酝	殊	蹴	報	诤	
冷凍機 油ボンブ エア・バージャ 送排風機 各空調系統用 送排風機 40下3階換気用 排風 機 各階便所用 クリネヤ 各空調系統用 凝縮木・冷温水ボンブ 揚水、ボンブ 滑水ボンブ 消水ボンブ 消水ボンブ 加圧ボンブ 冷却塔送風機 ボイラ オイル・バーナ 真空給木ボンブ クライ・メータ 4・6・8 階系統 温木スブレトヒータ 5・7・9 陪空調系統 高架木タンク 汚木タンク 汚木タンク	ソ し セ ソ	ソロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロロ	EO	₹D O	FO FO JO KC LO	t ()	 A 自動運転表示 B 中央操作監視意(ランブ・ベル)油圧・油 温水高圧・冷木温・冷木温・油 温水最一冷却水量・油 二、冷木温・冷水温・冷水 二、冷水温・冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、冷水温・冷水 二、「「「」」 二、「「」」 二、「「」 二、「」 二、 二、 二、 二、

行なうことができる. ただし電気室の スペース が狭いため,大部 分の送排風機・ポイラ 機器および屋階に設置されている機器は コ ンピネーション・ライン・スタータ をそれぞれの機械室において重複操作 でき,給排水・汚物・消火 ポップ は,ポップ 室に別置された コット ロール・センタ・ユニット のみで操作することができる. なお,消火 ポップ は揚水 ポップ として兼用することができるようにしてある.

9.2 運転状況の監視

各機器の監視は中央操作監視盤で行なうが、運転・故障表示および警報は同監視盤、コントロール・センタおよび ユニット、コンビネーション・ライン・スタータ その他付属操作盤の多岐にわたり重複するものもあるので表にまとめてみる. ただし コントロール・センタ およびユニット、コンビネーション・スタータ については省略する.

10. む す び

この透明な光の塔は、はじめに予想されていたように外気が 10°Cを越えると日射のあるときは全外気によって換気を行なっ ても上階はもう冷房がほしくなる.計算の結果として観念的には 理解でき、そしてそれを条件のなかの一つとして設計施工してき たにもかかわらず、やはり太陽熱の強烈さに直面したときは驚嘆 の思いにとらわれる.

もちろんこの対策として、二重 ガラス や紫外線を シャヘイ する塗 料などを使用する案が出たが、いずれも技術上あるいは意匠上の 難点があって実現されなかった.このような建物の空気調和は、 理想的にはさらに分割された ジーニング・コントロール を行なうべきで あろうが、そのようにしたならばはじめからこの建物は空調のた めの スペース という問題から成立しなくなってしまうだろう.

施工の点でも,他の設備同様その特殊な建築構造と立地条件の ため相当な困難を伴った.機械室は狭く,機器の搬入は夜半から 明方までに制限されているけれど時折は建築工事に必要な機材の 搬入が予定外に入ってくる.それでも決められた期間内に搬入を 完了しないと他の搬入予定に支障をきたすといった具合である. 確かにやりにくい工事ではあったが,監督が日建設計工務で,建 築が竹中工務店であったこと,しかも各担当者に ペテラン がいた ことは,結果からみて与えられた ワク内で工事を完遂し得たこと に大きな幸となっている.







図 10.2 工 事 中 Fig. 10.2 Under construction.

名	称	登	龣	日	登録番号	考	案	者
磁気選別相	雙	37	-12-	17	708789	山下源	(一郎・柳	下儀兵衛
電気掃除植	閾の管接手	37	-12-	17	708794	武井久	、夫・小川	昇
"	塵払い刷子	37	-12-	17	708795	武井久	、夫・加藤	悟
螢光灯ソク	アット	37	-12-	18	580054	{高島秀 {橋本武	二・山下 。雄	源一郎
再閉路装置	2	37	-12-	18	580057	北浦孝		
チューナー	- の遠隔切換装置	38	- 1-	14	580768	芝田正	5	
足踏電器@ 調整装備	D踏板ストローク 登	38	- 1-	14	580769	矢野美	幸・藤方	贤一
自動ジグ† るカム専	ドグミシンにおけ 両減速装置	38	- 1-	14	580770	三津沢	大大	
消弧装置		38	- 1-	14	580771	佐藤五	郎・陰山	長三郎
昴案内装置	ß	38	- 1-	14	709750	八木信	郎・長崎	忠一
自動進角點	专證	38	- 1-	19	709970	荒川利	弘	
積層鉄心用	目側板	38	- 1-	19	709972	浜岡文	夫・今出	昭彦
積層鉄心		38	- 1-3	19	709973	浜岡文	夫・今出	昭彦
						1		

••◆• ◆•◆•◆•◆• ◆•◆• ◆• 最 近 登 録 さ れ た 実 用 新 案◆

名称	登録日	登録番号	考察者
陰極無絶縁エキサイトロ 形水銀電気弁	× 38- 1-19	709974	 { 阿部久康・池田和郎 山田徳彦
回転電機のブラシ揚装置	38- 1-19	709978	宮野正和
リード線支持具	38- 1-19	709982	宮野正和
充電表示装置	38- 1-19	709985	平田 毅
回路遮断器の引外し機構	38- 1-19	709986	藤井 保
配線用シャ断器	38- 1-19	709987	松浦 清
電気集塵装置	38- 1-19	708889	酒井正侃・津寺 剛
電気集塵装置	38- 1-19	709990	酒井正侃 · 津寺 刚
回路シャ断器	38- 1-19	710000	兼本 成則
磁気連結装置	38- 1-19	710001	浅野哲正
電磁クラッチ制御装置	38- 1-19	710003	浅野哲正
电动楼进転装置	37- 1-19	710004	和野 勇
卷鉄心	38- 1-19	710005	橫山栄一

三菱 スカイリング および三愛 ドリームセンター の空気調和設備・安部

マイクロ波用気球空中線

喜 連 川 隆*・大久保貫一**・東 野 義 夫***

Microwave Balloon Antenne

Research Laboratoly	Takashi KITSUREGAWA
Sagami Works	Kanichi OKUBO
Electronics Works	Yoshio HIGASHINO

A portable microwave balloon antenna made of rubber has been successfully put to practical use, instead of take the place of a metalic one. The main assembly of the antenna in construction is a rubber cloth balloon to be inflated by gas and shape forms a parabola with a reflecting surface of the shape. It permits easy assembling and disassembling, being fit for carrying around. The effective diameter of the balloon antenna is 1.7 m and the gain is 38 dB at 6,700 Mc. That means, the aperture efficiency is about 50%-almost the same as that of the metalic unit. Electric performance, that is liable to be affected by the deformation of the balloon due to temperature change and folding during transit, is practically good enough for the purpose. It has application to microwave communication equipment of mobile use and also to large sized test apparatus for wave propagation.

1. まえがき

マイクロ 波通信の発達に伴い,その空中線は広帯域,偏波共用, 多周波数帯共用の方向に進むとともに,高利得低維音の方向をた どっている. 遠距離 レーダ 用の巨大な高利得空中線の慣性能率を 小さくするために生れたのが気球空中線である. これを折りたた んで容易に運搬できるようにしたのが本文記載の空中線である.

以下に、当社で実用化に成功した可搬形気球空中線の構造、機 械的性能、電気的性能および応用について記す.



図 1.1 気球空中線前面 Fig. 1.1 Balloon antenna front view.

2. 構造および機械的性能

この気球空中線は、金属性のパラボラ 反射鏡に代わって、ゴム布 で作った気球が主体となっていて、気球に気体を封入してふくら ませ、反射面がパラボラの形状となるように作られ、しかも空中 線として軽く、組立分解および運搬に便利な構造となっている.

その空中線の機能は図 2.1 に示すように、一次放射器より出 た電波は パラボラ 形状の反射膜より反射し、前面の ゴム 布ででき ている透過膜を透過して空間へ放射される.

- 気球空中線の構成は
- (1) 気球本体
 - a 反射膜
 - b 透過膜
 - c 保持 チューブ
- (2) 一次放射器ならびに給電系
- (3) 保持 ワク
- (4) 回転機構

以上四つの部分から成立っている.

気球本体は保持 チューラ に周辺を固定した反射膜と透過膜とか ら作られている.反射膜は ゴム 布に金属の層が含まれた二層構造 となっており、透過膜は ゴム 布一層構造である.

気球は反射膜と透過膜の形状がどちらも パラボラ 形状となっている. その パラボラ を形成するために図 2.2 に示すように三角形



図 2.1 気球空中線 Fig. 2.1 Balloon antenna.



図 1.2 気球空中線側面

Fig. 1.2 Balloon antenna side view.

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963



図 2.2 反射膜のはり合わせ方法 Fig. 2.2 Pasteting methode of reflection screen.

の ゴム 布を気球中心部に頂点がくるように合わせてある.

保持 チューブ は気球の内部より高い圧力に保っておき気球がふ くらんだ場合円周でこの形を保持する役目をする.また一次放射 器は中心に固定しやすいように一次放射器そう入用の ゴム 製の リ ッグ がある.

この気球空中線を屋外に設置する場合,とくに重要なことは反 射膜や透過膜が温度変化による気球内圧変化に伴い膨張収縮し, そのために反射膜のパラボラ 面や透過膜の中心にある一次放射器 と反射膜との距離が変化しないことが必要で,これらの膜の材料 として伸びの少ない ゴム 布を開発したことが成功の要因となった. 1 例として ガラス 布の上に ゴム をコーテッグしていたものの特性 を表 2.1 に示す.

ゴム 布は電気的には薄い方が望ましく,気密性は十分高く,か つ可搬性の点で折りたたみ操作による電気的,機械的性能ならび に気密性が劣化しないことが必要である.気球の寿命はゴムの材 質により決定されるがその耐候性を**表 2.2** に示す.

今回試作した気球は保持 チューラ に約 0.4 気圧,気球には約 0.003 気圧の ガス を封入したが,風圧に耐しては気球内部の圧力 と受風圧力が等しい値まで パラボラ 形状を保つことができる.風 による風荷重 *P* は

- v: 風速
- A:受風面積
- g: 重力の加速度=980 cm/sec²
- γ:空気の単位体積重量(温度 15°C)
 =0.01226 g/m²

で表わされその関係を図 2.3 に示す. したがって 20 m/sec の風 速までは完全な性能を保つことがわかる. なおこれ以上の風速に 耐しても短時間の変形はまぬがれないが風速が 20 m/sec 以下に なれば元にもどる利点がある.

一次放射器および結電線は原則として普通のパラポラ空中線の ものと変わらないが.保持方法および気球空中線の用途によって, 適合した形式を選ぶべきである.

耒	2.	1	٦̈́	TIO)特性
-24	~.			- 114 × -	

引 張 強 さ	絨	12.9 kg/5 cm 幅		
	橫	76.6 kg/5 cm 幅		
* 耐モミ性	縦横とも	異常なし		

〔注〕 * 印スコット式荷重 1 kg 500 回モミ後

表 2.2 ゴム 布の耐候性

項目	判定その他	項 目	判定その他
耐水性	優	難 熟 性	優
耐オゾン性	優	温度範囲	+100~-30°C
耐紫外線性	良		

マイクロ 波用気球空中線・喜連川・大久保・東野



図 2.3 風速と風圧との関係 (温度 15°C) Fig. 2.3 Relation between wind velocity and wind pressure (at 15°C).

表 2.3 試作品の構造と機械的性能

項	月	諸元	部品名	重量 (kg)
有 効	径	1.7 m¢	気 球 本 体	9.6
外	径	$2.2\mathrm{m}\phi$	保持ワク(セクション)	27
-1: 1:0 1:05	上下	±5°	一次放射器	1
7) 19112:BE	左右	360°	給 電線(可持導波管)	7
前風退	14 任	40 m/sec		
組立所要	時間	20 min 以内		
反射部内圧		30 mmH2O		
ドーナツ部内圧		0.4 気圧		

取付 92 は気球を固定するためのもので組立,分解が容易で, その上軽量,小容量にしなければならない.

試作品の機械的性能および重量を表 2.3 に示す.

気球の組立は先ず保持 チューブ に規定の ガス を充 テン する. こうすれば円板状になって容易に取り扱える. 保持 チューブ を保持 ワク に固定した後気球内にさらに規定の ガス を充 テン する.

3. 電 気 性 能

3.1 反射膜の性能

反射膜の性能がこの空中線の性能を左右しているので,電波の 反射率が金属と等価になるようその製作にはとくに苦心がはらわ れている.

反射率が 90% で 0.46 dB の利得低下となり, 0.1 dB 以下を 望むと 98% 以上を必要とする. これらの反射率は折りたたみに よって劣化しないことが必要である. 折曲げ試験の結果を図 3.1 に示す. なおこの反射率は表皮効果で明らかなように周波数に よってもちろん変わるが金属膜の表皮厚さは 1,000 Mc で 2~ 4×10^{-3} mm であるからこの気球空中線は 1,000 Mc 以下の低い 周波数でも十分使用できる. また反射膜の形状が パラボラ の理想 曲面からの寸法偏差によっても利得が低下するが,最大偏差が 1/16 波長でも 0.1 dB 以下であるから 7,000 Mc であれば約 ±2.5 ないし 3 mm 以下の偏差で十分実用になる. 今回試作したものは ±1 mm 以下であった. したがって 12,000 Mc 位が利得の低下 もほとんど影響がなく使用できる上限と考えられる.

3.2 透過膜の電波透過率

透過膜による利得の低下をきたす主因として





- 1. 電波の反射および吸収
- 2. 開口面上の電波の位相変位

の2点が考えられる.今比誘電率 ϵ ,誘電体力率 $\tan \delta$,厚み t, を持った透過膜を電波が通るときに利得に及ぼす影響を検討して みる. 透過膜による電力反射率を $|R|^2$,電力透過率を $|T|^2$ と すれば

$$|R|^{2} = \frac{\sin^{2}\phi}{4\varepsilon' + \sin^{2}\phi} \dots (3.1)$$
$$|T|^{2} = (1 - |R|^{2}) \left(1 - \frac{2\pi t}{\lambda_{0}} \times \frac{\varepsilon \tan \delta}{\sqrt{\varepsilon - \sin^{2}\theta}}\right) \dots (3.2)$$

で表わされ,自由空間の電波の伝パに比較して透過膜を通過した 透過波の位相遅れ角 Φ は

で表わされる. ただし

$$\begin{split} \varepsilon' \begin{cases} \frac{\varepsilon - \sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} & \text{垂直偏被入射} \\ \frac{\varepsilon^2 \cos^2 \theta}{\varepsilon - \sin^2 \theta} & \text{平行偏波入射} \\ \phi = \frac{2\pi t}{\lambda_0} \times \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \theta} \\ \lambda_0: 自由空間波長 \end{split}$$

以上の関係式より,透過膜 (ϵ =4, tan δ =0.05, t=0.5 mm) 上 の各場所での透過波の位相の計算を図 3.2 に誘電体力率による 影響を考えないときの電力透過率を図 3.3 に示す. 図 3.2 によ れば透過波の位相の不ぞろいは数度以内に入っているからこれに よる利得低下は無視できる.電力透過率は図 3.3 のごとく中心部 で約 99% であるが,入射角増大に伴う透過率の変化は垂直偏波









入射と平行偏波入射の場所で逆となり、したがって両者の平均は 略入射角 ゼロ のときと同一の値を持つために反射による透過膜全 体としての透過損は中心部の値にほぼ等しいと考えてよいから約 0.05 dB である. 誘電体損による損失は略 0.7% でしたがって透 過膜による利得の低下は略 2% すなわち 0.1 dB 以下である.

透過膜による反射波 R の空中線の VSWR に及ぼす影響は透 過膜と反射膜の形状が同じで透過膜中心上に焦点が有る構造につ いて検討すると図 3.4 のように透過膜による反射波はすべて反 射膜の中心部に集まり、ここから反射された電波はもう一度透膜 を反射して一次放射器にもどってくる. すなわち透過膜により反 射されて一次放射器にもどってくる電力 $|R_p|^2$ は

 $|R_p|^2 < (|R|^2)^2$(3.4) で表わされ,この値はきわめて小さいので透過膜による VSWR の劣化はない.

3.3 気球空中線の性能

試作品についての インピーダンス 特性は 6,500~6,900 Mc の VSWR が 1.2 以下でありその周波数特性を図 3.5 に示す. 指 向性は図 3.6 に示すように金属性の パラボラ 空中線とほぼ同等の 性能を有している.気球空中線を運用する時一番問題になる気球 内圧の変化による利得低下の特性を図 3.7 に示す.なお規定の圧 力時の利得は 6,700 Mc の時 38 dB あり 1.7 m ϕ の有効径で約 50% の能率を有している.




4. 応 用

この気球空中線は簡単に分解が可能で気球本体は折りたたむこ とができ、なお ゴム 製であるから非常に軽く、全 ワク 体をも含 めた全重量は 1.8 mφ の金属性 (アルミ)の空中線と比較すると約 1/3 である. また電気的性能はほとんど金属性のものと変わらな い。ただ耐候性および耐風速性において金属性のものと比較する と劣るが、可搬性に富んでいる利点は他の追随をゆるさない.

今この空中線の用途を考えてみると

- (1) 放送局関係の フィールド・ピックアップ 用
- (2) 伝パ試験用
- (3) 非常予備および災害無線用
- (4) マイクロ 波移動通信用

たとえば フィールド・ピックアップ 用空中線は従来は直径 1.2 m の 金属性のものが主として用いられていたようであるが、気球空中 線ならば有効径が 1.8 m でもこれよりは運搬が容易で, 行動半 径も大きくなる. 図 4.1 に示すように高周波部も取り付けられ る構造とした自立式のもの、および自動車の屋根に取り付ける図 4.2 の構造のものが実用的であろう. 自動車にのせる構造のもの は災害用としてもその機能を発揮できるであろう.また伝パ試験 用空中線はしばしば悪路の運搬を必要とするので、気球空中線は 非常に便利である図 4.3 の構造のもの、あるいは大形で 18 mφ 程度のものは図 4.4 に示す方法で十分実用に供することができ る.



挖

図 4.5 有効径と利得 Fig. 4.5 Gain for effective antenna diameter.

大形になるほど組立, 運搬が金属性のものに比べて容易となり, 伝パ試験や短期間使用する大形の空中線としてその利用価値が大 きい.

参考として有効径と利得の関係を図 4.5 に示す.

5. む ょ び

以上気球空中線の特長を述べたが、材料の開発に当社の名部門 が協力してこれにあたり、総合技術の結晶として生れたものであ る.

今後の マイクロ 波通信に機動性を与えるものとして期待がもた れるものである.諸賢のご批判をいただければ幸である.

(昭 38-2-13 受付)

マイクロ 波用気球空中線・喜連川・大久保・東野

(803) 71

ジアリルフタレート樹脂成型品

小山二郎*・斉藤久芳*

Diallyl Phthalate Resin Molding Composition

Itami Works Jiro KOYAMA • Hisayoshi SAITO

Diallyl phthalate resin has been on the market for some time as industrial material. It is further regarded of its molding composition as material having excellent electrical, mechanical characteristics over a wide range of temperature; its superior water resistance is also a matter of noteworthy. These properties excell other molding compositions with promising future in the application to eletric apparatus. The material had recourse to import in the past, but is now available as home product. Mitsubishi has developed molded and laminated products of this diallyl phthalate resin. This paper reports the results experimented on the molded product together with general, electrical, mechanical and physical properties of the molding composition.

1. まえがき

ジァリルフタレート 樹脂はいわゆる ダポン 樹脂として米国 Food Machinery and Chemical Corp. から商品価値ある工業用材料樹脂として紹介されたが, 電気用材料として 高絶縁性, 耐熱性, 寸法安定性, 良好なる作業性をもつといわれ, 種々の文献が報告 されており, 多方面にわたる用途が期待されている.

これまでこの樹脂はすべて輸入に依存しており,価格,品質の 維持などに問題があったが,わが国では昨年から大阪曹達株式会 社において本格的量産が成功し国内市場に供給されつつある.

われわれはすでに ジァリルフタレート 樹脂を用いた成型品, 積層品 を開発したが, この報告では成型品について試験を行なった結果 について述べる.

2. 樹 脂

ジァリルフタレート 成形材料に使用する樹脂は ジァリルフタレートモノマ と ジァリルフタレートプレポリマ の混合物から成り立っている.ジァリルフタレー トの合成には実験室的には種々の方法が用いられるが,基本的に は ァリルアルコール と無水 フタル 酸の縮合によって ジァリルフタレートモノ マを合成し,これを適当な方法で重合することにより白色粉末状 の ジァリルフタレートプレポリマ が得られる.ジァリルフタレート 樹脂の特性 を最終的に決定するものはこの プレポリマ の内容すなわち構造組成 であって線状構造,一部分枝構造,環状構造の重合物の混合組成 が問題になる.FMC 社の プレポリマ の構造は正確には不明である が硬化物の性状から比較すれば,国内産樹脂も FMC 社のそれに 十分対抗しうると考えられる.この モノマ と プレポリマ を適当量混 合し有機過酸化物を触媒として反応させることにより分枝化し不 溶不融性の硬化樹脂となる.

成形材料において ジァリルフタレートモノマ, ジァリルフタレートうレポリマ, 有機過酸化物はそれぞれ硬化反応の遅速, 流動性, 硬化後の性状 を決定する要因となる. すなわち一般的にいえば モノマ の過量は 流動性を高める硬化時間を遅くし, うレポリマ 中の環状化合物は モ ノマ 効果を現わし, 有機過酸化物は流動性に影響があり, 多くて も少なくても流動性は減少する. また添加 モル 比が小さくなれば 硬化はおそくなるが耐熱性は向上する. これらの配合比は予備実 験によって比較的狭い範囲にあることが明らかにされている.

3. 成型材料

ジァリルフタレート 樹脂成型材料は通常 ジァリルフタレート うしポリマ,ジァリ ルフタレートモノマ,有機過酸化物,充テン剤,内部離形剤,着色剤か ら成り立っている.成型品としての性状を問題にする場合は前述 樹脂組成のほかに充テン剤の果たす役割がきわめて大きく影響す る.FMC 社で推奨している充テン剤には

- (a) Orlon (Du pont 社 アクリル 繊維)
- (b) アスペスト 繊維
- (c) ガラス 繊維
- (d) Dacron (Du pont 社 ポリエステル 繊維)
- (e) 繊維素

などがある. これらの ファイパ を使用した成型品の一般性状につ いてはすでに多数の文献があるので割愛するが電気絶縁性に対し ては Orlon, Dacron, ガラス がすぐれており, 寸法安定性には ガ ラス 繊維, アスペス 繊維, 耐衝撃性のためには ガラス, Orlon, Dacron, 作業性には繊維素がそれぞれすぐれている. 目的に対して適切な 基材を取捨選択することは論をまたないが, 同時に価格を考慮す る必要がある. このために通常無機質充 テン材として炭酸 カルシウム, 硫酸 パリウム, シリカ 粉などを増量材として添加使用する.

ジアリルフタレート 樹脂と充 テン材,内部離形剤,硬化剤,着色剤 との混合には湿式混合法と乾式混合法およびこれの中間法が用い られる. 湿式混合法は ジアリルフタレート 樹脂を アセトン,メチルエチルケ トン などの溶剤に溶かした ワニス を充 テン 材に含浸し,減圧加温 乾燥することにより溶剤を除去し適当な流動度を持つ成型材料と する方法で充 テン剤の形状を比較的元の状態に保つことができる ので,機械強度を損することが少ない利点がある.乾式混合法は 回転比の異なる加熱2本 ロール 上に樹脂を仕込み溶融し,充 テン 剤と混 キツ(捏)し,ロール上で適当な流動性を付与する方法で溶剤 を必要とせず,作業時間が短縮できる利点があるが,ガラス 繊維な どを充 テン剤として使用するときは繊維が折れるので極度に成型 品の耐衝撃性を減少する. Orlon,Dacron などの合成繊維を使用す る場合はかさばりのために ロール 作業がやや困難となる.中間法 は両法の折衷ともいうべきもので充 テン材のみを溶剤で湿し ロー ル 作業を容易にしたものである.

この報告に使用した成型品は ガラス 繊維を主体にした充 テン材

72 (804) * 伊丹製作所

を用いたもので諸特性の比較には樹脂系列の類似する市販ポリエス テル 樹脂 プレミックス 成型品を取り上げた.

4, 一般的性質

Fストピートの成型条件は温度 150℃,時間 10分,加圧力 150~200 kg/cm² であって,試験片の形状および試験方法は JIS K 6911, 熱硬化性 プラスチックス 一般試験にしたがって行なった.

試験結果は表 4.1 に示す.

この表は米軍規格 MIL-M-14E, Type MAI-60 との比較であ るが ジァリルフタレート 樹脂成型品のすぐれた特長をよく表わしてい る.

すなわち高絶縁性と誘電性質であって吸水後の劣化がとくに少 ないことは注目に値する.

表	4.1	ジアリ	ルフタレート	樹脂成型品の	一般特性
---	-----	-----	--------	--------	------

項	目	処理条件	$X_{\eta=\delta}$	R	MIL要求
H	重		1.65	0,01	1
引張り強	き (kg/mm ²)	А	6.85	2.38	>2.45
圧 縮 強	ž (kg/mm²)	A	14.2	2.0	>12.6
曲ば強	≥ (kg/mm ^g)	А	11.1	2.8	>8.4
樹撃強さデイン	$r = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}} (\text{kg/cm}^2)$	A	>25 >40		
カタサ ブリ	ネル	1	39.9	5,5	
吸 水	事 (%)	D24/30	0.05	0.02	<1.5
熱変形法	[皮 66 psi	1	202	10	>200
		A	>2.0×107		
植棘斑	抗 (MΩ)	D24/30	>2.0×107		
		D2/100	>1.4×107	log 0,176	
() =0 ()= 1		А	1.1×108	log 0.079	
体图抵扬	: 寧 (MΩcm)	D 24/30	5.2×107	log 1.192	
		A	$>1.4 \times 10^{8}$		
広 明 弦 折	、率 (MQ)	D24/30	>1.4×108		
يت تم ت		A	25.2	8.4	>6.0
胞腺的	JJ (V/mm)	D24/30	26.7	5.9	>4.0 (D48/50)
10 10	-	A	4.00	0.60	<5.7
IN TE	Ha Mc	D24/30	3,90	0.20	<6.0
6	the offerster	А	2.20	0.50	<3.0
14	₩ (%) 1 Mc	D24/30	1.60	0.30	<8.0
日 ブ ー ク	₩ sec		136	7	>130

A:常館 D24/30:30°Cの木中24h浸セキ後 D2/100:100°Cの木中2h浸セキ後

5. 電気的性質

5.1 絶縁抵抗の温度特性

絶縁物の絶縁抵抗温度特性は機器の使用状態において非常に重要な問題であって、しばしば絶縁破壊の原因となる。絶縁物の熱 破壊現象には、吸湿による抵抗の低下と温度上昇による抵抗の低 下が考えられるが、最近のかこくな機器使用の要求から温度上昇 に基づく絶縁不良からくる事故が比較的多い.したがって絶縁物 の温度特性をは握しておくことは設計上必要なことである。一般 に温度特性の測定にあたっては表面に吸着している水分や内部に 含有する微量水分に非常に影響を受ける.とくに高温時の測定値 には乾燥効果を伴うので、真の値よりも高い抵抗値を示すことが ある.この点 ジェリルフタレート樹脂は表4.1からも知られるように 非常に吸水量が少ないので比較的真の値に近いと考えられる.

ジアリルフタレート 樹脂成型品・小山・斉藤



Fig. 5.1 Temperature characteristics of insulating resistance.





図5.1 は比較試料として市販 エポキシ 樹脂成型品と ポリエステルプレ ミックス 成型品をとり、JIS 絶縁抵抗試験片を シリコン 油に浸 セキ して昇温し 1,000 V 超絶縁計で測定した結果である。

エポキシ 樹脂成形品は常温から約 100°C までは測定不能域 (2× 10¹³Ω 以上) にあるがそれ以上の温度では急激に低下する. ポリエ ステルウレミックス 成型品は他の熱硬化性樹脂と同様に典型的な降下 曲線を示す. ジアリルフタレート 樹脂は常温から 180°C に達しても依 然として測定不能域にあり高絶縁性を維持する. この絶縁抵抗温 度特性は ジアリルフタレート 樹脂成型品の最も大きな特長の一つであ るといえる.

5.2 抵抗率と水中浸セキ時間の関係

絶縁材料では長期にわたる吸湿が常に問題になる。とくに重電 機器用材料としては図5.1にて述べた温度特性と吸湿劣化とは機 器の事故に対して密接不可分の関係にあって,設計担当。製造担 当ともに苦労するところであり,材料の選択にはとくに注意しな ければならない.一般に吸湿劣化と吸水劣化とは区別して考えな ければならないが,劣化を短時日に促進する意味で吸水条件にお いて材料の比較を行なった.図5.2は JIS 試験片を 30°C の水中 に長時間浸 セキ した後取り出し常温で測定した結果である. ポリエ ステル 樹脂は従来からも吸水劣化の小さい樹脂といわれているが









図から明らかなごとく ジァリルフタレート 樹脂に比較すると相当にそ ん色がある. この試験では ジァリルフタレート 樹脂成型品は水分の影 響はほとんどなく多湿条件下でも信頼しうる材料ということがで きる.

5.3 破壊電圧と水中浸セキ時間の関係

図 5.2 の試験片を用いて抵抗率の測定が終わった後破壊電圧を 測定した.図 5.3 は電圧上昇速度は毎秒 1,000 V であり,油中で の測定値である.この結果も抵抗率の場合と同様の関係にあり ジ アリルフタレート 樹脂の耐水性を立証している.

5.4 誘電的特性

JIS 試験片を横河 Q メータをもって常温で測定して結果を図5.4 に示す. 周波数は 0.05 Mc から 20 Mc の範囲をとり特性を調査 したが、 5アリルフタレート 樹脂成型品の誘電率は周波数にかかわら ずほぼ一定であり、 ポリエステルプレミックス よりも低位を示している. $\tan\delta$ % は特異な曲線を示すがさらに低周波数のところではいか に変化するか興味のある問題である.

6. 機械的性質

6.1 曲げ強さの温度特性

機器の温度上昇によって材料の曲げ強さが低下することは絶縁 材料が プラスティックス である以上避けることはできないが, できう る限り昇温前の強度を保持することが望ましい. 機器設計にあた っては昇温の度合を推測しているが, 材料はこれに応じた強度を 保証しなければならない. JIS 曲げ試験片を加熱しその温度にお ける曲げ強さを測定した結果を図 6.1 に示す.

6.2 機械強度と加熱時間との関係

機器の運転中に材料が高温に暴露するとき,曲げ強さ,圧縮強



Fig. 6.1 Temperature characteristics of bending strength.









さ, 5+ルピ 衝撃強さがいかに変化するかを知るために, 155°C の 熱風乾燥炉の中に JIS 試験片を投入し, 所定処理日数の後, 常温 での機械強度を測定した.(図 6.2)

含有樹脂の架橋反応が進行するにしたがって,静的強度が増加 し5~10日後に劣化に転ずる.動的強度は樹脂の ぜィ(脆)化の影響で漸減するが,ジァリルフタレート樹脂成型品の試験片は折損せず 測定値を得るためにはさらに長日数の熱劣化を必要とする.

6.3 高温クリープ特性

成型品に静的応力が長時間荷重する場合の変形を予想,比較す るために 130, 155, 180℃ の油中に ASTMD 648 の試験片を 浸 t+ し,初点応力 7.5 kg/cm² による熱変形量を測定し,負荷 2 時間後に荷重を除去し残留 ヒズミクリーブ を比較した.この実験



Fig. 7.2 Water absorption.

では高温になるに従い樹脂の弾性回復が大きく残留 ヒズミ は少な くなる. この結果では ジァリルフタレート 樹脂成型品は ポリエステルウレ ミックス に比較して約 1/2 の クリーラ を示している. (図 6.3)

7. 物理的性質

7.1 加熱収縮率

経年使用時の寸法安定性を調査するために, 130°C の乾風乾燥 炉の中に JIS 収縮率測定試験片を投入して寸法変化率を測定した. (図 7.1)

この試験では最も多量に使用される フェノール 樹脂成型品 (PM -MG) と ポリエステルプレミックス 成型品について比較したが, 容易に 優劣を判定することができる.

7.2 吸水率

30°C の水中に 100 φ×2 mm 厚さの試験片を浸 セキ して吸水率 を比較したが、最初は ジァリルフタレート 樹脂成型品, ポリエステルプレミ ックス 成型品ともに増加するが、前者は約 0.2% で 飽和に達し後 者は日時の経過とともになおも増加を続ける. これは吸水後の電 気試験結果と密接な関係がある. (図 7.2)

8. む す び

前各項において述べたごとく ジァリルフタレート 樹脂成型品は電気 的,機械的な温度特性にすぐれており,とくに耐水性において顕 著な性質を示している.これらは従来市場に現われた各種樹脂成 型品に見られぬ独特のものであり,電気機器用材料として広範な 用途が望まれる.

ジァリルフタレート 樹脂成型品の性状についてはこの報告がすべて を網らするものではないが,最近の国内外の文献値などを合せ考 えるとき,おそらく成型用材料として独特の地位を占め,材料界 に貢献することと思われる.

6 日 日	→催よような阻害に			正尼地正
平月日	土催または開催場所)	一	[7]周笏[7]
37-12-10	東京日本 MTM 研究会	関西 MTM 研究会について	吉川 洸	本 社
37-12-10	学術振興会	記憶素子用蒸着薄膜の試作	上坂達生	研究所
37-12-11	日刊工業新聞社	資材費節減手法と購買部門の職能について	山口孝逸	伊 丹
37-12-12	日本科学技術情報 センタ	社内における技術情報の伝達	小林吉三郎	研究所
37-12-12	日本科学技術情報 センタ	社内における技術情報の伝達	陶山直子	研究所
37-12-13~20	神戸産業技術専門学校	工程管理	奈川敏雄	本 社
37-12-17	輻射科学研究会	実用化 1,300 Me パラメトリック 増幅器の諸実験	喜連川 隆・白 幡 潔	研究所
37-12-18	生産性本部	設備投資の経済計算	高田真蔵	本 社
37-12-21	関西鉄道協会	電車自動運転方式	小原太郎	伊 丹
$37 - 12 - 21 \sim 22$	規格協会関西支部	標準化と品質管理 ゼミナ "工場管理"	小鳥井 繁	本 社
37-12-21	冷放研	けい光灯の高周波振動について	土井貞春	大 船
38- 1-18	矢板電器	筒形乾電池品質	伊藤一夫	本 社
38- 1-18	電気通信学会	パターンプロセッサ	木村孝之	研究所
38 1-18	京都大学	電子工学特別講義	喜連川 隆	研究所
38- 1-22	中央電力研究所	気中沿面放電について	大木正路	伊 丹
38- 1-24	大阪税関	品質管理と検査	阿澄一興	伊 丹
38- 1-24	関西電気協会	自動火災報知設備設置概要書 作成上の留意事項について	志水孝次	京 都

 UDC 541. 136, 8: 621. 352: 621. 035 高温 燃料 電池 秦 卓也*・村山邦彦** High Temperature Fuel Cell Research Laboratory Takuya HATA・Kunihiko MURAYAMA

A high temperature fuel cell of a matrix type consisting of porous electrodes of nickel (fuel electrode) and silver (air electrode) and also a sintered magnesia matrix impregnated with molten alkali carbonate was made for trial. Then experiments were made on the effect of the composition and flow rate of fuel (H₂) and oxidant (O_2+CO_2) together with operating temperature, resulting in the confirmation of both electrodes acting as a hydrogen electrode and an oxygen one respectively. It was also proved from cell performances at 410~850°C that internal resistance was the governing factor of the cell, bacause the contact resistance between the electrodes and the electrolyte are affected by the matrix pore size and the situation of impregnated molten salt. To find metallic materials of excellent catalitic action for the purposes, metallic plates were tested of their polarization characteristics to find that rhodium plated nickel is suited for hydrogen electrode and silver for oxygen one. Furthermore measurement was conducted on the polarization characteristic of porous mesh electrodes.

1. まえがき

新電力源としての燃料電池の研究は近年とみに活発になってきた. 燃料電池は一般にその作動温度により低温形(常温~100C°)と高温形(500~800°C)に分類され,それぞれ燃料,電解質の組み合わせにより数種の形式が考案されている.

最も進歩しているのは低温形水素一酸素燃料電池で,わが国で も1,2はすでに商品化されているが特殊な用途しか見あたらない のが現状のようである.将来これに適した用途が出てくると思わ れるが,ほかに開発中の諸形式のものも大体これと同様である.

ところで高温燃料電池は MHD 発電と同様,将来原子力発電と ともに電力供給を分担するか,あるいは従来の発電法と完全に交 代するものとして期待されている.しかし電解質として溶融塩を 用いたこの電池では,水溶液電解質の場合ですら最大の課題とな っている ガス 拡散電極の反応機構解明がより困難であり,加えて 溶融塩電気化学に関する基礎 データ の不足のため,期待に反して 開発は進んでいない.

われわれはまず,単位電池を試作し,その特性を測定すること により,この種電池の基礎的知見を得るとともに開発への問題点 を見いだすことを試みたのでここに報告する.

2. 発電原理と理論効率

500~800°C で作動する高温燃料電池では電解質として現在は アルカリ 炭酸塩の混合溶融塩が用いられている. 多孔性金属からな る ガス 拡散電極の陽極には O₂ または空気を, 陰極には H₂, CO その他の燃料 ガスを供給して作動させる. 燃料電池はこれら燃料 た電池 ガス の酸化を電気化学的に行なわせて電力を得ることを目 的としである.

図2.1はこの電池の反応を模型的に示したものである⁽¹⁾. 両極における反応式はつぎのごとくである.

陰極	$H_2 + CO_3^- \longrightarrow H_2O + CO_2 + 2e^{-\dots(2.1)}$
陽極	$1/2 O_2 + CO_2 + 2e^- \longrightarrow CO_3^{=} \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (2.2)$
全体として	$H_2 + 1/2 O_2 \longrightarrow H_2 O$ にたる

76 (808) * 研究所 (工博) ** 研究所

このとき電池は熱力学的に

$$E_{\rm (V)} = E^{\circ}_{\rm (V)} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{CP_{\rm CO_2}CP_{\rm O_2} \cdot AP_{\rm H_2}}{AP_{\rm CO_2} \cdot AP_{\rm H_2}} \dots \dots (2.3)$$

で表わされる起電力を示す (A は陽極, C は陰極, R は ガス 定数, T は温度, F は ファラデー 定数を示す).

図2.2は電極,電解質,燃料または酸化剤 ガスの三相の接する 多孔性電極細孔内の状況を模型的に示したものである. 燃料電池の効率は

$$\eta = \varDelta G^{\circ} / \varDelta H$$

で表わされる.

表2.1は代表的な燃料反応を電池反応とした場合の理論起電力 と効率をしめしてある.







図 2.2 3 相界面の模型 Fig. 2.2 Model of three phase zone.

表 2.1 理論起電力と効率

and her and the	298°k		600°k		1000°k	
电泄反応	$E^{\circ}(V)$	η	$E^{\circ}(V)$	η	$E^{\circ}(V)$	η
$C+O_2 \rightarrow CO_2$	1.03	1.00	1.03	1.00	1.03	1.00
$2C+O_2 \rightarrow 2CO$	0.74	1.24	0.86	1.48	1.02	1.78
$2CO+O_2 \rightarrow 2CO_2$	1.34	0.91	1.18	0.81	1.01	0.69
$CH_4+2O_2 \rightarrow CO_2+2H_2O$	1.04	1.00	1.04	1.00	1,04	1.00
$2H_2+O_2 \rightarrow 2H_2O$	1.18	0.94	1.11	0.88	1.00	0.78

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

実際に作動する燃料電池では不可逆反応に基づく活性化分極, 濃度分極,抵抗分極による エネルギ 損失のため表に掲げた効率の 値よりかなり下がる.

3. 開発の現状(2)

ガス 電極反応は固相 (電極)一気相 (燃料または酸化剤 ガス)一液 相(電解質)のいわゆる三相界面で起こることが知られている.実 用的な電池では反応帯を多く持つ構造にするため、多孔性電極を 使用するのが良いが、溶融塩の表面張力と スレ を調節するくふら 夫をしなければならない. そのためこれまで二つの方法が考案さ れ マトリックス 形,浸 セキ 形と名づけられている.

マトリックス 形とは多孔性 セラミック の細孔中に溶融塩を含浸させ その両面にそれぞれ燃料用または空気用多孔性電極を圧着したも のである. この場合 セラミックマトリックス の孔径は多孔性電極の孔径 より小さくし, 毛管圧力の差により多孔性電極が Rレ ないように する. 電解質保持用 マトリックス 材料としては,電子電導性のない こと,溶融塩に対し,耐食性を有するという二つの条件が必要で ある. これを満たすものとして高純度 マグネシア がすぐれている. 浸 セキ 形とは低温燃料電池で1部に採用されている二重多孔性電 極を用いる形式のものをいう. すなわち多孔性電極の孔径を,電 解質側は小さく, ガス 側は大きくし, ガス の圧力を適当に調節し て粗層,細層の境界で三相界面を得ようとするものである. 多孔 性電極には集電体としての役目と電気化学反応の触媒となる役目 が課せられているので,金属の網をはり合わせたものや,粉末を 婉結したものが多く用いられている.

水素電極としては Ni, Pt, Pd または Ag を添加した ZnO が良 いようである.

また酸素電極には Ag, Au, Li を添加した NiO あるいは Ag を添加した ZnO が用いられているが、その中でも、Ag が最も 良いことが報ぜられている⁽³⁾.

高温電池は本来燃料(還元剤)として都市 ガス,発生炉 ガス,天 然 ガス などの安価な炭化水素燃料を用い,酸化剤としては空気を 用いようとするものであるが、CO,CH4,C2H6,C3H8,ケロシン などの燃料 ガス 各成分は単独では反応抵抗が大きく、いまのとこ ろ十分な電流を取り出すことはできない、その対策として消極的 ではあるが、たとえば CH4 の場合

 $CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$ (3.1)

4. 実 験

マトリックス 形高温燃料電池について電池特性に影響を及ぼす諸 因子を検討し、さらに マトリックス および電極につき 2.3 の実験 を行なった。

4.1 実験用単位電池の試作

試作した実験用単位電池は図4.1 に示すように Gorin⁽³⁾ らの 単位電池を参考にした構造で、電解質を保持する セラミックマトリック ス の両面に多孔性電極を圧着した形式のものである。

電解質として 410~850°C の温度範囲の実験に適した Li₂CO₃;

高温燃料電池・秦・村山



Matrix 2. 水素桶 3. 酸素梅 4. 穴のあいた電極押え (ステンレス)
 Body (ステンレス) 6. ガス導入管 (ステンレス) 7. リード線 (純銀線)
 8. ステンレスボルド ナッド 9. 絶縁ワッシャ (マイカ)
 10. シリカアルミナ系絶縁管 11. アルメル、クロメル熱電体
 12. 自動温度調節計

図 4.1 実験用単位電池の構造および測定回路 Fig. 4.1 Structure of experimental unit cell and measuring circuit.

K₂CO₃: Na₂CO₃=4:3:3 モル 比の混合炭酸塩を用いた、マトリック ス 材料には高純度 マグネシア が耐食性があり、すぐれていることが 知られている.この実験でこれを焼結して直径 40 mm,厚さ5 m m の円板に仕上げた.このマグネシアマトリックス の多孔度は 24%, 孔径は 10~50 μ である.マトリックス 細孔中に前記組成の溶融塩を 含浸し、電池構成部品とした.

ガス 拡散多孔電極として燃料極には ニッケル, 酸素極には銀の金 網を使用した. すなわち ニッケル または銀の網を重ね合わせて 直 径 25 mm 厚さ 2 mm に加圧成形する. これらは粉末焼結体に比 較し, 可トウ性を有するので図4.1 に示す構造のこの試作電池の 電極として適当であると考えた.

4.2 特性

4.2.1 測定法

試作電池を所定の温度に保った炭酸 ガス ふんい気の電気炉内に そう入し, 燃料極に Hg ガス, 酸素極に Og, COg 混合 ガス を供給 しながら図 4.1 に示すような回路で電流電圧を測定した.

この実験ではとくにことわらぬ限り ガス 流量は H₂ 7.7 cc sec; O₂ 3.5 cc sec, CO₂ 1.9 cc sec (25°C, 1 atm) である.

まず電池を組み立てる際,溶融塩含浸量の異なったマトリックス を用いると図2.2の反応帯の広さ,位置が異なり,したがって電 池特性も変動すると考えられる.そこで半定量的に図4.2に示す ような3種の含浸状態のマトリックスを調整し,これらを用いた電 池の特性を 700°C で測定した.

図4.3に示すように(2)の含浸状態の特性が最も良く、しかも 再現性もすぐれている、また寿命の点でもこの実験の測定中劣化 は認められなかったので以後の実験ではすべて、この状態のもの を使用することにした。



図 4.2 マトリックス 中の融解塩含量 Fig. 4.2 Molten salt content in matrix.





図 4.4 水素流量の影響 (600°C) Fig. 4.4 Effect of hydrogen flow rate.

4.2.2 燃料および酸化剤のガス組成と流量の影響

図 4.4 は燃料極に供給する H₂ ガス の流量が電池特性に及ぼす 影響を示している.

点線群は流量の変化による端子電圧一電流密度の関係を示し, 実線群は電流密度の変化による端子電圧一流量の関係を示してい る.流量によって開路電圧が変化することは式(2.1)の反応によ り水素極として働いていることを予想させる.またその値は,式 (2.3)とその傾向において一致している.また図4.4から端子電 圧一電流密度関係は直線であって,これは電池内部抵抗による IR 降下が支配的であることを示すものである.

図4.5 は水素分圧変化が電池特性に及ぼす影響を示したもので ある. 作動温度は 600°C で分圧の変化は N₂ f_{λ} の混合比率によ る. 流量は H₂, N₂ 混合 f_{λ} として 15.4 cc/sec に一定に保った. N₂ f_{λ} のみの場合でも開路電圧は 0.8 V を示しているが,放電 した時は著しい分極が起こることから見て水素極として働いてい ることは確かであろう.

図 4.6 は酸素極に供給する O_2 ガス, CO_2 ガス の組成比の影響を 検討したものである. H_2 ガス 流量を 15.4 cc/sec, O_2 , CO_2 混合 ガス 流量を 10.8 cc/sec に一定に保ち, 作動温度は 600°C とした. O_2 ガス あるいは CO_2 ガス のみでも分極が著しく, 酸素極には CO_2 ガス を 20~80% 加える必要のあることを示している.

4.2.3 作動温度と特性の関係

410~850℃ で作動させた電池特性を図4.7に示す.













電流密度一端子電圧関係はいずれも直線であるのでこの試作電 池では電池内部抵抗による IR 降下が支配的であることがわる. また(7')のごとく電解質厚さを変えてもほとんど特性が変らな いことから見て,この内部抵抗は電極,電解質間の接触抵抗に左

三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

78 (810)





右されることが明らかである、接触抵抗については今後の詳細な 研究が必要である。

4.3 マトリックスと特性

4.3.1 固形マトリックスの孔径と特性の関係

電池特性を支配する電極、電解質間の接触抵抗の原因として、 マトリックス 表面層にある溶融塩の一部が電極細孔中にしみ込んで しまうことが考えられる. これは マトリックス の孔径を小さくする ことで改良されるべき問題である.

フルイわけしたマグネシウム粉末を加圧成形,焼結し孔径の異なるマトリックスを作り、これらを用いて電池特性を比較検討した.

- (1) 300 メッシュ 以下 ………多孔度 40%
- (2) 200~300 エビリシュ ……多孔度 44%
- (3) 100~200 メリシュ ……多孔度 49%

図4.8から明らかなように(1)は多孔度が最も小さいので マト リックス 部分の抵抗が大きいと考えられるのに特性は最も良く(3) はその反対である。すなわち細孔の径が小さいほうが接触抵抗が 小さいことがかわる。

4.3.2 固形マトリックスの耐食性

アルカリ 炭酸塩の溶融塩を用いる電極の マトリックス 材料としては、 耐食性の点で純 マグネシア がすぐれている. マグネシア 粉末を デップン 水溶液でしめらせ乾燥後直径 40 mm, 厚さ約 5 mm に加圧成形 したものを 1,700°C で 8 時間焼結して マグネシアマトリックス を作成 した. この耐食性を決める目安として 700°C の溶融塩中に試料 を浸 セキ し、崩壊するまでの時間を測定した. その結果前記の実 験に使用した マグネシアクリンカ 粉末を用いたものは 7~8 時間耐え ることがわかった.

4.3.3 流動性マトリックス(半融マトリックス)

流動性マトリックスとはマグネシア 粉末を焼結せずに溶融塩電解質 と練り合わせて泥状にしたものである。固形マトリックスを用いた 場合問題となる電極,電解質問の接触不良を改善しようとするも のである。燃料電池の電解質として使用するためには構造上,崩 壊しないことが必要であり,また電導度の点からできるだけ溶融 塩含量の多いことが必要なので,その最適混合比を求めることを 試みた。

アルカリ 炭酸塩といろいろな性質の マグネシア を混合し,加圧成 形,700°C の炉内で 5 時間保ち,崩壊の程度を観察したところ, 試薬級 マグネシア 粉末は混合重量比,最低 50% まで安定であった. 試作電池に使用した焼結体の固形 マトリックス の多孔度は 24% で あるから前記流動 マトリックス の抵抗は固形 マトリックス のそれの り。

高温燃料電池・秦・村山

程度になることも有利な点である。

4.4 各種電極の分極特性

4,4,1 線および板状電極

高温燃料電池用の ガス 触媒電極として良好な金属材料を見いだ すため金属板を用いて,図4.9の装置によって水素極,酸素極の 分極特性を測定した.

照合電極としては純金線の一部を溶融塩中に浸 セキ し,それに O₂, CO₂ 混合 ガスを供給したものを使用した.

実験に用いた金属板は幅 15 mm, 長さ 25 mm, 厚さ 0.3 mm のもので下端約 5 mm を溶融塩中に浸 セキ している.

水素極には H₂ $f_{3,7}$ (9.0 cc/sec) 酸素極には O₂, CO₂ 混合 $f_{3,7}$ (O₂ 5.0 cc/sec CO₂ 4.0 cc/sec)を供給し真空管電圧計により Au/O₂ +CO₂ に照合した電位を測定した、測定値には被測定極と照合 電極間の IR 降下が入ってくるが、どの分極特性にも同じように 入ってくると思われるので、触媒としての性能の比較はこれでも 可能であると考えた。

水素極に Ni, Ag, Au, および Ni 板に Pt, Pd, Rh を メッキ し









図 4.11 金属板酸素極の分極特性 Fig. 4.11 Polarization characteristics of oxygen electrode with metallic plate. たもの計6種,酸素極に Ag, Au の2種を試験電極とし,図4.10 に水素極,図4.11 に酸素極の分極特性を示す.水素極としては Ni 板に Rh y_{17} + したものが最も良く,酸素極としては Au より も Ag のほうが良いことが示されている.

4.4.2 多孔性電極

多孔性 カス 電極の分極特性を測定することは,燃料電池の電極 反応機構を知る一つの手掛かりとなり,かつ浸 セキ 形電池の電池 特性を知る実用的な意味からも重要なことである.

まず図4.10の装置の磁製管に Ni あるいは Ag の粉末焼結体 を詰めたものを用いて分極特性を測定したが電極端部からの ガス 漏れがあるため特性が不安定であった.また十分に ガス 圧が上げ られないので電極細孔が溶融塩で τ_U てしまうことも認められた. そこで図 4.12 の装置を用いて金網からなる二重多孔性電極の分 極特性を測定することを試みた.100 mmHg ぐらいの加圧が可能 で電極細孔内で安定に三相界面が得られているものと思われる. 水素極には H₂ ガス (5cc/sec) 酸素極には O₂, CO₂ 混合 ガス (O₂ 1.7 cc/sec, CO₂ 3.3 cc/sec) を供給し, Ag/O₂+CO₂ に照合した.

600°C での水素極,酸素極の分極特性を図 4.13 に示す.

図に示されている水素極の特性の ヮッ 曲は試作電池では認めら れなかった現象である. この測定法による今後の詳細な研究によ り高温燃料電池用 ガス 拡散電極の反応機構が水溶液系なみに解明 されていくものと思われる.

4.5 開発の問題点⁽²⁾

実際に高温燃料電池が大容量据置形として安価な電力を供給す る新電力源となりうるにはつぎの条件を満たさなければならない.

- (1) 安価な炭化水素燃料と空気を用いて効率よく発電すること
- (2) 寿命が長いこと
- (3) 単位面積(体積)あたりの出力が大きいこと









図 4.14 高温燃料電池と低温燃料電池の比較 Fig. 4.14 Comparison of high temperature with low temperature fuel cell.

以下低温燃料電池と比較しながら、これらの点を簡単に検討し てみる.

(1) 燃料

高温燃料電池は低温燃料電池に比べ安価な炭化水素系燃料を直 接利用しうる可能性があり、この点が最も大きな特長の一つであ ろう.しかし分解析出する カーボッ その他の不純物のため、まだ 炭化水素系燃料を自由に使用できるまで進んでいない.一応燃料 を水蒸気改質または部分酸化などにより水素に変換し、これを高 温および低温燃料電池に利用する場合を考えてみると図 4.14 に 示すように電池の発熱量の利用の方法に相違がある.すなわち 低温燃料電池では変成器(高温偶)と電池(低温偶)の熱 サイクル になっているのに対して高温燃料電池では変成器と電池を同温 (同一系内)で用いることができる点である.しかしこの場合変 成器から出た生成 ガス 中の炭酸 ガス を高温で分離し空気に添加す ることを解決しなければならない.

(2) 寿命

変成器その他も含めて高温燃料電池の構成材料はすべて寿命に 影響しているといってもよい. これらのうち溶融炭酸塩による金 属の腐食が最も大きな問題と考えられるので,この方面の広範囲 な研究が必要である.

(3) 出力

溶融炭酸塩を電解質とした高温燃料電池で電導にあずかってい ると考えられている CO⁵ の拡散による限界電流密度を一例とし て 700°C で求めてみた.低温燃料電池の電解質 10 M KOH 溶 液および 10 M HCl 溶液の場合と比較して表 4.1 に示す.この とき二重多孔性電極の細層(電解質側)の厚さを1mm とし、これ を拡散層として求めた.また反応ガスの反応帯(三相界面)への拡 散による限界電流密度を表 4.2 に示す.これは粗層(ガス 側)の厚 さを1mm とし、それを拡散層の厚さとして求めたものである.

これで明らかなように CO $_{3}^{\circ}$, H₂, O₂ $_{3}^{\circ}$ スの拡散による限界電流 密度は十分大きく、これらは電池特性を支配する因子とは考えら れない.

表 4.4 に 700℃ 溶融炭酸塩電解質の比電導度を水溶液のそれ と対比して示した.水溶液より少し小さいがこれは電極間距離を 小さくすることにより容易に解決できると考えられる.

表 4.1 電解質による限界電流

電解質	温度 (°C)	限界電流を与 える Species	拡散係数 (Dcm ² sec ⁻¹)	輸率 (t)	限界電流 (I _l A/cm ²)
溶融炭酸塩	700	CO ₃ ⁼	2.7×10-4(894°C)	0.8	23
10M HCl	25	H⁺	9.3×10 ⁻⁵	8,0	4
10M KOH	25	OH-	5.23×10-5	0.7	1.5

表	4.2	反応ガスによる限界電流	
---	-----	-------------	--

反応ガス (1 atm)	溫 度 (°C)	拡 版 係 数 (Dcm ² sec ⁻¹)	限界電流 (It A/cm ^g)
Hž	700	№ 9.5	230
v	25	1.2	96
O ₂	700	# 1.5	20
7	25	0.18	29

* D=D₀·T^{2+S}から計算した値を示す。
 S: O₂ 0.29, H₂ 0.25

表 4.3 比電導度

電 解 質	温 (°C) 度	比 電 群 度 (Ω* ¹ cm ^{*1})
溶酸炭酸塩	700	2~4
10M HCl	25	4.3
10M KOH	25	2.7

なお活性化による分極はこのように燃料として水素を用い,高 温で動作する場合には問題とはならないと思われる.

したがって単位面積(体積)あたりの出力は低温燃料電池のそれ に比べてはるかに大きくなることが期待される.

5、む す び

高温燃料電池の放電特性に影響を及ぼす因子として、燃料、酸 化剤 ガス 組成とその流量、作動温度および マトリックス を取り上げ 試作電池により検討した.また板状電極を用いて Au/Og+CO。 に照合した分極特性を測定することにより、触媒電極としての性 能を各種金属につき比較した.最後に Ag/Og+CO。に照合した 多孔性電極の分極特性を測定することを試みた.

得られた結果を以下に要約する.

(1) 試作したマトリックス 形高温燃料電池の ニッケル および銀金

網電極はおのおの水素極,酸素極として働いており,基本 的にはこの構成でよいことがわかった.

- (2) 試作電池はその マトリックス への溶融塩含浸量により特性 が変動し、最適含浸量が存在する。
- (3) 試作電池の特性を支配するのは電池内部抵抗による IR 降下であり、これは電極、電解質問の接触抵抗で左右され る。
- (4) 酸化剤として O₂ に CO₂ を 20~80% 添加すれば放電 電流密度 80 mA/cm² でもなお分極を示さない.
- (5) マトリックス構造の良否を左右するものは多孔度よりもむ しろ孔径であり、この実験に用いたものの中では孔径の小 さいものほど良いことがわかった。
- (6) マトリックス として マグネシアクリンカ 粉末を空気中で 1,700℃ で8時間焼結したものは溶融塩に対しかなりの耐食性を示 す.
- (7) 流動性 マトリックス の形態保持安定性を得るには試薬級 MgOの場合混合比は溶融塩に対し最低 50% が必要である.
- (8) 水素極として Ni に Rh または Pd メッキ したものは Ni より触媒としての性能が良い.
- (9) 酸素極としては Au よりも Ag のほうが触媒能が良い、
 (昭 38-3-5 受付)

参考文献

- (1) 三宅: 燃料電池を主題とした電気化学, 1, 25 (1962)
- (2) 秦: 燃料電池を主題とした電気化学, 7, 129 (1962)
- (3) E. Gorin, H.L. Recht: Chem. Eng. Progress, 55, No. 8, 51 (1959)

▶◆•◆•◆•◆•◆•◆•◆•◆•◆ 最近登録された特許+•◆•◆•◆•◆•◆•◆•◆•

名称	登録日	登録番号	発 明 者
螢光体の輝度を増大せしめ る方法	37-12- 6	303126	河合 登,大田重吉
冷蔵庫の温度調整装置	37-12- 6	303128	本下忠男
掘動形ブリッド抵抗休	37-12- 6	303129	佐藤五郎
酸化金属磁心材料	37-12- 6	303130	(中村 弘·井手平三郎) 水上益母
磁気運用機	37-12-14	402221	高局秀二、柳下儀兵衛
直定電動機の制御方式	37-12-26	402564	細野 剪
 善 水 用 融 石 発 電 機	37-12-26	402565	市川 和
劉衛極付半導休整流器の並 列運転創御装置	37-12-26	402566	岡 久雄
樹脂モールド用の型	38- 1-24	403142	祖父江哨秋,諸岡 広
耐燃性積層物	38- 1-24	403141	小山二郎
酸化金属磁心材料	38- 1-28	304503	(河合 登・井手平三郎 (中村 弘·友森正信
冷蔵庫の掘装置	38- 1-28	304504	木下忠男
計器用側動磁石装置	38-2-4	304820	山県穆
他行体誘導方式	38-2-4	304821	岡本正彦
シリーコンゴム混和物	38-2-4	304822	夏波 久、西崎俊一郎
ドブラ効果を利用した電子機 器装置	38- 2- 4	304823	(山下精一·渋谷 裕) 日村祥一

名 称	登録日	登録委号	発 明 者
ジグザグミシンにおける千島 脚幅手動操作装置	38-2-4	304824	夜田 稔
漸減遅延維電装置	38- 2- 4	304825	吉田太郎
漸波運延維電装置	38-2-4	304826	吉田太郎
発電機の界磁制御装置	38- 2- 4	304827	西山劈明
航走体見越自動命中方式	38- 2- 4	304833	岡本正彦
テレビジョン受像方式	38- 2- 9	305015	漱村 隘
電流峻度測定器	38- 2- 9	305016	臨山長三郎・近藤博道
紫外線透過ガラスの製造法	38- 2- 9	305017	林 次郎·采津健三
レーダ方式	38- 2- 9	305018	黒田忠光・小林信三
航行体质導方式	38- 2- 9	305019	岡本正彦
飛翔休誘導方式	38- 2- 9	305020	岡本正彦
同期発電機の励磁装置	38- 2- 9	305021	細野 勇
同期発電機の励磁装置	38- 2- 9	305022	細野 勇
はんだ付け方法	38- 2-12	403399	中壞正三郎·前田良雄
自動車用エレベータ	38- 2-25	403886) 白村義郎・金野武司) 創造者法
異相地格に対する距離継電方	38- 2-25	403888	三上一郎
定出力エレクトロニックス継 電器	38- 2-25	403889	三上一郎

三菱マイクロテレビ 6P-125

糸賀正巳*・柳川 滋*・野口善男*

UDC 621. 397. 13

Mitsubishi Micro TV Set Type 6P-125

Electronics Works Masami ITOGA · Shigeru YANAGAWA · Yoshio NOGUCHI

Transistorized TV sets have marked features of small size, lightweight and small power consumption and also make possible the practicability of perfect portable receiving units. The materialization of these devices, however, involves a number of problems both mechanical and electrical. Various conditions such as the change of electric field intensity external noises, change of ambient temperature and mechanical vibration must be overcome to assure steady reception. Under the circumstances, Mitsubishi strived for the development of 6 inch micro portable TV sets type 6P-125 "Micro-Six" which are supposed to be the possible limit of smallness for direct visual type. The sets were put on the market in October, 1962 under mass production. This article deals with the details of the pains taken on these sets.

1. まえがき

テレビ 受像機を トランジスタ 化することが取り上げられてから久し い. その間, トランジスタ 自体の開発促進もあって, 受像機各回路 のトランジスタ 化は比較的容易になってきた. すでに アメリカ 内では, Philco 社の2 インチ ポータブル 受像機 "Safari"や Motorola 社の 19 インチ "Astronaut"が商品化され, わが国においても 8 形, 14 形受像機が姿を現わしている. トランジスタ 化する意図にはおの おの相違があるにしても, トランジスタの特長を十分生かした小形軽 量, 低電力消費の, 真の ポータブル 受像機を実現することにも一つ の究極目的があるのは疑いない.

当社では新市場の開拓を目標に、(a) 真空管式では実現できな いような大きさと重量であり、(b) 同期、感度、輝度、コントラスト、 安定度などが テーブル 形真空管受像機よりすぐれており、(c) 完全 に Portability を持つような テレビ 受像機の開発を続けてきたが、 37 年 10 月、6 形 トランジスタテレビ "6P-125 形 マイクロシックス"の 量産化に成功し市販を開始した.ここに本機の概略を紹介すると ともに、開発上のいくつかの問題点について述べる.

2, 6P-125 形テレビの概要

図 2.1, 2.2 は 6P-125 形の外観である.本体は 150 (横)× 110 (高さ)×170 (奥行) mm の大きさで,重量は電源 トランス を 取りはずした状態で 2.6 kg, これを含めると 3.4 kg である.電 気回路の大筋は,以前から開発を進めてきた 8 形,あるいは 14 形 トランジスタテレビ と同じであるが,安定化向上のための特殊回路 や装置を付加している.

本機は ポータブル 形であるので、自蔵 ロッドアンテナ による受信が 主体になると考えられるが、外部 アンテナ 使用のための端子を付 属しており、さらにこの端子は直接あるいは約 20 dB 減衰器付の いずれかを選択できるようになっている. 映像 IF 回路は 4 段 スタガ 増幅で、約 3 Mc の帯域幅をもたせている. チューナアンテナ端 子から受像管 カソード までの最大利得は 120 dB であって、映像 出力 トランジスタ から得られる 50 V p-p の映像信号は ブラウン 管 面に十分な コントラスト を与える.

PNP および NPN トランジスタ の組み合わせによる同期分離,増 幅回路からの同期信号出力は,入力 レベル の広い変動に対して十





図 2.1 6 P-125 外観(前面) Fig. 2.1 Appearance (front view).



図 2.2 6P-125 外観(後面) Fig. 2.2 Appearance (back view).

表 2.1 6P-125 定格

トランジスタ	26 石	受信方式	インターキャリヤ方式
ゲルマニウムダイオード	14 石		(1~12 チャネル)
シリコンダイオード	6 石	アンテナ入力	1 300 Ω 平衡形
サーミスタ	1 石		ロッドアンテナ内蔵
パリスタ	2 石	映像撤送波中	「間周波数 26.75 Mc
真空管(高压整流)	1本	音声搬送波中	間周波数 22.25 Mc
ブラウン管 150AB4		音声中間周辺	2数 4.5 Mc
6 形 90 度偏向	ſ	最大感度	$10 \sim 20 \ \mu V$
キャビネット寸法		音声最大出力	J 200 mW
幅 15×高さ 11×奥	7 17 cm	スピーカ	P-655 形 6.6 cm
(交流電源を取り付け	た場合の	AFC	平衡のとぎり波形方式
奥行は 20 cm)		AGC	キード AGC 方式
重量 2.6 kg (交流電源付	3.4 kg)	電源	AC 100 V 50/60 c/s
			DC 12 V
			専用蓄電池 3.5 AH
		消費電力	AC 16 W
			DC 11 W (0.9 A)



図 2.3 6P-125 クロック 線図 Fig. 2.3 Block diagram of 6P-125.

分に垂直,水平発振周波を制御する。同期分離段への実用最小同期入力は約 0.05 V となっている。

垂直および水平偏向回路は受像機の全消費電力の約 80% を消 費するので、各回路の能率向上をはかるとともに、トランジスタ の 電圧に対する負担を軽減するため、ダイオード、パリスタ などを組み合 わせて十分な保護をしている. 受像管用高圧の整流には、Sub-MT 真空管1本を用い、7kV を取り出している. ブラウン 管最大輝度 は 1,000 lx であって非常に明るい. DC 電源電圧は 12 V で、全 消費電力は 11 W となっている.

表 2.1 に 6P-125 の定格を,図 2.3 に ブロック 線図を示す.

3. テレビ受像機小形化の問題点

テレビ受像機を小形化する一つの方法として、受像管を小さくし 受像画面を光学的に拡大する方式があり、前述の"Safari"がこ れに相当する.しかしこれは虚像を見ることになり、しかも多人 数が同時に放送を享受しがたい欠点がある. やはり受像画面はで きるだけ大きく、その上できょう体寸法はできる限り小さいほう が望ましいのは当然である. 6P-125 はこの方針に基づき受像管 は、他の電気回路の収納の可能性を含めて総合検討の結果、受像 面積では 8 形の約 1/2 の 6 形 (15.5 cm)を採用した.これは直 視形としては限度に近いものと考えられる. 偏向角度は大きいほ と、必然的に偏向電力の増加が見込まれるが、きょう体寸法を少 しても小さくするため 90 度を採った.

電源はもちろん AC, DC いずれでも使用できるのが望ましい が DC での使用状態では, AC 動作用の電源 トランス は不要である 場合がしばしばあるので, 重量の重いこの トランス を特殊形状に して本体への着脱が自在であるような構造とした. 受像機本体の 重量は, チューナ, トランス 類を含む必要全部品の小形軽量化を進め, 機構, 意匠材料についても総合検討した結果, 前記の 2.7 kg を 実現することができた.



図 3.1 6P-125, 受像管 プリット 配線板その他部品取付状態 Fig. 3.1 State of printed circuit, CRT and other components mounted.

完全な ポータブルテレビ を目標とする以上, 据置形受像機に比べ, きわめてかこくな条件のもとで使用されることを考慮する必要が ある.このためには, 定常状態での感度, 輝度などはもちろん, 電界変動,外来雑音, 周囲温度変化, 機械的震動などに対する電 気的安定度, 機械的強度の向上をはからなければならない.しか も限られた寸法の中で,これらの条件を満足させるため本機では, 自動制御回路の能力を高めるとともに,各部品の配置などについ ても十分に検討を行なった.

以下, 6P-125 形の設計開発に当り, とくにその超小形化, 安 定度向上のために努力した事項について記す.

3.1 受像管

受像管は前記のごとく6形 (150AB4) という特殊 サイズ の も のを新規開発した. これは メタルパック,90 度偏向,角形 プラウン 管 であって、7kV の高圧を加えることにより高輝度と良好な フォー カス を得ている. この受像管の ヒータ 電力は (12 V×0.15 A) と なっている.

3.2 チューナ

チューナの設計目標は、可能な限り外形寸法を小さくするととも

三菱 マイクロテレビ 6P-125 · 糸賀 · 柳川 · 野口



図 3.2 (a) RF エミッタ 電流対混変調 Fig. 3.2 (a) Emitter bias vs % cross modulation.



図 3.2 (b) RF エミッタ 電流に対する利得および雑音指数 Fig. 3.2 (b) RF emitter current vs gain and noise figure.



に,最高の電気性能を満足するための基本回路をすべて組み込む ことに置いた.このため、ディスクターレット方式を採用し,段間結合 は復同調回路としている.このように設計した チューナ では量産 性のすぐれている直列 コイル 方式や、単同調方式への移行はきわ めて容易である.チャネル 選択機構を小形化するため、これを特 殊な構造にして目的を達した.接点関係は、耐疲労、耐食などの 面からその材質、形状について種々実験を行ない、長寿命化をは かった.その結果、このチューナは 60,000 往復回転の後も機械的 性能を十分満足している.量産性の点から、電気回路配線のため に プリット 配線技術を応用することを検討したが、浮遊容量、損 失の増加を招き、総合利得がぎせいになるので、この チューナ に は採用していない.機構、回路部品はすべて 70×54×26 mm の 箱形 シャーシ に収容しており、非常に小形であるので 6P-125 形 を始め小形受像機にとって有効である.

RF 増幅段には安定性が高く,利得の得やすい エミッタ 接地を用いている.この段の エミッタ 電流を変えることにより,図 3.2 (a) (b) に示すごとく混変調率, 雑音指数が変化するので,これらの 点を考慮して AGC は加えていない.周囲温度の変化,受像機き



図 3.5 フライバックトランス Fig. 3.5 Flyback-transformer.

ょう体内の温度上昇に対して局発周波数を安定化するため,トラン ジスタ による差を含めて回路定数および絶縁材料の選定を行ない, 周囲温度上昇 30°C に対する周波数 ドリフト を 600 kc 以下におさ えることができた.

図 3.3 に本 チューナ の外観を, 図 3.4 に利得および雑音指数 の測定結果を示す.

3.3 フライバックトランス

受像管の ァノード に供給している 7kV 高圧の発生方法は,水 平帰線期間に偏向 ヨーク 両端に現われる パルスをつライバックトランス に より昇圧,整流するという一般的な回路によっている.このよう な トランス においては,二次側高圧巻線をある値以上増加しても 出力電圧は上がらない.この最大点は帰線期間内での共振周波数 が,帰線周波数の3倍であるときに生ずるが、7倍,11倍のとき にも二次的な ピーク を生ずる.この共振周波数は,漏れ インダクタ ンスとストレー 容量,巻線分布容量によって決定される.本機では三 次共振を行なって図 3.5 に示すごとききわめて小形の フライバック トランス で,能率よく 7kV の高圧を発生させている.

三次共振を行なうもう一つの利点は、水平出力 トランジスタ に加わる帰線 パルス の ピーク 値を押えうることであって、本機の例で いえば ピークパルス 100 V が三次共振を行なうことにより 85 V に なっている、

三次共振をさせるための高圧巻線の形状は、一次側へ反射され る ストレー 容量の値いかんで決まるが、この容量値が帰線時間を 決定するに必要な値をこえないよう実験的に決めている.この選 定の仕方が悪いときは、その漏れ磁界により画面に明暗の縦 ジマ があらわれることがある.本機ではこれらの点に十分検討を加え、 さらに高圧整流管といっしょにしてこの トランス を密閉形にまと めることができたので、チューナ とともに受像機の小形化に役に立 った.



図 3.6 水平帰線 パルス Fig. 3.6 Horizontal flyback pulse.

図 3.6 に水平帰線 パルス の波形を示す.

3.4 電源トランス、フィルタ

電源 トランス は前述のごとく着脱可能の方式としたが、きょう 体のどこへ取り付けるにしても受像管からの距離に十分な余裕を 取ることは寸法的に制約があるので、漏れ磁界による受像画面へ の影響は深刻である.このため本機では電源 トランス を二つに分 割し、電気的に一次二次巻線を直列接続する新方式を採用した. この方法は

- (a) 重量の パランス を取るのが容易である.
- (b) 分割された トランス のそれぞれは放熱効果が良くなる.
- (c)分割トランスの巻線を適当に接続することにより漏れ磁界 をある程度互いに打ち消させることができる。

などの利点を有しており、受像機などの小形化には非常に有効な 手段であると考えられる.本機ではさらに分割したトランスのコア を特殊形状に設計して磁束の漏れを極力抑えるよう努力した.こ の結果、受像管 ネック とトランス(約 20 W)の距離がわずか数 cm であるにもかかわらず、画面の 10 は最大振幅 0.5 mm に抑え ることができた.

偏向回路に対する電源 リッラル の許容限度は 0.05% 程度である ので、電源 ロA 回路の構成は小形受像機にとって大きい問題であ る.本機では寸法および重量を軽減する目的で、トランジスタ による パワフィルタ を採用した. これは整流出力を パワトランジスタ の コレクタ に加え、エミッタ を負荷につなぐ方式で、リッラル 信号に対して コレ クタ 接地回路として動作する. この回路の エミッタ 出力 インピーダン ス は、ベース 回路の インピーダンス の約 (1- α) 倍であるので、負荷 にはいる フィルタ 容量は等価的に ベース 回路の容量の 1/(1- α) と なる. すなわち、この パワトランジスタ と同一電圧降下を持つ チョー ク を用いた回路と同じ出力 リッラル 電圧にするために、パワフィルタ の場合の フィルタ 容量はわずかに 1/(1- α) \approx 1/B で済むことにな る. 6P-125 では、出力 リッラル 電圧を直流出力 12 V に対し 0.002 VP-p に押えている.

3.5 AGC 回路

据置形 テレビ 受像機では、その設置場所に応じて利得調整を最適位置に選べば十分である場合が多い.しかし完全な ポータブル 受像機においては信号入力のさまざまな変化に対して十分対処しうる能力が必要である。とくに走行中の自動車の中では電波の到来方向が終始変わることはもちろん、反射などによって電界が急速に変化し、また強い点火雑音などの雑音も多い.電界変動についていえば、一つの反射障害物が存在する場合、最大フェーディング周波数は 2 v/λ であらわされる.ここに v は自動車速度、 λ は受信電波の波長を示す.たとえば 60 km/h で走行中の自動車中で CH₁6 を受信する場合、20 c/s の電界変動となってあらわれる. 実際にはもっと多数の反射物体が存在し、その影響による入力信

三菱 マイクロテレビ 6P-125・糸賀・柳川・野口



図 3.7 6P-125 AGC 特性 Fig. 3.7 6P-125 AGC characteristics.



(上) 維音抑圧回路付
 (下) 維音抑圧回路なし
 図 3.8 雑音抑圧回路の効果(同期分離段入力波形)
 Fig. 3.8 Effect of noise suppressor (waveform sync-seperator input at).

号の変化も一様でない、このような早くて大きな レベル 変動に十 分追随する AGC としては当然 キイド AGC が考えられる、本機 では トランジスタ と ダイオード を組み合わせた AGC の増幅一段を キイド AGC として動作させ、映像 IF 増幅の第1 および第2 段の 利得を制御している. IF 段への AGC は信号の増加とともに エ ミッタ 電流を減らして利得を下げるいわゆる Reverse AGC であ る場合は、入力信号が強くなるほど被 AGC 段 での ヒズミ が増 加し、この AGC u-3 では制御しえない、そこで本機では、被 AGC 段の コレクタ 側および エミッタ 回路に ダンパダイオード をそう入 し、上記 Reverse AGC と組み合わせ強入力信号時の ヒズミ を押 えており、図 3.7 に示すごとく入力 レベル 変化約 60 dB にわた って一様な出力を得ている.

3.6 同期回路

同期分離回路でとくに考慮した点は、外来雑音および電界変動 に対する同期の安定度である。前者に対しては同期分離入力回路 にダイオードによる雑音抑圧回路を付加し、後者に対しては直結形 分離回路を用いて時定数を極力小さくし、入力 レベル の変動に追 随して十分な分離作用を行なうようこの段の動作点、利得を選定 した.この結果、雑音 レベル が高く、変動の大きな都心を走行中 でも、同期回路の出力波形の変化がほとんど無いため、きわめて 安定な同期が得られている、図 3.8 に雑音抑圧回路の効果を示す.

また,水平 AFC の位相検波には,耐雑音性が良好で,垂直同 期の影響を受けにくい平衡形を採用し,水平発振回路に LC によ る共振回路をそう入して同期安定度の向上をはかっている.

3.7 温度上昇

本機の消費電力はわずか 11 W であるが,きょう体寸法が非常 に小さいので温度上昇の点からは真空管式 テレビ より楽でない.



図 3.9 温度-水平垂直発振周波数 Fig. 3.9 Temperature-horizontal and vertical oscillation frequencies.

参考のため単位体積当りの消費電力を比較してみると,真空管 式(三菱 14T-120 形)の 2.3 mW/cm³ に対し, 6P-125 では 4.8 mW/cm³ となっている.したがって放熱および トランジスタ 各 回路の部品配置,回路の熱的安定度については相当の考慮を払っ た.たとえば水平,垂直の発振回路を含む偏向系および音声回路 を収めた プリット 基板を底面に取り付け,上面には自己発熱の大 きい シリコンダイオード を使用した電源整流回路以外にはほとんど主 要な電気回路を配置していない.音声出力および垂直出力回路に は温度補償素子を用いたが他の回路に対しても安定係数を考慮し て安全な設計をしている.また垂直発振回路など重要な時定数回 路には タンタルコンデンサ を使用して周波数などの安定度を向上して いる.図 3.9 に本機の水平,垂直発振周波数の温度特性を示す.

3.8 内部干涉

前述のごとく、ポータブルテレビとして本機の感度は真空管式 テレビ と同等か、それ以上のものを目標として設計しているので、これを 狭い スペース に収容しようとすると、 当然のことながら発振や ビ ード 症状が起き易くなるが、 これは回路の アース 点や シールドを検 討することにより解決した.

また、大電力を扱う垂直、水平偏向回路から信号系回路への妨 害も互いに近接する関係で無視できない. 垂直回路とくに垂直偏 向ヨークから音声回路へ誘導して パス 音を発する妨害に対しては、 音声入力 トランス の配置を検討するとともに磁気 シールドを施し、 さらに音量調整を音声増幅 トランジスタの ベースパイアス を変化して行 なう方法を採用して最小限におさえた. 水平出力回路が動作する と、映像検波信号のうちとくに同期信号の部分がヒズミ、同期が不 安定になることがある. これは映像 IF 回路の r-ス 点や、電源 の デカックリングに関係する場合もあるが、やはり水平偏向 ヨークか らの誘導によるものが大きい. 本機ではこれらの点を検討して チ ューナ および信号回路 プリント 基板の配置を決定したので、偏向 ヨ ーク に相当近接しながらも妨害を避けることができた.

4. む す び

テレビ 受像機を トランジスタ 化することにより,小形軽量,低電 力消費の完全な ポータブル 受像機の実現が可能になる.しかし小形 軽量化のためには全電気回路,部品,機構などを総合的に検討す る必要があり,さらに ポータブルテレビとして各種のかこくな条件の もとで十分な性能を発揮させるためには,とくに回路の安定度の 向上をはからねばならない.小形化と性能向上の点で,多くの互 いに矛盾する 10 個所を解決して始めて受像機の超小形化が可能 となる.6 形受像機 6P-125 形は,本文に述べたように種々の実 験,検討を行ない,あらゆる条件のもとでのフィールドテストを繰り 返した結果,満足な結果をうることができた.

(昭 38-4-16 受付)

名	称	日餐登	登録番号	考	案 者
液体冷藏装置		37-12-22	580313	{岡田克人 {高橋 博	 ・ 萩原昌次 ・ 尾楠政春
リモートコント ッチ	ロール用スイ	38- 1-14	580680	牛田善和	・高橋克己
ケイ光灯器具		38- 1-14	580702	西山 貞	
電気炊飯器		38- 1-19	709971	武藤 正	
掃除機用刷毛付	ノズル	38- 1-19	709975	武井久夫	
回転軸承装置		38- 1-19	709976	白石和雄	・田口幹雄
電気煮炊具用環	状発熱体	38- 1-19	709977	高橋正慶	・大沢和夫
2 段トビラの錠	止装置	38- 1-19	709979	木下忠男	
放電灯々器		38- 1-19	709981	山下源一	郎・西山 貞
回転式螢光灯ス	タンド	38- 1-19	709983	山下源一	郎・山崎 鼙
永久磁石に吸着 除去装置	された磁性物	38- 1-19	709984	山下源一 柳下儀兵	節
磁石選鉱機		38- 1-19	709988	{ 高島秀二 { 柳下儀兵	・山下源一郎 衛
除鉄装置		38- 1-19	709991	山下源一 柳下儀兵	·郎 ·衛
甚気遇別機		38- 1-19	709992	{ 高島秀二 { 加藤庸夫	 ・山下源一郎 ・柳下儀兵衛
除鉄装置		38- 1-19	709993	山下源一 柳下儀兵	·郎 ·衛
冷蔵庫の露受装	置	38- 1-19	709994	木下忠男	ļ
冷蔵庫の冷却器 の封塞装置	組み込み用穴	38- 1-19	709995	木下忠男 海野 留	・駒形栄一

冷蔵庫本内灯装置 38-1-19 709996 木下忠男 冷蔵庫園受装置 38-1-19 709997 {木下忠男 冷蔵庫園受装置 38-1-19 709998 木下忠男 冷蔵庫印 38-1-19 709998 木下忠男 冷蔵庫印 38-1-19 709998 木下忠男 冷蔵庫印の内棚 38-1-19 70002 武井久夫・服部信道 冷蔵庫印 38-1-19 710002 武井久夫・服部信道 冷蔵庫印 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 電気ストーブの俯仰角調節装 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 選気ストーブの俯仰角調節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風胴 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710010 山下孫一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・小原美一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710012 福田 稔・小原美一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室行冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動取時提び 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	名称		登録日	登録番号	考	梥	者
常蔵扉露受装置 38-1-19 709997 { 木下忠男・駒形栄一 布丁郎 賢 冷蔵庫扉 38-1-19 709998 木下忠男 冷蔵庫扉の内棚 38-1-19 709999 木下忠男・駒形栄一 電気編除機のホース窟崩装置 38-1-19 710002 武井久夫・服部信道 冷蔵庫扉 38-1-19 710006 木下忠男 水冷式冷房装置 38-1-19 710006 木下忠男 水冷式冷房装置 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 電気ストーブの防仰角間節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風崩 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 螢光灯器具 38-1-19 710010 山下添一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 旭田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢宮三・市岡 洋 自動取影優置 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	冷藏庫々内灯装置		38- 1-19	709996	木下忠男	3	
冷蔵庫扉 38-1-19 709998 木下忠男 冷蔵庫扉の内棚 38-1-19 709999 木下忠男、駒形栄一 電気掃除機のホース溶脱装置 38-1-19 710002 武井久夫・服部信道 冷蔵庫扉 38-1-19 710006 木下忠男 冷蔵庫扉 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 水冷式冷房装置 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 電気ストーブの俯仰角間節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風膈 38-1-19 710009 曽我武夫・成本利正 螢北灯器具 38-1-19 710010 山下漆一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710012 福田 稔・町原義大郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢岸三・市岡 洋 自動軟彫機に於ける較意匠等 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	冷藏庫國受装置		38- 1-19	709997	{木下忠身 (海野)	∃・駒形∮ ₹	¥
冷蔵庫原の内棚 38-1-19 709999 木下忠男・駒形栄一 電気箱除機のホース府脱装置 38-1-19 710002 武井久夫・服部信道 冷蔵庫原 38-1-19 710006 木下忠男 水冷式冷房装置 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 電気ストーブの俯仰角調節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風膈 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 荧光灯器具 38-1-19 710010 山下家一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原美大郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原美一 空気調和装置の送風機 38-1-23 710383 入沢岸三・市岡 洋 自動叙彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三	冷藏庫扉		38- 1-19	709998	木下忠具	3	
 電気掃除機のホース溶脱装置 38-1-19 710002 式井久夫・服部信道 冷蔵庫原 38-1-19 710006 木下忠男 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 置気ストーブの俯仰角調筋装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風扇 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 荧光灯器具 38-1-19 710010 山下原一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義大郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動叙彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三 	冷蔵庫扉の内棚		38- 1-19	709999	木下忠男	見・駒形会	¥
冷蔵庫原 38-1-19 71006 木下忠男 水冷式冷房装置 38-1-19 71007 神谷昭美・市岡 洋 置気ストーブの俯仰角調節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風胴 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 螢光灯器具 38-1-19 710010 山下孫一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動&影階機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	電気掃除機のホース治腸	党装置	38- 1-19	710002	武井久3	そ ・服部 (言道
水冷式冷房装置 38-1-19 710007 神谷昭美・市岡 洋 電気ストーブの防仰角間節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風崩 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 螢光灯器具 38-1-19 710010 山下斎一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710013 旭田日登志 防凝室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動叙野機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	冷藏庫扉		38- 1-19	710006	木下忠身	9	
留気ストーブの俯仰角調節装 38-1-19 710008 服部信道・馬淵公作 送風機用風脂 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 萤光灯器具 38-1-19 710010 山下涿一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動紋眵瞪微に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三	水冷式冷房装置		38- 1-19	710007	神谷昭美	き・市岡	洋
送風機用風胴 38-1-19 710009 曽我武夫・成木利正 螢光灯器具 38-1-19 710010 山下源一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710010 山下源一郎・山崎 肇 乾燥機 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動紋彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三	電気ストーブの俯仰角 置	周節装	38- 1-19	710008	服部信道	道・馬淵:	公作
螢光灯器具 38-1-19 710010 山下源一郎・山崎 肇 ガスパーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動紋彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	送風機用風胴		38- 1-19	710009	曽我武5	ト・成木:	利正
ガスバーナー制御装置 38-1-19 710011 福田 稔・町原義太郎 乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防滅室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動叙彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三	萤光灯器具		38- 1-19	710010	山下源-	-郎・山)	崎 聲
乾燥機 38-1-19 710012 福田 稔・小原英一 空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動叙彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部後夫・中田省三	ガスパーナー制御装置		38- 1-19	710011	福田 利	き・町原:	卷太郎
空気調和装置の送風機 38-1-19 710013 池田日登志 防蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動紋彫機に於ける紋意匠写 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三	乾燥機		38- 1-19	710012	福田利	含・小原	英一
貯蔵室付冷房装置 38-1-23 710383 入沢淳三・市岡 洋 自動紋彫機に於ける紋意匠写 真送り装置 38-1-23 581021 高部俊夫・中田省三	空気調和装置の送風機		38- 1-19	710013	池田日3	送志	
自動紋彫機に於ける紋意匠写 真送り装置 38- 1-23 581021 高部俊夫・中田省三	貯蔵室付冷房装置		38- 1-23	710383	入沢淳	三・市岡	洋
	自動紋彫機に於ける紋類	意匠写	38- 1-23	581021	高部俊尹	た・中田	省三
電動圧縮機 38-1-26 581311 石川嘉孝・市川健一	電動圧縮機		38- 1-26	581311	石川嘉靖	拳・市川	健一

UDC 620. 17; 539. 4

寒冷地向け電気機器用金属材料の低温試験

実 博 司*·石 原 克 己**

Subzero Temperature Tests of Various Metallic Materials for Use in Electric Machines

Research Laboratory Hiroshi JITSU · Katsumi ISHIHARA

On various metallic materials for use in electric rotary machines such as carbon steel, alloy steel, binding wire, silicon steel and others impact and other mechanical tests have been conducted at subzero temperature down to -70° C to study their usability in cold districts. Tests have been also made on soldered and welded joints to find that the strength of soldered joint of copper remains unchanged down to -70° C and that of welded joint in carbon steel is greater than that of base material at low temperature. Measurement on expansion coefficient has been further made on the foregoing materials under subzero temperature so as to furnish with valuable information in machine design.

1. まえがき

最近,気温の著しく低い地域で使用される電気機器が求められ るようになったが、このような機器の設計あるいは保安上の問題 の一つとして、構成する金属材料の寒冷地における性質変化があ げられる.金属材料のうち、銅系、アルミニウム系などの面心立方晶 形の合金は低温でも強度的に問題が少ないが、体心立方晶形の鉄 系合金などでは低温における ぜイ(脆)性が知られており、従来か らしばしば研究課題とされている.また電気機器では ハンダ がよ く用いられるが、スズの低温変態を考慮すると ハンダロウ 付部の低 温における ゼイ 性も一応は懸念されるようである.

筆者らは主として回転電気機器の構成主要金属材料のうち低温 における性質変化が懸念されるものについて、常温から -70℃ までにおける機械的性質の変化を調べ、寒冷地向け機器の材料と して適当であるかどうかを検討した.また、これらの機器の設計 上から主要材料の低温における膨張係数もまた必要となるので同 時に調査した.

なお、ここで実験した材料は当面の対象となる機器に関するものに限られているが、一般的な場合の参考に資するためにこの報告の付録として低温での性質についての 2,3 の交献 データ を抜萃紹介した.

2. 試料および試験方法

2.1 試料

表2.1には、寒冷地向けの大容量の電動機に用いられる金属材料のうち、実験に供したものの種類を掲げた. このうち加工硬化形 リテーニングリング 材料については、試料の ロット および採取位置の相違による性質の パラッキ を調べるために2 個のロット のそれぞれ底部と上部から採取した試料を、また ハンダロウ 付部の試験については突き合せと重ね合せの2 種の試料を実験に供した. 軟鋼については一般構造用圧延鋼板2種 (SB42) および溶接構造用圧延鋼板2種 (SM41)の3種類のJIS 規格品をとりあげ、素材および溶接した試料の性質を調べた.

衝撃試験、引張試験、折曲げ試験ならびに膨張係数測定に用い

* 研究所(工博) ** 研究所

表 2.1 試料

計 料 名	記事	実験種目
折出硬化形, リテーニング リング材	C 0.6, Si 0.94, Mn 16.32, Cr 6.05, V 2.08, P 0.13, S 0.007	衝撃試験 および 膨脹係数
加工硬化形, リテーニング リング材	ロット No. 1 上部 C 0.58, Mn 18.3	同上
SNCM-1	C 0.29, Si 0.18, Mn 0.65, Ni 2.63, Cr 0.26, Mo 0.36 焼入れ焼きどし処理後	同止
SF55	100ゆ のものから採取, 焼入れ焼もどし	同上
FC20	30ゆ 鋳込試片から採取	衝撃試験
SC42		同上
スズメッキビ アノ線	JIS C-2506 2φ	引張りおよび 折曲げ試験
スズメッキ非 磁性鋼線	JIS C-2507 2¢	同上
リン背銅板	PBS-75, 67% 冷圧後 250°C で低温続鈍, 厚さしmm	折曲げ試験
L 1 70 00 kd	H12 収き 0.35 mm	折曲げ試験
アイ派相似	H18 1⊄さ 0.54 mm	- およい
冷間引拔網棒	Cu BD 烧纯後	膨張係数
引拔黄铜棒	Bs BFD 燒鈍後	同上
Sn ハンダ付 け試片	幅 10 mm, 厚さ 5 mm の勤裕にロウ付け 突き合せおよび重ね合せ	引張試驗
Pb-Sn ハン ダ付け試片	同二上 突き合せ、重ね合せとも接着問ゲキ。 0.2 mm 以上と以下のそれぞれ 2 種	同上
S541	P<0.06, S<0.06	衝撃試験
SS41 溶接部	LB26 溶接棒で溶接	周上
SB42	C<0.24, Si 0.15~2.3, M<0.8, P<0.035, S<0.04	间止
SB42 溶接部	LB26 溶接棒で溶接	同上
SM41	C<0.20, Si<0.35, Mn<1.4, P<0.040, S<0.040	同上
SM41 溶接部	LB26 溶接棒で溶接	同上

た試片の形状を図 2.1 に一括して示す. なお溶接部試験用試片 は 16 mm 厚の板を開先 60° の突合わせで溶接(溶接法は manual arc welding, 溶接棒は LB26) したものから図 2.2 のように採 取した.

2.2 試験方法

常温から -70°C までの範囲の温度において、衝撃試験、引張 試験、折曲げ試験ならびに膨張係数測定を行なったが、個々の材 料についての試験種目は表2.1にあわせ掲げる.

低温衡撃試験は、エチルアルコール と ドライアイス を魔法 ビン 中で混 合して所定温度にした液中に試片を十分な時間浸 セキ し、とり出 したのちすばやく シャルビ 衝撃試験機に取り付けて試験した. 試片 を常温に取り出してからの温度上昇は、たとえば冷却温度が



図 2.1 試験片寸法 (a) 衝撃試験片 (b) バインド 線引張り試片 (c) ハンダ 付け試片 (d) 折曲げ試験片 (e) 膨張測定試片 Fig. 2.1 Dimensions of specimens for: (a) impact test, (b) tensile test of wire, (c) tensile test of soldering joint, (d) bending test, (e) expansion measuring.







図 2.3 引張試驗用低温 タンク Fig. 2.3 Schematic diagram of cooling vessel for tensile test at subzero temperature.





Fig. 2.4 Schematic diagram of cooling vessel for measuring expansion coefficient at subzero temperature range.

-60℃ の時に 15 秒間に 3℃ の程度であるので, この実験では すべて5 秒以内に試験を完了するようにした.

引張試験は アムスラ 万能試験機に図 2.3 のような低温 タンク を取

り付け, 魔法 ビッ 中で冷却した エチルアルコール を注入し薄肉銅管を 通じて試片を冷却した. この場合の薄肉銅管の内径は試験片と のすきまをできるだけ少なくするように選んで管内の対流を防い だ.

折曲げ試験は ブリキ 箱を断熱材で包んだ低温 タンク 内に繰り返 し曲げ試験機を浸 セキ し,この中で試験した.

膨張係数は本多・佐藤式示差膨張測定機を用い,加熱炉の代わ りに図2.4のような低温 goo を取り付けて測定した.冷却曲線 と加熱曲線の両測定を試みたがとくに相違がないので,温度制御 のしやすさを考えて加熱の場合に統一にした.加熱速度は約0.5°/ min である.

3. 低温衝撃試験

3.1 構造用炭素鋼

一般構造用圧延鋼板 (SS41), ボイラ 用圧延鋼板 (SB42) および 溶接構造用圧延鋼板 (SM41) の 3 種類の構造用炭素鋼について, +50°C から -70°C の温度範囲で, V $_{J9454+\mu\ell}$ 衝撃試験を行 なった.結果は図 3.1 で各点はそれぞれ 3 個の試片 の平均であ る.これによると、0°C 以上の温度では SM41 が最も高い衝撃 値を示し、SB42 がこれに次ぎ、SS41 が最も低い衝撃値を示して いる.-30°C 以下の低温では、いずれの鋼材も 1 kg-m 以下の低 い衝撃値となり、鋼材の種類による差異は認められなかった.な お、ゼイ性となる境界の温度すなわち ゼイ 性遷移温度の定めかた は実用上あるいは理論上それぞれ異なるが、参考までに衝撃値が 2 kg-m になる温度を遷移温度として図 3.1 から求めると、SS41 は 0°C、SB42 は -10°C、SM41 は -15°C となる.

図 3.2 (a), (b), (c) は供試鋼材 SS41, SB42 および SM41 を 650°C で焼鈍したときの顕微鏡写真であって, 衝撃値の最も低い SS41 は他に比べて パーライト 組織の多いことが認められる. また SB42 の顕微鏡組織は SM41 と比べて相違がみられないが, 成分 規格によれば SB42 の炭素含有量は SM41 のそれよりもやや大 であり, これらの結果から炭素含有量が鋼材の耐衝撃性にかなり の影響をあたえていることが考えられる. さらにまた, P および S の含有量が多い鋼材, あるいは Si や Mn の含有量の少ないも のは耐衝撃性が低い傾向が認められる.

なお,図 3.2(d)は試験に供した鋼材の非金属介在物を示す写 真の一例であるが,非金属介在物の量は3種類の鋼材を比較して とくに差異はなかった.





図 3.3 供試鋼材の溶着金属の顕微鏡写真(×80) Fig. 3.3 Microphotographs of welded metals of mild steels.

3.2 構造用炭素鋼溶接部

前記3種類の鋼材のそれぞれを同一種類の溶接棒を用いて溶接 した. 溶接棒の組成は C 0.05~0.09, Si 0.35~0.50, Mn 0.55~ 0.75, P,S 0.02 以下で,素材に比べて C,P および S の含有量 は著しく少ない.

溶接部の V ノッチシャルピ 衝撃試験結果は前掲の図 3.1 に合わ せて示したが、-30°C 以上の温度では 3 種類の鋼材とも溶接部 は素材に比べて非常に高い衝撃値を示した.温度が -50°C 以下 となるとこれらの衝撃値は急激に低下し、素材の値とほとんど変 わらなくなる. ここで溶接部の耐衝撃性が素材よりすぐれている のは,使用した溶接棒の C,P,S などが素材に比べて著しく少な いことに帰因するのであろう. また供試鋼材の溶接部相互の衝撃 値を比較すると,SB42 と SM41 の溶接部の間では差異はないが, C,P および S など衝撃値に悪影響をあたえる元素の含有量が他 に比して比較的多い SS41 を溶接した場合の溶接部は他に比べて いくぶん低い衝撃値を示した. この結果は溶接時における素材の 溶着金属への溶けこみによる影響と考えられる. なお,図3.1 か ら衝撃値が 2kg-m になる温度を求めてみると, SS41 の溶接部

寒冷地向け電気機器用金属材料の低温試験・実・石原





は -30° C, SB42 および SM41 の溶接部は -45° C で,素材の 値に比較するとかなり低い温度であった.

図3.3 (a), (b), (c) は溶接後 650°C で焼鈍した溶接部の顕微鏡 組織であるが、いずれの組織にもパーライト 相はほとんど認められ ず、溶着金属の炭素含有量が少ないことが推定できる.ただし、 この組織からは衝撃値のやや低い SS41 の溶着部と他の二つの場 合との相違はたしかめられなかった.図3.3 (d) は溶着金属中の 非金属介在物を SS41 の場合について示した一例であるが、いず れの場合においても非金属介在物の量は素材と比べて少なかった.

3.3 数種の鉄系材料

析出硬化形および加工硬化形の リテーニングリング 材, SNCM-1, FC20, SC42 ならびに SF55 など各種材料の +50°C から −70°C の各温度における衝撃試験結果を図3.4に示す. なおこの曲線は3 ないし4 個の試片の平均をとって示したものである.

析出硬化形 リテーニュクリュフ 材の衝撃値は常温でも比較的低いが, 0℃ 以下ではさらに低下した. 衝撃値が 2kg-m となる温度は約 -10℃ であってこれ以下の温度における使用には問題がある.

これに対して、加工硬化形 リテーニングリング の衝撃値はかなり高 い. 温度の低下とともに衝撃値は徐々に低下するが、-70°C に おいてもなお 10 kg-m 以上の値を有し、低温 ゼイ 性の危険はな い. また、この材料は加工硬化形のものであるから、ロットの異な るもの、または ロット 内の部位による不均一を懸念して、2 個の ロット のそれぞれ 2 ヵ 所の部位の試料について試験したが、図に 示したように試験温度に対する傾向はもとより、衝撃値そのもの も測定の パラッキ を考慮するとほとんど一致しているとみてよい.

SNCM-1 類似の低合金鋼の焼入焼戻処理材料もまたかなり低 温まで ジッ(報)性を維持し、-50°C では常温とほとんど変わら ぬ高い衝撃値を示した. -70°C では衝撃値の低下が認められ、 これ以下での使用に多少の注意を要する.

SF55 および SC42 はそれぞれ +10℃ および -10℃ 以下で ゼイ 性を示し、これらの材料を寒冷地向けに使用する場合は衝撃 を防ぐ相当の注意が必要であろう. FC20 は常温でも ゼイ 性であ り、低温との差はわからない.

4. 低温引張および折曲げ試験

ピァノ 線および非磁性鋼線の 2 種類の パインド 用線について, 90 (822)



一般に金属材料の引張強さは低温ほどむしろ大となるが、ここ

で試験した2種類のパインド線もまたその傾向が認められ,静止 状態の応力に対しては寒冷地においても,とくに問題のないこと がわかった.しかし機器の輸送あるいは運転中に低温で衝撃的な 力が加わった場合にはこの限りではないので注意を要する.

つぎに リッ 青銅板 (PBS75, 厚さ 1 mm), 2 種類の ケイ 素鋼 板(試料の厚さは E12 が 0.35 mm, H18 が 0.54 mm) ならびに 前述の パイッド 線についてくりかえし折曲げ試験を行なった.曲 げの曲率半径は 5 mm とし, 180° 曲げを折曲げ回数の単位とし て折損するまでのくりかえし回数を測定した.この結果を図 4.2 示したが,曲げ回数は試片の厚さと関連があるのでこの場合に測 定値の絶対値には注目せずに測定温度との関係について検討した. まず リッ 青銅は面心立方晶形の合金で一般に低温 ゼイ 性はないと 考えられ,この実験の折曲げ結果においても確かめられた.ケイ 素鋼板は E12 および H18 の 2 種類とも温度の低下とともに折損 までの折曲げ回数が少なくなるので,注意を要する.パイッド線の 折曲げ回数は温度が低下しても変化しなかった.

5. ハンダロウ付け部の低温強度

普通に常温で存在する スズは体心立方格子の結晶形をもついわ ゆる white tin (β -Sn) であるが、低温では ダイヤモンド格子をも つ grey tin (α -Sn) となって ゼイ化する. この α --- β 変態点は 研究者によって結果がやや異なり約 10°~20°C といわれているが、 変態速度がきわめて遅く α -Sn 試料の作成には通常 -70°C 以下 の過冷状態で微量の grey tin あるいはこれに類似の結晶構造を もつ物質を接種することによって変態を進行させている⁽¹⁾. この ような処理によってもなお数日を要するものであり、接種などの

ない ハンダ 接着部の実用状態で変態による ぜイ化を考慮する要は ないかもしれないが,この種の実証を行なった例があまり見あた らないので実験してみることにした.

試片は実用上の必要から スズハンダ と 4:6 Pb-Sn ハンダ による ロウ 付け試片を用い,接着間 ゲキ には ロウ 付けに理想的とされる 0.2 mm 以下の場合と、ハンダ 自体の性質が比較的影響すると考え られる 0.2 mm 以上の場合とを選んだ. なお ロウ 付け方法として は実用上の要望により,重ね合わせの場合(セン 断力となる)と 突き合わせ(引張力)の場合について行なった. 麦5.1 は引張り 試験によって ロウ 付け部の接着力を測定した結果である. なお, ロウ 付け部の接着力は一般に著しい パラッキ を示すものであり,細 部にわたる比較検討は困難である.

まず最初に, 試片を約 -56°C に約 10 分間保持したのち, こ の温度で接着力をしらべ常温における結果と比較した. その結果 は表 5.1 のようで, -56°C において接着力は常温よりむしろ高 い. すなわち, 短時間 -56°C にさらされても スズ の変態はなく, また変態のない場合は低温においても接着力は低下しないことが わかった.

つぎに低温に長時間おいた場合の変態とこれに伴う接着部の ゼ イ化を調べるために、 -70° C の低温浴中に 58 日まで浸 セキ して 接着力の変化を調べた. ここでもし α -Sn が生じたとしても α -Sn から B-Sn への変態は $+30^{\circ}$ C において 20 分以内にはほと んど進行しないことが知られているので⁽²⁾、この場合の接着力試 験は低温浴から取り出して、ただちに常温で実施した. 結果はか なりばらついているが、 -70° C における 58 日までの浸 セキ で ハッダ 接着部が ゼイ 化した傾向はまったく認められなかった. さ

ハンガ和類	振合	接着問	接着後そのままの	-56°C	-70°C 温測定の	C浸セキ後 変治力	をだちに常
	方法	ゲキ	接着力	接胎力	4日浸七キ	9日設セキ	58日設セキ
	突合せ		540 800 600 744 420 670	744 1076 890 860 406 784	180* 380	637 504	454 1303 364 640
			平均 630	793	380	570	486
22454	重ね合せ		367 359 312 312 308 298	374 315 385 390 348 346	242 254	328 181	334 328 267 308
	12		平均 326	360	248	255	309
	0.1 实	0.2mm 以上	652 185* 874 280 578 20*	300 432 1440 1500 844 20*	208 820	346 908	224 660 1008 488
	14	_	平均 596	903	514	628	596
	中世	0.2mm 以下	996 576 710 654 672 990	920 700 954 112* 724 196*	646 844	264 1150	712 830 1044 676
4:6 Pb-Sn			平均 766	825	746	708	816
nv4	ッダ 重 ^{0.2} m 以上	0.2mm 以上	368 390 279 245 325 247	442 430 350 428 165* 366	244 320	229 216	331 168 251 324
	ね		平均 309	397	282	223	269
	合せ	0.2mm 以下	190 332 360 275 222 252	346 268 382 390 270 396	272 234	294 243	327 168 302 316
			平均 272	342	253	269	278

表 5.1 ハンダロウ付け部の接着力

(balam?)

* 平均より除外

寒冷地向け電気機器用金属材料の低温試験・実・石原

らに念のために、それぞれ2本ずつの試片を -196°C の液体窒 素中に5日開浸 セキしたのち常温で測定したが、同様に ゼイ化は 認められなかった。

これらの結果から判断して、予期しない原因によって grey tin への変態が起らない限り、ハッダロウ 付け部の寒冷地における ゼイ 化はとくに問題にする必要はないと考えられる。

6. 数種の材料の低温における膨張係数

純金属あるいは一部の合金の低温における膨張係数は Goldsmith などの編集による ハンドラック⁽³⁾ にも記載され,代表的な金 属合金についての値を本報告の附録に転記したが,ここでは寒冷 地向け回転機器の構成材料のうち,とくに問題となるものについ て実験した結果を示す.測定は石英との示差膨張である.ここで 測定した材料の膨張曲線には -70°C までの温度範囲において, とくに不連続的な変化はなく,表6.1には測定した曲線から求め た各温度区間における平均膨張係数を掲げた.一般に常温以上の 膨張係数に比してやや小である.

	各温度区間の平均膨張係数 (10-6/°C)						
林 相	-70°~-50°	-50°~-30"	-30°~-10°	-10°~+10°	-70°~0°		
析 出硬化形 リテーニング リング材	7.8	9.5	11.0	12.5	9.9		
加工硬化形 リテーニング リング材	8.3	9.0	10.8	10.5	10.2		
SNCM-1 額似合金	9,3	10.5	10.0	10.0	10.0		
S = F = 5.5	10.0	11.0	11.3	11.8	11.0		
ケイ素鋼板	10.0	11.0	11.8	10.8	11.0		
CuBD	15.5	15,3	17.0	17.3	16.1		
BsBFD	18.3	19.5	19.5	19.0	19.2		

表 6,1 各種材料の低温における膨張係数

7. む す び

この試験研究は、寒冷地向けの回転電気機器に用いられる金属 材料の適否を検討するために行なったものである. この報告で取 り上げた材料はそのうちでもとくに問題となりそうなものについ てであるが、これらの -70°C までにおける低温試験結果を要約 すると、

Mn, Cr などを含有する加工硬化形 リテーニックリック 材料は-70°C までの温度低下によってその衝撃値はほとんど変化せず,また材 料の製品 ロット あるいは ロット 中の異なった部位における差もな くて、寒冷地向け機器用材料としてなんら問題がない. 低合金鋼 SNCM-1 は -70°C では衝撃値が低下するが、-50°C までの変 化は少なく、上記目的のための材料としては問題なく使用できる. Mn, Cr, V などを含有した析出硬化形 リテーニックリック 材の熱処理 材および SC42 は -10°C 以下で衝撃値の低下が認められ、また SF55 は 0°C ですでにもろく、ともに寒冷地向けとして使用する 場合は設計上の留意が必要である.

SS41,SB42 および SM41 など各種構造用鋼板の衝撃値が 2kgm となる温度はそれぞれ 0°, -10°, -15°C であって, いずれも 低温 ゼイ性が問題となる材料であるが, これらの鋼を LB26 の溶 接棒で接合した溶接部は上記温度がそれぞれ -30°, -45°, -45°C であって母材より低い温度までジッ性である. これは溶接部に C, S, P などの不純物が少ないためと考えられ, また上記の鋼板に おける組成と低温 ゼイ 性の間にも同様な対応が認められた.

パイント線として用いられる2種の材料,およびリン青銅は衝撃

(823) 91

的な応力のかからぬ限り寒冷地で使用可能であるが、 ケイ 素鋼板 は低温になるにしたがって繰り返し曲げに対して弱くなる.

Sn の低温変態に関連して ハッダロウ 付け部の ゼイ 化を問題にし たが、-70°C に 58 日間、あるいは -196° に 5 日間保持して も接着強度に変化がなかった.

各種実用材料について -70°C までの低温膨張係数を測定した 結果,いずれも常温の値よりもやや低い.

なおこの報告では実験結果のほかに 2,3 の文献(付録)の デー タを紹介し参考に供した.

以上この試験は当面の機器の設計資料に資するために行なった もので実用 データのみに注目したが、このような需要の拡大にと もない金属材料の低温 ゼイ 性に関して組成の面からの検討および 金属組織的にみた研究がさらに必要となるであろう.

終りにこの研究に種々のご指導あるいはご協力をいただいた各 位に厚く謝意を表する. (昭 38-1-14 受付)

าหมายหลวงสายหมายสาวสายหมายหล

参考文献

- (1) G.V. Raynor et al.: Proc, Roy, Soc, A244, 101 (1958)
- (2) R.W. Smith et al.: Proc, Phys, Soc., 70B, 1135 (1957)
- (3) Goldsmith et al.: Handbook of Thermophysical Properties of Solid Materials, The Macmillan Co. (New Yor) (1961)
- (4) R.E. Lismen: J. Inst. Metals, 89, 145 (1960~61)
- (5) F.J. Feely et al.: Welding J., 34, 596 (1955)
- (6) G.T. Hahn et al.: Welding Research Supplement, 367 (1959)
- (7) W.D. Biggs: Acta Metallurgica, 6, 694 (1958)
- (8) T.N. Armstrong: Welding Research Supplement, 57, Feb. (1959)
- (9) A. Choquet et al.: Welding Research Supplement, 361, Aug. (1955)
- (10) W.C. Leshie et al.: Trans, met, Soc, AIME, 218, 699 (1960)
- (11) A.S. Elclin et al.: J. Appl. Phys, 22, 1296 (1951)

付録 金属材料の低温性質に関する 2,3 の文献

金属材料の低温における機械的性質については最近多くの文献 が報告されているが^{(4)~(11)},これらは主として炭素鋼あるいは フ ェライト 鋼についてのものである. 銅合金,オーステナイト系 ステンレス 鋼など面心立方晶形の合金は一般に低温 ゼイ 性を示さないためか 比較的文献も少ない. ここでは後者の系の合金について研究した Lismer の報告⁽⁴⁾を主として紹介し,フェライト 系鋼の実用的 データ を少しつけ加えたい. さらにまた各種の金属合金の低温における 膨張係数を転記して参考に供する.

1 銅合金(4)

朝, 60:40 黄銅, 10~30% の Ni を含有する 3 種の Cu-Ni, Kunifer 5 (Cu 92.2, Ni 5.8, Fe 1.3), Kunifer 20 (Cu 76.8, Ni 21.6, Fe 1.1) および Superston 40 (Cu 74.4, Ni 2.0, Fe 2.9, Mn 12.9, Al 7.9) などの各種銅合金について -196° C までの低 温の機械的性質が報告されている. これらの合金のいずれも低温 で ゼイ 性を示すことはないが, 20% Ni-Cu および Superston 40 の強度,伸び, ジッ 性は低温において若干低下する傾向が認めら れている. 図付1には一例として衝撃試験結果を示した. なお不 純物として ヒ素を含有した銅の低温衝撃値は低いといわれてい たが, 0.37% の As を含有してもなんら ゼイ 性を示さないことが この報告でたしかめられている.

2 ニッケル合金⁽⁴⁾

モネル および インコネル の2 種類の ニッケル 合金について低温にお ける引裂き試験が試みられたが、ともに破断に要する エネルギ は 増大し ゼイ 性はみとめられない. ただ インコネル は破断開始のため の エネルギ が小となる.

3 オーステナイト系ステンレス鋼

18 Cr-8 Ni ステンレス 鋼およびこれにさらに 3% の Mo を添加 した合金の低温の性質についての報告がある.低温において引裂 きに要する荷重は増加するが、そのうち破断を開始せしめるため の $x \neq u^{2}$ は 18:8 合金では温度の低下とともに減少し、一方 Mo 含有のものは -150° C までは減少しない. ノッチ のない場合の引 張り強さは温度低下によって漸進的に増加するが、ノッチがある場 合は**図付 2** のように -100° C 以下であまり変化せず、伸びと断 面収縮率は徐々に低下する. 衝撃値は常温での約 17 kg-m から -196° C での約 10 kg-m へと温度の低下とともに減少し、2 種の

160 KUNIFER 5 140 COPPER ΕT 70:30 Cu-Ni VALUE, F KUNIFER 20 IMPACT 90:10 Cu-Ni 60 80:20Cu-Ni 40 BRASS 20 SUPERSTON 40 0 -200 -150 -100 -50 0 50 100 TEST TEMPERATURE (°C)

図付 1 銅合金の シャルピ V ノッチ 衝撃 試験結果⁽⁴⁾

Fig. 1 Results of charpy V-notched impact tests on copper and copper alloys⁽⁴⁾.

92 (824)



図付 2 オーステナイトステンレス 鋼の ノッチ つき引張試験結果⁽⁴⁾

Fig. 2 Results of tipper notched tensile tests on austenitic stainless steels⁽⁴⁾.



図付3 ニッケル 鋼 の シャルピ V ノッチ 衝 撃試験結果⁽⁵⁾ Fig. 3 Results of charpy V-notched impact tests on nickel steels⁽⁵⁾.

合金間ではあまり相違がない。

4 ニッケル鋼

Ni は フェライト 鋼の ゼイ 性遷移温度を著しく下げることが知ら れており、ここでは 2.25%、3.5%、および 9% の Ni を含有し た鋼の結果を示す. すなわち ノッチ つきの引張試験において Ni を添加した鋼の強度は温度低下とともに増加する. 伸びは 2.25% の Ni を添加すると約 -40°C でもかなり大であり、3.5% Ni 鋼 の伸びは -50°C 以下, 9% Ni 鋼は -150°C 以下ではじめて漸 次減少した. 図付3 は衝撃値の変化であり、2.25% Ni 鋼は 0°C 以下で著しく低下を示し、 -40°C における破断面は 50% が ゼイ 性破面である. Ni 含有量の増加とともに衝撃値の急減する温度 は低くなり、50% が ゼイ 性破面を呈する温度は 3.5% Ni で -75°C, 9% Ni 鋼で -196°C であった. この結果により、ニッケ ν 鋼の使用限界温度を 2.25% Ni 鋼では -60°C、3.5% Ni 鋼で -101°C、さらに 9% Ni 鋼では -196°C とした A.S.T.M. の 規定をたしかめている.

なお以上の Lismer の研究では"Navy tear test"と称する一種の引裂き試験を用い、キ 裂の開始および伝ばんに要する エネルギ にあたえる温度の影響の検討から低温の ゼイ 性を論じている点は 興味がある.

5 各種炭素鋼

Feely ら⁽⁵⁾は C, Mn, Si など組成の異なった各種の実用炭素鋼 について低温の機械的性質を調査しているが、このうちから衝撃 値だけの結果をとり出してみたのが図付4である.組成元素のそ れぞれの影響が混合して明確ではないが、C 量の増加とともに ゼ イ性への遷移温度が高くなり、Mn, Si 量の増加によって低温ま で ジン性を保つようになる傾向が認められる.なお Hahn ら⁽⁶⁾は 炭素鋼の結晶粒度が低温 ゼイ性にあたえる影響を調べ、0.041m m 程度の微細晶のものは 0.106 mm のものに比べて各種の ゼ



Fig. 4 Results of charpy V-notched impact tests on various tankage steel plates⁽⁵⁾.

寒冷地向け電気機器用金属材料の低温試験・実・石原

性遷移温度が約 20°C 低いことを報告している.

6 低温の膨張係数

付表1および付表2は Goldsmith⁽³⁾の ハンドラック より抜粋し た純金属および各種合金の常温以下における膨張係数である. ハ ンドラック には膨張曲線のみが記載され,またその尺度もあらいの で,これより求めた係数の値にはかなり誤差もあるが,参考には なると思う. なお表には各温度範囲の平均膨張係数および曲線の 掲載されている ハンドラック のページ を示し利用の便にした.

表付1 純金属の低温における膨張係数(3)

元 滅	膨强	係 数 (1)	0-0 °C)	膨張曲線
	-173° ~ -73° C	-73° ~+27°C	常 温◎	掲載ページ
Al	17	20	23.9	49
Cr	5	6	6.2	223
Cu	15	17	16.5	257
Ge	3.6	4.7		305
Au	13	12		323
Fe	7	11	11.7	369
Mn	19	24	26	407
Mo	5	4	4.9	423
Ni	7	13	13.3	459
Nb	7	7	7.1	469
Pt	7	10	8,9	497
Si	0.2	1.8		581
Ag	18	19	19,7	597
Ta	6	8	6,5	619
Ti	6	8	8.5	667
W	5	4	4.3	685
V	6	8	7,8	719
Zr	4	0		745

* 金属便覧

表付2 種々の合金の低温における膨張係数(3)

分	合金の組成	膨强	係数 (10	-6/°C)	膨張曲弱
頧		-273°~ -173°C	-173°~ -73°C	-73°~ +27°C	掲載ページ
	0.02~0.2 C 炭素期	3	7	10	
Øk	97.8 Fe, 0.9 Cr, 0.5 Mn, 0.4 C, 0.2 Mo			10	
~	11.5~13.5 Cr, 0.15 C クロム鋼	Ì	8	10	153
	16~20 Cr, 6~11 Ni, 2 Mn ステンレス銅	1	13	15	169
K	AISI 304, 18.7 Cr, 8.8 Ni, 1.12 Mn	1	15	13	221
	18 Cr. 11 Mo, 10 Ni			8	
	60 Cu, 40 Zn Brass			-	
	85 Cu, 5 2n, 5 Sn, 5 Pb			17	331
91.	65 Cu, 35 Zn Brass	7	16	17	359
	92 Cu, 8 Sn Bronze			18	362
ż.	70 Cu, 30 Ni			16	377
14	90.3 Cu, 7.6 Al, 2.05 Si			16	393
19	ベリリウム劉; 97.5 Cu, 2.15 Be, 0.35 Ni			14	407
	K-Monel; 65.5 Ni, 29.2 Cu, 3 Al, 0.9 Fe, 0.6 Mn		10	11	465
9 F	Monel; 67 Ni, 30 Cu, 1.4 Fe, 10 Mn	2	10.5	13.5	467
1 100	60 Ni, 17.4 Fe, 15 Cr, 7 Mo, 0.6 Be	2	9	12	519
	Inconel; 72 Ni, 15.5 Cr, 8 Fe	4	8	12	549
	3~12 Cu, 0~1.5 Fe		20	22	763
	4.5 Cu, 15 Mg, 0.6 Mn	-	18	20	767
-	10~14 Cu, 8~10 Si			19	771
	1.8 Cu, 1.3 Sn, 1.1 Zn			22	773
	7 Si, 0.3 Mg			20	799
	17,3 Si, 0.8 Fe, 0.12 Cu			12	803
-	10 Mg			23	813
	5~6 Zn, 2~3 Mg, 1~ 2 Cu		16	20	825
	96 Mg, 3 Al, 1 Zn	.8	19	25	857
	4 Al. 4 Mn, 0.4 C, 残 Ti		7	19	911
1	95.8 Ti, 2.7 Cr, 1.3 Fe		9	13	943
	57 Pt, 43 Fe 8.523°, -23				1,07.5

UDC 621. 039. 6

環状プラズマの電磁圧縮の実験

杉本盛行***·岩本雅民**·飛田敏男**

河 合 正* · 近 藤 博 通**

Experiments on Magnetic Compression of Toroidal Plasma Research Laboratory Tadashi KAWAI • Hiromichi KONDŌ • Moriyuki SUGIMOTO Masatami IWAMOTO • Toshio TOBITA

Experiments have been conducted to study the compression of self-pinched air plasma produced by Joule heating in a glass torus of 600 mm in major diameter and 120 mm in minor diameter with external field of high rate of rise. In the experiments it has been made clear that the plasma is rapidly compressed toward the axis of the torus and continues the state of stably confined in the torus for a few tens of μ s after that, through the observation with a streak camera or a 200 turn magnetic probe of 1 mm in diameter. Also the observation and measurement of current and voltage of plasma have made it possible to deduce a number of conclusions and conjectures of great interest about the effect of various experimental parameters not only on the plasma after the compression but also the behavior of self-prinched plasma.

1. まえがき

³ラスマは ケイ 光灯, 放電管などの身近な機器やさては電離層, 太陽 コロナ などの天体の中でも見受られる周知の事象ではあるが, 地上における核融合反応を実現できる母胎として, また MHD 発 電, プラスマトーチ, レーザ 用光源その他の未開拓応用分野の源泉とし て, 近年改めて大きな関心をひき起こすにいたった.

とりわけ高温 プラズマ の研究は、核融合反応炉の実現につなが るという意味でも、また固体、液体、気体につぐ「第4の状態」 としての プラズマ そのものの本質的な特性、ことに磁場との相互 作用のもとにおける電磁流体としてのそれ、を明らかにできると いう意味でも、大きな期待を集めているが、この研究の最大の焦 点は端的にいって プラズマ をどのように「加熱」しどのように「閉 じこめる」かの二つに集約される. 荷電粒子が プラズマエネルギ の一 部を持ち逃げする現象が「加熱」にとっても「閉じこめ」につい ても障害となる例を見てもわかるように、両者は本来不可分のも のであるが、便宜上両者を分離するなら、前者に対する競争過程 としてはおもに プラズマ からの放射損、後者の最大の敵としては プラ 不安定性をあげることができ、現在の研究の段階ではまず後 者が クローズアップ されているといえよう.

当所で現在実験をつづけている環状放電装置第2号器⁽¹⁾は、 う ラスマの電磁流体力学的不安定性を克復するための試みとしての 安定磁界反転、 ジュール 加熱における行き詰まりを打破する試みと しての magnetic compression (うラスマ に外部から磁界を印加し てこれを圧縮すること.以下電磁圧縮とよぶ)の二つの実験を実 施する目的で作られたもので、第1号器⁽³⁾の経験にかんがみ、 う ラスマの電流やこれに加える磁界の上昇速度および分布の均一性 を増すなど各種の改善を加えたことを特長としている.この改善 によって以前よりも広い実験条件のもとに著しく向上した再現性 を持つ実験 データを得ることが可能となり、観測設備の充実とあ いまって、外部条件の変化が プラスマ 挙動に及ぼす効果を明了に

94 (826) * 研究所(工博) ** 研究所

つかむことができるようになった.

安定磁界反転の実験も、電磁圧縮の実験も、前者についての予 備的実験の報告(3)以外にほとんど報告の出ていない分野に属する ものである. とりわけ Scylla などで代表される直線放電管にお ける通常の電磁圧縮は、電離されていない ガスを入れた放電管の 軸方向にきわめて急激に磁界を印加することによって、放電管の 周囲方向に誘起された電界による ガス の電離一プラズマ化一と、上 記磁界の電磁力による プラズマの圧縮(したがって加熱)とを同時 に行なわせるものであるのに対し、この2号器でのそれは ジュール 加熱によってすでに相当高温になった環状 プラズマ を軸方向磁界 で圧縮するという点で本質的に異なっている. もちろんこのよう な圧縮方法にはいろいろな不安定現象が随伴することが予想され たが、われわれの実施した電磁圧縮の実験では、予想外に良好な 圧縮およびこれにつづく閉じこめの状態を実現できることが直径 1 mm, 巻線 200 gーン の磁気探針や流し カメラ などによる観測結 果によってほぼ明らかとなったので、今回はこれについて報告す ることにしたい.

2. 放電装置と実験条件

放電装置やその他の実験設備とその回路構成についてはすでに 報告⁽¹⁾したのでここではその概要を図2.1 に示した略図および図 2.2 の写真によって簡単に記述する.

放電管①は断面内径 120 ϕ , 曲率半径 300 ϕ の環状 ガラス 管で あって, この上に放電管軸方向 (z 方向) に磁界を作る B_z 巻線 ④が 36 $g_{-\upsilon}$ 巻きつけてある. この巻線は平銅板で作られ放電管 をほぼ スキ 間なくおおう単層 ソレノイド (図 2.2 参照) であって, 各 9 $g_{-\upsilon}$ ずつの 4 $t_{2 imes u imes u}$ に分割され,おのおのは互いに同方 向の磁界を発生するように並列に結線されている. 変圧器と同様 な機構によって放電管内部に z 方向電界を印加するための一次 巻線③は, B_z 巻線の表面上に上下それぞれ 5 $g_{-\upsilon}$ ずつ巻かれた 合計 10 $g_{-\upsilon}$ の巻線であって,これと放電管内 うラズマ とは巻鉄



図 2.1 環状放電装置の概要とその回路構成 Fig. 2.1 Schematic diagram of the toroidal discharge apparatus and its circuitry.



). 放電管, ② 鉄心, ③ 一次登録, ④ B, 巻段, ⑤ ガス導入管 ④ バイヤス巻線, ① 観測窓, ③ 分光器, ① 高周波電圧計 動 流しカメラ

図 2.2 放電装置の外観 Fig. 2.2 View of the discharge apparatus.

心③によって電磁的に結合される.一次巻線、B₂ 巻線には、それ ぞれ 50 kJ,400 µFのコッデッサを電源、イグナイトロン GU-31A を スイッチ とする クランピッグ 方式⁽¹⁾の電源装置から パルス 状の電流 i₁, i₂ が供給されるが、B₈ 巻線にはこれ以外に短絡容量 30 MVAの 短絡発電機を電源とする イグナイトロン 整流器からの直流大電流 i₄ が i₅ に重なって流れるようになっている.このほか、一次巻線 電流によって鉄心が一方向だけに励磁されることを防ぐために、 鉄心上に巻かれた パイヤス 巻線 ⁽³⁾ に直流電流を若干期間流して鉄 心をまえもって逆励磁し、また放電の始動を容易にするため放電 管の 2 本の枝管に巻きつけられた コイル 状の電極⑤に高周波電圧 を印加して放電管内の ガス を軽度に電離(予備電離)しておくよ うになっている.

実験にあたっては、まず鉄心逆励磁をすませ、ガスの予備電離 を開始するとともに B₄ 巻線に直流電流 i_a を流して放電管内に z 方向安定磁界 B_{ia} を発生した後、一次巻線に i_a を注入して z 方向 うちズマ 電流 i_a 一変圧器 でいえば二次電流一を発生する、電 流 i_c が大きくなるにつれ、その発生する $5a-\mu$ 損および円周方 向 (θ 方向)の自己磁界 B_θ によってそれぞれ うちズマ の加熱 ($5a-\mu$) 加熱)、および断面径の収縮(自己 ピンチ)が生ずる、この際 うちズマ の導電率が十分高くなっていれば、うちズマ内に含まれる B_{ia} の磁力線は うちズマ を通って外に出ることができないために うちズ マ といっしょに圧縮される. i_c の発生より時間 τ だけ遅れた時 点で、 B_a 巻線にさらに パルス 状大電流 i_a を注入すると、主とし て うちズマ の外部に軸方向磁界ができ、このため うちズマ はさらに

環状 プラズマの電磁圧縮の実験・河合・近藤・杉本・岩本・飛田

強く圧縮される。これが本文でいう電磁圧縮であって、この際う ラズマは管壁から遠ざかった細いリッグ状のものになると同時にそ の温度、電離度が増大するが、B.が プラズマ内にしみこれにつれ この圧縮力は弱まり ううズマ はふたたび膨張する. ただし電磁圧 縮前に自己 ピンチプラズマ 特有の ネジレ (Kink) が起りやすいので、 これを防止するためにそう入する前述の直流安定磁界 B.。の均一 性にはとくに改善を加えたことは既に述べたとおりであるが、こ の Bzoの向きは安定磁界反転実験⁽²⁾との差異を明らかにするため に圧縮磁界 B。と同じ向きに選んである.また、もの向きはどち らであっても本質的な差はないが今回は B. と同じ向きとした。 次に実験の条件について述べる. 電流 i, i の波形は電源 コン デンサ 充電電圧,回路定数, プラズマ の状態によって定まるもので あるが、今回の実験では回路定数を一定としてコンデンサ充電電圧 v1. v2 (それぞれ i, i, に対応)のみを変えた. 予備電離のため の高周波の周波数, 電圧は、この実験全体を通じて常に 3 Mc. 5kVin としたが、これによって管内 がなは一様に予備電離され

主放電の開始は常に確実に行なわれた. したがって v_1, v_2 以外 に選べる実験 $パ_{5,2-9}$ は、 $ガ_2$ の種類およびその封入圧力(初期 圧) P, 直流磁界 B_{20} および遅れ時間 τ である.

これまでの実験結果の中では ガスとして空気を用いた場合の デ ータ が最も多く利用できるので、この報告では記述を空気の場合 に限ることとする。その他の パラメータ の範囲は次 のとおりであ る。 $P: 10 \sim 60 \,\mu\text{Hg}, \, v_1: 3 \sim 10 \,\text{kV}, \, v_2: 3 \sim 12 \,\text{kV}, \, \tau: 0 \sim 200$ $\mu\text{s}, \, B_{zo}: 0 \sim 0.04 \,\text{Wb m}^3. \, tx$ おこれらの条件下で得られた z 方向 ブラズマ 電流 i_z は波高値 $12 \sim 24 \,\text{kA}, \,$ ブラズマ に印加 された電界 E_z は波高値 $1.1 \sim 2.2 \,\text{V cm}, \, i_2$ の波高値は $80 \sim 150 \,\text{kA}$ である。 B_z $(z \,$ プラズマ の存在が無視できるとすれば $B_z \simeq 6 \times 10^{-6} \, i_2 \,[\text{Wb m}^2]$ $(i_2 の単位は A) で与えられる。$

3. 放電の回路現象

図3.1は種々の条件下で得られた おログラム のうち典型的なも のの例をいくつか示したものである。それぞれの撮影条件および 座標軸目盛りは図の説明に与えたとおりである。

図に示した オシログラム はいずれも p が 45~60 μ Hg 程度の比 較的初期圧の高い場合の例であって,それぞれ上から順に放電管 に沿った 1 g-ン 電圧 v_{\pm} (プラズマ にかかる電圧)の波形および i_{\pm}, i_{\pm} の各電流波形を示したものである. 1 g-ン 電圧は放電管 に沿わせて巻きつけた絶縁線により,また i_{\pm} は放電管と B_k 巻 線の大地側に最も近い巻線との間にそう入して放電管に巻きつけ た ロゴウスキーコイル によって測定したもので,それらの装着状況は 図 3.2 の写真に示すとおりである. i_{\pm}, i_{\pm} の電流波形はそれぞれ 2 ma, 0.5 ma の同軸分流器によって測定したものである.

電流 i_1 , i_2 は図に見られるとおり 25ンラ されているが、これ らの内 i_2 は B_z 巻線が低 1ンダ29ンス であるため 25ンピングイグナ イトロン の 1ンダ29ンス がきいていくらか振動的となっている. た だしこの程度の振動はここに述べる実験においてはなんら支障が ない. 回路 1ンダ29シス の高い i_1 のほうではこのような振動はほ とんど見られないが、鉄心の飽和のため電流印加後約 100 μ s で 電流値が急激に大きくなっている. 鉄心飽和以前に見られる電流 値の低い部分は ロゴウスキーコイル によって観測される i_2 とほぼ同 じ波形であって、巻数比 10:1 で換算するとその値とまったく 一致する.

ロゴウスキーコイル による にの観測結果は プラズマ の総合的な状態

(827) 95



 v_z : 1 ターン電圧, i_z : プラズマ中の z 方向電流, i_1 : 一次登線電流, i_2 : By 巻線電流, 横軸 100 μ_3 /div ($v_{z_1}i_2, i_1, i_2$), 縦軸 V: 400 V.div, i_z : 10 kA/div, i_1 : 5 kA/div, v_2 : 40 kA/div, 条件

	v1 (kV)	$v_2 (kV)$	τ (µs)	B20 (Wb/m ²)	p (μ Hg)
(a)	10	0	nata	0	50
(b)	10	10	90	0	50
(c)	10	0		0.04	50
(d)	10	10	90	0.05	50
(e)	10	10	120	0	60
(f)	7	10	100	0	54
(g)	7	10	100	0.05	50

図 3.1 オシログラム





放電管, ② B_z 巻線.
 ③ B_z 巻線アース碼導体, ④ 1
 ターン電圧観測コイル, ⑤ ロゴウスキーコイル, ⑥ 磁気探針, ⑦ 排気管

図 3.2 ロゴウスキー, 1 ターン 電圧観測 コイル, 磁気探針の装着状況

Fig. 3.2 Method of access of Rogowski coil, one-turn voltage pick-up coil and magnetic probe.

について直接的な示唆を与えるものであるが、われわれの観測結 果では外部条件の変化が i_z の波形に明確に現われている.まず 直流安定磁界 B_{zo} の印加は i_z の立ち上がりを著しく大きくする効 果があり、後に述べるように磁界の印加に伴って放電柱の輝度も 増加する.図(a)および図(c)を比較すると B_{zo} の印加によって i_z 波形の初期の立ち上がりが大きくなり、波形が三角形から方形に 近い形に変形し一方それに伴って電流の最大値も増加することが わかる.

電磁圧縮を加えた場合の i_{c} 波形はいくらか複雑である. この 場合には i_{1} の加印時の $j_{j,27}$ 状態いかんによって i_{c} の波形も 著しく変化する. たとえば比較的早い時点で圧縮を行なった図(b) および図(d) の場合では i_{2} の印加によって i_{c} は急激な上昇を見 せ,その結果 i_{c} の最大値は i_{2} を印加しない時よりも高くなって いる. ところが図(e)ではこの結果はまったく逆で τ の大きい場 合には i_{c} は i_{2} の印加とともに階段的に減少する. 印加時間の遅 れ τ がこれらの中間的な値をとる図(f),図(g)の場合には i_{c} はい ったんは減少するけれどもその後にふたたび上昇して最大値をと る.

 i_z が i_2 の印加時に示すこのような複雑なふるまいの原因につ いてはいまだ明確な結論が得られていない. ただ電磁圧縮を加え た時いつもその瞬間に1 g_{-2} 電圧の階段的な減少が認められるこ とは電磁的な圧縮による電流路断面の減少と i_{θ} による加熱効果 による $j_{5,77}$ 比抵抗の低下のみを考えたのでは i_z の測定結果と は合致しないように思われる. 一つの可能な解釈は二次巻線とし ての $j_{5,77}$ の形状の変化が環状の $j_{5,77}$ 柱の $i_2g_{2,92}$ の時 間変化 dL の形で $1g_{-2}$ 電圧に寄与しているという見方であ ろう. この解釈によれば $j_{5,77}$ はこの時その曲率半径が小さく なる方向に変形しなければならないが, このことは後に述べる流 し $h_{2,5}$ による所見と一致している.

直流安定磁界 B_{io} の印加の効果も 1 9-2 電圧波形に明了な波 形の変化を与えている. すなわち B_{io} が無い時は 1 9-2 電圧の 波形は電圧の印加後しばらくの間ほぼ平らかであるが, B_{io} のあ る時には印加後いったん上昇した 1 9-2 電圧はただちにわずか ながら減少することが特長的であって,この電圧減少は プラズマ柱 の導電率が急速に上昇することを示すものである.

以上は典型的な挙動を示すいくつかの例についての考察であっ たが、第2号器についてこれまでに得られた空気中での約80回 の放電実験の結果を集計したところ、外部条件と*i*。との関係につ いていくつかの興味深い傾向が求められたので後に章を改めて記 述する.

4. 流しカメラによる観測

放電管の軸に垂直に スリット を設け, これを通して得られた像 を フィルム の上に連続的に流して撮影するいわゆる流し カメラ によ る観測は うラズマ 姿態を直接的に記録することができる点で, そ の挙動を明確に捕えるための最も便利な方法である. 図4.1 はこ れまで空気中の放電で得られた流し写真のうち典型的なものの放 電前半期の部分をいくつか選んで示したもので図中 (a)~(k) は 図 3.1 に示した オシログラム と同時撮影されたものである. それぞ れの撮影条件, 放電管管壁の位置, 時間尺度は各図面に与えてあ る. 写真はすべて 10 mm 幅の スリット を通して撮影したもので 図 2.2 に示すように放電管を上から見おろした位置で記録している. 図中に3本の縦に黒いシマが入っているのは一次巻線の影である.

まず図(a)および図(j)はそれぞれ B_{zo}=0, i₂=0 すなわち自己 ピッチ 電流のみを流した場合であるが,いずれも放電初期の輝度が 小さく,その持続時間も短い. 輝度が小さいことは前に述べたよ うに,放電の初期にあっては i_z の立ち上がりが悪く放電電流が 少ないことによるものであるが,電流がある程度立ち上がった後 では ゔラズマの姿態そのものが著しく不安定であり,そのため高温 粒子が急速に管壁に逃げてしまうからと想像される.この傾向は



(i)

(j)

(k)

10

10

10

10

0

10

Fig. 4.1 Streak photographs of discharges in air.

とくに気圧の低い図 (j) の場合に著しい.

図(c)は図(a)の放電に直流安定磁界 B_{zo}を加えたものであって、荷電粒子の放電管壁への損失が妨げられる結果電流の立ち上がりが急速で プラズマ 柱が放電の初期からかなり輝度が高くなっていることが明らかである.この場合にも プラズマ は放電の初期に放電管の曲率中心に対して近づいたり遠ざかったりする動揺を示し、また放電の後半ではまったく不安定となっている.放電管の初期に見られる プラズマ 柱の運動は、少くともわれわれのこれまでに得た多数の流し写真に関する限り、常に同じ規則的な運動の様子を示しているので、ネシレ などの不安性とは違って プラズマ 柱全体が環状の形のままその曲率半径に変化をきたしている現象ではないかと考えられる.この点については今後高速 コマ 取りカメラ を用いて検討を加える予定である.

上述の図 (a), (c), (j) 以外のものはすべて B₄ 巻線に パルス 状の大電流 i₂ を印加した電磁圧縮実験の結果を示したものである. i₁の印加による自己 ピッチ 放電だけの場合放電がかなり細い電流路を形成していることは図 (c) からも明らかであるがこれは明 了な ピッチ 状態とは認めがたい. ところが図 (b) から明らかな ようにこれに i₂ による 圧縮を加えると放電管の軸付近に輝度の 環状 ゔ゙゚゙゙ゔぇ゙ママ の電磁圧縮の実験・河合・近藤・杉本・岩本・飛田 非常に高い極度に圧縮された $j_{5,77}$ 柱が現われることがわかる. 図 (d) は図 (b) とまったく同じ条件の下で直流安定磁界 B_{zo} を 印加したものである. この場合は放電が i_2 の印加以前に既にか なり加熱されており気体の運動圧力 (kinetic pressure) が大きく なっていることもあって i_2 の印加による電磁圧縮が図 (b) の場 合ほど効果的にきいていない. しかし直流安定磁界が印加されて いる場合でも i_z が小さくて i_2 の印加以前に $j_{5,77}$ 電流があま り大きくなっていない場合には圧縮磁界 B_z によって圧縮された $j_{5,77}$ の外観はかなりはっきりする. 図 (f) および図 (g) は図 (c) および図 (d) とほぼ同じ条件で自己 ピッチ 電流だけを減らし たもの,また図 (i) は気圧の低い場合について図 (b) と同様の条 件での放電の所見である.

90

150

0

0

0

10

10

10

E縮磁界を印加した場合のこれらの流し写真を観察するといく つかの興味深いふるまいを見ることができる.まず i2 の印加と ともに放電柱は輝きを増すとともに 10~20 µs の間にわたって急 速に圧縮され,直径が放電管径の約 ¹/3 程度まで減少し,その後 数 10µs は放電管管軸付近にかなり安定に閉じこめられているが その期間は i2 の立ち上がり期間とほぼ一致している. うラズマ柱が 圧縮される模様は直線状放電管が得られている速い自己 ピンチ 放 (829) 97 電⁽⁶⁾や通常の電磁圧縮⁽⁶⁾の流し写真と非常に類以している. この 圧縮過程で プラズマ 柱は上述のように初め放電管の軸付近に位置 した後,4mm/μs 程度の特性的な速さで放電管の外側のほう(曲 率中心から遠いほう)に向って drift するのが認められる. これは おそらく電荷分離 (charge separation)に基づくものであろう.

電磁圧縮の印加時点を示す遅れ時間 τ の大小が放電姿態に及ぼ す効果は気圧の低い場合の例 図 (h), (i), (k)に 顕著に現われて いる. 図 (h) は i_1 印加後 20 μ s, 図 (i) は 90 μ s, 図 (k) は 150 μ s 後にそれぞれ i_2 を印加した場合を示したものであるが, これらの内,上に述べた特性的な ピッチ 状態が見られるのは図 (i) のみであって, i_2 の印加時における プラズマ の状態が i_2 の電 磁圧縮効果に微妙な影響を与えていることが明らかである.

5. 外部条件と i_z の関係

3 および 4 章でわれわれが行なった考察はさらに多くの電気的 な測定結果によって裏付けられる. 図 5.1 はこれまでの実験結果 から適当な実験条件のものを選んで j=7 にまとめたものである. 図 (a) は電極圧縮をかけぬ ($i_2=0$) 場合について直流安定磁界



 B_{zo} が i_z の立ち上がりに及ぼしている効果を示したものである. ここで di_z/dt は電圧 v_1 を印加した瞬間における値である.すでに 述べたとおり B_{zo} の印加の効果は非常に明確であって、しかも B_{zo} の増加とともに di_z/dt はほぼ直線的に上昇している.一方同 じ場合について B_{zo} に対する i_z の極大値 i_z -peak を $j_{0.9}$ トし てみると図(b)のようになり、 B_{zo} の上昇とともに i_z -peak は上 昇するが、その割合は図(a)の場合よりも少なくて直流安定磁界 の印加によって放電波形が三角形状から波頭部が順次広がって方 形波に近付いてくる模様を説明している.

電磁圧縮を行なった場合にはまず i_2 の印加時点の遅れ τ が i_2 の極大値に関係する.図(c) は B_{zo} と i_2 -peak の関係を τ を β \exists_{x-9} として \exists_{10} ト したものである.図から明らかなように i_2 -peak を最大にするために最も適当な τ の値があり、われわれ の実験条件では $\tau=80 \ \mu s$ 付近, $\dagger x$ わち v_1 の印加により i_2 が 一応確立した直後に i_2 を印加するのが適当であることを示して いる.これから推定されることは τ がこれより短い場合には \exists_3 z_7 の加熱が不十分であり逆に大きい場合には不安定性の発生や 不純物の混入による温度低下のために圧縮加熱が効果的に働かな

> いということである. また図 (c) において i_z -peak と B_{zo} の関係は $\tau = 120 \,\mu s$ の時は電磁圧縮を行なわなかった 図 (b) と似た漸増的な傾向を示しているが $\tau = 30, 80 \,\mu s$ の両方の場合では i_z -peak の変化はわずかであり, とく に $\tau = 80 \,\mu s$ の時には B_{zo} が 0.04 Wb/m² を越えると i_z -peak はかえって減少するようである.

> 図 (d) および図 (e) はそれぞれ $B_{zo}=0 \ge B_{zo}=0.05$ Wb/m³ で電磁圧縮をかけた場合について 一次巻線に印 加した電圧 $v_1 \ge i_{z}$ -peak を $j_{0.0}$ ト したものである. こ こでは τ の値いかんにかかわらず $j_{5,z}$ マ電流は単純な 増加を見せている.

6. 磁気探針とその観測結果の一例

次に磁気探針による測定について述べる. われわれが 試作した探針とその取り付け方法を示す概略図面を 図 6.1その使用状況を図3.2の写真に示した. 探針コイルはエ ポキシ で型造した 2 mmø×1 mm の ボビッ に 0.025 mmø の ホルマール 銅線を 200 ターン 巻き, さらにこれを エポキシ で真空注型したきわめて小形のものである. コイルから の導線は 0.1 mm の ホルマール 線で引き出し, その シャヘイ と熱的絶縁および コイルの気密保持を兼ねて外径4mm

ø の ステンレス 管を通して図 6.1 に示すように保護してい る. 気密のためには図に示すような簡単な構造の締付金 具を使い、ゴムの〇リングパッキンを用いているが、真空試 験の結果では 10-6 mmHg の真空度で十分使用に耐える ことが確められており、また締付金具をゆるめるだけで 管中の真空度をほとんど害することなしに探針の位置と 向き (z あるいは θ 方向に対して コイル 面が垂直) とを 容易に変更することができる.

この磁気探針を $C=0.1 \mu$ F, $R=10 k\Omega$ 程度の RC 回路によって積分すれば、約 $1 kc \sim 1 Mc$ 程度の周波数範囲をおおう観測が可能である.

図 6.2 はわれわれの試作探針を用いて放電管の管軸部 における B_z の時間的変化を測定した結果を示す オシログ 5ム で, 図中(a) は プラズマ が発生していない場合で較正













図 6.2 磁気探針による測定 結果 Fig. 6.2 Oscillograms obtained through magnetic probes.

用のもの, (b), (c) は プラズマ に電磁圧縮を加えた場合で, (b) では $B_{zo}=0$, (c) では $B_z=0.05 \text{ Wb/m}^2$ また τ はいずれも 80 μ s である. (c) と同時測定した ロゴウスキーコイル による i2 および i1, ig の測定波形をそれそれ (d), (e) に示した.

図(c) に示す B2 の測定例は プラズマ 柱の収縮とともに直流安 定磁界 B20 が うラズマ 柱中心部に持ち込まれてその大きさが漸次増 加して初期の値の 2~3 倍までになり、しかる後 プラズマ の無い場 合とほとんど同じ圧縮磁界 Bz の値まで飛躍的に上昇している. われわれが現在得ている推定はこのように急激な磁界の変化が測 定されるからには プラスマ 柱はおそらくかなりはっきりした導電 率の高い境界を持っており,測定波形に認められる急な変化はこ の境界層が探針を誤って動くために現われるものであろうという ことである.

このように プラズマ 柱内部に磁界が持ち込まれることが明らか となったので、われわれの実験の次の段階、すなわち Suydam の 規準を満足するような反転安定磁界を プラズマ 柱中に実現し、そ の安定効果を検討する可能性が確かとなった.

探針 コイル の材質にはとくに耐熱性の良い エポキシ 材料を選ん だが、これまでの経験ではわれわれの場合のように短時間の放電 中では プラズマ との接触による損傷はほとんど認められない.わ れわれの放電装置では放電柱自身が大地から電気的に浮いた状態 にあるので磁気探針を静電的に シャヘイ する必要がなかった. こ のことは絶縁体の放電管を持つ環状装置の一つの利点であろう.

環状 プラズママ の電磁圧縮の実験・河合・近藤・杉本・岩本・飛田



図 7.1 空気中での放電の分光写真 Fig. 7.1 Spectrograms of discharges in air.

7. 分光測定

空気 プラズマ から発生する光量ほ各1回ごとの放電でその分光 写真を十分撮影できる程度に大きかった. われわれは島津製水晶 分光器 QF-60 形を使用し、図2.2 に示すように装置を放電管に 近接させて水晶の観測窓を通して分光測定を行なった.図7.1 はその結果の一例として空気 50 µHg 中での放電の場合を示した ものである. 図中 (a), (b), (c) はそれぞれ自己 ピッチ と電磁圧 縮を加えさらに直流安定磁界も印加した場合,(b)は自己ピンチ のみを印加した場合, (c) は直流安定磁界無しで自己 ビンチ と電 磁圧縮を加えた場合であって図 3.1 に示した オシログラムの (d), (c), (b) に相当している.

これらの スペクトル で興味深い点は OIV 2493.4, 2493.8 および OIV 3063.5 が (a) および (c) には認められるのに対して (b) で はまったく認められないかあるいはきわめてうすく、したがって 電磁圧縮による加熱効果が確認される点である. 図にみられるよ うに空気中での放電の場合は混合物の発生する放射線が多く外部 条件の効果を判定するのが困難であるので現在は純粋な He ガス などを用いて分光測定を続行している.

8. 検 討

流し カメラ の結果は誘導 ピンチ 電流 i2 の印加とともに プラズマ 柱が急速に加熱されて衝撃的な圧縮を受けること、一方 ロゴウスキ -コイルの測定から プラスマの輔方向電流 i も i の印加の時点が 適当であれば著しく増加し、 プラズマ 柱の導電率が上昇することが 推定される. この時に実現されている プラズマ 温度を推定する ことは現在はまだ困難であるが、おおざっぱな一つの見当を得る ために次の方法によって推算を試みることとする。まず流し写真 によって プラズマ の境界はかなりはっきりと識別されるので、こ れから プラズマ 柱の半径が求められる. 一方 プラズマ 電流 らと 1 ターン 電圧 ひょの オシログラム から プラズマ 柱の抵抗値が逆算できる ので、 プラズマ 柱内部で熱的平衡がなり立っているとすると完全電 離ガスに関する式(4)

> $1/\sigma = 65.3 \times \ln \Lambda / T^{3/2}$ (Ω-m) T: プラズマ温度 (°K)

⁽c) 直流安定磁界を印加してプラズマ を発生させた時の B: の波形

表 8.1 プラズマ 温度の推定値

	<i>iz</i> * (kA)	v_z^* (V)	r* (cm)	T (°K)	<i>T</i> ′ (°K)
(b)	23	760	2.0	94,000	1,130,000
(c)	20	800	2.0	81,000	
(d)	23	760	1.6	130,000	750,000
(f)	16	520	2.4	81,000	1,520,000

から温度を推定する. 表 8.1 はさきに図 3.1 (b), (c), (d), (f) に示した場合について試算をした結果を示したものである. 表中 i_z^* , V_z^* , r^* はそれぞれ ロゴウスキーコイル による測定電流 i_z の最大 値と, その時の 1_{9-2} 電圧の値および プラズマ 柱の半径である. i_z が最大の時 i_z に差交する磁束の時間変化 d(LI)/dt は必ずし も 0 ではないが V_z^* はほとんど誘導分を含んでいないと考えて よいのでこれから

$\sigma = 2\pi R i_z * / \pi (r^*)^2 \cdot V_z *$

によって を算出して上式と比較する. $\ln \Lambda$ の値は プラズマ 温度 と粒子密度の関数であるが、われわれの実験範囲では近似的に $\ln \Lambda = 10$ とおける. なお プラズマ 柱の移動のため r* の正確な値 が測りがたいので プラズマ 柱が最も収縮した時の値をもって代用 した.

図 3.1 (b), (d), (f) の結果を比較してみると電磁圧縮による加熱の効果が顕著であることがわかる. 温度 T の計算値では最も高い値を示す (d) の場合でも 13 万度程度であり,実際には 3ラズマ 柱は多少うねっていること,および電流路が 3ラズマ 断面の全域に平等に分布していないことなどを考えに入れても 3ラズマ 温度は 20 万度ぐらいにとどまっていると考えられる. 表中に T'で示した温度は静かな 3ラズマ についての方程式

$$p + \frac{B^2}{2\mu_0} = \text{const}$$

を用いて プラズマ が完全に閉じこめられた場合を仮定しとたとき の プラズマ 温度を逆算したものである. $T \ge T'$ の間にみられる 著しい差はわれわれが得ている プラズマ が理想的な閉じこめ状態 から随分へだたったものであることを示している.

われわれはこれまでの実験結果から i_2 による電磁圧縮がこの ような環状の配位でもちょうど直線状放電装置に見られると同様 に境界の鋭い ピンチ した うラズマ を発生するのに効果的であること がわかった. この圧縮の際 うラズマ 柱は i_2 の印加とともに数 μ s の間に急速に収縮し,再びわずかに膨張するがその後も i_2 が増加 しつつある 50 μ s 程度の期間では,ほとんど一様な円筒状に閉じ こめられており, i_2 が最大値を過ぎるとともに拡散をはじめる.

これは プラズマ 柱の θ 方向電界に対する電気的慣性が小さく, プラズマ の安定な閉じこめがそれに好意的な θ 方向電界ができる i₂ の上昇期間中だけ可能であることを示し、したがって電流の立ち 上がり時間を長くすること、およびの方向電界自体も大きくとる ことなどの考慮を加えて、より効果的で長い閉じこめを得られる 可能性が存在することを示している。一方われわれが観察したよ うに閉じこめられた プラズマ が安定で流体的な慣性を持つ挙動を 示すことは、現在考察を進めている高周波電源を用いた交流的な 電磁界を用いた プラズマ の持続的な閉じこめの可能性を示すもの と受け取ることができよう。

9. む す び

第2号器における各種の構造の改良の効果はきわめて顕著であって、この結果第1号器では満足に果たしえなかった電磁圧縮の 実験について貴重な成果を得ることができた.

かなり高温状態になった プラズマ,ことに環状の プラズマ を圧縮 する試みは今回の実験が初めてであるといえるが,この圧縮によ ってたとえ数十 µs とはいえ,完全に圧縮された プラズマ を放電管 の中央部近辺に作ることができたことは予想外の成功であった. またきわめて小形の試作磁気探針が,今までわれわれがふれるこ とのできなかった プラズマ 内の状態について納得のゆく データを提 供してくれたことも大きな進歩といえよう.

この際の プラズマ 温度の空間的平均値は推定十数万度,中心部 のそれはこの何倍かであるが,放射損の多い空気においてはこれ 以上の高温を望むことは無理であってこれは現在進行中の ヘリウム などの実験の成果に期待したい.

もちろんこの実験まだ初期的成功の段階であって,光電測光装 置による スペクトル 線の時間的変北の測定, コマ 取り カメラによる プ ラマズ 姿態の観測,磁気探針による さらに詳細な内部物理量の測 定など,現在多くの努力を重ねているので単に電磁圧縮に限らず 安定磁界反転に関する実験についても一段と進歩した成果をあげ る日も遠くないことと期待している.

なお,この実験は原子力平和利用委託研究費を受けた三菱原子 力工業株式会社と協力して遂行したものである.

(昭 38-1-23 受付)

参考文献

- (1) 河合ほか:「三菱電機技報」37, No. 4, P. 572 (昭 38)
- (2) 河合ほか:「三菱電機」35,825 (昭 36)
- (3) S. Berglund, S. Svennerstedt: 「Nuclear Inst. and Method」 13, 201 (1961)
- (4) L. Spitzer: [Physics of Fully Ionized Gases] Interscience Publishers, (1956)
- (5) たとえば I.V. Kurchatov: Nucleonics 14, No.6 (1956)
- (6) たとえば A.C. Kolb: P/345 2nd Geneva Conference

低磁界におけるOverhauser効果の実験

下地貞夫*·富島一成*·野崎悦子*·仲森 誥 貢*

Experiments on the Overhauser Effect at a Low Magnetic Field Research Laboratory Sadao SHIMOJI · Kazunaru TOMISHIMA · Etsuko NOSAKI · Satotsugu NAKAMORI

Experiments were made on the Overhauser effect in aqueous solutions of $MnCl_2$ and $NO(KSO_3)_2$ in a static field of 30 Oersteds which was produced with a Helmholtz coil. With input to the electron spin resonance supplied from a 300 W single tube oscillator, proton resonance was detected by means of a Pound-Knight-Watkins type marginal oscillator. In the case of $MnCl_2$ aqueous solution having concentration of 0.005 Mol/l at the R.F. field of about 4.5 Oersteds, the enhancement factor larger than 15 was obtained. The dependence of enhancement factor on the temperature of sample was measured in the range of $40 \sim 100^{\circ}$ C. It increased approximately with the first power of the temperature. This factor in $NO(KSO_3)_2$ aqueous solution of 0.01 mol/l was found above 60 with sample considered to be completly saturated; the theoretical limiting value was not obtained quantitatively. Also experiments were made on the temperature dependence of the enhancement factor in the static field to prove that the latter approximately decreased with the first power of the temperature on the contrary to the former.

1.まえがき

約 30 Oe の静磁界において Overhauser 効果の実験を行なった。この効果は A.W. Overhauser により、金属における NMR に対し予言されて以来、金属 リチウム、常磁性 イオン を含む液体および セミキノン 類の有機遊離基について、いくつかの実験が行なわれている。ここでは低磁界において実験を行なうため試料は液体とし、MnCl₂ 水溶液および Potassium peroxylamine disulfonate, NO(KSO₃)₂の水溶液を用いた。これらの常磁性 イオン の ESR はいずれも微細構造を持っているが、dF=0、 $dmF=\pm1$ の遷移を飽和させ、水分子の ブロトン 共鳴について増倍度を観測した。Overhauser 効果による ブロント 共鳴信号の増倍度に影響を及ぼす因子を検討し、2 ケ2 程度の信号増倍度を得ている。

はじめに Mn⁺⁺ イオン についての Bloembergen らの理論⁽¹⁾お よび NO(SO₃)₂⁻⁻ イオン についての Lloyd らの理論⁽²⁾による, これらの水溶液における うロトン 共鳴信号増倍度についての結果 および実験装置の構成について述べ、3 章にこれらの各要素につ いて詳述する. うロトン 共鳴信号検出器は Pound-Knight-Watkins 形の発振器を変形して用い,静磁界は ヘルムホルツコイル および トラン ジスタ 安定電源により加えた. ESR 発振器は セラミック 管 WF-403A を用い、発振管から直接出力を取出した.実験は高周波発振器の 出力による増倍度の変化が理論に従うことを確認し、装置の安定 性に対する要求度の基準を知るために、増倍度の磁界依存性をし らべ、また、増倍度に影響を及ぼす因子として試料温度による変 化を検討する.

2. 原理および方法

Overhauser 効果は、核スピンの磁気緩和がおもに電子スピンを 媒介として行なわれている時、この電子スピンの磁気共鳴を飽和 させることにより、核スピンの分極が電子スピンの程度にまで増 大するという現象である、実験的には、NMR 信号がこれに対応 して、25gから35g程度大きくなることで確かめられる。

磁気共鳴吸収によって並列共振回路の共振 イコピーダンス は,

の変化を受ける⁽³⁾. ここに、 η は試料の共鳴 コイル における磁気 的占有率(体積占有率で近似される)、Q は無負荷時のQ および x'' 共鳴 スピッ の高周波帯磁率の虚数部分である。<math>x'' は周波数に 依存し、共鳴 スピッ の分極率 $\langle I_z \rangle$ を用いて次式のように表わさ れる.

$$\chi^{\prime\prime}(\nu) = \frac{1}{4} N^3 \gamma^3 \hbar f(\nu) \langle I_z \rangle \qquad (2.2)$$

ただし、N はスピンの数、Y は磁気角運動量比 (Gyromagnetic ratio)、 $f(\nu)$ は規格化された共鳴吸収の形状関数である、式(2.1) および(2.2)を組み合わせて信号強度は 〈*I*₅〉に比例することがわ かる、実験は低磁界において行なうことを目的とし水溶液におけ る うロトン および 3d 族のうちで最も ESR が飽和しやすいと推定 される Mn⁴⁺ イオン あるいは有機遊離基 NO(SO₃)2⁻ との Overhauser 効果を行なうこととした、うロトンスピンの分極を 〈*I*₅〉と書 いて、

$$\langle I_z \rangle - I_0 = \frac{3\rho f}{4S(S+1)} \{ \langle S_z \rangle - S_0 \} \dots (2.3)$$

と表わされる⁽¹⁾. ここに S は溶解した常磁性 イオン の スピン、 $\langle S_z \rangle$ はその分極率, I_0 , S_0 はそれぞれ熱平衡状態における分極率であ る. f は常磁性 イオン を介して うロトンスピン の緩和する割合, ρ は うロトン および常磁性 イオン の運動によってきまる定数である. 式 (2.3) は溶液に対して適用され、 うロトン および常磁性 イオン は激 しく うラウン 運動を行なっていて、 これらの相互作用の揺動は空 間運動によるものが大部分であり、相関時間は スピン 系のすべて の エネルギ 間隔に比べて短い、という条件の下に導かれている. ま た, たとえば Mn++ イオン を 0.01 モル 溶解することにより うロトン の緩和時間 T_1 が純水の 3.4 秒から 0.01 秒と短くなるので、 常 磁性 イオン のみを介して緩和すると考え、f は1とおくことがで きる. ρ は運動が等方的で、 うロトン と常磁性 イオン の相互作用が 磁気的双極子相互作用のみの場合 $+\frac{1}{2}$ であって、 負の Overhauser 効果が期待され、スカラー形の場合は -1 で正の効果が期 待される.

 Mn^{++} イオシ の スピン は $S=\frac{5}{2}$ で、数十 Oe の低磁界において 分極率 $\langle S_z \rangle$ は高周波磁界 H_{1z} の関数として、ESR の共鳴周波 数において次式のように表わされる。



図 2.1 装置の構成 Fig. 2.1 Constitution of the apparatus.

ただし、 γ_e は Mn⁺⁺ イオン の磁気角運動量比、 τ_s は緩和時間である. したがって マンガン 水溶液における プロトン の分極率 $\langle I_z \rangle$ は

$$\langle I_z \rangle = \left(-\frac{\gamma_e}{2\gamma_p} \cdot \frac{\gamma_e^2 H_{1e}^2 \tau_s^2}{1 + \gamma_e^2 H_{1e}^2 \tau_s^2} \cdot \rho + 1 \right) I_0 \cdots \cdots (2.5)$$

となり、 ρ は -0.4 として実験結果をよく説明するといわれる⁽¹⁾. γ_p は プロトン の磁気角運動量比で、 H_{1e} を十分大きくした時、 $\langle I_z \rangle$ $/I_0 \approx 160$ となる. NO(SO₃)₂-- イオンは、不対電子と N¹⁴ 核との 相互作用のため、ESR に 54.7 Mc の零磁界分離があり、静磁 界 H_0 と共鳴周波数 ν_e の間に簡単な直線関係が成立たず、Breit-Rabi の式を用いる必要がある⁽⁴⁾. 不対電子と N¹⁴ を合わせた系 の スピン を F とすれば、 $F = \frac{3}{2}$ あるいは $\frac{1}{2}$ であり、z 成分を m_F と書くと、たとえば、 $F = \frac{3}{2}$, $m_F = \frac{-1}{2}$ から $F = \frac{3}{2}$, $m_F = \frac{-3}{2}$ の遷移に対する共鳴周波数は

$$\nu_e = \varDelta \nu \cdot \left\{ -\frac{1}{2} (1-x) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{3} x + x^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\} + \gamma_N H_0 \cdots (2.6)$$
$$x = \gamma_e H_0 / \varDelta \nu$$

となり、 $\Delta \nu$ は零磁界分離の周波数、 γN は N¹⁴ 核の磁気角運動 量比である. NO(SO₃)₂-- の $\nu \langle \nu \rangle$ 構造は複雑であるが、式 (2.6) の遷移に対しては $\langle S_z \rangle \geq H_{1e}$ の関係を式 (2.4) の形にまとめる ことができ、高周波電力に対し、同様のふるまいが予想される・ ただし、NO(SO₃)₂-- イオン と水分子の プロトン との相互作用が双 極子形であるため、負の Overhouser 効果の現われることは Mn⁺⁺ イオン の場合と異なっている.

これらを実験的に検証するにあたっては、 次の三つが必要である.すなわち安定で一様 な静磁界 H_0 を生成すること、 H_0 において イオンに共鳴する強い高周波磁界 H_{1e} を試料 に加え ESR を飽和させること、およびその 状態で うロトン共鳴を良好な S/N で検出する ことである.装置の構成は図2.1に示した. ヘルムホルッコイル および励磁電源によって H_0 を生成し、変調器を通してこれに商用周波数 -の変調磁界 H_m をかける. H_0 は 0~1000e、 H_m は振幅 0~1 Oe、周波数は 60 c/s であ る.試料用水溶液を入れた アンプル を ヘルムホル ッコイル の中心におき、そのまわりに互いに直 角に ESR 用 コイル および NMR 用 コイルを



図 2.2 装置の主要部外観 Fig. 2.2 Exterior view of the main equipment.

巻いて,ともに H_0 に直交するように配置した. ESR を飽和す るために必要な H_{1e} は、 Mn^{++} 4_{72} の場合 $NO(SO_3)_2^{--}$ 4_{72} に 比べて大きく、4 Oe 以上とされているので、30~100 Mc の周波 数範囲において出力 250 W 以上の高周波発振器を用いた. NMR 発振検波器は Pound-Knight-Watkins 形の発振器である. 変調 磁界により、NMR 周波数の定まった値に対して、60 c/s ごとに っしい 共鳴が繰り返され、Marginal 発振器の振幅および周波数 が変調を受ける. 振幅変調分のみを取出して吸収曲線が得られ、 直接 うっつ 管上で観測される. あるいは狭帯域増幅器および位 相検波器を通して記録計上にその微分曲線を描かせることができ る. 装置の主要部は図 2.2 に示した.

3. 装 置

一様な静磁界 H₀ は ヘルムホルッコイル および トランジスタ 安定化励 磁電源により加えた. 信号電圧が H₀ の 2 乗に比例して低磁界で 弱くなるので NMR 信号を検出可能とするために, 試料の体積 を大きくし, これが占める空間内で十分一様な磁界を生成するこ とができるよう ヘルムホルッコイル の内径を十分大きくとり 100 cm とした.

直径 100 cm の二つの $\exists 7 \mu$ を $\langle \mu \cup 4 \mu \cup \gamma \rangle$ 条件に合わせて同軸 に対置した場合,軸上の中心において 50 Oe 生ずるためには 2,780 AT 必要となる. $\exists 7 \mu$ には直径 4.0 mm ϕ の二重網巻 $\exists 7 \mu \mu$ 銅線を用い 25 A, 150 μ - ν とした. この $\exists 7 \mu$ の 25°C におけ る抵抗値は 0.65 \mathfrak{a} , その時電圧降下は $\exists 2.5 V$ である. 各巻線が



できるだけ ヘルムホルツ 条件に近くなるよう, コイル の断面は図 3.1 に示すように斜辺が二つの コウ配を持った平行四辺形とした. コイ ル の支持方法には十分注意を払い,堅ろうな構造とし,また試料 全体にわたっての磁界を一様にするためには,2 個の コイル 間の 距離を ヘルムホルツ 条件より少し大きくとるほうがかえって良いの で対の一方は前後7 cm 移動可能とし,また平行度,軸の不一致な どからくると予想される磁界分布を減ずるために他方の コイル は 横方向に ±2 cm 移動可能とした.変調 コイル は磁界 コイル の内側 の小巻ワク内に 0.5 mm の 2 重絹巻 エナメル 線を 150 回巻いて,直 接商用周波数を供給し,0~1 Oe の変調磁界を印加することがで きる.全体として磁性の金属は避け,ステンレス 鋼 SUS 27 および 黄銅鋳物を用い,コイル は巻 ワク の外側から冷却 パイラ で水冷した. 図 3.2 に ヘルムホルツコイル および全装置の構成を示した.

励磁電源は トランジスタ 制御の, 定格 50 V×20 A のものを自作 して用い,電流安定度は ドリフト および速い変動分も含めて 30 分 間で 1×10⁻⁵ 程度,短時間で 10⁻⁶ の ケタ である.出力電流 2~ 20 A を手動で連続的に変化させることができる.また ヘリカルオーム を シンクロナスモータ で駆動することにより任意の点から,掃引幅 2, 1,0.4,0.2 A,時間は 5,10,20,30 分で磁界の掃引を行なう ことができる.別に比較的広い磁界における実験用として 75 V, 150 A の励磁電源を用意した(図 3.2)が,この実験には直接使 用しなかった.

ESR 用高周波発振器は周波数安定度よりも、周波数を比較的 容易に変えうることおよび負荷に対しマッチッグのとりやすいこと に重点をおき,送信管を プレート 同調の発振管として用い,これか ら直接高周波電力を取出すことにし、同調調整部分の数を極力少 なくすることに努めた. 飽和が容易な有機遊離基は問題ないとし て, 3d イオン のうちで最も ESR が飽和しやすいと推定される マ ンガンイオン Mn++ の電子 スピン が共鳴によって高周波磁界から吸 収する電力はたかだか 20 たいし 30 W 程度である. しかしこ の水溶液は電気伝導度が比較的大きく,誘電損失とともに ウズ電 流損失の値はこの数倍になるものと予想されるので、高周波発振 器の出力は 250 W 以上とした. 周波数範囲は 30 たいし 100 Mc とし、出力管は三菱 WF-403A セラミック 管を選び、図3.3 に示し たような回路で使用している. WF-403A は C 級の場合,入力最 大定格は ブレート 直流入力電圧が 2,500 V, 電流 300 mA, 電力 750 W で, 発振出力 200 W 以上を容易に取出すことができる. 出力の変化はB電圧を変えることにより行ない、周波数の変化は



図 3.2 全装置の構成 Fig. 3.2 Constitution of the apparatus.

低磁界における Overhauser 効果の実験・下地・富島・野崎・仲森

L₁, L₂, C₂ および負荷 コイル とこれに直列に入れた C₂ により行な う. C₂ および C₃ には高い共振電圧がかかるので,耐圧 2kV 程 度のものでは ラレート 直流入力電圧を 2kV 以上にしたとき,極板 の間でアーク 放電を起した.発振器のみの外形寸法は 30×40×25 cm で, NMR 検出器への誘導を防ぐことおよび負荷 コイル も含 めて陽極側の タンク 回路全体を所要の周波数に同調 させるため, ヘルムホルッコイル の中に入れうる程度の大きさにまとめた. ESR 用 負荷 コイル およびそれへの結合部を含めて静電 シャヘイ を施し, 電源側への高周波の漏れも, 銅の シールF 箱および フィルタ を用い て厳重に防いだ. 図3.4 にこの結合部の外観を示した.

NMR 信号検出器は Pound-Knight-Watkins 形の簡単な発振 器⁽⁵⁾で,後述の理由から若干の変更を加えて使用している.結線図 は図3.5に示した. V₁ (6J6) を カソート結合で発振させ, NMR 検 出 コイル L は可変 コンデンサ C などと組み合わせて V₂ (6AK5) の 入力側同調回路と兼用している. したがってうロトン 共鳴による高 周波磁界の エネルギ の吸収はこの並列共振回路の共振 インピーダンス を下げ, V₁ の発振振幅の減少と V₂の入力側の Qの低下の二つの 効果を持つ. 静電結合回路を通り V₃ (6AL5) で直列検波された出 力の一部は平滑回路と 50 μ A の直流電流計を組み合わせた レベル メータ に入り, また V_{1a} の グリッドに帰還され, 発振 レベル の低い 状態においても安定な発振を行なう ことができる. 検波出力は V₄ (12A×7) で2 段低周波増幅した後, 直接 づっつつ 管上で吸収 曲線を観測, あるいは狭帯城増幅回路, 位相検波回路および直流 増幅回路を通って微分曲線を記録計に描かせる.

この発振器の一般的特性として、NMR 用検出コイルは同一周



図 3.3 ESR 飽和用発振器 Fig. 3.3 ESR signal saturating oscillator.



図 3.4 ESR 発振器試料結合部 Fig. 3.4 Connecting part of ESR oscillator.



図 3.5 NMR 信号検出器

Fig. 3.5 NMR signal detector.



図 3.6 試料および静電 シールド Fig. 3.6 Sample and electro static shield.

波数に対してLを小さい値とした時、良好な感度がえられるので、 V₃の入力側同調 コイル に比べてかなり小さい値とした.次に V₁ の発振可能な周波数の下限は、C₃ と タンク 回路の共振 インピーダンス で定まる帰還量、および V_{1b} の グリッドから V_{1a} の プレートへの 増幅度に依存するが、帰還量を少なく、増幅度を大とした時感度 が良いので C₃ は小さい値とした.また V₃ から V_{1a} への直流 的な帰還の時定数は原回路の 2 秒に対し 0.05 秒とした.図示の 回路で 20 Oe (80kc) までの静磁界において共鳴信号を ブラウン 管上に観測することができる.常磁性 イオン の濃度が低い時は発 振 レベル の低い状態で、安定に動作させることが必要である.こ の目的で改良された回路も文献に発表されているが、ここでは、

V₁の プレート 電圧を下げて電流を減ずることにより, 簡単に目的 を達し, イオン 交換樹脂を通した純水の プロトン 共鳴が, あまり飽 和しない程度であった.

³ローブは試料 アップルのすぐ外側に ESR 飽和用 コイル を巻き, これに直角に NMR 検出 コイル を巻いた. 試料 アップル は硬質 ガ ₅ス で直径 6 cm, 高さ 6.5 cm の円筒形に作り, 内容積はほぼ 150 cc あって, 磁界の均一度, ヘルムホルツコイル 内の スペースの許せ る範囲で大きく取った. ESR コイル は外径 6 mm の鋼 パイプ を これに直接 2 ターン 巻き, L は 1 μ H 程度であり, L₁, L₂, C₂ お よび C₂' と合わせて 80 Mc まで発振させることができる. コイル のみの Q は 50Mc で 400 以上あった. NMR 用 コイル は外径 9.5 cm の マイカルタボビン に 1 mm の エナメル 線を 86 回巻き, Lは 360 μ H である. 外界からの誘導を防ぐために, この外側に内径 13.5 cm の銅の シールド をかぶせた. コイル との間隔は 1.9 cm で、かなり近い ためシールドのない時に比べ、NMR 発振 周波数は 15% ほど高くなる・またコイル の Q はかなり 低下するが、これにより NMR 信号に対する感度の低下はほとん どみとめられない. ESR 周波数の NMR コイル への誘導を防ぐことは、この実験の 一つのポイントであり、ESR コイルと NMR コイル を直角に配置すること、二つの コイ ル を薄い アルミハク で シャ 断し、表皮効果 の深さの差を利用する方法および線間の 浮遊容量を利用して静電 シールド を行な うこと等を検討した.コイルの軸を幾何学 的に直交させることは、ESR 周波数がこ

のように大電力の場合,不十分で, リード線からのわずかの漏れも NMR 発振器への影響が大きく, V₁ が発振停止するほどである. 表皮効果を利用する方法は, $ru \ge 1/2 v \le 50 \mu$ とした場合, NMR 検出器の感度を著しく低下させ,信号の観測が困難となった.線 間の浮遊容量による静電 $\ge -u$ ドは, **図**3.6 に示すような構造で, 0.3 mm ϕ の $\pm 1 \ne u$ 銅線を 0.3 mm 間隔にならべ,一端を連結し てある. これを用いた場合, NMR 検出器の感度も低下せず ESR 周波数に対して $\ge -u$ ド 効果は良好であった. さらに NMR $\exists -1 u$ と検出器の間に 2 段の L-C $= -1 + u \le 2$ をそう入することにより ESR 発振器の最大出力に対しても, = -5 + 2 = 2 に難音はほとんど現わ れない程度に誘導を防ぐことができた.

4. 実験の概要

実験は塩化マッガン 水溶液および NO(KSO₃)₂ 水溶液の 2 種類 の試料について行ない, Mn⁺⁺ イオン および NO(SO₃)₂⁻⁻ イオン の ESR 周波数は 54 Mc, 水分子の プロトン 共鳴周波数はほぼ 128kc (30 Oe) とした. Overhauser 効果による増倍度を測定するにあ たっては, 2 章に述べたように ESR 周波数の高周波磁界振幅 H_{1e} をあらかじめ調べておくことが必要である.

式 (2.1), (2.2), (2.3) および (2.4) から増倍度の逆数は 1/ H_{1e}^{2} と直線関係にあることが知られる. H_{1e}^{2} は ESR コイル に 加えられる高周波電力に比例するが, これを熱量的測定および磁 束による誘起電圧の測定について比較検討した. 試料の温度上昇 の割合を発振管の ∂_{U-1} への直流入力に対して測定した結果は ほとんど直線的で, 高周波出力の一部が定まった割合で試料に吸 収されるものとすれば発振効率は ∂_{U-1} 電圧によらず, ほぼ一 定といえる. ESR コイル 内の高周波磁界振幅 H_{1e} は, ピックアップコイ ル と高周波真空管電圧計を組み合わせて測定し, リード線および電 圧計本体への誘導分を知るために ピックアップコイル は有効面積 6.08 cm² および 1.47 cm² で1 g_{-2} のもの 2 個を用いたが, 互いによ く一致した値を得た. こうして求めた H_{1e} の 2 乗も発振管の ∂_{U-1} ート 直流入力に対して直線的であった.

次に2種類の測定値の関係を求めるために, ESR コイル のみの 時, および試料をそう入した場合について Q を測定した.塩化 マンガン 水溶液は 0.005 mol/l, NO(KSO₃)₂ は 0.01 mol/l で 120 cc の容積の硬質 ガラスアンプル に満たしてある.温度上昇の値とこの Qから高周波電流の振幅を求め,コイルの中心における H_{1e} を推 定して ピックアップコイル による測定値と比較したが, 15% ほど高い



値を得た. この相違はおもに高周波電流から H_{1e} を推定する過程 に起因すると思われるが、かなりよい一致と考えられる. H_{1e} を有 効に利用するためにはこれが試料に一様に加えられることが望ま しいが、発振器に対する マッチングの容易さから ESR コイル を2ターン としているので、かなり大きな分布を持っている. 試料をそう入し ない時、コイルの軸上および中心平面における分布を図4.1 に示す. 試料をそう入した時、 H_{1e} は塩化マンガン 水溶液で約 90% に、 NO(KSO₃)2 水溶液で 56% に減少した. これを図4.2 に示す.

塩化 マッガン 水溶液における プロトン 共鳴信号の増倍度は 0.0025 ~0.01 mol/l の範囲では濃度によらず⁽¹⁾, これより Mn⁺⁺ イオン が稀薄になると式 (2.3) における $f \approx 1$ の条件が満されなくなり 増倍度が低下し,濃厚になると プロトン 共鳴信号の幅が広くなり 過ぎて ブラウン 管上で信号を観測しにくくなる. 試料として 0.005 mol/l のものを用いた.マンガンイオンの ESR は5本の微細構造を 持ち,その成分の g 係数はいずれも等しく,ほぼ 1.4 であり,し







図 4.3 MnCl₂ 水溶液における うロトン 共鳴信号の増倍度 Fig. 4.3 Enhancement factor of proton resonance signal in MnCl₂ aqueous solution.

たがって ESR 周波数 ν_e と静磁界 H_0 の間には $\nu_e(Mc)=2.0\times$ $H_0(Oe)$ の関係が成立つ. しかし緩和時間 τ_s が 3×10^{-9} sec, 共 鳴線の幅に換算して 40 Oe 以上もあるので ESR 周波数による 増倍度の変化はきわめてゆるやかである.実験は 30 Oe の静磁 界において, ESR 周波数 54 Mc, プロトン 共鳴周波数 128 kc で行 なった. 高周波発振器の プレート 直流入力に対する 増倍度の変化 を図 4.3 に示す. 入力 500 W の時, 高周波磁界振幅 H_{le} は5.2 Oe となるが、 試料の温度上昇が激しく、 40℃ から6分間で 沸 騰点に達する. 共鳴吸収信号は入力の小さい時は記録計で, 大き い時は ブラウン 管上の図形から測定し, そのときの試料温度はほ ぼ 100℃ であった. この程度の H_{le} においては Mn⁺⁺ イオン の r_s が小さいため式 (2.4), (2.5) の $\gamma_e^2 H_{1e}^2 \tau_s^2$ を 1 に比べて無 視でき、入力に対し増倍度は直線的であり、文献(1)の データに比 べてやや小さい.図4.4, (a),(b),(c),(d),(e) に プロトン 共鳴信 号の増大していく様子を示す. (a) および (e) における信号強度 の比は 15 である. また増倍度は 7。を通して試料温度から比較 的大きな影響を受ける. Mn++ イオンの場合,低磁界においては, 𝐾は温度の増加とともに、ほぼ直線的に増加する⁽⁶⁾といわれてい る・増倍度もこれに対応して増加するが、これを図 4.5 に示す。 曲線の飽和は試料の粘性の影響と推定される.

NO(KSO₃)₂ 水溶液は 0.01 mol/l とし, 試料の分解を防ぐため に 0.1 mol/l の KOH で適当な pH に保った. ESR の周波数は 54 Mc とし, $F=\frac{3}{2}$, $m_F=\frac{1}{2}$ から $F=\frac{3}{2}$, $m_F=\frac{-3}{2}$ への遷移 を飽和させた. この周波数に対応する共鳴静磁界 H_0 の値は式 (2.6) から, ほぼ 30 Oe となる. NO(SO₃)₂-- イオン の吸収線幅

低磁界における Overhauser 効果の実験・下地・富島・野崎・仲森



(a) DC 0 W Att. $\times 1$

(b) DC 50 W Att. $\times 1$



(e) DC 540 W Att.×3 (d) DC 465 W Att.×3 図 4.4 MnCl₂ 水溶液における プロトン 共鳴信号 Fig. 4.4 Proton resonance signal in $MnCl_2$ aqueous solution.





は、濃度に依存して大きく変わり、0.05 mol/l で 2 Oe, 0.001 mol/l で 0.5 Oe と減少する.線幅の狭いことは有機遊離基の一般的特 性であるが、このことから緩和時間 で。も長く、わずかな高周波 電力で大きな増倍度の得られることが推定される、磁界に対する 増倍度の変化の様子を図4.6 に示す. この曲線は NO(SO3)2--イオンの ESR 曲線と同じものであって, ESR 発振器に 17 W の直 流入力を加え、同一の試料で連続的に測定してある。 増倍度が ESR 周波数によって大きく変化するので、高周波発振器には出 力とともに周波数の安定性も要求される.また,2章に述べたよ うに増倍度は負であり、入力電力を増すにしたがい プロトン 共鳴 信号はいったん消失した後,逆方向に増大してゆく. 高周波入力 に対する増倍度の変化は、 プロトン 共鳴検出器の入力範囲が広く要 求されるので、直線性の成立つ範囲のみの結果を図4.7に示す. 入力電力に対して プロトン 共鳴信号強度が増大してゆく様子を,



- 図 4.6 NO(KSO₃)₂ 水溶液における増 倍度の磁界依存性
- Fig. 4.6 Field dependence of enhancement factor in NO(KSO3)2 aqueous solution.



プロトン 共鳴信号増倍度



図4.8 (a), (b), (c) に示す. NO(SO3)2-- イオンは Mn++ イオンに 比べて プロトッ との磁気的相互作用が弱く、プロトッ 共鳴の スピッ 格 子緩和時間は比較的長い. このため図には大きな ウィグル が出て いる. 増倍度の温度依存性は 18 W の直流入力に対して測定し た. NO(SO3)2⁻⁻ イオン は常温付近では適当な pH の溶液で 800 時間の寿命を持つが、50°C 以上では温度の増加とともに急激に 分解速度が増し, 60℃ では 1~2 時間で完全に分解する⁽⁷⁾. し たがつてわれわれの実験はすべて 50°C 以下で行なった. 図 4.9








Fig. 4.9 Temperature dependence of enhancement factor of proton resonance signal in NO(KSO₃)₂ aqueous solution.

は 27.5~35.6°C までの結果を示したが、 Mn^{++} イオン と異なり増 倍度は温度の増加とともに減少する.このことから相関時間 τ_c はきわめて短いことが推定される.

5. む す び

 $MnCl_2$ 水溶液について j_{DFJ} 共鳴信号強度を 15 倍,増大さ せることができた. この場合 Overhauser 効果の符号は正であっ て,高周波磁界 H_{1e} を 0 から増加させるにしたがって、 j_{DFJ} 共鳴信号はそのまま増大していく.また、30 Oe の低磁界では Bloembergen らによって述べられているように、 Mn^{++} イオンのス ピン 格子緩和時間が試料温度の上昇とともに長くなるにしたがい 増倍度は増加する. この傾向は η の影響も含めて Trikham らの j_{-9} とよく一致している. NO(KSO₃)₂ 水溶液について j_{DFJ} 共鳴信号強度の増倍度は理論的極限直に近いと推定されるが、検 出器の入力に対する出力の飽和のため、これは確認することがで きなかった.しかし、直線性のなりたつ範囲において、高周波磁 界 H_{1e} に対して,理論的に示されるものとよく一致したふるま いを示した.この場合 Overhauser 効果の符号は負であって, H_{1e} を0から増加させるにしたがい, うロシ共鳴信号はいったん 消失し,それから逆転したものが増大していく.また NO(SO₃)₂--イオンの ESR は線幅が狭いので,増倍度の静磁界に対する依存 性は顕著であって,高周波発振器の周波数安定性が要求される. 試料温度に対する増倍度の依存性は Mn^{++} イオンの場合と異なり, 温度の上昇とともに減少する傾向を示した.NO(SO₃)₂-- イオン の濃度の うロトン共鳴への影響が,3d イオンに比べてはるかに弱い のは注目すべき現象であって, うロトンの スピン 格子緩和時間は, 0.01 $\in h$ の イオン 濃度でほぼ 1 秒, 共鳴線の幅に換算して 200 μ Oe 以下である.

Overhauser 効果の応用として、低磁界の絶対値を精密に測る ことができる.通常の NMR による方法では信号感度の点から 測定困難であるが、この効果によって、精度をあまりぎせいにせ ずに感度を増大し、容易に測定を行なうことができる.ここでは $\Delta F=0$, $\Delta m_F=\pm 1$ の遷移を用いたが、 $\Delta F=\pm 1$, $\Delta m_F=\pm 1$ の 遷移を行なうことにより、さらに大きな増倍度が期待される.

(昭 38-3-18 受付)

参考文献

- (1) Codrington and Bloembergen: J.C.P. 29, 600 (1958).
- (2) Lloyd and Pake: Phys. Rev. 94, 579, (1954).
- (3) Abragam: The principles of Nuclear Magnestim, Oxford at the Clarendon Bress (1961).
- (4) Towns, Weissman and Pake: Phys. Rev. 89, 606 (1953).
- (5) Watkins and Pound: Phys. Rev. 82, 343 (1951).
- (6) Tinkham, Weinstein and Kip: Phys. Rev. 84, 848 (1951).
- (7) 下地, 富島, 野崎, 飯坂: 研究報告(社内) 1203 号



電車自動運転装置

待 下* 鳥

1. まえがき

列車の運転において、最も重要なことは絶対的な安全性と正確 な運転時間の確保ならびに快適な乗心地であることはいうまでも たい.

とくに、最近の激増する輸送量に対し列車をますます高性能・ 高速化して運行時分を短縮するとともに、その運転密度を大きく して合理的に輸送能率の向上が図られるようになった.

このように列車が高性能となり、複雑化した運転 ダイヤ が組ま れるようになると従来のような運転手の熟練と注意力によって行 なう運転操作も保安上、完璧なものとは断言できないようになっ てきた.

これらのことから考えて、安全第一にしかも輸送力を増強する ためにはさらに新しい方法、すなわち自動運転方式が必要である が、これらの方式は、その用途によって非常に異なってくる、た とえば新幹線超特急のような長距離車の自動運転を行なう場合に は定時運転が最も重要な目的であるから走行中も常に正常 ダイヤ で運転されているか否かを チェック し, 遅れれば指令速度をあげ て回復するように自動補正を行なって定時運転を行なうことが必 要である.しかしながら、通勤用郊外電車や地下鉄のように駅間 距離がきわめて短かく、 停車ひん度の高い場合の自動運転では, 走行中での指令速度補正の必要性は長距離電車用ほど高級なもの は要求されず、むしろ定位置停止制御、コウ配、曲線などでの速 度制御の方に重点をおく必要がある. さらに完全に無人運転をは かろうとすれば ドアの開閉, 前照灯, 行先標示灯の切換などすべ て自動化しなければならない. このように、目的によって装置の 内容が非常に異なってくるがいずれの場合にも相当複雑な装置 となるので、性能はもちろんのこと、信頼性と fail safe (故障と なった場合必ず安全側に作用すること)を重視しなければならな い.

2. 自動運転方式

列車運転の自動化を図る目的は人間の注意力と運転経験に全面 的に依存することなくして乗り心地を向上し、しかも安全に輸送 力を増強するためであって、具体的にはつぎの条件を満足する必 要がある.

- (1) 列車の起動から停止まで所定の加減速度で快適な乗り心地 が得られること.
- (2) 列車運転密度を高め、輸送能率の向上を図ることによって 生ずる先行列車への追突ならびにその他の事故を完全に防止す ること.
- (3) 速度制限個所などでは確実に自動減速して、制限速度を超 過しないこと.
- (4) 所定の地点,たとえば駅や停止信号区間では侵入速度いか んにかかわらず、常に一定位置に停車させること.
- (5) 定められた運転 ダイヤ どおりに走行する. いわゆる定時間

運転を行なうこと.

これらを満足するため、発車から停車までの運転を自動化するこ とは理想的であるが、先に述べたように運転条件や列車性能なら びに経済性を考慮して適用してゆくことが望ましい.

3. 各種方式

電車の自動運転装置については、わが国はじめ欧米各国でもい ろいろ試作研究が進められているがこれらを大きく分類すれば、 地上パターン式と車上パターン式に分けることができる.地上パターン 式とは、電車に対する制御指令をほとんどすべて地上設備より与 える方式であって惰行指令、速度制限指令のみならず定位置停止 用速度 パターン なども地上から与えるものである. 一方, 車上 パタ -> 方式とは車上で走行距離を検出しこれにより必要な制御指令 を与えるもので、車上で演算制御を行なう方式である.

3.1 地上パターン方式

地上 パターン 方式として有名なのは、パリ 地下鉄式と ニューヨーク 地下鉄式がある. いずれも地上 パターン 方式ではあるが, 具体的 な方式はまったく異なっているので、両者について概要を記す.

(1) パリ 地下鉄式

パリ地下鉄では ゴムタイヤ 電車で実験が行なわれたもので,連続



注: 動作図中実線範囲で作用開始し、一度動作後は点線範囲では その動作を保持するようヒステリシスをもたせてある 図 3.1 パリ 地下鉄 ATO 原理説明図





図 3.2 ニューヨーク 地下鉄 ATO 説明図

的に軌道面より速度指令を与えるようになっている. すなわち, 図3.1に示すように ジグザグの電線を レールの間に敷きこれに高周 波電流を流しておき、車上の受電器によって導体の上を通過時信 号を検知し、この ジグザク 導体の通過時間を常に一定となるよう 車上の制御装置を動作させるようにしておくと、ジグザグの間隔の 広いところでは速度が大となり狭いところではおそくなるのであ らかじめ電車の各地点での速度を決めておいて、地上の ジグザグ 導体の間隔を決めておけば電車の速度が距離に応じて制御できる こととなる.

この方式は地上より直接速度指令が出されるのでパターンの位 置が移動することがなく安定であるが、地上接地がやや複雑で一 度施設すると容易に変更できず、また地上導体より車上の受電器 へ電磁誘導で受信する際、導体の磁界が ジグザグ 導体の曲り目で 少し残るので、受信器の感度が変化すると精度に影響を与えるか ら、この点十分考慮する必要がある。

(2) ニューヨーク 地下鉄方式

これについては、ニューヨーク市交通局が数年前より研究してきたものである.まず予備試験として ブルックリン の海岸路線ニューユトレヒト,18 番街間約 900 m の路線で数カ月,ATO 装置を3 両 編成の電車に搭載して現車試験が行なわれた.

この予備試験結果を基礎にして、 グランドセントラル、 タイムスクエア 間の1 駅間が自動運転化され現在営業運転を行なっている。

この方式は原理的には非常に単純であって図3.2 はその説明図 である.速度制御としては 30 mph (約 48 km/h) 5.5 mph (約 9 km/h) の2 種類あり,起動後 30 mph まで加速すると ノッチの オン,オフで 30 mph に保たれる、つぎに停止点より約 190 m 前 になると地上より 5.5 mph 制御信号が出されるので,電車は ブレ ーキ が作用して減速し 5.5 mph の速度で進行する. さらに停止点 より約 6.5 m 前で無信号になると再び ブレーキ が作用して停止す るに至る.

このほか、電車の出発、停止後のドアの開閉、行先表、 ヘッドラ イト の切換などの操作を全部自動的に行なっているが、これらの プログラム はすべて Punched film に記憶されていて、 レールの信 号電流を通じて電車に指令するようになっている.

3.2 車上パターン方式

車上 パターン 方式は前述のごとく電車の速度指令を車上で演算 指令するもので,地上よりは位置を補正するための地点検出用信 号を受けるだけのものである.この方式は外国でも試みられた例 もあるが,日本でも国鉄技研をはじめ二,三の例がある.車上パ ターン 方式では車上で速度の指令値を算出しなければならないか ら,自車の走行距離を検出する装置を備えていることが必要であ る.

一般に距離の検出は車軸または主電動機の回転数より積算して 求めるが,これは可トウ(撓)軸で車軸の回転を車上に導く機械式 方法,車軸発電機の交流出力を成形しこれでステッピングモータを回 わす電気-機械式方法,さらに速度発電機の交流出力を電子式かウ ンタ で積算する純電気式方法など種々あるが,前の二者ではおの おの ドラム の回転角度が距離に比例するからこれに摺動抵抗をつ けて パターン の形に変換する方法をとる.後者の純電気式ではカ ウンタ 出力を DA 変換器で アナログ電圧に変換した後,非線関数発



図 3.3 定位置停止用パターン

生器に入れてパターンに変換する。たとえば、定位置停止用のものでは図3.3に示すように放物線に近い形状にする必要がある。

すなわち、電車の減速度を一定とし、これを $\beta \operatorname{km/h/s}$ とする と $\beta_{\nu-+}$ 初速度 $V_0 \operatorname{km/h}$ と $\beta_{\nu-+}$ 距離 $S \operatorname{m}$ との関係はつぎの ごとくなる.

$S = \frac{V_0^2}{7.2\beta}$

実際には、これに ウレーキ が作用するまでの デッドタイム による空 走距離が関係するので ウレーキ を開始する点は多少修正を要する が、停止予定点 Sa に停車させようとする場合は P1 点を通過し た時地上子より信号を受け、走行距離に応じて図のような速度 パ ターン を発生し、電車の速度がこの値を越えた時 ウレーキ を作用さ せる. なお、ウレーキ が作用している間も パターン よりはずれれば 減速度を加減して パターン に追従するよう制御すればよい.

この車上 パターン 方式では車上の制御装置が多少複雑になるが パターンの選定が自由で高精度の性能が得られ、また地上設備は簡 単となる。

以上は方式により分類した内容であるが、これを当社が製作し た実施例を主体に、用途により分類するとつぎのとおりである.

3.3 閉そく運転方式

列車速度が向上し、かつ運転列車密度が高くなると先行列車と 後続列車とが相互に支障のないよう所定の間隔をおいて運行する ことが保安上必要である。

所定の間隔をおく方法として、時間的に行なう場合と空間的に 行なう場合がある。前者は、時間間隔法と呼ばれるがこの場合先 行列車が支障なく運転を続ければ問題はないが、なんらかの都合 により途中で停車したり、また遅延することを考えると、後続列 車が所定の時間をおいて発車したとしても安心して高速運転を続 けることができない、このため、低速列車の簡易線区、たとえば 路面電車などにはこの方式が使用されている。

後者は、空間間隔法とよばれるもので先行列車が所定の地点を 通過したことを地上信号その他により確認したのち、後続列車を 発車させる方法で、換言すれば一定区間に1個の列車だけを運転 させる閉そく運転方式とよばれ、現在、国鉄はじめ大部分の鉄道 がこの方式によっている。

この閉そく運転方式を行なうためには、閉そく区間の入口に閉 そく装置を設けこれを扱う場合、関係者相互の打ち合わせにより 行なう手動閉そく式と、軌道回路を用いて列車自体によって自動 的に行なう自動閉そく式があり、前者には通信式、通票式、票券 閉そく式、通票閉そく式などがあり、後者には連動閉そく式、自 動閉そく式、移動閉そく式、および中央集中制御方式 (Centralized

Traffic Control System 略して CTC 方式という) があるが,自動運転を行なう場合はその本質から後者を大幅に利用することはいうまでもない.

3.4 自動列車制御方式(Automatic Train Control System 略 A.T.C. 方式)

従来の自動閉そく運転方式では、列車の存在の有無を現示する 信号機を所定の間隔をおいて設置し、その現示信号を接近列車の 運転手が確認して速度制御を行なってきたが、高速・高密度運転 を行なう場合にはさらに進歩した運転方式が望まれる.

ATC 方式はこれを代表するもので,原理としては、あらかじ め定められた速度に対応する コード電流を軌道回路に流し、これ を車上受電器で受信・増幅するとともに列車速度と比較照査して、 減速ならびに停車を行なう方式であって現行信号方式を容易に利 用できる上,列車間隔を極端に切りつめることのほか、制限速度 に対する制御も可能であり、すでに帝都高速度交通営団ならびに 国鉄新幹線で実施されているが、その画期的成果から今後の利用 は広範囲にわたるものと思われる.図3.4 はその ブロック 構成図 を示している.

なお,この方式の実施に伴い留意すべき点としてはつぎのとお りである.

(1) 軌道回路と受信方式

キロサイクル 軌道方式については、国鉄の交流電化においてすで



図 3.4 ATC ブロック 構成図



に実施されているが、多種類の信号入力を変化させて制御指令と する場合、この方式が好適で選別も確実に行なうことができる.

なお,故障などで無入力のとき,すなわち 0 コード のときは, 保安 ブレーキ を作用させるよう連続入力方式とし車上へは,軌道 に近づけて台車に装備した受電器により誘導的に受電,増幅すれ ば安全で確実である.

(2) 速度照查方式

一般の速度計装置と異なり,連続的に得られる検出入力を指定 された限界速度域において, オッ, オフ 情報入力に変形する照査装 置が必要であるが, この方法としては速度の高低によって出力レ ベル が変動しないことが望ましく, 正確さにおいて周波数基準式 がすぐれている. この代表的な例として新幹線用を ブロック 構成 図で示すと図3.5 のとおりである.

(3) 情報入力の継電方式

車上信号装置からの信号入力と、速度照査装置からの速度入力 とを比較し組み合わせる継電方式としては、信頼度や応答早さの 面から最近発達してきた無接点継電方式があり、サイパックやトラン ジスタリレーの活用が望ましい.また、万一の故障による情報入力 の消失や継電不能のときは保安 ブレーキ 作用が働く安全側にして おくことが肝要である.

(4) ブレーキ 系統

速度制限のための減速作用と強制停車用非常 ブレーキ 作用の 2 系統の ブレーキ が必要であって、いずれも電磁弁制御により制御 することが望ましい. なお、この場合両 ブレーキ 系統は ATC 装 置のほか運転手の ブレーキ 扱いによっても制御できるようにして おくことはいうまでもない.

3.5 自動列車停止方式 (Automatic Train Stop System 略 A.T.S. 方式)

最も単純な方法としては、列車が停止信号現示を無視して進行 した場合、列車の車上装置と地上信号と連動した トレンストッパ の 機械的接触により、自動的に ブレーキ をかける打ち子式自動列車 停止装置があり、従来の地下鉄に用いられてきた. これらは単な る保安 ブレーキ 用であるが、この考えをさらに進展し乗り心地の 許す範囲内でできるだけ短時間に、しかも、一定位置に正確に停

> 車させることにより運転時間を短縮するとともに, 列車の編成長さを うラットホーム の長さまで長大化 することにより輸送能力を一段と引き上げようと するのが ATS 方式の主目的で,定位置停止方式



が クロースアップ されるゆえんである.

ATS 方式は、国内においても試作試験されているが、その原 理は停止地点の手前に必要な制御地点を設け、列車がそこを進行 するのに伴い自動的に減速制御を行なうもので、標準 ブレーキ 速 度曲線を パターン とし、これにより実際の列車速度を制御する方 式で、パターン は列車性能や気象条件により修正することも可能で ある. かくすることによって列車速度いかんにかかわらず常に定 位置に停車させることができる.

3.6 自動運転装置 (Automatic Train Operating System 略 A.T.O. 方式)

自動運転の終局の目標は無人で、安全かつ理想的な運転を行な わせることにあるが、以上のような A.T.C. と A.T.S. を組み 合わせた A.T.O. 方式は出発から停止までを自動化したもので、 先般、帝都交通で現車試験を行ない良好な成果を納めることがで きた. この装置の内容および試験結果を少し詳細に説明すること としたい.

(1) 動作の概要

a. ノッチオフ の自動化

最高速度は 70 km/h に制限されているので、67 kin/h になれ ば自動的に ノッチオフ とし 惰行となる. ただし、線路条件が特殊な 場合は、地上におかれた ノッチオフ 指令用地上子より受信して 惰行 となる.

b. 速度制限

急 コウ 配のところは 40 km/h の速度制限があるので、この個





所では地上より連続誘導式の信号を受信してこれによって速度制 御を行なう.下りコウ配での抑速 ブレーキ はコウ配に見合ったステ ップ選択を ブレーキ 力と速度との関係で選択制御するものである。 c. 定位置停止

定位置停止は、もっとむずかしいものとされているが、この装 置では乗り心地が良いこと(減速度の大幅な急変がないこと)、停 止誤差が極力小さいこと、編成両数に関係がないことを主眼とし て設計した。

すなわち、図3.8に示すように距離第一検出点 A₁ から停止点 A₃ までは連続誘導式地上信号とし、A₂ は第一検出点 A₁ にお いて誤差が出た場合に補正するものである。

車上で A_1 を検出すると情行 β_{2-2} V_c および ブレーキ β_{2-2} V_o が β_{3-2} 発生器より出され,電車の速度と常に比較しながら制 御する.たとえば I のような速度で電車が進入してきたとすると A_1 点でまず情行となる.つぎに ブレーキ β_{2-2} にぶつかると ブレー キ指示が与えられる.この ブレーキ β_{2-2} にぶつかると ブレー キ指示が与えられる.この ブレーキ β_{2-2} にぶつかると ブレー キ β_{2-2} にぶつかると平たん線の場合は β_{2-2} の上にのってその まま減速し、 A_s 点に停車する.しかし制御誤差や コウ配による 走行抵抗の変化があった場合には、この β_{2-2} からはずれるの で、上方にある値だけはずれると強い減速度指示が与えられて β_{2-2} に復帰するように働く.これの一例を示したのが I の走行 曲線である.また低速で進入した場合、たとえば II のような場 合は惰行 β_{2-2} にぶつかるまでは自由に加速できるが、惰行 β_3 ー2 にぶつかると惰行となり、以後は I の場合と どうようであ る.

以上のようにして自動運転の動作を行なうことができるが、そ のほか停車時のトビラの開閉、出発時駅より信号を与えて自動的 に発車するなどの動作が行なえるよう考慮されている.

(2) 構成

a. 信号装置

信号装置で重要な要素のものは連続誘導式を使用し、地点選別 上精度を要するものは アイデントラ による Point check を行なった.

アイデントラ は地上に設置した Passive network で車上からの高 周波に感応するようになっているので、一定速度以下ならば通過 速度に関係なく動作し、車上より地点通過を検知できる.

b. 指令装置

指令装置は全トランジスタ 化された静止器で,走行中は常時速度 検出器で列車速度を検出するとともに地上信号の種類によって, 惰行,力行, ブレーキおのおののパターン を発生し,比較器の動作 によって適正な速度により車を制御するようになっている.

これには電子式 かうシタ, D-A 変換器, 非直線関数発生器を使用し,装置は大別して速度検出器, 距離検出器, パターン 発生器および比較器から構成される.

c. 論理継電装置

論理継電装置では、指令装置および信号受信装置より得られた 情報より力行, 情行, ウレーキおよび減速度の選択を行ない、車両 制御装置の方へ指示する頭脳的役目をするもので, この判断機能 を無接点の サイパック と称する エレメント の組み合わせにより行なわ せている.



図 3.9 ATO ブロック構成図

以上の装置がこの ATO 装置構成の主要部であるが. これらの 動作系統を ブロック 図で示せば図3.9 のとおりである.

(3) 試験結果

試験は帝都交通南千住-三の輪,三の輪-入谷間,および入谷-上野間で行なわれたがこの区間を選んだのは,これが地下鉄の代 表的路線と考えられたからである。南千住駅で運転手が押しボタ ンを押すと起動信号が送られ,起動直後路線は下り 3.9 % コウ配 区間となるが,ここでは地上より 40 km/h 指示の連続誘導信号 が送られてくるので,パターン回路より約 37 km/h 電制 パランス の 指令が与えられ,電車は電気 プレーキ が作用し,コウ配 パランス を 行ないながら走行する.

この状態で三の輪駅に接近するが、停止点 230 m 前方で停止 制御用距離検出器が スタート し、パターン は 40 km/h 制限のまま持 続し、 ブレーキパターン が 40km/h 以下となると ブレーキパターン に切り 換えられ停止制御に入る. ブレーキパターン は減速度選択を行ないな がら停止制御区間内に多少の コウ配があっても必ず基準 パターン に 収束するように制御されて定位置に停止する.

つぎに三の輪駅で起動指示を与えると 67 km/h まで加速した 後ノッチオフ し惰行に入り,つづいて停止制御に入る.しかし先方 車との関係で ATC が動作した場合には減速後再力行し,停止区 間内に入った後も惰行 パターン に達するまでは力行を続けるよう になっている.

入谷-上野間も試験を行なったが、三の輪-入谷間とほぼ同一の 動作を行なった.ただし上野駅では +10% になっているが収束 性が非常によく、停止誤差は入谷と変わらなかった.

図 3.10 は A 点進入速度を 5 km/h より 70 km/h まで各種変 えた場合の停止誤差分布を示し,進入速度による差位はまったく ないことがわかった.

試験結果によれば停止誤差の平均値は約 12 cm でその僅少な 数値は注目の的となった.

3.7 プログラムによる自動運転方式 (P.T.O. 方式)

電車の出発から停止までを完全に自動化するとともに、定時間 運転を可能とする方式で、主として、時間-距離、距離-速度、あ るいは距離-フッチ を要素とする運転曲線をパターン としこれによ り列車の速度制御を行なうもので線路条件はもとより架線電圧の 変化などのいわゆる外乱に対しても、自動的に速度補償を行ない 定時間に所定位置に到達することができる特長を有している.

なお先行列車が万一の事故により停車しているときなどを考慮 して、パターンによる指令速度よりも地上信号による制限指令速度



を優先させることによってさらに安全度を高めることができ る.

とくに国鉄新幹線用列車については最高速度 250 km/h という 超高速であり、かつまた将来の列車間隔が非常に短かくなること を考えると、この PTO 方式も注目されることになり、去る3月 新幹線で現車試験を行ない 30 km を平均 160 km/h で走行して ±10 sec 前後で定位置に停車しうるという好結果を得た.

この P.T.O. 装置を ブロック 構成図で示すと図 3.11 のとおり で、原理的には運転 ダイヤ で示された距離 (s),速度 (v),時間 (t)を パターン とし、列車で検出した s, v, t と比較しながら, 常に両者が一致するよう自動的に制御する方法でつぎの3要素か ら成り立っている.

(1) s-v 制御部

列車の走行位置に応じて必要な速度は、運転線路や 3/1 によってあらかじめ与えることができるので、これを s-v 3n/254 として r-3 に読み込んでおく.

したがって、走行した距離が検出されると単位距離ごとに --うが送られ、走行した距離sに対する基準速度 v_o が得られる. 一方線路条件によって当然、制限速度があるが、この場合もsに 応じた最大速度 v_m をよみこんでおき、後述の指令速度 v_r (= $v_o \pm 4v$)を制限するように与えておくから、常に $v_r < v_m$ で安 全が確保される.なお先行列車に対する保安信号(ATC)も同様

(2) s-t 制御部

に扱ってある.

走行距離 s における所要時間 t_p は, ダイヤ によってきめられて いるので, 前者と同様, これを s-t c_{00} として r-c 読み 込んでおく.

したがって、s が検出されるとこれに応じた d(1+ 時間 t_p が 求められるので、これと基準時間 t_r と比較しその差 dt を検知 し dt に応じた速度信号 dv を発生させる. すなわち、時間差 (=路離差)により -dt のときは増速、+dt のときは減速する 指令信号 dv が得られる.

したがって、制限速度 v_m を加味した $v_0 \pm 4v$ を列車への指 令速度 v_r として与えるようになっている.

このようにすることによって,走行抵抗や架線電圧の変動など の外乱に対しても自動的にこれを補償して定時運転を可能として ある.

これら s-v, s-t 制御部は プログラム 指令装置と称し テープリーダ・ トランジスタ 論理装置,レジスタ, D-A 変換器より構成されている.

(3) v-v 制御部

指令速度 vr と検出速度 v を演算増幅装置および サイパック 装





図 3.12 PTO 制御 パネル

び

長い間の夢であった列車の自動運転化は新しい技術と理論のも とに輝しい,実現への一歩をふみだそうとしている.

4. t: t

この間において、当社は表4.1のような各種方式を製作し、実用に供しつつあるが、さらに新幹線量産車用 A.T.C. や モノレール 車用地上パターン式 A.T.S. なども製作中で、今後ますますの発展 が期待される.

表 4.1 電車自動運転装置製作実績一	覧表
---------------------	----

用途	方式	約入先	特長	台数	記事
通 勤 甲 用	4770	帝都高速度交 通営団 日比谷線	 連続誘導式信号(Fs) 割限速度 40,25,15 km/h 無接点方式 	30	
超高速車	ATC (Automatic Train Control)	国鉄技術研究 所 試験用	 連続誘導式 (S.S.B.) 制限速度 250, 210, 160, 11 70, 30 km/h 無接点方式 	0, 1	
甪		国鉄新幹線 1 号車用	同上	1	
	ATS	近畿日本鉄道 株式会社 大阪線	 連続誘導式信号および地点 検出式信号併用 保安用 継電器方式 	1	
通 勤 平	(Automatic Train Stop)	国鉄技術研究 所 通勤車試 験用	 地上袋出式信号 定位置停止 別名 TASC (Train Automatic Speed Control) 	1	
用	ATO (Automatic Train Operation)	帝都高速度交 通営団 日比谷線	 連続務導式信号,地点検出 式信号併用 出発,ノッチオフ,抑速ブレ ーキ定位匹停止の自動化 ATC 併用 	i 4	
長距離運転用	PTO (Program Train Operation)	国鉄新幹線 試験用	 プログラムテープによる完 全自動運転方式 定時運転可能 ATC 制御併用 	1	



図 3.13 PTO プログラム 指令装置

置より成る指令制御部で比較し、それぞれつぎのような制御を行 なっている.

(a) v_r>v の場合 力行運転(なおこの場合 ノッチ 選択を 行なっている.)

(b) v_r=v の場合 つり合運転または惰行運転

(c) v_r<v の場合 ヴレーキ 運転

すなわち,これらの制御選択や ノッチ 選択のひん度は、制御系 の安定度にもからんで P.T.O.の性能を左右することにもなるの で回路や常数の設定には十分な考慮が払われている.

まず制御選択は指令速度 v_r に v_r と v の差を加算した値を もって制御選択速度 (v_c) とし,力行 J_{vyf} の選択は $k \cdot v_c$ の値 をもって $1 \sim 25$ J_{vyf} の選択を可能としている. なお新幹線旅客 電車は高速で相当時分のつり合運転を行なうことから力行制御に は必要にして十分なづり合運転域を設けてある.



D. K. Barnes and A. P. Colaiaco. The Rectoformer (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 6, Nov, 1962, P. $152 \sim 154$)

木

在来の水銀整流器変電所は交流側開閉器,整流器用変圧器,陽 極 シ+ 断器,水銀整流器,同冷却装置,陰極直流 シ+ 断器などか ら一般に構成され,これらは屋外機器と整流器室内据付機器に区 分されて配置されている.本文は シリコン 整流器の特異性に基づ き シリコン 整流器 (Rectifier)と整流器用変圧器 (Transformer)と を一体として設計し,特性上ならびに据付上一段と進歩した方式 の Rectoformer を製作,使用したものの報告である.

シリコン整流素子の発達は整流器付属装置,保護装置の簡略化と いう形で表われてきているが筆者はさらに一歩進んで、シリコン整 流器用変圧器のタンク壁にエポキシレジンで油密、絶縁構造とした冷 却片を設け、それにシリコン整流素子を取り付けた構造のもので、 Rectoformerとよぶ新機種を作った・シリコン整流素子の損失熱は 変圧器の冷却油に伝達され、この熱は変圧器と一体となった単一 の冷却装置で冷却される.この冷却器は普通油一水冷却方式の再 冷却器で変圧器上部に取り付けられている.このRectoformerの 特長はシリコン整流器室および変圧器一シリコン間の接続 ヴスが省 略され、建設費が安い.また原則として屋外式となるため設備上 著しい改善である.シリコン整流器の冷却が変圧器の油冷却系と共 有になったため水系の故障がたとえ発生してもただちにシリコン の運転を休止させる必要がない.この点保護連動上有利である. シリコン整流器に付属しているパランサ、サージ吸収器などは油タンク の一部に取り付けられ、水密構造の箱に入れられている.



(伊丹製作所 加藤又彦訳)

レクトホーマ の外観

電力用,合金形トランジスタの進歩

T. C. NEW: Advances in alloyed silicon power transistors (Communication and Electronics, Sept, 1962, P. $279 \sim 284$)

本文は W 社製 WX-115 形, 大電力用 トランジスタ の設計, 製

作技術の進歩内容とその物理特性とを解説している. この種, 電 力用 トランジスタ の応用上必要なことは適切な利得と高電圧下で安 定に動作することである. この要望に合致するための設計,構造 内容が分解図示されている、トランジスタの電流定格は利得と過渡 熱伝達度に関連し、一定限度内では利得と トランジスタ の電流密度 との積はほぼ一定である. これは合金形 シリコントランジスタ にみら れる関係で、回路設計者に大いに参考となる一指針である。もし も電流定格を増加しようとするならば面積を大きくするのである が ベース 制御上, エミッタの面積を増したのみでは不十分である. 図は利得と電流との関係図である. WX-115 形, 合金形 トランジス タの エミッター・ベース 構造は P. I. N. 接合で エミッタ と ベース 間の間 ゲキ は重要である. 製作に使う シリコン 単結晶は P 形で, フローチン グジーン法で作ったもの、その合金工程は融点以下の温度で実施さ れる. ハードソルダ で溶着され, エミッタ は同心円状に配置された構 造である・開閉作用に使われる トランジスタ はその内部発生熱損失 が飽和電圧に関係し、損失を最小にする必要がある、これについ ては等価回路を図示して説明している.また オフ 状態の電圧定格 は ァバランシェ 破壊または パンチスル により制限されるがともに使用 材料と物理的設計に依存する. トランジスタ の過渡電流容量は ジャン クション 面積が P-N ダイオード と同一値でも ダイオード の約 1/2 であ る. コレクタ が高電圧域で パイアス されていれば コレクターベース 間抵 抗は減少し、さらに完全破壊にいたる傾向となる、こうしたこと は ダイオードではみられなかったことで使用上の制限である. なお ハードソルダ 構造は反復過負荷耐量を増す特長を持つようにさせて いると筆者は強調している.



高性能エレベータ制御方式

K. A. Oplinger, L. A. Bobula, A. O. Lund and W. M. Ostrander : High-Speed Elevator Control (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 6, Nov, 1962, P. 144~149)

W 社で高速度の歯車なし エレベータ の新しい速度制御方式が開発され,数個所の建物で実用試験の結果,その画期的高性能が実証された.

高性能 エレベータの制御系に基本的に要求される性能は,一つの 階からほかの階まで乗心地よく,最短の時間で走行することであ る.走行時間を短くするには最高速度を高くするだけでなく,加 速ならびに減速時の加速度を大きくする必要があるが,加速度を 大きくすると乗心地が悪くなる.

実験の結果,乗心地は加速度と加速度の時間的変化率で左右さ れるが,乗客による個人差が大きいので,乗心地よくかつ最短時 間で運転するための理想速度曲線は実際にいろいろの乗客に乗っ てもらって実験的に定める.いったん,理想速度曲線が決まると, エレベータ を負荷のいかんにかかわらず,極力この理想曲線にそっ て運転することが問題となる.このため,広い速度範囲にわたっ て感度がよく精度の高い速度検出器を持った,高増幅率でかつ過 渡応答のよい閉 ルーラ 制御系が採用された.着床に必要な低速度 は 0.6 m/min 程度で,定格速度が,たとえば 300 m/min であれ ば速度範囲は 500 対 1 となる.

この要求を満たすために図1に示すDMR 形速度調整器が開発 された.トルクアームの上端にC形の永久磁石があり、このエアギャ ップを銅の円板が回転する.円板はエレベータ巻上機の軸端からタ イミングベルトで駆動され、円板内にうず電流が流れて、エレベータの 速度にほぼ比例する回転力がトルクアームに加えられる.トルクアーム の下端に基準入力 コイル と帰還 コイル があり、ダイナミックスピーカ と 同一原理のトルクモータを構成している.

トルクアーム は水平な軸受で支持され2個の シルパスタット を駆動す る. 電動発電機の界磁が電源の中点と シルパスタット の中点に接続 され、トルクアーム の位置にしたがって正逆の全励磁を受ける. トル クアーム 系は重力 パランス が取られており、慣性 モーメント が小さい ので自由振動数は 6 ~ 程度で、数 グラム の入力で 300 W の出力



図1 DMR 形速度調整器原理図



を制御できる.

これ以上の出力がいる場合には回転増幅器が追加される.この 調整器は速度測定,基準速度入力との比較,増幅が同時に行なわれるので系の構成が単純となり,かつほとんど保守の必要がない.

加速基準発生装置は シリコン 制御整流素子を使用した一種の演 算増幅器で,基準電流の増加率を制御することにより エレベータの 加速度を制御する.

減速着床する際には、系は位置一速度制御系となる。位置速度 基準値を発生するために2種類の独特の装置が開発された。減速 開始点から停止する床前 250 mm までは機械的 セレクタ 内の可変 リアクトルにより連続した速度基準値が与えられる。床から250 mm 以内ではいっそう正確な基準値を与える必要があるので図2に示 す昇降路着床装置を設ける。かご上に $r r f_{+ v j}$ 変圧器が2組取 り付けられ、昇降路側に各階に1組の鉄板が配置され、この鉄板 は変圧器の $r r f_{+ v j}$ を通り一次、二次の結合を制御する。二次 の出力は別々に整流されたのち混合抵抗で結合されて図2(右)に 示すような連続的な位置速度基準を与える。

図3が エレベータ 制御系の ブロック 図で、定常速度誤差を小さく するために正帰還を利用している。安定化には発電機電圧を RC 回路で微分して トルクモータ の帰還 コイル に入れる。回転増幅器を 使用する場合には、さらにその ダンピングコイル から磁束変化率を帰 還する。

図4は速度 300 m/min の エレベータ で実測した速度曲線で,速 度基準の形が実験的に選ばれた結果,乗客は加減速がいつ始まっ たか気がつかないほど乗心地がよく,また電気的に完全に停止し たあとで機械的制動機がかかるから,いつ止まったかわからない と報告されている. (名古屋製作所 宮城 晃訳)



図 3 エレベータ 制御系 ブロック 図





愛媛県道前道後向け自励式水車発電機完成

愛媛県道前道後第1,2,3発電所向けとして製作中であった自 励式水車発電機のうち,第2発電所向けがこのほど完成し,工場 試験を無事終了した。

当社ではすでに自励式 3-ビン 発電機を多数製作納入し, 優秀 な成績で運転されているが, 水車発電機に自励式を採用したのは 今回がはじめてである.

発電機のおもな仕様はつぎのとおり

 $12,400 \,\mathrm{kVA}$ 11 kV 3ϕ 60 c s 720 rpm 0.9 pF

自励式発電機のおもな特長としては

(1) 励磁装置がすべて停止器より成っているため、保守が容易で信頼度が高い。

(2) 負荷急変時の過渡特性がすぐれている.

(3) 回転励磁機がないため,発電機上部の構造が簡単である. などがあげられる。

自励式発電機は複巻特性を有するため、実負荷をかけないと真 の特性は明確にわからないが、水車発電機のような大容量機にな ると、工場ではこのような負荷試験を行なうことは実際上困難で ある。したがって本機では最適複巻特性をうるよう等価負荷特性 試験を行ない変流器の特性を決定し、また過渡特性や安定度の確 認を行なうため、低力率負荷の投入および >+ 断を実施し、現地 における実負荷試験を模擬したが、いずれも好結果が得られ自励 式の特長が確認された。

工場において実施したおもな試験項目はつぎのとおりである.

- (1) 電圧確立および急減磁試験
- (2) 設定電圧調整試験
- (3) 周波数変動試験
- (4) 等価負荷漸変試驗
- (5) 低力率負荷投入およびシャ 断試験
- (6) 励磁装置温度上昇試験



愛知県道前道後納め 12,400 kVA 11 kV 3φ 60 c s 自励式水準発電機

(7) 雷 +--ジ 電圧移行試験

なお第2発電所向けと同一定格の第3発電所向けおよび第1発 電所向け 4,600 kVA 6.6 kV 3φ 60 c's 発電機もまもなく完成の 予定である.

■ 札幌気象台向け気象レーダ納入

名古屋気象台向けに引き続いて,札幌気象台向けの5,300 Mcs 帯の気象 レーダ を受注したが,昭和 38 年 3 月無事立会検査を完 了,札幌気象台に納入したが,気象予報の一翼として道内の災害 予防,民生,あるいは気象研究に寄与することが期待できる。 主要定格

1.	周波数	5,300 Mc s	
2.	送信出力	300 kW	
3.	採知距離	300 km	
4.	指示方式	A R, PPI RHI	

5. 雨量測定装置付き

■ 精密級アナログ計算機続々納入

かねてより製作中であった精密級 アナログ計算機は,昭和 38 年 3 月より,4 月にかけて続々完成納入の運びとなった。昨年度は 営業活動がみごと功を奏して空前の ブームになり, ラック 数にして 64 ラックの大量受注と,昨年度の業界における精密級 アナログ計算 機の市場を独占した形となった。

完成した アナログ 計算機はつぎのとおりである.

駒	入	先	ラック数	演算制御台数	用	途
八幡製銀	k(株)東	京研究所	10	60	汎用(主として	プロセス制御)
東北	地方到	設局	8	47	談 水	計 算
防	御天	: 学	2	20	オートバ (既設のも	イロット のの増設)
日本原	子力船和	F究協会	4	30	原子力患	日の研究
航空	技術及	F究所	2	30	人間工	学研究
姫 路	工業	大学	2	20	汎用(主とし	て自動制御)
前臣	本力	: 学	4	50	iA.	用
12 1	i m	大学	4	50	原子炉ショ	シュレータ
成	調力	、 学	4	30	讯	用

このほか現在製作中のものに、日本原子力発電(株)納入(9 5-9 ク), 三菱化成工業(株)納入(7 5-9-2),千代田化工建設(株)納入 (8 5-9-2) があり、また準精密級の岩手大学納入、EA-7303 形、 2 5-9-2 も同時に完成している。

これら アナログ 計算機の特長は、演算制御の自動化と各種の新 方式の非線形演算要素の内蔵があげられる.

演算制御の自動化は、従来かなりの程度まで採用されていたが さらにこれらの高度化がはかられた. すなわち自動点検 (Automatic Balance Check), 自動出力走査 (Automatic Output Scanning), 自動繰返し演算 (Automatic Repeat Operation), うつづ

(ニュース フラッシュ

ムチェック(スタチックおよび タイナミック)などの操作が可能で, アナロ う計算機の取り扱いの簡略化,機能の拡張がなされた.また新方 式のパネルとしては,自動繰返し演算機構と連動して,極値問題, 固有値問題を解くのに偉力を発揮する自動分圧比切換盤,画期的 な方式を採用し応答速度の速い サーボ 関数発生器盤, プロセス制御 の模擬に必要な逆 ヒステレシス 要素盤などがあげられる.



組立および調整中の アナログ 計算機群

わが国最初の ASDE (空港表面監視装置) 羽田・ 小牧空港へ納入

数年来,当社の技術陣をあげて独自に開発を続けて来た ASDE (空港表面監視装置)は昨冬,羽田空港において運輸省の評価試験 をうけ優秀な成績を納めた.その後羽田,小牧両空港向け2台を 航空局より受注し,新たに再設計のうえ製作を急いでいたが,最 近検査を完了しおのおのの空港に納入した.これはもちろんわが 国最初であり,世界各国においても実用されているのは数少ない 現状であるが,最新の空港には必須といわれる ASDE が航空保 安に活躍する日もまぢかい.

主要定格

周波数	24,500 Mc
送信出力	30 Me
パルス 幅	$0.02 \ \mu s$
最大探知距離	3マイル
距離分解能	3 m
	周波数 送信出力 パルス 幅 最大探知距離 距離分解能



図 1 ASDE アンテナ



図 2 ASDE 送受信装置

プログラムによる列車自動運転装置(P.T.0.) 完成!

列車の運転においては,絶対的な安全性と正確な運転時そして 快的な乗心地を確保することが大切である.

とくに,激増する輸送量に対し列車をますます高性能,高速化 して運転時分を短縮し,合理的に輸送力を向上するためには従来 のような運転手の熟練と注意力によって行なう運転は保安上から も完璧なものとは言いがたくなってきた.

このような見地から、安全第一に、しかも輸送力を増強するた めには新しい方法、すなわち自動運転方式が新たな脚光を浴びて くるが、今回、当社が完成した P.T.O. 装置 (Program Train Operating Apparatus) は列車の出発から停車までを完全に自動 化したもので、去る2月末国鉄技術研究所の ループ 線で、さらに 3月下旬新幹線 モデル 線区で夢の超特急を用い現車試験を行なっ た結果驚異的な好成績を納め、わが国、最初の本格的な自動運転 を確立することができた.

この P.T.O. 装置は、電子工学と自動制御技術を巧妙に応用した装置で、おもな特長はつぎのとおりである.



(1) 完全な自動運転を行なうことができる.

われわれの夢であった無人運転も 実現しうることになった.

(2) 安全に定時運転ができる.

- (3) 定位置停車が確実に行なわれる.
- (4) 装置は, 無接点で, コンパクト である.

装置の概要

P.T.O. 装置は,所定の区間を与 えられた運転 ダイヤ どおりに自動的 に走行することを主目的とするため 原理的には運転 ダイヤ で示された距 離(s),速度(v),時間(t)をパタ

図1P.T.O. うログラム指令装置 -ン とし,列車で検出した s, v, t と



図 2 P.T.O. 制御板

比較しながら、常に両者が一致するよう自動的に制御する方式で 距離一速度制御部、距離一時間制御部および速度制御部より成り、 これらはすべてトランジスタ、サイパックを主体とした無接点要素で構成し、コンパクト に車内に装備してある.

■ MB 形速度制御ブレーキの完成

20-2 などの巻上装置に使用される巻線形三相誘導電動機の, 巻下速度を,低速運転可能ならしめる速度制御用 ^j0-+ として, MB 形押上機 ^j0-+ の ^j1-^j が完成した.

MB j_{U-+} は、押上機と j_{U-+} 機構からなり、押上機は、さきに開発された NL 形 λ -パリフタ を使用している. 押上機の操作 電動機は、主電動機の二次側に、特殊変圧器を介して接続し、主 電動機の回転速度に逆比例した電圧、周波数を受けることにより、 MB j_{U-+} は、ある一定の制動力を発生し、主電動機の低速運転 を行なうものである. 特長は

- (1) 巻下時, 簡単に 20~50% の中間速度が得られる.
- (2) 無電圧時の荷重の保持は、MB jレーキ と電磁 jレーキ と を併用しているので他の制御方式に比較して、安全性が高い.
- (3) 他の速度制御方式に比較して、価格が安価である.



MB 形速度制御 ブレーキ

標準仕様

形式記号	摘 用	電 動 機
MB-7.5	KE	7.5 kW 8 P
MB-10	ΚE	10 kW 8 P
MB-15	KE	15 kW 8 P
MB-20	ΚE	20 kW 8 P
MB-30	ΚE	30 kW 10 P
MB-40	ΚE	40 kW 10 P
MB-50	KE	50 kW 10 P
MB-60	ΚE	60 kW 10 P

鋼板フレーム製 SCL-R 形コンデンサ起動コンデンサモートルおよび SCF-R 形全閉外扇形コンデンサ起動形単相モートルの生産を開始

当社では鋼板 フレームモートルシリーズ として新しく SCL-R 形 コンデ ンサ 起動 コンデンサモートルおよび SCF-R 形全閉外扇形 コンデンサ 起 動形単相 モートル の生産を開始した.

SCL-R, SCF-R はいずれも ヮヮ 番号は A910 で 100/200 V 共 用 モートル であり,電圧切換および回転方向切換は端子箱内に設 けた端子板で行なう.

SCL-R は従来の鋳物 フレーム 製 モートル を鋼板 フレーム 化し,同 一取付寸法で特性の向上,および小形軽量化をはかったものであ る.

SCF-R はさきに開発した SC-R 防滴形鋼板 フレームモートル の 全閉外扇形である.



東海道新幹線電車用電機品大量に受注

東京大阪間を3時間で結ぶ東海道新幹線は,昭和 39 年度開通 を目指して,着々工事が進められているが,このほど量産電車用 電機品の受注が決定した.

量産車は第一次分として180 両製作されるが、昨秋国際入札が 行なわれ、国内の車両・電機 メーカは日本連合を結成して応札した 結果、外国よりの応札がなく、日本連合に落札する運びとなった. このほど各メーカ間の製作分担が一部機器を除いて決定をみたが 当社は主電動機と WN 式可とう歯車継手、主変圧器、タッラ切換 器、主平滑 リァクトル、空気調和装置をはじめ、各種制御機器、配 電盤、サービス 用機器および ブレーキ 装置を大量に受注した.

新幹線用電車は、すでに試作車 6 両が昨春完成し、モデル 線区 において連日試験が実施されており、本年 4 月には 256 km/h と いう電車の世界最高記録を打ちたてたことは記憶に新しいところ であるが量産車用機器は、試作車の設計を基礎とし、その製作経

験と、モデル線区において得られた貴重なデータにより種々の改良 を加えて設計されている。

主変圧器は当社独得の外鉄形 フォームフィット で,合理的な設計に より, 試作車用に比べ大幅に軽量化された.主電動機は試作設計 を若干修正したもので、50% 脈流率用として積層 ヨークを用い, 温度上昇・整流ともきわめて満足すべきものである.主平滑 リア クトルは試作車と異なり オーブンコア 式を採用し,これも大幅に軽量 化されている.

これらの機器はすでに細部設計もほぼ終わって製作段階に入っ ており、年内に完成する予定である.

おもな機器の定格はつぎのとおりである.

- 主変圧器 外鉄形 フォームフィット 送油風冷式 一次容量:1,550 kVA,一次電圧:25 kV 周波数:60 c/s,二次電圧:2,261 V
- 主電動機 脈流直巻補極付,4 極,開放自己通風形,F 種絶 縁,歯車継手式動力伝達方式 連続定格:185 kW 415 V 490 A 2,150 rpm 脈流率:50%,界磁 10% 永久分路
- 主平滑 リアクトル オープンヨア 形 自冷式 F 種絶縁 6.5 mH (490 A) 345 A 連続
- タッラ 切換器 電動 カム 輸式, 乾式 ステッラ 数: 25, 回路定格電圧: 2,261 V, 定格負荷電流: 663 A

■ 国鉄北陸線増備用 EF70 形交流機関車受注

EF70 形機関車はいわゆる金沢電化のために投入された客貨両 用機関車で全 18 両のうち当社が 7 両受注し,昭和 37 年 1 月よ り3月までの間に納入し,現在就役中であり,今回その増備用と して3 両受注したが,その要目とおもな電気品はつぎのとおりで ある.

要目

用途	主として貨物用(客車用暖房電源付き)
電気方式	単相交流 20 kV 60 c/s
機関車方式	シリコン 整流器式
重量, 軸配置	96t (運転整備), B-B-B
形 式	箱形両運転室
全 長	16,800 mm (連結器面間)
全幅	2,805 mm
固定軸距離	2,800 mm
全高	4,240 mm (パンタ折りたたみ)
動輪径	1,120 mm
1 時間定格出力	(全界磁) 2,360 kW
1 時間定格引張:	力(全界磁) 19,600 kg
1 時間定格速度	(全界磁) 43.1 km/h
最高許容速度	105 km/h
12 1 di m m 1	the I start the second

けん引荷瓜	コウ配	ツリ合速度	主電動機界磁
货車 1,100 t	12%	45.5 km/h	全界磁
客車 600 t	11.5%	65.5 km/h	70% 界磁

主要電気品	MT52 形 4 極 丸形
主電動機	1 時間 475 kW 900 V 570 A
	強制通風 最大弱め 40% 界磁,F 種絶縁
駆動装置	ツリ掛式 1 段減速 バネ 入歯車使用
	モジュール 12 歯車比 70/17=4.12
シリコン 整流器	強制通風 単相 ブリッジ 結線
	連続 750 V 3,240 A 2,430 kW
	素子構成 5S×12P×4A (240 個)
主変圧器	外鉄形 フォームフィット式 送油風冷式
	鉱油使用
	電圧 20 kV/1,080~65 V/476 V/1,500 V
	容量 2,580 kVA 2,450 kVA 130 kVA
	420 kV A

高圧 タッラ 切換器 円筒形油入選択開閉器付電動機操作 13,000~780 V, 25 タッラ

三菱鉱業株式会社大夕張砿業所納め 12t 鉱山用 電気機関車受注

三菱鉱業大夕張砿業所納めの 12t 鉱山用電気機関車 3 両受注 した. この機関車は出炭合理化の線にそった大量運搬用電気機関

- 車で,主要諸元はつぎのとおりである.おもな特長としては,
- (1) 車体を təpキャラタイラ として前方の見通しをよくし、運転性能をよくしたこと。
- (2) パンタグラフ の上 ワク は木製としたこと.
- (3) 主電動機は丸形 ヨーク で電機子 コイル は普通の波形とし 従来の インポリュートコイル をやめて全体として小形軽量とし たこと、
- (4) 前照灯は セミシールドビーム 形(減光装置付) としたこと.
- (5) ブレーキシュー は両抱きとしたこと.
- (6) 搬送無線機を搭載したこと。

たどである. 要目 DC 500 V 雷気方式 80 kW 定格出力 15.5 km/h 定格速度 定格かり引力 1,800 kg 31 km/h 最高安全速度 制御方式 手動直接制御 ブレーキ 方式 SM-3 空気 ブレーキ, 電気 ブレーキ (非常用) お よび手動 ブレーキ 車体長 5,950 mm 車体幅 1,220 mm 車体高さ 1,700 mm 固定軸距離 2,200 mm 840 mm 車輪径 6 . 27 歯車比 連結装置 緩衝バネ付きピンリンク式



磁気增幅器付継電器

この考案は磁気増幅器で入力を増幅して継電器を動作させる 磁気増幅器付継電器において、復帰時間を大幅に短縮させるよ うにしたものである。

すなわち、図示のように磁気増幅器(1)、に制御巻線(2)、パ イアス巻線(3)、負荷巻線(4)のほかに負帰還巻線(5)を設け、 磁気増幅器(2)の出力によって、継電器(8)を付勢し、この継 電器の付勢時に補助接点(9)を開放して、分圧用抵抗(10)およ び抵抗(11)を介して負帰還巻線(5)に出力の一部を負帰還する ように構成した.ここで(6)は整流器、(7)は交流電源である。 したがって継電器を動作させるときは、入力を磁気増幅器で 増幅して大きい出力で継電器を付勢して、継電器の動作時間を 早める.一方継電器が動作すると上述したように磁気増幅器に は負帰還がかかるので、磁気増幅器の出力が低下し、継電器の 復帰値より少し大きい値の出力を供給する(あらかじめこのよ 考案者 北 岡 隆·喜 多 稔

うに設定しておく)ことになり、入力がなくなって継電器が復帰する場合にも、動作時と同様短い時間で復帰することになる. なお、上記抵抗(11)としてたとえば所定値以上の電圧に対して、急激に電流が大きくなるような非直線抵抗素子を用いれば、 復帰時間の短縮の効果が大きくなる.

(実用新案登録第 565836 号)(大岩記)



速動形真空バルブ

一般に バン・デ・グラフ 形粒子加速器は,その粒子射出部の最 下面を密閉する アルミハク が事故を起こすと,内部の真空状態が 破壊されて真空系が復元不能ないしは復元困難な事態に陥り, その運転に重大な支障をきたすことになる.

このため従来においては、アルミハクと真空系との間に弁体を 配置し、この弁体を外部の電磁装置により連動機構を介して作 動させるようにした弁装置を用いているが、とくにその連動機 構に機械的な欠陥があったため弁体の作動に大きな力を要し、 また連動機構を密封する ベローズ が円滑に運動しないなど具合 が悪い点が多かった.

この考案はこのような弁装置における連動機構を改良したも のであって、図に示すように弁体(1)は支持腕(2)を介して回 転軸(3)に保持され、その開放状態では弁体のトメ金(4)が引 はずし かっ(5)によって ロック されているが、真空度がある限 界値まで低下すると電磁装置(6)の作動により指動板(7)が左 方に移動し、圧縮パネ(8)により作動棒(9)が指動板(7)に設 けられた通し孔(10)を貫通して上方に押し上げられるため、リ ック(11)を介して引はずし かっ(5)が右方に引かれて、その先 端部の ローラ(12)と弁体のトメ金(4)との掛合状態がとかれ、 この結果弁体(1)は回転軸(3)に装着されたつる巻パネ(13)に より急速に反時計方向に回動され、開口(14)を閉そくして、粒 子加速器の真空系を保護するように構成されている。

またこの考案によれば、とくに作動棒(9)が上下方向の一方

考案者 高部俟夫·岩佐辰美

向のみに移動するためその下端部に装着された気密保持用のベ ローズ (15) はそれに従動して円滑に伸縮し,かつ弁体 (1)のトメ 金 (4) と掛合する引はずし カン (5)の先端部に ローラ (12) が設 けられているためその引はずし動作はかなり弱い力でも十分行 なわれるので,円滑かつ敏速に弁体 (1) を作動させることがで きる. (実用新案登録第 562047 号)(山川記)



三菱電機技報・Vol. 37・No. 6・1963

年月日	寄稿先	題名	執 筆 者	所属場所
37-11- 5	エレクトロニクスタイジェスト	三菱航空機用短波無線電話裝置	平岡敏也	無線機
37-11- 5	制御工学 ハンドブック	列車自動運転制御方式	石田哲爾	無線機
37-11- 8	オートメーション	全 トランジスタ 式工業用 アナログテレメータ	室田 慎,今泉 選	無線機
37-11-22	化学工業	MELCOM EA-9402 形三菱自動最適化裝置	小泉寿男	無線機
37-11-24	電気公論	最近の遠方監視制御装置	大木欣爾	神戸
37-11-25	制御工学 ハンドラック	6 流量 テレコントロール	室田慎	無線機
37-11-28	計測制御学会 自動制御会 シンポジウム	最適化制御の jota への応用例について	柴田浩二	無線機
37-11-30	エレクトロニクスダイジェスト	MELCOM EA-9402 形三菱自動最適化制御	小泉寿男	無線機
37-11-30	OHM	最適化制御の化学 Juta への応用	大鳥羽幸太郎·柴谷浩二 小泉寿男	無線機
37-12- 1	OHM	最適化制御の化学うロセスへの応用	大鳥羽幸太郎·柴谷浩二 小泉寿男	無線機
37-12- 1	エレクトロニクスダイジェスト	三菱自動最適化装置 オプコシ	大鳥羽幸太郎·小泉寿男	無線機
37-12- 4	電気学会誌時報	製鉄工業界における騒音制御	加藤又彦	伊丹
37-12-4	電気学会誌時報	MARTIGNY アルミニウム 工場の シリコン 整流装置	加藤又彦	伊 丹
37-12-4	電気学会誌時報	Lukens Steel Co. へ納入の水銀整流器 Ellの近況	加藤又彦	伊丹
37-12- 5	電気計算	電子機器自動組立の話	岡村 宗和	無線機
37-12- 5	エレクトロニクスダイジェスト	三菱 マイクロテレビ 6P-125 形	糸賀正己	無線機
37-12-7	産業機械	密閉式 ターボ 冷凍機	江本浩德	長 崎
37-12-7	産業機械	大形焼結 ブロワ	宮内貞夫	長崎
37-12- 8	工業材料	新しい積層品の種類と特性	穴山光夫	研究Pr
37-12-11	電波新聞	燃料電池	泰卓也·村山邦彦	研究 所
37-12-19	電気学会雜誌	電機製造会社における電力系統問題の研究について	馬場準一	研究 Pr
37-12-27	電気学会雑誌	磁気変調器特性と磁心の制御磁化特性の関係	山崎英蔵	研究所
37-12-28	電気学会誌時報	最新形 マグネトロン 用半導体 モジュレータ	加藤又彦	伊丹
37-12-28	電気学会誌時報	電力用,合金形 トランジスタ の進歩	加藤又彦	伊丹
37-12-29	エレクトロニクスダイジェスト	信頼性のある電子機器の設計はいかにすべきか	馬 場 文 天·市 田 斎 嶋村和也	新 信
00-1-7	エレクトロニクスダイジェスト	ロジックトレーナ	中島 碧	就 倉
20-1-7	電気通信字会雜誌	低雑音 アンテナ	喜連川 隆	研究 JT
28 1 10	材料試験	網目構造をもつ局分子における分子頭でクメントの易動性分布	宋山 恭一	研究所
30- 1-10	日本労働新聞社	最近の工場照明の実際(上)(下)	小班富次雄	4 位
38-1-10	电気評論	超高圧電刀研究所設備 シーケンスコントローラ について	小島一男	漱 眉
30- 1-12	日刊 フラスチック 材料 OUM	上植种核材料	甲野雅行	TT TT
38- 1-15	のHM 電気器人共能力	具生スイッチ	伊藤利加・入君戦 軒	01 96 J91
88- 1-16	电风子会誌時報	空気光テラ機器の網線順力次定の統計的力法	榮 尿 <u>広</u>	(H)]
38-1-16	电风子会誌時報	半導体整流の恒流益	加速双応	17 7 J
38- 1-16	电太子会能時報	レクトホーマ	加藤又彦	17 / T
38- 1-17	軍気学会認時報工作機械と技術	電解加工機の活用	而 展 久 厚 前 田 祐 雄 · 斉 藤 長 男 蓋 井 伷 治	研究所
38-1-23	日本ソーダ工業会	電解用電源としての単極直流発電機	加藤又彦	伊丹
38- 1-25	和光社	螢光灯 スタンドの使い方	小堀富次雄	本 社
38- 1-26	電力	工場試験中の 320,000 kVA 3,600 rpm 内部冷却 タービン 発電機	志岐守哉	長崎
38- 1-31	日本電気協会	モートルの保守と点検	小野勝治	名古屋
38- 1-31	照明学会	近代ビルの特殊設備	小堀富次雄	本社
38- 1-31	照明学会	三菱電機 ビル 完成	小堀富次雄	本 社
38- 1-31	照明学会	三菱電機 スカイリング 開所	小堀富次雄	本 社
38- 1-31	照明学会	照明基準 (JIS) 船舶関係解説案	小堀富次雄	本 社
38- 2- 6	化学機械と装置	自動最適化装置 オプコン	大鳥羽幸太郎・柴谷浩二 小 泉 寿 男	無線機
38- 2-16	建築設備	超高層 ビルに於ける昇降機設備,基本計画の立て方,考え方	宮 城 晃	名古屋
38- 2-25	電気通信学会	大容量 コアマトリックス	水上益良	大 船
38- 2-28	超音波探傷法(改訂版)	超音波探傷法(超音波減衰測定裝置)	松元雄蔵	無線機
38- 2-28	自動車技術会	スミス 式自動変速機の特性に関する実験(第1報)	白井二実・車戸秀男 平野重明	姫 路

=

次号予定	本社常	営業所研究所製作所工場所在地 東京都千代田区丸の内2丁目12番地
三菱電機技報 Vol. 37 No. 7	4 <u>f</u>	(三菱電機ビル内) (電)東京(212)大代表 6111 東京 21 日 日 2 天 日 日 2 天 世
{~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	東京商品営業所 大阪焼業所	(三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111 本版市北区営島北町 8 悪地 1 (雪) 士阪 (312) 大代表 1011
(研究特集)	大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電)大阪(312)大代表1231
○当社の研究の現況 ○丸マジ 形 ベータ 線 スペクトロメータ の建設	名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り2の4(電)本局(23)大代表6231 名 古 屋 西 由 村 区 広 井 町 3 丁 目 88 乗 神
○高圧整流器等価試験装置	〃 商品部	(大名古屋ビル内)(電)名古屋(56)大代表(5311)
○不平等電界における大気の紀縁破壊特性 ○複姿態給電 アンテナビーム 変位方式	衙 岡 営 業 所	福岡市大神町 58 番地 (大神ビル内) (電) 福岡 (75) 代表 6231
○導波管形 サーキュレータ の動作機構	札幌當業所	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
○調杯の高温波れ強さ ◎オメカトロコ 質量分析計	仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電) 仙台 (2) 代表 6101
○UHF 大電力進行波管	當山営業所	富山市総曲輪 490 の3(明治生命館内)(電)富山(3)代表3151
○面欠連続蒸着漆膜の蒸発源組成と蒸着膜組成	広島営業所	広島市八丁畑63番地(昭和ビル内)(電)広島(2)4411~8
○パーマロイの特性に及ぼす ヒズミの影響およびその除去	高松営業所	(電) 高 松 (2) 代 表 5021-4416 (直通)
うていマニウムのリポン状結晶	北九州出張所 静岡出張所	北九州市小倉区京町10丁目281番地(電)小官(52)8234 静岡市七間町9番地10(電)静岡(53)代表9186
○固体試料分析用二重収束質量分析器による定量分析の研究 ○器施形無需気へ 組	岡山出張所	岡山市上石井174番地(岡山会館4階)
○ホウイトメタルライニングの密着強度	長崎出張所	長崎市江戸町30 (電)(2)0293
○耐熱 コイルウニス に対する二, 三の考察 ○万油暖屋器	金沢山張所	金沢市田丸町55番地1 (電) 金沢 (3) 6213
◎本工塗装用 ウレタン 差料の研究	研 究 所 商品研究所	尼崎市南清水字中野 80 番地(電)大阪(481)大代表 8021 鎌 倉 市 大 船 782 番 地(電) 大 船(6)代表 3131
	神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電)兵庫(67)代表 5041
and the second	伊丹製作所	(電)大阪(481)8021伊丹局代表2481
三菱電機技報編集委員会	長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電)長崎(3)代表 3101 21日番曲(雪)名古屋(73)代表1531
委員長小倉弘毅	福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)福岡(88)代表0431
副委員長 宗 村 平	福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山(2)代表2800
化安良 奶 石 柄 火 安藤 安 二	显路 製作所 胡 <i>语</i> 製作所	相模原市小山字久保224 の224
》 大野寛孝	静岡劇作所	(電)相模原(7)代表3231・3241
◎ 小堀富次郎	中津川製作所	中津川市駒場928番地2 (電)中津川2121~8
/ 篠崎善助	和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3)代表1275
" 中野光 雄	和山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山(2) 1220~1223
» 馬場文夫	群馬製作所	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
" 山田栄一	無線機製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
委員岩原二郎	北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主 ケ池1番地(電)伊丹大代表 5131 鎌倉市ト町屋 325番 地(電)大船(6)大代表 4141
· 樫本俊弥	京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小宇図所1
〃 堀 真 幸 〃 向 井 徳 樹	相模製作所	(電) 高 械 (5) 1007 冲 足 401 東京都世田谷区池尻町437(電)東京(414)代表8111
(以上 50 音順)	世 田 谷 上 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	★ 古 報 世 田 谷 区 池 居 町 305 (雷) 東京 (421) 4783
	東京工場	2 志民市軍区矢田町18丁目1番地
昭和38年6月22日印刷 昭和38年6月25日発行 「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)	翁古屋工場 札幌修理工場	(電) 名 古 屋 (73) (代 表 1531 札幌市北二条東12丁目 98 番地(電) 札幌(2) 3976
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 T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観町3の1 株式会社オーム社書店 縦話 (291) 0915・0916 振登東京 20018		

122 (854)



姫路第二発電所向け内部冷却タービン発電機完成

去る2月,長崎製作所において完成出荷した関西電力姫路第二火力発電所向け 320 MVA 内部 冷却 タービッ 発電機第1号機は、このほど現地据付を終わり、無事通気を行なった。 同機の特長および仕様はつぎのとおり、

■特 長

- 1. 単機としては国産最大容量である.
- 2. 端子電圧 24 kV は タービン 発電機として最高電圧であり、コロナ 防止のため、スロット 出口部分の コイル 主絶縁の間に アルミハク を階段的に巻き込んである.
- 3. 励磁電圧 500 V も国内ではじめてである. (従来は 375 V まで)
- 回転子直径は 208 MVA 機と同一で、コイル 押え リング はまったく同一である. しかし ブロワの直径と段数は増している.
- 5. 複流形密封油処理装置は 208 MVA 機と同一である.



■ 仕 様	
出 力	320 MVA, 272 MW
力 率	85%
ガス圧	3 kg/cm^2
電 圧	24 kV
電 流	7,698 A
回転数	3,600 rpm
周波数	60 c/s
励磁電圧	500 V
励磁機容量	1,300 kW
	Stra

船積みされる固定子

社会と企業を結ぶPR施設 三菱電機スカイリング