

昭和 37 年 9 月 15 日第三種郵便物認可 三菱電機技報 36 卷 11 号 (通卷 379 号) 昭和 37 年 11 月 25 日発行 (毎月 1 回 25 日発行)

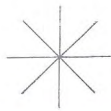
MITSUBISHI DENKI GIHO

報技機電三

Vol. 36 November 1962

国鉄新幹線試作交流電車 A 編成



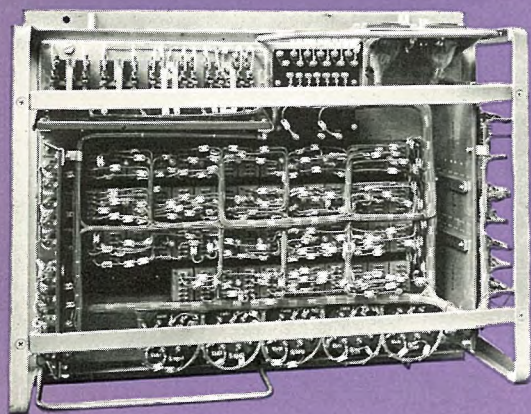


列車自動運転装置 (ATO)

この自動運転装置は地下鉄のような複雑な線路条件で、しかも平均駅間距離の短い電車用として開発されたものである。この装置は高性能はもちろんのこと、高信頼度を有するよう完全無接点化されている。この装置によれば、一度起動信号を与えさえすればあとは完全自動運転により次の駅の定位置に停止するようになっているが、定位置停止精度の高いことと、乗心地がよいように種々の配慮がなされている点がとくにすぐれている。なお定位置停止制御は車上パターン方式になっているが、この方式によれば停止位置を編成両数によって変えることも容易にでき、また地上設備が非常に簡単であり、保安信号と連動させることもできるなど多くの特長を有している。

論理継電装置

作 用 起動・ノッチオフ選択、抑速制御、
減速度制御による定位置停止制御、
ATC 連動
使 用 部 品 無接点リレー サイパック、磁気増幅器
使用温度範囲 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$
電 源 AC 200 V 120 c/s



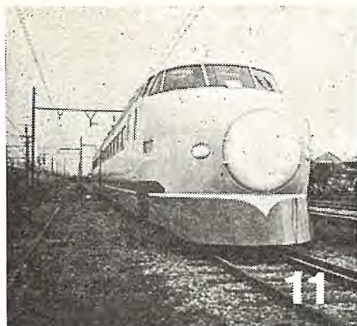
列車自動運転装置 (ATO) 用論理継電装置

指令装置

構 成 速度検出器、距離検出器、パターン発生器、比較器
方 式 全静止式 (トランジスタ 使用)
検 出 速 度 $3 \text{ km/h} \sim 80 \text{ km/h}$
検 出 距 離 250 m
車輪径補正 $860 \text{ mm} \sim 790 \text{ mm}$ 間 10 段 ($\pm 0.5\%$)
使用温度範囲 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$
電 源 AC 200 V 120 c/s



列車自動運転装置 (ATO) 用指令装置



表紙説明

東京・大阪間を3時間で結ぶ夢の超特急「国鉄新幹線交流電車」の量産に先立ち、去る5月完成した試作電車の勇姿である。

この車は現在、モデル線区において、時速250 km/h にいどむ速度向上試験など量産設計のための各種性能試験が好成績裏に進められている。

また、主変圧器・シリコン整流器・主電動機・空調装置を始め注目を浴びているATC自動列車制御装置など、当社製の電機品が多数搭載されている。

三菱電機技報

昭和37年 第36巻 第11号 (国鉄新幹線試作車用電機品特筆)
(圧延用電機品特筆)

目次

整流器式電気車における電圧変動率曲線	阿部久康・坂東修三・山田郁夫・河村寿三	2
国鉄新幹線試作車用変圧器	荻野 脩・坂田邦寿・沖木邦夫	8
国鉄新幹線試作車用シリコン整流器	横島洋志	14
国鉄新幹線試作車用自動運転装置	小原太郎・北岡 隆	20
国鉄新幹線試作車用低圧タップ切換器	北岡 隆・白庄司 昭	27
国鉄新幹線試作車用主電動機	浅越泰男・河村寿三	33
国鉄新幹線試作車用電機品の組合せ試験	相田茂夫・八木重一	39
~~~~~		
八幡製鉄戸畑製造所納め6スタンド冷間連続圧延機電機品	伊藤嗣郎・茶谷三郎	43
最近のスキップミル電機品	茶谷三郎・久保田伸夫	49
線材ミル電機品	茶谷三郎・久保田伸夫・香川重光・細野 勇・城塚慎一	53
八幡製鉄戸畑製造所納めインゴット・パギー用電機品	久保田伸夫	60
スーパーラインD直流機	小山建次・茶谷三郎	64
~~~~~		
乗用車用油圧エレベータ	瀬原田三郎	69
運転指令装置	室田 慎	72
4,000 Mc 垂直水平偏波共用空中線	東野義夫・香川 哲・高松泰男	81
大日電線株式会社納め500 kV 試験用変圧器	印東義雄・森本治夫・菅 寿郎	87
真空スイッチ	伊藤利朗・大倉敏幹	91
有機シンチレータを用いた速中性子検出器	田中 修・池田 洋	99
放電におけるSF ₆ ガスの化学的特性	潮 恒郎・宮本紀男・鎌谷章博	104
《技術解説》		
高周波誘導加熱装置(II)—真空管式高周波発生装置—	馬場文夫・東田孝彦	112
電子機器の信頼度(I)	市田 嵩	120
《文献抄訳》		
薄板半導体結晶の製作・航空機用静止周波数コンパータ・五つの避雷器電流・多融通式プレートミル		125
《ニュース・フラッシュ》		
新幹線列車無線電話装置モデル線区で実用試験に入る・東洋最大の別府鶴見岳ロープウェイ向け電機品完成・X線厚み計・電気ルミネセンス板による「未来の照明」ミニチュアセットの展示・高効率緑白色ケイ光ランプの完成・東京工業大学核分裂実験装置完成・トランジスタ化5W移動用400 Mc/FM無線機完成納入・銀行用選択呼出装置完成納入・サーボ弁1形完成		126
《特許と新案》		
磁気選別機・シリコニウム合金		131
《最近における社外寄稿一覧》		32
《最近における社外講演一覧》		59
《最近登録された実用新案》		86
《表紙》		
2. 列車自動運転装置(ATO)		
3. 帝都高速度交通営団日比谷線用CB-54C-3形主制御器		
三菱新形電気連結器		
4. 三菱暖房器		

整流器式電気車における電圧変動率曲線

阿部久康*・坂東修三**・山田郁夫**
河村寿三***

Voltage Regulation Curves of A Rectifier in AC Electric Cars

Research Laboratory
Itami Works

Hisayasu ABE・Shūzo BANDŌ・Ikuo YAMADA
Toshimi KAWAMURA

The analysis of rectifier circuits has been made heretofore on the assumption that DC output current is perfectly smooth. In rectifier type AC electric cars, however, the size of smoothing reactors undergoes restriction by mounting spaces, and also there needs the prevention of telephone interference on the AC side, which brings about DC current contains fairly large ripples in practice. The effect of ripple wave appears at the overlap angle, making the voltage regulation derived from the calculation in smooth current inapplicable. This article describes voltage regulation in case of ripple existing on DC side; also analysis of overlap angles and ripple factors and calculated results with digital computers under the same condition.

1. ま え が き

東海道新幹線には単相ブリッジ結線のシリコン整流器が使用される。このような交流電気車では、通信誘導障害防止の見地から、整流器の出力電流は平滑な直流より脈動を含む直流の方が有利であること⁽¹⁾、また電車の積載スペースの点で、平滑用リアクトルの大きさに制限を受けることから、実際にはかなり大きい脈動率になるように設計されている。一方、電気車の加速性能および乗心地の点から、変圧器のタップ段数とタップ間電圧の適正值を決定しなければならないが、それにはまず整流器の電圧変動率曲線の算定方法を確定し、実際の運転状態における変動率を十分な精度で予測しうることが必要である。負荷電流の平滑な場合の電圧降下曲線、重なり角などの計算式はすでに導かれ、実験結果と完全に一致するが、負荷電流が脈動する電車負荷では波形の影響などで平滑な計算式をそのまま使用することはできない。このような電流脈動時の電圧変動率曲線、重なり角などの解析は、現実の問題として最近多大の関心もたれており、ソ連⁽²⁾およびわが国⁽³⁻⁷⁾でもかなり多くの文献が発表されている。当社では先に交流側

誘導障害問題に関して模擬回路により広範囲な研究を行なったが、今回その装置を使用して実際の電気車回路を模擬し、種々な回路条件において電圧変動率、重なり角などを測定した。また、これと並行して回路の理論的解析を行ない脈動電流を含む単相ブリッジ整流回路について、電圧変動率曲線、重なり角、および脈動率の計算図表を作製し、模擬回路による実験結果と比較して十分な精度を有することを確認した。

2. 整流器模擬回路

2.1 模擬回路

回路解析については3章で述べるが、まず回路現象の概要をは

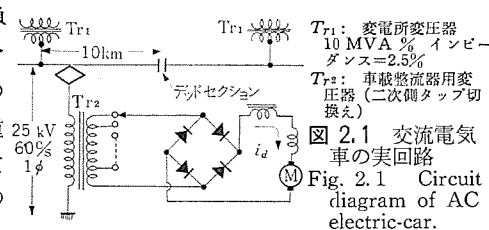


図 2.1 交流電気車の実回路
Fig. 2.1 Circuit diagram of AC electric-car.

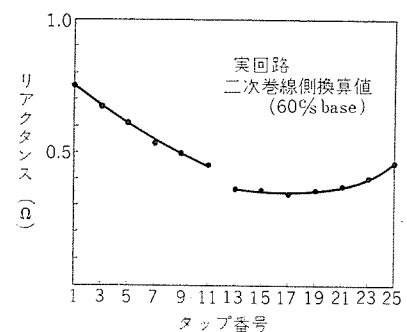


図 2.2 変圧器の漏れリアクタンス
Fig. 2.2 Leakage reactance of rectifier transformer.

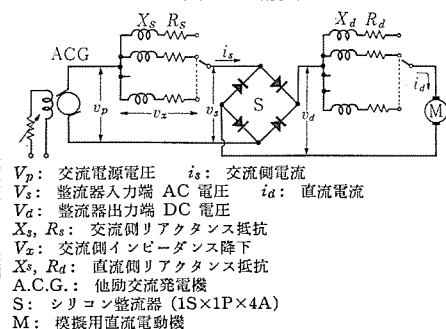


図 2.5 模擬回路
Fig. 2.5 Model circuit of AC electric-car.

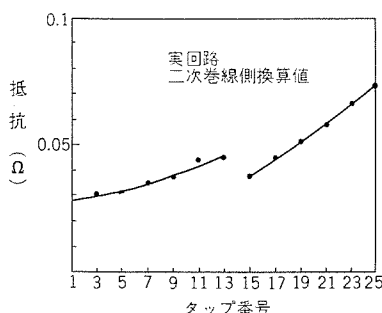


図 2.3 変圧器の抵抗
Fig. 2.3 Resistance of rectifier transformer.

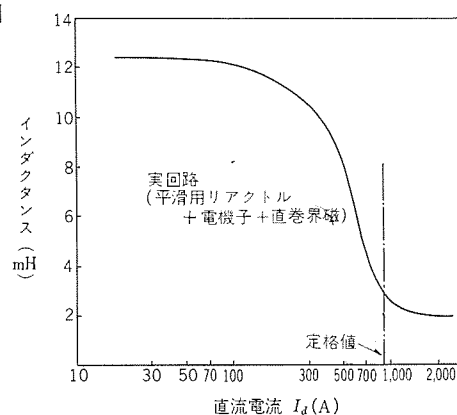


図 2.4 直流回路の総合インダクタンス
Fig. 2.4 Total inductance of DC circuit.

あくし、兼ねて解析結果と対比させるため、実回路を忠実に模擬したモデル回路を構成し、電気車の各ノッチにおける電圧変動率曲線および各部波形の関係について詳細な実験を行なった。

図 2.1 は電気車回路の構成、図 2.2 および図 2.3 は車載変圧器の漏れリアクタンスおよび抵抗（直流側換算値）、図 2.4 は直流

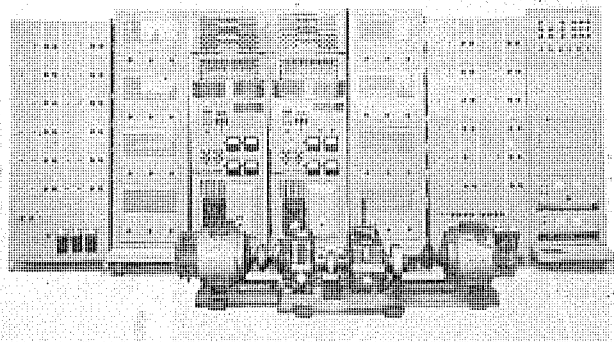


図 2.6 模擬回路の概観
Fig. 2.6 View of model circuit.

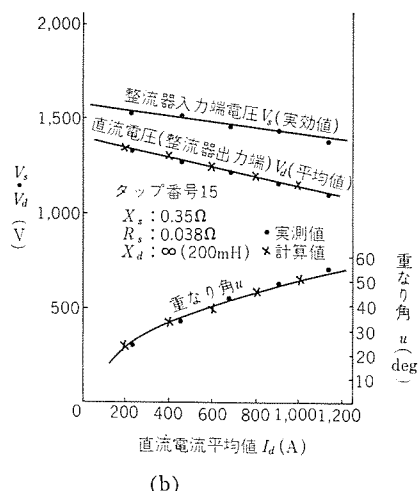
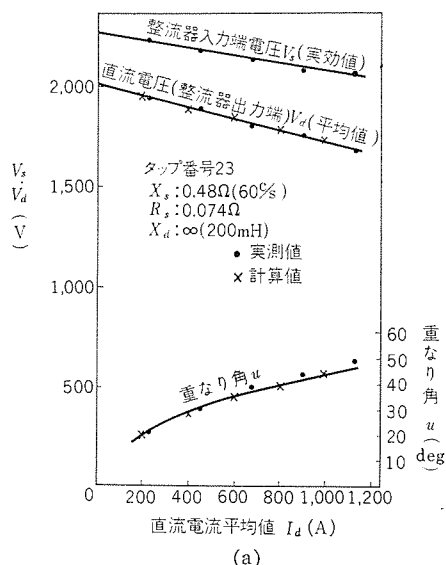


図 2.7 直流電流平滑時における電圧変動率曲線の実測値と計算値の比較
Fig. 2.7 Comparison of measured and calculated voltage regulation curve in case where DC out-put current is of flat wave-form.

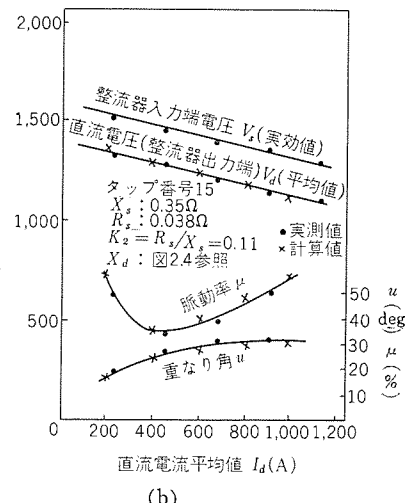
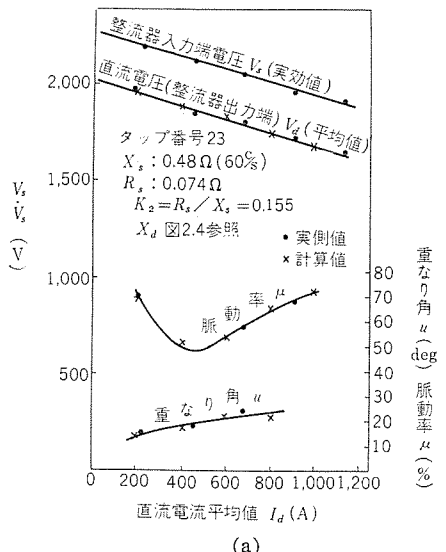


図 2.8 直流電流脈動時における電圧変動率曲線の実測値と計算値の比較
Fig. 2.8 Comparison of measured and calculated voltage regulation curve in case where DC out-put current is of ripple wave.

側インダクタンスの電流飽和特性であり、いずれも実回路の値を示している。

図 2.5 は図 2.1 に対する模擬回路である。実回路では電動機は 4 台並列に運転されるが、各機が平衡して運転されているものとして等価的に、インピーダンスを $1/4$ にした 1 個のモータとして模擬した。図中、 X_s および R_s には、変圧器自体のほか、一次側線路のインピーダンスも二次側に換算してこの中に含めている。

なおノッチ位置によって変圧器のインピーダンスは、図 2.2 図 2.3 のように異なるので実験では数種のノッチに対する X_s , R_s の組合せが準備されている。交流側インピーダンスは電車が変電所にもっとも遠い、デッド・セクションの近傍にある場合を想定した。直流側リアクトルは、図 2.4 の飽和特性の完全な模擬は困難であるから、あらかじめ試験電流についていくつかの case を設定しておき、それぞれに対する L_d の値をスイッチで選択するようにしている。

実回路と模擬回路の電圧、電流関係は表 2.1 のように、電圧は 10.3:1 112.5:1 に選ばれているから、実回路に対する模擬回路のインピーダンスの換算比は、1:10.9 である。

図 2.6 はこの種、整流器回路現象全般の研究のため設備をされた整流器模擬回路概観写真であり、その前面の MG セットが今回

の電車モータの模擬に供せられた。

2.2 模擬回路による実験結果

脈動負荷で測定を行なうに先だち、比較のため直流側に無限大の直流リアクタンスがある場合について電圧変動率曲線および重なり角を測定した。図 2.7 (a) および図 2.7 (b) は、代表的にタップ #23 および #15 における測定結果を示すものであり、この場合の直流側平滑用リアクトルは模擬回路で約 2H をそう入している。後述図 2.10 (c) の波形から推察されるように直流電流はほとんど完全に平滑であり、無限大の L_d に相当する case と考えてさしつかえない。なお、この図 2.7 (a) および図 2.7 (b) 中の整流器出力電圧 V_d および重なり角 u の傾向は $L_d = \infty$ と考えた従来の計算式

$$V_d = V_{do} - \frac{2X_s}{\pi} I_d - R_s I_d \dots (2.1)$$

ただし、 V_{do} : 無負荷直流電圧

I_d : 整流器出力 DC 電流

X_s : 転流リアクタンス

(交流側線路+変圧器)

R_s : 交流線路と変圧器の実効抵抗

$$u = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2X_s I_d}{\pi V_{do}} \right) \dots (2.2)$$

と良く一致する。

表 2.1 定数換算率

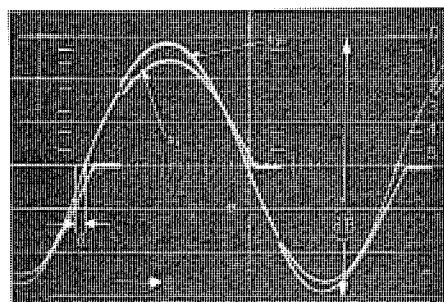
	電圧 (V_p)	電流 (I_d)	インピーダンス
実回路	2261V (23 tap)	900A (力行)	
模擬回路	220V	8A	
実/模	10.3/1	112.5/1	1/10.9

図 2.8 (a), および図 2.8 (b) は、脈動電流を含む場合の測定結果であり、直流側リアクタンスの飽和特性も実験的に考慮されている。図では代表的に タップ #23, および #15 の場合について V_d, u および脈動率 μ の実測結果を示した。なお、この場合の脈動率は定義により式 (2.3) で表わされている。

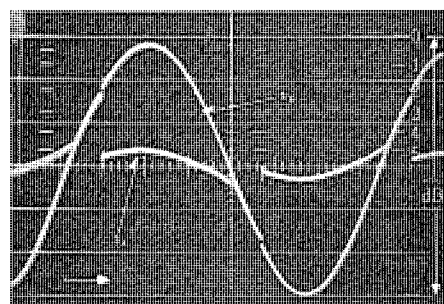
$$\mu = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (2.3)$$

ただし、 $I_{\max}, I_{\min}$ は脈動電流瞬時値の最大および最小値。

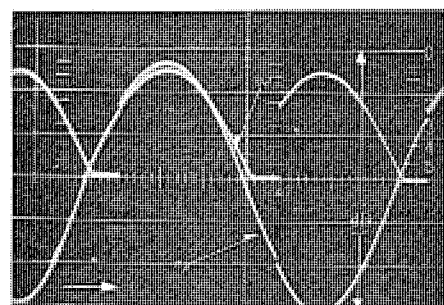
図 2.9 (a)―(d) は変圧器タップ #23 において全負荷力行時に相当する回路各部の電圧、電流波形 (図 2.8 (a) の場合) である。また図 2.10 (a)―(c) は直流側リアクタンス X_d が十分大きく、直流電流が平滑である場合の、整流器入力端電圧 V_s および交流側のインピーダンス降下 V_x のオシログラムを示している。直流電流が平滑な図 2.10 では、整流期間中の V_x は、その期間中の電流



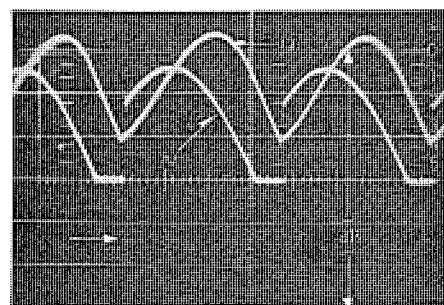
(a) 電源電圧 V_p に対する V_s および δ の関係



(b) 交流側インピーダンス降下 V_x



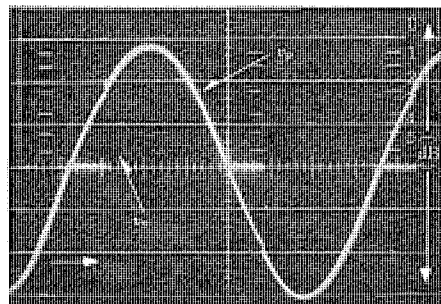
(c) 直流出力電圧 V_d



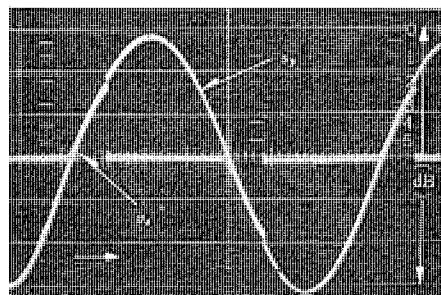
(d) 直流出力電流 i_d と V_d の位相関係

図 2.9 直流電流脈動時の電圧電流波形 (タップ #23 定格負荷)

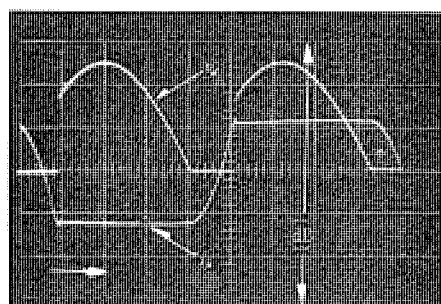
Fig. 2.9 Voltage and current wave-forms (DC output current is of ripple wave).



(a) 電源電圧 V_p に対する整流器入力端電圧 V_s の関係



(b) 交流側インピーダンス降下 V_x



(c) 交流側電流 i_s と V_d の位相関係

図 2.10 直流電流平滑時の電圧電流波形 (タップ #23 定格負荷)

Fig. 2.10 Voltage and current wave-forms. (DC out-put current is of flat wave-form).

i_s が図 2.10(c) のように平坦であるため当然ながらゼロであり、転流期間中においてのみ交流側全電圧を負担している。したがって整流器入力端電圧 V_s は電源電圧 V_p と同相であり、次相への転流は正確に電源電圧 V_p の零点から開始する。これと対照的に図 2.10 では、整流期間中の電流に脈動分を含むため、図 2.9 (b) 中、 V_x の電圧が現われ、その結果整流器入力端電圧 V_s は、電源電圧 V_p から V_x を差引いた図 2.9 (a) の波形となり明らかに電源電圧より、 δ だけ位相の遅れを生ずる。

2.3 測定結果の要点

新幹線の実回路を模擬し、直流電流中に脈動分が含まれる場合の電圧変動率曲線、重なり角、および脈動率について測定したが、その結果、概要つき事項が知られる。

- (1) 直流電流の平滑な場合の電圧降下、重なり角は、それぞれ式 (2.1) および式 (2.2) より計算した結果ときわめて良く一致する。
- (2) 図 2.7 と図 2.8 の結果を対照し、脈動時は電流平滑時に比べて、重なり角 u が減少する。
- (3) 脈動時は整流期間中の交流側インピーダンス降下、 V_x のため、整流器入力端電圧 V_s は電源電圧より δ だけ位相が遅れ、したがって転流開始点も、この位相だけ遅れる。
- (4) 実験した回路定数の範囲では、平滑時と脈動時において、直流電圧の変動率は両者ほぼ等しい。

一般に重なり角 u が小さいほど、電圧降下は小さく、したがっ

て脈動時の電圧変動率は小さくならねばならないが、一方脈動時には整流期間中にも交流側リアクタンス中に電圧降下が生じるので、両者が相殺し、結果的に、平滑時と脈動時で同じ電圧変動曲線となったものと定性的に了解される。

なお、脈動時において転流開始点が電源電圧零点から遅れる現象に対しては、回路の解析を行なう場合、このような条件の設定が必要であることを示唆するものであり、次章では種々な回路定数において、一般的に δ がどのような値になるかを計算によって導いている。

3. 負荷電流に脈動分を含む単相ブリッジ回路の解析

2章では模擬回路による測定結果を述べたが、この章では、逆起電力負荷があり、かつ、直流電流に脈動を含む単相ブリッジ回路の電圧変動率曲線、重なり角、脈動率ならびに前章で説明した整流器入力端電圧の位相ずれ角“ δ ”について解析を行なった結果を述べる。

図 3.1 および図 3.2 は解析の基礎となる回路図および電圧、電流関係を示すものであり、図 3.2 中 V_s , i_s および i_d と電源電圧 V_p の位相関係については図 2.9 の波形とそれぞれ対照せられたい。

図中

δ : 電源電圧 V_p と整流器入力端電圧 V_s の位相差（したがって転流の遅れ角）。

V_r : 負荷電動機の逆起電力

u_1 : 時間の原点を電源電圧の零点とした場合、転流終了点までの位相角。実際には、整流器の転流は δ だけ遅れた点から開始するから、従来の定義にしたがう重なり角は $u = u_1 - \delta$ として表わされる。

つぎに便宜上、回路動作を整流期間（図 3.1 中 S_1 と S_3 、あるいは S_2 と S_4 がそれぞれ通電中の場合）と転流期間（ S_1, S_3 から S_2, S_4 へ転流あるいはその逆の場合であり、単相ブリッジ結線ではこの期間中 $S_1 \sim S_4$ が全部通電状態となる）に分けて解析する。なお、実際には直流回路の R_d は無視できる程度であり、これを含めると、計算式は不必要に複雑化するのでこの解析では省略することとした。

3.1 整流期間中の計算式 ($u_1 \leq \theta \leq \pi + \delta$)

整流期間中は、図 3.3 のような回路を考えればよい。図から明らかなように、 $i_s = i_d$ であるから次式が成立する。

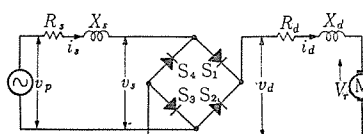


図 3.1 単相ブリッジ回路
Fig. 3.1 Single phase bridge circuit.

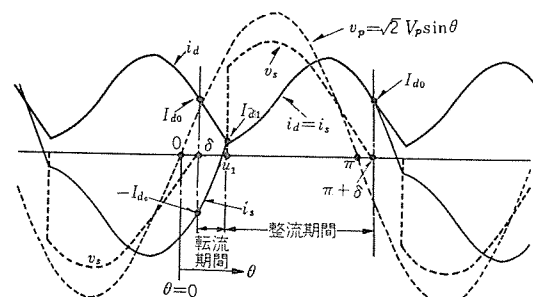


図 3.2 電圧電流関係

Fig. 3.2 Relation between voltage and current.

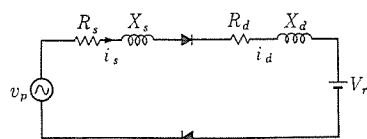


図 3.3 整流期間における等価回路
Fig. 3.3 Equivalent circuit for rectifying period.

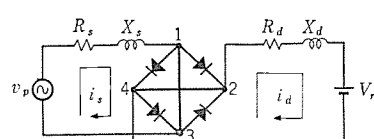


図 3.4 転流期間における等価回路
Fig. 3.4 Equivalent circuit for commutating period.

$$(X_s + X_d) \frac{di_d}{d\theta} + R_s i_d = \sqrt{2} V_p \sin \theta - V_r \dots \dots \dots (3.1)$$

図 3.2 の電圧、電流関係から式 (3.1) で $\theta = u_1$ の時 $i_d = I_{d1}$ なる境界条件を代入して解くと、

$$i_d = \frac{\sqrt{2} V_p}{(X_s + X_d)^2 + R_s^2} \left[R_s \sin \theta - (X_s + X_d) \cos \theta - \{ R_s \sin u_1 - (X_s + X_d) \cos u_1 \} \times \varepsilon^{-\frac{R_s}{(X_s + X_d)}(\theta - u_1)} \right] - \frac{V_r}{R_s} \left\{ 1 - \varepsilon^{-\frac{R_s}{(X_s + X_d)}(\theta - u_1)} \right\} + I_{d1} \varepsilon^{-\frac{R_s}{(X_s + X_d)}(\theta - u_1)} \dots \dots \dots (3.2)$$

ただし、上式は $u_1 \leq \theta \leq \pi + \delta$ において成立する。

3.2 転流期間 ($\delta \leq \theta \leq u_1$)

図 3.2 のように、 $V_p = 0$ となる $\theta = 0$ の時に転流が始まるのではなく、整流器入力端電圧 v_s が $\theta = 0$ となる $\theta = \delta$ が転流開始点である。転流期間中では、 $S_1 \sim S_4$ の全部の整流器が点弧しているから、図 3.4 のように 1~3, 2~4 の各端子間が完全短絡したものととしてよく、その結果、交流側回路および直流側回路をそれぞれ別個の回路として考え、次式が成立する。

直流側回路

$$X_d \frac{di_d}{d\theta} = -V_r \dots \dots \dots (3.3)$$

交流側回路

$$X_s \frac{di_s}{d\theta} + R_s i_s = \sqrt{2} V_p \sin \theta \dots \dots \dots (3.4)$$

式 (3.3) に $\theta = \delta$ の時、 $i_d = I_{d0}$ の境界条件を入れると、

$$i_d = I_{d0} - \frac{V_r}{X_d} (\theta - \delta) \dots \dots \dots (3.5)$$

同様に式 (3.4) に $\theta = \delta$ の時、 $i_s = -I_{d0}$ の境界条件で解くと、

$$i_s = \frac{\sqrt{2} V_p}{(X_s^2 + R_s^2)} \left\{ (R_s \sin \theta - X_s \cos \theta) - (R_s \sin \delta - X_s \cos \delta) \times \varepsilon^{-\frac{R_s}{X_s}(\theta - \delta)} \right\} - I_{d0} \varepsilon^{-\frac{R_s}{X_s}(\theta - \delta)} \dots \dots \dots (3.6)$$

が得られる。

3.3 無次元化

電源電圧 V_p (r.m.s.)、および X_s を基準として無次元化する。

$$K_1 = \frac{X_d}{X_s}, \quad K_2 = \frac{R_s}{X_s}, \quad I_{s0} = \frac{V_p}{X_s}$$

ここに I_{s0} は整流器入力端子における短絡電流実効値に相当する値である。

上記係数を使用すると式 (3.2) は、

$$i_{dK} = \frac{i_d}{I_{s0}} = \frac{\sqrt{2}}{(1 + K_1)^2 + K_2^2} \left[K_2 \sin \theta - (1 + K_1) \cos \theta - \{ K_2 \sin u_1 - (1 + K_1) \cos u_1 \} \varepsilon^{-\frac{K_2}{1 + K_1}(\theta - u_1)} \right] - \frac{V_r}{V_p} \frac{1}{K_2} \left\{ 1 - \varepsilon^{-\frac{K_2}{1 + K_1}(\theta - u_1)} \right\} + \frac{I_{d1}}{I_{s0}} \varepsilon^{-\frac{K_2}{1 + K_1}(\theta - u_1)} \dots \dots \dots (3.7)$$

式 (3.5) は、

$$i_{dK} = \frac{i_d}{I_{s0}} = \frac{I_{d0}}{I_{s0}} - \frac{V_r}{V_p} \frac{\theta - \delta}{K_1} \dots \dots \dots (3.8)$$

式 (3.6) は、

$$i_{sK} = \frac{i_s}{I_{s0}} = \frac{\sqrt{2}}{1+K_2^2} \{ (K_2 \sin \theta - \cos \theta) - (K_2 \sin \delta - \cos \delta) \} \\ \times \varepsilon^{-K_2(\theta-\delta)} - \frac{I_{d0}}{I_{s0}} \varepsilon^{-K_2(\theta-\delta)} \dots\dots\dots (3.9)$$

添字 K は無次元としたことを示す。なお上式中の $\frac{V_r}{V_p}$, $\frac{I_{d0}}{I_{s0}}$ および $\frac{I_{d1}}{I_{s0}}$ は以下、それぞれ V_{rK} , I_{d0K} ならびに I_{d1K} として表わすこととする。

3.4 平均値

直流電流 i_d の平均値 I_d は定義により、

$$I_{dK} = \frac{I_d}{I_{s0}} = \frac{1}{\pi} \int_{\delta}^{\pi+\delta} i_{dK} d\theta = \frac{1}{\pi} \left\{ \int_{\delta}^{u_1} i_{dK} d\theta + \int_{u_1}^{\pi+\delta} i_{dK} d\theta \right\} \dots\dots\dots (3.10)$$

式 (3.7) (3.8) を式 (3.10) に代入して整理すると次式を得る。

$$I_{dK} = \frac{1}{\pi} \left[I_{d0K} (u_1 - \delta) - \frac{1+K_1}{K_2} I_{d1K} \left\{ \varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} - 1 \right\} \right. \\ \left. - V_{rK} \left\{ \frac{(u_1-\delta)^2}{2K_1} + \frac{(\pi+\delta-u_1)}{K_2} + \frac{1+K_1}{K_2^2} \left(\varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} - 1 \right) \right\} \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{2}}{(1+K_1)^2 + K_2^2} \left\{ K_2 (\cos \delta + \cos u_1) + (1+K_1) (\sin u_1 + \sin \delta) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1+K_1}{K_2} (K_2 \sin u_1 - (1+K_1) \cos u_1) \left(\varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} - 1 \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3.11)$$

直流電圧 v_d の平均値 V_d は定義により、

$$V_d = \frac{1}{\pi} \int_{\delta}^{\pi+\delta} v_d d\theta \dots\dots\dots (3.12)$$

ここに、

$$v_d = X_d \frac{di_d}{d\theta} + V_r \dots\dots\dots (3.13)$$

であるから式 (3.12), (3.13) から

$$V_d = \frac{1}{\pi} \int_{\delta}^{\pi+\delta} \left(X_d \frac{di_d}{d\theta} + V_r \right) d\theta \dots\dots\dots (3.14)$$

i_d に対して式 (3.2), (3.5) を代入すると $V_d = V_r$ が得られる。これは直流側の抵抗分 R_d を無視したことからの当然の結果である。

3.5 計算

式 (3.7) に、 $\theta = \pi + \delta$ の時、 $i_d = I_{d0}$

式 (3.8) に、 $\theta = u_1$ の時、 $i_d = I_{d1}$

式 (3.9) に、 $\theta = u_1$ の時、 $i_s = I_{d1}$

なる境界条件を代入すると、

$$I_{d0K} = \frac{\sqrt{2}}{(1+K_1)^2 + K_2^2} \left[(1+K_1) \cos \delta - K_2 \sin \delta \right. \\ \left. - \{ K_2 \sin u_1 - (1+K_1) \cos u_1 \} \right. \\ \left. \times \varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} \right] + \frac{V_{rK}}{K_2} \left\{ \varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} - 1 \right\} \\ + I_{d1K} \varepsilon^{\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$I_{d1K} = I_{d0K} - \frac{V_{rK}}{K_1} (u_1 - \delta) \dots\dots\dots (3.16)$$

$$I_{d1K} = \frac{\sqrt{2}}{1+K_2^2} \{ K_2 \sin u_1 - \cos u_1 \} \\ - (K_2 \sin \delta - \cos \delta) \varepsilon^{-K_2(u_1-\delta)} \\ - I_{d0K} \varepsilon^{-K_2(u_1-\delta)} \dots\dots\dots (3.17)$$

また式 (3.13) を計算し、 $\theta = \pi + \delta$ の時、 $v_{dK} = 0$ なる境界条件を入れると、

$$v_{dK} = 0 = \frac{\sqrt{2} K_1}{(1+K_1)^2 + K_2^2} \left[- \{ (1+K_1) \sin \delta + K_2 \cos \delta \} \right. \\ \left. + \frac{K_2}{1+K_1} \times \{ K_2 \sin u_1 - (1+K_1) \cos u_1 \} \varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} \right] \\ + V_{rK} \left\{ 1 - \frac{K_1}{1+K_1} \varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} \right\} \\ - \frac{K_1 K_2}{1+K_1} I_{d1K} \varepsilon^{-\frac{K_2}{1+K_1}(\pi+\delta-u_1)} \dots\dots\dots (3.18)$$

上の4式に u_1 , K_1 , K_2 , を与えると I_{d0K} , I_{d1K} , V_{rK} , および δ を未知数とする連立方程式となる。

u_1 , K_1 , および K_2 , を適当に与えて上記の連立方程式を解いて δ , I_{d0K} , I_{d1K} および V_{rK} を求める。この計算はきわめて複雑であるから今回は電子計算機 Bendix G-15 によって行なった。なお $v_{dK} = 0$ とすると計算時間が非常に長くなるので、精度を考慮して $|v_{dK}| < 5 \times 10^{-3}$ になると連立方程式が解けたものとした。

直流平均電流 I_{dK} は式 (3.11) に連立方程式の解である δ , I_{d0K} , I_{d1K} , V_{rK} を代入すれば求められる。

直流平均電圧 V_{dK} は $R_d = 0$ と仮定しているから $V_{dK} = V_{rK}$, また重なり角 u は $u = u_1 - \delta$ として決定される。

脈動率 μ の計算は、連立方程式を解いた時の、それぞれの値を式 (3.7) に代入して i_{dK} の計算波形を書き、その最大値 I_{max} , および最小値 I_{min} を求めて、2 章式(2.3)より計算した。

3.6 計算図表

u_1 , K_1 および K_2 にいろいろな値を与えて計算した結果を図 3.5~図 3.8 に示す。いずれも K_1 , K_2 をパラメータとし、脈動する直流電流の平均値 I_{dK} に対する直流電圧平均値 V_{dK} , 重なり角 u , 脈動率 μ ならびに位相のずれ角 δ の関係をそれぞれ図表にまとめたものである。

(1) 図表の使用法

たとえば、ある回路条件において $K_1 = \frac{X_d}{X_s} = 5$, $K_2 = \frac{R_s}{X_s} = 0.2$ が与えられたとするとある直流電流 $I_{dK} = \frac{I_d}{I_{s0}}$ の値に対し、 $V_{dK} = \frac{V_r}{V_p}$, $u\mu$ ならびに δ は図 3.5~図 3.8 中の点線を矢印方向に進めて行くことによって、それぞれ求めることができる。また I_{dK} , K_2 , μ を知って他の値を求める時は、まず図 3.7 で I_{dK} , K_2 , および μ から K_1 (すなわち、ある直流電流 I_{dK} において所望の脈動率 μ を得るための直流側リアクタンス) を決定し、次いで図 3.5

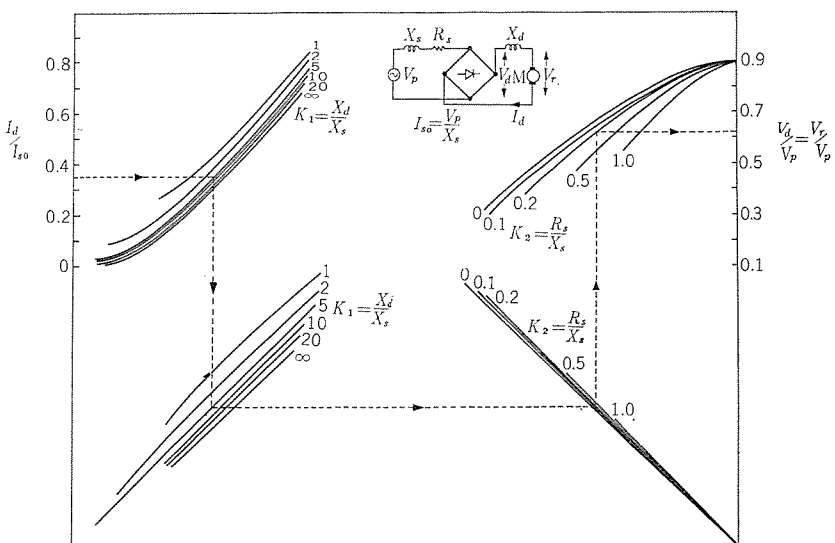


図 3.5 電圧変動の計算図表
Fig. 3.5 Calculation chart of voltage regulation.

3.6, 3.8 を使用し, V_{dK} , u , δ を求めることができる. 要するに図 3.5~図 3.8 の図表により I_{dK} , K_1 , K_2 , V_{dK} , u , μ および δ のうち 3 つの値を知れば他の四つの値は図表より簡単に求める

ことができる.

(2) 実験と計算結果の比較

計算図表の結果を検討するため, 模擬回路による実測と, 図表

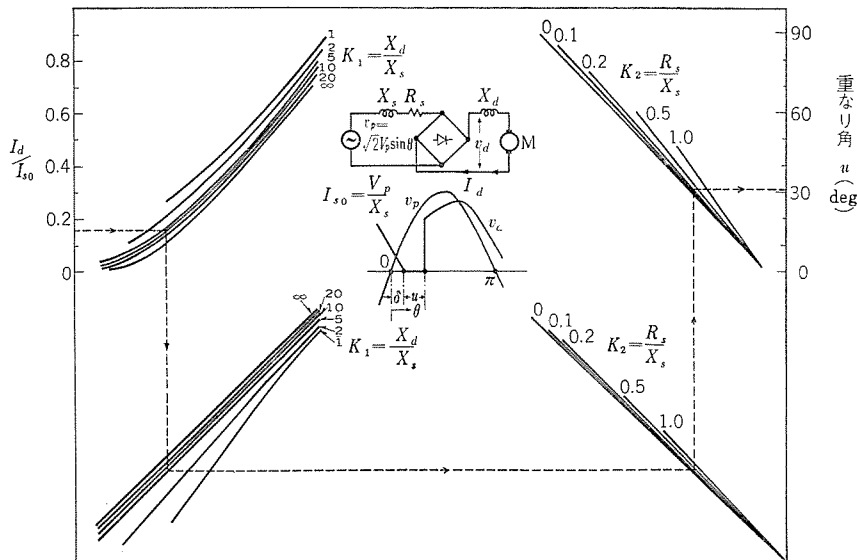


図 3.6 重なり角の計算図表
Fig. 3.6 Calculation chart of overlap angle.

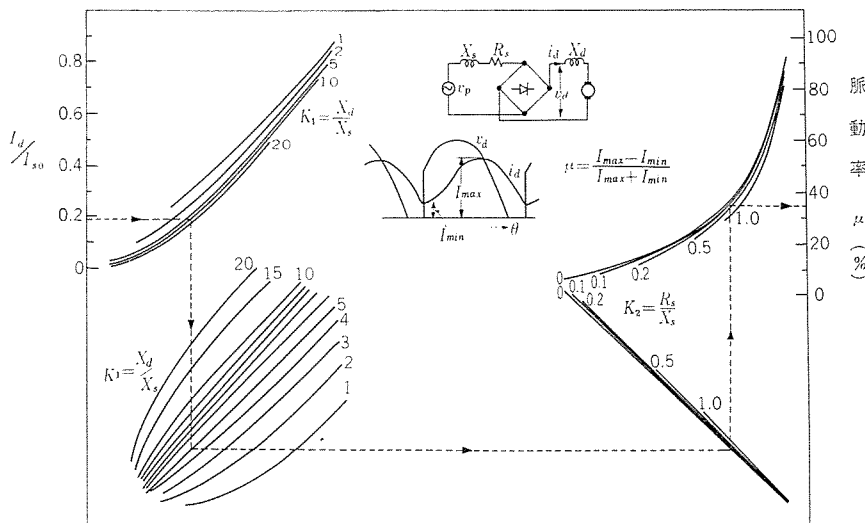


図 3.7 脈動率の計算図表
Fig. 3.7 Calculated chart of ripple factor.

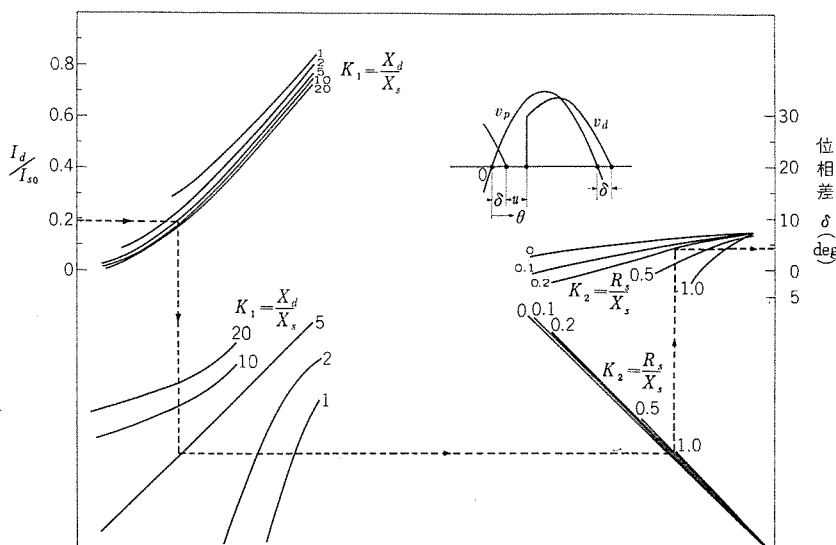


図 3.8 位相差 δ の計算図表
Fig. 3.8 Calculation chart of phase displacement angle " δ ".

から求めた値とを比較した結果を図 2.8 (a) (b) に示している. 図中, $\cdot$ 印はシミュレータによる実測値, $\times$ 印は図表からの計算値である. 計算曲線を求める場合, 直流電流 I_d に対して直流側リアクタンス, X_d , すなわち $K_1 = \frac{X_d}{X_s}$ は図 2.4 のように変化するが, $K_2 = \frac{R_s}{X_s}$ はそのタップ位置において変らないので, 図 3.8 のカーブは K_2 がそれぞれ 0.155 (図 2.8 a), および 0.11 (図 2.8 b) で一定とし, K_1 が各 I_d において, 図 2.4 の飽和特性とともに変化するものとして図表から求めたものである. 実測値と計算値を比較して両者は非常によく一致した結果が得られている.

4. む す び

模擬回路による実験結果から直流電流に脈動を含む単相ブリッジ整流回路について電圧変動率, 重なり角, および脈動率の関係をめ, 脈動がある場合, 転流開始位相が遅れる現象を指摘した.

また, 上記転流の遅れを考慮に入れて整流回路の解析を行ない, 計算結果は実測値に対比して十分な精度で一致することが確かめられた.

この報告は東海道新幹線交流電車の電圧変動率および脈動率の算定を主目的として行なったものであるが, 直流側に逆起電力と脈動を含む単相ブリッジ整流回路は一般のモータ速度制御用直流電源として広く使用されている. 本文の計算図表が今後それらの回路設計の参考として役立てられれば幸いである.

(昭 37-6-6 受付)

参 考 文 献

- (1) 塩見・阿部・坂東: 連大 749 昭 36
- (2) I.E.C., Technical Committee, No. 22 (U.S.S.R 提出資料), April 1960
- (3) 本郷: 電学誌 78, No. 836, 15-19 (1958)
- (4) 岩田: 日立評論 42, No. 12, 9-15 (1960)
- (5) 岩田: 日立評論 43, No. 9, 37-43 (1961)
- (6) 阿部・坂東・山田: 連大 467 (昭 37)
- (7) 河村: 連大 744 (昭 37)

国鉄新幹線試作車用変圧器

荻野 脩*・坂田邦寿*・沖本邦夫*

Transformers of Trial Cars for J.N.R New Trunk Line

Itami Works

Osamu OGINO・Kunitoshi SAKATA・Kunio OKIMOTO

In anticipation of the traffic ability reaching its limit soon on the J.N.R Tōkaidō Trunk Line, a new line is now under construction and trial cars for this new service are now being built on new concepts. This article reports on transformers to go with new vehicles as one of apparatus to be built by Mitsubishi. To meet the requirements of under-floor mounting, the transformer is in special windings to make the tap changer effective to reduce the weight and size, as well as a special attention for light and compact transformer body. The construction, features and test results of the products are stated in brief.

1. ま え が き

わが国経済の高度成長のため、国鉄幹線中の大動脈ともいえる東海道線の輸送能力は数年を経ずして限界に達するものといわれている。

国鉄ではこの現状を早急に打開するため新幹線の建設に着手、さらにその電気方式として交流電化方式を採用されることになった。

この電車に搭載された主変圧器は当社の設計資料、製作図面に基づき、国鉄当局を中心に日立、東芝をまじえ昭和36年1月以來十数回にわたる共同設計会議により完成されたものである。

なお現在 モデル 線区において好成绩裏に現車性能試験が実施されている。

2. 設 計 条 件

2.1 主電線電圧と周波数

交流主電線定格電圧は一相 25 kV (主電線電圧の変動範囲は 30~22 kV)、また周波数は地上電気設備の経済性と電車積載用主変圧器の重量軽減を考え東京一大阪間 60 c/s 一本立てとなった。

2.2 低圧切換式と変圧器結線

新幹線の場合、列車スピードは 200 km/h にもおよぶので、列車走行抵抗を極小にするためパンタグラフ以外の器具すなわち避雷器や空気シャ断断などはすべて床下配置とすることに決定された。このため主変圧器は設計上、とくに重量・寸法について大幅な制限を受けることになった。

この場合、従来の交流電化方式に採用されている高圧切換方式を採用するとすれば、つぎのような難点が生じてくる。すなわち高圧切換方式では、電圧調整用のタップ変圧器と整流器用変圧器を同一タンクに納めるのが常である。したがってタンク重量が大となる。これに比べ、整流器用変圧器の直流側(低圧側)にタップを設け、タップ切換器で直接電圧調整を行なう低圧切換方式では、タップ変圧器の重量(実際にはタップ変圧器のためのタンク重量および油量の増加分も節約できることになる)だけ軽くなる。同時にそれだけ全体の寸法も小さくすることができる。

またタップ切換器についても、低圧切換方式のほうがそれだけ絶縁階級を低くとることができ、床下取付けの場合の寸法も自然小さくてすむことになる。

つぎに変圧器の結線であるが、図2.1のように直流巻線を固定

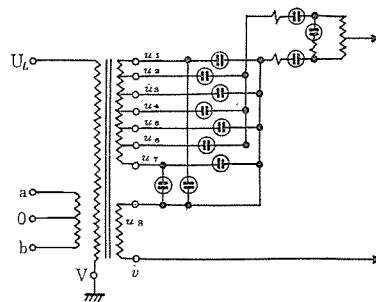


図 2.1 巻線の結線
図
Fig. 2.1 Connection diagram.

表 2.1 絶縁耐力

加 圧 部	商 用 周 波	衝 撃 電 圧	
		全 波	サイ断波
交 流 側	42 kV (誘導) 10 分	175 kV	200 kV
交流接地側	4 kV 1 分	—	—
直 流 側	10 kV 1 分	—	—
三 次	2 kV 1 分	—	—

コイルとタップコイルに分け、タップコイルを固定コイルと和差動的に接続することにした。この特長については後述することにする。

2.3 絶縁階級

変圧器交流巻線の衝撃絶縁強度は、定格電圧が 25 kV であるので全波 175 kV・サイ断波 200 kV と決められた。また主電線の持続性異常電圧は主電線最高電圧 30 kV の 1.4 倍以下であるということであるので商用周波 1 分間耐圧試験は行なわず、42 kV (=30 kV×1.4) 10 分の誘導試験をもってこれに代えることとした。なおこの場合、有害なコロナの発生を認めないことを条件としている。

表 2.1 は各巻線の絶縁耐力を示すものである。

2.4 温度上昇限度

周囲温度を 25°C とし、変圧器は送油風冷式であるので巻線の温度上昇(抵抗法)は 75°C、油の温度上昇(寒暖計法)は 65°C とすることにした。

3. 変 圧 器 仕 様

電車積載用であるために変圧器に使用する油は不燃性油とし、さらに不燃性油の性質上、鉱油に比べその蒸発量が非常に大きいので、これを防ぎあわせて保守を簡便にするために窒素封入密封形⁽¹⁾とした。

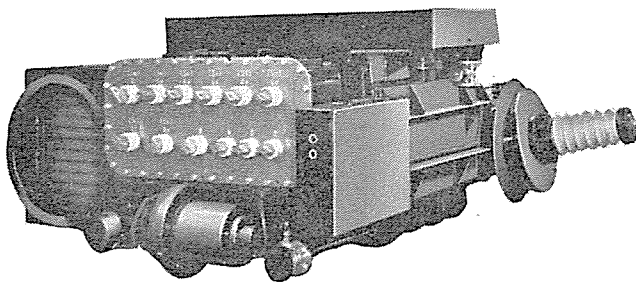


図 3.1 新幹線試作車用主変圧器
Fig. 3.1 Main transformer.

また、変圧器形式としては仙山線の交流電化以来一貫して、当社納入の車両用変圧器に採用している外鉄形 フォーム・フィット 構造とした。

変圧器仕様と諸元を記すと、つぎのようになる。

外鉄形，フォーム・フィット，窒素封入密封形，送油風冷式

定 格：連続定格

周 波 数：60 c/s

定格容量：交流側 1,810 kVA

直流側 1,640 kVA

三 次 170 kVA

電 圧：交流側 25,000 V (+20%, -10%)

直流側 $2,435-2,261-2,087-1,913-1,739-1,565-$

$1,391-1,217-1,044-870-696-522-348$ V

三 次 232-232 V

定格電流：交流側 72.4 A

直流側 725 A

三 次 368 A

諸 元：床面積 2,380×2,415 mm

高 さ 950 mm

重 量 3,720 kg (油なし，冷却器含)

油 量 780 kg (510 l)

総重量 4,500 kg

4. 設 計 内 容

4.1 内部構造

(1) 鉄心と巻線配置

外鉄形，フォーム・フィット 構造変圧器は内鉄形変圧器に比べて，設計上の自由度がきわめて大きい。図 4.1 は交流電気機関車用変圧器の一例であるが，この場合は機関車内に据付けのために，電車用床下取付けの場合と比べると変圧器の高さははるかに大きく

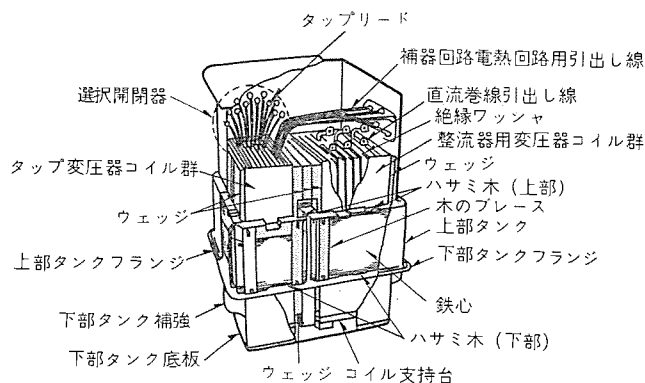


図 4.1 外鉄形 フォーム・フィット構造説明図
Fig. 4.1 Form-fit transformer.

てよいことになる。したがって鉄心は下部 タンク の上縁に水平に積み重ねられ，各 コイル 群はこの鉄心に垂直に立てた状態で，鉄心と コイル 間に打込まれた クサビ によって支持されている。

新幹線の場合は床下取付けであるので，図 4.1 の構造をちょうど横倒しにした構造とした。さらにこの場合 コイル 面は軌条面に水平または垂直いずれの方向でも配置できる。前者の例として ED-421 形交直電車用変圧器⁽²⁾があり，後者の場合が今回の新幹線用変圧器である。

上記のように外鉄形・フォーム・フィット 構造変圧器は機関車用または電車用それぞれの用途に応じて，与えられた空間を最大限に利用できる。このことはとりもなおさず先に述べた設計の自由度が大きいということにほかならない。

図 4.2 は鉄心と巻線の関係を示す説明図であり，図 4.3 に巻線配置を示す。図 4.2 からわかるように交流側巻線は均等に 2 群に分割し，この 2 群を直列に接続している。つぎに直流側巻線であるが，これも 2 群に分割しているが，電流容量が大きいのでこの 2 群を並列に接続している。なおタップコイルであるが，1 タップ 間の巻数がタップコイルを形成する 2 枚のコイル群でちょうど終るように考慮されている。いいかえると，上記 2 枚 コイル の間の最初の 1 枚に 1 タップ 間の巻線の $1/2$ を，つぎの 1 枚で残り $1/2$ を巻いている。このようにして巻き回された 2 枚のコイルの巻き始め同志を接続することによって，各 タップ の巻き始め・巻き終りは必ず コイル の外側に出てくることになる。普通のように コイル 間油 ゼキ からタップ が出ることがなく，タップ・リード の絶縁も容易で，絶縁上の弱点もなく，通油上からも好ましい構造となっている。さらに上記のような構造の採用により，タップ が抜けた状態の時でも軸方向の漏れ磁束は減少し，短絡時の機械力の点からも好ましい構造といえる。

なお，直流側 コイル は 4 本の並列導体から成り立っているが，完全転位を行なってウズ 電流損の異常に増加するのを防いでいる。

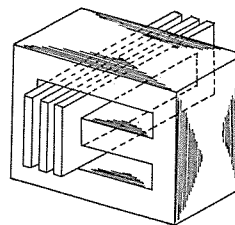


図 4.2 鉄心と巻線の配置
Fig. 4.2 Core and coil construction.

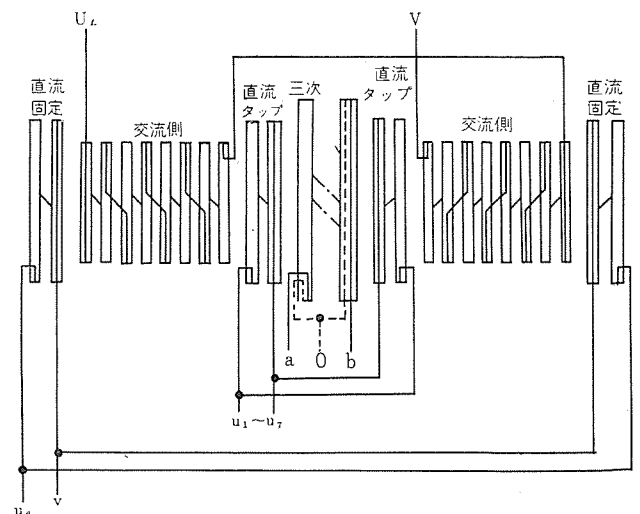


図 4.3 巻線配列
Fig. 4.3 Winding arrangement.

三次（補器電源用）コイルは図 4.3 に示すように、交・直流巻線の最内側に配置されている。三次側は単相 3 線式であり、 $a0 \cdot b0$ 間の負荷が不平衡した場合でも三次側の電圧変動率が大きくならないように、 $a0 \cdot b0$ 各巻線と交流巻線間の漏れリアクタンスは相等しくなるように考慮されている。

(2) 交直流巻線間の漏れリアクタンス

直流巻線が固定、タップコイルに分割され、さらにタップコイルが固定コイルに和差動的に接続されること、ならびに各巻線の配置については前節で述べた。

この差動接続にしたのは、つぎのような理由による。

電車起動時の低ノッチ、とくに 1~2 ノッチ付近での乗心地の点から電車の加速度は 0.5 km/h/s 程度を要求され、この時の直流電流は 250 A 程度でなければならない。このことは直流電圧変動率で表現すると、約 100% 程度ということになる。

一方、この直流電圧変動率は、直流電流 0 A の時のいわゆる直流無負荷電圧と、定格直流電流を通じた時の定格直流電圧の差（いいかえると直流電圧基準に換算した電圧降下）を定格電圧で除して、百分率で表わしたものである。したがって直流電圧変動率が大きいことは、上記電圧降下を大きくすることを意味している。

この電圧降下を決定する因子はよく知られているように、使用される整流器の順方向電圧降下、変圧器・直流リアクトルならびに直流側配線等の全抵抗による電圧降下、ならびにキ電線も含めた変圧器直流巻線に換算した転流リアクタンスによる電圧降下である。（この電圧降下を求めるための理論式などの詳細については本誌別項の“整流器式電気車における電圧変動率曲線”を参照されたい）。

上記種々の電圧降下のうちもっとも大きい影響を与えるものは転流リアクタンス、いいかえると変圧器の漏れリアクタンス（転流リアクタンスとは変圧器の直流巻線換算漏れリアクタンスに、整流回路によってきまるある定数を乗じたものにほかならない）である。またこの変圧器の漏れリアクタンスを大きくすることは、使用されているシリコン整流器が金属短絡などの事故を起こした場合に流れる短絡電流を抑制するためにも強く要求されたものでもあった。

一般に巻線にタップを設けて、巻数を加減するだけで漏れリアクタンスを非常に大きくすることは困難である。

いま、図 4.4 に示すように直流巻線の一部が差動的に接続された場合の変圧器漏れリアクタンスを求めてみる。図 4.5 に示すようにに交・直流巻線の巻数を n_1, n_{21}, n_{22} 、電流を i_1, i_2 、各部の磁束密度を $B_1, B_2, \dots, B_5$ とすれば、

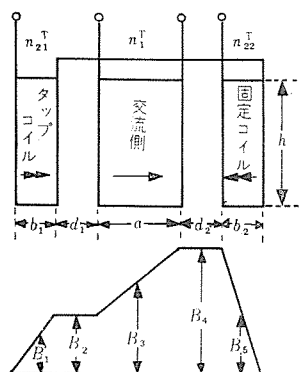


図 4.4 電流方向と磁束密度
Fig. 4.4 Current direction and flux density.

表 4.1 漏れリアクタンス

ノッチ No.	$X(\Omega)$	ノッチ No.	$X(\Omega)$
1	0.75	15	0.36
3	0.68	17	0.35
5	0.62	19	0.36
7	0.54	21	0.38
9	0.50	23	0.42
11	0.46	25	0.46
13	0.37		

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= \frac{\mu_0}{\alpha} \cdot \frac{n_{21} i_2}{b_1} \cdot x \\ B_2 &= \frac{\mu_0}{\alpha} \cdot n_{21} i_2 \\ B_3 &= \frac{\mu_0}{\alpha} \left\{ n_{21} i_2 + \frac{n_1 i_1}{a} x \right\} \\ B_4 &= \frac{\mu_0}{\alpha} \cdot n_{22} i_2 \\ B_5 &= \frac{\mu_0}{\alpha} \cdot n_{22} i_2 \left(1 - \frac{x}{b_2} \right) \end{aligned} \right\} (W/m^2) \dots \dots \dots (4.1)$$

ただし、 α ：漏れ磁束の磁路長 (m)

μ_0 ：空気の導磁率

この時の漏れ磁束の存在する空間の磁気エネルギー W (ジュール) は交・直流巻線のコイル平均長を M_l (m)、コイル幅を h (m) とし、つぎのようになる。

$$W = \frac{1}{2\mu_0} \left[\int_0^{b_1} B_1^2 dx + \int_0^{d_1} B_2^2 dx + \int_0^a B_3^2 dx + \int_0^{d_2} B_4^2 dx + \int_0^{b_2} B_5^2 dx \right] M_l \cdot h \dots \dots \dots (4.2)$$

式 (4.2) に (4.1) を代入して整理すると（ただし $\alpha \cong h$ ）,

$$W = \frac{M_l \mu_0}{2\alpha} \left[\left\{ \frac{b_1 n_{21}^2}{3} + n_{21}^2 d_1 + n_{21}^2 a + n_{22}^2 d_2 + \frac{n_{22}^2 b_2}{3} \right\} i_2^2 + a n_{21} n_1 i_1 i_2 + \frac{n_1^2}{3} i_1^2 \right] \dots \dots \dots (4.3)$$

また、直流巻線側から見たインダクタンスを L_2 とすると、

$$W = \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \dots \dots \dots (4.4)$$

さらに、交・直流巻線のアンペアターンは相等しいから、

$$i_1 = \frac{n_{22} - n_{21}}{n_1} i_2 \dots \dots \dots (4.5)$$

式 (4.3), (4.4), (4.5) から L_2 を求め、さらに $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $X_2 = 2\pi f L_2 (\Omega)$ として直流巻線側から見た漏れリアクタンスを求めると、

$$X_2 = \frac{f \cdot M_l \cdot n_{22}^2}{12.7 \times \alpha} \left(\frac{a_{\text{eff}}}{3} + d_2 + \frac{b_2}{3} \right) \times 10^{-7} (\Omega) \dots \dots \dots (4.6)$$

ただし、

$$a_{\text{eff}} = a + a \left(\frac{n_{21}}{n_{22}} \right) + (b_1 + 3d_1 + a) \left(\frac{n_{21}}{n_{22}} \right)^2 \dots \dots \dots (4.7)$$

式 (4.6) は図 4.5 において、 n_2^T , $(n_{21} + n_1)^T$ の 2 個の巻線を有する普通の 2 巻線変圧器の漏れリアクタンスを表わす式と考えてもさしつかえない。また式 (4.7) から a_{eff} は $(n_{21} + n_1)^T$ なる巻線の等価的コイル厚さと考えてもよい。

表 4.1 は交・直流巻線のコイル幅を h_1, h_2 (m) とし、漏れ磁束の磁路長 $\alpha^{(3)}$ を、

$$\alpha = \frac{2h_1 h_2}{h_1 + h_2} + \frac{a_{\text{eff}} + d_2 + b_2}{3} \dots \dots \dots (4.8)$$

として実際の場合について求めた計算値であるが、あとで述べる実測値ときわめてよく一致する。なお表中の 15~16 ノッチの値は、直流巻線のタップコイルが固定コイルに和動的に接続される場合に対するものである。この場合は普通行なわれているように、交流巻線のアンペア・ターンを、直流巻線の固定、タップコイルそれぞれのアンペア・ターンに応じて分割し、それぞれの漏れリアクタンスを計算し、これらの値を加算して求めたものである。

(3) 交・直流巻線の等価抵抗

4.2 項で直流電圧換算の電圧降下に対しもっとも大きい影響を与えるものは変圧器の漏れリアクタンスであることを述べたが、これについて大きい要素を占めるものは変圧器直流巻線側に換算す

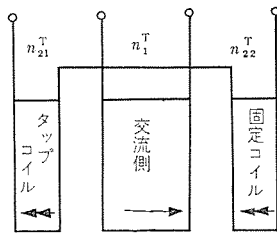


表 4.2 等価抵抗

ノッチ No.	R (Ω)	ノッチ No.	R (Ω)
1	0.045	15	0.041
3	0.044	17	0.046
5	0.042	19	0.050
7	0.041	21	0.054
9	0.040	23	0.060
11	0.039	25	0.065
13	0.037		

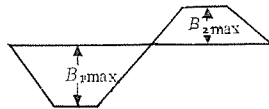


図 4.5 電流方向と磁束密度
Fig. 4.5 Current direction and flux density.

る等価抵抗である。

ここにいう等価抵抗とは各巻線の直流抵抗による I^2R 損失以外に、漏れ磁束による各巻線の導体に生ずるウズ電流損ならびに漂遊損の総和を、その全損失を求めた時の電流の 2 乗で除して求めた等価抵抗である。

直流巻線のタップコイルが固定コイルに差動的に接続される場合、巻線のウズ電流損は次式⁽⁴⁾によって求めた。

$$P_e = k \times \left(\frac{aIn}{qa} \right)^2 \times G_c \text{ (W)} \dots \text{(和動)} \dots (4.9)$$

$$P_e = k \times \left(\frac{aIn}{qa} \right)^2 \times G_c \times (1 + 3X + X^2) \text{ (W)} \dots \text{(差動)} \dots (4.10)$$

ただし、 P_e : ウズ電流損 (W)

k : ウズ電流係数、周波数、導体厚み、並列導体の本数によって異なる。

a : 漏れ磁束に直角方向の導体厚み (m)

I : 電流 n : ターン数

q : 交・直流巻線間主ギャップの数

α : 漏れ磁束の磁路長 (m)

G_c : 導体重量 (kg)

X : 他巻線のアンペア・ターン/自巻線のアンペア・ターン

表 4.2 は各ノッチに対する等価抵抗を上述のようにして求めた計算結果であるが、あとで述べる実測結果と比べてかなりよく一致していることがわかる。

なお、上表の計算をするについては、つぎのことを考慮している。

和動接続の場合の巻線の漏れ磁束の分布は図 4.5 のようになるものと考え、固定、タップコイルのウズ電流損は式 (4.9) から、交流巻線のウズ電流損は固定・タップコイルのアンペア・ターンに応じて交流巻線のウズ電流損をそれぞれ式 (4.9) を用いて求めた。また差動接続の場合の巻線の漏れ磁束は図 4.4 のようになると考え、固定・タップコイルのウズ電流損は式 (4.9) により、交流巻線のウズ電流損は他巻線としてタップコイルのアンペア・ターンが影響をおよぼすものとして式 (4.10) を用いて求めた。

4.2 外部構造

(1) 本体構造

図 4.6 に変圧器概略構造を示す。

外鉄形、フォーム・フィット構造であるから、タンクは上部、下部タンクの二つの部分に分かれている。組立てに際しては各コイルを下部タンクの底板上に垂直に立て、鉄心 (方向性ケイ素鋼帯 G13) を方形コイルの外周ならびに内側に額縁状に所定高さだけ積み上げる。なお、鉄心は下部タンク上縁に設けられたフランジと、コ

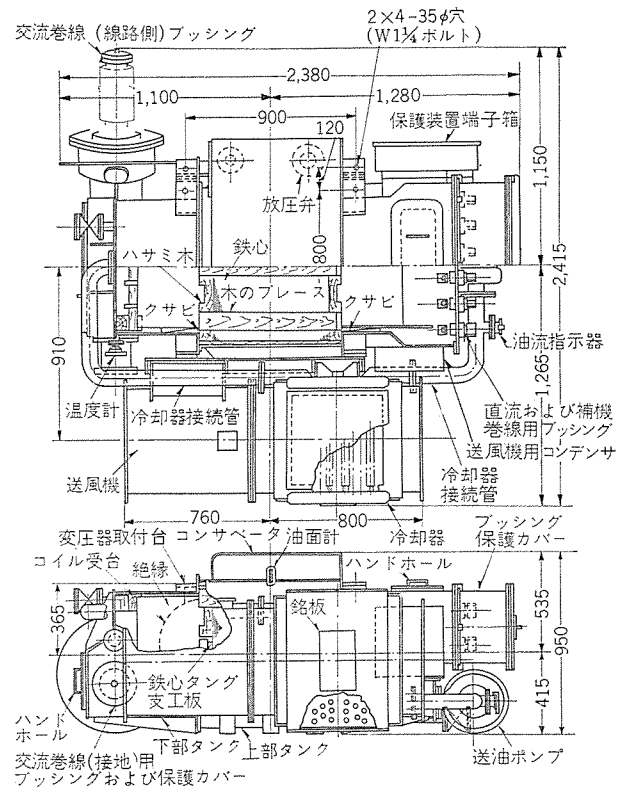


図 4.6 変圧器構造

Fig. 4.6 Construction of transformer.

ル内側に渡された鉄心支え板の上に直接積み上げられる。鉄心を所定の高さだけ積み上げたのち、鉄心上縁とコイルの間にタング・ウェッジと称する鉄製のクサビを打込んで、コイルを鉄心に強固に支持している。

上記作業後、上部タンクを徐々にかぶせてゆき、最後に上部、下部タンクに設けられたフランジの四周をアスベスト・パッキンを介して溶接する。したがって、鉄心は下部タンクのフランジと、上部タンクの側板の一部を変形して作った鉄心押え金によって強固に締め付けられることになる。なお鉄心と上部タンクの間にはラースと称する木製のクサビがそう入されており、変圧器本体を横倒しにした場合変圧器中身重量は上記ラースを介して上部タンク側板にかかることになる。

タンクの強度を考える場合、荷重として上記中身重量のほかに上・下振動による加速度、さらに完全密封構造であるので変圧器温度上昇による内圧の上昇限度等の荷重をすべて考慮しても前述のような溶接構造だけで十分安全側にある。しかし超高速の車両用であるという特殊性を考えて、タンク側面には連結ビームを設けて上部・下部タンクと一体になるように溶接し、安全度をさらに高めるように考慮されている。

つぎにコンバータであるが、車両用として与えられた空間を最大限に利用するため図 3.1 に示すように上部タンクの上部に直接取り付けられ、この部分は車体の強度メンバーの間にそう入される構造となっている。また、変圧器本体高さを有効に使用するためと、重量軽減のためにコンバータの底部は、上部タンク側板と共用されている。

図 4.7 はコンバータ内の窒素圧力と温度との関係を示す曲線であるが、変圧器の温度変化による不燃性油の膨張、収縮以外に、温度変化による窒素の不燃性油に対する溶解度の変化⁽⁵⁾もあわせて考慮してある。

(2) 冷却機構

図 4.8 は冷却器の循環系統を示す略図である。

なお、冷却器として3種類の冷却器を試作したが、このうちアルミ・アライトンが冷却器としての能率ならびに送風機に対する抵抗損失の点でもっともすぐれている。

送風機：1 相、60 c/s、440 V、4 kW

風圧：60 mm (水柱)

風量：90 m³/min

重量：190 kg

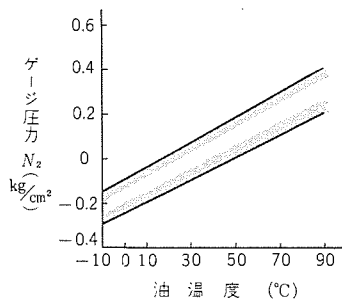


図 4.7 コンサバータ内圧力
Fig. 4.7 Gas pressure in the conservator.

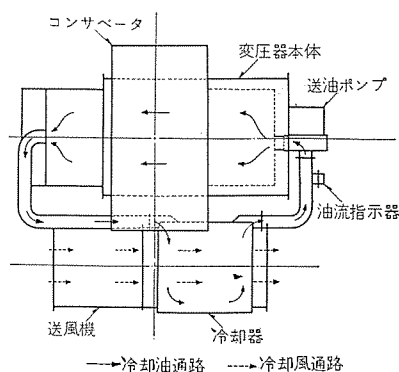


図 4.8 冷却器循環径路
Fig. 4.8 Circulation diagram of cooling equipment.

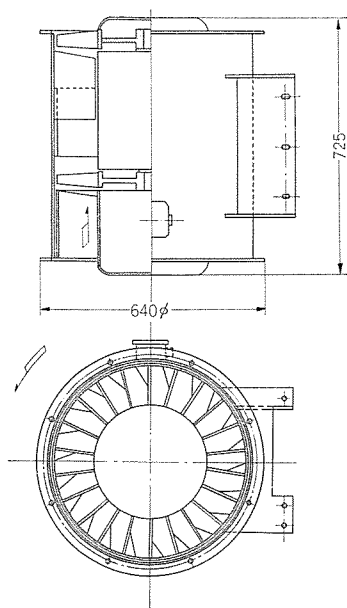


図 4.10 送風機
Fig. 4.10 Blower.

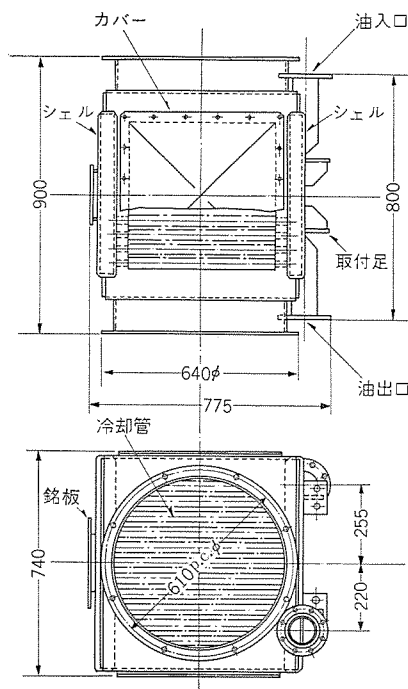


図 4.9 冷却器
Fig. 4.9 Cooler.

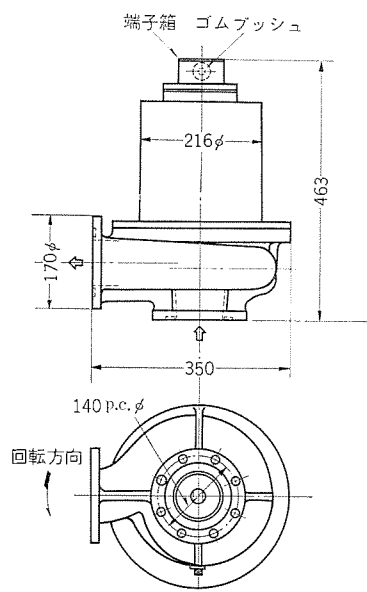


図 4.11 送油ポンプ
Fig. 4.11 Oil pump.

油ポンプ：1 相、60 c/s、440 V、2 kW

揚程：3 m (水柱)

循環油量：750 l/min

重量：75 kg

5. 試験結果と考察

5.1 変圧器特性

表 5.1 に定格電圧容量時の各損失の実測を示す。

5.2 絶縁耐力試験

表 2.1 とおりの絶縁耐力試験を行なったが、なんらの異常は認められなかった。

5.3 漏れリアクタンスと等価抵抗

変圧器直流側に換算した漏れリアクタンスと等価抵抗を図 5.1 に示す。表 4.1、4.2 と対比して見られたい。

5.4 温度上昇試験

表 5.2 に定格タップにおける抵抗法、寒暖計法による温度上昇試験結果を示す。

表 5.1 各損失 (1,810 kVA ベース)

	鉄損 (kW)	銅損 (kW)	励磁電流 (%)
実測値	1845	34.950	0.30

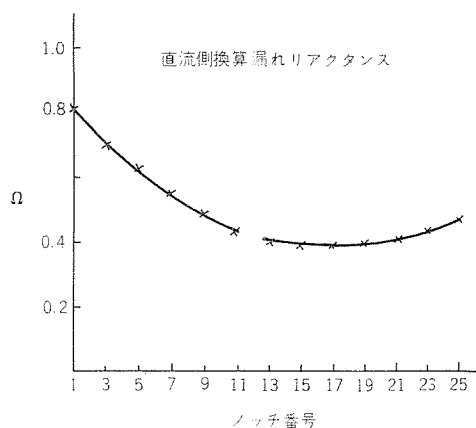
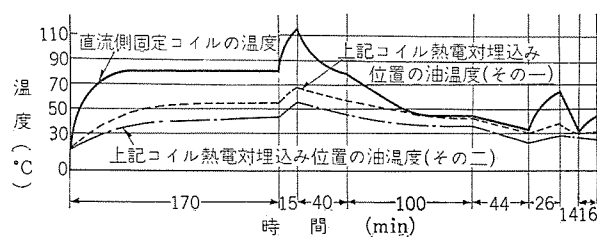


図 5.1 漏れリアクタンス 等価抵抗実測値

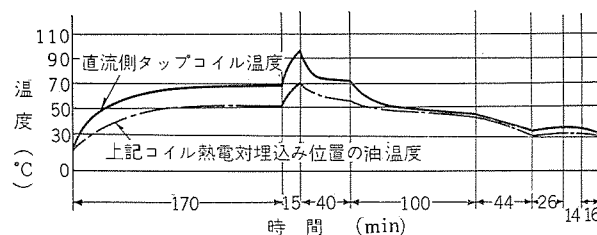
Fig. 5.1 Test data for leakage reactance and equivalent resistance.

表 5.2 温度上昇実測値 (1,810 kVA ベース)

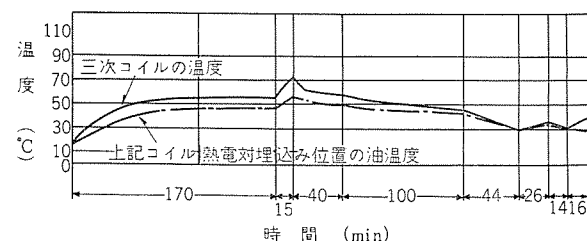
	油	交流巻線	直流巻線	三次巻線
油度上昇 (°C)	37.5	50.4	58.0	45.1



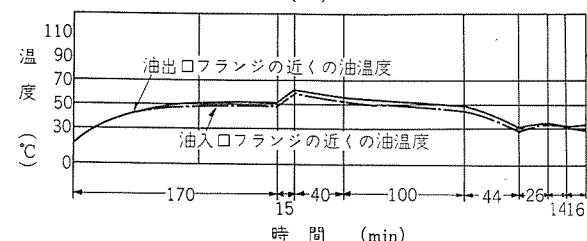
(a)



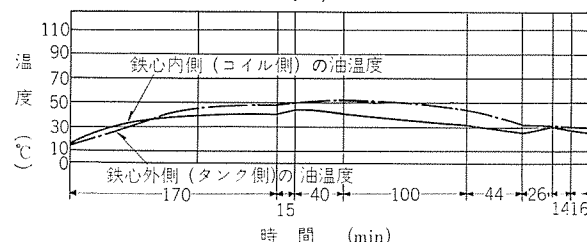
(b)



(c)



(d)



(e)

図 5.2 熱電対埋込による温度上昇曲線
Fig. 5.2 Heat rise curves as a result of measurement by the thermoelement.

表 5.3 熱電対埋込み時の試験条件

ノッチ番号		23	23	23			13		13
電 流 (A)	交 流 側	72.3	119	72.3	無	無	46.8	無	36.0
	直 流 側	720	1,180	720.0	負	負	768.0	負	528.0
	三 次	378	567	378.0	荷	荷	246.0	荷	378.0
油 ポンプ		運転	運転	運転	運転	運転	運転	運転	運転
送 風 機		運転	運転	運転	停止	運転	運転	運転	運転
時 間 (分)		170	15	40	100	44	26	14	16

また各 コイル、鉄心、油などの温度上昇の分布を調べるために 26 個所に熱電対を埋込んだ特殊試験を行なったが、その一部を図 5.2 に示す。

これを見ると温度上昇限度としてなおいくぶんの余裕があることがわかる。量産車用変圧器設計時には上記 データ を参考として電流密度、油 ガキ の寸法、コイル 配列などを考慮して一層の軽量化をはかる予定である。

6. む す び

以上、簡単に新幹線試作車用主変圧器の設計内容と試験結果について述べた。

設計目標の第 1 は軽量、小形ということであったが、この点最初の計画目標としては一応目的を果たしたものと考えている。しかしながら量産車用として、さらに軽量、小形化を考えている。すなわち、温度上昇に関する特殊試験 データ を基として電流密度、油 ガキ 寸法の変更により変圧器本体の設計をさらに切りつめうるものと考え計画之中である。この本体設計と並行して冷却器の高効率、軽量化ということであるが、このため当社研究所の風洞試験設備を利用して種々の実験を計画準備中である。

実際の交流キ電線には 20 数個所のデッド・セクションがあり、このデッド・セクション 通過ごとに突入電流を発生することになるが、この値をできるかぎり小さくするために試作車用変圧器の磁束密度は普通の場合の約 85% 程度としている。

また、起動時の加速度を 0.5 km/h/s 程度にするため、外部回路に付加的に抵抗あるいは限流リアクトルを使用することなく、直流巻線の接続を和差動接続することによって直流側電圧変動率を大きくするような設計を採用しているが、所期の目的を十分達することができるかどうかとも上記試験線路の現車試験で判明するものと考えている。

終りに試作車用変圧器製作の機会と、絶えず種々有益なご助言と便宜を与えていただいた前記臨車幹線局の方々に紙上を借りて厚くお礼を申し述べる。

また、協同設計会議の席上始終熱心にご討議いただいた日立、東芝の技術者の方々にも感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 南角・神谷：“三菱不燃性合成油 ダイクロール とそれを用いた変圧器および蓄電器”「三菱電機」30, No. 3, p. 12 (昭 29)
- (2) 相田：“北九州交直電車”「三菱電機」35, No. 3, p. 24 (昭 34)
- (3) 木村ほか：“変圧器の設計工作法” p. 64
- (4) 木村ほか：“変圧器の設計工作法” p. 71
- (5) 白井・大杉：“絶縁液体中の ガス の飽和溶解度と拡散”「三菱電機」33, No. 12, p. 116 (昭 32)

国鉄新幹線試作車用シリコン整流器

横 島 洋 志*

Silicon Rectifiers for Trial Cars on The New Trunk Line of The Japanese National Railways

Itami Works Hiroyuki YOKOHATA

Silicon rectifiers have come into wide use for power supply to AC electric cars since they were first taken up by the Japanese National Railways, Senzan line in 1958. In the planning of new Tōkaido trunk line, the foregoing result has been taken into account and AC electrification by the use of silicon rectifiers has been decided. The design of the equipment was thoroughly studied in cooperative meetings of electric machine manufacturers so as to combine their technical skills of worldwide reputation. Based on this unified specification, every maker has done its best to build a trial silicon rectifier car. This article describes the specification and the factory tests of Mitsubishi silicon rectifiers.

1. ま え が き

この数年の間に急激に進歩発展したシリコン整流器は、化学工業用や電鉄変電所用のみならず、昭和33年ごろから国鉄において計画され、仙山線において交直電車用として現地試験をしたのを始めとし、EF-30形交直電気機関車、EF-70形交流電気機関車、401系、421系交直電車などに採用され、実用されているように、いまや交直流車両、交流車両用として確固たる地位を築きあげた。

画期的な大工事である東海道新幹線工事の設置計画に際しても、慎重な検討の結果、上記のような実績も加味されて、電化方式は交流式とし、シリコン整流器を採用した整流器式交流電車が、東海道を超スピードで走ることになった。

計画に際しては、仕様を統一し、世界的にも誇りうる技術を盛りこむために、約8カ月にわたって、国鉄および試作品を担当する各メーカによる協同設計会議がもたれた。

このようにして製作された試作品は、37年1月には、種々の工場試験を完了して、車両に半装され、まもなく、試験線路において実用試験が始まろうとしているので、この際、このシリコン整流器の概要や工場試験結果などを述べ、関係各位のご批判を仰ぎたいと思う。

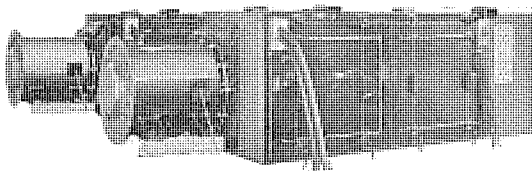


図 1.1 シリコン整流装置の外観
Fig. 1.1 Out side view of silicon rectifier.

2. シリコン整流器の仕様

シリコン整流器は、主変圧器などと同じく、2両の電動車に備えられた8台の主電動機に対し1組の割合で備けられ、単相全波の直流電力を供給するもので、その定格は、等価コウ配を所定の運転ダイヤで運行するのに必要なrms電流から連続容量を定め、最

大コウ配区間でいったん停車したのち起動する場合の起動電流より短時間容量を定めている。受電電圧は、定格の25kVに対して+20%、-10%の変動をする。

シリコン整流器の仕様の概要は下記のとおりである。

形 式: RS 904 形 (国鉄形名)
定 格 容 量: 1,500 kW
定格直流電圧: 1,660 V
定格直流電流: 900 A 連続
1,500 A 8 分間
定 格 周 波 数: 60 サイクル
外 気 温 度: 40°C
冷 却 方 式: 強制通風式
結 線 方 式: 単相全波ブリッジ結線
素 子 構 成: 12S×5P×4A

3. シリコン整流素子とその構成

3.1 シリコン整流素子の定格と特性

形 式: SR 200 F-20
定格ピーク逆耐電圧: 1,000 V
インパルス逆耐電圧: 1,200 V
最大平均順電流: 200 A
過負荷耐量: 3,000 A
1 サイクル
(半波波高値) 2,300 A
5 サイクル
1,700 A
15 サイクル
最高許容動作温度: 150°C

図 3.1 に SR 200 F-20 形シリコン整流素子の外観写真を示す。

車両用として用いるシリコン整流装置は、ひんばんな負荷の変動と機械的な振動に耐えねばならず、さらに外部からの異常電圧や開閉サージにさらされる機会も多い。

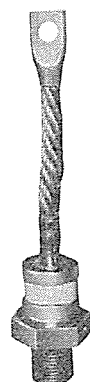
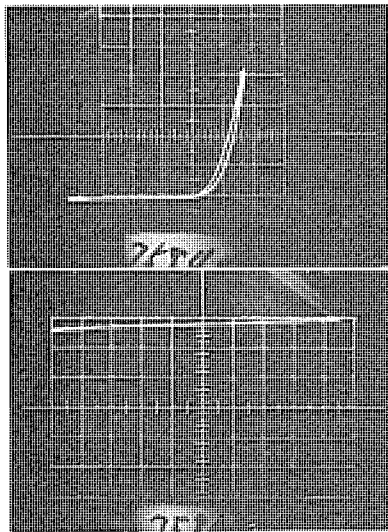


図 3.1 シリコン整流素子 (SR 200 F-20)
Fig. 3.1 Silicon diode.



X 軸 1 目盛 0.2 V
Y 軸 1 目盛 50 A
(a) 順特性曲線
(素子 No. 75843)

X 軸 1 目盛 100 V
Y 軸 1 目盛 10 mA
(b) 逆特性曲線
(素子 No. 75843)

図 3.2 SR 200 F-20 の代表的静特性
Fig. 3.2 Typical static characteristics SR 200 F-20 silicon diode.

このシリコン整流素子は、合金法で製作されており、いわゆるハーバード形構造を有しているため、負荷の変動によるヒートサイクルのくり返しには強く、信頼度は高い。

P-N 接合体は、銅 ケース に密封されているがその密封には、セラミックシールが採用されているので、懸念される鉄粉などの吸入に対しても安全性は大きい。

図 3.2 に、SR 200 F-20 の代表的な静特性を示す。

3.2 シリコン整流素子の構成

(1) シリコン整流素子の直列数はつぎの条件から定めた。

- 主変圧器の一次側に設けられたアレスタの制限電圧を 120 kV とし、その電圧が、変圧器二次側へ巻線比で移行してきた場合にも耐えること。
 - 受電電圧が 30 kV になったときに、整流回路に発生する逆電圧波高値以上の耐圧をもつこと。
 - a, b の条件は直列ストリングのうち 1 個が短絡破壊した条件でも満足すること。
- a. と b. を比較すると a. の方が苛酷であるので a. の条件に c. を加味して、5% の電圧分担不平衡率をとると直列数は、

$$120 \text{ kV} \times \frac{1}{10} \times 1.05 \times \frac{1}{1,200} + 1 = 11.5$$

となるので 12 S とした。この場合の 1 素子あたりの使用電圧ピーク値は、

$$2,435 \times \sqrt{2} \times \frac{30}{25} \times 1.1 \times \frac{1}{12} = 380 \text{ V}$$

1 素子が破損した場合でも 415 V である。

(2) シリコン整流素子の並列数はつぎの条件により定めた。

- 直流出力電流 900 A を連続通電したのち、引続いて無負荷 1 分間、1,500 A 8 分間、900 A 3 分間の負荷を加えた場合に、温度上昇が規定値以下であること。

b. 主電動機が直列 4 個ともすべて、セリ絡した場合の短絡電流に耐えること、ただしこの故障電流は

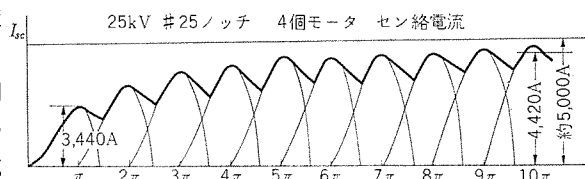


図 3.4 主電動機フラッシュオーバーによる事故電流
Fig. 3.4 Flash over current.

事故発生してから 5 サイクルで解放されるものとする。

c. シリコン整流素子の温度上昇は 70°C 以下であること。

各並列ストリング間の電流の不均衡を 15% 見込んだ場合、900 A 連続は 1 素子あたり $900 \times 1.15 \times \frac{1}{2 \times 5} = 103.5 \text{ A}$ となり、1,500 A 8 分間に対しては 1 素子あたり同様に計算して、172.5 A となる。

直流側での短絡事故としては、シリコン整流器すぐ出口の、母線間で金属短絡の生ずる場合と、主電動機がセリ絡する場合が考えられ、さらに整流回路中のいずれかのアームでシリコン整流素子が 1 ストリング全滅した場合には、変圧器の二次端子間を短絡するような事故電流が、健全なアームに流れることになる。しかしながら、母線間での金属短絡は、配線の誤り、保守の不注意以外には考えられず、また 1 アームが短絡するような内部短絡は、シリコン整流素子の構成およびその保護方式から考えてまず起こりえないものと考えてさしつかえない。それゆえ、サージ電流としては、主電動機のセリ絡のみをその対象とした。

短絡電流の計算にあたっては、図 3.3 に示した、回路および回路定数を用いた。その結果、直列 4 個の主電動機がすべてセリ絡した場合の短絡電流は No. 25 ノッチの際に最大となり、その電流値は、図 3.4 に示したようになる。

なお、直流出力側端子間で、金属短絡が発生すると、その発生した位相によって、短絡電流には式 (3.1) のように直流分を含むが、それが最大値をとる条件では、その波高値は近似的に式 (3.2) で示される。

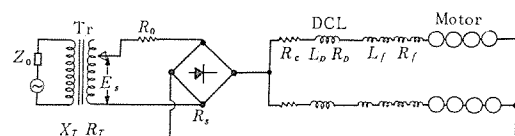
$$i_p = \frac{\sqrt{2} E}{Z} \left\{ \sin(\theta - \gamma) + \sin \gamma \cdot e^{-\frac{R}{X} \theta} \right\} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2}$$

$$\sin \gamma = \frac{X}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

$\sin \gamma$ は、ほぼ $\frac{\pi}{2}$ であるので最大電流は $\theta \approx \pi$ の際に発生する。

$$i_{pm} = \frac{\sqrt{2} E}{Z} (1 + e^{-\frac{R}{X} \pi}) \quad \dots \dots \dots (3.2)$$



DCL; $L_D = 19.5 \text{ mH} \rightarrow 3.5 \text{ mH}$ $R_D = \frac{8}{450} = 0.017 \Omega$
Motor field; $L_f = 1.085 \rightarrow 0.573 \text{ mH}$ $R_f = 0.0089 \Omega$
Silicon; $R_s = 0.001 \Omega$ (1 個)
Stray; $R_0 = 900 \text{ A}$ で 2 kW の loss $= 0.0025 \Omega$ $R_C = 150 \text{ mm}^2$ の電線 $80 \text{ m} = 0.0105 \Omega$
注: 主変圧器の各定数は変圧器の項を参照

図 3.3 主回路の回路定数
Fig. 3.3 Circuit constant of the main circuit.

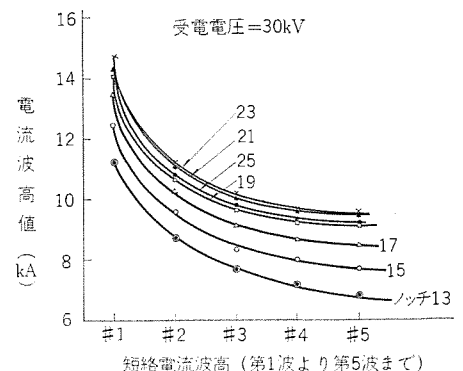


図 3.5 金属短絡電流波高値
Fig. 3.5 Short circuit current.

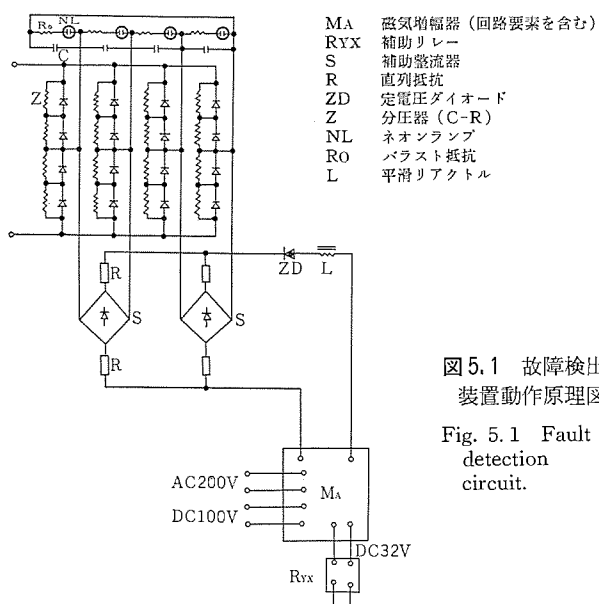
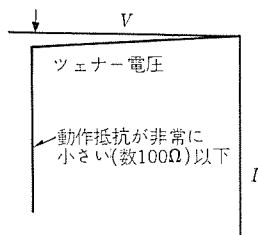


図 5.1 故障検出装置動作原理図

Fig. 5.1 Fault detection circuit.

図 5.2 定電圧ダイオードの特性

Fig. 5.2 Characteristics of zener diode.



で、流れる電流は非常に小さい値であるが、素子が1個短絡すると、整流器の入力電圧はそれにしだって大きくなるので、整流器の出力電流は増加し、磁気増幅器の入力巻線（制御巻線）に動作信号を与えることになる。

このように制御電流が流れるにしたがって、各素子分圧抵抗が電源インピーダンスとして動作し、整流器入力電圧は低下してくるので整流器の出力側には直列抵抗をそう入し、整流器入力電圧が、ネオンランプ放電電圧より低くなることを防止してある。

磁気増幅器制御巻線に定電圧ダイオードが用いられている理由は正常な場合でもわずかな制御電流があるため、電源電圧の変動などによる外乱のため誤動作をする恐れがあることも考えられるので、これらの小信号は、この定電圧ダイオードにより除去するためである。これを用いることにより磁気増幅器の動作は非常に安定する。

定電圧ダイオードとは図 5.2 のような特性のダイオードのことである。

磁気増幅器は自己飽和形で跳躍形の特徴をもっているため、その動作は非常に明確であり、誤動作の心配はない。しかしながら、そのキル回路電流、バイアス回路電流には微妙な設定が必要であるため、その可動調整抵抗は一度設定したあとはのりづけして固定し、容易に動かぬようにする。万一の調整が必要となすときは、入力電流を 2 mA としておき、キル抵抗、バイアス抵抗を調節してその動作点を求める。

磁気増幅器が動作するとその補助リレーが応動し、しかもその制御接点はずっと保持される。元にもどす際にはリセットコイルを付勢せねばならない。リレーの動作によりその故障をランプ表示する。

そのほか前述のように、各ストリングごとにその位置をネオンランプにより表示する。

5.2 温度保護装置

シリコン整流素子は、最高動作温度 150°C という限界をもつので、冷却風の出口にもっとも近い温度条件の悪いと考えられる放熱片に温度リレーを取付け、その温度がある規定値以上になった場合に動作させ、主電動機回路を開放する。この装置は冷却系の異常を検出するのが主目的であるので、送風機1台ごとに設ける。

5.3 タワミ風胴

シリコン整流器本体と、送風機を別個にして車体に吊掛けるので、その間をつなぐ風胴が必要となる。製作上の寸法誤差を見込んで、牛革製のタワミ風胴を採用しているので、風の漏れはほとんど考えられない。

6. 冷却装置と防じん装置

車両用で強制通風形の機器は、いままでの経験から防じんが非常にむづかしい。とくに新幹線の場合、最高速度が 250 km/h にもおよぶため列車速度の影響を十分に考えて、冷却系の設計にあたらねばならない。このような風流の問題は一般に解析が困難であるので、風胴試験が国鉄技術研究所の主催により実施された。

6.1 エリミネータ

エリミネータとは、防じん装置のことであり、ブレーキシューの鉄粉とか雪などが整流器内部に侵入しないように、風取入口の車体スカートに取付けるものである。

エリミネータに要求される性能としては防じん効果のほかに、そこにおける風圧—風速特性が列車の進行速度の影響を受けないものであること、また影響があったとしても変化が少なくしかも風圧降下の減少する方向であるものが好ましい。

このような観点から、エリミネータとしては縦形の格子を組合せた衝突形のものを採用した。これによると除じん防雪効果が大きいのでエアフィルタはほとんどなくてもよく、しかも走行することによる影響は非常に少ない。ただ欠点としては、風圧降下の絶対値が相当大きいのであるが、これも横形のヨロイ戸に比較すれば、後者が風圧降下の大きいフィルタを組合せて除じんをはからねばならないので大きい欠点とはならない。

図 6.1、図 6.2 に風胴試験の結果を示す。

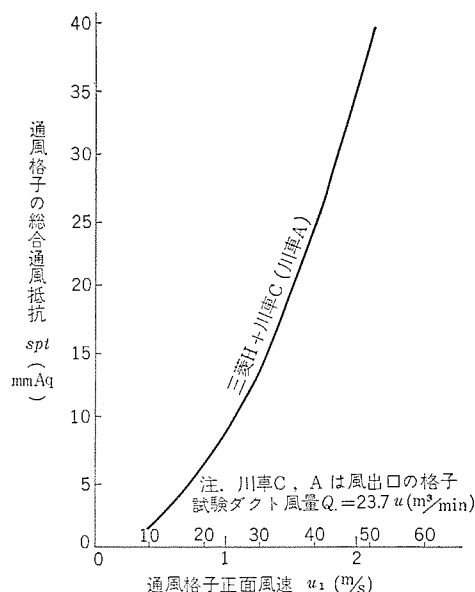


図 6.1 通風格子の圧力損失

Fig. 6.1 Head losses of eliminator.

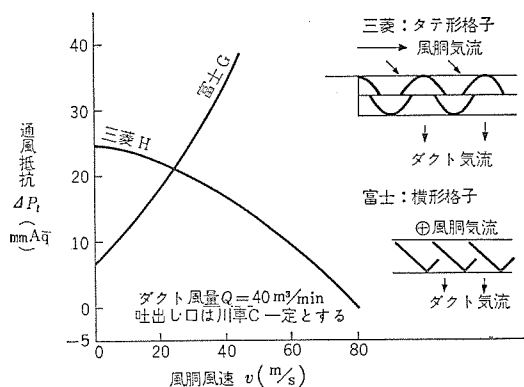


図 6.2 吸込口通風格子による通風抵抗の相違
Fig. 6.2 Characteristics of eliminator.

6.2 電動送風機

冷却系全体としての風圧—風量特性から電動送風機の仕様が決定されたが、この送風機の性能は、量産に入った場合の集中生産を考慮して試作担当 メーカー 各社のものと互換性をもつことという仕様が与えられた。

表 6.1 に各社の要求性能を示す。

電動送風機の仕様の概略はつぎのとおりである。

a. 送風機

定格風量	55 m³/min
定格静風圧	50 mmAq
回転数	1,770 rpm
形式	2 段軸流形

b. 電動機

形式	全閉形单相誘導電動機
起動方式	コンデンサ 永久接続
出力	1.5 kW
電圧	220 V
極数	4 P
周波数	60 サイクル

表 6.1 各社の要求する送風機の性能

特性値	要求元	日立	東芝	富士	三菱
風 圧 (mmAq)		60	45	50	50
風 量 (m³/min)		40	55	45	55

(注) ただし日立のものについてはプロペラは取換えてもよい

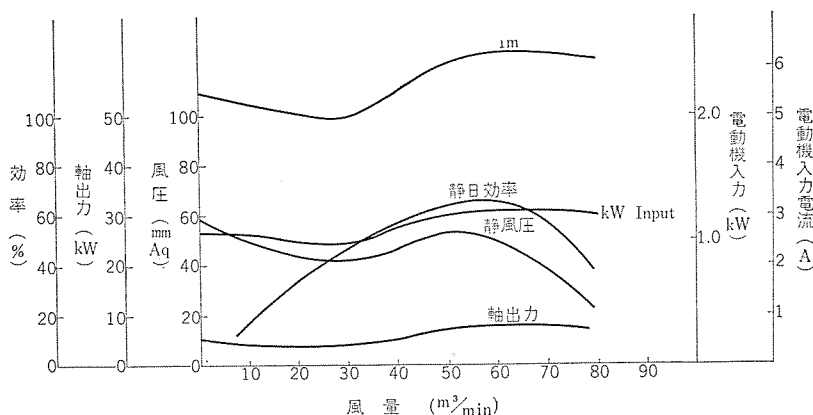


図 6.3 電動送風機特性曲線
Fig. 6.3 Characteristic curve of fan.

図 6.3 に電動送風機特性を示す。

7. 工場試験とその結果

工場試験は シリコン 整流素子の単独試験、整流装置試験、各機器組合せ試験に分けて実施されたが、ここには前 2 者についてその概要を示す。組合せ試験については別項に述べられているのでここには省略する。

7.1 シリコン整流素子の試験

シリコン 整流素子の試験としては、全数について試験する順方向特性試験、逆耐電圧試験をはじめとして、衝撃電圧試験、順特性曲線の測定、逆特性曲線の測定、過負荷耐量試験などの形式試験のほか、実際の使用状態を模擬した責務における各種の特殊試験、車両用として、ひんぱんな負荷変動にさらされるために生ずる、機械的（構成材料の）破壊の有無を確認するための寿命試験などがある。このうち寿命試験については、いまなお継続試験中である。

(1) 形式試験

図 3.2 に示した特性曲線は、この試験の順特性曲線の測定、逆特性曲線の測定により得られたものである。

衝撃電圧試験は、抜取り試料 11 本について実施され、試験前後の静特性に変化のないことを確認した。図 7.1 は、試験結果の一例を示す。

過負荷耐量試験は、上記 11 本のうち 2 本について、上の試験を終了後に、2,300 A 5 サイクルを通电して異常のないことを確認した。図 7.2 にその一例を示す。

(2) 特殊試験

- 定格電流試験および起動電流試験の結果、冷却系の熱時定数は約 2 分であった。
- 寿命試験はつぎの 3 項に分けて行なうが現在終了したものはそのうちの第 1 項のみである。
 - ノッチ 移動模擬寿命試験；30 万 サイクル

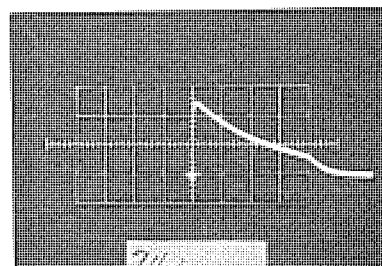


図 7.1 衝撃電圧試験
(素子 No. 742485)

Fig. 7.1 Impulse voltage test of silicon diode.

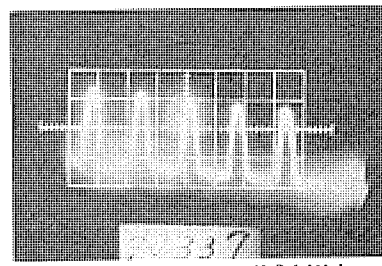


図 7.2 過電流試験
(素子 No. 74337)

Fig. 7.2 Over current test of silicon diode.

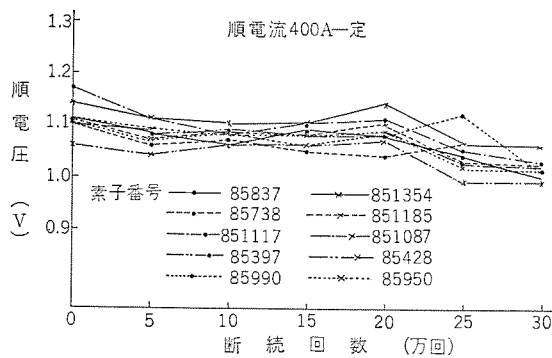


図 7.3 順方向特性の変化

Fig. 7.3 Forward characteristics at life tests.

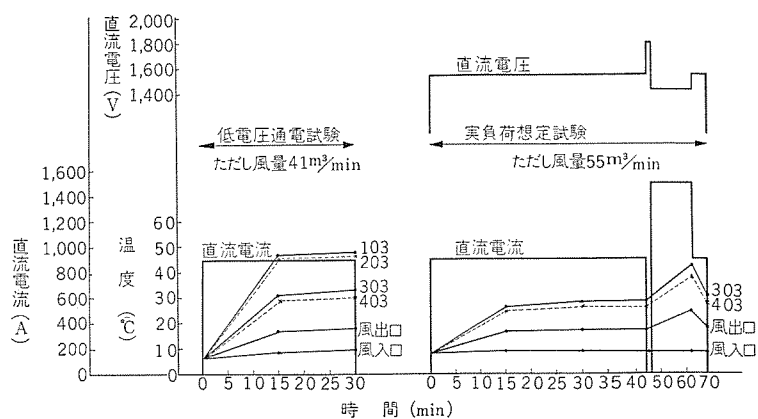


図 7.4 温度上昇試験と実負荷想定試験

Fig. 7.4 Temperature rise of silicon diode.

2. 走行模擬寿命試験; 7 万 サイクル

3. セクション 通過模擬寿命試験; 10 万 サイクル

図 7.3 に、ノッチ 移動模擬寿命試験における順方向特性の変化を示す。測定は 5 万 サイクル ごとに行なった。結果は良好で異常は認められない。なお、2 項、3 項の試験は、今年 10 月ごろまでに全部終了する予定である。

7.2 整流装置試験

シリコン 整流装置の試験としては、耐圧試験、温度上昇試験、実負荷想定試験、特殊温度上昇試験、保護装置動作試験などの、形式試験、電圧、電流、温度上昇の分布状態の調査など万全の試験を実施した。

(1) 耐圧試験 (商用周波数)

主回路電位充電部一大地	6,000 V 1 分間
補助回路電位部一大地	1,500 V 1 分間
交流端子間	7,400 V 10 秒間

(2) 温度上昇試験および実負荷想定試験

冷却風量を定格の 55 m³/min とした場合の実負荷想定試験、および風量を定格の 75% とした場合の低電圧通電試験の温度上昇を図 7.4 に示す。

(3) 特殊温度上昇試験

実際の使用状態においては、エリミネータ、フィルタ などのよごれ、列車の走行速度などにより、風量に変化する。その際の温度上昇を調査するのがこの試験の目的である。図 7.5 にその結果を示す。

(4) 電圧、電流、温度上昇の分布

すべての素子についての分圧状態を測定したところ、ほぼ ±5% 以内であった。

5 個の並列素子について、電流、温度上昇上の平衡度を調査した。この結果、その バラツキ はほぼ ±10% 以下であった。

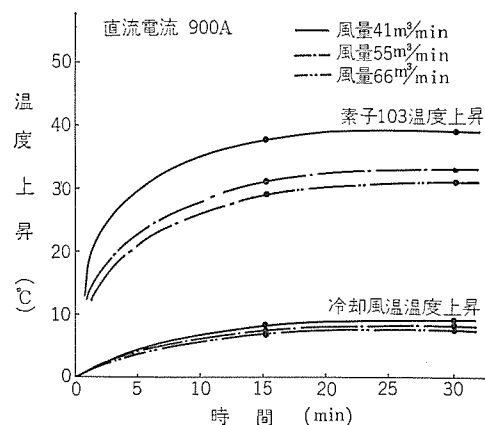


図 7.5 特殊温度上昇試験

Fig. 7.5 Temperature rise of silicon diode at various cooling conditions.

8. む す び

交流電化区間が増加するにつれて、交流または交直車両が多く製作され、主としてシリコン 整流器を採用した整流器式となっている。いままで、すでに相当の実績があるとはいえ、まもなく実施される試験線路での実用試験は、世界的にも大きい関心の的となっている。今回製作のシリコン 整流器も、他の機器と同様に、関係各方面の期待にそえるものと信ずる。

車両用としては、とくに信頼度の高いものが要求されるので、今後ともその寿命についてはさらに検討が必要であらう。当社としても一層の研究を重ね、業界に誇りうるものを製作するつもりである。

本稿を終えるにあたり、関係各方面の方々に厚くお礼を申し上げる次第である。

国鉄新幹線試作車用自動運転装置

小原 太郎*・北岡 隆*

Automatic Train Control Equipment for Trial Cars in J.N.R. New Trunk Line

Itami Works

Tarō OHARA・Takashi KITAOKA

The J.N.R. new Tōkaidō trunk line is expected to have commercial operation commenced in 1964. Electric cars running on it have many epochal features in both their performance and construction aside from such a high speed as 200 km/h, for which the world is watching with keen interest. Before going into production of new cars in quantities, trial cars are now undergoing through tests. Of a variety of novel equipment, A.T.C. (Automatic Train Control) and P.T.O. (Program Train Operation) call for particular design so as to secure absolute safety and accurate train schedule in the outstanding high speed. This report deals with the details of these facilities.

1. ま え が き

東京—大阪間、約 500 km を 3 時間でむすぶ国鉄東海道新幹線は、将来の輸送量増大に伴う現在線の行きづまりを解決するため新たに設けられるものであるが、これらの目的から考えて電車は世界でも初めてという高速性能を誇り、数多くの画期的な特長を有している。

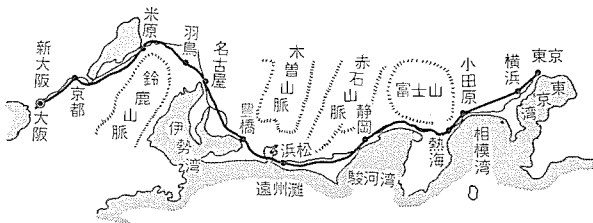


図 1.1 東海道新幹線概略図 (太線)
Fig. 1.1 Map of new Tōkaidō Line.

すなわち、最大運転速度 200 km/h (55.5 m/sec) という高速であるにもかかわらず、将来の運転時分間隔は極端に切りつめられることが予想されるので電車運転の安全性を確保するため、最新の電子工学と巧妙な制御技術を盛りこんだ A.T.C. 装置 (Automatic Train Control Apparatus) が装備されているほか、定時運転を主目的とする自動運転装置の試作も行なわれている。

さいわい、当社はすでに A.T.C. や A.T.O. (Automatic Train Operation) そして A.T.S. (Automatic Train Stop) の製作実績を有するが今回とくに、国鉄新幹線当局のご指導を得て連続誘導式地上信号と連動した A.T.C. を製作・納入したほか、出発から停止までを完全に自動化したプログラムによる自動運転装置 (Program Train Operating Apparatus 略 P.T.O.) を試作した。前者については、詳細な現車試験が小田原付近のモデル線区で行なわれる。後者については工場において等価試験中で近くモデル線区における現車試験が予定されている。以下、これらの装置の内容について記し、大方のご批判をあおぎたいと思う。

2. 電車制御方式

さきに述べたように、新幹線用電車は絶対的な安全性を確保す

るため A.T.C. が装備され、また、P.T.O. の現車試験も予定されているが電車の制御装置としては、これに適合する性能や作用を有していなければならない。

したがって、電車の設計に際してはこれらの諸点を十分留意し、両者がそれぞれ有機的に結合し完全な機能を発揮するよう回路の構成をはかり、コンパクトに製作されている。

まず、電車の制御としては従来の車と同じように、力行運転(つまりあい運転を含む)、惰行運転、ブレーキ運転の 3 種類があるが、これらの制御内容については従来といささか趣を異にしている。

2.1 力行運転

力行運転時の加速度は限流制御装置の支配により、全速度域において 1 km/h/s で、最高速度は 200 km/h であるが、試作車については弱界磁を用いて 250 km/h まで増速できるようになっている。

この主回路ツナギは図 2.1 のとおりで 4 個直列の主電動機群を 2 組並列接続したものを 1 ユニットとし、1 個の主幹制御器で全編成の各ユニットを制御できるようになっている。主幹制御器には、逆転ハンドルのほか、主およびパーニアハンドルを有し、主ハンドルで 25 ノッチのうちの 9 ノッチを、パーニアハンドルでそれ以外のすべてのノッチを選択しうるようになっている。

このようにすることによって、自動運転を行なう場合に必要ないつあいノッチを多く選択できるようにして、タップ切換器などの制御ひん度を軽減し動作の安定化をはかってある。

また A.T.C. 用としての速度発電機を活用して、70, 110, 160 km/h の速度継電器を作用させそれらの速度域に応じて惰行時にブレーキ制御器の 1 ノッチ位置を選択している。

これは、いわゆるオフ・スポットングと称される方式で力行運転から主幹制御器をオフ位置にした時、ブレーキ回路への転換時間を短くして発電ブレーキ電流の立上がりを早くするとともに制御系に含まれるむだ時間を少なくし系の時定数を小さくしてある。

一方、制御回路の個々についても、たとえば従来のカム軸式接触器電動機用短絡継電器は制御極付シリコン整流器あるいはトランジスタなどで無接点化をはかることにより、保守点検を容易にするほか、制御の応答度を向上してある。

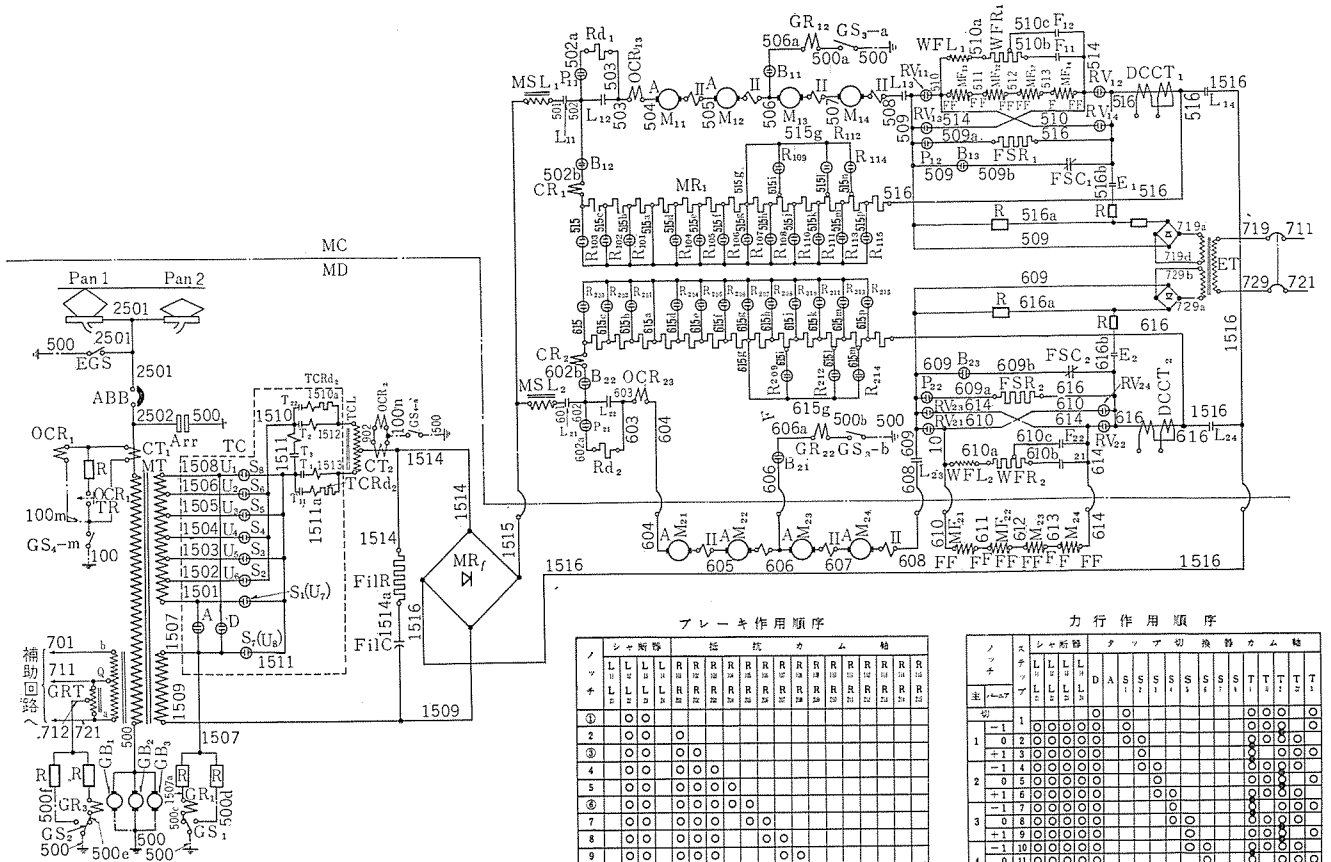


図 2.1 主回路 ツナギ
Fig. 2.1 Main circuit connection diagram.

2.2 惰行運転

力行 オフあるいは ブレーキオフ の場合の運転状態でい
ずれの場合も前述のように スポットング 回路を構成して
いる。なお、この スポットング では回路構成のみで他に
見られるような弱い ブレーキ 電流は流していない。

2.3 ブレーキ運転

高速運転を行なうだけ ブレーキ 性能に課される使命は重大であ
るが、まず ブレーキ 指令としてはつぎのとおりである。

- 運転手の ブレーキ 弁扱いによる場合。
- A.T.C. (または P.T.O.) による場合。
- 緊急非常扱いまたは列車分離の場合。

一方、これらの ブレーキ 指令に対し適用される ブレーキ の種類は、

- 50 km/h 以上の高速では発電 ブレーキ を
- 50 km/h 以下では空気圧制御油圧式 ディスクブレーキ (以下単
に ディスクブレーキ という) が作用するようになっている。

いずれの場合も発電 ブレーキ が消滅すれば同等の ディスクブレーキ力
がただちに作用することになっている。

これらのブレーキ には、常用、非常および緊急 ブレーキ の 3 種類が
あり、緊急ブレーキ は緊急扱いおよび列車分離などの場合適用され、
前 2 者は ブレーキ 弁あるいは A.T.C. により、それぞれ指令される。

減速度は速度継電器の支配によりつぎのような値に セット され
ており粘着力を十分利用し、かつ滑走などの不測の事故を防止す
るよう配慮されている。

速度 (km/h)	ブレーキ減速度 (km/h/s)		
	常 用	非 常	緊 急
250~160	1.4	2.0	2.6
160~110	1.84	2.64	
110~ 0	2.50	3.58	

ブレーキ作用順序

ノ マ	シャ断 タ	近 タ	保 タ	カ タ	ム タ	軸 タ
1	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○
13	○	○	○	○	○	○
14	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○
18	○	○	○	○	○	○
19	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○

○印はスポットティング位置を示す

力行作用順序

ノ マ	シャ断 タ	近 タ	保 タ	カ タ	ム タ	軸 タ
1	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○
13	○	○	○	○	○	○
14	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○
18	○	○	○	○	○	○
19	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○

●印はノッチ移行時のみ一度シャ断することを
意味する

(1) 発電ブレーキ

発電ブレーキ 回路は、図 2.1 に示すように 4 個直列接続の主電
動機を 1 群とした自動式発電ブレーキ 回路で、さきに述べたように
スポットングを行なうほか、ブレーキ 指令が出た時は界磁の予備励磁を
行ないブレーキ 電流が遅滞なく立上るようになっている。発電ブ
レーキ が消滅した時は電流継電器により締切電磁弁を開いて、ディ
スクブレーキ がただちに作用するようになっている。

(2) ディスクブレーキ

油圧式 ディスクブレーキ は、空気圧に比例した油圧を プースタ を介し
て発生し、これを油圧シリンダに作用することによって所定のディ
スクブレーキ 力を得る方式である。各車には元空気 ダメ 管と直通空気
管が引通してあり、後者をブレーキ 弁あるいは A.T.C. により電空
制御器を介して電磁弁で制御することによって、ディスクブレーキ 力
が加減できるようになっている。

図 2.2 にディスクブレーキ 系統図を示してある。

(3) 緊急ブレーキ

以上のようなブレーキ 方式では従来のように制御ブレーキ 管を引
通していないので、たとえば直通管圧力が上昇不能のような場合
(ただし 50 km/h 以上では発電ブレーキ も故障の時) とか、列車分
離のような不測の事故が発生したり、あるいは乗務員が緊急扱い
を行なった場合など、自動的に、しかも直通管圧力いかににか
わらず緊急ブレーキ を作用させるようになっている。この緊急ブ
レーキ の系統は図 2.3 のとおりである。

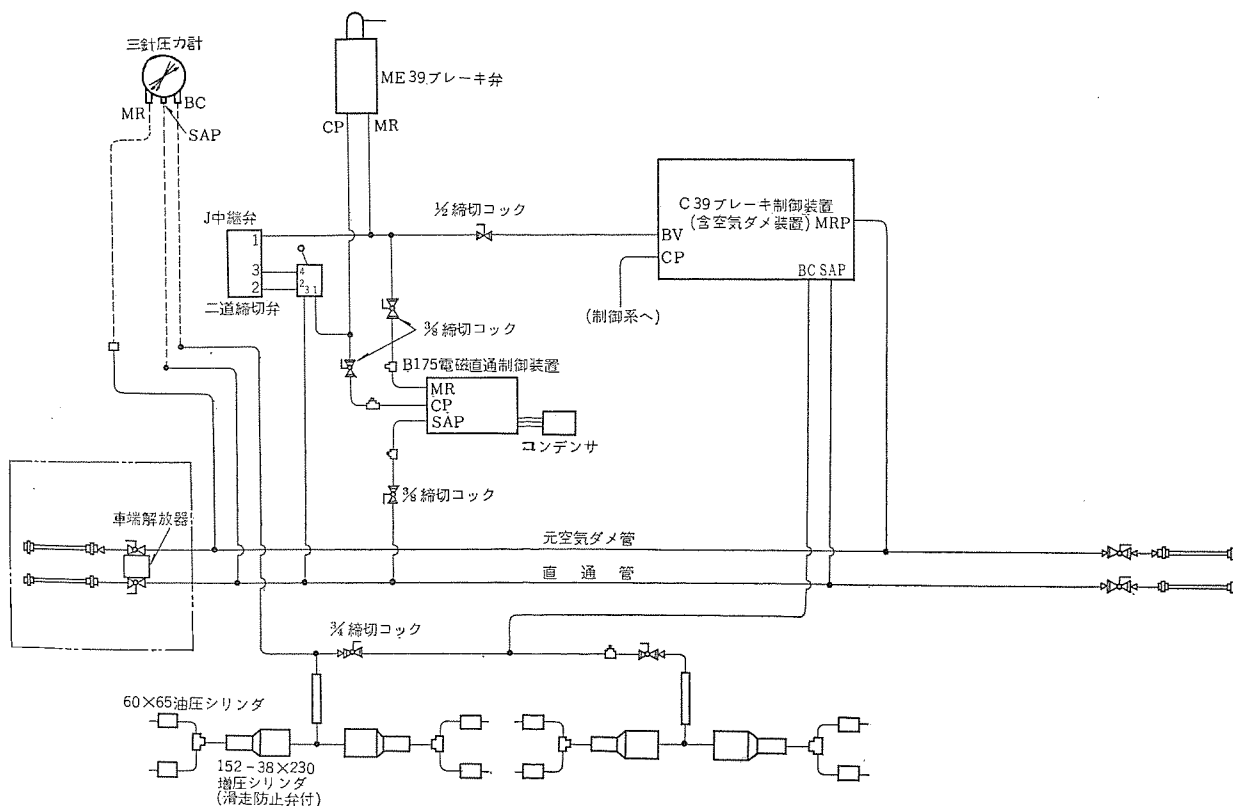


図 2.2 ディスクブレーキ 系統図
Fig. 2.2 Disk brake system diagram.

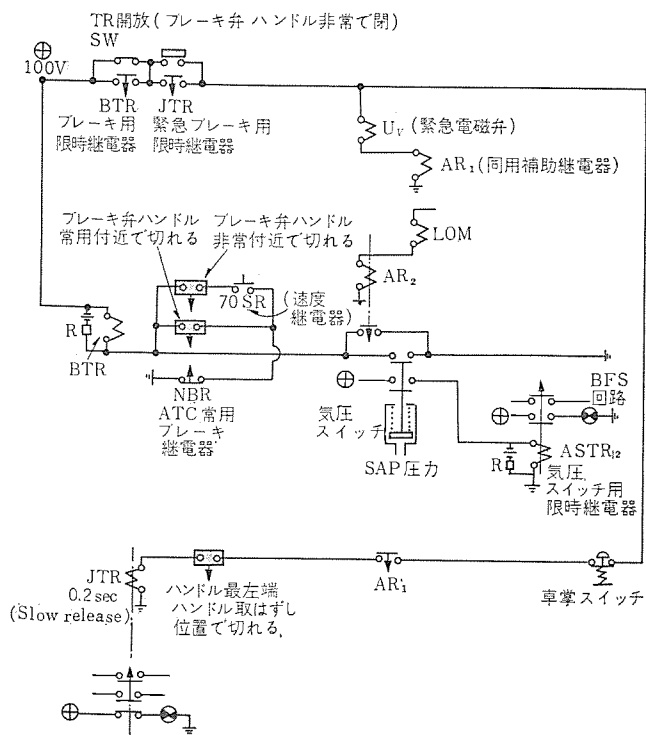


図 2.3 緊急 ブレーキ 回路系統図
Fig. 2.3 Wiring diagram of emergency brake circuit.

3. A.T.C. 装置

3.1 一般

前にも述べたように新幹線用電車は超高速で走行するので、従来のような勘にたよった運転では安全な運転が期待できない。

これは 200 km/h という高速では、秒速に換算すると約 56 m/



図 3.1 A.T.C. 装置外観
Fig. 3.1 Exterior view of A.T.C.

sec となり、猛台風の風速以上であることを考えればわかることである。新幹線では踏切がないので、踏切での事故はないかわりに、高速のために ブレーキ 距離が非常に長くなる。したがって、車両が多量に運転され運転間隔がせばまってくると、追突の危険性が増すとともに、駅に停車する際も合理的に ブレーキ を作用させないと暴走したりまたいたずらに ブレーキ 距離が長くなって平均走行時間が長くなるおそれがある。

A.T.C. はこれらのことを解決するため装備されたのであって、その目的は、

- ・地上信号に連動して、自動的に速度制御し追突を防止する。
- ・駅に確実に停車できるよう、地上信号の指令にしたがって減速する。

地上の信号機は超高速運転になると確認することが困難であるため廃止して、そのかわりに地上より誘導受電した信号により運

転室に信号灯をつける Cab signal 方式を採用している。

機器は従来の車両用のものとまったく異なり弱電的要素の強いものであって、とくに トランジスタ を多量に使用しているから、周囲条件の影響を受けやすいので、運転室内に置き、温・湿度調整装置によって 10~20°C にしている。一方機器自体も車両搭載用としてとくに考慮をはらい耐振性を大にするとともに、回路上も、fail safe となるよう配慮されている。

3.2 仕様

新幹線試作電車は量産に入る前に十分な試験をしてその性能を調べるのが目的であるため、機器も試作的要素が盛りこまれている。

(1) 信号関係

形 式	電源同期 SSB 式 (連続誘導式)
信号種類	制限速度 210 km/h, 160 km/h, 110 km/h, 70 km/h, 30 km/h, 停止無閉そく
搬送周波数	上り線用 720 および 900 c/s 下り " 840 および 1,020 c/s
変調周波数	10, 15, 22, 29, 36 c/s
停止用信号	上り線用 840 c/s 下り " 900 c/s
電 源	バッテリー DC 100 V を入力とする インバータ 出力 AC 100 V 60 c/s

(2) 制御装置関係

a. 速度発電機 誘導子形速度発電機

b. 速度照査器

照 査 速 度	250, 210, 160, 110, 70, 30, 5 km/h
形 式	トリプル チャネル 式および マルチ チャネル 式
照 査 精 度	2% 以下
電 源	インバータ 出力 AC 100 V 60 c/s

c. 論理継電装置

形 式	無接点 リレー 式
制 御	常用, 非常 ブレーキ
電 源	インバータ 出力 AC 100 V 60 c/s バッテリー 出力 DC 100 V

d. 速度計

形 式	横行指示線式速度計
補 償 器	可飽和 トランス による周波数基準式

3.3 構成および機器詳細

A.T.C. 装置は大きく分けると地上より信号を送り出す送信器関係と、車上でこの信号を受信する受信器および速度照査器、論理継電装置などから成る車上制御装置および付属装置をもって構成されている。ここではおもに車上制御装置について述べる。

(1) 構成

大略の構成を図 3.2 のブロック図に示す。

まず地上からの信号はレールを介して車上の受電器に誘導され、この信号電流を受信器で弁別して論理継電装置へ速度制限信号を伝える。信号の種類は、210, 160, 110, 70, 30 km/h の制限信号および絶対停止信号であるがこのほか無閉そく区間では無閉そく信号 (30-2) が与えられる。一方、速度を制限するためには速度を検出する必要があるが、これはつぎのようにして行なわれる。すなわち、駆動装置の歯車箱に取付けられた誘導子形速度発電機より速度照査器へ速度に比例した周波数の出力が与えられると、速度照査器では、30, 70, 110, 160, 210 (250) km/h および 5 km/h

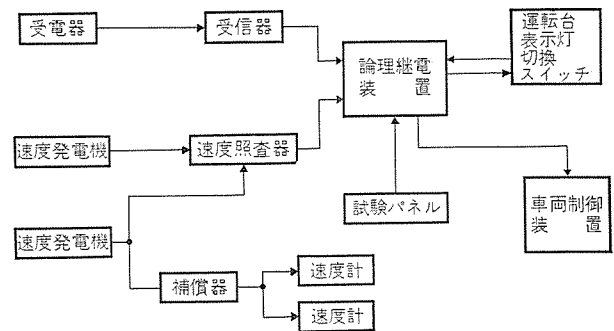


図 3.2 A.T.C. ブロック構成図

Fig. 3.2 Block diagram of A.T.C. composition.

の速度を検出する。この出力が論理継電装置に伝えられ、論理回路で信号の種類と速度によって、惰行 (力行)、全 ブレーキ、非常 ブレーキの選別を行なうと同時に速度域によって、減速度切換指令をブレーキ 制御装置に与えるようになっている。一方速度計は、別の誘導子形速度発電機より補償器を経て、周波数基準の出力に変換されて与えられた正確な速度指示をする。速度計は常用および予備の 2 台が並列接続されており、万一、片方が断線した場合には予備器が引出せるようになっている。これらの受信器、速度照査器、論理継電装置のほか信号表示灯、速度表示灯、その他の表示灯および試験 プラフ などのついた試験 パネル が一つの箱にまとめられ運転台のすぐ後ろに設置されている。速度計、各種の表示灯すなわち常用 ブレーキ、非常 ブレーキ、A.T.C. 開放表示灯などのほか、自動、手動切換 スイッチ など運転上直接必要なものは運転台のパネルに取付けられている。また各速度 リレー、常用・非常 ブレーキリレー、などのパワーリレーは運転台前部の リレー 板に取付けられている。

(2) 信号関係装置

交流電化区間での信号は SN 比の関係より、非常に難しい問題を含んでいるが、国鉄での長期にわたる実験の結果、電源同期式 SSB 方式が採用されている。この SSB 方式は、SN 比の点でとくにすぐれており、さきに行なわれた北陸線での現車試験結果も満足すべきものであった。新幹線用は電源同期式で、パイロット 電源は主変圧器の三次巻線より取出すが、ABB 開放時は架線電圧を アンテナ により静電誘導で取出してこれを増幅使用する。受信器は万一の場合を考慮して 2 組おき、故障の場合は自動的に切換わるようになっている。この受信器では、受電器で受けた信号電流を復調弁別し、各信号に応じて、絶対停止を含めた 7 種類の速度指令リレー VnR の リレー 接点出力として論理継電装置に伝える。

(3) 速度発電機

A.T.C. 装置のうち もっとも苛酷な使用条件のものは速度発電機である。これは速度を検出するため電車の回転部分に直結されるからであって、振動、ホコリ、雨水などに対する十分な考慮が必要である。これらの点を考慮して車軸発電機式回転機を使用せず、駆動装置の大歯車を誘導子として利用した誘導子形速度発電機を使用した。これは発電機部分は永久磁石と コイル のみで完全な静止器であり、故障の確率は他方式に比べきわめて小さい。この発電機は同じものを照査器用と速度計用計 2 台が使用されている。大歯車の歯数は 63 枚、車輪径 910 mm であるので、200 km/h の速度では約 1.2 kc の出力周波数が得られる。

(4) 速度照査器

速度照査器は列車速度を検出照査する装置であり、重要な役割

を果すので当社では2方式すなわち、完全無接点式マルチチャンネル方式と少数個のリレーを使用し、トランジスタ回路の簡略化をはかったトリプルチャンネル方式を開発したが、今回は後者について詳述する。図3.3は照査器の外観、図3.4はブロックダイヤグラムを示す。

a. 速度照査

このトリプルチャンネル方式では、列車速度を検出し、基準電圧回路と比較して上昇用または下降用比較器によりリレーを切換え、速度と見合った速度帯域を照査する方法をとっている。すなわち、照査器用速度発電機出力を低速検出兼パルス成形回路に入れて波高値が一定で速度と比例した周波数の方形波に変換する。これを周波数—直流電圧変換回路に入れて速度に比例した直流電圧に変換する。この速度電圧とパターン電圧とを比較し、パターン電圧より速度電圧が小であれば下降用比較器が、またその逆であれば上昇用比較器が動作してパターン切換用リレーが駆動される。このリレーの接点はパターン用分圧抵抗にそれぞれ接続されているが、上昇用パターンと下降用パターンはそれぞれ速度値が一段ずらしてあるので、たとえば130 km/hの速度であれば上昇用パターンは160 km/h、下降用パターンは110 km/hの分圧点に接続されて安定するわけである。なおfail safeを期するために上昇用比較器は出力0で上昇作用を行ない、下降用比較器は出力1で下降動作を行なうようになっているほか、リレーも落下側が高速指示となるよう考慮されている。

b. 故障検出回路

この照査器の方式をトリプルチャンネル方式と称したのは、上記上昇用・下降用比較回路のなかにこの故障検出用比較回路を備えていることによる。速度照査のためにかなり多数のトランジスタを有し

ているので、万一故障が起ったばあいにはfail safeとなるよう考慮されているが、100%のfail safeは非常に困難であるので、万全を期すため故障検出回路をつけてある。この故障検出の方法は、速度照査回路のどの部分が不具合になっても完全に検出できる方法であって、パルス成形回路の出力を故障検出回路用周波数—直流電圧変換回路を経て、上昇用パターンと比較するようになっている。したがって、速度照査回路が不具合でリレーの動作が実際の速度域と見合ってなければただちに検出できるわけである。このほか、万一、速度発電機の断線、パルス成形回路が不具合になった場合には速度計用発電機の出力と比較して検出できるようになっている。

なお、速度照査器は2組取付けられ、一方が故障のばあいは他方にただちに切換えられるようになっている。

(5) 論理継電装置

論理継電装置は信号と速度照査出力とによって、常用・非常ブレーキを選択するほか、速度域によって減速度切換指示を行なう。この動作は表3.1に示すように原則として信号による制限速度と車速とが1段階異なる場合は常用、2段階以上異なる場合は非常ブレーキを指令する。一般には信号制限速度以下に減速した場合にはブレーキが緩解するようになっているが30-1、30-2信号を受けている場合は停止確認操作を必要とする。なお、信号非設備区間では自動入換スイッチを入換側に倒せば30 km/h以下で走行できるようになっているほか、開放スイッチによってA.T.C.開放運転も可能である。

論理継電装置は複雑な論理演算をするため、信頼度向上の目的で無接点リレー、サイバックおよび磁気増幅器を使用して無接点化している。また、回路上もfail safeについて細心の考慮をはらっているほか、継電時間もきわめて小である。

(6) 速度計

速度計は新幹線用としてとくに設計された豪華なものである。

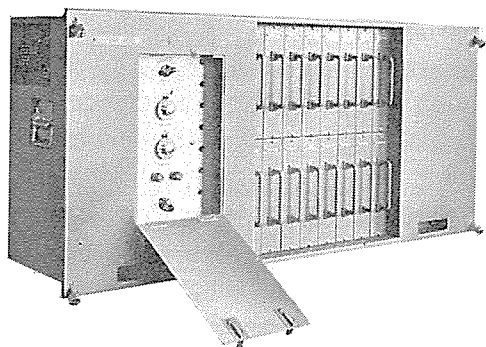


図 3.3 速度照査器外観

Fig. 3.3 Exterior view of speed checking device.

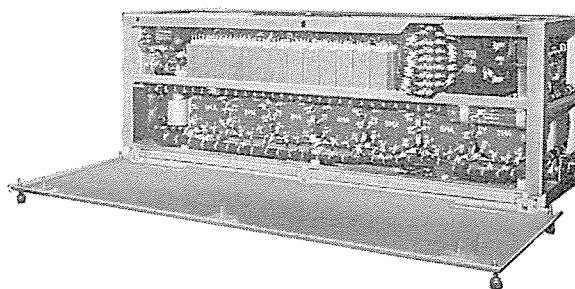


図 3.5 論理継電装置外観

Fig. 3.5 Exterior view of logic relay.

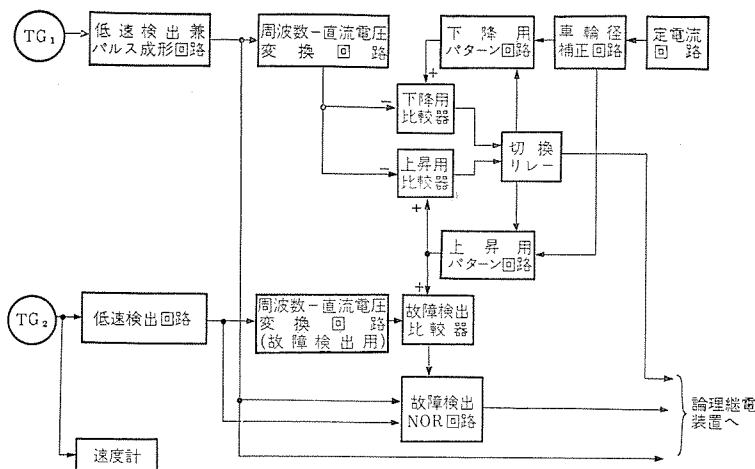


図 3.4 速度照査回路ブロック構成図

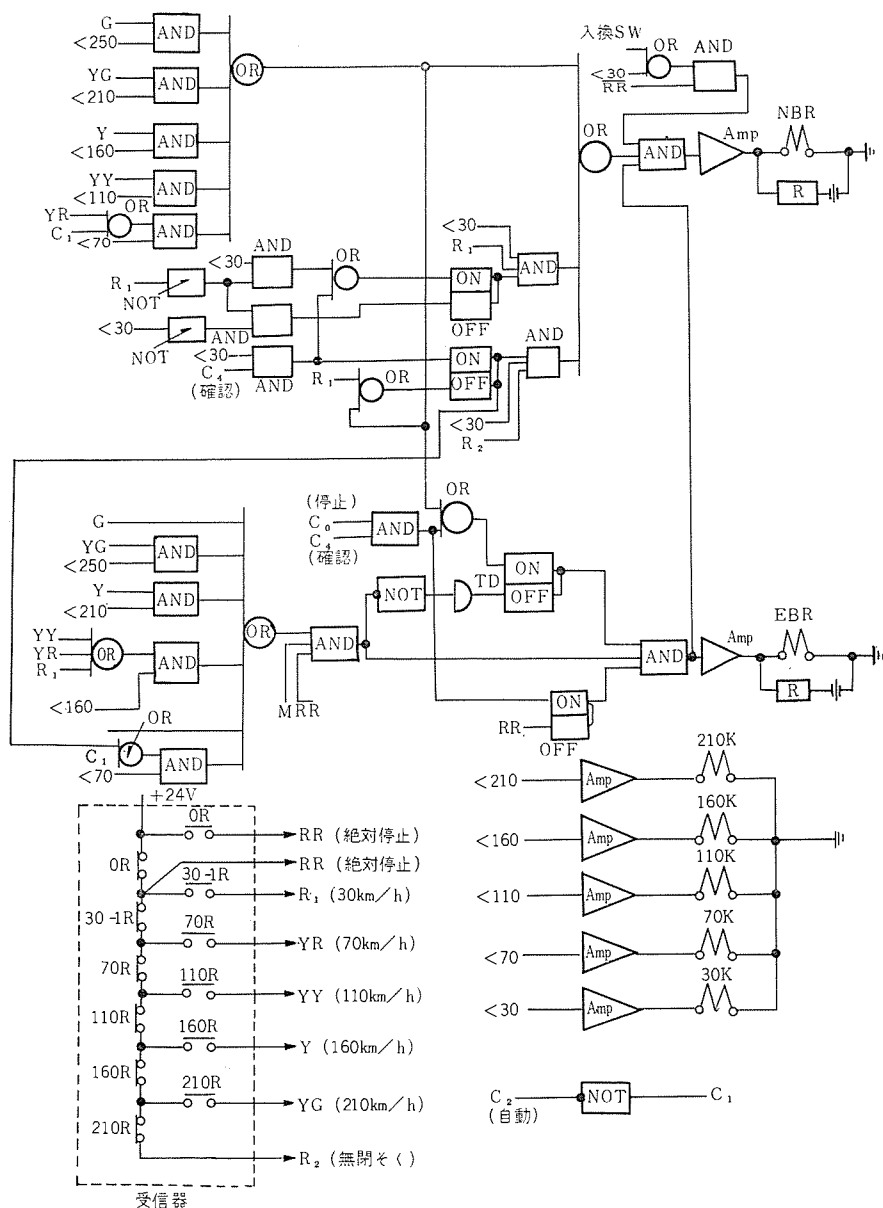
Fig. 3.4 Block diagram of speed checking device composition.

表 3.1 A.T.C. 動作表

信号 (km/h)	210	160	110	70	30-1	30-2	停止
列車速度							
250 km/h 以上	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
250~210 km/h	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
210~160 "		○	◎	◎	◎	◎	◎
160~110 "			○	○	◎	◎	◎
110~70 "				○	◎	◎	◎
70~30 "					○	◎	◎
30 km/h 以下						○	◎

◎非常ブレーキ

○常用ブレーキ



NBR, EBR, 210 k, 160 k, 110 k, 70 k, 30 k のリレーは外部配電板に付属する

図 3.6 論理継電回路 ツナギ

Fig. 3.6 Connection diagram of logic relay circuit.

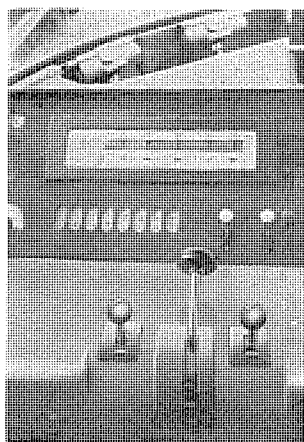


図 3.7 運転室前部

Fig. 3.7 Front of operators cabinet.

速度指示は赤い棒状指示線が伸びるようになっており、非常に見やすくなっている。また、速度照査器出力によって速度域を目盛照明するようになっているので、万一故障を起こしてもただちに運転手が識別できる。

図 3.7 は運転室前部の状態を示し、上方に速度計を、下方に主幹制御器のハンドルが見えている。

補償器は可飽和 トランス 式のもので周波数基準出力が得られるようになっているが、増幅器は必要でないので故障の確率はきわめて小であり、信頼度が高い。

4. P.T.O. 装置

4.1 一般

列車の運転密度を高め輸送能率を向上することによって懸念される先行列車への追突などの事故を完全に防止するとともに、定められた運転ダイヤどおり走行し国鉄が世界に誇る定時運転を実現するため、研究試作されたのがこの P.T.O. であって、すでに当社では昭和 36 年 9 月工場における等価試験装置を用いて、基礎試験を行なったほか、アナログコンピュータならびに IBM 7090 電子計算機を用い、列車運転のシミュレーションを詳細にわたって行なったのち、現車用 P.T.O. を試作したのであるが、この方式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関係上、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 と比較したら、つ

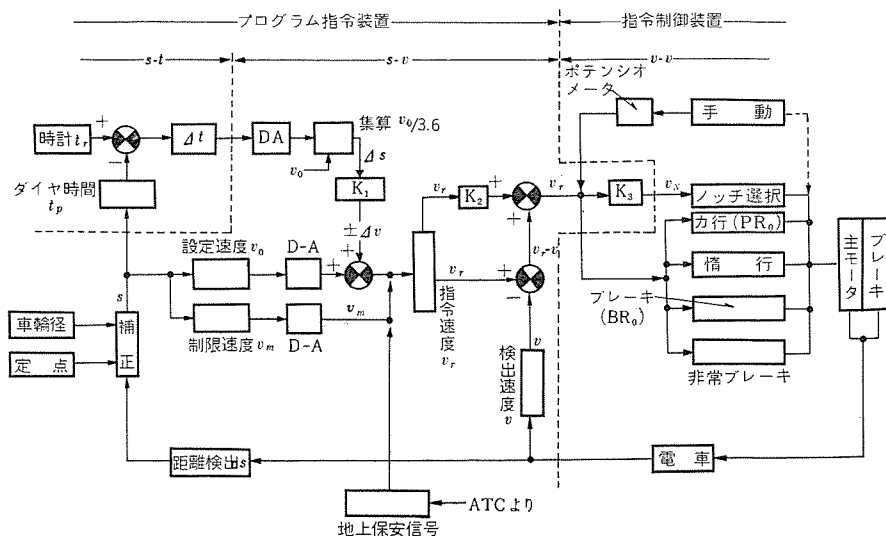


図 4.1 P.T.O. ブロック構成図

Fig. 4.1 Block diagram of P.T.O. composition.

ねに両者が一致するよう自動的に制御する方式で、つぎの要素から成り、図 4.1 にそのブロック構成図を示してある。

4.2 s-v 制御部

電車の走行位置 (s) に対して必要な速度 (v) は運転線路や運転ダイヤによって、あらかじめ与えることができるので、これを $s-v$ プログラムとしてテープに読み込んでおく。

したがって、走行した距離 (s) が検出されると単位距離ごとにテープが送られ、 s に対する設定速度 v_0 が求められる。

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 を読み込んでおき、後述の指令速度 v_r ($=v_0 \pm \Delta v$) を制限するようにするとともに、不測の事故に備えて先行列車に対する保安信号すなわち A.T.C. により v_r を制限してあるため、つねに $v_r < v_m$ で安全が確保されるようになっている。

4.3 s-t 制御部

走行距離 (s) における所要時間 (tp) は運転ダイヤによって決められているので、前者と同様にこれを $s-t$ プログラムとしてテープに読み込んでおく。

したがって、 s が検出されるとこれに応じたダイヤ時間 (tp) が求められるので、これと列車出発時からの設定時間 (t_r) とを比較してその差 Δt を検知し、 Δt に応じた速度信号 $\pm \Delta v$ を発生させる。すなわち、時間差 (= 距離差) により、つぎの $\pm \Delta v$ が得られることになる。

$\Delta t < 0$ のときは 増速指令 $\Delta v > 0$

$\Delta t > 0$ のときは 減速指令 $\Delta v < 0$

したがって、制限速度 v_m を加味した $v_0 \pm \Delta v$ 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。

4.4 v-v 制御部

指令速度 v_r と検出速度 v を比較し、つねにこれが一致するような力行、惰行、ブレーキの制御を行なうとともに交流電気車特有の力行ノッチの選択制御を行なうようになっている。

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はらわれている。

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、力行ノッチの選択は $K \cdot v_c$ の値をもって 1~25 ノッチ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あい運転を行なうことから力行制御には、必要にして十分なつりあい運転域を設けてある。

4.5 特 長

あらかじめ決められた運転ダイヤをプログラムしたテープにより、

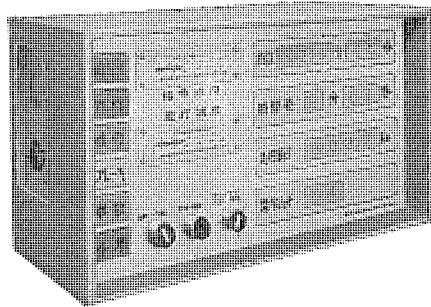


図 4.2 国鉄新幹線用 P.T.O. 装置制御板外観
Fig. 4.2 Exterior view of control panel in P.T.O. device for J.N.R. new trunk line.

電車の出発から停車までを制御して所定の地点に、しかも所定の時間に自動的に停止するようにした P.T.O. は、つぎのような特長を有している。

- (a) 完全自動運転装置で、長年の夢であった無人運転も可能とすることができる。
- (b) 架線電圧の変動や走行抵抗などのいわゆる外乱に対しても自動的に、これを補正するため定位置、定時間運転の精度が非常に高く、輸送能率を大幅に向上できる。
- (c) 地上の保安信号とも連動しているため、先行列車への接近などに対してもきわめて高い保安度が得られる。
- (d) 運転手が同乗しても、従来のように運転手が走行時分や場所などを常時監視する必要がなく、その疲労度がなくなり、この面からも保安度を向上することができる。
- (e) 装置は主として、トランジスタなどの無接点装置であるためコンパクトで高い信頼度が得られる。

このような P.T.O. 方式を列車に適用することによって、列車の走行位置や速度がつねにプログラムによる基準の位置と速度で照査されるため、運転時分の精度を大幅に向上できるほか、外乱による時間遅れ、あるいは、進みも自動的に修正することができる。

なお、高度の運転技術を必要とせず容易に定時運転を遂行しよう、運転手は図 4.2 の制御板スイッチを扱えばよいようになっている。

5. む す び

世界でも比類のない 200 km/h という高速運転を誇る新幹線用電車は性能的にも構造的にも画期的な特長を有しているが、なかでも当社の試作した A.T.C. や P.T.O. は高度の電子工学と自動制御技術を結集した装置で、より安全にしかも経済的な自動運転方式であるといえる。

最後に、この装置の製作に際し終始ご指導された国鉄当局の各位ならびに社内関係者に深く感謝の意を表し、むすびとしたい。

国鉄新幹線試作車用低圧タップ切換器

北岡 隆*・白庄司 昭*

Low-Voltage Tap Changers for Trial Cars on The New J.N.R. Trunk Lines

Itami Works Takashi KITAOKA Akira SHIRASHŌJI

Tap changers for use on electric cars running on the new trunk line are in an epochal design of small size, light weight yet high performance and long life aimed at. They are provided with transfer switches with mechanical valves directly driven by cam shaft, operating to close or break a circuit on reduced current. On the control circuit is used the contactless control equipment. At the factory actual circuit tests and equivalent circuit tests were fully given together with life tests, so that expected performance has been successfully attested.

1. ま え が き

新幹線電車はあらゆる最新技術を駆使して設計されているが、このタップ切換器もその例に漏れない。新幹線電車は非常な高速において運転を行なうため、高速域の速度制御を容易にしておくか、走行抵抗とパランスする駆動トルクを必要とするため、タップ切換器によって自由にステップ選択できるように考慮されている。ステップ数は高速での速度制御と、限流起動中のピーク電流によるショックの点から定められている。新幹線設計の当初においては、このタップ切換を高圧側で行なうか低圧側で行なうかについて検討がなされたが、重量的な面で2両を1組として電源を置く低圧方式が採用された。したがってタップ切換器としては、8台の主電動機の電源切換えを行なう容量を必要とするので相当電流が大きい。動作ひん度はきわめて高いのでタップ切換器の電気的および機械的強度を大にしておくことはもちろんであるが、切換方式についても長寿命となるようなすぐれた方式が望ましい。当社のタップ切換器は減流投入、減流シタ断方式を採用するとともに、シタ断器投入容量を必要とする切換用シタ断器は、カム弁による空気操作式シタ断器を使用してシタ断性能を向上している。

また、制御回路も無接点式を2種類試作し、十分な試験を行なった。

試験に際しては、実回路および等価回路で電気的特性を十分調査し、種々の材質形状の部品により比較検討し、最適の設計となるよう処置されたものである。とくに寿命に関係の深いアーク発生箇所については、長期間の寿命試験の結果最適条件を選定したので信頼度は非常に高いと考えられる。

2. 仕 様

このタップ切換器は以下の仕様によって設計されている。

本 体

形式 LTC 904 形

方式 電動カム軸空気式減流投入、シタ断方式

ノッチ数 25

定格ノッチ数 23

平均1ノッチ進段時間 0.5~0.7 sec

定格電圧 AC 2,261 V

制御電圧 DC 100 V, AC 100 V 60 c/s

制御方式 SCR 式および磁気増幅器式無接点制御方式
選択用接触器

定格電流 $S_1 \sim S_8$: 800 A

A, D: 900 A

接触圧力 6~8 kg

切換用シタ断器

定格極間電圧 174 V

定格電流 T_1, T_2, T_3 : 500 A

T_{11}, T_{12} : 100 A

接触圧力 40~60 kg

定格空気圧力 5 kg/cm²

タップ切換器用リアクトル

形式 IC 904

方式 内鉄形乾式自冷式

絶縁種別 H 種 (温度上昇限度抵抗法 180°C)

定格回路電圧 AC 2,261 V

定格回路周波数 60 c/s

端子電圧 AC 174 V

循環電流 270 A

3. 方式と構造

3.1 方 式

このタップ切換器は電車の床下に装備されるので小形・軽量なことが第一条件であり、さらに高ひん度、大電流という苛酷な条件を満たすように設計されている。

主変圧器のタップ切換えは、本質的に電流シタ断が必要であるが、これは主回路電流が多くなれば投入シタ断条件が苛酷になる。このためこの切換器では、減流投入シタ断方式を採用している。図3.1はこの方式の主回路ツナギを示す。すなわち1つのタップよりタップ間にまたがって負荷をとるステップに移行するばあいには、まず T_2, T_3 を同時に開き減流リアクトルの片コイル分の電流をシタ断後 S_2 を入れその後 T_2, T_{22} を投入するが、このばあいタップ間電圧がリアクトルに印加されるので投入電流位相によっては突入電流が大きくなり T スイッチのチップを荒損させるおそれがあるので、 T_{22} を入れて減流投入後 T_2 を投入して過渡電流を少なくしている。つぎにさらにステップを進める場合は T_1, T_{11} を開放するわけであるが、このばあいは循環電流も重畳しているので、シタ断が苛酷になる。したがって T_1 を開いたのち T_{11} を

構造的には、シャ断を必要とする T スイッチ はカム 軸によってカム 弁を駆動し圧力空気を制御して スイッチ を動作させるので、カムモータ の必要とする トルク はわずかで、しかも高速動作が可能であり シャ断容量を格段に増加させることができた。一方、S スイッチ の方は動作ひん度が少なく、また高速動作も不要なので、これは直接カム で スイッチ を駆動しているが、カムモータ に必要とするトルクはごくわずかであるので、カムモータ は小形のものでよい。

制御方式は、高ひん度動作による故障を防ぐため、無接点制御方式を採用しているが、これには制御極付 シリコンダイオード(トリスタ) 式のものや磁気増幅器式を開発しいずれも良好な性能を確認することができた。

電車の速度制御は タップ 切換えによる電圧制御で行なうわけであるが、タップ制御による直流側のレギュレーション 曲線を図 3.2 に示す。さらに主電動機の特性を考慮すると、図 3.3 のような ノッチ 曲線として示される。

力行制御の方法は主幹制御器により ノッチ を指令することによって行なわれるが、ステップ 進段は限流制御されるよう限流制御回路と連動している。主幹制御器(以下 マスコン と記す) では、3 ステップごとに主 ノッチ があり、主 ハンドル を動かせば主 ノッチ が指令されるが パーコハンドル を操作することによってすべての ステップ が選択できるようになっている。力行回路は タップ 切換器が 1 ステップにある条件で構成されるが、ノッチオフ は原則として、主回路断流器 L_{12} 、 L_{22} による減流 シャ断を行なったのち断流器 L_{11} 、 L_{21} で開放すると タップ 切換器は 1 ノッチ に戻されるようになっている。

3.2 タップ 切換器本体

タップ 切換器本体は床下装備であるため、小形化について十分の考慮をはらったが、もちろん高寿命、高性能を目的としている。方式として上記のような考慮をはらってあるほか構造上も種々の ざん新な アイデア を盛りこんでいる。

(1) 切換用 シャ断器 (T スイッチ)

前にも述べたように、切換用 シャ断器は相当苛酷な シャ断条件で使われる。すなわち、力行限流制御中は主回路電流は 1,300 A にもなる。したがって減流投入、減流 シャ断方式を使用しているが、スイッチ 自体も高性能化がはかられている。一般にスイッチ のシ

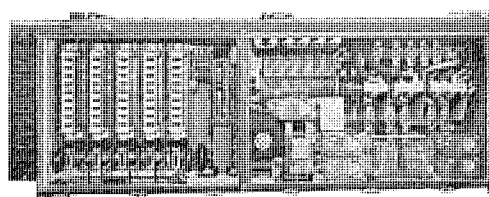


図 3.4 タップ切換器外観
Fig. 3.4 Full view of the tap changer.

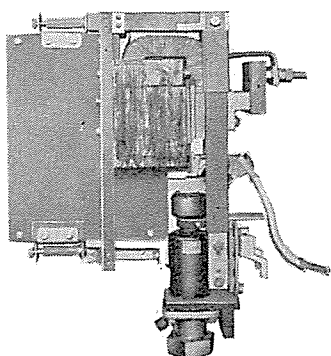


図 3.5 切換用 シャ断器 (T スイッチ)
Fig. 3.5 Transfer switch.

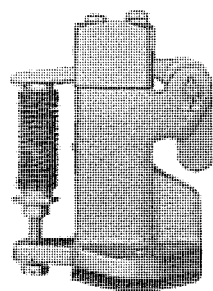


図 3.6 カム 弁
Fig. 3.6 Cam valve.

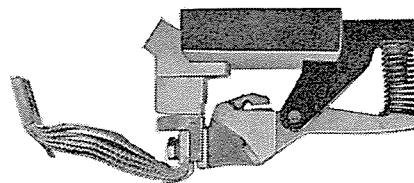


図 3.7 選択開閉器
Fig. 3.7 Selector switch.

ャ断投入容量は接触子の投入開放速度を大にするとともに接触子部分もがんじょうな構造にする必要があるが、一方動作時の ショック も小にすることによって無用の強度 メンバ ーを増さないようにすることが望ましい。これらの点を考慮して T スイッチはカム 弁による空気操作 シャ断器を開発した。

すなわち、カム 軸によってカム弁自体を制御し T スイッチシリンダに 5 kg/cm^2 の圧縮空気を流入して投入する。開放時は同じくカム 弁によってシリンダの空気を放出すればよい。この方式によれば電磁弁のような コイル を使用しないので動作時間がきわめて小になり コイル 断線などの故障はなくなり信頼度が高い。また、開放時の開極速度を大としてあるためショックを緩和するために空気式ダッシュポット のダンパをつけてあるのでまったく支障ない。また減流方式を生かすため T_1 、 T_2 、 T_3 は通電容量を大とし、 T_{11} 、 T_{22} は通電容量は小でシャ断特性を良くするため吹消 コイル の巻数を多くしてある。

(2) 選択用接触器 (S スイッチ)

S スイッチ は電流の投入 シャ断はまったく行なわないが、電流容量が大であるため構造的に十分な配慮が施してある。すなわち固定子部分はブロック 式とし、発熱部分を減らすとともに熱容量を大にしている。また電流容量が大なるため可 トウ 導体が大きくなるので共通電位部分を可動子側として可 トウ 導体を前方に出してスイッチ 自体は小さくしかも通電容量を大にすることができた。

スイッチ はカム 軸によって直接駆動されるが トルク はあまり要しないよう接触部の材質の選択により低接触圧化をはかっている。

(3) カム 軸駆動装置

この タップ 切換器はパイロットモータによって駆動されるが、T スイッチ の方はカム 弁を制御するだけであるのでほとんどトルクを要しない。一方、S スイッチ はギヤにより T スイッチ のカム 軸の $1/7$ に減速しているの、パイロットモータ に要する トルク はごくわずかである。したがって、パイロットモータ は実力 100 W 以下でよい。カム 軸と駆動装置との結合は可 トウ 継手によっているが、この オルダム方式は遊び 角度が小であり動作精度が高い。

(4) 配 置

図 3.4 はこの タップ 切換器の外観を示す。器具の配置としては左側に減流抵抗器を置き、つぎに T スイッチ を並べる。中央部にギヤボックス、パイロットモータ を置き、その右側には制御 ドラム さらに S スイッチ が置かれている。

この主回路器具の空間 スペース には各種の保護 リレー および 制御装置が納めてある。

3.3 切換用限流リアクトル

この タップ 切換方式では主変圧器 タップ の中間電圧も使用するためにリアクトルを使用している。したがってリアクトルは連続通電容量を必要とし、また タップ 切換時は片 コイル に全電流が流れるので、電気的特性はもちろんのこと電磁力に対する機械的な強度も必要である。このリアクトルはこれらの点を勘案してH種絶縁を採用し、コイル 配置も無用な漏れ磁束を増さないよう考慮されている。タップ 間にリアクトル がまたがる場合は循環電流が流れるが、この電流を極力小さくし、そのために T スwitch のシャ 断が困難になることに對しては減流 シャ 断方式で解決したので、損失の少ない装置とすることができた。なおリアクトル も床下に取付けられるので ケース を付けてある。

3.4 制御回路

タップ 切換器の動作ひん度はきわめて高いので、制御回路も信頼度の高いものが必要である。したがって無接点制御装置を開発したが、これに2種類あり、一方は制御極付 シリコンダイオード(トリニスタ, SCR) 式であり、他方は磁気増幅器式である。

(1) トリニスタ (SCR) 式

トリニスタ は イグナイトロンのサイクロンと同様 ゲート 作用を行なうことができる シリコンダイオード であって、最近急速に発達した素子

である。しかもこの素子はサイクロンなどの放電管と異なりターンオフ 時間が数 μs で非常に短いから、直流回路のスイッチング 作用を行なわせることができる。この制御回路はこの原理を応用したもので、電源はDC 100 V を使用しパイロットモータ 回路の投入 シャ 断を無電流で行なっている。なお、パイロットモータ を基準位置で急速に停止させるには、トリニスタ により電機子端子間短絡回路を作り発電 ブレーキ をかけて行なう。この回路では保護を兼ねてパイロットモータ の回転方向を変えるため補助 リレー により切換えを行なっているが、接点は通電のみで電流の投入 シャ 断は行なわない。この ツナギ を図3.9に、また外観を図3.10に示す。

(2) 磁気増幅器式

磁気増幅器は工業用、電車用としてかなり実績のある堅ろうな増幅器であるが、この回路はパイロットモータ の起動のみならず、急速な停止制御も行なえるものである。本質的に磁気増幅器は交流回路を制御するようになっているので、直流 モータ を制御するには整流回路が伴う。したがって、ブレーキ をかけて停止制御をすることは一般には困難とされているが、この回路では ブレーキ の際はパイロットモータ に逆方向電流を流して停止させるようになっている。しかも逆方向電流が、パイロットモータ の停止後はまったく流れないので、精密な調整を必要とせず動作もきわめて安定である。なお、起動時にはブレーキ 用 ダム 抵抗に電流が分流するが、パイロットモータ の内部抵抗が少ないので起動時の突入電流

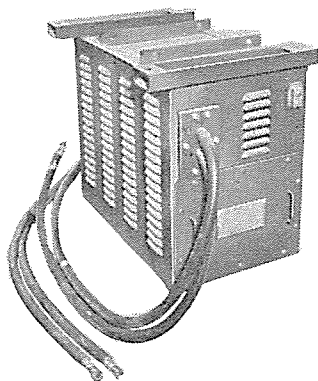


図 3.8 切換用限流 リアクトル
Fig. 3.8 Preventive reactor for the tap changer.

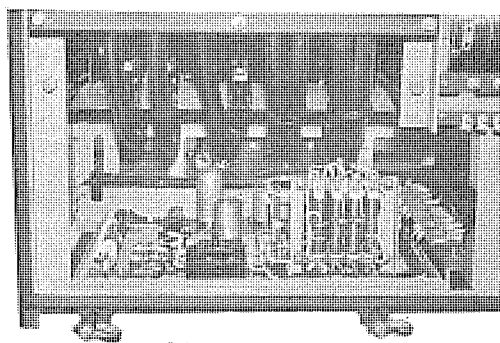


図 3.10 無接点制御器 (トリニスタ 式)
Fig. 3.10 Contactless control device using tristor.

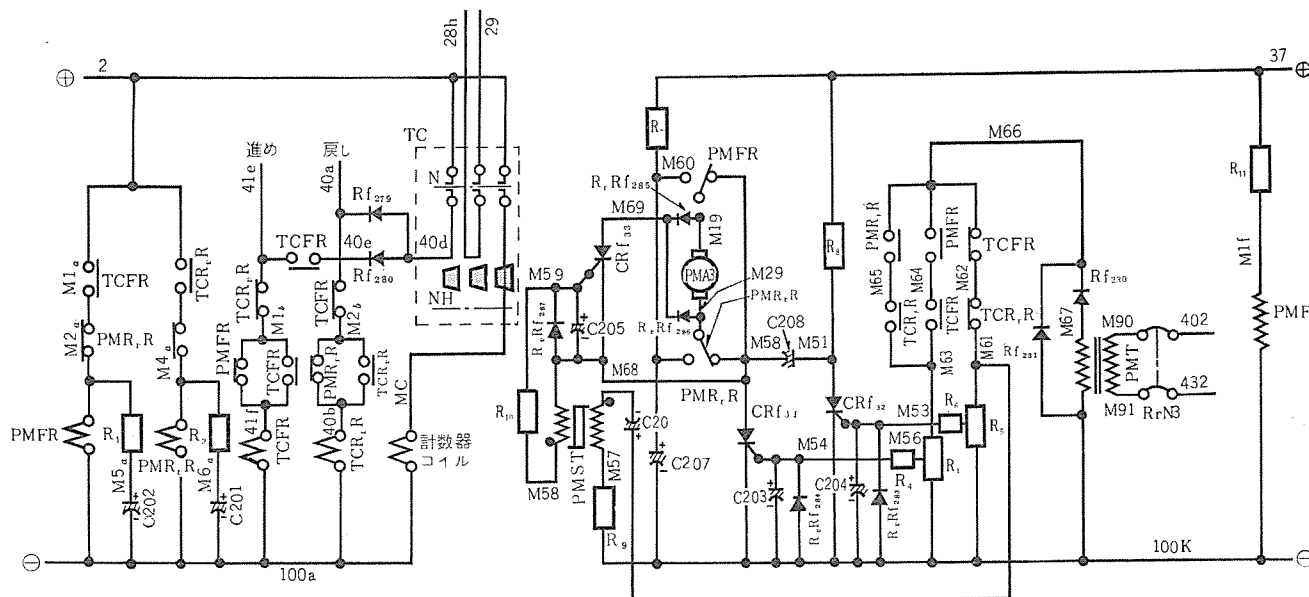


図 3.9 無接点制御回路 (トリニスタ 式)
Fig. 3.9 Contactless control circuit using tristor.

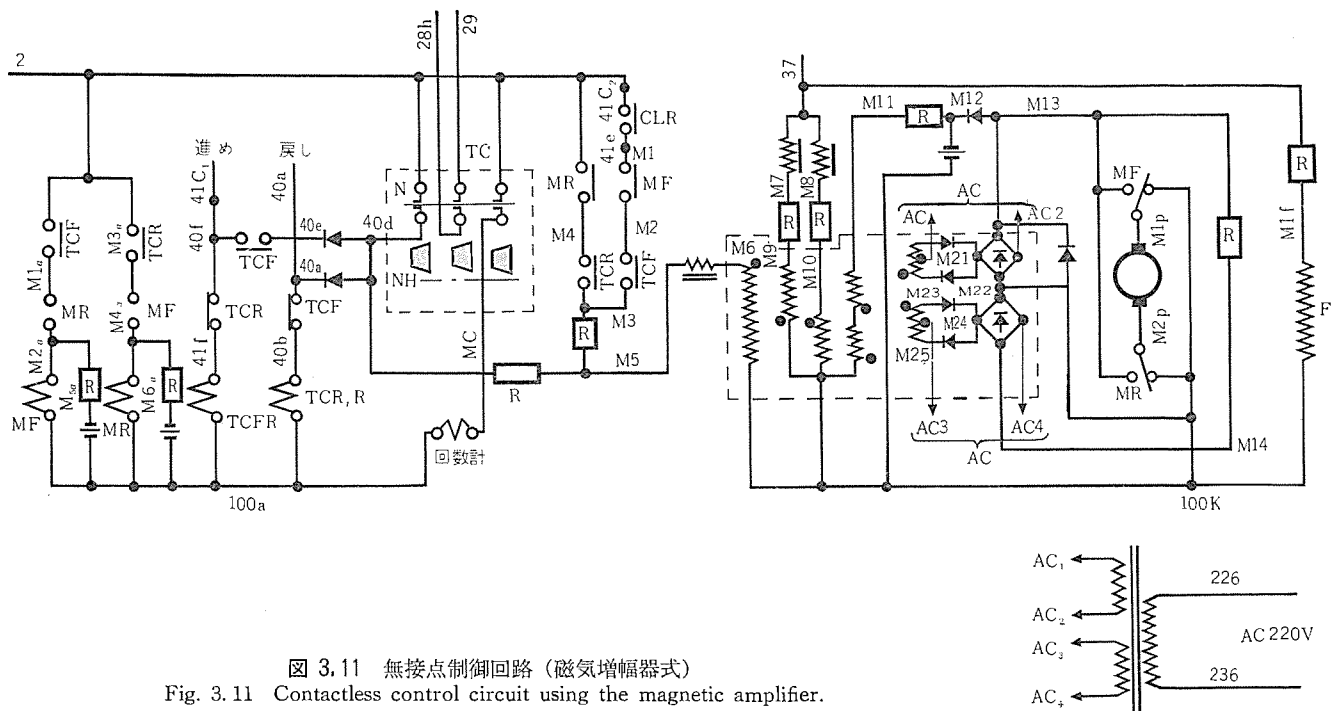


図 3.11 無接点制御回路 (磁気増幅器式)
Fig. 3.11 Contactless control circuit using the magnetic amplifier.

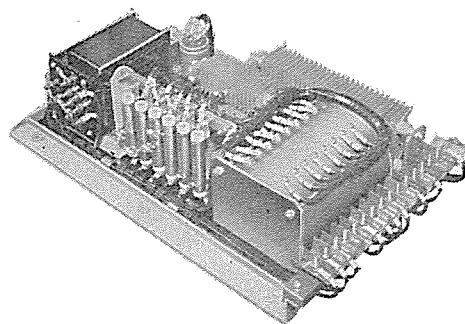


図 3.12 無接点制御器 (磁気増幅器式)
Fig. 3.12 Contactless control device using the magnetic amplifier.

はほとんどパイロットモータに流れ起動特性を損なうことはない。

なお、正・逆転切換はトリニスタ式と同様補助リレーで切替えるが、電流の投入・シャ断は行なわれない。図 3.11 はこの制御回路を、また図 3.12 は外観を示す。

4. 試験結果

このタップ切換器は電車の速度制御に使われる重要な機器であるため、試験も大規模に行なわれた。ここでは工場試験結果について述べる。工場試験の内容はつぎのとおりである。

- (1) 一般試験
- (2) 器具単独試験 (T および S スイッチ)
通電試験、電流投入・シャ断試験
- (3) 組合せ特性試験
- (4) 電氣的ならびに機械的寿命試験

まず一般試験では切換器一般的の特性試験を行なったが、この試験において注目すべきは制御回路特性試験結果である。すなわち、磁気増幅器式と SCR 式について試験を行なったが、いずれも従来の短絡リレーによる方式よりもすぐれており、ステップのズレは非常に小でしかも 1 ステップ移行時間は 0.5 秒である。また、約 100 万回の寿命試験後もズレ角度は変わらず、特性および信頼性ともに十分なことが証明された。

つぎに器具単独試験では主として通電および投入・シャ断試験を行なったが S スイッチについてはまったく問題なく T スイッチの通電試験結果、磁鉄板の温度上昇と磁歪振動による騒音が予想されたが、これも積層磁鉄板のモールド方式の採用によって問題なかった。投入・シャ断試験は T スイッチについてのみ行なったが、いずれも予期以上の高性能が証明された。図 4.1 はシャ断オシログラムであるが、最高 AC 1,500 V 2,500 A のシャ断時間も 1 サイクル以内というすぐれたものであることがわかった。

組合せ試験では、主変圧器、シリコン整流器など新幹線電車用の

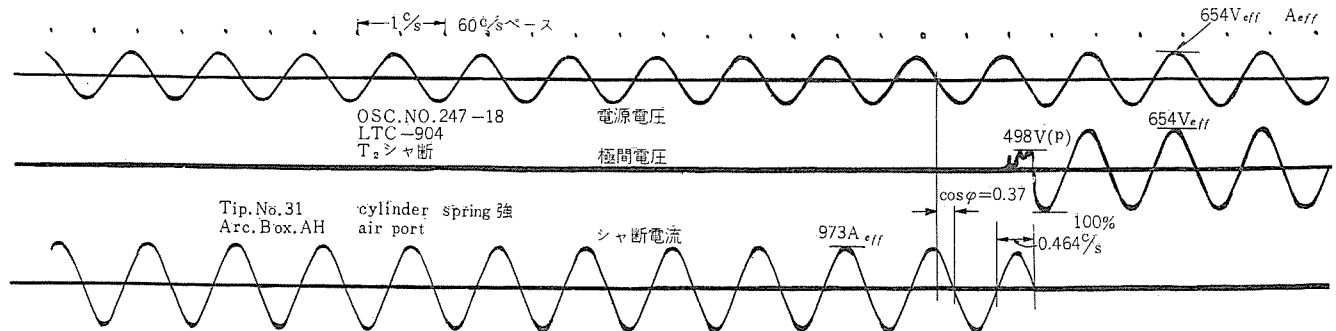


図 4.1 切換用シャ断器 シャ断試験 オシログラム
Fig. 4.1 Rupturing test oscillogram of transfer switch.

現物を使用して現車と同じ条件にして タップ 切換試験を行なった。図 4.2 は組合せ試験回路である。負荷は主電動機の代用としてインダクタンスと水抵抗を使用し、中間 ノッチおよび定格 ノッチでそれぞれ 1,500 回、500 回の タップ 移行試験を行なったが、切換時の電弧時間もきわめて短く、T スイッチ の高性能と減流投入 シェ断方式の優秀さが証明できた。図 4.3 は組合せ試験 オシログラムである。

寿命試験は電気的および機械的試験を行なった。すなわち、図 4.2 の回路で負荷は約 200 V、1,000 A、タップ 間電圧も 200 V として 20 万回の電気的試験を行なった。この試験に際して、接触子の材料、アークボックス など数種類について行なったが、もっともすぐれたものでは各部の消耗は無視できるほど小であった。

また、50 万回の機械的試験結果、可動部分を全部分解して調べ

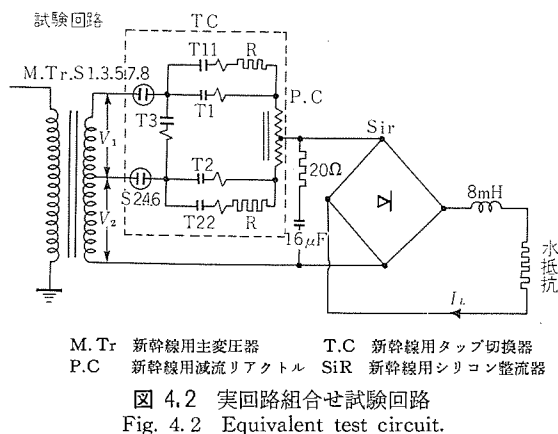


図 4.2 実回路組合せ試験回路
Fig. 4.2 Equivalent test circuit.

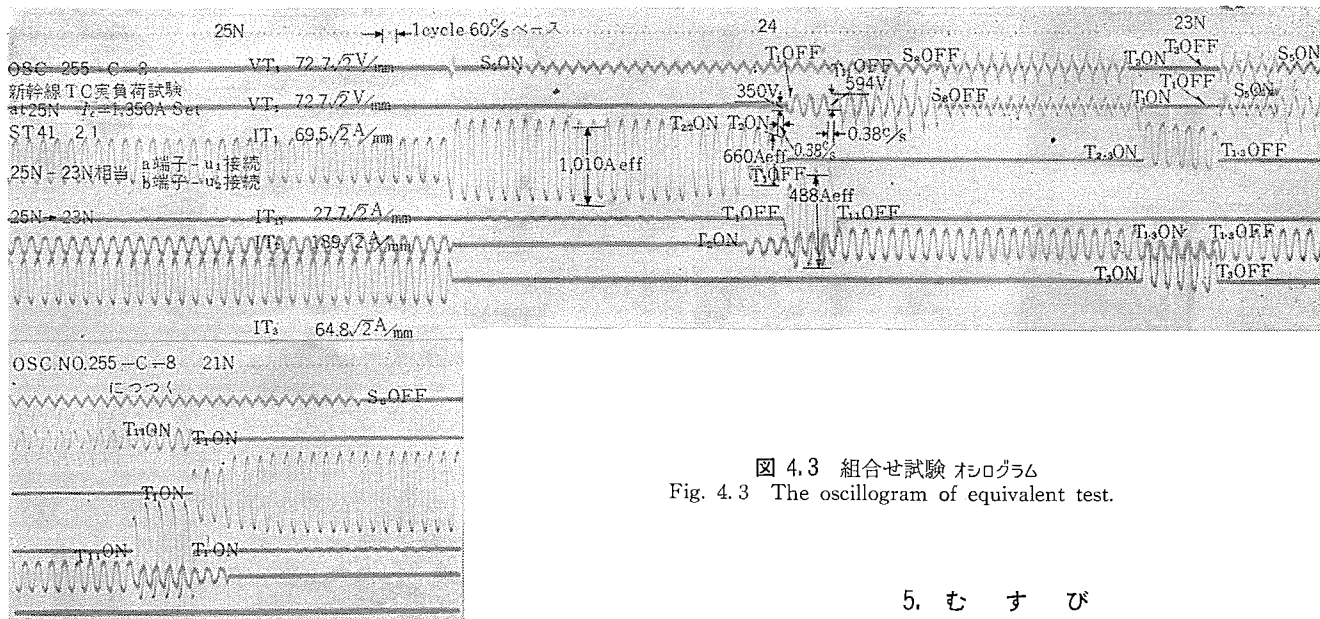


図 4.3 組合せ試験 オシログラム
Fig. 4.3 The oscillogram of equivalent test.

5. む す び

以上述べたように新幹線用として新しいアイデアをふんだんに盛りこんで設計、製作された LTC 904 形 タップ 切換器は、工場における十分な試験結果すぐれた性能を有することがわかったが、さらに現車における試験 データをも参照してより完全な装置を完成したいと考えている。

最後にこの装置を開発するにあたりご指導をいただいた日本国
有鉄道新幹線関係者各位に深甚なる謝意を表する。

たが新製時との差異は認められなかった。とくに T スイッチ のダッシュボットの効果は顕著で、動作時の ショック は 50 万回試験後もまったくなかった。

このように綿密な試験結果、苛酷な使用にも十分耐えうることを立証された。

最近における社外寄稿一覧

年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
37- 5-26	I F A C (国際自動制御学会)	Comparison of Various Optimizing Control systems (種々の最適化制御系の比較)	福永圭之介	研 究 所
37- 5-30	静岡県東部電気工事協同組合	最近の三菱蛍光水銀灯とその演色特性	小堀富次雄	本 社
37- 6- 1	電気学会誌時報	シリコン 整流器 サージ 電圧吸収器	加 藤 又 彦	伊 丹
37- 6- 1	電気学会誌時報	温度補償用 センダイオード	加 藤 又 彦	伊 丹
37- 6- 2	OHM	大容量変圧器の軽量化	田 村 良 平	伊 丹
37- 6-12	コールマイン・セーフティサービス 誌	防爆形乾式変圧器について	平 野 琢 磨	福 岡
37- 6-12	エレクトロニクスダイジェスト	12GC 帯簡易多重無線機	阿 部 修	無 線 機
37- 6-15	近江八幡電気技術研究会	工場照明の技術的諸問題	小堀富次雄	本 社
37- 6-19	関東電気協会	玄関の照明	小堀富次雄	本 社
37- 6-20	真 空	高真空室に対する拡散、ポンプの逆拡散と油蒸気の逆流の影響	藤 永 敦・花坂孝雄 鳥 取 浩	研 究 所

国鉄新幹線試作車用主電動機

浅越泰男*・河村寿三*

Traction Motors for Trial Cars on J. N. R. New Trunk Line

Itami Works

Yasuo ASAGOE・Toshimi KAWAMURA

With a final decision of operating pulsating current motors fed power from silicon rectifiers as traction motors for trial cars on J.N.R. new trunk line, new models of continuous rating of 170 kW with WN drive system were started in manufacturing in 1961 at Itami Works. There were built two kinds of motors: one has a current pulsation factor of 30% as is the same as the conventional design; the other one is of a 50% factor which is made available by laminating a part of the motor yoke. Having built with excellent techniques such as the use of epoxy resin in insulation and other up-to-date design, the trial traction motors proved successful in every respect. It is expected the machines will withstand much higher pulsation factor than planned value and expected future severe operation, all manifesting superior manufacturing ability of the company.

1. ま え が き

国鉄におかれては交流電化による東海道新幹線の車両動力方式について数年来いろいろと研究を重ねられてきたが、最終的に、シリコン整流器を装備して脈流電動機を使用することに決定をみて、昨年（昭和36年）から試作車用電機品の製作を開始した。

主電動機は東京－大阪間 500 km, 3 時間運転を目標に容量計算を行ない、連続定格 170 kW, 全軸装備と決定した。脈流率については従来 30% 程度が常識とされていたが、誘導障害軽減および機器重量軽減のために、脈流率を 50% に上げたものを試験することになり、試作車用として 50% 脈流率用のもの（ヨークの一部を積層したもの）と 30% 用のもの（従来方式のものでヨークは非積層）と両者を製作することになった。この両者は外形、取付寸法は同一であるが、設計要目については異なったものである。当社では 30% 用のものの設計、製作、試験を担当したが、これと同時にほぼ同一設計要目でヨークの一部を積層したものを試作し、脈流率 50% で試験を実施した。また当社では主電動機に付属するものとして、WN カップリングおよび平滑リアクトルなどの試作および試験も担当し、いずれもきわめて満足すべき結果を得ることができた。

動力方式の要目はつぎのようである。

電 動 機 形名 MT912 形
脈流直巻、台車装架式、自己通風式
容量 170 kW 連続
415 V, 2,250 rpm
4 個永久直列、界磁 2% 永久分路
車 輪 径 910 mm

歯 車 比 63/29=2.17

駆動方式 歯形式自在継手駆動（WN 駆動）

つぎに主電動機、WN カップリング、および平滑リアクトルにつき、その設計と試験結果の概要を述べる。

2. 主電動機（MT912 形）の概要

2.1 要 目

脈流率 30% 用のものの設計は、大体従来からの脈流電動機の経験をもとにして設計特性値がとられるわけであるが、新幹線用としてとくに留意した点は、電気ブレーキ力が従来のもよりもさらに強大であることと、全電動機が運転中は信頼性を高める意味で温度に若干の余裕をもたして、通風系統の不具合に対しても不安のないものとし、絶縁は現在もっとも優秀とされているエポキシ F 種を採用したことなどである。

要目はつぎのようなものである。

形式	MT912 形、丸形		
方式	脈流直巻補極付、界磁 2% 永久分路		
極数	4 極		
絶縁種別	F 種		
通風	自己通風		
定格	連続		
出力	170 kW	弱界磁率	50%
電圧	415 V	最高回転数	3,820 rpm
電流	450 A	脈流周波数	60 × 2 c/s
回転数	2,250 rpm	脈流率	30% 以上
重量	885 kg		

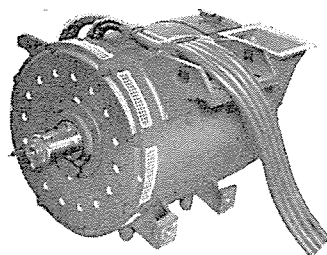
特性は図 2.2 に示すようなもので、磁気回路の飽和も少ないものとなっている。

2.2 構 造

(1) 電 機 子

電機子径は軌間が標準軌であるために大容量にもかかわらず比較的小さくとることができ、したがって整流子径も小さく製作しうる利点がある。ミジコイル配置は 4 層並びとして、高速回転によるミジ内ウズ電流損を格段に減少させ、鉄心内の低磁束密度と相まって電機子の温度上昇は、限度 130°C に対してきわめて満足す

図 1.1 MT912 形主電動機
Fig. 1.1 Type MT912 traction motor.



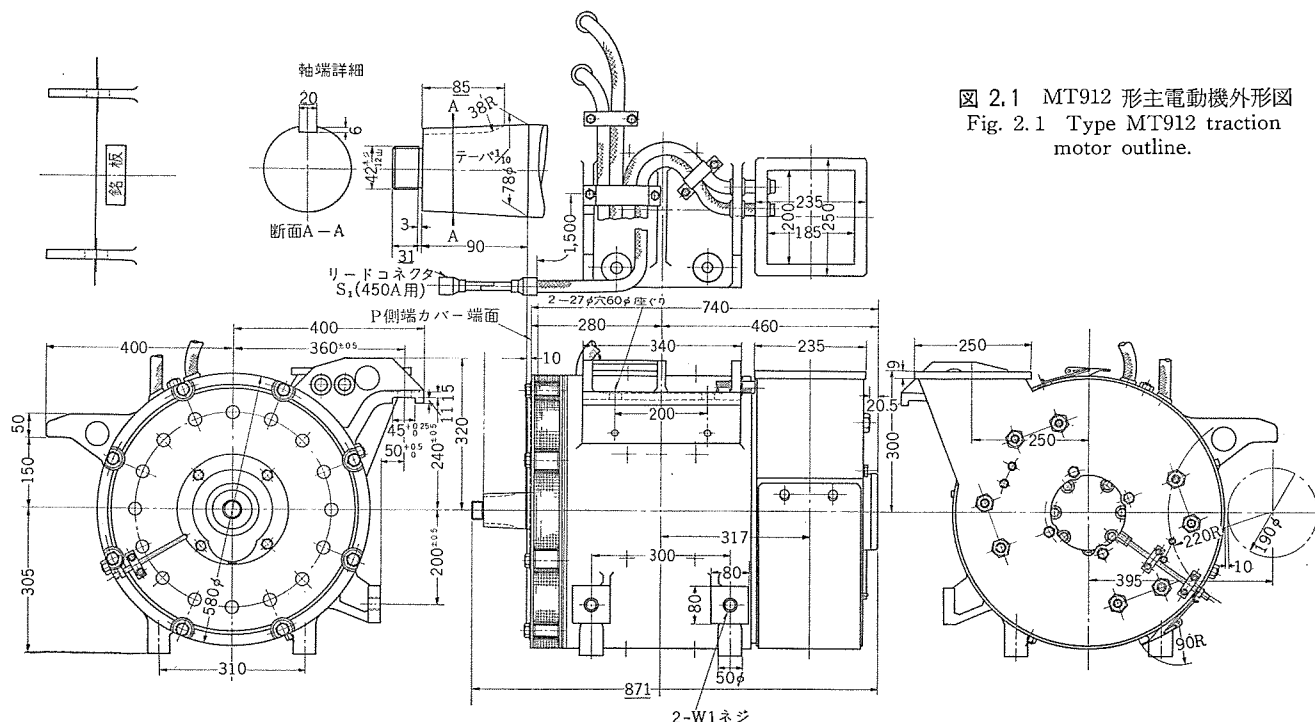


図 2.1 MT912 形主電動機外形図
Fig. 2.1 Type MT912 traction motor outline.

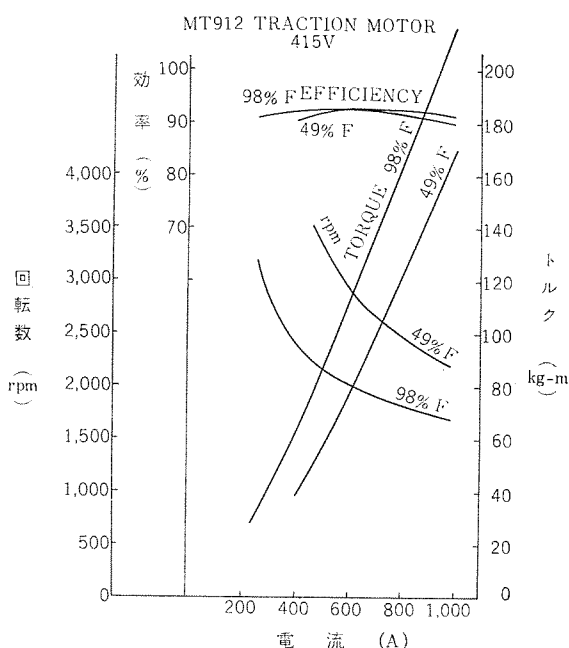


図 2.2 特性曲線
Fig. 2.2 MT912 traction motor characteristics.

べきものとなった。鉄心材料は低磁束密度であるので、0.5tの無方向性冷延ケイ素鋼板を用いてある。電機子バンドは、一部にポリエステルガラスバンドのものとした。絶縁はエポキシ樹脂材料を用いて、F種とした。

(2) 整流子

整流子は当社の開発によりすでに定評のあるスプリング締付方式とし、高速高温運転に対して信頼性は最高のものである。また、電気ブレーキの場合の異常片間電圧も考慮して、片間マイカは1.1厚のものを用いた。

(3) 固定子

ヨークは丸形で溶接鋼板製とし、台車装荷式であって整流子上に空気吸込み用の風道を有する。

主極は弱界磁率 50% 以下の実力をもたすべく十分の巻数を与

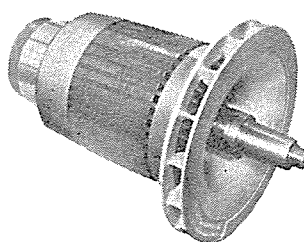


図 2.3 電機子
Fig. 2.3 Armature.

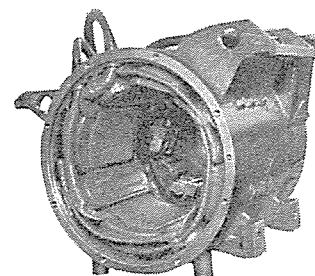


図 2.4 固定子
Fig. 2.4 Stator.

え、コイルは平角銅線エッジワイズ巻きとし、現在の電車電動機絶縁技術の最高のものである、エポキシ樹脂一体固化絶縁とした。この絶縁は電気的、機械的にほぼ完全に近く、かつコイルの熱放散も従来の空気あるいは溶媒のボイドを含んだものに比べて数割増しとなっていて、従来の設計よりも若干 severe にしてもなおかつ温度上昇は余裕をもたせることができるために、設計技術に革命をもたらしている。当社はいち早く各種電車電動機に実施し、優秀な実績を上げつつある。

主極は脈流分をバイパスさせるとともに変圧器起電力の位相をずらせて整流を良くするために 2% 永久分路（純抵抗分路で、分路率は直流分で表わす）を行なっている。

補極は強力な電気ブレーキと、脈流電流に対する補極磁束の追随性を良くするために起磁力を大きくとり、これで相当に大きな脈流率まで許容できる。

補極の絶縁も主極と同じでエポキシ樹脂一体固化絶縁で、脈流による銅損、鉄損および導体内のウズ電流損による温度上昇を十分にカバーしている。導体はやはりエッジワイズ巻きで、主極と同じように鉄心とコイルとはエポキシ樹脂で充てん接着しており、鉄心への熱放散もきわめて良くなっている。

補極鉄心は薄鋼板を積層し、補極磁束の電流に対するレスポンスを良くしている。補極つばパネは補極磁束に対して短絡回路を作らないように一部切断してある。

また主、補極 コイル の温度上昇限度は 155°C、および対地試験電圧は 5,000 V である。

(4) ブラシ ささえ

ブラシ は国鉄規格 B 種の材質を用い、標準寸法 20×50×50 でスプリット、ピグテール つきで各ささえあたり ブラシ 数は 2 個並びである。整流子周速は最高 50 m/s に押えてあるため、新幹線のように高速で運転する車両には最適である。

(5) 軸受その他

軸受は P 側、C 側とも高精度のコロガリ軸受を用い、BRB No. 1 グリスによる潤滑で、P 側は NU316/C4、C 側は 6312/C4 である。C 側は分解組立てに便利なカートリッジ構造である。ファンはとくに強大で、電動機の冷却は完全である。

一般的にいうと、低磁気飽和特性および温度特性、熱容量特性がきわめて優秀で満足すべきものが得られたのにもかかわらず、重量、スペースともきわめてコンパクトなものであり、電動機の設計技術の粋をつくしたものであることができ、まさに新幹線にふさわしい電動機となった。

2.3 脈流率 50% 用の電動機

要目は脈流率 30% のものとほぼ同様で、そのうち電機子はまったく同一であり脈流率だけが大きく異なるわけである。

形式	MT912 改造、丸形
方式	脈流直巻補極付、界磁 10% 永久分路
定格脈流率	50%
その他	MT912 と同じ

構造はヨークが部分積層となっているところが大きく異なっており、積層部は特殊なセクタ構造とし各セクタごとにリベット止めし、固定子鉄心とともにヨークに取り付けられる。積層部のスペースはヨークの断面積の 40% におよび、補極磁束の電流に対するレスポンスはきわめて満足すべきものが得られた。

主極コイルは直流分で表わして 10% 純抵抗永久分路を行ない、主極電流はほぼ完全に平滑化させるようにし、脈流による銅損、ウズ電流損、鉄損、および変圧器起電力をなくしてある。したがって巻数は約 10% 増しで、そのほかの関係寸法は MT912 と同じである。

補極コイルは大きな脈流率の影響を受けるので、電流容量を上げるために起磁力を MT912 より若干減らした。ヨークが積層されているために補極磁束の応答性が良いのでこれで十分であり、それでも通常の電車電動機に比べるとやはり問題なく大きな起磁力をもっていて安定度は十分である。

2.4 試験結果の概要および検討

(1) 温度試験

この電動機は現車に装架した場合、車両の上部の清浄な空気を風道で導いて電動機内に吸い込むようになっているので、風量測定のために現車と同じ風道を製作し風量測定を行なった。その結果、約 18 m³/min の風量が定格で測定され(図 2.5 参照)、電動機の冷却はきわめて満足すべきことが示され、チリコシを若干増して風の抵抗を増しても通風効果は十分であった。直流および脈流の多くの試験はいずれも現車と等価な風量を与える風道をまた別に各電動機に取り付けて行なった。

この電動機は純然たる脈流電動機であるので脈流温度上昇が重要であるけれども、やはり直流温度上昇がベースとなっており、熱容量その他はこれをもって論じたい。脈流を考えるべきであるので、直流温度上昇試験も種々鉄道技研立ち会いのもとに行な

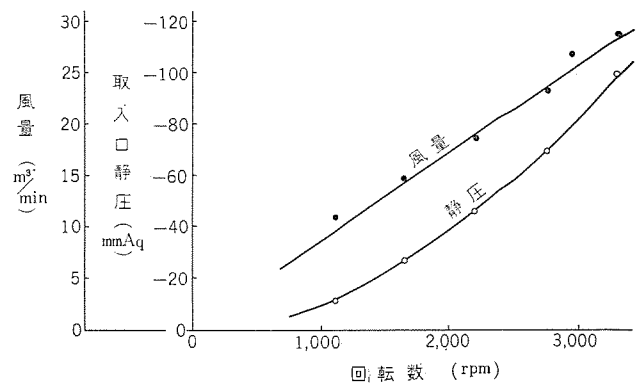


図 2.5 風量、静圧曲線

Fig. 2.5 Air volume and static pressure curves.

った。脈流は実際上あとにも述べるように設備そのものも大規模になるほかに、さらにデータをバラカせる大きな要因が加わるので、理想的な試験は行ないにくく、また基礎試験としても不完全なことが多いからである。

直流温度試験の結果はきわめて満足すべきもので信頼性において十分で、連続、一時間温度試験ともに一部の電動車の故障や、強大な電気ブレーキをくり返しても熱容量は十分であることを示した。また風道やチリコシの不具合によって風がしばられた場合でも、そんなにはなはだしい容量の低下は見られなかった。

つぎに脈流の場合は直流に比べて、一般に脈流による電流実効値の増加、磁束の脈動による鉄損の増加、コイル内漏れ磁束の脈動によるウズ電流損の発生があって温度上昇は大きくなる。

電機子においてはこれらのうちで脈流による実効値の増加の要素だけが大きくきいて、ほかのものはほとんど影響しないから、直流に対する温度上昇の増加率はごくわずかである。(一例として脈流率 30% として理論計算すると 4.5% 増しであって、実際に得られるデータもこれと同等、あるいはほとんど差の認められないことも多い。)

固定子のコイルの温度上昇は鉄損の増加およびウズ電流損の影響がきわめて大きい。コイル導体は一般に広はばのものでそのためにウズ電流損も相当に大きな要素を占めており、直流に対する増加率は一般に脈流率の増加に対して急激に(ほぼ二次関数的に)増加する。図 2.6 にその模様を示す。

このグラフを見てただちにわかることは、脈流温度上昇は脈流率の関数として一義的に与えられないことである。すなわち電源インピーダンスの関係から重なり角の異なった波形を用いた場合は、脈流率が同じでもその調波含有率が異なっており、これが温度上昇ならびに次項に述べる整流にも大きく影響することが知られた。

通常の電気車においては重なり角は 30 度程度(定格状態で)とされており、工場試験では重なり角を一般には自由に調節できないために、今回も非常に重なり角の大きい場合と非常に小さい場合しかデータが十分

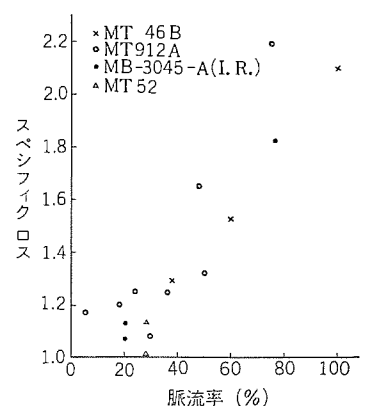


図 2.6 脈流率と直流に対する温度上昇増加

Fig. 2.6 Pulsation factor vs temperature rise increase in DC and pulsating current operation.

表 2.1 電流波形による損失の相違

	波 形	脈流損失分	ワズ電流損失分	備 考
A		0.795 $(1+0.273\mu)^2$	1 $(1+0.273\mu)^2$	重なり角が非常に大きい場合の波形、近似的に正弦波の上半分とした。
B		1.03	1.07	重なり角が非常に小さい場合の波形、正弦波とは異なる。
C		1	1	比較のために正弦波を示した。

比較のため正弦波（実際に現れない）を 1 とした。なお μ は脈流率である。

に得られなかったが、実際の使用状態での温度上昇をこれらのデータから類推する必要が出てくる。

表 2.1 はこれらの類推に有用な データ を提供するもので、波形 A は重なり角の大きな場合、B は重なり角が 0 に近い場合、C は脈流の交流分を正弦波と仮定して計算したものである。C は一般には脈流運転には現われてこないが、比較の基準として示した。これらのことは重なり角を関数として直流側の電流の波形分析を行なうか、実効値を理論計算しても得られる⁽¹⁾。

上述のように脈流運転には電源 インピーダンスの影響を無視できないわけであるが、試験の結果は相当条件の悪い場合でも全然不安のないことが示された。

(2) 整流試験

普通 ヨーク のものは脈流率 30% において、積層（一部）ヨーク のものは脈流率 50% において、いずれも満足すべき整流特性を示した。電動機的全運転範囲において無火花であり、図 2.7 に見るように優秀な無火花帯曲線が得られ、従来の脈流電動機に比べて、きわめて満足すべき特性をもっている。

したがって現車で実用するには、この試作 データ から見て設計脈流率（普通 ヨーク で 30%、一部積層 ヨーク のもので 50%）をさらに 10~20% 程増して使用してもさしつかえなく、この方が平滑 リアクトル は小形軽量となるし、また一次電流（架線電流）は脈流率が上がるために高調波含有率は少なく、通信誘導障害も少なくなるという利点がある⁽²⁾。

整流特性のうえにも、前項で述べた電流波形の影響が見られ、脈流率が同じでも重なり角の大きな場合は温度上昇が低いのも同じように整流火花も弱くなることが見られた。これはやはり波形の基本波が温度上昇と整流に相当に大きな要素として影響力をもっていて、脈流率だけでは整流もまた一義的には定まらないといえることができる。

したがって脈流運転に際しては、ただ単に脈流率を基準としただけでは正確な性能はつかめないといえることができる。実際問題として電源 インピーダンスを調整することには困難が伴うので、将来なんらかの等価試験方法を案出しなければならないと考えられる。

電動機の耐脈流性を評価する意味で、今回はとくに新しい試みとして補極磁束の測定を行ない、脈流との位相関係、過渡時の補極の追従性を調べた。補極磁束の測定は最近各方面でとり上げられている ホール 発電器を用い、これを補極の下面にはり付けて測定した。図 2.8 にその原理を示す。これは温度係数が少し弱点となっているが、今回の場合のように電流と相対比較する程度で、絶対測定ではないので十分である。取扱いはいきわめて容易で、サーチコイル 式その他に比べて問題にならない。

図 2.7 整流無火花帯曲線
Fig. 2.7 Black commutation bands

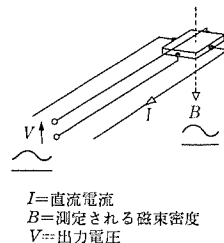
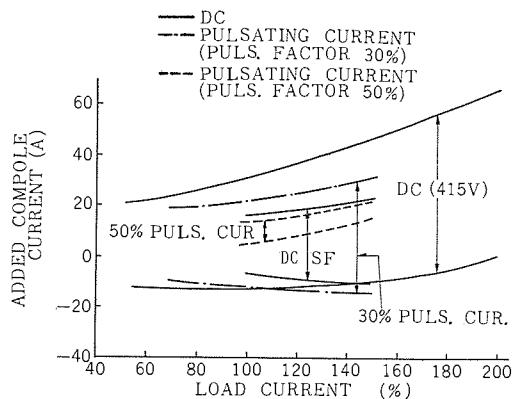


図 2.8 ホール 発電器
Fig. 2.8 Hall generator.

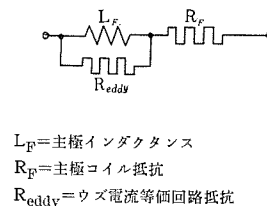


図 2.9 ヨーク ワズ 電流等価回路
Fig. 2.9 Equivalent circuit of frame eddy current.

脈流に対して補極磁束はやはり積層 ヨーク のものが良く追従し、その位相差は 120 c/s と ペース として約 30 度であって、きわめて満足すべきものとなっている。これはあとに述べるように、整流がほぼ無火花となる条件をもっている。非積層 ヨーク の場合はやはり 70 度ほど遅れているようであるが、予想以上に追従性は良く、これは補極の起磁力が強大であるためと考えられ、整流も非常に良かった。

つぎに ヨーク がソリッド の場合の ヨーク 内の ワズ 電流の効果を考えて見よう。よくいわれることは脈流による磁束の脈動はワズ電流で吸収されるということであるが、実際に計算を行なってみると完全に吸収されることはない。これは ヨーク の ワズ 電流を図 2.9 のような等価回路として考えた場合、側路の抵抗は一定として考えてはならないのであって、界磁を流れる電流の周波数の関数として示されることである。傾向としては周波数の低い場合は側路の抵抗は相当に低く、周波数が上がると大きくなってきて脈流分の 120 c/s に対しては低周波の場合よりもさらに相当大きな値になるものと考えられる。したがって 120 c/s の脈流分に対しては 2% 界磁分路がきわめて分路として有効にきいてくるわけで、ヨーク の ワズ 電流の効果はこの分路抵抗よりも相当少ないと考えることができる。したがって主極磁束はやはりある程度電流とともに脈動しており、変圧器起電力としての整流火花は無視できないものとなり、主極の 2% 程度の分路による整流の改善はこの変圧器起電力の抑制のほかに、主極脈動の位相をずらすことによって図 2.10 に見るような程度整流リアクタンス 電圧をも補償する成分を生ずるものと考えられる。この分路率に最適の状態が存在するのは、この位相調整作用で説明しうるものと考えられる。したがって積層 ヨーク の場合は比較的大きな分路で位相調整を行ない、また非積層 ヨーク の場合はあまり分路しない方が最適分路であると考えられ、これはわれわれの経験、試験結果と一致する。

(3) 過渡整流

新幹線は架線の セクション 通過は力行通過が原則となっており、これに対応する試験として電力中断試験、および電圧急昇試験を

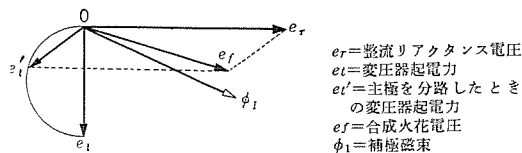


図 2.10 火花電圧ベクトル図
Fig. 2.10 Vector diagram of spark voltages.

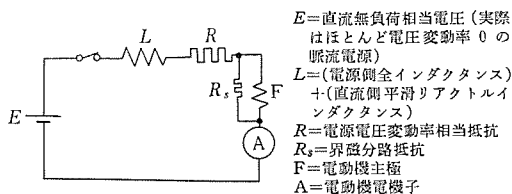


図 2.13 過渡試験等価回路
Fig. 2.13 Equivalent circuit for transient test.

行なった。図 2.12 にこれらのオシログラムを示す。いずれも突流は相当大きなものであるが、無火花に近い場合もあり、いずれも整流上は満足すべきものであった。この場合も電源インピーダンスの影響は大きく、また平滑リアクトルの値も突流の大小を左右するわけで図 2.13 のような過渡電流に対する等価試験回路により突流を評価する必要がある。電動機自身としては相当な突流に耐えることができ、とくに積層ヨークで 10% 界磁分路のものは当然ながら過渡電流も大きい積層ヨークの効果は大きく、補極磁束は補極電流に良く追従し整流は問題とならなかった。

回路上および運転上の要求から突流を減らす目的で行なった試験が図 2.14 であって、突流はみごとに消えてしまっている。これは再投入時に 0.3Ω の抵抗を一時的にそう入し、5~10 サイクルでこれをはずしたものである。

(4) 試作結果のまとめ

各種の試作により、温度上昇、整流ともにきわめて満足すべき結果を得、またわれわれの脈流電動機に対する考え方の正しいことが立証された。そして現在試作車に使用している平滑リアクトルのインダクタンス (普通ヨークの場合 3.5 mH/1 電動機、積層ヨークの場合 1.8 mH) をいずれの場合も大幅に減少させて、脈流率を計画値より大きくしても主電動機は十分実用できるものと判断される。

3. WN カップリング

WN カップリングはダブル・インターナル・エキスターナル・ギヤタイプの自在継手であって、当社が電車用として広軌、狭軌を問わず開発改良してきた平行カルダン式分離駆動方式のカップリングであってその信頼性はきわめて高い。

新幹線の運転条件は比較的高速が連続し、電気ブレーキは定格トルクに比べて非常に大きいので、これらのことを考えて、つぎの条件で試作を行なった。

形名	WN-570-AK (国鉄形名 QD9101)
定格 トルク	73.6 kg-m
最大 トルク	250 kg-m
定格回転数	2,250 rpm

国鉄新幹線試作車用主電動機・浅越・河村

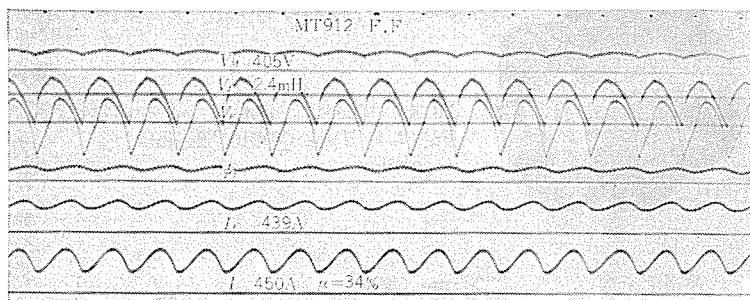


図 2.11 (a) MT912 脈流 オシロ (脈流率 30%)
Fig. 2.11 (a) MT912 oscillogram (pulsation factor 30%).

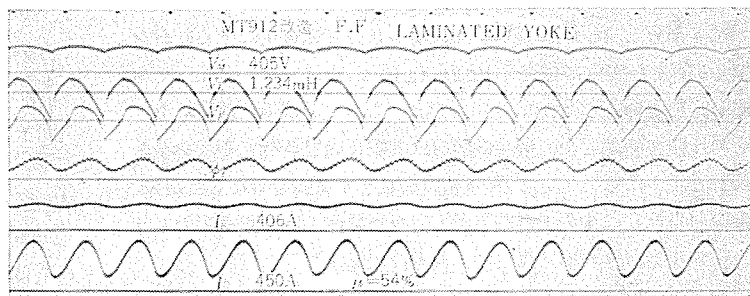


図 2.11 (b) MT912 改造脈流 オシロ (脈流率 50%)
Fig. 2.11 (b) MT912 laminated yoke oscillogram (pulsation factor 50%).

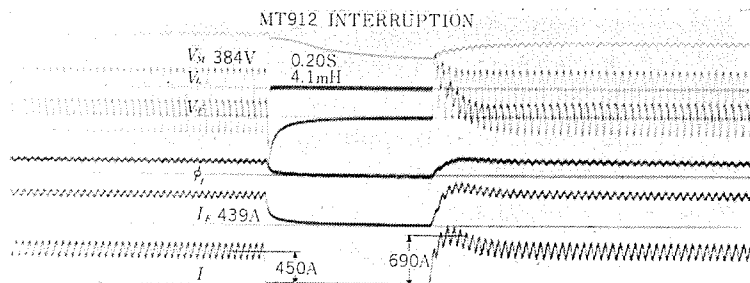


図 2.12 (a) MT912 電力中断 オシロ
Fig. 2.12 (a) MT912 oscillogram of power interruption.

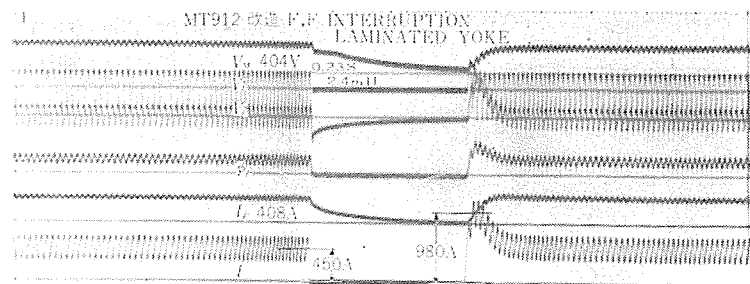


図 2.12 (b) MT912 改造電力中断オシロ
Fig. 2.12 (b) MT912 laminated yoke oscillogram of power interruption.

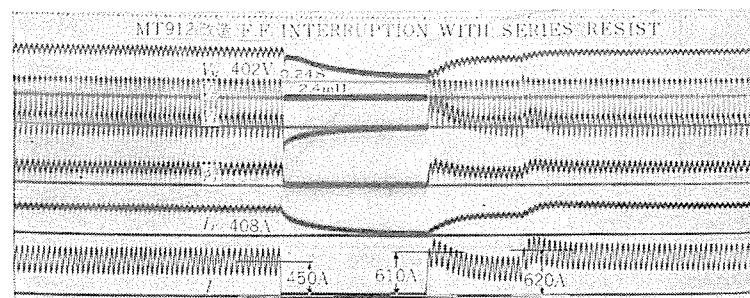


図 2.14 突流防止回路による中断 オシロ
Fig. 2.14 Interruption oscillogram by preventing from rush current.

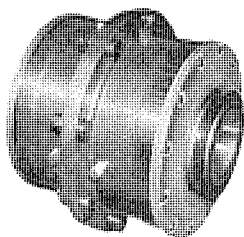


図 3.1 QD9101 形継手
Fig. 3.1 Type QD9101 flexible coupling.

最高回転数	3,300 rpm (実運転)
軸方向許容変位	± 12.5 mm
半径方向許容変位	± 16 mm
重量	52 kg

この数字は従来の電車の標準形に比し大容量のものであるが、スリーブ部分とインターナルギヤを一体構造として軽量化にとくに意をばらい、また変位に見合うピニオン(エキスターナルギヤ)のクラウニングを施し、熱処理、ラッピング、潤滑を鋭意行なって、継手試験機によりその性能を確認した。継手試験機は実際と同じ負荷と変位を与えられるようになっていて、種々の負荷状態で試験を行なった結果、歯面の当りは十分でかつ潤滑も完全に温度上昇や異常振動もほとんどなく、きわめて満足すべきものであった。

4. 平滑リアクトル

4.1 平滑リアクトルの設計

平滑リアクトルの設計は、別論文に見るように脈流率のほかに電源側のインピーダンスが与えられるとその定数が決まる。この場合はインピーダンスは約 18% ぐらいであって、脈流率を 30% とすると直流側に必要なインダクタンスは、約 17 mH である。電動機のもつインダクタンスは電機子の分が大部分を占めているが、計算上 4 個分で 3 mH 余りと考えられるので、下の要目に述べるようなインダクタンスを選んだ。平滑リアクトルの形式としては、現在までは大体通常の閉磁路鉄心で、ギョウ入りのものが設計されてきたが、今回は鉄心の閉じていない、いわゆるオープンコアタイプのものとした。これは鉄心が閉じていないために鉄心部分は軽く、またコイルも全面露出しているために冷却が良く、全体として小形軽量となり、

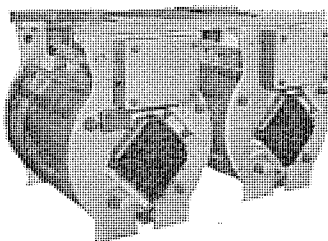


図 4.1 IC912 形平滑リアクトル (2 個をフックに取付けてある)
Fig. 4.1 Type IC912 smoothing reactor (two are mounted on the frame).

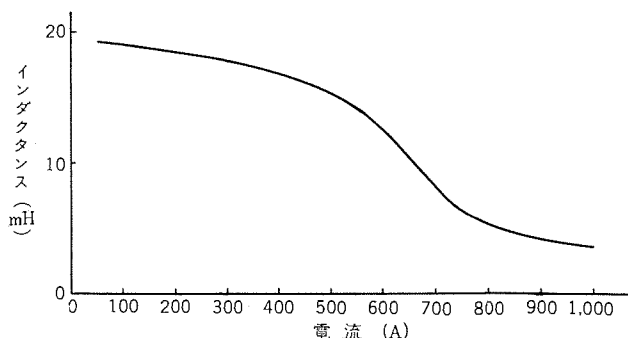


図 4.2 IC912 インダクタンス 曲線
Fig. 4.2 Inductance curve of IC912.

新幹線建設の趣旨にも十分添いうるものである。特性は比較的飽和がゆるやかで 使いやすという特長がある。

要目はつぎのようである。

形式	IC912
方式	オープンコア 形、乾式
冷却方式	自冷式
絶縁種別	F 種
定格	連続
インダクタンス	13.9 mH (450 A での計画値)
電流	360 A
回路電圧	1,660 V
周波数	60×2 c/s
脈流率	30%
試験電圧	6,000 V

4.2 概 要

鉄心は接着鉄心とし、ケイ素鋼板 0.35 とエポキシ樹脂系の接着剤で処理して組立てられている。接着鉄心は通常のカシメのものよりも振動や騒音が少ないという利点がある。

コイルは電動機の固定子コイルと同じくエポキシ一体固化絶縁とし、ボイルドレスの冷却の良いものとし、またコイルは銅帯をエッジワイズに巻いて 6 群に分割して絶縁工作を容易にした。

コイルを鉄心と組合わせたあとはアルミ合金のフックで締めつけて、コイルと鉄心間にエポキシ樹脂を充てんし、全体としてじょうぶな構造とした。

また途中タップを出して、一応 50% 脈流率用とすることも考えてある。

試験の結果、インダクタンスは定格点では若干計画値より多いめとなったが、特性はほぼ見込みどおりのものが得られた。温度上昇は幅の広い導体のために、ウズ電流損の増大が考えられるが、オープンコア形は、コイル内の漏れ磁路が長く、漏れ磁束密度が低いことと相まって、走行風を考慮して試験したところ、問題となる温度上昇とはならず、また局部過熱もなかった。

なお、実際に現車に装架するときは、電源車に 2 回路分の 2 個の平滑リアクトルを並べてフックで吊り、平滑リアクトルから外部への漏れ磁束を減らすために互いに極性が逆になるように接続している。

5. む す び

新幹線用主電動機その他の試作にあたっては鋭意技術の粋をつくした結果、その性能においてきわめて満足すべき結果を得ることができ、この結果からいえることは電動機は計画値よりもさらに脈流率を上げて用いるべきであり、平滑リアクトルの小形化による重量軽減と、電源側電流の高周波分減少による通信誘導障害軽減とをさらに達成しうる見込みができたことである。

この試作主電動機の試験の結果得られた成果が今後の設計に大きく寄与することができれば試作にあたった者として、はなはだ喜びとするところである。

最後に種々ご指導、ご協力を賜った国鉄関係者の方々に深くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) Ing. W. Holbert: ELEKTRIE Heft 6, S. 195 (1960).
- (2) 塩見幸三: 「三菱電機」 30, No. 4, p. 241 (1956).

国鉄新幹線試作車用電機品の組合せ試験

相田 茂夫*・八木 重一*

Combined Tests on Electric Equipment for Trial Cars of Tōkaidō New Trunk Line of J.N.R.

Itami Works

Shigeo AIDA・Shigeichi YAGI

Prior to the actual running tests of proto-type electric cars for Tōkaidō new trunk line of JNR, a number of tests were conducted in the factory on the main electrical parts assembled in a practical condition so as to make thorough study of the combined characteristics. As a result, phenomena of the tertial voltage drop with the main transformer and its remedy after the improvement were ascertained. Also the necessity of examining the dielectric strength of the tap changer against impulse voltage was revealed. The report covers many other points vital to the operation of this car.

1. ま え が き

試作電車の運転に先だって、総合性能を十分に確認するため、主要電機品の組合せ試験が行なわれ、当社は電圧変動率の測定、サージ移行率の測定および補機残留電圧の測定を担当した。

試験の結果、一部設計の変更も行なったが、最終的にはほぼ満足すべき性能を確認したので、以下その概要を記し、関係各位のご批判をあおぎたいと思う。

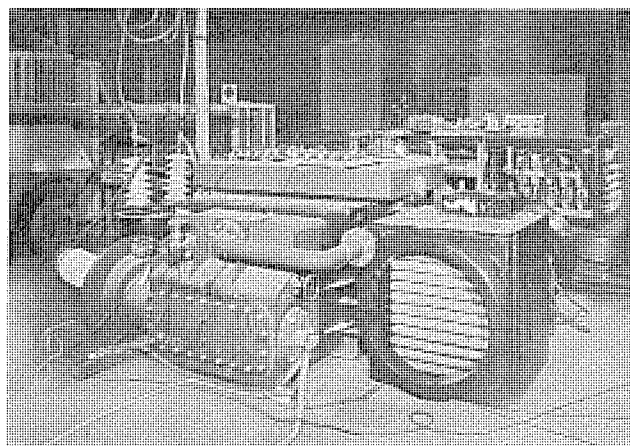
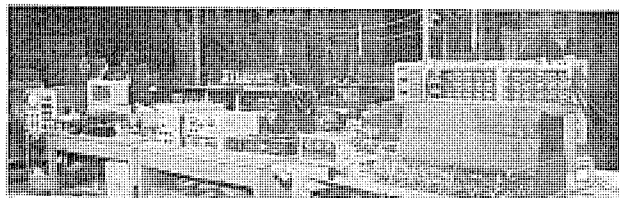


図 1.1 工場における試験風景
Fig. 1.1 View of factory test.

2. 電圧変動率の測定

各 タップ における主変圧器の二次無負荷電圧は、主電動機に定格電流を流したときの主電動機端子電圧が所要の値となるように、電圧変動率を考慮して定められており、電車の性能もこの変動率によって大きく左右されるので、この関係を確認する目的で行なわれたのがこの試験である。

2.1 組合せおよび試験要領

伊丹製作所において、主変圧器、タップ切換器、シリコン整流器お

*伊丹製作所

よび交流フィルタを組合わせ、負荷としては水抵抗と空心インダクタンスを使って定格負荷時の脈流率を 30% に合わせた。

主変圧器の一次電圧は、インピーダンスのきわめて小さい一定電圧電源から、インピーダンス 既知の変圧器を介して供給した。

測定は 1~25 ステップの中から適当な数 ステップを選び、各 ステップにおいて直流電流を 180 A~1,300 A の間に变化させて直流電圧を測定した。

2.2 試験結果

(1) 直流電圧

直流電流 900 A における実測値を、試験回路の定数を用いた計算値および設計値とともに表 2.1 に示す。

試験回路の定数による計算には、つぎの式を使用した。

$$E_d = 0.9E_s - \left(\frac{2}{\pi} X I_d + E_R + E_a + E_n \right) \quad (2.1)$$

$$E_m = \left(R_p + \frac{2}{\pi} X_p \right) I_d \quad (2.2)$$

$$\varepsilon = \frac{E_{d0} - E_d}{E_d} \quad (2.3)$$

ただし、 E_d ……直流電圧

E_s ……主変圧器二次無負荷電圧

I_d ……直流電流

X ……主変圧器の二次側からみたリアクタンス

E_R ……全回路の抵抗降下

E_m ……電源側のインピーダンスによる電圧降下

R_p ……電源側抵抗 (二次換算値)

X_p …… " リアクタンス (")

ε ……電圧変動率

E_{d0} ……直流無負荷電圧 ($=0.9 E_s$)

表 2.1 に示すように、これらの式を用いた計算値と実測値とはほぼ一致している。

一方、設計時に、主変圧器二次電圧を決定するとき用いた計算

表 2.1 電圧変動率

	電 圧 変 動 率 (%)		
	23 ステップ	17 ステップ	7 ステップ
実 測 値	31	33.6	110
試験回路の定数による計算値	29.6	28.6	104
設 計 値	22.5	26.6	108

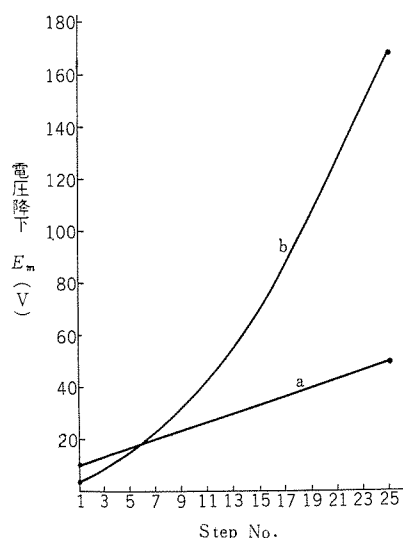


図 2.1 電源側インピーダンスによる
電圧降下
Fig. 2.1 Voltage drop due to
source side impedance.

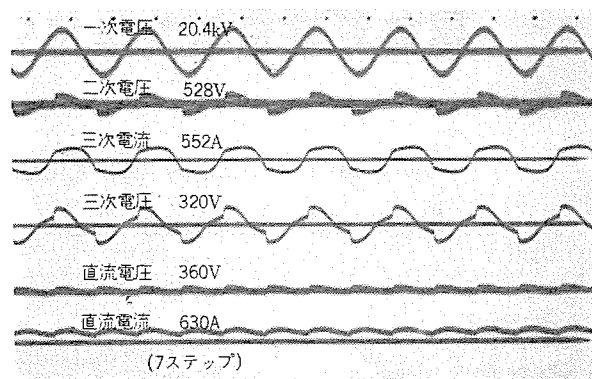
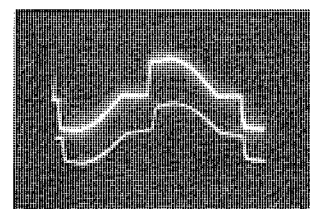


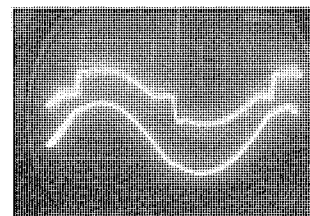
図 2.2 電圧変動率試験 オシログラム
Fig. 2.2 Voltage regulation test oscillogram.

表 2.2 三次電圧の実効値 (一次電圧=22.5 kV)

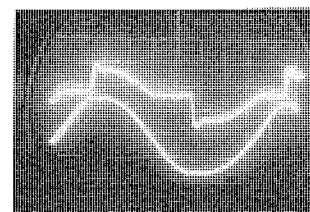
ステップ	直流電流 (A)	改良前				改良後			
		700	700	900	1,300	700	700	900	1,300
11		342 V	421 V	432 V	457 V	342 V	421 V	432 V	457 V
7		313 V	442 V	457 V	493 V	313 V	442 V	457 V	493 V



改良前 ($I_d=700$ A)



改良後 ($I_d=700$ A)



改良後 ($I_d=1,300$ A)

図 2.3 二次と三次の電圧波
形 (11 ステップ)
Fig. 2.3 Wave form of sec-
ondary and tertiary vol-
tage. (upper: secondary,
lower: tertiary)

式もやはり式 (2.1) であって、ただ E_m の値として $I_d=900$ A
においてステップによって図 2.1 の曲線 a に示すような変化をし、
しかも I_d に比例するものを仮定したのである。同図の曲線 b は
実際の試験回路における E_m を示したもので、設計時の仮定との
差が認められる。

また、設計時には式 (2.1) 中の X , E_R , E_a などの値も、もち
ろん設計値を用いたのであるが、これらは各機器とも実測値とよ
く合致している。

したがって表 2.1 に見られる設計値と試験回路の定数による計
算値との差は図 2.1 の曲線 a, b に示される E_m の差だけによる
ものと考えてよく、しかも計算値は実測値とほぼ合っているの
で、設計時に仮定した E_m の値が実際の線路における値と等価で
ありさえすれば、主電動機は所期の電圧を得て運転することがで
きることになる。

設計時に仮定した E_m が等価であるかどうかは実際の営業線に
おける電源や線路のインピーダンスや列車密度などを詳細に検討し、
また実測をしてみたいと簡単には結論は出せず、今後の
研究課題として残る問題である。

なお、図 2.2 に試験 オシログラムの 1 例として 7 ステップ $I_d=600$ A
の場合を示す。

(2) 三次電圧

この試験で最初主変圧器の二次-三次巻線間の漏れ磁束の影響
で、二次電流が流れると三次電圧が下がり、とくに低ノッチでそ
の傾向が大きく、線電圧が低下したときには三次巻線の負荷であ
る MG が失速するおそれがあることがわかったので、コイル配置
を変更してこの点に改良を加えた。

表 2.2 に改良前と改良後の三次電圧の比較を、図 2.3 に同じく
二次および三次電圧の波形の比較を示す。二つずつの波形のうち
上側が二次電圧、下側が三次電圧波形であって、改良後は二次電
圧波形に転流リアクタンスによる重なり角が現われていても、三次
電圧波形にはその影響がほとんど現われていない。

3. サージ移行率の測定

パンタグラフから侵入するサージや、ABB 開閉サージが各機器の絶

縁をおびやかすことがないか
どうかを確認するため、サー
ジアナライザを用いて主変圧器の
一次側に印加したサージが、二
次側三次側にどのように移行
するかを測定した。

3.1 組合せおよび試験要領

この試験は工場で各機器を組合せて行なったほか、 $\#$ 装完了後
の現車においても測定を行なった。

工場での試験では、主変圧器、シリコン整流器、タップ切換器およ
び交流フィルタを組合せ、直流側および三次側は無負荷とした。

現車では、 $\#$ 装状態のままで断流器を切って直流側を無負荷と
した。

印加波形は ABB の開閉サージをも模擬するため、比較的波尾
を長く $1 \times 200 \mu s$ とした。

工場および現車での試験回路を図 3.1 に示す。

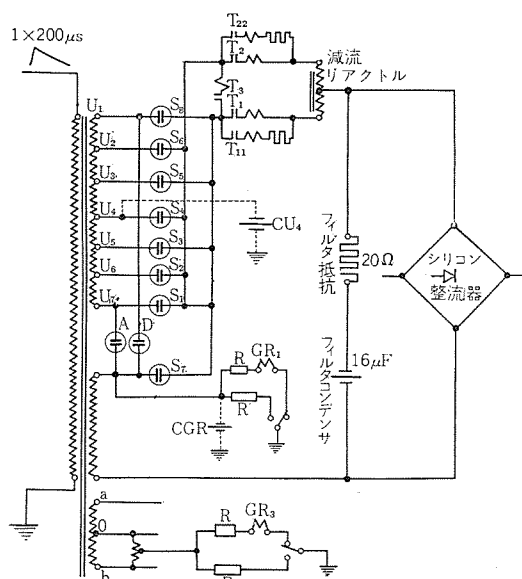


図 3.1 サージ移行率測定の試験回路
Fig. 3.1 Test circuit diagram of surge transfer test.

表 3.1 サージ移行率試験結果

(a) 工場試験と現車試験の比較 (現車試験: 日本車輛工場にて)

測定箇所 ステップ	サージ移行率 (%)												試験
	U ₁ -E	U ₇ -E	V-E	a-b	a-E	GR ₁ -E	GR ₃ -E	シリコン -E	シリコン 端子間	Aスイッ チ極間	Dスイッ チ極間	S ₇ スイ ッチ極間	
1	18.6		7.9	4.9	4.9	7.9	2.9	—	—	—	—	—	工場
	11.1	8.6	10.1	2.0	1.0	11.1	0	9.1	0	8.1	短絡	7.1	現車
9	17.6	—	13.7	3.9	5.9	7.9	2.0	—	—	—	—	—	工場
	8.8	7.2	8.8	2.1	0	9.3	0	6.7	0	13.4	短絡	4.1	現車
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	工場
	20.2	14.1	6.1	0	0	6.6	0	6.6	3.0	10.1	15.2	短絡	現車
17	24.5	—	13.7	2.9	4.9	5.4	2.0	—	—	—	—	—	工場
	13.4	7.2	8.3	0	0	6.2	0	8.3	6.2	短絡	12.4	5.2	現車
23	18.6	—	13.7	3.4	5.9	6.9	2.9	—	—	—	—	—	工場
	10.1	7.2	7.1	3.0	0	7.1	0	8.1	7.1	短絡	7.6	7.1	現車

(b) コンデンサの効果 (現車試験)

測定箇所 ステップ	サージ移行率 (%)												条件
	U ₁ -E	U ₇ -E	V-E	a-b	a-E	GR ₁ -E	GR ₃ -E	シリコン -E	シリコン 端子間	Aスイッ チ極間	Dスイッ チ極間	S ₇ スイ ッチ極間	
13	6.1	7.1	6.1	0	0	4.5	0	6.1	4.0	12.1	6.6	短絡	CU ₄ 入り
	7.2	7.7	4.1	0	0	0	0	0	2.6	8.7	8.2	"	CU ₄ + CGR入り
17	12.5	0	3.0	0	0	0	0	6.0	3.5	短絡	13.0	6.0	CGR入り
	6.6	5.1	7.2	0	0	6.1	0	2.0	4.6	"	12.8	4.1	CU ₄ 入り
	6.6	0	5.1	0	0	0	0	0	5.1	"	7.6	1.5	CU ₄ + CGR入り

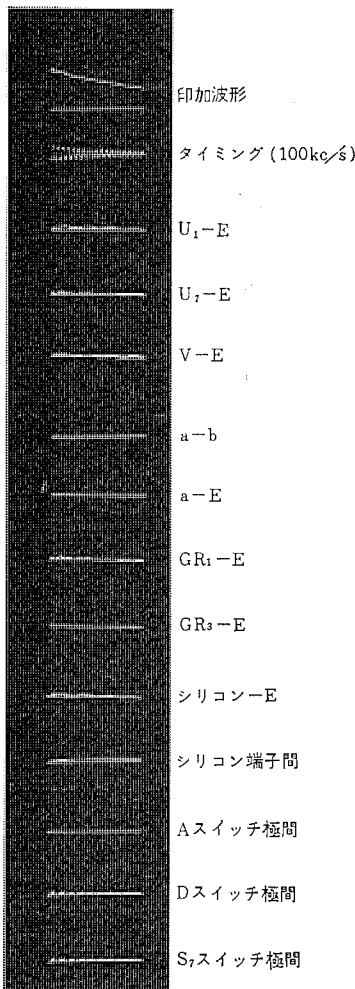


図 3.2 サージ移行 オシログラム (23 ステップ)

Fig. 3.2 Surge transfer test oscillogram.

試験は適当な数 タップ について、設計どおりの状態およびいろいろな点と大地間にコンデンサをつないだ状態、そのほかいろいろな条件で各点のサージ移行率を測定した。

3.2 試験結果

代表的な測定結果として、表 3.1 の (a) に各ステップについて設計どおりの状態における工場試験と現車試験との比較を、表 3.1 の (b) に現車試験における 17, 13 ステップの場合について CGR, CU₄ などを入れたときの比較を示す。

ただし、CGR は接地 リレーに並列に入れたコンデンサ、CU₄ は主変圧器二次側 U₄ 端子と大地間に入れたコンデンサで、どちらも静電容量は 1 μF である。(図 3.1 参照)

設計時に考えたサージに対する絶縁協調は、主変圧器の一次側に入れた避雷器によってすべてのサージを 11 kV に制限し、もっとも弱いシリコン整流器について

はブリッジに接続した交流端子間にその 9.1% (定格ステップにおける一次—二次の巻線比) の移行を許しただけで、そのほかの二次あるいは三次側の機器については別にインパルス耐圧を考えず、たとえばタップ切換器については商用周波数の交流について対大地に 6,000 V 1 分間の絶縁耐力を持たせただけであった。

試験結果によれば、心配されたシリコン整流器の交流端子間には最高 7% しか移行しなかった (ただし、交流フィルタをはずせば 12% となり、十分に効果が認められた) が、タップ切換器のセレクトスイッチの対大地および極間にはかなり大きい移行率が測定された。

最初行なった工場試験では表 3.1 の (a) に示すように、三次巻線と大地間にもかなり大きな

移行があったが、現車試験結果では、装設線のストレイ容量の影響で、ほとんど心配はなくなり、二次側だけとなった (二次側も工場試験よりは小さくなっている)

すなわち 13 ステップでは、主変圧器の二次側タップ巻線が固定巻線と切り放され、大地から浮くために二次端子 U₁ と大地間が約 20%, タップ切換器の D スwitch の極間が約 15% と、かなり大きな値を示している。

また、17 ステップでも U₁ と大地間が約 13%, D スwitch 極間が 12% と、やや大きな値を示している。

これらの移行率を減少させるため、前述のように CGR を入れてサージに対する接地インピーダンスを下げたり CU₄ を入れてみたりしたところでは、表 3.1 の (b) に示すとおり、CGR と CU₄ の併用がすべての点でもっとも効果があり、最高でタップ切換器 A スwitch 極間の約 9% であった。

以上述べたことから、もし設計どおりの状態で使用するならばタップ切換器のセレクトスイッチの対大地および極間の絶縁耐力を再検討する必要がある (対大地で 22 kV, 極間で 16.5 kV のサージに耐える必要がある)、場合によっては 13 ステップでも二次タップ巻線が大地から浮かないようなシケンスにするなり、CGR, CU₄ を使用する場合はまた接地リレーの誤動作防止を十分に考慮しなければならない。(当社製のタップ切換器は、上記サージに十分耐えることを別の試験によって確認している)

図 3.2 に代表的な移行波形のオシログラムとして、設計どおりの条件における 23 ステップの場合を示す。

4. 補機残留電圧の測定

新幹線はわずか 3 時間で東京—大阪間を走行するため、現在線のように架線のセクションを通過するとき、いちいちノッチオフすることはせず、主回路をメイクしたままで走ることになっている。また、セクション通過時無電圧になる時間は、変電所で切換操作を

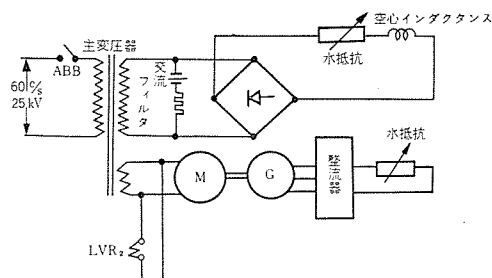


図 4.1 補機残留電圧試験回路略図

Fig. 4.1 Test circuit diagram of residual voltage test.

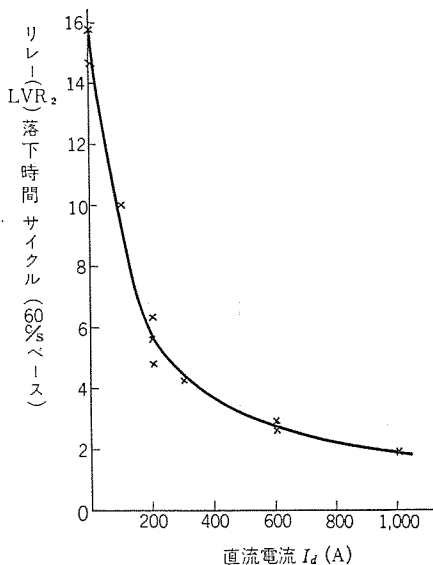


図 4.2 リレー (LVR₂) の落下時間

Fig. 4.2 Releasing time of the relay (LVR₂)

行なうので列車の速度と無関係に一定で 0.2 秒以下ということになっている。

このとき問題になるのは、0.2 秒以内に主電動機の誘起電圧がほとんどなくなってしまうために、再加圧の瞬間、主電動機に突入電流が流れることで、なんらかの手を打たないと、最悪の条件では定格トルクの約 3 倍程度のピークとなって、過電流保護システムの性能に支障をきたすこと、乗心地の面でショックを感じる場合があることである。

これの解決策として、0.2 秒の無電圧期間中に主電動機に直列に抵抗 (減流シャ断用の減流抵抗を利用する) をそう入し、再加圧時のピークを押えることが考えだされ、試作車で試験されることになったのであるが、これを実現するためにはセクション突入と同時にすばやく無電圧を検知するものがまず必要となり、実際には主変圧器の三次巻線に接続した低電圧 リレー LVR₂ にその作用を行なわせる予定となっている。0.2 秒以内に抵抗をそう入するためにはこの リレー が 6 サイクル以内に動作すればよいことが確かめられたのであるが、同じ三次巻線に負荷されている MG の電動機が 100 kVA の単相誘導電動機であるため、電源がなくなってもなお、かなりの残留電圧を三次巻線端子間に残すことが考えられ、はたして 6 サイクル以内に動作するかどうかをいろいろな負荷条件で確認するためにこの試験を行なったものである。

4.1 組合せおよび試験要領

主変圧器、シリコン整流器、MG および低電圧 リレー LVR₂ を組

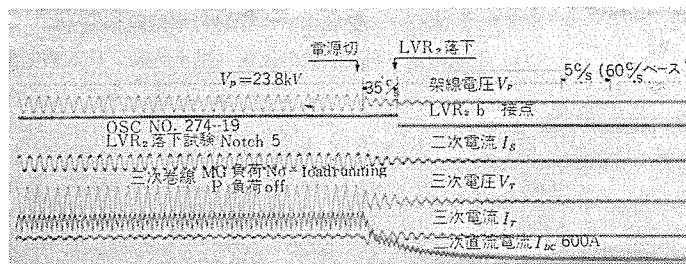


図 4.3 残留電圧試験 オシログラム

Fig. 4.3 Residual voltage test oscillogram.

合せ、主変圧器の一次電流をシャ断してから LVR₂ が落下するまでの時間を測定した。直流回路は水抵抗と空芯インダクタンスを使用して直流電流を 0 A から 1,000 A までの間に変化させ、一次電圧は試験場のつごうで約 24 kV とした。

また、MG の負荷は整流器と水抵抗を使って最大 90 kW とれるようにした。試験回路の略図を図 4.1 に示す。

4.2 試験結果

試験の結果 MG の残留電圧は、MG が無負荷の状態、直流電流が 0 A の場合がもっとも長く、直流電流がわずか (300 A 程度) 流れれば急に減少することがわかり、LVR₂ の動作 (落下) 時間は MG が無負荷の状態でも直流電流が 200 A 以上流れている状態ではほぼ 6 サイクル以内に入り、400 A 以上流れれば 4 サイクル以内に入ることが確認できた。

代表的な例として 11 ステップで MG 無負荷、ほかの三次負荷なしの状態では直流電流を変化した場合の LVR₂ の落下時間を図 4.2 の曲線に示す。ほかのステップも大同小異であった。

主電動機電流は、直流電流の半分なので、少なくとも 100 A 以上流れれば LVR₂ は 6 サイクル以内 (試験結果では 4 サイクル以内) に確実に動作するから、0.2 秒の無電圧期間中に抵抗がそう入され、再加圧時の突入電流を防止することができる。(このことも別に行なった試験によって確認済みである)

走行中に主電動機電流が 100 A 以下になることは、特性上ありえないと思われるので、結局すべての場合について OK ということになる。

図 4.3 にこの試験における代表的な オシログラム を示す。

5. む す び

以上で当社が担当した組合せ試験の概要を述べたが、結局、電圧変動率試験では、主変圧器三次電圧の低下現象と改良後の適正化を確認し、サージ移行率測定試験ではタップ切換器の対インパルス絶縁耐力の再検討が必要であることがわかるなどの成果をおさめた。

このほか、新幹線の組合せ試験としては、日立製作所が ABB の開閉サージ試験を行なって、有害なサージは出ないことを確認し、東京芝浦電気では避雷器の防爆試験などを行なって現車での使用に支障のないことを確認している。

この試験にあたり、いろいろとご指導、ご協力下さった日本国有鉄道の関係各位をはじめ、日本車輛、近畿車輛の関係各位にも深く感謝をささげてこの稿を終る。

八幡製鉄戸畑製造所納め 6 スタンド冷間連続圧延機電機品

伊藤 嗣郎*・茶谷 三郎*

Electric Apparatus of 6 Stand Tandem Cold Mill Supplied to Tobata Plant of Yawata Steel Mill

Kōbe Works Tsugio ITŌ・Saburō CHATANI

It was in 1961 when the first 6 stand tandem cold mill was, put into operation in United States, arousing keen interest of the world. Following this, the second installation in the world and the first in Japan was built in Tobata works of the Yawata Iron & Steel Co. All the electric apparatus providing with automatic thickness control and data logging devices were manufactured by Mitsubishi based on the profound experiences of this kind of machines. This is a record making product in many respects in which the Company can take pride.

1. ま え が き

6 スタンド冷間連続圧延機、アメリカ、ヤングスタウン社においてはじめて設置され、1961年に稼働に入ったばかりの最新鋭の冷間圧延設備である。

このたび八幡製鉄株式会社、戸畑製鉄所に設置された6スタンド冷間連続圧延機もほぼ同程度の規模を持ち、世界では第2番目、わが国では最初の設備であって、現在きわめて好調に運転をつづけている。

この電気設備は従来の冷間連続圧延機に比して、その容量も大きく、駆動方式、構造、制御などの点で多くの特色を持ち、また自動板厚制御、データ処理装置など最新の装置を備えている。当社の長年にわたる多くの経験とすぐれた技術を結集し、この完成を見たもので、冷間圧延設備用としては名実ともにわが国の記録的製品である。

2. 圧延機の概要

冷間連続圧延機の発展過程をふり返ってみると、薄鋼板の需要増大、圧延技術の進歩、圧延速度の高速化などに伴い、ミル・スタンドの基数も次第に多くなり、4スタンドから5スタンド、そして5スタンドから6スタンドに移行しようとしている。圧延速度が1,500~2,000 m/min 程度の設備を、全5スタンドで運転された実例もあるが、圧延の高速化、大容量化に伴い、

(1) ワーク・ロールにおける発熱が集積し、ロール自身が変形するため、満足な形状を保つことがむづかしくなってくる。

(2) 圧延速度が1,200~1,500 m/min をこえると、鋼板のひっかきや摩擦による絞り込みなどの現象が起こりやすくなる、などの問題があって、5スタンドでは圧延上かなりの無理がある。

広幅の薄い鋼板の高速冷間圧延には、最近スタンド基数を6スタンドとするのが、コストの点でも生産性や品質向上の点でもすぐれているといわれている。

このたび八幡製鉄株式会社、戸畑製鉄所に設置された6スタンド冷間連続圧延機は、その主要圧延機をアメリカ、メスタ社が製作し、電気設備のいっさいを当社が担当した。

圧延機の概略仕様は、つぎのとおりである。

圧延 ロール

ワーク・ロール	585 mm 径×1,420 mm 長
バックアップ・ロール	1,420 mm 径×1,420 mm 長
ストリップ 幅	508 mm~1,300 mm
ストリップ 厚さ	0.08 mm~0.8 mm
成品 コイル 内径	406 mm~508 mm
成品 コイル 外径	915 mm~2,030 mm
圧延最高速度	2,200 m/min

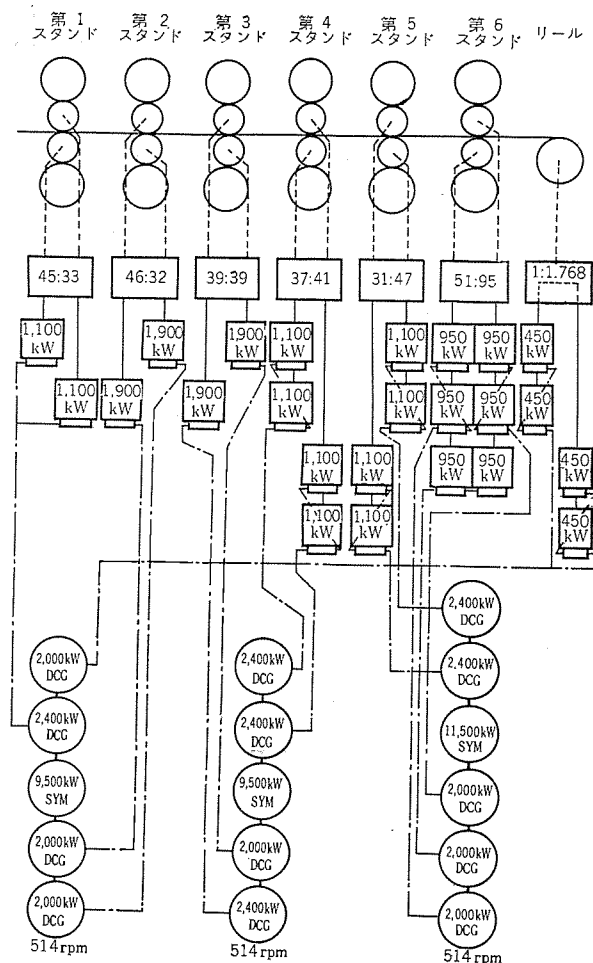


図 2.1 6 スタンド、タンデム、コールドミル 簡略レイアウト
Fig. 2.1 6 stand tandem cold mill simplified layout.

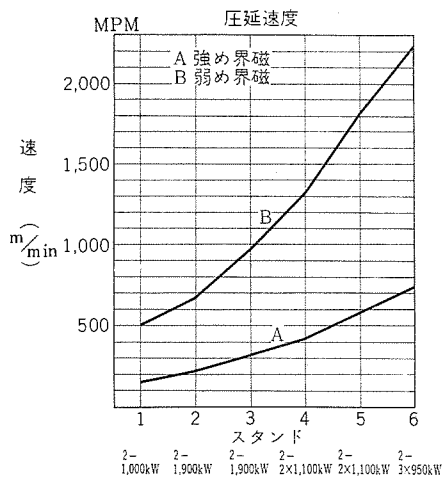


図 2.2 スピードダイアグラム
Fig. 2.2 Speed diagrams.

全スタンドとも四重式で、上、下ワーク・ロールを別々に駆動する双子形駆動方式となっており、ピニオンスタンドはない。減速機構または増速機構は、上、下ワーク・ロールと電動機を連結する各1組のピニオンおよびギヤを同一ケーシング内に納め、それぞれが互いに機械的に無関係な構造となっている。したがって、上、下ロールを駆動する2セットの電動機は、ロール→鋼板→ロールにより、機械的に関係づけられるだけで純電気的な方法により、電動機の負荷平衡を考えなければならない。

図 2.1 は6スタンド冷間連続圧延機のミル・スタンドならびに電動機の簡略レイアウトを示すもので、一般に冷間連続圧延機では、限られた床面積、狭いスタンド間隔に、大出力の電動機が集中するから電動機のフレーム外径に寸法的な制約をうけ、しかも前後に譲り合った据付けを行わなければならない。

従来から冷間連続圧延機用圧延電動機的设计にあたり、

(1) 全スタンドを一樣な関係速度で加、減するため、電動機の加速特性のふぞろいをなくす。

(2) オフ・ゲージを少なくするため、加速時間をできるだけ短くする。

などの目的から二重、三重電機子構造や双子形駆動とするように心がけてきたが、このように圧延設備が大形化すると、床面積、スタンド間隔、軸心距離などによって、電動機のおよその体格がきまり、電機子の分割数や駆動方式の選定など、設計上の自由度は次第に失われてくる。

巻取機もミル・スタンドと同様に双子形駆動であるが、二つの駆動軸は増速機内の歯車によって、機械的な結合がなされている。

これまで、この種の設備では、あまり例のなかったことであるが、第4スタンド以降では増速され、各スタンドごとの関係速度を示すスピード、ダイアグラムは、図 2.2 のとおりである。

3. 主要回転電気機械

3.1 圧延用電動機および巻取用電動機

各ミル・スタンドおよび巻取機を駆動する電動機の定格は、表 3.1 のとおりである。圧延電動機の仕様は NEMA 規格 (JEM 1157 圧延用直流電動機規格と同等) に準拠し、B 種絶縁によりその温度上昇限度を

100%負荷連続	40 deg
引続き 125%負荷 2 時間	55 deg

とし、また過負荷耐量は

表 3.1 圧延用直流電動機および巻取電動機定格

スタンド番号	減速比 増速比	電 動 機				電 源 (kW)
		出力 (kW)	電圧 (V)	回転速度 (rpm)	駆動方式	
1	45:33	2-1,100	750	125/375	単電機子 双 子 形	2,400
2	46:32	2-1,900	750	212/520	"	2-2,000
3	39:39	2-1,900	750	212/520	"	2-2,000
4	37:41	2- 2×1,100	2×375	255/637	二重電機子 双 子 形	2-2,400
5	31:47	2- 2×1,100	2×375	255/637	"	2-2,400
6	51:95	2- 3× 950	2×375	300/635	三重電機子 双 子 形	3-2,000
巻取り	1:1.768	2- 2× 450	2×375	200/1,000	二重電機子 双 子 形	2,000

基底速度において

200% 1 分間

として製作している。

巻取電動機は、NEMA あるいは JEM 規格で規定する圧延用電動機の適用から離れ、B 種絶縁で温度上昇限度を 60 deg とした。事実圧延設備の大形化により、それにつれて巻取電動機の出力も大きくなり、電動機を巻取機用としての特性本位で設計すると、圧延電動機なみの低い温度上昇限度を適用することがむづかしくなってくる。

単電機子構造となっている第1、第2、第3スタンドの電動機は、定格電圧を 750 ボルトとし、二重または三重電機子構造となっている第4、第5、第6スタンドおよび巻取電動機は、一つの電機子あたりの電圧を 375 ボルトとして製作した。このような大出力の電動機に 375 V の低い電圧を採用することは、整流子片間電圧を低下させ、セリ絡の心配は皆無に近い利点があるが、他方では定格電流が大きくなり、長大な整流子とするか、二整流子構造としなければならない不利な点もある。今回製作した電動機には、電機子巻線に非対称二重巻を採用し、できるだけブラシ・カバリングを大きくする意味から、厚肉、広幅のブラシ・サイズを選定し、比較的短い単整流子構造で製作することができた。しかし、整流子の全面がブラシでおおわれ、ブラシの接触面積の増大と大電流の集中が行なわれると、整流子の温度上昇が問題となる。このために整流子の冷却に専用の軸流ファンを整流子直下に取付け、整流子の過熱とカーボン・ダストのたい積の二重防止に効果をあげている。

さきに述べたように、第4スタンド以降は電動機を二重、三重電機子構造としているが、ロールの回転速度が、電動機速度よりさらに増速されるため、ロール側の GD^2 が大きくきいてきて、電動機固有の加速特性を全スタンドにわたり、ふぞろいのない一樣な値とすることはむづかしい。もちろん最近のすぐれに自動制御技術によって、このようなふぞろいを十分にカバーし一様加速を円滑に実施している。

表 3.2 は、各スタンドにおける圧延電動機固有の加速電流比および加速遅れを示すもので、最高速度まで 10 秒加速を行なうと仮定して計算したものである。また、図 3.1 は、巻取電動機の各コイル径における加速電流比を図示したものである。

電動機の通風はアップ・ドラフト方式により、地下室に吸入された清浄空気を、電動機の反整流子側下方から押し込み、整流子側から排気する。このため整流子側は、多量の風量の処理できる大きなカバーを設け、しかも限られたスペースを有効に利用して、点検トビラから内部への出入りを自由にできるような構造とした。(図 3.2 参照) のちに述べる主発電機も、電動機と同様な方式を採用している。

電動機の製作にあたり、電機子スパイダ、クランプなどを鋼板溶接構造とすること、電機子鉄心には、ダライルを設けないことなど

表 3.2 圧延電動機加速特性

スタンド番号	1	2	3	4	5	6
電動機出力 kW	2-1,100	2-1,900	2-1,900	2-2×1,100	2-2×1,100	2-3×950
電動機 rpm	125/375	212/520	212/520	255/637	255/637	300/635
電動機 GD^2 TM^2	9.6	9.6	9.6	2×4.5	2×4.5	3×1.7
ロール GD^2 TM^2	3.7	3.4	6.0	7.2	12.4	22.9
全 GD^2 TM^2	13.3	13.0	15.6	16.2	21.4	28.0
加速電流比 %	46.5	50.6	60.7	81.5	108	108
% 電圧降下	5.2	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
加速遅れ %	2.42	1.77	2.12	3.26	4.32	4.84

(注 1) 最高速度まで 10 秒加速を仮定した場合である。

(注 2) 加速特性は、双子形駆動であるから半分の電動機について計算したものである。

は従来から行なわれているが、構造上の特色として、第 6 スタンド用は 950 kW、全 6 台の電動機を一つの台の上に、2 列にくし状に配列し、相隣る各 2 台の整流子カバーを共通にした構造はコールド・ミル以外では例のない特異なものである。(図 3.3 参照)

3.2 主発電機

圧延電動機群の電源となる主発電機は、2,000 kW、2,400 kW、全 13 台、総出力 28,000 kW を 3 セットに分け、それぞれを 9,500 kW、514 rpm、2 台、11,500 kW、514 rpm、1 台の同期電動機により駆動

している。(図 3.4 参照) 発電機の仕様は、圧延電動機と同様 NEMA 規格に準拠して製作された。

一般にコールド・ミルでは、加速、減速時間を可逆圧延を行なう分塊ミルなどに比して、相当長く計画されるため、発電機の界磁時定数は、従来あまり重要視されなかった。

しかし最近の設備では、自動厚み制御がほとんど常識的に用いられ、発電機にはすみやかな電圧応動特性が要求されるようになった。また他方では、圧延の高速化に伴う鋼板の絞り込みなどによる急激な過負荷が予想されるため、当社では、コールド・ミル用としてははじめての試みとして、すべての主発電機を成層鉄構造としている。さらに発電機は、急激な変化をなす電機子起磁力に有効な Δ パ特性をもった補償巻線を備え、その効果が期待されている。

このほか、発電機に要求される特性として全スタンドの一樣加速を円滑に行なうために、各機の飽和曲線にふぞろいがなく、磁気増幅器により直接励磁されるため、できるだけ励磁容量を少なく設計する必要がある。

主発電機は一重重巻としては、直流機の限界出力に近い機械であるが、工場試験の結果では、仕様温度上昇ぎりぎりの範囲で、かつ 200% 負荷まで、きわめて良好な整流能力を持った理想的な設計が行なわれた。

主発電機を駆動する同期電動機 11,500 kW、14 極は、この種の用途ではその出力が当社の記録品であり、9,500 kW とともに最新の技術を取り入れた画期的な製品である。また、発電機電圧制御用磁気増幅器電源に、300 kVA、420 サイクル高周波発電機を備えているのは、注目に値する。

八幡製鉄所製所納め 6 スタンド 冷間連続圧延機電機品・伊藤・茶谷

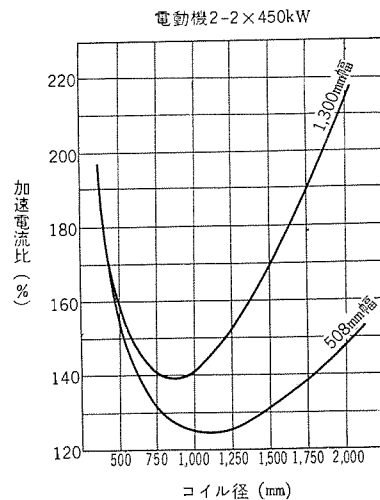


図 3.1 巻取電動機加速電流比 %
Fig. 3.1 Reel motor acceleration current ratio.

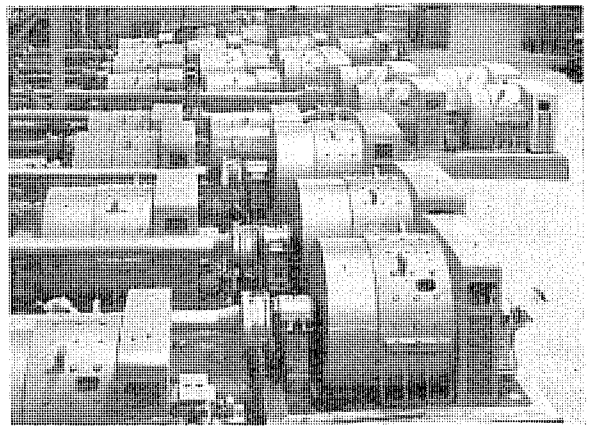


図 3.2 圧延電動機群
Fig. 3.2 Mill motors.

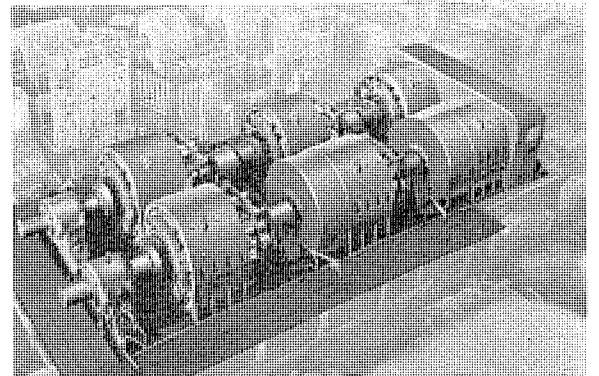


図 3.3 第 6 スタンド電動機
Fig. 3.3 Sixth stand motors.

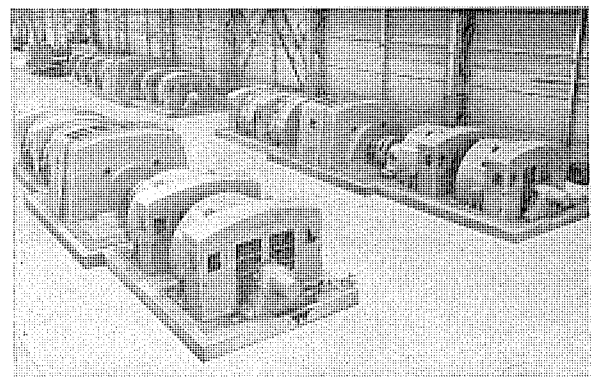
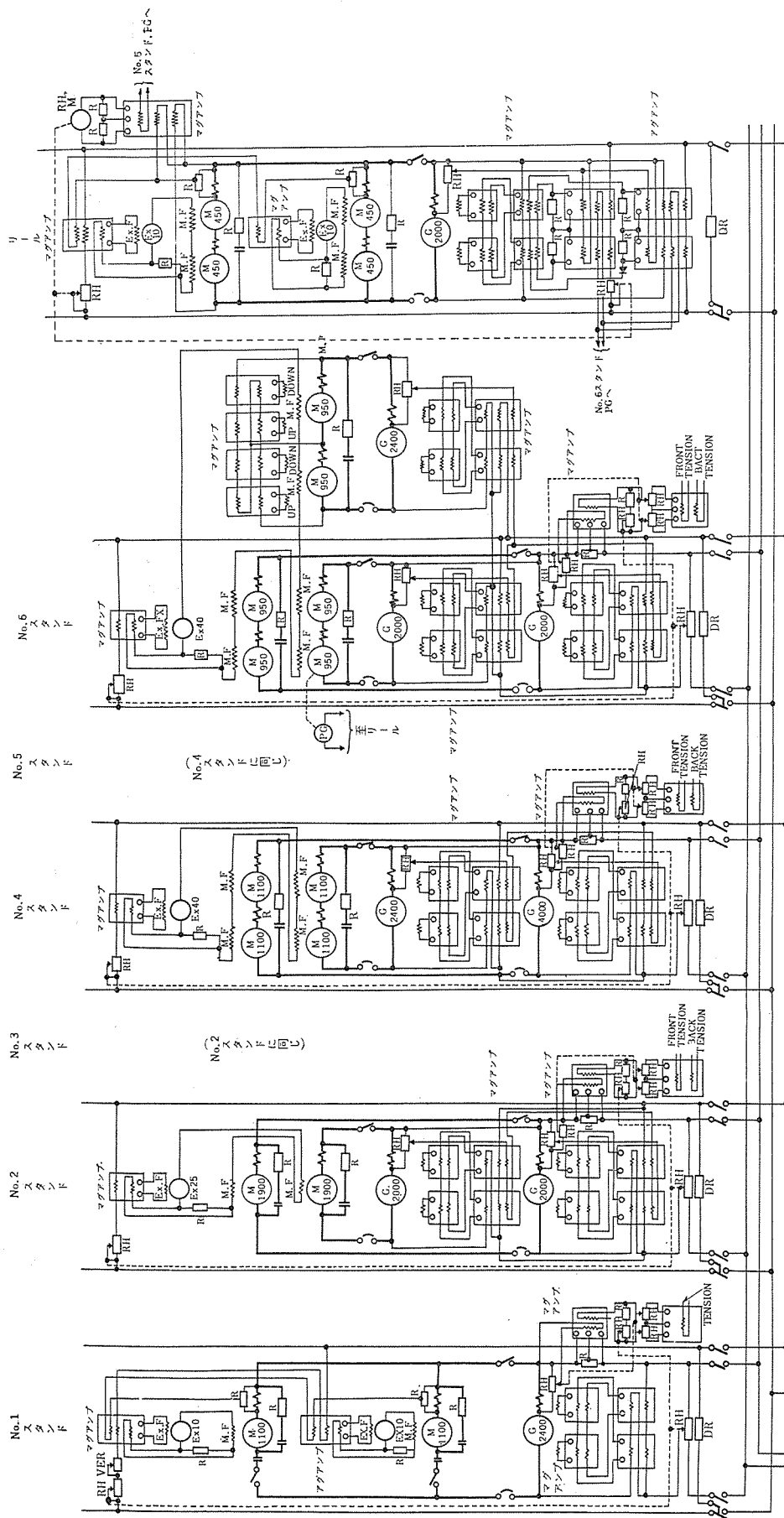


図 3.4 主発電機セット
Fig. 3.4 Main generator set.

4. 制御方式

図 4.1 に主回路の接続を示してある。No. 1 スタンドは上、下ロール駆動電動機 2 台に対して発電機 1 台、No. 2~No. 5 スタンドは上、下ロール駆動電動機 2 台に対して発電機 2 台、No. 6 スタンドは上、下ロール駆動電動機 2 台、6 電機子に対して発電機 3 台とし、発電機の容量を 2,000 kW および 2,400 kW の 2 種類とし、各発電機の特性を一致させて速度の協調を容易ならしめた。図から明らかなように、No. 6 スタンドは 2 電機子を直列に接続して、3 台の発電機から給電しているが、この接続により No. 6 スタンド 発電機の容量を、No. 2、No. 3 スタンド 発電機の容量と同じにすることができた。冷間連続圧延機がその運転性能を十分に発揮するためには、安定な制御系で、かつ電動機に急激に負荷が印加された場合の電動機速度の回復時間が速いことが必要である。とくに



この設備のように圧延速度が速くまた自動板厚制御を行なうものでは、この条件が一層きびしいものとなる。この設備ではこの条件を満たすために、各発電機の界磁を 400 c/s の三相磁気増幅器によって直接励磁することにした。巻取電動機は定電流制御と定逆起電力制御とを併用して、電動機の出力が一定になるように制御し、鋼板の張力が一定になるように制御した。

4.1 圧延電動機の制御

図 4.2 に圧延電動機の制御回路を示してある。電動機の界磁は励磁機と磁気増幅器によって、界磁の温度変化に関係なく界磁電流が設定値に保たれるように制御している。電動機の手度は界磁電流をあらかじめ設定しておいて、発電機電圧によって制御する。発電機の界磁は直接磁気増幅器で励磁されるので、正転界磁のほかに補助逆転界磁を設け、円滑な減速、急速な非常停止および逆微動運転ができるようにしてある。初段磁気増幅器には基準巻線 (BASIC) と制御巻線 (CONTROL) があり、基準巻線は基準電圧を界磁調整器で分圧した電圧で励磁される。したがって加減速の際、基準電圧を変化させるにしたがって、基準巻線は基準

電圧に比例した電圧で励磁される。この基準電圧は No. 1~No. 6 スタンドに共通であるから、各発電機電圧は基準電圧に比例して変化する。

発電機の (+) 端子は制御巻線を経て界磁調整器の可動部に接続される。発電機の (-) 端子は IR 降下補償磁気増幅器を経て、基準電圧母線の (-) 側に接続される。IR 降下補償磁気増幅器は、電動機の圧延電流と加減速電流による IR 降下を適当に補償して、各スタンド電動機の加速遅れを運転特性上最適の値に調整する。IR 降下磁気増幅器と制御巻線と

注 M, G および Ex. 容量単位は kW

図 4.1 主回路接続図
Fig. 4.1 Schematic diagram for 6 stand tandem cold strip mill.

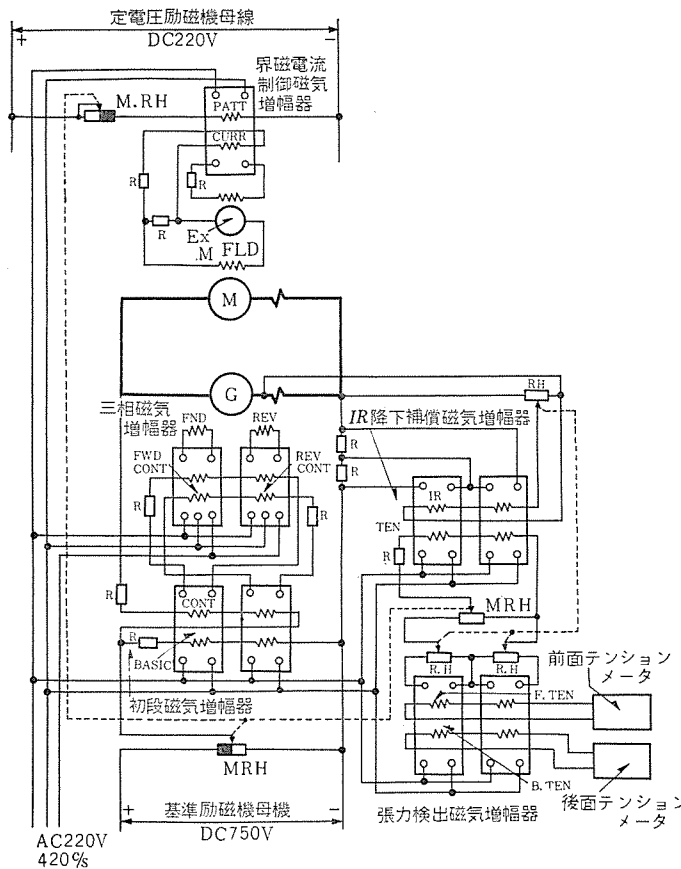


図 4.2 圧延電動機制御回路
Fig. 4.2 Mill motor control circuit.

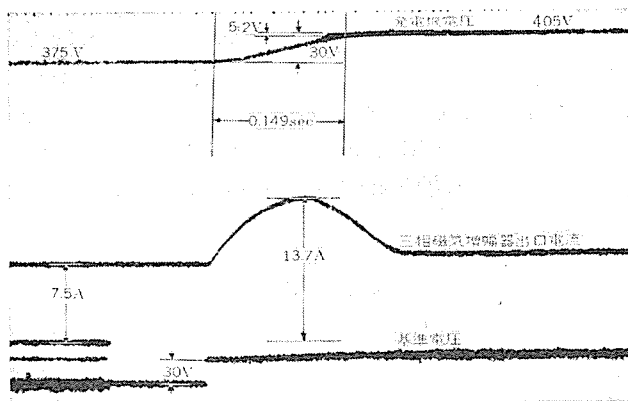


図 4.3 発電機電圧過渡特性
Fig. 4.3 Transient characteristics of generator voltage.

の作用により、発電機電圧は基準電圧と IR 補償電圧の和に等しくなるように制御される。 IR 降下補償磁気増幅器には電流巻線 (CURRENT)、張力巻線 (TENSION) があり、さらに No. 5, No. 6 スタンドには板厚制御巻線 (AGC) がある。電流巻線は、発電機の補極および補償巻線の電圧降下を可変抵抗器によって分圧された電圧で励磁される。主回路電圧降下の補償量は、この可変抵抗器を操作することによって適当に調整することができる。張力巻線は張力検出磁気増幅器によって励磁され、電動機の後面張力電流が大きいときに、張力巻線が電流巻線と差動に作用するように接続してある。電流巻線によって検出される主回路電流は圧延電流、加減速電流および張力電流の和であり、加減速時にスタンド間の張力を一定に保つためには、圧延電流と加減速電流による主回路電圧降下を補償する必要があるから、電流巻線によって主回路全電流を検出し、張力巻線によって張力電流を検出し、その

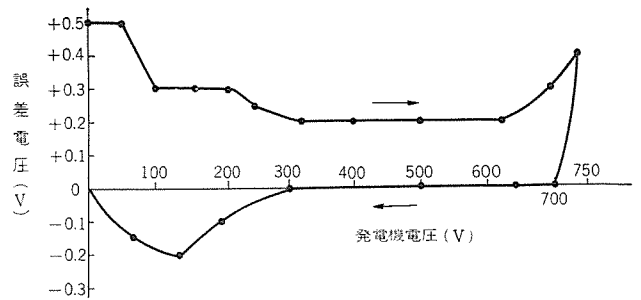


図 4.4 誤差電圧試験
Fig. 4.4 Voltage error test.

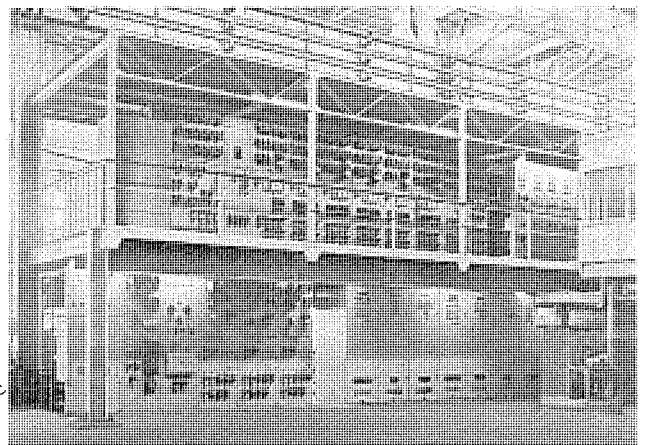


図 4.5 制御盤
Fig. 4.5 Control panel.

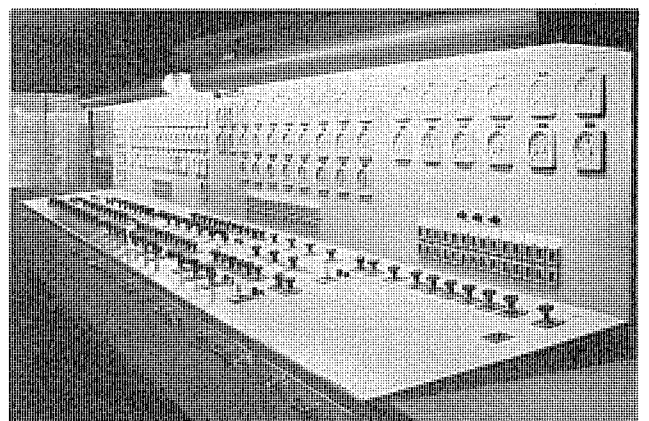


図 4.6 総合監視盤
Fig. 4.6 Supervisory panel.

差によって主回路電圧降下を補償するようにしてある。張力検出磁気増幅器には前面張力巻線 (FRONT TENSION) と後面張力巻線 (BACK TENSION) があり、それぞれテンションメータより励磁され互いに逆極性に作用し、後面張力が大きいときに、張力検出磁気増幅器の出力電圧によって IR 降下補償磁気増幅器の張力巻線を電流巻線と逆極性に励磁するようにしてある。

冷間連続圧延機においては、電動機に急激に負荷が印加された場合の回復時間の速さを表わすのに、発電機が定格電圧の $1/2$ の電圧を発生している状態において、基準電圧に定格電圧の 4% の変化を与えたときの発電機電圧の応答時間で表わすことにしている。図 4.3 は発電機電圧の速応度を示すオシログラムで、0.147 秒という速い応答時間を得た。また IR 降下補償を行なわない場合の発電機電圧と基準電圧との差電圧も制御系の性能を示す数値である。図 4.4 に発電機電圧の誤差電圧を示してある。基準電圧を最低か

ら最高まで変化させた場合、誤差電圧が最高 0.5 V というすぐれた結果を得た。図 4.5 に制御盤、図 4.6 に総合監視盤を示す。

4.2 巻取電動機の制御

巻取機は No. 6 スタンドと巻取機間の鋼板の張力を、設定値に保持して巻取るようにしてある。張力を一定に保つには電動機の出力を一定にすれば良いから、負荷電流と逆起電力の積を一定に保つように制御している。すなわち負荷電流は発電機の電圧を制御して一定に保ち、逆起電力は電動機の界磁を制御して、鋼板の圧延速度に比例した値に保つように制御している。図 4.7 に巻取電動機の制御回路を示す。発電機はスタンド発電機の場合と同様に磁気増幅器で電圧制御され、初段磁気増幅器の制御巻線 (CONTROL) は電流制御磁気増幅器の出力電圧で励磁される。電流制御磁気増幅器には、電流基準巻線 (PATT)、電流巻線 (CURRENT) および速度基準巻線 (BASIC) がある。電流基準巻線は、定電圧電源から張力調整抵抗器で分圧されて励磁され、電流巻線は発電

機の補極および補償巻線の電圧降下で励磁される。この両巻線は互いに逆極性に作用するように接続されている。速度基準巻線は No. 6 スタンド電動機に連結されたパイロット発電機より励磁される。電動機の負荷電流が設定値に保たれているときは、電流基準巻線と電流巻線とのアンペアターンが打ち消されて、発電機電圧は速度基準巻線に与えられたアンペアターンで制御されるが、この両巻線の間にアンペアターンの差を生じたときは、電流制御磁気増幅器の出力電圧が変化し、発電機電圧を制御して負荷電流が電流基準巻線に与えられたアンペアターンに相当する電流になるようにする。電流制御磁気増幅器の後段に電圧制御磁気増幅器を使用して発電機の飽和が電流制御系に与える影響を少なくしているから、すぐれた電流制御の精度が得られる。巻取電動機界磁は、スタンド電動機と同様に専用の励磁機で励磁され、界磁の温度変化を補償するために定電流制御を行なっている。磁気増幅器の基準巻線 (PATT) は界磁調整器を通して定電圧電源に接続される。この界磁調整器は逆起電力制御磁気増幅器により制御され、鋼板のコイル径の増加にしたがってコイル径に相当する回転数の界磁電流に調整して、電動機の逆起電力を鋼板の圧延速度に比例した値に保持する。巻取機の制御において重要なことは加減速時に加減速電流を補償して鋼板の張力を一定に保持することである。とくに設定張力が小さいときは張力電流に比して加減速電流が大きくなるから、慣性補償については十分注意を払う必要がある。この設備においては、電動機とリールの GD^2 の補償とコイルの GD^2 の補償を行ない、コイルの GD^2 の補償はコイル径に相当する補償量を与えるようにしてある。またコイルの GD^2 の補償はコイル幅によっても調整できるようにしてある。鋼板を巻取機に巻取ってからの運転は上記のとおりであるが、通板中には巻取機は No. 6 スタンドの速度よりわずかに速い速度で運転する必要がある。また、圧延中に鋼板が切断した場合に巻取電動機が過速するのを防ぐために、無負荷運転時には速度制限磁気増幅器によって初段磁気増幅器の速度制限巻線 (SPEED LIMIT) を励磁し、電動機が過速しないようにしてある。

5. む す び

以上、この設備の概略を説明した。この設備はわが国最初の 6 スタンドの上、下ロール各個駆動方式の圧延機であるが、磁気増幅器を全面的に使用することによりすぐれた制御系を構成し、その機能を十分に発揮させることができた。なお、詳細は別に発表する予定であるが、この設備には自動板厚制御装置とデータ処理装置とを備えている。前者はこの設備の運転と同時に稼働を開始し現在好調に運転中であり、後者はまもなく運転を開始する予定である。当社は冷間連続圧延機の電機品については長年の経験と多くの実績を有しているが、今回最新の技術を使用した設備について貴重な経験を得たことを無上のよろこびと思っている。さらにこれらの経験を生かして技術の向上をはかりたいと願っている。終りに終始貴重な助言をいただいた八幡製鉄の関係各位に深甚な謝意を表する次第である。

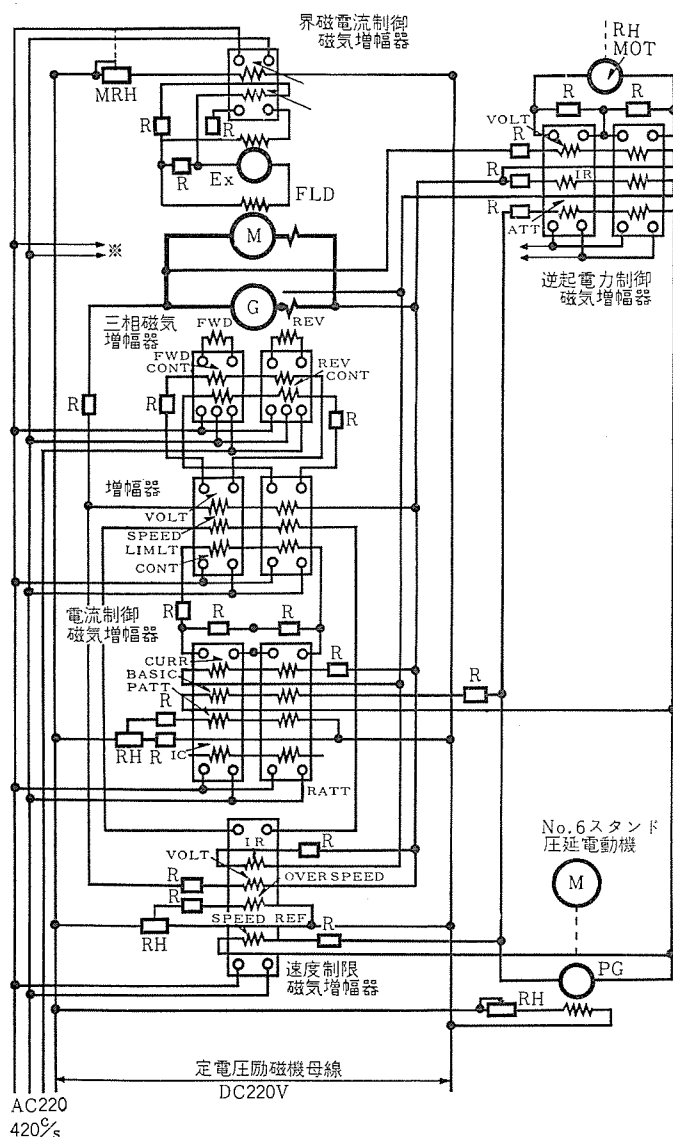


図 4.7 巻取電動機制御回路
Fig. 4.7 Reel motor control circuit.

最近のスキンパスミル電機品

茶谷三郎*・久保田伸夫*

The Latest Electric Apparatus for Skin Pass Mills

Kōbe Works Saburō CHATANI・Nobuo KUBOTA

The skin pass mill, following the cold strip mill in the last process of sheet steel cold rolling, is very important equipment to aim at final products. The work passing the skin pass mill is governed of its quality by the screw down at mill stand and strip tension between rolls, and proper adjustment of those quantities is needed according to the material, shape and grade of strip. Then, the electric equipment must meet various requirements of the mill. Mitsubishi has built successfully various types of electric equipment for the skin pass mill. Herein are described those of two stand high speed skin pass mills which were installed recently.

1. ま え が き

スキンパスミルは冷間圧延された薄鋼板の硬度や表面状態を調質するのが主目的であり、コールドストリップミルに続き、製品の最終的な処理をおこなう重要な設備の一つである。

スキンパスミルによって圧延される鋼板の品質は、圧延ロールの圧下量や、ストリップテンションに左右されるといわれており、圧延前の鋼板の材質、形状、焼鈍の程度に応じて、これらの量が適宜調整され、圧延がおこなわれる。したがってスキンパスミル電機品は、こうした要求を十分満たすものでなければならない。

当社はスキンパスミル電気設備として、1スタンドの簡単なものから種々のタイプの製作経歴をもっているが、最近東洋鋼板株式会社および八幡製鉄株式会社に納入した四重式2スタンドスキンパスミルは高速、高性能の新鋭設備であって、以下その技術的な内容について解説する。

2. 圧延設備の概要と主要回転電機

2.1 圧延機と主要回転電機の仕様

圧延機の主要部分は、いずれもアメリカのメスタ社製であり、その諸元ならびに主要回転電機の仕様はつぎのとおりである。

(1) 東洋鋼板株式会社納め2スタンドスキンパスミル(図2.1)

ミルスタンド 585mm 径および 1,350mm 径×1,285mm 長
テンションロール 610mm 径
コイル径 最小 508mm 最大 1,830mm
最高速度 1,525m/min



図2.1 2スタンドスキンパスミル
Fig. 2.1 Two stand skin pass mill.

主直流電動機および直流発電機

用途	kW	電圧 (V)	回転速度 (rpm)	発電機容量 (kW)
ベイオフリール	370	440	250/1,000	420
入側テンション上ロール	300	375	450/900	570
入側テンション下ロール	260	375	450/900	
No. 1 ミルスタンド	750	750	200/400	840
No. 2 ミルスタンド	1,100	750	200/400	1,250
出側テンション上ロール	2×290	2×375	450/900	1,250
出側テンション下ロール	2×250	2×375	450/900	
巻取リール	370	440	200/1,000	420
主電動発電機セット用同期電動機			3,700kW, 11kV, 3φ, 60c/s, 720rpm	

(2) 八幡製鉄株式会社納め2スタンドスキンパスミル

No. 1 ミルスタンド 490mm 径および 1,420mm 径×1,350mm 長

No. 2 ミルスタンド 589mm 径および 1,420mm 径×1,350mm 長

テンションロール 560mm 径

コイル径 最小 406mm および 508mm 最大 2,030mm 径

最高速度 1,830m/min

主直流電動機および直流発電機 (図2.2)

用途	kW	電圧 (V)	回転速度 (rpm)	発電機容量 (kW)
ベイオフリール	2-370	440	250/1,250	840
入側テンション上ロール	2×190	2×375	850/1,100	840
入側テンション下ロール	2×190	2×375	850/1,100	
No. 1 ミルスタンド	1,100	750	350/500	1,250
No. 2 ミルスタンド	1,100	750	350/500	1,250
出側テンション上ロール	2×190	2×375	850/1,100	840
出側テンション下ロール	2×190	2×375	850/1,100	840
巻取リール	2×370	440	250/1,250	840
主電動発電機セット用同期電動機			3,700kW, 11kV, 3φ, 60c/s, 720rpm (図2.3参照)	

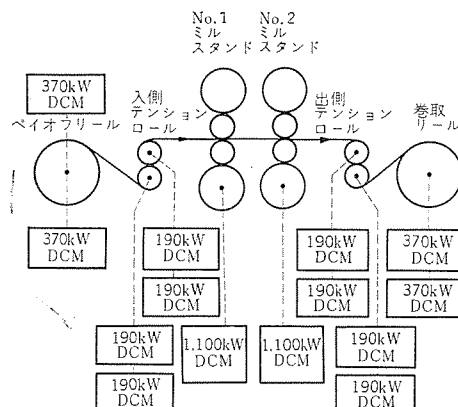


図2.2 2スタンドスキンパスミル電動機配置
Fig. 2.2 Two stand skin pass mill motor layout.

* 神戸製作所

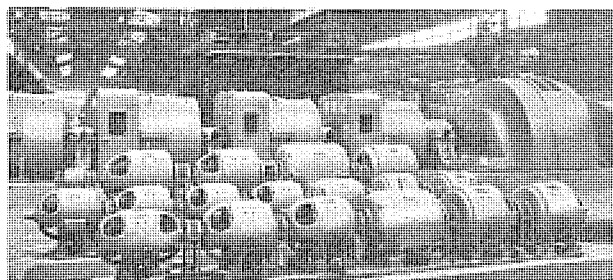


図 2.3 電動発電機群
Fig. 2.3 Motor-generator sets.

2.2 設備の特長

ミルスタンドは、1,2 スタンドともバックアップロール、ボトムロールに電動機を直結駆動する。ロール相互間には、ピニオンスタンド、減速機構などの機械的結合がなく、ロールの自重と圧下量の調節で圧延がおこなわれる。したがってワークロールの交換は、電動機とロールの結合を切り放すことなしに実施できるのが特長とされている。

八幡製鉄向けの設備では、ダブルマンドレルタイプのパイオフリールが使われており、機械的に独立した二つのマンドレルにより両側からストリップコイルをささえ、それぞれ専用のドラッグ発電機で巻き戻しをおこなう。

スキンパスミルでは、銅板に大きな張力を与えて圧延するのが大きな特長であり、高級な設備ではミルスタンドの前後に、テンションロールが置かれる。入側、出側テンションロールは、上、下ロールとも別々の電動機で駆動する双子形駆動とし、当社は従来からTOP FORWARD方式を採用している。テンションロール用電動機の外径は、上、下ロール間隔で制限を受け、他方では大きな電動機容量が要求されるために、通常タンデム形2電機子構造や、電機子径に比して鉄心長の長い設計がおこなわれる。

主圧延電動機およびその発電機はNEMA規格に準拠しB種絶縁、100%負荷連続で温度上昇限度40deg、125%負荷2時間で温度上昇限度55degとし、過負荷耐量は200%(1分間)により設計された。リール用電動機、テンションロール用電動機は GD^2 を小さくしたり、また寸法的な制限からB種絶縁で温度上昇限度を60degとした。

電動機、主発電機セットは、ともにアンプドラフト方式により通風をおこない、電気室地下に導入された清浄な空気を、反整流子側下から押し込み整流子側から排気する。

各電動機は各個発電機方式により給電され、増幅発電機、磁気増幅器により制御がおこなわれる。

2.3 圧延電動機の加速特性

スキンパスミルでは圧延に要する電動機容量は、タンデムコールドミルに比して小さいにもかかわらず、同程度の GD^2 をもつ圧延ロールを駆動しなければならない。このためロールの加速時間は、電動機の過負荷耐量に制約され、コールドミルのように早くできない。表2.1は、主圧延電動機の加速電流比を示すもので、30秒加速を仮定して計算したものである。

2.4 電動機の負荷平衡

スキンパスミルでは、せまい床面積、限られたロール間隔に多くの電動機を集中的に配置する関係上、双子形構造やタンデム電機子構造がとられ、電動機を2電機子またはこれ以上に分割することが多い。これら電動機の負荷平衡をおこなう方法として、

- (1) 交差直巻結線
- (2) 直列抵抗

表 2.1 圧延電動機の加速電流比

(最高速度において)

スタンド番号 ロール GD^2 (注1)	東洋鋼板納め		八幡製鉄納め	
	No. 1	No. 1	No. 1	No. 2
モータ GD^2	30.	30	40	40
全 GD^2	3.5	4.5	3.5	3.5
加速トルク (注2)	33.5	34.5	43.5	45.5
加速電流比	1.19	1.23	1.93	2.02
	65%	46%	90%	94.5%

(注1) ロール GD^2 は、モータ軸への換算値、 GD^2 の単位 $t \cdot m^2$

(注2) 加速トルクのみを考え、圧延トルクは計算に考慮されていない。

表 2.2 電動機の負荷平衡

用 途	直 巻	直列抵抗	直 列 電機子	電圧制御	界磁制御
パイオフリール	DA	○	○		
	モータ2台		○		
テンションロール	DA	○	○		
	上下ロール			○	○
ミルスタンド	双子形	○	○		
	DA	○	○	○	
テンションロール	DA	○	○	○	

(注) DA 2電機子構造

- (3) 直列電機子
- (4) 電機子の電圧制御による
- (5) 界磁制御による

などがあげられ、電動機の使用される用途により、表2.2のような適用がよいとされている。

3. 制御方式

3.1 概 略

この種の機械の駆動方式としては共通母線方式と各個発電機方式があるが、今回のものは各個発電機方式を採用した。

各個発電機方式の場合の利点は、共通母線方式に比べて各電動機はそれぞれの発電機により独立に、全電圧範囲にわたって任意に制御できる利点がある。短絡電流が共通母線方式に比べて小さいので、大容量のシャ断器を必要としない。さらに各電動機はその容量に適当な標準電圧の電動機を使用できる。東洋鋼板納入のものを例にとると、パイオフリールおよび巻取機は440V、入側テンションロールは375V、出側テンションロールは2×375V、No.1スタンドおよびNo.2スタンドは750Vとなっている。また、巻取電動機の界磁範囲は、コイル径の変化に対応するだけあればよいことになる。そのほかに、各個発電機方式のほうが共通母線方式に比べて制御回路が簡単になる、配線材料費も安いという利点がある。一般にスキンパスミルの場合には、電動機容量のうち張力を得るためのものが大きな部分を占める。張力馬力はミルの中で相互に伝達されるので、もし共通母線方式にすれば発電機容量は各電動機容量を合計したものに對するより少なくてもよいことになる。以上、共通母線方式と各個発電機方式との利害得失について述べたが、駆動方式の選定に際しては経済性を第1に考えなければならない。

回路の概略図を図3.1に示す。各発電機にはそれぞれ専用の励磁機および磁気増幅器を組合わせて、良好な制御特性を得るようにしてある。磁気増幅器には良好な応動性を得るために、400c/s電源を使用している。

No.1スタンドおよびNo.2スタンド発電機は、基準励磁機と電圧を合わせるように制御され、加減速時の電圧の増減に歩調を合わせようになっている。No.2スタンド電動機にはパイロット発電機が取り付けられて、パイオフリールおよび巻取機への速度指令を与えている。パイオフリールおよび巻取機は電流制御および逆起電

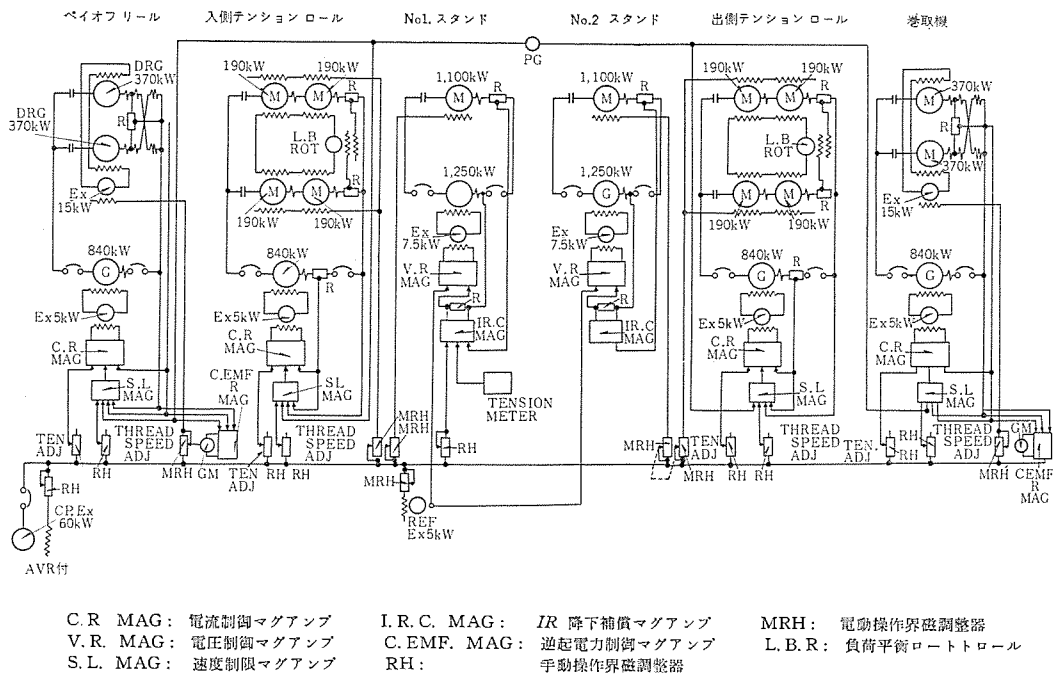


図 3.1 八幡製鉄納め 2 スタンド スキン パス ミル 簡略結線図
Fig. 3.1 Outline skelton diagram of two stand skin pass mill for Yawata Iron & Steel Co.

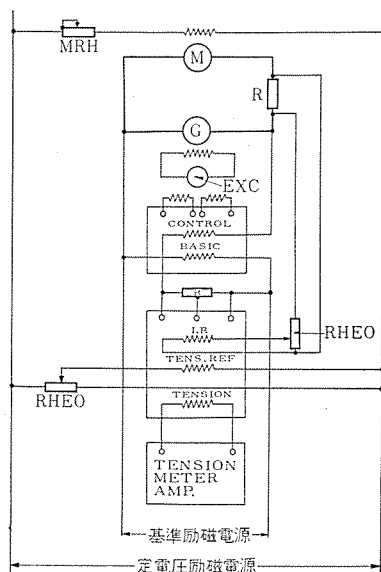


図 3.2 スタンド 簡略結線図
Fig. 3.2 Skelton diagram of stand.

圧制御方式による定張力制御を行なっているが、逆起電圧制御には電動界磁調整器方式を採用している。制御方式としてはとくに目新しいことはないが、最高速度が従来のものの倍近くになっていることが注目されている。機械設備の大形高速化にしたがって、その駆動設備に対する性能上の要求もますます高度になってきたが、高性能の駆動設備を製作して要求に応じている。以下にその要点を順を追って説明する。

3.2 スタンド電動機の制御

スタンド電動機の制御概略結線図を図 3.2 に示す。No. 1, No. 2 スタンド 発電機には専用の励磁機および磁気増幅器を組合わせ、基準励磁機の電圧に各発電機電圧を合わせよう制御してスタンド間の関係速度を設定値に保つようになっている。制御巻線 (CONTROL) には IR 降下補償用磁気増幅器を設けて、起動加速時にはこの出力電圧が加わり、加速時に加速電流に比例した電圧降下分だけ発電機電圧を高めて、加速遅れを補償してスタンド電動機

の加速特性を合わせるようにしている。

スタンド電動機の界磁はあらかじめ、所定圧延速度に対応する値に設定されてある。スタンド電動機の界磁制御方式としては、基底速度に対応する界磁に設定しておいて、加速中に電動機速度が基底速度に達するまでは発電機電圧により、基底速度に達してからは電動機界磁を弱めて所定速度に達する方式と、あらかじめ電動機界磁を所定圧延速度に対応する界磁に設定しておいて、発電機電圧のみにより所定圧延速度に達する方式とがある。前者の場合、加減速中に発電機電圧および電動機界磁の両方を制御しなければならない。後者の場合には、前者の場合のように起動の際に強界磁で起動して電動機の全トルクを利用することはできないが、加減速時には発電機電圧のみを制御すればよく円滑な加減速特性を期待しうる。今回のものは後者の方式を採用している。

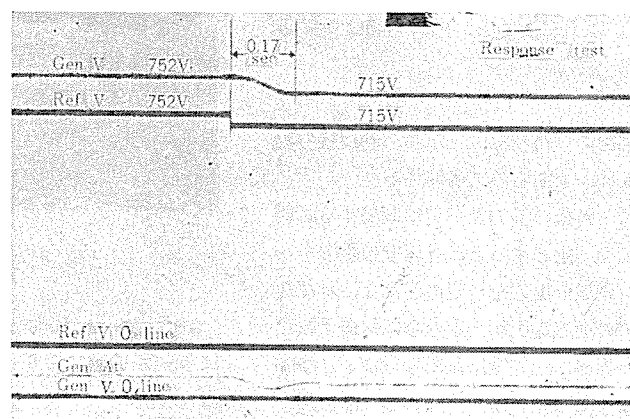


図 3.3 スタンド 発電機の過渡特性
Fig. 3.3 Transient characteristics of stand generator.

2 スタンド スキン パス ミルの場合、No. 1 スタンド と No. 2 スタンド の間の スタンド 間張力を一定に保つことが必要である。このために 1 スタンド と 2 スタンド との間に テンション メータ が設けられている。スタンド間 テンション は、測定 ロール および ロードセル により検出されて測定されている。この テンション メータ の出力を増幅器により増幅して No. 1 スタンド の IR 降下補償用磁気増幅器の張力巻線 (TENS.) に加えられている。いま、張力巻線の AT が張力基準巻線 (TENS. REF.) により設定された AT より少なければ、IR 降下補償用磁気増幅器の出力は No. 1 スタンド の発電機電圧を下げ、スタンド間張力を増加させ張力基準巻線で設定された値にスタンド間張力を保つよう制御する。

高速の 2 スタンド スキン パス においては、スタンド間 テンション を一定に保つために、テンション メータ および張力調整装置による自動制御が必要であるが、圧延機の各速度における損失が経験的にわかっていれば、スタンド間 テンション の手動調整を IR 降下補償量を調整することにより行ないうるが、この場合には、各速度において No. 1 スタンド および No. 2 スタンド 電動機 の特性が合っていることが必要で、電動機特性が良くなければならない。運転の結果、自動・手動のいずれの場合も良好に運転できた。

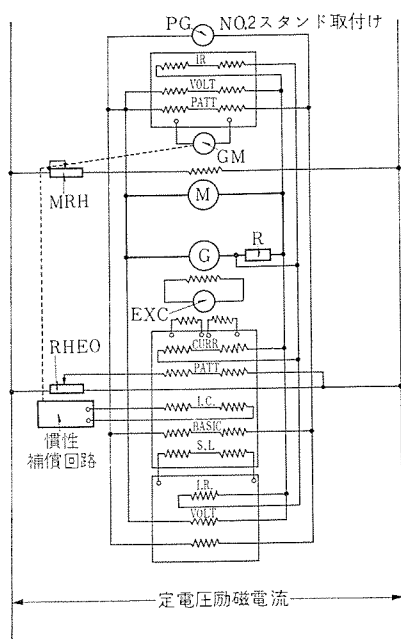


図 3.4 巻取機簡略結線図
Fig. 3.4 Skelton diagram of winding reel.

図 3.3 に基準励磁機電圧を段階的に変化させた時の、スタンド発電機電圧のオシログラムを示す。これによると、応答時間は 0.17 秒である。

3.3 巻取電動機の制御

図 3.4 に巻取電動機制御回路の概略結線図を示す。巻戻機の場合には、根本的には巻取機と同一であるので省略する。

巻取機の場合には圧延中に、鉄板の張力を一定に制御する必要がある。No. 2 スタンドの速度を一定とすると、巻取機の張力を一定に制御するためには巻取電動機の出力を一定に保たなければならないが、いま、巻取電動機の逆起電圧が一定ならば電機子電流を一定に保てばよい。電動機界磁に逆起電圧制御を行ない、コイル径に応じて界磁が変わるようになっている、すなわちコイル径が増すと界磁が強まってトルクが増し、電動機回転数が減る。

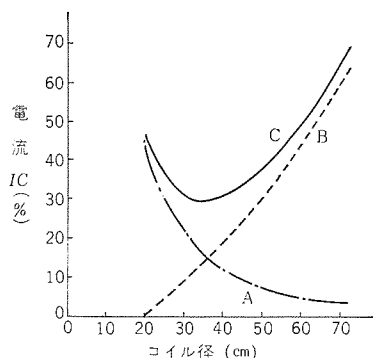
発電機回路には定電流制御を行なって、界磁制御とともに定張力制御を行なっている。

巻取電動機を No. 2 スタンドに合わせて加速、減速し、かつ張力を一定に保つためには慣性補償が必要である。そのためにコイル径に応じた補償電流を加速中は増し、減速中は減らさなければならない。

コイル径に対する慣性補償量を図 3.5 に示す。実際にはコイルの GD^2 はコイル幅によって変化するので、補償曲線はコイル幅により変化する曲線群となる。巻取電動機の逆起電圧制御用電動界磁調整器に連動した可変抵抗器により、図 3.5 に示す補償量を得ようになっている。

前に述べたようにコイル幅によって補償量を調整できるようになっている、スキンパスミルの加速率はスタンド電動機の界磁の設定によって異なるので、スタンド電動機の界磁によっても補償量を調整できるようになっている。巻戻機の場合には最初入側コンベヤより送られてくるコイルによりコイル径が異なるので、これに見合った界磁を設定できるようになっている。

運転中の No. 2 スタンドの速度、電流、巻取機の電流、巻戻機の電流のオシログラムを図 3.6 に示す。



A: 電動機の IC 量
B: コイルの IC 量
C: A と B を合成した IC 量
図 3.5 巻取機慣性補償特性
Fig. 3.5 Inertia compensation characteristics of winding reel.

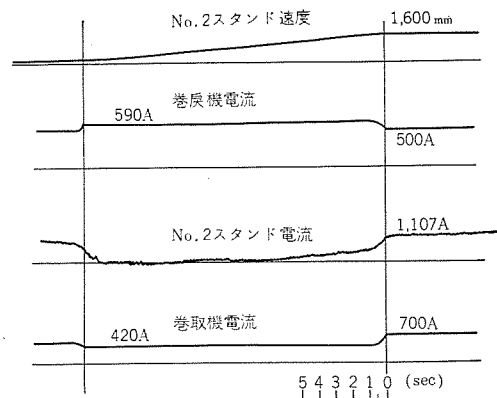


図 3.6 圧延中におけるオシログラム
Fig. 3.6 Oscillograms at rolling.

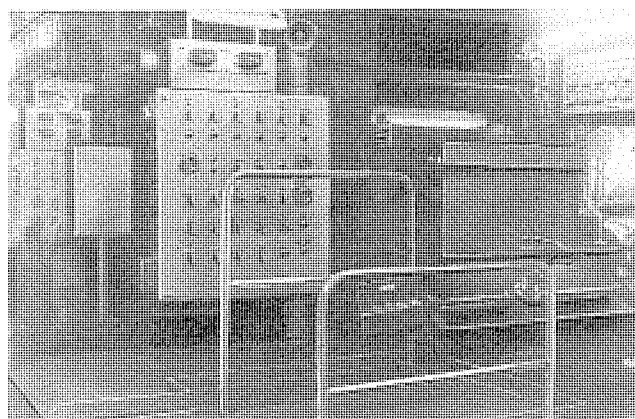


図 3.7 出側操作盤
Fig. 3.7 Delivery operators cabinet.

スキンパスミルにおいて鉄板を通板する場合に、従来は微動またはタンデム微動によりペイオフロール、入側テンションロール、スタンド、出側テンションロールを経て巻取機まで通板していた。しかし鉄板のゆるみや各部の微動速度の違いによる過大な張力によって、ロール面または鉄板を損なわずに能率よく通板することは困難であった。そこでミルを低速運転しておき、かつミルの各部の通板速度の選定において、後続の部分の速度を前の部分の速度より高い目に設定しておいて、鉄板が各部を通過するとき前の部分との間に静止張力をかけて、鉄板が巻取機に巻き込まれてベルトラップが後退すると、運転張力がかかるような通板方式を採用した。この方式を flying thread 方式といい前に述べたようにミルを停止しないのできわめて能率よく通板できる。(図 3.7 出側操作盤)

4. む す び

当社が東洋鋼板および八幡製鉄に納入した 2 スタンドスキンパスミルはわが国最大級の大型高速のものである。駆動設備としては技術的にとくに目新しいことはないが内容的にはさらに一層の進歩改良がなされて機械設備の大型高速化に伴い駆動設備の性能の向上、高速応度、高精度、などにより試運転後ただちに好調な運転成績をあげている。

終りに東洋鋼板岡課長をはじめ客先関係各位のご指導、ご協力に深く感謝する。

Electric Equipment for Wire and Rod Mills

Kōbe Works
Itami Works

Saburō CHATANI・Nobuo KUBOTA・Shigemitsu KAGAWA
Isamu HOSONO・Shinichi SHIROTSUKA

Though relatively large steel strips are processed with a single stand large roll mills by forward and reverse motion. But steel rods, wire materials and hot coils are made to go through in rolling a number of mill stands with continuous, high speed. Then electric equipment used for the mill needs the most careful design, involving many difficult technical-problems. Mitsubishi has produced many electric apparatus for wire and rod mills, all operating with success. The latest product supplied to the Fuji Iron & Steel Manufacturing Co., however, the worthy of mention with its speed and scale, in which the Company can take pride.

1. ま え が き

スラブビレットなどの比較的大きな鋼片は、通常、シングル・スタンドの大形圧延機により、正逆数パスの圧延を行なうが、棒鋼、線材、ホット・コイルなどは、数多くのミル・スタンドを設け、高速で、かつ連続的な圧延を行なわないと経済的でないといわれている。その理由として、1スタンドあたりの形状の変化量に限度のあること、加工が進むにつれ、材料の冷却が早いこと、スタンドの基数が圧延能率や生産量を左右することなどをあげることができる。

熱間プロセスを行なう各種鉄鋼成品のうちで、線材ミルは、そのスタンドの基数も格段に多く、圧延速度もきわめて早い駆動方式、制御、調整など、技術的に多くのむづかしい問題を含んでいる。

線材ミルは、圧延スタンドをサイド・バイ・サイドに配置し、大きなループを設けたオープン形(図4.1参照)と、圧延スタンドを直線的に、くし状に配列し、ほとんどループを設けない連続式(図3.1参照)に大別される。

当社は、これら各種の線材ミル電機品をそれぞれ製作、完成しており、現在、好調のうちに運転を続けている。

以下、最近の線材ミル駆動方式、制御方式を中心にこれら電機品の概要を解説する。

2. 線材ミル駆動方式

線材ミルの駆動方式としては、各電動機をそれぞれ専属の整流器で給電するユニット方式と、全圧延スタンドの電動機を適当な数のグループに分割して、それぞれ共通の母線から給電する共通母線方式がある。図2.1に両方の結線方式を示す。

どの方式を採用するかは、もちろん圧延スタンドの配置、圧延速度、製品の品質によって要求される制御上の要求が異なるので、その要求をどの程度まで満足させようかによって異なるのであるが、また要求された性能がどの程度のものまで合理的であるかについても十分検討する必要がある。

最終製品に正しいゲージを維持するためには、圧延の際に張力がかからないようにすること、ロール・ギャップを一定に保つことが必要である。数ストランドを同時に圧延する場合には、ロールに加わ

る応力は圧延中のストランドの数により変わるのでロール・ギャップを一定に保つことはできなくなる。一般に連続式の場合には、粗圧延機および中間圧延機においては数本通しを行なうが、仕上圧延機においては一本通しが普通である、仕上圧延機においてはループ制御が行なわれて無張力圧延が行なわれる。

ループ制御を良好に行なうには、線材のかみ込みによる各スタンド速度の負荷変動による影響を除くため各圧延電動機は速度制御特性を良好にする必要がある。

2.1 ユニット方式

この方式によれば各電動機は速度が、電圧および界磁範囲内で広範囲に設定することができる。速度制御は整流器出力電圧をグリッド制御によって行なうため、急速な制御を行なうことができる。この制御上の利点から連続式線材ミルの多くはこの方式を採用している。とくに圧延速度が高く、ロール・スタンド間の距離が短く、したがって制御時間がとくに短いことを要求される連続式圧延機の場合にはこの方式が適している。

ユニット方式としては、各圧延電動機に専属の直流発電機を設けてレオード制御を行なうことも考えられるが、発電機界磁の時定数により制御時間は整流器のグリッド制御に比べて劣るが反面制御が容易に行なえる利点があり、性能の面でも共通母線方式の界磁制御よりも制御特性は良好であるし、直列昇圧機による場合よりも配線も簡単であり、ユニットの大きさによっては要求された性能さえ満足させうれば、この方式の方が経済的な場合もある。

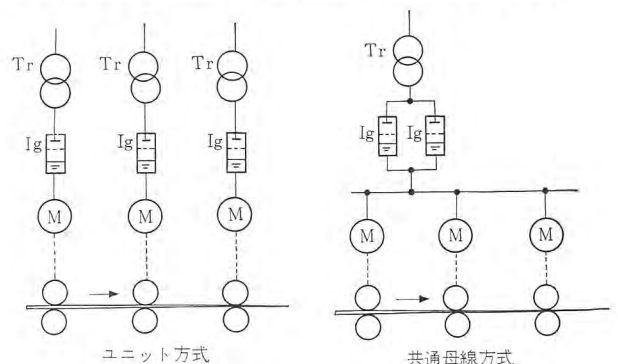


図 2.1 線材ミル駆動方式
Fig. 2.1 Driving system for wire and rod mill.

2.2 共通母線方式

線材ミル駆動方式として共通母線方式には従来から三通りの方法がある。

その1は、電動機にハズミ車効果をもたせて線材のかみ込みによる瞬時速度降下をできるだけ小さくして、かつ電動機固有の速度変動率を小さく設計したもので、従来からアメリカ式の駆動設備に好んで用いられていた。しかしスタンド間隔が短く、仕上圧延機でループを作る方式の連続式圧延機では、制御時間も短くループ形成のために、圧延電動機の加速減速がひんばんであり、ハズミ車効果の大きいこの種の電動機では適当ではない。

その2は、各圧延電動機の電機子回路に昇圧機を接続して圧延電動機を制御する方式である。これは前に述べたユニット方式およびつぎに述べる界磁制御方式に比べて、制御性能、経済性の面から両者の中間に位するものである。

その3は、各圧延電動機の界磁制御により速度制御を行なう方法である。一般に界磁回路は時定数が大きいので制御上の時間遅れは大きい、十分な過励磁を行ない良好な制御回路を設計して要求された性能を満足させるものであれば経済的にはいちばん有利である。

共通母線方式の場合には、電源電圧の変動および負荷変動に対して母線電圧を一定に保つことが必要である。普通には共通母線方式は整流器により給電される。

3. 富士製鉄株式会社釜石製鉄所納め線材ミル電機品

3.1 圧延設備および主要回転電機

富士製鉄、釜石製鉄所納めの線材ミルは、その生産量においても、また、圧延速度においても、わが国で最大の規模を誇るものであり、4本通し、二重式ロール、全60スタンドからなる連続式最新鋭の圧延設備である。

圧延機は、ドイツ、シュレマン社および三菱造船株式会社により、その設計製作が行なわれ、電気設備はすべて当社が一括担当した。

この圧延設備のレイアウトは、図3.1に示すように、各圧延スタンドを直線的に並べ、スタンド間隔はできるだけ狭くし、線材を、高速、短時間で圧延できるよう配置している。(図3.2参照)均熱炉から取り出された素材は、4本通しに共通の粗圧延(6スタンド)第1中間圧延(6スタンド)を経て、各2本通しの二つの系列からなる第2中間圧延(2×4スタンド)に至る。第1仕上圧延(4×4スタンド)、第2仕上圧延では、さらに各1本通しの4系統に分かれ、横ロール、立てロールにより交互に圧延される。

直径5mm~25mmの普通鋼または特殊鋼線材が主要成品であ

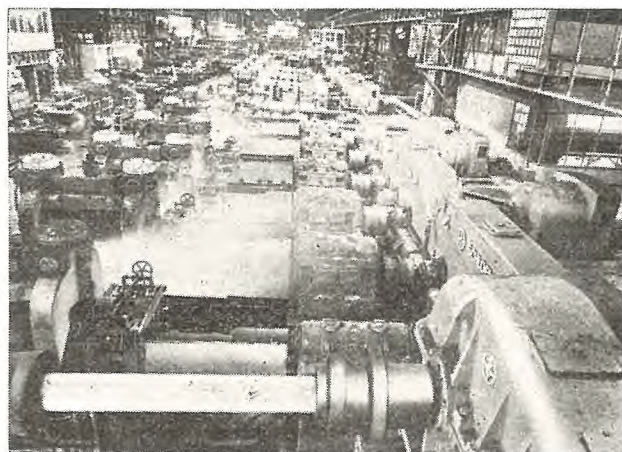


図 3.2 連続式線材ミル圧延スタンドならびに電動機群
Fig. 3.2 Mill stands and driving DC motors for wire and rod mill.

り、仕上り径の大小により、最終スタンド付近での圧延が適宜バイパスされる。径の細い線材は、4台のエデンボン・リール(レイニング・リール)により交互に巻取られるが、径の太い線材は、4台のガレット・リール(プアリング・リール)に巻取られるか、ロータリ・シアーにより適当な長さに切断され、テーブル・ローラを経て、長大なクーリング・ベッドに送り込まれる。

この線材ミルの特色は、連続式の名のとおり、仕上圧延を除くほかのスタンド間では、ループをもたないことであり、また、仕上圧延では、製品の仕上り寸法を正確に維持するために、わずかのループを設け、相隣るスタンド間の引張りをなくすことである。

圧延速度は、最高28m/secの高速で、直線的な連続圧延を行なうから、スタンド間の速度の協調やループ制御などによる、電動機に要求される静的・動的な速度特性は、きわめてきびしいものとなっている。

全スタンドに対し、電動機回転速度の精度は

定常偏差	±0.2%
動的応答特性	1% 0.25秒回復

である。

圧延機は、最初の4スタンドを除き、すべて各個駆動方式により、スタンドごとに専用の圧延電動機を備えている。圧延電動機の定格は、表3.1のとおりで、イグナイトロン整流器により、各個に給電されるユニット方式である。また、圧延電動機は、NEMA規格(現在のJEM 1157、圧延用直流電動機と同等)に準拠し、B種絶縁により、

温度上昇限度	100% 負荷連続 40 deg
	125% 負荷2時間 55 deg
過負荷耐量	200% (1分間)

としている。

電動機は、ミル・ヤードに設置され、通風は、アップ・ドラフト方式により、送風機室に設けられた回転油膜式エア・フィルタによって清浄な空気を供給するようになっている。

電動機には、高い速度精度が要求されているため、整流器の電圧制御により速度制御を行なうが、電動機自身の固有の速度変動率を低く設計すると同時に、 GD^2 を適当なものとし、さらに過渡特性向上のため、成層継鉄

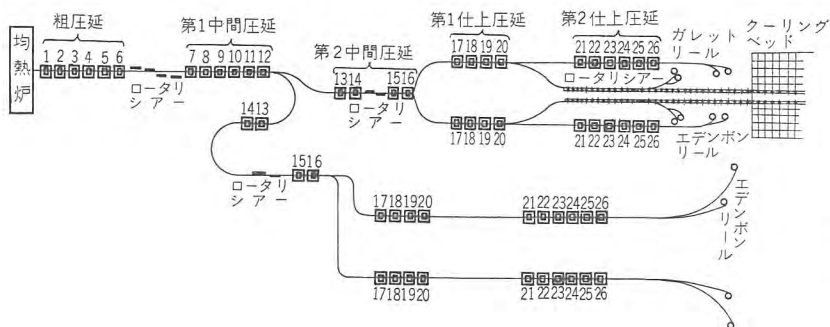


図 3.1 富士製鉄釜石製鉄所連続式線材ミル圧延スタンドレイアウト
Fig. 3.1 Mill layout of wire and rod mill "continuous type" for Fuji I. & S. Co., Kamaishi works.

表 3.1 富士製鉄釜石製鉄所納め線材 ミル 電機品
主圧延用直流電動機

(電圧 600 V)

	圧延スタンド	台数	kW	速度範囲 (rpm)	備考
粗圧延	1, 2, スタンド	横ロール	1	300	220-440/1,210
	3, 4, スタンド	"	1	500	175-350/ 962
	5 スタンド	"	1	300	220-440/1,210
	6 スタンド	"	1	250	220-440/1,210
第一中間圧延	7 スタンド	"	1	400	175-350/ 962
	8 スタンド	"	1	400	175-350/ 962
	9 スタンド	"	1	500	175-350/ 962
	10 スタンド	"	1	400	175-350/ 962
	11 スタンド	"	1	700	175-350/ 962
	12 スタンド	"	1	500	175-350/ 962
第二中間圧延	13 スタンド	"	2	700	175-350/ 962
	14 スタンド	"	2	500	175-350/ 962
	15 スタンド	"	2	700	175-350/ 962
	16 スタンド	"	2	500	175-350/ 962
第一仕上圧延	17 スタンド	立てロール	4	500	175-360/ 962
	18 スタンド	横ロール	4	300	220-440/1,210
	19 スタンド	立てロール	4	300	220-440/1,210
	20 スタンド	横ロール	4	250	220-440/1,210
第二仕上圧延	21 スタンド	立てロール	4	400	350/ 962
	22 スタンド	横ロール	4	250	440/1,210
	23 スタンド	立てロール	4	250	440/1,210
	24 スタンド	横ロール	4	250	440/1,210
	25 スタンド	立てロール	4	250	440/1,210
	26 スタンド	横ロール	4	250	440/1,210

表 3.2 富士製鉄釜石製鉄所納め線材 ミル 電機品
補機 レオナード 用直流電動機

用 途	台 数	kW	V	rpm	備 考
ロータリ・シアー	4	75	220	1,500	
" "	6	50	220	1,500	
ピンチ・ロール	1	50	220	1,500	
" "	2	30	220	1,500	全閉外扇形
" "	4	15	220	2,500	"
ガレット・リール	4	50	220	1,500	
エデンボン・リール	8	30	220	1,500	全閉外扇形
ブレーキング・スイッチ	1	50	220	600	JEM 1109
コイル・トランスポート	1	200	440	500	

○電源 MG Set 多数

○その他、交流電動機は、ローラ・テーブル用約 100 台をはじめ多数納入した。

構造としている。

電動機は速度検出用パイロット発電機は、その出力が電子管増幅器に加えられるため、電圧脈動をきわめて低いレベルに保たれるよう設計、製作が行なわれた。すなわち、電動機の制御特性に有害な低周波脈動の原因を徹底的に探求し、励磁方法、連結方式、加工精度、材料の選定には、細心の注意をはらい、高精度のパイロット発電機として、所期の目的を十分果している。

ロータリ・シアー、ピンチ・ロール、リールなどの補機類もまた、多数の直流電動機によって駆動される。(表 3.2 参照) ロータリ・シアーによって切断された棒鋼をクーリング・ベッドに送るローラ・テーブルは、多くの誘導電動機によって駆動され、電源には、調整範囲の広い周波数変換機(交流→直流→直流→交流) 250 kVA, 50 サイクルを備えている。

3.2 静止レオナード装置

今回使用したイグナイトロン整流器の定格を表 3.3 に示す。GU 21 形、GU 31 形ともに水冷式密封形の二重格子構造である。電流容量が大であるにもかかわらず、水冷式を採用したため、非常に小形にまとまっている。各整流タンクの内部構造は点弧子、パツフルからなる陰極部と、陽極、格子からなる陽極部より構成されている。陰極部は 2 本の点弧子と補助極をもち、点弧子は衆知の

線材 ミル 電機品・茶谷・久保田・香川・細野・城塚

表 3.3 イグナイトロン 整流器の定格

タンク石	タンク数	電 圧	電 流	備 考
GU-21 形	6 タンク	600 V	740 A	250~400 kW 電動機用
GU-31 形	6 タンク	600 V	1,300 A	500~700 kW 電動機用

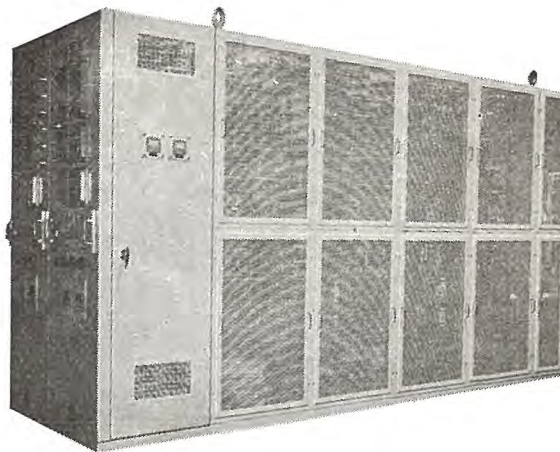


図 3.3 線材 ミル 用 イグナイトロン 整流器および制御盤
Fig. 3.3 Ignitron rectifier unit for wire and rod mill.

ように毎半サイクルの始めに陰極点を形成する。

陽極部の陽極と格子は、特殊高温処理されたグラファイトで作られ、二重格子のうち第 1 格子は陽極点弧時の電離の増強および半サイクル間の陰極点の保持を、また第 2 格子は陽極通電開始位相の制御および通電終了後の阻止機能の増強を受持っている。

タンク壁はステンレス・スチールであり、組立て後化成炉に入れてタンク壁が赤熱状態になるまで加熱しながら排気するため、十分排気されて最高度の真空状態を保つことができる。

冷却水は 水タンク→循環水ポンプ→整流タンク→再冷却器→水タンクの循環式であるが、水タンクおよび再冷却器は、各圧延グループごとに一つにまとめられている。温度制御は、温度リレーによって再冷却器ファンおよび加熱ヒータの断続を行なって水温を調節するとともに、三方弁によって自動的に再冷却器に流れる水量を調節している。水系はすべてステンレススチールおよびビニールで構成されており、また冷却水にはイオン交換樹脂で処理した純水を使用しているため、電食そのほかの腐食は完全に防止されている。

図 3.3 はこのイグナイトロン整流器の写真であるが、2 組のスタンド電動機用のイグナイトロン整流器を一まとめにして一つのキュービクル内に、その制御回路とともに納められている。

3.3 制御装置

圧延電動機はイグナイトロン整流器によるユニット方式で駆動されている。速度制御特性は粗圧延グループで回復時間 0.2 秒、定常偏差 0.2% 以内、仕上圧延グループでは回復時間 0.1 秒、定常偏差 0.1% 以内ときわめて良好である。

また、仕上圧延グループでは、各スタンドの間にループを作って無張力で圧延する必要があるため、これらのスタンドでは定速度制御系とともに、ループ制御系およびサクセシブ制御系を有している。図 3.4 は、制御盤の写真を示す。

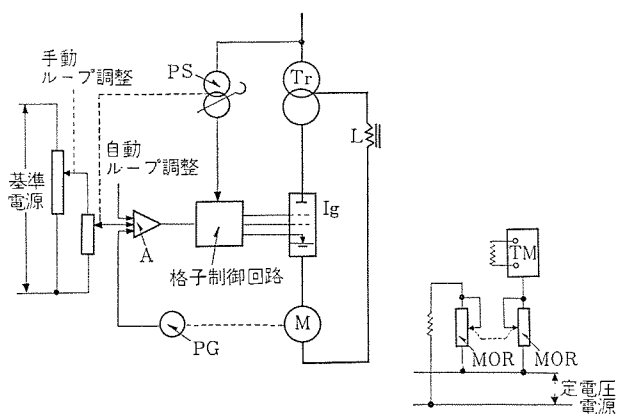
(1) 定速度制御系

この圧延機は速度制御系は電子管増幅器および電圧リセット形磁気増幅器による、格子位相制御回路を用いた応答速度の速い制御系である。この回路の概略接続図を図 3.5 に示す。

図に示すように スタンド 電動機は速度は パイロット 発電機で検出され、基準値との偏差が電子管増幅器で増幅されるが、このとき、適当な位相遅れおよび位相進みが与えられ制御系を安定化している。この増幅器は演算増幅器であるため、ドリフトも小さいうえ、

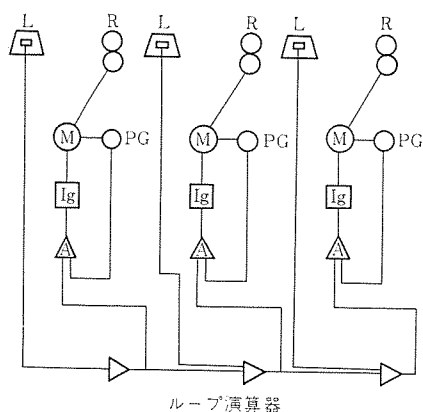


図 3.4 制御盤
Fig. 3.4 Control switchboards.



Tr: 変圧器 PS: 移相器 Ig: イグナイトロン整流器
M: 圧延電動機 PG: パイロット発電機 L: 直流リアクタ
MOR: 界磁調整器 TM: 温度補償磁気増幅器

図 3.5 スタンド 電動機制御回路
Fig. 3.5 Schematic wiring diagram for stand motor.



記号	名称
R	ロー
L	ループ
M	電動機
PG	パイロット発電機
Ig	イグナイトロン
A	増幅器

図 3.6 ループ および サクセシブ 制御系概略図
Fig. 3.6. Loop and successive control system block diagram.

任意の位相特性を簡単に得ることができる。そのため、この増幅器では、速度制御の過渡偏差、回復時間と定常偏差を独立に任意に調整できるようになっており、容易に最良の調整が得られるように考慮されている。

この増幅器よりの出力が、電圧制御形磁気増幅器を用いたイグナイトロンの位相制御回路に加えられ、イグナイトロンを位相制御して電動機の電機子電圧を変え電動機を速度を制御する。この位相制御回路は 1/2 サイクル 応答であるため、制御特性にはほとんど影響を与えず、制御系の時間遅れとしては、演算増幅器によって設定されたものだけとなるため、良好な制御を行なうことができる。

(2) ループ 制御および サクセシブ 制御

製品のゲージを正確に押えるために仕上圧延機において各スタンド間に ループ を作って無張力で圧延を行なっている。各スタンドの速度を一定に保っていても、ループ はつぎに述べる理由により一定に保たれない。

粗圧延機 グループ では 4 本通し、中間圧延機 グループ では 2 本通しであるため前に述べたように圧延中の線材の本数により ロールギャップ が異なり、材料の放出量が異なる。

粗圧延機 グループ において、圧延の際に張力がかかり材料に引張りができる。

(3) 材料の先端と後端における温度の差

上記の理由により、速度を一定に保つだけでは ループ を一定に保つことはできないので、ループ の大きさを回転 ミラー 形の ループ 検出器によって検出し、その ループ の出側にあるスタンド 電動機を速度を変化させて、その ループ の大きさを適正值に保つよう ループ 制御を行なっている。それとともに同一信号でそれ以後の各スタンド 電動機を速度を変化させて、ある ループ の大きさの変動が、それ以後の スタンド 間の ループ の大きさに影響を与えないように付加された サクセシブ 制御を有している。

この概略接続図を図 3.6 に示す。前に述べたように、スタンド 電動機はパイロット 発電機で速度を検出し、増幅器および イグナイトロンによって定速度制御を行なっているが、それとともに、増幅器には ループ の設定値からの偏差の信号も加え、定速度制御すべき速度の基準値を制御して、ループ を一定の大きさに保たせる。

この ループ の偏差の信号は、加算器群からなる ループ 演算器に加えられ、それ以後の各スタンド 電動機に同じ信号を加えて一つの ループ にできた変動が、それ以後の ループ に影響を与えることを防いでいる。

図 3.7 は第 1 仕上 スタンド で実測した、線材かみ込み時の過渡

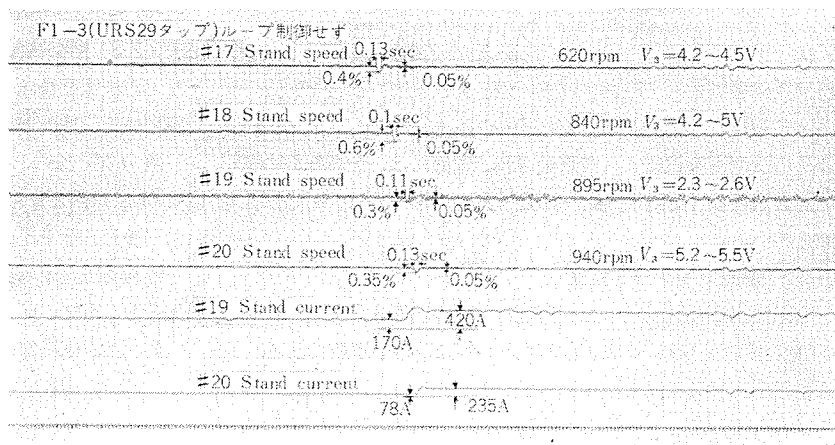


図 3.7 仕上 スタンド の過渡特性
Fig. 3.7 Transient characteristics of a finishing stand.

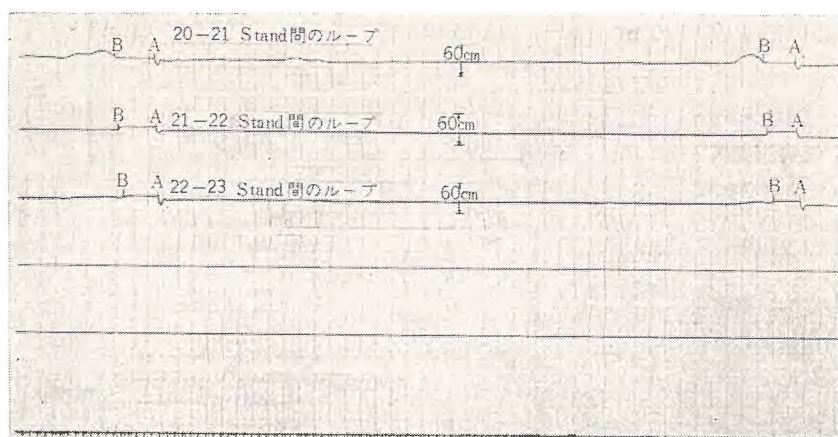


図 3.8 仕上スタンダー特性 (ループ検出器出力)
Fig. 3.8 Looping characteristics of a finishing stand
(output of loop detector)

特性であるが、いずれも回復時間は 0.1 秒程度、過渡偏差 0.6% 以内、定常偏差 0.05% と優秀な制御性能を示している。また、線材かみ込み時の電流の overshoot も小さく、この点からも安定した制御系であることがわかる。

図 3.8 は第 2 仕上スタンダーにおけるループ制御およびサクセシブ制御系の動作特性であり、図中の A 点は線材のかみ込み時で、B 点は線材の通り抜けた点である。これにより、ループ制御系が有効に働き、ループの変動を小さく押えたとともに、サクセシブ制御も有効に働き、最初のスタンダーで生じたループの変動が、それ以後のスタンダーに影響を与えていないことが明らかである。

3.3 補助設備

ロータリ・シアー、ピンチ・ロール、リールはワードレオード方式により所定の圧延スタンダーに連動して、協調運転が行なわれる。速度の指令は圧延電動機に直結されたパイロット発電機から受け、各電動機に直結されたパイロット発電機と電圧を比較して、速度を制御されている。発電機は 400 c/s 磁気増幅器により励磁されて、速度制御回路および電流制限回路が設けられて、急速、安定な、協調運転および起動・停止が行なわれている。

交流電動機としてはペンジュラム・シアー用 160 kW をはじめとして、他に 48 台の低圧巻線形誘導電動機および 106 台の低圧カゴ形誘導電動機が使用されている。

巻取機への線材のガイド・スイッチの切換え、ガレットリールの起動・停止、巻取ったコイルの押出し、運搬などはすべてサイパックによる無接点継電器方式で制御されて、完全に自動操作が行なわれている。

4. 住友電気株式会社伊丹製作所納め線材ミル電機品

4.1 圧延設備および主要回転電機

富士製鉄、釜石製鉄所に納入した設備を連続式の代表とするならば、住友電気、伊丹製作所納めの線材ミルはオープン形の代表であり、電気的に異なった特色を備えている。

圧延機はスウェーデン、モルガートシャーマ社から輸入され、主要電気設備は当社が納入したものである。

圧延設備は、図 4.1 に示すように圧延スタンドの配置が、連続式のように直線的でなく、ミル・ヤードの大きさ、圧延スケジュール、ループの大きさなどに合わせて、各所に分布して設置される。

線材ミル電機品・茶谷・久保田・香川・細野・城塚

また、この設備では、全 22 スタンドに対し、ロールの配列がサイド・パイ・サイドであるため、1 台の電動機により、2~3 スタンドが同時に駆動される。スタンド間には通常大きなループが存在し、線材はループガイドによって、自動的につぎのスタンドに導かれるようになっている。

直径 5 mm 程度の特種鋼線材が主要成品であり、2 台のガレット・リールに交互に巻取られる。最高圧延速度は 21 m/sec のかなり速い速度で圧延が行なわれるが、圧延電動機に要求される速度特性は、スタンド間にループを作るから、連続式ほどきびしいものとはならない。

定常偏差 $\pm 0.3\%$
瞬時速度降下 3% 回復時間 0.8 sec

圧延電動機の定格は表 4.1 のとおりであって、粗圧延、中間圧延、仕上圧延の各グループごとに、イグナイトロン整流器により給電される。粗圧延は正逆パスを行なうが、三段ロールを使用するから電動機の可逆運転を行なわない。(図 4.2 参照)

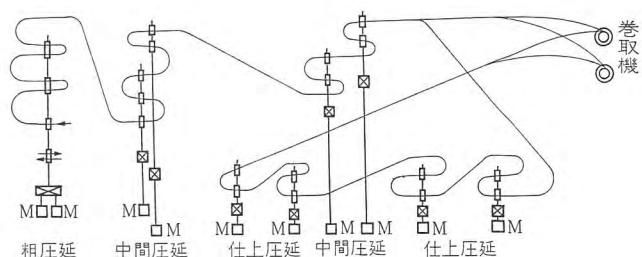


図 4.1 住友電気、伊丹製作所オープン式線材ミル
圧延スタンドレイアウト

Fig. 4.1 Mill layout of wire and rod mill "open type"
for Sumitomo electric industries.

表 4.1 住友電気 伊丹製作所納め線材ミル圧延用
および巻取用直流電動機

用 途	台数	kW	電圧 (V)	回転速度 (rpm)	電 源	備 考
粗圧延 (No. 1～ 5)	2	675	750	750/1,100	1,500kWMR 2,000kWMR 2,000kWMR	2台並列
中間圧延 (No. 6～ 8)	1	675	750	750/1,100		
〃 (No. 9～14)	3	450	750	750/1,100		
仕上圧延 (No. 15～22)	4	450	750	750/1,100		
巻 取	4	41	220	1,000/1,250	90kW DCG	2台直列

(注) MR: 水銀整流器, DCG: 直流発電機

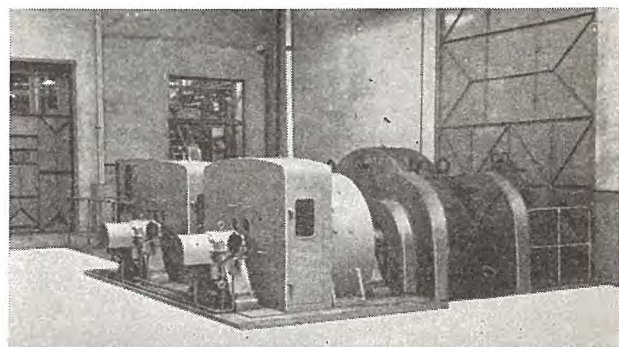


図 4.2 オープン式線材ミル粗圧延用直流電動機
Fig. 4.2 DC motors for wire and rod mill
roughing stand.

電動機の温度上昇限度、過負荷耐量などは、NEMA 規格とほぼ同等の仕様で製作された。また電動機は電気室内に設置され、ダウン・ドラフト 方式により通風冷却が行なわれている。

速度制御は電動機の界磁回路に入る昇圧機によって行なわれる。したがって速度の応答性を高めるため電動機固有の速度変動率を小さく設計すると同時に、界磁時定数の低下をはかり、また、成層継鉄構造とするなどの考慮がはらわれている。

4.2 制御装置

圧延電動機用電源は3台の定電圧制御されたイグナイトロン整流器が使用されているが、中間および仕上電動機は二重母線としているので2台の整流器のいずれにでも接続でき、必要に応じて2台の整流器の並列運転もできるようにしてある。

使用されているイグナイトロンは風冷式密封形であり、1セツトあたり12本のイグナイトロンが六相二重星形結線に接続されているが、各相ごとに陽極シャ断器が設けられ、万一逆弧が起った場合にはその相だけをほぼ1サイクル以内にシャ断して残った他の相で支障なく運転を継続するよう考慮されている。シャ断された相の陽極シャ断器は一定時間ののち自動的に再投入されて、運転を停止することなく再び正規の運転状態にもどる。このように逆弧に対して十分の考慮がなされているが、イグナイトロン整流器自体としても、逆弧等価試験などによってこの用途にもっとも適した容量の信頼度の高いものが選ばれているため昭和36年10月稼働以来、実稼働状態において逆弧は皆無である。

イグナイトロン整流器の制御回路は、電圧リセット形磁気増幅器を用いた応答速度の速い格子位相制御回路と演算増幅器形電子管増幅器を用いた速応性制御回路であり、母線電圧の回復時間を0.1秒以下に抑えることはきわめて容易である。図4.3は仕上圧延機電源用イグナイトロン整流器である。

粗圧延電動機は負荷のピークが高く、また定速度は必要ないため定電圧制御のみとしており、2台の電動機はギヤ・スタンドにより結合されているため負荷平衡制御を併用している。

中間および仕上電動機は速度制御には、420 c/s 磁気増幅器2段、および界磁昇圧機を使用しているが、仕様の回復時間0.8秒をはるかに上回る0.5~0.6秒の安定な特性を得ており、好調に運転している。この界磁制御方式では界磁の強さを変えたときの電動機界磁時定数、回転体の機械的時定数、逆起電力の変化率その他の定数の変化が打消しあう傾向となるので、その点では電圧制御方式より有利に取扱える。図4.4にその簡略図を示すが、BF

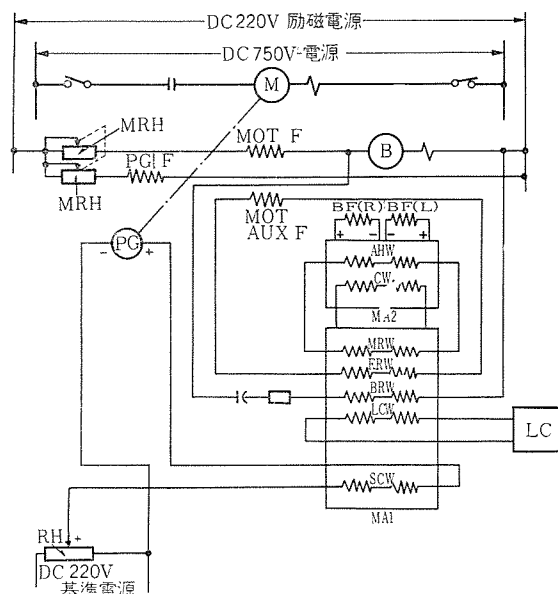


図 4.4 速度制御簡略図

Fig. 4.4 Schematic diagram of speed control.

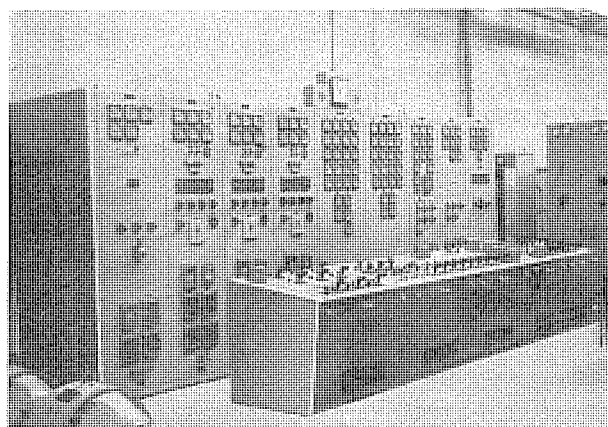


図 4.5 監視計器盤および監視操作盤

Fig. 4.5 Central control panel and desk.

(R), BF(L) はそれぞれ速度増減用の昇圧機界磁であり、電動機磁束変化率その他を負帰還して回路の安定をはかっている。LCは光電式電子管ルー調整器で、仕上電動機にだけ使用している。中間および仕上電動機は速度微調整は、単独あるいは、ラクセツ方式のいずれにも切換え可能である。

ガレット・リールは起動停止がひんばんであり、かつ負荷の慣性が大いので、発電機の界磁を直接420 c/s 磁気増幅器を用いて定速度制御および電流制限制御を行なっており、良好な加減速特性を得ている。

図4.5に監視計器盤および監視操作盤を示す。

5. 日本電線株式会社 川崎工場納め線材ミル電機品

5.1 圧延設備および主要回転電機

日本電線、川崎工場納めの線材ミルは前2者と異なり、そのスケールも小さいが、狭い床面積にうまくまとめられており、製品として銅、アルミなどの非鉄金属の線材を対象としている。

圧延機はドイツ、クルップ社製であり、その電気設備を当社が担当した。仕上圧延 No. 1, No. 2 はスタンド間に、大きなルーを作る点では、住友電工、伊丹製作所向けの線材ミルと同様であるが、(図5.1参照)粗圧延、第1・第2仕上圧延の駆動には誘導電動機を使用し、第3仕上圧延にのみ直流電動機を使用している。

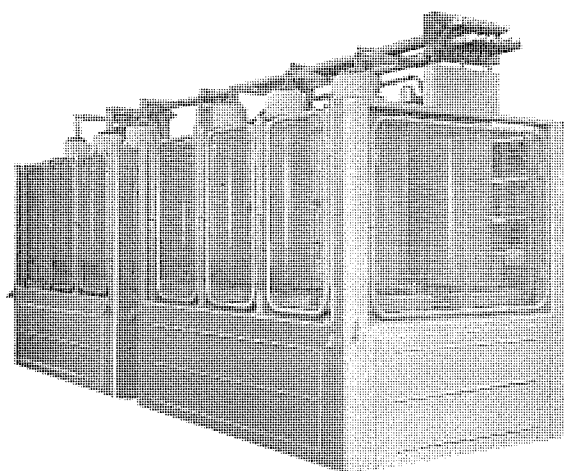


図 4.3 仕上げ圧延機用イグナイトロン整流器
Fig. 4.3 Ignitron rectifier for finishing stands.

線材の径や材質により適宜經由 スタンド が変更され、ガレットコイルによって巻取られる。表 5.1 は、これら圧延電動機、補機電動機の定格を示すもので、圧延速度 14 m/sec に対し、最終仕上スタンドで、

定 常 偏 差 $\pm 0.2\%$
瞬 時 速 度 降 下 3%, 回復時間 0.3 sec

の速度特性が要求されている。

圧延用直流電動機の電源には直流発電機が使われており、高速回転による小形化、成層継鉄構造などの考慮をはらっている。

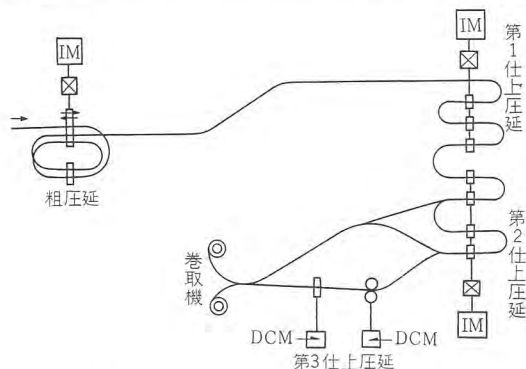


図 5.1 日本電線川崎工場納め線材 ミル 圧延 スタンド レイアウト

Fig. 5.1 Mill layout of wire and rod mill (non ferrous) for Nippon Densen K.K. Kawasaki works.

表 5.1 日本電線 川崎工場納め線材 ミル 圧延用 および補機用直流電動機

用 途	台数	kW	電圧 V	回転速度 rpm	電 源	備 考
粗 圧 延	1	450	3,000	750	AC	誘導電動機
仕上圧延 No. 1	1	200	3,000	750	AC	"
" No. 2	1	450	3,000	750	AC	"
" No. 3	2	100	440	500/1,200	110kW DCG	
ピンチ・ロール	3	6	220	800/2,400		
ロータリ・シア	1	5	220	800/1,950		
巻 取 り	2	30	440	1,300		

5.2 制御装置

粗圧延および仕上圧延 No. 1, No. 2 は、巻線形誘導電動機を用いているため速度制御は行なっていない。非常の際、急速に停止する必要があるため、逆相制動をかけるようにしている。

粗圧延機におけるマニプレータ・テーブルの上下、プッシャの押出しなどはすべて光電式継電器により自動的に行ない、材料は所定のパスだけ往復圧延して送り出される。

仕上圧延 No. 3 の No. 8, No. 9 スタンドは直流の電動機により駆動されるが、スタンド間隔がかなり狭いことから、前述のような速度制御特性が要求される。そのため電源に水銀整流器を用いる案、また増幅器としても電子管磁気増幅器などを種々検討した結果、発電機を使用したユニット方式とし、制御には 400 c/s 磁気増幅器の 2 段を使用した。したがって整流器を使用した場合より制動特性が良好であり、また電子管方式に比し寿命が長く、保守が簡単である。

No. 8, No. 9 スタンドはスタンド間のルーラ制御が行なわれているが、圧延材料が非鉄のため温度が最低 200°C と低い場合、特殊な高感度のものを使用している。

2 台の ガレット・リール は、富士鉄住友電工のものと同様 400 c/s 磁気増幅器を使用して同様の制御を行なっている。

その他、No. 2~4 ピンチロール、ロータリ・シア など補助電動機は 400 c/s 磁気増幅器により一定速度に制御している。

6. む す び

以上、当社が製作した三つの代表的な線材 ミル 電機品について述べてきたが、圧延設備に関する多年にわたる幾多の経験とすぐれた技術をいかし、線材 ミル の持つ特質、用途、規模に応じて、最新、最適の駆動方式を採用し、いずれもきわめて順調に運転している。とくに、富士製鉄、釜石製鉄所納め線材 ミル は、わが国でも最高速、最大規模を誇るもので、この完成は当社の記録的な輝かしい製作実績として、その技術を広く欧米に比肩しうるレベルに高めたものといえる。

最近における社外講演一覧

年月日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所属場所	年月日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所属場所
37-4-5	電気学会	油浸紙のコロナ特性	原 仁 吾	研究所	37-5-16	産業安全研究所	職場の照明 (土木建設関係を含む)	小堀富次雄	本 社
37-4-6	日本物理学会	干渉分光法の実験 ——マツハツエンダー形干渉計による——	八 島 英 之	研究所	37-5-17	日本電気協会	新幹線試作車用主電動機について	河 村 寿 三	伊 丹
37-4-6	医学会電通信学会共催	医学用テレメータ装置	吉田武彦 谷 貴 和	鎌 倉	37-5-17	仙台商工会議所	低電圧配電線用自動電圧調整器	杉 山 昌 司	名古屋
37-4-7	日本物理学会	大形ベータ線スペクトログラフ	後 藤 正 之	研究所	37-5-18	日本電気協会	列車の自動運転装置	北 岡 隆	伊 丹
37-4-7	精機学会	電解加工に関する研究 (第 1 報) 銅材の穿孔	前田祐雄 斎藤長男	研究所	37-5-18	曹達工業会	最近のソーダ電解用整流装置	小 林 凱	伊 丹
37-4-11~12	日本規格協会	各種抜取検査	市 田 嵩	無線機	37-5-19	真空協会	Diffusion pump の Back-diffusion の研究	花 坂 孝 雄	研究所
37-4-14	日本冷凍協会	電動機およびその制御	中 野 修	長 崎	37-5-22	電気学会	電界放射形陰極の特性	青 木 伸 一	研究所
37-4-14	日本冷凍協会	冷凍機と空調調和講演会	石 川 嘉 孝	静 岡	37-5-22	日刊工業新聞社企画局	無接点リレーによる自動化	小 川 裕 三	神 戸
37-4-20~21	日本規格協会	官能検査と実験の解析	山本成一郎	本 社	37-5-22	名古屋電通ホール記念講演	“経済計算……交替制勤務の経済分岐点”	高 田 真 蔵	本 社
37-4-24	日刊工業新聞社	集じん装置	斎 藤 寛	本 社	37-5-22	照明学会中国支部照明普及会	都市照明について	小堀富次雄	本 社
37-4-25	電気通信学会	メモリーコアおよびマトリックスの性能	水 上 益 良	大 船	37-5-23	質量分析学会	超高真空質量分析器 (1)	後 藤 正 之 甲斐潤二郎	研究所
37-4-28	日刊工業新聞社	ケイ光体の理論と実態	井手平三郎	大 船	37-5-24	質量分析学会	固体試料分析用質料分析器 (1)	後 藤 正 之 甲斐潤二郎 尾 形 善 弘	研究所
37-5-10	日本銀行協会	電子計算機の将来	嶋 村 和 也	鎌 倉	37-5-24	四国電力電気学会	AVR における磁気増幅器の応用	大 野 栄 一	研究所
37-5-11	島原地区鋳造協会	キューブラ操作について	松 村 昌 彦	長 崎					
37-5-12	早稲田大学	エンジニアリングエコノミー	高 田 真 蔵	本 社					
37-5-12	日本規格協会	抜取検査	吉 川 洗	本 社					
37-5-15	通産省	生産技術	高 田 真 蔵	本 社					
37-5-16	仙台日産生命館ホール	電気式ランナベーン調整装置	長 沢 保 明	神 戸					

八幡製鉄戸畑製造所納め インゴット・バギー用電機品

久保田 伸夫*

Electric Apparatus for Ingot Buggies Supplied to the Yawata Iron & Steel Manufacturing Co.

Kōbe Works

Nobuo KUBOTA

In steel plants having blooming mills where ingots are rolled, the ingots are transported from soaking pits to the mills by means of motor driven buggies, which move near the approach table with high speed and are tilted to take out the work and feed it on the table. To meet these operations, there are many types of driving systems which have been manufactured by Mitsubishi. Herein is described the latest ingot buggy drive, supplied to the Yawata Iron & Steel Manufacturing Co., in which an automatic position control system is employed. The unit is now running with satisfaction.

1. ま え が き

住友機械を経由して八幡製鉄、戸畑製造所に 25 t インゴット・バギー用電機品を納入した。

当社は今までに住友機械を経由して各種の インゴット・バギー 駆動設備を納入してきたが、今回のものは遠隔操作で自動位置制御を行なったものであり、この種の電気設備として実用上きわめて意義深いものである。

2. 設 備 の 概 要

溶鋼炉より取り出されたインゴットは、圧延が開始される前に、インゴット全体の温度を均一にするために均熱炉に入れられる。均熱炉から圧延機の アプローチ・テーブル までのインゴットの運搬設備としては通常、電気駆動の インゴット・バギー が用いられる。インゴットは鋼塊起重機により均熱炉から インゴット・バギー に積み込まれ、インゴット・バギー は高速度で アプローチ・テーブル に接近して、バギーのクレドルを傾転して、インゴットをバギー中の立位置から アプローチ・テーブルの横位置に倒すか、送り出し テーブル 上に倒してから アプローチ・テーブル に送り出す。

インゴット・バギーの駆動方式としては、バギー本体に電動機を積んで、線路側面にトリ線張って、それよりスリッパ・リングを通して走行電動機に給電して走行する方式と、バギー本体をケーブルで引っぱってウインチを電動機で駆動する方式とに大別される。

今回のものはトリ線方式である。バギーには走行電動機の他に、インゴットを送り出し テーブル の上に移す傾転電動機、インゴットを アプローチ・テーブル に移す送り出し テーブル 電動機、その他に油ポンプおよび送風機用電動機が 5 台積み込まれている。この設備に使用した回転機のリストを表 2.1 に示す。

今回のものは 1 号機に対するもので、将来同一仕様の 2 号機が複線運転される予定であり、M-G セットは将来 2 号機に対する電源の付加が可能なように計画してある。

バギーに乗せられる電動機は寸法上の制限から小形で、振動防止に留意しきびしい使用条件に耐えるようになっている。走行電動機はとくにスラスト荷重に耐えるようになっている。

設備の概略配置図を図 2.1 に示す。バギーの進行方向に沿って、

均熱炉が 20 個配置されてある。アプローチ・テーブルより No. 20 均熱炉までの距離は 103 m あり、バギーは各均熱炉と アプローチ・テーブルの間を往復してインゴットを運搬する。バギーの最高速度は 300 m/min である。

主回路簡略結線図を図 2.2 に示す。走行電動機は 2 台直列に接続されて、発電機により可変電圧制御されている。傾転電動機は傾

表 2.1 回転機 リスト

用 途	台数	容 量 (kW)	電 圧 (V)	電 流 (A)	回 転 数 (rpm)	備 考
走 行 用	2	255	375	750	715	ブレーキ付
傾 転 用	1	75	220	485	485	ブレーキ付
送り出しテーブル	1	26	220	138	575	ブレーキ付
油 ポ ン プ	3	0.4	220	2.5	1,200	
送 風 機	2	1	220	6	1,750	
可 変 電 圧 電 源	1	680	750	910	900	M-G セット
定 電 圧 電 源	1	100	220	455	900	
同 期 電 動 機	1	1,500	3,300	60 c/s	900	ロータトロ ールセット
誘 導 電 動 機	1	5	220	22.8	1,750	
	1	15	200	60 c/s	1,750	

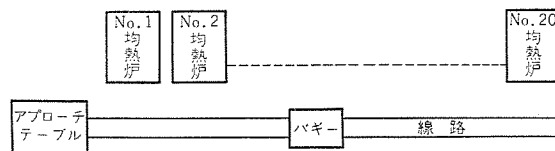


図 2.1 概略配置図
Fig. 2.1 Outline of layout.

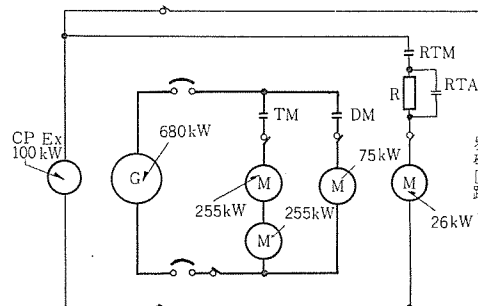


図 2.2 簡略結線図
Fig. 2.2 Skelton diagram of main circuit.

転時のみ発電機回路を切換えて給電される。送り出し テーブル 電動機は定電圧電源により給電されて、起動抵抗により起動される。

前に述べたように トリ 線方式の場合には、駆動用電源はトリ 線を通して供給されるが、トリ 線は パギー の構造上、均熱炉の側壁にしか設置できない、また寸法上の制限から トリ の本数も制限される。今回のものは励磁回路、走行電動機主回路、走行電動機用電磁 ブレーキ 用の5本が全走行距離にわたって設置され、アプローチ・テーブル 付近のみに、傾転電動機用としてさらに8本設置されている。トリ は インゴット および スケール の落下、ホコリに対して十分保護されなければならないが、また熱塊の放射、走行時における スリッピング による衝撃にも耐えるように十分考慮されなければならない。

3. 制 御 方 式

パギー の自動運転を行なうためには、パギー の位置を検出する必要がある、位置の検出方法としては、線路に制限開閉器または電磁誘導形継電器を取付ける方法と、セクション 絶縁 トリ を設置する方法とがあるが、前者はスケールにより誤動作したり、また動作時の衝撃により破損したりする 경우가多く、後者は絶縁物の摩耗が激しく運転調整が困難であるという不便もあり、上述の方法による自動運転は実用にはほど遠い感があったが、今回のものは次に述べる方法により所期の目的を達成したものである。

図 3.1 に位置検出方法の大略を示す。パギー と ドラム の間にケーブルを張り ドラム はトルク 電動機で駆動されて、パギー との間に張力を持たせて ケーブル がたるまないようにしてある。ドラムにはガイドスクリュー が切っており、ドラム の回転角と パギー の走行距離が比例するようになっている。この ドラム に減速機を介して可変抵抗器と制限開閉器が結合されて、制御上必要な位置信号を与えている。

今回の パギー 駆動設備を計画するにあたって要求された性能は次のとおりである。

1. アプローチ・テーブル も含めて、No. 1 から No. 20 までの均熱炉を任意に選択して自動遠隔運転ができること。
2. 均熱炉前の停止精度 ± 1.5 m 以内、アプローチ・テーブル における停止精度を 300 mm 以内とする。
3. パギー の インゴット 運搬のため一往復するに要する運搬時間、すなわち duty cycle を 90 秒以内として、かつ機器の運転性能としては、80 秒を目標にして設計すること。

鋼塊の運搬時間が長いと温度降下により鋼塊内部に温度 コウ配を生じて、製品の品質および圧延作業に影響を与えるので、運搬時間はできるだけ短い方がよい。したがって パギー の速度をできるだけ早くすればよく、駆動電動機容量を大きくすればよいわけであるが、電動機容量は duty cycle の3乗にほぼ反比例するの

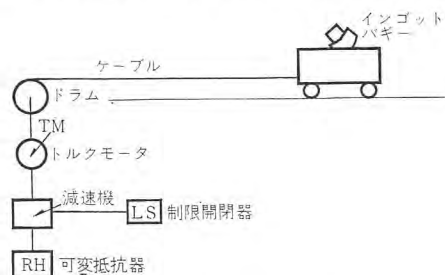
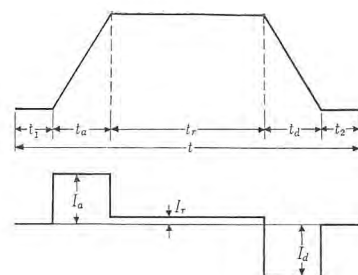


図 3.1 位置検出機構

Fig. 3.1 Mechanical layout of position sensing units.

八幡製鉄戸畑製造所納め インゴット・パギー 用電機品・久保田



t_1t_2 : 休止時間
 t_a : 加速時間
 I_a : 加速電流
 I_r : 走行電流
 t_r : 走行時間
 t_d : 減速時間
 I_d : 減速電流

図 3.2 速度-時間, トルク-時間特性

Fig. 3.2 Speed-time, torque-time characteristics.

で、設備費と据付 スペース の関係により電動機容量は必要最小限に押えなければならない。したがって パギー の運搬 ピッチ は、通常圧延 ピッチ に等しく取られる。duty cycle の算定にあたってはアプローチ・テーブル よりいちばん遠い均熱炉を基準にして計算しなければならない。

パギー の機械的慣性はきわめて大きく、走行電動機出力の大部分はパギー の加速および減速に消費されて、パギー を一定速度で走行させるに要する出力は、加減速に要する出力に比べてきわめて小さい。

図 3.2 に インゴット・パギー の速度-時間, トルク-時間特性を示す。上図より走行電動機容量の計算式を求めると次のとおりである。

$$P_m = \sqrt{\frac{P_a^2 t_a + P_r^2 t_r + P_d^2 t_d}{t}} \quad (3.1)$$

P_a : 加速に要する電動機出力 (kW)

P_d : 減速に要する電動機出力 (kW)

P_r : 一定速度において走行するに要する電動機出力 (kW)

P_a , P_d および P_r は次式で与えられる。

$$P_a = \frac{1}{\eta} \left[\frac{W v^2}{3.62 \times 10^3 t_a} + P_f \right] \quad (3.2)$$

$$P_d = \eta \left[\frac{W v^2}{3.62 \times 10^3 t_d} - P_f \right] \quad (3.3)$$

$$P_r = \frac{1}{\eta} P_f$$

W : パギー 全体の重量 (t)

v : パギー 走行速度 (m/min)

P_f : パギー 走行抵抗に相当する出力 (kW)

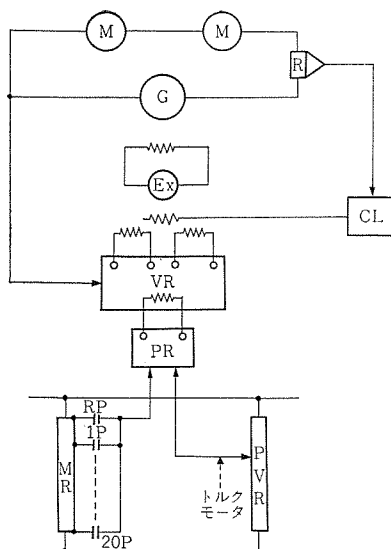
μ : 歯車および減速機の効率

走行電動機容量は式 (3.1) により求められるが、実際には所定位置に自動停止するために クリープ 速度に要する時間的余裕を duty cycle に見込まなければならない。

図 3.3 に走行電動機制御回路の大略を示す。走行電動機は発電機電圧により、可変電圧制御されている。発電機は電圧制御、電流制限、位置制御の3ループにより制御されている。

インゴット・パギー は機械的慣性が非常に大きいため、電流制限回路が設けられている。電流制限回路は電動機電流を設定値以下に押えるように働き、電動機容量を最大限に利用するとともに安全限界を自動的に押えるようになっている。

位置制御用磁気増幅器には、位置制御用可変抵抗器からの信号が加わり、パギー の速度および位置を制御する。可変抵抗器の回転角は、パギー の全走行距離に対応するようになっている。この



VR: 電圧制御磁気増幅器
PR: 位置制御磁気増幅器
CL: 電流制限回路
MR: 基準抵抗
PVR: 位置検出抵抗

図 3.3 走行電動機制御回路

Fig. 3.3 Schematic wiring diagram of traverse motor control circuit.

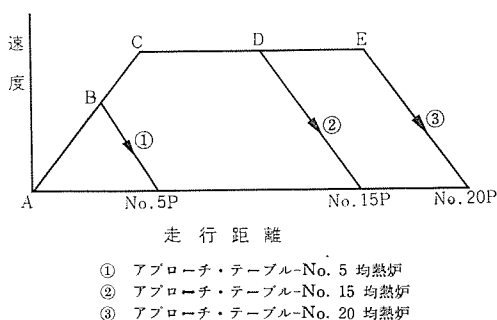


図 3.4 速度-走行距離曲線

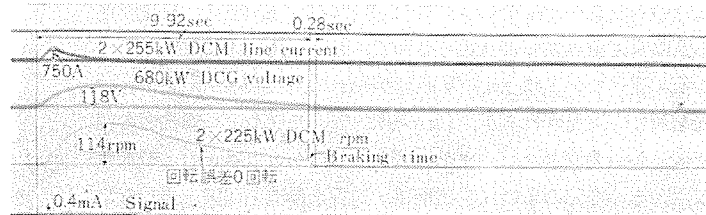
Fig. 3.4 Speed-traverse distance curves.

位置制御用抵抗はブリッジ回路に接続されていて、ブリッジ回路の他の一辺は各停止位置の基準電圧を与える基準抵抗に接続されている。

今運転盤において、パターの停止位置を選択して運転指令を与えると基準抵抗の停止位置に対応するタップ回路の接点が閉じてブリッジ回路に電流が流れて、位置制御用磁気増幅器に出力を与える。このときブリッジ回路にはパターの進行目的位置と、現在位置の差に相当する電圧が印加されることになるが、発電機が定格電圧以上の過電圧を発生するのを防止する電圧制限回路および、停止前のクリア速度の指令を与える回路が設けられている。

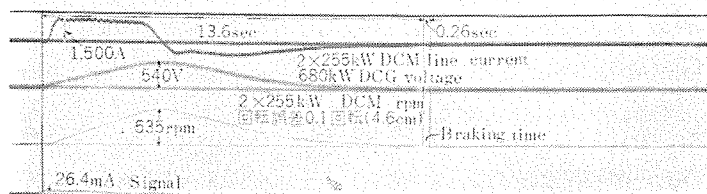
図 3.4 に速度-走行距離曲線を示す。図からわかるように走行距離の長短に応じて、最高速度を維持する時間、または適当な走行速度を自動的に選択して、つねに運転上最適の duty cycle を得ようになっている。

今アプローチ・テーブルより No. 5 均熱炉まで走行する場合には B 点まで加速して、B 点より減速して No. 5 均熱炉に達する。No. 20 均熱炉まで走行する場合は C 点まで加速して、最高速度で E 点まで走行して、E 点より減速して No. 20 均熱炉に達する。No. 15 均熱炉まで走行する場合も同様である。



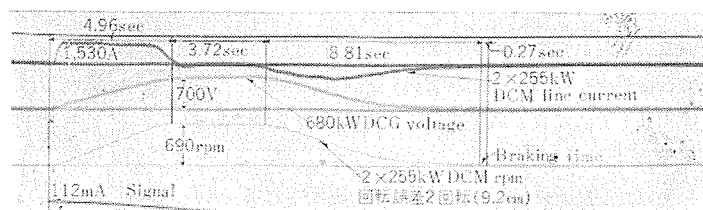
30-1350-1 住友機械 (八幡) 2x255 kW DCM Ingot Buggy
1 pit → Receiving Table, Total time 10.2 sec

(a)



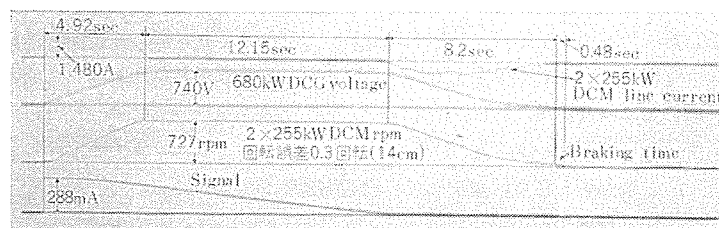
30-1350-1 住友機械 2x255 kW DCM Ingot Buggy
5 pit → Receiving Table, Total time 13.86 sec

(b)



30-1350-1 住友機械 (八幡) 2x255 kW DCM Ingot Buggy
10 pit → Receiving Table, Total time 17.76 sec

(c)



30-1350-1 住友機械 (八幡) 2x255 kW DCM Ingot Buggy
20 pit → Receiving Table, Total time 25.75 sec

(d)

図 3.5 組合せ試験時の オシログラム

Fig. 3.5 Oscillograms at combination test.

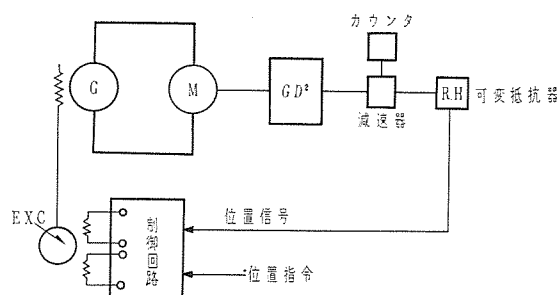


図 3.6 等価試験回路

Fig. 3.6 Layout of equivalent test circuit.

図 3.5 に工場における組合せ試験の際の オシログラム を示し、その時の試験回路を図 3.6 に示す。パターの GD^2 に相当する負荷を走行電動機に直結して、適当な GD^2 を介してカウンタ (計数

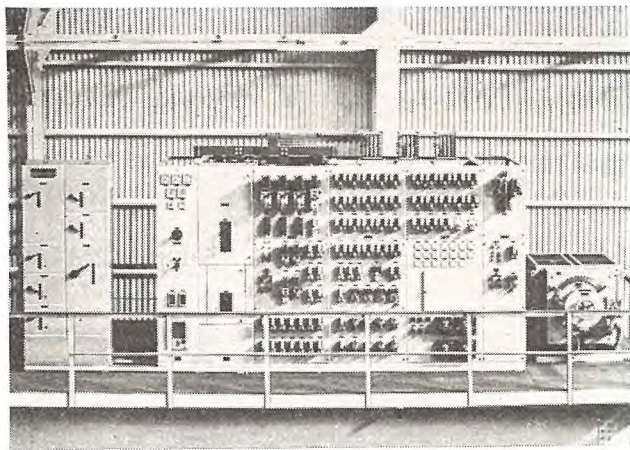


図 3.7 制 御 盤
Fig. 3.7 Control panel.

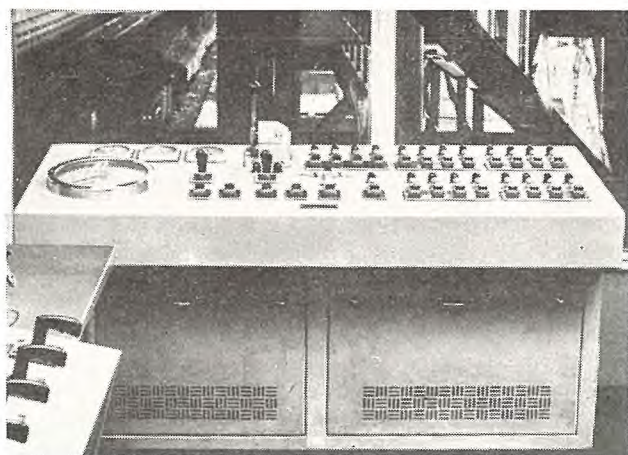


図 3.8 操 作 盤
Fig. 3.8 Operator's control desk.

計)および可変抵抗を結合したもので、実際の運転状況と等価な試験を行なったものである。

図 3.5 において 図 (a) は No. 1 均熱炉より アプローチ・テーブル まで走行するもの、図 (b) は No. 5 均熱炉より アプローチ・テーブル まで走行するもの、図 (c) は No. 10 均熱炉より アプローチ・テーブル まで走行するもの、図 (d) は No. 20 均熱炉より アプローチ・テーブル まで走行するものである。それぞれ上から電流、電圧、回転数、位置信号を示す。図中回転誤差とは回転数で表わした停止誤差である、各図における スケール は同一ではない。

工場における組合せ試験の結果、現地における調整期間をいじりしく短縮することができた。

実際運転にあたってはアプローチ・テーブル 前の停止精度を 20 mm 以内、均熱炉前の停止精度を 500 mm 以内にして、80 秒の duty cycle で運転できた。

図 3.7 に制御盤の写真を示し、図 3.8 に操作盤の写真を示す。操作盤にはアプローチ・テーブル および各均熱炉に対応した押しボタンが設けられている。目的位置の押しボタンを押すとその押しボタンの上の信号灯が点灯されて、パギーは前に説明したように自動運転を行なう。他の 1 個の信号灯はパギーが均熱炉の前を通過するたびに点灯するようになっている。操作盤の中央の主幹制御器は手動運転用のものである。盤の左端の指示計はセルシ位置指示計で、線路上の パギー の位置を指示している。

4. その他の駆動方式

当社は今までに パギー に運転台車を設けて直接操作する インゴット・パギー を定電圧方式、可変電圧方式、交流駆動方式と各種製作してきたが、現在製作中の自動遠隔操作のもの 2 種につき簡単に紹介する。

4.1 富士製鉄、広畑製鉄所向け 15 トン・インゴット・パギー用電機品

この駆動設備の機械設備の概略および定位置制御の原理は八幡製鉄向納めのもと同様であるが、駆動方式が巻線形誘導電動機のリアクタ制御である。リアクタの制御はシリコン制御整流素子およびトランジスタ増幅回路によって行なわれている。

4.2 東海製鉄向け 30 トン・インゴット・パギー用電機品

ケーブル駆動方式の パギー である。走行距離の前端と後端にあるウインチをそれぞれ直流電動機で駆動している。定位置制御の原理は前述のものと同様であるが、位置検出はウインチより減速機を介して取られている。

5. む す び

以上製作中のものも含めて、遠隔操作、自動定位置制御の インゴット・パギー について説明した。当社の従来からの製作経験と技術を生かして、前に述べたように苛酷な条件にも耐えて、安定な自動運転設備を製作することができた。製鉄設備の技術革新の中に、電機品も新製品の開発、性能の向上と相まって、さらに高性能の パギー 駆動設備が製作されると期待している。

なお、インゴット・パギー の製作にあたって、始終ご指導ご協力を賜った住友機械の関係者に深く感謝する。

スーパーライン D 直流機

小山建次*・茶谷三郎*

Super-Line D DC Motor

Kōbe Works

Kenji KOYAMA・Saburō CHATANI

Mitsubishi has been producing DC machines for many years in the past with established reputation in the circles. However, DC machines encounter hindrance in the promotion of their production because there are so many varieties in the specification and rating due to the selectability of any output and speed. To cope with dominating tendencies looming ahead in the DC motor applications, Mitsubishi has set out the development of Super-Line D DC motors which have wide range of adaptation for general industrial purpose by standing the types and rationalizing the productions. This report gives general description on them with a belief that a great contribution will be made by the advent of these new products.

1. ま え が き

当社は古くから製鉄、製紙など各種の生産設備をはじめとし、電力、船舶、車両、鉱業、荷役など工業全般にわたり数多くの直流機を製作し、長年にわたる輝かしい実績、多方面におよぶ経験、すぐれた技術は、広く一般の認めるところである。

このたび当社では、直流機についての機種標準化、生産の合理化計画の一部として、一般工業用としての応用分野のきわめて広い、中・小容量のスーパーライン D 直流機（通称 SD 形直流機）を開発し、新たな生産態勢を確立した。

直流機は、その出力と回転速度をまったく任意に選定できることから、無統制な仕様、定格で注文ごとの製作がおこなわれがちであり、生産性を向上させるうえで一つの妨げとなっていた。スーパーライン D 直流機の登場は、つぎにかかげる時代の動きを背景としている点で有意義なものであり、当社の画期的な製品といえるであろう。

(1) 自動制御の発達に伴って、直流電動機のもつ本来の特質——速度制御、トルク制御などが、自由に円滑に実施できること——が、工業の多方面で、有効に利用されるようになったこと。しかも、標準化によって天賦の特質は、なんら失われることはない。

(2) 最近、工業全般の各種生産設備の合理化、自動化計画に伴い、直流機の需要は年々増大し、加うるに業界の盛んな設備投資意欲が直流機電動機のはん用化を要求していること。

(3) 絶縁材料をはじめとし、各種の構成材料の発達進歩は、直流機の小形軽量化を容易にし、さらに他方では自動制御系の主役とし、高い制御性が要求されるなどの理由から、旧系列を改訂する時期にあったこと。

(4) 直流機を応用する電気設備のうちでは、直流機の占める設備費の割合が大きく、設計の標準化、生産方式の近代化により、納期の短縮、価格の低減をはかることがメカの大きな課題であった。

(5) 一般工業用直流機に関する新 NEMA 規格（アメリカ電機製造協会規格）の制定により、誘導電動機と同様に直流機の標準化、規格化が、世界的な動向となりつつあること。

(6) 貿易の自由化に対処し、また広く海外市場への進出を

めざし、競争力の強化を真剣に考えなければならない時期にきていること。

2. 工業用直流電動機に関する NEMA 規格

現在、電機関係の規格のうちで、その内容がもっともよく整備充実していて、その高い権威を広く全世界に認められているものにアメリカ電機製造者協会発行の NEMA 規格がある。規格の内容は、その国の技術的なレベルを端的に表現するから、NEMA の動向は世界の電機技術の行先を示す指針として、業界の注目するところである。

直流機に関する NEMA 規格の制定は早くからおこなわれており、きわめて多種多様な用途に対し、定格、特性など実に細かい規定がなされていた。1956 年、200 HP (150 kW) 以下の直流電動機、150 kW 以下の直流発電機について、将来あるべき形として、Industrial D.C. Motors and Generators と呼ばれる新しい規格を発表した。

この規格は、そのころ直流機の大部分の用途が可変電圧制御（レオナード制御）によって使用されることを重視し、当時規定されていた数多くの出力、回転速度などを整理し、Industrial Use に適した標準に統一したものである。

アメリカの有力電機メカである GE 社、ウェスチングハウス社では、いち早くそれぞれ新規格による新形直流機 Kinamatic, Life Line H を相ついで発表し、今日では単にアメリカ国内のみならず、全世界でもこの規格の意義を高く評価している。

当社のスーパーライン D 直流機は、NEMA 規格 MG-1, Industrial D.C. Motors and Generators の諸規定に準拠するのが、時代の要求にもっとも適した方向であり、単に国内市場のみならず国際的にも有利であると判断し、標準化の基本方針としている。

さいわい、わが国の各メカにおいても、工業用直流機の規格化への気運も高まり、また需要家の要望もあって、近く日本電機工業会（JEM）から、NEMA 規格に準じた工業用直流電動機標準規格が発表される運びとなっている。

NEMA 規格には

(1) 標準定格

(2) 電圧

(3) 特性

- (4) 形 式
- (5) 絶縁と温度上昇
- (6) 過負荷耐量
- (7) ワッ番と外形寸法

などが定められており、スーパーライン D 直流機はこれらの諸規定にしたがい、国情の相異により一部 JEC 規格、IEC 規格に準拠して設計、製作をおこなっている。

3. スーパーライン D 直流機の特徴

3.1 標準定格

スーパーライン 直流電動機、ならびに直流発電機の出力および回転速度は、NEMA 規格に準拠し、

電動機（ただし、分巻または安定分巻）

出力 0.37~110 kW（20 段階）

基底速度 300~3,500 rpm（9 段階）

発電機

出力 0.75~100 kW（18 段階）

速度 850~3,450 rpm（5 段階）

を標準として定めた。（詳細は表 3.1、表 3.2 による）

電動機では、通常広い速度調整範囲を必要とする用途が多く

電圧制御による トルク 一定

界磁制御による 出力 一定

の特性を自由に駆使し、速度、トルク、出力を円滑に制御でき、このため広い界磁制御範囲を定めている。

基底速度より低い回転速度は、通常電圧制御により、また基底速度より高い回転速度は、ある場合には定格をこえる過電圧により、またある場合には弱め界磁により、安全温度で安定な速度特性が得られる設計となっている。

発電機は、レオナード 制御をおこなう電動機の 1 台あたりの標準出力に見合う容量を発電機の標準出力として定めている。もちろん発電機には、昇圧機、増幅発電機などの用途を考え、いずれもスーパーライン D 系列により各種標準化をおこなっている。

3.2 電 圧

スーパーライン D 直流機の電圧は標準として 220 V を採用しているが、需要家の要求や設備の大きさにより、適宜電圧を変えて製

作することもできる。当社では、標準化による機種の整理、部品や工程管理の簡素化をはかる意味から、のちに述べる基本的な構造となし、標準出力、標準回転速度、220 V の電動機を基本形と呼び、種々の応用形の基幹としている。

3.3 特 性

スーパーライン D 直流機の大きな特長は、電機子径に比して鉄心長の長い低慣性の設計とし、従来の系列より GD^2 を 30% 程度低減したことで、これにより加速、減速、可逆運転などにおける速度の応答性をより一層すぐれたものとしている。

また、電機子反作用による主極面への影響を軽減する目的から、主極鉄心の形状には特別の考慮をはらい、負荷特性の改善をはかっている。すなわち、分巻または安定分巻電動機では、直線的でかつ変動率の比較的小さい速度特性となっており、大きい容量のものを除き、直巻 コイル を巻くのをやめても、全速度範囲に対し安定な速度特性が得られる。また、発電機ではこの形状の主極鉄心により、低い電圧まで安定な運転が実施できる特長をもっている。

3.4 形 式

スーパーライン D 直流機の形式は、横軸形取付けで防滴保護形を基本形式としている。一般工業用として種々の設置場所、周囲条件、運転条件などを考え、容易に他の形式、取付方法に応用、変形ができ、各種の付属品の取付けうる基本構造となすべきである。この点、スーパーライン D 直流機は、これらの条件を満足しきわめて応用の広い、機能的な構造に設計されている。

3.5 絶縁と温度上昇

絶縁は完全 B 種絶縁を採用し、機械の単位重量あたりのトルクを従来の系列より約 20% 増大させ、小形軽量化をはかった。このような出力増加にもかかわらず、自己通風形では冷却効果の大きい ファン を用い、周囲温度 40°C、標準定格負荷、連続運転後の温度上昇限度を 60°C 以下としている。この温度上昇限度は IEC、JEC 規格などで規定されている B 種絶縁の最高許容温度に対し、10°C の余裕をもっており、これは サービス、ファクタ として、等価的に、つぎの連続過負荷運転を可能なものとしている。（図 3.1 参照）

基底速度において 115% 負荷連続

基底速度の 150% 速度以上において 130% 負荷連続

表 3.1 分巻または安定分巻電動機の標準出力と標準回転速度

標準出力 (kW)	標準 基 底 速 度								
	3,500	2,500	1,750	1,150	850	650	500	400	300
回転速度 (rpm)	弱め界磁による標準最高回転速度								
0.37					3,000	2,600	2,000	1,600	
0.55				3,200	3,000	2,600	2,000	1,600	
0.75			3,500	3,200	2,800	2,600	2,000	1,600	
1.1	4,000	4,000	3,500	3,000	2,800	2,600	2,000	1,600	
1.5	4,000	4,000	3,300	3,000	2,600	2,600	2,000	1,600	1,200
2.2	4,000	3,700	3,300	2,800	2,600	2,600	2,000	1,600	1,200
3.7	3,700	3,700	3,000	2,800	2,600	2,400	2,000	1,600	1,200
5.5	3,500	3,500	3,000	2,800	2,600	2,400	2,000	1,600	1,200
7.5	3,500	3,500	3,000	2,800	2,500	2,200	2,000	1,600	1,200
11	3,500	3,300	3,000	2,600	2,500	2,200	2,000	1,600	1,200
15	3,500	3,300	3,000	2,600	2,400	2,200	1,800	1,600	1,020
18.5		3,100	3,000	2,600	2,400	2,000	1,800	1,600	
22		3,100	3,000	2,600	2,400	2,000	1,800		
30		3,100	2,700	2,400	2,200	2,000			
37			2,700	2,400	2,200	1,800			
45			2,400	2,200	2,000				
55			2,400	2,200	2,000				
75			2,200	2,000					
90			2,000						
110			2,000						

表 3.2 発電機の標準出力と回転速度

標準出力 (kW)	標準 回 転 速 度 (rpm)				
0.75	3,450	1,750	1,450	1,150	850
1.0	"	"	"	"	"
1.5	"	"	"	"	"
2	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	"
4.5	"	"	"	"	"
6.5	"	"	"	"	"
9	"	"	"	"	"
13	"	"	"	"	"
17	"	"	"	"	"
21	"	"	"	"	"
25	"	"	"	"	"
33	"	"	"	"	"
40	"	"	"	"	"
50	"	"	"	"	"
65	"	"	"	"	"
85	"	"	"	"	"
100	"	"	"	"	"

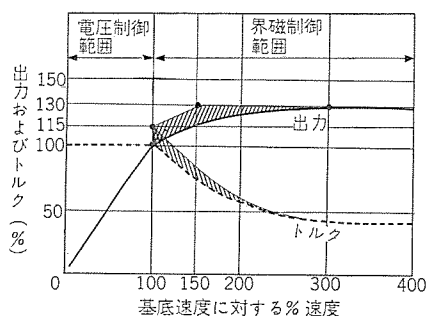


図 3.1 サービスファクタによる出力トルクの増加分
Fig. 3.1 Incremental output of torque due to service factor.

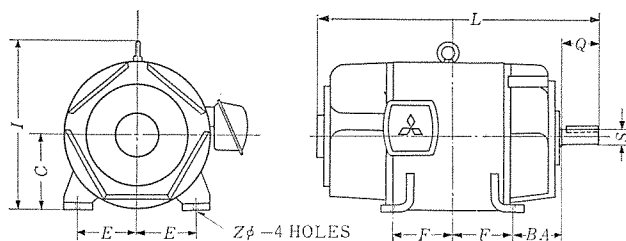
各種の応用にあたり、サービス、ファクタ のもつ意味は、等価的な連続過負荷の % の値より、熱的な余裕そのものが重要であり実際的である。すなわち

- (1) サービス、ファクタ を必要としない用途では、機械の寿命が一層長くなる。
 - (2) 電圧制御により低速運転をおこなう場合、基底速度の約 $1/2$ 速度まで安全温度で運転でき、とくに強制通風を必要としない。
 - (3) 電源電圧に多少の変動があっても、定格負荷の連続運転は可能である。
 - (4) 整流器のような脈動の多い直流電源から給電される場合でも、熱的な心配はない。
 - (5) 標高 1,000 m をこえる場所、あるいは、周囲温度が 40°C をこえる場合でも、この余裕の範囲で運転ができる。
- などの利点がある。

3.6 過負荷耐量

スーパーライン D 直流機は、サービス、ファクタ に相当する過負荷に耐えるばかりでなく、全速度範囲において定格の 200% (1 分間) の過負荷耐量をもっている。NEMA 規格あるいは JEC 規格では、定格の 150% の負荷に対し良好な整流であることを規定して

表 3.3 スーパーライン D 直流機の外形寸法 (基本形)



ワタ番号	L	C	E	F	Z	I	BA	S	Q	重量 (kg)	GD ² (kg·m ²)	対応 NEMA ワタ番号
112L	413.5	112	95	79.5	12	264	70	22	50	50	0.05	185A
132M	489.5	132	108	89	12	304	89	28	60	75	0.085	215A
132L	514.5	132	108	101.5	12	304	89	28	60	85	0.095	216A
160M	585.5	160	127	105	14	358	108	38	80	120	0.185	254A
160L	630.5	160	127	127	14	358	108	38	80	135	0.233	255A
180M	657.5	180	139.5	120.5	14	406	121	42	110	180	0.38	284A
180L	695.5	180	139.5	139.5	14	406	121	42	110	210	0.43	285A
200M	737.5	200	159	133.5	18	457	133	42	110	250	0.72	324A
200L	775.5	200	159	152.5	18	457	133	42	110	300	0.82	326A
225M	797	225	178	155.5	18	507	149	48	110	320	1.45	355A
225L	842	225	178	178	18	507	149	48	110	350	1.70	366A
250S	879.5	250	203	155.5	22	568	168	55	110	420	2.16	404A
250M	917.5	250	203	174.5	22	568	168	55	110	460	2.56	405A
280S	983.5	280	228.5	184	22	637	190	60	140	600	3.71	444A
280M	1034.5	280	228.5	209.5	22	637	190	60	140	650	4.64	445A
315S	1113.5	315	254	203	27	715	216	70	140	900	7.59	504A
315M	1164.5	315	254	228.5	27	715	216	70	140	990	8.71	505A

おり、従来の系列もそのような設計がなされてきたが、スーパーライン D 直流機において、このように過負荷耐量を増し、整流能力を高めた設計上の配慮として、

- (1) 電機子 コイル の巻数をできるだけ少なくし、整流子片枚数の多い設計とした。
 - (2) 可能な範囲で重巻を採用した。
 - (3) 補極鉄心を成層し、磁気特性の改善をはかった。
 - (4) ブラシ 保持器の設計には、細心の注意をはらい分割 ブラシなどの採用を容易にした。
- などをあげることができる。

過負荷耐量を、直流機の整流上の理由による電気的な限度と考えるならば、機械的には、最大起動電流をもって、その限度を表わす。スーパーライン D 直流機では 400~500% の最大起動電流に対し、十分な強度と構造を考えている。

3.7 ワタ番号と外形寸法

誘導電動機の下番と外形寸法は、欧米諸国をはじめ、わが国でも標準を定め国家的に寸法を統一している。直流電動機についてワタ番号や外形寸法などの標準を定めた規格は、今のところ、わずかに NEMA に見られるだけである。日本電機工業会において目下審議中の工業用直流電動機の標準規格には、外形寸法の統一の問題も含めており、機械の互換性、使用後の便宜をはかることになっている。

回転電気機械の外形寸法を、国際的に統一しようとする動きは約 10 年以前から、IEC (万国電気工業委員会) の手によって進められ、1959 年に中・小形回転電機の出力および外形寸法の IEC 規定が発表され、各国とも、それぞれの国家規格として受け入れる準備を進めている。その内容は、IEC Publication No. 72-1. 'Recommendations for the dimensions and output ratings of electric motors' によるが、IEC 標準ワタ番号、標準外形寸法は、

- mm 系の Series I (ドイツ、フランス、ソ連、スウェーデンなど)
- inch 系の Series II (アメリカ、イギリス、カナダなど)

の二つの系列を考えて、両者はきわめて近似した寸法としている。

NEMA 規格では、IEC Series II よりも多いワタ番号と外形寸法を定めているが、IEC のワタ番号はすべて NEMA ワタ番号に含まれている。

スーパーライン D 直流機は、さきに述べたように、その国際性を重視し IEC Series I (mm 系) の標準ワタ番号と標準外形寸法を採用した。IEC Series I のワタ番号構成は、軸の中心高 (mm) を表わす 3 ケタの数字に、フレームの軸方向の長さの相違により、S, M, L の文字を組合せ、同一中心高に、3 種のワタ番号と外形寸法を定めている。

スーパーライン D 直流機では、同一中心高の 3 ワタ番号のうち、M, L または S, M の 2 種を採用し、IEC の呼び名による 112L~315M の 17 種のワタ番号を標準化した。

このように、IEC Series I と Series II の結びつきを通じ、当社のワタ番号は、NEMA ワタ番号とも近似した寸法となっている。

基本形の外形寸法は、表 3.3 のとおりである。

4. 構造

電気的な性能、諸特性がすぐれていることのほかに、構造的に見て種々の用途に対し機能的

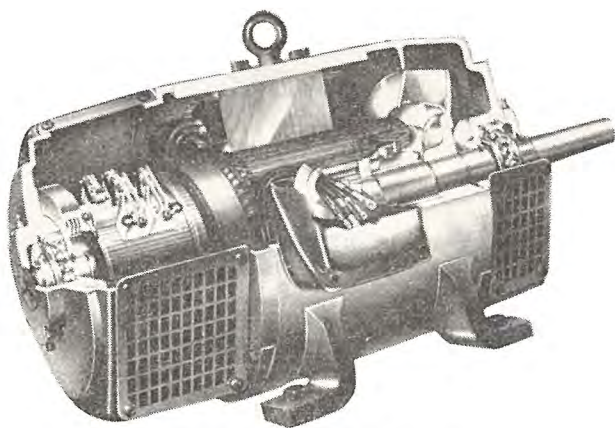


図 4.1 スーパーライン D 直流機構造図
Fig. 4.1 Assembly drawing of type Super-Line D DC motor.

であること、長期の連続運転に対し信頼性の高いこと、さらに点検、保守が容易であることも設計上重要なファクタである。

図 4.1 は、スーパーライン D 直流機の基本的な構造を説明する写真で、各部の特色は、つぎのとおりである。

4.1 継鉄

低炭素鋼板を丸めて溶接した丈夫な構造をとっており、機械加工をおこなう前に焼鈍し、ヒズミ取りと磁気特性の改善をはかっている。

取付け足は継鉄に溶接固着し、衝撃的な過負荷にも十分な強度をもたせている。また継鉄には、コンジットボックス形の端子箱を設け、継鉄のどちらの側からでも口出し方向が変えられるような機構となっている。

4.2 ブラケット

ブラケットは通風冷却や点検保守の便を考え、大きな吸・排気口、点検窓を設け、機械的に十分な強度をもつ良質の鋳物で作られる。しかも、横軸取付けの据付け状態で、ブラケット自身防滴構造に適した形状としてある。

整流子側ブラケットは図 4.2 に見られるように、スマートな五角形構造とし、開口部にはメクラ板、金アミ保護カバーなどをつけ、他の形式への変換が簡単に実施でき、また上下反転して継鉄に取付けることもできる。ブラケット端面は、スペースと肉厚を適当なものとし、付属品（たとえば円板ブレーキ、回転計発電機など）のオーバハングを容易にしている。

反整流子側ブラケットは、三つの開口部を通常下に向け、金アミ保護カバーをつけるが、鉛直、水平いずれの方向にも向きを変えて取付けができるから、他力通風形、管通風形などの応用形でも、とくにブラケットの構造を変える必要はない。

全閉外扇形では、ブラケットそのものの構造も変わるが、反整流子側の軸に取りつく内扇、外扇にはさまれた熱交換隔壁を通じて、有効な熱放散の実施できる構造としている。

4.3 軸受

軸受には、ラディアル深ミジ形玉軸受を使用するので、ラディアル荷重のみならず、かなりのサラスト荷重にも耐え、立形取付け、傾斜形取付けを可能なものとしている。

通常、軸受には長期の連続運転に適した密封形軸受を用い、グリースの補給、排出を不要なものとしているが、普通形軸受の使用も考えて、大きなハウジング、グリース・カップル、排出口を設けるなど保守の便をはかっている。

スーパーライン D 直流機・小山・茶谷



図 4.2 スーパーライン D 直流電動機
Fig. 4.2 Super-Line D DC motor. 45 kW, 220 V, 850, 2000 rpm.

図 4.3 ブラシ保持器
Fig. 4.3 Brush holder assembly.



図 4.4 ブラシ保持装置
Fig. 4.4 Brush holder.

また、軸受には、プレロード、スプリングにより軸方向に予圧を与え、回転中の振動を低いレベルに保っている。

4.4 ブラシ保持装置

ブラシ保持装置は、直流機のもっとも重要な構造部分である。スーパーライン D 直流機では、過酷な負荷、衝撃、振動などに対して、安定な運転ができるすぐれた構造としている。

図 4.3 に示す ブラシ保持器は、金形鋳造により各部の寸法を高い精度に作り、ブラシパネは、つる巻形を使用した足圧力構造に設計されているから、ブラシと整流子との接触やシュウ動の良い機構となっている。またブラシレバーの変更だけで、シングル、ダブル、スプリット、トゥインなど各種形状のブラシを適用することができる。

ブラシ保持器支持棒は、四角な棒の一面をジャバラに加工し、図 4.4 に示すように、機械的に強固で、かつ絶縁性、耐熱性ともにすぐれたプレミックス樹脂にモールドして、ブラシ保持器の支持を安定確実なものとしている。

4.5 通風

スーパーライン D 直流機は、従来の系列に比して電機子径の小さい設計となっており、単位重量あたりの出力が増大しているから、多量の冷却風量が必要となり、自己通風ファンのサイズも比例的に大きくしなければならない。このことは逆に電機子の GD^2 を大きくし、制御特性を悪くする。

スーパーライン D 直流機では、ファンの設計にあたり、

(1) GD^2 をできるだけ低下させる。

(2) 多量の風量が得られる。

(3) 騒音をあるレベル以下におさえる。

などの点を注意し、軽合金鋳物で製作している。

通常整流子側から吸気し、反整流子側から排気するよう通風をおこない、電圧制御による低速運転時にも能率よく通風ができる。

4.5 界磁コイル

主極、補極コイルは、ともに絶縁物を介してコイルを直接鉄心に巻きつけ、鉄心とコイルを一体としたジカ巻コイル方式として

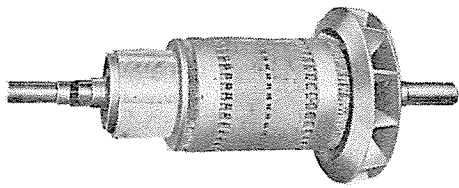


図 4.5 電機子
Fig. 4.5 Armature of 55 kW, 220 V
1,750/2,400 rpm DC motor.

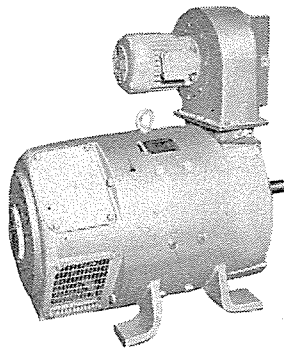


図 4.6 スーパーライン D 直流電動機
(他力通風形)
Fig. 4.6 Super-Line D DC
motor blower mounted.

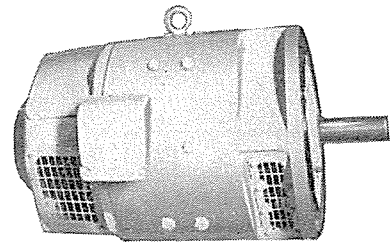
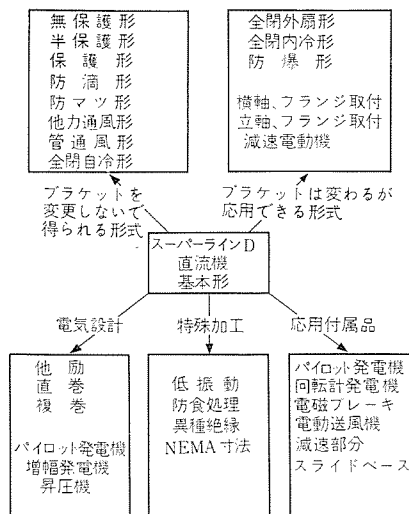


図 4.7 スーパーライン D 直流電動機
(フランジ取付け)
Fig. 4.7 Super-Line D DC motor
flange mount.

表 4.1 基本形と応用形



いる。このような巻線方式によると、コイルのワ組作業が簡単となり、他方ではコイル内で発生する熱を鉄心とコイル表面の両方から有効に放散するので、従来の界磁コイルと鉄心とを別個に製作するものに比して、熱特性および耐衝撃性が非常にすぐれたものとなっている。

4.7 電機子

前に述べたように電機子は、直径に比して鉄心長の長い低慣性の設計としているからすぐれた応答性を示す。また単位重量あたりの出力増大により、損失も増加するから、鉄心材料の吟味や有効な放熱を考えなければならない。このため、鉄心には鉄損の低い冷延ケイ素鋼板を用い、また、冷却効果を上げるため軸方向に通ずるトンネルを設けている。

電機子コイルは完全 B 種絶縁を施し、定格をこえる過電圧でも安全な運転のできる十分な絶縁耐力をもち、また、電機子バンドには、ポリエステル、ガラス、バンドを使用するなど、性能の向上をはかっている。

4.8 応用形

スーパーライン D 直流機は

製鉄、非鉄金属の各種プロセス・ライン、圧延補助設備

抄紙機、ワインダ、カレンダーなどの製紙機械

紡績、化学などの連続生産設備、その他工作機械、ファン、ポンプ

などの駆動用電動機として、また電源発電機としてきわめて広い用途をもつから、基本形構造は、種々の変形に応じうる設計となっている。

表 4.1 は、基本形とその応用形の関連を示すもので、つぎに分類される応用、変形を考え、系列の標準化が整備されている。

- (1) ブラケットを変更しないで、単にメクラ板、金アミ保護カバーなどの部品を適用することで得られる形式
- (2) ブラケットは特別の構造となし、さらに他の部品などを組合せて得られる形式
- (3) 電気的設計の一部を変更して得られる機種
- (4) 特殊な加工を必要とするが、製作可能なもの
- (5) 応用付属品を適用するもの

図 4.2 は、基本形の外観写真であり、図 4.6 は、応用形の一例として、電動送風機を装置した他力通風形を、また図 4.7 は、フランジ取付けの直流電動機である。

5. む す び

スーパーライン D 直流機は、当社のモットーである品質奉仕の精神をいかに発揮した新製品であり、すでに国内ばかりでなく輸出品として活躍しつつある。今後とも、需要家各位の、より一層のご愛用をお願いすると同時に、製品に対するご批判を切望する次第である。

参 考 文 献

- (1) NEMA Standard. MG-1.
- (2) IEC Publication No. 72-1. 'Recommendations for the Dimensions and Output Ratings of Electric Motors'.
- (3) 'New NEMA Standards for DC Motors and Generators' AIEE C-P No. 55-727.
- (4) 'D-C Motors' Westinghouse Engineer July (1957).

乗 用 車 用 油 圧 エ レ ベ ー タ

瀬 原 田 三 郎*

Hydraulic Elevators for Passenger Cars

Nagoya Works

Saburō SEHARADA

Increase in the number of motor cars in big cities has come to pose problems of parking places recently. It is now a trend acknowledged everywhere that underground garages are indispensable to new buildings. As facilities going with it, hydraulic elevators operating on oil pressure are most welcomed because of good utilization of spaces by eliminating machine rooms to be provided on the second floor. Under the circumstances, Mitsubishi has developed hydraulic elevators, delivering several units in the past. They operate on an entirely different drive systems from the conventional rope type elevators. Studies on the part of the company has brought successful results, on which this paper makes description.

1. ま え が き

最近、大都市における自動車は激増の一途をたどり、交通難、駐車難の問題はいよいよ深刻になろうとしている。このような状況から駐車場に対する世論も次第に高まり、新設のビルは地下にガレージを持つことが常識となってきた。

自動車を地下に誘導する方法として、傾斜通路(いわゆる Ramp 形式)も考えられるが床面積の占有が大きいため、専用エレベータを設置する傾向にある。とくに地下2,3階をガレージにするときはエレベータは重要な設備である。

しかし、地下専用となると、従来のロープ式ではカゴを上からつる関係上、機械室を2階に設ける必要がある。有効度の高い2階の一部を機械室に使用することは、ビルの総合計画のうえからほとんど許容されない。この問題を解決したのが押し上げ式の油圧エレベータである。

当社ではこのエレベータの需要に着目して研究を重ね、現在数台の納入実績をあげ、良好な性能を発揮しているのでここにその大要を紹介する。

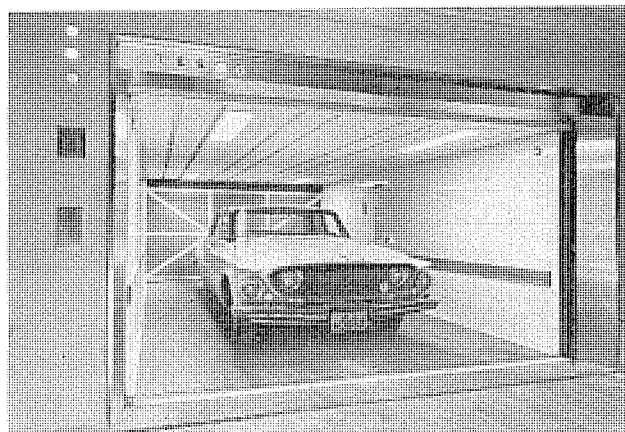


図 1.1 乗場およびカゴ室
Fig. 1.1 Landing and cage.

2. 構 造

2.1 構造の概要

前に述べたように、油圧エレベータは地下階と1階を結ぶエレベータとして、その特長を発揮する。したがって用途はガレージ用だ

けでなく一般荷物用としても有効に使用できるわけであるが、本文ではもっとも需要の多い自動車用の構造について説明する。

エレベータ全体の据付図を図2.1に示す。この図は1階からB₁、B₂階までサービスする3停止のエレベータを示すものである。

2.2 昇降路部分

油圧エレベータでは、その頂部が簡潔であるという特長を最大限に発揮させるため、つりあいオモリを使わないのが普通である。また、非常止め装置、調速機などは不要である。したがってカゴと昇降路のスキ間は、戸閉装置が取付く最小限でよく、ロープ式より昇降路面積は小さくて良い。

ピットには4個のパネ緩衝器が設けられており、カゴが万一最下階より降下したとき、衝撃を緩和する。また緩衝器を取付けているベースチャンネルにはシリンダも固定してあり、エレベータの全荷重をピットの基礎に伝達している。

自動車用エレベータのカゴはとくに奥行きが長いので、自動車の出入時に大きな偏心荷重を発生する。したがってガイドレールは大型の50kgレールを使用する。

乗場のドアは当社標準の上下開戸(C形)を採用している。上

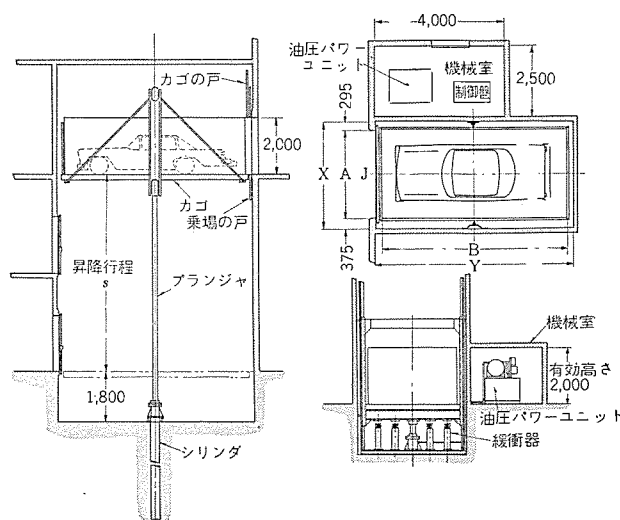


図 2.1 乗用車用油圧エレベータ据付図
Fig. 2.1 Installation drawing of hydraulic elevator for passenger car.

下戸はお互いに重量のバランスをとってあるため、駆動モータの出力は小さくてすみ、また開閉所要時間も短い特長がある。ドアの配置は図2.1に示すように、1階と他の階はカゴに対して反対側に設けるのを標準にしている。この配置であると自動車の運転が容易である。

2.3 カゴ関係

油圧エレベータではつりあい オモリ を使わないから、カゴ自重をできるだけ軽くする努力が必要である。新しい鋼材を積極的に採用し、外皮構造を大幅に取り入れた結果、従来のロープ式に比べてカゴ自重を約20%減少させることに成功した。カゴ室も壁は組立パネル式とし、天井はいわゆるキーストン構造を採用して剛性を確保しながら重量軽減をはかっている。カゴのドアは金網張りの上方向きである。

2.4 ブラッジャおよびシリンダ

ブラッジャとシリンダは油圧エレベータのもっともキーポイントになる部品のひとつである。構造的には、いわゆるラム・タイプで外周を研磨したブラッジャは、シリンダの口もとにあるメタルに案内されて上下する。ブラッジャは重量軽減のため、長尺パイプを使用し、両端を鏡板で閉鎖したのち、精密に外周を研磨仕上げする。ブラッジャの上端とカゴとの結合について述べると、巨視的にはカゴの偏心荷重はガイドレールによって保持されるが、微視的にはカゴ床の微小な変形またはガイドレールとガイドシューの間の微小な間隙が存在する。これらはとくにカゴが最下階にあるとき、ブラッジャとメタルの間に不当な側圧を発生して好ましくない。当社では、この問題を解決するため、ブラッジャとカゴの結合部に、特殊弾性継手を使用して好成績を収めている。ブラッジャの下端にはツパを設けてあり、万一カゴが最上階を過ぎて上昇しても、ツパがシリンダのメタルに接して停止するから安全である。ブラッジャのような細長い柱に、大きな圧縮荷重が作用すると、圧縮応力はザ屈を考慮して決定しなければならない。偏心荷重を受けない油圧エレベータ用ブラッジャの応力について American Standard Safety Code for Elevator では次のように規定している。

(1) ブラッジャの細長比が120より小さい場合。

$$W/A = 955 - 0.0341 (L/R)^2 \text{ kg/cm}^2$$

(2) ブラッジャの細長比が120より大きい場合。

$$W/A = 6,678,500 / (L/R)^2 \text{ kg/cm}^2$$

ただし、 W =ブラッジャによって支持される重量の許容値。これにはブラッジャ自重の $1/2$ を含む。(kg)

A =ブラッジャの正味断面積 (cm^2)

L =ブラッジャの最大自由長 (cm)

R =ブラッジャ断面の回転半径 (cm)

シリンダの口もとには、メタルの上方にV形パッキンを備えてシリンダ内の圧油の漏れを防止している。シリンダはピットからさらに、ほぼ昇降行程と同じ長さだけ地下に埋め込まれている。シリンダの外周は完全なサビ止め処置が施されているが、万一を考慮し容易に抜き出せる構造をとっている。

2.5 パワー・ユニット

油タンクの上にあるポンプ、モータ、油圧弁類および計器を一体に組立てたパワーユニットは、圧力と流量を適切にコントロールして油をシリンダ内に送る。コンパクトにまとめられているから、機械室面積

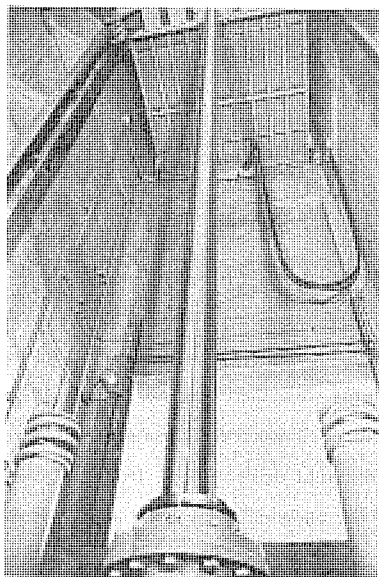


図 2.2 昇降路内部
Fig. 2.2 Interior of hoistway.

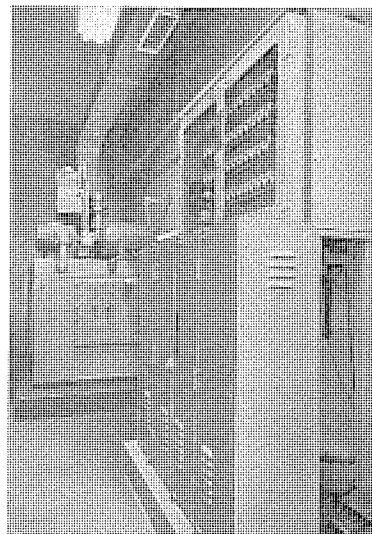


図 2.3 機械室
Fig. 2.3 Machine room.

が小さくてすむことも一つの特長である。シリンダとパワーユニットの間は、1本の配管で結ぶだけで良い。したがって機械室の位置は自由に選択できる。

3. 動作

3.1 油圧回路

油圧回路のブロックダイアグラムを図3.1に示す。エレベータの操作はロープ式と同じように、カゴ内および乗場の押しボタンによって行なわれる。上昇の指令が出されると、方向切換弁のポジションが切換えられ、ポンプから出た油は流量制御装置、パイロットチェックバルブを通してシリンダ内に送り込まれる。このとき、流量制御装置が働いて、エレベータの速度を0から定格速度まで所定の加速度にしたがって円滑に制御する。油圧装置は一般にレスポンスが速いので、加速、減速時にショックを発生しやすいものであるが、この問題は流量制御装置によって完全に解決され、高級エレベータのそれに近い加速特性を得ることができた。エレベータが所定の階に近づくと、流量制御装置が働いて約 $1/4$ 速度まで円滑に減速する。さらに目的階に近づくと再び減速して停止に至る。いったん、低速の区間

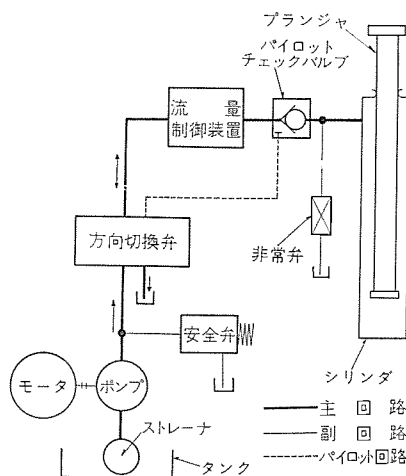


図 3.1 油圧回路図
Fig. 3.1 Oil pressure circuit diagrams.

を設けたのは、ロープ式の AC-2 方式と同じように着床誤差を小さくするためである。

エレベータが降下するときは、方向切換弁が切換えられてポンプからの圧油は、パイロットチェックバルブのスプールを押し上げ流通自由とする。したがってシリンダ内の圧力を持った油はパイロットチェックバルブ、流量制御装置、方向切換弁を通してタンクに返流する。このときも上昇時と同様、流量制御装置が働きエレベータの動作を円滑にする。

エレベータの停止中は、パイロットチェックバルブによってシリンダ内の油の返流は阻止されているから安全である。非常弁は、停電などのためにカゴが階の中間に止まったとき、カゴを手動で下げるためのものである。

3.2 制御装置

(1) ポンプ自動休止装置

カゴが停止しているときも油圧ポンプを回転させておくことは不経済でもあり、油の温度を上昇させる。また一回ごとにポンプを起動・停止させることは、ポンプやモータのために好ましくない。この問題を解決するため、一つの動作完了後、3分以内に再び呼びがなければポンプを自動的に休止させる回路を採用している。

(2) 自動床合わせ装置

シリンダ内の油の温度降下による収縮、あるいは万一の場合の油漏れによってカゴが停止中に緩慢な降下を起こしても、30mm降下すると自動的にポンプが起動して床合せ動作をする装置を持っている。

4. 試験結果

5項に示す積載量 2,500 kg の標準エレベータについて試験した結果を次に示す。代表的に、全負荷上昇時の特性曲線を図 4.1 に示す。また負荷と運転方向を変えたときの速度、加速度の測定値を表 4.1 に示す。これらの結果から明らかなように、流量制御装置のはたらきにより、加速度は約 0.07 g 以下に減少させることに成功した。

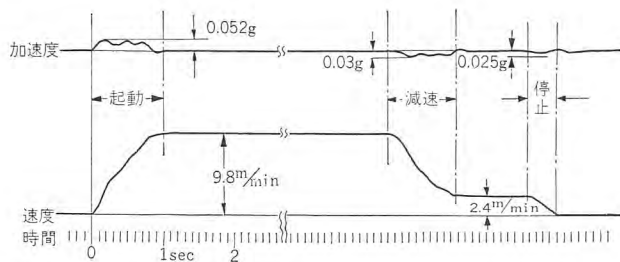


図 4.1 全負荷上昇時の特性曲線
Fig. 4.1 Characteristic curve at full load up.

表 4.1 試験成績

	速度 (m/min)		加速度 (g)		
	高速	低速	起動	減速	停止
無負荷上昇	9.9	2.5	0.057	0.044	0.047
" 下降	10.2	2.5	0.060	0.057	0.047
全負荷上昇	9.8	2.4	0.052	0.030	0.025
" 下降	11.1	2.6	0.072	0.022	0.057

5. 標準仕様

当社では今後増大する需要に応ずるため、各種乗用車のサイズ・運転性能を検討して表 5.1 に示す 3 種の標準仕様を決定した。なお、各形式の選定基準は次のとおりである。

- 積載荷重 2,500 kg……主として中・小形車用
- " 3,000 kg……大形車用
- " 3,400 kg……大形車用で、道路の都合上カーブしながらエレベータに出入りできるようカゴ幅をとくに広くした形式。

最新のプラント加工設備により、最大昇降行程は 12 m まで可能となった。したがって 5 箇所停止、すなわち地下 4 階までサービスできる。油圧式は昇降速度を上げるとそれに正比例してパワーユニットや電動機が大容量となるので、経済的な 10 m/min とした。

表 5.1 標準仕様表

記号	形名	K250T10H	K300T10H	K340T10H
積載荷重 (kg)		2,500	3,000	3,400
運転方式		可変速度		
制御方式		単式自動方式または単式自動予約方式		
速度		10 m/min		
カゴ床外法間口	(a)	3,050	3,250	3,650
" " 奥行	(b)	5,850	6,600	6,600
カゴ室内法間口	A	2,900	3,100	3,500
" " 奥行	B	5,700	6,450	6,450
出入口有効幅	J	2,900	3,100	3,500
昇降路間口	X	3,570	3,770	4,170
" 奥行	Y	6,150	6,900	6,900
最大昇降行程	S	12 m		
使用する電動機		22 kW		

注：とくに記入のない数字の単位は mm。

6. むすび

以上、乗用車用油圧エレベータについて説明した。このエレベータの特長をまとめると次のとおりである。

- (1) 昇降路の頂部に機械室を必要としない押し上げ式であるから上階は有効に利用できる。
- (2) つりあいメモリ、調速機などが不要であるから昇降路面積はロープ式に比べて小さくてよい。
- (3) パワーユニットは非常にコンパクトにまとめているから、小さな機械室に収容できる。また、機械室とシリンダの間は 1 本の油圧配管で結ぶだけであるから、その位置は自由に選択できる。
- (4) 流量制御装置を持っているので、カゴの起動・停止が円滑である。
- (5) 最新の設備により、昇降行程は 12 m まで可能になった。
- (6) 自動床合わせ装置、ポンプ自動休止装置などのすぐれた制御装置を持っている。

なお、油圧エレベータは乗用車用に限らず、一般荷物用としても、頂部機械室をきらうビルには有効に使用できる。また、非常止めが不要なため、レールはエレベータレールに拘泥する必要がない。したがって昇降行程が 12 m 以下ならば、積載量 10 トン以上の大形トラック用としての需要も期待される。

運 転 指 令 装 置

室 田 慎*

Power Plant Communication Systems

Electronics Works Shin MUROTA

The Mitsubishi Power Plant Communication System is of a two channel, voice communication type for power plant operation, having the following features.

A page channel for calling individuals and departments and for issuing plant-wide instructions and warning over loudspeakers is designed to extremely high noise levels. A normal channel for two-way and group communication over special telephone-type handset receiver-microphones is designed for close-talking and high discrimination against background noise. The same handset stations are used for both the channels with choice of circuit controlled by selector switch at each station.

Each channel is of common talking permitting group conversations on a moment notice. The very feature allows any station taking priority over either channel, when required.

1. ま え が き

わが国に初めて運転指令装置⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾が登場したのは、昭和29年ごろ以降に建設された関西電力多奈川、九州電力刈田、東京電力千葉その他アメリカの Gilbert 社、Ebasco 社などの consultant engineer の関係した火力発電所に“power plant communication systems”として設備されたときからである。それ以来、新たに建設される火力発電所にはこの運転指令装置は不可欠のものとして重要視されるようになった。

最近の新鋭火力発電所は主機の性能が向上し、補機もきわめて合理化され、全体の運転が自動化されているため、各機器設置場所にはほとんど運転員は配置されず、主として中央制御室で集中監視制御され、これに少数の運転保守員の巡回によって運転が行なわれている。したがって中央制御室より各巡回員に対する指令、巡回員からの異状報告、あるいは巡回員相互の連絡を迅速、確実

に行なうことが発電所の運転上きわめて重要となってくる。

高い騒音の中で、定位置がなく絶えず移動している巡回員に指令を伝達し、さらに相互通話を行なうのにもっとも適した通信方式がこの運転指令装置である。この装置はページング装置とも呼ばれているが“paging”とは給仕が広間で大声で客の名を呼び出すことである。すなわちこの装置は所内任意の場所からスピーカ(page channel)回線によって求める相手を呼出し、電話回線(normal channel)によって同時送受話あるいは集団通話を行なうものである。

当社は昭和30年4月関西電力姫路火力発電所1号機以来、数多く製作納入してきた。その間、需要者各位のご指導により絶えず改良に努め、いくつかの標準方式を確立することができた。ここにこの装置の概要を報告し、ご計画の参考にしていただきたい。

表 1.1 は昭和37年8月現在の納入実績表である。

表 1.1 運転指令装置の納入一覧表

番号	会 社 名	発電所(工場)名	発電機との関連	方 式 概 要	拡声回線増幅器出力 (W)			ハンドセットステーション		スピーカ		納 入 年 月
					BTG系	共用(運炭)系	予 備	壁掛形	卓上形	ホーン	コーン	
1	関西電力株式会社	姫路第一発電所	1号機, 2号機	標準方式 完全予備, 自動切換え, 合併独立	200×2		200×2	48	4	54	5	1号機 30-4 2号機 32-6
2	関西電力株式会社	大阪発電所	共用系, 1~4号機	標準方式(ハンドセット内トランジスタ増幅器内蔵) 架予備, 自動切換え, 合併独立	200×8	200×1	200×2	118	9	229	13	1号機 33-9 2号機 34-5 3号機 34-8 4号機 34-10
3	住友共同電力株式会社	新居浜西発電所	運炭系, 1号機, 2号機	標準方式 完全予備, 自動切換え, 合併独立	200×4	100×2	200×4 100×2	43	5	51	10	運炭系 34-7 1号機 34-7 2号機 34-12
4	徳山背達株式会社	中央発電所		標準方式 自動監視	100×2			11	8	7	11	33-10
5	徳山背達株式会社	電解工場		標準方式 耐塩素対策	100×1				6	5	3	35-8
6	八幡製鉄株式会社	戸畑第一発電所	1~3号機	標準方式 自動監視	200×3			46	5	39	12	1~2号機 34-8 3号機 36-2
7	富士製鉄株式会社	室蘭中央発電所	1~5号機	標準方式 完全予備, 自動切換え	200×2		200×2	26	10	31	10	35-12
8	八幡製鉄株式会社	新開発電所	1~3号機	標準方式 自動監視	200×3			42	16	66		1号機 36-10 2号機 製作中
9	電源開発株式会社	若松発電所	運炭系, 1号機, 2号機	電話回線, 環状2線式, 任意予備指定 自動切換え, 合併独立(ベースリミッター付)	200×4	200×1	200×1	71	7	130	11	1号機 37-8 2号機 製作中
10	インド(仕稼監督クルジャン)	デリー発電所	1号機	標準方式 架予備, 自動切換え	250×2		250×1	33	4	31	2	船積 37-9
11	八幡製鉄株式会社	戸畑第二発電所	1号機	標準方式 自動監視	200×3 (1~3号機分)			29	6	30	7	1号機 37-8
12	関西電力株式会社	尼崎第三発電所	1号機, 2号機	標準方式 架予備, 自動切換え, 合併独立	200×4		200×2	61	6	137	12	37-8
13	関西電力株式会社	多奈川発電所	3号機	電話回線 2ch 方式, 架予備, 任意予備指定, 自動切換え, 合併独立	200×2		200×1	34	2	75	2	37-8
14	東京電力株式会社	五井発電所	1号機, 2号機	標準方式, 架予備, 任意予備指定 自動切換え, 合併独立	250×4		250×2	92	2	105	6	37-10 予定
15	和歌山共同火力株式会社	和歌山発電所	共用系, 1号機	電話回線環状2線式 架予備, 自動切換え, 合併独立	250×1	250×1	250×1	32	5	53	6	37-12 予定
16	関西電力株式会社	姫路第二発電所	共用系, 1号機	電話回線 2ch 方式 架予備, 自動切換え, 合併独立	250×2	250×2	250×2	40	6	62	8	37-12 予定
17	堺共同火力株式会社	堺発電所	共用系, 1号機 2号機	電話回線環状2線式 架予備, 自動切換え, 合併独立	250×2	250×1	250×1	60	12	90	16	38-3 予定

表 2.1 騒音, 信号音 レベル 測定値その 1 (1 階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900 c/s 音 推定レベル	
1	#3 SWITCHGEAR 室	66	(76)	80	83	82	6
2	#3 CONDENSER RV	89	92	(95)			
3	#3 CONDENSER 横	88	93	(94)	99	97	3
4	#3 CONDENSER 横	90	95	(97)	98	91	-6
5	#3 DUST EXHAU- STER PUMP	94	95	(98)	99	92	-6
6	#3B BO. FEED WATER PUMP	89	93	(95)	100	98	3
7	#2 STEAM COM- VERTOR	89	94	(96)	99	96	0
8	#3B MILL #3C MILL	86	91	(94)	95	88	-6
9	#3 ELEVATOR 入口	86	90	(94)	96	92	-2
10	#3A ASH HOPPER GATE	84	88	(92)	96	94	2
11	#3 BOILER PIT 横	86	92	(95)	97	93	-2
12	#3 FORCED DRAFT FAN	99	105	(107)	108	101	-6
13	#3 MAIN OIL PUMP	92	94	(97)	98	91	-6
14	#4 SWITCH GEAR 室	68	(77)	82	82	80	3
15	#4 CONDENSER RV	89	92	(93)	99	98	5
16	#4 CONDENSER 横	87	94	(97)	100	97	0
17	#4 CONDENSER 横	91	94	(96)	96		
18	#4 DUST EXHAU- STER PUMP	93	94	(96)	97	90	-6
19	#4B BO FEED WATER PUMP	93	95	(96)	100	98	2
20	#4C BO FEED WATER PUMP 横	88	92	(95)	99	97	2
21	#4B MILL #4C MILL	89	92	(95)	105	105	10
22	#4 ELEVATOR 入口	86	92	(95)	96	89	-6
23	#4 ASH HOPPER GATE	86	89	(94)	96	92	-2
24	#4 BOILER PIT 横	86	93	(96)	98	94	-2
25	#4 FORCED DRAFT FAN	100	104	(106)	109	106	0
26	#4 MAIN OIL PUMP	85	91	(95)	97	93	-2
27	#2 VACUUM CLEANING EQUIP	86	91	(95)	97	93	-2
28	#3 HP HEATER DRIP PUMP	90	93	(95)	99	97	2
29	#4A BO FEED WATER PUMP	90	93	(95)	97	93	-2
	SWITCH GEAR 室を除い た平均値			96		95	-1

表 2.2 騒音, 信号音 レベル 測定値その 2 (2 階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900 c/s 音 推定レベル	
1	#3 GRAND STEAM CONT						
2	#3 NEUTRAL COMPARTMENT	93	99	(102)	103	96	-6
3	#3B TURBINE AUX CONT	88	92	(94)	94	—	
4	#3B MILL 左	87	91	(95)	98	95	0
5	#3D MILL 左	88	92	(94)	96	92	-2
6	#3 BOILER 横 FLOOR	85	88	(93)	94	87	-6
7	#3 BOILER 前						
8	#3 ELEVATOR 前	86	89	(92)	94	90	-2
9	#3 BOILER 横	86	91	(94)	95	88	-6
10	#3 FD FANDISCH- ARGE DUCT	94	98	(101)			
11	#3 STATION BATTERY 中央	72	(79)	83			
12	#4 RELAY 室中央	84	87	(88)			
13	#3 460V SW GEAR BUS	75	(81)	85	89	88	7
14	#4 GRAND STEAM CONT 前						
15	#4 BOILER 横 FLOOR	86	89	(93)	96	93	0
16	#4 NEUTRAL COMPART 右	90	94	(95)	99	97	2
17	#4B TURBINE AUX CONT 右	88	93	(95)	98	95	0
18	#4B MILL 左	89	93	(95)	98	95	0
19	#4D MILL 左	90	93	(96)	98	94	-2
20	#4 BOILER 前						
21	#4 ELEVATOR 前	86	92	(94)	97	94	0
22	#4 BOILER 横	83	88	(94)	99	97	3
23	#4 FD FAN DIS- CHARGE DUCT	96	100	(103)			
24	#4 STATION BATTERY 中央	73	(80)	83			
25	#5 460V SW GEAR BUS 前	74	(82)	85	85	84	2
26	#4-5A HP HEATER 横 (右)	86	90	(94)	105	105	11
27	#3-5A HP HEATER 横 (右)	87	89	(91)	95	93	2
平均	11, 12, 13, 24, 25 を除い た平均			95.3		94	-1.3

2. 騒音と明りょう度

運転指令装置はスピーカ回線と電話回線とから構成されているがここではスピーカ回線にいてとくに考慮すべき騒音と明りょう度の関係について述べる。

映画館、ホールなどの放送設備と異なり、火力発電所は騒音が充満しており、しかも建家容積が大きく、吸音特性が悪いため残響時間が長く音響的には最悪の条件にある。この条件でスピーカによる指令、呼出しを的確にするためには特別の考慮が必要である。

近代工業における騒音量、各種機械の発する騒音レベルさらに関西電力姫路第一発電所における騒音分布については文献⁽⁵⁾に詳しく述べられているが、その後関西電力のご協力を得て測定した大阪火力発電所の騒音分布を報告する。

表 2.1~2.11 は昭和 35 年 4 月 24 日測定した各階の騒音レベルおよび 900 c/s 信号音のレベルである。騒音レベルは JIS Z 8731-1957 騒音レベル測定方法により騒音計聴感補正回路 (図 2.1) の

表 2.3 騒音, 信号音 レベル 測定値その 3 (3 階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900 c/s 音 推定レベル	
1	#3 TURBINE OPEN HATCH 側	85	89	(93)	97	95	2
2	#3 GEN EXC OPEN HATCH 側	85	88	(90)	93	90	0
3	#2 SP EXC MOTOR	84	90	(94)	95	88	-6
4	#3 TURBINE HEAD	86	88	(93)	96	93	0
5	#3 TURBINE BO 側	84	88	(90)	97	96	6
6	#3 GEN EXC BO 側	85	89	(91)	95	93	2
7	#3 A.B. COAL FEEDER DISCH.	81	87	(91)	93	89	-2
8	#3 C.D. COAL FEEDER DISCH	80	85	(89)	97	97	8
9	#3 E.F. COAL FEEDER DISCH	80	85	87	97	97	10
10	#3 BOILER TG 側	80	85	89	97	97	8
11	#3 ELEVATOR 入口	80	(83)	86	89	88	5
12	#3 BOILER #2 BO 側	79	(84)	87	97	97	13
13	#3 BOILER #4 BO 側	79	86	(90)	95	93	3
14	#3 BOILER AIR HEATER 側	78	(84)	88	92	92	8
15	#3A AIR HEATER	79	(84)	87	95	95	11
16	#3B AIR HEATER	78	83	87	90	89	6
17	#3, 44 CENTRAL CONT ROOM						
18	TOILET 入口	76	82	85	94	94	12
19	#3, #4 T.G. BO の中 央	83	88	91	96	94	3
20	#4 A.B HP HEATER 横	83	86	90	95	93	3
21	#4 TURBINE OPEN HATCH 側	85	88	92	95	92	0
22	#4 TURBINE HEAD	85	89	90	100	100	10
23	#4 TURBINE BO 側	85	89	93	98	96	3
24	#4 GEN. EXC OPEN HATCH 側	85	90	93	96	93	0
25	#4 GEN. EXC BO 側	85	90	93	96	93	0
26	#4 EXC 横	83	87	89	95	94	5
27	#4 A.B HP HEATER	84	87	89	95	94	5
28	#4 A.B COALFEED- ER DISCHARGE	82	85	89	99	99	10
29	#4 C.D COAL FEED ER DISCHARGE	82	86	88	96	96	8
30	#4 E.F COALFEED- ER DISCHARGE	81	85	87	91	89	2
31	#4 BOILER TG 側	81	85	89	98	98	9
32	#4 ELEVATOR 入口	82	84	85	93	93	9
33	#4 BOILER ELEVATOR 側	83	85	88	95	94	6
34	#4 BOILER #3 BO 側	79	83	86	97	97	14
35	#4 BOILER AIR HEATER 側	80	84	87	95	95	11
36	#4A AIR HEATER	78	82	86	96	96	14
37	#4B AIR HEATER	82	84	87	89	87	3
	平均値*			88.2		93.8	+5.6

*17 を除いた平均

表 2.4 騒音, 信号音レベル測定値 その4 (4階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		84	86	(89)	94	95	3
2		84	86	(89)	104	104	15
3		82	85	(87)	95	95	8
4		82	85	(88)	107	107	19
5		78	(82)	85	90	90	8
	平 均			87		97.6	+10.6

表 2.5 騒音, 信号音レベル測定値 その5 (5階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		82	86	(88)	95	94	6
2		83	86	(89)	95	94	5
3		84	87	(90)	96	95	5
	平 均			89		94.3	5.3

表 2.6 騒音, 信号音レベル測定値 その6 (6階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		84	85	(87)			
2		87	87	(87)			
3		80	(82)	85			
4		80	(82)	83			
5		75	(77)	83			
	平 均			83			

表 2.7 騒音, 信号音レベル測定値 その7 (7階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		88	88	(88)	89	82	-6
2		78	(82)	84	92	92	10
				85		87	1

表 2.8 騒音, 信号音レベル測定値 その8 (8階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		90	89	(89)	92	89	0
2		80	(82)	83	87	85	2
				85.5		87	1

表 2.9 騒音, 信号音レベル測定値 その9 (9階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		80	(82)	84	93	93	11
2		94	92	(92)	—	—	—
				87			

表 2.10 騒音, 信号音レベル測定値 その10 (10階)

測定 番号	測定 場 所	騒 音 (ホン)			900 c/s 音 (ホン)		推定 S/N (dB)
		A	B	C	(騒音) + (900 c/s) 推定レベル	900c/s 音 推定レベル	
1		95	94	(94)	94	—	—
2		80	(82)	83	92	92	10
				88			

表 2.11 屋外回り騒音レベル測定値

測 定 号	測 定 場 所	騒 音 (ホン)		備 考
		B	C	
1	閉閉所本館側	75	82	
2	閉閉所内OCB横	72	78	
3	屋外変電所分路リアクトル	80	84	
4	スクリーン制御室内	72	73	
5	スクリーン制御室隣室内	73	76	
6	ボンベ室	64	68	
7	H16C近傍(クレーン)	78	80	
8	#4 集ジン器下	80	84	
9	#4 水切サイロ	75	83	
10	#1 集ジン器下		92	
11	#1 原水ポンプ室(H107有)		102	
12	#1 コットレル電気室	72	76	

A, B および C 特性について測定を行ない, レベルによる補正値を () で示した. 900 c/s 信号音のレベルは騒音との合成レベルを C 特性で測定し, JIS Z 8731-1957 の表 1 暗騒音の補正表によって推定した. 推定 S/N はこの 900 c/s 信号音の推定レベルと () 内騒音レベルとの比である. なお, 3 号機は重油混焼, 4 号機は石炭専焼, 900 c/s 信号音の増幅器出力は 100 W で, 3, 4 号合併運転状態で行なったものである. ただしこの測定値は後述するスピーカ追加工事を行なう前の測定結果である.

表 2.12 は昭和 35 年 6 月 16 日に測定した主要機器の騒音レベルである. JIS 規格にしたがい機器の表面から 100 cm の多数点で測定し, その平均値および最高値を示した.

図 2.2 (a)~(h) は主要機器の表面から 100 cm の位置で騒音のもっとも高い点にマイクを設置して録音し, 自動記録式周波数分析器で分析した騒音周波数特性である.

本館 1 階の平均騒音レベルは 96 ホンであるが, そのおもな騒音源は Boiler feed water pump, Dust exhauster pump, Low pressure heater drain pump, Main oil pump, House air compressor などで, いずれも 100 ホン以上の騒音を発生している. おもな騒音源の周波数分布の主要勢力は 300~400 c/s 以下の帯域に分布しているが, かなり高い周波数の成分も含んでおり, これがスピーカ音の明りょう度を阻害する一因となっていると考えられる. たとえば, Dust exhauster pump の騒音には 2.5kc 付近に, Mill には 1.5~2.0 kc の帯域に, また Main oil pump は 1.7 kc の近傍にい

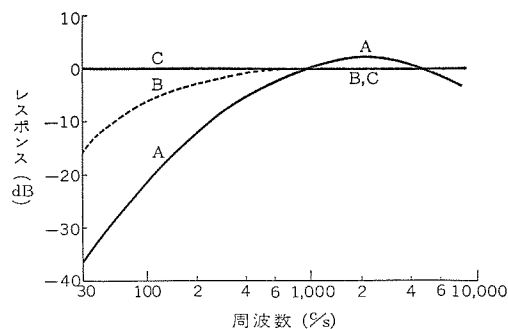


図 2.1 A, B および C 3 特性の基準形
Fig. 2.1 Standard forms of characteristics A, B and C.

表 2.12 主要機器騒音レベル

階	機 器 名	騒 音 (ホン)	
		平均値	最高値
1 階	MILL	96	97
	BOILER	95	—
	BOILER FEED WATER PUMP	98.5	104
	DUST EXHAUSTER PUMP	99	103
	HOUSE SERVICE WATER PUMP	97	—
	SEA WATER HEAT EXCHANGER	95	—
	LP HEATER DRAIN PUMP	101	103
	OIL COOLER	97	98
	CONDENSATE PUMP	97	—
	CONDENSER	97	99
	MAIN OIL PUMP	101	—
	CONDENSATE COOLER	95	—
	FUEL OIL HEATER	97	—
	HOUSE AIR COMP	99	101
2 階	INSTRUMENT AIR COMP	98	—
	GAS RECIRCULATING FAN	96	—
	MILL	94	95
	CENTRIFUGAL COMPRESSOR	93.5	96
3 階	AIR EJECTOR	92	93
	LP HEATER	—	—
	HP HEATER	87	—
	TURBIN GENERATOR	94	98
屋外	BOILER	88	90
	MAIN TR	100	102
	EMERG STA SER TR	94	—
	NOR STA SER TR	84	—

(注) 騒音計聴感補正回路は C 特性で測定

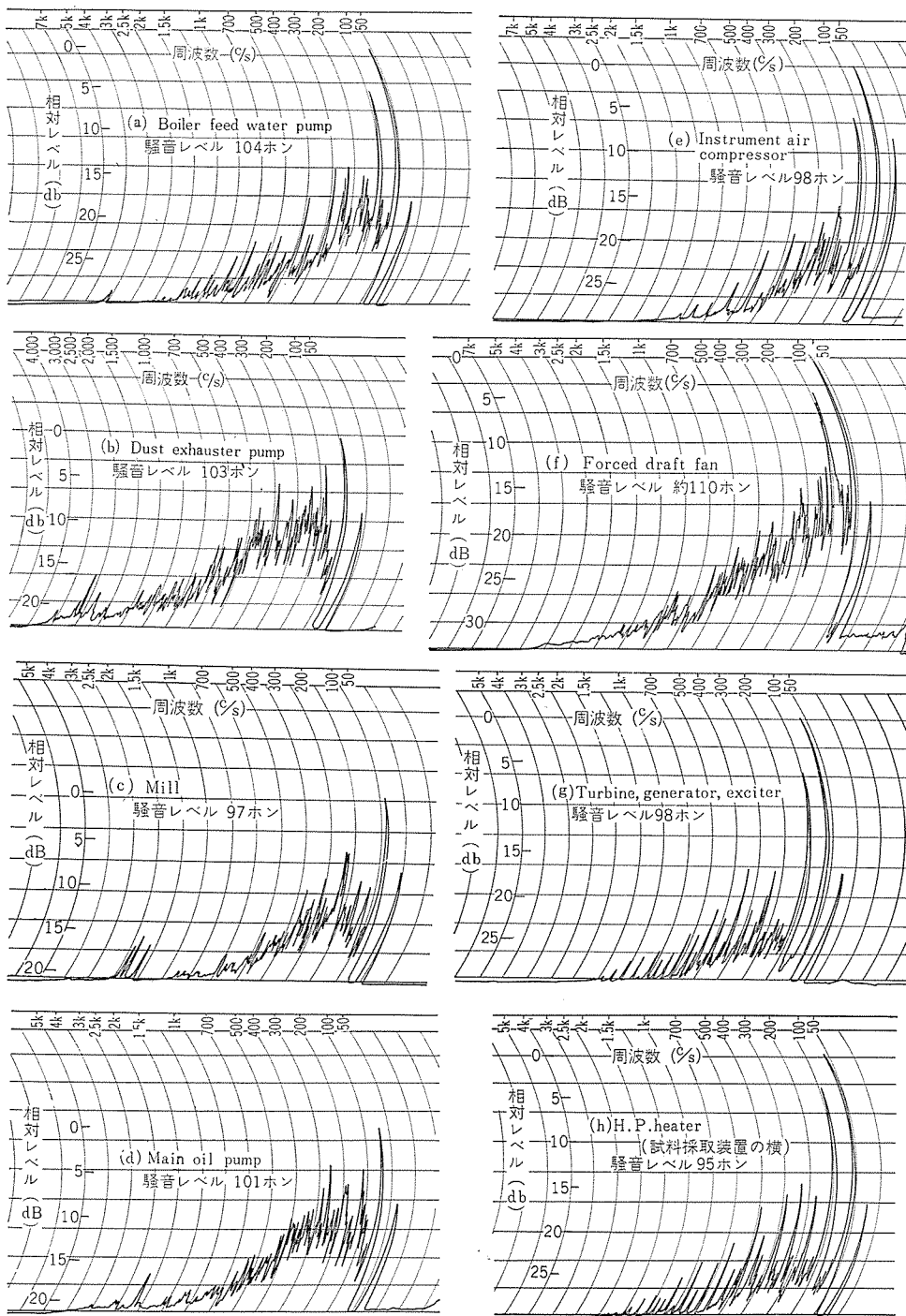


図 2.2 騒音周波数

Fig. 2.2 Noise frequencies.

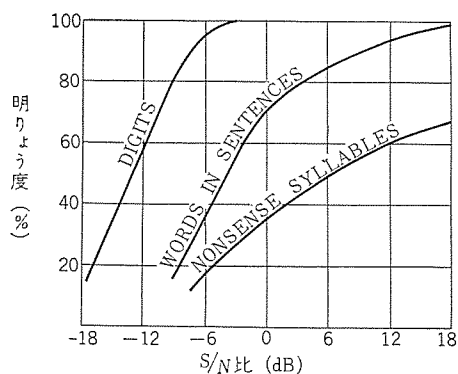


図 2.3 S/N 比と明りょう度との関係
Fig. 2.3 Relation between intelligibility scores and signal-to-noise ratio.

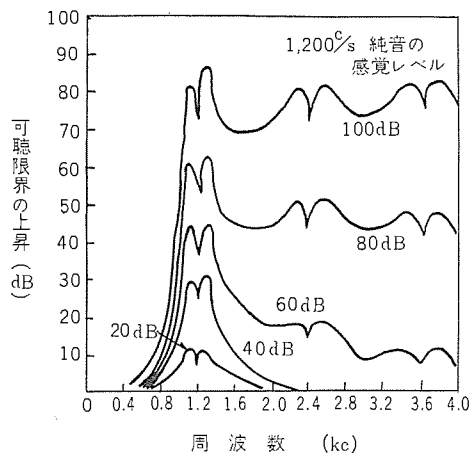


図 2.4 1,200 c/s 純音のマスクング
Fig. 2.4 Masking of pure sound 1,200 c/s

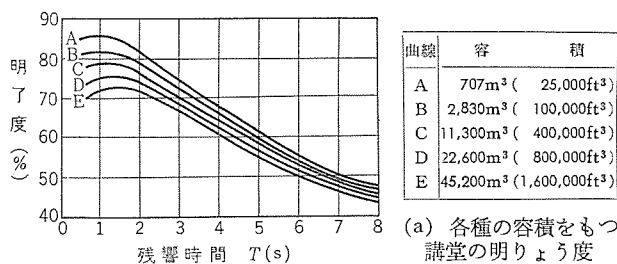
ずれも最高レベル値より約 15 dB 低い顕著な周波数成分がある。また、Turbine-generator, Forced draft fan などの騒音は 60 c/s および 120 c/s 成分が支配的であるのに対し、Pump 類, Mill の騒音は 60 c/s より 500~600 c/s にわたってより平均した分布を示している。

さて、騒音と明りょう度との関係は実験的に図 2.3⁽⁶⁾で示される。これによると意味のある言語を 80% 以上了解するためには S/N を +3dB 以上にとることが必要である。また S/N が 0dB 以上あれば理解度は 70% が期待できる。

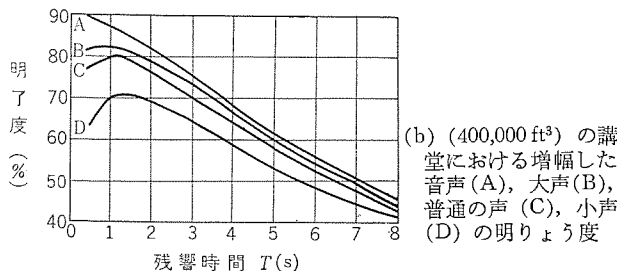
つぎにマスクングについて考えてみる。これはポンプなどの騒音中に含まれる比較的高い周波数成分の影響を知るのに必要である。マスクングの程度はマスクされる音の可聴限界の上昇で表わされる。純音についてのマスクングの実測の例は図 2.4⁽⁶⁾である。多くの実測結果から、低い音は高い音をマスクしやすいが、高い音は低い音をマスクしにくい。また、マスクする音が弱いときはそれに近い周波数の音だけがマスクされるが、強いときはそれより高い音もマスクすることがわかっていく。

適度の残響は話を補強して聞きやすくする効果がある。しかし残響が多過ぎると明りょう度が低下する。残響時間と明りょう度との関係については図 2.5⁽¹⁰⁾のような結果が得られている。残響時間 T は Sabine の残響式によると $T=KV/\alpha$ で表わされる。ここに、 V は室容積、 α は吸音力、 K は測定したときの室内の温度、長さの単位による定数で常温においてはメートル単位で $K=0.164$ である。発電所は建家の容積がきわめて大きい上に、吸音係数が小さいため、残響時間は非常に長く数秒以上と考えられる。屋内開閉所は騒音レベルは 70 ホン程度であるがこの残響時間により明りょう度が阻害されている。

周波数帯域幅と明りょう度との関係は図 2.6⁽⁶⁾ 示されている。LP



(a) 各種の容積をもつ講堂の明りょう度



(b) (400,000 ft³) の講堂における増幅した音声(A), 大声(B), 普通の声(C), 小声(D)の明りょう度

図 2.5 明りょう度と残響時間
Fig. 2.5 Relationship between intelligibility scores and reverberation.

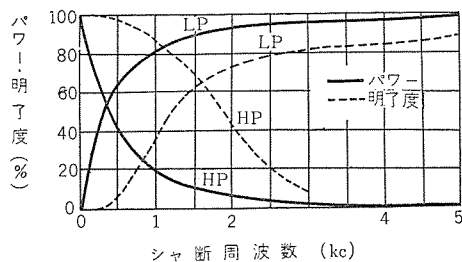


図 2.6 〇ハ器による音声のパワーと明りょう度の低下
Fig. 2.6 Decrease of power and intelligibility of voice depend filter.

と付記された実線は横軸の周波数をシャ断周波数とする低域 〇ハ器を通した場合に残留する勢力の割合であり、実線 HP は高域 〇ハ器を通した場合で、横軸の周波数より上の帯域に含まれる勢力の割合である。LP と HP の実線は 300 c/s 付近で交差しているが、これは 300 c/s より下に分布している勢力と上に分布している勢力が等しいことを示している。破線は低域または高域 〇ハ器を通して明りょう度試験を行なった結果で、横軸のシャ断周波数より下または上の周波数成分を受けたときの明りょう度を示す。これはアメリカ人についての測定であって広帯域のマイクと受話器を使用しているので音声自体の明りょう度に対する性能を知ることができる。すなわち、高域 〇ハ器で低周波を切り捨てても明りょう度の低下は少なく、たとえば 1000 c/s 以下を切り捨てても明りょう度は 85% であって通話にはまったく支障はない。高域 〇ハ器で高音を切り捨てると明りょう度の低下は割合に大きく、LP と HP の曲線は 1,600 c/s あたりで交差していることはそれより上と下の周波数成分の明りょう度への貢献がちょうど等しいことを示している。

以上の明りょう度を与える諸要素を勘案して種々実験の結果、運転指令装置のスピーカ回線設計上つぎの諸点に注意すべきであると考えらる。

- (1) 明りょう度を改善する根本的な対策としては、防音、吸音対策を実施して騒音レベルを 85 ホン程度まで下げ、かつ残響時間を短縮することが必要である。
- (2) 95 ホン程度以上の騒音中においては、全域にわたって平等に明りょう度を期待することをせず、運転保守員の巡回経路を想定して、所要地点を重点的にサービスする方針がより効果的である。

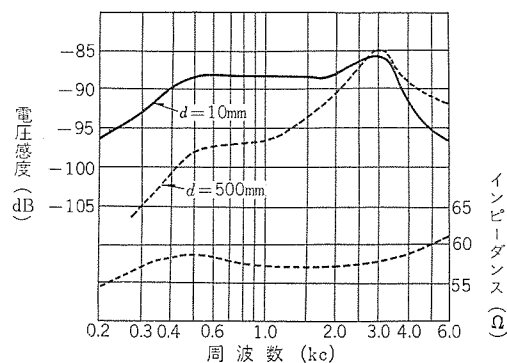


図 2.7 騒音不感形送話器周波数特性
Fig. 2.7 Frequency characteristics of noise insensible type microphone.

- (3) 所要地点の音響レベルがスピーカの直接点を S とし、その地点の騒音および反響音ならびに他のスピーカからの有害な干渉音の和を N とした場合 S/N が $0 \sim +3\text{dB}$ となるようにスピーカの位置、方向および入力決定する。

1 個のスピーカで大きな出力を出すことは、反響音も大きくなりかえって有害である。全音響出力はそのまま、スピーカの数多くし、その直接音による有効なサービス範囲を広くすることが望ましい。

- (4) スピーカに $p(W)$ の電力を入れた場合、正面軸上 $l(m)$ の点における音圧 S (dB) はスピーカの音圧感度を S_0 (dB) としたとき、つぎの式で与えられる。

$$S = S_0 + 10 \log_{10} (p/l^2)$$

JIS C 5504-1958 によると S_0 は 104dB 以上となっている。

- (5) 騒音不感形マイクロホン(図 2.7) によって騒音中の主要成分である低周波成分を抑圧するとともに、さらに増幅器に高域 〇ハ器を設けて増幅器出力の S/N を改善し、かつ音声周波数の低周波成分による増幅器の飽和を避け、増幅器の直線性を有効に利用する。すなわちスピーカ音の自然度は犠牲にして周波数の方からも明りょう度を改善する必要がある。

大阪火力発電所は 1 号機から 4 号機まで逐次増設されていったが、建家容積の増大、収容機器の増加に伴い、残響時間、騒音レベルが大きくなり、とくに 1, 2 階面の平均シラブル明りょう度は約 10%, 言語に対する平均了解度は約 30% に低下した。このため 4 号機完成後、発電所のご指導を得て、運転員の巡回経路における言語了解度平均 80% を目標にスピーカの数量、配置を再検討した。1 階面は主機、補器のいちばん密集したところであるが、ここは当初各号機当たり約 20 個のスピーカを設置し、1 個当たり平均 8~12W の入力を加えていた。これを約 30 個にふやして、全音響出力はそのままスピーカ 1 個当たり 3~5W 入力に分散し、巡回経路に直接音が到達するよう取付位置、方向を変更した。2 階面以上についても同様の方針にしたがって改造工事を実施した結果、表 2.13~14 に示すとおり良好な結果が得られた。この試験は実際の運転員の協力によって実施したもので、日本音響学会明りょう度委員会の明りょう度試験法の規準にしたがった。

3. 通信方式

運転指令装置は共通に設けた増幅器と、所内各所に設置された多数のハンドセットステーションおよびスピーカによって構成されつぎの機能をもっている。

表 2.13 1 号機 (1 階面) 明りょう度試験結果
重油専焼 MILL, DUSTEXHA, PUMP 全停止

受聴場所 番号	試験項目 受聴場所 試験番号	明 り ょ う 度			了 解 度		
		1 (50%)	2 (50%)	計 (100%)	1 (50%)	2 (50%)	計 (100%)
1	#1 CONDENSER 横 (OIL COOLER 側)	28	25	53	43	46	89
2	#1 CONDENSER 横 (2 号機側)	9	14	23	37	27	64
3	#1 A HOUSE SERVICE WATER PUMP	20	26	46	43	47	90
4	#1A BOILER FEED WATER PUMP	34	33	67	46	50	96
5	#1B BOILER FEED WATER PUMP	12	12	24	40	35	75
6	#1A BOILER FEED WATER PUMP 横	19	26	45	45	37	82
7	#1 STEAM CONVERTOR 横	18	13	31	45	47	92
8	#1D MILL	23	25	48	41	37	78
9	#1 BOILER PIT 横	24	22	46	47	48	95
10	#1A INSTRUMENT AIR COMPRESSOR	21	19	40	43	45	88
11	#1A GAS RECIRCULATING F	20	18	38	39	38	77
12	#1 MAIN OIL PUMP	9	11	20	24	26	50
13	#1 FORCED DRAFT FAN	12	7	19	35	34	69
14	巡 回	23	21	44	44	46	90
15	巡 回	17	16	33	44	37	81
16	#1C MILL	21	24	45	45	48	93
	平 均			39.1			81.8

表 2.14 2 号機 (1 階面) 明りょう度試験結果
重油混焼 #E MILL, DUST EXHA, PUMP A, B 運転

受聴場所 番号	試験項目 受聴場所 試験番号	明 り ょ う 度			了 解 度		
		1 (50%)	2 (50%)	計 (100%)	1 (50%)	2 (50%)	計 (100%)
1	#2 CONDENSER 横 (1 号機側)	17	11	28	42	42	84
2	#2 CONDENSER 横 (3 号機側)	7	15	22	37	34	71
3	#2A HOUSE SERVICE WATER PUMP	12	8	20	30	37	67
4	#2A BOILER FEED WATER PUMP	24	24	48	44	48	92
5	#2B BOILER FEED WATER PUMP	12	14	26	40	37	77
6	#1 STEAM CONVERTOR	18	19	37	41	37	78
7	定位置	6	15	21	37	36	73
8	#2D MILL	23	28	51	46	42	88
9	#2 BOILER PIT 横	18	16	34	40	35	75
10	#2 INSTRUMENT AIR COMPRESSOR	19	21	40	45	45	90
11	#2A GAS RECIRCULATING F	25	26	51	49	45	94
12	#2 MAIN OIL PUMP	20	21	41	46	45	91
13	#2 FORCED DRAFT FAN	7	9	16	21	27	48
14	#2B, #2A BOILER FEED WATER P 中間	27	34	61	45	50	95
15	#2 HP HEATER DRIP PUMP	17	15	32	43	41	83
	平 均			35.2			80.4

- (1) 任意の ハンドセットステーション からスピーカ 回線により指令を 発する。
- (2) 任意の ハンドセットステーション からスピーカ 回線により相手を 呼出し、電話回線により同時通話を行なう。
- (3) 同様にして他の相手を呼出し、電話回線により会議通話 を行なうことができ、また割込通話ができる。
- (4) 必要に応じ、各 ハンドセットステーション より警報を発するこ とができる。
- (5) スピーカ 回線と電話回線は独立しており、必要に応じ、ス

運転指令装置・室田

表 3.1 ハンドセットステーション 配置の一例

FL (m)	設 置 場 所	1 期 工 事			2 期 工 事		
		壁掛形	卓上形	可搬形 セン口	壁掛形	卓上形	可搬形 セン口
0	押ボ給密主道海 込イ水油弁洗 フボ封タジ ン予氣水 ン潤ゼス滑 ン本ンン ン油クルタ ン体ブ油 周	1 3 3 2 1 2 2			1 3 3 2 1 1 2		
5,870	空給電 氣水 予氣 熱処 器理 室室	1 3 2			2 1 1		
11,000	ボヒタ中 イタ室一 央給 制御	1 2 1	1		1 1 1	1	
13,400		1		1	1	1	
15,700		1		1	1	1	
17,300		1		1	1	1	
20,500		1		1	1	1	
24,500		1		1	1	1	
28,300		1		1	1	1	
31,100		1		1	1	1	
33,600		1		1	1	1	
35,400		1		1	1	1	
39,100		1		1	1	1	
本館外	重燃原 事循ス 特	油料水 タ制ボ 務環リ 開	ク室室 所水 ン所 御ブ 一閉	周 辺 周 辺	1	1	
					2		
					3		
計		37	4	5	24	5	

表 3.2 スピーカ 配置の一例

FL (m)	設 置 場 所	1 期 工 事		2 期 工 事	
		ホーン 15W	コーン 3W	ホーン 15W	コーン 3W
0	押ボ給密主道海ター 込イ水油洗水ー フラボ封タジン ア本シンゼス滑 ン体ブ油クルタ油 周辺 〃<				

ピーカ 回線によって交互通話の連絡を行なうことができる。

ハンドセットステーション および スピーカ の設置場所の一例を関西電力 の重油専焼の尼崎第三発電所について示したのが表 3.1~3.2 で ある。

運転指令装置は ハンドセット 送話器と スピーカ で呼出 チャネル を形成 し、ハンドセット 送話器と受話器で通話 チャネル を構成する 音声 通信装置である。その標準の回線構成は図 3.1 に示すとおりで、スピーカ 回線、電話回線とも送話器の出力を低 レベルのままでそれぞれ共通の増幅器に導き、増幅ののちスピーカ および受話器に並列分配する方式である。この方式は関西電力多奈川発電所に Gilbert の consultant によって設備された Gai-Tronics 社の方式になら ったもので、現在、標準方式としてもっとも多く採用され、実績 のある回路である。

電話回線は1チャンネルのものが標準である。このこの電話回線はいわゆるパーティライン式となっていて、集団会議通話あるいは聴話、割込みは可能であるが、同時に2組以上の通話を行なうことはできない。最近、発電所の運転上の要求によって電話回線を多チャネ

ルとした方式が設備されるようになってきた。これはハンドセットステーションに電話回線選択電鍵および話中表示ランプを追加することにより実施することができる。話中表示は常時点灯式と使用時点灯式すなわちフックオフによって点灯する方式とがあるが、当社ではランプ電源が簡単な後者を標準としている。

電話回線を多チャネルとした場合、通話のトラフィックは改善されるが、操作にスピーカ回線、電話回線の選択のほかに電話回線自身のチャネル選択操作が加わり、2挙動操作となるため、運転指令装置の第1の目的である迅速な連絡という点に多小の問題が残されている。この多チャネル方式については今後その操作方法を改良してゆきたいと考えている。

以上の方式はスピーカ回線、電話回線とも騒音不感形マイクロホンの出力をそのまま共通増幅器に導き、増幅ののちスピーカおよび受話器に並列分配する4線式配線方式である。この方式の場合、騒音不感形マイクロホンの出力レベルは低く、 -50dBm 程度であるため、両回線のマイク線としては高級なシールド線を必要としかつケーブルの心線数が多く、配線、配管工事に機器とはほぼ同程度の費用がかかるため、この工事費を節約する新方式が強く要望されるようになった。

当社は関西電力大阪火力発電所で、誘導による S/N の低下を防止するため、各ハンドセットステーション内にトランジスタの補助増幅器を設け、マイク出力を約 $20\sim 30\text{dB}$ 増幅する方式を実施したが、これによって発電所内におけるハンドセットステーション設置の周囲条件でのトランジスタ増幅器の十分安定な動作を保証することができた。その後、電源開発若松火力発電所の指導を得て、ハンドセットステーション内にトランジスタ増幅器を組み込み、騒音不感形マイクロホンの出力を炭素形マイクロホンの出力レベルまで増幅し、ハイブリッド2線接続によって直接受話器に接続するいわゆる環状2線式を完成した。図3.2はその回路構成を示したものである。この方式によれば、ハンドセットステーションの出力レベルが 0dBm 以上であるためシールド線を必要とせず、通話回線が2線式となっているため、ケーブルの費用がいちじるしく節約されるほか、集中電話回線増幅器

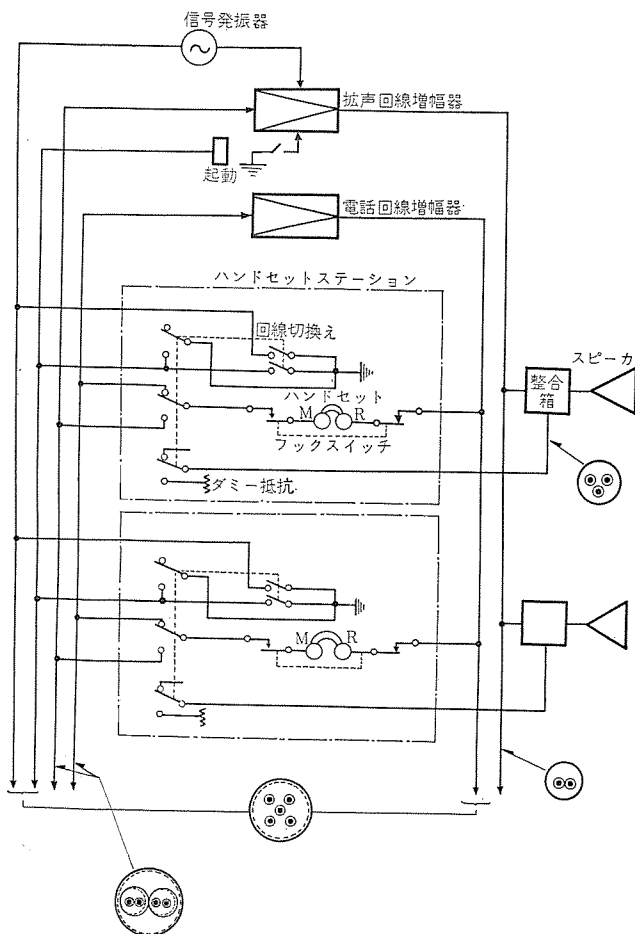


図 3.1 運転指令装置標準回路
Fig. 3.1 Standard circuit of power plant communication systems.

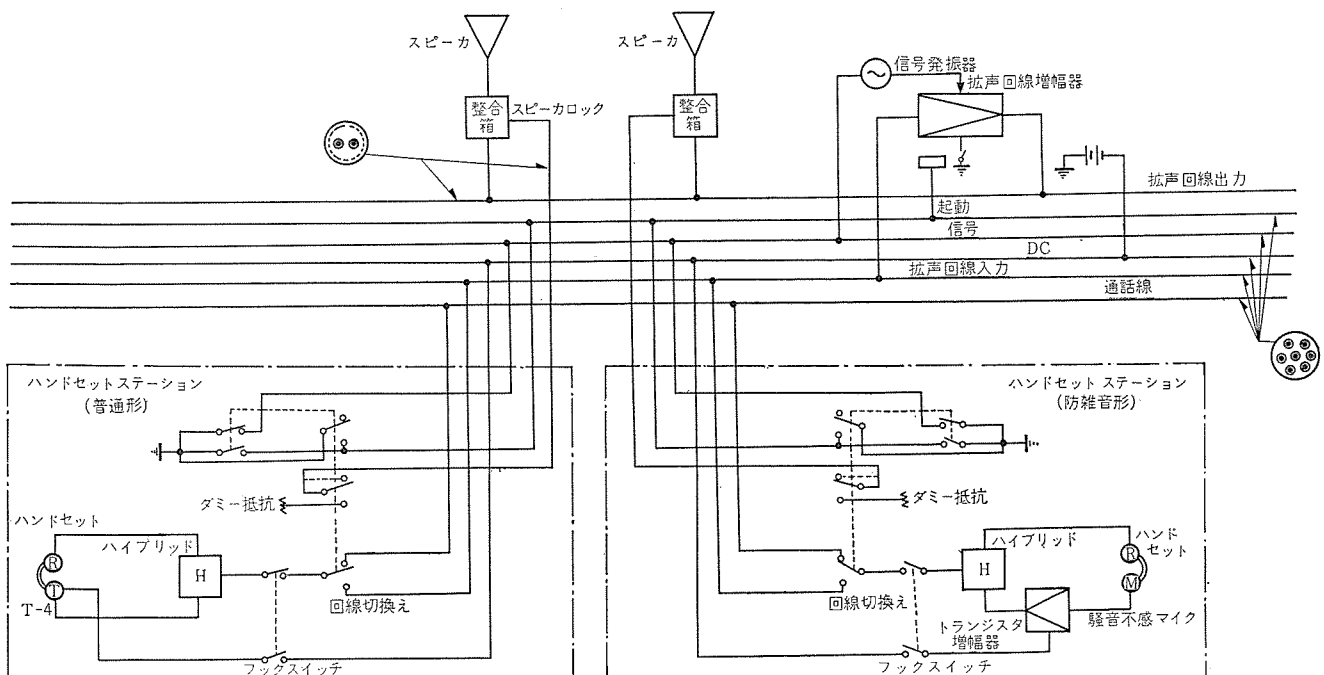


図 3.2 運転指令装置回路図 (電話回線環状2線式)
Fig. 3.2 Circuit diagram of power plant communication systems (telephone channel two wire system).

が省略され、また、スピーカ回線増幅器に前置増幅を必要としない利点がある。

今後はさらにこの方式をスピーカ回線にも適用し、各スピーカにトランジスタあるいはモレトロン増幅器を設け、各ハンドセットステーションの出力を直接増幅する分散増幅器方式に発展させる考えである。

この環状式電話回線および分散増幅器式スピーカ回線が完成すれば共通増幅器は一切不要となり、各トランジスタ増幅器用直流電源の問題が解決すれば、中央制御室における合併独立などの操作のみによって運転することができ、増設工事も簡単となり、さらに便利な使用法も適用できるようになる。

また、環状式においては、騒音レベルが70ホン程度以下の場所に設置するハンドセットステーションには通常の電話に使用しているT-4号送話器がそのまま使用できることになる。

現在使用している騒音不感形マイクは出力レベルが低いため、環状式接続にするためには増幅することが必要であり、低騒音中で使用するT-4号送話器にも送話電流が必要なため、いずれも直流電源が必要である。これに対して無電池で受話器を直接動作させるレベルの出力が得られる騒音不感形送受器を研究中である。

なお、高圧起動、警報制御、直流電源、接地などの接続線はマイク線あるいはスピーカ線を重心回線として併用することなどによりケーブル数を節約することができるが、これについてはまた改めて紹介することにする。

4. 回路方式

増幅器の構成、制御装置の方式についてその全般を述べるには多くの紙面を要するので、ここではとくに新しい試みとして実施した二、三の方式について報告する。

従来予備機は始めから終りまで予備機としての任務しかもたなかった。したがって、現用機に障害が発生しなければいつまでも電源に投入されることがなかった。これに対して、予備機を任意に指定できる新しい切換方式を実現した。この任意予備指定方式は自動切換え手動切換えいずれの場合にも適用可能である。たとえば現用4台に対して合計5台の増幅器を用意しておき、この5台のうち任意の1台を予備として指定できる方式で、一挙動で指定操作ができるようになっている。これによって5台の増幅器の稼働率を平等にすることができる利点がある。

つぎに合併独立制御方式であるが、当社はたとえば1~4号機の設定を有する発電所の場合、全独立、全合併、1-2合併、3-4合併とあらかじめ定められた組合せの制御を標準としているが、この他にクロスバ交換機を考え方をとり入れて任意のあらゆる組合せの合併が可能な回路も実現している。

最後にスピーカ増幅器の起動方式は、当初常時高圧を印加しておき、入力回路を常時線路から切離して終端とし、使用時、ハンドセットからの遠隔制御によって線路によって線路に接続する方式を採用してきたが、最近、需要者側の要望により高圧制御方式も実施することになった。この両方式には一利一害があり、たとえば、常時印加方式の場合はパイロット信号による増幅器の常時監視ができること、電源装置に対して負荷変動が少ないなどの利点があるが、消費電力が大きく、装置の温度上昇が大きいなどの欠点があり、高圧起動方式では消費電力が少ない利点はあるが、装置の常時監視が困難であるなどの欠点があるが、これらはいずれもその優劣を決める決定的な要素とは考えられない、むしろ、真空管の寿命に対してどちらの方式がまさっているかによって判断するこ

とが必要と考えるが、まだその結論を得るにいたっていない。

5. 構成機器

運転指令装置は一般につぎの機器によって構成される。これは東京電力五井発電所納めの一例である。

増幅装置	1号増幅器架	1架
	2号増幅器架	1架
	予備増幅器架	1架
共用監視制御装置		1架
集合端子盤装置		1式
外線試験盤装置		1式
ハンドセットステーション		
	屋内壁掛形	44台
	指令机埋込形	2台
	屋外壁掛形	46台
	エレベータ用	2台
独立合併遠隔制御器		2台
スピーカ		
	ホーンスピーカ	
	標準防水形	86台
	船舶形	15台
	安全増防爆形	4台
	コーンスピーカ	6台
	スピーカ 整合箱	105台
付属品、予備品		1式

各増幅器架は、拡声回線増幅器盤(250W)2台、電話回線増幅器盤(3W)1台、前置増幅器盤1台、上部端子盤1台、下部端子盤1台、標示盤1台から構成され、制御装置架に入力切換盤、リレー電源盤、電源切換器盤、操作盤、測定器盤、電圧調整器盤、出力切換盤、入出力端子盤、上部端子盤、標示盤の各盤から構成されている。

つぎにこれら各装置の外観図を図5.1~5.9に示す。ここに示した装置は八幡製鉄新洞岡発電所に納入したものである。装置本体は開放形の鉄架に実装されているが、強制空冷を必要とする場合あるいは配電盤などと列盤に設置されるときには、この架をキュービクル内に収容した構造とすることができる。

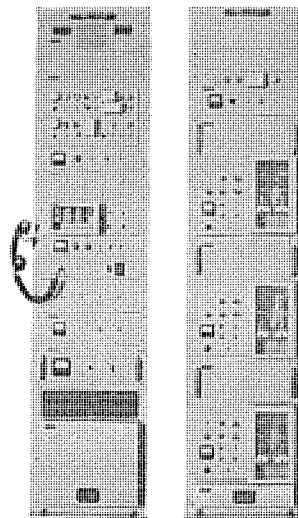


図 5.1 AE 形運転指令装置本体
Fig. 5.1 Front view of type AE paging amplifiers.

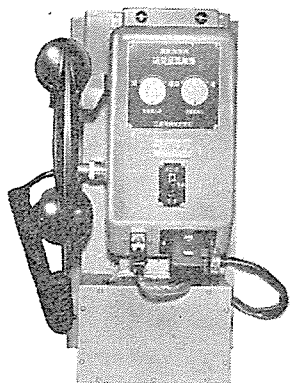


図 5.2 屋内壁掛形ハンドセット
ステーション
Fig. 5.2 Indoor wall-
mounted handset station.



図 5.3 卓上形 ハンドセットステーション
Fig. 5.3 Desk type handset station.

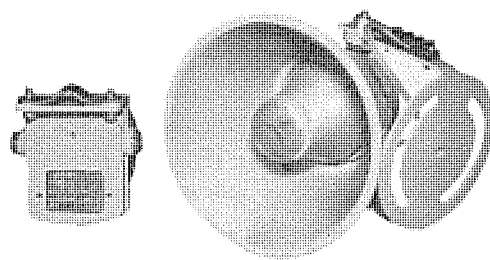


図 5.4 ホーンスピーカ および整合箱
Fig. 5.4 Horn speaker and matching box.

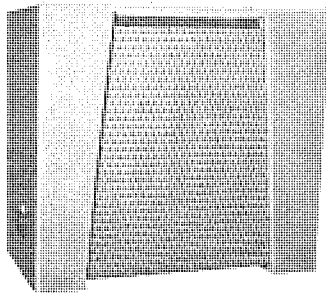


図 5.5 室内用 コーンスピーカ
Fig. 5.5 Cone speaker.

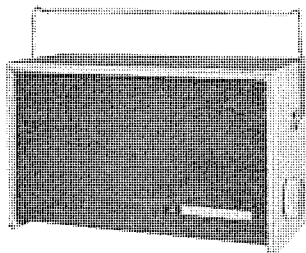


図 5.6 可搬形 スピーカ
Fig. 5.6 Portable speaker.

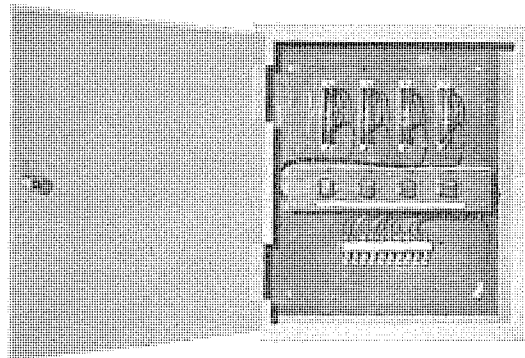


図 5.7 試験接続箱 (拡声回線用)
Fig. 5.7 Test junction box (speaker channel).

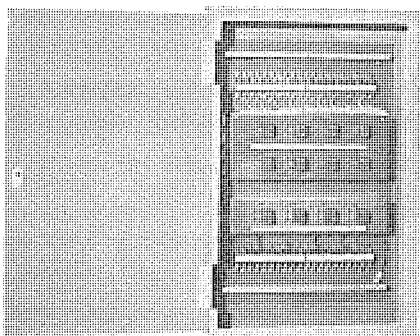


図 5.8 試験接続箱 (電話回線用)
Fig. 5.8 Test junction box (telephone channel).

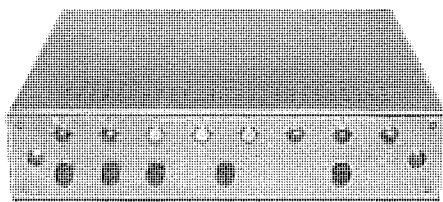


図 5.9 制御警報箱
Fig. 5.9 Control and alarm box.

6. む す び

運転指令装置の機器の内容についての紹介を省略し、火力発電所の騒音分布と明りょう度の関係、通信方式の現状と問題点、および回路構成の二、三の新しい試みについて述べた。今後ご計画の際のご参考になれば幸いである。

ここでは火力発電所の運転指令装置について述べたが、この装

置は水力発電所あるいは一般工場、とくに定位置のない作業員による生産工場にも応用されるものである。この場合は、多少異なった使用法が考えられるが、つぎの機会に発表したい。

最後に騒音中の明りょう度対策について種々有益なご教示を賜わった大阪大学竹内教授に深謝するとともに、騒音測定、明りょう度試験に多大のご便宜を与えられた関西電力大阪発電所の各位、ならびに、絶えずこの装置の製作、改良にご指導、ご鞭撻をいただいている各電力会社および関係者の皆様にお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 沢田寿男：火力発電所における指令電話装置について、火力発電，13，No. 1，Jan. (1962)
- (2) 小山一平，谷田部栄一：ページング装置とその応用，OHM，(昭 36-4)
- (3) 石渡武：発電所運転指令装置，東芝 レビュー，14，No. 6，(昭 34)
- (4) 石渡武：音響機器の工業応用，東芝 レビュー，14 No. 2，(昭 34)
- (5) 馬場，大鳥羽，開発，藤木：火力発電所の騒音と指令通話，「三菱電機」32，No. 2，(昭 33)
- (6) 大鳥羽幸太郎：運転指令装置（火力発電 シリーズ，技術解説），「三菱電機」33，No. 5，(昭 34)
- (7) 大鳥羽幸太郎：AE-1 形運転指令装置，「三菱電機」29，No. 7，(昭 30)
- (8) C.M. Harris: Handbook of noise control, McGraw-Hill Book Co. (1957)
- (9) 実吉純一：電気音響工学，コロナ 社，(昭 33-10)
- (10) 島，牧田：建築音響，日本放送出版協会，(昭 35-3)

4,000 Mc 垂直水平偏波共用空中線

東野義夫*・香川 哲*・高松泰男*

4,000 Mc Dual Linearly Polarized Antenna

Electronics Works

Yoshio HIGASHINO・Satoshi KAGAWA・Yasuo TAKAMATSU

A 4,000 Mc antenna described herein is capable of simultaneous radiation of vertical and horizontal polarized waves so as to increase channel capacity in fixed frequency bands. In the past, dual antennas of 6,000 Mc circularly polarized type and 11,000 Mc linearly polarized one were manufactured for the multi channel radio relay links of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation. This 4,000 Mc dual feed antenna is the latest production for the improvement of performance. In designing the antenna, improvement has been made in the wide angle radiation pattern so that side to side coupling coefficient decreases and discriminating ability of receiving waves increases between relay link stations. The characters of the antenna are: frequency band 3,600~4,200 Mc, gain 41 dB approximately, standing voltage wave ratio below 1.07, and isolation between input waveguides below -25dB.

1. ま え が き

パスレングス・レンズアンテナ⁽¹⁾⁽²⁾に始まった当社の日本電信電話公社向けマイクロ波中継回線用空中線は、その後直線偏波パラボラアンテナ⁽³⁾、円偏波パラボラアンテナ⁽³⁾、レイドーム付パラボラアンテナ、画期的な6,000 Mc 左右両旋円偏波共用空中線⁽⁴⁾、11,000 Mc 垂直水平偏波共用空中線、見通し外中継用大口径空中線⁽⁵⁾、さらに多周波数帯共用のホーン・リフレクタアンテナ⁽⁶⁾と進み、すでにことしの7月納入数500台を突破するという記録をたてている。

ここに述べる4,000 Mc 垂直水平偏波共用空中線はさらに周波数帯域内の回線収容能力を増加させるために、垂直偏波と水平偏波を共用させており、この種偏波共同空中線としては6,000 Mc の円偏波形および11,000 Mc の直線偏波形に次ぐものである。またとくにこの空中線は広い範囲の放射特性の改善に留意されており、空中線を並べて設置した場合の相互結合の低減、隣接局における受信電波の識別能力の増大などをはかっている。

性能は周波数範囲3,600~4,200 Mc、利得約41 dB、電圧定在波比1.07以下、両偏波間結合度-25 dB以下、耐風速60 m/sec、方向調整範囲上下・左右ともに ± 3 度、一次放射器の気密性200 g/cm²である。

2. 設計の概要

最近のマイクロ波超多重通信用空中線の傾向としては、利得の向上、電圧定在波比の改善、空中線を並べて設置した場合の相互結合度の低減などに努めるのはもちろん、これら以外の問題として回線収容能力を増加させるために偏波共用、あるいは一つの空中線で異なる周波数帯の送受を行なう、多周波数帯共用空中線へと進んでいる。また非常に多くの中継網が張りめぐらされている現在では、隣接中継局の受信電波識別能力を増大させるために、放射特性におけるサイドローブ・レベルも重要な問題となってきた。

近年各国で採用され始めているホーン・リフレクタ空中線はこれら新しい要求性能を満足するものであり、一方製作が簡単で小形軽量である従来のパラボラアンテナも偏波共用、広角度放射特性の改良などあらゆる点でより高性能なものに発展している。ホーン・リフレクタアンテナが有利かパラボラアンテナが有利かは、空中線架設用の鉄塔、中

継局建設の条件、給電用導波管系、価格など総合的な立場に立って決定される。

さて当社の偏波共用パラボラアンテナとしては左旋円偏波と右旋円偏波を共用した6,000 Mc 帯のものを完成し、すでに東京—大阪回線に使用されている⁽⁴⁾。また11,000 Mc 帯では垂直偏波と水平偏波を共用した空中線を実用化し、これはローカル回線に利用されている。

今回新しく4,000 Mc の偏波共用空中線を製作するにあたってもっとも問題となった点は、帯域幅が3,600~4,200 Mc で中心周波数に対して約15%もあり、従来の単一偏波のものに比べて新しく偏分波器を余分に持った空中線のインピーダンス整合をいかにしてとるかということである。6,000 Mc 帯が5,925~6,175 Mc または6,175~6,425 Mc で約4%、11,000 Mc 帯が10,700~11,700 Mc で8%であるのに比べれば相当広い帯域幅である。インピーダンス整合がとくに困難と考えられる偏分波器と吹付ホーン部については種々試作、実験を繰り返えし、それによって構造寸法を決定した。整合素子によって最終的に整合をとる方法についても十分に検討し、一次放射器単独で電圧定在波比1.05以下、反射鏡に取付けた状態で1.06以下に入っている。

パラボラ反射鏡は有効直径4 m で焦点距離は1 m、すなわち焦点距離対開口径比F/Dは0.25で開口角はちょうど180度である。開口角は小さいほうが反射鏡は浅くなり一般に設計、工作ともに容易で空中線の開口能率も高くとりやすい⁽⁷⁾。しかし広角度放射特性を考えた場合は吹付ホーンから反射鏡外への電波の漏れ(spill over)、また反射鏡前面にある給電導波管、支柱類の障害物による散乱などの点から開口角は大きいほうが有利である。

給電導波管および一次放射器支持用の支柱の張り方については機械的強度が十分であり、電気的には広角度放射特性が良好で、しかもこれによる反射波によって電圧定在波比の劣化がないように考慮されている。

3. 構 造

パラボラ反射鏡の鏡面精度は中央部で ± 2 mm、周辺部で ± 4 mmとしている。もっともこの反射鏡は6,000 Mc でも使用可能なように実質的には中央部で ± 1.5 mm、周辺部で ± 3 mm以内に製

*無線機製作所

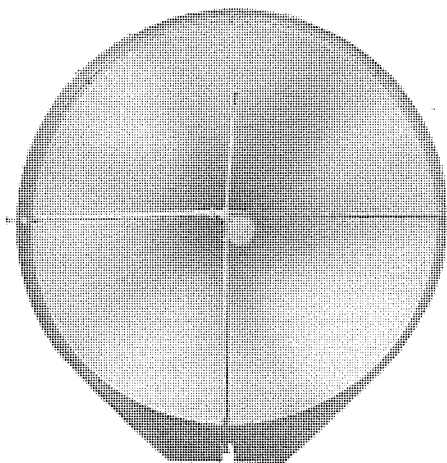


図 3.1 空中線の外観
Fig. 3.1 Outside view of antenna.

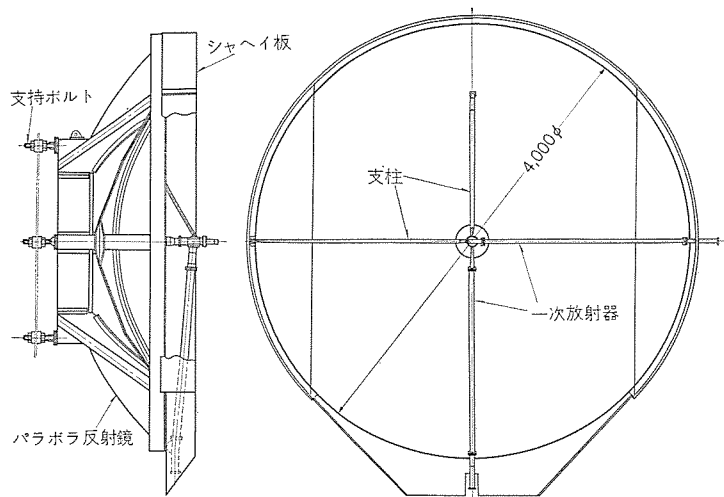


図 3.2 空中線の構造
Fig. 3.2 Structure of antenna.

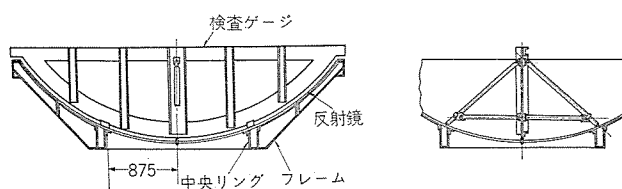


図 3.3 鏡面精度の測定
Fig. 3.3 Measurement of mirror accuracy.

作されている。このように高精度のものであるから風圧荷重などによる変形はきわめて小さいよう、とくに留意されている。有効直径は 4 m で輸送の都合上 3 分割できる構造となっている。図 3.2 に示すように反射鏡中央部の高い鏡面精度を保持させるため、分割は周辺部の両端を取りはずせる形にしている。また反射鏡を分解した場合に若干強度が落ちるため、変形またはヒズミが生じないように輸送時には特別なツツで固定するという注意をはらっている。

このパラボラ反射鏡の基準面は中心部ではなく、中心より 875 mm 離れた円周上にとっている。図 3.3 においてフレーム中央リングの反射鏡に接する部分は正しく機械加工を行ない、これに反射鏡を固定してこの面を基準面としている。鏡面精度の検査は図 3.3 のように検査ゲージの反射鏡への当たりを半径 875 mm の基準面にとり、検査ゲージと反射鏡面との間隔を測定している。この方法を採用することにより、従来反射鏡を大きなリング状のツツの中に入れて反射鏡の中心点を基準とし、リング周辺の面に検査ゲージを置いて測定していたのに比較して短時間に検査できるばかりでなく、検査の再現性も向上し測定誤差は小さくなって、高精度の反射鏡を製作することが可能となった。この 3 分割式 4 mφ 反射鏡は前述の 6,000 Mc 左右両旋円偏波共用空中線に使用したものと同一品である⁽⁴⁾。

空中線の架台への取付けは十字形に配置された 4 本の支持ボルトで行ない、また同時にこのボルトに特殊な球面座金を使用することによって上下、左右に ± 3 度の方向調整を行なうことができる。

隣接空中線相互間の結合度を低くするためのシャヘイ板は幅約 300 mm であり、空中線下部のみ下方に折り曲げて反射鏡周辺に取付けられている。

水平偏波用の給電導波管は下方に、垂直偏波用の給電導波管は側方に出ている。この垂直偏波用給電導波管は配管の都合により

左とすることも右とすることもできる。すなわち、偏分波器部の H コーナ導波管の取付方向を変えることにより任意の方向に出しうる。

4. 一次放射器

偏波共用の一次放射器吹付ホーン部の導波管は正方形と円形との 2 種が考えられる。吹付ホーンの放射特性は軸対称である円形のほうが正方形よりすぐれ、工作も容易である。それゆえ、この空中線では円形を採用している。図 4.1 は一次放射器の概略を示したものである。

空中線の開口面上にある一次放射器、支柱類は電波通路の障害物となって散乱放射の原因となり、また場合によっては一次放射特性にも乱れを与えることがあり、利得の低下、広角度放射特性の劣化、電圧定在波比の増大などの原因となる。この影響は相当大きく設計に際して十分注意する必要がある。これらを理論的に詳しく解析することは一般に困難であり、実際には実験によって確かめなければならない⁽⁵⁾⁽⁹⁾。

垂直偏波用給電導波管は開口面に対して 9.5 度、水平偏波用給電導波管は 5 度の傾斜をもたせている。これによって給電導波管で散乱される反射波の位相を各点でずらせることができ、空中線の比較的広い角度にわたる放射レベルを低くしうる。しかもこ

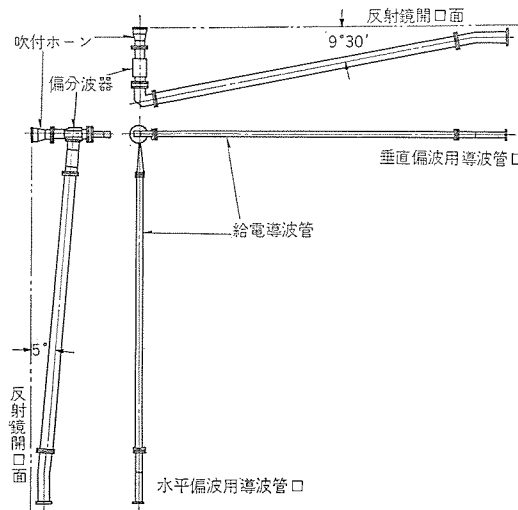


図 4.1 一次放射器
Fig. 4.1 Primary radiator.

の反射波が再び吹付 ホーン に帰ってくることによって生ずる電圧定在波比特性の劣化をも小さくできる。

一次放射器を支持する支柱の位置、取付角度、太さなどは電氣的な影響は小さく、機械的強度が十分であり、温度変化があった場合でも吹付 ホーン の焦点位置からのずれが最小となるように決定する。また輸送時には分解するため現地での組立てが容易であり、かつ吹付 ホーン 位置の再現性が十分満足できるよう留意してある。なお一次放射器の反射鏡への取付けは基準面である半径 875 mm の点に足を持つ専用の三脚台を作り、これに吹付 ホーン を合わせて正しく焦点位置に固定する方法をとっている。

4.1 給電導波管

給電導波管には JIS 規格による 4,000 Mc 帯方形引抜導波管を使用している。前述のように 2 本の給電導波管は開口面に対してそれぞれ 9.5 度と 5 度の角度をもっており、空中線周辺の導波管開口部では開口面と平行になるよう H コーナ 導波管を設けている。この部分の曲り角度はわずかであるが コーナ 導波管としてそれぞれ綿密に整合をとり残留反射が極力小さくなるように努めている。

4.2 偏分波器

偏分波器はこの空中線のもっとも重要な部分の一つであり、この設計にあたっては特別な注意がはらわれている。たがい直交した 2 つの直線偏波を分離あるいは合成するための回路としては、図 4.2 のような種々の形式が考えられる。この偏分波器の必要条件は 2 偏波間の結合度が低いこと、電圧定在波比が広い帯域にわたって小さいこと、そう入損失の少ないこと、不要モードが発生しないこと、偏波面の傾きを生じないこと、タ円偏波の発生がないこと、また構造が簡単で工作が容易であることなどである。

吹付 ホーン 側の導波管は前述したように工作が容易である点、一次放射特性が良好である点より円形とし、また全長寸法を短くする点から 4 分の 1 波長変成器を使用した図 4.2 (f) の形を採用することとした。4,000 Mc 帯では導波管各部の寸法が比較的大きくなり、偏分波器に吹付 ホーン を接続すると全長寸法はかなり長

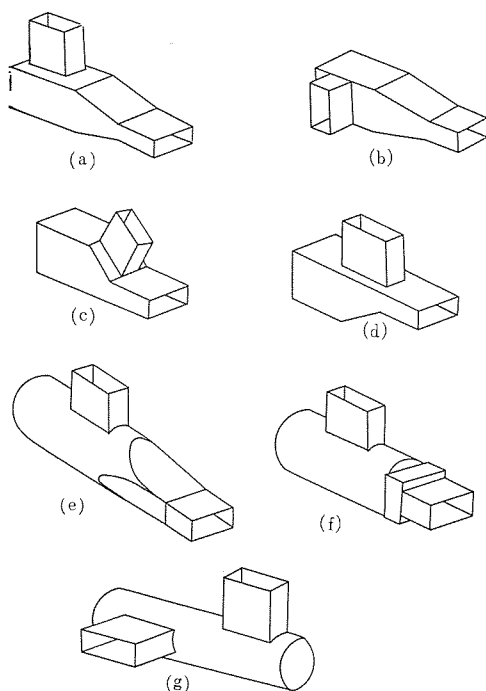


図 4.2 各種偏分波器

Fig. 4.2 Many types of polarization-selector.

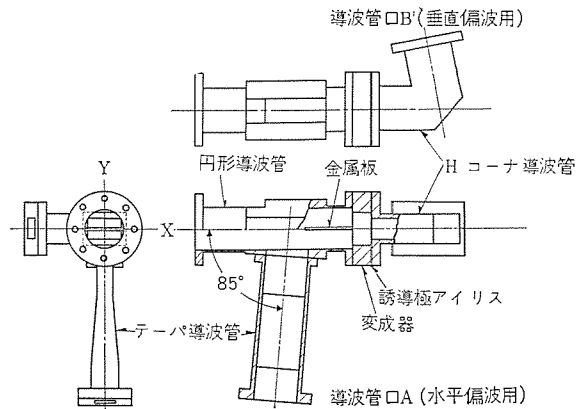


図 4.3 偏分波器の構造

Fig. 4.3 Structure of the polarization-selector.

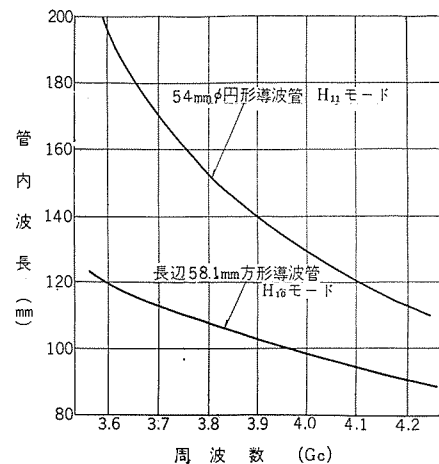


図 4.4 円形導波管および方形導波管における管内波長

Fig. 4.4 Wavelength in circular waveguide and rectangular waveguide.

くなって反射鏡周辺の シヤヘイ 板より外に出る部分が多くなり、隣接空中線相互間の結合度特性が悪くなるおそれがある。ただ吹付 ホーン 側に正方形の導波管を使用した場合、あるいは円形であっても図 4.2 (e) のように テーパ を持った円形-方形変換導波管を使用した場合に比べて、この部分のインピーダンス 整合が難しくなるという欠点はある。

円形導波管の内径は、 H_{11} モード 以外の モード に対しては cut off となる範囲で寸法最大を選び、直径 54 mm としている。図 4.4 に内径 54 mm の円形導波管における H_{11} モード の管内波長と長辺が 58.1 mm である方形導波管における H_{10} モード の管内波長を示す。周波数範囲が広くとくに円形導波管では、3,600 Mc と 4,200 Mc とで管内波長は 1.7 倍もの差がある。このような導波管を組合せた場合、そのインピーダンス 特性は必然的に周波数特性の非常に大きいものとなる。

偏分波器の構造を示す図 4.3 において方形導波管口 A を水平偏波用、方形導波管口 B を垂直偏波用としている。方形導波管口 A のテーパ 導波管は円形導波管軸と 85 度の角度で円形導波管部に入っており、これに直接給電導波管を接続することができる。テーパ 導波管および方形導波管口 B の H コーナ 導波管はあらかじめ単体で電圧定在波比 1.01 以下に整合後、偏分波管に取付ける。

円形導波管内の金属板は X 軸に平行な電界面を持つ電磁波に対して回路を短絡する働きを持ち、この長さを変化して方形導波管口 A からの整合がとりやすい点を求める。この場合、単に反

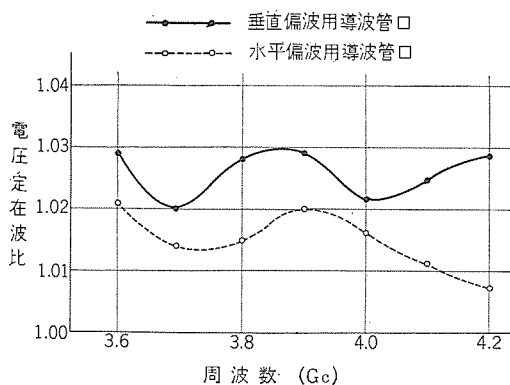


図 4.5 偏分波器の電圧定在波比特性
Fig. 4.5 V.S.W.R. character of the polarization-selector.

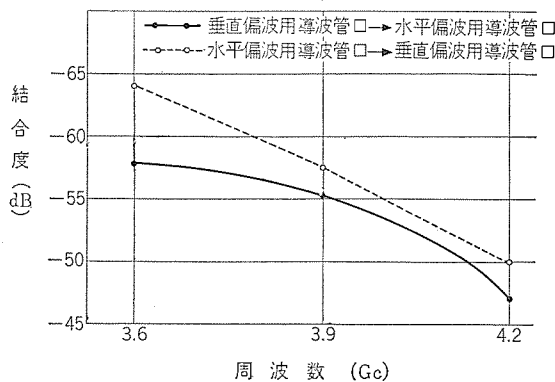


図 4.6 偏分波器の偏波間結合度
Fig. 4.6 Isolation between inputs of the polarization-selector.

射が小さくなる点ではなく、その周波数特性が整合ピスで補正できうような状態でなければならない。

方形導波管口 B からの整合は変成器の寸法を変化して行なうが、すべての周波数に対して反射が小さくなるような変成器はない。周波数帯の低域と高域とで管内波長の差がかなり大きく、この部分に変成器を使用することにより反射の大きさは小さくなるが相当大きな周波数特性が残る。変成器と H コーナ導波管の間に誘導性アイリスまたは共振窓を設けることにより、ある程度これを小さくすることができる。さらに各偏波側とも、導波管壁に容量性整合ピスを設けて広帯域整合をとる。この際、円形導波管内にも整合ピスを立てるため、各偏波は完全に独立して整合をとることができず、垂直偏波側（方形導波管口 B）から整合ピスで整合をとった場合、水平偏波側（方形導波管口 A）からの整合がわずかなではあるがくずれる。そのため両方の導波管口交互に整合をとりをしている。

このようにして得られた偏分波器の特性は図 4.5 のように両偏波ともほぼ電圧定在波比 1.03 に入っている。図 4.6 は方形導波管口 A, B 間の結合表を示したものである。（これは偏分波器のみの特性である）この結合度は偏分波器の幾何学的対称性によって左右されるため、製作にあたっては寸法、角度などを正しく出す必要があり高度の工作技術を要する。また整合の際、円形導波管内の水平偏波側整合ピスの調整は左右のバランスをくずしてはならない。

4.3 吹付ホーン

吹付ホーンは先端部にテーパをつけて開口寸法を広げている。これによって一次放射特性のビーム幅は狭くなり、空中線の広角度放射特性が改善される。また開口寸法を広げることにより、導波管の特性インピーダンスを自由空間の特性インピーダンスに近づける

ことができ整合が容易となる。（図 4.11 参照）

この吹付ホーンの一次放射特性を図 4.8 および図 4.9 に示す。90 度方向のレベルは約 -20 dB であり、この程度に選んだのは、同じ直径 4 m の反射鏡を使用している 6,000 Mc パラボラアンテナを製作したときの吹付ホーン一次放射特性を変えたとき、空中線の広角度放射特性がどのようなになるかというデータに基づいたものである。空中線開口能率の点では吹付ホーンのビーム幅はもっと広いほうが有利であるが、広角度放射特性の向上のため利得を若

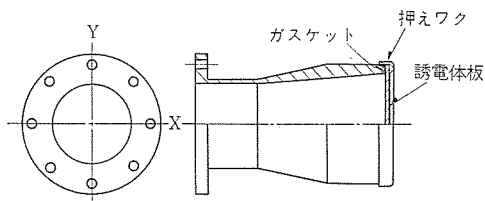


図 4.7 吹付ホーンの構造
Fig. 4.7 Structure of feedhorn.

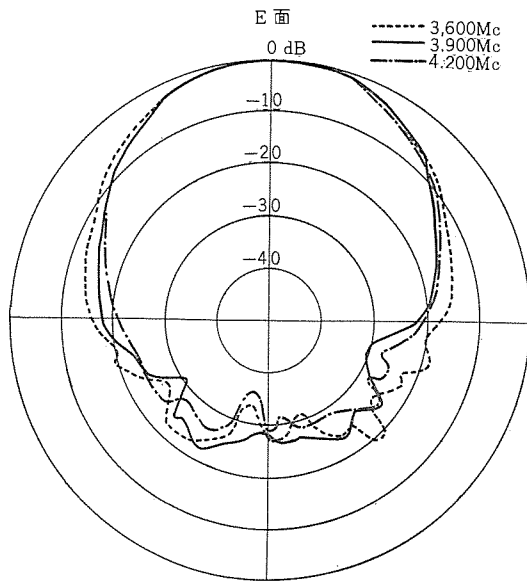


図 4.8 吹付ホーンの一次放射特性 (E 面)
Fig. 4.8 Primary patterns of feedhorn (E plane)

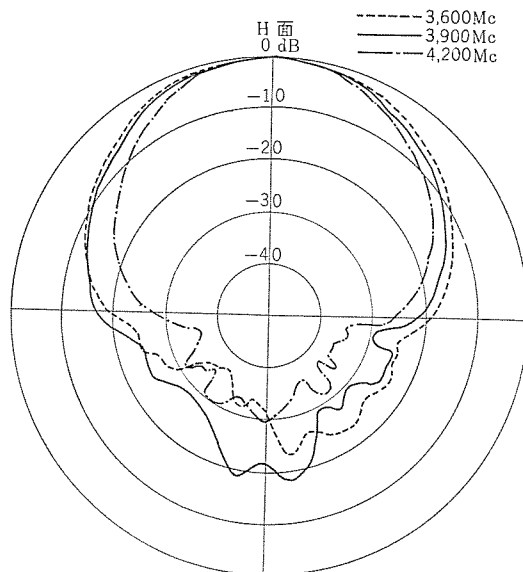


図 4.9 吹付ホーン一次放射特性 (H 面)
Fig. 4.9 Primary patterns of feedhorn (H plane)

干渉性にしてビーム幅の狭い吹付ホーンを使用した。

ホーン前面には誘電体板を張り、ガスケットで管内の気密を保っている。この誘電体板には比誘電率が小さく、機械的強度が十分に加工が容易であり、耐熱性、耐候性などのすぐれていることから、3 弗化塩化エチレン樹脂(ダイフロン)を選んだ。ダイフロンの $\tan \delta$ は大であるが小電力であるから発熱するおそれはなく、そう入損失も問題にならない。

誘電体板は電気的には容量性リアクタンスとして働く。吹付ホーンのインピーダンス整合のためには厚さの薄いほどよいが、管内を加圧するのでタワミの関係もあって、あまり薄くはできない。圧力に対する中心点のタワミ量の実測値を図 4.10 に示す。圧力試験の規格は 200 g/cm^2 であるが実際の使用時はこれ以下であり、厚さ

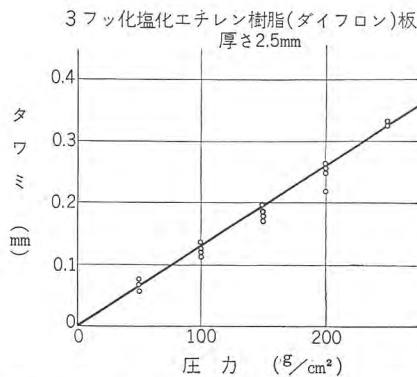


図 4.10 吹付ホーン用誘電体板のタワミ量
Fig. 4.10 Deflection of the dielectric plate of feedhorn.

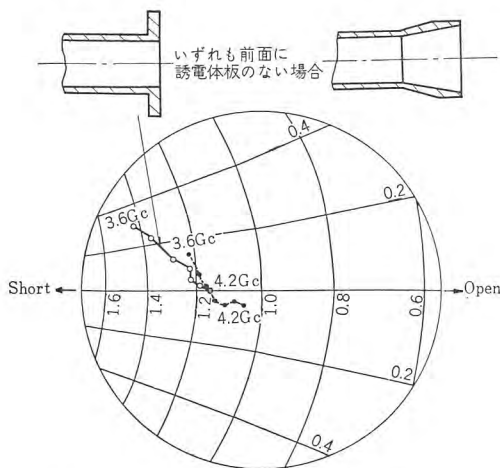


図 4.11 吹付ホーンのアドミタンス特性
Fig. 4.11 Admittance character of feedhorn.

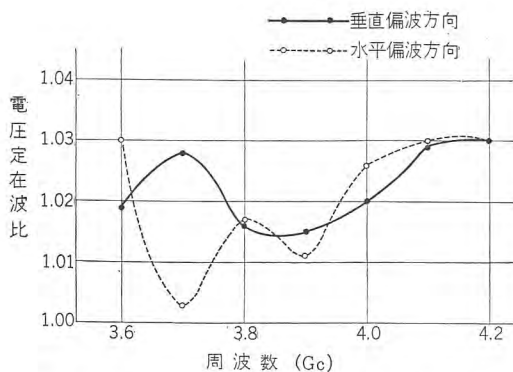


図 4.12 吹付ホーンの電圧定在波比特性
Fig. 4.12 V.S.W.R. character of feedhorn.

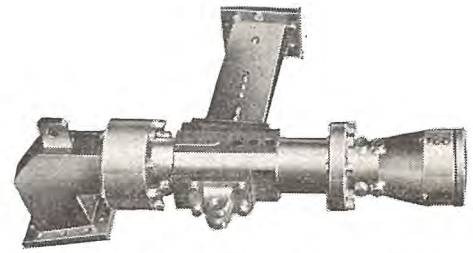


図 4.13 偏分波器および吹付ホーンの外観
Fig. 4.13 Outside view of the polarization-selector and feedhorn.

2.5 mm 程度が妥当であると思われる。

一次放射特性の関係から誘電体板を固定している押えワウの寸法を大きくすることは好ましくなく、気密を保つためのガスケットも必要最小限の大きさにとどめている。熱変化による誘電体板の伸縮に対しては熱サイクル試験を行ない、これによる影響がないことを確かめた。

偏波共用空中線であるから図 4.7 において整合は電界面が X 軸に平行である場合と Y 軸に平行である場合の両方について行ない、整合ピスは対称性を保つため両側より同回数ほどそう入している。図 4.12 に整合後の特性例を示す。

5. 空中線の電気特性

5.1 電圧定在波比

給電導波管、偏分波器、吹付ホーンをそれぞれ単体で整合をとり、これを組立てて一次放射器全体として再び最終的な調整を行なう。こうして完成した一次放射器の電圧定在波比特性の代表例を図 5.1 に示す。

反射鏡に一次放射器を取付けた場合、反射鏡からの反射波によ

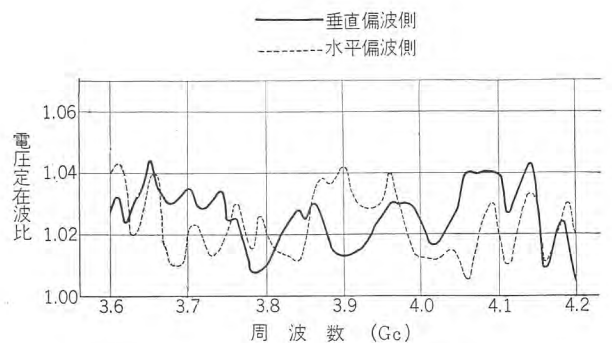


図 5.1 一次放射器の電圧定在波比特性
Fig. 5.1 V.S.W.R. character of primary radiator.

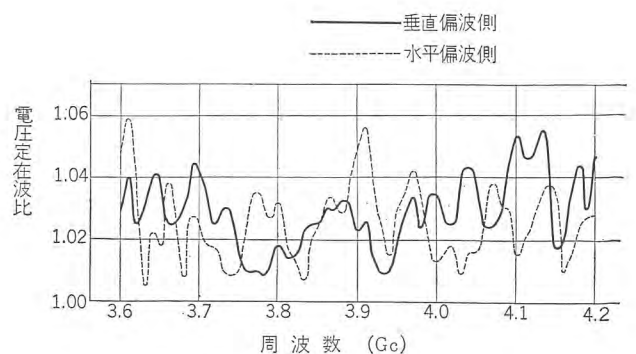


図 5.2 空中線の電圧定在波比特性
Fig. 5.2 V.S.W.R. character of antenna.

る電圧定在波比の劣化を防止するため、いわゆる頂点整合板 (vertex plate) を設ける。一次放射特性のビーム幅が狭くしかも吹付ホーン開口面積が割合に大きいため、この反射波の大きさは相当大きく、実測によれば電圧反射係数にして最大 0.06~0.07 にも達する場合がある。頂点整合板の寸法は吹付ホーンの一次放射特性、周波数などから計算し、さらに微細な範囲は実験によって定めた。なお給電導波管および支柱からの反射波による電圧定在波比の増大は、ほとんど認められなかった。

日本電信電話公社の東京一大阪間の中継回線用に納入したもののうちの一例を図 5.2 に示すが、両偏波側とも電圧定在波比はほぼ 1.06 以下となっている。

5.2 偏波間結合度

図 5.3 は水平偏波用導波管口と垂直偏波用導波管口との間の結

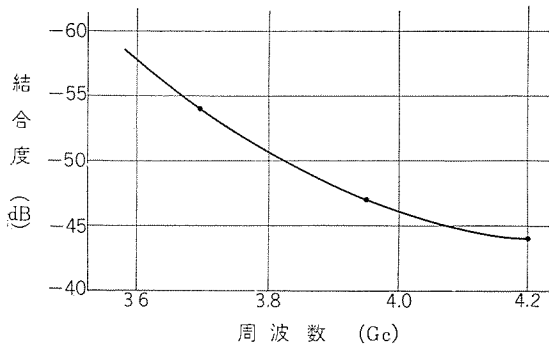


図 5.3 空中線の偏波間結合度

Fig. 5.3 Isolation between input waveguides antenna.

合度特性の代表的な例を示したものである。この結合度特性は製品によってバラツキがかなり大きく、場合によっては -60 dB にも達するものもあり、あるいは -40 dB を割るものもあった。これは吹付ホーンを含む円形導波管内の整合ピスその入量がかかなり多く、調整時において量産体制をとるため回路の対称性がくずれやすい点に原因するものと思われる。しかし特性の悪い空中線の場合でも、規格-25dB には余裕をもっており実用上支障をきたすことはない。

6. む す び

この空中線は東京一大阪間の 4,000 Mc 中継回線に使用されているパレングス・レンズアンテナに代って設置されるものであり、現在その取換工事が行なわれている。これによる回線収容能力の増大によって、すでに完成している 6,000 Mc 中継回線とともに今後ますます増加する通信需要に応じることができる。

50 台あまりの空中線を製作してほとんどトラブルも生ずることなく、周波数範囲が広く偏波共用空中線であるにもかかわらずこのように良好な特性が得られたのは、合理的な設計、工作技術の進歩、優秀な整合技術などによるものである。

最後にこの空中線の製作にあたっていろいろと鞭撻を賜った日本電信電話公社の関係各位、および当社研究所のご指導に対して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 竹内・河津・和田・小口・大橋：パレングス・レンズ・アンテナ 通研実用化報告，2，No. 2, p. 172, (昭 28-8)。
- (2) 河津・喜連川：マイクロ波中継用アンテナ，電気通信学会アンテナ研究専門委員会，(昭 29. 4. 9)。
- (3) 河津・榎本・喜連川：直線偏波および円偏波の広帯域パラボラ・アンテナ，「三菱電機」，30, No. 9, 無線機特集号，p. 561 (昭 31)。
- (4) 土井・青木・河津・大橋・加藤・沼野・榎本・森川・大林・喜連川・立川：6,000 Mc 超広帯域伝送用左右両旋共用円偏波パラボラ・アンテナ，「三菱電機」，34, No. 12, エレクトロニクス特集号，p. 1515 (昭 35)。
- (5) 大橋・鮎沢・上西：見通し外通信用大口径パラボラ・アンテナ，昭和 36 年電気通信学会全国大会，p. 154 (昭 36-11)。
- (6) 大橋・加藤・沼野・森川・東野・喜連川：ホーン・リフレクタアンテナ，「三菱電機」，36, No. 5, エレクトロニクス特集号，p. 601 (昭 37)。
- (7) J.A.C. Jackson: Development of Radio Link Aerials for the 4,000 Mc Band, The Marconi Review, First Quarter 1961, p. 26 (1961)。
- (8) 河津・大橋・加藤：広帯域中継用パラボラ空中線，通研実用化報告，5，No. 2, p. 139, (昭 31)。
- (9) C.C. Cutler: Parabolic-Antenna Design for Microwaves, Proceedings of the I.R.E., p. 1284 (Nov. 1947)。

最近登録された実用新案

名 称	登 録 日	登録番号	考 案 者
炊飯用水深スケール	37- 5-11	570830	増谷良久
スタンド支持装置	37- 5-31	570954	柘植 恵
天井扇	37- 5-31	571149	市岡 洋・長瀬卯三郎
磁石発電機	37- 6-13	571838	三木隆雄
石炭積込装置の制御装置	37- 6-13	571839	平野琢磨
複数電動機の起動装置	37- 6-13	571840	木内 修・藤井二郎
複数電動機の序相起動装置	37- 6-13	571841	木内 修・藤井二郎
計器用変圧器の誤差補償装置	37- 6-13	571842	早瀬通明
電弧炉	37- 6-13	571843	田口 堅
防爆型蛍光灯用ソケット	37- 6-13	571845	佐々木武敏
電動井戸ポンプの自動空気補給装置	37- 6-13	571985	佐々木雄・隈本定宏
密封装置	37- 6-15	702648	高部俊夫・岩佐辰弥
導波管接続装置	37- 6-18	572348	橋本達生
導波管接続装置	37- 6-18	572349	橋本達生
トランジスタを使用したスケルチ回路	37- 6-18	572350	岡本春樹・東 勇

名 称	登 録 日	登録番号	考 案 者
クッション型蛍光灯ソケット	37- 6-13	571618	船田淳三・山崎 肇
電気掃除器	37- 6-13	571621	{ 東 邦弘・武井久夫 祖父江常雄
リモートスイッチ付電気掃除器用可撓ホース	37- 6-13	571622	加藤 悟・祖父江常雄
冷暖房加湿装置	37- 6-13	571623	垣見太郎・安藤 孝
フードミキサ	37- 6-13	571624	武井久夫・町原義太郎
ドラム形電気掃除機	37- 6-13	571625	石山武彦・加藤 悟
電気ストーブの起倒自在把手	37- 6-13	571626	加藤輝彦・近藤正司
埋込形天井扇	37- 6-13	571627	今井 進
電気洗濯機の回転翼車	37- 6-13	571663	{ 東 邦弘・武井久夫 服部信通
飛翔体誘導装置	37- 6-13	572008	石井 茂
除鉄機	37- 6-15	702699	{ 高島秀二・柳下儀兵衛 山下源一郎
除鉄機	37- 6-15	702700	{ 高島秀二・柳下儀兵衛 山下源一郎
除鉄装置	37- 6-25	702701	山下源一郎・柳下儀兵衛
電動搬送車の自動制御装置	37- 6-27	572946	武田英夫

大日電線株式会社納め 500 kV 試験用変圧器

印 藤 義 雄*・森 本 治 夫*・菅 寿 郎*

A 500 kV Testing Transformer Delivered to
The Dainichi Electric Wire & Cable Mfg. Co.

Itami Work

Yoshio INTŌ・Haruo MORIMOTO・Hisao KAN

It is a global trend that electric machines turn to high voltage and giant capacity with the sharp increase of power demand. The phenomena are particularly outstanding in this country. This keeps all electrical manufactures in Japan busy meet the demands by making use of the facilities to the fullest extent. High capacity high voltage testing transformers are one of the equipment highlighted under the circumstances Mitsubishi has just completed the building of 500 kV 8,000 kVA testing transformer to be delivered to the Dainichi Electric Wire and Cable Manufacturing Co. The unit is one of the record products, coming through the factory and approval tests with success.

1. ま え が き

電力需用が急激に増大するにつれて、電気機器の高電圧大容量化が世界的な勢となっているが、電力需用の伸びの急速なわが国にあっては、この傾向はとくに顕著である。それに伴って、これらの高電圧大容量電気機器の試験設備もまた、高電圧大容量のものが必要となってくる。

当社は、かねて大日電線株式会社尼崎工場向として、500 kV 8,000 kVA 試験用変圧器を鋭意製作中であつたが、このほど、工場試験、客先における納入試験も好成績のうちに終了したので、その概要についてご紹介したい。

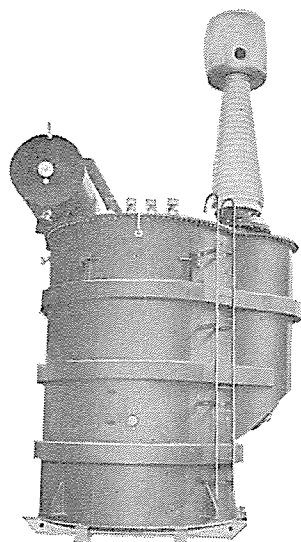


図 1.1 500 kV 試験用変圧器の外観
Fig. 1.1 Appearance of 500 kV testing transformer.

2. 変圧器の仕様事項

この試験用変圧器は、電力ケーブルの絶縁耐力試験に使用されるもので、資料の充電電流が非常に大きいことから、高圧巻線の電流容量が 15A、容量が 7,500 kVA という大きな値となっている点、また単車で 500 kV という高電圧を発生する点で、試験用変圧器としては記録的な製品である。

定格事項はつぎのとおりである。

単相 60 c/s 8,000 kVA 連続励磁 1 時間定格

* 伊丹製作所

油入自冷式 内鉄形 形式“H”

励磁巻線 3,300 V 8,000 kVA

高圧巻線 500,000/250,000 V 7,500/3,750 kVA

縦続接続用巻線 3300 V 500 kVA

電圧計用巻線 500 V 0.5 kVA

高圧巻線試験電圧 AC 550 kV 5 分間 衝撃電圧 1,200 kV

3. 構 造

この変圧器の設計においてとくに考慮をはらった点は、使用状態におけるコロナの発生を最小に抑えることであつた。このことは、試験用変圧器のように試験電圧と常規使用電圧の差が小さいものにおいて、また、とくにこの変圧器のように連続励磁という条件が要求されているものにおいて重要な点であるとともに、試験設備としても必要な条件である。このような観点から、油中課電部、気中課電部の処理については、十分の考慮をはらった。詳細については以下の各部の構造説明の中で触れることにする。

3.1 巻線構造

巻線は、試験用変圧器のもっとも重要な部分であるので、どのような巻線形式を採用すべきかについて慎重な検討を行なったが、結局、高圧側は機械的に強固で信頼度の高い円盤巻線を、励磁巻線は円筒巻線をそれぞれ採用した。この変圧器は試験用変圧器とはいいながら、8,000 kVA という大容量で、またインピーダンスも 7,500 kVA ベースで 20% という比較的低い値を指定されているので巻線構造としては電力用に近いものとなった。巻線の結線図と断面図は図 3.1、図 3.2 に示すとおりである。

高圧巻線は前述のように円盤巻で、図 3.2 からわかるように、線路側から中性点側に至るにしたがって高低圧巻線間の距離を縮小

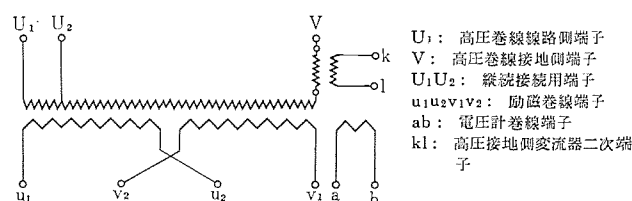


図 3.1 結線図

Fig. 3.1 Connection diagram of transformer.

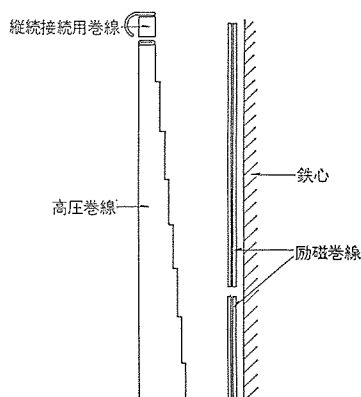


図 3.2 コイル 断面図
Fig. 3.2 Cross-section of coil.

した、いわゆる段絶縁構造となっており、これによって、巻線の占積率の向上とインピーダンスの減少をはかった。

縦続接続用巻線は容量が 500 kVA で、変圧器の容量 8,000 kVA に比して小さいので、高圧巻線の上部に配置した。

高圧巻線の設計で、もっとも問題となるのは線路側の処理である。これについては、線路側 コイル を絶縁 シールド によってシヤハイする方法をとった、高電圧課電部を絶縁を施した シールド でシヤハイすることは、充電部の曲率半径を大にする点、および充電部表面を誘電率が大きく絶縁耐力の高い固体絶縁物でおおうという点で、コロナ発生の抑制と絶縁距離の短縮に効果的であることはよく知られているとおりで、プッシングの油中側端子や、エレファントプッシング 油中 ケーブルヘッド などの シールド に広く使用されており、この変圧器においても、高圧巻線線路側にこの構造を採用したわけである。

この変圧器の高圧巻線の頭部の構造は、図 3.3 に示すとおりである。すなわち最高電圧部は、アルミ 製電極を クレープ 紙で絶縁した シールド でシヤハイを行なった。この シールド は図 3.3 からわかるように、コイル 外側においては縦続接続用巻線をおおうような構造となっており、また内側(励磁巻線側)では、構造上の制約で外側と同構造をとれなかったため、その代りに第 1 コイル 最内側 ターンは銅丸棒を クラフト 紙で絶縁したものを使用して、電界の集中を防止した。

縦続接続用巻線は、上側は前述のシールドによって、下側は静電板によってはさまれているので、 U_1 端子から衝撃電圧が侵入しても、縦続接続用巻線端子間にはほとんど電圧がかからないことになるが、back-up のために アレスタ (高圧 プッシング 頭部 シールド 中に内蔵) によって保護されている。

高圧巻線の各 コイル は、水平油 ギキ によって絶縁されているが、線路端に近い油 ギキ は衝撃電圧試験に対して、接地端に近い油 ギキ は 1 コイル の巻数の大きいことから誘導電圧試験に対して、それぞれ苛酷となるため、大きな油 ギキ を必要とするが、この巻線では当社鉄心変圧器に使用されている技術を応用して、テパダクトを使用し、巻線占積率の向上をはかった。なお高圧巻線接地側

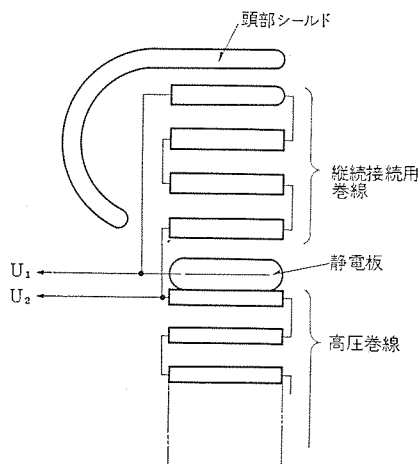


図 3.3 高圧巻線頭部詳細図
Fig. 3.3 Detail of the top HV winding.

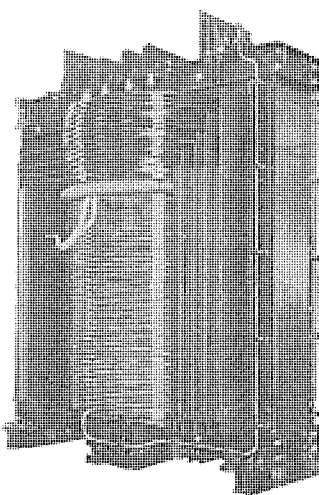


図 3.5 コイル、鉄心の外観
Fig. 3.5 Core-coil assembly.

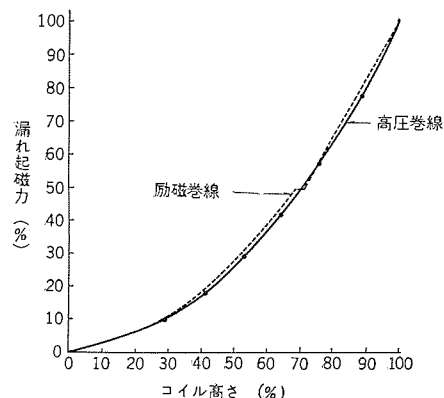


図 3.4 コイル 高さ方向における半径方向洩れ起磁力分布
Fig. 3.4 Distribution of radial leakage ampere-turn along coil axis.

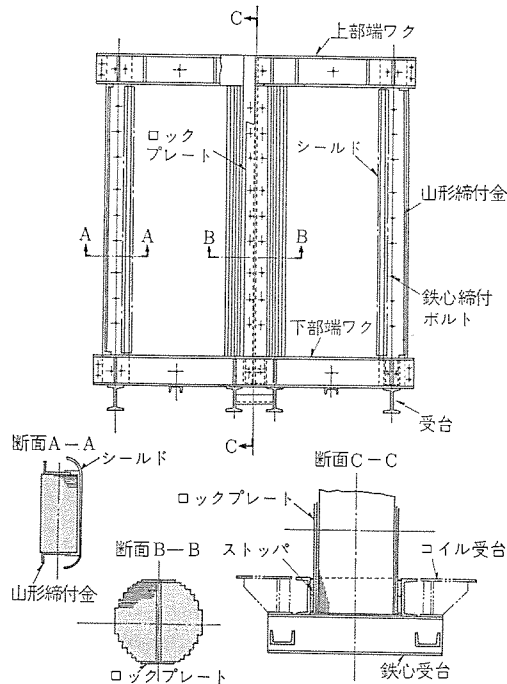


図 3.6 鉄心組立図
Fig. 3.6 Core assembly.

は、充電電流測定用変流器を通して接地されているが、変流器が巻線形であるため、 U_1 端子から衝撃電圧が侵入してきた場合に、変流器端子間に過大な電圧がかかるおそれがあるので、並列に保護間ゲキをそう入した。

励磁巻線は円筒巻であるが、高圧巻線が前述のように段絶縁構造で、半径方向の漏れ起磁力分布が直線的ではないので、励磁巻線も高圧巻線とはほぼ同様のアンペアターン分布を有する巻き方を採用し、ウズ電流損の減少をはかった(図 3.4)。なお励磁巻線を直並列切換することにより、高圧側を 500 kV 7,500 kVA/250 kV 3,750 kVA の二種類に使用できる。

電圧計巻線は高圧巻線の下部に配置し、全 コイル を上下よりラレシヤリングによって締めつける構造とした。

3.2 鉄心構造

鉄心は、図 3.5 図 3.6 に示すように三脚鉄心を使用し、コイルは中央脚にのみ巻かれる。鉄心各部の断面は中央脚円形(段付)、両側脚および継鉄部は方形である。コイルは高電圧、大容量のため非常に大きいうえにさらに鉄心に対し絶縁距離も大幅に要求される。したがって、鉄心の窓は断面積の割に大きく、電力用の変圧器に

比較して不安定なものとなる。このため両脚鉄心には山形締付金を使用して垂直に立つよう補強し、中央脚にはロックプレートで締付けるなど構造上の考慮をはらった。

鉄心は断面積が大きくなると熱放散が悪くなるので、鉄心内部に油ゲキを設けるが、通常、鉄心には成層と平行に入れるのが工作上便利であった。鉄心の熱伝導は成層に平行な方向のほうが、垂直な方向よりも効果的であることから、中央脚を二分割し油溝を設けた。また他に分割の利点として工作上において、幅の広い鉄心を使用することは取扱いその他が困難であり、材料面でも歩留が良くなる。

分割した2組の鉄心は、それぞれ上下端ワックにより結合する。中央脚は分割した鉄心を一体とするためと、この鉄心間に、冷却のための間ゲキを保たせる目的でロックプレートを使用した。またロックプレートは軸方向の機械力に対しても十分耐える強度をもち、両端は上下端ワックにロックされている。両脚鉄心についても同様に山形締付金は機械的強度をもっている。

端ワックは鉄心の継鉄部を締付けるとともにロックプレートおよび山形締付金をロックするストッパーを持っているので、これが中身吊上げに際しては下部端ワックに取付けた受台が鉄心およびコイルの重量を受け、下部端ワック、ロックプレートおよび山形締付金、上部端ワックを介して吊上げ金で吊上げられる。

このような構造にすると中身吊上げおよびコイル締付に対しても端ワック、ロックプレートなどが直接機械力を受けるので、鉄心各部ならびに鉄心を貫通する締付ボルトには悪影響を及ぼすことがない。

また鉄心を締付けるための穴は鉄心の磁気特性を低下させるのでボルトの大きさ、個数ともに減少させた。

両脚の鉄心内側には、コロナ抑制のためシールドが設けられている。



図 3.7 500 kV “OT”
形 コンデンサブッシング
Fig. 3.7 Type OT
500 kV condenser
bushing.

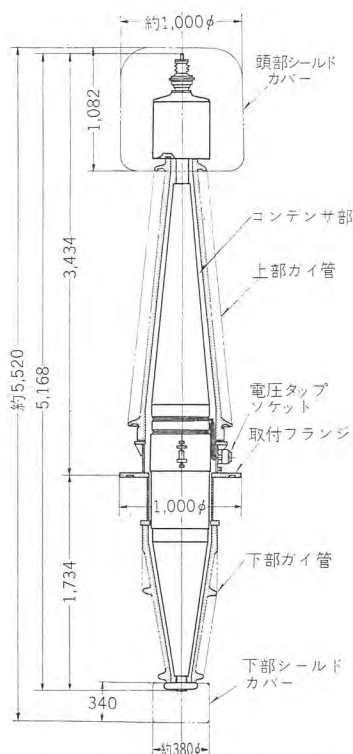


図 3.8 500 kV “OT” 形 コンデンサ
ブッシング 構造図
Fig. 3.8 Constructional detail of type
OT 500 kV condenser bushing.

3.3 ブッシング

当社標準の“OT”形密封式 コンデンサブッシングの構造、特性などについては、すでに本誌に詳細報告されておるがその特長について簡単に説明する。

“OT”形は従来のコンデンサブッシングの特長のうえにさらに現在外国著名メーカが採用している中心締付方式 (Centre clamping system) を採用しておる。この方式は中心導体を利用して、頭部膨張室内に装置された数個の強力なスプリングの圧縮力によって各部のパッキンを締付けているもので、この方式の利点として、構造部分の熱的膨張に対する気密保持が容易にしかも完全に行なえる。また、ガイ管には圧縮力のみ働き、ガイ管セメント付けのように、ボルト締め不均一によるガイ管破損の問題は起こらない。その他多くの利点をもっている。

以上のようにすぐれた特性をもつ“OT”形を採用した高圧側ブッシングは、さらに試験用変圧器の仕様に合わせ、とくに内部コンデンサ部および頭部、下部課電部からのコロナの抑制に留意し、絶縁耐力に十分な安全度をとるように製作した。

以下このブッシングの概要について説明する。

図 3.7、図 3.8 は外観および構造図である。頭部、下部課電部の詳細は図 3.9、図 3.10 に示す。

(1) コンデンサ部

コンデンサ部はブッシング中心導体の周囲に同心状に絶縁物と金属ハクを交互に巻いて成形し、のち真空乾燥、脱気絶縁油の圧入という工程で完成する。この“OT”形ブッシングのコンデンサ部は絶縁物にかかる電圧を等分化し、絶縁物の利用率を向上して、貫通破壊電圧を上昇させるとともに、一方軸方向の電位分布を矯正して沿面セン絡電圧も向上させたものであるが、試験用変圧器の場合電力用と異なり短時間定格とはいえ常規使用電圧が高く、各層の金属ハク端からのコロナ発生が懸念されるため、層数を有効に設計し、各層の金属ハク両端に高抵抗の半導体テープを巻き電界分布を改善し、各層間の表面セン絡電圧値を上げるようにした。

(2) 頭部課電部

図に示すようにコロナ抑制に必要な曲率半径をもって製作され

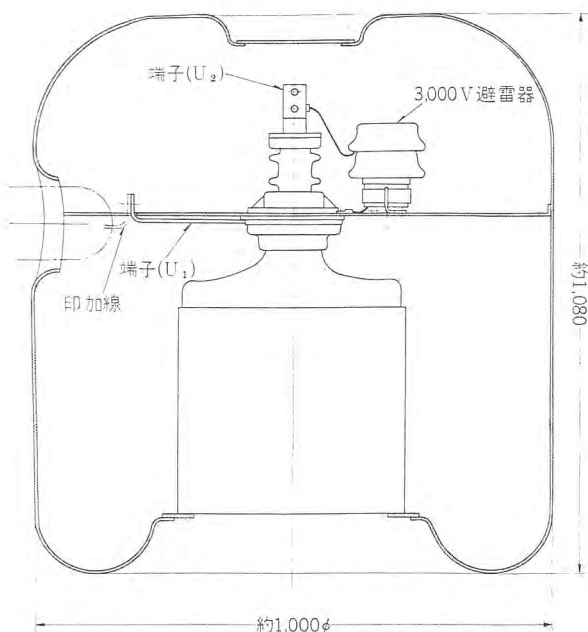


図 3.9 頭部課電部
Fig. 3.9 Top live part.

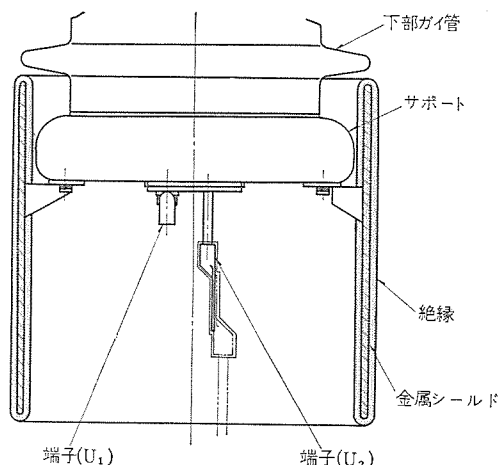


図 3.10 下部課電部
Fig. 3.10 Bottom live part.

た アルミ 製 シールドカバー で、膨張室、カスケードタツプ 口出用 ガイ 管、アレスタ などが完全におおわれており、試験電圧において コロナ の発生は認められなかった。

(3) 下部課電部

一般に油中に金属を露出させた課電部を設けることは、高電圧の場合この部分より コロナ が発生しやすくこれが ガイ 管表面のセツ絡の原因となる。このため油中 コロナ 抑制の一方法として、高電圧の油中貫通 プッシング、油中ケーブルヘッドなどに採用されている方法により、下部課電部を シールド した。

概造は図 3.10 に示すように、金属 シールド の表面に油浸 クラフト紙を巻いた。この シールド 方法によって従来課電部とタンク側板の間にそう入されていた絶縁 パリヤ を使用せずしかも絶縁距離を短縮することを可能とした。

(4) その他

試験用変圧器に カスケードタツプ が設けられているためその口出端子を プッシング 頭部に取付け、変圧器巻線 タツプ から絶縁電線により プッシング 中心導体の内側を通して頭部端子に接続している。中心導体内は絶縁電線と導体の間にさらに フェノールレジン 積層管をそう入し絶縁を強化した。

口出端子用 ガイ 管には異常 サージ に対する変圧器 カスケードタツプ巻線保護の目的をもって LV-G 形 オートバルブ 避雷器を取付けている。

以上のように試験用変圧器の高圧側 プッシング は、標準電力用に比較して多くの相違点をもっており、外観的には普通の油入 プッシング に似た長さの割に径寸法の大きい形状になっているが、これは前述のように常規使用電圧が試験電圧とほとんど同じで、衝撃電圧値がそれに比べて低いという仕様によるものである。

3.4 外部構造

試験用変圧器は鉄心と コイル を組立てた、いわゆる中身をタンクに納め、カバー 上に プッシング を直立させたもので、外観的にはもっとも簡単な構造である。

従来製作した試験用変圧器は タンク の製作を容易にするため円

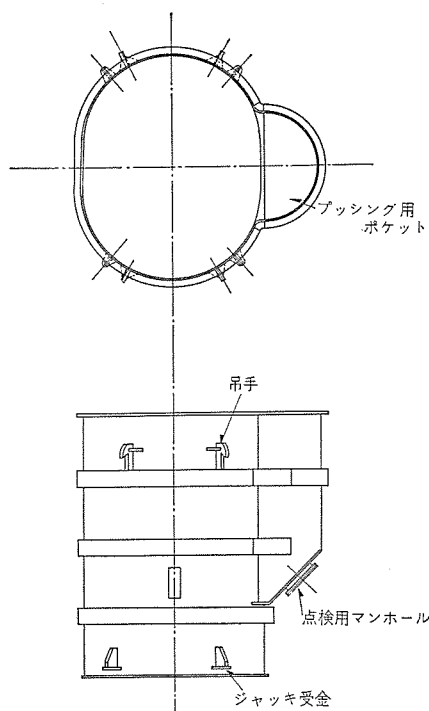


図 3.11 タンク
Fig. 3.11 Tank.

筒形を使用していたが、大型のものに対しこのような単純な形状を採用しては、不要な個所の油量が増加し重量も相当重くなる。

ここに製作した試験用変圧器の タンク は、図 3.11 に示すように、中身にもっとも適切な小判形とし、プッシング 取付個所にポケットを設けて、油量の減少ならびに重量の軽減をはかった。

外部付属品としては、カバー 上部に コンサバータ、放圧弁を プッシング と十分な絶縁距離をとって配置し、タンク 側面には呼吸用 ブリーザ、温度計、油 コシ 弁、吊手などが設けてある。

工場で完成した変圧器は輸送のため、プッシング を取りはずし、絶縁油を抜き、タンク 内部に窒素を封入して トレーラ で輸送した。

4. 試験 結果

工場試験においては、指定の絶縁耐力試験に問題なく合格したとくに 550 kV 誘導電圧試験において油中 コロナ が検出されなかったが、このことから設計において corona-free の目的で施こした各種の方法が、十分その目的を達したものと考えられる。

5. む す び

当社で最近完成した 500 kV 8,000 kVA 試験用変圧器について、その概要を述べた。この変圧器は大容量高電圧の点で試験用変圧器として記録的な製品であり、この変圧器を製作する機会を与えられた大日電線株式会社関係各位に対し、深甚な謝意を表するとともに、今後とも研究に努め、優秀な試験設備の製作に微力をつくしたいと考える。

真空スイッチ

伊藤利朗*・大倉敏幹**

Vacuum Switches

Research Laboratory

Toshio ITÔ・Toshimiki ÔKURA

In spite of early discovery, vacuum switches have made a very slow progress because of their many drawbacks. Mitsubishi has made a basic study on them, bringing a number of unknown facts to the light. This paper deals with various phenomena of such as electrical breakdown, arcing, circuit interruption and emission current prior to breakdown with physical explanations to the possible extent as a result of experiment. Vacuum switches have many marked advantages. If the defects now experienced are got over, they will make effective power switches. Judged from the experiments and study on them, it is very likely that the day will not be very far when they will be put to practical use.

1. ま え が き

真空スイッチとは、一對の可動および固定接点を真空容器中对向させた簡単な構造のスイッチであって、これが電気回路の開閉に対して非常に力のある特性を有していることが発見されたのは、今から半世紀以上も前のことである⁽¹⁾。その後、1920年代に、アメリカで、電力スイッチとしての可能性を検討するための一連の実験が行なわれたが⁽²⁾、真空技術未発達ゆえに実用化されるには至らなかった。

しかし最近における真空技術の発達とともに、次第に信頼度の高いスイッチの製作が可能となった。そして1950年代に至って、断路器、コンデンサバンクの開閉用スイッチとしての使用⁽³⁾をはじめとして、ERAにおける10 kA、3.8 kVのシャ断成功⁽⁴⁾、さらにごく最近ではGE社における40 kA、15.5 kVのシャ断成功⁽⁵⁾を聞くにおよび、現在では大電力用として実用化される可能性が次第に濃厚になりつつある。

真空スイッチの内部で生じる現象は、一見非常に簡単にみえるが、電極を構成する金属の種類、その表面状態あるいは内部に含有される不純物などに複雑に影響されるので、比較的簡単な現象である間ギャクの絶縁破壊現象一つを取り上げても、不明な点が多く残されている。ましてや真空中アークに関しては、圧力が不定で、物理的な諸定数に不明な点が多い金属蒸気中に発生するものであるために、定まった圧力を有する気体中アーク以上に未知な事柄が山積している。

最近当社においても真空スイッチの基礎的な研究を行っており、真空スイッチの特性をある程度明らかにすることに成功している。

われわれの得た実験結果およびすでに内外で発表されている種々の実験結果を紹介して、真空スイッチで生ずる複雑な現象の一端を明らかにするのがこの報告の目的である。

2. 真空スイッチの概念

気体中の絶縁破壊が「間ギャクに存在する原子の電子衝突によるイオン化、生成イオンの電極衝撃による電子放出」という過程を経て行なわれる「Townsend なだれ」に基因することは古くから知られた事実である。そして間ギャクの絶縁耐力と pd (p は圧力、 d は間ギャク長)との間に一義的な関数関係を提唱するpaschenの法則が成立することは周知の事柄である。しかしながら圧力が低

下し、気体の平均自由行程が容器の一次的な大きさ以上になると、電子は衝突なく電極間を走行するので、いかなる条件でも「Townsend なだれ」が見られなくなる。その結果高気圧のもとで観測される絶縁破壊とは根本的に異なる現象を呈するようになり、間ギャクは圧力と無関係に大きな絶縁耐力を持つようになる。

このように「気体の平均自由行程が間ギャクを包む容器の一次的な大きさ以上であるように真空度が高められているスイッチ」を真空スイッチという。通常の真空スイッチでは真空度の限界は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ mm Hg であるとされている。

3. 暗 流

真空間ギャクの特性と大気中のそれとの大きな相違の一つは、絶縁破壊前に流れるいわゆる暗流の大きさがいじりく異なることである。

図3.1(a)はタングステン電極およびステンレス電極(いずれも試験前に火花放電で十分にコンディショニングされたもの)の短間ギャクで観測される暗流と端子電圧との関係を示したものであり、同図(b)は交流高電圧を印加した場合に流れる暗流を示したものである。

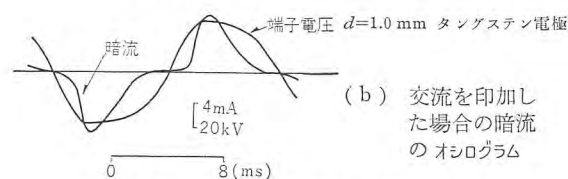
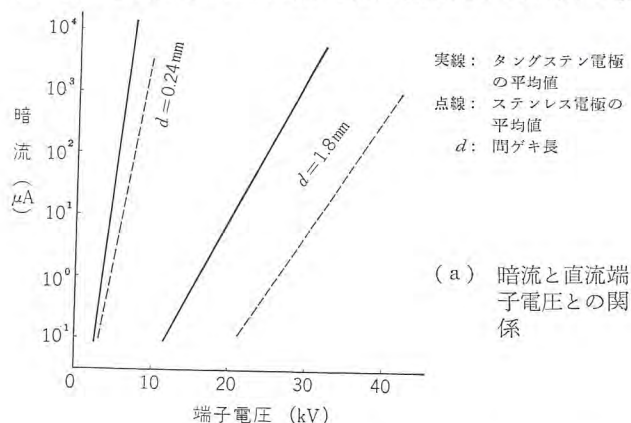
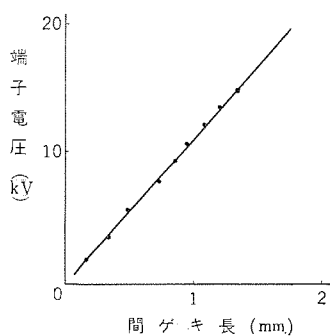
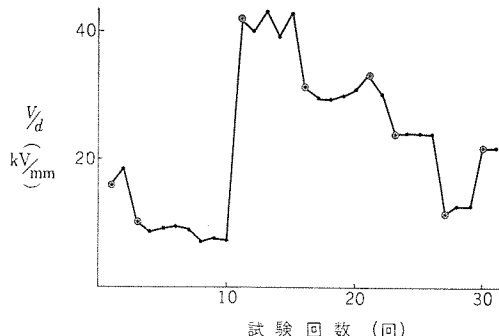


図 3.1 暗流と端子電圧との関係
Fig. 3.1 Relation between emission current and terminal voltage.



(a) 一定の暗流(図は $10\mu\text{A}$) を与える間ゲキ長と端子電圧との関係の一例(ステンレス電極)



(b) 一定の暗流を与える ($10\mu\text{A}$) V/d の試験回数による変化(ステンレス電極. $\odot$ は絶縁破壊させ電極の表面状態を変化させた点)

図 3.2 暗流の特性 Fig. 3.2 Characteristics of emission current.

(注) Fowler-Nordheim は金属電子のエネルギー分布に Fermi-Dirac の統計を仮定し、金属内部から表面電位障壁に到達する電子の数を計算している。そしてシュレディンガーの微分方程式を解き、表面障壁を通過する電子の数を求め、到達電子の数と通過確率との積を全電子エネルギーで積分することによって、次の近似式を得ている。

$$i = \frac{4\sqrt{\mu\phi}}{\mu + \phi} \cdot \frac{e^3 F^2}{8\pi h \phi} \exp\left(-\frac{8\pi\sqrt{2m}}{3heF} \phi\right)^{\frac{3}{2}}$$

ここに μ は導電帯の底部を基準とした

Fermi エネルギー準位であり、 e は電子の電荷、 ϕ は仕事関数、 F は電位傾度、 h はプランクの定数、 m は電子の質量である。

ただし上式では Fermi 準位以上の準位にある電子の存在確率を無視しているため、適用範囲はせいぜい常温程度である。表面温度が 1000°K を超えると、Fermi 準位以上の準位にある電子の存在を考慮した別の理論 (T-F エミッション) が必要である。

る。数 μA 以下の暗流で絶縁破壊が生ずる気中間ゲキとは異なり、絶縁破壊なしに数 mA から数百 mA の大きな暗流が観測されている。

図 3.2 (a) は電極の表面状態を一定のままにして、一定の暗流を与える間ゲキ長と端子電圧との関係を図示したものである。端子電圧 V と間ゲキ長 d との間に直線関係が成立し、 V/d が同一の場合には同一の暗流が観測されることを示している。図 3.2 (b) は絶縁破壊によって電極の表面状態を変化させた場合に生ずる「 $10\mu\text{A}$ の暗流を与える V/d の値」の変化を示したものである。真空間ゲキ内の平均電界強度と電極の表面状態のみの関数であることが明らかにされている。

真空間ゲキを流れる暗流に関する研究の歴史は古く、金属表面からの Cold Emission の量子力学的な理論はすでに 1930 年ごろに Fowler-Nordheim⁽⁶⁾ などによって確立されている(注 1)。さらに 1940 年代に発達した Field Emission Microscope⁽⁷⁾ によって、細長い金属先端の電界分布の様相が明確にされるにおよび、現在では実験的にも完全に確認されている⁽⁸⁾。

しかしながら、我々が実験に供した平板平行電極の場合にはつぎのような点で Fowler-Nordheim の方程式による理論値と実験値とはかなりの相違を示している。

a. 間ゲキの平均電位傾度 V/d をそのまま Fowler-Nordheim の方程式に適用して得られる計算値は、実験値の 10^{-3} 倍以下である。逆にたとえば図 3.1 (a) の実験値を Fowler-Nordheim の方程式から与えるためには、間ゲキの平均電位傾度 V/d の数十倍の電位傾度を陰極表面に仮定する必要がある。

b. Fowler-Nordheim の方程式から予測される $V-I$ 特性は間ゲキ長一定の場合

$$\log(I/V^n) = A - B/V$$

ここに A, B , は定数、 n は 2 に近い定数でたとえば平面電極表面に回転長円体状突起を仮定すると $n=3$ となる。

のような特性を有し、 $\log(I/V^n)$ と I/V との間には直線関係が存在するが、実験結果では広範囲にわたる直線関係が認められない。

以上のように実験結果と理論値の間には、かなり大きな相違が存在する。a. で述べた相違に対しては、陰極表面上にせん鋭な突起を仮定して、それによる電界強度の拡大を考え、また b. で述べた相違に対しては突起先端の温度上昇、あるいは突起近傍の空間電荷を仮定することによって、理論と実験との橋渡しができる可能性はあるが、現在のところ十分な説明は得られていない。

いずれにしても真空間ゲキではかなり大きな暗流が観測されるので、耐圧以下の端子電圧で絶縁物として使用する場合には暗流に対する考慮が必要である。

4. 真空間ゲキの絶縁破壊

前節で述べた暗流がある値に達すると、間ゲキは絶縁破壊を起こす。図 4.1 (a) および (b) は、十分にコンディショニングされたタングステン電極の中間周波電圧(立上がり時間 $0.6 \sim 1.3 \text{ kV}/\mu\text{s}$) に対する絶縁破壊電圧および絶縁破壊寸前の電流値を示したものである。また図 4.2 は、十分にコンディショニングされたステンレス電極の直流耐圧を示したものである。タングステン電極の短間ゲキでは耐圧は間ゲキ長にほぼ比例し、またステンレス電極では間ゲキ長の約 0.6 乗に比例している。図 4.3 は間ゲキ長一定の状態で、商用周波数電圧に対する絶縁破壊電圧と真空度との関係を求めたものである。 $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{ mm Hg}$ の広範囲の真空度で耐圧の変化は認められない。

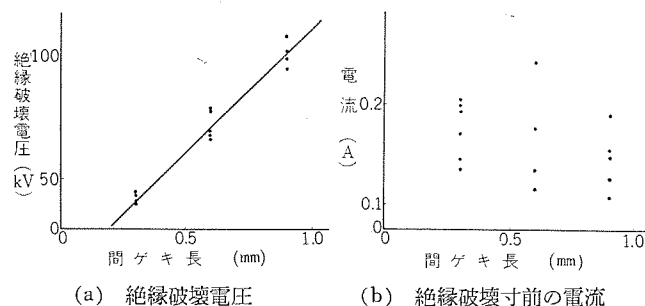


図 4.1 真空間ゲキの絶縁破壊電圧と絶縁破壊寸前の電流(タングステン電極)

Fig. 4.1 Breakdown voltage and prebreakdown current of a vacuum switch. (tungsten electrode)

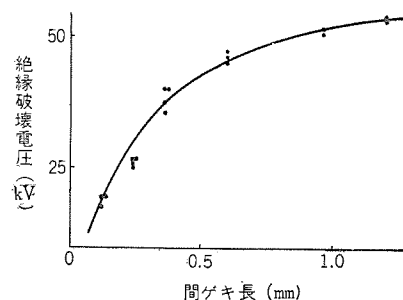


図 4.2 間ゲキ長に対する直流絶縁破壊電圧(ステンレス電極)

Fig. 4.2 Gap length v.s. DC breakdown voltage. (stainless steel electrode)

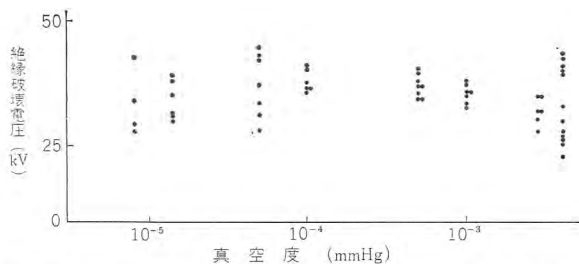


図 4.3 真空度と交流絶縁破壊電圧の関係 (ステンレス電極)
Fig. 4.3 Degree of vacuum v.s. AC breakdown voltage.
(stainless steel electrode)

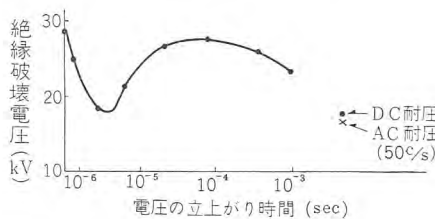


図 4.4 電圧の立ち上がり時間と絶縁破壊電圧の関係 (ステンレス電極間ギャップ長 0.1 mm)
Fig. 4.4 Rising time of voltage v.s. breakdown voltage.
(stainless steel electrode)

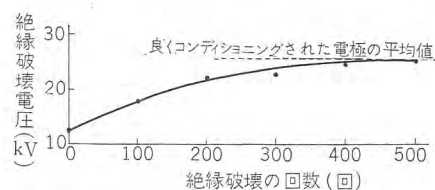


図 4.5 絶縁破壊電圧と破壊回数との関係
Fig. 4.5 Breakdown voltage as a function of number of breakdown.

真空間ギャップの耐圧は、印加電圧の立ち上がり時間によって大きく変化する。図 4.4 は間ギャップ長 0.1 mm のステンレス電極における、絶縁破壊電圧と印加電圧の立ち上がり時間との関係を示したものである。数 μ s の立ち上がり時間で最低耐圧を呈している。

また間ギャップの耐圧は絶縁破壊の回数とともに増加する。図 4.5 は同一の間ギャップ状態 (ステンレス電極、間ギャップ長 0.1 mm) で、間ギャップの中間周波電圧に対する耐圧が絶縁破壊の回数とともに増加する様相を示したものである⁽⁹⁾ (試験間隔約 30 秒)。初期状態ではかなり低い耐圧を示すが、数百回の破壊で、ある一定値に収束している。

真空間ギャップの絶縁破壊現象に関する研究の歴史は古く、Cranberg の理論⁽¹⁰⁾、暗流による陰極突起の抵抗加熱説⁽¹¹⁾、電子イオンの増殖作用説⁽¹²⁾、暗流が構成する電子ビームによる陽極加熱説⁽¹³⁾、そのほか各種の理論が提唱されている。これらの理論の詳細についてはここで述べる余裕はないが、とくに Cranberg の理論は、現在でも比較的支持者が多いので、以下に簡単に説明する。

さて真空間ギャップの単位長あたりの耐圧は、一般の気中間ギャップのそれとは異なり、たとえ平等電界の場合でも、間ギャップ長の増加とともに減少する。この現象を「全電圧効果」という。

Cranberg は 1950 年ごろまでに得られた多くの実験結果を整理した結果、この全電圧効果が、次式のような形で表現できることを発見し、つぎのような理論を提唱した。

$$V \cong Cd^\alpha \quad (4.1)$$

ここで V は絶縁破壊電圧、 d は間ギャップ長、 C は電極材料によ

って定まる定数であり、 α はほぼ 0.5 に等しい無次元数である。

金属表面には弱く付着した多くの金属微粒子が存在する。電極に電圧が印加されるとこれらの粒子は静電力によってもぎ取られ、表面に存在する電位傾度按比例する電荷密度で帯電されて金属表面から脱出する。遊離した金属塊は電界によって加速され、もう一方の電極に衝突して崩壊する。そして被衝突電極は衝突粒子の有する運動エネルギー、すなわち被衝突電極単位表面積あたり $VE/4\pi$ (V は極間電圧、 E は粒子が付着していた電極表面の電位傾度) なるエネルギーを受けて加熱される。このエネルギーがある限界値、 $C'/4\pi$ を越えると電極は蒸発点以上に加熱され、絶縁破壊を起こす。すなわち Cranberg の理論によれば絶縁破壊に対する条件は次式で与えられる。

$$VE \geq C' \quad (4.2)$$

一方電極表面の電界 E は V/d に比例する (電極表面が完全に平坦な場合には E は V/d に一致するが、表面にオウツがある場合には一致しない) ので、この関係と式 (4.2) から E を消去することによって式 (4.1) が得られる。ただし式 (4.1) の C は電極材料および表面状態に依存する定数であり、通常 $1.5 \sim 6 \times 10^{12}$ V^2/m なる値を有している。

上述のように Cranberg の理論は非常に単純な理論ではあるが、1 mm 以上の長間ギャップでは、絶縁耐力と間ギャップ長との関係に対する比較的よい近似式となるので、現在でもこの説を支える人がかなりある。しかし「電圧上昇率と破壊電圧との関係」「短間ギャップでは α が 0.5 に一致しないことが多いこと」などの前述の短間ギャップに対する実験結果を説明できないという欠点はある。

前述のように真空間ギャップの絶縁破壊現象に関してはすでに多くの説が提唱されているが、それらはいずれも広範囲の条件における絶縁破壊現象を十分に説明するものではなく、完全な解明は今後の研究に待つところが多い。

要するに、真空短間ギャップは現存する最高の絶縁体であるが、間ギャップ長の増加とともに単位長あたりの絶縁耐力が減少するので、数 mm 以上の長間ギャップでは、高気圧気体絶縁体にその座を譲るようになる。

5. アーク現象

電流通状態では接点を開極すると、アークが発生する。高気圧中のアークとは異なり、電極から放出される金属蒸気中でアークが形成されるので、その特性はたとえば大気中アークのそれとは非常に異なっている。

5.1 各種の実験結果

(1) アーク電圧

図 5.1 は商用周波数電流に対するタングステン電極のアーク電圧

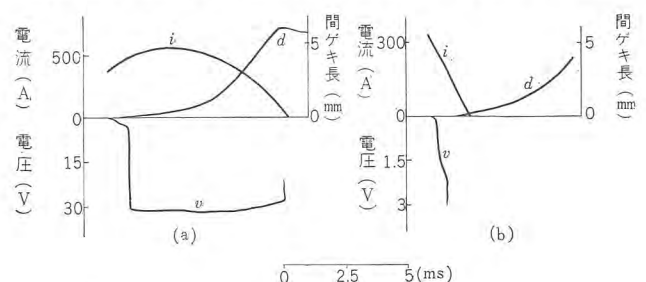


図 5.1 電流およびアーク電圧のオシログラム (タングステン電極)
Fig. 5.1 Oscillograms of arc voltages and currents.
(tungsten electrode)

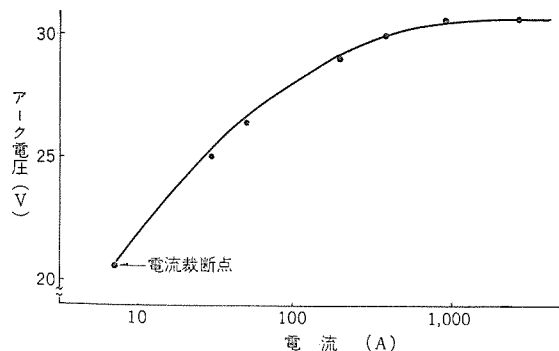


図 5.2 電流対 アーク 電圧特性
(タングステン 電極, 間 隔 長 0.2 mm)
Fig. 5.2 Voltage vs current characteristic of tungsten electrode. (gap length 0.2 mm)

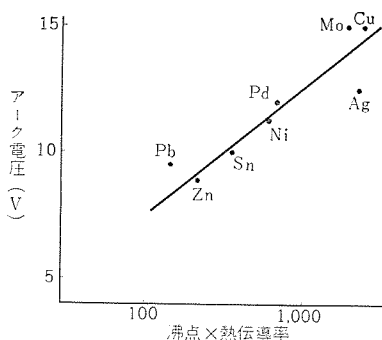


図 5.3 各種陰極材料の温度特性
と アーク 電圧との関係
Fig. 5.3 Arc voltage v.s. thermal properties of various cathode materials.

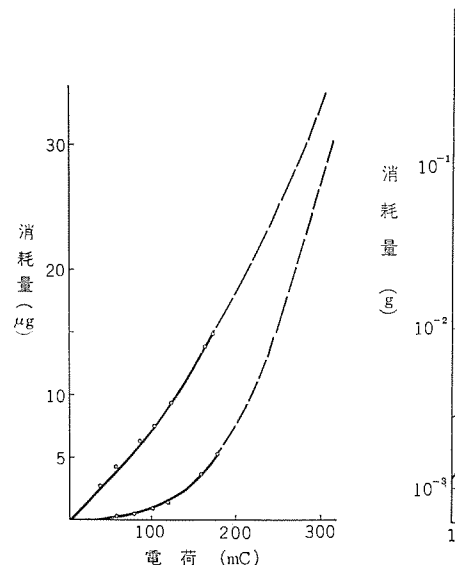


図 5.4 真空中の消耗度と気中のそれとの比較 (点線は実験結果延長したもの)

Fig. 5.4 Arc erosion in vacuum as compared with that in atmospheric air.

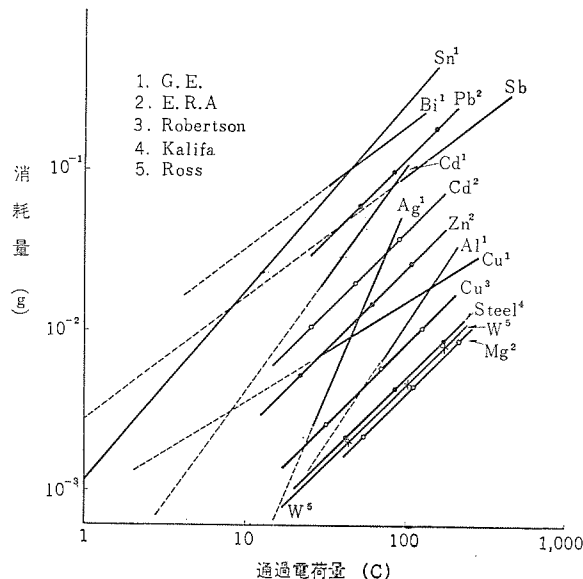


図 5.5 各種陰極材料の消耗度
Fig. 5.5 Arc erosions of various cathode materials.

(2) アーク による電極の消耗
真空 アーク による接点の消耗は真空 スイッチの性能を決定する重要な要素である。そこでたとえば真空 アーク における消耗と大気中 アーク による消耗とを比較すると、図 5.4 のような傾向が得られる。図は鋼電極における消耗度を、200 A 程度の電流値で比較したものである⁽¹⁴⁾。図に示すように小電流、短時間の アーク では、真空中 アーク の消耗度は大気中 アーク のそれに比してはるかに大きい。しかし真空中 アーク では消耗量が、通過電荷量の約 1 乗に比例するのに対して、大気中 アーク では少なくとも少通過電荷量の範囲では通過電荷量の数乗に比例するので、電荷量の増加とともに前者と後者との比は小さくなる。そして 400 ミリクーロン 以上では、ほとんど同程度の消耗度を呈するようになる。図 5.5 は文献を参照して⁽⁴⁾⁽¹⁵⁾、各種の陰極材料の消耗度を示したものである。

(3) 電流裁断現象

一般の高気圧 シャ 断器で交流電流を シャ 断すると、電流 ゼロを待って シャ 断が行なわれるが、真空 スイッチでは電流 ゼロを待たずして、ある一定の電流値で電流が裁断される。この現象は真空 スイッチに特有なものであるが、裁断電流が大きい場合には回路の サージインピーダンス (回路の インダクタンス と浮遊容量の比の平方根) と裁断電流値との積で与えられる異常電圧がかなり大きな値に達するので、真空 スイッチ の重大な欠点の一つとされている。

当研究室でも、各種の電極材料について商用周波電流に対する裁断電流特性を詳細に調べた結果、観測される裁断電流値は電極材料に固有な値であり、間 隔 長, シャ 断電流値に無関係なものであることを明らかにしている。さらに ERA, GE における最

表 5.1 各条件における シャ 断能力

材 料	裁断電流(平均値) A	間 隔 長 mm
Mo	14	
W	9.2	
Ag	6.0	
Cu	4.0	
Al	2.8	
Sn	1.9	
Sb	0.5	3
(陰極 陽極) Sb Mo	0.5 以下	14
(陰極 陽極) Mo Sb	0.8	3
	3.2	14

の オシログラム である。同図(a) に示すように アーク 電圧は電極開極直後を除けば、開極距離, アーク 電流に無関係に 25~30 V 程度の値を示している。同図(b) は増幅器の感度を上げて、開極直後の低い値を拡大した オシログラム である。一般に開極直後の開極距離のごく短い時点で 2~3 V の低い値を呈したのち、不連続的に 25~30 V に上昇する傾向が見られる。Ross⁽³⁾ はこの現象が、短間 隔 長における連続的な電界放出電流の状態から、通常の間 隔 長における金属蒸気中の イオン 電流への推移によるものと解釈しているが、詳細については不明である。図 5.2 は タングステン 電極, 間 隔 長 0.2 mm の場合の電流対 アーク 電圧特性を示したものである。電流値の増加とともにわずかに変化する傾向が見られる。

図 5.3 は各種金属(陰極) の数 A 以下の小電流値における アーク 電圧と沸点×熱伝導率との関係を示したものである。アーク 電圧と沸点×熱伝導率との間には相関関係があり、この積が大きいほどアーク 電圧が高くなる傾向が見られる。なお電流数 A 以下のアーク 電圧には非常に大きな高周波振動が重畳するが、図 5.3 はその直流分を示したものである。

なお陰極を二つの異なる金属で構成した場合には、陰極降下が低い物質のほうに アーク が転移するという選択性 アーク の特性を呈することも真空中 アーク の一つの特長である。

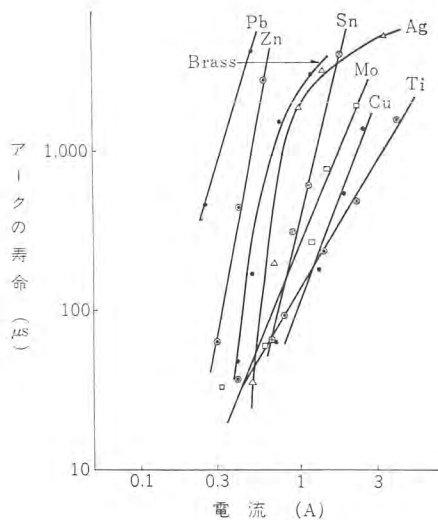


図 5.6 各種の陰極材料におけるアークの平均寿命
Fig. 5.6 Average arc lifetime of various cathode materials.

近の詳細な研究⁽¹⁶⁾によって、「陰極材料の熱伝導率と蒸気圧との比」と裁断電流値との間に関数関係があり、この比が小さいほど裁断電流値が低いことが明らかにされている。表 5.1⁽¹⁷⁾ は各種の陰極材料の裁断電流値を示したものである。モリブデン・タングステンなどの難溶性金属がもっとも高い裁断値を示し、銀・銅などの熱良導体がつぎに大きい裁断電流値を示している。

なお電流裁断現象とは「ある電流値を境としてそれ以上の電流値ではアークは安定に存在し、それ以下では存在し得ない」という現象ではなく、「アークの平均寿命が電流値の減少とともに短くなる」という現象である。したがって交流電流で見られる裁断電流値以上の直流アークの場合でも、アークは永久に存在するのではなく電流値の関数として、ある時間を経過すれば必ず消滅する。図 5.6 は各種の陰極材料におけるアークの平均寿命に関する当研究室における実験結果を図示したものである。

5.2 陰極における現象の理論的考察⁽¹⁸⁾

陰極における電子放出現象については、沸点の低い金属に対する電界放出説、高沸点金属に対する熱電子放出説などが提出されてきたが、いずれの説も各種の実験結果を合理的に説明するまでには至らなかった。しかし最近 Lee などが、Dolan および Dyke によって提唱された電界放出説と熱電子放出説とを結合したいわゆる T-F エミッション説を検討した結果、ある程度合理的な説明を与えることに成功している。そこで以下に、簡単に T-F エミッション説を解説しよう。

(1) 一般化された電子放出 (T-F エミッション)

陰極温度が 1,000°K 以下で行なわれる電子放出はほぼ Fowler Nordheim の方程式を満足し (電界放出)、一方高温低電界では Richardson 方程式を満足する (熱電子放出) ことは周知の事実である。しかしアークの陰極点に、以上二つの放出機構のいずれかを適用する限りにおいては、一般のアークの陰極点で観測される高電流密度を十分説明することはできない。電界放出説および熱電子放出説の以上のような欠点を補なうために提唱されたのが T-F エミッション説である。すなわち銀あるいは銅などの比較的沸点の低い金属に対しても、大気圧における沸点以上の陰極点温度を仮想し、「フェルミ単位と真空単位との間に存在する電子が、陰極表面に存在する高電界で薄くなった障壁を、トンネル効果によって通

り抜けるため生ずる電子流」(通常 1,000°K 以下では無視できる) が、陰極点の電流密度に支配的な効果を与えるとするものである。このような仮定のもとでは、電界放出説、熱電子放出説よりもはるかに高い電流密度の説明が可能である。銅のような比較的沸点の低い金属に対して、3,000°K 以上の高温を仮定することには無理があるようにも思われるが、真空中のアークといえども、陰極点のごく近傍では蒸気圧が数気圧以上に上昇しうること、蒸発現象には時間遅れが存在すること、などで 3,000°K 以上の高温陰極点の存在が肯定される。

以上の T-F エミッションによって、陰極点における電流密度 J と温度 T および電界 E との間に、つぎのような関係が得られる。

$$J = f_1(T, E) \quad (5.1)$$

(2) 陰極表面上の電界強度

電流密度 J 、陰極降下 V_c 、全電流密度に対する電子電流密度の割合 s を与え、陰極降下部における粒子の衝突を無視すると、陰極表面における電位傾度 E が定まる。簡単のために陰極表面から垂直方向に一次元空間を仮定すると、次式に示すような Mackeown⁽²²⁾ の関係式が得られる。

$$E = \frac{4}{\epsilon_0} J \left\{ (1-s) \left(\frac{M}{2e} \right)^{\frac{1}{2}} - s \left(\frac{m}{2e} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} V_c^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

ここに e は電子の電荷、 M および m はそれぞれイオンおよび電子の質量である。

なお式 (5.2) では粒子間の衝突を無視しているが、式 (5.2) を積分して得られる陰極部分の厚さ dc と、陰極表面近傍における粒子の平均自由行程 λ (陰極表面近傍で 10 気圧程度の圧力を仮想して得られるもの) がともに $10^{-6} \sim 10^{-5}$ cm 程度になることが推定されるので、この近似が肯定される。

(3) 陰極におけるエネルギー平衡

陰極表面に高速のイオンが衝突、再結合しその運動エネルギーおよびイオン化エネルギーを失なうことによって陰極点を加熱する。一方陰極物質の蒸発、陰極点表面からの放射、金属内への熱伝導、金属表面からの電子放出などによって陰極点が冷却される。以上のような加熱作用と冷却作用が釣り合う条件で陰極点が安定に存在する。すなわち、

$$P_i = P_v + P_e + P_r + P_c \quad (5.3)$$

P_i は陰極点への単位面積あたりのエネルギー入力であり、イオン電流密度 J ($= (1-s)J$)、イオン化電圧 V_i 、仕事関数中および陰極降下 V_c の関数として次式で与えられる。

$$P_i = (1-s)J(V_i + V_c - \phi) \quad (5.4)$$

P_v は陰極物質の蒸発による熱損失であり、一般に陰極点温度 T のみの関数となる。

$$P_v = P_v(T) \quad (5.5)$$

P_e は陰極金属への熱伝導損失であり、定常状態にある場合、陰極点温度 T および陰極点半径 a のみの関数として、理論的に計算することができる。

$$P_e = P_e(T, a) \quad (5.6)$$

P_r および P_c はそれぞれ陰極点からの放射損失および電子放出による冷却損失 (フェルミ単位以上の単位にある電子の電流密度への寄与が優位を占める時には冷却効果となる) であるが、一般に P_v および P_e に比して無視できる。

結局エネルギー方程式が変数 T, a, s および J の間の関係を与える一つの関係式となる。

(4) 全電流 I と電流密度 J との関係

一般に陰極点上における電流密度は複雑な空間分布を呈するが、ここでは近似的に半径 a の陰極点で、一定であると仮定すると、

$$I = \pi a^2 J \quad (5.7)$$

となる。

(5) 原子対イオン平衡

陰極から蒸発によって放出される原子の流れ(単位時間、単位面積あたりに放出される原子の数を N_i とすると、 N_i は T のみの関数となる)がイオン化して、イオンの流れ(流れに垂直な単位断面積を通過するイオンの数は、 $(1-s)J/e$ が形成されなければならないので、原子の流れは少なくとも、イオンの流れよりも大きくなくてはならない。

$$(1-s)J/e \leq N_i(T)$$

$$\therefore s \geq 1 - \{N_i(T)e/J\} \quad (5.8)$$

以上、真空アークの陰極点上で発生している各種の現象を詳細に考察したが、これらを総合すると、つぎのような結論が得られる。

使用した変数は J, T, a, s , および E の5つであるが、これに対してこれらの変数の関係を与える4つの関係式、すなわち式(5.1)(5.2)(5.3)および(5.7)が存在する。したがって与えられた全電流 I に対して、たとえば J を与えれば、ほかの変数は一義的に定まる。図5.7の実線はこのようにして求められた、銅電極の s と I, J との関係を図示したものである。一方式(5.1), (5.2)

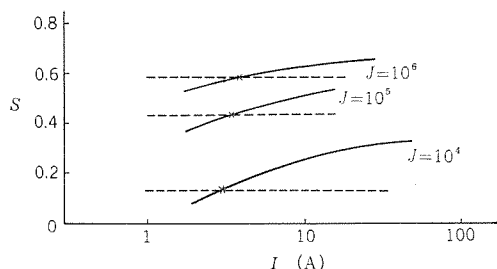


図 5.7 I, J, s の関係 (銅電極)

Fig. 5.7 Relation among I, J , and s . (copper electrode)

(5.3) および (5.7) から得られる、 J, I の関数としての温度 T を式(5.8)に代入すればアークが、安定に存在するために必要な s の最小値が求められる。図5.7の点線は I および J と $s_{\min}$ との関係を示したものである。図5.7の実線と点線との交点に対応する電流値 I はアークが安定に存在しうる最小の電流値を与えることになる。銅電極および錫電極の小電流アークでは電流密度 J は $10^4 \sim 10^6$ A/cm² 程度であることが、確かめられているので、図5.7のようにして、この範囲の電流密度における最小安定電流を求めると、銅電極では3~4 A という値が得られる。この値は前述の裁断電流値とほぼ一致する。また以上の理論から小電流アークの陰極点温度を推定すると、たとえば銅電極の場合、3,500~4,000°K となるが、これも前に述べた事柄を考慮すると容認する値である。

なおタングステン、モリブデンなどの難溶性金属では、電流密度が $10^7 \sim 10^8$ A/cm² 以上という非常に大きい値であることが観測されているが、この程度の電流密度では陰極点のエネルギー平衡に、陰極点の抵抗加熱を考慮しなければならないこと、高電流密度のためにいわゆる磁気ピンチ効果が生じ、式(5.8)に示す原子対イオン平衡が、破壊する前にアークが裁断される可能性があること、などのために前述の理論は必ずしも裁断電流に対して正しい答を与え

ない。しかし前述の理論によっても難溶性金属では裁断電流が高くなる傾向は十分予測できる。

6. シャ断現象

真空スイッチに交流アークを発生させると、電流ゼロ近傍で電流がシャ断されるが、そのシャ断特性はつぎのような点で高気圧アークを媒体とする従来のシャ断器のそれと、様相を大きく異にしている。

a. 従来のシャ断器では、シャ断電流波高値のみならず、電流ゼロ近傍の傾斜が、シャ断能否に大きな影響を与える。これに対して真空スイッチでは、ほとんどシャ断波高値だけによって電流苛酷度が規定される。

b. 従来のシャ断器では、回復電圧および再起電圧上昇率の両者がシャ断能否に大きな影響を与えるのに対して、真空スイッチでは瞬時回復電圧だけが電圧苛酷度を規定する。

c. 真空スイッチのシャ断限界は、1 mm 以上の間ギャ長では間ギャ長に無関係である。以上のような真空スイッチのシャ断特性を、以下に実験例によって詳細に説明する。

6.1 絶縁耐力回復特性⁽²⁰⁾

後述するように、真空スイッチは、電流波高値あるいはシャ断前に極間に投入されるエネルギーがある限界値を越すと、まったくシャ断不能に陥る。しかしこれらの値が限界値以下の場合には、電流ゼロ近傍の電流傾斜がかなり大きな値であっても、20~30 kV の瞬時回復電圧の回路をシャ断することが可能である。以下にこ

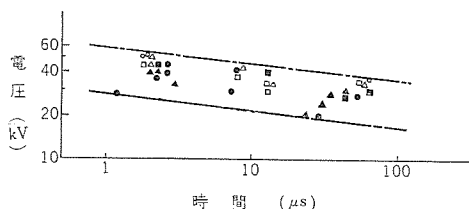


図 6.1 電流ゼロ後の絶縁耐力回復特性

Fig. 6.1 Recovery of dielectric strength after current zero.

のような回路条件におけるシャ断特性を説明する。図6.1は一例として振動周波数が500 c/sのLC共振回路(Weil回路の高圧源と同様のもの)から12 A/μsのゼロ点傾斜(60 c/s, 24 kA r.m.sの電流と同一傾斜)2,000 Aの波高値を有する電流を半サイクル流通したのちのゼロ点後における絶縁耐力回復特性を図示したものである。なお供試器は12.7 mmφのタングステン電極を有するスイッチである。同図の○, △および□印はそれぞれ1 mm, 2 mm および4 mmの間ギャ長におけるシャ断成功点を示したものであり、●, ▲および■印は上述の間ギャ長における再点弧点を示したものである。なおゼロ点における間ギャ長を確保するために、供試スイッチに直列に、直流源から100 A程度の直流を流すことによってアークを維持している。そして電極が与えられた間ギャ長だけ開極した時点で、供試スイッチのほかに上記LC振動回路を投入し、補助スイッチで直流源を切り離して、供試器だけの試験を行なっている。極間容量をいろいろ変化させることによって、再起電圧周波数を4 kc から170 kcまで広範囲に変化させている。一般の高気圧シャ断器とは異なり、いかなる再起電圧周波数の場合にも、ほぼ一定の電圧で再点弧が発生している。再点弧が生じる電圧は、1~4 mmの間ギャ長においては、間ギャ長にほとんど無関係である。なお再点弧電圧の時間変化を詳細に分析する

と、電流ゼロ後1~100 μs の時間位置では時間とともに低下する傾向が認められる。さらに長時間を経過すれば、絶縁耐力は上昇し、静耐压(4章で述べたように1mmの間隔でも、中間周波電圧に対して100kV程度の耐力はある。)に回復するものと思われるが、この回復時間に対する十分な確認は行っていない。

なおGE社でも各種の電極材料に対する回復特性を求め、沸点が極端に低い材料を除いては、同様な傾向を得ている。

以上を要約すると、通常の回路シャ断で見られる再起電圧波形では、真空スイッチの電圧苛酷度は回路の瞬時回復電圧だけで定まり、再起電圧周波数には無関係であるという結論が得られる。

6.2 電力回路のシャ断の際に観測される残留電流⁽²¹⁾

6.1で述べたと同様な供試器および実験回路を使用して、残留電流を測定した結果、図6.2および図6.3に示すようなオシログラムを得ている。図6.2はシャ断限界よりやや低い瞬時回復電圧で観測される残留電流波形を示したものであり、同図(a)は固有周波数が100kcの場合、(b)は4kcの場合のオシログラムである。図6.3はシャ断限界近傍の瞬時回復電圧で観測される代表的な電流電圧波形を示したものである。同図(a)は固有周波数が4kcの場合に得られるシャ断成功のオシログラム、(b)は固有周波数5kcにおけるシャ断失敗のオシログラム、(c)は170kcにおけるシャ断失敗のオシログラムである。同図(c)に示すようにシャ断直後の高い電圧には耐えても、長時間後の比較的低い電圧で再点弧する場合がしばしばある。以上のようなオシログラムを数多く求めた結果、難溶性金属接点の残留電流は以下に示すような性質を有している

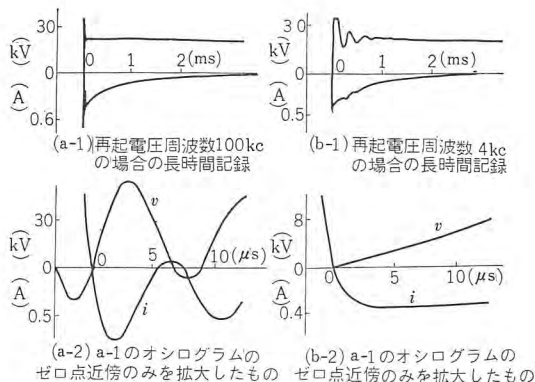


図 6.2 シャ断限界点以下で記録される代表的 オシログラム
Fig. 6.2 Typical oscillograms recorded at the circuit condition where the probability of success is 100%.

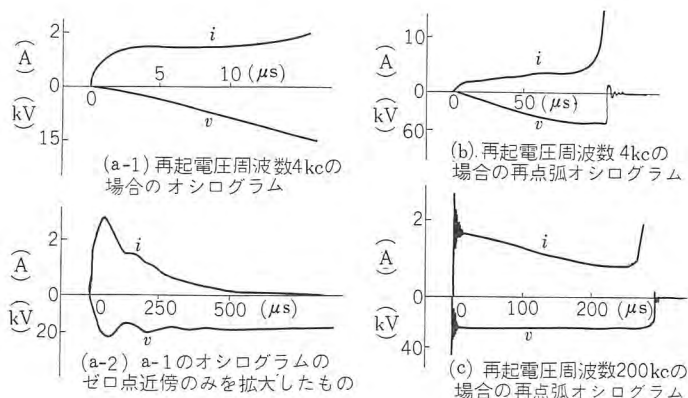


図 6.3 シャ断限界近傍のオシログラム
Fig. 6.3 Oscillogram recorded at the limit of interruption.

ことを明らかにしている。

(a) 実験した回路条件の範囲では、かならず有限な値の残留電流が観測される。

(b) 通常その波形は、「ゼロ点後に急激に減衰する成分」と「かなりの長時間にわたって残存する成分」という二つの成分に分解できる。両者の減衰時定数を図6.2あるいは図6.3のオシログラムから推定すると、前者のそれは0.6~0.7 μs であり、後者のそれは300~500 μs である。

(c) 限界内の瞬時回復電圧の回路をシャ断する場合には、残留電流の波高値はたかだか0.5Aであるが、限界近傍の瞬時回復電圧では数A以上の残留電流が観測される。

(d) 瞬時回復電圧一定の場合、残留電流波高値は再起電圧周波数にはほとんど無関係である。

(e) 残留電流波高値は間隔長によって変化し、間隔長が大きいほど、波高値は大きい。

(f) シャ断能否には、減衰時定数が大きい成分がより密接な関係を有している。すなわち、再点弧点近傍ではつねに減衰のおそい成分のゆるやかな増加が認められる。

真空スイッチの残留電流の物理的原因については、詳細は明らかではないが、減衰の速い成分は「間隔間に残留する荷電粒子が電極に吸収されることによるもので」あり、減衰のおそい成分は「アーク期間中に陽極点として加熱されていた陰極上の一部分からの熱電子放出あるいはT-F放出によるもの」であることが推定される。そして減衰のおそい成分がシャ断能否に密接に関係している実験事実から推察すると、「熱電子放出あるいはT-F放出が行なわれている陰極上の高温部分におけるエネルギー平衡」がシャ断能否に支配的な効果を与えているようである。

以上は難溶性金属を電極とする真空スイッチで観測される残留電流波形であって、銅あるいは銀などの比較的低い融点の金属では残留電流特性が大きく異なる可能性がある。これについては将来詳細な実験を行なう予定である。

6.3 真空スイッチの大電流シャ断特性⁽²⁰⁾

真空スイッチでは、シャ断電流波高値およびアークエネルギーがシャ断能否に大きな影響を与える。とくにそれらが電極材料によって定まるある限界値を超過すると、回路シャ断能力を完全に失う。

図6.4は瞬時回復電圧22~23kVという回路条件におけるシャ断能否を、シャ断電流波高値とアークエネルギーの関数として示したものである。供試器は12.7mmφのタングステン電極、接点接触力55kgのものである。なお極間に注入されるエネルギーの調整は、真空

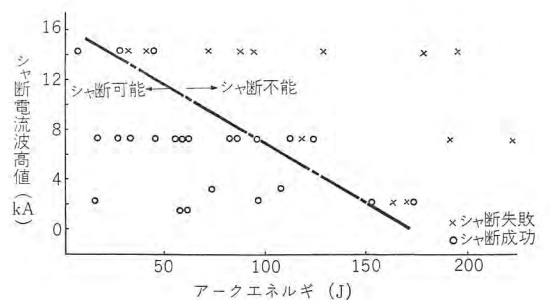


図 6.4 アークエネルギーおよびシャ断電流に対するシャ断限界
Fig. 6.4 Interrupting limit as a function of arc energy and peak value of current.

スイッチの操作速度を高め、間極点と電流ゼロとの時間間隔を制御することによって行なっている。図から明らかなようにタングステンなどの難溶性金属では、シャ断可能なアークエネルギーの限界値が存在する。そしてその値はシャ断電流波高値とともに減少し、14 kAを越えると、ついにはアークエネルギーに無関係に、必ずシャ断不能に陥る。換言すればいかに精密な同期シャ断を行なっても、シャ断不可能な電流値が存在し、実験に供したスイッチでは、この値は約 10,000 A rms である。

なお上記の限界シャ断電流値は、接点の接触力とともに上昇することも実験的に確認している。

以上は難溶性アークの接点を、アークの磁気駆動なしに使用した場合の実験結果であるが、銅あるいは銀などの金属を使用し、陰極点あるいは陽極点を磁気駆動すると、上記の限界電流が約 40 kA まで上昇することが報告されている⁽⁵⁾。

6.4 高い再起電圧上昇率、高い電流傾斜に対するシャ断能力

前述のように、真空スイッチで電力回路をシャ断する場合、電流波高値、瞬時回復電圧、アークエネルギーには限界値が存在するが、再起電圧上昇率および電流傾斜には、通常の高気圧シャ断器で見られるような限界値は存在しない。そこで通常の電力回路よりはるかに高い電流傾斜、再起電圧上昇率を有する L, C 回路を形成してシャ断能力を調べた。表 6.1 はその試験結果である。表 6.1 から明らかなように、電流波高値が限界値以下で、瞬時回復電圧が 10 kV 程度であれば、電流傾斜 300 A/μs、再起電圧上昇率 40 kV/μs 程度をシャ断することができる。通常の電力回路の電流傾斜はせいぜい 20 A/μs、上昇率は数 kV/μs 程度であるから、電力回路のシャ断で、電流傾斜、上昇率が存在しないのは当然である。

表 6.1 各種陰極材料の裁断電流
(○: 100% シャ断 ⊗: 50% シャ断)

回復電圧 再起電圧周波数	9 kV	10 kV	15 kV
600 kc		30 A/μs 15 kV/μs ○	45 A/μs 22 kV/μs ○
800 kc		60 A/μs 22 kV/μs ○	90 A/μs 32 kV/μs ⊗
1.7 Mc	300 A/μs 43 kV/μs ○	330 A/μs 48 kV/μs ⊗	500 A/μs 72 kV/μs ⊗

7. む す び

真空スイッチに関する各種の現象を詳述することによって、真空スイッチの有する特性を明らかにした。

この報告で明らかにしたところによれば、従来の真空スイッチは

- (a) 短い間隔で大きな耐圧を有している。
- (b) 電力回路を半サイクルのアーク時間でシャ断できる。
- (c) 通常の高気圧シャ断器よりはるかに大きいゼロ点傾斜、電圧上昇率を有する回路をシャ断できる。
- (d) 単位消弧室が小さくてよいので、操作機構が簡単に設計

できる。

など、スイッチとして優秀な性質を備えているが、一方では

- (a) 単位シャ断でシャ断できる瞬時回復電圧に限度があり、現存するスイッチではこの値は 20 kVr. m. s 以下である。
- (b) シャ断可能な電流に限度がある。
- (c) 電流裁断現象があり、ある種の材料ではシャ断の際に内部異常電圧を発生する。
- (d) 接点が溶着する可能性がある。

などの欠点を有している。しかし最近の各所における活発な研究の結果、(b), (c), (d) の欠点は次第に除かれ、電力スイッチとしての用途が開拓されつつある。真空スイッチが理想的な電力スイッチとして完成されるまでには、さらに多くの研究が必要であろうが、研究が完成した将来、きわめて優秀な電力スイッチとなることは、現在の時点においても予想にかたくない。

終りにこの研究は、伊丹製作所電機製造部との協力のもとに行なわれたものであることを付記しておく。(昭 37-8-15 受付)

参 考 文 献

- (1) 1893 年の Rittenhouse の特許
- (2) Sorensen, R.W.: Elect. 177 p. 150 (1958)
- (3) Ross, H.C.: AIEE CP 57-1100 (1957)
- (4) Reece, M.P.: J.I.E.E. Vol 5 P 275 (1959) London.
- (5) Lee, T.H. & Others: T. AIEE 62-151 (1962)
- (6) Fowler, R.H. & Nordheim, L.: Proc. Roy. Soc. London Ser. A 119 p. 173 (1928)
- (7) Good jr, R.H. & Müller, E.W.: Handbuch der Physik Vol. XXI p. 201 (1956)
- (8) Dyke W.P. & Trolan, J.K.: Phys. Rev. 89 p. 799 (1953)
- (9) Wijker, W.J.: Appl. Sci. Res. B 9 p. 1 (1960)
- (10) Cranberg, L.: J. of Appl. Physics 23 p. 518 (1952)
- (11) Dolan, W.W. Dyke, W.P. & Tralan, J.K.: Phys. Rev. 91 1054 (1953)
- (12) Maitland, A.: J. of App Phy. 32 p. 2399 (1961)
- (13) Hawley, R.: Vacuum 10 No. 4 p. 310 (1960)
- (14) Khalifa, M: AIEE CP 56-990 (1956)
- (15) Burger, E.E., Cobine J.D. & Vanderslice, T.A.: AIEE C. P. 62-137 (1962)
- (16) Farrall, G. A., Lafferty, J. M. & Cobine, J.D.: A.I.E.E. CP 62-138 (1962)
- (17) Lee, T.H., Greenwood, A. & Polinko, G.: T. AIEE 62-161 (1961)
- (18) Lee, T.H. & Greenwood, A.: J. of App. Phy. 32 p. 916 (1959)
- (19) Cobine, J.D. & Farrall, G.A.: AIEE CP 62-139 (1962)
- (20) 伊藤, 大倉, 高見: 昭 36 電気連大 515
- (21) 伊藤, 大倉, 高見: 昭 36 電関西支連大 7-29
- (22) 福田節雄: 電弧 (1948)

有機シンチレータを用いた速中性子検出器

田中修*・池田洋*

A Fast Neutron Detector Employing Organic Scintillators

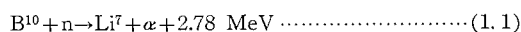
Research Laboratory

Osamu TANAKA・Hiroshi IKEDA

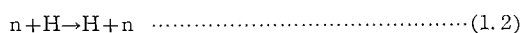
The scintillation pulse height tells the energy of a particle, while the pulse shape of the scintillation decay relates its type, which leads to the method of discrimination between different particles. A new type of fast neutron detector on this principle is now applied to experiments in nuclear physics. Neutron and gamma-ray discrimination was observed with various organic scintillations and photomultipliers by utilizing space charge effects in the photomultiplier following the R. B. Owen's experiment and using the multi-channel pulse height analyzer and the pulse stretcher circuit. The efficiency of the neutron detector was about 10% at a neutron energy of 3.65 MeV. The minimum energy of the detectable neutron was confirmed about 0.5 MeV. As its application neutron total cross sections of light nuclei were measured by the transmission method.

1. ま え が き

中性子の検出には核反応を利用するものと、中性子による反跳陽子を利用するものの二つに大別される。前者の代表的例としては、熱中性子の検出に広く使われている BF_3 カウンタがある。これは核反応



から生ずるアルファ粒子を利用するもので、エネルギーが高く、電離作用が大きいため、同じ中性粒子であるガンマ線と区別して比較的検出が容易である。この検出器は中性子エネルギーが高くなるにつれて B^{10} との核反応を起こす割合が小さくなり、したがって効率も低くなる。エネルギーが高くなると後者の中性子による陽子の散乱、すなわち



による反跳陽子を利用して検出することが多い。有機シンチレータは速中性子による反跳陽子によって感ずるが、ガンマ線による反跳電子にも大きい感度をもつので、ガンマ線のバックグラウンド中で中性子だけを検出するには、両者のエネルギーに大きい違いでもないかぎりできない。したがってシンチレーション検出器を使って中性子を検出する重要な問題は、いかにしてガンマ線を識別するかにある。その一つの方法として、たとえばプラスチックの中に重粒子に大きい感度をもつ $\text{ZnS}(\text{Ag})$ を混ぜたシンチレータの検出器、いわゆるホルニャクボタンがある⁽²⁾。これはガンマ線に対し低い感度で速中性子を検出することができるが効率が低い。

最近、有機シンチレータのシンチレーションパルスの減衰時間が入射粒子の種類によって異なることを利用して、比較的容易に中性子とガンマ線を識別する方法が見いだされた⁽¹⁾。

2. 原理および解析

有機シンチレータ（たとえばアンサラセン単結晶、液体シンチレータ NE 213）にアルファ粒子、陽子などの重い粒子と電子のような軽い粒子が当たるとき、図 2.1 の原理図が示すようにシンチレーションの速い成分（ $\tau_d \leq 10^{-8} \text{ sec}$ ）の大きさに対するおそい成分（ $\tau_d \geq 10^{-7} \text{ sec}$ ）のその割合は重粒子によるほうが大きい。ここで減衰時間 τ_d は、シンチレーションの全光量の $1 - e^{-1}$ すなわち 63% を放出するに要する時間として定義される。

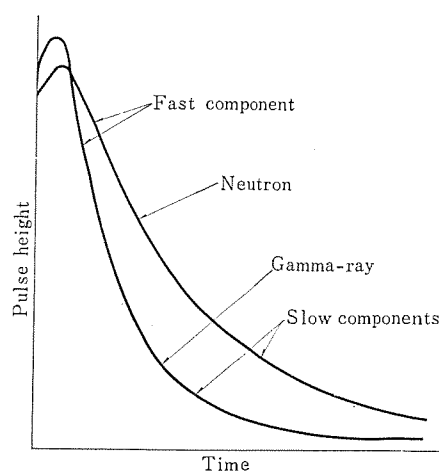


図 2.1 アンサラセン 中での中性子とガンマ線のパルスの原理図
Fig. 2.1 Schematic description of pulses of neutron and gamma-ray in anthracene crystal.

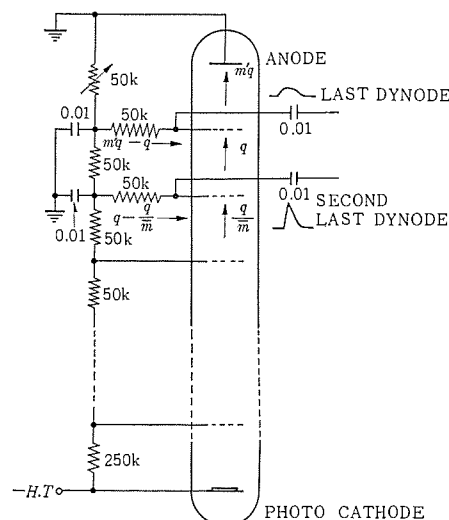


図 2.2 光電子増倍管回路
Fig. 2.2 Photomultiplier circuit.

図 2.2 の光電子増倍管回路が示すように、最終電極より一つ前の電極からは、通常の使い方と同様にシンチレーションの光の出力に比例したパルスが取りだされる。陽極と最終電極の間の電圧 V_{AD} を下げ、シンチレーションの大部分をしめる速い成分に対応した二次電子流が空間電荷制限を受け、おそい成分に対応した少ない

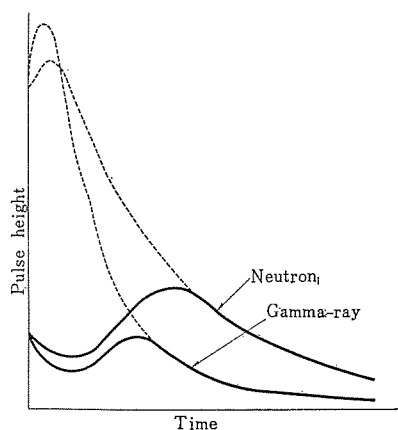


図 2.3 光電子増倍管中の空間電荷制限効果による飽和されたパルスの原理図

Fig. 2.3 Schematic description of pulses of neutron and gamma-ray at the last dynode which are saturated by space charge effects in the photomultiplier.

二次電子流が空間電荷制限を受けにくいようにしてあるため、最終電極からはシンチレーションのおそい成分に対応したいわゆる飽和パルスが発生する。図 2.3 は、速い成分が空間電荷制限効果を受けた飽和電流パルスの原理図を示す。この飽和パルスの大きさの違いから中性子とガンマ線を識別することができる。

いま各電極間の平均増倍率を $\bar{m}$ 、最終電極より一つ前の電極に入る一つのシンチレーションによる二次電子の電荷を q とすれば、最終電極および陽極に出入する電荷の量は、図 2.2 に示すようになる。ただし m' は最終電極と陽極間の増倍率。したがって最終電極からのパルスのそれより一つ前の電極からのパルスに対する増幅度 G は

$$G = \frac{m'q - q}{q - \frac{q}{\bar{m}}} = \frac{m' - 1}{\bar{m} - 1} \quad (2.1)$$

もし V_{AD} が正常の電圧で、最終電極から放出される二次電子流 i_N が空間電荷制限領域内、すなわち

$$i_N = m' \frac{dq}{dt} \leq AV_{AD}^{\frac{3}{2}} \quad (2.2)$$

ただし、 A は定数ならば、

$$m' = \bar{m} \quad \text{で}$$

$$G = \bar{m} \quad (2.3)$$

となる。もし両極間電圧が小で、それを AV'_{AD} とし、最終電極から放出される二次電子流 i_s が AV'_{AD} できまる電流値より大きい場合、

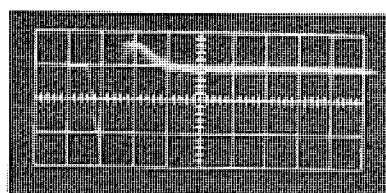
$$\text{すなわち} \quad i_s = m' \frac{dq}{dt} \geq AV'_{AD}^{\frac{3}{2}} \quad (2.4)$$

ただし $AV'_{AD} < V_{AD}$ ならば

$$m' < \bar{m} \quad \text{で}$$

$$G = \frac{m' - 1}{\bar{m} - 1} < \bar{m} \quad (2.5)$$

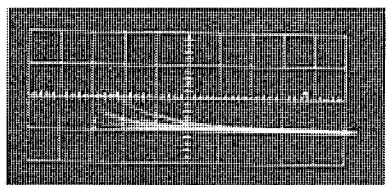
となり、最終電極からのパルスは直線的に増幅されなくなる。たとえば、 $m' < 1$ とすれば、パルスは負になる。図 2.4 (a) は、 $1''\phi \times 1''$ アンサレン単結晶を光電子増倍管 DU MONT 6467 にマウントし高電源電圧 $H.T. = -1,500 \text{ V}$ で、 $V_{AD} = 5 \text{ V}$ として、 Co^{60} 線源のガンマ線による最終電極からのパルス波形をシンクロスコープで観測したものを示す。電極の負荷抵抗は $1 \text{ k}\Omega$ 、縦軸は 0.05 V/cm 、横軸の掃引時間は $0.1 \mu\text{s/cm}$ 。図 2.4 (b) は同じ条件で、 V_{AD} だけを 100 V にしたときのパルス波形で、ただし電極の負荷抵抗は $20 \text{ k}\Omega$ 、縦軸は 2.0 V/cm 、横軸の掃引時間は $1.0 \mu\text{s/cm}$ 。



$H.T. = -1,500 \text{ V}$, $V_{AD} = 5.0 \text{ V}$ 横軸 $0.1 \mu\text{s/cm}$, 縦軸 0.05 V/cm , 負荷抵抗 $1 \text{ k}\Omega$

図 2.4 (a) 最終電極からの飽和パルスを直接シンクロスコープで観測したもの

Fig. 2.4 (a) Pulses derived from the last dynode which is saturated by space charge effects between anode and the last dynode.



$H.T. = -1,500 \text{ V}$, $V_{AD} = 100 \text{ V}$ 横軸 $1.0 \mu\text{s/cm}$, 縦軸 2.0 V/cm , 負荷抵抗 $20 \text{ k}\Omega$

図 2.4 (b) リニアに増倍された最終電極からのパルス

Fig. 2.4 (b) Pulses derived from the last dynode which is normally multiplied.

最終電極からのパルスはシンチレーションのおそい成分に対応したものであるから電極負荷はその減衰時間とほぼ等しい時定数になるように選ぶ。しかしシンチレーションの光量によって空間電荷制限の度合いは変わってくるので、かならずしも、取りだしのパルスはシンチレーションのおそい成分に対応したものとならない。

3. 装 置

図 3.1 が示すように最終電極より一つ前の電極から取りだされたリニアパルスは増幅され、シングルチャネルパルス波高分析器によってある一定の高さのパルスのみが選ばれる。最終電極からは、それに対応した飽和パルスが取りだされ、増幅されて 20 チャネルパルス波高分析器のゲートによって分析される。ゲートの同期をさせるために遅延ケーブルを入れてある。

図 3.2 はこの装置の外観を示す。図 3.3 は各電極から取りだ

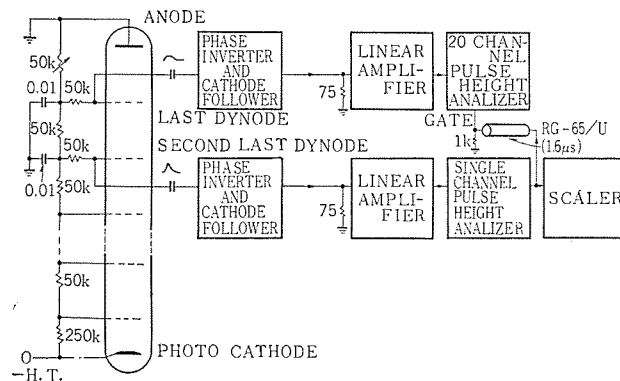


図 3.1 違った減衰時間を持つパルスを分ける一つの方法を示すブロック線図

Fig. 3.1 Block diagram of a method of separating pulses of different decay times.

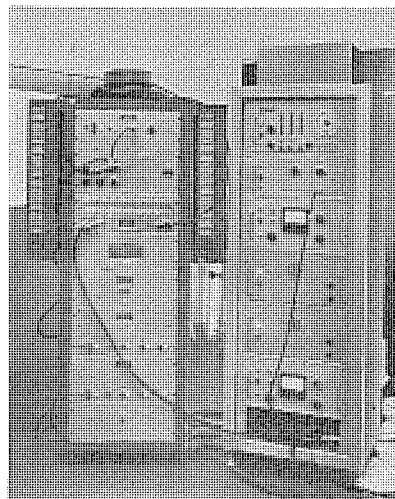


図 3.2 図 3.1 に示される方法で、減衰時間の異なるパルスを分ける装置の外観

Fig. 3.2 Outside view of a apparatus of separating pulses of different decay time shown in Fig. 3.1.

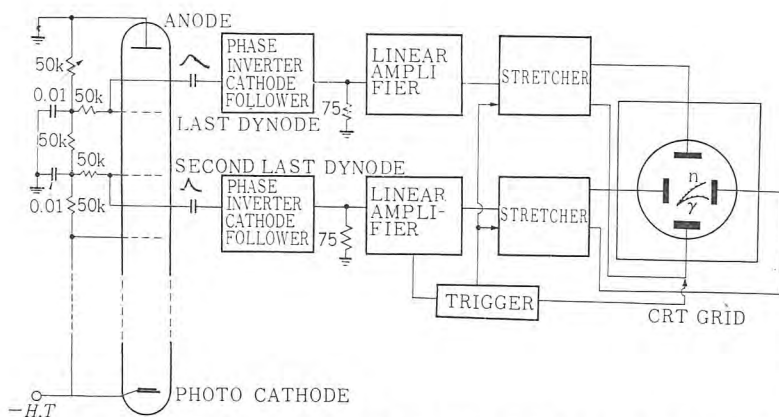


図 3.3 ブラウン管上で識別の分解能を観測するための装置のブロック線図
Fig. 3.3 Block diagram of the apparatus used to obtain a C.R.T. display.



図 3.4 図 3.3 の速中性子カウンタの調整装置の外観
Fig. 3.4 Outside view of an apparatus for adjustment of a fast neutron counter shown in Fig. 3.3.

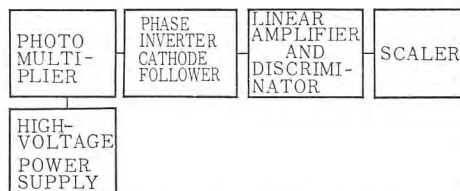


図 3.5 速中性子カウンタのブロック線図
Fig. 3.5 Block diagram of fast neutron detector.

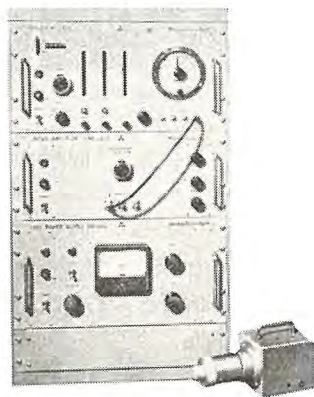


図 3.6 速中性子カウンタの外観
Fig. 3.6 Outside view of a fast neutron counter.

されるパルスを増幅したのち、それぞれのパルスをパルスストレッチャ⁽³⁾にに入れてそのパルスハイトに比例した方形波にし、ブラウン管の偏向電極 X と Y に入れて、直接観測できるブロック線図を示す。ブラウン管はパルスが入ったときだけ光っているから、各パルスは点として現われる。したがってこれは検出器の調整、種々の光電子増倍管およびシンチレータについて、パルスの形による識別の度合いを調べる手早い便利な装置である。この装置の外観は図 3.4 に示す。

図 3.5 は速中性子カウンタのブロック線図で、光電子増倍管の陽極からパルスが取りだされ、位相変換器、カソードフォロウを経て、比例増幅器、波高弁別器を通して、計数器に入る。

カウンタの調整は前記のカウンタ調整装置で、光電子増倍管の特性を調べたのちガンマ線による飽和パルスハイトの極大値に相当したガンマ線のエネルギーに近いガンマ線源を使い、これによって計数しないよう波高弁別器のバイアスレベルを上げておくことによってできる。図 3.6 はカウンタの外観を示す。光電子増倍管は DU MONT 6467 を使用している。

有機シンチレータを用いた速中性子検出器・田中・池田

4. 実験

図 4.1 (a) は、図 3.1 の装置で光電子増倍管 DU MONT 6467 に $1''\phi \times 1''$ アンサセン単結晶をマウントし、RaD—Be 線源 (最高 12 MeV の中性子と 4.43 MeV のガンマ線を放出する) から出る、ガンマ線と中性子による二つのグループのパルスハイト分布を示す。シングルチャネルパルス波高分析器のチャネル幅は 0.5 V, 光電子増倍管にかかる電源電圧は $-1,500$ V, 陽極と最終電極間電圧 V_{AD} は 10 V. 各パルスのグループの数を合わせるためそれぞれの測定は 5 秒から 5 分の範囲にわたって行なわれた。シングルチャネルパルス波高分析器のベースレベルで、粒子のエネルギーに比例したリニアパルスを、識別する。リニアパルスハイトは矢印で示してあるように Cs^{137} (ガンマ線エネルギー $E_\gamma = 0.66$ MeV) および Co^{60} ($E_\gamma = 1.33$ MeV) のガンマ線によるコンプトンエッジを利用してエネルギーの較正をしてある。これらは他の実験データ⁽⁴⁾などから中性子のエネルギー E_n に換算して、それぞれ $E_n = 2.0$ MeV, $E_n = 3.5$ MeV 程度の値になる。

飽和パルスハイトとあるのは 20 チャネルパルス波高分析

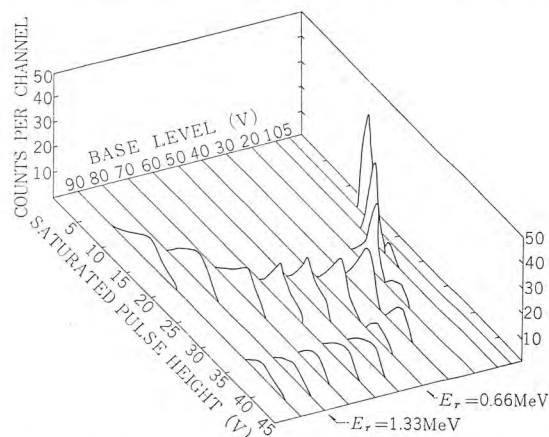


図 4.1 (a) 図 3.1 の装置で、DU MONT 6467 に $1''\phi \times 1''$ アンサセン単結晶をマウントし、RaD—Be 線源からの中性子とガンマ線の二つのグループのパルスハイト分布を示す。
Fig. 4.1 (a) A series of pulse height distributions obtained using $1''\phi \times 1''$ anthracene crystal, RaD—Be and the apparatus described in Fig. 3.1.

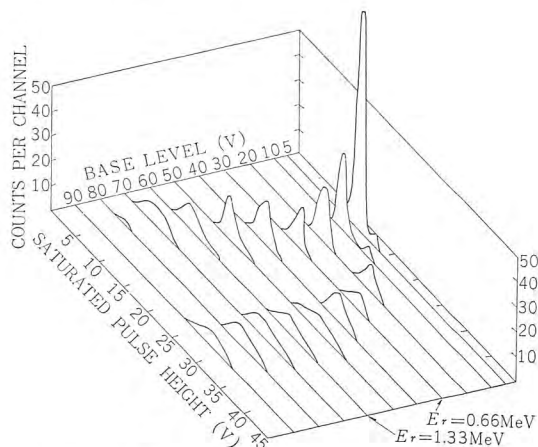


図 4.1 (b) 図 4.1 (a) と同じ条件で、液体シンチレータ NE-213 を使用して得たパルスハイト分布
Fig. 4.1 (b) A series of pulse height distributions obtained using NE-213 liquid scintillator, with the same conditions as Fig. 4.1 (a).

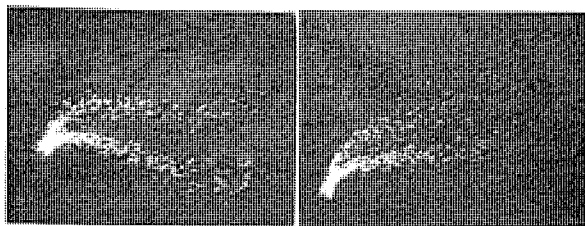


図 4.2(a) DU MONT 6467 (1),
H. T. = -1,500 V
 V_{AD} = 10 V

図 4.2(b) DU MONT 6467 (2),
H. T. = -1,500 V
 V_{AD} = 7 V

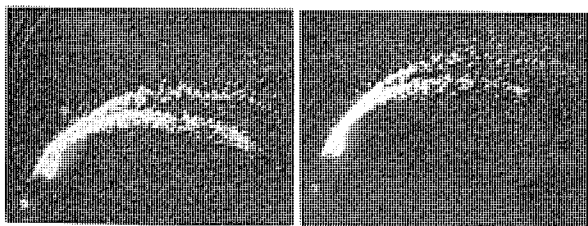


図 4.3(a) Toshiba 7309 (1),
H. T. = -1,000 V, V_{AD} = 5 V

図 4.3(b) Toshiba 7309 (2),
H. T. = -1,000 V, V_{AD} = 5 V

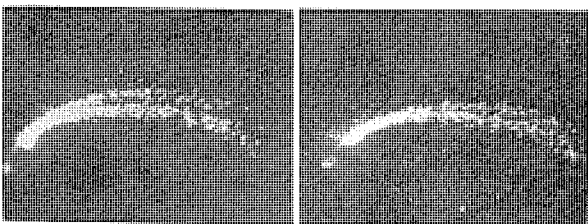


図 4.4(a) DU MONT 6292 (1),
H. T. = -1,500 V,
 V_{AD} = 5 V

図 4.4(b) DU MONT 6292 (2),
H. T. = -1,500 V,
 V_{AD} = 7 V

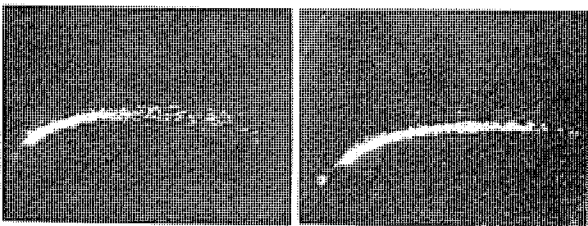


図 4.4(c) DU MONT 6292 (3),
H. T. = -1,500 V,
 V_{AD} = 5 V

図 4.5(a) RCA 6342 (1),
H. T. = -1,500 V,
 V_{AD} = 0.4 V

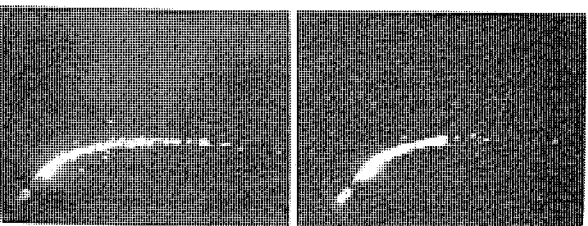


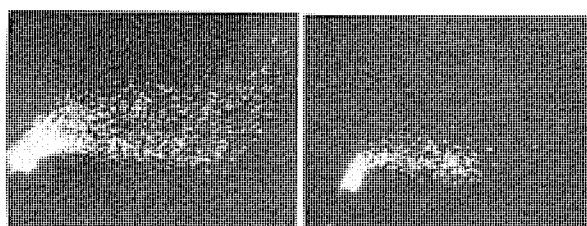
図 4.5(b) RCA 6342A (2),
H. T. = -1,500 V,
 V_{AD} = 0.5 V

図 4.5(c) RCA 6342A (3),
H. T. = -1,500 V,
 V_{AD} = 1.0 V

図 4.2~4.5 アンスラセンシンチレータと RaD-Be 線源を使用して種々の光電子増倍管 DU MONT 6467 (2 本), Toshiba 7309 (2 本), DU MONT 6292 (3 本), および RCA 6342A (3 本) などの識別の特性

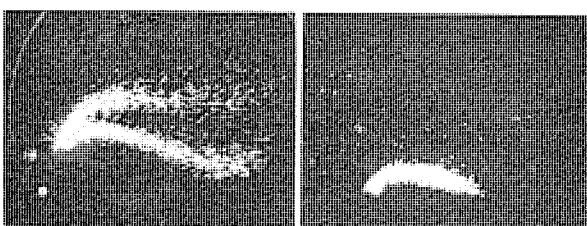
Fig. 4.2~4.5 Characteristics of the discrimination of various photomultipliers such as DU MONT 6467 (2), Toshiba 7309 (2), DU MONT 6292 (3) and RCA 6342A (3), using an anthracene crystal and RaD-Be source.

器に入れて測定した波高値を指す。それぞれのグループがガンマ線と中性子によるものであることは、鉛およびパラフィンでシールドを使って確認した。図 4.1 (b) も図 3.1 の装置で、シンチレータ NE



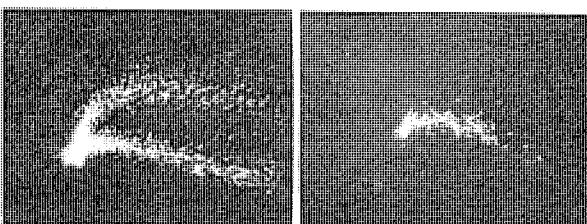
(a) 線源 RaD-Be (b) 線源 Co^{60}

図 4.6 プラスチックシンチレータ NE 150
Fig. 4.6 Plastic scintillator NE 150.



(a) 線源 RaD-Be (b) 線源 Co^{60}

図 4.7 アンスラセン単結晶
Fig. 4.7 Anthracene crystal.



(a) 線源 RaD-Be (b) 線源 Co^{60}

図 4.8 液体シンチレータ NE 213
Fig. 4.8 Liquid scintillator NE 213.

213 を使って得たもの。その他の条件は図 4.1 (a) の場合と同じであるが、それぞれの測定時間は 30 秒から 20 分間にわたった。アンスラセン単結晶に比べて液体シンチレータのほうが分解能のよいことが認められた。

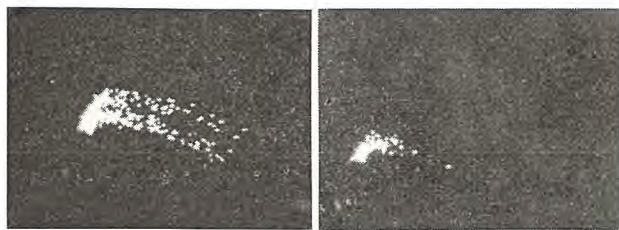
分解能 R はつぎのように定義される。

$$R = \frac{\text{ガンマ線と中性子の両グループの平均の高さの差}}{\text{ガンマ線グループの半値幅}} \dots\dots (4.1)$$

両図ともに空間電荷制限効果がよく現われており、アンスラセン単結晶で、ガンマ線のエネルギー $E_\gamma = 1.33$ MeV に相当したパルス高では、中性子とガンマ線による飽和パルス高の比は約 2 になる⁽¹⁾。この図から明らかに、ガンマ線グループの飽和パルス高が検出できない適当なバイアスレベルをかけておけば、最終電極からパルスを取りだし、中性子だけの検出器として使用できる。 $R=1$ に相当した中性子のエネルギーは約 0.5 MeV であることが確かめられた。

つぎに図 3.3 の装置で、1"φ×1" アンスラセン単結晶と RaD-Be 線源を使い、種々の光電子増倍管による中性子とガンマ線の識別の分解能を観測した。分解能の良いのはボックス形の DU MONT 6467 であることがわかった。しかし同じ種類の光電子増倍管でも分解能の良いものとそうでないものがある。フォッキングエレクトロード形 RCA 6342A では識別できなかった。また分解能に最適な陽極と最終電極間電圧は同種の光電子増倍管では大体決まっているが、かならずしも一定していない。

さらにシンチレータによる分解能の違いを DU MONT 6467 を使って調べてみた。図 4.6 (a), (b) は 1"φ×1" プラスチックシンチレータ NE 150 により、それぞれ RaD-Be および Co^{60} 線源を使った。図 4.7 (a), (b) は 1"φ×1" アンスラセン単結晶、図 4.8



(a) 線源 RaD-Be (b) 線源 Co⁶⁰

図 4.9 酸素を溶かした液体シンチレータ
Fig. 4.9 Liquid scintillator+oxygen.

表 4.1 カウンタの検出効率

中性子エネルギー E_n (MeV)	効 率 (%)
3.25	15
3.65	10
4.42	7

(a), (b) は液体シンチレータ NE 213 により観測した。この実験からも液体シンチレータ NE 213 のほうが分解能は良い。この液体シンチレータ NE 213 に酸素を溶かして分解能を観測したものを図 4.9 に示す。これは分解能が悪い。

日本原子力研究所 2 MeV-ファンデグラフ 加速器で重水素イオンを加速し、重水素ガスに当て、核反応 $a(D \cdot He^3)n$ から生ずる速中性子を使って、カウンタの検出効率を測定した。これを表 4.1 に示す。

5. 応 用

速中性子カウンタとしては効率が良いので、短時間の測定でよく、したがって精度の良い実験ができる。図 5.1 は上記の加速器で速中性子を発生し、軽い核の速中性子全断面積をトランスミッションによる方法で測定した実験データの一部を示す⁽⁵⁾。カウンタのヘッドの部分は DU MONT 6467 光電子増倍管と 1"φ×1" アンスラセンを用いた。一点の測定時間は平均数分であった。測定誤差は

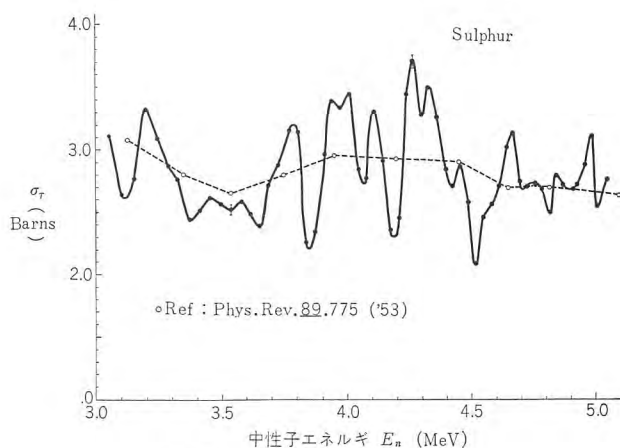
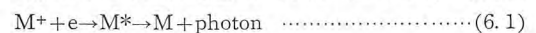


図 5.1 硫黄の中性子全断面積
Fig. 5.1 Total neutron cross section of sulphur.

±3% 以内、○印の点線のデータは Los Alamos Scientific Laboratory での実験によるもの、この測定誤差は ±10% である⁽⁶⁾。

6. 議 論

波形識別用のプラスチックシンチレータ、たとえば NE 150 はある程度識別可能であるが、普通のプラスチックシンチレータでは識別できない。シンチレータに酸素が溶けると分解能の悪くなることは、Kallmann および Brucker が提唱しているように⁽⁷⁾、入射粒子によってシンチレータが電離または励起される過程で、電離した分子 M^+ が電子と再結合するプロセスを経て、シンチレーションを起こす過程



これがシンチレーションのおそい成分の原因であるという考えを支持している。というのは分子が直接励起されるプロセスに比べて、イオン再結合過程は長い時間を要すること、酸素が電子を捕獲しやすいことのために、再結合過程を減らすと考えられるから。

フォカシング・エレクトロード形 RCA 6342 では空間電荷制限は起きていると考えられるのに識別できない。この原因は不明であるが、今後の研究に待つほかはない。

RaD-Be 線源から放出される速中性子のエネルギースペクトルは原理的には測定できるが、コインシデンスをとるための装置の性能の欠陥などから実際上はむずかしい。

検出できる中性子の最低エネルギーの限界値が約 0.5 MeV であることは、シンチレーションカウンタ一般に見られる、低いエネルギーレベルで問題になる光電子増倍管の雑音に原因している。シグナルとしてシンチレーションのおそい、光量の少ない成分をとりだすため、パルスの重なりあい、パルスへの雑音の重なりなどが問題となってくる。

7. む す び

この実験にあたって、いろいろ便宜を与えられご指導頂いた日本原子力研究所核物理研究室 百田光雄氏、塚田甲子男氏に厚く感謝する。
(昭 38-8-10 受付)

参 考 文 献

- (1) F. D. Brooks: Progress in Nuclear Physics, O. R. Frisch ed. 5, 284 (Pergamon Press, New York, 1956)
R. B. Owen: Nucleonics, 17, No. 9, Sept. 92 (1959)
F. D. Brooks: Nuc. Instr. and Methods 4, 151, (1959)
F. D. Brooks, R. W. Pringle and B. L. Funt: IRE Trans. Nuc. Sci. NS-2, 3 35 (1960)
T. Fuse: JAERI 1015 研究報告 No. 15
- (2) W. F. Hornyak: Rev. Sci. Instr. 23, 264 (1952)
- (3) W. Bernstein, R. L. Chase and A. W. Schardt: Rev. Sci. Instr. 24, 437 (1953)
- (4) C. J. Taylor, W. K. Jentschke, M. E. Remley, F. S. Eby and P. G. Kruger: Phys. Rev. 84, 1034 (1951)
- (5) To be published
- (6) Norris Nereson and Sperry Darden: Phys. Rev. 89, 775 (1953)
- (7) H. Kallmann and G. J. Brucker: Phys. Rev. 108, 1122 (1957)

放電におけるSF₆ガスの化学的特性

潮 恒郎*・宮本紀男**・鎌谷章博**

Effect of Electrical Discharges on Sulfur Hexafluoride

Itami Works

Tsunerō USHIO

Research Laboratory Toshio MIYAMOTO・Akihiro KAMATANI

Application of such gaseous compounds as SF₆ to the insulation gass or the arc quenching medium has brought about the necessity of examination of the stability of this particular gas against arcing. Studies have been made on SF₆ gas subjected to arcing by means of a low back-ground Mitsubishi mass spectro meter, arc-formed products and their decomposition process being monitored. Cleaning of the arced gas has been also studied for the removal of the decomposed products by passing the gas through activated alumina filters. The studies have also revealed the chemical stability of SF₆ gas when subjected to arcing.

1. ま え が き

6 フッ化硫黄ガス(SF₆)は生理的に不活性、無毒であり、化学的に安定性が大きく、電氣的にもきわめて安定な化合物で、とくに高圧下における絶縁耐力が高いところから、従来このガスは高電圧関係の各方面に應用され、絶縁媒体として静止機器の性能向上、および、それらの小形化に役立ってきたわけであるが、最近このガスが絶縁媒体としてよりは、むしろ消弧媒体として、はかに例をみない優秀な性能を発揮することが発見され、すでに、アメリカではこれを利用した高圧シタ断器が実用段階に入っている。

SF₆ガスの消弧性能に関する筆者らの実験結果によれば、このガスは絶縁耐力において空気の3~3.5倍の程度であるにもかかわらず、消弧性能では、実に100~200倍の能力を発揮しうることを確認している。⁽¹⁾⁽²⁾ またSF₆ガスがこのようにすぐれたシタ断器性能を発揮するゆえんについても、すでに多くの研究がなされ、筆者らも質量分析計あるいは高速コマ取りカメラなどによる実験結果を引用して定性的にその裏付けを与えている。⁽³⁾

実際のシタ断器にこのガスを適用する場合、上に述べた消弧原理の究明とならんで、「放電におけるSF₆ガスの化学的安定性」に関する裏付けは、この種シタ断器の実用性能上重要な事柄である。さきにも述べたとおり、SF₆ガスはそれ自身生理的に不活性、無毒であるため、医療用として人工気胸に用いられるほどであるが、大電流アークにさらされた場合、このガスは低位のフッ素化合物に解離される可能性がある。これら化合物の解離、再結合過程、およびガス成分変化の有無については実験的検討が必要であって、筆者らはこの点についても各種分析機器、主として質量分析計を用いて実験を行ない、コマ、および大電流交流アークなどの各種放電に対するSF₆ガスの安定性を吟味した。その結果得られたところを以下に詳しく述べるが、いずれにしてもSF₆ガスは放電に対し、化学的にも安定であって、実際のシタ断器の実用性能上でも、このガスの分解あるいはそれによる劣化を考える必要はない。すなわち解離された低位フッ素化合物はアーク消滅後、急速な再結合によってただちにSF₆に戻るため、その再結合時定数は約10⁻⁶~10⁻⁷secの程度である。ただ実際にはほとんど起こり得ないことであるが、SF₆ガス中に多量の水が存在する非常に苛酷な状態では、アーク発生後ある種の残留分解生成物の認め

られる場合がある。しかしこの場合でも活性アルミナなどを適宜使用することにより、ガス中に多量の水分の介入する余地をなくすれば、本文で述べるとおり、残留生成物の発生を根本的に防ぐことができる。当然のことながらS₂F₁₀は一連の実験中いかに苛酷な条件の場合にも認められなかった。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

今回行なった一連の実験は、あくまで「SF₆ガスの放電における化学的安定性」の検討を目的としたものであり、主として、アーク発生前後の比較的長時間にわたる現象あるいは特性の変化を取り扱っている。このため、実験の大部分は三菱MS-415形超高真空質量分析計により行ない、適宜ガスクロマトグラフ、または赤外線分光器などを用いて結果の信頼性向上をはかった。

もちろんSF₆ガス中の消弧現象を究明する場合、さらに興味あることはアーク空間におけるSF₆ガスの物理化学的特性のうち、とくに、アーク発生前後ごく短時間の過渡的な特性変化であるが、この点については現在高速反応研究用の直視形質量分析計を用いて研究を行っており、別の機会に報告したい。

(1) MS-415形質量分析計本体

使用した質量分析計の詳細についてはすでにいくつかの報告⁽⁴⁾⁽⁷⁾があるのでここでは、その概略の構成について述べることにする。

この分析計はいわゆるLow back ground用としてとくに開発され、測定質量数範囲、分解能の点でもすぐれた装置で、今回の目的に十分かなったものである。その構成は図2.1に示すとおりであって、分析精度を上げるために装置全体を400°CでBake outできるようになっている。なおBake outした場合到達真空度は10⁻⁸mmHg以上10⁻⁹mmHgが得られ、その際のBack ground spectrumは図2.2に示すようになる。SF₆分子のような多原子分子では、高エネルギー電子衝撃によって、一連のCracking pattern⁽⁶⁾を発生し、それらが認められる質量数も20~146M/eの範囲にわたっているが図2.2の示すところでは、この範囲のBack groundは完全にゼロに近く、以下に述べる測定結果の信頼性は十分に高いものといえる。なお分析は磁界強度を掃引する方法で行ない、イオン電流の測定は電子増倍管⁽⁶⁾および振動容

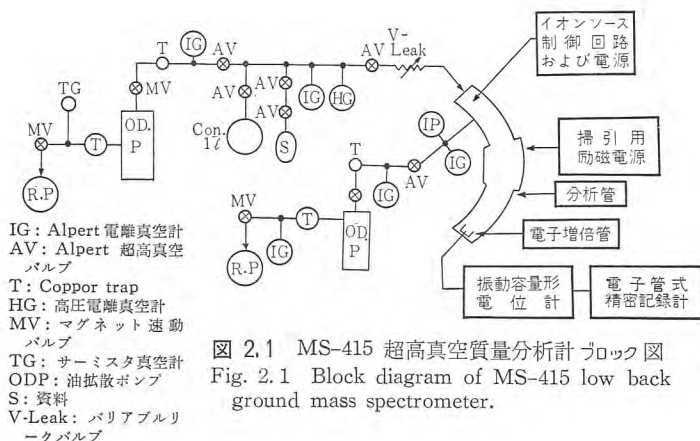


図 2.1 MS-415 超高真空質量分析計ブロック図
Fig. 2.1 Block diagram of MS-415 low back ground mass spectrometer.

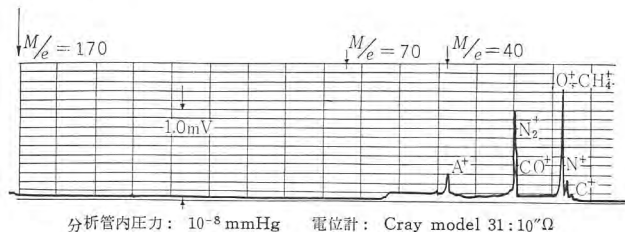


図 2.2 MS-415 質量分析計のバックグラウンドスペクトログラム
Fig. 2.2 Spectrogram of back ground.

量電位計 (Vibron model 31) を用いて 10^{-15} A までの電流を記録した。

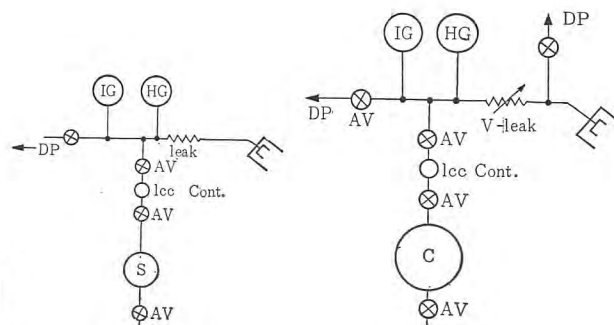
(2) 試料導入系

全部で3種類の試料導入系を用いて実験を行なったが、そのブロック図を図 2.3 に示す。図 2.3 (a) は普通の試料導入系で (b) はリークバルブを使用したもの。このほかに高速度電磁真空バルブを併用したものを使用し、そのおのほかに試料ピン、有極コンテナあるいは高圧有極コンテナを接続している。試料ピンは、サンプルガス採集のためのもので、大電流アークシャ断後、消弧室内のガスを図 2.4 に示す系統により採集、分析した。有極コンテナ (200 cc) は、図 2.5 のような構造の銀タングステン電極付ガラス容器で、分析計の試料導入系にバリアブルリークバルブを介して直結され、この中で任意の形態の放電たとえばコロナ、アーク、高周波等の放電を行ないものである。基礎的な実験は、主としてこの有極コンテナで行ない、モデルシャ断器から採集されたガスの分析結果と比較照合した。いずれの実験でも試料室および分析管内の圧力は 10^{-6} mmHg で行なっており、この場合も Back ground は十分に低く、測定に支障はない。

さきにもふれたように質量分析計のほかには、島津ガスクロマトグラフ (GC-1A 形) および島津赤外線分光器 (1R-27 形) を使用したが詳細については省略し、以下実験結果の項でも質量分析計による測定に限って述べることにする。

2.2 実験方法

SF₆ ガスの放電に対する化学的な特性の変化を定量的に扱うために、まず純粋な SF₆ ガスの物理的、化学的な特性を基礎的にはおく必要がある。つまり SF₆ ガスが、どの程度の入力エネルギー率 (kW/s/cc-min) で低位の化合物に解離するものか、したがって実験の際どの程度のエネルギー注入率で測定を行なえばよいかなどについての裏付けが必要である。あらかじめ以上の点を並切形モデルシャ断点 (内容積 2 l)⁽¹⁾ により検討したところ、あるエネルギー注入率 (これを仮に Pr と呼ぶ) 以下では繰り返しシャ断によるシャ断性能の変化は認められないにもかかわらず、 Pr 以上ではく



IG: Alpert 電離真空計 HG: 高圧電離真空計 AV: Alpert 超高真空バルブ
DP: 拡散ポンプ MV: 電磁運動真空バルブ S: 試料ピン C: 有極コンテナ
(a) 普通の試料導入系 (b) リークバルブ使用

図 2.3 試料導入系
Fig. 2.3 Sample inlet system.

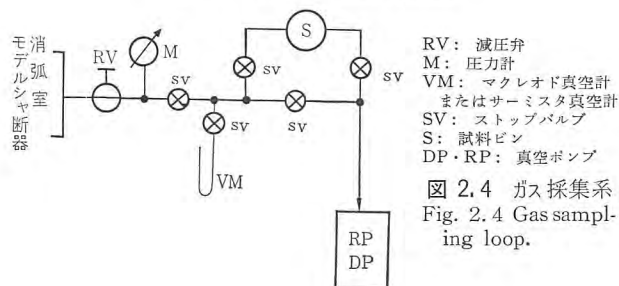
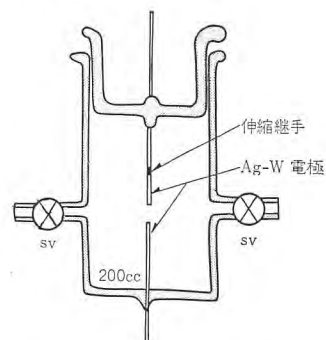


図 2.4 ガス採集系
Fig. 2.4 Gas sampling loop.

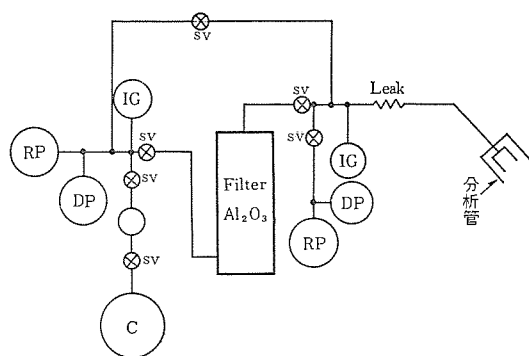
図 2.5 有極コンテナ
Fig. 2.5 Container with spark gap.



り返しシャ断によりいつかは、シャ断失敗に至る限界エネルギー注入率 Prc の存在することを確認した。ここに Prc は次式

$$Prc = \frac{\sum_{i=1}^N W_i}{\left(\sum_{i=1}^N t_i \cdot V \right)} \quad (\text{kWs/min-cc})$$

で定義され、単位時間あたり、単位体積あたりのエネルギー注入率である。すなわち W_i は第 i 回目の試験で消弧室内に注入されるエネルギーを示し、 t_i は第 i 回目と第 $i-1$ 目の試験間隔 (min), また V は、消弧室内容積 cc である。この Prc はあとで述べるとおり、ガス圧力一定の場合には、SF₆ ガス中の水分含有率によって大幅に変化し、よく Bake out された有極コンテナの場合、すなわち、水分含有率の小さい場合にはかなり大きな値を示す。もちろん、この Prc はあくまで並切形に関するもので一般の吹付形シャ断器では定義できない量であるが、吹付後のガスを回収する形式のシャ断器⁽²⁵⁾では、等価的な Prc を考えることができる。この場合、循環系に使用されるガスの全体について、 Prc を概算したところ並切形の 2~3 ヶタ上の値を示し、循環系を有する実際の吹付形シャ断器でも、 Prc がこの程度であれば、繰り返しシャ断に対する実用性能は十分である。しかしここでは、SF₆ ガスの放電に対する化学的な安定性を基礎的にはおくことが目的であって、さきの並切形の場合、 Prc なる量がシャ断点の限界シャ断容量以内に認められること、またそれがガス中水分含有率により左右されるなどの事実は、明らかにアークによるガスの組成変化を暗示するものと考えられる。この点を明らかにするため、以下一

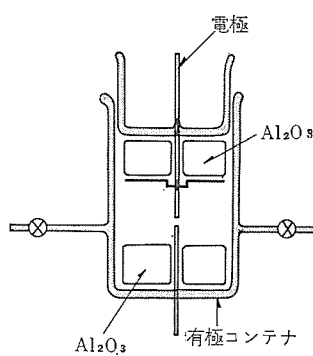


SV: テフロン真空バルブ RP-DP: 油拡散ロータリポンプ
C: 有極コンテナ IG: Alpert 電離真空計

(a) カスケードの装てん

図 2.6 Al_2O_3 吸着系ダイアグラム

Fig. 2.6 Block diagram of Al_2O_3 filter.



(b) フィルタ内の充てん

の高さ。また $[A]$ は質量マトリクスと呼ばれるもので、このマトリクスの j 列を j 成分の Cracking pattern と呼んでいる。

われわれが必要とするのは P_j であり、そのほかの諸量は既知であるから、 P_j を求めることはいわゆる j 元一次連立方程式を解くことになり、筆者らは IBM-650 および 7090 を用いてこれを行なった。

3. 実験結果

3.1 SF_6 ガスの静特性

(1) 純 SF_6 ガスの物理・化学的特性⁽¹²⁾

SF_6 ガスは分子量 146.06 で、21.95% の硫黄、78.05% のフッ素からなっており、その構造は正八面体の各頂点にフッ素原子、その中心に硫黄原子が位置しており、各フッ素原子と硫黄原子とは 1.58 Å の間隔で、イオンおよび共有結合をしているが、比較的共有結合の性質が強い。ガスは無色無臭、生理的に無害であって、500°C まではいかなる金属に対しても反応せず、熱的にも非常に安定である。このほかの諸特性を列挙すればつぎのとおりである。

融点	-50.8°C
昇華温度	-63.8~63.5°C
密度	6.093 g/e at 753.3 mmHg, 20°C
飽和蒸気の密度 (g/cm ³)	
-40°C において	0.026 (g/cm ³)
+3.2°C	// 0.115
+45°C	// 0.632
臨界温度	45.6~54°C
臨界圧力	31.6 kg/cm ²
蒸発熱 (cal/mol)	
-20°C	3,690 (cal/mol)
0°C	3,000 "
20°C	2,300 "
40°C	1,000 "
熱容量 (cal/mol/°C)	
-53°C	44.0 (cal/mol/°C)
-42°C	28.56 "
誘電率	708 mmHg, 27.5°C において 1.00191 (gas)
比熱	-2°C において 0.1427 (cal/g)
熱伝導度	3.36×10^{-5} (cal/S/cm ² , °C/cm)
粘性 (気体)	1.61×10^{-4} (25°C) ポアズ
(液体)	30.5×10^{-4} (13°C) ポアズ
表面張力	
-50°C	11.63 (dynes/cm)
-20°C	8.02 (")
45°C	0 (")

ほかの液体に対する溶解性⁽¹³⁾

変圧器用油 (Esso Univolt 35) に対し、

0.297 ml gas (STP)/ml·oil (1 気圧) であり、

水に対しても、0.0010 ml gas (STP)/ml water (1 気圧) 程度の極端に小さい値を示す。

(2) 純 SF_6 ガスの Cracking pattern と正イオンの出現電圧

連の実験では、並切形モデルシナ断点の P_{rc} を一応の基準として採用した。モデルシナ断点では、水分含有率 0.5% 重量%, $P_{rc}=0.5$ kW/s/cc-min であり、耐アーク性に関する実験の場合、この P_{rc} を採用した。まず、純粋な SF_6 ガスの静特性および放電に対する特性を各種放電形態について検討し、さらに実際にも起こりうる混合ガスの状態、たとえば、 SF_6 +空気あるいは O_2 などの特性を検討し、最後に、 H_2O がガス中に混入している場合について実験を行なった。

モデルシナ断器および有極コンテナ電極間には、それぞれ合成等価試験回路の一部⁽¹⁾、および衝撃性大電流発生装置の一部を使用してアークを点じ、ともに P_{rc} の 5 倍のエネルギー注入率で実験を行なった。 P_{rc} をこの程度に選んだのは、ガス劣化の現象を確実にあくし、かつ、多数回の実験を短時間に行なうためである。いずれの回路で実験する場合も、各回毎の注入エネルギーおよびシナ断特性はメモシクロスコープによりモニタした。

あとでも述べるように、質量分析計は一般の化学分析用のみならず、低速反応過程追跡用として便利であり⁽⁹⁾、とくに準安定イオンが検知しうる場合には⁽¹⁰⁾、その反応系に関する高速再結合時定数も求めることができる。筆者らはこのような分析方法を採用し、ガスの分解再結合過程に関する考察を試みている。

このほか、活性アルミナを用いた吸着系 2 種類についても実験を行なった。アルミナは住友化学製 DT-6 を使用し、内容積 1,000 cc のフィルタ容器内に 200 g を充てんした。吸着系は、図 2.6 に示すようにこのフィルタを分析管とコンテナの間に入れたもの、同 (b) は、活性アルミナを直接コンテナ内に充てんしたものである。

この 2 つの吸着系の特性を検討することにより、活性アルミナのガス純化剤としての効果を確認め、同時にガスの吸着過程についても知ることができる。

2.3 スペクトルパターン解析法

質量分析計で得られたスペクトルパターンは、それ自身ガスの化学的特性を定性的に示すものであるが、定量的にガスの成分比、あるいはそれらの時間的変化を取扱う場合には、かなり複雑な数値計算を必要とする⁽¹⁾。

すなわち、質量分析計で得られる、質量数 i の点のスペクトルピークの高さ h_i は、

$$h_i = \sum_j a_{ij} S_j P_j \quad \text{または、}$$

$$[h] = [A]x, \quad \text{ただし } x_j = S_j P_j \quad \text{で与えられる。}$$

ここに、 P_j は第 j 成分の分圧、 S_j は第 j 成分の感度係数

a_{ij} は第 j 成分が質量数 i の点で示す相対質量ピーク

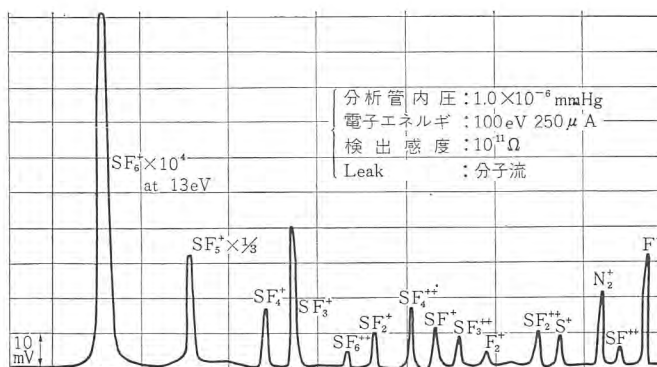


図 3.1 純 SF_6 のクラッキングパターン
Fig. 3.1 Cracking spectrum of pure SF_6 .

表 3.1

M/e	イオン () 内数字は出現電圧 (eV) を示す	相対ピーク強度
16	S^{++}	0.09
19	$\text{F}^+ (35.8)$	40.51
25.5	SF^{++}	1.67
32	$\text{S}^+ (37.3)$	10.5
33	S^+	0.16
34	S^+	0.60
35	$\text{SF}_2^{++} (46.5)$	13.3
35.5	SF_2^{++}	0.10
36	SF_3^{++}	0.62
44.5	SF_3^{++}	2.21
45.5	SF_3^{++}	0.09
51	$\text{SF}^+ (31.3)$	13.2
52	SF^+	0.11
53	SF^+	0.52
54	$\text{SF}_4^{++} (40.6)$	23.12
54.5*	$\text{SF}_3^+ \rightarrow \text{SF}_2^+ + \text{F}$	0.21
55	SF_4^{++}	0.58
70	$\text{SF}_2^+ (27.5)$	6.46
71	SF_2^+	0.09
72	SF_2^+	0.27
89	$\text{SF}_3^+ (21.5)$	36.5
90	SF_3^+	0.53
91	SF_3^+	1.75
91.6*	$\text{SF}_5^+ \rightarrow \text{SF}_4^+ + \text{F}$	0.23
108	$\text{SF}_4^+ (19.9)$	21.5
109	SF_4^+	0.36
110	SF_4^+	1.12
127	$\text{SF}_5^+ (15.9)$	100.0
128	SF_5^+	1.15
129	SF_5^+	1.26
131	SF_5^+	4.28

注: *印は準安定イオンであることを示す。(本文 3.1 (3) 参照)

図 3.1 は純 SF_6 ガスの Cracking pattern であって、100 eV 250 μA の電子衝撃によって得られたものである。これによれば SF_6 は電子衝撃により表 3.1 に示す各種の正イオンに解離することがわかる。一方イオンソース内の電子衝撃エネルギーを変化させて、各正イオンの検知される最小の eV 値を求めれば、これが各イオンに対する出現電圧にほぼ等しくなる⁽¹⁴⁾。表 3.1 は各イオンの出現電圧を示したもので $\pm 10 \sim 20\%$ の誤差が許されるなら直接、 SF_6 分子からの解離エネルギー (eV) を示しているものと考えてよい。すなわち、 SF_6 が S^+ と F^+ に完全解離するエネルギーは 36 eV であって、このとき、Cracking pattern 上で S^+ と F^+ のピークを較正比較すれば S^+ は F^+ の約 4 分の 1 である。実際にアークを発生した場合、弧心付近の温度がどの程度であるかについては目下実験中であるが、少なくとも空気中自然アークの資料から外挿⁽¹⁵⁾するところでは完全解離には 35,000~40,000°K の温度が必要になり、實際上完全解離の状態にはなく、かなりの部分は部分解離の状態にとどまっているものと考えられる。さらに SF_6 が 1 個の F 原子のみを解離する場合に限ってみても、なお 15.9 eV を必要とし、ほかのガスに比して解離、イオン化に要するエネルギーは格段に高く、別の言葉でいえば、かなりの高エネルギーでなければガスの分解はないといえる。この事実はまた、物理化学的にこのガスの安定性を裏付けるもので、あとに述べるように、低エネルギー放電における SF_6 ガスの化学的特性・潮・宮本・鎌谷

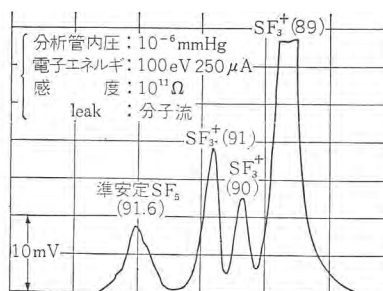


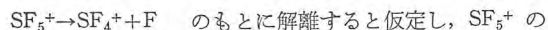
図 3.2 SF_5^+ 準安定イオンピーク
Fig. 3.2 Metastable ion peak of SF_5^+ .

ルビ放電に対するこのガスの安定な特性に納得のゆく説明を与えるものである。

(3) 準安定イオンについて

イオン化された粒子の中には非常に短時間で他種のイオンに遷移するか、または再結合するものがある。これを一般に準安定イオンといっているが、質量分析計を用いれば、イオンの準安定状態についてもある程度知ることができる。これはイオンが磁場を通過中、刻々その質量数 M/e を変える場合、あるいは再結合する場合に、準安定イオンピークが認められるもので、分析計諸元寸法、およびイオン加速電圧などを適当に選ぶことにより、 SF_6 ガスの場合にもある特定のイオンたとえば SF_5^+ , SF_3^+ , S_2F_2^+ などが準安定なイオンであることを確かめることができる。

図 3.2 は準安定イオンピークの代表例であって、純 SF_6 ガスに 100 eV 程度の電子衝撃を与えた場合の SF_5^+ 準安定イオンピークを示している。これらイオンの質量遷移が磁場通過中に起こるものと仮定すると、準安定イオンピークの観測される見かけの、質量数を簡単に求めることができる。たとえば、 SF_5^+ がつぎのような遷移



のもとに解離すると仮定し、 SF_5^+ の質量数を M_0 , SF_4^+ のそれを M とすれば見かけの質量数 M_a は

$$M_a \approx M^2/M_0 \quad \text{で与えられ、上の遷移では、}$$

$M_a \approx 91.8$ となる。実際 図 3.3 の準安定イオンピークが観測される質量数も、ここで得られた計算結果に非常に良く一致しており計算に先立って行なった仮定は正しいものと見なされる。すなわちイオンの遷移はイオンが磁場通過中に起こるのであって、この遷移時間を分析計諸元寸法から概算すれば大体 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ sec の程度となる。以上はあくまで準安定イオンに関する説明のため正イオンのみを例にとったのであって、実際のアーク空間では正負両イオンが共存しており、その場合の各イオンの準安定状態およびそれらイオン相互間の再結合については、おのずから別の考察を必要とする。現在この点につき、特殊な分析管を用いて研究中であり、この結果を別の機会に報告する予定であるが、少なくとも、 SF_5^+ , SF_3^+ , F^- , F_2^- などのイオンは上に概算したのと同程度の再結合時定数 ($10^{-6} \sim 10^{-7}$ sec) をもって SF_6 に再結合していることは確かである。

(4) SF_6 ガスの純度

以下に述べる一連の実験に用いたガスは大阪金属製およびアメリカ Allied Chemical Co. 製の SF_6 ガスで純度 99.0% と称するものであるが、実験に先立って上記 2 社のガスの純度を確かめた。質量分析計およびガスクロマトグラフの結果を総合すると、いずれの会社のものも、純度 99% 以上で、残りは空気が 0.7~0.8% 内外含まれている程度であり、工業的には十分の純度を有しているものといえる。

化学的に精密な測定を行なう場合も、上記不純物の Back

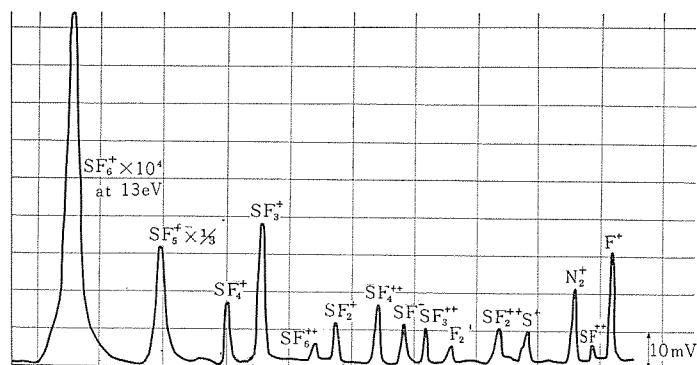


図 3.3 コロナ発生 160 時間後の SF_6 ガスのスペクトログラム
Fig. 3.3 Panoramic spectrogram of SF_6 after corona discharge.

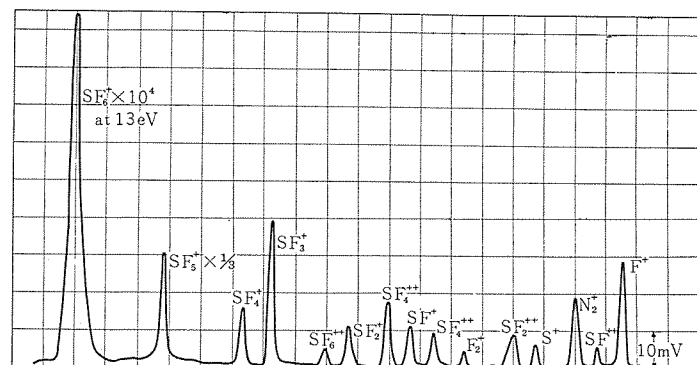


図 3.4 アーク発生1時間後の SF_6 ガスのスペクトログラム
Fig. 3.4 Mass spectrum of SF_6 gas exposed to arcing for 1 hr.

ground pattern をあらかじめ差引けば，実際の分析には支障なく
 十分な精度が期待できる。

3.2 高圧電界印加による効果

ガスに高圧電界が長時間印加された場合、ガス成分の変化の有無に関する検討もまた、シタ断器の実用性能上重要であって、さきに述べた有極コンテナを使用し、破壊電圧の85%の電界を約160時間印加したがガス成分にはなんら変化を認めなかった。なお試験は直流、交流60 c/s 両方について行なったが、直流の場合の極性の影響も認められなかった。

3.3 SF₆ ガスの耐コロナ性

一般にガスの耐コナ性を論ずる場合の確たる基準は国際的にはもちろん、国内でもまだ定まっていず、定量的な取扱いはなはだ困難であるが、絶縁材料の耐コナ性についてはすでに多くの研究がなされ、Mason⁽¹⁶⁾、原氏⁽¹⁷⁾またとくにSF₆ガスについては堺氏⁽¹⁸⁾らにより一応の許容限界が提唱されている。実用機器でコナが発生することはまずないであろうが、絶縁材料のコナ劣化を対照として求められた上記許容限界エネルギーは一つの基準となりうるもので、筆者らはこのエネルギーで放電を行なった場合のガスの特性変化を追求した。堺氏らによれば⁽¹⁸⁾、SF₆ガスの場合、上記許容限界は $10^{-10} \sim 10^{-11}$ クーロン×1 個/lc/s の程度であって、筆者らの実験でもこの値を採用し、1 気圧の SF₆ を充てんした有極コンテナ内で、約 160 時間放電を持続した。図 3.3 は、160 時間目のスペクトログラムであるがガスの成分変化はまったく認められていない。この場合コナ発生後 50 時間程度でフッ化金属らしい化合物が電極付近に付着しコナが自然消滅する現象が観測されたが、フッ化金属は良好な不良導体でコナ抑制作用を有しており実用性能上も問題はない。さらに大きいエネルギーのコナ (10^{-9} クーロン×1 個/l c/s) に対し、同一条件で得られた分析結

果でも、ガス成分には、なんら著変を認めなかった。また空気、水の不純物が、おのおの 20% (容積) および 5 重量%含まれた状態でもガス成分に異常はなかった。SF₆ガスの耐コロナ性は以上述べたとおり、優秀なものであるが、実用機ではむしろ、絶縁材料のコロナ劣化の観点からコロナの発生を極力抑えるべきであろう。

3.4 SF₆ ガスの耐アーク性

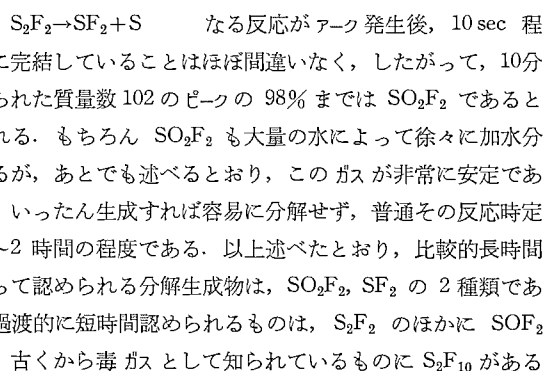
(1) 残留分解ガスとその化学的特性

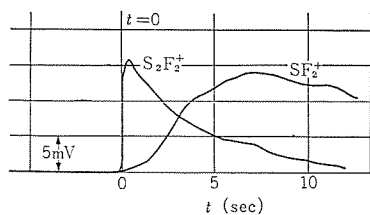
アーク放電における SF_6 ガスの特性は、シヤ断器にこのガスを適用する場合のもっとも重要な事柄である。注入エネルギーとしては 2.2 において述べた P_{rc} を一応の基準として採用し、モデルシヤ断器の P_{rc} の 5 倍の注入エネルギーで実験を行なった。 P_{rc} が Bake out された有極コンテナとモデルシヤ断器とでかなり異なるのは、モデルではガス組成になんらかの変化があるものと考えられる。

まず有極コンテナ内で基礎実験を行ない、並切形モデルでの実験と照合した。有極コンテナには、1気圧のSF₆を充てんし、この時のモデルシナ断器のPrc (0.5kWs/cc/min)の5倍にあたる、2.5kWs/cc-minのエネルギー注入率で放電を行なった。コンテナはリアプルーリークバルブでイオンソースと直結し、各分析系はあらかじめBake outしてバックグラウンドの極端に低い理想的な状態を具現した。図3.4は上記エネルギー注入率で、約1時間放電を行なったあとのスペクトログラムを示しているが、純SF₆の場合と同様SF₅⁺, SF₃⁺, F⁻, F₂⁻は急速に再結合しており、ガス成分

の著変はない.

一方並切形 モデルシタ 断点に $P_r=2.5 \text{ kW/s/cc-min}$ の繰り返しシタ断を約 1 時間行なわせ、完全にシタ断不能に至ったガスを試験終了 10 分後に分析したところ、ごく微量ではあるが、明らかに SF_2 , SO_2F_2 などの残留生成物が約 1~2% 存在することを確認した。 SO_2F_2 は質量数 102 の不活性気体であるが、これとまったく同一の質量数を有するガスに S_2F_2^+ がある。質量分析計では本来この 2 種類のガスを分離することは不可能であるが、 S_2F_2^+ が非常に不安定な準安定ガスであり、ただちに SF_2 に解離する性質のあるところから、質量数 102 のピークのほとんどは SO_2F_2^+ であると考えられる。事実準安定イオン分析の結果でも、 S_2F_2 はやはり準安定イオンとして認められ、 SF_2 に解離する時定数は 10~15 sec の程度である。図 3.5 は、 $t=0$ で 1.0 kW/s/cc なる放電を行なった後の S_2F_2^+ と SF_2^+ 各ピークの時間変化を示したもので、10 sec ほどでほとんどの S_2F_2 は SF_2 に解離している。一方、 SF_2^+ の Cracking spectrum である、 SF^+ , F^+ などのピークは SF_2 と完全に同期して増大しており、 H_2O 含有率が 2 重量% で 1 気圧の SF_6 中では、





注: H_2O 含有重量%; 2%
そのほか各件は図 3.1 と同
じ. $t=0$ で $1\text{ kW}/\text{cc}$ を放
電している.

図 3.5 アーク消滅後の
 S_2F_2^+ , SF_2^+ ピークの
時間変化
Fig. 3.5 Variation of
peak height of SF_2^+
and S_2F_2^+ after arc
discharge.

が、筆者らの行なった一連の実験では、いかに苛酷な条件下でも S_2F_{10} は認められなかった。これは化学結合論の立場からのごく当然のことで、低位の SF_6 あるいは SF_5^+ から高位の S_2F_{10} が生成することはない。

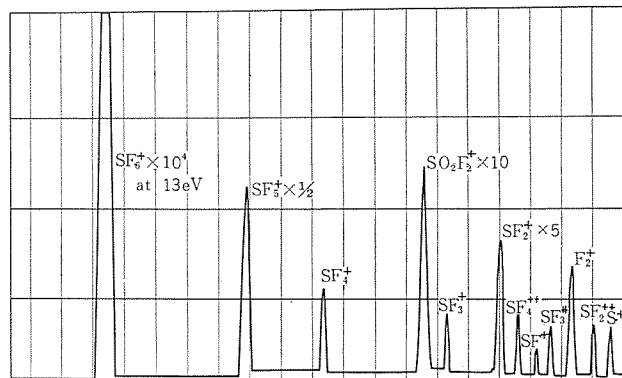
これら分解生成物の生成過程について述べるまえに、まず SO_2F_2 , SOF_2 , S_2F_2 および SF_2 の化学的特性にあてよう。

S_2F_2 : Centnerszwer および Strenck⁽¹⁹⁾ によってはじめて発見された無色のガスで、フッ化銀と硫黄を熱すれば得られる。塩化硫黄に似た臭いを持ち、1/100~1/500 程度の含有量でも人間はこれを感知できる⁽²⁰⁾。

融点は、 -105.5°C 、沸点は、 -99°C で液体の比重は、 -100°C で 1.5 である。熱、水に対して不安定で、 90°C 以上の温度、または大量の水により、 SF_2 と S に解離する。 100°C 以上では特定の金属、たとえばアルミニウム、亜鉛、シリコンなどを腐し、硫化金属を生ずる。また S_2F_2 自身は活性アルミニウムまたはアルカリ溶液に急速に吸着される。水または酸素が S_2F_2 に混入していればアークが発生した場合、その熱により SOF_2 を生ずることがある⁽²²⁾。

SF_2 : 実験室で純粋なものを分離することがはなはだ困難なため現在のところ化学的な諸量は判明していないが、 S_2F_2 よりも活性は低く、金属に対する反応性も少ない。 S_2F_2 同様、急速にアルカリ溶液または活性アルミニウムに吸着除去される⁽²¹⁾。

SO_2F_2 : 無色透明、不活性なガスで Swartz らにより発見され⁽²³⁾、その当時は、 SF_6 生成過程途中に発見された。沸点 -55°C 、融点は -136.7°C で、S 原子を 1 頂点とする正四面体の各頂点に電子親和性の大きい F および O 原子をもつ非常に安定な化合物である。 150°C までは水およびいかなる金属に対しても不活性であるが、KOH または NH_4OH に徐々に吸着され、活性アルミニウムには、比較的吸着されにくい⁽²³⁾。熱的にも非常に安定であるが 600°C 程度に達するとガラスを腐し、 SiF_4 あるいは、 SO_2 を生ずる。このガスの有する安定不活性な性質のため、 SO_2F_2 ガスは Hochberg らにより、絶縁媒体として用いられた実績⁽²³⁾があ



注: H_2O 含有量: 5 重量% そのほか測定条件は図 3.1 と同じ

図 3.6 コンテナ内に水が介在する場合の分解 SF_6 ガスのスペクトログラム
Fig. 3.6 Spectrogram of arc-decomposed SF_6 with pure water in the container.

り良好な結果を得ている。

SO_2F_2 : 無色透明でフッ素ガスに似た臭いを有するガスで、常温で徐々に加水分解し SO_2 および HF を生ずる。活性アルミニウムには急速に吸着される。

(2) 残留生成物の発生因と生成過程

完全に Bake out した有極コンテナでは認められず、モデルシヤ断器では認められたガスの劣化するにわち残留生成物の存在は、常識的に考えられる不純物すなわち、水の存在に基づくものであることはほぼ間違いないであろうが、以下では空気についても検討している。

a. 不純物が空気の場合

まず空気が不純物として混入している場合をコンテナ内で模擬したが、空気 20% (容積) 程度混入して放電を行なっても、ガス組成には著変なく、 N_2O^+ , SO^+ がごく微量 (1% 以下) 認められるにすぎない。さらに純 O_2 ガス 20% をコンテナ内に混入した場合も SF_2^+ , SO_2F_2^+ は認められず、 SO^+ が 1% 内外認められたに過ぎない。

b. 不純物が水の場合

同様に、コンテナ内に大量の水が混入した場合 (水分含有率 5% 以上) を 20 cc の水で模擬したところ、図 3.6 に示すように、放電終了 10 分後でも、かなりの SO_2F_2^+ , SF_2^+ が認められ、一連の分解生成物の発生に H_2O が重要な役割を果たしていることが判明した。 SO_2F_2^+ は、 SF_2^+ に比較すればはるかに微量ではあるが、やはり H_2O の混入した場合に認められる。

c. 生成過程

H_2O が存在する場合、以上の生成物がいかなる過程を経て生成するかという問題は、實際上重要であって、質量分析計を反応追跡用として用いることにより、反応過程の概略を知ることができる。図 3.7 (a) (b) は有極コンテナと分析管をバリアブルリークバルブで直結し、 H_2O 20 cc が存在する場合の SO_2F_2^+ , SF_2^+ ピークの変化を刻々記録したものである。 H_2O が存在すれば、有極コンテナの場合でも P_{rc} は格段に低下し、 $0.1\text{ kW}/\text{min}\cdot\text{cc}$ 程度となる。図 3.7 はいくつかの P_r 値で、くり返し放電を行なった場合の各ピークの変化であるが、明らかに、 SO_2F_2 および SF_2 の蓄積が観測され、注入総エネルギーが $1\text{ kW}/\text{cc}$ 以上で、ほぼ飽和値に達する。各繰返しシヤ断ごとに S_2F_2^+ が発生するが、10~15 sec の時定数で消滅し、ほとんどは SF_2^+ に解離している。このほかの質量ピークのすべてについて同様なピーク値の変化を求め刻々の質量マトリクスを電子計算機で解けば、ガスの解離反応に主要な役割を果たす質量ピークが何であるか、いかなる質量ピークの相

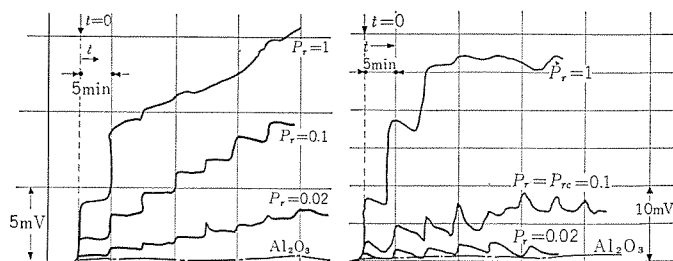
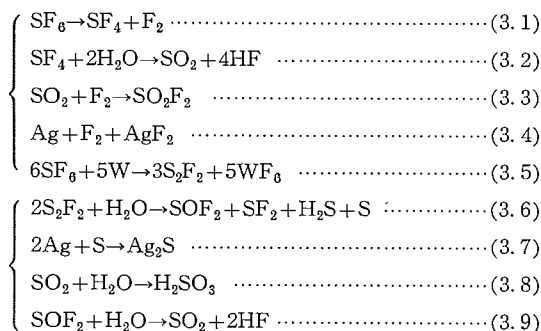


図 3.7 (a) 繰返しシヤ断による SO_2F_2^+ ピークの変化
Fig. 3.7 (a) Variation of SO_2F_2^+ peak with repeated interruption.

注: H_2O 含有量: 2 重量% 一点鎖線は Al_2O_3 を用いた場合 5 分間隔の繰返しシヤ断
図 3.7 (b) 繰返しシヤ断による SF_2^+ ピークの変化
Fig. 3.7 (b) Variation of SF_2^+ peak with repeated interruption.

相互作用が存在するか、またそれらの反応時定数がいかほどであるかについて知ることができる。このようにして得られた質量ピークの相互作用を、おのおの化学方程式で書けば解離反応はつぎのようになる。ただし、以下にあげる式では、イオン-イオン間、あるいは2段階再結合⁽³⁾などの高速反応の式は省略して、比較的、長時間その存在が認められる残留ガスに関する解離反応のみを取り扱うことにする。



このうち式 (3.1)～(3.5) はアーク発生時進行する反応、(3.6) (3.7) (3.8) は比較のおそく 10～15 sec で完結する反応であって、(3.7) は銀-タングステン接点から、アークによって遊離した銀との間の反応である。(3.9) の反応は極端におそく、数十分～2 時間程度で完結するものであるが、ガス圧力などの周囲条件によりかなり変化する。もちろん、ここに得られた式 (3.1)～(3.9) までの解離反応のおおのほは、質量マトリックスの解を定式化したもので、各反応が実際に存在するか否かについては、別の裏付けを必要とする。この点を化学反応集⁽²⁴⁾により確かめたところでは、以上の式はいずれも化学者によりすでにその存在が明らかにされている反応ばかりであり、十分妥当なものと考えられる。

解離反応が水の存在に基づくことは以上述べた解離反応方程式をみても明らかで、どの生成物についても、その解離反応には H_2O が影響している。図 3.8 は SF_2^+ と H_2O^+ の相関を示したものであるが、非常にはっきりした相関関係が示されている。つまり H_2O が存在しない状態では、低速解離反応はどれも進行せず、したがって SO_2F_2 、 SF_2 などは生成しないはずである。これは、3.4 で述べた実験結果とも良く合致するもので、完全に Bake out した有極コンテナでは、放電によるガスの劣化はまったく認められない。モデルシ断器においても消弧室内の気体を完全に乾燥した状態にすれば、生成物の発生を根本的に防ぐことができるわけでこの点をつぎに検討する。

(3) 吸着系の特性と吸着過程について

さきにふれた (a), (b) 両吸着系を用いて実験を行なった。(a)

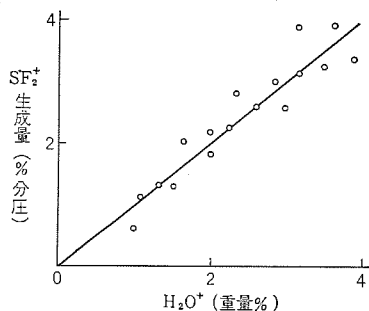


図 3.8 SF_2^+ ピークと H_2O 含有量の相関
Fig. 3.8 Correlation between the amounts of SF_2^+ and H_2O .

表 3.2

モデルシ断器内で 0.5% の水のある場合の不純物

生成物	分圧 %
SO_2F_2^+	0.5
SOF_2^+	<0.1
H_2SO_3^+	<0.2
H_2S^+	<0.001
SF_2^+	4.2

表 3.3

表 3.2 のガスをアルミナフィルタに 10 分通した後の組成

残留物	分圧 %
SO_2F_2^+	0.4～0.3
SOF_2^+	<0.001
H_2SO_3^+	<0.001
H_2S^+	<0.001
SF_2^+	<0.01

表 3.4

アルミナフィルタを常時消弧室内に充てんした場合の生成物

残留物	分圧 %
SO_2F_2^+	<0.01
SOF_2^+	0
H_2SO_3^+	0
H_2S^+	0
SF_2^+	0

表 3.5 (本文参照)

	Prc	H_2O 重量 %
(1)	1.2	<0.01
(2)	0.1	5
(3)	0.8～1.0	<0.01
(4)	0.6	0.5

はフィルタを有極コンテナと分析管の間に置いたもので、大量の水を含んだコンテナ内で放電を行ない、 SF_2 が飽和値に達するまで放電を行ない、ガスを解離したのちこのガスを活性アルミナフィルタに通すようにした吸着系である。表 3.2 には、 SF_2 が飽和値に達した場合のおもな分解生成物の分圧%を示す。表 3.3 は表 3.2 の生成物を (a) のフィルタに 10 分間通したのちの組成であるが、 SO_2F_2 だけは、かなり残留することがわかる。そのほかのガスはほぼ完全に、かつ迅速に吸着されるが、 SO_2F_2 は完全吸着までに約 0.5～1 時間を要する。(b) の吸着系は、吸着剤を直接コンテナ内に入れ、Bake out することなく完全乾燥の状態を具現するためのモデルであるが、この中で、さきの表 3.2 の場合と同一のエネルギー注入量で放電を行なったあとの組成を表 3.4 に示す。明らかに放電によるガスの成分変化は認められず、とくに SO_2F_2 の認められないことは注目すべき事柄である。いったん生成した SO_2F_2 がアルミナに吸着される時定数は、上に述べたとおり大きいにもかかわらずこれが認められないことは、前節で求めた解離反応の (2) および (3) を裏付けるに十分であろう。

吸着系 (a), (b) を比較した場合、分解生成物の発生を根本的に防ぐという点で (b) の吸着系がすぐれており推奨できる。

つまり、活性アルミナによる (b) の吸着系を用いれば、いかに苛酷な状態でも SF_6 ガスの放電に対する化学的安定性は保障されたわけである。

この報告の後半は分解生成物の生成過程、あるいは吸着過程追求のため、大量の水が混入した場合を模擬し、これを分析あるいは解析した結果を述べたものであるが、実際にはこのように苛酷な状態はあり得ない。ちなみに有極コンテナを用いて代表的な四つの場合の Prc を求めると表 3.5 のようになる。(1) は有極コンテナを完全に Bake out した場合、(2) はコンテナ内に大量の水 20 cc が混入している場合、(3) はコンテナ内にアルミナを入れた吸着系 (b) と同じもの、(4) は並切形消弧室に充てんする場合と同じガス充てん系からガスを採集し、消弧室内には、活性アルミナを用いない場合の各 Prc を示している。Bake out した (1) の場合、と活性アルミナを常時充てんした (3) の場合では、(2) の場合に比して Prc は格段に増大するが活性アルミナを用いない、(4) の場合では、Prc は (3) に比しいくぶん低下するのみで、顕著な差は認められない。表 3.5 には参考のため各場合の H_2O 含有率を示してある。図 3.9 は、圧力をパラメータとして表 3.5 の関係をプロットしたものであるが、圧力の増大とともに Prc は増大している。

活性アルミナを用いた (3) の場合でも Prc が存在するのは活性アルミナの活性度が徐々に低下するためであるが、普通の状態では、使用する SF_6 ガスの重さの 10% 程度のアルミナを用いておけば十分で、ガスの劣化、アルミナの劣化を考える必要はない。

2 種類の吸着系を用いることによってガスの動的吸着について定量的にはあくし、好ましい吸着系を決定できることは以上述べたとおりであるが、このほかにも吸着系の反応時定数の差を利用

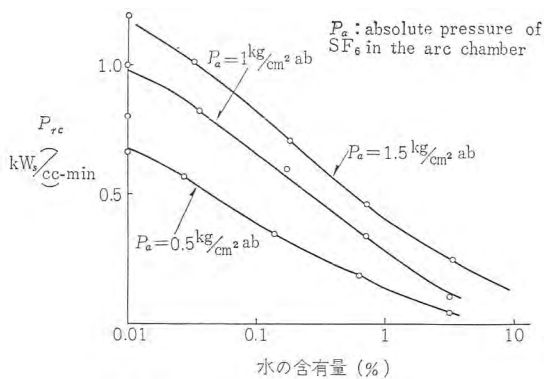


図 3.9 水の含有量%と P_{rc} の関係
 P_a (消弧室内圧力) パラメータ
 Fig. 3.9 Variation of P_{rc} with the weight % impurity of water.

して任意の分解生成物を単独に除去あるいは残留させ、ガスの電気的特性、たとえば、破壊電圧値と生成物の間の関係を検討することができる。図 3.10 はおもな生成物と直流破壊電圧値の関係を示したもので、やはり有極コンテナを用いて実験を行なった。ガスは SF_6 を $1 \text{ kg/cm}^2 \text{ ab}$ に充てんし、 NH_4OH , KOH , 活性アルミナのフィルタを適宜使用した。 SF_6 , SO_2F_2 の生成量と破壊電圧値の相関を検討したところ図 3.10 のように、 SF_2 がもっとも大きい相関を示し、 SF_2 の生成量の増大とともに破壊電圧値は低下する。しかし低下しはじめる SF_2 の生成量は高く 20% 以上であって実際にはこのような状態は起こりえない。なお、 SO_2F_2 のほうは 25% 程度含まれても SF_6 の破壊電圧値には変化がない。吹付けを行なった場合は別として並切形モデルではシャ断性能の点でも上の相関々係は成立している。

4. む す び

この報告では SF_6 ガスの各種放電における化学的特性を主として取りあげ、とくにアークに対する特性を吟味した。得られたおもな結論はつぎのとおりである。

- (1) 十分に乾燥した SF_6 ガスでは、電界印加、コロナおよびアークによるガスの成分変化はまったく認められず、したがってガスの劣化もまったくない。
- (2) この場合、大部分のイオンたとえば SF_5^+ , SF_4^+ , F^+ , F_2^+ などは 10^{-6} ~ 10^{-7} sec の間に SF_6 に再結合するが消弧室内に水が混入している苛酷な状態では 1% 程度の残留生成物が認められる。おもなものは SF_2 , SO_2F_2 , SOF_2 などであるが、 SF_6 に対する相対比では SF_2 がもっとも多い。また、 SF_2 と H_2O 含有率の間には明確な相関関係が認められる。生成物のうち SO_2F_2 , SOF_2 は安定であるが SF_2 は比較的不安定で、電気的特性の点でも SF_6 中に 25% 含まれると絶縁耐力は約 10% 低下する。
- (3) 活性アルミナを消弧室に入れることにより大量の水の混入する余地をなくすれば、いかなる苛酷な条件下でも生成物は認められず、ガスの劣化はまったくない。アルミナは使用する SF_6 ガスの重さの 10% 程度を用いれば十分である。
- (4) ごく当然のことながら S_2F_{10} はいかに苛酷な条件下でもその発生は認められない。

主要な結論は以上のとおりであるが、この報告で取り扱ったも

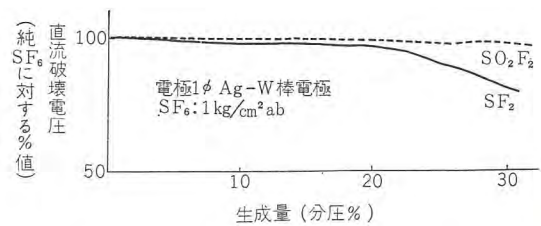


図 3.10 生成物生成量と破壊電圧の関係
 Fig. 3.10 Variation of DC break down Vtg with amount of arc-formed products.

のはあくまで比較的低速度の反応についてであって、アーク発生前後、とくに電流ゼロを含む、アーク動特性に関係した比較的短時間中のアーク空間の諸量をはあくするには、赤外分光流しカメラ、あるいは、高速反速研究用質量分析計などを必要とし、目下これらの装置により研究中である。いずれ別の機会にこの結果を報告したい。

最後に、この研究に関して適切な討論を寄せられた Strom 氏、Rowley 氏など Westinghouse 社の各位に謝意を表したい。

また、質量分析計による実験に援助いただいた後藤正之研究員、電子計算機の使用に協力された本社秋津技師などに深謝する次第である。

(昭 37—8—15 受付)

参 考 文 献

- (1) 潮・宮本：電学誌 82, p. 714 (37)
- (2) 潮・宮本：電気四連大 317 (昭 37)
- (3) 潮・宮本：「三菱電機」36, No. 10, 56 (昭 37)
- (4) 後藤・甲斐・川崎ほか：質量分析 No. 14, 21 (昭 35-1)
- (5) 後藤・道島ほか：Mitsubishi Denki Laboratory Reports 2, No. 1, Jan. 1961, p. 71
- (6) 荒木：質量分析法 p. 153, 化学同人社
- (7) 高橋：質量分析 No. 8, p. 63 (昭 27-9)
- (8) 伊藤・大倉：電学誌 82, p. 749 (37)
- (9) J. A. Hipple and E. U. Condon. Phys. Rev. 76 Letters to Editor p. 54 (1946)
- (10) J. Blears: "Applied mass spectrometry." p. 197 The Institute of Petroleum. 1954
- (11) 同 上：p. 269
- (12) J. H. Simons, "Fluorine chemistry" 1 (1950) Academic Press inc. pub. p. 90~96
- (13) Vanderkooi: Paper No. CP59-258-AIEE p. 1, Feb. (1959)
- (14) R. Thompson: "Applied mass spectrometry" p. 154
- (15) 潮・伊藤：電学誌 80, 1832 (昭 35)
- (16) J. H. Mason: Proc. Insts. Elect. Engrs 107, ptA 551 1960
- (17) 原・平林：電学誌 80, 1454 (昭 35)
- (18) 堺・伊藤ほか：電学誌 82, 796 (昭 37)
- (19) Centnerszwer and Strenk: Ber, 56B 2249 (1923)
- (20) 同 上：58 914 (1925)
- (21) W. Schumb: Industrial and Engr'g Chem. p. 1348. July (1949)
- (22) D. Edelson: Industrial and Engr'g Chem. p. 2095. Sep. (1953)
- (23) Bonch Bruevich and Hochbery: Exp'tle Therovet Phys. (U. S. S. R.) 10 p. 171 (1940)
- (27) Jacobson and Hampl: Encyclopedia of Chemical reactions I~VIII (1946)
- (25) W. M. Leeds, T. E. Brown Jr. & A. P. Strom: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs. 75 Pt. III. 1357 (1956)

高周波誘導加熱装置 (II)

——真空管式高周波発生装置——

馬場文夫*・東田孝彦**

1. ま え が き

高周波誘導加熱に用いられる周波数は、前編⁽¹⁾で述べたように、被加熱物の大きさとその加熱目的に応じて異なる。被焼入物の形状寸法が比較的小さく、焼入硬化深度が 1.6 mm というように、浅い表面焼入れなどには、400 kc の高い周波数が必要である。

100 kc 以上の高周波発生装置は、電動高周波発電機では発生困難で、真空管を用いた高周波発生装置によっている。当社では Tube 式高周波発生・加熱装置はラジオヒータと呼称し、従来からあった高周波誘電加熱用 (Dielectric Heating) DH 形三菱ラジオヒータと同様に、高周波誘導加熱用 (Eddy Current Heating) EH 形三菱ラジオヒータとして、昭和 22 年ごろから製作してきた。Tube 式の EH 形ラジオヒータは MG 式高周波誘導加熱よりも古く、Tube 式の方が高周波誘導加熱の焼入れなどではむしろ元祖であるともいえる。

三菱電機では、昭和 23 年に ミッション 針の高周波焼入用として 3 Mc のラジオヒータを使用して以来、各種の EH 形三菱ラジオヒータをすでに約 100 台近くを研究製作してきた。一方、社内設備として、各製作所の熱処理工程にほとんど採用し、現在では約 80 台、合計電力は 1,000 kW を越えている。高周波誘導加熱装置は熱処理工場の必須の生産機器であるので、ラジオヒータ高周波発生部は多くの製作経験と、新しい技術を入れて連続運転による苛酷な作業に耐え、事故が少ないよう、しかも保守点検が容易な機構をモットーとしている。さらに各種加熱応用に対する各種加熱コイルと熱処理技術は、多くの経験の蓄積によって、この利用の真価が発揮されるものである。

ここに EH 形三菱ラジオヒータの発振装置とその回路機能などについて解説し、応用や自動加熱機械装置については、最終編で MG 式と一緒に改めて述べることにした。

2. 標準仕様

表 2.1 に当社の真空管式誘導加熱用ラジオヒータ EH 形の標準仕様表を示す。被加熱物の各種応用や大きさ処理量に

応じて、各種取りそろえている。

2.1 標準周波数

真空管式高周波発生器はどんな周波数でも発生できるが、図 2.1 に示すように当社の標準周波数は 350~450 kc がもっとも多い。出力 50~100 kW 級では加熱物の形状などの関係で 100 kc のものや、特殊な小物の加熱用には 10 Mc 程度の高い周波数のものも製作している。

2.2 高周波出力

ラジオヒータの出力は発振装置の発振管陽極出力で表わし、形式記号の数字は高周波出力 kW 値で表現している。形式記号の数字のあとに R を付けたものは、発振管が強制空冷方式のものを用いていることを示し、R の付かない水冷式に比して、ロウ付・溶解用などのように加熱後冷却水をあまり用いなくてもよい場合や、良質の発振管冷却水が得られない場合などに便利で、装置の据付工事が簡素化できる。

発振管陽極出力は使用発振管の最大定格での陽極出力ではなく、その 50~70% となるよう定格値を下げて使用している。このことは工業用生産機器として、苛酷な断続使用による過渡現象などにより、定格値いっぱいで使用していると寿命が短くなり、かえ

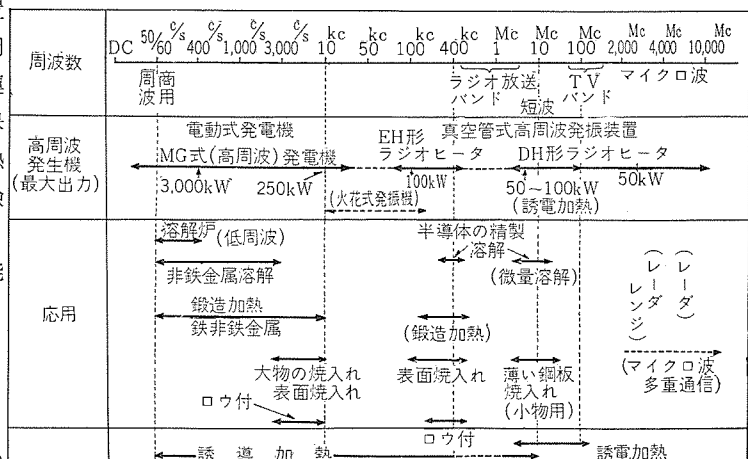


図 2.1 周波数分類による工業加熱機器

表 2.1 三菱 EH 形真空管式 誘導加熱用 ラジオヒータ 標準仕様表

形式記号	高周波出力 (kW)	周波数 (kc)	発振管	整流管 サイラトロン	電源入力	発振管冷却 水量 (風量)	外形寸法 (mm) (幅×奥行×高さ)	概略重量 (kg)
EH-10	10	350~450	水冷管 8T33 (1本)	4H88A (3本) 4G63A (3本)	三相 210V 21kVA	20 l/min	1,600×1,000×1,600	650
EH-15	15	"	" 8T33 (2本)	"	" " 32 "	" "	1,800×1,250×1,800	730
EH-20	20	"	" " "	"	" " 42 "	" "	" "	730
EH-30	30	"	" 8T72A (1本)	"	" " 62 "	45 "	2,240×1,250×1,800	800
EH-50	50	350~450 80~120	" 9T71 (1本)	7H57 (3本) 7G57 (3本)	" " 110 "	75 "	2,500×1,400×1,900	960
EH-100	100	"	" 9T71 (2本)	"	三相 210V 8 " 三相 3,300V 200 "	75 "	3,150×1,500×1,900	1,100
EH-05R	5	350~450	強制空冷管 7T58R (1本)	4H88A (3本) 4G63A (3本)	三相 210V 11.5 "	13 m³/min	1,320× 950×1,600	500
EH-10R	10	"	" 8T36R (1本)	"	" " 21 "	20 "	1,600×1,000×1,600	650
EH-15R	15	"	" 8T33R (2本)	5H69 (3本) 5G69 (3本)	" " 32 "	20×2 "	1,800×1,250×1,800	730
EH-20R	20	"	" 8T36R (2本)	"	" " 42 "	20×2 "	" "	730

備考 外形、寸法は発振装置、電源装置、制御装置を含む箱体寸法で、仕様により多少変更する場合がある。ただし、JIS Z 8501 標準数による。

って保守費が高まり作業能率を低減させる悪結果を生じやすいために Half Rating で使用するのである。その結果、真空管の寿命は 5,000~10,000 時間を越すものもあり、安心して量産工程の計画が立てられ、使いやすい発振装置ともいえる。

2.3 電源入力に対する能率

各種定格の ラジオヒータ、電源入力は表 2.1 に示すとおりである。一般に商用周波電源容量は高周波出力の約 2 倍が必要である。電源入力: W_{AC} 、高周波出力: W_{out} 、発振管陽極直流入力: W_{pDC} 、整流管陽極交流入力: W_{pAC} 、各種真空管熱電流: W_f 、制御用交流電力: W_c とすると、

$$W_{AC} = W_{pAC} + W_f + W_c \approx 2 \times W_{out}$$

$$W_{out} \approx 0.6 \quad W_{pDC} = 0.6 \times \frac{W_{pAC}}{1.05}$$

W_f は W_{out} の約 5~10% の電力値で、 W_c は約 100~500 W 以下の少ない値である。したがって W_{AC} は W_{pAC} すなわち W_{pDC} による発振能率に支配され、発振能率が 55~65% となるために W_{AC} が多く必要となるのである。

さらに高周波出力はそのまま被加熱物に吸収されるのではなく、陽極出力は加熱 コイル までの伝送能率と、加熱 コイル と被加熱物間の結合度などによる伝送能率とが相乗ぜられるので被加熱物が吸収する電力値 W_{eff} は

$$W_{eff} \approx (0.5 \sim 0.7) \times W_{out}$$

したがって電源入力に対する吸収電力の値は約 25~35% 程度となる。これは一見少ない値のようであるが、小さな部分に集中して電力を供給できるとともに、被加熱物に直接発熱させるため、熱効率としては他の加熱法よりはるかにすぐれている。

2.4 構成

ラジオヒータの装置の構成は図 2.2 に示すように、大別して発振装置、陽極用高圧変圧器、高周波変流装置、加熱コイル、遠隔操作

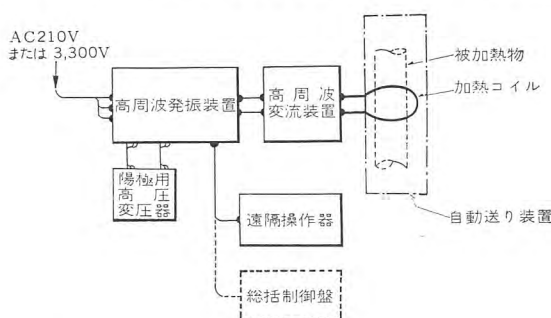


図 2.2 高周波誘導加熱装置 フロックダイアグラム

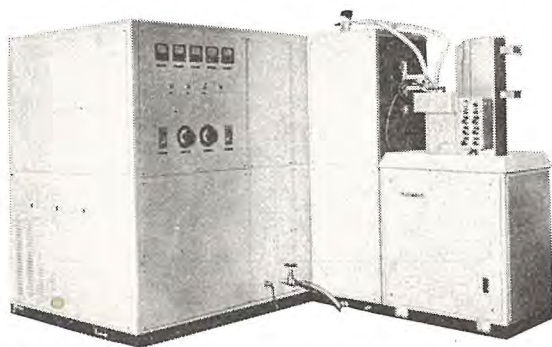


図 2.3 焼入機械装置と組合せた EH-50 形 ラジオヒータ

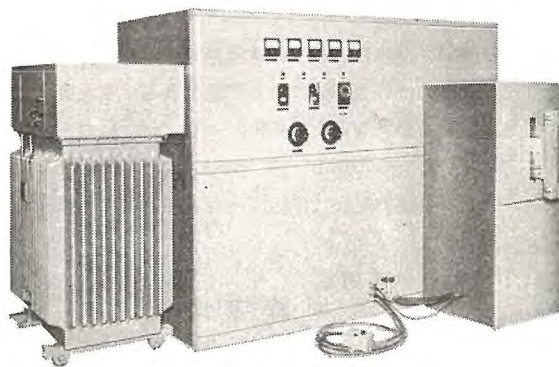


図 2.4 三菱 EH-30 形 ラジオヒータ

器からなる。加熱目的に応じて量産工程に組み込み、自動的に被加熱物を送る装置や、被加熱物の加熱対応位置に応じて加熱電力・冷却・移動を自動的に行なう焼入機械装置・加熱機械装置などが付加した一連の装置の製作も行なっている。図 2.3 は焼入機械装置を組合せた出力 50 kW ラジオヒータ（高圧変圧器を除く）一式である。発振装置は発振管直流電源用高圧整流部、高周波発振部、各種真空管熱電流電源、加熱電力制御部などを内蔵している。発振管陽極高圧電圧は入力電圧を陽極用高圧変圧器で昇圧しているが、この変圧器は EH-10 形以上のものは発振装置の外部付属としている。高周波加熱電力は被加熱物の作業台近くで制御しやすいように遠隔操作器を発振装置に結んで設けている。また作業場所での一連の装置全体を一括制御するような総括制御盤を特別に設ける例も最近多くなって来た。

2.5 三菱ラジオヒータの特長

EH 形 ラジオヒータ は多くの製作経験と実際に使用してきた応用の実績と、アメリカのウェスチングハウス電機会社よりの技術資料やつねに新しい技術に対する開発により、つぎの多くの特長をもっている。

(1) 陽極 タンク 回路の Q が大

発振回路の陽極 タンク 回路は Q を大きくして、加熱コイルの形状や大きさが異なっても自動的に周波数が追従するため、被加熱物が加熱 コイル の密結合でないときでも、あるいは鋼の磁気変体点以上の高温度のときや、非磁性体材料の加熱でも十分な高周波電力が伝送される。

(2) 発振管の寿命が長い

発振管は最大定格値で使用せず、Half Rating であるため、寿命が長く維持費が少なくて済み、負荷変動や短時間過負荷に対しても安全である。

(3) 高周波は連続的に可変

高周波出力は連続的に、加熱動作中でも 0 から最大まで可変であるため電力設定が容易にできる。このため電源電圧変動に対して、一定出力にすることも、加熱温度を一定に制御することも、自動制御装置を付加することにより可能である。

(4) 発振回路は当社独自方式

発振装置は出力や周波数を加減調整することができ、その調整法は当社実用新案を用いているため調整法が簡単にできる。高周波変流器は当社独自の方式を用いて、能率がよく安定に高周波出力を被加熱物に供給することができる。

(5) 操作保守が安全

真空管の各種回路にはそれぞれ保護継電器類を備え、規定値以上の動作に対しては保護回路により防止できる。また高圧回路部の保守上の危険を保護するため各扉には扉スイッチなどを備えていて、調整保守が安全である。操作回路はすべて押しボタンスイッチにより、インタロックされていて、停電時などに対しても操作が安全である。

3. 回路方式

3.1 電源回路

電源入力には三相 50/60 c/s で、出力 50 kW までのものは 220 V、50 および 100 kW のものは 3,300 V 電圧も必要である。発振管用直流高圧電圧は、陽極用高圧変圧器（三相油入屋内用変圧器）で、一次 Δ 結線、二次 Y 結線として、入力電圧を昇圧しサイラトロン 3 本と整流管 3 本で三相全波整流し、規定発振管陽極出力が連続定格で得られるようにしている。

高周波電力の加減調整法は、一般に高周波回路部で連続可変とすることは損失を増すので、陽極直流電圧を可変として行なっている。陽極直流電圧はサイラトロンの格子電圧の位相角を、サイラトロン陽極位相に対して変化させることにより、図 3.1 に示すように 0 から最大値までを連続的にほとんど直線的に変化させることができ、しかも負荷の有無にかかわらず（高周波出力発生中でも）容易に変化調整できる。図 3.2 (a) は回路図で、サイラトロン $V_4 \sim V_6$ の格子電圧がその織条に対して 0 か正である場合に、 $V_4 \sim V_6$ は整流管と同じ動作をするので、一般の三相全波整流と同様な整流をして、出力端子 B—接地間には入力交流の相電圧の約 1.35 倍の直流電圧が得られる。サイラトロンの格子電圧は、その陽極に最大交流電圧がかかったときでも放電しないような $-E_c$ のバイアス電圧を織条に対して与えておく。 $T_9 \sim T_{11}$ はピークトランスで、二次電圧は $\pi/6$ 以下にとがった波形とし、ピーク電圧値が E_c よりも大きくしてある。このピーク電圧を $-E_c$ に重畳して格子に加えると、格子電圧は織条に対して瞬時だけ正となる。このピーク値が始めてサイラトン臨界格子電圧に等しくなった瞬間よりサイラトロンは放電可能となり、その陽極交流電圧は図のように継続的・脈流波形をもった直流電圧に整流される。ピークトランスの位相は位相変換器 T_{12} により任意の位相角に、直流出力負荷に影響されることなく調整できるので、図 3.2 (b) のようにサイラトロンの放電特性を変えることが

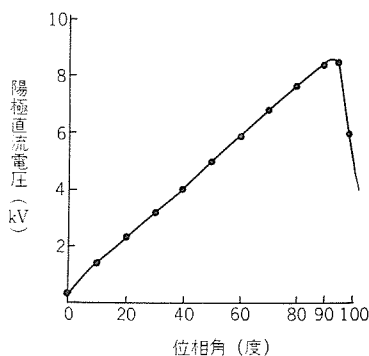


図 3.1 整流電圧と位相角の関係

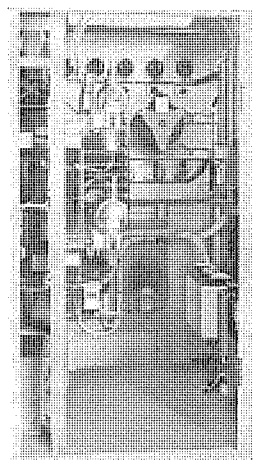


図 3.3 EH-20 形用電源部（高圧整流部）内部

できる。位相変換器 T_{12} の一次電圧は継電器 K_1 によって断するとサイラトン格子電圧は負電圧となり、B 端子には直流高圧が生じない。このようにして高周波出力の入切は、陽極直流高圧電圧 (max. 約 200 kW) を小さな格子電圧（制御電圧値のみで動作させるため容量としては約 200 W）と小形継電器で容易に調整でき継電器接片などの消耗もきわめて少なくて済む。

ここで注意することはサイラトロン臨界制御格子電圧は、その球の管壁温度によって若干差異を生ずるため、夏期に使用するときには、管壁の一部を空気で冷却するなどして、つねにそろった制御特性となるように注意が必要である。

3.2 制御回路

(1) 織条電圧

発振管の織条は一般にトリウムタングステンフィラメントであるので、織条電圧は電源電圧が変動してもつねに規定電圧の $\pm 5\%$ 以内に調整する必要がある。大電力用発振管で織条電流値が大きいものは、織条電圧を印加するとき、規定電圧をいきなりかけると規定電流の十数倍の突入電流が流れて、織条を損傷させたり溶断することがある。このために投入織条電圧は、規定電圧の $1/5$ 以下から印加し、その後徐々に昇圧して規定値に調整できるよう調整器を設ける必要がある。水冷・（空冷）式発振管は水圧・水量（風量）継電器で規定値以上の冷却量がない場合には、織条電圧が断となるようにして発振管焼損を保護している。真空管の寿命は一般に誘導加熱に用いられているものでは、織条電圧の印加時間数によ

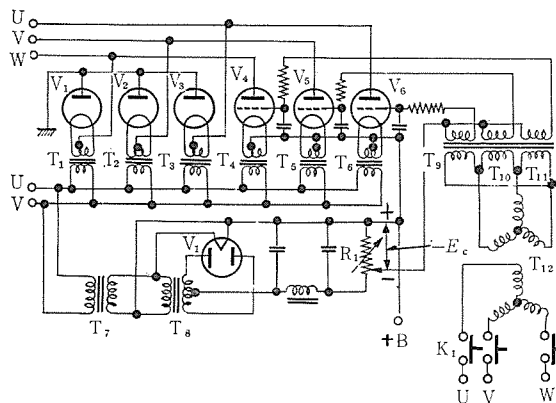


図 3.2 (a) サイラトン制御電源回路図

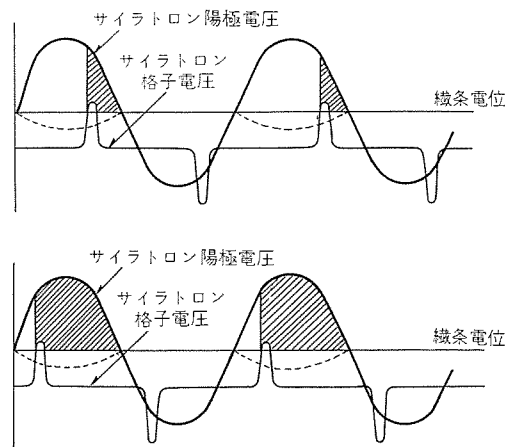


図 3.2 (b) サイラトン動作特性（斜線部は放電領域で整流波形を示す）

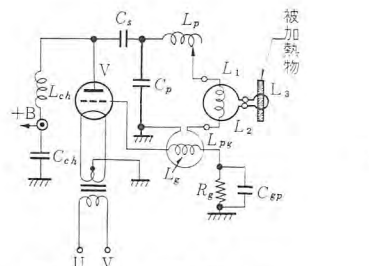


図 3.4 発振回路負荷回路図
 V : 発振管 L_1 : CT一次コイル
 L_p : 陽極コイル L_2 : CT二次コイル
 L_{pg} : 格子結合用陽極コイル L_3 : 加熱コイル
 L_g : 格子コイル C_{gp} : 格子側路コンデンサ
 L_{ch} : 陽極チョーク C_{ch} : 陽極側路コンデンサ
 C_p : 陽極タンクコンデンサ R_g : 格子抵抗
 C_s : 陽極阻止コンデンサ

図 3.4 発振回路負荷回路図

るので、織条積算時間計によって計数し、球の保守取換えを前もって予知するようにしている。

(2) 整流管、サイロトロン の管壁温度制御

これらは水銀蒸気入整流・放電管であるため前節で述べたように整流特性の安定と球の寿命を長くさせるためにも、管壁温度は規定値に保つ必要がある。とくに冬期は予熱時間を 10 分間以上とって暖房し、夏期には送風機で管壁を冷却するなどして、また箱体の保温・換気を十分行なっている。

(3) 操作回路

織条電圧、交流高圧電圧、加熱電圧（陽極直流電圧）その他の操作回路はすべて押しボタンスイッチで、継電器類を使用し操作が簡単でかつ確実なようにしている。各種動作を示す標示灯、計器類は正面パネルに設けるものを標準としているが、特別に一括制御したい場合には総括制御盤に備えることもできる。

加熱時間や冷却時間をプログラミングして、熱処理する場合の用途が多いので、タイマをそれぞれ設け加熱開始後自動的に設定時間に加熱断、放冷、冷却を順次動作させるものもある。

操作上・真空管の保護上各種の安全装置は、生産機器としてつねに確実に動作するものを用いて万全を期している。

3.3 発振回路

発振回路は陽極同調式自励発振回路で、誘導加熱に用いられる方式を大別すると三つに分けられる。

第1の場合は図 3.4 に示す回路で、EH 形ラジオータの標準としているものである⁽³⁾。陽極タンク回路はカレントランス（以下 CT と略す）の一次コイルが含まれ、発振管陽極直流電圧とは C_s で阻止されているので、直流高圧に対しては安全である。CT 二次負荷には L_3 の加熱コイルを結び、被加熱物に電力を供給する。被加熱物に結合した L_3 のインピーダンス $Z_3 \text{ eff}$ は、CT 一次コイルインピーダンスに、CT 一次、二次間の結合係数 K_{12} に応じて変換されるものであり、 K_{12} の値が 0.8 という密結合にしてあるので $Z_3 \text{ eff}$ の変化は CT 一次インピーダンスを変化させることとなる。

負荷に結合された L_1 の値を $L_1 \text{ eff}$ とすると、発振周波数 f は

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_p(L_1 \text{ eff} + L_p + L_{pg})}} \quad (3.1)$$

ただし

$$L_1 \text{ eff} \gg L_p + L_{pg}$$

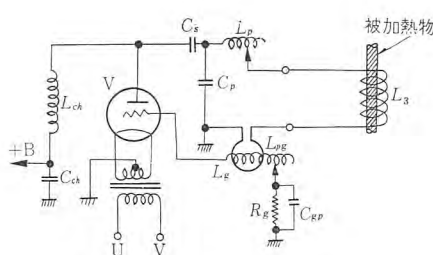


図 3.5 CT なしの発振、負荷回路図
 $(L_3$ が大きい場合)

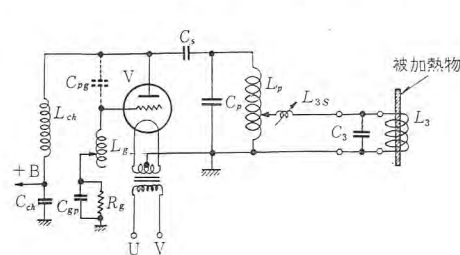


図 3.6 CT なしの発振、負荷回路図
 (周波数 5 Mc 以上)

となる。したがって発振周波数は、加熱コイルの形状寸法、被加熱物をコイルに結合したときや、被加熱物の温度変化に対しても、それぞれの負荷の加熱条件に応じて周波数が自動的に追従する。このため高周波出力の整合調整が不要となり操作が簡単である。高周波出力の加減調整は、発振管陽極直流電圧を加減してできるが、さらに陽極タンク回路の L_p を加減することにより、 L_1 の端子間電圧を変えて出力調整ができる。この場合 L_{pg} と L_g は一対の結合回路であるので、 L_p の変化に対して格子電圧の調整を L_g で行なう必要がないことは当社の実用新案となっている⁽²⁾。この方式は加熱コイルのインダクタンスが数百 μH 以下で CT 二次インダクタンス L_2 の 0.2~3.5 倍程度である場合に用いる回路方式である。

第2の方式は図 3.5 に示すように⁽⁴⁾、CT がなく直接発振タンクコイルの一部に加熱コイルをそう入するものである。この場合は一般に加熱コイルだけのインダクタンスが 10 μH 程度の大きな加熱コイルを用いるときに使用する。前節の CT がある方式と比べて CT がないので、その伝送能率分だけ陽極出力の能率がよいが、加熱コイル L_2 の値がタンク回路の全インダクタンスの 70% 以下でしかも被加熱物に密結合する場合には、過負荷となって発振不能を起こすおそれがあり、加熱コイルの高圧側（高周波電圧）は被加熱物に対しある間隔をもたせて放電しないように疎結合とすることがある。半導体の精製炉や高周波溶解などのような、加熱コイル巻回数の多い加熱法にしばしば用いられる。

第3の方式は陽極タンク回路より誘導結合で出力を取り出すものではなく、図 3.6 のように直接タンクコイルの低圧タップ側より加熱コイルに引き出し、加熱コイル端子位置で、さらに $L_3 \text{ eff}$ にはほぼ同調するコンデンサ C_3 を並列に結線した回路方式である。これは DH 形ラジオータの回路に似て、周波数が数 Mc 程度の高い周波数で加熱する場合に用いられる方式である。

(1) 陽極タンク回路の皮相電力

CT 一次側の電力 W_{14} は、つぎのように表わされる。

$$W_{14} = i_1^2 r_{14} \quad (3.2)$$

i_1 ……陽極タンク電流

r_{14} ……被加熱物が結合したときの一次換算抵抗

一方、発振管陽極直流電圧を E_p とすると、陽極タンク電圧はほぼ $0.6 E_p$ となり、陽極タンク電流は

$$i_1 = 0.6 E_p \cdot \omega \cdot C_p \quad (3.3)$$

となり、したがって CT 一次側電力は次式で表わされる。

$$W_{14} = 0.36 E_p^2 \omega^2 C_p^2 r_{14} \quad (3.4)$$

式 (3.4) より発振管の使用定格以内で有効出力を取りやすくするための方法を考える。 E_p は高いほどよいが、発振管の定格値や、

回路部品、直流電源用整流回路上から限度がある。 ω は $2\pi f$ で、周波数は加熱目的に応じて決定されていて高くは取れない。したがって C_p の値を大きくとれば、有効電力が引きやすくなる。このため、 C_p の選び方はつぎのように設計している。

i_1 は式 (3.3) のとおりで、 C_p の皮相電力 W_T は

$$W_T = 0.36 E_p^2 \omega \cdot C_p \quad \text{kVA} \quad (3.5)$$

$$Q_{14} = \frac{W_T}{W_{out}} = \omega \cdot C_p \cdot r_{14} \quad (3.6)$$

ただし、 $W_{14} \doteq W_{out} = \text{陽極出力}$

Q_{14} はできるだけ大きい方が出力がとれやすいので陽極出力が 10～30 kW 程度のものでは一般に 50 という大きな値を選び、 C_p はつぎのように計算できる。

$$C_p = \frac{Q_{14} \cdot W_{out}}{0.36 E_p^2 \omega} \quad (3.7)$$

式 (3.6) の Q_{14} が大きな値を選んでいることは、被加熱物が加熱コイルに疎結合であっても、比抵抗の小さい金属でも比較的输出力を容易に被加熱物に送り出すことができる。すなわち、誘導加熱の高周波出力が容易に取りやすい発振回路は Q_{14} を大きくして、 C_p の値が大きなものほど発振管陽極出力が出やすいといえる。 C_p は一般に 0.01 μF 以上 (出力 20 kW 以上のものについて) であって、磁器コンデンサ 90 kVA 1,000～1,500 pF 程度のものが比較的小形でしかも高周波損失が少ないのでよく用い

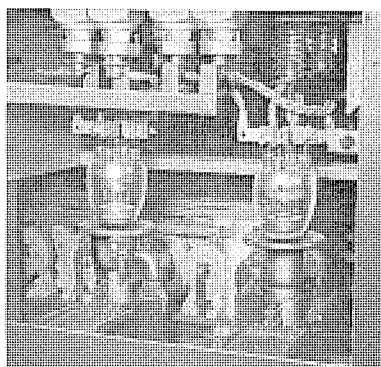


図 3.7 (a) EH-20 形 発振部の内部

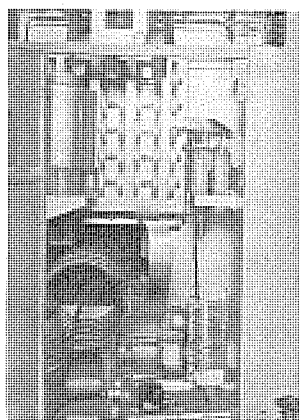


図 3.7 (b) EH-30 形 発振回路部

られている。図 3.7(a)(b) は発振回路部の写真である。

(2) 自励発振の発振能率

発振能率は陽極負荷回路の定数によっても支配されるが、自励発振の発振管格子への帰還量によっても変化する。格子電流を増すと、陽極電流の流通角が増し、陽極入力が増して出力も増したかのように一見みえるが、一例として図 3.8 に示すように発振能率 η は格子電流に対して、ある範囲内がもっともよいことが理解できる。図 3.8 では η の値は max 62% であるが、大形管となると 70% 近いものもある。一般には 60% 程度である。

3.4 カレントトランス

発振管の負荷インピーダンスは高抵抗であるが、誘導加熱の負荷の加熱コイルインピーダンスは一般に数 Ω 以下の非常に低い値であるため、CT を用いて加熱コイル電流を増大させる必要がある。CT は周波数が数百 kc であるため適当な鉄心がなく、空心のままで結合係数は 0.8 程度が得られるので、空心で一次、二次水冷方式を用いている。結合係数は式 (3.4) の r_{14} のように、加熱コイル

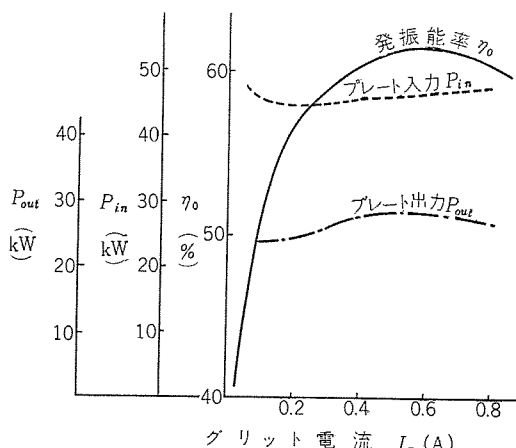


図 3.8 25 kW-450 kc ラジオヒータの動作例

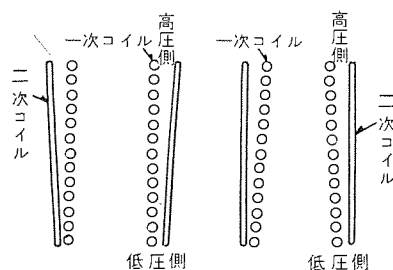
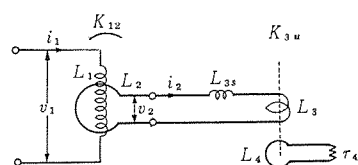


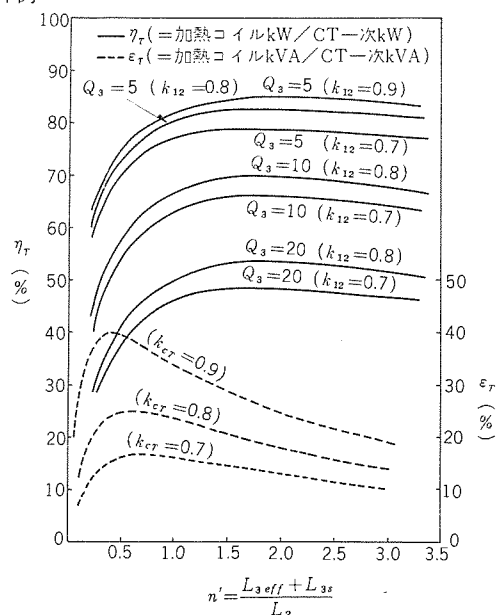
図 3.9 カレントトランス 断面図



$L_1, L_2 \dots$ CT 一次、二次インダクタンス
 $L_3, L_4 \dots$ 加熱コイルとその導体のインダクタンス
 $L_4 \dots$ 被加熱物に誘導されるインダクタンス
 $r_4 \dots$ 被加熱物に誘導電流が流れる回路の抵抗

図 3.10 カレントトランスと負荷回路図

への負荷を能率よく引くためにできるだけ密結合でなければならない。CT 一次、二次間の結合係数を大きく取るために一次、二次コイルの間隔を小さくするとよいが、一次コイル高圧側は高周波電圧数千 V であり耐圧上注意が必要である。このため図 3.9 のように、高圧側が間隔大で、低圧側は間隔小となるような構造とし、一次コイルは真円状のパイプを用いずに導波管のようなダ円形のパイプを用いるなどして、結合係数が 0.75～0.82 程



Q_3 : 加熱コイルの Q
 Q_1 : CT 一次コイルの Q (50 に仮定)
 Q_2 : CT 二次コイルの Q (200 に仮定)
 k_{12} : CT 一次二次コイルの結合係数
 L_3 : 加熱コイルのインダクタンス
 L_2 : CT 二次コイルのインダクタンス

図 3.11 空心形 CT の電力伝送能率 (η_T) と皮相電力伝送能率 (ε_T) 曲線

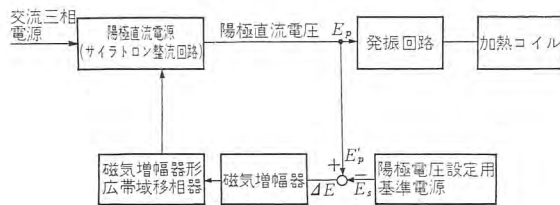


図 3.12 陽極電圧制御装置付 ラジオヒータ

度の高結合のCTを当社では製作している。

CT の能率

CT の設計方法はすでに本誌で述べている⁽⁵⁾ので省略するが、この能率はつぎのようになる。CT の負荷回路図は図 3.10 に示すとおりで、一次コイルが二次コイルに結合した一次インダクタンス $L_1 \text{ eff}$ は

$$L_1 \text{ eff} = L_1 \left(1 - \frac{K_{12}^2}{1+n'} \right) \dots \dots \dots (3.8)$$

K_{12}CT 一次、二次結合係数

$$n' = \frac{L_3 \text{ eff} + L_{3s}}{L_2}$$

$$L_3 \text{ eff} = L_3 (1 - K_{34}^2)$$

K_{34}加熱コイルと被加熱物の結合係数

L_{3s}加熱コイルとCT二次端子間のインダクタンス

二次、一次電流比は

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{K_{12}}{1+n'} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \dots \dots \dots (3.9)$$

二次-一次電圧比は

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{K_{12}n'}{1+n'-K_{12}^2} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \dots \dots \dots (3.10)$$

電力伝送能率は図 3.11 に⁽⁷⁾、加熱コイル $Q_3=5\sim 20$, $K_{12}=0.7\sim 0.9$ の場合にそれぞれ仮定して、 n' の変化に対する一例を示す。CT の能率は $n'=0.5\sim 3.5$ の範囲内でよくなっている。したがって加熱コイルのインダクタンスとCT二次コイルインダクタンスの間にはこの相対的な関係が得られるよう、CT二次または加熱コイルを選ぶ必要がある。

3.5 出力自動制御回路

(1) 陽極電圧制御方式

高周波焼入で多量に量産する場合、焼入物の品質をつねに一定とするためには、高周波加熱時間はもちろん、高周波出力も一定に保つ必要がある。とくに電源電圧の変動は陽極直流電圧 E_p に変動を与え、式 (3.4) のように CT 一次電力が変動し、一方、発振管縦条加熱電圧をも変化することによって高周波出力が大きく変化する。縦条電圧の変動に対しては、縦条電圧調整器を当社の標準機には設けてあるので一応問題なく省略するが、陽極直流電圧の制御方式について述べる。図 3.12 は陽極電圧制御方式の一例で、陽極直流電圧の一部の電圧 E_p' と、電源電圧変動に対して安定な設定用基準電圧との差 ΔE を検出し、増幅してサイトロン格子のピーク電圧の位相角を、 $E_p' > E_s$ のときは遅らせ、 $E_p' < E_s$ のときは進ませるような広帯域移相器によって制御し、つねに一定の設定陽極電圧となるよう制御するものである。この磁気増幅器方式では E_p は設定電圧の約 $\pm 0.5\%$ の精度が保たれるものを作った。図 3.12 は移相器が磁気増幅器形のものであるが、位

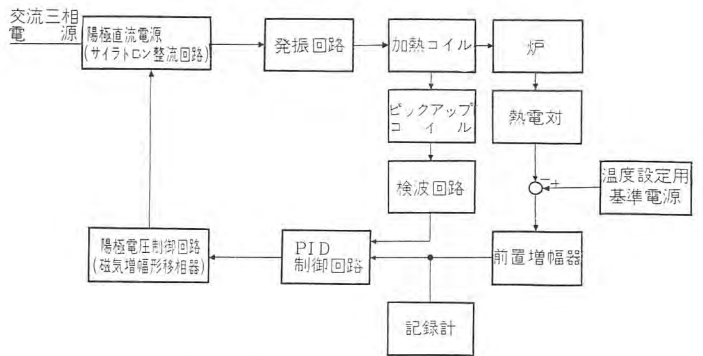


図 3.13 温度制御装置付 ラジオヒータ

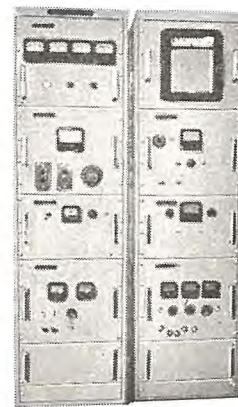


図 3.14 高周波誘導加熱用温度制御装置

相変換器をサーボモータで機械的に回転させ、磁気増幅器部はチョップを使用した真空管式増幅器を用いたものも特別に製作した。

(2) 温度制御方式

連続に高周波加熱をして、半導体などを精製する場合には、被加熱物の温度を一定に保つ必要がある。このような場合には図 3.13 に示すように、加熱コイル電流すなわち高周波出力の積分値の信号と被加熱物の温度を熱電対などで測定し、その温度に対する温度設定電圧基準値との差の微分信号とを、PID制御回路を通して、陽極直流電圧制御用のサイトロン格子電圧の位相角を調整して、陽極直流電圧→高周波出力→加熱コイル→被加熱物の温度を一定に保つような回路方式をも製作した。この装置では $1,420^\circ\text{C}$ に設定した場合の一例をあげると、電源電圧を $200\text{ V} \pm 3\text{ V}$ 以内に安定すれば、一時間連続加熱時許容温度差 $1,420^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$ 以内に制御できる。

このように加熱電力・加熱温度は非常に高精度まで自動制御できるのは、ラジオヒータの出力制御が連続的に微細な調整を陽極直流電圧の制御で可能なためである。

4. 加熱コイル

誘導加熱装置の加熱コイルは、発振装置から加熱コイルまでの電力を能率よく伝送すること以上に、被加熱物の形状や加熱目的に応じた形状、寸法を選定することが大切である。一般に高周波焼入用加熱コイルは1回巻が多くまた多くとも数回巻以下で、加熱周波数が高いほどそのインダクタンスはCT二次インダクタンスに応じて小さく選んでいる。被加熱物の形状などによりコイルの形も円形、半円形、ヘアピン形状、など種々様々あって一概に説明できないが、中でも円形1回巻コイルはもっとも多い。図 4.1 は

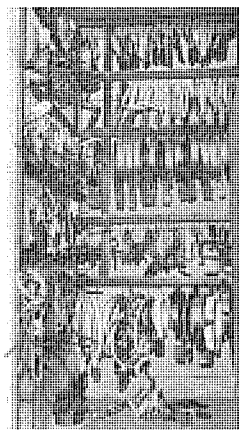


図 4.1 EH 形用加熱 コイル の一例

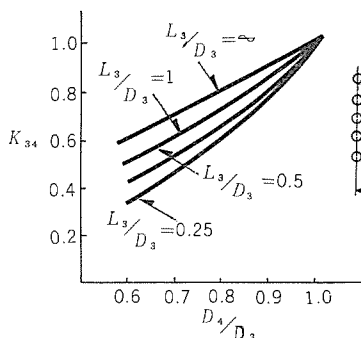


図 4.2 被加熱物と加熱 コイル の結合係数

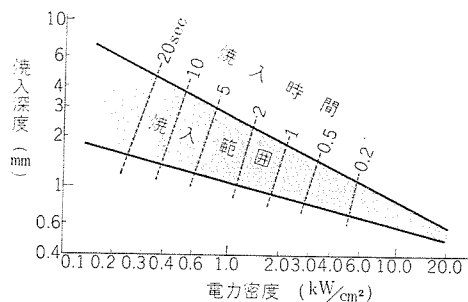


図 4.3 丸棒の焼入れの場合の加熱電力と焼入深度、加熱時間の関係例

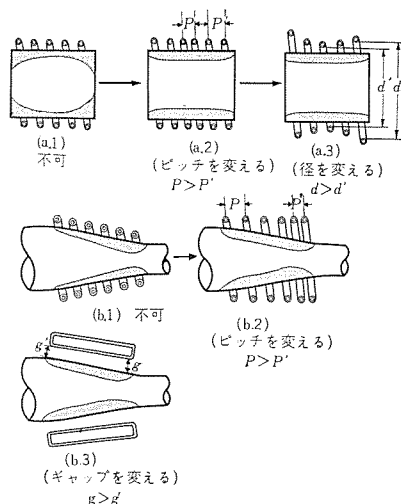


図 4.4 均一加熱のための コイル 形状

数多いうちから一部を取り出して示したが、これも至って雑多である。

(1) 加熱 コイル の インダクタンス

円形 コイル の インダクタンス は次式で求められる。

$$L_3 = \frac{N_3^2 D_3^2}{102 l_3 + 45 D_3} \mu H \dots \dots \dots (4.1)$$

D_3 ……加熱 コイル の直径 cm

l_3 ……加熱 コイル の長さ cm

N_3 ……加熱 コイル 巻数

被加熱物と結合した実効加熱 コイルインダクタンス は

$$L_3 \text{ eff} = L_3 (1 - K_{34}^2) \mu H \dots \dots \dots (4.2)$$

K_{34} は 図 4.2 より コイル と被加熱物のそれぞれの直径、長さ、間 隔より求められた結合係数である。加熱 コイル と被加熱物との結合度は、被加熱物の表面における磁界がこれらの間 隔の距離の 2 乗関係にある。しかし コイル の形状や被加熱物の熱伝導分布によっても、均一な加熱をうるためには間隔を十分考慮する必要がある。能率のよい加熱 コイル は、被加熱物との結合をできるだけ密に選ぶことが大切である。さらに CT 二次端子から加熱 コイル 部までを結ぶ導体はできるだけ幅の広いギャップの狭い 2 枚の重ね銅板として、極力インダクタンス と抵抗値が小さくなるようにする必要がある。これら実効加熱 コイルインダクタンス $L_3 \text{ eff}$ と導体インダクタンスの和が、3.4 節で述べたように CT 二次インダクタンスの 0.5 ～ 3.5 倍の間になるよう コイル 形状と巻回数を選ぶのである。

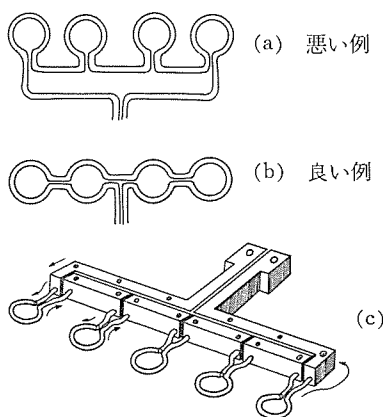


図 4.5 直列形加熱 コイル の例

(2) 加熱電力計算より コイル 形状の選定

加熱 コイル 形状の決定法としてもう一つの方式は、焼入れの際 コイル 下の被加熱物の面積上から コイル の長さを設計する方法である。図 4.3 はその設計 チャートで、焼入深度と加熱時間の図より電力密度を求めるのである。電力密度は コイル 下の面積当たりの電力で、電力とは発振装置の出力の 50～60% としたときの値で、コイル下の面積は円形コイルの場合はコイル 長さ と被加熱物の直径より算出できるので、コイル 長さがいくらにすればその電力密度となるかによって、コイル 長さを逆に算出し コイル 形状を推定することもできる。このチャートは加熱 コイル と被加熱物の結合度によって 1 枚ずつシートができていて、そのシートでコイル 形状と電力密度などより算出するとともに、さらに前項 (1) の方式を満足するよう設計する必要がある。一般に 400 kc の加熱周波数での焼入電力密度は 0.5～2.0 kW/cm² で、10 kc に比して約 1/10 の低い電力密度でよい。

(3) 加熱 コイル 形と方式

a. 均一加熱法 被加熱物と コイル が相対的に移動して連続的に加熱する場合は均一加熱となりやすい。しかし移動せずに一発固定加熱の時は被加熱物の形状により均一に加熱することが困難な場合が多い。図 4.4 には均一加熱が得られないとき⁽⁴⁾ コイルピッチかコイル との間 隔を不均一として解決する方法を示す。とくにシャフトの一部にツバが出ていて、その部分は加熱しないでよい場合などは、銅のショートリングでその部分をおおい、その下だけを加熱させない方法もある。あるいは焼入れの際、冷却水がかからないようにプロテクタを付けて、自然放冷させて焼入れさせないよう

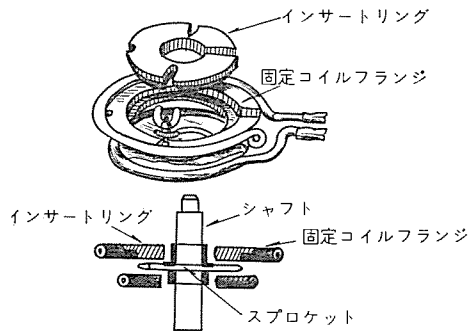


図 4.6 インサートリング式加熱コイル
(シャフトにスプロケットロウ付用)

にする方法もある。

b. 直列加熱コイル 被加熱物が1個以上数個を同時に加熱する場合は、焼入れロウ付などに多く用いられる。図4.5はそのコイルを示すが、注意すべきことは各コイル内面側にそって流れる直列電流が、それぞれ同じ値となるようにする必要があり、とかく両端の加熱速度が早いので、コイル内径を少し両端のみ大きくするなどの方法があり、さらに各コイル間を継ぐ電流の通路は往復の電流がなるべく接近するような構造として、直列導体のインダクタンスを少なくする必要がある。

c. その他 図4.6は各種多数の径が異ったものを加熱する場合⁽⁶⁾、コイルリードとコイルフランジが固定で、そのフランジに各径のインサートコイルリングをそう入して使用できるものである。ただインサートリングとフランジ部の接触が確実にできるよう注意が必要であり、大電力用にはあまり用いられない。図4.7は平面加熱の場合にしばしば用いられるパンケーキコイルであるが、被加熱物との結合係数が悪いので、加熱コイルのパイプには導波管などを用いてできるだけ被加熱物との間隔を少なくして用いられ、コイル中心には加熱されない点があるため図のような結合をさせる。この他に割形コイルや内面焼コイルなど各種形状、用途に応じて種々異なるものが非常に多い。

(4) 冷却輪

ラジオータで焼入れするものは、焼入硬化層を浅くするものが多いので、加熱後できるだけ早く焼入冷却水を噴射しないと、浅い焼入れができない。一般に冷却輪は加熱コイル自体に一体となって付け、焼入温度まで被加熱物表面を加熱し、被加熱物を移動させることなくただちに噴射できるものが多い。冷却輪のノズルは被加熱物の表面に均一に噴射されるとともに、焼入条件にもよるが冷却中被冷却物の表面層に水蒸気皮膜ができないようにある一定値以上の噴出圧力で噴射されるノズルでなければならない。また冷却水の噴射開始が各ノズル均一になるように配管をしないと焼割れの原因となるので注意が必要である。

5. 保 守

ラジオータの保守としては、発振装置内のものよりもむしろ加熱コイル、冷却輪、水の配管上の方が多い。

(1) 加熱コイルの保守

加熱コイルは被加熱物と、加熱中接触すると大きな短絡電流が流れて接触点が溶け、寸法形状がわずかであるが異なる。このため再度加熱中短絡を起こさぬよう手直しが必要である。コイルの保守

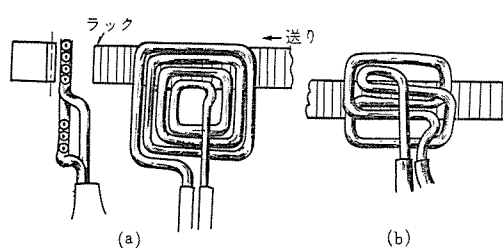


図 4.7 パンケーキコイル

上大切なことは、CT 二次端子などへの接触部分はつねに接触抵抗がきわめて少ないよう、締付、接触面のサビやアウトツがないよう注意することである。

(2) 真空管の保守

真空管の使い方としては、使用開始後寿命があるまで連続して使用するのではなく、2組の

真空管を準備して、たとえば1,000時間ごとに交換して使用する方が、かえって寿命は長くなるようである。織条電圧は規定電圧で使用し、とくに整流管サイラトロンなどの水銀蒸気入りの真空管は管壁温度をつねに考慮して定格温度以外での使用を避ける。発振管冷却水は比抵抗 $4\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ 、硬度 170 PPM 以下⁽⁸⁾のものを使用し、とくに湯あかが配管やジャケット、ジヤ管などに付着しないよう水を選択する必要がある。冷却水系統は6~12ヵ月に1回の割合で内部点検と清掃が必要である。

(3) 電波シャハイ

高周波発振装置は電波を工業用加熱装置として使用するものであるが、電波法規ではこの使用に際しては必ず許可申請が必要と規定されている。周波数 10 kc 以上出力 50 W 以上のものはすべて法規が適用されるので、他の通信などの施設に妨害電波を与えないよう、1.6 km で $10\text{ }\mu\text{V/m}$ 以上の電界漏れがないよう、発振装置は金属板で確実にシャハイする必要がある。とくに CT なしの発振回路で加熱する場合はシールドルームに加熱装置を入れて電波が外に出ないように注意が必要である。

また、この装置の接地工事は高周波・直流的に確実なアースをとり、漏れ電波が出ないようにする。

6. む す び

高周波誘導加熱装置の真空管式発振装置、ラジオータについて概略述べたが、応用や加熱機械装置などについては、ここにまとめられず、MG 式加熱装置などと一緒に別にあらためて、解説することとする。

ラジオータは MG 式加熱装置に比して、高い周波数を用いた熱処理工程に用いられ、とくに小さな部品物の加熱、薄い表面焼入などには欠くことのできない加熱装置である。MG 式とともにますますこの発展を願い、真空管式誘導加熱装置を使用されるにあたって本稿が少しでも参考になれば筆者らの望外の喜びである。

参 考 文 献

- (1) 馬場文夫・東田孝彦：高周波誘導加熱装置 I. (1), (2) 「三菱電機」36, No. 2, p. 99 (昭 37)
「三菱電機」36, No. 3, p. 79 (昭 37)
- (2) 実用新案 第 491771 号, 渡辺文明・昭和 30 年出願
- (3) 馬場文夫・渡辺文明：高周波誘導加熱装置, 「三菱電機」, 29, No. 7, p. 53 (昭 30)
- (4) 馬場文夫：高周波加熱応用 (通信学講座 3-B) p. 50, 58 (昭 31)
- (5) 馬場文夫・渡辺文明：高周波誘導加熱の負荷回路の解析ならびに調整法, 「三菱電機」28, 臨時増刊 p. 47 (昭 29)
- (6) N.R. Stansel: Induction Heating [McG. H.] (1949)
- (7) P.G. Simpson: Induction Heating, Coil and System Design [McG. H.] (1960)
- (8) 電子機械工業会送信管技術委員会編：送信管の使い方, 「エレクトロニクスダイジェスト No. 27」

電子機器の信頼度 (I)

市田 嵩*

1. ま え が き

機器が製造された意図のとおり目的の任務を遂行できるか否かはその注文者、製造者、また実際にこれを運用する人々から等しく深い関心をもたれているものであり、古くからこの問題に関する検討、努力が存在していた。しかし、近年電子機器の使用の範囲が広くなり、また性能上の要求が高くなり、機器の複雑性が急激に上昇するにしたがって、システムや機器が目標通りに動作することがますます困難になってきた。第二次世界大戦中、アメリカ軍が極東に出荷した航空機用機器の 60% は到着時にすでに損傷しており、また保管されていた予備の部品および機器の 50% は使用前に使えなくなっていたことは調査で明らかにされている。1950 年 12 月 7 日 U. S. A. F. (アメリカ空軍) がこの問題を取り上げて、“Group on Reliability of Electronic Equipment” を設置し、電子機器の信頼性向上に関する研究を依頼した。

また、1951 年 4 月 アメリカ海軍は真空管に関する長期間の調査を開始した。1952 年 Autonetics 社は信頼性の高い電子機器を製造する工作を検討実施した。同年終り、アメリカ国防省は電子機器信頼性諮問委員会 (“Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment”) (AGREE) を設置した⁽¹⁾。以後、信頼性の調査研究を軍、民間ともに熱心に進めた。アメリカの IRE 発行の QC に関する Transaction が Reliability and Quality Control と表題を変更したのは 1956 年 2 月号である。辛くもこれらの努力がますます巨大になりつつある電子のシステムや機器の非信頼性を防いでいるといっても過言ではない。

電子機器の信頼性が科学的な方法により検討され、工学の一分野として取り上げられるためには、問題の定量化が重要である。

“信頼度 (reliability) とは機器あるいはシステムが所定の環境のもとで所定の目的に使用されたとき、所定の時間内に故障なしに任務を達成する確率である” という定義がなされ⁽²⁾、現在もこの意味に解されている。信頼性に関し、問題をしばってこのような定義のもとに“故障なしに任務を達成する確率”を向上するための努力がなされ始めて、その成果は大いに上がってきたと見てよい。現在では“信頼度とは製品の特性であって、その製品の全寿命を経過させることによって測定が可能であり、信頼度試験中に得られたデータから推定が可能であり、設計と部品の摘要を解析することにより予測が可能であり、設計に先立って明確な設計目標として確立が可能なものである”⁽³⁾とされている。

ここに述べる信頼度向上のための技術は理論的に実証され、手法的には定式化されつつあるものを主とするが、若干は現在の問題点にも触れてみたい。

2. 信頼度基礎理論

2.1 機器の寿命特性

同じ形の同じ製造工程で造られた機器を多数動作させて (実際

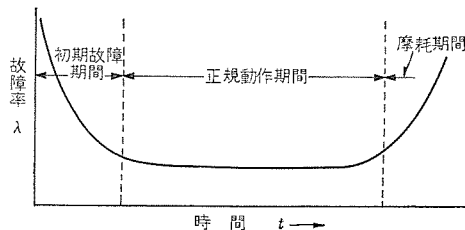


図 2.1 一般的寿命特性曲線

には非常に困難であるが)、単位時間のうちに動作中の機器のうち幾パーセント故障したかを考えることにする。この値は試験される同種の機器の台数が増えるほど、機器の性質として信ぴょう性のある値になるであろう。これを故障率 (failure rate, hazard rate or force of mortality) と呼ぶ。ここで注意すべきことは実際にわれわれが観測して得られるデータから計算したものは、試験故障率であって真の故障率ではなく、真の機器の故障率はこの試験故障から推定する以外にない。図 2.1 に一般的な機器の年令 (時間 t) に対する故障率の傾向を曲線に示す。この曲線は寿命特性と呼ばれる (洋式の浴そうの断面に似ているところから、浴そう (Bath-tub) 曲線とも呼ばれている)。

曲線の左端の故障率の高い部分を初期故障除去 (debugging) 期間、あるいは初期故障 (early failure, initial failure or infant mortality) 期間と呼ぶ。この期間は一般の電子機器は 20 時間程度であることが経験的に知られている。このことから機器製造者は 20 時間程度工場内でヒートランを行ない、点検後出荷することがよく行なわれ、これを debugging と呼ぶ。初期故障除去が行なわれた機器は正規動作期間に入る。この期間は故障が少なく、機器として使用されるべき期間である。この期間の長さを耐用寿命 (longevity) と呼び、貧弱な部品を使用したり、貧弱な設計の機器はこの期間が短い。右端は摩耗 (wearing out) 期間といわれる。正規動作期間の故障率を低くし、耐用寿命を長くするのが信頼度の努力の方向である。

2.2 信頼度関数

同じ形の機器を多数 Q_0 台動作させ、単位時間ごとにチェックして、故障した機器を取り除き、残存数 Q をプロットし、なめらかな曲線で結べば、図 2.2 のような単調非増加曲線が得られる。これを残存曲線という。また時間に対する Q/Q_0 の曲線を残存率曲線という。いま故障率を $\lambda(t)$ とすれば、残存率曲線 $R(t)$ は次

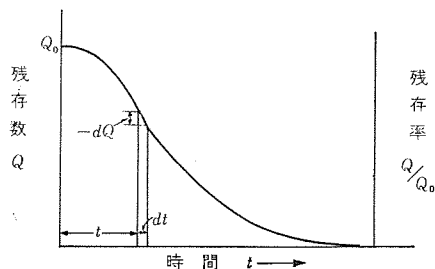


図 2.2 残存曲線

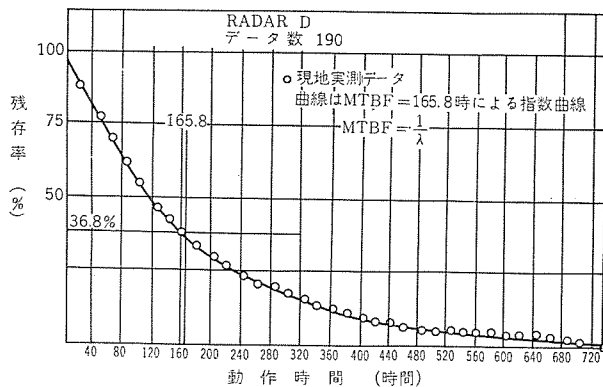


図 2.3 信頼度曲線の実測例

式で与えられる (注 1 参照)。

$$R(t) = Q/Q_0 = \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right] \quad (2.1)$$

この残存率曲線は t 時間のあいだ故障のないことの経験的確率に一致するので (試験された試料機器の台数が非常に多いという仮定のもとに), 信頼度関数と呼ばれる。もし, $\lambda(\tau)$ が時間に関して一定であれば, 信頼度関数は,

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

となり, 正規動作期間中の機器の経過動作時間と信頼度関係を示すことになる。たとえば故障率 1%/時間 の機器が 2 時間任務に就くときの信頼度は,

$$R(t) = e^{-0.01 \times 2} \approx 1 - 0.02 = 0.98$$

100 時間の任務に対しては,

$$R(t) = e^{-0.01 \times 100} = e^{-1} \approx 0.37$$

故障率が一定であれば一台の機器を動作させて故障が起こるたびに修理し, 再び動作させることをくり返し, 故障間の時間を n 回測定することは, 同時に同じ機器を n 台動作させ, 各機器の故障までの動作時間を測定することと等価である。実際に機器を測定する場合は多くの試料が得られないので少数の機器をこのように修理しながら測定することが多い。図 2.3 は実測例である⁽⁴⁾。

式 (2.2) によく一致している。

2.3 故障の確率密度関数

信頼度関数を次式で示すことがよくある。

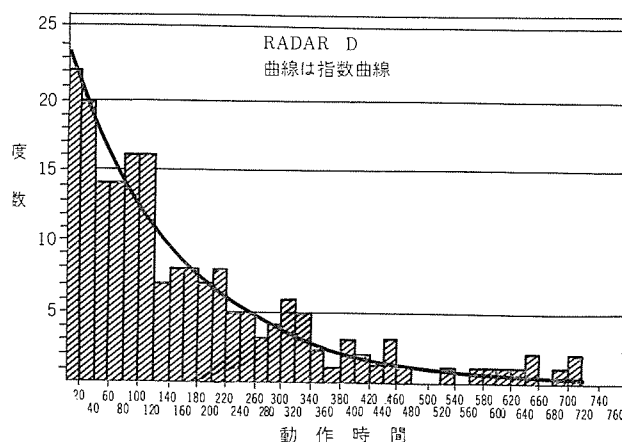


図 2.4 故障間隔の度数分布の実測例

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau = \int_t^\infty f(\tau) d\tau \quad (2.3)$$

$f(t)$ は寿命分布または故障の確率密度関数と呼ばれ, $f(t)dt$ は t 時点と $t+dt$ 時点の内に故障する確率を示すものであり, 故障までの動作時間のデータのヒストグラムに対応する理論曲線である。もし $R(t) = e^{-\lambda t}$ であれば,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

図 2.4 は図 2.3 と同じ実測値のヒストグラムである。

2.4 寿命分布のモデル

前節までに機器の寿命特性 (故障率対時間), 信頼度関数 (残存率対時間) および寿命分布について述べたが, 実際の機器や部品がどのような特性をもつかを画一的に仮定することはできない。しかし, いくつかの数学的モデルが考えられていて実測の結果これらのモデルに適合するか否かの統計的検定法も確立されているので, 一度ある形の機器や部品がある条件のもとであるモデルに一致することが実証されれば, あとはそのモデルのパラメータを見出す問題となるので寿命の推測に対する有力な利器となってくる。

以下, 良く用いられる数学的モデルについて簡単に述べる。

(1) 二輪馬車形分布

二輪馬車形分布 (One-horse-Shay Distribution) (注 2 参照) は図 2.5 に示すように, 信頼度関数が階段関数であるもので, 確率密度関数 $f(t)$ は

$$\left. \begin{aligned} t \neq t_0 \text{ ならば } f(t) &= 0 \\ \int_0^\infty f(t) dt &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

を満足するものである。このような分布は機器に対しては当てはまらないが, 乾電池やモータブラシのような部品には当てはめることができる。このような部品は定期的に取り換えることにより, 機器の信頼度を上げることができる。

(2) 正規分布と対数正規分布

2 つのパラメータすなわち寿命の平均値 m と標準偏差 σ によっ

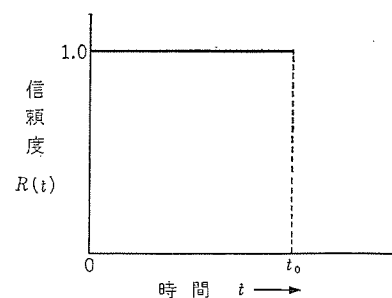


図 2.5 二輪馬車形信頼度関数

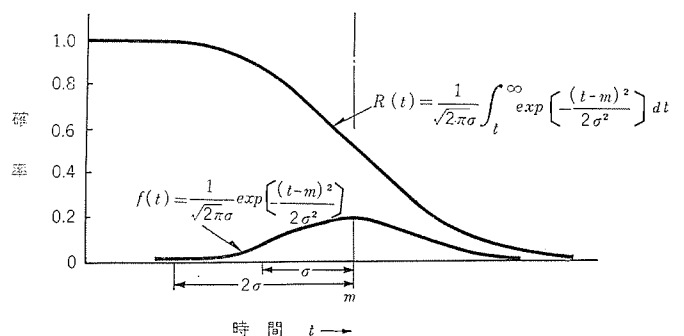


図 2.6 正規形信頼度関数および確率密度関数

て一意的に定まる分布で図2.6に信頼度関数および確率密度関数
が示されている。多くの摩耗性の部品に適合する。また寿命時間
の対数を取った値が正規分布にしたがうこともある。このときは

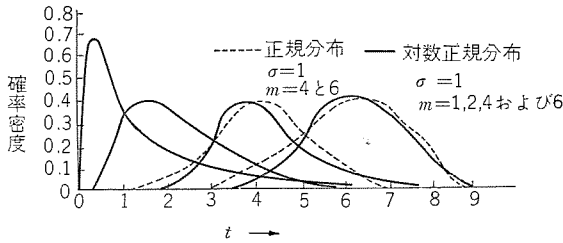


図 2.7 正規分布と対数正規分布の比較

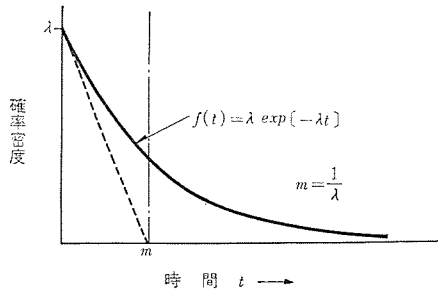


図 2.8 指数分布

寿命が対数正規分布にしたがうという。一般には時間に関する統
計量は正規分布より対数正規分布にしたがうとされている。図2.
7に対数正規分布と正規分布の比較を示す。

(3) 指数分布

故障率が一定のときの分布で故障がランダムに発生するときの
モデルである。唯一つのパラメータすなわち平均値で一意的に定ま
る。この分布の平均値は図2.8に示すとおり、図形の重心の位置
(一次のモーメント)である。

$$m = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

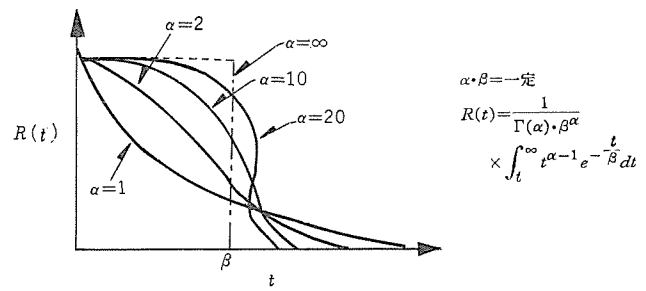


図 2.9 ガンマ分布の信頼度関数

表 2.1 数学モデルの分布と故障率

分布の形と 数 式	注	分布の図形	故障率の曲線
正規分布 $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$	t = 寿命時間 m = 平均寿命 σ = 標準偏差		
指数分布 $f(t) = \frac{1}{m} e^{-\frac{t}{m}}$	t = 寿命時間 m = 平均寿命		
ガンマ分布 $f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} t^{\alpha-1} e^{-t/\beta}$	t = 寿命時間 α = 形のパラメータ β = 目盛のパラメータ		
ワイブル分布 $f(t) = \alpha \beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta}$	t = 寿命時間 α = 目盛のパラメータ β = 形のパラメータ		

この m を平均故障間隔 MTBF (mean-time-between-failure 機器の場合), または MTTF (mean-time-to-failure 部品の場合) と呼ばれる. この分布は複雑な機器の寿命分布に良く適合し, また部品については真空管のクラック, フイルメント断線などの故障に良く合致する. これらの故障までの時間の観測値の平均値は試料が多いほど MTBF または MTTF に確率集束する.

(4) ガンマ分布

ガンマ分布は二つのパラメータによって定まる分布で, 分布の形がパラメータにより大きく変化する融通性のあるものである.

図 2.9 にこの信頼度関数を示す. この分布は同じ平均値をもつ指数分布にしたがう α 個の寿命時間の和の分布として誘導されるもので, むしろ指数分布にしたがう機器の故障データによる推定検定に良く用いられる (注 3).

(5) ワイブル分布

この分布も二つのパラメータをもち, ガンマ分布と同様に指数分布から正規分布に近い形までパラメータによって変化するので実測値の分布への当てはめに便利である. また取扱いもガンマ分布より便利な点があるので良く用いられる (注 4).

以上の分布の比較表を表 2.1 に示す.

2.5 機器信頼度の構造

機器は多くの構成部品から成っているが, これらの構成部品の一つ一つの信頼度関数が既知であれば, 機器の信頼度関数も定まる. いま, ある機器のどの一つの構成部品が故障しても機器としては故障となるとすれば, その機器の信頼度関数 $R(t)$ (t 時間内に故障のない確率) は各構成部品の信頼度関数 $R_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, n$) の積となる (注 5 参照).

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

また

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

$$R_i(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda_i(t) dt \right]$$

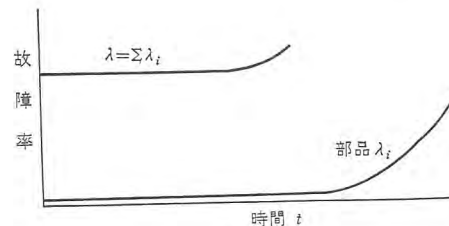
とすれば, (ただし λ, λ_i はそれぞれ機器および構成部品の故障率)

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

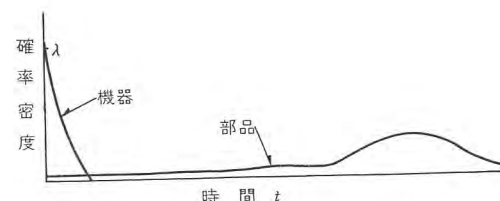
したがって機器の故障率は構成部品の故障率の総和に等しくなる. ここで, 各構成部品の寿命分布の形は多種多様であることは想像に難くないが, 機器の故障は構成部品の数が多いほど指数分布に近づく. その理由は図 2.10 に示すように個々の構成部品の故障率は小さくても, 機器の故障率はそれに比較して非常に大きいので, 機器が数回の故障を起こす間では各構成部品の時間に対する故障率の変化は問題にするほどではないので一定と見てよい⁽⁵⁾. 図 2.3, 図 2.4 などその実例であるが, 多くの実測データがこれを実証している.

実際に機器を運用している人々は, 数パーセントあるいは数十パーセントの信頼度で機器を運転することは論外と考えるであろう.

ほとんど信頼度 100% に近い状態で機器を使用したいはずである. したがってわれわれが信頼度関数の形についてとくに関心のあるのは, その曲線があまり下がってしまわないまでのところで



(a)



(b)

図 2.10 機器と部品の寿命分布の比較

ある. これを寿命確率密度関数でいえば, 図 2.10 (b) の部品の寿命分布の山の右すそはどのような形をとろうとあまり問題ではなくむしろ, 左すそ初めの低いところがわれわれの関心の的である. この左端部の低い部分に対する部品の故障率データが多く集められ, これによって機器の信頼度の予測が可能となっている.

2.6 信頼度指数

機器の信頼度を定量的に表現するために多くの議論がされている⁽¹⁾. 現在もっと多く用いられているものは MTBF である. この指数は機器が実際に正規動作期間において, 故障しては修理され再び使用されることが続けられたとき, 故障間の動作時間の平均値という概念が当てはまり, 実用的である. 故障率の逆数が MTBF であるが, これは機器の正規動作期間中にだけ適用できるもので, 部品の信頼度指数としては故障率の方が良く用いられる. 部品の場合故障率の逆数はそのまま平均寿命にならない. また機器信頼度予測を行なうとき, 部品故障率が加法的があるので便利である.

MTBF が知れば信頼度関数は定まる. たとえば 1 飛行 1 時間のジェット機に搭載する通信機が任務を果す確率は,

$$R(t) = e^{-\frac{1}{200}} \approx 1 - \frac{1}{200} = 0.995$$

しかし, すべての機器の信頼性を MTBF で表現することは不可能である. たとえば 24 時間常時運転させる地上レーダ, 通信設備などは図 2.11 のように動作時間と, 故障回復時間が交互にくり返され, 次式の稼働性が重要な指数となる.

$$\text{稼働性} = \frac{\text{動作時間総計}}{\text{動作時間総計} + \text{故障回復時間総計}} \dots\dots (2.7)$$

このとき故障回復時間に対する考察も重要となる. 式 (2.7) を書きなおせば,

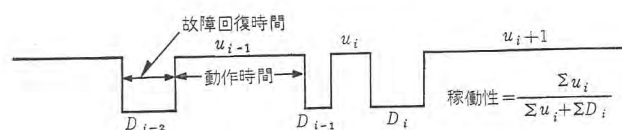
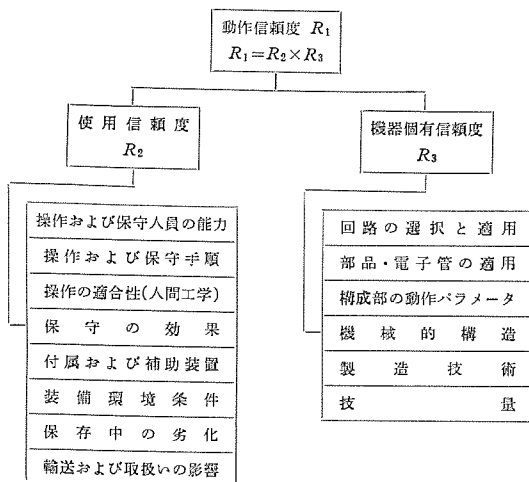


図 2.11 機器の動作時間と故障回復時間

表 2.2



$$\text{稼働性} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MRT}} \dots\dots\dots (2.7')$$

ただし、MRT は平均故障回復時間。

ここに信頼性問題を取扱う一分野として保守度の研究がある。⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

また、図 2.1 の正規動作期間の長さを耐用寿命 (longevity) という。これは MTBF とは別な観点からの信頼度指数である。

2.7 機器の信頼性に影響を与える因子

機器の信頼度を分解すれば、機器固有の特性として考えられる固有信頼度 (inherent reliability) と、これを使用することによる使用信頼度 (use reliability) があり、実際に使用された機器の信頼度は、この二つの信頼度の積の動作信頼度 (operational reliability) であるとされている。これらの関係を表 2.2 に示す⁽⁶⁾。

高い信頼度を得るために固有信頼度の確保は製造者の努力により、使用信頼度は使用者の運営により得られるものであるが、製造者においても、機器の使用条件のはあくは重要な問題となる。もちろん、製造者は機器設計の段階で機器が使用される環境条件(温度、湿度、気圧振動、衝撃、加速度)などは考慮に入れ、もし機器仕様書にこれらが記述してあれば機器固有信頼度を定める因子となるが、一般にこれらの実使用条件は一定でないので、実情のはあくが困難であり、また環境対信頼度の関係も多くの研究がされているが⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾今後、さらに検討、研究の行なわれるべき問題である。

2.8 冗長度 (redundancy)

2.5 “機器信頼度の構造”において機器のどの一つの構成部品

が故障しても機器として故障となる場合について述べたが、注 5 に理論的解析法を示したように、一般的にはある部品、構成品、組立品、あるいは機器が故障してもシステムとしては故障とならないような構成がある。このようなとき、そのシステムは冗長度 (redundancy) があるという。

システム の機能のみを考えればこのような回路構成は無用の部分があるわけであるが、これによって機器の信頼度が高められているともいえる。情報理論において、Message に冗長度をもたせることにより通信に対する雑音の影響をのがれることと概念的に一致する。

2 個の部品または機器を常時並列に動作させておくときを並列冗長 (parallel redundancy) という。たとえば 2 台の受信機を常時同時に動作させて同じ通信内容を受信するようなもので、もし片方が故障しても受信は可能である(受信局において ダイバーシティ方式をとっているのは主として電波伝パの不安定さを補うものであるが、伝パの空間を含めて一種の冗長構成といえる)。

これに対し、現用機に対し予備機を用意しておき現用機が故障のとき直ちに予備機に切換えて運転するものを待機冗長 (standby redundancy) という。放送設備などが良く行なっている。

すでに定った回路またはシステムについて各々の要素の信頼度が既知であれば全体の信頼度を計算する方法は理論的には注 5 によって可能である。

一般に、信頼度 $R_1(t), R_2(t), \dots, R_n(t)$ の n 個の部品(または機器)を並列に動作させるとき全体としての故障は、全部の部品(または機器)が故障したときに限られるので、全体の信頼度 $R(t)$ は次式で示される。

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - R_i(t)\}$$

たとえば、 $n=2$ で $R_1=R_2=0.90$ のとき

$$R = 1 - 0.1^2 = 0.99$$

となる。

冗長度に関して、わが国においても研究者が多くの発表を行なっているので参照されたい。⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

既設の冗長度を持った設備について信頼度を計算することは難事ではないが、多くの制限条件(重量、寸法、原価など)を考えた最良の冗長構成を得る方法は条件が多くなると単に錯誤試行法的に求めることが困難となってくる。また制限条件が不連続な関数となると、さらに困難さを増すわけである。

注 1~5 および 参考文献は 37 巻 2 号を参照ねがいます。

薄板半導体結晶の製作

Semiconductor Materials Now Grown in Sheets (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 3, May, 1962, p. 96)

半導体装置の材料である単結晶は、普通太く短いインゴットとして融液から成長させられる。このインゴットはスライスに切断され研磨されて、装置の製作に必要な平滑面を得るために鏡面仕上げが行なわれる。新しい技術では長い薄板状の半導体結晶が生長させられ、これは適当な長さに切るだけでよいから、多くの工程を除くことができる。薄板結晶は平滑な平行面をもち、結晶の完全性は従来のインゴットよりもすぐれている。

ウエスチングハウス社の科学者達は、ゲルマニウム、シリコン、およびインジウムアンチモニドの薄板結晶を製作し、その生長状態および特性を研究し、生長機構を提案した。

簡単にいうと、薄板結晶の生長は従来の引上げ成長とデンドライト生長の組合わされたものといえる。(デンドライトは幅の狭い長いリボン状結晶で、過冷却された半導体の融液から小さい種結晶の引上げによって成長させられたものである。) 薄板結晶は2本の平行なデンドライトの間に生長する。デンドライトが上がる時、融液が表面張力によってデンドライトの間に引張り上げられ、薄板状に固化する。平行なデンドライトが薄板を支持し、その間ギャップが薄板の幅を決定する。薄板結晶の厚みは融液の温度と引上げ速度によって決められる。

ウエスチングハウス社では実験的にトランジスタ、ダイオード、太陽電池および制御整流素子をシリコンの薄板結晶から作り、従来の方法で作られたシリコンのスライスと比較して少くとも同程度に役立つことをたしかめた。製作された薄板結晶の形状は幅12.5mmまで、厚み0.0125mmから0.875mmまでのものである。

(研究所 藤林肇次訳)

航空機用静止周波数コンバータ

Technology in Progress: Static Frequency Converter for Aircraft Systems (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 3, May, 1962, p. 93)

最近の航空機では可変比油圧伝導機構による発電機の定速運転によって、定周波数電力の供給を行なっているが、ごく最近では一般工業に使用されている25~60 c/s変換のサイクロコンバータ法が400 c/s航空機用系統に採用されるようになった。油圧伝導機構と異なってサイクロコンバータでは磨耗、漏れ、潤滑などの問題がない。

動作原理は一般工業用のものとまったく同じであるが、イグナイトロンの代りに高電力のトリスタ制御整流器が用いられている。航空機用サイクロコンバータは出力の各相ごとに1組ずつの正および逆の制御整流器を持っている。電圧および周波数はいずれも点弧時間によって制御されるが、電圧は発電機界磁の調整で要求値にたいして較正され、周波数はコンバータ装置内にある発振器によって制御される。

発電機速度範囲の2倍にわたって400 c/s, 40 kVAの出力を供給できるものを開発したが、要求される過渡応答特性のために発電機の大きさは同じ最低速度で設計された定速系統のものよりも大きくなる。しかしこれによる重量増加分は可変比伝導機構の重量よりも小さいので、装置全体の寸法および重量は減少される。また、サイクロコンバータは適当に通風冷却できるところならば機体内のどこでも取り付けられることが特長である。

(名古屋製作所 諸住康平訳)

五つの避雷器電流

R. W. Flugum and P. W. Bogner: Lightning Arrester Currents How five different currents affect arrester design, rating, and effective operation (Westinghouse

Engineer, Vol. 22, No. 3, May, 1962, p. 87)

避雷器の保護機能は、普通電圧で表わされているが、避雷器の適用を検討する際考えねばならない電流は5種類あり、避雷器の設計、定格、実際の動作に影響をあたえる。この電流は、洩れ電流、雷撃電流、開閉サージ電流、続流、安全故障電流である。

漏れ電流は、避雷器に必然的に存在し、ギャップを分路する分路抵抗によって定まる。分路抵抗は、漏れ電流を安定化し、それにより漂遊容量効果を最小にする。そのため、ギャップ群の電圧が均一化する。避雷器の表面が汚損された場合、この汚損には2種類あって、第1は連続的な導電膜で、防火散水装置、洗浄装置などの水によるもので、これは電圧のかかっているものに放水をしないとか、防火散水装置のそばにおかないことなどで避けることができる。第2は不連続なもので、大気中の過剰な化学物質によっておこり、放電開始電圧に影響を及ぼす。この機構はすべての避雷器に同じであり表面とギャップ間で構成している分布容量を変化させ、底部のギャップを放電させる。このことは図に示すように分布容量の小増加によって底部の漏れ電流が増大することによってよく説明できる。ガイ管の中へSF₆ガスを封入すれば内部コロナを抑制するからこの影響を軽減することができる。

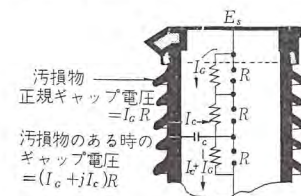
雷撃電流は、雷のエネルギーを放散させるため避雷器が流さねばならない大きい、短時間電流である。この電流はすべての絶縁協調に重要なものである。

開閉サージ電流は、系統のじょう乱によって生ずる。雷撃電流に比べ電圧が小さく長時間電流である。避雷器の熱耐久性は、系統の静電容量に蓄えられるエネルギーより大きいことが必要である。

続流は、サージエネルギーが通った後に流れる比較的小さい電流で、大きさはブロックの特性による。もし高感度、高速のリレーを使用している所では、続流の大きさが問題となる場合がある。

安全故障電流は、避雷器が故障した時、ガイ管の破壊なしに流しうる電流である。この大きさは系統故障電流によって、またその時間は系統のリレーによって定まる。使用者はシャ断器におけるシャ断容量と同様に、この安全故障電流を考えなければならない。

(伊丹製作所 松尾重紀訳)



多融通式プレートミル

Technology in Progress: Versatile Plate Mill (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 3, May, 1962, p. 95)

Pennsylvania 州 Conshohocken にある Alan Wood 製鉄会社の新しいプレートミルは厚板製品を生産すると共に将来の拡張をも考慮して建設されている。プレートミルは分塊ミルと同一線上に配置され、さらにホットストリップミルの仕上スタンドがその後に同一線上で追加されるように構成されている。したがってプレートミルはストリップ生産の場合は粗圧延スタンドとして使用され、スラブの再加熱を行なうことなくスラブからコイル状のストリップが圧延されることになる。

設備は36" & 66"の2段ロール式スケールブレーカ(900 kW 150 rpm 同期電動機駆動)、36"×54" & 110" 4段ロール可逆式プレートミル(6,000 kW 双電動機駆動)、36"×54" & 110" 4段ロール非可逆式ミル(3,700 kW 240 rpm 同期電動機駆動)から構成されている。この電機品は補助設備、加熱炉の電機品を含めいっさいがW社から供給された。

制御には400 c/sの磁気増幅器を使用し、主駆動ならびに補助駆動の制御を行なっている。バイステープルマガが電圧ならびに電流の検出装置として使用され、将来プログラム制御あるいは計算機制御を追加した場合の準備がなされている。(神戸製作所 紙谷鉄男訳)

■ 新幹線列車無線電話装置 モデル線区で実用試験に入る

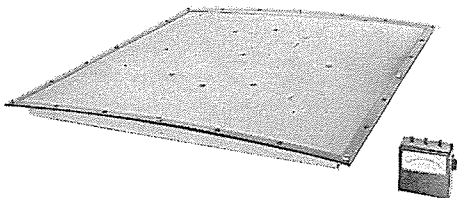
当社が現東海道線の特急こだま等に納入した列車無線電話装置は列車の業務電話および公衆電話サービスに使用されて、好成績を収めている。目下工事が進められている国民待望の東海道新幹線にも新しい規模と方式の列車無線電話装置が装備されるべく、当社はその実用試験セットを納入するので、ここにその概要を紹介する。

(1) 基地局用および列車用 アンテナ

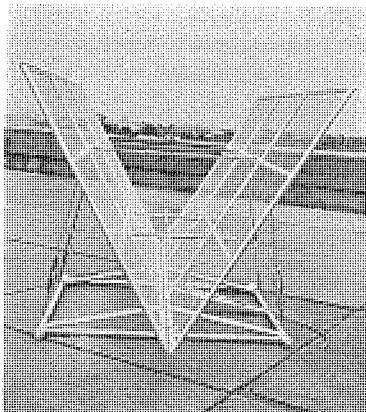
基地局用アンテナは写真に示すように、2個の1波長ダイポールをもつコナリフレクタアンテナで、列車無線の基地局用としての特殊な必要条件を完全に満たすように設計した。すなわち水平面内ビーム幅が広くしかも高利得でかつサイドローレベルが低く前方後方比が大きくて、送受2周波数帯共用ができる画期的なアンテナである。

列車用アンテナはプラスチックカバーつきの埋込み形ユニポールアレーアンテナで、車両の屋根とまったく同じ形に整形されており、本線の場合には屋根からすこしも突出していないにもかかわらず、列車用としてすぐれた放射特性をもつように設計されたものである。すなわち、水平面内ビーム幅が広くしかも高利得で、かつ前方後方比が大きく、このビームを列車進行方向の前後に切換えることができる。その外観は写真のとおりである。

両アンテナの主要性能はつぎのとおりである。



列車用 アンテナ



基地局用 アンテナ

基地局用 アンテナ

周波数	412.0~414.5 Mc } 送受共用 451.5~452.4 Mc }
偏波	垂直
利得 (ダイポール)	14 dB 以上
水平面内電力半値幅	約 30°
前方後方比	20 dB 以上
VSWR	50 Ω 同軸給電線に対して 1.5 以下

列車用 アンテナ

周波数	送信用 412.0~414.5 Mc 受信用 451.5~452.4 Mc
偏波	垂直
利得	4 dB 以上
水平面内電力半値幅	約 60°
VSWR	50 Ω 同軸給電線に対し 1.5 以下

(2) 列車用送受信架

送信架はそれぞれ周波数の異なる4台の送信機を実装しており上りまたは下り運転指令系2台および交換台2台で、指令系は上りまたは下りを運転台で切換えて使用し、交換系は2台が同時に送信できる。いずれも終段部に3本の真空管を使用するのみで、他はすべて半導体化されており、写真に示すように幅350、奥行225、高さ1,800 mmの小形架に収容され、電力消費量も少なく、信頼度もよい。各パネルはすべてプラグイン実装である。

送信架の主要性能はつぎのとおりである。

a. 使用周波数	指令系1波、交換系3波切換
b. 送信出力	4 W
c. 周波数偏差	0~40° c の範囲で $\pm 1 \times 10^{-5}$ 以内
d. 伝送帯域	音声 0.3~3 kc 信号 3.4~4.15 kc
e. 周波数偏移	音声 2.5 ラジアン 信号 1 ラジアン
f. スプリアス 輻射	-60 dB 以下
g. 電力消費量	500 VA 以下

受信架はSS-PM方式8通話路多重電波を受信しうる多重受信機2台を実装しており、そのうち1台はセット予備方式の予備機である。受信機は全トランジスタ化されており、送信架と同一寸法の小形架に収容され、電力消費量が極めて少ない。各パネルはもちろんプラグイン実装で、その外観を写真に示す。

受信架の主要性能はつぎのとおりである。

a. 使用周波数	3波交互切換
b. 受信方式	ダブルスーパ
c. 受信帯域幅	180 kc 以上
d. 雑音指数	14 dB 以下
e. 伝送帯域	16~48 kc

- f. スプリアス 感度 -60 dB 以下
g. 電力消費量 100 VA 以下

(3) 列車用搬送端局架

端局架は SS 方式 8 通話路容量の多重受信部と 3 通話路容量の単一送信部とからなり、受信部には回線監視、空線用の帯域外信号器と列車選択信号器を、また送信部には監視復旧用の帯域内信号器と基地局指定用帯域外信号器をもっている。すべてトランジスタ化されており、高さ 1,800 の標準架にプラグイン 実装方式で収容している。その外観は写真に示すとおりである。

端局架の主要性能はつぎのとおりである。

- a. 伝送方式および通話路容量 受信部 SS 方式 8 通話路
送信部 3 通話路
b. 多重伝送周波数 16~48 kc
c. 通話路伝送帯域 0.3~3.7 kc
d. 搬送周波数安定度 ± 4 c/s 以内
e. 電力消費量 60 VA 以下

(4) トンネル 外用中継器

基地→移動方向に対し出力 40 mW、移動→基地方向に対して出力 400 mW の中継増幅器の現用、予備合計 4 組からなり、空中線系およびトンネル内輻射導波線系を送受に共用するための分波器、障害時の警報を基地局に伝送する警報装置を実装している。この中継器は、トンネル入口付近の野外に施設されるので、写真に示すように屋外用箱体に収容し、電源変動に備えて AVR も装備している。とくに 2 列車以上が同一トンネルで通話中のとき生ずる相互交調の軽減に意が払われている。

中継器の主要性能はつぎのとおりである。

- a. 出力 基地→移動 40 mW
移動→基地 400 mW
b. 利得 60 dB
c. 不要輻射 1mW 以下
d. 入出力 VSWR 50Ω 同軸給電線に対し 2 以下
e. 電力消費量 500 VA 以下

- 形 式 5 線 (支索 2, 曳索 3) 交走式普通索道
全 長 1,816 m
高 低 差 792.5 m
搬 器 101 人乗り 2 基
運転速度 5 m/s (ただし当分の間は 3.6 m/s で運転)
原 動 機 三相巻線形誘導電動機 1 台
350 kW 3,300 V 60 c/s 8 P 開放管通風形
制御方式 5 リアクトルブリッジ 接続 リアクトル 制御
運転方式 プログラム 自動運転

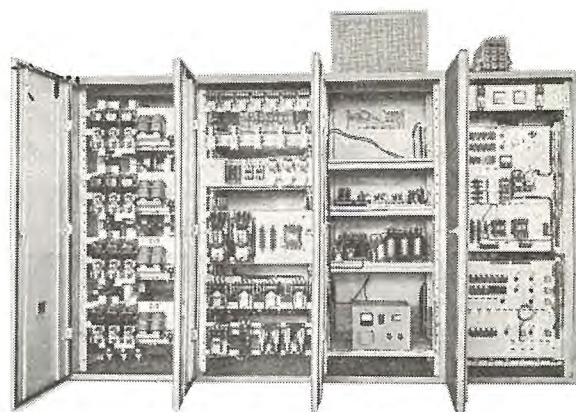
特 長

(1) プログラム 制御により起動押し ボタン 操作後は自動的に加速、全速運転、減速、停止するようになっている。運転 プログラムとしては 5 m/s 以外に 3.6, 2.5, 1.0 m/s が選択できる。

(2) リアクトル による自動速度制御回路には制御電極付 シリコン整流素子 トリクスタ、トランジスタ 増幅器を使用している。

(3) その他の制御回路、保安回路にも最新式の トランジスタ 式無接点継電器を大幅に採用している。

(4) 非常停止時短時間に急停止させるため機械式の スラストブレーキに誘動機のコンデンサによる自励現象により発電制動を行なうコンデンサ 制動方式を併用するようにしている。



日本 ケーブル 経由別府 ロープウェイ (株) 向け
ロープウェイ 用低圧制御盤

■ 東洋最大の別府鶴見岳ロープウェイ向け電機品完成

日本 ケーブル (株) 経由で受注製作していた別府 ロープウェイ (株) 向けロープウェイ用電気設備がこのほど完成した。

このロープウェイは別府鶴見岳の山麓標高 510 m の所から 1,305 m の山頂間に施設されるもので全長約 1,800 m、101 人乗りのゴンドラ 2 基の 5 線交走式で東洋最大といわれるもので本年末から営業運転に入る予定である。

受配電設備、原動装置用電気設備 1 式を一括製作したが、とくに駆動原動機の 350 kW 三相誘導電動機はリアクトル 制御され、これの制御には最新式の制御電極付シリコン整流素子トリクスタを採用するなど下記のような種々の特長を有するものである。

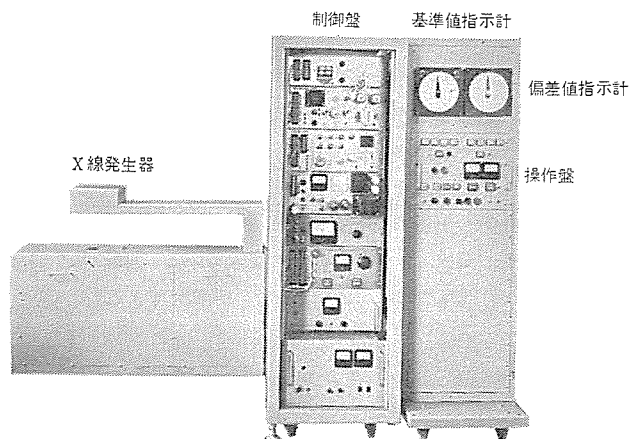
仕 様

■ X 線 厚 み 計

鉄鋼業の鋼板圧延工程や、合金工場の各種合金薄板製作工程において、各種 ストリップの厚みを正確に連続測定することは、自動厚み制御や、圧延状態検査上必ず要求されるが、高速度圧延や熱間圧延中でも使用できるように、X 線を用いて無接触測定を行なう厚み計の研究開発を完了した。この装置は コピームサーボ方式を用い、特殊のサーボ回路を使用して、この種のものとしては高精度かつ応答速度の速い利点を有している。X 線発生器、制御盤操作盤、指示記録計から構成され、遠隔操作、連続記録ができ、鋼板、銅合金、アルミ その他各種合金、金属の厚み測定に適用できる。

装置の総合性能は次のようなものである。

厚み測定範囲 鋼板換算 0.2~2 mm
 精度 鋼板 1 mm に対し $\pm 2 \mu$
 応答速度 偏差指示 フルスケール 1 sec
 ドリフト ゼロ点自動補正装置により、保証精度内



X線厚み計

電気ルミネセンス板による「未来の照明」ミニチュアセットの展示

目下、照明界をにぎわしている話題の一つに第3の光源として電気ルミネセンス板がある。

東京・日本橋高島屋では7月31日から8月5日まで「台所から生れる生活展」が開催され、三菱電機が会場の照明施設および家庭電気品の展示に全面的に協力したが展示品の一つに「未来の照

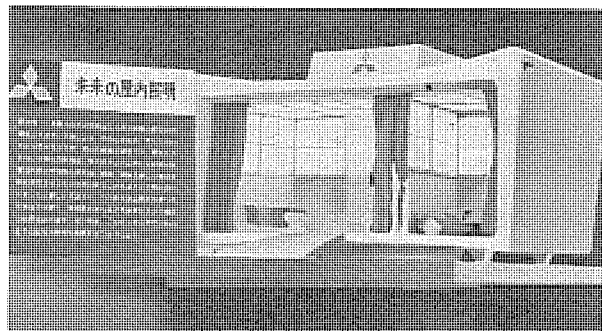


図1 未来の屋内照明ミニチュアセットの全面

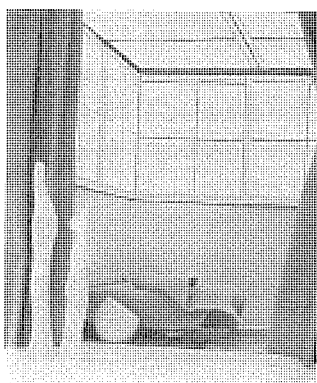


図2 同寝室部の照明

明」と題して多数の電気ルミネセンス板を天井および上壁に使用したミニチュアセット（外形寸法は幅140 cm、高さ55 cm、奥行45 cm）を出品した。（図1, 2）

この電気ルミネセンス板は当社研究所製のもので10 cm×10 cmの寸法のセラミック形を使用し画面の左側の応接室は緑色のもの80枚を200 Vで点灯、また、右側の寝室は青緑色のさわやかな光色のもの64枚を300 Vで点灯、合計144枚の電気ルミネセンス板が使用された。

やわやかな光とさわやかな色によるこの「未来の照明」は超現実的な意匠のミニチュアセットにマッチして会場の人々の目を引いた。

高効率・緑白色ケイ光ランプの完成

このたび、当社大船製作所では白色系統の光色でこの種のケイ光ランプ中、最高のランプ効率を有する緑白色（GW）ケイ光ランプを完成した。

このランプは緑色5,250 Å および黄色5,800 Å 付近に大きな山があるのが特長でランプ表面の光源色は「緑がかった白色」である（図1 緑白色ケイ光ランプの分光エネルギー分布曲線）

緑白色ケイ光ランプの初光束は標準の4,500°K白色より約16%増、6,500°K昼光色に比較して約30%増である。FL-40 GWでは初光束3,300 lm、ランプ効率lm/W、また、FLR-110H-GWでは9,700 lm、88.2 lm/Wのように大光束、高効率となっている。（表1 初光束とランプ効率）

このランプは光色が標準形と異なるほか、管寸法、電気特性、寿命は従来品と同様であるから、ランプ交換だけで実質的に経済的な高照度を得られる。

用途としては庭園灯、防犯灯、街路灯、商店の特殊展示照明、工場の検査照明のほか、演色性が問題にならない個所での事務室、学校、工場などにもその利用が考えられる。

表1 緑白色ケイ光ランプおよびその他のランプの初光束とランプ効率

ランプ形式	ランプ 入力 (W)	初 光 束 (lm)			摘 要
		6,500°K 昼光色 D	4,500°K 白色 W	高効率 緑白色 GW	
FL-15	15	720 (48.0)	890 (53.3)	920 (61.3)	標準形直管
FL-20	20	1,020 (50.5)	1,120 (56.0)	1,290 (64.5)	
FL-40	40	2,550 (63.8)	2,850 (71.3)	3,300 (82.5)	
FLR-110H	110	7,550 (68.7)	8,400 (76.5)	9,700 (88.2)	高出力形
FCL-20	20	920 (46.0)	1,020 (51.0)	1,180 (59.0)	標準形環形
FCL-30	30	1,420 (47.3)	1,620 (54.0)	1,810 (60.3)	

（注）（ ）内はランプ効率 lm/W を示す

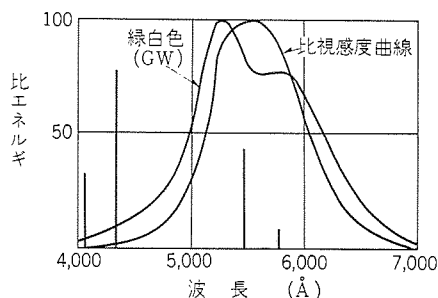


図1 高効率緑白ケイ光ランプの分光エネルギー分布

■ 東京工業大学 核分裂実験装置 完成

東京工業大学においては、原子炉物理の研究や原子炉に関する学生の教育訓練を目的として、大形の核分裂実験装置の建設を計画され、当社はこれを一括受注して、このたび完成のはこびとなった。

この装置は 20% 濃縮の ウラニウム を燃料とし、軽水を減速材とした未臨界集合体であるが、装置の構造および制御系の構成などは、この装置を数 kW の出力で運転することが可能であるように設計されている。

装置本体は 6.8 m × 4.6 m、高さ 9 m におよぶもので角形の炉心タンクの中に核反応部が設置されており、この部分には燃料要素、反射体およびボイド実験のための スパージャ 装置などがあり、これに向って炉心タンクの側面には種々の実験用設備が組込まれている。

この装置の構成を大別すると次のようになる。

- | | |
|-----------|------------|
| 1. 装置本体 | 4. 水・ガス 系統 |
| 2. 核反応部 | 5. 計測制御系統 |
| 3. 本体実験設備 | |

一般に未臨界集合体と称せられているものは、燃料要素の集合部分と、それを収容するタンクから成る程度の簡単なものであるが、この装置は厚さ 1.5 m のコンクリートのシャヘイ体が設けられて

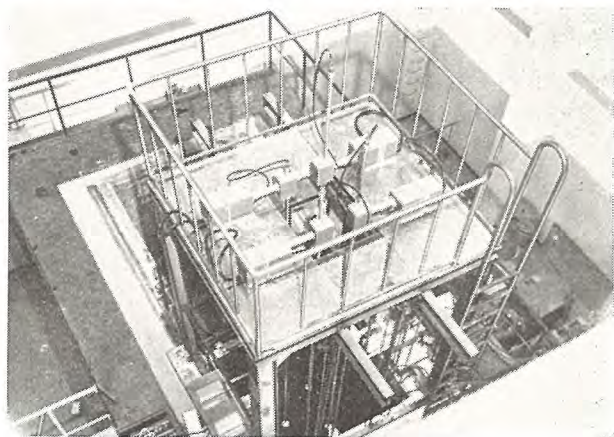


図 1 核分裂実験装置の上部構造

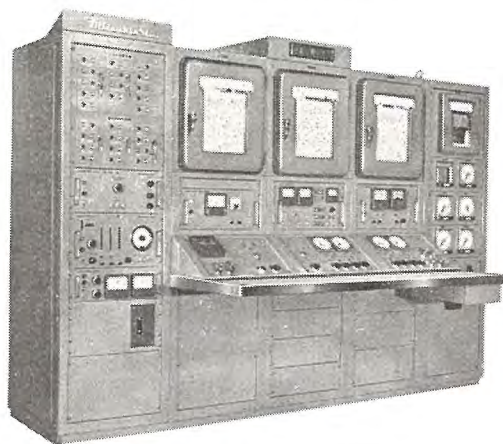


図 2 核分裂実験装置用制御盤

いるほか、3 チャンネル より成る中性子計測制御系や減速材としての軽水の温度を常温より 80°C まで調節制御するような装置が設けられている。

おもな特長としては次のようなものがあげられる。

1. 核反応部の物理的条件を種々変更して実験できる。
2. 制御棒を任意の位置にそう入することができる。
3. スクラムに際して制御棒は加速そう入される。
4. ボイド実験用の スパージャ 装置が設けられており、これはスクラムのバックアップとしても動作する。
5. 急速に動作する大口径ダンパバルブが設けられており、これもスクラムのバックアップとして動作する。
6. 炉心タンク内の水位を2位置に変更できるようになっており、水温も広範囲に調節できる。
7. 炉心タンクに接して、シャヘイ実験用水そうが設けられている。

■ トランジスタ化 5 W 移動用 400 Mc/FM 無線機 完成納入

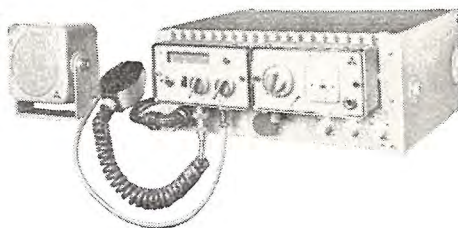
トランジスタの出現以来、無線機は小形軽量の一途をたどっているが、その要求を満たし、かつ多用途に対して速応できる無線機として、FM-11D 形 400 Mc/FM 無線機を開発し、昭和 37 年 6 月郵政省型式検定試験に合格し、このほど関西電力に 6 台納入した。

この無線機のおもな特長は次のようである。

1. 主要パネルは移動、固定両方に共用できる。
2. 受信部は全トランジスタ化されている。
3. 送信部はパワーの大きい部分を除きトランジスタ化されている。
4. ユニット化、プリント配線の採用により、全パネルをプラグイン方式にしているため、保守点検が容易である。
5. 電源は DC-DC コンバータを使用しているため、小形高効率である。
6. 電池電圧の変更が簡単である。
7. 真空管は特殊ラジエータ内に収納してあるため、機器内部の温度上昇が少ない。
8. 全密閉形であるためホコリに対して心配がない。

なおこの装置の主要性能は次のとおりである。

送信出力	公称	5 W
受信感度	20 dB	雑音抑圧入力電圧 6 dB 以下
消費電力	送信時	12 V 約 6 A
	待受時	12 V 約 1.8 A
	受信時	12 V 約 0.7 A



FM-11D 形
400 Mc/FM
無線機

寸 法 140 mm (高さ)×350 mm (幅)×300 mm (奥
行) (含制御器)
重 量 約 15 kg (含制御器)

銀行用選択呼出装置 完成納入

近年の電波需要の飛躍的増大を解決する方法として、1 周波を多数施設者と共用する選択呼出方式が、銀行業務用にも適用され、昭和 37 年度から東京、大阪、京都、神戸、名古屋地区において、銀行業務用選択呼出が実施された。

当社においても銀行用選択呼出装置を完成して、東京三菱銀行日本勧業銀行、三菱銀行（大阪、京都、神戸支店）に基地局装置 5 台、移動装置 17 台を納入し、他社の同一群加入局と共用し良好な成績を得た。

選択呼出装置は 1 周波 (VHF 帯) を多数施設者 (最大 8) と共用し、各施設者の秘話を保ち、かつ機会が均等になるよう数波の選択呼出信号 (低周波) を用い、通話時間の制限を行なって、回線の利用率の向上をはかるものである。

銀行用選択呼出装置は運用上主として現金輸送車と銀行間の連絡に使用されるので、現金輸送車に非常事故が生じた場合に非常用警報を自局銀行および、同一群に加入の各銀行に送るための非常用警報装置が付加される。

当社の銀行用選択呼出装置は 図 1 および図 2 に示すとおり、タクシー用選択呼出装置に非常用警報装置を付加したもので、装置の構成、概要を表 1 に示す。

警報信号は非常事故発生局の加入銀行を識別する群識別信号と事故発生局の個別識別を行なう個別識別信号からなる。

当社の装置は個別識別信号に音声信号を用い、個別識別信号の信号内容をテープに録音を行なっておき、非常事故発生時にテープレコーダで再生、送出を行なう方式を用いている。

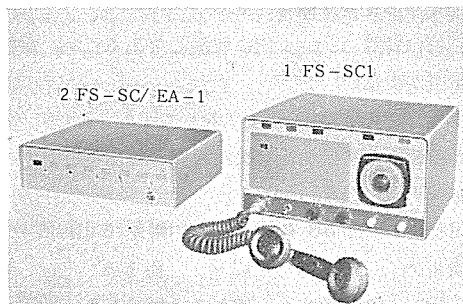


図 1 銀行用選択呼出装置基地局外観

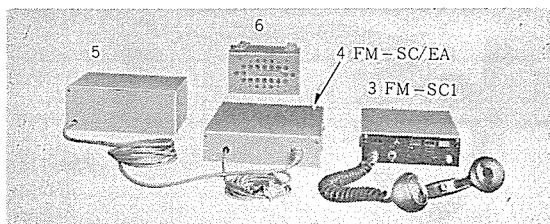


図 2 銀行用選択呼出装置移動局外観

表 1

	装 置 名 称	機 能	比 較	写 真 番 号	
基 地 局	基地局選択 呼 出 装 置 FS-SC1	ロック信号(加入局の機能を 停止させる信号)の3波の 群呼信号(自局のロックを 解除する信号)の信号の送 出受信を行なう。 空線信号(加入局のロック を解除する信号)	タクシー 用と同じ	1	
	基地局非常用 アダプター FS-SC1EA-1	自局または加入局の非常信号を受信し警 報を表示する。	銀行用 のみ	2	
移 動 局	移動局選択 呼 出 装 置 FM-SC1	親呼信号(自局の基地局の) 呼出をする信号)を送出する。 ロック信号、群呼信号、空線信号の受信 を行なう。	タクシー 用と同じ	3	
	移動局非常用 アダプター FM-SC/EA	非常群識別(加入群の識別 別信号を行なう信号) 非常個別(個別の識別を 識別信号を行なう信号)	の2波の信 号を送出す る。	銀行用 のみ	4
	移動局非常用 テープレコーダ	個別識別信号を録音し非常時に再生す る。	銀行用 のみ	5	
	スピーカアンプ		タクシー 用と同じ	6	
	非常用押鈕	非常時に操作する。	銀行用 のみ	7	

サーボ弁 1 形 完成

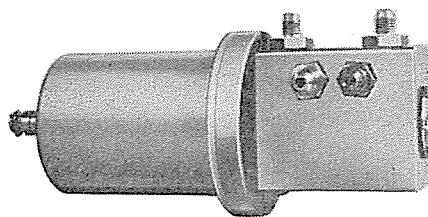
電流に比例して、油流量を制御するサーボ弁の開発が完成した。従来市販されていたサーボ弁は高感度であるが、反面取扱いが微妙という問題があった。

このサーボ弁 1 形は取扱い容易で、作動が非常に安定しているもので、一般産業用としてかっこうのものである。

すでに昭和 37 年 10 月大阪国際見本市に出品された電解加工機の電極送りにも使用され、その安定した性能を遺憾なく発揮している。その他各種工作機械用サーボ機構や、プロセス制御の電油変換装置の操作部としての利用範囲は多い。

サーボ弁仕様

1. 入力電流 0~85 mA
2. トルクモータ 直流抵抗値 $130 \pm 20 \Omega$ (ただし常温)
3. 最大出力流量 9 l/min (70 kg/cm² のとき)
6 l/min (40 kg/cm² のとき)
4. 直線性 入力電流に対する出力流量の直線性 $\pm 3\%$
5. ヒステリシス $\pm 5\%$ デイザを用いれば $\pm 0.5\%$ 以下
6. 周波数応答特性 10 c/s (振幅比 ± 3 dB 以内、供給圧力 70 kg/cm²)
7. 試験条件 作動油 MIL-0-5606, 油温 30~50°C



サーボ弁 1 形



磁気選別機

発明者 河合 登・高島 秀二
加藤 庸夫・柳下 儀兵衛

従来、回転ドラムの外周に複数個の極片を設け、落下する複選別材中の磁性物の分離を容易にした磁気選別機では、上記極片に吸着された磁性物を落下させる位置においても、残留磁気のため磁性物にその自重より大きい吸引力が働いて落下せず、選別能率を低下させることになり、しかも上記能率の低下は、被選別材中からの磁性物の分離能力の増大に比例してますます増大する欠点があった。

この発明はこのような点にかんがみてなされたもので、極片に吸着された磁性物を落下させるべき位置において強制的に消磁させ、磁性物を完全に落下させようとするものである。

すなわちこの発明は、被選別材中の磁性物を磁化して、回転ドラム外周の極片に吸着する磁化用の直流電磁石と、上記吸着された磁性物を消磁する脱磁用の交流電磁石とを上記回転ドラム内に設けた磁気選別機に関するものである。

図において、被選別材(1)を収容するホップ(2)には、被選別材の落下供給される量を調整する仕切板(3)と、これを操作するハンドル(4)を有している。上記ホップの下方には、外周に多数の極片(5)を有し、両側開口を閉塞する一対の側板(6)の中心孔を貫通する固定軸(7)に転受を介して遊合し、定速回転する回転ドラム(8)がほぼ水平に設けられている。上記ドラム内には、上記固定軸(7)に嵌着する取付具(9)の両端に、磁化用直流電磁石(10)と消磁用交流電磁石(11)がそれぞれ定着され、

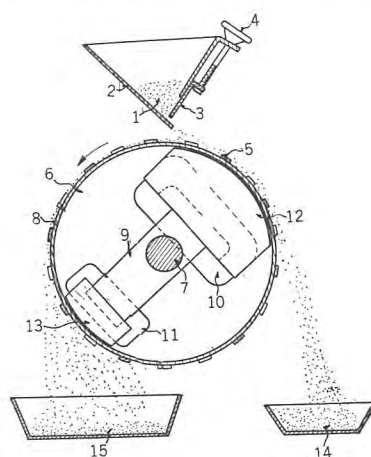
両電磁石の磁極(12)(13)は、ドラム内周と微間隙を介して対向し、直流電磁石の磁極(12)はドラムの上部のホップに対し反回転側に、また消磁用交流電磁石の磁極(13)は上記磁極と固定軸を軸とする対称位置にそれぞれ設けられている。

ホップからドラム上に落下供給される被選別材中の非磁性材は、磁力の影響を受けることなく、ドラムの右側に沿って落下し、非磁性材受け箱(14)に収容され、他方磁力によりドラム極片に吸着された磁性材は、ドラムと一体をなして反時計方向に回転し、磁極(13)とはほぼ対向する位置において交流電磁石による

交流磁界の影響を受け、ドラムの回転に従って残留磁気は減衰し、最後に完全脱磁され、自重により極片より離れ磁性物受け箱(15)に落下する。

(特許第 285904 号)

(小林記)



ジルコニウム合金

発明者 山森 末男・実 博 司

この発明は高温における強度の低下が少なく、かつ耐酸化性においてもすぐれた Zr-Nb-Cu 合金に関するものである。

周知のように純 Zr は中性子吸収断面積が小にして耐酸化性がすぐれている点から原子炉用材料として注目されている金属であるが、高温強度が比較的低いために従来よりその合金化が検討されている。その結果高温強度を有する Zr 合金が種々発明されているが、高温強度と共に耐酸化性をも具備した合金は例が少なく、わずかに数種の合金が発表されているに過ぎない。

従来 Zr に高温強度を付与する添加元素としては Al, Nb, Mo, Ta, W 等が知られているが、このうち Ta, W は中性子吸収断面積が大きいため原子炉用材料としては不適当であり、Al は耐酸化性をいじめるしく害するので改良を行なっても十分な性質とならなかった。これに対して発明者等は Nb を含有した Zr 合金に Cu を複合添加した Zr 三元合金は高温強度大きくかつ耐酸化性にもすぐれていることを見出した。

すなわちこの発明は 0.5~5% の Nb を含有した Zr 合金に 0.5~3% の Cu を複合添加したことを特長とする。Zr-Nb 合金では 700°C の酸素中酸化において酸化の初期から酸化膜にポアが認められ、酸化増量大きく、かつ酸化が急激にいちじるしくなるいわゆる ブレイク、アウェイ現象の起るのが早い。

しかるにこの発明のようにこれに Cu を添加した三元合金では酸化膜の状態がいじめるしく改良せられ、酸化増量も少なく、かつ ブレイク、アウェイ後の酸化コウ配がそれほど大とならない特長を持つのでその耐酸化性は大幅に改良せられた。またこの発明合金は従来発表されている Zr-Cu-Mo 合金等と同一酸化条件で比較してかなり良好な耐酸化性を示し、高温強度においても純 Zr はもちろん ジルコロイ-2 合金 (1.5% Sn, 0.12% Fe, 0.10% Cr, 0.05% Ni, 残部 Zr) よりもはるかに大きな値を示し、実用合金として好適なものと思われる。さらに理論的に算出した中性子吸収断面積も小であって本来 Zr が備えている良好な核的性質をほとんど損わない点にも特長がある。次にこの種の合金の製造は従来行なわれている Zr 合金の製造工程とまったく異なることなく、加工性も良好であって製造上ほとんど難点となるところはない。なおこの発明合金で組成をこの範囲に定めたのは 0.5% 以下の Nb の含有量では高温強度にほとんど改良がなく、5% 以上では加工性および耐酸化性に若干の難点を有し、また 0.5% 以下の Cu 添加では耐酸化性の改良がなく 3% 以上では熱間鍛造性が劣化するからである。

(特許第 400229 号) (倉屋記)

本社	営業所	研究所	製作所	工場	所在地
本 社	東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 (東京ビル内)	(電) 東京 (201)	大代表 1 6 1 1		
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル内)	(電) 東京 (211)	代表 2511・2531		
本社施設部	東京都千代田区丸の内 1 丁目 8 番地 (仲 27 号館)	(電) 東京 (211)	代表 1261・1271・1281		
東京商品営業所	東京 都 千 代 田 区 丸 の 内 2 丁 目 20 番 地 (三菱商事ビル 3 階)	(電) 東京 (211)	代表 2511		
大 阪 営 業 所	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (312)	代表 1231			
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (312)	代表 1231			
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り 2 の 4 (電) 本局 (23)	代表 6231			
" " 商品部	名古屋市中村区広井町 3 丁目 88 番地 (大名古屋ビル内)	(電) 名古屋 (56)	大代表 (5311)		
福岡営業所	福岡市天神町 58 番地 (天神ビル内)	(電) 福岡 (75)	代表 6 2 3 1		
札幌営業所	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 9 1 1 1		
仙台営業所	仙台市大町 4 丁目 175 番地 (新仙台ビル内)	(電) 仙台 (2)	代表 6 1 0 1		
富山営業所	富山市総曲輪 490 の 3 (明治生命館内)	(電) 富山 (3)	代表 3151		
広島営業所	広島市八丁堀 63 番地 (昭和ビル内)	(電) 広島 (2)	4411~8		
高松営業所	高松市寿町 1 丁目 4 番地 (第一生命ビル内)	(電) 高松 (2)	代表 5 0 2 1 4 4 1 6 (直通)		
小倉出張所	小倉市京町 10 丁目 281 番地 (電) 小倉 (52)	8234			
静岡出張所	静岡市七間町 9 番地 10 (電) 静岡 (2)	2595 (3) 2962			
金沢出張所	金沢市田丸町 55 番地 1 (電) 金沢 (3)	6213			
長崎出張所	長崎市江戸町 30 (電) 長崎 (2)	0293			
岡山出張所	岡山市上石井 174 番地 (岡山会館 4 階)	(電) 岡山 (3)	2 9 4 8 (2) 2 5 6 4		
研 究 所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481)	8021			
研 究 所	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			
伊 丹 製 作 所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481)	8021 伊丹局 代表 2481			
長崎製作所	長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3)	代表 3101			
無線機製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481)	8021			
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73)	1531			
静岡製作所	静岡市小籠 110 番地 (電) 静岡 (3)	0141~0145			
中津川製作所	中津川市駒場 928 番地 2 (電) 中津川 2121~8				
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3)	代表 1275			
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (88)	代表 0431			
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			
姫路製作所	姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 (23)	1251			
大船製作所	鎌倉市大船 800 番地 (電) 大船 (6)	代表 2121			
相模製作所	相模原市小山字久保 224 の 224 (電) 相模原 (7)	代表 3 2 3 1・3 2 4 1			
郡山製作所	郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 (2)	1220~1223			
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 大代表 5131				
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 大船 (6)	大代表 4141			
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所 1 (電) 高槻 (5)	1 6 0 7 神 足 4 0 1			
相模製作所	東京都世田谷区池尻町 437 (電) 東京 (414)	代表 8111			
模 工 場	東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (421)	4783			
鎌倉製作所	東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (421)	4783			
東 京 工 場	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (2)	3976			
札幌修理工場					

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 36 No. 12

計測と自動制御特集

- X線厚み計
- 車両用周波数方式誘導子形速度計
- ディーゼル機関用指示平均有効圧力計
- パルス波高値電圧計
- 無線テレメータ
- 多回路総合電力測定装置
- データ処理装置 (3 報)
- 列車運行シミュレータ計算機 (TTS)
- 最適化制御における探索信号法と試行法の比較
- オラコンによる石油ナフサ分解炉の最適化制御
- 冷間圧延機用自動板厚制御装置
- 自動歯切機の無接点方式によるナライ制御装置
- フレイバック制御のできるフライス盤数値制御装置
- ガス切断機自動曲線追跡装置
- 電気油圧サーボ装置 (1 報)
- シリコン制御整流器による直流電動機の制御
- 技術解説: 工業用データ処理装置の概要
- 新しい自動制御の動向

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅	委 員	岩原二郎
副委員長	宗村平	"	大野寛孝
常任委員	安藤安二	"	片岡高示
"	北川和人	"	樫本俊弥
"	小堀富次雄	"	篠崎善助
"	高井得一郎	"	堀真幸
"	中野光雄	"	前田祐雄
"	馬場文夫	"	向井徳樹
"	山田栄一	(以上 50 音順)	

昭和 37 年 11 月 22 日印刷 昭和 37 年 11 月 25 日発行
「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

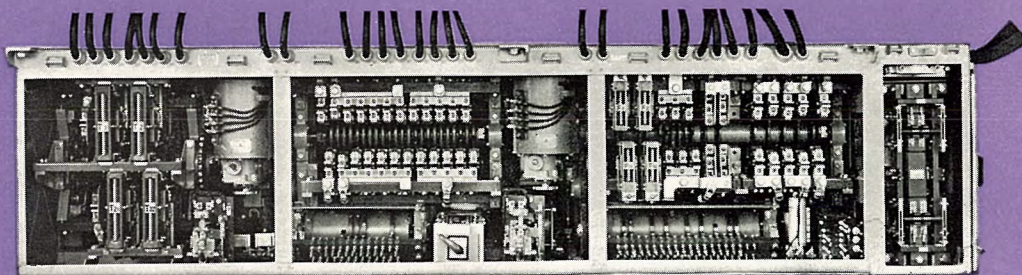
編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 小倉弘毅
印 刷 所
東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社
印 刷 者
東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋武夫
発 行 所
三菱電機株式会社内「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 電 話 東 京 (201) 1 6 1 1
発 売 元
東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店
電話 (291) 0915・0916 振替東京 20018

帝都高速度交通営団日比谷線用 CB-54C-3形主制御器

地下鉄ではひん繁な起動停止を行なう上に高加減速が要求されるので、この制御器では加減速度のプログラムコントロールを行なって乗心地を改善している。内容品は電動カム軸を2組有し、一方は抵抗制御用、他方は回路切換および界磁制御用である。なおカム軸駆動用パイロットモータは磁気増幅器による無接点制御を行なっている。

制御方式 応荷重超多段 プログラムコントロール方式
定格電圧 DC 1,500 V
定格電流 300 A
加 速 度 4 km/h/s
減 速 度 4 km/h/s (常用)
ステッパ 力行 直列 31 並列 37 弱め界磁 9
ブレーキ 67 (戻し ステッパ 制御可能)
制御電圧 AC 200 V 120 c/s, DC 100 V



CB-54C-3 形主制御器

三菱 新形電気連結器

郊外電車、地下鉄電車などにおいては乗客の変動に応じて列車の編成を換えるため連結、切放しを常時行なっている。したがって各車両間の電気回路の引通しもまた同時に連結、切放しを行わねばならない。

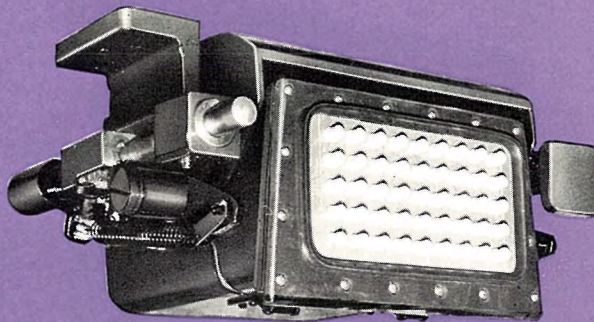
最近では電気回路の引通しも非常な数となり、あわせて放送回路もいっしょにしてさらに小形、軽量化を図った電気連結器の要望が増大した。これにこたえて CE740 形電気連結器が完成され、各方面に納入した。

この電気連結器は機械式密着連結器に取付けられ、密着連結器の連結により自動的に連結される。おもな特長としては

1. 自動的に連結される。
2. 従来のものに比較して多数の電気接点を有し、しかも小形軽量にできる。
3. 電気接触部が5点または6点のユニット式組合せとなっているので全体の組立はもちろんのこと一部分の取外しも容易である。
4. 電気接触部は極力少なくし、かつ可動部には特殊シャフトとし、これらの接続は圧着式としているので、電気的信頼度は非常に高い。

要 目

形 式	方 式	電 気 接点数	定 格		シール ド回路	接触指圧力		完成 重量	納入先
			電 圧 (V)	電 流 (A)		ストローク (mm)	圧 力 (kg)		
CE741 (CE744)	固定方式 (自動カバー付)	45	DC100	15	使用	4	3	2.7	西武電鉄
CE742	固定方式 (自動カバー付)	50	DC100	15	なし	4	3	2.8	大 阪 地 下 鉄
KE 9001	可トウ支持に よる手動レバ ー方式	78	DC100	10	なし	4	3	6.0	国 鉄
	(自動カバーなし)	12	AC220	50		4	4		



三菱新形電気連結器