

MITSUBISHI DENKI GIHO

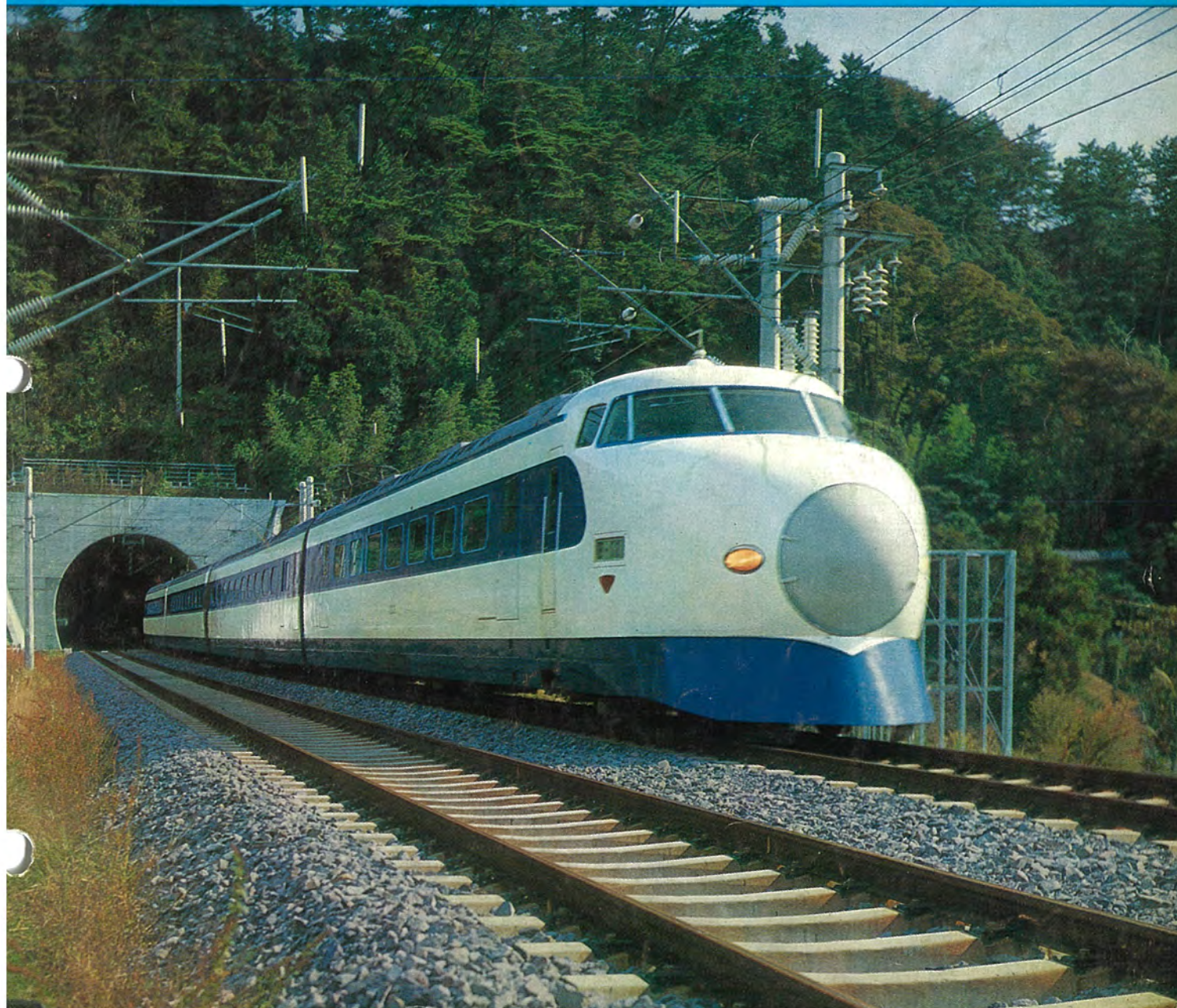
三菱電機技報

Vol. 38 March 1964

3

行試験中の東海道新幹線電車

東海道新幹線電機品特集



わが国最初の完全一体構造の電力変換装置！ レクチフォーマ式シリコン整流器

久しく待望されていた完全な一体構造の電力変換装置—レクチフォーマ—が完成した。

従来の整流器変電所では機器を収容する大きな建屋と配線工事が必要であり、設備の大容量化に伴い接続導体も含めたその費用は大きな割合を占めていたが、シリコン整流器の発達によりすぐれた特性を活かして、旧来とまったくはなれた一体の変電所方式が可能となっている。この変圧器と整流器を一体化する試みは最近各方面で行なわれているが、いずれも従来の方式の延長あるいはその寄せ集めといった過渡的形式であるが、今回完成したレクチフォーマは従来の概念に制約されず、本質的に最もすぐれた方式について検討を重ねた結果であり、完全な電力変換単位として実用運転に入ったわが国最初の設備でもある。

このレクチフォーマでは、変圧器と整流器は一体のユニットに組み立てられるとともに、共通の油と熱交換器により冷却されている。さらに他の方式では、困難であった負荷時電圧調整器や電圧調整リアクトルも内蔵し、制御された直流が出力端子よりえられるとともに完全屋外形に製作され、一体化構造としてのあらゆる条件を備えている。

■ 特 長

- (1) 変電所建屋を省略できる。
- (2) 据付配線工事費が大幅に節約できる。
- (3) 変圧器と整流器さらに調整リアクトルをむすぶ導体が不要で大電流設備では著しいコスト低下となり総合性能を向上する。
- (4) 整流器の独立した冷却系統が不要で、単一化された熱容量の大きな系統は信頼度を向上するとともに保守を簡易にする。

これらの特長を十分に活かすには、構造ならびに各機器の総合に高度の技術が要求されたが、長期間の検討と試作試験の結果完成したこの装置では、他の方式に比べ格段にすぐれた機能を示し、今後の一体化構造整流装置の方向を示すものとして広く使用されることが予想されている。

■ 仕 様

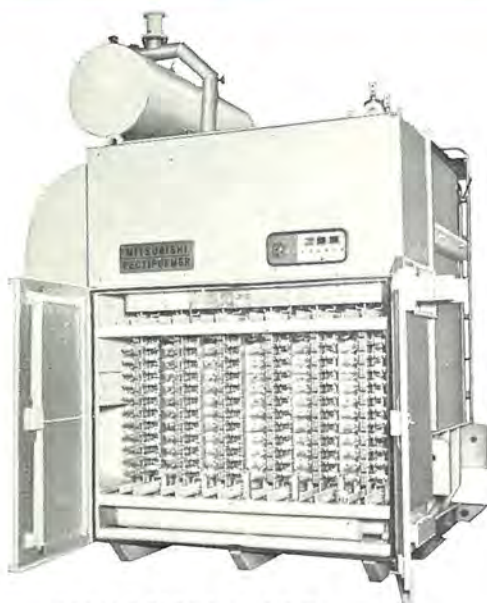
形 式 SO-SUW-URA 形 完全屋外形

直流出力 2,200 kW, 220 V, 10,000 A

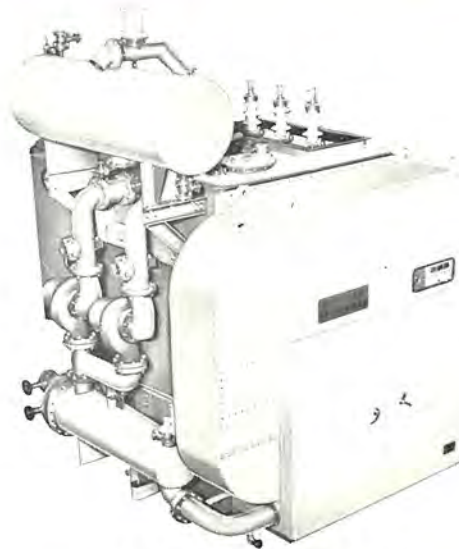
交流入力 三相, 60 c/s, 21 kV

電圧調整 DC 220-100 V, URA 形負荷時電圧調整器および可飽和リアクトル付き。

レクチフォーマ形整流装置はその後あいついで大容量器が製作されており、一体化構造に関し世界でも最大級の実績を有するに至っている。



220 V 2,200 kW レクチフォーマ
(シリコン整流器側)



220 V 2,200 kW レクチフォーマ
(変圧器側)



表紙説明

東海道新幹線用旅客電車の営業運転を10月に控えて、地上設備ならびに車両の製作が関係メーカーによって急がれており、その量産車(第一次量産車6両ユニット×30)の先行製作分は既に試運転中である。この量産車は先の試作車の一年有余に及ぶ試運転結果と量産的要素を考慮して若干の設計変更が行なわれた。当社はこれらの地上関係ならびに車両にとう載する主要電機品を多数製作中であり、その電機品の活躍が期待されている。



三菱電機技報

昭和39年 第38巻 第3号 (東海道新幹線電機品特集)

目次

東海道新幹線量産車電機品	北川和人	2
東海道新幹線 TM-200 形主変圧器	萩野 脩・沖本邦夫・久保田和雄	5
東海道新幹線量産車用主電動機	河村寿三	11
東海道新幹線 ATC 装置	北岡 隆・石田哲爾	19
東海道新幹線空気調和装置	熊本 永・牛田善和	26
東海道新幹線電車用補助回転機	和田義彦・松山幸夫	32
東海道新幹線列車用 400Mc 帯指向性埋込み形アンテナ	喜連川隆・武市吉博・水沢丕雄 阿部 修・大林愛弘	38
東海道新幹線列車無線地上系設備	中村敏行・石原嘉夫・佐野定治郎・遠藤由松 北垣成一・阿部 修・奥村 徹	42
東海道新幹線量産車用車両照明および駅舎の照明設備	小堀富次雄・鈴木朋美	50
東海道新幹線変電所用配電盤	小滝喜久二	55
東海道新幹線負荷時タップ切換スコット変圧器	嶋 裕史・菅 寿郎	63
東海道新幹線変電所用シャ断器	潮 恒郎・米沢克昌・森岡昭二・吉田頼弘	68
オーストラリア納め 330 kV 超高圧変圧器	田村良平・谷中頼朝・竹内 実・青木俊之	74
コッパヤ式高炉原料自動装入装置	木内 修・渡辺克己・井上信義	84
テレビジョン用ラミネートブラウン管	岩田 浩	89
最近のオートラジオ	岡本春樹・吉越英雄	93
6UH-205 形高圧気中電磁接触器	福元輝男	97
HB 形電磁ブレーキ	高野良二・西野 広	100
《技術解説》		
X線テレビジョン	道家昭彦	104
《技術講座》		
プラズマ(その2)——プラズマの巨視的物性の基礎理論——	河合 正・伊藤利朗・近藤博通	110
《新製品紹介》		
航空機用グラッドクーラ用電機品完成・水素ガス耐圧防爆形三相誘導電動機の完成・三菱BH形2極(共通引はずし形)ノーヒューズシャ断器完成・三菱オートラジオ AR-920B 形新発売・超小形三菱トランジスタラジオ 6X-515 形新発売		119
《ニュース・フラッシュ》		
東大テレメータ追尾装置完成・東京電力北東京変電所納め 345 MVA 変圧器完成・東京電力中東京変電所納め 345 MVA 変圧器受注・加工電流量 5,000 A MC 50 V 形電解加工機・立体収録質量分析計・三菱金属鉱業福川工場納め圧延機制御用フロダック装置完成・川崎製鉄千葉製鉄所納め 20 t 電気機関車受注		122
《特許と新案》		
カプラン水車の调速装置		126
《最近における社外寄稿一覧》		83
《最近における社外講演一覧》		127
《最近登録された実用新案》		96
《表紙》		
2. レクチフォーム式シリコン整流器		
3. わが国最初の懸垂形モノレールカー 名古屋市東山公園に完成		
4. 三菱ミシロ		

東海新幹線 量産車電機品

北川和人*

Electric Apparatus of New Tōkaidō Trunk Line Cars

Itami Works Kazuto KITAGAWA

In providing good many cars for the new Tōkaidō trunk line in the fall of 1962, the Japanese National Railways invited an international tender, in which Japanese manufacturers confederation were successful in receiving the order of all the apparatus. The cars are to be built mostly in accordance with the specification of trial models supplied formally. But after consultation and discussion among the manufactures with the authorities of the J.N.R. much improvement has been made on the various apparatus. This paper reports on the principal points and also about semulation results of car operation calculated with the IBM-7090 in studying the electric apparatus of the car.

1. ま え が き

東海道新幹線は東京—大阪間を3時間で結ぶ「夢の超特急」ともいわれる車両で、39年10月開通を目指して着々建設が進められており車両も第1次、第2次量産と合わせて360両が製作されている。

この第1次量産車は昭和37年秋日本国鉄より国際入札が公示されたが、われわれは日本の主要な車両電機メーカ12社よりなる日本連合を結成、これに応札し全車両落札に成功したものである。

日本連合結成にあたっては車体・電気・部品の部門ごとの技術委員会を組織し、国鉄より示された仕様書に基づき、終始熱心に討議され、仕様書を満足する範囲中でいかにして重量を軽減し、かつ経済的なものにできるかなど審議された。

当社もその卓越した技術と、今までの交流車両ならびにききに製作された試作車用電機品の製作経験をフルに生かし、主変圧器・主電動機・主平滑リアクトル・制御装置用部品など主要電機品の基本設計を担当し協力した。

その後国鉄との契約も行なわれ上記機器のほか、タップ切換器・各種制御器・ATC装置・空気調和装置など多数の電機品を納入または製作中である。

2. 電機品の仕様ならびに試作車用との変更点

量産車用電機品の最終仕様は日本連合の提出資料と試作車のモデル線区における貴重な試験データとをもとに、国鉄とネゴシェーションの形で設計協議を行ない詳細審議が行なわれ決定された。

その内容は試作車の機器を基本としていることはいうまでもないが、細部については種々の改良が加えられた。

量産車の主要諸元を表2.1に、また主回路ツナギを図2.1にそれぞれ示す。なお主変圧器・主電動機・ATC装置などの主要機器の性能・構造の詳細に関しては別稿を参照願いたい。

試作車の電機品については前に本誌にも記載されているが、量産車電機品で試作車と対比し変更がなされた主要点を列挙すれば次のとおりである。

(1) パンタグラフを2両に1台とし、高圧側避雷器の接続位置は耐サージの保護範囲を広くするためにABBのシャ断部と断路部間からとられた。

(2) 主変圧器の容量を1,810kVAから1,650kVAに変更し、補助機器の変更に伴い三次巻線の電圧を232V×2より232Vに変更した。

(3) 主変圧器の突入電流による変電所のABB動作を防止するために車両側ABBは順次投入方式をとった。

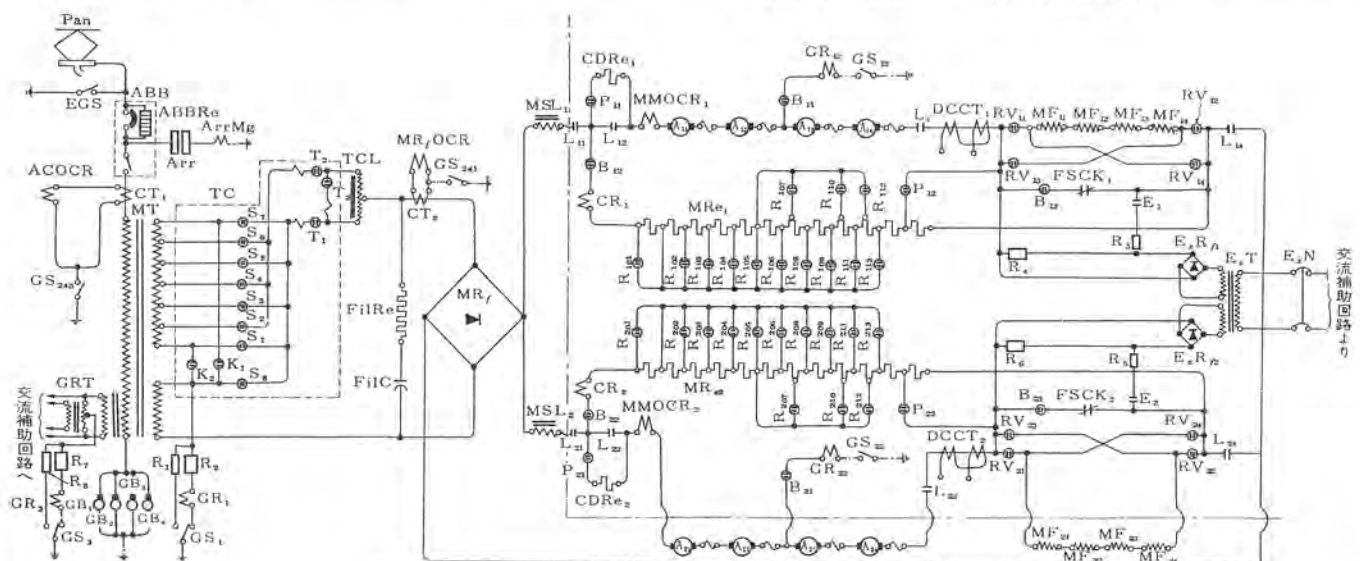


図 2.1 主回路 ツナギ

Fig. 2.1 Power circuit diagram.

表 2.1 量産車の主要諸元

1	電車線の電気方式	AC 単相 25 kV 60 c/s
2	車両の電気方式	シリコン整流器式 2 両を 1 ユニットとし電氣的に永久連結とする。
3	主要寸法	
	長さ (連結面間)	25 m
	高さ (レール面上屋根上面まで)	3,975 mm
	最大幅	3,380 mm
	床面高さ (レール面上)	1,300 mm
	軌間	1,435 mm
	軸距	2,500 mm
4	主変圧器	フォームファイト送油風冷形 不燃性油、耐熱絶縁紙使用 容量 1,650 kVA { 二次側 2,261 V 663 A (タップ付) { 三次側 232 V 646 A
5	主電動機	脈流直巻 開放自己通風形 185 kW 415 V 490 A 2,200 rpm 連続
6	動力伝達	WN ドライブ 1 段歯車減速式 ギヤ比 29:63=1:2.17 車輪径 910 mm (計算 870 mm)
7	タップ切換器	低圧式 25 ステップ (定格 23 ステップ) 2,261 V 663 A 連続 カムスイッチ式
8	シリコン整流器	単相ブリッジ結線 1,660 V 980 A 連続 1,500 A 8 分間 10S×4P×4A
9	主平滑リアクトル	オープンコア形 自冷式 F 種絶縁 インダクタンス 6.5 mH (490 A において) 連続電流 345 A
10	制御方式	力行 低圧タップ切換方式 ノッチ選択 10 ノッチ 磁気増幅器・DCCT による自動進段 ブレーキ 電空併用 1 車ごとの発電ブレーキ方式 ブレーキ弁による AC パターン 電圧による自動進段 速度域により減速度を 4 段に可変 予備励磁付 ATC 制御および手動制御

(4) タップ 切換器を カム 式のものに統一するとともに操作電動機回路を SCR による無接点化に統一した。

(5) フィルタ 回路の仕様を 20 Ω, 16μF に統一した。

(6) 誘導障害などを考慮し主電動機の脈流率を 50% に統一し、その界磁 コイル の分路抵抗を 10% の永久分路に統一した。

(7) 上記の永久分路抵抗は電制時使用しないので電制用抵抗と共用させた。

(8) 主電動機の弱界磁回路を廃止した。(試作車は 250km/h の走行試験のために弱界磁をつけていた。)

(9) 電車線の切換 セクション 通過時電動機回路に過大電流が流れないように、このような場合は低電圧 リレー で探知し減流抵抗をそう入するようにした。

(10) 主幹制御器の構造を変更し、選択 ノッチ を 10 ノッチ とした。

(11) ブレーキ の ステップ を 20 から 18 ステップ に変更し、これに伴い スポッチング 位置を変更した。

(12) 補機類を三相誘導電動機から コンデンサ 起動の単相誘導電動機方式にし、これに伴い電動発電機の容量を 100 kVA より 20 kVA に変更した。

(13) 電気 ブレーキ 制御回路を変更し、電制の立ち上がりを早めるとともに空気 ブレーキ との関係を改良した。

3. 電子計算機による電機品の容量検討

車両用電機品の容量の検討にあたっては実際の車両の走行 シミュレーションを行ない検討すべきであるが、新幹線のように駅間距離が長くコウ配が点在するような区間についてはよく用いられているタイプカル ランカーブ の計算での検討では十分とはいえず、不規則に散在する コウ 配制限速度を考え実際の車両の走行を シミュレート して検討しなければならない。

試作車の設計にあたってこのような シミュレーション が国鉄で検討されたが、その後電機品の仕様ならびに ランカーブ が明確化されたので、あらためて日本連合の検討用資料として各種条件で IBM-7090 により上記の ランカーブ の計算を行なった。また計算にあたっては主変圧器・主電動機・主平滑 リアクトル などの瞬時瞬時の温度上昇の仮定をもうけ、同時に行なうようにした。

計算の ランカーブ の詳細は省略するが、要するに距離基準でニュートンの方程式より瞬時瞬時の速度・時間を計算し、合わせて電機

表 3.1 計算条件

項目	列車種別	両数	運 転 条 件
1		6	全モータ使用
2		6	停車時分の延長
3		6	関ヶ原でのコウ配起動
4		8	全モータ使用
5		8	力行のみ 4 個モータ開放
6		8	力行・制動とも 4 個モータ開放
7		12	全モータ使用
8		12	力行のみ 8 個モータ開放
9		16	全モータ使用
10		6	同上
11		8	同上
12		12	同上
13		16	同上

備考

- 特急の途中停車駅は横浜・小田原・熱海・静岡・浜松・豊橋・名古屋・羽島・米原・京都の 10 駅とし通常は名古屋 3 分、その他は各 1 分の停車時分とする。超特急は途中停車駅は名古屋のみとし停車時は 2 分。
- 項目 2 は所定時分を調整するため安全側をとり途中停車時分を全般的に長い目にしたものである。
- 項目 3 は最悪時を考え関ヶ原上りコウ配区間の手前でいったん停車し再起動したものである。

表 3.2 計算結果のまとめ

項目	走行時分 (min)	rms 電流 (A)			温度上昇比率	
		主電動機	変圧器一次コイル	変圧器二次コイル	主電動機	変圧器
1	211.5	409	57	722	—	—
2	240.2	367	49	647	0.696	0.896
3	217.4	401	52	678	—	—
4	210.2	387	52	685	—	—
5	214.9	416	56	725	—	—
6	235.9	393	53	696	0.735	1.01
7	210.4	383	51	677	—	—
8	216.2	419	56	736	—	—
9	210.6	380	50	673	—	—
10	173.4	334	52	629	—	—
11	173.2	329	51	617	—	—
12	173.6	324	50	606	—	—
13	173.7	318	49	600	—	—

備考

- 温度上昇比率は定格電流時を 1 とした場合の終着駅での比率値である。
- 主電動機の温度上昇の算式は試作品での試験データにもとずき求めた式による。(時定数はモータ端子電圧の関数)
- 変圧器の温度上昇の算式は油の温度上昇とコイル・油間の温度上昇との比を 7:3 とし、最終温度は電流の 1.6 乗に比例するものとした式による。

表 3.3 特急 6 両全 モータ 使用計算結果

駅名	距離 (km)	時間 (min)		主電動機 (rms)		変圧器二次 (rms)		変圧器一次 (rms)		電力消費 kWh/2両	
		累計	駅間	累計	駅間	累計	駅間	累計	駅間	累計	駅間
東京	0.1										
横浜	25.55	25.65	16.1	436	727	44	58	202			
小田原	76.7	51.15	36.1	417	727	52	60	591			
熱海	95.45	18.75	10.5	425	808	54	54	782			
静岡	167.45	72	46.6	382	746	683	54	54	1,274		
浜松	238.95	71.5	26.1	409	724	693	58	58	514		
豊橋	274.2	35.25	15.2	403	716	693	55	55	1,788		
名古屋	342.05	114.2	24.9	409	719	738	62	62	296		
羽島	367.05	67.85	13.8	406	713	713	56	56	2,084		
米原	408.3	25	152.9	408	718	718	56	56	2,596		
京都	467.35	41.25	17	428	776	776	65	65	2,823		
大阪	515.25	68.05	25.4	410	724	724	57	57	3,197		
		38.9	195.3	407	722	722	57	57	3,683		
		211.5	16.2	409	722	722	57	57	3,991		

品の仕様よりそのときどきの電流・電圧・ノッチ位置・温度上昇・電力消費量など計算するものである。

計算内容としては表 3.1 の各条件の場合につき行なったがこれらの計算結果の一つとして表 3.1 の項目の結果を表化すれば表 3.2 のとおりである。また各条件での計算結果で最終駅到着時のデータを表化して示せば表 3.3 のとおりである。

これらの結果より電機品の容量などにつき次のことが結論づけられる。

(1) 電機品の rms 電流は モンタ あたりの列車抵抗の差、ならびに走行時分の差により編成が短くなるほど大きくなる。また表化していないが電力消費量についても同様である。

(2) 電機品の rms 電流を項目 1 より最もシビアな 6 両編成の場合について量産車の定格電流と比較すれば次のとおりとなる。

区 分	主電動機	主変圧器 一次コイル	主変圧器 二次コイル	主平滑リアクトル
超特急	$\frac{334}{490}=0.682$	$\frac{52+6}{66}=0.88$	$\frac{629}{663}=0.948$	$\frac{314.5}{345}=0.911$
急 行	$\frac{409}{490}=0.835$	$\frac{57+6}{66}=0.955$	$\frac{722}{663}=1.09$	$\frac{361}{345}=1.046$

備 考

主変圧器一次コイルの 6A は三次巻線 150 kVA に対する一次コイルの電流値を示す。

上表で主変圧器・主平滑 リアクトル の rms 電流は定格を オーバ

しているが熱時定数が主電動機のそれに比べ長いので短時間の過負荷耐量が大である点を考慮すれば適当な容量といえる。

主電動機は熱容量的には十分な余力を有しているが他の機器と異なり熱のほかには整流の問題があり、少し余裕をもたせたものである。

これらの結果より主変圧器・主平滑 リアクトル については試作車に比べ容量の小さいものにすることができた。

4. む す び

これらの電機品は着々製作されており、その約半数はすでに関係車両 メーカ に納入されたが、近く全線開通に先立ち 1 部の車で訓練運転が開始されるものと思われる。

この車はいうまでもなく画期的性能の車で諸外国も大いなる関心をもっているもので、——たまたま営業運転が オリンピック 開催期にあたり外人の往来もはげしいおりでその成果はただちに日本の車両技術を直接海外に示すことになるといえよう。

営業運転のあかつきには東京—大阪間の大きな輸送動脈になるとともに必ずや期待以上の好成績をおさめ、ますます日本の技術を海外に宣揚する絶好の機会になるであろうことを確信している次第である。

東 海 道 新 幹 線 TM-200 形 主 変 圧 器

荻野 脩*・沖本邦夫*・久保田和雄*

Type TM-200 Main Transformers for New Tōkaidō Trunk Line

Itami Works Osamu OGINO・Kunio OKIMOTO・Kazuo KUBOTA

Construction work of the new Tōkaidō trunk line of Japanese National Railways, the so-called "dream super special express," is going on with allout efforts of the engineering staff concerned. High speed running tests as high as 250 km/h have been completed. The line is on the verge of commercial operation under vigilant watch of the world. The new trunk line will operate on single phase AC 25 kV power. Every one of two cars is provided with a forced oil air-cooled shell type transformer constructed by form-fit type, that is unique to Mitsubishi, under the floor of the car body. The specification of the transformer is 22.5~30 kV 1,600 kVA on the primary side, 2,435~348 V 1,500 kVA on the secondary with 13 taps and 232 V 150 kVA on the tertiary. The transformer has features of form-fit construction that is epochal small sized and light weighing 2,800 kg without oil. The oil used is unflammable one, 430 l being needed for one unit.

1. ま え が き

国鉄の商用周波交流による電化は、仙山線においてその第一歩をふみ出し、現在まで数多くの交流電気機関車および電車が製作されている。わが国経済の高度成長のため“夢の超特急”といわれる国鉄東海道新幹線は、国鉄の総力を結集して建設が進められている。この新幹線にも電化方式として交流電化方式が採用された。

昭和 37 年に試作電車が完成し、鴨宮の新幹線 モデル 線区において走行テストが実施され、250 km/h にも及ぶ高速性能を出し、わが国の鉄道史に輝ける 1 ページ を画したことはすでにご承知のことと思う。現在これらのテスト結果による改良を加えて新幹線量産車が製作されている。いよいよ全世界注目のうちに昭和 39 年 10 月 1 日から開通することとなった。

この量産電車の心臓ともいべき主変圧器は、国鉄交流電化以来 ED45, ED70, EF30, EF70, ED74, 421 系, 471 系など国鉄主要交流電気車に積載されて、種々の新機軸を生み、最も多くの製作実績を有して好評を得ている当社の原設計で製作が進められている。

本変圧器は車両積載用として軽量、堅ろう、小形化の要望を満

たすのに最適である当社独得の外鉄形フォームフィット構造が採用され、当社の設計資料、製作図面に基づいて国鉄当局を中心に日立、東芝を交え十数回にわたる共同設計会議により検討されて製作に入ったものである。

新幹線は電車列車であるので、この変圧器は床下取付構造となっている。したがって寸法上の制限、重量の極端な軽減を必要としたが、外鉄形に由来する本質的な設計の自由性と、フォームフィット構造の特長を遺憾なく発揮して、画期的な小形軽量変圧器を製作、期待にこたえることができた。以下に新幹線向け量産車用主変圧器の概要を紹介しご参考に供したいと思う。

2. 設 計 条 件

2.1 電車線電圧と周波数

公称電車線電圧は単相交流 25 kV、電車線電圧の変動範囲は 22.5~30 kV (30 秒以内 20 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 にも及ぶので、列車走行抵抗を極力小さくするためパンタグラフ以外の機器すなわち避雷器や、空気シャ断器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、次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の両者が必要であり、これを共通鉄心、同一タンクに納め小形化につとめても、なお小形軽量化にはおのずから限度がある。

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



図 1.1 TM-200 形主変圧器
Fig. 1.1 Type TM-200 transformer.

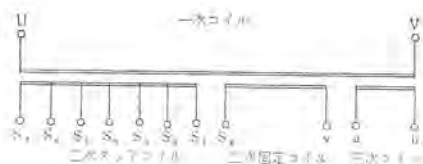


図 2.1 コイル 結線図
Fig. 2.1 Connection diagram.

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。しかしながら低圧切換方式とすると、タツ切換器に流れる電流は相当大きいうえに動作ひん度はきわめて高いのでタツ切換器の電気的および機械的責務が苦しくなってくる。しかし今回材料、構造などに十分な検討、実験が加えられ、信頼性の高い大電流タツ切換器製作が可能となったので、変圧器は低圧切換方式が採用された。

次に変圧器の結線であるが、図 2.1 に示すように二次コイルはタツコイルと固定コイルに2分割し、タツコイルを固定コイルと和動的または差動的に接続し、タツ数を少なくして電圧ステップを多くとれるようにした。この特長は、二次ラッシングの数が少なくなるだけでなくタツコイルを差動的に接続する低電圧のとき、すなわち電車起動時に変圧器の漏れリアクタンスが大きくなり、低電圧時の直流電圧変動が大となり二次直流電流が小さくなる。このことは電車の加速電流を押え、起動時のショック緩和にも有効である。

2.3 三次電圧変動率

三次コイルは電車の冷暖房および補機(たとえば変圧器の冷却器用電動油ポンプ、電動送風機など)回路の電源用である。三次電圧変動が大きくなると、これを電源とする各機器の重量、寸法が大きくなるので、三次電圧変動率は+3~6%以内にするように指定された。ただし三次100~90%力率で0~200%負荷、二次100~80%力率で

$$\begin{cases} 2,435 \sim 870 \text{ V タツ } 0 \sim 200\% \text{ 負荷} \\ 696 \sim 348 \text{ V タツ } 0 \sim 100\% \text{ 負荷} \end{cases}$$

の全範囲において変圧器だけの電圧変動率とする。

2.4 絶縁階級

絶縁階級は国鉄車両用変圧器の仕様書に決められているが、一次側の商用周波試験のみ電車線の持続性異常電圧は電車線最高電圧30 kVの1.4倍以下であるということで、商用周波1分耐圧試験は行わず、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。

2.5 温度上昇限度

温度上昇限度も国鉄車両用変圧器の仕様書に決められている。すなわち周囲温度を25°Cとし、油の温度上昇(温度計法)は65°C、巻線の温度上昇(抵抗法)は75°Cである。しかしこのうち巻線の温度上昇値のみ導体の絶縁紙に最近開発され実用化されている耐熱性絶縁紙⁽¹⁾を使用することにより、温度上昇を85°Cとすることとなった。

2.6 重量、寸法の制限

車両用変圧器は軽量、小形かつ安全性の高いことが望ましい。今回の場合変圧器は電車床下のハリに直接取り付け使用されるので、重量および寸法はできる限り小さくする必要がある。変圧器重量は3,500 kg、寸法は床下面積2,290×2,430 mm、高さ990 mm以内とすることになった。

表 2.1 絶縁耐力

加圧部	商用周波	衝撃電圧	
		全波	サイ断波
一次側	42 kV (誘導) 10 分	175 kV	200 kV
一次接地側	4 kV 1 分	—	—
二次側	10 kV 1 分	—	—
三次側	4 kV 1 分	—	—

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大きく、取り扱いがめんどうなため、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とした。

また変圧器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。

図 1.1 および図 3.1 は変圧器の完成写真である。

変圧器仕様

外鉄形、フォームフィット、低圧タツ切換式、窒素密封形、送油風冷式

定 格 連続定格

周 波 数 60 c/s

定格容量 一次側 1,650 kVA

二次側 1,500 kVA

三次側 150 kVA

電 圧 一次側 25,000 V

二次側 F2,435—R2,261—2,087—1,913—1,739—

1,565—1,391—1,217—1,044—870—696—

522—348 V

三次側 232 V

電 流 一次側 66 A

二次側 663 A (348 V のとき 450 A)

三次側 646 A



図 3.1 TM-200 形主変圧器
Fig. 3.1 Type TM-200 transformer.

4. 構 造

2章で述べたような種々の条件、とくに車両用として軽量、かつ小形とするため、外鉄形フォームフィット、送油風冷式変圧器を採用しているが、以下構造について述べる。

4.1 鉄心と巻線配置

一般に外鉄形変圧器はコイルの数が少なく、コイル幅が大きく、コイルの対向面積が広く、合成直列静電容量が大きい。またコイル内での大地への静電容量が小さいので、衝撃電圧侵入に対して巻線内の初期電位分布が本質的に良好であり、したがって電位振動もわずかである。

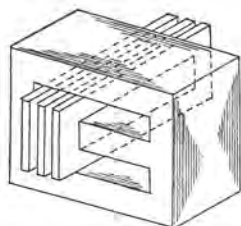


図 4.1 鉄心と巻線配置
Fig. 4.1 Core and coil construction.

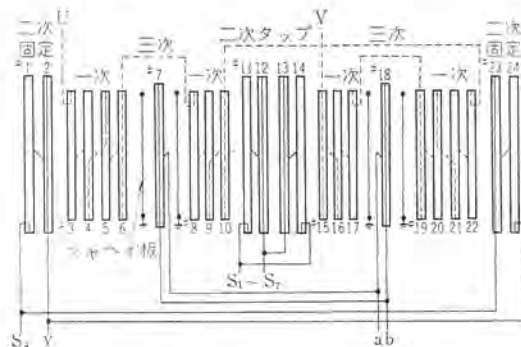


Fig. 4.2 Winding arrangement.

また低 タップ における二次巻線の電圧変動率は電車の起動特性に直接影響するわけであるが、外鉄形交互配置巻線では容易に一次と二次巻線の対向面積を変化することができるので転流リアクタンスを比較的広範囲に選定することができ、所望の電圧変動率を得やすい。

図 4.1 は鉄心と巻線の関係を示す説明図であり、図 4.2 は巻線配置を示す。図 4.2 からわかるように一次側巻線は 4 群に分割し、この 4 群を直列に接続している。次に二次側巻線であるが、これは 2 群に分割し、電流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、次の 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 は、接続個所はなく連続的に巻かれている。このようにすると各 タップ の巻き始め、巻き終わりはかならず コイル の外側に出てくることになる。普通の コイル のように コイル 間油 げき 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 が抜けた状態のとき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。

三次側巻線は二次側 コイル 同様 2 群に分割し、この 2 群を並列に接続している。なお コイル 配置は、一次側および二次側 コイルのほぼ中央部に置き、三次巻線の電圧変動率が小さくなるようにしている。また一次側 コイル (高圧側) の近くに置かれているので一次側からの電圧移行を防止するため シヤヘイ 板を設けこれを接地している。

鉄心は冷間圧延方向性ケイ素鋼板を使用している。これは単一方向に圧延して方向性が著しく、鉄心の構造は方向性を生かすために額縁形にすみを斜めに切断して鉄心積みを行ない⁽²⁾、方向性ケイ素鋼板の特色である励磁電流を減少させている。

4.2 本体構造

図 4.3 は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。組み立てに際しては各 コイル を下

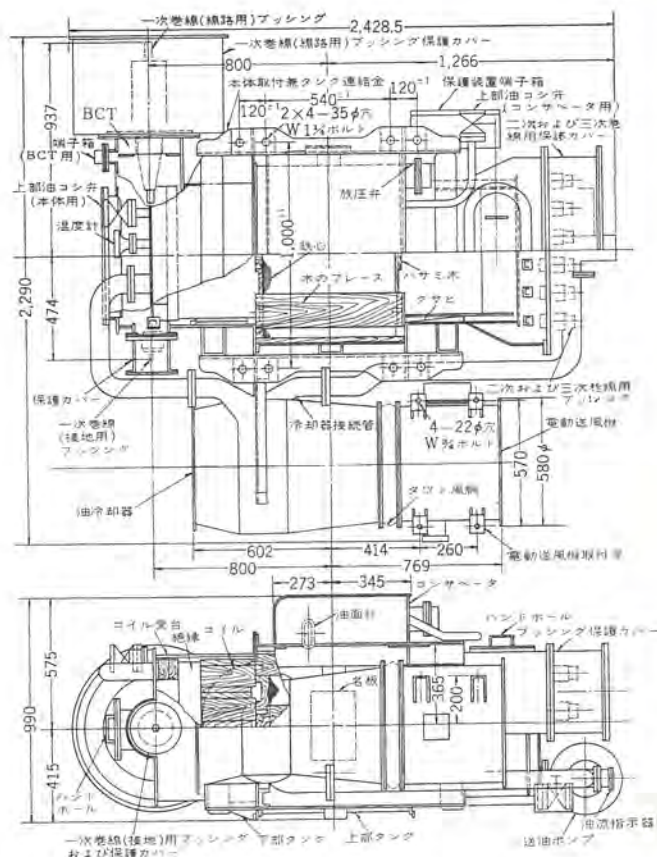


図 4.3 変圧器構造
Fig. 4.3 Construction of transformer.



◀ 図 4.4 鉄心積を完了し上部タンクのかぶせ作業

Fig. 4.4 Covering work of the upper tank after the completion of core assembly.

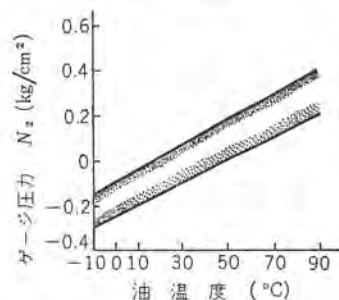


図 4.5 コンサベータ 内圧力
Fig. 4.5 Gas pressure in the conservator.

部 タンク の底板上に垂直に立て、鉄心を方形 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 コイル 内側に渡された鉄心ささ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ち込んで、コイル を鉄心に強固に支持している。

上記作業後図 4.4 のごとく上部 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 4 周を アスベストハッペン 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 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 プレス 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 プレス を介して上部 タンク 側板にかかることになる。

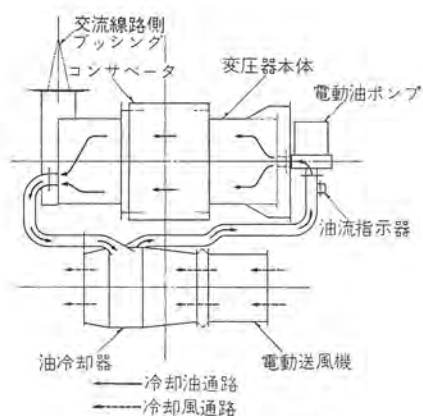


図 4.6 冷却器循環経路

Fig. 4.6 Circulation diagram of cooling equipment.

タンク強度を考慮する場合、荷重として上記中身重量のほかにも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および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。

次にコンサベータであるが、車両用として与えられた空間を最大限に利用するため上部タンクに直接取り付けられ、この部分は車体床下のハリの間にそう入される構造となっている。また変圧器高さを有効に使用するため、重量軽減のためにコンサベータの底部は上部タンク側板と共用されている。

図 4.5 はコンサベ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もあわせて考慮してある⁽³⁾。

4.3 冷却構造

図 4.6 は冷却器の循環系統を示す略図である。変圧器内部で発生した熱は油で運び出され冷却器で強制空冷する方式である。外鉄形フォームフィット変圧器はタンクと鉄心間のスペースがきわめて小さく、油は大部分巻線の内部を通して冷却作用を行なうので冷却効果がよく、とくに強制循環の送油式冷却にはきわめて有利である。

5. 主要付属品

5.1 冷却器

図 5.1 は冷却器の外形図である。

従来の冷却器は銅、鉄を主材料とした冷却管を使用していたが重量軽減のため総アルミ製、ロウ付熱交換器を採用した⁽⁴⁾。また冷却管の形状、冷却器の構造については、当社研究所において基礎的実験を実施して種々検討した。また、試作品につき油流量、風量、油—空気の温度差などを变化させた場合の放熱量を実測して性能を確かめた。図 5.2 はその一例であり冷却器の性能は表 5.1 のとおりである。

5.2 電動油ポンプ

電動油ポンプは電動機とポンプが一体となって同一ケーシング内に納められ、全閉形となっているものを使用している。したがって軸部やその他から油の漏れる心配がない構造となっている。

仕様 単相、60 c/s、220 V、2kW
吐出量 700 l/min

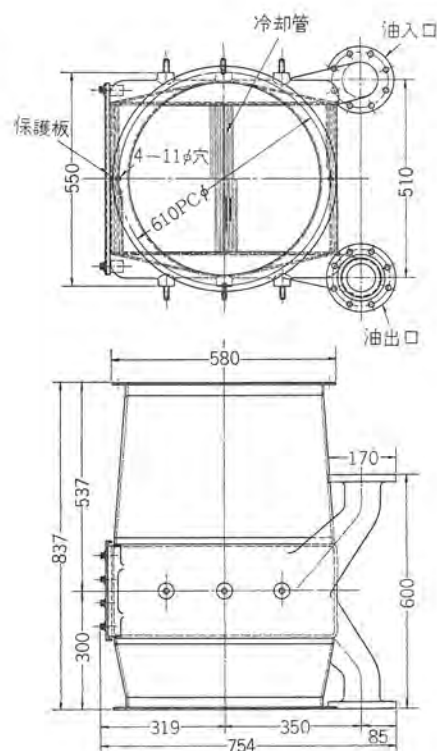


図 5.1 冷却器
Fig. 5.1 Cooler.

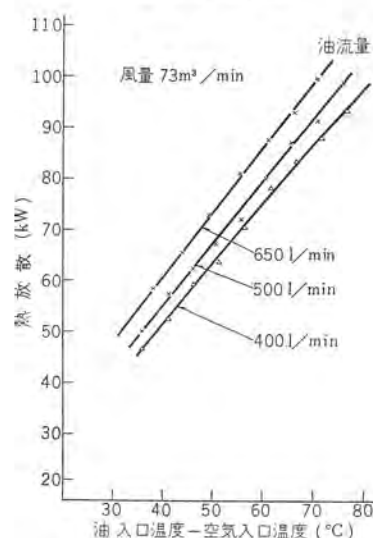


図 5.2 冷却器熱放散曲線
Fig. 5.2 Cooling effect.

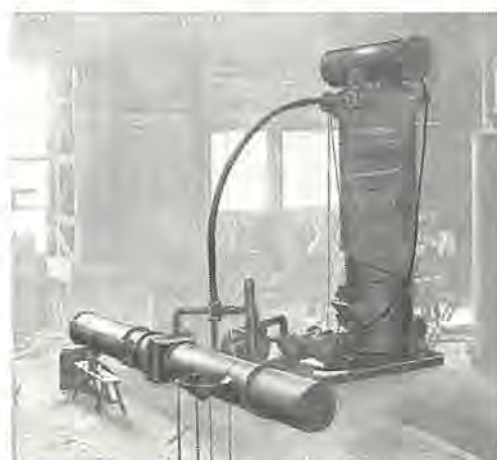


図 5.3 冷却器試験状況
Fig. 5.3 View of cooling effect test.

表 5.1 冷却器性能

熱 交 換 量	50 kW	
	高 温 側	低 温 側
流 体	不燃性絶縁油	空 気
流 量	700 l/min	60 m ³ /min
入 口 温 度	80°C	25°C
圧 力 損 失	2 m (不燃性油)	30 mmAq



図 5.4 一次側
ブッシング
Fig. 5.4 Primary
bushing.

図 5.4 は ブッシング の完成写真である。

この コンデンサ 形 ブッシング は中心導体から最外周端の取付 フランジの接地端までを均一な電位分布をもたせることにより、電界状況を矯正し絶縁物に均一な電圧がかかるようにしたものである。

製作にあたっては、さきに試作品を製作し、電気的および機械的試験を実施し十分安全であることを確かめた。すなわち商用周波および衝撃電圧試験、高温長時間耐圧試験、コロナ試験、振動試験、冷熱油密試験など 17 項目について試験を実施し検討した。ブッシング の性能は下記のとおりである。

形 式	注形 コンデンサブッシング
用 途	屋内用、不燃性油入変圧器用
定格電圧	25,000 V (最高電圧 30,000 V)
定格電流	100 A

5.5 変流器

変流器は一次線路側 ブッシング 取付 フランジ の内側に内蔵されている。過電流継電器用に使用するもので、方向性 ケイ素鋼帯を使用した円形鉄心に二次 コイル を均一に巻いた ブッシング 形変流器を採用している。性能は下記のとおりである。

定格一次電流	150 A
定格二次電流	5 A
定 格 負 担	25 VA
誤 差 階 級	3.0 級
周 波 数	60 c/s

6. 試験結果と考察

6.1 変圧器特性

表 6.1 に定格電圧容量時の各損失の実測を示す。

6.2 絶縁耐力試験

表 2.1 どれりの絶縁耐力試験を行なったが、なんらの異状は認められなかった。

6.3 漏れリアクタンスと等価抵抗

変圧器二次側に換算した漏れリアクタンスと等価抵抗は図 6.1 のとおりである。

表 6.1 各損失 (1,650 kVA ベース)

	鉄 損 (W)	銅 損 (W)	励磁電流 (%)
実 測 値	1,794	32,730	0.34

表 6.2 温度上昇実測値 (1,650 kVA ベース)

	油	一次巻線	二次巻線	三次巻線
油度上昇 (°C)	45.5	60.6	69.2	56.7

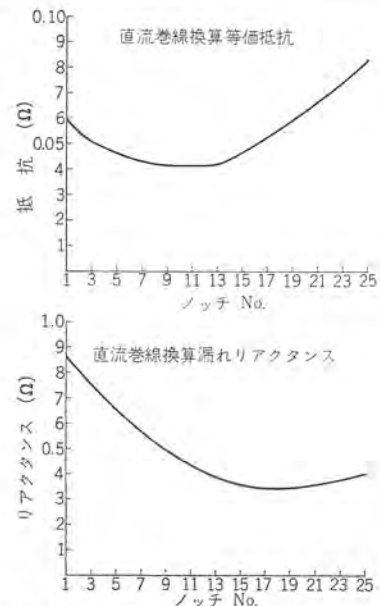


図 6.1 (a) 漏れリアクタンス 等価抵抗実測値
Fig. 6.1 (a) Test data of leakage reactance
and equivalent resistance.

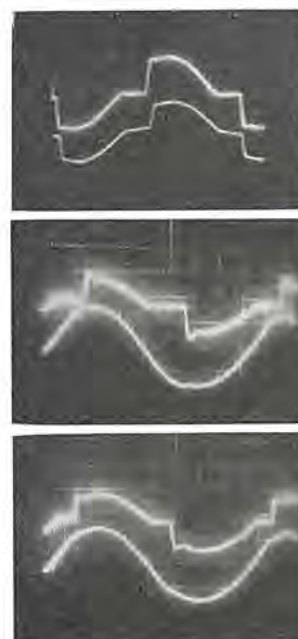


図 6.1 (b) 二次と三次の電圧波形
Fig. 6.1 (b) Wave form of secondary
and tertiary voltage.
(upper: secondary, lower: tertiary)

6.4 温度上昇試験

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は表 6.2 のとおりである。

6.5 三次電圧変動率

三次電圧変動率は各巻線間のインピーダンス、銅損および各巻線抵

抗の実測値に基づき、二次および三次の負荷、力率を2.3節で決められた条件のもとで各タップにつき計算したが、+1.4～-3.8%であり決められた値に比べて電圧変動範囲は小さく満足すべき結果といってよい。

三次電圧変動率については、試作車用変圧器製作当時に三次電圧に二次電流により波高値の変動だけでなく、その波形にはなほだしい影響を受け、思いのほか変動の大きかった経験をしたのである。しかし、かくコイルの関連リアクタンスの調整をコイル配置の変更などで行ない図6.1に見られるように波形の影響はほとんど受けぬように改善でき予期どおりの電圧変動に押えることができた。

7. む す び

以上簡単に新幹線向け量産車用主変圧器の概要と試験結果について述べた。量産車用変圧器の設計にあたっては試作車用変圧器についてコイル、鉄心、油などの温度上昇の分布を調べるためのこれら各部に熱電対を埋め込んだ特殊試験、電圧変動率、電圧移行率、突入電流の測定試験、コロナ試験、騒音試験など各種試験を行ない、そのデータを詳細に検討した。また量産車用として新設計部分の採用にあたっては、試作品を製作して種々の試験を実施した。すなわち本文中に述べた事項のほか、タンク各部の応力を測定しタンク構造を合理化するための強度試験、各種絶縁材料と不燃性油の相互の特性に対する影響についての試験、その他数多くの基礎的実験、試験などを行なった。

これらのデータを基として車両用として最も重要である軽量、小形かつ安全度の高い変圧器を製作することを第1目標として設計した。その結果たとえば総重量においては約4,500kgであったものが、量産車用変圧器は約3,400kg（いずれも実測値）と大幅に軽減できたのである。従来の輝かしい実績を有する車両用フォームフィット構造変圧器に、今回さらに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新幹線量産車用主変圧器は十分所期の目的を果しえたものと喜んでいる次第である。

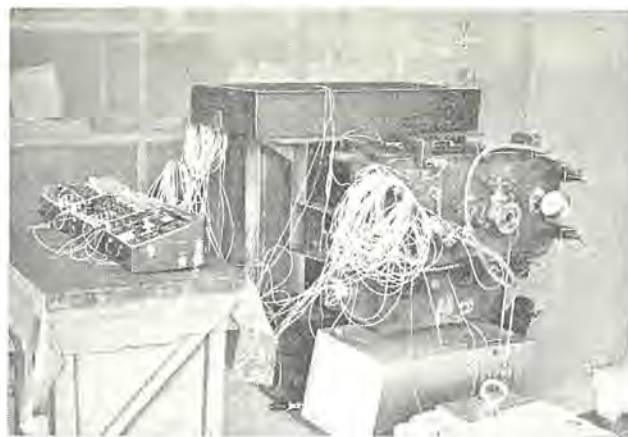


図 7.1 タンク強度の実測試験状況
Fig. 7.1 View of tank pressure test.

なお本変圧器は新幹線電車2両に対し1台の割合で積載される。現在1次および2次量産車用として180台の主変圧器が当社をはじめ日立、東芝においてあいっいで完成しつつある。やがて“夢の超特急”電車が開通し、その役割を果す日も近いことであろう。

終わりに新幹線向け主変圧器製作の機会と、絶えずいろいろ有益な助言と便宜を与えていただいた国鉄臨時車両設計事務所、その他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終始熱心に討議いただいた日立、東芝の関係技術者の方々にも感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 白井ほか：添加剤による耐熱絶縁紙の開発、「三菱電機」36, No. 4 (昭37)
- (2) 特許 409168 電気機器の磁心
- (3) 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 (昭34)
- (4) 特許申請中
- (5) 荻野、坂田、沖本：国鉄新幹線試作車用変圧器、「三菱電機技報」36, No. 11 (昭37)

東 海 道 新 幹 線 量 産 車 用 主 電 動 機

河 村 寿 三*

Traction Motors for New Tōkaidō Trunk Line

Itami Works Toshimi KAWAMURA

Traction motors for use on the J.N.R. new trunk line have been designed with special attention since the order was placed with the union of Japanese manufacturers. The capacity of traction motor has been finally decided to be 185 kW. The manufacturing has been authorized to Mitsubishi, because the traction motors built for trial by Mitsubishi have proved very successful to verify the company's prominent technology. In determining the motor capacity an electronic computer was used to work out required horse power of the machine. Class F insulation to permit 50% pulsating current factor is attained by employing epoxy resin and laminated yoke. Standard design is an outcome of thorough discussion between an engineering staff of J.N.R. and of Japanese union. The motors thus constructed have been carefully tested and proved to possess almost the same performance as those built for trial.

1. ま え が き

新幹線の量産車用主電動機についても試作車の完成後、日本国有鉄道（以下国鉄と略す）から提示された仕様書に従って日本連合の電気部会において、鋭意その設計につき検討を重ねた結果、試作車用の主電動機（脈流電動機）の容量の 170 kW では若干不足することが確かめられ、IBM 7070 などの電子計算機を用い東京—大阪間の線路につき走行計算を繰り返し、いわゆる主回路カットアウト時の条件も勘案し、主電動機の容量としては 185 kW が必要であることが認められた。試作車用の 170 kW は 185 kW またはそれ以上の容量をもつことが知られていたもので、量産車には試作車の設計をできるだけ採用する方針で進められた。

一方外国からの新幹線量産車製作の応札がなかったため、正式に試作車の設計を基本とすることが決定となり、種々の試作車用主電動機の設計の中から、三菱電機が設計担当した MT912 形主電動機⁽¹⁾のヨーク部分を一部積層した 50% 脈流率に耐えうる電動機の設計が最もすぐれていることが認められ、試作車に引き続き量産車の主電動機（MT200 形）の設計をも、三菱電機において担当するという光榮に浴することができた。

したがって当社は光輝ある新幹線の MT200 形主電動機の設計に国鉄当局のご指導を得て、当社の伝統あるすぐれた技術の粋

をつくり、このほど製作に着手したのでこの電動機のプロフィールとでもいったところを以下に紹介する。

なお主電動機のほかに QD250 形可とう歯車継手および IC200 形主平滑リアクトルの設計をも担当した。

最後に付録として抵抗分を無視した単相回路の解析結果（設計の段階ではこの程度で十分と考える）、交流磁界内の銅損についての考察およびコイル内漏れ磁束（脈流に対してウズ電流損を作る）を示したので参考になれば幸いである。

2. 試作電動機との差異

まず一番大きな変更点は容量が 170 kW から 185 kW に増大したことであるが、電動機の内容そのものはほとんど変わっていないといえる。結局容量（定格）はこの場合電動機の熱容量（温度上昇限度を越えることなく電動機にかけうる負荷）を示しているものであり、とくに電気車用主電動機の場合にはその路線のコウ配や速度制限などの条件、到達時分に対する要求、電動機の温度上昇の時定数（一種の熱時定数）などが関係するので、一般に走行曲線法によってその容量が決定される。新幹線の路線はほぼその設計が完了しているので、その路線条件（プロフィール）に従って電子計算機によって必要容量の算定が繰り返し行なわれた。通常は主電動機の rms ((Root mean square) 法がよく用いられるが、コウ配条件が比較的シビアであったので、電動機の温度上昇の瞬時値を適当な仮定（電動機の発生熱は銅損によるもののほか鉄損などによるものがあり一般にはきわめて複雑であるが、あまり精密にやっても各個のパラッキや時間的制約もあるので比較的簡単な数式関係を用いた）により計算を行ない、主変圧器や平滑リアクトルの容量算定と同時に主電動機の容量算定を行なった。もちろん万一のことを考えて、主回路のカットアウトの条件も勘案して余裕のはいった容量を算定している。

電動機の設計内容自身は試作電動機が十分 185 kW の実力を有していたのであまり本質的な相違はなされていないが、やはり量産車の設計ということで国鉄との設計協議をもって設計に万全を期した。



図 1.1 MT200 形主電動機
Fig. 1.1 Type MT200 traction motor.

試作電動機に与えられた仕様は

出力 185 kW
脈流率 50% の脈流電動機
絶縁種別 エポキシ樹脂を用いた F 種
動力伝達方式 可トウ歯車継手による平行カルダン方式

である。

(2) 項は交流側の電流をできるだけ商用周波基本波分だけとするために要求されたことであって、通常の設計の直流電車電動機は 30% 程度の脈流率には耐えられるとされているが、50% の脈流率に耐えるにはヨークの積層が必要になってくる。(3) 項および(4) 項は試作のときから実施されていたが、これを量産車に正式に実施されることになった。したがって当社では可トウ歯車継手についても設計担当し、新しい試みを取り入れた設計をしている。さらに平滑リアクトルについても試作を基礎としたオーラコ A 形の画期的な設計が採用された。

試作電動機の設計には比較的鉄機械のものと比較的銅機械に属するものがあり種々議論の対象となったのであるが、耐脈流性(温度上昇と整流能)や電気ブレーキ(発電ブレーキ)時の過電圧耐量などの性能が重点的に検討され、MT912 形(三菱電機設計担当のもの)の積層ヨークを基本とすることが決定された。したがって脈流対策としての主極分流は 10% (抵抗分路)となる。詳細設計については改めて設計会議をもって慎重に審議が重ねられたが、主要点は次のような点である。

(1) 主電動機の長さは減速装置のほうの要求から若干(7 mm)切りつめられた。

(2) 整流子は安定度のすぐれているスプリングワッシャタイプとする。

(3) ヨークの積層部分は全有効ヨーク断面積の 30% とする。

(4) 電機子のミジ内コイル配置は 2 層 2 列(1 コイルサイドあたりの配列とする。

(5) 電機子バインドはポリエステルガラスバンドを用いる。

(6) 軸受は電動機が台車に装架されたままでも油で洗浄できるように給・排油孔を設ける。

また電動機の基本規格としては国際入札のいきさつもあって、IEC 規格(IEC Publication 48, 1961 Electric traction motors)が大幅に取り入れられた。これと従来の国鉄規格(JRS)や電気学会標準規格(JEC)などとは異なる点は次のような点である。

(a) 絶縁種別に F 種が加えられ、温度上昇限度は電機子巻線 140 deg, 固定子巻線 155 deg (いずれも抵抗法)、整流子 105 deg (電気温度計による)が採用された。

(b) 電機子巻線の温度は IEC 規定の方法によって冷却曲線法によって測定され、運転を止めた時点で曲線を外そう(挿)して求める。

(c) 各巻線とも最初の 10 台の平均値に 10 deg を加えた温度上昇を許容限界温度上昇として採用する。

(d) この場合、基準温度が変化すると温度上昇値が変化することが認められたので、基準温度による温度補正を行なう。(とくに夏期に問題となる)

(e) 特性曲線は最初の 10 台の平均値を基礎として標準特性とする。

(f) 速度特性の裕度は設計特性においては 4%, 標準特性に対しては(製作裕度) 3% (全界磁)とする。

(g) 整流は電気車の全条件をカバーするように条件を設定する。

(h) 電気ブレーキの整流条件は起こりうる最大点をいくつかとる。

(i) 電力中断(シャ断投入)試験には実際の電源インピーダンス(主変圧器などのインピーダンス)を考慮する。

(j) 高速試験回転数は電車の 210 km/h 走行時の 1.37 倍相当をとる。

(k) 絶縁耐力試験電圧は $2E+1,000$ (V) とし、E は架線定格電圧時の主回路無負荷電圧をとって算出して 5,100 V とした。

(l) 定格は連続定格(185 kW)のほか 1 時間定格(暫走 204 kW)を設けた。

(m) 巻線の抵抗値は 110°C において称呼する。

(n) 試験の種類は形式試験、通常試験(受取試験)、および特殊試験に分け、設計性能を確認するのは形式試験、通常工事において行なう商用試験は通常試験で、国鉄ではこれを受取試験とされる。また特殊な特性や定数その他を測定する試験は特殊試験と名づけ、性能確認や通常試験とは異なった性格の研究的な試験を実施する。通常試験とは 1 時間温度上昇と整流その他だけが実施される。

などであって、これらの点は今後わが国で制定される規格類にも取り入れられてゆくものと考えられる。

3. 量産設計の概要

3.1 性能

形式および定格は、表 3.1 に示すようなものであって、この性能に基づいて IEC Publication 48 にのっとった電動機仕様を日本連合として、国鉄に提出し国鉄の承認を得た。

また具体的な設計要目は試作 MT912 形と類似であるが若干修正がなされた。主極は脈流対策として 10% 純抵抗分路を行なっているが、電気ブレーキ時は直巻発電機として動作しこの場合は分路をはずすようになっている。(111% 界磁と呼ぶ)電気ブレーキ時は従来の電動機の設計の常識からいうときわめてシビアな条件であるが、この電動機はこれを十分に考慮した設計となっている。

3.2 構造

(1) 概要

外形は図 1.1 および図 3.1 に示すようなもので試作のものと類似しているが、若干軸方向長さが切りつめられ、また軽量化に

表 3.1 形式および定格

方 式		脈流直巻極付	
主 極 数		4	
通 風 方 式		開放自己通風式	
動力伝達方式		可トウ歯車継手式	
装 架 方 式		台車装架式	
絶 縁 種 別		F 種 (固定子はエポキシ樹脂固着)	
定 格		連 続	時 間
出 力 (kW)		185	204
電 圧 (V)		415	415
電 流 (A)		490	540
同 軸 数 (rpm)		2,150	2,060
効 率 (%)		90.1	89.5
脈 流 率 (%)		50	50
周 波 数 (c/s)		60×2	60×2
界 磁 分 流 率 (%)		10 (純抵抗永久分路)	
高速試験回転数 (rpm)		3,820	
最高許容端子電圧 (V)		720	
絶縁耐力試験電圧 (V)		5,100	
重 量 (kg)		876	

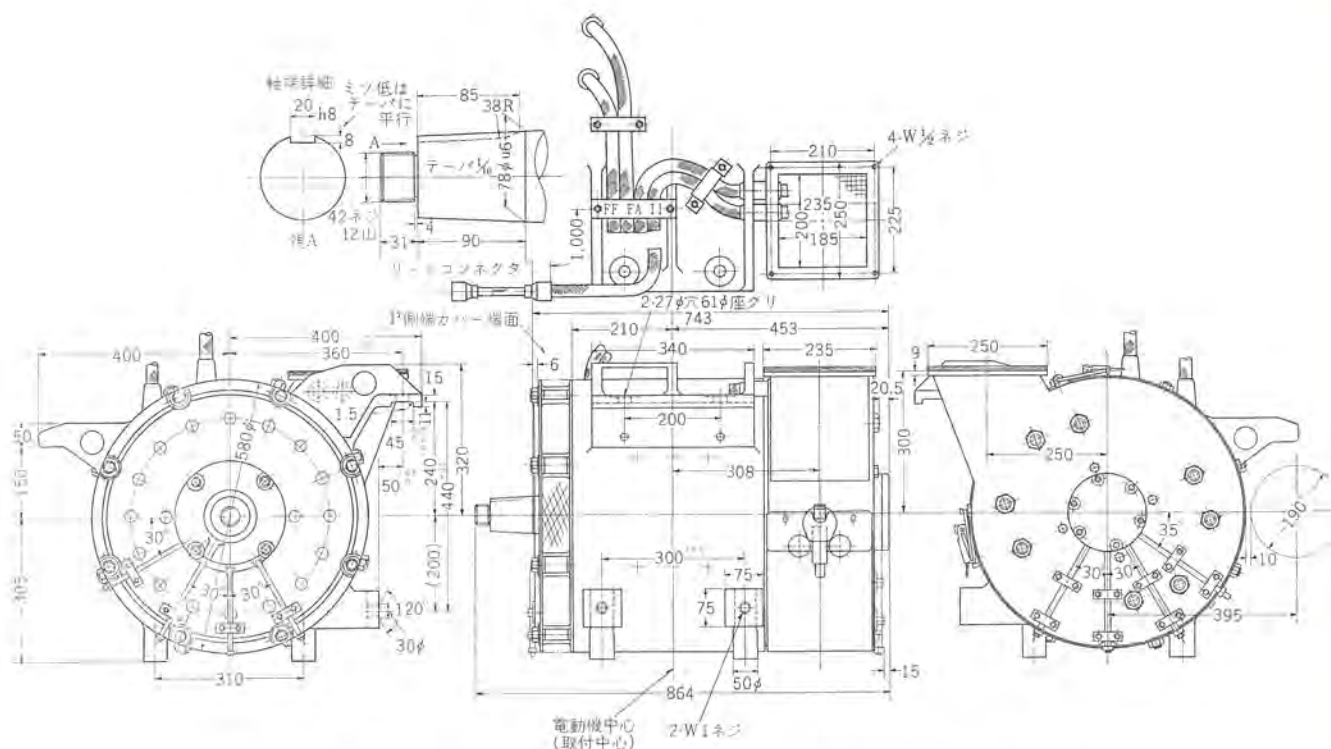


図 3.1 MT200 形主電動機外形 Fig. 3.1 Outline of type MT200 traction motor.

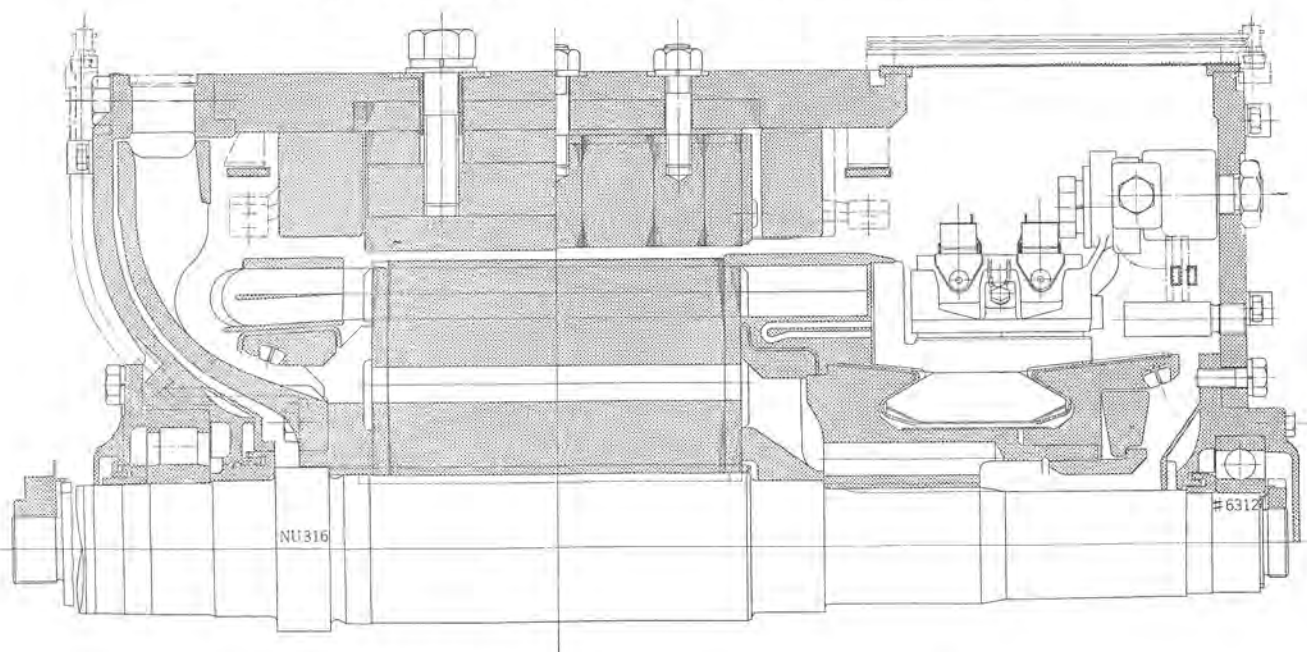


図 3.2 MT200 形主電動機縦断面図 Fig. 3.2 Longitudinal section of type MT200 traction motor.

十分意が払われている。電動機の断面図を図 3.2, 3.3 に示す。また絶縁はエポキシ樹脂を用いた F 種絶縁が主体となっている。

(2) 電機子

ほとんど試作 MT912 形と同様であるが、ミジ内コイル配列が 2 段並びで、また、軸方向の寸法を少し変えている。電機子バンドにはポリエステルガラスバンドが全面的に採用されており、整流子側は炭素粉などのゴミによって絶縁劣化が起こらないように完全にふさがれているが、反整流子側は鉄心とのスキマを設けてコイルの冷却をはかっている。

整流子はスプリングワッシャタイフとなつて高温高速に対して十分の安定性がある。鉄心および整流子などは電機子軸の上に直接はめあわされているが、軸が損傷した場合には軸が取り換えられるよ

うに構造上考慮が払ってある。また耐アーク塗料をほぼ全面に塗ってある。

(3) 固定子

主極コイルは直流分を 10% 分路してあるので脈流分はほぼ完全に分流されて主極電流は平滑化されるが、補極電流の脈動は主回路と同じであるので補極磁束の追従をよくするために、補極の積層はもちろん補極の磁気回路の一部である磁気ワクをも積層してある。磁気ワクの全部ではなく軸方向はほぼ鉄心長さで、厚さはほぼ磁気ワクの半分となっている。この積層によって補極の磁束の追従は大幅に改善される。積層鉄心は 1/4 づつのセクタとなつていて接着鉄心として磁気ワク内にはめこむ構造となっている。

コイルはいずれもエッジワイズ巻きであつて、絶縁テーピング後無

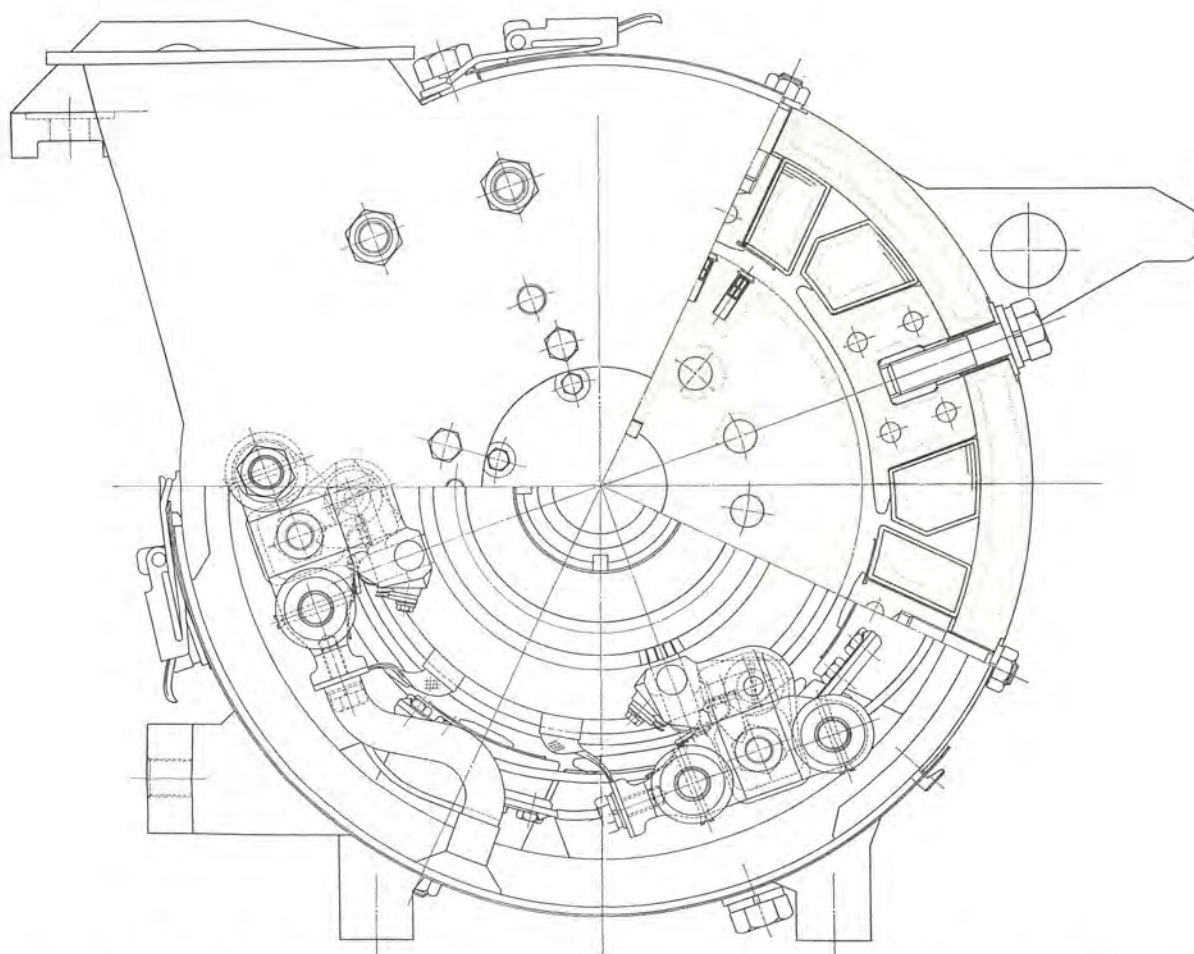


図 3.3 MT200 形主電動機横断面図

Fig. 3.3 Traverse section of type MT200 traction motor.



図 3.4 電機子
Fig. 3.4 Armature.

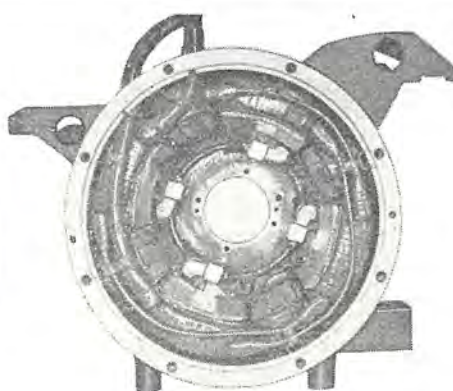


図 3.5 固定子部
Fig. 3.5 Stator.



図 3.6 主極と主極 コイル
Fig. 3.6 Main pole and main coil.



図 3.7 補極と補極 コイル
Fig. 3.7 Commutating pole and coil.



図 3.8 積層 ヨーク (接着鉄心)
Fig. 3.8 Laminated yoke (bonded core).



図 3.9 ブラシ 保持器 (ブラシ 箱)
Fig. 3.9 Brush holders (holder boxes).

溶媒のエポキシ樹脂を真空含浸してるので、いわゆるボイドレスで電氣的にも完全に熱放散も理想的であり、機械的にも強固である。またエポキシ樹脂は汚損に対しても十分の抵抗をもっている。コイルは樹脂真空含浸後、鉄心にはめこみ、鉄心とのスチマにもエポキシ樹脂を流し込んで、いわゆる一体固化絶縁となっているので熱放散と機械的強度にもすこぶる信頼性が大きい。

コイルのワタリ線は、ワニス真空含浸絶縁の銅帯でコイルに接続される。電動機外部への口出しはブチルゴム絶縁電線を用いている。固定子内面には耐アーク塗料を塗って内絡などにそなえている。

(4) ブラシ

ブラシ保持器は2本のマイカレックス絶縁棒で絶縁保持されているが、さらにその間にはブラシ箱ささえ座を介して、電流はブラシ箱ささえ座のほうに給電される。補極からのワタリ線およびブラシ間はワニス真空含浸絶縁の銅帯で接続される。

ブラシは接続ヒモつきで分割形であるが、ゴミなどが落ちやすくするためのミゾを従来のようにブラシの合わせ面だけでなく、ブラシ箱とのすり合わせ面にも刻んであって、常に良好な動きができるようにしてある。

(5) 軸受

軸受はいずれも電車電動機として標準のラジアル遊グスをもったコリガリ軸受で並級よりは高精度のものを用いてある。軸受径は中空軸式電動機とは異なって比較的小さいので、いわゆるDN値は低く、寿命は十分であるが、とくに国鉄からのご指示で、定期的に台車に装架されたままで軸受内を洗浄できるような構造となっている。送油管から洗浄油（室温以下の温度の白灯油を用いる）を直接軸受内に入れ、グリスを溶解させた後油切りを通して外に押し出しこれを強制吸引すれば、軸受内の汚れたグリスはほとんど除くことができる。洗浄油を乾燥させた後グリス細油管から新しいグリスを給油すればこれで完全であって分解の工数を省くことができる。

4. 試験結果

試験の種類は前述のように形式試験、通常試験、特殊試験に分かれているが、ここでは設計性能に主眼を置いて形式試験の結果のうち興味あるものを報告する。

4.1 温度上昇

温度試験には直流温度試験と脈流温度試験とがあって、脈流温度試験は定格に規定の脈流率で行なわれる。その結果は表4.1のようであって、185 kW 出力時においてもまだ十分の余裕のある

表 4.1 形式試験 温度上昇結果 (温度上昇 deg)

	製造番号	試験項目	電機子 コイル	主極 コイル	補極 コイル	巻流子 温度(°C)	平滑リアクトル インダクタンス
直流	30361	1 時 間 415 V 540 A	104	101.5	81	27.5	—
		連 続 415 V 490 A	94.5	97	76	27	—
	30362	1 時 間 415 V 540 A	112	97.5	83.5	25.5	—
		連 続 415 V 490 A	101.5	93	83	26.5	—
脈流	30361	1 時 間 $\mu=50(50)\%$ 415(410) V 540 A	120.5	113	102	18	$L=0.965\text{mH}$
		連 続 $\mu=50(48)\%$ 415(410) V 490 A	115	109	94.5	19	$L=1.07\text{mH}$
	30362	1 時 間 $\mu=50(49)\%$ 415(406) V 540 A	126	113.5	111	20	$L=0.965\text{mH}$
		連 続 $\mu=50(50)\%$ 415(406) V 490 A	116	109	106	21.5	$L=1.07\text{mH}$

() 内試験時実電圧実脈流率

ことを示し、きわめて高い信頼性が期待される。脈流時の温度上昇は付録に述べるように、その波形あるいは電源インピーダンスに密接な関係があるが、ここでは比較的低い電源インピーダンスの脈流電源を用い（重なり角 10° 程度）電動機にとってはきわめてシビシな条件であるが、それでも温度上昇限度に対して十分である。運転波形を図4.1に示す。

4.2 整流

整流は直流時に比べ脈流時は一般に悪くなる。これは補極の磁

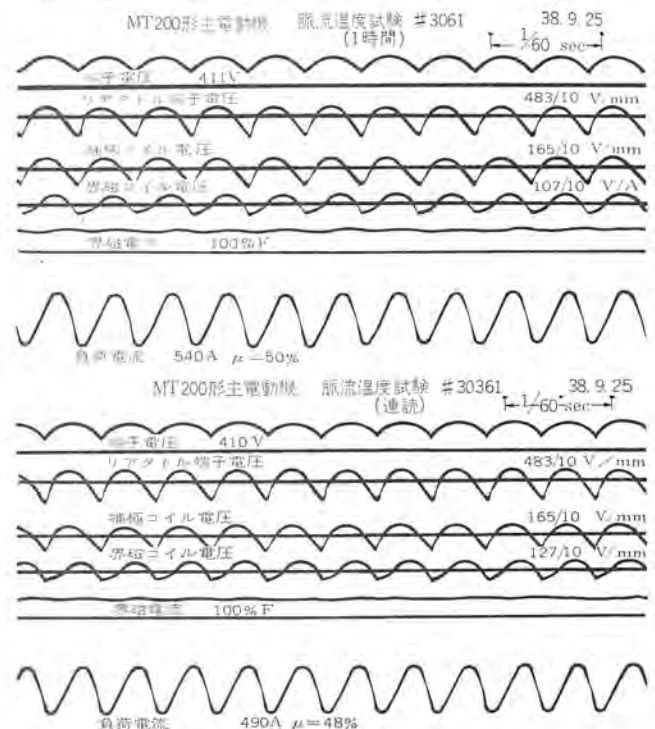


図 4.1 脈流温度試験 オシロ

Fig. 4.1 Oscillograms of pulsating current test.

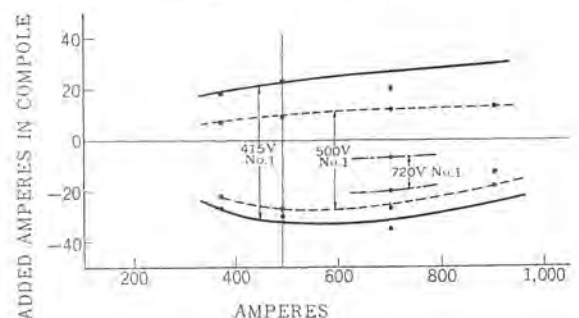


図 4.2 (a) 無火花整流帯曲線 (直流)

Fig. 4.2 (a) MT200 traction motor commutation zone curve (DC).

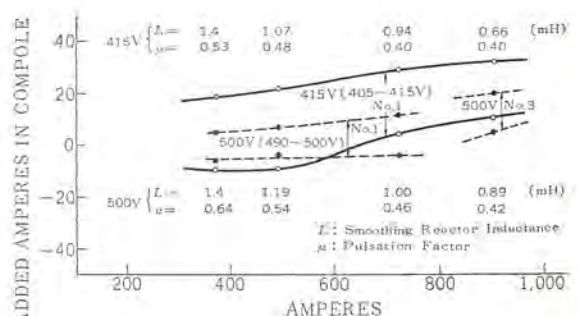


図 4.2 (b) 無火花整流帯曲線 (脈流)

Fig. 4.2 (b) MT200 traction motor commutation zone curve (PC).

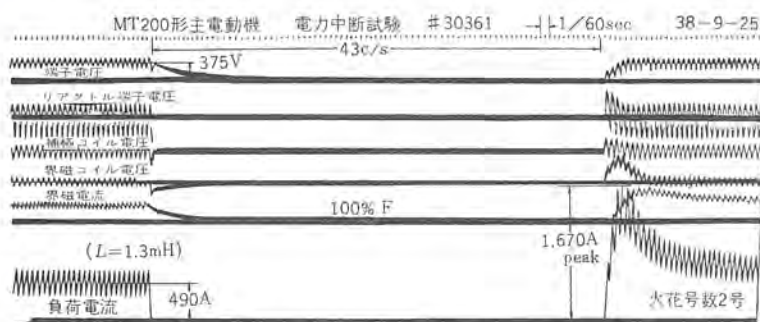


図 4.3 電力中断 オン・オフ
Fig. 4.3 Switching-on and-off test.

東追従の不十分なこと（積層ヨークで相当に改善される）、変圧器起電力が生ずること（主極の分流でやはり相当に改善されるが、あまり分流しすぎると電動機の安定度を害する）のためであって、無火花整流帯を測定することによってこの模様がよく知られる。直流および脈流時の無火花整流帯を図 4.2 に示す。なお電源インピーダンスの影響は温度上昇以上に顕著であるといわれており、この場合も低い電源インピーダンスのために電動機にとってはむしろ方向となっているが、電動機の性能はこの場合でもきわめて満足すべきものであった。なお、電源インピーダンスが小さい場合の電力中断は、やはり電動機にとっては大きな突流のためにむしろ条件であるが、実用上支障のある整流火花は認められなかった。

4.3 特性

試験の結果得られた特性を図 4.4 に示す。これは設計特性に対し十分裕度内にはいってきわめて満足すべきものである。

4.4 その他

その他、電気ブレーキの電流立ち上がり試験を行なったが、規定電流まで数サイクルないし十数サイクルで立ち上がりを示し問題はなかった。また電動機の種々の定数、ブラシの銘柄比較試験なども実施した。さらに鉄道技術研究所のご指導により熱電対埋め込みを行なって詳細な熱容量試験を実施する予定である。

5. む す び

新幹線の主電動機は試作車用のものの技術、および経験を十分

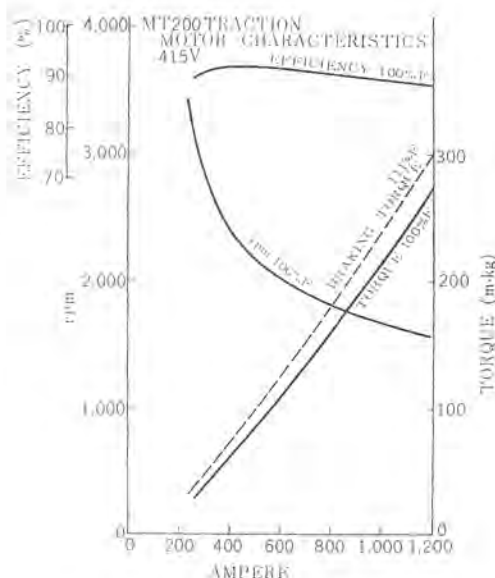


図 4.4 電動機特性
Fig. 4.4 Traction motor characteristics.

に生かしたものであり、わが国の電車電動機の設計製造のトッパレベルをゆくものと自負している。これがわが国の交通事情緩和に一段と貢献する日は目前であり、われわれ技術者の永久に誇りとなることを祈って本稿を終る。

末筆ながら種々ご指導、ごしつ正およびご協力いただいた国鉄および日立、東芝を始め各製造会社の方々に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 浅越・河村：「三菱電機技報」36, 1289 (昭 37)
- (2) 阿部・坂東・山田・河村：「三菱電機技報」36, 1258 (昭 37)
- (3) Ing. W. Holbert ほか：Strom- und Spannungsverhältnisse von Zweiphasen-Gleicherschaltungen etc. Electric 6, 195 (1960)
- (4) Küpfmüller：Einführung in die Theoretische Elektrotechnik. (1941)
- (5) 河村・露木：電学関西支部連大 7-26 (昭 38)
- (6) 河村・岩本：「三菱電機技報」37, 1044 (昭 38)

付 録

(1) 整流回路の解析⁽²⁾⁽³⁾

付図 1 のような抵抗を無視した回路はあまり実際のではないが電圧変動率、重なり角、脈流率、波形の問題などを十分に解析できるのできわめて有用である。

回路定数を

E_p = 電源電圧 (rpm)

E_D = 逆起電力 (抵抗を無視してあるので直流電圧と考えてよい)

X_p = 電源リアクタンス (電源周波数 ベース)

X_D = 直流回路リアクタンス (電源周波数 ベース)

とし、電流を i_D (直流側瞬時値)、 i_p (交流側瞬時値) および I_D (直流平均値) で表わすと位相角 θ ($=\omega t$) に対し、

整流中では $(\theta_0 + u \leq \theta \leq \pi + \theta_0)$

$$i_D = i_p = i_D(\theta_0) + \frac{\sqrt{2} E_p}{X_p + X_D} (\cos \theta_0 - \cos \theta) - \frac{E_D}{X_p + X_D} (\theta - \theta_0)$$

$$- \frac{E_D}{X_D} (\theta_1 - \theta_0)$$

また転流は $\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0 + u$ の間に起こっていて

$$i_D = i_D(\theta_0) - \frac{E_D}{X_D} (\theta - \theta_0)$$

$$i_p = \frac{\sqrt{2} E_p}{X_p} (\cos \theta_0 - \cos \theta) - i_D(\theta_0)$$

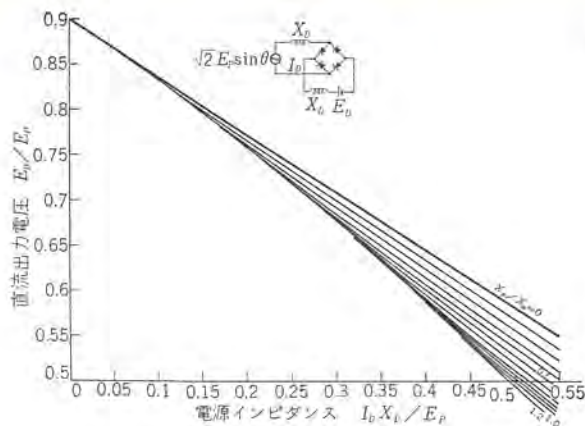
となる。ここに θ_0 は転流開始角、 u は重なり角である。

これを解くことによって特性値が得られるが、解析的には解は得られないので、電子計算機などを用いて数値的に求めなければならない。

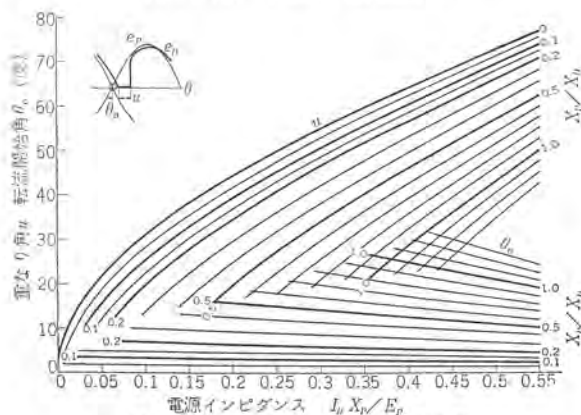
(2) 解析カーブ

解析的には数値が得られないので、設計に便利のようにあらかじめカーブにしておく必要がある。

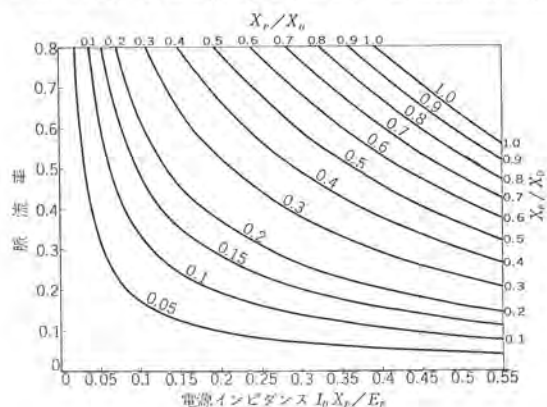
付図 1 (a) は電圧変動率 (E_D/E_p) を電源インピーダンス ($I_D X_p/E_p$)



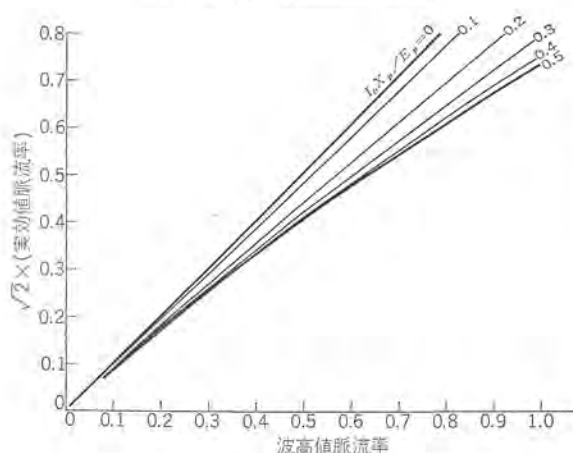
付図 1 (a) 電圧変動率
Fig. 1 (a) Voltage regulation.



付図 1 (b) 重なり角と転流開始角
Fig. 2 (b) Overlapping angle and commutation angle.



付図 1 (c) 脈流率
Fig. 1 (c) Pulsation factor.

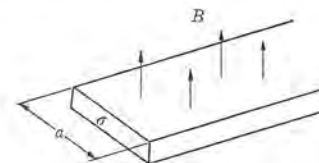


付図 1 (d) 波高値脈流率と実効値脈流率
Fig. 1 (d) Peak value of pulsation factor and rms pulsation factor.

の関数として表したもので X_p/X_0 をパラメータにして示したものの、付図 1(b) は重なり角 (μ)、転流角 (θ_0) を、付図 1(c) は脈流率を同様に示したものである。これは実際に電動機を運転したり、また回路および平滑リアクトルを設計したりする上にきわめて有用であって、単純な理論式では求められないものが容易に得られる。付図 1(d) は温度上昇および整流に最も密接に関係すると思われる実効値脈流率 (従来の脈流率は $(i_{D \max} - i_{D \min}) / (i_{D \max} + i_{D \min})$ で定着されているために波高値脈流率の概念であり、これと合わせるために $\sqrt{2}$ 倍して示す) を波高値脈流率に対して電源インピーダンスをパラメータとして示してある。

(3) 交流磁界内の導体ウズ電流損⁽⁴⁾

付図 2 のように σ という電流密度を有する幅 a の銅帯を B という磁束密度 (交番磁界の実効値) の中に置いた場合には銅損



付図 2 導体と磁界
Fig. 2 Conductor in magnetic field.

は増加するが、その増加率は 60 c/s の場合には $a \leq 1$ cm (周波数の平方根に反比例して考える必要がある) では

$$\left(5.11 B a \frac{f}{60} \cdot \frac{1}{\sigma}\right)^2$$

で表わされる。ただし B は kG, f は周波数 (c/s), a は cm, σ は A/mm² で表わす、この場合はウズ電流が原磁界に及ぼす影響がほとんどない場合で、 $a \geq 30$ cm 程度になるとウズ電流は原磁界をほぼ吸収するに至り、この銅損増加率は

$$\left(11.6 B \frac{1}{a} \cdot \frac{f}{60} \cdot \frac{1}{\sigma}\right)^2$$

となる。

理論式で示すと

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\omega B a}{\sigma \rho} \right) \frac{1}{(\alpha a)^3} \frac{\sinh \alpha a - \sin \alpha a}{\cosh \alpha a + \cos \alpha a}$$

となる。ただし単位系は MKS とし ρ は抵抗率、 β を磁気回路において導体の占める率として

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega \mu \beta}{2 \rho}}$$

であって、ウズ電流の原磁界への影響は αa の関数である。

(4) ソリッドヨークのインダクタンス⁽⁵⁾

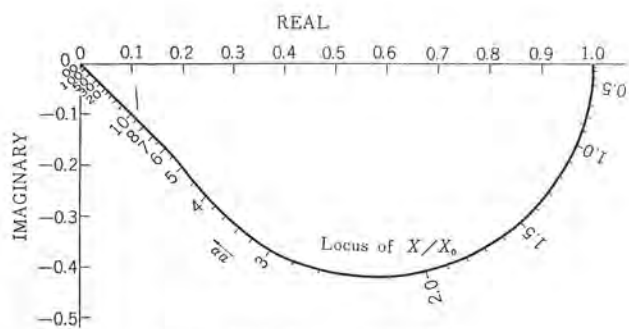
磁気回路にソリッドな部分がある場合にはこの部分でウズ電流を生じ、交番磁界に対するインダクタンスは減少する。この場合も (3) 項と同様にヨークの厚さを a とすると αa の関数で示され

$$\frac{X}{X_0} = \frac{2}{\alpha a + j \omega a} \tanh \frac{\alpha a + j \omega a}{2}$$

となる。ただし X_0 はウズ電流がない場合のインダクタンスを ω 倍したリアクタンス、 X はウズ電流を生じたときのリアクタンスである。このグラフを付図 3 に示す。 α は銅板の抵抗率を $\rho = 15 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$ にとると

$$\alpha = \sqrt{1.260 \frac{f}{60} \frac{\partial B}{\partial A T} l}$$

で与えられる。ただし f は交番周波数 (c/s), $\frac{\partial B}{\partial A T}$ は飽和曲

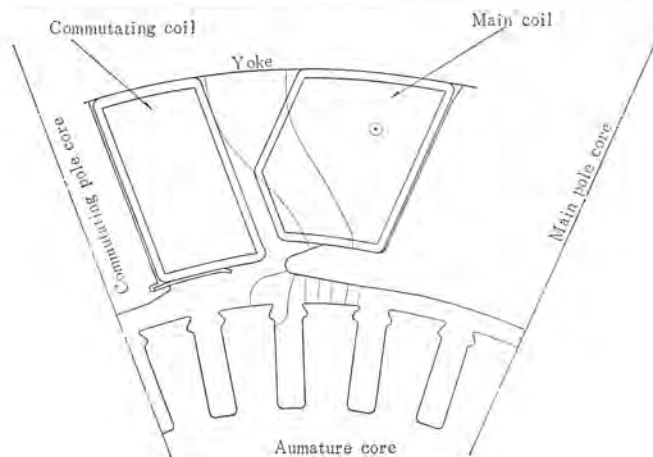


付図 3 ソリッドヨークのインダクタンス
Fig. 3 Inductance with solid yoke.

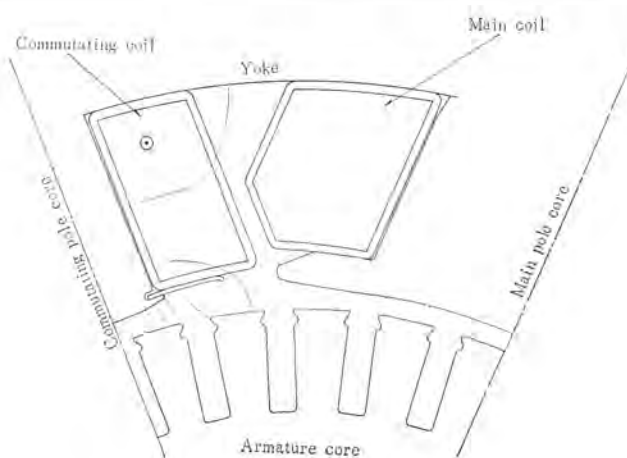
線の起磁力に対する接線のコウ配 (kG/AT), l はソリッドヨークの磁路長 (cm) である。

(5) MT200 形電動機の固定子コイル内漏れ磁束⁽⁶⁾

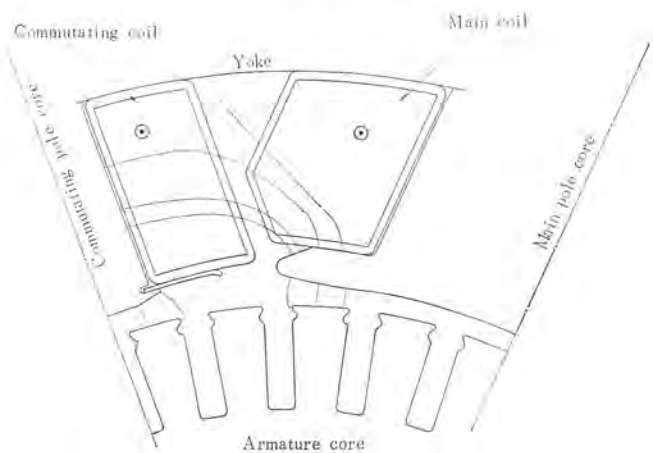
コイル内漏れ磁束はコイルの銅損の増加の 1 原因であるのでその分布は電動機的设计に大きな意味をもつ。付図 4 は抵抗紙法によってコイル内の漏れ磁束の分布を求めたもので、(a) は主極コイルにだけ電流を流した場合、(b) は補極コイルだけ、(c) は主極と補極同極性、(d) は主極補極逆極性の場合を示す。



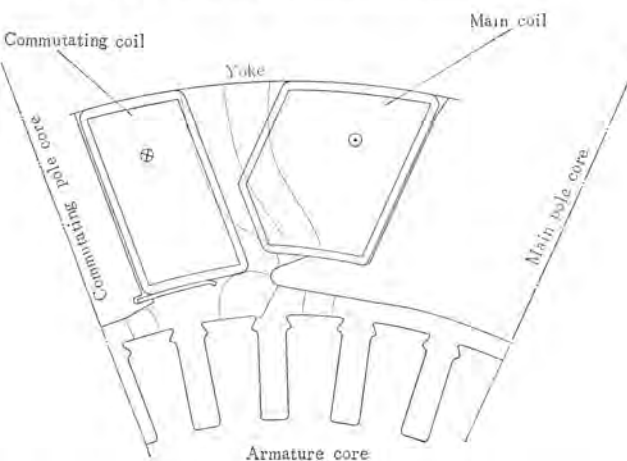
付図 4 (a) 磁束分布 (主極励磁)
Fig. 4 (a) Flux map (main pole excited).



付図 4 (b) 磁束分布 (補極励磁)
Fig. 4 (b) Flux map (commutating pole excited).



付図 4 (c) 磁束分布 (主補極励磁)
Fig. 4 (c) Flux map (main and commutating poles excited)



付図 4 (d) 磁束分布 (主補極励磁)
Fig. 4 (d) Flux map (main and commutating poles excited)

東海道新幹線 ATC 装置

北岡 隆*
石田 哲爾**

Automatic Train Control Apparatus for New Tōkaidō Trunk Line

Itami Works

Takashi KITAOKA

Kamakura Work Itami factory

Tetsuji ISHIDA

Automatic train control apparatus for use on the new Tōkaidō trunk line are built on it very up-to-date idea to assure safe and dependable operation at high speed of 200 km per hour. As high accuracy and reliability are called for with the apparatus, electronic circuits are fully taken in them. Safety is also taken into consideration highly in their design. To promote reliability and safety is accomplished by parallel operation of three channels and automatic release is made at the occurrence of fault on the control apparatus, thus operation being maintained free from trouble. The factory tests have verified them having satisfactory performance as anticipated.

1. ま え が き

昭和 39 年の秋に開通する新幹線電車で ATC 装置は最新の技術を駆使して設計製作されたものである。すなわち新幹線電車はいまだかつて例を見ない高速運転を行なうので、その運転は全面的に ATC にたよるようになっている。すなわち追突防止のためのブレーキのみならず、駅停止のための減速制御も ATC によって行なうので、ATC が故障した場合には営業運転がまったく不能となってしまう。したがって ATC の設計に際しては故障時安全側になるための fail safe 対策はもちろんのこと、系の信頼度をできるだけ高くして、多数の列車が運転されても故障件数が実際上無視できる程度にするための配慮がなされている。

この ATC 装置の設計された基本的な考え方を述べると次のとおりである。

- (1) 使用器具、回路は本質的に fail safe なものを使用する。すなわち論理回路の リレー 類、速度照査回路の比較器などはこの代表的なものである。したがって部品故障の場合はほとんどが fail safe 側に動作する。
- (2) 各回路は故障の際自己検出可能な配慮をする。
- (3) 信頼度を向上するため 3 チャンネルの回路を同時運転し、故障の際は、故障 チャンネル を自動的に開放し、ATC の正常動作が保たれるようにする。そのために同期による故障検出を行なう。
- (4) 保守を容易にするため互換性を十分に考慮してある。

2. 構 成

ATC 装置の全体の構成を図 2.1 に示した。この ATC 装置は車両制御装置に信号に連動して常用、非常ブレーキを指令するのみならず、高速時の車輪のスリップを防止するための減速度調整指令を速度検出によって行ない、かつ電気ブレーキの立ちあがりをはやくするためのスポッティング指令をも出すようになっている。したがって ATC の出力としては大別してブレーキ指令と速度指令の 2 種類が指令されるので、1 チャンネルの基本要素としては速度照査部およびその付属部と論理回路部に分けることができる。前に

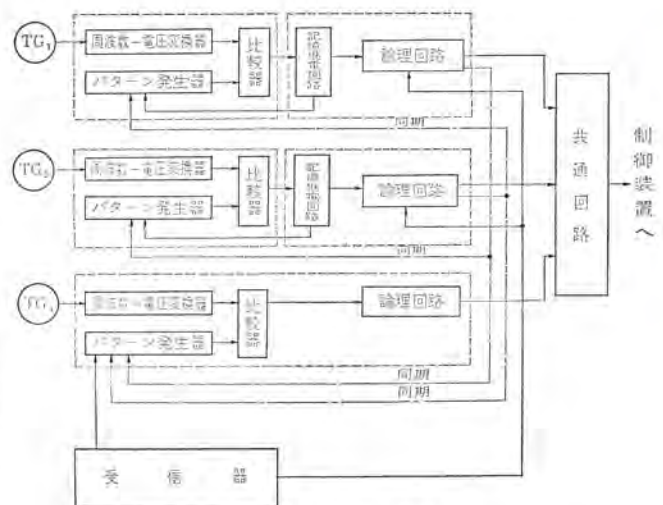


図 2.1 ATC 装置構成

Fig. 2.1 Block diagram of A. T. C.

述べたようにこの ATC 装置は高信頼度を得るために同期による事故検出を行なうよう 3 チャンネルが置かれてはいるが、回路を簡単にするため完全な チャンネル は 2 組とし残りの 1 チャンネル は同期検出のための作用しかもたせてない。

この装置の電源は主として 60 c/s のインバータより供給されるようになっているが、論理回路の電源は DC 100 V から直接取っている。

速度を検出するための速度発電機は誘導子形のもので、駆動装置の大歯車を利用した静止形のものである。この発電機は同一の枠ケースに取り付けられた 2 組のものからなるが、各発電機は 2 出力式のもので、しかもそのおのおのには 60 c/s 励振式と永久磁石式が使用され、前者は I, II チャンネルに、後者は III チャンネル及び速度計用に使用されている。

この ATC 装置は前に述べたように高度の信頼性を得るため、3 チャンネル 並列運転を行なっているが、これは各チャンネルが故障時できるだけ自己検出を行なうよう配慮してある上、万一自己検出不能の場合は多数決による故障検出を行なえるよう同期検出作用が与えられている。3 組のうち 1 組が故障した場合は、ただちに故障チャンネルが開放され、さらに 1 台が故障すると ATC 装置は

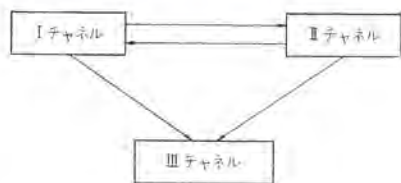
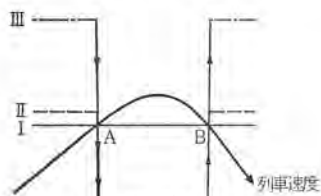
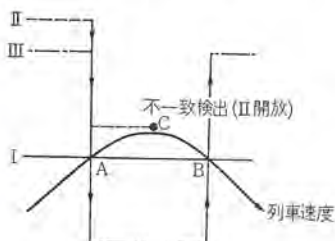


図 2.2 同期作用方向
Fig. 2.2 Direction of synchronizing signal.



(a) 正常時の同期作用



(b) II チャンネル 故障時の
同期故障検出

図 2.3 同期作用説明
Fig. 2.3 Schematic diagram
of synchronizing operation.

自動的に開放され非常ブレーキが作用する。

まず自己検出について述べると、この ATC 装置の中でもっとも弱点と考えられるのはトランジスタを使用した速度照査回路であり、また検出の困難な部分でもある。したがって後に述べるように TG の周波数を電圧に比例変換する周波数—電圧変換回路の故障検出のために I, II チャンネルの TG は停止時も 60 c/s の出力を発生するようにしてあり、故障と停止との判別を可能にするとともにパターン電圧と速度電圧を比較する比較増幅器は一種のチョップ増幅器を使用して、故障時は必ず出力がなくなるようにしてある。したがって照査器の故障が起こればほとんどの場合上昇または下降指令が開放しとなり、これによって故障を検出することができるよう限時特性をもったチェックリレーを備えている。

次に同期による故障検出について述べる。先に述べたように不一致を検出することにより故障を検出するわけであるが、不一致検出は常用ブレーキ作用時すなわち NBSR が落下した場合のみ行なう。最初にブレーキ指令を出した I または II チャンネルより他のチャンネルに同期指令を出し、パターン電圧を強制的にある幅だけ引き下げる。ただし III チャンネルは同期を受けるだけである。この動作を図 2.2, 2.3 に示す。

不一致検出を行なわんとする場合、同一速度にセットしても各チャンネルには誤差があるので、許容誤差以上にセット値がずれたか否かを判定しないと、正常であるにもかかわらず不一致と見なして開放してしまうことになる。図 2.3 (a) に示すように I, II チャンネルは同一速度にセットされ、III チャンネルは I, II より高くセットされている。しかし I, II チャンネルは約 2% の誤差が許容されているので完全には一致していない。

たとえば図のように I チャンネルのほうが低目にセットされていたとして列車速度がこの速度に達すると、I チャンネルよりブレーキ指令

が出て列車にブレーキが作用すると同時に、II, III チャンネルに同期がかかってパターンが引き下げられる。すると II, III チャンネルよりもブレーキ指令が出て一致した動作を行なうので開放されることはない。

またブレーキがゆるむ場合も同様にして一致動作をするので正常の動作が行なわれる。しかし (b) に示すように II チャンネルが正常セット値よりずれていたとすると、A 点で同期を受けても I の値まで下がらないので II は I, III と不一致になり、約 1.5 秒後開放され、その後は正常動作を行なう。

このようにして fail safe と信頼性を向上するための手順を講じてあるが、ここで信頼度と安全度について考えてみよう。信頼度とは一つの部品の故障が統計的にわかっているときに、これを基にして機器の故障を計算したものである。1 重系では一つの部品の故障となるので部品 1 品ごとの信頼度の和として計算される。1 重系の場合の信頼度に比し、多重系では信頼度は飛躍的に向上する。すなわち、この系の場合のように故障検出して自動切離しを行なう 3 重系では、各単一系の信頼度を $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ としたとき $\lambda_0 = (\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_3\lambda_1)T$ と計算される。 λ は 1 時間あたりの故障件数であり、 T は保守時間と考えられる値で、1 チャンネルが故障し、故障表示が出た場合、 T 時間内に必ず復旧するものとする。

この装置は保安装置であるので信頼度も重要であるが、安全性はさらに重要である。前述のとおり多重系にしたことは信頼性の向上もさることながら、安全性を一層高める必要があるためである。

もし各単一系が故障検出できず、危険側に故障する率がそれぞれ全故障率の中の P_1, P_2, P_3 倍であったとすると全体として危険側に故障する率は $\lambda P = \lambda_1\lambda_2P_1P_3(1 + \lambda_3P_3)T$

すなわち、I, II チャンネルともに危険側故障の場合および I, II, III チャンネルすべて危険側故障の場合である。一般に P_1, P_2, P_3 は非常に小さな数値と考えられる。(ほとんどが故障検出可能と思われる)。また NBSR の突き合わせを適当な接続にすることにより III チャンネル信頼度には関係が深い、安全性にはあまり関係していない。したがって λ_3 を小さくすることが P_3 を小さくする以上に有効である。

この ATC 装置の本体は 6 個の引き出しからなり、上から 1 号照査部、1 号論理部、共通部、2 号照査部、2 号論理部、3 号器の順序に配置されている。ただし 1 号 2 号の各引き出しはまったく同じもので差し換えが可能である。図 2.4 は TS-1 形 ATC 制御装置の外観を示す。

3. 速度発電機 (T.G)

速度発電機は前に述べたように 2 種類のものを使用している。これらの TG は 2 出力式のもので、スキッドを生じたとき ATC が不要に開放されないよう同一軸のギヤを使用している。

3.1 交流励振形速度発電機

I, II チャンネル用のもので 60 c/s インバータから励磁されている。

この速度発電機の原理は図 3.1 に示すとおり、8 本の脚をもつ成層鉄心により構成された励振部と発生周波数を検出する検出コイル部とから構成される。励磁部は原理図に示すように巻かれており、二相誘導機の固定子を展開したものである。このようなコイルにそれぞれ位相の 90° 異なった交流電流を流すところには移動磁界を生ずる。このような移動磁界面に沿って検出コイルを移動させると、検出コイルには誘導機の原理にしたがってスベリ周

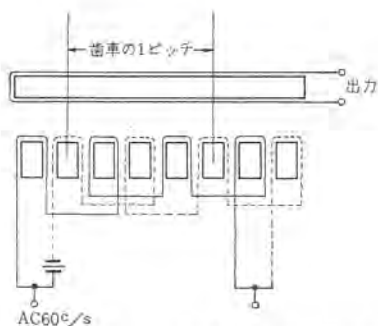


図 3.1 交流励振誘導子形速度発電機原理図
Fig. 3.1 Principle of A.C. excited inductor type tachometer.

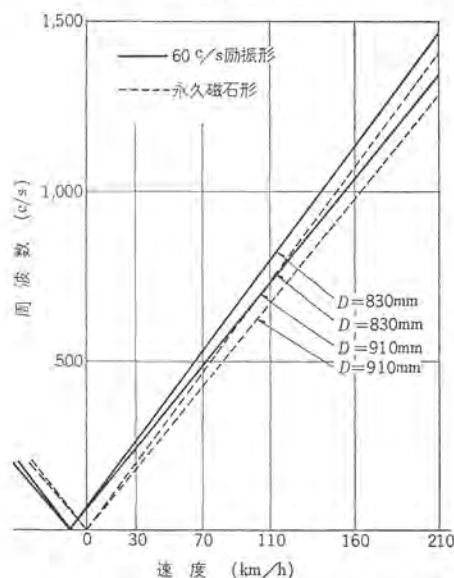


図 3.2 列車速度と速度発電機の出力周波数
Fig. 3.2 Frequency characteristics of tachometer.



図 3.3 永久磁石形速度発電機
Fig. 3.3 Permanent magnet type tachometer.

波数を発生する。この発電機の場合は、検出コイルを移動させる代わりに歯車の歯が移動し、検出コイルは相対的に移動したことになるので検出コイルにはスベリ周波数を発生することになる。歯車の歯のピッチは移動磁界面の1波長になっており、検出コイルには2倍の出力電圧を得ようになっている。なお励磁周波数は多少変動しても使用周波数との比率が小さいので実用上問題ない。速度と周波数の関係を図 3.2 に示した。

3.2 永久磁石形速度発電機

この発電機は従来から用いられているものとまったく同じ原理のものであるが、ここでは磁極を歯車の円周方向に配列した点、および2出力を得るため出力コイルを2組にしたことが改造点である。これは前に述べた励振形に対し励振部を永久磁石化したと考えられるようなもので、出力周波数は同じく図 3.2 に示してある。すなわち、この発電機では進行方向によらず速度に比例した

出力周波数が得られる特長があるが、自己の故障検出はできない欠点がある。また出力電圧電流も一般に前記交流励振形より大きくすることが容易であり、構造も簡単で信頼性も高いと考えられる。

この長所を生かして速度計用、および III チャンネル 用速度照査器に用いる。この速度照査器は故障検出用であり、自己の故障検出よりも信頼性を必要とするものである。このような発電機のほうが有利である。

実際の構造上の磁極の配列は図 3.3 に示す。これは歯車がハスパ 歯車になっているので8個のコイルのうち四つずつ歯と同じ関係を保って取り付けられていて、これらは各直列に結ばれている。

4. 照 査 部

TS-1 形制御装置には照査部 A2 台、照査部 B1 台がそれぞれ独立の系統として3系統並列に動作し、信頼度に対しては2重系、安全性に対しては3重系となるよう設計されている。

ATC は単に信号によって指示された制限速度をこえた速度で走った場合ブレーキをかけるほかに、種々の論理演算制御を行なうため、速度を段階に分けて検出する必要がある。照査部 A は速度発電機から得られた速度に対応した周波数をいったん直流電圧に変換し、この電圧を二つの比較回路を持った特殊な可逆計数形のアナログ-デジタル変換回路を経て、速度をデジタル化する回路である。

照査部 B は照査部 A を使用した2系統のいずれかよりブレーキ指令が出たとき、これが正しいかどうかをチェックする回路である。すなわち、速度に対応して周波数に比例した直流電圧に、照査部 A とまったく等しい回路を使用して変換し、受信器の信号に対応したパターン電圧に比較し、直接ブレーキ指令を出し、他の2系統からブレーキ指令が出ているかどうかをチェックして系の故障検出に使用される。これらの3系統の照査部が許容誤差内にあれば3系統とも同時にブレーキ指令を発するように、同期と称する操作を行なって1系統からブレーキ指令を発すると他の2系統のパターン電圧を強制的に下げようになっている。(ただし、照査部 B からは同期指令は発することはできない。)

4.1 照査部 (A)

60 c/s 交流励振形速度発電機の出力周波数は、停車時は 60 c/s で速度があるのに比例して周波数 f は高くなり、210 km/h の速度では車輪径 830 mm のとき 1,469 c/s、910 mm のとき 1,346 c/s に達する。照査部 A ではこの周波数を入力として、走行速度のデジタル変換を行なう。そのブロック線図を図 4.1 に示す。

周波数一直流電圧変換回路は、トランジスタ7個を使用した一枚のプリント板ユニットで構成され、入力周波数に比例した直流電圧を発生する。速度発電機の出力電圧は 60 c/s で約 1 V、1,400 c/s では約 10 V になる上に、励振回路の断線などの場合でも信号の 1/7 ほどの雑音があるので、周波数特性を持たせた前置増幅を行なって S/N 比を改善し、信号レベルを周波数に対しほぼ一定にする。この信号をシュミット回路に加えて方形波に成形する。シュミット回路は信号に対しては動作するが、雑音に対しては十分ヒステリシスがあって動作しない。方形波の立ち上がりを使って単安定マルチバイブレータをトリガして、一定時間幅 0.5 ms のパルスが発生する。パルス発生時間は基準電圧 V_g に、他は 0 V にスイッチングし、その平均電圧をとれば、2,000 c/s で V_g になる周波数に比

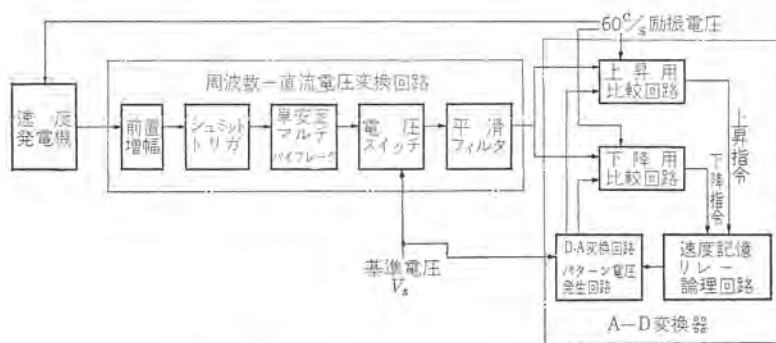


図 4.1 照査部 A フロック線図
Fig. 4.1 Block diagrams of speed checker A.

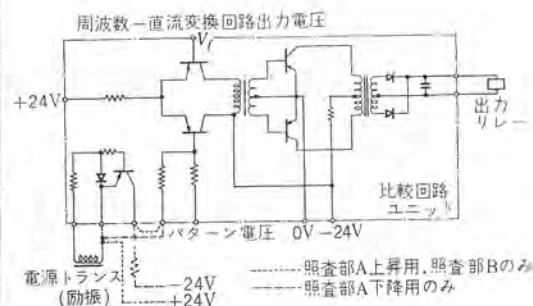


図 4.3 比較回路と外部接続図
Fig. 4.3 Comparator circuit.

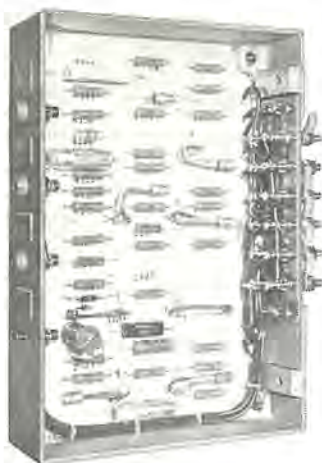


図 4.2 F-DC 変換回路外観
Fig. 4.2 Outside view of F-DC converter.

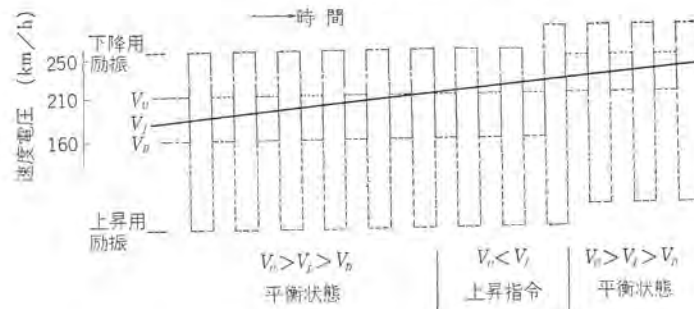


図 4.4 比較回路入力と指令
Fig. 4.4 Operation condition of comparators.

表 4.1 各照査部 A-D 変換器動作速度表

	動作 パターンリレー	上昇指令 速度 V_u	下降指令 速度 V_d	同期時 上昇指令 速度
照 査 部 A	P250R	250 km/h	208 km/h	239 km/h
	P210R	210	158	200
	P160R	160	108	151
	P110R	110	68	102
	P 70R	70	28	63
	P 30R	30	3	24
照 査 部 B	P 50R	5	-5	5
	動作パターンリレー	ブレーキ指令速度	同期時ブレーキ指令速度	
	P210R	220 km/h	200 km/h	
	P160R	169	151	
	P110R	118	102	
	P 70R	77	63	
	P 30R	36	23	

例した直流電圧 V_f が得られる。もし速度発電機を含めた周波数—直流電圧変換回路に故障があれば、ほとんど出力電圧は 0 V または V_s になると考えられるが、0 V なら -10 km/h に相当し、後退しているとき以外ありえないし、 V_s は約 300 km/h の走行を意味し、制限速度を大きく越え、ともに異常であることを示している。後で述べるように、ともに故障検出可能である。

V_f をアナログ—デジタル 変換する回路は二つの比較回路、速度記憶リレーおよび分圧抵抗を小形リードリレーで切り換えるパターン電圧発生回路からなる。 V_f は速度発電機出力周波数に比例しているが、車輪径によって周波数と走行速度との関係は変わり、次の式で示される。

$$f = (63/\pi D) \cdot (V/3.6) + 60 \quad (c/s)$$

ただし D は車輪径 (m), V は速度 (km/h) とする。

したがって速度を検出するためには速度記憶リレーで切り換えられるパターン電圧を車輪径に応じて補正すればよい。実際、基準電圧 V_s に相当する速度を車輪径に応じて分圧抵抗を加減して補正する。一定の車輪径においては V_f を速度目盛で考えてもさしつかえないので、以下速度に相当する電圧を速度単位で呼ぶ。

表 4.1 は動作したパターンリレーに対する二つのパターン電圧 V_u と V_d を示す。 $V_u > V_f > V_d$ の条件を満足したとき二つの比較回路の出力は“1”で安定し、速度記憶リレーはその状態を保持する。今 $V_f = 200$ km/h ならば $V_u = 210$ km/h, $V_d = 160$ km/h となる。もし、加速して $V_f > 210$ km/h となれば $V_u < V_f$ となるので上昇比較回路出力が“0”となってパターンリレーは 1 段上昇して P210R から P250R 動作が切り換わり、 $V_u = 250$ km/h, $V_d = 210$ km/h になって比較回路出力はともに“1”となって平衡する。

下降の場合も同様に $V_f < V_d$ になると下降比較回路出力が“0”になってパターンが 1 段下がって平衡する。

パターン電圧発生回路は 10 mm ステップの車輪径補正スイッチを含めて、分圧用精密抵抗およびそれを切り換えるパターンリレーとともにプリント板にハンダ付けしたユニットに構成されている。微小電流を切り換えるパターンリレーは接点が密封された小形リードリレーを 2 個ずつ並列に使用し、信頼度を著しく向上させた。

比較回路は図 4.3 の回路が一枚のプリント回路に構成され、上昇用、下降用ともに同一のユニットを使用し、外部配線だけで区別している。図 4.4 に示すごとく、60 c/s 電源により強制的に半サイクルごとにパターン電圧を上昇用は引き下げ、下降用は引き上げる励振を加え、一方の入力には V_f を加え、差動増幅する。もし半サイクルごとに入力電圧の大小が切り換わるならば、トランス結合された増幅器で増幅されて出力に電圧が発生する。一方の入力電圧が常に大きいなら、一方のトランジスタのみに電流が流れ増幅されないで出力は“0”となる。

もし 60 c/s 励振回路や差動増幅回路が故障すれば、出力は通常

なくなると考えられる。比較回路は常時出力があり、“0”になるとパターンが切り換わって 20 ms 程度でふたたび出力が出るから、“0”になったまま数秒間たてば論理部で故障と判定し、その系を切り離す。周波数直流電圧変換回路出力が“0”になったときは P5R にパターンが切り換わっても、さらに下降用比較回路出力が“0”のままで下降指令が出たままで同じく故障が検出できる。60 c/s 励振速度発電機を使用したのは、停車時にも 60 c/s の入力があるため故障で出力が零になったのと簡単に区別ができるからである。パターン電圧発生回路の故障も比較回路出力が常時零になるように励振の振幅を制限してあるので、検出可能である。

周波数直流電圧変換回路の変換特性が規格以上ずれた場合は、比較回路出力では故障検出できない。この対策として一つの系からブレーキ指令が出たなら、他の系に同期指令を送り、強制的にパターン電圧を表 4.1 のごとく下げて、規格以内のずれなら必ずブレーキ指令が出るようにする。3 系全部がブレーキ指令を出せば正常であるが、1 系のみ異なる論理出力を出せば、論理的に多数決で故障検出される。

4.2 照査部 (B)

照査部 A を使用した 2 系の論理出力のうち、一方がブレーキを指令し、他方が指令しなかったとき、どちらかの系は故障である。故障の系を検出するために照査部 B の出力を利用する。照査部 B のブロック線図を図 4.5 に示す。照査部 A と比べて比較回路が一つでパターン電圧は受信器から送られる信号によって作られる点が大なる相違点である。信号で示される制限速度を走行速度がこえていれば比較回路出力は“0”となって、これはブレーキ指令を意味する。照査部 A のように比較回路出力が一定時間“0”の条件で自己故障検出ができないので、なるべく回路を簡単・堅牢うにして故障の確率を少なくするため、速度発電機は永久磁石形の丈夫なものを使用している。電源・周波数直流電圧変換回路・比較回路はまったく照査部 A と同じであるし、パターン電圧発生回路もリードリレーは全部照査部 A と同一のものを使用している、互いに交換可能である。パターン電圧は照査部 A より表 4.1 に示すごとく約 4% 高速側にして、照査部 B から同期指令が出ないようにして論理回路も簡単にし、同期を受けたとき



図 4.5 照査部 B ブロック線図
Fig. 4.5 Block diagram of speed checker B.



図 4.6 照査部 B 引出し外観
Fig. 4.6 Outside view of speed checker type B.

のみ照査部 A と同じパターン電圧まで下げ、ブレーキ指令の同期によって故障検出を行なう。

4.3 照査回路の特長

- (1) 周波数-直流電圧変換を行ない、直流電圧の比較方式で速度のデジタル化を行なう。
- (2) 各回路の故障に対して Fail safe である。
- (3) 周波数-直流電圧変換回路の単安定マルチバイブレータの時定数をパルス幅 0.5 ms に調整して取り付けるほかに、いっさい無調整である。
- (4) 周波数-直流電圧変換回路、比較回路は全部同一で、電源の部品まで照査部 A、B 間の交換可能である。
- (5) 高精度の装置であるのに、基準電圧は単に定電圧ダイオード 1 個を使って安定化しただけであるが、本質的に電源の変動が精度に影響しない。
- (6) トランジスタは定格に対し十分余裕をとって、各製造会社による異なった品名のものを付けることが可能な設計をしている。(交換性)
- (7) 信頼度向上のためできる限り部品を省略し、単純なトランジスタ回路を用いているにもかかわらず、温度特性は良好である。
- (8) 単安定マルチバイブレータ用のみ特別にシリコントランジスタを使った。パルス幅を一定にするために I_{CO} が極力小さく、 V_{EBO} の高いものが必要であるが、カタログの規格で V_{EBO} が -12 V 以上あるものではなく、やむをえず、選別して使用したが、他のデジタル回路などの使用にも適する V_{EBO} の高いシリコントランジスタの開発が望まれる。

5. 論理部

論理部は論理演算を行なう論理回路部品から構成されており速度記憶継電回路、常用ブレーキ継電回路、非常ブレーキ継電回路、同期指令回路、故障検出回路などから成っている。ただし III チャンネルには速度記憶継電回路はもたない。継電のためには高信頼性でしかも小形な RL684 形ワイヤスプリングリレーを主体とし、とくに高信頼性および接点容量を必要とするものには同様な構造で容量強化した RL674 形多接点リレーを使用している。図 5.1 は論理部の外観を示す。



図 5.1 論理部引出し外観
Fig. 5.1 Outside view of a logic relay box.

5.1 速度記憶継電回路

速度照査回路の比較器出力により走行速度帯を記憶するとともにパターン抵抗を切り換える指令を出す回路である。この回路は一種のシーケンス回路で上昇用・下降用の指令により切り換わるようになっている。なお動作を安定にするため限時リレーをバッファに使用している。

表 5.1 常用非常ブレーキ 指令条件

指示信号 列車速度	210	160	110	70	30	0		
						0 ₁	0 ₂	0 ₃
210 km/h 以上	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
210~160 km/h		○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
160~110 "			○	◎	◎	◎	◎	◎
110~70 "				○	◎	◎	◎	◎
70~30 "					○	◎	◎	◎
30~0 "						○	○	◎

5.2 常用および非常ブレーキ継電回路

信号の種類を伝える受信器出力条件と速度記憶継電回路出力条件から常用ブレーキ、非常ブレーキ条件を判定する回路である。常用、非常ブレーキの作用条件は表 5.1 のごとくである。0₁、0₂、0₃ 信号によってブレーキを指令した場合は確認スイッチを押さないとゆるまないようになっている。とくにこの回路は重要であるので fail safe に十分留意してある。

5.3 同期指令回路

不一致検出により故障を検出するため NBSR が先に落下したチャンネルから同期をかけるよう同期リレーが設けられており、この接点出力によって他チャンネルのパターン回路を切り換えて同期作用を行なう。

5.4 故障検出回路

故障検出回路は自己検出と同期検出を兼ね備えている。しかしながら自己検出によるほうが優先するよう検出動作時間が短くなっている。故障検出は不要な上昇、下降指令または不一致の時間が一定の値をこえたとき故障として判定する限時回路で構成されている。故障を検出するとそのチャンネルを開放すると同時に共通部に取り付けられているターゲットリレーが動作し表示されるようになっているので、運転後でもどのチャンネルが故障であったかを調べられるようになっている。なお III チャンネルは自己検出ができないので、これが故障の際は同期検出によって故障検出されるようになっている。

5.5 共通回路

共通回路には外部配電板の車両用リレーを駆動するための接点増幅用として RL684 形リレーを置いており、さらに見やすいようにターゲットリレーをこの部分にまとめてある。この共通回路は論理部とは別の引き出しにまとめてある。図 5.2 は共通部外観を示す。

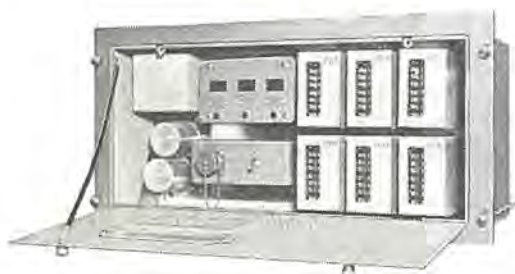


図 5.2 共通部引出し外観

Fig. 5.2 Outside view of a common circuit relay box.

6. 速度計

速度計は 1 運転台に 2 台置かれ、そのいずれも永久磁石形速度発電機出力によって駆動される。速度計は 2 種類ありその一つは



図 6.1 速度計

Fig. 6.1 Speed meter.

可動コイル形で速度指示が水平な帯で示されるもので、他の一つは自動平衡形で横行垂直指針を使用したものである。

速度計には信号の種類を表示する表示灯と速度照査器動作を表示する速度帯表示灯が点灯するようになっている。図 6.1 は速度形の外観を示す。

7. 試験結果

試験は工場で綿密に行ない、各部分の性能を十分調べたのち受信機速度発電機、制御装置、速度計など全装置を組み合わせて試験を行なった結果所期の性能を確認することができた。

7.1 速度照査回路試験

(1) 周波数-直流電圧変換特性

2,000 c/s で定電圧ダイオードの定める基準電圧値を通る直線に乗るように調整された二つの例を図 7.1 に示す。実用上の最高周波数は 210 km/h 車輪径 830 mm のとき 1,469 c/s であるから、この特性は十分余裕がある。

(2) 比較回路を含めた総合特性

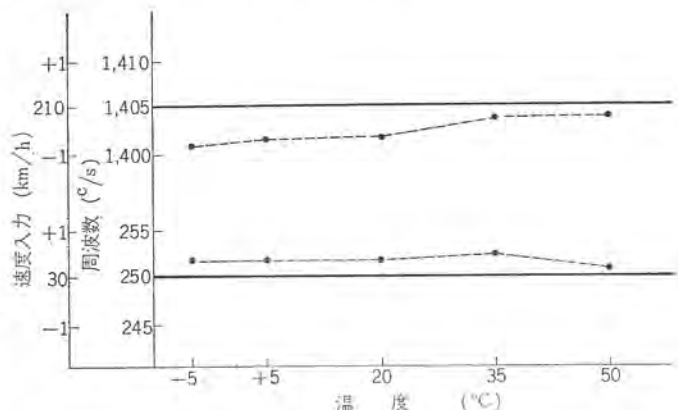


図 7.1 照査部 A 動作周波数の温度特性(実測値)

Fig. 7.1 Temperature characteristic of speed checker A.

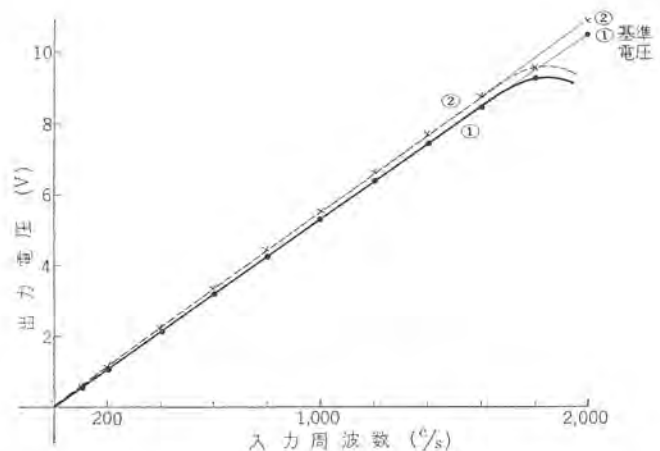


図 7.2 周波数-直流電圧変換特性(実測値)

Fig. 7.2 Frequency-DC voltage converter characteristic.

入力周波数を次第に上昇させて行なったとき照査部 A の上昇比較回路の出力 リレー が落下する周波数を種々の条件で測定した。

温度特性は -5°C から $+50^{\circ}\text{C}$ まで変化させたときの測定結果を図 7.2 に示す。ATC 装置は空調のきいた室内にあるので、 $+5^{\circ}\text{C}$ から $+35^{\circ}\text{C}$ までを使用範囲と考えているが、 -5°C と $+50^{\circ}\text{C}$ でも十分仕様を満足する。これは単安定 マルチバイブレータの温度特性が設計値とおりである結果のためと考えられる。

AC 100 V 60 c/s の電源電圧を $\pm 10\text{ V}$ 変化させても動作周波数は測定誤差範囲内であって、まったく電源電圧の影響は無視できる程度である。

同期を受けた場合、車輪径を変えた場合などは精密巻線抵抗の分圧値を変えるだけで、抵抗は精密に調整されている上にプリント配線されて誤配線も考えられないのでチェック程度の試験で十分である。

(3) 比較回路のヒステリシス

比較回路の出力はリレーを駆動しているので、リレーの動作・復旧の特性上のヒステリシスに加えて、比較回路は交流励振を加えた差動増幅器であるため、二つの入力が等しいときはトランジスタの h_{fe} の余裕もあって完全に出力が出るので、速度記憶リレーの上昇周波数と下降周波数の間にはヒステリシスがある。このため照査部の動作は安定になるが、あまり幅が広いと精度が悪くなる。パ

ターン電圧はヒステリシスを見込んで 1 km/h だけ低く設定したので、ヒステリシスは 2 km/h 程度あったほうが動作点での誤差は少ない。測定によると初段エミッタ電流を 0.5 mA 程度にしたとき $15\sim 26\text{ c/s}$ あって、速度にして 2.5 km/h ないし 4 km/h で予想よりちょっと多かった。必要があればエミッタ電流を設定している抵抗値を調整し、電流を下げればまだ十分にヒステリシスは小さくできるが、実用上は、十分仕様を満足しているから問題にならないと予想している。

7.2 総合組合せ試験

現車で考えられるあらゆる条件を信号変化、速度変化を与えて行なった結果、精度、安定度、同期作用効果など所期の性能を満足することを確認した。また温度試験、振動試験など各種の過酷な試験を行なったがいずれも問題はなかった。

8. む す び

新幹線電車は前例を見ない高速運転を行ないしかも多数の列車が運行されるので、安全度、信頼度ともにきわめて高い ATC 装置を用いないと満足な運転が期待できない。しかし工場で試験した結果では十分満足な結果が得られたので安全確実な運転が可能であろうと思われる。

なお ATC 装置完成にあたりご指導いただいた国鉄関係者に謝意を表する次第である。

東 海 道 新 幹 線 空 気 調 和 装 置

熊 本 永*・牛 田 善 和**

Air Conditioning Apparatus for New Tōkaidō Trunk Line

Nagasaki Works Hisashi KUMAMOTO

Shizuoka Works Yoshikazu USHIDA

The new Tōkaidō trunk line cars are provided for each car with ten units of air conditioner of a heat pump type mounted on the ceiling. These units are operated automatically in starting and stopping, and throughout the year the cooling and heating of the room is made with this apparatus. To a fan in the room is drawn in indoor air together with outdoor fresh air. After cooled or heated with a heat exchanger located in the room, the combined air is blown out to the room as to maintain the room air at the optimum temperature. It is a marked feature that the air conditioning units are constructed air-tight particularly so that pressure fluctuation of the outdoor air gives no effect to the room interior.

1. ま え が き

東海道新幹線車両に取り付けられる空気調和装置は空気調和ユニット、温度調整器、配電盤からなり、四季を通じての空気調和はまったく自動的に行なわれる。

空気調和ユニットは冷暖房を行なう冷凍サイクルからなる普通ヒートポンプと呼ばれる小形のユニットで1両に約10ユニット、車両天井に装備され、これらは温度調整器と配電盤により制御される。ユニットの室内側送風機は室内空気と同時に新鮮空気をも吸入し、この混合空気は冷凍サイクルの室内側熱交換用コイルで冷却あるいは加熱されて室内に広く吐き出され、室内の空気調和を行なう。このように小形のユニットを数個天井に装備する方式は、広く車両に用いられているが、本車両のようにヒートポンプとして使用されている例は少ない。試作車両で室内空気の吸入口や吐出し方向などが、室内の温度分布にどのように影響するかを停車中や走行中について入念に試験された結果、この空気調和装置で十分満足な空気調和が行なわれることが実証されている。

新幹線が非常に高速で運転されることは、いまさら書くまでもないが、このことはトンネル突入に際しトンネル内に大きな気圧の脈動を発生させる。この脈動が車内に影響を及ぼすと乗客に気圧の変動を感じさせ、耳に不快感を与えるという生理現象が伴う。この現象を取り除くためには、車内が外気条件により乱されないよう気密構造を採用する以外ない。空気調和ユニットもユニットそのものが室内と外気との仕切りをなしているの、ユニットは気密構造に製作されている。

2. 空気調和ユニット

空気調和ユニットは冷暖房共用に使用できるヒートポンプ方式で、一つのユニットは2個の独立した冷凍サイクルを備えている。冷凍サイクルはR-22を冷媒とする全密閉圧縮機を使ったサイクルで、圧縮機、送風機もこのユニット用としてとくに設計されたものである。表2.1はこのユニットの仕様と使用機械の要目とを示している。この表からわかるごとく電源電圧の変動はとくに大きく、このことから圧縮機用電動機を特殊なものとしている。

表 2.1 AU57 形空気調和ユニット仕様

部 品 名	仕 様	所要数	
		1台	1台
定 格	電源 主回路 制御回路	単相 220 V $\pm 30\%$ 単相 100 V $\pm 10\%$	60 c/s 60 c/s
	冷房能力	4,500 kcal/h 以上 室外コイル吸入空気温度 室内コイル *	33°C 28°C 68%
	暖房能力	2,500 kcal/h 以上 室外コイル吸入空気温度 室内コイル *	0°C 13°C 66%
	循環風量	約 600 m ³ /h	
	電 力	約 3 kW	
	重 量	約 180 kg	
	冷 媒	R-22	
	底 板	1 SPC 1 1.6 r × 1,310 × 1,030 mm	
	室内コイル	2 形式 プレートフィン形強制通風空冷式	
	室外コイル	2 形式 プレートフィン形強制通風空冷式	
装 置 関 係 部 品	分 電 箱	1 上下滑動式 耐食アルミ板製	
	乾 燥 器	2	
	ロ 過 器	2	
	室内コイル用空気コン	2 アルミメタルラス	
電 気 部 品	圧 縮 機	2 形式 電動機直結全閉式 形名 C 31A 出力 0.75 kW 極数 2	
	室外送風機	2 形式 電動機直結 プロペラファン 出力 120 W 風量 約 1,200 m ³ /h	
	室内送風機	1 形式 電動機直結 プロペラファン 風量 600 m ³ /h 出力 50 W	
	暖房切換弁	2 形式 本体 V 26-123 (米国ランコ社製) コイル L 27-1009	
	霜 取 装 置	2 形名 D 52-505 (米国ランコ社製)	
	NF ブレーカ	2 形名 MK 32 定格電流 12A	
	ス タ ー タ	2 形名 ST-7S6 操作コイル電圧 220 V $\pm 30\%$ 接点回路 * $\pm 20\%$	
	リ レ ー (デアイザー用)	2 形名 AL-100-1A 操作コイル電圧 100 V $\pm 10\%$ 接点回路 * 220 V $\pm 30\%$ $\pm 20\%$	
	オーバロードリレー	形式 自動復帰式 形名 TI-1	
	コンデンサ 圧縮機用	2 運転用 12 μ F 起動用 150 μ F	
関 係	室外送風機用 室内 *	4 8 μ F 2 6 μ F	
	キャパシタコネクタ	1 プラグ形名 JA-3106A-22-23PC -A-(16) ソケット形名 JA-3102A-22-23SC	



図 2.1 空気調和ユニットの外観
Fig. 2.1 View of air conditioning unit.

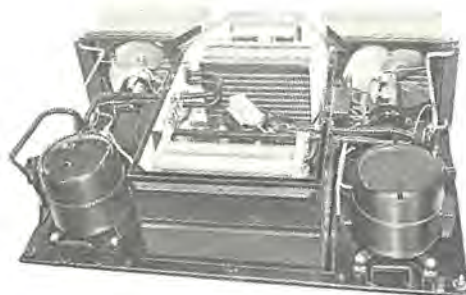


図 2.3 ユニットの内部
Fig. 2.3 Interior of unit.



図 2.4 ユニットを下から見たところ
Fig. 2.4 Unit viewed from bottom.

図 2.1 はユニットの外観写真で室外側を示しており、図 2.2 は各機器の配置を示す外形図である。図 2.3 はカバーをはずして室内側をも見た写真で、室内側送風機や室内コイルを見ることができる。

室内側送風機は室内空気と同時に新鮮な空気を吸入し、この混合空気は空気コシを通ったのち、室内側コイルで冷却あるいは加熱されて吐き出される。吐き出された空気は H 形をした配風ダクトに入り、H 形の 4 隅の吹出口から室内に吹き出される。図 2.4 はユニットを下から見た写真で吸込口、吹出口、露受皿、排水ホースなどを見ることができる。ここで新鮮空気取入用送風機は別に 1 車両に 1 台設けられており、新鮮空気はダクトを通してユニット吸込口に吐き出されている。

2.1 冷凍サイクル

図 2.5 はユニットの冷媒系統を示すもので、一つの冷凍サイクルは圧縮機、室内コイル、室外コイル、四方弁、キャピラリーチューブ、ドライヤ、ストレーナ、室外ファンからなり、室内ファンのみは二つの冷凍サイクルに共用となっている。室内コイルをエバポレータに、室外コイルをコ

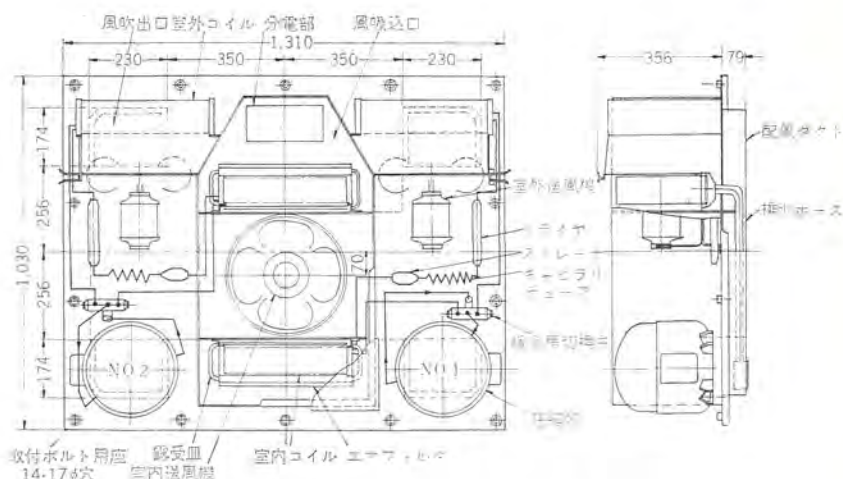


図 2.2 AU57 形空気調和ユニット外形図
Fig. 2.2 Outline of type AU57 air conditioning unit.

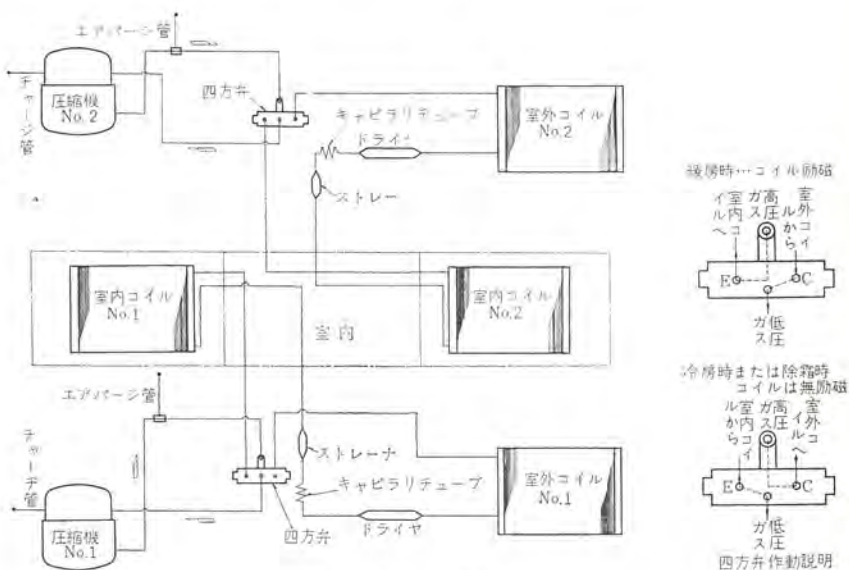


図 2.5 冷媒系統図
Fig. 2.5 Refrigerant system diagram.

ンデンサに使用するとき室内側の熱は室外側に運び去られ、いわゆる冷房となる。逆に室内コイルをコンデンサに、室外コイルをエバポレータとして使用すると熱は室外側から室内側へと移動し、室内側の温度は上昇する。このように熱交換器を切り換えて冷暖房両用を使用する方式は普通ヒートポンプと呼ばれ、その切り換えには電磁四方弁が使われる。四方弁の作動は図 2.5 のごとくでガスの流れを室外コイル→キャピラリー→室内コイルの順とまったく逆の室内コイル→キャピラリー→室外コイルの順との二つの道順の切り換えを行ない、前者が冷房で後者が暖房となる。

2.2 デアイサー

前述のごとく冬期の暖房時には室外側のコイルはエバポレータとして働いているから、コイルの温度は外気より相当低下しており、当然そこに氷の付着がおこる。この付着はコイルの熱交換を低下させ、暖房能力を落とす原因となるからそれを取り除かねばならない。このため各冷凍サイクルはデアイサーを備えその除去にあたっている。暖房のときには室外コイルはエバポレータとなっているからコイルの温度は外気の温度より低くなっているが、コイルに結氷が起こると熱交換が悪くなり、その温度差は標準時よりさらに大きくなる。デアイサーはこの温度差を測定するもので、温度差が

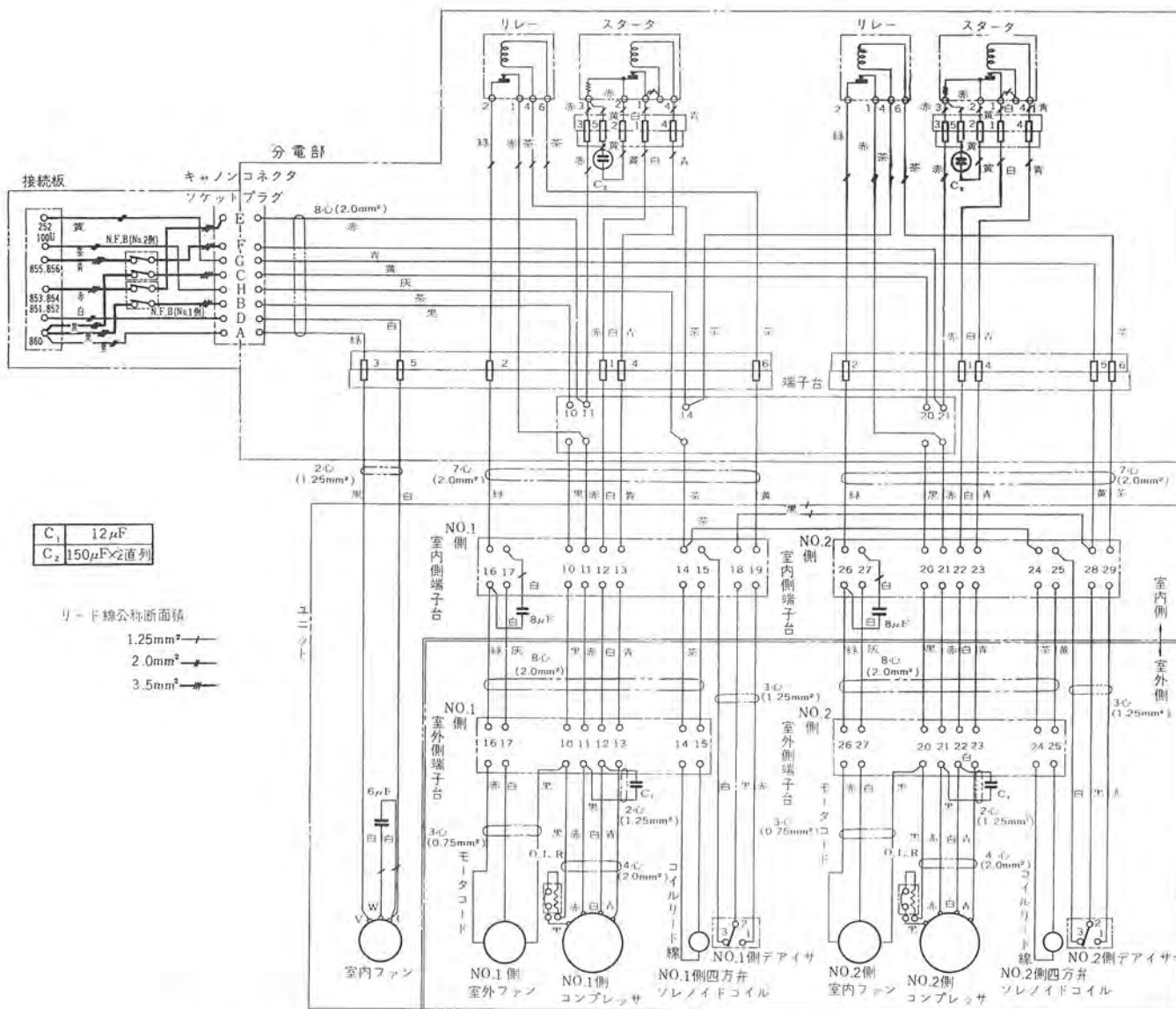


図 2.6 空気調和ユニット配線図

Fig. 2.6 Connection diagram of air conditioning unit.

過大になると四方弁を働かせて、冷凍サイクルを冷房状態に切り換える。この切り換えで室外側コイルはコンデンサに変わり、コイルの温度は上昇して結氷は取り除かれる。この作業を迅速にするために室外側送風機はこの間のみ停止させる。デアイサーはまたコイルの温度が外気より高くなったことによって信号を出し、四方弁をもとの暖房のほうに切り換えるとともに、室外側送風機の運転は始まりデアイサー一連の作業は完了する。この作業は室内側には冷房が行なわれているわけであるが、その時間は短くその上一つの冷凍サイクル単独で行なわれる作業であるから、暖房能力を阻害する恐れはまったくない。

2.3 おもな構造

このユニットの構造や使用されている機器のおもな点のみについて述べる。

(1) 圧縮機

圧縮機はとくに軽量の2極全密閉圧縮機で、圧縮機シェル内で防振支持されていることはもちろん、取付足も防振ゴムで支持され耐振性を強化している。シェル外壁には自動復帰式のオーバードリレーを備えて万全を期している。

(2) 送風機

室内外ファンとともに騒音には注意を払い、2個の室外ファン

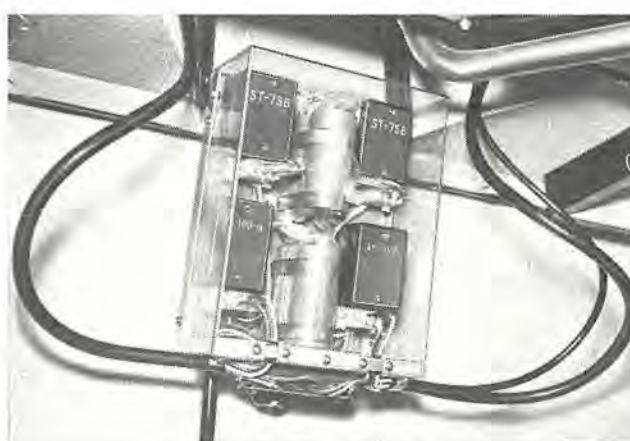


図 2.7 ユニット分電箱

Fig. 2.7 Unit distribution box.

は羽根枚数を変えてウナリを防止している。

(3) 分電箱

ユニット内の結線は図2.6のごとくで、キャノンプラグを差し込むだけで取り付けが可能である。スタータ、リレー、コンデンサは図2.7のごとく分電箱に納められており、この箱は上下滑動式となっている

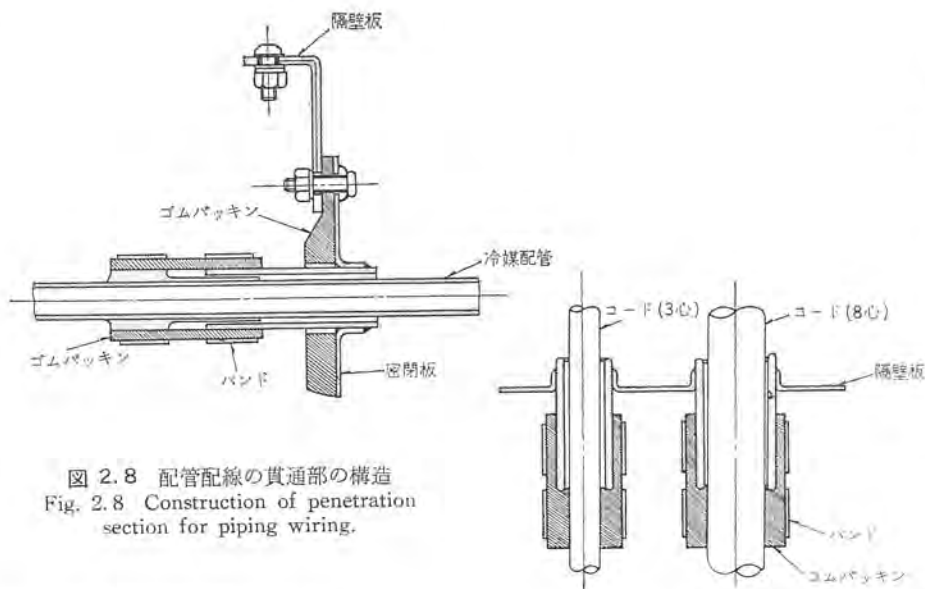


図 2.8 配管配線の貫通部の構造
Fig. 2.8 Construction of penetration section for piping wiring.

から内部機器の点検は容易である。

(4) 露受皿、排水 ホース

室内 コイル の下には十分大きな露受皿を設け、この皿に大きな排水 ホース を接続して凝縮水を排出している。露受皿は耐食性と熱絶縁にはとくに注意して製作されている。

(5) 気密構造

ユニット 台つは気密を保つよう入念な溶接で組み立てられ、配管、配線の貫通部は、図 2.8 のように ゴムパッキン を両者にクランプする特殊な構造となっている。また ユニット から冷凍 サイクル を取りはずすときに、配管切断の必要がないよう配管貫通部には密閉板が用いられ、密閉板とともに取りはずすことが可能である。

(6) 重量

車体の軽量化に努力が払われていると同様に、このユニットの軽量化も徹底的に行なわれている。極力薄い板を使用し、また可能な限り アルミ 板を使用し、従来のこの程度の ユニット と比較し大きく軽量化されている。

3. 温度調整機

1 両に装備されている約 10 個の空気調和 ユニット は、温度調



図 3.1 温度調整機
Fig. 3.1 Temperature regulator.

整器により自動的に運転停止され、室温の調整を行なう。温度調整機は図 3.1 に見られるごとく、3 個の 2 段 サーモスタット とその感温部に風を送る送風機からなり、車両天井に 1 個取り付けられている。したがって送風機が送る サーモスタット を働かせる風は、室内温度を代表しているわけである。

一つの空気調和 ユニットの 2 個の冷凍 サイクル は No. 1, No. 2 サイクル と名付けられており、以下 No. 1, No. 2 と称するものは 1 両 10 ユニットの各 No. 1, No. 2 サイクル の総称とする。図 3.2 は温度と各 サイクル の作動を示し、温度 T_2 は冷房状態での No. 2 サイクル の発停温度で、 T_2 の命により発停し、また T_1 は No. 1 サイクル の発停温度である。すなわち T_1 以上の温度では全冷凍サイクルが働き、室温の低下につとめている。 T_2 と T_3 の間は冷暖房不要のシーズンで送風のみであるが、空気調和ユニットの四方弁は T_5 の命により冷房か暖房かの準備を行なっている。 T_3 暖房状態での No. 1 サイクル の発停点で T_4 は No. 2 サイクル の発停温度である。すなわち T_4 以下の温度では全サイクルが室外の熱を室内に持ち込む作業に従事している。

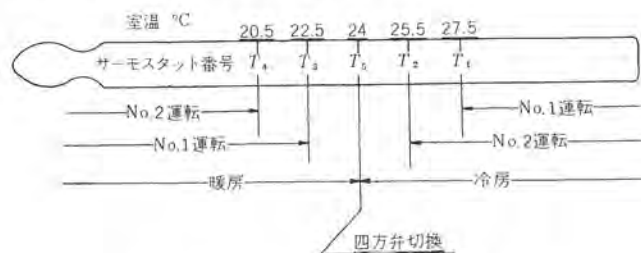


図 3.2 室温と空気調和 ユニットの関係
Fig. 3.2 Relation between room temperature and air conditioning units.

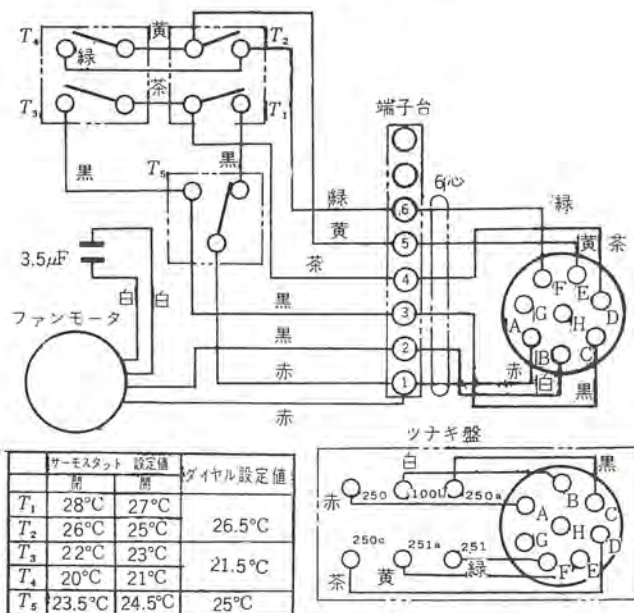


図 3.3 温度調整機配線図
Fig. 3.3 Connection diagram of temperature regulator.

以上のようにこの温度調整機は1年中常に室温を最適温度条件の方向に制御するもので、全ユニットを働かす神経となっている。図3.3は温度調整機の結線を示している。

4. 配電盤

配電盤は図4.1に見られるごとく空調回路と、室内機器のブレーカからなっているが、ここでは空調回路のみについて述べる。空調回路図、図4.2からわかるごとく配電盤は温度調整機と空調ユニットとを結びつけ、また種々の保安装置を有している。

温度調整機が空調ユニットに出す命令は前述のごとくであ

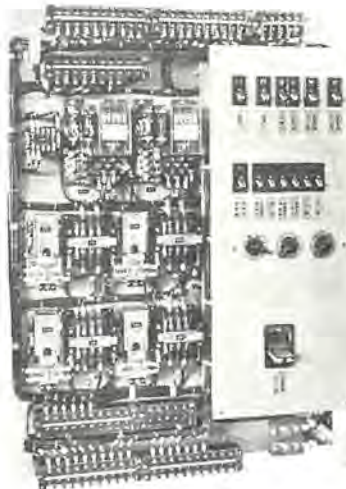


図 4.1 配電盤外観
Fig. 4.1 View of switchboard.

るが、1両分の約10ユニットはNo.1, No.2サイクルとも奇数ユニットと偶数ユニットとの2群に分けられ、両群の起動をタイムリレーによりずらし、全数同時起動を避けている。

室内ファンも奇数、偶数の2群に分けられ、ファンモータ事故をブレーカにより検出し、もし事故によりブレーカが切れたときには、その群のファンを停止させるとともに、その群のユニットも停止させるごとくになっている。

配電盤は手動のロータリスイッチを備えており、このスイッチによりNo.1圧縮機の単独運転、No.2圧縮機の単独運転、全冷凍サイクルの運転および停止が簡単に行なえるようになっている。手動と自動の切り換えには切換スイッチが設けてある。

圧縮機は停止後高圧、低圧のパランスに約2分間を要し、この間の起動は不可能となっているため、起動は必ず2分のタイムリレーを通して行なわれる。

電源の電圧変動は前述のごとく非常に大きい、この規定値より変動が増大した場合にはユニットは停止する。またこのほかにユニットの運転状況がひと目でわかるように、5個のランプで各状態を表示している。

5. 試験

各機器は単体として十分試験された後組み立てられ、さらに総合試験が行なわれる。

図5.1, 5.2は空調ユニットの室内、室外に仕切られた試験室内での試験中の写真である。試験室は室内、室外とも単独に任意の温度と湿度条件を保つよう自動制御されている。図5.1は室外側の写真で、ここで室外機器の性能、作動が測定される。図5.2は室内側の写真で、図に見られる風胴は吐出空気の流れを測定

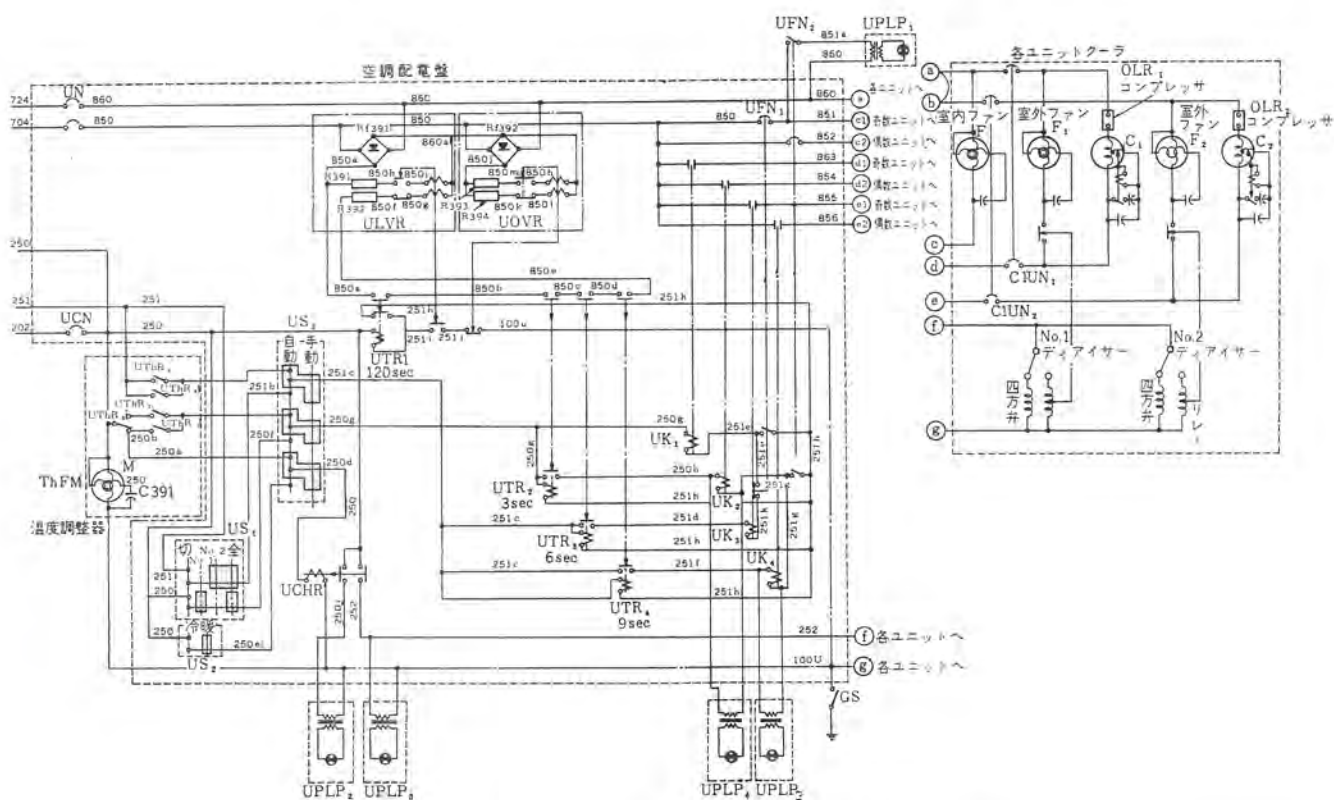


図 4.2 空調回路図

Fig. 4.2 Air conditioning circuit diagram.

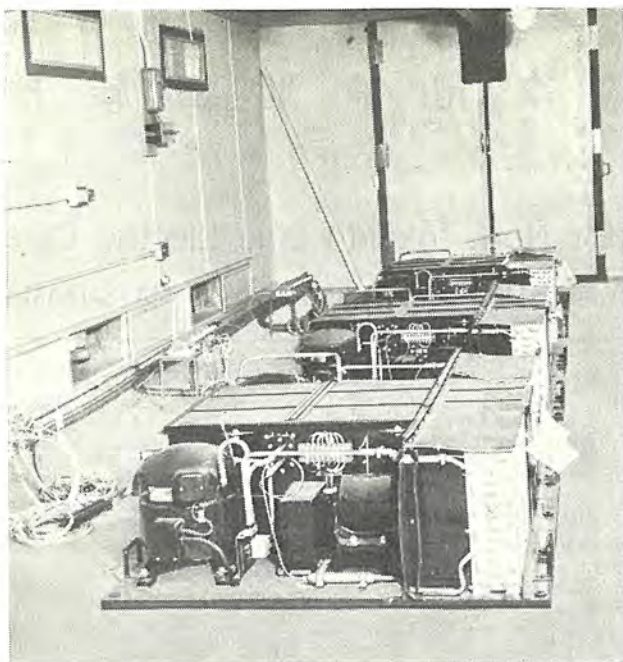


図 5.1 試験中のユニット（室外側）
Fig. 5.1 Unit under test (on outdoor side).

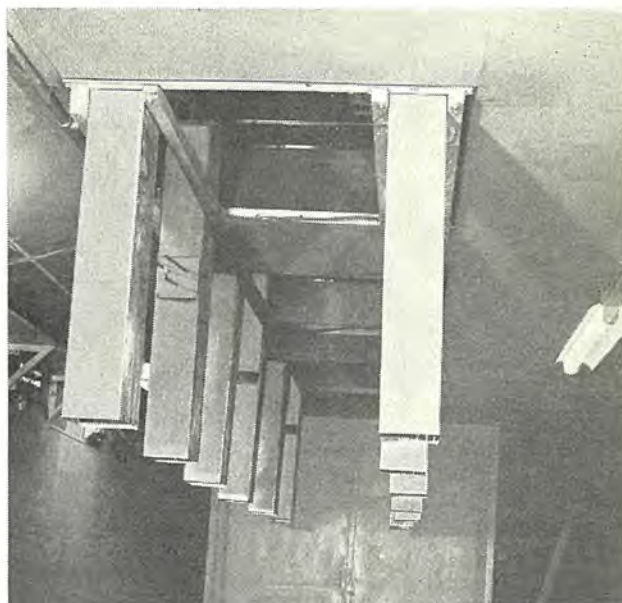


図 5.2 試験中のユニット（室内側）
Fig. 5.2 Unit under test (on indoor side).

するダクトで、ここでユニットの容量が測定される。この試験室では冬季の外気条件として -10°C まで実現することが可能である。

気密構造の試験は漏れ試験で確められる。ユニットの室内側に室内側容積 0.25 m^3 に相当する箱を取り付け、この箱内に水柱 400 mm の圧気を押し込む。漏れの程度はこの圧力の降下量で測定され、1 分間の降下は水柱 120 mm 以下となっている。

温度調整機、配電盤も組み立てられた後その作動状態が試験される。

6. む す び

以上新幹線車両の空気調和の概要を述べた。新幹線の運転も間近かであるが、この装置が十分その機能を発揮し旅行がより快適にできることを期待している。

東 海 道 新 幹 線 電 車 用 補 助 回 転 機

和田 義彦*・松山 幸夫*

Auxiliary Machines for New Tōkaidō Line Electric Cars

Nagoya Works

Yoshihiko WADA・Yukio MATSUYAMA

A good number of single phase auxiliary rotating machines are used for passenger electric cars of the new Tokaido line. Mitsubishi has taken part in supplying these auxiliary machines and is assigned to build main transformer cooling motor driven oil pumps, air compressor driving motors and also motors for driving compressors of air conditioning apparatus. These motors are all single phase induction machines designed and manufactured under severe conditions to satisfy various requisites. Hard efforts have borne fruit and satisfactory products have been made available to meet the requirements. Particularly, the motor driven oil pumps are the most compact, light and of high performance, of which the Company is proud.

1. ま え が き

交流電車用として使用される補助回転機は、電車であるための電動機出力の分散と、空間場所の制限および重量の軽減などのため、従来交流電気機関車で採用されてきたような相変換機を使用して、いったん、单相を三相に変換し、多数の三相誘導機を運転する方式よりも、単独の单相誘導機を採用し、電動機の出力の集中化を避けるようにするのが、最も、小形、軽量となり、しかも、経済的である。この観点より新幹線旅客電車用としては、多数の单相補助回転機が用いられることになり、このうち、当社では、主変圧器冷却用電動油 ポンプ（国鉄形式 MH 1042-OP7）、空気圧縮機、駆動電動機（国鉄形式 MH1041）および空気調和装置圧縮機駆動電動機を製作した。このうち、空気圧縮機駆動電動機は、神鋼電機株式会社との共同設計により製作されたものである。以下、それら当社担当補助回転機の概要を紹介するものである。

2. 主変圧器冷却電動油ポンプ

この電動油 ポンプ は、現在までに製作された同用途のものに比べ、とくに、小形、軽量化を図ったもので、单相電動機で駆動されるにもかかわらず、従来の同一性能の電動油 ポンプ に比べ、容積、重量とも 1/2 以下という特筆すべき製品である。以下、その概要を述べる。

2.1 形式および仕様

この電動油 ポンプ は、单相誘導電動機と遠心ウズ巻 ポンプ とを組み合わせたもので、電動機部分と ポンプ 部分とは一体となっており、油中に完全に浸されて使用される構造となっている。ポンプ作用により循環する変圧器油は電動機内部にも充満するため、電動機部分と ポンプ 部分とを分離するためのシール機構はまったく不要で、電動油 ポンプ として、完全な耐圧容器を形成している。この電動油 ポンプ の仕様は下記に示される。

電動機部分

形 式	单相 コンデンサ 誘導電動機
出 力	2 kW
極 数	4 極
周波数	60 c/s
電 圧	220 V（ただし 174～286 V の変動および起動時に

	195 V までの低下を考慮している)
コンデンサ	75 μ F 440 W. V AC
	DF 入紙 コンデンサ
ポンプ 部分	
形 式	遠心 ウズ巻 ポンプ
揚 程	4 m 以上
油 量	700 l/min.
使用変圧器油	JIS C 2321 規程の不燃性油
全重量	約 72 kg

図 2.1 および図 2.2 には、この電動油 ポンプ の外観および外形寸法を示す。

2.2 構 造

この電動油 ポンプ の構造の概要は下記のとおりである。

(1) 電動機部分



1 ϕ 2 kW 4 P 揚程 4 m 油量 700 l/min

図 2.1 新幹線電車用 MH 1042-OP7 形主変圧器冷却電動油 ポンプ 外観

Fig. 2.1 Type MH 1042-OP7 oil pump to circulate main transformer cooling oil for New Tōkaidō line cars.

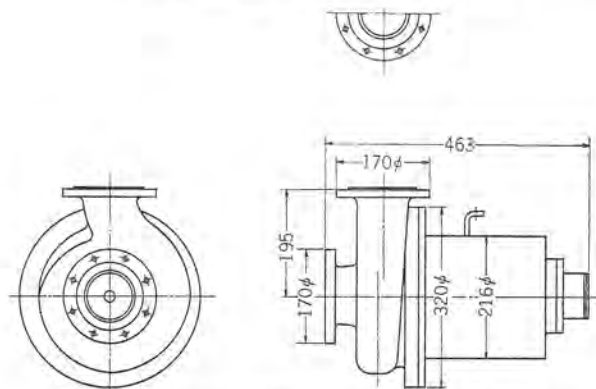


図 2.2 MH1042-OP7 形電動油 ポンプ 外形寸法図
Fig. 2.2 Outline dimensions of type MH1042-OP7 motor driven oil pump.

耐圧構造を要求されるため、電動機の フレーム は全鋼板溶接構造としている。フレームには、主変圧器に取り付けた場合の安定性を強化するため脚が溶接されている。構造を簡単にするため、反負荷側の軸箱は フレーム に直接溶接されており、全体として、2分割構造となっている。フレームの反負荷側部分には、ポンプ部分を取り付けるための フランジ 部分が溶接され、パッキン を介して ポンプケーシング を取り付けようになっている。

ブラケット は負荷側 ベアリング を保持するために、鋳鉄製のものが設けられている。そして、ポンプ部分と電動機部分との間に油の流通ができるよう流通口が設けられている。

ベアリングは負荷側 6306、反負荷側 6305 Z が使用され、いずれも内部に充填する油により潤滑される。ベアリング の選定にあたっては車両の振動による 1~2g 程度の振動加速度に耐えうるよう十分考慮されている。フレームの反負荷側には端子座および端子箱が軸方向に取り付けられている。端子は、スタッド式で、スタッドは端子板に、パッキン を介して締め付け固定されており、また、端子板は、パッキン を介して端子箱と一体として締め付けられることにより、油の漏れを完全に防止できる構造となっている。

電動機の固定子 コイル より引き出された リード 線は、端子板の内部で スタッド に固定され、スタッド を通して外部に通ずるようになる。端子板には、U・V・Y の3個のスタッド が端子箱の外部 リード 引出口に対して、適当な沿面距離を保つよう配置されている。

固定子および回転子鉄心には、磁気特性のすぐれた ケイ素鋼板 が使用してある。固定子 コイル は、不燃性油中で使用されるため二線銅線が採用され、特殊 ワニス で入念に処理してあるため、きわめて安定である。回転子鉄心は油中にて運転されるため、損失を最低にするよう構造的に留意されている。回転子は単相 コンデンサ 電動機として十分な起動 トルク を発生するよう高抵抗 カゴ 形を採用している。

(2) ポンプ 部分

ポンプ 部分は、効率のよい遠心 ウズ 巻 ポンプ と、ウズ 巻 ポンプ 室を形成する ケーシング より成り立っている。ポンプランナ は鋳鉄製でケーシング は ウズ 巻 ポンプ 室を形成するため、油漏れ防止に対する信頼性を高めるために、ステンレス 鋳鋼 が使用されている。ポンプ効率を高めるため、ケーシング には青銅製の ライナリング を装着されており、ランナ はライナリング に対しほとんど密着に等しいようなごくせまい間 隔 をへだてて回転する。ケーシング の軸方向側には、変圧器油を ポンプ 室に吸い込むための吸込口が、軸方向と垂直な部分に

は、油を変圧器内部に送り込むための吐出口が設けられており、これらはいずれも フランジ をもっており、この フランジ を介して、電動油 ポンプ 全体が変圧器に取り付けられるような構造をなしている。

ポンプランナ は電動機軸に直接取り付けられ、ナット および座金により完全な抜け止めが行なわれている。

図2.3には、電動油 ポンプ の断面図および部分名称が示されている。

2.3 特 性

(1) ポンプ 特性

不燃性油使用で使用温度油-10~80℃ という条件において揚程4m以上、油量700L/min という ポンプ 性能を満足するようポンプ 部分は設計され、そのときの所要動力が算定された。

ポンプ の軸動力は次式で与えられる。

$$P = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{102\eta} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで P: ポンプ 軸動力 (kW)

γ: 液体の比重

H: 揚程 (m)

Q: 流量 (L/sec)

η: ポンプ 効率

である。ここで軸動力を左右するものは、液体の比重と ポンプ 効率である。不燃性油の比重は -10~80℃ の使用範囲において、相当変化し温度の上昇に比例して比重は低下する。したがって、温度によって、揚程、流量は変化を受けるわけであるが、主変圧器の発生損失による油温の上昇のため、これを加味して、設計上の条件としては、油温0℃において、定格油量、揚程を満足することを目標として、ポンプ 部分を設計した。ポンプ 効率も温度の変化による油の粘度および比重の変化のため、相当変動するが、おのおのの使用条件に応じて、最高の ポンプ 効率を発揮するようポンプランナの形状および ケーシング の形状を決定した。この結果、設計計画値で、油温0~80℃の範囲において、38~65%のポンプ 効率を得た。これによる電動機出力の範囲は1.2~1.9kWであり、したがって電動機出力を2kWと決定した。

図2.4は、この電動油 ポンプ の実用運転時における性能を示したものである。図中、油温80℃における各種特性を換算により推定している。この場合、比重、粘度の減少により、ポンプ 効率は向上し、軸出力は減少しているが、揚程はほとんど変化していない。不燃性油の場合、温度の変化に対する粘度および比重の変化

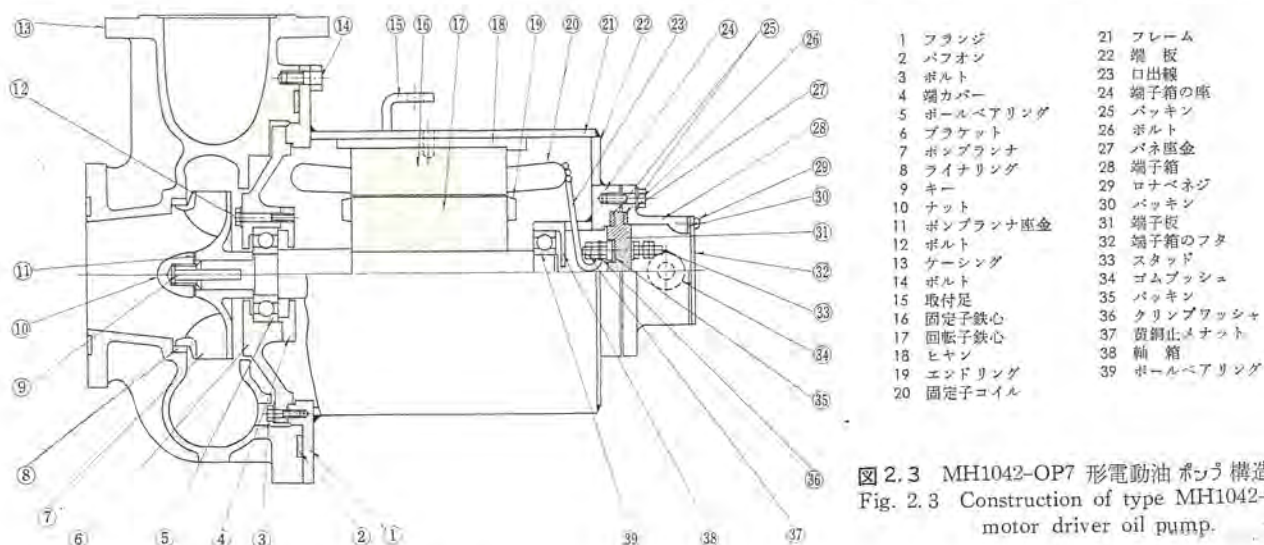


図2.3 MH1042-OP7 形電動油 ポンプ 構造図
Fig. 2.3 Construction of type MH1042-OP7 motor driver oil pump.

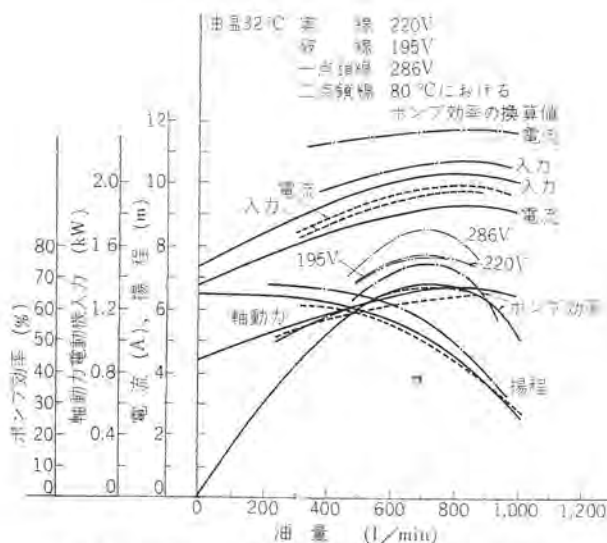


図 2.4 MH1042-OP7 形電動油 ポンプ 性能曲線
Fig. 2.4 Characteristic curves of type MH 1042-OP7 motor driver oil pump.

が大きいので、相当の揚程の変化が考えられたが、大体 30℃ 以上になると、ほとんど一定となることが確認された。

いずれにしても、電源電圧の変動を考慮したとしても、ポンプ性能は所期の設計目的を上回る好結果を得たわけで、与えられた周囲条件下において、安定して使用できることが確認された。

(2) 電動機特性

ポンプ側より与えられた 2kW という定格出力で、小形、軽量化を図り、しかも単相で設計するという条件を満たすために設計上検討を重ねた。現在までに数多くのこの種電動油 ポンプ が製作されているが、いずれも ポンプ 部分に比べ電動機部分が非常に大きいきらいがあった。したがって電動油 ポンプ の小形化を達成するためには、いかに電動機部分を小形化するかが問題で、現在まで思いきった小形化の行なわれなかったのは、温度上昇に対する検討が十分行なわれていなかったためと思われる。

この温度上昇の問題を十分検討した結果、単相 2kW 4 極で、JEM の 1114 Fr. 相当の大きさに収めうる見通しを得たので、単相で従来の概念を一掃した小形化を図った電動機の設計を行なったわけである。

電動機設計上の条件としては

- (1) 電圧の変動は 174~286 V の広範囲にあること。
- (2) 起動時は 195 V まで電圧が低下することのあること。
- (3) 約 5 分間隔ごとに 0.5 秒程度の電力中断があり、これに対しても支障のないこと。
- (4) -10℃ の条件で、最低電圧時においても、起動に支障のないこと。
- (5) 所要 ポンプ 性能を発揮させるため、スベリ の値を適当に選定する必要があること。
- (6) コンデンサ の端子電圧を最高電圧時 440 V 程度に押える必要があること。
- (7) 油中での使用状態において、電動機の温度 上昇は 30℃ 以下とすること。

などがあげられた。

これらを満足させるため、起動 トルク、スベリ、発生損失などを考慮して、高抵抗 カゴ 形を採用し、主巻線と補助巻線との間の巻数比を 1:1 とし、コンデンサ の端子電圧の上昇を防ぐとともに、全負荷運転時の回転子発生損失を最小にするよう留意した。

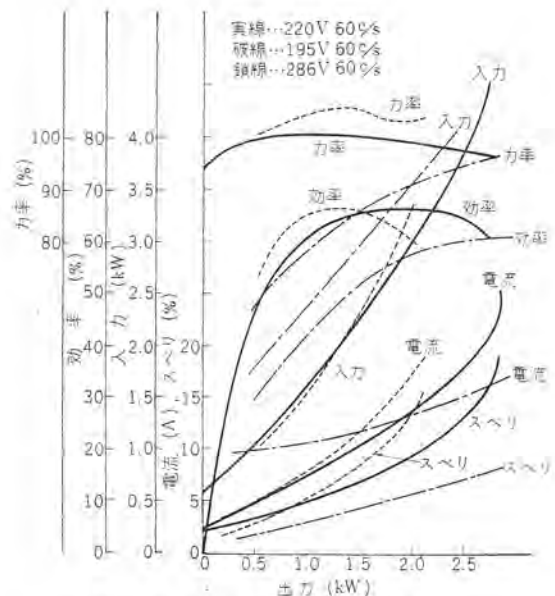


図 2.5 MH1042 形電動機負荷特性曲線
Fig. 2.5 Load characteristic curves of type MH 1042 motor.

表 2.1 MH1042-OP7 電動油 ポンプ 組合温度試験結果
室温 28℃

電圧 (V)	負荷電流 (A)	吐出量 (l/min)	運転時間 (h)	上昇温度 (deg.)			油 度 (°C)
				主コイル (抵抗法)	補助コイル (抵抗法)	ワタ	
220	9.2	700	4.0	12.5	12.5	6	42.5
195	9.8	700	1.0	11.0	11.5	6	32.0
220	9.2	700	1.0	9.5	9.5	6	34.5
286	11.6	700	1.0	21.5	21.5	12.5	34.5

図 2.5 はこの電動機の試験結果を示すもので、所期の性能を十分発揮する特性を得ることができた。

温度上昇は表 2.1 に示すように、ポンプとの組み合わせ状態において各種電圧条件下で、仕様を十分満足する好結果を得た。

起動トルクは、定格電圧で、約 60% で、これは ポンプ 駆動用としては十分な値であり、実用状態における起動時間は、油温 28℃ において、約 0.45 秒で、また失速電圧は、約 40 V という好結果を得た。

これらは、いずれも、与えられた条件下で、安定した運転を保証できる値である。

3. 空気圧縮機駆動電動機

この電動機は、量産車用の TC-1000 形空気圧縮機を駆動するため神鋼電機株式会社との共同設計により製作されたものである。車両用空気圧縮機駆動用としては

(1) 起動の際、その背圧にたいして起動する必要があるため、相当の起動 トルク を必要とすること。

(2) 起動は ガバ (調圧器) の動作により行なわれるため、起動ひん度が高く、しかも運転時間の短い、すなわち、間欠起動運転となる。

の条件が電動機に対し要求される。

この電動機は、単相電動機であるから、大きい起動 トルク が要求される場合、起動 コンデンサ 容量を大きくとらなければならない。

大容量のコンデンサを使用することはきわめて不経済であり、また、起動用コンデンサを開放する装置も、相当大がかりとなる。運転条件を純単相電動機として選ぶか、あるいはコンデンサ電動機として選ぶかが問題であるが、小形化の点よりみれば、後者が有利であることは当然である。

したがって、最も経済的な設計とするためには、遠心力スイッチ

にアンロード機構を設けて、空気圧縮機の無負荷起動を確実にこなうようにして、電動機として、単相コンデンサ電動機を使用するのが望ましいと考えられる。よって、従来の交流電気機関車用の空気圧縮機駆動に採用されてきたと同様な方法で電動機の軸端に装着された遠心力スイッチを用いて、電磁弁を操作し、確実に無負荷起動を行なう方法を採用することにした。遠心力スイッチは従来の交流電気機関車で、すでに十分な実績があり、その動作は安定しているものを採用することにした。これにより電力中断時においても、確実な動作が保証されることになる。

かくして、単相コンデンサ電動機が、TC-1000形空気圧縮機用として選定されたが、その仕様は下記に示される。

電動機仕様

形式	全閉自冷式単相コンデンサ電動機
出力	6.5 kW
極数	6極
周波数	60 c/s
電圧	基準電圧 220 V (ただし 174~286 V の変動および起動時に 174 V までの低下を考慮している)。
絶縁	B 種絶縁
定格	30 min
コンデンサ	300 μ F (2 \times 150 μ F) 440 W. V AC
	DF 入紙コンデンサ

遠心力スイッチ仕様

接点	1a-1b 付
動作回転数	上昇時 1,000 rpm \pm 50 rpm (a 接点入 b 接点切) 下降時 800 rpm 以上 (a 接点切 b 接点入)

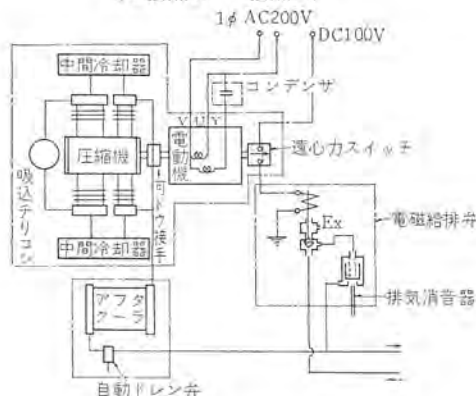


図 3.1 電動空気圧縮機装置系統図

Fig. 3.1 Motor driver air compressor equipment system diagram.

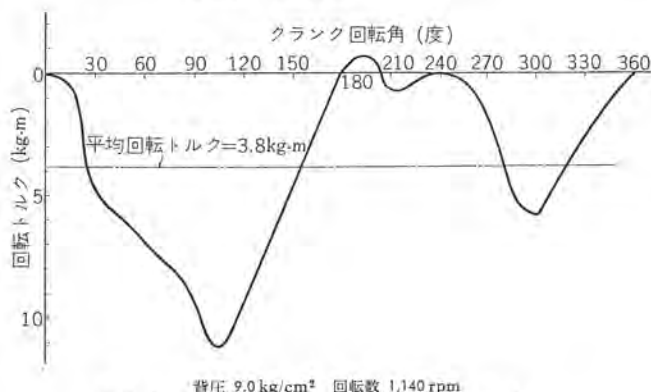


図 3.2 TC-1000 形空気圧縮機回転トルク線図

Fig. 3.2 Type TC-1000 air compressor torque curves.

電動機総重量 (遠心力スイッチを含む) …………… 約 180 kg

圧縮機仕様

圧力(最高)	9 kg/cm ²
容積	1,000 l/min
回転数	1,140 rpm
形式	2 段圧縮対向復形, 4 シリンダ
重量	約 550 kg

図 3.1 は、これらの装置の系統接続図を示したもので、遠心力スイッチは、この図から明らかなように、b 接点のみが使用されるのみである。図 3.2 には、参考までに、TC-1000 形空気圧縮機の回転トルク線図を示す。この図によれば、背圧 9 kg/cm² のときは、最悪の場合、約 11 kg-m すなわち電動機定格出力の 200% にあたる起動トルクを必要とすることが理解できよう。

3.1 構造

図 3.3 および図 3.4 には、空気圧縮機駆動電動機の外観と、その外形寸法図を示す。その構造の概要は下記のとおりである。

(1) 形式

全閉自冷式を採用している。フレームおよびブラケットの表面には、冷却用のひだが設けられ、内部で発生した損失は、電動機表面に伝達され、フレームおよびブラケットの表面のひだ部分より放散される。この電動機の反負荷側軸端には、空気圧縮機アンロード電磁弁操作用の遠心力スイッチが装着されている。

(2) 軸受構造

ベアリングには、モールドボールベアリングを使用している。負荷側は 6309、反負荷側は 6308 で、これらは車体の振動による振動加速度 1~2 g に十分耐えうよう選定されている。

軸箱構造は、構造を簡単にするため、ハウジング形を採用している。

(3) 固定子コイルおよび回転子導体

固定子コイルには、完全 B 種絶縁が採用され、十分な耐湿耐熱特性をもっている。巻線方式は、90° 相差の二相巻線が施されている。主巻線はミジの底部に、補助巻線はミジの口部に収められており、両者の巻数比は 1:1.1 である。電線には、一重ガラス巻

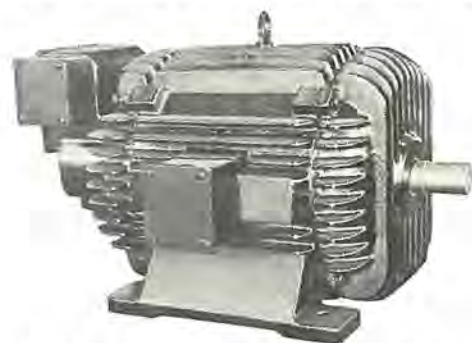


図 3.3 MH1041 形空気圧縮機駆動電動機外観

Fig. 3.3 Type MH1041 main air compressor driving motor.

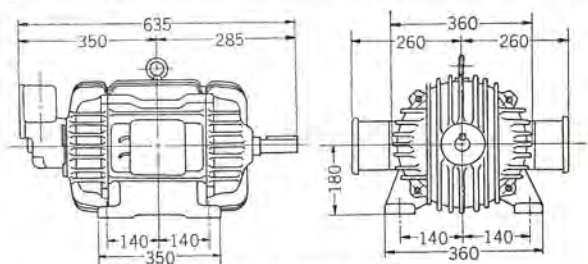


図 3.4 MH1041 形電動機外形寸法図

Fig. 3.4 Type MH1041 motor outline dimensions.

ポリエステル電線が使用されている。

回転子導体は、逆相磁界による抵抗の増大を防止する意味で、浅ミジのカゴ形を採用し、運転中の温度上昇と、車両の振動に対して、最も強じん(靱)な構造とするため、ダイカスト回転子とした。とくに、十分な起動トルクと、間欠起動に対する損失を軽減するため、高抵抗の特殊合金をダイカスト材料に選定、使用している。

(4) 端子構造

国鉄標準のスタッド方式を採用している。端子箱はフレームの両側に2個設けられ、一方は電源端子となるUおよびV端子が、他方は、コンデンサ端子となるUおよびY端子が引き出される。端子箱は鋼板溶接製の密封形端子箱が採用されている。

(5) 遠心力スイッチ

電動機反負荷側軸端には遠心力スイッチが装着されている。

遠心力スイッチは、回転部分と端子部分とよりなり、回転部分は回転速度の増大につれて、半径方向へ飛び出す分銅と、それに対抗するパネとよりなり、パネ圧の調整により、動作回転数を決定できる構造となっている。

端子部分はaとbおのの1対の接点が設けられ、与えられた動作回転数により接点の開閉が行なわれるようになっている。

遠心力スイッチにも端子箱が設けられている。端子方式は、スタッド方式で、電動機の端子箱に準ずる構造を採用している。b接点端子は、空気圧縮機のアンローダ操作用端子として使用されるが、a端子は使用されないで、単に補助リードの中継として使用されるのみである。

3.2 特性

電動機の諸特性は、次の条件を満足するよう設計された。

- (1) 起動トルクは174Vにおいて、全負荷トルクの50%以上であること。
- (2) 全負荷回転数は1,140 rpm以上であること。
- (3) 実用状態(1分運転、2分休止)での連続運転に十分耐えるものであること。
- (4) コンデンサの端子電圧は、最高電圧時で440V程度である

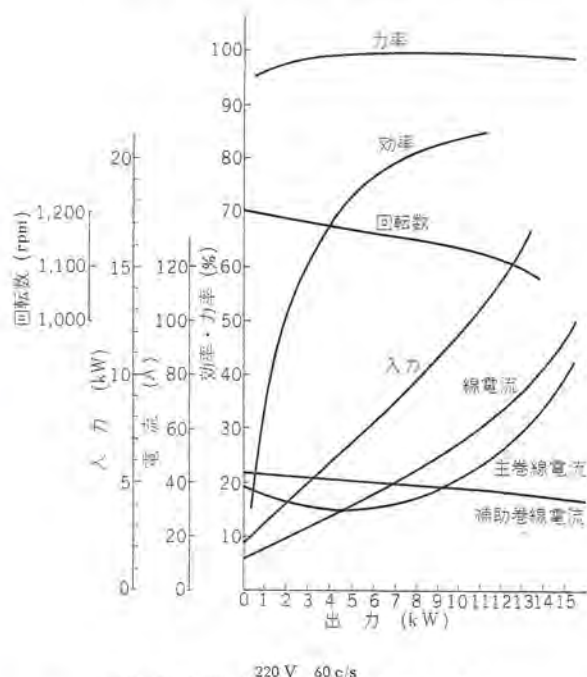


図 3.5 MH1041 形電動機負荷特性曲線

Fig. 3.5 Type MH1041 motor load characteristic curves.

こと。

これらの諸条件を満足するため、下記の点に留意した。

(1) 起動トルク

単相電動機に生じ易い起動トルクの脈動は、空気圧縮機用としては絶対避けなければならない。このため、ミジ数組み合わせおよび回転子ミジのスキュー角度を考慮し、さらに固定子コイルに正弦波巻線方式の採用などを行ない、トルク脈動の要因をできるだけ取り除くよう留意した。さらに、回転子導体の導電率と、断面積の適当な選定により、定格電圧時100%の起動トルクを発生させ、しかも、回転子導体自体の起動時における温度上昇も使用上十分満足できる値に押さえるようにした。

(2) スペリ

起動トルクを大きくするため高抵抗回転子を選ぶ場合、スペリの増加は避けられない。上述のように約100%起動トルクを発生して、しかも5%以内のスペリに押えるため、主巻線巻数、鉄心幅などを考慮した。この場合、全負荷特性は、この電動機の実力からみれば、軽負荷の範囲となり、主巻線電流と補助巻線電流との平衡関係は必ずしも満足のものではないが、実用上さしつかえなく、しかも、できるだけ平衡状態に接近させるよう巻線比、コンデンサ容量などを選定した。これらは、運転特性のみでなく、起動特性にも影響するが、いずれも与えられた条件を十分満足することができるように選定した。

図3.5は、この電動機の試験結果を示したものである。

これによれば、与えられた条件を十分満足する特性が得られた。とくに起動トルクは、定格電圧時102%、最低電圧時(174V)62%という好結果を得、しかも、回転子の回転角に対するトルクの脈動は1.8%(0.1 kg-m)以内という圧縮機駆動用としては理想的なトルク特性を得た。電圧の変化に対する起動トルクの変化は図3.6に示されている。全負荷時のスペリは3.7%で、回転数は1,155 rpmとなり、圧縮機定格回転数を十分満足している。30分定格における温度上昇は、主巻線コイルで37.5°C、補助巻線コイルは43°Cで問題ない値である。

3.3 実負荷試験結果

実際に空気圧縮機と組み合わせて、与えられた1分運転2分休止の定格で連続運転を行なった。この試験は、実用運転時に回転子導体の温度上昇が、どの程度になるかを検討して、安定運転性、とくに回転子導体の折損に対する疑念を一掃するため行なわれたものである。

固定子コイルは抵抗法で、回転子鉄心および導体は、表面に、測温塗料を塗布して、温度上昇を実測した。

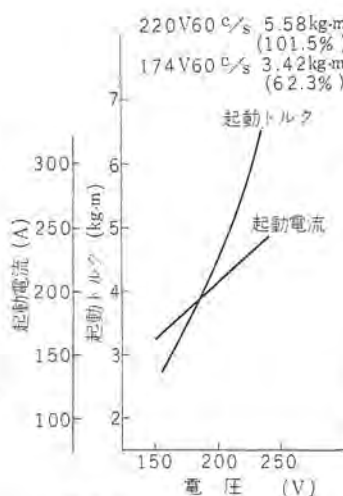


図 3.6 起動トルク曲線

Fig. 3.6 Starting torque curves.

図3.7は、実用試験結果を示すもので、回転子鉄心においては、温度上昇90~100°Cで、固定子コイルでは、主巻線コイル34.5°C補助巻線コイル58.0°Cで、非常に良好な結果を得た。

とくに、回転子の温度上昇が100°C前後というのは、導体強度面からみても最も好ましい状態であり、この電動機の高度の安定性が実証されたものといえよう。

列車用 400 Mc 帯指向性埋込み形アンテナ

喜連川 隆*・武市吉博**・水沢 丕雄**

阿 部 修***・大林 愛弘****

400 Mc Directional Flush Antennas for Trains

Research Laboratory Takashi KITSUREGAWA・Yoshihiro TAKEICHI・Motoo MIZUSAWA
Kamakura Works Itami factory Osamu ABE・Yoshihiro ŌBAYASHI

On the new Tōkaidō trunk line of the Japanese National Railways is used a multiplex radiotelephone system for the communication between the trains and the ground stations. For this specific purpose 400 Mc directional flush antennas has been brought to completion. The antenna is composed of an array of parasitic unipoles top-loaded with disks, and has a wide beam in the horizontal plane with facility of changeable to forward or backward direction of the train. The typical performance of the antenna is as follows. Frequency bands: 412.0~414.5 Mc for the transmitter, and 451.5~452.4 Mc for the receiver. Half-power beam width in the horizontal plane: above 60°. Front to back ratio: above 15dB. Gain: above 4 dB over a half-wave dipole. VSWR: below 1.5 on a 50 ohm coaxial feeder.

1. ま え が き

“夢の超特急”国鉄東海道新幹線においては、現東海道線と同様、業務通信および公衆通信に用いられる 400 Mc 帯列車無線電話装置が設けられるが、このたびこの装置に用いる列車用のアンテナを研究開発して良好な結果を得、その一部はすでにモデル線区において実際に用いられている⁽¹⁾。

現東海道線に対しては、垂直偏波水平面内無指向性の埋込み形アンテナである環状スロットアンテナ⁽²⁾⁽³⁾を開発したが、このたびの無線電話装置では、移動無線においては珍しい多重通信方式を採用しているので、アンテナとしては、多重反射によるエコノミクス軽減および定在波によるフェーディング防止のため、ならびそれに加えて利得のあるアンテナを得るために、指向性のある前方後方比の良いアンテナが必要となり、そのアンテナのビームを列車進行方向の前後に切り換えることのできるものが要求された。また高速で走行する列車の屋根に設けられるので、風圧、振動などに対する機械的強度を容易に満足させるためおよび美観上から、屋根の面からなにも突出しないいわゆる埋込み形アンテナであることが望まれた。

以上のような性能をもつアンテナとして、円板を用いて頂部に装荷した無給電素子を適当に配列したアレーを屋根の面まで埋め込んだ形式で、列車用アンテナとして電氣的にも機械的にもすぐれたアンテナを開発した。以下ここではこのアンテナの研究の概要と製品の性能とについて述べる。

2. 基 礎 設 計

今回の無線電話装置では多重通信方式を採用しているので、列車用のアンテナとしては従来のように水平面内無指向性のアンテナを用いると、前述のような理由でぐあいが悪いので、指向性のあるアンテナ、すなわち表 2.1 に示すような電氣的必要条件を満たすアンテナが要求された。また列車の屋根に設けられるため、占有空間、重量などに制限を受けると同時に、列車が走行中の風圧、振動などに対する機械的強度を容易に満足させるため、屋根の面か

表 2.1 新幹線列車無線列車用 アンテナ の電氣的必要条件

周 波 数 帯	送信用 412.0~414.5 Mc 受信用 451.5~452.4 Mc
偏 波	垂 直
水平面内電力半値幅	60° 以上
前 方 後 方 比	正面 0° 方向に対し 180°±45° 方向で -15dB 以下
利 得	半波長ダイポールに対して 4dB 以上
入力電圧定在波比	50 オーム同軸給電線に対して 1.5 以下
指 向 性 切 換 え	指定信号を受けて前方または後方に切り換えること

らなにも突出しない埋込み形構造であることが望まれた。

以上のような必要条件を満足させるために、電氣的にとくに問題となったことは第 1 に列車は屈曲した線路を走行するので、ある程度水平面内ビーム幅が広くその上利得のあるもの、すなわち垂直面内のビーム幅は狭いものであること、第 2 にそのようなビームを前後に切り換える方法、第 3 にそのような放射パターン of アンテナを埋込み形で得る方法、第 4 にインピーダンス整合方法などである。以下それらについて述べる。

2.1 指向性の合成

前述のような、水平面内のビーム幅が広く、垂直面内のビーム幅の狭いアンテナを得るには、たとえば八木アンテナにおけるような無給電素子を適当に配列したアレーによる方法がもっとも簡単な構造で、容易に要求のパターンを得る方法である。その原理を次に述べる。なお詳細寸法は実験的に決定した。

図 2.1 (a)~(c) において○を導波素子、●を反射素子とする。図 2.1 (a) のように導波素子を一直線に並べていくと利得は上がっていくが、ビーム幅は水平、垂直とも狭くなってゆき、水平面内電力半値幅は要求の 60° より狭くなってゆく。そこで次に図 2.1 (b) のように導波素子を斜めに 2 列並べ、その開き角 α を大きくしてゆくと、垂直面内のビーム幅が狭いまま、水平面内のビーム幅を広げてゆくことができる。開き角 α を大きくしすぎると図のようにビームが割れてくるが、そのようなときは図 2.1 (c) のようにまん中にもう 1 列導波素子を追加してビームの割れを防ぐことができる。以上のようにして垂直面内のビーム幅が狭くて、水平面内のビーム幅の広いアレーアンテナを構成することができる。

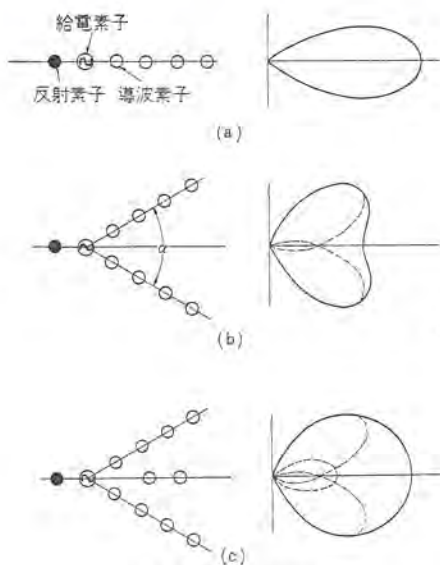


図2.1 ビーム成形法
Fig. 2.1 Method of beam shaping.

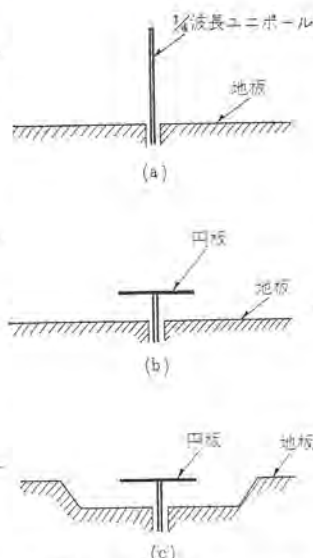


図2.3 埋込み形 アレーアンテナの
エレメント
Fig. 2.3 Elements of a flush
array antenna.

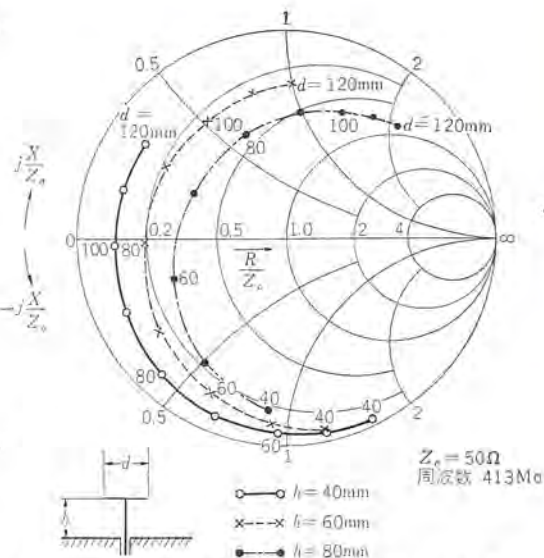


図2.4 円板装荷ユニポールのインピーダンス特性
Fig. 2.4 Impedance characteristic of unipoles
top-loaded with disks.

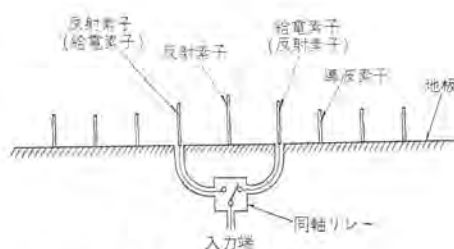


図2.2 ビーム切替方式
Fig. 2.2 Method of beam switching.

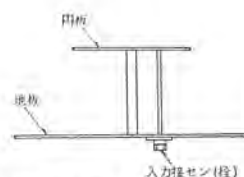


図2.5 給電素子の構造
Fig. 2.5 Structure of a fed element.

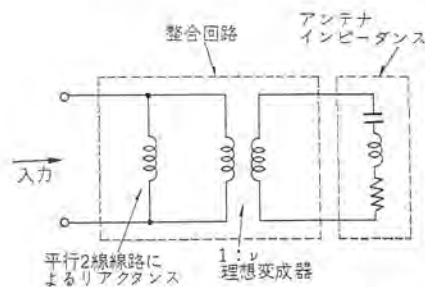


図2.6 給電素子の等価回路
Fig. 2.6 Equivalent circuit for a fed
element.

2.2 ビーム切替方式

アンテナに指向性をもたせると、ビームを前後2方向に切り換え、列車から近いほうの基地局方向に向けてやらなければならない。そのビームを切り換える方法は、無給電素子を切り換える方法、給電素子を切り換える方法など種々考えられたが、構造面、性能面での利害得失を検討した結果、図2.2に示すように、反射素子を中心に前後に対称に素子を設け同軸リレーを使って給電素子を切り換えるようにした。したがって遠隔操作で、通信を瞬断することなく、瞬時にビームを切り換えることができる。

この切替方式の原理は以下のとおりである。同軸リレーによってどちらか一方の給電素子にのみ給電し、給電しない側は適当な長さのケーブルで装荷されるようにし反射素子として働くようにする。したがって給電された側の導波素子のみ働き、反対側の導波素子は反射素子でさえぎられて働かず、ビームは給電された側を向くこととなる。

2.3 埋込み形式

通常 VHF, UHF 帯のアレーの素子としては図2.3 (a) のような 1/4 波長ユニポールが用いられるが、ここで 1/4 波長ユニポールを用いたのでは埋込み形とすることができないので、図2.3 (b) のように頂部円板装荷を施して背を低くし、それを図2.3 (c) のように埋め込んだ形式を採用した。図2.3 (b) に示すようにユニポールの背を低くしたときでも頂部円板装荷によって、図2.3 (a) の場合と同様な放射パターンおよびインピーダンス特性を得ることができる。すなわち、ある高さのユニポールで適当な大きさの円板による

装荷を行なうと直列共振するが、これよりも小さい円板による装荷を行なったときこの素子は容量性となり導波素子として働き、大きい円板のときこの素子は誘導性となり反射素子として働かすことができる。そのインピーダンス特性の一例を図2.4に示す。また十分背の低い円板装荷ユニポールであれば図2.3 (c) のように地盤の下に埋め込むことができ、そのへりの形を工夫すればその影響をほとんどなくすることができる。ただし円板装荷ユニポールの背を低くしすぎると相互インピーダンスが小さくなり、無給電素子として働かすことがむずかしくなると同時に、放射抵抗が下がりインピーダンス整合が困難となる。

2.4 インピーダンス整合法

インピーダンス整合は構造が簡単でとくにアンテナ外部に整合回路を設けなくとも整合がとれるように工夫した。その方法は図2.5に示すように、頂部円板装荷を施した折り返しユニポールアンテナで、この部分の等価回路は図2.6のようにかくことができる。2本の線状導体によって形成される 1:ν の理想変成器、および先端短絡の平行2線線路によるリアクタンスが、アンテナの放射インピーダンスと入力端との間にそう入されることになる。この理想変成器がそう入されることによって、図2.4に示したような、素子に円板を装荷し背を低くしたことによる非常に低い放射抵抗をステップアップすることができる。ここでνは給電側線状導体に対する電流配分率、すなわち2本の線状導体の径比によって決まる値である。一方、放射インピーダンスは装荷円板の大きさを変えることによってリアクタンス分を容量性の値から誘導性の値まで任意の値にするこ

とができる。

したがって整合の方法は装荷円板の大きさを変えることによって、入力端からみたときのリアクタンス分がゼロになるようにし、2本の線状導体の径比を適当に変えることによって放射抵抗を50オームに整合することができる。

3. 構造

以上のような基礎的考察を基にして設計試作したアンテナの構造を図3.1に示す。アンテナの大きさは送信用および受信用とも前後方向の長さ約1.6m、横幅約1.2m、高さ80mmで薄形構造となっている。この高さはユニポールの高さとヘリの高さとのかね合いから決り、前述のように高さが低いとユニポールの性能が悪くなり、高すぎると埋め込んだことによるヘリの影響が大きくなる。そこでユニポールの高さは60mmに選んである。

アンテナ上面はガラス繊維強化ポリエステル樹脂板で、屋根の面とまったく同じ形でおおわれており、列車に取り付けた場合でも流体力学的に決められた列車形状を、まったく、そのなうことがない。

放射素子の配列は2.1節および2.2節で述べたとおりで、中央の反射素子は前方後方比をよくするため3素子にしている。給電素子を2個設け、通常は必要なビームの向きに応じて同軸リレーにより、どちらか一方にのみ給電し、他の一方の給電素子は適当な長さのケーブルで装荷されて、反射素子として働くようにしてある。またなんらかの故障が起こり、同軸リレーが働かないとき、両方の給電素子に給電されビームは前後2方向を向くようになる。なお車両の構造上、同軸リレーはアンテナ本体と離して適当なところに置くことができるようにしてある。

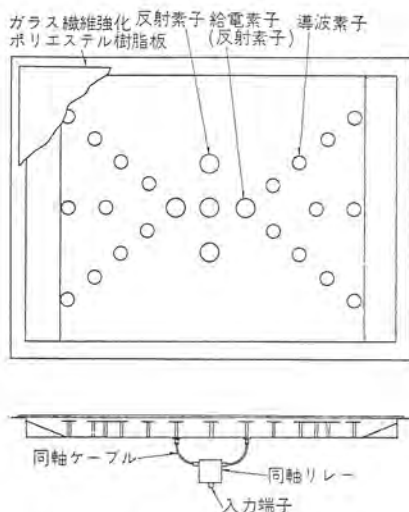


図3.1 アンテナ構造
Fig. 3.1 Structure of the antenna.

4. 試作品の試験結果

以上述べたような構造で試作したアンテナの試験結果を以下に示す。

4.1 インピーダンス整合

図4.1のような車両の屋根の実物大模型の上に試作アンテナを取り付け2.2節に述べたような方法を用いて整合をとった結果を図4.2に示す。図からわかるとおり入力電圧定在波比は送信用、受信用とも、その必要な周波数帯域で1.2以下に入っており要求の1.5以下を十分満足している。

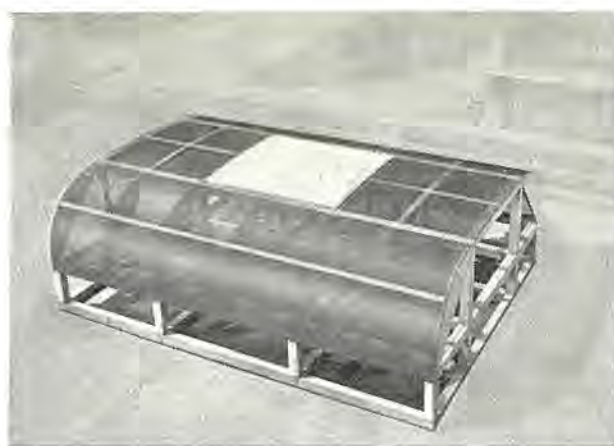


図4.1 インピーダンス測定用の列車の屋根の擬実物大模型
Fig. 4.1 Full-scale mock-up of the roof of the rolling stock for impedance measurements.

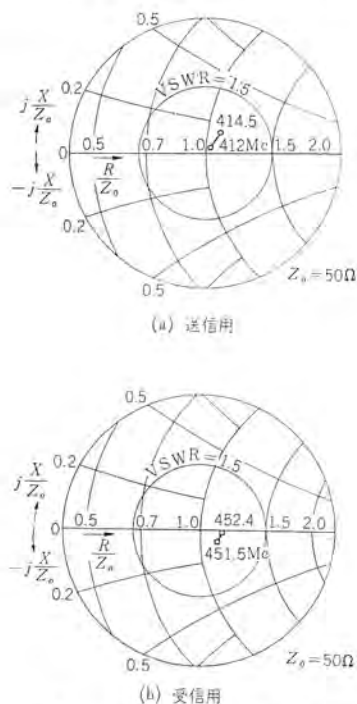
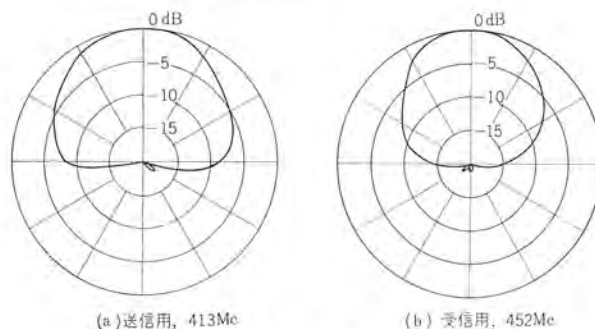


図4.2 アンテナインピーダンス 整合結果
Fig. 4.2 Results of the impedance matching of the antenna.



(a) 送信用, 413Mc (b) 受信用, 452Mc

図4.3 水平面内放射パターン測定結果
Fig. 4.3 Measured patterns in the horizontal plane of the antenna.

4.2 放射パターンおよび利得

送信用および受信用のアンテナにおいて各周波数帯のほぼ中心周波数413Mcおよび452Mcにおいて、水平面内および垂直面内の放射パターンおよび利得を測定した。放射パターンの測定結果を図4.3に示してある。利得は半波長ダイポールとの比較により測

定した。その結果送信用 413 Mc において半波長 ダイポール に対し
て 5.0 dB, 受信用 452 Mc では 5.2 dB が得られ, 要求の 4 dB を
十分満足している。

5. 製品およびその性能

以上の試作研究に基づき新幹線列車用の製品を完成した。図5.1
に製品の写真を示す。この図のように アンテナ は薄形で, 列車の
屋根と同一面に取り付け得, 完全埋込み形とすることができる。
このたびの列車には1編成あたり, 送信用3台, 受信用1台, 計
4台が設置される。

これら送信用および受信用の アンテナ の主要性能は次のとおり
である。

- | | |
|---------|--|
| (1) 周波数 | 送信用 412.0~414.5 Mc
受信用 451.5~452.4 Mc |
| (2) 偏 波 | 垂 直 |



図5.1 400 Mc 列車指向性埋込み形 アンテナ 外観
Fig. 5.1 Exterior view of a 400 Mc directional
flush antenna for trains.

- | | |
|---------------|--|
| (3) 水平面内電力半値幅 | 60° 以上 |
| (4) 前方後方比 | 正面 0° 方向に対し 180°±45° 方向
で-15 dB 以下 |
| (5) 利 得 | 半波長 ダイポール に対し 4 dB 以上 |
| (6) 入力電圧定在波比 | 50 オーム 同軸給電線に対して1.5以
下 |
| (7) 指向性切換え | 直流 48 V の断続による方向指定
信号を受けて前方または後方に切
り換わる。 |
| (8) 重 量 | 約 30 kg |
| (9) 耐風速 | 瞬間最大風速 300 km/h |

6. む す び

以上新幹線列車無線電話における列車用の アンテナ の研究の概
要および製品について述べたが, 電氣的にも機械的にもすぐれた
アンテナ を完成することができた。

絶えずご指導ごべんたつを賜わった日本国有鉄道関係各位に深
く謝意を表する。 (昭 39-1-20 受付)

参 考 文 献

- (1) 北垣, 阿部, 奥村, 笹田, 水沢:「三菱電機技報」37, 1036.
(昭. 38)
- (2) 喜連川, 武市, 水沢: 電学連大 1157. (昭. 35-7)
- (3) 喜連川, 武市, 水沢, 奥村:「三菱電機」35, 1195. (昭. 36)

東海道新幹線 列車無線地上系設備

中村 敏行*・石原 嘉夫*・佐野定治郎*・遠藤 由松*
北垣 成一**・阿部 修**・奥村 徹***

Radio Telephone Equipment of Fixed Station for New Tōkaidō Trunk Line

Japanese National Railways

Toshiyuki NAKAMURA・Yoshio ISHIHARA

Mitsubishi Electric Corporation,

Sadajirō SANO・Yoshimatsu ENDŌ

Kamakura Works, Itami Factory

Seiichi KITAGAKI・Osamu ABE・Tōru OKUMURA

Herein are reported radio and carrier telephone equipment in the base stations, control stations and approach circuits for electric cars running on the new Tōkaidō trunk line. The base stations of the new trunk line are installed in twenty seven divided zones between Tōkyō and Osaka so as to have a small zone system. In the base station are provided east and west direction antennas, transmitters, receivers and carrier terminal equipment, being placed under supervisory control from assigned control stations. Several base stations are controlled from control stations. The channels are concentrated to the control stations through approach circuits and connections are made there to an central commander in Tōkyō or an exchange board of J.N.R. and a public exchange board of N.T.T. Between the base station and control station, conversion repeaters are set up in the railway stations, and in the long distance sections of carrier cable, repeaters are installed.

1. ま え が き

東海道新幹線の全旅客電車で運転指令回線および業務、公衆電話回線を装備すべく、目下全線にわたって軌道、電力系工事などと並行して列車無線電話装置の工事が進んでいる。

先に報告⁽¹⁾したようにわれわれは小田原-綾瀬間モデル線区間および試作電車用列車無線電話装置を完成し、実用化試験を続けていたが、方式、機器ともに所期の機能を十分発揮することがわかったので、この方式による地上系設備、トンネル対策設備および量産車用設備の製作を急いでいたが、このほど基地局、統制局およびアプローチ設備がほぼ完了した。ここにこれら地上系設備の概要を報告する次第である。

なおトンネル対策設備、量産車用設備および全系統の総合試験結果などについては、それぞれ完成の暁に順次ご報告する予定であるが、移動局用空中線は本号の別記事に詳細を報告した。

2. 地上設備の概要⁽²⁾

東海道新幹線の列車無線方式については、そのあらましを先に報告⁽¹⁾したので、ここではその要点を交えて地上系設備の概要を述べる。

2.1 総合接続系統

今回設備するのは運転指令回線用のみであるが、将来、車内業務電話用および公衆電話用も設備する計画で、これらの総合接続系統は図2.1のとおりである。

(1) 東京-大阪間を新幹線に沿って27のゾーンに分割し、1基地局あたり平均20kmの小ゾーンシステムを採用した。これは通話収容能力を増

すこと、小送信電力でかつ電波を有効に使用すること、全線の99.9%以上で通話可能とすることなどがおもな理由であって、現東海道線列車無線の場合に比較すると基地局数は約2倍に増加している。

(2) 各基地局はアプローチ多重回線によって東京、静岡、名古屋および大阪の4統制局に接続する。

(3) 運転指令回線は上り、下り列車に対応してCH1および2が使用されるが、機器障害時あるいは非常時には逆の使用が可能で、予備回線としての機能も有する。これら運転指令回線は所属統制局で統制局ごとに上り、下り用各1通話路に統合接続され、細心同軸ケーブル回線によって東京指令統制局に導かれ、指令親電話機用交換機を経て運転指令台に接続される。運転指令台から

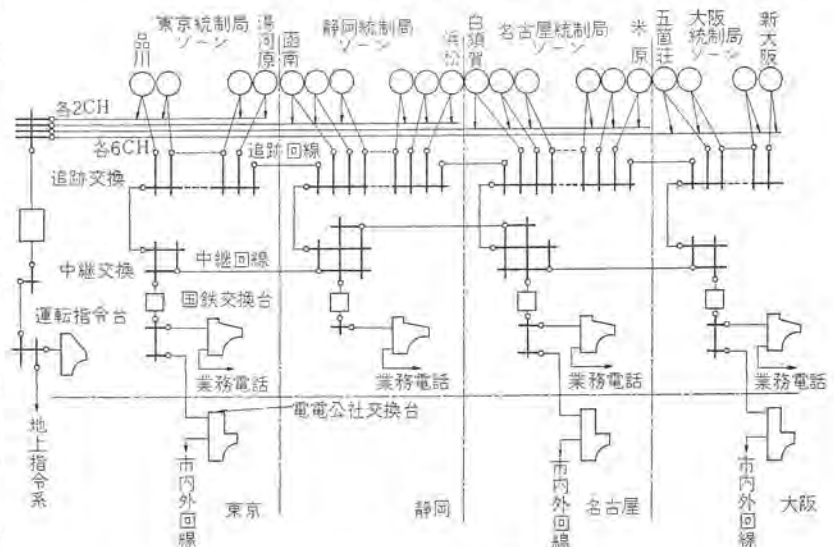


図2.1 総合接続系統図
Fig. 2.1 Connection diagram of railway telephone system.

は列車選択信号による個別呼出し、統制局対応区間呼出し、全線一斉呼出しなどが行なえる。区間呼出し、一斉呼出しの場合には複数の移動局から同じゾーン内で同一周波数の電波を放射せぬように移動局側のみはプレストック方式となるが、個別呼びの場合には両方向同時送受話ができる。

(4) 業務、公衆電話回線は CH 3~8 を使用し、所属統制局で交換制御装置を経てそれぞれ国鉄業務交換台と電電公社加入者交換台に導かれ、手動交換で業務電話または市内外回線に接続される。ただし静岡統制局には電電公社交換台はない。

(5) 通話を確保するために閉塞機能は設けてある。すなわち、運転指令回線では CH ごとに所属する統制局ならびにその両側に隣接する統制局の 1 ゾーンは通話中の扱いとし、それ以外では重複して通話を起こすことが可能である。業務公衆回線では通話中の基地局の両隣のおおの数基地局を閉塞する。その範囲は最低通話時間 9 分を確保しうるように選ばれる。閉塞区間が列車の進行に従って移動し、相互に閉塞ゾーンに入った場合は、その近接度を検知し混信妨害が起る前に切断予報を与え、さらに必要に応じて強制切断する。

(6) 列車の進行に応じて移動する呼びの転移は追跡交換で検知し、閉塞の衝突による切断がない限り通話は続けられる。統制局間には細心同軸ケーブル搬送による追跡回線および中継回線を設け、呼びならびに通話の移動を追跡する。

2.2 基地局配置と周波数割当

基地局の置局計画にあたっては、全線にわたる綿密な電波伝搬試験を実施して、弱電界地帯を生じないこと、トンネル対策に有利な地点であること、過大受信入力を受けるためにある程度線路から離れていること、工事の容易な地点であることなどを主眼として選定した。

基地局の送信は SS-PM 方式 8 通話路多重電波で常時送出方式である。その占有帯域幅は約 ± 110 kc となるので隣接基地局周波数の間隔は 300 kc とされ、原則として 2 波の繰返し配置とすることになったが、前述のように小ゾーンシステムを採用したので一つとびの基地局間にオーバーラップの避けられない地域があり、このような基地局には 3 波が割り当てられた。図 2.2 は大阪、名古屋統制局管内の基地局配置を示すが、基地局名に添え書きした A, B, C は次の 3 波の配置を表わしている。

F_A 451.65 Mc

F_B 451.95 Mc

F_C 452.25 Mc

2.3 地上伝送路の構成

基地局と統制局間を接続する地上伝送路は、東京—大阪間の細心同軸ケーブル搬送回線を基幹とし、それを使用できない範囲にケーブル搬送回線が施設されている。大阪、名古屋統制局管内の置局ならびに地上伝送路の構成を図 2.2 に示す。

(1) 基地局から最寄の駅(変換局)または統制局間に 9 CH

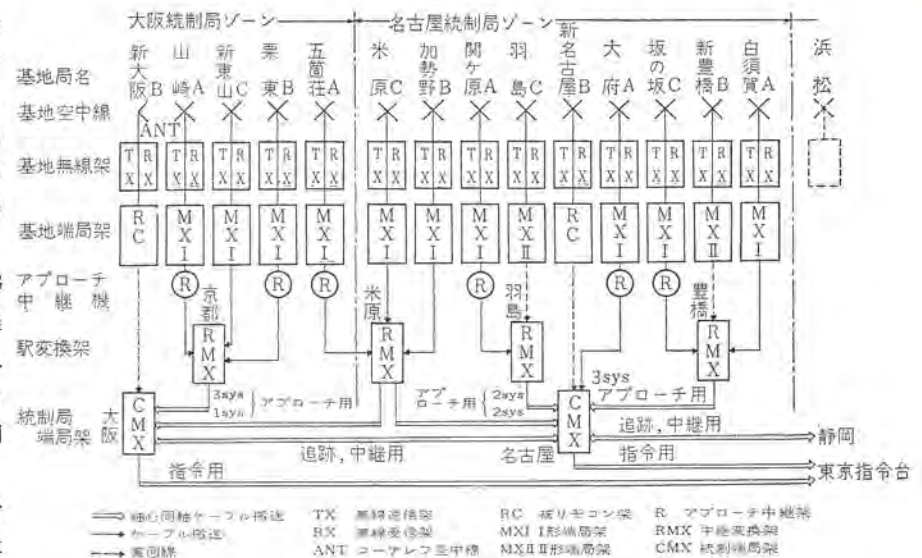


図 2.2 搬送回線構成図
Fig. 2.2 Connection diagram of Osaka and Nagoya zone.

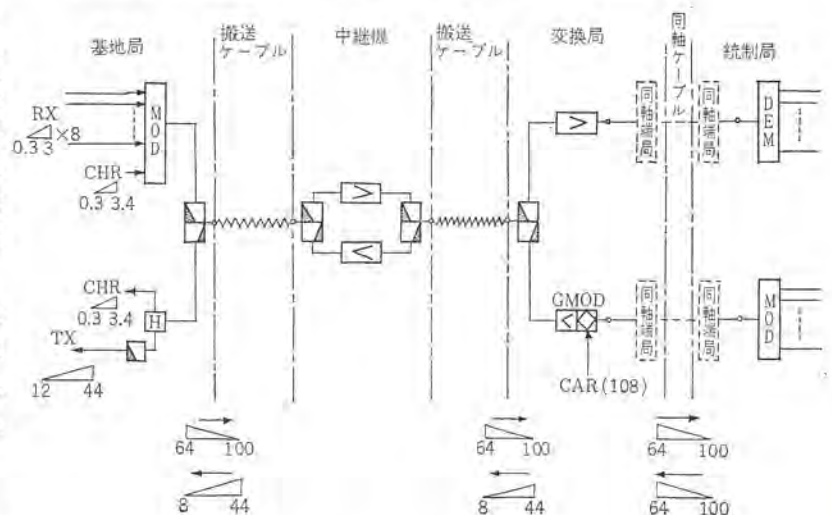


図 2.3 地上伝送路系統図
Fig. 2.3 Block diagram of approach network.

のケーブル搬送回線を構成し、CH 2~CH 9 を列車無線中継用に、CH 1 (CHR と称する) を統制局—基地局間の打ち合わせおよびリモコンに使用する。変換局—統制局間には同軸ケーブル搬送回線を中継回線とする。伝送路の系統を図 2.3 に示す。

(2) 同軸ケーブル搬送回線の伝送周波数は 64~100 kc の 4 線式で変換局において統制局→基地局方向は 8~44 kc の低群に変換し、基地局においては CHR (8~12 kc) を HPF で除去のち基地送信機から移動局に送出される。基地局における対移動受信は単一通話路 8 CH であるから、これに CHR を加えて 64~100 kc の高群に配列し、2 線式でケーブル搬送回線により変換局へ、さらに同軸ケーブル搬送回線により統制局へ伝送する。伝送周波数配置を図 2.3 に示す。

(3) 図 2.2 において新大阪、新名古屋局は統制局と同一位置にあるので、統制局→基地局方向は統制局において多重化した信号をそのまま基地送信機へ、また基地局→統制局方向は基地受信の単一通話路音声帯域信号をそのまま統制局設備へ接続する。したがって基地局における搬送電話端局は実質的に遠方監視制御機能のみで構成されている。

(4) 羽島、新豊橋局は駅(変換局)と同一位置に基地局があ

るのでケーブル搬送は使用せず、直接に同軸ケーブル搬送回線に接続する周波数配置の変復調機構で構成され、この形をⅡ形、他の形をⅠ形と名付けた。

(5) 基地局と変換局または統制局間の距離が遠い場合には線路損失を補償するために13.5 km以下の適当な位置にアプローチ用中継機を設備する。この中継機は同軸ケーブル搬送回線用中継機と同一のハットに収容している。

(6) 地上伝送路に与えられた雑音量は 3×10^4 pW (S/N 換算 45 dB, 圧伸器改善を含まず) である。

3. 基地局設備

3.1 構成

基地局設備は空中線、送信架、受信架および搬送電話端局架から構成される。このうち空中線は新大阪局および特殊なトンネル対策局以外は上りおよび下り方向に各1台が設備されるが、われわれは列車無線の用途に最も適した高利得コーナリフレクタ空中線⁽³⁾を開発、設備した。以下に送信架、受信架および端局架の概要を述べる。

3.2 送信架

3.2.1 構成と定格

送信架にはSS-PM8 CH 多重方式送信機2台と空中線共用装置を収容している。架寸法は幅 520 mm, 奥行 225 mm, 高さ 2,350 mm で、図 3.1 はその外観写真である。架は端子盤など特殊な部分を除いてプラグイン方式の実装で、すべて前面から保守、点検ができる。各送信機の主要定格は下記のとおりである。

- | | |
|-----------|-------------------------------|
| (1) 通信方式 | SS-PM 多重方式 |
| (2) 送信周波数 | 451.65, 451.95, 452.25 Mc の1波 |
| (3) 電波形式 | F ₃ |
| (4) 送信出力 | 40 W |

- | | |
|-----------------|--|
| (5) 周波数安定度 | 温度 0~40°C, 電圧 $\pm 5\%$ の範囲内で $\pm 1 \times 10^{-5}$ 以内 |
| (6) 周波数通倍数 | 36 |
| (7) 変調周波数範囲 | 12~44 kc |
| (8) 標準変調度 | 0.7 ヲジアン/CH (peak) |
| (9) 変調入力インピーダンス | $75 \Omega \pm 30\%$ (不平衡) |
| (10) 標準変調入力 | -25 dBm/CH |
| (11) 変調かい率 | 21 kc, 2 ヲジアン (peak) 変調において 2 次 -45 dB 以下,
14 kc, 2 ヲジアン (peak) 変調において 3 次 -50 dB 以下, |
| (12) 変調周波数特性 | 21 kc 基準, 12~44 kc で ± 0.5 dB 以内 |
| (13) 出力インピーダンス | 標準 50Ω |
| (14) スプリアス放射 | -40 dB 以下 |
| (15) 電 源 | AC 200 V $\pm 5\%$, 50 または 60 c/s, 単相 |
| (16) 電力消費量 | 送信時 0.6 kVA 以下
待受時 0.4 kVA 以下 |

3.2.2 主要な機能

送信機の発振、変調、通倍部は先に報告⁽¹⁾した移動局送信機のそれらとほぼ同一の設計である。これにビデオ増幅器と、板極管 4F16R を使用した終段電力増幅器が追加されている。図 3.2 にその系統を示す。

(1) 電力増幅空洞は箱形とし、工作が容易でかつ経済的な設計とした。また板極管の冷却も簡単で、空洞内部あるいは電極接触部にじんあいなどが付着して絶縁、接触不良を生ずるようなことも少ない。図 3.3 はその外観構造を示す。

(2) 送信機には送信出力監視⁽⁴⁾、終段管陽極過電流監視およ

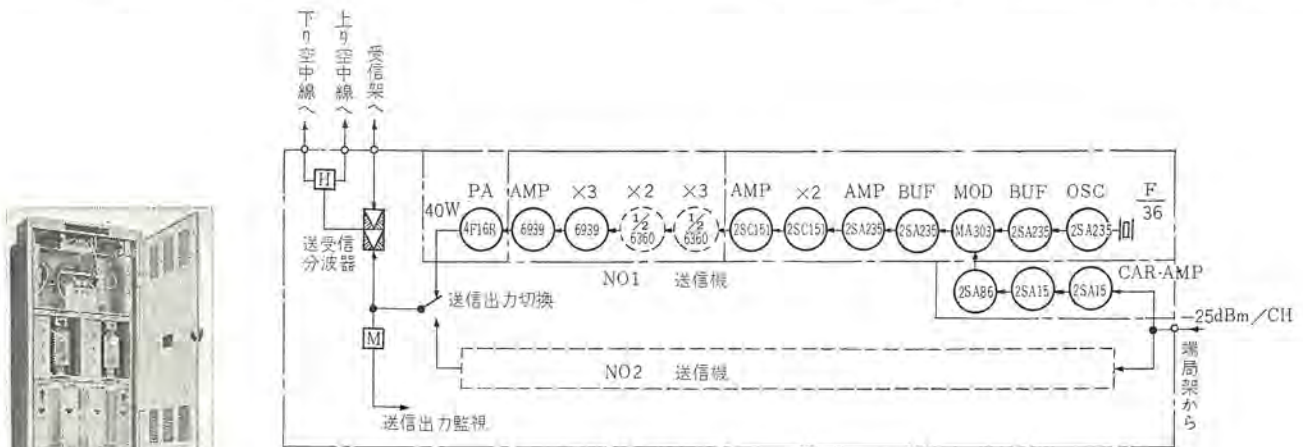


図 3.2 送信架系統図
Fig. 3.2 Block diagram of transmitter of base station.

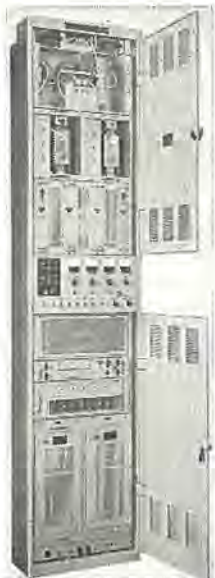


図 3.1 基地局送信架
Fig. 3.1 Transmitter of base station.



図 3.3 増幅空洞
Fig. 3.3 Cavity of amplifier.

び冷却風量監視があって、それぞれが障害を検知したとき非動作機に自動切換えが行なわれる。非動作機の終段は正常高圧の約10%に降圧されていて真空管の寿命短縮を防いでいる。送信機1号、2号はいずれでも現用機指定ができ、局操または遠操で動作、障害の表示、切換、復旧および停止の制御ができる。

(3) 送受共用装置は半同軸形送信および受信帯域通過ロハ器とT分岐から構成されるが、送受信周波数の組み合わせによって送信スプリアスが特定受信機の帯域内に生ずる場合があるので、これを防止するために共用回路にスプリアス抑圧用帯域阻止ロハ器を設けている。送信出力を上りおよび下り方向空中線に分配するのは方向性結合器⁽⁵⁾によっているが、基地局によって出力の分配比を1対1または1対3としてある。

3.3 受信架

3.3.1 構成と定格

受信架には単一通話路方式変信機が8台収容される。架寸法は幅520mm、奥行225mm、高さ2,350mmで、図3.4はその外観写真である。送信架と同様にラライン方式実装で、前面から保守点検ができる。各受信機は図3.5のように奇数番目と偶数番目のCH、各4台が1群の周波数配置となっているので、これら群を分離する群分波器、4台に共通な高周波増幅器を経て4分配器で分配される。各受信機の主要定格は下記のとおりである。

- | | |
|-------------|--|
| (1) 通信方式 | 単一通話路 PM 方式 |
| (2) 受信周波数 | 合計8波 ⁽¹⁾ |
| (3) 受信方式 | 2重スーパーヘテロダイン方式 |
| (4) 局発周波数 | 第1 ($f_R + 10.7$) Mc/12
第2 10.245 Mc |
| (5) 局発周波数偏差 | 温度 0~40°C、電源 $\pm 5\%$ の範囲において $\pm 1 \times 10^{-6}$ 以内 |
| (6) 中間周波数 | 第1 10.7 Mc |

- | | |
|-----------------|---|
| (7) 受信帯域幅 | 6 dB 低下で 24 kc 以上 |
| (8) 選択度 | 70 dB 低下で 60 kc 以内 |
| (9) 感 度 | 20 dB 雑音抑圧受信入力 (開放) は 8 dB (μV) 以下 |
| (10) 相互変調 | 50 kc, 100 kc 離調で 65 dB (μV) 以上 |
| (11) 感度抑圧効果 | 50 kc 離調で 80 dB (μV) 以上 |
| (12) スプリアス 感度 | 70 dB 以上 |
| (13) 入力 インピーダンス | 標準 50 Ω |
| (14) 出力 インピーダンス | 600 $\Omega \pm 30\%$ (平衡) |
| (15) 標準出力 | +4 dBm |
| (16) 周波数特性 | 1 kc 基準で
0.3~1 kc +1, -3 dB 以内
1~4.15 kc ± 1 dB 以内 |
| (17) ツイ (歪) 率 | 1 kc, 70 % 変調, 受信入力 40 dBm (μV), 出力 +4 dBm において
-26 dB 以下 |
| (18) 電 源 | AC 200 V $\pm 5\%$, 50/60 c/s, 単相 |
| (19) 電力消費量 | 待受時 0.6 kVA 以下 (8 CH 合計) |

3.3.2 主要機能

移動局の送信波は約2Mc離れた高、低2群におおの4波が配置されている。この配置はトンネル対策用中継機、基地受信機などにおける相互変調による干渉妨害をさけるように考えられたものであるが、3次ヒズミがあった場合、群間相互変調によって干渉の生ずることがある。これを防ぐために受信架の入力端において急しゅんな選択特性の帯域ロハ器によって2群を分波する機能と、基地局指定信号を選択受信する機能が列車無線設備として特別に要求されたものである。図3.5にその系統を示す。



図 3.4 基地局
受信架
Fig. 3.4 Receiver of
base station.

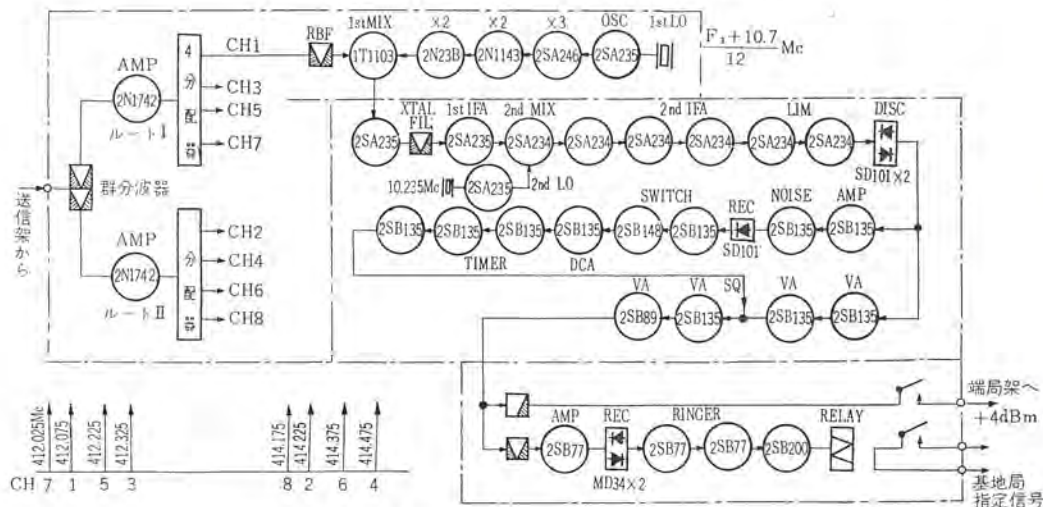


図 3.5 受信架系統図
Fig. 3.5 Block diagram of receiver of base station.



図 3.6 2 Mc 群分波器および
4 分配器
Fig. 3.6 Group diplexer of
receiver and divider for
4 receivers.

(1) 群分波器は 2 Mc 離調で 20 dB 以上の減衰量を与え、また通過帯域内損失を 1 dB 以下とするために直径約 200 mm の半同軸形 2 段帯域ロハ器を用いた。その内面は Au メッキで、かつパフ仕上げで高 Q としている。図 3.6 右側にその外観を示す。

(2) 各ルートに共通な UHF 増幅器は利得約 10 dB で、4 台の受信機に受信入力分配するための同軸分割形 4 分配器⁽⁶⁾の損失を補償しているが、この結果この前置増幅器入力端における 20 dB 雑音抑圧感度も受信部本体入力端におけると同様に 8 dB (μV) が得られている。図 3.6 左側は 4 分配器である。

(3) 受信機は全固体化されていて、小形、軽量であり、消費電力量もきわめてわずかである。

(4) 移動局からの発呼あるいは応答に際して各通話路の帯域外に 6 波の基地局指定信号を設け、6C₁ の信号で基地局指定を行うことは先に述べた⁽¹⁾が、電波のオーバーチあるいは相互変調などによる誤着信を避けるために、各基地局ごとに通話路の基地局指定信号をずらす配置を採用した。その配置は表 3.1 に示すとおりで、これによってたとえオーバーチなどで受信機のスケッチが開いた場合にも、所定の基地指定信号を受信しない限り端局架への音声回路および信号着信回路は閉じられることがない。

3.4 搬送電話端局装置

3.4.1 構成

基地局の搬送電話端局装置は先に述べたように端局架と被遠方

表 3.1 基地指定信号表

ゾーン別		A ₁	B ₁	C ₁	A ₂	B ₂	C ₂
指令系	CH 1	a	b	c	d	e	f
	CH 2	b	c	d	e	f	a
業務・公衆系	CH 3	c	d	e	f	a	b
	CH 4	d	e	f	a	b	c
	CH 5	e	f	a	b	c	d
	CH 6	f	a	b	c	d	e
	CH 7	f	a	b	c	d	e
	CH 8	e	f	a	b	c	d

記号	a	b	c	d	e	f
周波数 (c/s)	3,400	3,550	3,700	3,850	4,000	4,150



図 3.7 基地局端局架
Fig. 3.7 Terminal bay of base station.

監視制御架があり、端局架はケーブル搬送に接続する場合 I 形、同軸ケーブル搬送に直接接続する場合 II 形となる。また端局架には被遠方監視制御回路を同一架内に実装している。図 3.7 は I 形端局架の外観で、幅 520 mm、奥行 225 mm、高さ 2,350 mm である。以下に I 形端局架の概要について述べる。図 3.8 はその系統図である。

3.4.2 I 形端局架の中継回路

受信回路は線路等価増幅部、打ち合わせ復調部および基地送信架への信号分岐部から構成される。

(1) 線路等価増幅器は搬送ケーブルの線路損失および周波数特性を補償するもので、9 km を標準として 1.5 km おきに上下 3 段階の補償切換えができるようにしてあり、また季節変化を補うために 44 kc パイロットの受信レベル監視による自動利得制御を行なっている。

(2) 基地送信架へは統制局から送られた 8~44 kc 信号のうち CHR (打ち合わせ回線, 8~12 kc) を高域ロハ器で除去したのち規定レベルで送出する。

(3) 打ち合わせ復調部は CHR の通話路復調を行ない、打ち合わせ電話機に +4 dBm の出力を与えると同時に遠方監視制御信号器に 3,400 c/s 信号を与える。またこれと同時に統制局から伝送された回線監視信号 3,650 c/s は帯域ロハ器を経て打ち合わせ送信回路に結合され、統制局方向に折り返えされて回線監視に使用される。送信回路は通話路変調部と打ち合わせ送信部とからなる。

(1) 受信機から到来する 8 通話路の音声信号および基地局指定信号着信は通話路変調部において SS 方式 8 通話路多重信号に変換され 64~96 kc 帯域に配列されて統制局方向に伝送される。基地局指定信号は受信機信号受信部の着信を直流中継し、帯域外 3,400 c/s 信号として統制局へ伝送する。

(2) 打ち合わせ送信回路は打ち合わせ音声に遠方監視制御信号 3,400 c/s および折返し回線監視信号 3,650 c/s を帯域外信号として添加し、96~100 kc 帯域で統制局へ伝送する。

端局回路の主要定格は下記のとおりである。

(1) 通話路変換部

- a. 通話路伝送帯域 0.3~3.7 kc
- b. 音声通話伝送帯域 0.3~3.0 kc

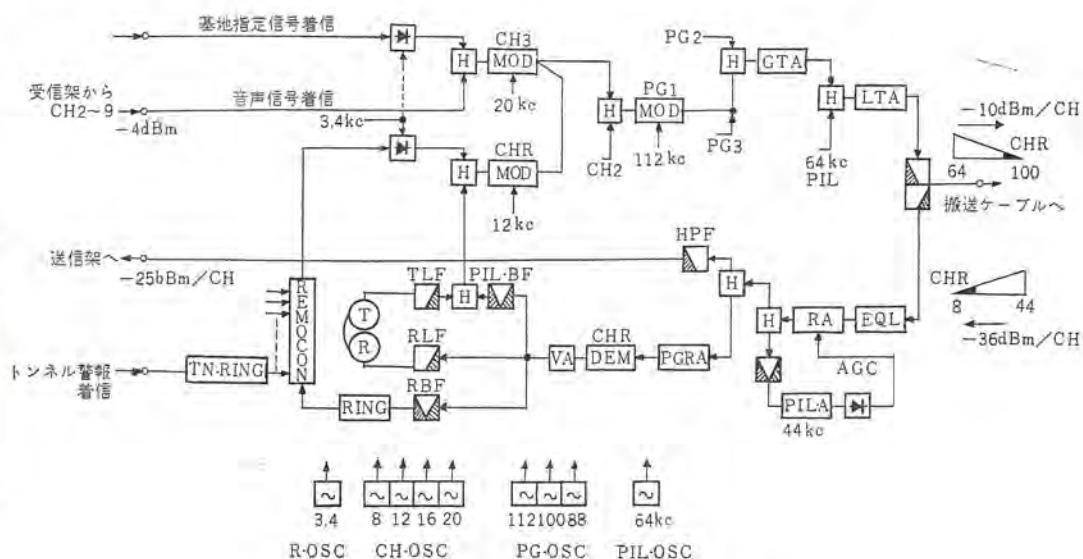


図 3.8 端局架 (I 形) 系統図
Fig. 3.8 Block diagram of terminal bay (Type I) of base station.

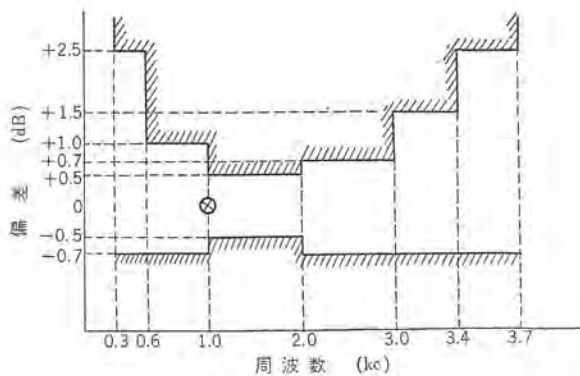


図 3.9 音声帯域内偏差
Fig. 3.9 Frequency characteristics in voice band.

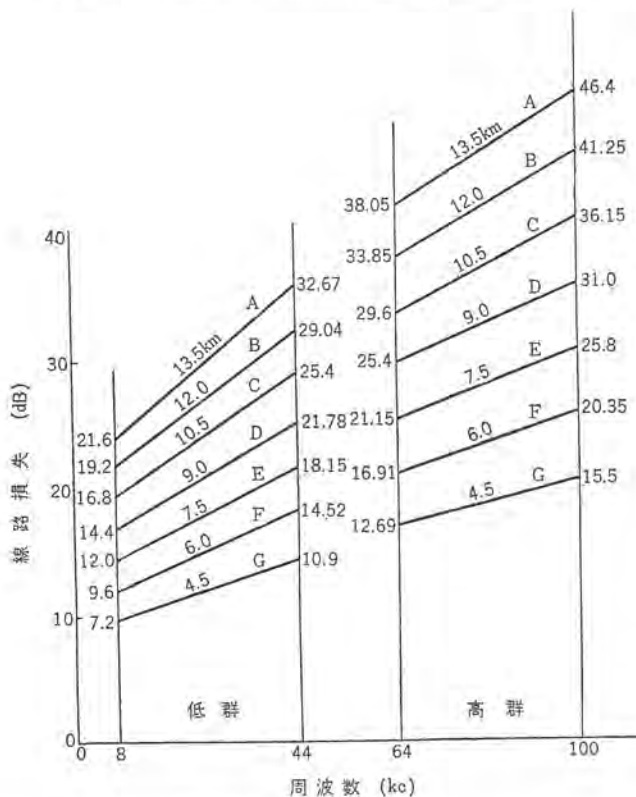


図 3.10 標準線路等化特性
Fig. 3.10 Frequency characteristics of equalizer.

- c. 音声帯域周波数特性 (図 3.9)
- (2) 搬送, 信供部
 - a. 搬送周波数 8, 12, 16, 20, 88, 100, 112 kc
 - b. 搬送周波数安定度 通話路搬送 ± 0.5 c/s 以内
群搬送 $\pm 2.5 \times 10^{-5}$ 以内
 - c. 回線 パイロット 64 kc
 - d. 回線 パイロット 周波数安定度 ± 2 c/s 以内
 - e. 信供周波数 3,400 c/s
 - f. 信供周波数安定度 ± 5 c/s 以内
- (3) 線路等化, AGC 部
 - a. 線路等化特性 (図 3.10)
 - b. AGC 圧縮率 0.15 以下
 - c. AGC 範囲 ± 8 dB
 - d. 監視電流 44 kc
- (4) レベル および インピーダンス
 - a. 送信側 4 線式入力 -4 dBm/600 Ω (平衡)
 - b. 受信側 4 線式出力 $+4$ dBm/600 Ω (平衡)

- c. 送信側搬送出力 -10 dBm/75 Ω (不平衡)
- d. 受信側搬送入力 -36 dBm/75 Ω (不平衡)
- e. パイロット, 信号レベル 試験音以下 15 dB

3.4.3 遠方監視制御回路

各基地局は無人で運用し, 機器の動作状態監視および制御はすべて所属統制局から遠方監視制御回線で行なわれる。遠方監視制御回線は CHR の帯域外 3,400 c/s 信号の断続を用い, 制御, 監視内容をダイヤルインパルスと同様のインパルス符号に変換して伝送している。

(1) 監視のチェックは基地局から前置信号を送出して統制局で受信し, 折返し信号を確認してから情報を伝送する。制御のチェックは折返し符号による確認を行なうと同時にインパルス群の数照合を行なって誤操作を防いだ。

(2) 制御, 監視項目は表 3.2 のとおりである。このうちトンネル中継機障害および電源障害警報はトンネル対策としてトンネル

表 3.2 遠方監視, 制御項目

	項	目
監視項目	送信機 1 号動作, 送信機 2 号動作, エンジン起動, エンジン使用中, トンネル名表示完了	
	送信機 1 号障害, 送信機 2 号障害, 受信障害ルート I, 受信障害ルート II, 搬送障害, 搬送異常, 商用電源異常, エンジン電圧異常, エンジン過電流, エンジン燃料不足, エンジン障害, 室温上昇, 扉開放, トンネル中継機障害, トンネル電源異常, リモコン障害	
制御項目	送信機 1 号指定, 送信機 2 号指定, 送信機障害復旧, 送信停止, エンジン起動, エンジン停止, 負荷エンジン, 負荷商用, ロックレリーズチェック	

入口に設置された中継機から 425~1,955 c/s の間に配列されたトンネル警報信号を受け, それぞれトンネル名とともに統制局に伝送する。

4. アプローチ設備

駅に設置される変換架と, 搬送ケーブルの途中に設置される中継機とからなる。

4.1.1 中継変換架

駅または基地局に設置し, アプローチ搬送回線の 1 部を構成する。基地局の搬送電話端局架の I 形, II 形に対応して変換方式により I 形, II 形がある。その系統図を図 4.1 に示す。同軸端局側とは 60~108 kc 基礎群受け渡しで, 基地局に対しては 8~44 kc 帯域に変換して送出する。I 形の場合には搬送ケーブルの線路等化

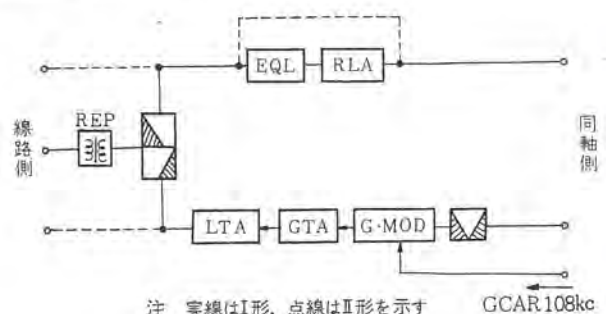


図 4.1 中継変換架系統図
Fig. 4.1 Block diagram of conversion repeater.

および損失補償増幅部を受信側に備えている。その主要定格は下記のとおりである。

- | | |
|---------------|--|
| (1) インピーダンス | 同軸側 64.3~99.7 kc, ケーブル側 8.3~43.7 kc, 64.3~99.7 kc において 75 Ω に対し不整合減衰量 15 dB 以上 |
| (2) 搬送波漏れ減衰量 | 試験音に対し 20 dB 以上 |
| (3) スプリアス 減衰量 | 同軸側 70 dB 以上 |
| (4) 搬送周波数 | 108 kc (同軸端局から受電) |
| (5) 搬送周波数安定度 | ± 2 c/s 以内 |
| (6) 標準 レベル | 同軸側 入力 -18 または -30 dBm
出力 -36 dBm
線路側 I 形入力 標準 -46 dBm
出力 -10 dBm
II 形入力 -36 dBm
出力 -18 dBm |

4.1.2 中継機

搬送 ケーブル の途中にそう入される補償増幅器である。両方向のケーブル線路入出力を4線式とする方向ロハ器等価補償増幅器とから構成される。この中継機は幅 520 mm, 奥行 225 mm, 高さ 700 mm の標準架に収容し, 同軸ケーブル中継ハット内に設置されるが, その電源は基地局あるいは変換局の端局架から搬送ケーブルに重畳して AC 給電をうけて動作する。入出力インピーダンス, レベルの定格は中継変換架のそれらに準じ, また基地端局架で述べたと同様な等価特性を備えている。図 4.2 に系統を示す。

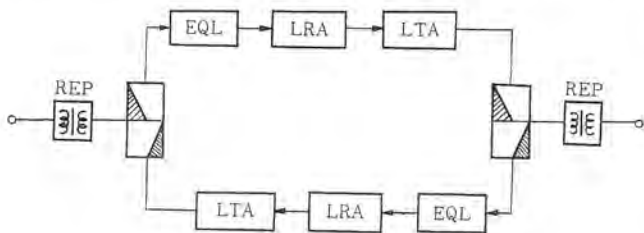


図 4.2 中継機系統図
Fig. 4.2 Block diagram of cable repeater.

5. 統制局設備

統制局は所属基地局の通話路をアプローチ設備を中継回線として集中し, 指令台あるいは業務, 公衆交換台に接続する機能ならびに所属基地局を遠方監視制御する機能を有している。大阪統制局は5局, 名古屋統制局は9局を統制しており, これらの接続系統は図 2.2 で説明したとおりである。

5.1 構成

統制局には業務, 公衆用交換系回線が設備された場合, 搬送電話端局のほかに, 自動交換機も設置されるが, 今回設置された運転指令回線のみの場合には, 大阪統制局に通話路変換架 1, 群変換架 1, 通話路信号架 1 および遠方監視制御架 1 の合計 4 架のみで, 名古屋統制局にはこれに通話路変換架 1 が加わる。

各架とも幅 520 mm, 奥行 225 mm, 高さ 2,750 mm の標準架でプラグイン方式, 前面保守が可能である。図 5.1 は大阪統制局設備を示し, 向って左から遠方監視制御架, 群変換架, 通話路変換架および通話路信号架である。



図 5.1 大阪統制局搬送電話端局装置
Fig. 5.1 Multiplex carrier equipment of Osaka control station.

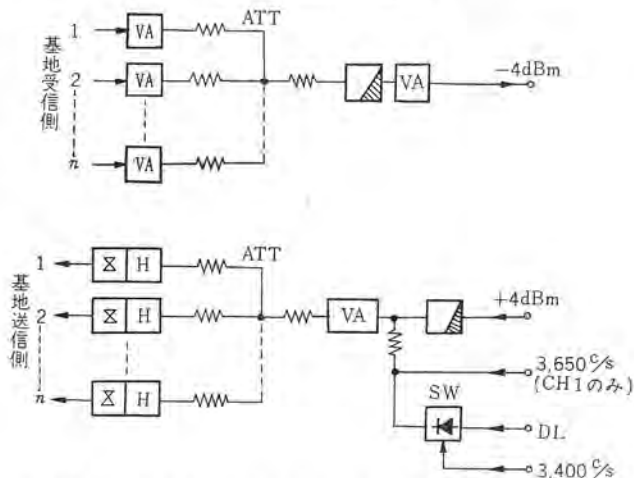


図 5.2 指令系通話路結合部系統図 (CH 1 および CH 2)
Fig. 5.2 Combiner and distributor for dispatcher channel.

5.2 各架の概要

5.2.1 通話路変換架

基地局あたり各 9 CH の通話路を SS 方式多重配列で 64~100 kc 帯域に変調する送信部と, 64~100 kc 帯域の信号をうけて 9 CH 通話路に復調する受信部とから構成される。ただし統制局と同一位置にある基地局からは列車無線の 8 CH と打合せ 1 CH が直接音声周波数信号で伝送されてくるので, 線路損失を補償する音声増幅器のみが実装されている。

指令系通話路 CH 1 および 2 は各 CH ごとに所属全基地局の音声入力あるいは出力端子が減衰器を経て並列接続されていて, 指令の発呼あるいは応答は統制局内の全基地局に同時におこなわれる。その系統図は図 5.2 のとおりである。

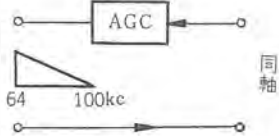

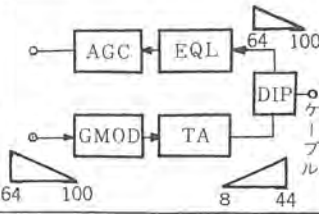
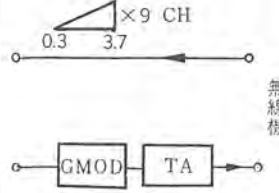
5.2.2 群変換架

群変換架は表 5.1 のように 4 種の形式があり, それぞれ必要に応じて AGC, 線路等価補償, 群変換を行なっている。なおこの図でわかるように搬送ケーブルが介在する場合には AGC を設けた。

5.2.3 通話路信号架

各通話路の帯域外 3,400 c/s 信号受信器を備え, 基地局から送出された基地局指定信号を受けて交換機へ着信地気を与える。ま

表 5.1 群変換形式

形式	回路構成		該当局名
	通変架側	線路側	
I		同軸	山崎、新東山 栗東、五箇荘 米原、加勢野 関ヶ原、坂の坂 白須賀
II		同軸	羽島、豊橋
III		ケーブル	大府 (OBU)
IV		無線機	新大阪 新名古屋

た各通話路へ供給する空線信号用 3,400 c/s 発振器と分配増幅器を備えている。

5.2.4 遠方監視制御架

遠方監視制御信号器 (3,400 c/s) を各基地局に対応する数だけ備えており、遠方監視制御継電器部と組み合わせて各基地局の装置、電源および局舎の監視、制御を行なう。またアラーチ回線の監視を行なうために、打ち合わせ回線の帯域外に 3,650 c/s 監視パイロットを供給し、基地局端局架打ち合わせ回路部で折り返えされた信号を監視し、障害の場合交換架に障害地気を与える。

6. む す び

以上、今回施設を終わった新幹線列車無線設備のうち、基地局統制局およびアラーチ設備からなる地上系施設についてその構成および機器の概要を報告した。目下すえつけ工事を完了し、引き続いて着工されるトンネル対策設備、移動局設備の完成をまって、地上系総合、走行総合などの各種試験を積み重ねたのち、39 年 10 月から開業予定の列車運行に十分な成果を発揮するよう今後とも研究、努力を続けたいと考えているが、大方諸賢のご批判をいただければ幸甚である。

終わりに種々ご指導、ご協力をいただいた列車無線委員会、郵政省電波監理局、日本電信電話公社、日本国有鉄道、日立製作所、三菱電機株式会社の関係各位に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 北垣、阿部、奥村、笹田、水沢：「三菱電機技報」37, No. 8, (昭 38)
- (2) 鉄道通信協会：列車無線に関する研究報告書 (昭 38-3)
- (3) 喜連川、武市、水沢、阿部、大林：「三菱電機技報」37, No. 11, (昭 38)
- (4) 川上、尾形：電学連大 909 (昭 37-4)
- (5) 黒田、川上：電通学会全国大会 206 (昭 38-11)
- (6) 川上：電通学会全国大会 186 (昭 37-11)

東 海 道 新 幹 線 量 産 車 用 車 両 照 明 お よ び 駅 舎 の 照 明 設 備

小 堀 富 次 雄*
鈴 木 朋 美**

Car Lighting of Quantity-Produced Cars of New Tōkaidō Trunk Line and Lighting Installations of Stations

Head Office Fujio KOBORI
Ofuna Works Tomomi SUZUKI

The new Tokaido trunk line of the Japanese National Railways is now on the high road of hasty completion by the coming Tokyo Olympic games in October. The project involves a number of new concepts such as the standard gage, AC driving, 170 km/h average speed, automatic train control and other unprecedented features. Mitsubishi participated in this epochal undertaking by supplying car lighting equipment which is the outcome of tests conducted on trial cars made to run on a model section. Fluorescent luminaires of high level of illumination together with many novel constructions are very significant and sure to please passengers. Station lighting is also one of achievements made by the Company.

1. ま え が き

国有鉄道、東海道新幹線は本年 10 月の東京 オリンピック を目標に東京・大阪間の営業を開始する予定でその完成が急がれている。

この新幹線には幾多の新しい試みがされているが広軌新線(1,435 mm)であり、車両は電気方式(交流 25 kV, 60 c/s)、高速運転の平均速度 170 km/h、最高速度 200 km/h(昨年 3 月には 256 km/h の高速度記録をたてた)、自動列車制御装置(ATC)の採用などのほか、車両構造、照明などにも従来の特急車とは異なった新機軸⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を織込んだ高速列車であることがいわゆる「夢の超特急」「世紀の列車」といわれるゆえんであろう。

当社では国鉄・私鉄の車両に数多くの照明設備を納入しているが⁽⁴⁾⁽⁵⁾さきにこの新幹線のモデル線区である小田原・綾瀬間 32 km の試験に使用された試作旅客電車(A 編成 2 両、B 編成 4 両)の 1 部の車両照明にケイ光灯照明器具を納入⁽⁶⁾し、各種試験結果により、営業運転に使用する量産電車の設計が決定し、今回、量産車の車両照明設計を納入したので説明することにする。

なお、新幹線の駅舎として豊橋西口駅および京都駅の照明設備も納入したので駅舎の照明についてもふれることにする。

2. 車両照明の意義

車両の照明設備については当社は過去に国鉄・私鉄とも多数納入した実績⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾をもっている。最近では車両照明は新車、改造車を問わずケイ光灯が主体となり、白熱電球による車両の新設はほとんどなくなった。

一方、照明技術の進歩よりは一般室内の照明と同様、十分な明るさ、むらのない明るさ、まぶしさのないこと、演色性のよいことなどのよい照明の幾つかの条件はすべてケイ光灯の採用によって解決され、最近一般施設の平均照度の向上の傾向と相まって車両とくに客車内の照度は高くなってきた。

客車内の座席において旅客は長時間、読書が主となるがその他勉強、食事などの作業が行なわれる。これらは住宅または事務所

などに行なわれる作業にも等しいがそれらの行なわれる環境は決して作業に適したものではなく絶えず振動があり、この振動はものの見え方を悪くするので日本工業規格の照度基準 JISZ9110 に示された値より大きな照度を必要とする。国鉄で推奨している長距離列車の水平面照度は 300 lx 以上であるが新幹線の車室内の平均水平面照度はその値を上回って 350~380 lx であり照度としては十分な明るさとなっている。

また、ケイ光灯の電源としては直流によるもの(多くは改造車で採用される)交流によるもの、または直流よりトランジスタ発振器によって高周波電源を得るものなど各方式が現われ、それらはいずれも長所、短所などを具えているがケイ光灯のごとき放電管では原則として交流電源が適しているため、今回の新幹線の車両照明の電源としてはケイ光灯は AC 100 V が採用されている。

照明器具としては車内照明用としてケイ光灯 FLR-40(40 W)ラピッドスタート形ランプを 15 灯乳白色アクリライトカバー付器具 2 列の連続取付となっていて、出入台は FLR-40 を、運転室、乗務員室、便所などは FL-20(20 W)グロースタート形ランプが使用されている。

車内においてはとくに天井も低く乗客は一般に列車進行の方向、または逆方向に座席に腰かけ車内の長手方向を長時間ながめる状態が多いので照明関係はとくに目立ちやすい。したがって照明器具の意匠も シンプル なもので目ざわりな意匠・構造・装飾はさけるべきであろう。

3. 車両の照明器具

以上のごとく新幹線の車両照明はすべてケイ光灯使用であるが照明器具の構造、光源の特長、照明材料の特性などについて説明する。

3.1 照明器具の配置

客車(2 等車)の断面図は図 3.1 のごとくケイ光灯照明器具は客車の幅 3,379 mm に対し左右ふり分けに 1,650 mm の間隔で 2 列に天井に半埋込に取り付けられ車内長手方向に 15 連器具

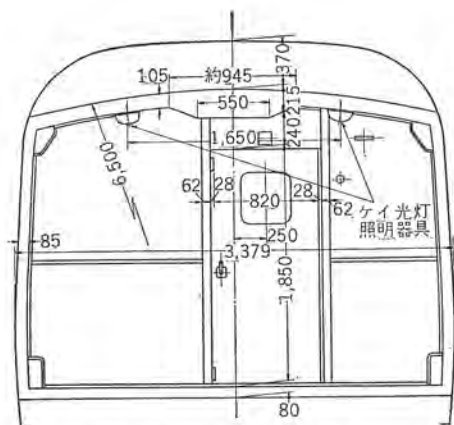


図 3.1 客車 (2 等車) の断面図
Fig. 3.1 Cross section of the second class passenger car.

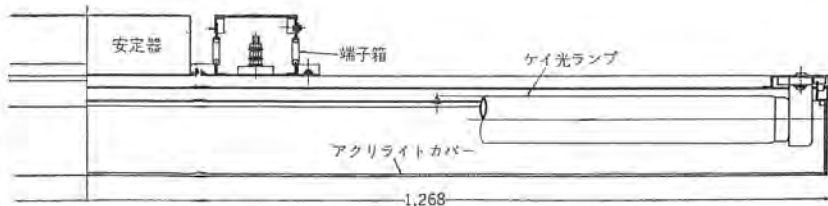


図 3.4 (a) 端子箱および安定器取付構造 (LF-407 形)
Fig. 3.4 (a) Mounting of a terminal box and a ballast.

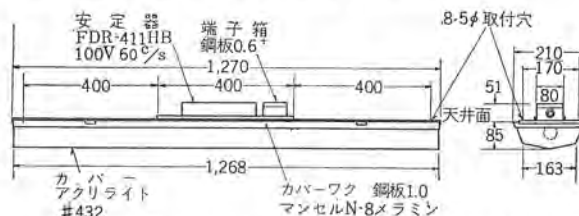


図 3.4 (b) FLR-40 W x 1 照明器具 (LF-407)

Fig. 3.4 (b) Type FLR-40 W single lamp (LF-407) luminaire.

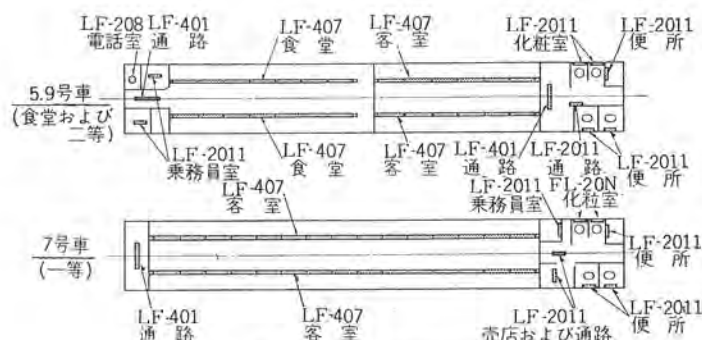


図 3.2 室内照明器配置図
Fig. 3.2 Layout of room luminaire.



図 3.5 主要照明器具の外観 (LF-407)
Fig. 3.5 View of principal luminaire.

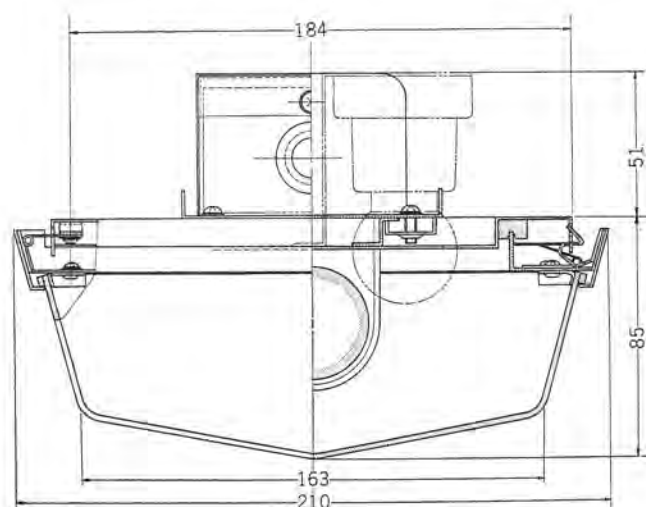


図 3.3 ケイ光灯器具 (LF-407 形) の断面図とヒンジ部分
Fig. 3.3 Cross section of fluorescent luminaire (LF-407) and its hinge.

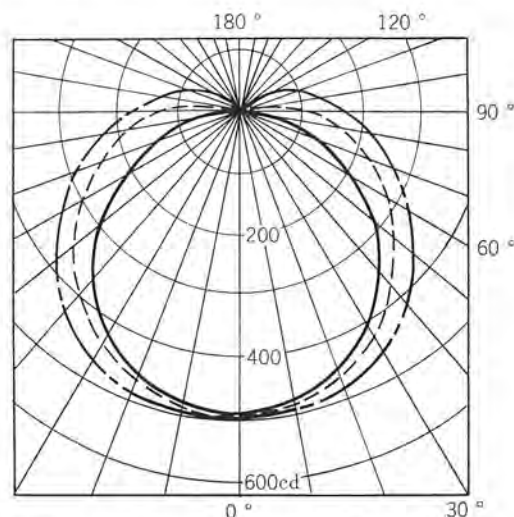


図 3.6 40 W 1 灯 FY 形 ケイ光灯器具配光曲線
(使用 ランプ FL-40 W x 1 (2,850 lm x 1))

Fig. 3.6 Light distribution curves of 40 W single lamp type FY fluorescent luminaire.

で連続取付となっている。

図 3.2 は車両 1 編成中の 5・9 号車 (食堂および 2 等車) および 7 号車 (1 等車) の例で他の号の車両はこれに準じている。

このような配置のため車内の平均照度も高く、照度のむらも非常に少なく快的な照明となっている。

3.2 照明器具の構造

車両照明として乳白色 アクリライトカバー の半埋込形のため、照明材料面の輝度のむらが少なく、光の透過率が大きく照明効率を十分高くなっている。また、車両特有の振動に対してランプの電気的接触が完全で点灯の不確実を起こさないように、さらに、この

ような高速度で運転する場合の風圧のためとかく密閉形器具の内部にゴミ、虫が入るおそれがあるが図 3.3 のような特殊ヒンジ機構でこれらの弊害を防いでいる。すなわち、主要の照明器具は 40 W 1 灯 アクリカバ付器具 (LF-407) で、従来の車両器具の開閉装置は、大部分が露出形 ラッチ式 ヒンジを使用し、器具両端に鋼板ワックが付いていたが、図のごとく改良した。その構造は開くときは押板を押すとバネにより、軸を支点にカバーワック止め金具が取付板の切欠きよりはずれ、反対側のかくしヒンジを支点としてカバーワック全体が開く。閉じる場合はワック全体を押上げると、バネの動きによりカバーワック止め金具が取付板切欠きに、自

動的にかかり固定する。天井内に埋め込まれる安定器および端子箱は、天井内のハリ(梁)などの障害物に関係なく取り付けられる移動式で、止めネジを締めると取付台と受金具は止め金具により固定される。(図3.4(b)) 外観は総アクリカバーで両脇のツツのみ鋼板とし、露出ヒンジをなくしたため、客席から見上げた場合、灯具と打具との間の隔壁は目立たず一体となりあたかも白い光りの長い帯のごとく見える斬新な意匠である。

この照明器具の外観は図3.5、配光曲線は図3.6のごとくである。

主要照明器具以外には図3.7～図3.10のごとくケイ光灯40Wおよび20W 1灯用および円形20W 1灯の開放形およびラスタックカバー形がある。これらの照明器具の内部には必ず端子盤を設け、配線に支障ないかぎりノージョイントとして端子まで配線する。

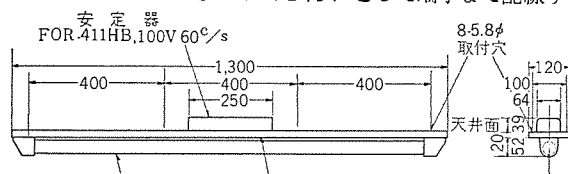


図 3.7 FLR-40 W×1 (LF-401)
100 V 60 c/s HP ラピッドスタータ
Fig. 3.7 Type FLR-40 W single lamp (LF-401).
lighting fixture.

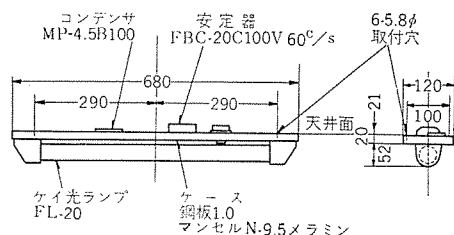


図 3.8 FL-20 W×1 (LF-2011)
100 V 60 c/s HP グロースタータ
Fig. 3.8 Type FL-20 W single lamp (LF-2011).
lighting fixture.

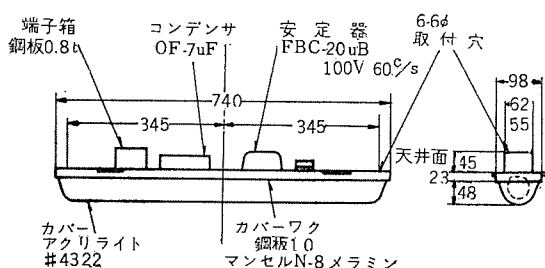


図 3.9 FL-20 W×1 (FL-20N)
100 V 60 c/s HP グロースタータ
Fig. 3.9 Type FL-20 W single lamp (FL-20N).
lighting fixture.

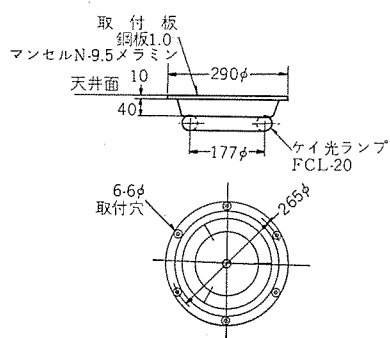


図 3.10 FCL-20 W×1 (LF-208)
100 V 60 c/s HP グロースタータ
Fig. 3.10 Type FCL-20 W single lamp (LF-208).
lighting fixture.

表 3.1 一編成灯具取付一覧 (取付総数 434 灯)

器種	予備灯なし	予備灯右付	予備灯左付	LF-401	LF-2011	LF-208	FL-20N
号車							
1	17台	3台	2台	1台	14台	0台	0台
2	22	4	2	3	3	0	0
3	22	4	4	2	6	0	0
4	24	3	5	2	0	0	0
5	19	4	3	2	8	1	0
6	24	3	5	2	0	0	0
7	22	4	4	2	5	0	2
8	24	4	4	2	3	0	0
9	19	4	3	2	8	1	0
10	22	4	4	2	3	0	0
11	22	4	4	2	6	0	0
12	18	3	3	1	8	0	0
合計	255	44	45	22	64	2	2

表 3.2 安定器の定格

形	式	FDR-411HB 6S
電	圧	100 V
周	波	60 c/s
電	流	0.61 A
電	力	15 W
力	損	90 %
二	次	無負荷電圧
次	短	絡電流
管	電	力
適	合	ラ
型	式	認
備	考	

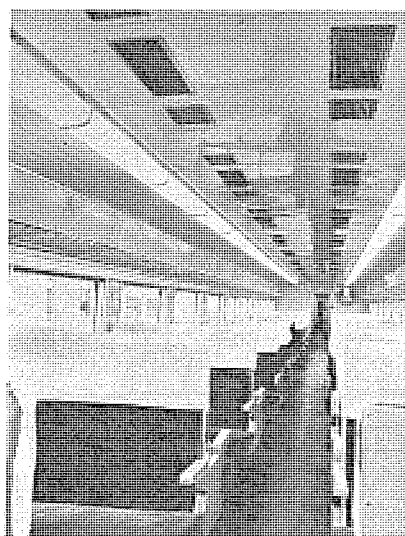


図 3.11 (a)
東海道新幹線試作
車の室内照明
Fig. 3.11 (a)
Room lighting of
new Tokaido
trunk line, trial
car.

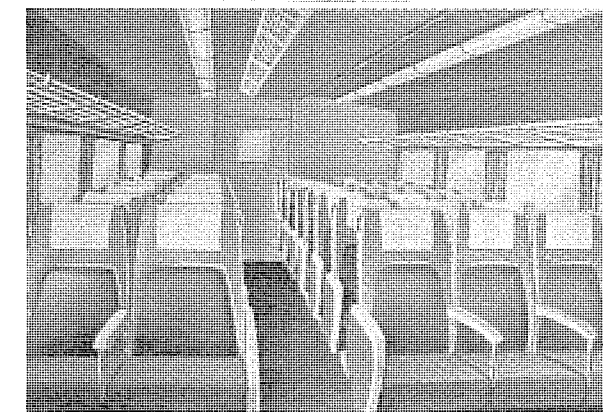


図 3.11 (b)
東海道新幹線量産
車の室内照明
Fig. 3.11 (b)
Room lighting of
new Tokaido
trunk line
quantity-produced
car.

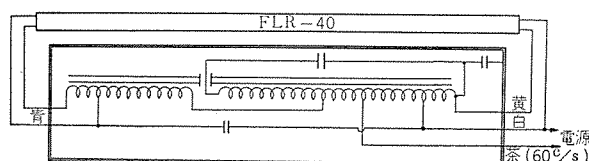


図 3.12 安定器の接続図
Fig. 3.12 Connection diagram of ballast.

表 3.3 車両照明に使用されたケイ光ランプの諸特性

形 式	点 灯 方 式	大 き さ (W)	長 さ (mm)	管 径 (mm)	管 電 流 (A)	定 格 電 圧 (V)	全光束 (1m)	
							白 色	デラックス ス白色
FLR-40	ラビッドスタート	40	1,198	38	0.435	200	2,850	2,300
FCL-30	グロースタータ (円形)	30	209 (外径)	32	0.375	100	1,020	820
FL-20	グロースタータ	20	580	38	0.375	100	1,120	890

表 3.4 (a) 室内の全般照明

形式 番号	灯 具 の 高 さ (m)	全 ラ ン プ 電 力 (W)	室 面 積 (m ²)	電 力/ 面 積 (W/m ²)	室内水平面照度 (lx)				水 平 面 平 均 照 度 (lx)	測 定 室 温 電 圧 周 波 数	測 定 年 月 日
					室内 全 数	最 大	最 小	均 斉 度 (%)			
1004	2.15	1,200	626	1.92	385	525	195	37.1	435	25°C 235 V 59.5 c/s	昭和 37.8.18
1005	2.05	1,200	626	1.92	350	445	205	46.4	380	27°C 224 V 59.5 c/s	昭和 37.8.18

注 1004 床上高さ 700 mm } で測定
1005 * 650 mm }

表 3.4 (b) 局部照明 (lx)

形式 番号	乗務員室 (FL-20)		出 入 口 (FL-40)	予 備 灯	便所(和) (FL-20)				洗面所三面鏡 (FL-20)			運 転 台	
	机上	床面			器面床面	顔面床面	器面床面	顔面床面	操作 板上	計器 パネル	中央 床面		
1004	140	85	80~145	1.3~2.0									
1005					170	116	380	300	126				
1006										61.5	135	120	

表 3.5 (a) 照明用拡散材料の比較

試 験 項 目			試 験 法	単 位	アクリライト板 No. 432 20 mm-t	三菱デラックスパネ ル用強化ビニール板 1.0 mm-t
比 重			ASTM D-792		1.19	1.39
引 張 強 度			JIS K-6745-71	Kg/mm ²	6.5~7.0	5.5~6.5
伸 び			"	%	20~25	80~170
断 裂 強 度			JIS K-6745-721	CmH	1.0	60~140
柔 軟 温 度			JIS K-6745-73	°C	96~97	60~61
全 光 線			JIS K-6745-53	%	55.0	64.5
光線透過率	平行光線		"	"	1.0	1.0
	拡散光線		"	"	54.0	63.5
耐 火 性			"	"	自然燃る	自然燃せず

表 3.5 (b) 照明用各種乳白半透明合成樹脂板の比較

	メタアクリ ル樹脂 (アクリラ イト板)	硬質塩化ビ ニール樹脂 (デラック スパネル)	尿素樹脂	ポリスチ レン樹脂	強化ポリエ ステル樹脂 (ガラス繊維 積層)
比 重	1.2	1.4	1.5	1.1	1.8
軟 化 温 度 (°C)	100	60	軟 化 せ ず	70	軟 化 せ ず
熱 膨 張 率 (10 ⁻⁵ /°C)	7	7	3	8	3
衝 撃 強 度	割れにくい	非常に割れにくい	やや割れやすい	割れにくい	割れにくい
硬 度	傷がつきやすい	非常に傷がつき易い	傷がつきにくい	傷がつきやすい	やや傷がつきやすい
吸 水 性	ほとんどなし	ほとんどなし	わずかにあり もろくなる	ほとんどなし	ほとんどなし
耐 火 性	燃える	自然性なし	自然性なし	燃える	燃える
日 光 の 影 響	ほとんど変化せず	やや黄変する	変 化 せ ず	やや黄変する	かすかに黄変
強 酸 の 影 響	酸化性酸に侵される	侵されない	侵 さ れ る	酸化性酸に侵される	やや侵される
強アルカリの影響	侵されない	侵されない	分 解 す る	侵されない	分 解 す る
有機溶剤の影響	ある物に侵される	ある物に侵される	侵されない	ある物に侵される	ほとんど侵されない
耐 油 性	すぐれている	すぐれている	すぐれている	すぐれている	すぐれている
光線透過率 (%)	50~80	40~70	40~50	40~60	40~50
板からの加熱成形	可 能	可 能	不 能	可 能	不 能
照明器具への利用度	多 い	多 い	多 い	多 い	外観悪く少ない
一般市販品の厚さ (mm)	2~3	0.2~2	1.5~3	2~3	0.5~1
価 格	高	低	非常に安価	安	中 程 度

(注) 表中の数値は概略値を示す。

表 3.1 は 1 編成 12 車両に取り付けられた照明器具の一覧表であって取付総数は 434 灯となっている。図 3.11 は車内の照明の状況で (a) は試作車, (b) は量産車である。なお, 安定器の接続図および定格表を図 3.12 および表 3.2 に示す。

3.3 光源およびアクリライトカバー

(1) 光 源

使用された光源としてのケイ光灯は以上のごとく 40 W および 20 W (1 部は円形 ランプ) であるが光色については次のように区別している。

1 等車および食堂車では乗客の顔色および食堂における飲食にとくに重点をおき, 明るさおよび演色性の見地より デラックス 白色 (色温度 4,500°K) を使用している。これは一般の食堂・レストランなどでは従来 デラックス 白色 ランプは, ものの色をよく見せるとか, 正しく色を評価するため使用されたがとくに車両のごとく限られた条件の下での使用ではとくに明るさ本位になりがちとなるがこのような食堂などでの使用はまことに当を得たものと思われる。

なお, 2 等車のごとく大衆向けの車では明るさ本位で白色 (色温度 4,500°K) が使用されている。

これらの光源の諸特性は表 3.3 のとおりである。車両内での照度は量産車についての資料が未入手なので試作車についての資料⁽³⁾を示すと室内の全般照明および局部照明は表 3.4 (a) (b) のとおりである。

(2) アクリライトカバー

密閉形照明器具に使用されている プラスチックカバー はメタアクリル樹脂 (アクリライト 板) でとくに照明用材料として使用されている高級品であり, その他の照明用材料の中でも最もすぐれたものである。

それらの特性を表 3.5 (a) (b) に示す。

なお, このように プラスチックカバー を使用した照明器具では光源の分光分布特性が カバー を透過することによって大きな変化をしてはその目的を果たさな

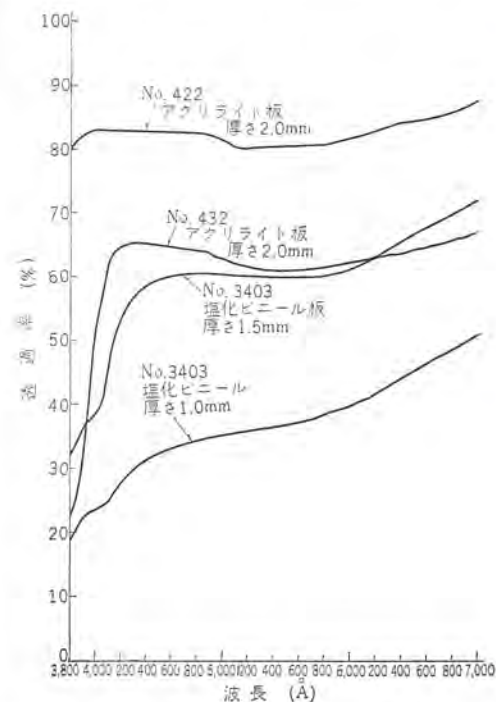


図 3.13 照明用拡散材料の透過率

Fig. 3.13 Transmission factor of diffusion materials used for lighting.

い。したがってプラスチックカバーの透過率が問題となる。図 3.13 はこれらの透過率測定の一例であるがアクリライト板 No. 432 は他の照明材料に比較して可視光の波長の範囲で透過率は非常に一定している。

4. 駅舎の照明

駅舎は列車への乗り降り、乗り換え、または出迎え、見送りなどの多目的に使用する公共の場であるから、明るく快適に便利でなければならない。

新幹線の駅舎として豊橋西口駅および京都駅について説明する。

(1) 豊橋西口駅の照明

改札広間車寄せその他にケイ光灯 FLR-40 W×2 灯用半埋込形アクリライトカバー No. 432 付器具 8 セットのほか、FLR-40 W×6 灯用、アクリライトカバー付埋込形 FL-20 W ブラケット器具など合計 37 本納入した。

ケイ光灯 40 W はいずれも定格 200 V 60 c/s ラピッドスタート形フリッカレス回路または高力率回路である。また、ケイ光灯 20 W は定格 200 V 60 c/s グロースタート方式で高力率回路である。

図 4.1 は車寄せ付近の状況で床面平均照度は 200 lx である。

(2) 京都駅の照明

改札広間その他に FLR-40 W×2 灯用、および 3 灯用ジョイント器具 133 セットのほか 40 W 埋込、半埋込形、光り天井用器具など合計 453 本納入した。



図 4.1 豊橋西口駅の照明（車寄せ）
Fig. 4.1 Lighting of Toyohashi west station.

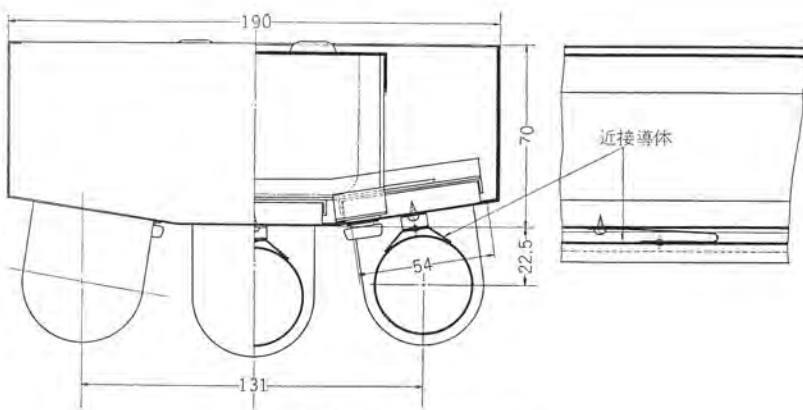


図 4.2 近接導体取付構造
Fig. 4.2 Fitting of near-by conductor.

定格はケイ光灯 40 W は 254 V 60 c/s ラピッドスタート形高力率形、20 W は 254 V 60 c/s グロースタート方式で高力率形である。40 W ラピッドスタート形器具ではとくにラピッドスタート形ケイ光ランプの互換性を考慮して近接導体を取り付け、各種ラピッドスタートケイ光ランプの点灯が確実にこなされる構造となっている。図 4.2 は近接導体取付構造を示している。

5. む す び

以上のごとく東海道新幹線は本年 10 月を目標に完成を急いでいる。この新幹線完成の暁には東海道線の交通事情も緩和され、さらに運輸に、産業発展に貢献すると思われるが車両および駅舎の照明についても従来の施設に比較してとくにすぐれているので車両については乗客はより快的な旅行を、駅舎については従来よりさらに便利で気持ちよく使用できるわけである。これらは世界でも最高の施設といっても過言ではないと思う。

参 考 文 献

- (1) 管井：電力と鉄道 Vol. 14 No. 1 新幹線設備特集 (1964)
- (2) 土屋・金井：同 上 p. 20~24
- (3) 内田：総合建築 (建築資材社) 39 No. 3 照明と採光特集 p. 62~66
- (4) 三菱電機技報 Vol. 37 No. 1 回顧号 p. 126 (昭 38)
- (5) 三菱電機技報 Vol. 38 No. 1 回顧号 p. 136~137 (昭 39)
- (6) 同 上 p. 247 および p. 249

東海道新幹線 変電所用配電盤

小滝喜久二*

Switchboards for Substations of New Tōkaidō Trunk Line

Kōbe Works Kikuji KOTAKI

The Japanese National Railways find it necessary to reinforce its traffic power to cope with rapidly advancing social conditions, the new Tōkaidō trunk line being thus projected and the construction being underway vigorously. The line being AC electrified, there are a number of AC substations and feeder sectional stations involved in the scheme. Mitsubishi has participated in the project and supplied switchboards to nine substations and eight feeder sectional stations in the line between Nagoya and Ōsaka. In the design of control and protecting equipment of switchboards, reliability in the operation is taken up as a principal aim and simplicity in watch and handling is added to it. This is a very appropriate system for supervisory control.

1. ま え が き

今回の国鉄東海道新幹線のうち大阪—枇杷島間の9変電所（新大阪、新高槻、東山、栗東、五箇荘、新米原、関ヶ原、羽島、枇杷島）および8ヶ（饋）電区分所（鳥飼、向日町、瀬田、篠原、甲良、長岡、大垣、稲沢）は、集中制御の遠方制御方式で保守運転される単位変電所および単位区分所である。そのため各変電所および区分所は、新制御方式による完全無人変電所として設計され、運転信頼度の確保を主眼として設計された。

配電盤設備としては変電所用、ヶ電区分所用に区分されるが、操作の簡易化と監視の容易を主眼として集中遠方監視制御に適した方式を採用し、操作をまちがえても安全なような完全な連動を設け、受電およびヶ電回路ともシヤ断器と断路器を3位制御に適した制御回路となっている。

制御の基本条件としては下記によっている。

(1) 操作方法

(a) 自動操作

継電器その他により、自動的に調整あるいは制御を行なうものの。

(b) 単独操作

他の機器と電気連動を介さず、それぞれの機器本体に取り付けた操作開閉器により行なうもの、ただし断路器に関係シヤ断器の開放などを条件として操作できるもの。

(c) 直接連動操作

被制御所で一連の電気連動を介して行なうもの。

(d) 遠方操作

制御所から一連の電気連動を介して行なうもの。

(e) 自動連動操作

被制御所で保護継電器および機器の動作により一連の電気連動を介して行なうもの

(f) 自動遠方操作

ある被制御所の条件または被制御所相互間の条件により一連の電気連動を介して行なうもの

(2) 機器の応動表示

2個以上の機器が一括して連動で操作される場合の表示は次による。

(a) 応動表示は最終機器により表示すること、ただし3位表示の場合は関連機器の条件により表示すること。

(b) シヤ断器と断路器または断路器と断路器が連動のとき両者がいずれも「閉」のときは赤色、両者がいずれも「開」のときは緑色とする。(2位表示)

(c) 前2項でシヤ断器が自動シヤ断してシヤ断器が「入」状態のときは白色とする。(3位表示)

(d) 切換開閉器が「単独」の場合は制御所への応動表示は行なわない。

(3) 指令の記憶および解除

(a) 指令の記憶

操作が直接連動であると遠方であるとかかわらず機器に指令が与えられた場合、機器側はいったん指令を蓄積し、かつ記憶を解かないのを原則とする。この場合機器が応動するまでの間に操作開閉器を離しても機器側は応動すること、なお指令の記憶は結合部で行なうのを標準とする。ただし「切」指令の記憶はとくに指示しない場合は行なわなくてもよい、なお動力操作断路器の一括鎖錠中に「入」指令を受けた場合は除く。

(b) 指令の解除

他の機器により指令の解除を受けた場合、機器が応動した場合、逆指令を受けた場合。

(4) 動力操作断路器の一括鎖錠

動力で操作されるすべての断路器は鎖錠「入」の指令を受けて次のように応動すること、「入」鎖錠は電気的および機械的にかけるものとし、断路器の「入」が安全の回路では逆とする。

(a) 鎖錠記憶継電器はそれぞれ逆指令がないことを条件に、一括記憶し取消しのあるまで指令は記憶されること。

(b) 開放されている断路器はただちに鎖錠され（「入」安全の回路の断路器は閉合中のものに鎖錠される）閉合中のものは鎖錠は行なわれず、指令のみを記憶しておき後で断路器が開放されれば自動的に鎖錠されること。

(c) 鎖錠用 コイル は停電その他の原因によって消勢されても機械的鎖錠に変化があってはならないこと。

(d) 一括鎖錠中に「入」指令を受けても記憶しないこと、以下制御、保護方式について各変電所および各ヶ電区分所とも少しの変化があるが代表的な配電盤によりその概略を説明する。

2. 変電所用配電盤

変電所用として代表的主回路単線接続図を図2.1に示す。

2.1 制御

制御としては表2.1に操作方法分類を、表2.2に状態表示を示すが、受電系、変成器系、キ電系に大別して述べる

2.1.1 受電系

(1) 受電用交流シャ断器(#52R)と同用動力操作断路器(#89RL)の操作は表2.1に示すごとく抱き操作であるが、その連動操作条件は、キ電用変圧器二次側動力操作断路器(#89TS)が開放しているか、またはキ電用交流シャ断器(#52F)が全部開放しているか、または他方の受電用交流シャ断器(#52R)が直連または遠方で閉合しているとき「入」指令が来れば応動する。

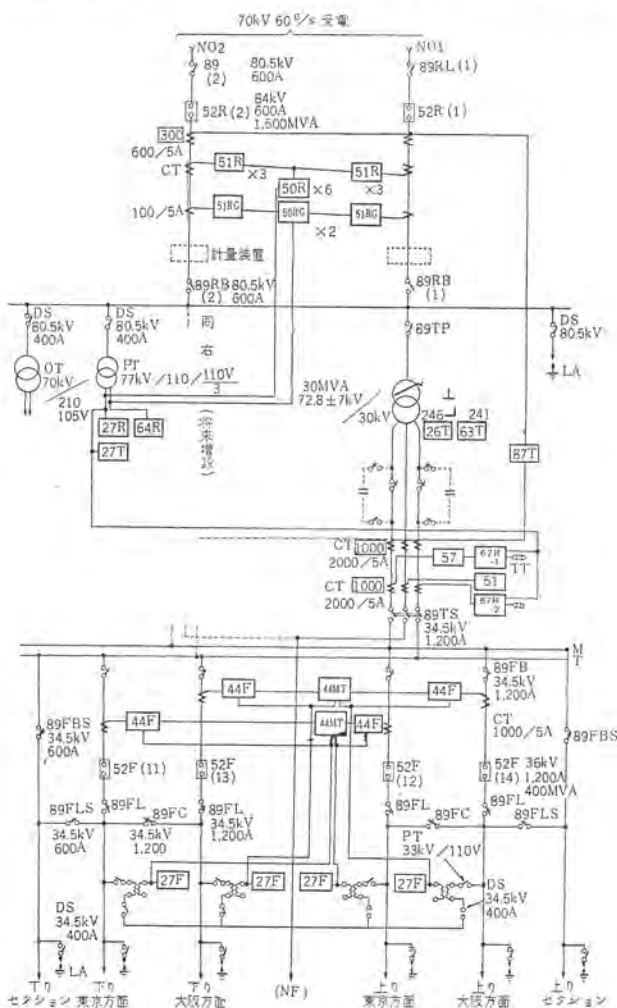


図2.1 変電所主回路単線接続図

Fig. 2.1 Skelton diagram of substation main circuit.



図2.2 CJ形電圧調整継電器
Fig. 2.2 Type CJ voltage regulation relay.

(2) 受電用交流シャ断器(#52R)の自動切換は、#52R 1台閉合中電源不良により受電用電検出継電器(#27R)動作したときは一定時限後(30~60秒)に受電中の#52R、#89RLを開放し、予備回線の#89RL、#52R閉合の順に応動する。なお切り換わった回線が停電中のときでも切り換えは1回限りとし切り換わった予備回線の#52R、#89RL、閉合中の#52Fおよび#89TP、#89TSを開放する、#52R閉合一定時限後(1~10秒)母線無加圧の場合は閉合した#52Rを開放する。

2.1.2 変成器系

(1) キ電用変圧器一次側動力操作断路器(#89TP)と同用二次側動力操作断路器(#89TS)の操作は表2.1に示すごとく抱き操作であるが、その連動操作条件は、(i)#52Rが全部開放している、(ii)#52Fが全部開放している、(iii)キ電用セクション動力操作断路器#89FLSが上り線下り線ともに閉合し、キ電用セクション動力操作断路器#89FBSが上り線下り線ともに開放しているときに「入」指令が来れば応動する。

(2) キ電用変圧器は負荷時電圧調整器付で自動装置に使用する検出器としての電圧調整継電器は積分動作特性のもので図2.2にCJ形電圧調整継電器の外形を、図2.3にその動作時間特性例を示す。

表2.1 変電所操作方法分類表

操 作 機 器 名	記 号	自 動 操 作	自 動 速 動 操 作	直 接 (本 体 で 操 作) 連 動	遠 方 操 作	自 動 遠 方 操 作	記 事
受電用交流シャ断器	52R	○	○	○	○		
" 断路器	89RL	○	○	○	○		
キ電用変圧器一次側断路器	89TP	○	○	○	○		
" 二次側断路器	89TS	○	○	○	○		
キ電用交流シャ断器	52F	○	○	○	○	○	
" 断路器	89FL	○	○	○	○		
キ電用セクション断路器	89FLS	○	○	○	○		ただし 89FLS と 89FBS は逆 連動
キ電用変圧器タップチェン ジャ	89FBS	○	○	○	○		
操車場キ電用交流シャ断器	52FY	○	○	○	○		
" 断路器	89FY	○	○	○	○		
鎖錠復帰 動力断路一括鎖錠 蓄電池充電装置 空気圧縮機装置 所内電源自動切換 空気調和装置	86DS	○	○	○	○		ただし盤で操作

表2.2 変電所からの状態表示

種別	記 号	該 当 記 事	備 考
機 器 表 示	開 閉 (2位表示)	89TS (89TP)	
	開 閉 (3位表示)	52R (89RL) 52F (89FL)	
	状 態 (2位表示)	キ電系と軌道回路と連 動「入」「切」表示	(1)軌道回路と連動入り (2) " " 切り
故 障 表 示	切 換 故 障	48F	
	故 障 1	51R, 51RG, 64RV 50R, 50RG, 87T 63T, 44F, 44MT 79F	
	故 障 2	63A, 27C, 90TA 26r, 49A, 80B ₁ 26T	
異 常 表 示	特 高 電 源 異 常	67R, 27R	
	遠 制 異 常	80B ₂	

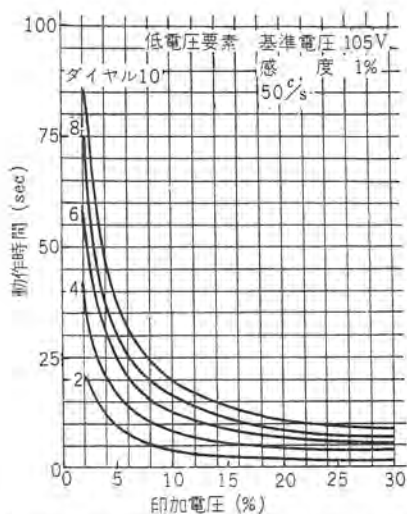


図2.3 CJ形電圧調整継電器動作時間特性例
Fig. 2.3 Example of operation time characteristic of type CJ voltage regulation relay.

(a) 運転条件は下記の6種類

並列自動—1号器が基準器, 2号器が従属器となる。

1号器自動—1号器単独

2号器自動—2号器単独

並列手動—操作開閉器を操作したほうが基準器となる。

1号器手動—1号器単独

2号器手動—2号器単独

(b) 電圧検出は電圧調整器のタッパ切換器と連動して, 変圧器一次側に設置された計器用変圧器の二次側に設置された補助計器用変圧器の一次側もタッパ切り換を行ない, 補助計器用変圧器の二次側を一定としこれを基準電圧として, 次の2種類の自動電圧調整をしている。

A方式—キ電用変圧器一次側の送電線の電圧降下を補償し, 無負荷二次電圧を一定にする。線路電圧降下補償器(LDC)により線路電圧降下分を検出し, これを補助計器用変圧器の二次側電圧に加え基準電圧とする。並列自動運転時は両方の変圧器の計器用変流器からの電流を加えてLDCに供給し, 2台負荷時の電圧降下を検出する。

B方式—無負荷時にのみタッパ切り換を行なって無負荷二次電圧を一定にする。電流継電器(#57)により無負荷電流(主座)が無負荷に近いある値以下のときにタッパ切り換を行なって, 無負荷二次電圧を一定にする。

(c) 主回路が無電圧になれば受電停電検出継電器(#27)が動作して, タッパ切換器を最低タッパ位置に戻す。

(d) キ電用変圧器二次側の中性線にある交流過電流継電器(#51)で過電流を検出し, タッパ切換器を停止させる。(切換動作中でもその状態で停止させる)

2.1.3 キ電系

(1) キ電用交流シャ断器(#52F)と共用動力操作断路器(#89FL)の操作は表2.1に示すごとく抱き操作であるが, その連動操作条件は, 鎖錠継電器が不動作であること, 外線無加圧であること, または外線電圧のときは母線と外線電圧が同期で位相差検出継電器(#78F)が不動作で「入」指令で来たときには応動する。

(2) キ電線外部故障検出継電器(#44F)が動作した場合は#52Fを開放し, 一定時限後(0.5秒)に自動再閉合を行ない, 自動再閉合から一定時限内(60秒)にふたたび自動シャ断したとき

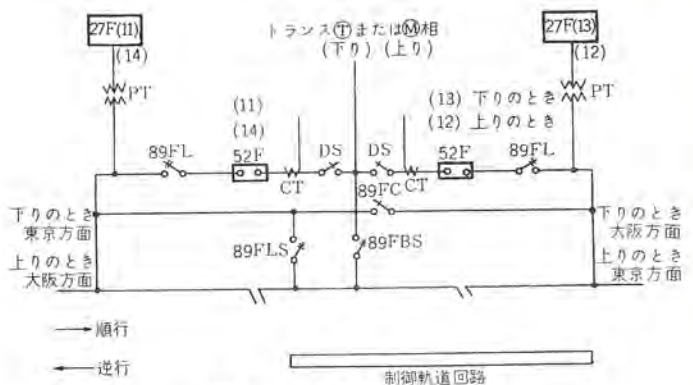


図2.4 キ電線主回路接続図
Fig. 2.4 Connection diagram of feeder line main circuit.

- ①制御軌道回路に列車なし
- ②制御軌道回路に列車進入
- ③制御軌道回路に列車通過

T1=セクション無加圧時間

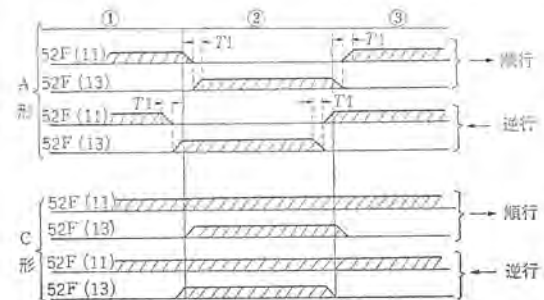


図2.5 軌道回路の切換図
Fig. 2.5 Change-over diagram of track circuit.

は, 閉合回路を鎖錠し #89FLを開放し, ただちに他の閉合中の#52Fを開放し, 隣接変電所の上下線当該#52Fを転送シャ断装置により開放する。

外線無加圧状態で#52Fを閉合し, ただちに自動シャ断した場合は再閉合しない。キ電線上下線短絡検出継電器(#44MT)動作したときは該当する#52Fを開放するが, #44MTは該当する#52Fが双方とも閉合中以外は動作を抑制し, #44Fと#44MTが同時に動作した場合は#44F動作時の保護連動を優先している。

2.1.4 軌道回路と連動

図2.4にキ電線主回路接続図を示す。

(1) 上り下りのキ電系は, それぞれ直連または遠方によりキ電用変圧器二次側動力操作断路器(#89TS)が開放しており, キ電用交流シャ断器(#52F)の切換開閉器が双方とも「直連」または「遠方」に入っている, 切換故障検出継電器(#48F)が不動作のとき連動回路と連動「入」(#89FLS開 #89FBS閉の指令もこれに含む)の指令が来れば応動する。

上記で#52Fが軌道回路と連動「入」の指令を受ければ, 両隣りキ電区分所へ切り換えの指令を送り, 両方面外線無加圧とし, これを条件として, キ電用セクション動力操作断路器(#89FLS)を開放後, 同(#89FBS)を閉合, 軌道回路による操作回路を構成するとともに遠方表示回路を開放し, #48F不動作を条件として両隣りキ電区分所へ延長キ電の指令を送っている。

(2) 上り下りのキ電系は, それぞれ直連または遠方により#52Fの切換開閉器が双方とも「直連」または「遠方」に入っているとき連動回路と連動「切」(#89FLS閉, #89FBS開の指令もこれに含む)の指令が来れば応動する。

上記で#52Fが軌道回路と連動「切」の指令を受ければ, 両隣

りキ電区分所へ切り換えの指令を送り両方面外線無加圧とし、これを条件として#89FBS開放後#89FLSを閉合し、軌道回路による操作回路を開放し、#52Fを開放#52Fの直連または遠方による操作回路を構成するとともに遠方表示回路を構成している。

(3) 図2.5に軌道回路の切換図を示すが、軌道回路と連動中における#52Fの連動操作の切換方式は次の各項としその切換状態の選択は切換開閉器(#43S)による。

a. A形

(a) 軌道回路に列車が進入していない場合

#52F₁₁は閉合され#52F₁₃は開放されること。

(b) 軌道回路に列車が進入中の場合

#52F₁₁は開放され#52F₁₃は閉合されること。

(c) 前項(a)と(b)との状態の切り換えは軌道回路の列車探知装置と連動する軌道継電器の指令によるものとし#52F₁₁と#52F₁₃が同時に閉合しない時間は一定時限(0.2秒)以下とする。

b. C形

表2.3 変電所保護連動表

故障原因または動作継電器	30に上開放するシャ断器鎖錠の警報表示	断路器有無種別	備考
受電系過負荷	51R 52R, 52F	ベル	
受電系接地	51RG 52R, 89RL, 52F 89TP, 89TS	"	
受電系短絡(不平衡)	50R 52R, 89RL	"	
受電系接地(選択)	50RG " "	"	
電源不良	27R 52R, 89RL, 52F 89TP, 89TS	"	
送電線接地	64RV 52R, 89RL	"	
70kV母線 キ電用変圧器故障	87T 52R, 89RL, 52F 89TP, 89TS	○	89TP, TS鎖錠
キ電用変圧器故障	63T " "	○	"
"	26T	"	"
キ電系送電力	67R 52F	"	
キ電用変圧器 タップチェンジャ異常	90TA	"	
キ電線外線故障	44F 52F	"	軌道回路連動「入」で44Fロック
"	44MT	"	同上および当該52F双方閉合していないときはロック
キ電系再閉合失敗	79F 52F, 89FL	○	52Fロック、遠方のときはロックなし
切換故障	48F	"	
圧縮空気圧力高低	63A	○	
空気圧縮機NFB動作	49A	"	
充電装置故障	80B ₁	"	#30の取り付けはおのおの機器とする
遠制異常	80B ₂	"	"
所内電源不良	27C	"	"
遠制機器室温度	26r	"	"

別途準備

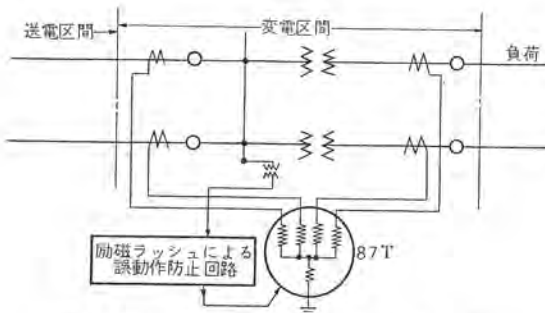


図2.6 CA-6形比率差動継電器を使用して変圧器および母線を保護する回路図

Fig. 2.6 Circuit diagram of protecting transformers and buses through the use of type CA-6 ratio differential relay.

(a) 軌道回路に列車が進入していない場合

#52F₁₁は閉合され#52F₁₃は開放されること

(b) 軌道回路に列車が進入中の場合

#52F₁₁は閉合を継続し#52F₁₃は閉合されること

(c) 前項(a)と(b)との状態の切り換えは軌道継電器指令によるものとする

2.2 保護

保護としては表2.3に保護連動表を示すが、特殊なもののみを下記に列記する

(1) 比率差動継電器によるスコット結線変圧器保護

図2.6に示すごとくCA-6B形比率差動継電器(#87T)を用いて、母線保護を含む変圧器保護を行なっている。#87T3個を用いてスコット結線変圧器保護を行なうには、三相側と二相側のCT二次電流の位相が、ある1個の#87Tにおいては異なるので補助変流器を用いてその位相を補償して行なっている。この継電器は多端子母線の比率差動保護に最も適し、その特長は下記のごとくである。

(a) 飽和変成器を用いて故障電流の大きさによって比率特性の違う飽和比率差動特性をもっている。

(b) 飽和変成器を用い、直流分に対して感度がとくに下がるように考慮されている。

(c) 動作コイルのインピーダンスを大きくして、CT誤差の影響

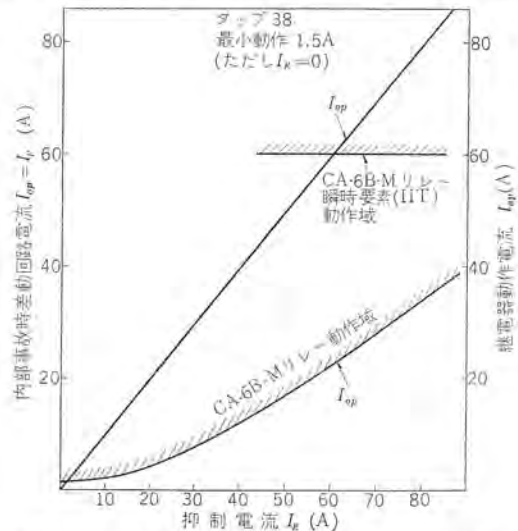


図2.7(a) CA-6B形比率差動継電器比率差動特性例
Fig. 2.7(a) Example of ratio differential characteristic of type CA-6B ratio differential relay.

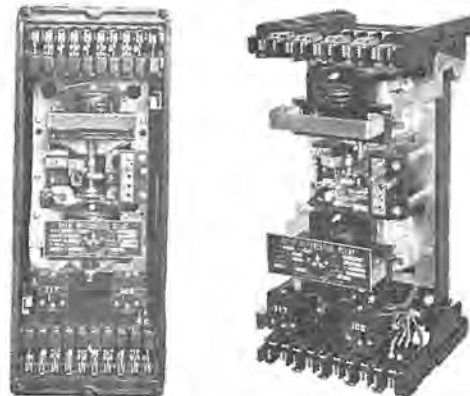


図2.7(b) CA-6B形比率差動継電器外観
Fig. 2.7(b) View of type CA-6B ratio differential relay.

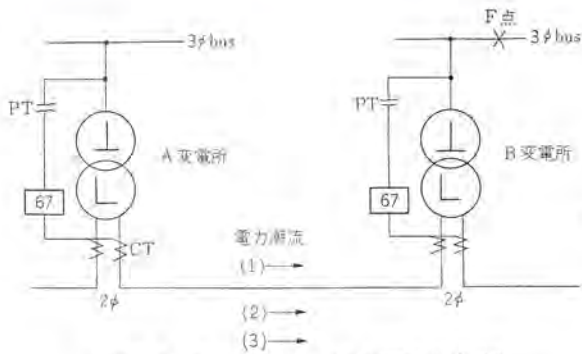


図2.8 B変電所における逆電力潮流(例)
Fig. 2.8 Reverse power flow at B substation.

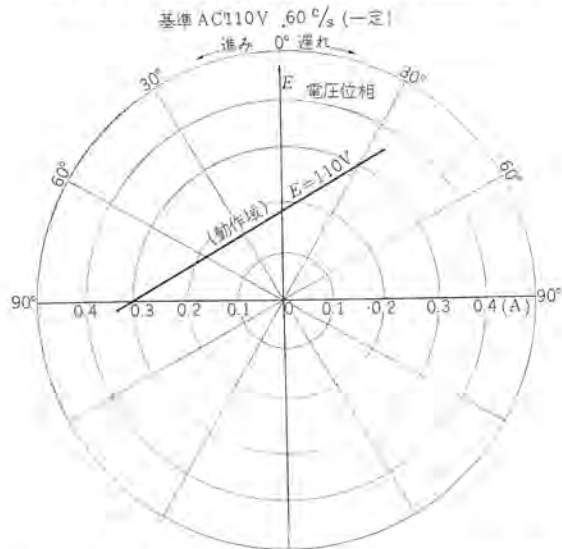


図2.9 CW-14 形逆電力継電器位相特性(例)
Fig. 2.9 Example of phase characteristic of type CW-14 reverse power relay.



図2.10 交流電化キ電線の故障および負荷特性例
Fig. 2.10 Example of fault and load on AC electrification feeder line

響を抑えるよう設計されている。

(d) 故障電流の流れ方で動作比率が異なる可変比率差動特性をもっている。

(e) 誘導円板形要素を用いているから過渡突入電流に対して安定である。

(f) 抑制コイルのCT負担が小さく大きなCT飽和を与えない。

(g) 抑制コイルがそれぞれ独立しているから抑制に関するかぎり、CT変成比が異なる場合でも適用できる。

(h) 内部事故に対しては50~150 ms (平均70 ms) で瞬時動作し故障除去を行なわせる。

図2.7(a)にCA-6B形比率差動継電器の比率差動特性例、図2.7(b)にCA-6B形比率差動継電器外観を示す。

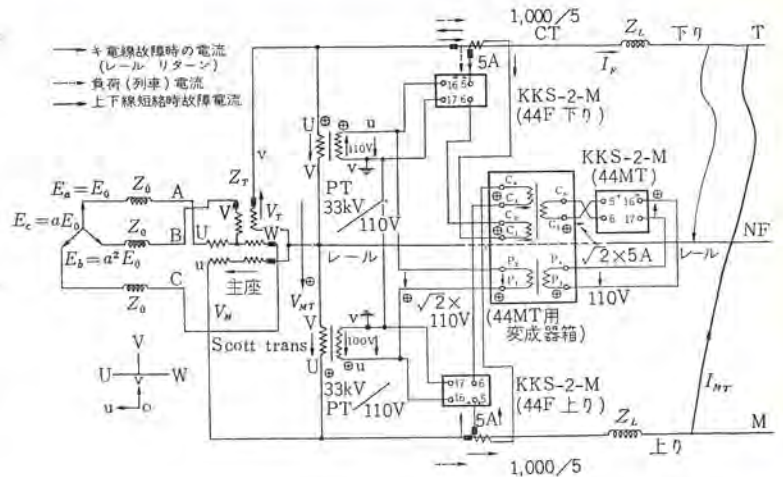


図2.11 交流電化キ電線保護用距離継電器外部接続回
Fig. 2.11 External connection diagram of distance relay used for protecting AC electrification feeder line.

(2) 逆電力継電器による変電所逆電力潮流保護

各変電所においてキ電線から電源側に電力の逆流を防止するため、CW-14形逆電力継電器を用いた。

逆電力潮流はたとえば図2.8のごとき接続において

(a) 短絡事故の場合(B変電所三相側F点において)

(b) 両変電所の変圧器二次位相の異なり(A変電所がB変電所より進みの場合)

(c) 両変電所の変圧器二次電圧の異なり(A変電所がB変電所よりも高いとき)

の場合、A変電所からB変電所に向かって生ずる。この逆電流6~60%を検出するものである。とくに電圧要素は特高側、電流要素はキ電側から取っている。

図2.9はCW-14形逆電力継電器の位相特性例を示す。

(3) ク(矩)形特性距離継電器によるキ電線保護

キ電線保護装置としてはキ電線外線故障検出用KKS-2形ク形特性距離継電器(#44F)とキ電線上下線短絡検出用KKS-2形ク形特性距離継電器(#44MT)の2種類がある。

交流電化キ電線においては1線が軌道であるため図2.10に示すごとく保護区間インピーダンス範囲と負荷インピーダンスの大きさに、あまり差が無く、かつ不完全故障のため故障点抵抗の影響を考慮する必要があり、また列車内変圧器の励磁突入電流の影響も考慮する必要もある場合は、円特性やモー特性では故障を確実に検出しようとするれば負荷状態でも誤動作することがあるのに対し、図のごとく四辺形特性なら故障を確実に検出し、しかも重負荷状態となっても誤動作しない整定が可能であることを示しており、また図に示すごとく電圧がゼロとなる至近端故障でも確実に動作するよう後方に微小オフセットしてある。

KKS-2形ク形特性距離継電器は、上記の諸条件を1個の継電器で満足するよう演算部、弁別部を静止回路網で製作された継電器である。

図2.11に交流電化キ電線保護用距離継電器外部接続回、

図2.12にKKS-2形ク形特性距離継電器位相特性、

図2.13にKKS-2形ク形特性距離継電器E-I特性、

図2.14にKKS-2形ク形特性距離継電器外観図を示す

(4) キ電延長用位相差検出継電器

キ電線を延長する場合に、2電圧の位相差が規定値内にあるかどうかを知るものとして、KV-20形位相差検出継電器がある。

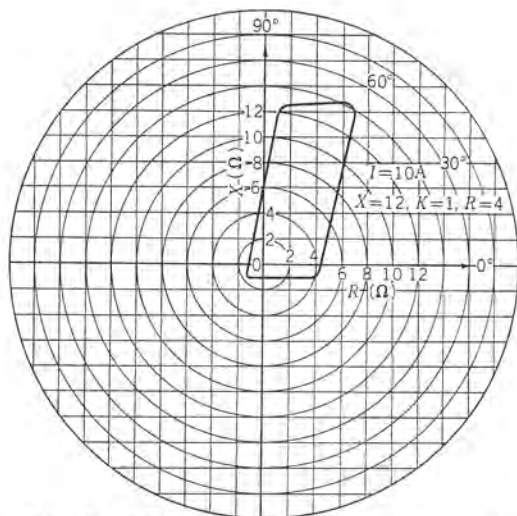


図2.12 KKS-2形特性距離継電器位相特性
Fig. 2.12 Phase characteristic of type KKS-2 square characteristic distance relay.

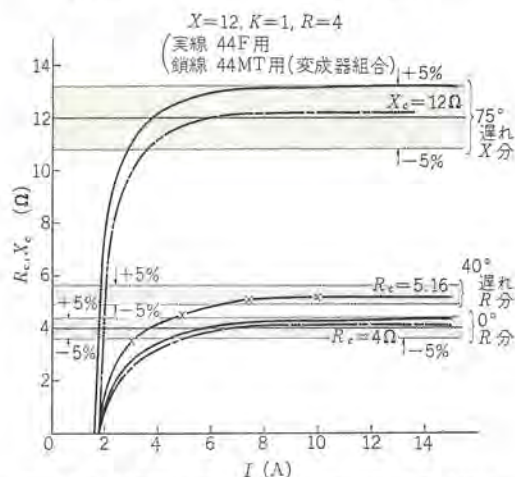


図2.13 KKS-2形特性距離継電器 E-I 特性
Fig. 2.13 E-I characteristic of type KKS-2 square characteristic distance relay.



図2.14 KKS-2形特性距離継電器外観
Fig. 2.14 View of type KKS-2 square characteristic distance relay.

構造は4極誘導 シリスタ 要素2個を主要素としており、1個は位相検出用 (KV 1) 1個は過大入力時の焼損を防ぐためのロック用 (KV 2) である。

図2.15の原理図に示すごとく、対称電圧 E_1 E_2 の間に位相のズレがあればその差電圧 u が現われ、この差電圧 u が規定値にあるかどうかを測定し位相差を検出する。検出感度としては8～

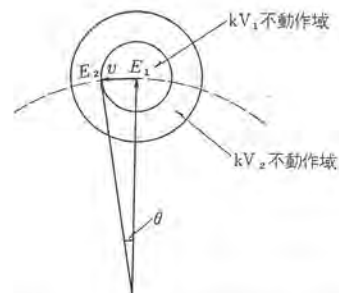


図2.15 KV-20 形位相差検出継電器の動作図
Fig. 2.15 Operation diagram of type KV-20 phase difference detecting relay.

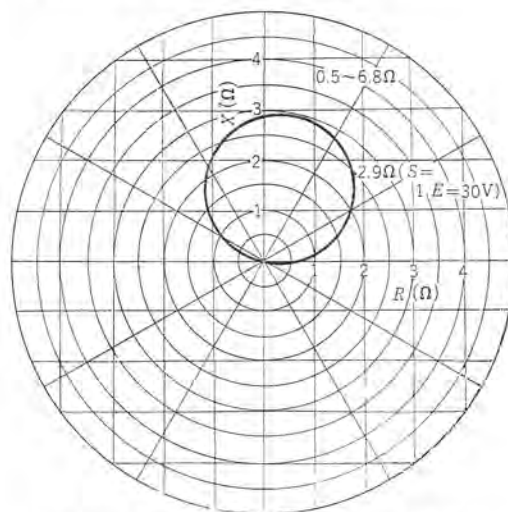


図2.16 KZ-1 形短絡方向距離継電器位相特性
Fig. 2.16 Phase characteristic of type KZ-1 short circuit directional distance relay.

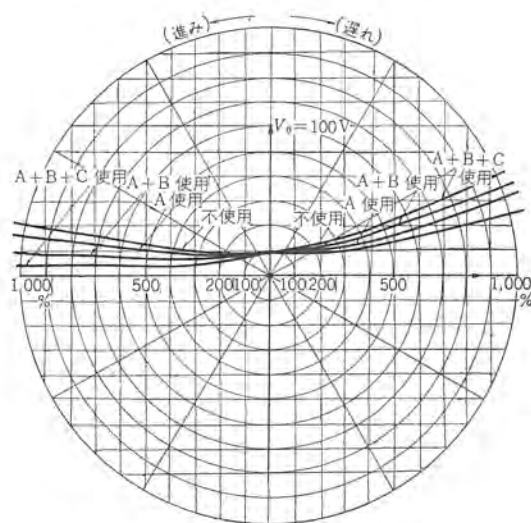


図2.17 DGB 形方向地絡継電器位相特性
Fig. 2.17 Phase characteristic of type DGB directional groundig relay.

20° の性能を備えている。

(5) 平行2回線受電保護

平行2回線受電で負荷端設置の継電器の場合2回線運用時は短絡地絡とも選択継電器 (SS, SG) によって保護している。使用する継電器は選択短絡継電器としては KZ-1 形短絡方向距離継電器、選択地絡継電器としては DGB 形方向地絡継電器である。

KZ-1 形短絡方向距離継電器 (#50 R) は送電線の短絡保護用の4極誘導 シリスタ 要素を主要素とし、メモリ 回路 (至近端故障時

に動作判定が不能にならぬため 3 c/s 程度健全電圧を記憶させておく、直列共振回路、フェースシフト回路を備えて距離測定と方向判定とを兼ね備えたモータ特性の継電器である。図 2.16 に KZ-1 形短絡方向距離継電器の位相特性を示す。

DGB 形方向地絡継電器 (#50 RG) は高抵抗接地系統に使用されるものであるが、この用途に使用されるものは高感度、低インピーダンス、安定した動作を要求されるが、この継電器は装置全体を静止回路網とし、可動線輪要素を主要素とし方向判別出力導出部、 V_0 抑制部、定電圧回路を備えている。その動作力は零相電

圧 V_0 と零相電流 I_0 とのワット成分 $V_0 I_0 \cos \theta$ によるもので図 2.17 に DGB 形方向地絡継電器の位相特性を示す。

3. キ電区分所用配電盤

キ電区分所として代表的主回路単線接続図を図 3.1 に示す。

3.1 制 御

制御としては表 3.1 に操作方法分類を表 3.2 に状態表示を示す。

(1) キ電用常用切換開閉器 (#52 S) および 同用動力操作断路器 (#89 S) の操作は表 3.1 に示すごとく抱き操作であるが、

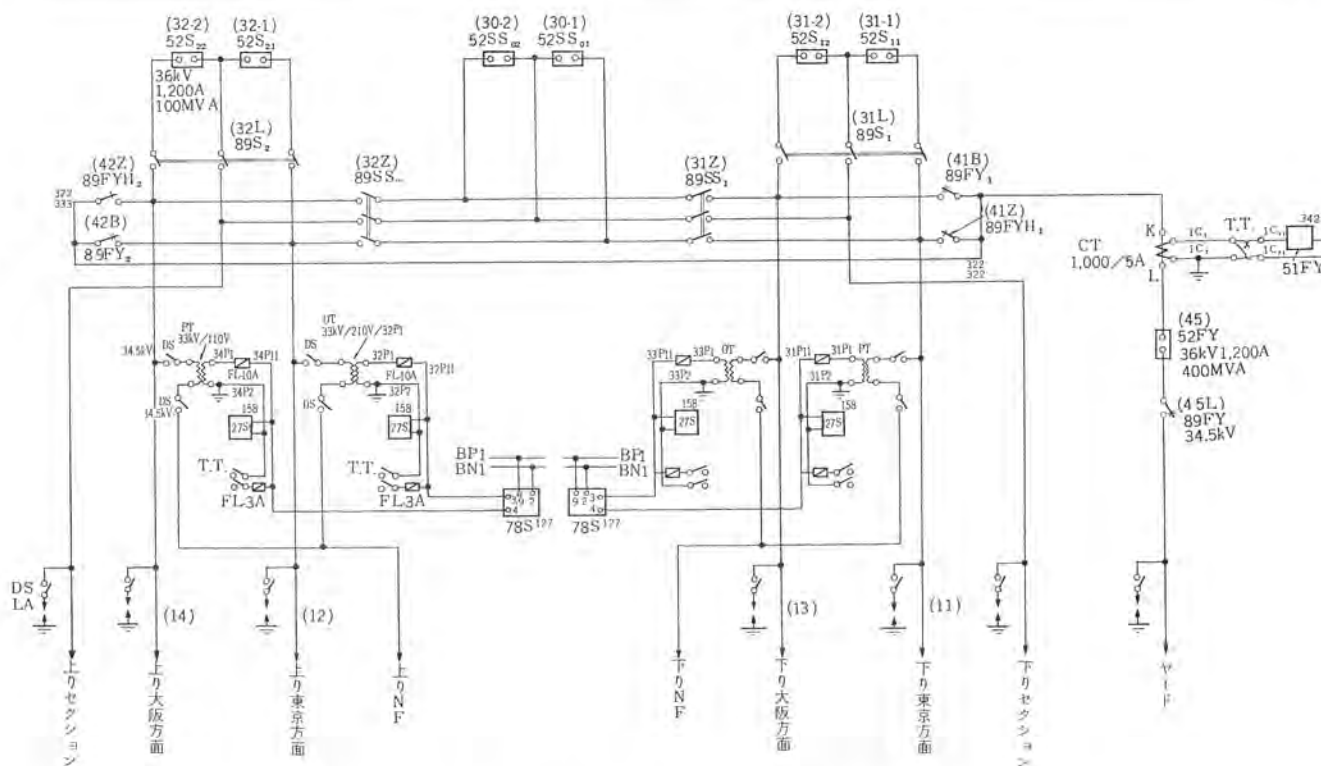


図 3.1 キ電区分所主回路単線接続図

Fig. 3.1 Skelton diagram of feeder section station main circuit.

表 3.1 キ電区分所操作方法分類表

機 器 名	操 作 方 法	記 号	自 動 操 作	直 接 操 作 (本 体 で 操 作 単 独)	遠 方 操 作 (盤 で 操 作 連 動)	自 動 遠 方 操 作	記 事
常用切換開閉器		52S	○	○	○	○	
" 断 路 器		89S	○	○	○	○	
予備切換開閉器		52SS	○	○	○	○	
" 断 路 器		89SS	○	○	○	○	
操車場キ電用交流シャ断路器		52FY	○	○	○	○	
" 断 路 器		89FY	○	○	○	○	
操車場断路器		89FY ₁	○	○	○	○	
"		89FY ₂	○	○	○	○	
鎖錠復帰			○	○	○	○	
動力断路一括鎖錠		86DS	○	○	○	○	
蓄電池充電装置			○	○	○	○	
空気圧縮機装置			○	○	○	○	
所内電源自動切換			○	○	○	○	
空調調和装置			○	○	○	○	

表 3.2 キ電区分所からの状態表示

種 別	記 号	故 当 記 事	備 考
機 器 表 示	開 閉 (2 位表示)	52 FY (89 FY)	
	開 閉 (3 位表示)	切換開閉器の状態表示 89 FY ₁ (89 FY ₂)	(1) 切 換 方 式 (2) 延 長 キ 電 (3) 「切」
故 障 表 示	切 換 故 障	48 S, 48 SS	
	故 障	63 A, 27 C, 26 r 80 B ₁ , 49 A, 51 F	
異 常 表 示	遠 制 異 常	80 B ₂	

表 3.3 キ電区分所保護連動表

故 障 原 因 また は 動 作 継 電 器 表 示	開 放 する シャ 断 路 器 有 無	警 報 種 別	備 考
キ 電 線 外 線 故 障	51 FY	52 FY 89 FY	○ ペル #52FY 鎖錠 だ だ し 遠 方 の と き は 鎖 錠 せ ず
切 換 故 障	48 S 48 SS		○ "
圧縮空気圧力高低	63 A		"
空気圧縮機 NFB 動作	49 A		"
充電装置故障	80 B ₁		" #30 の 取 り 付 け は お の の 機 器 と する
遠 制 異 常	80 B ₂		"
所 内 電 源 不 良	27 C		"
遠 制 機 器 室 温 度	26 r		"

その連動操作条件は

(a) #52 S₁₁ #52 S₁₂ が開放で、
#48 S が不動作で、予備動力操作断路器
#89 SS1 が開放している条件で
「切」のとき、切り換えの指令を受けると、
#89 S₁ 閉合後 #52 S₁₁ #52 S₁₂ は
軌道回路と連動「入」となる。

(b) #48 S 不動作の条件で延長中電中切り換えの指令を受けると、#52 S₁₁ #52 S₁₂ は軌道回路と連動「入」となる

(c) #52 S₁₁ #52 S₁₂ が開放しており、片方面外線無加圧かまたは両方面外線加圧で位相差検出継電器 (#78 S) 不動作、#89 SS が開放している条件下、「切」のとき延長中電の指令を受けると、#89 S₁ 閉合後 #52 S₁₁ #52 S₁₂ は閉合する。

(d) 片方面外線加圧または両方面外線加圧で位相差検出継電器（#78 S）不動作の条件で、切換方式中延長半電の指令を受けると、軌道回路との連動を解き #52 S₁₁ #52 S₁₂ を閉合する。

(e) 両外線無加圧の条件で、切換方式中切換指令を受けると、軌道回路との連動を解き #52 S₁₁ #52 S₁₂ および #89 S₁ を開放する

(f) 両外線無加圧の条件で延長キ
電中「切」の指令を受けると #52 S₁₁
#52 S₁₂ および #89 S₁ を開放する。

(2) 主 電用予備切換開器 (#52 SS₀₁)
および同用動力操作断路器 (#89 SS₁₀)
の操作は、表 3.1 に示すごとく抱き操
作であるが、その連動操作条件は

(a) #52 SS₀₁ #52 SS₀₃ が開放で、
#48 SS が不動作で、常用動力操作断
路器 #89 S₁ が開放している条件で、
「切」のとき切り換えの指令を受け
ると、#89 SS₁ と閉合後 #52 SS₀₁ #52
SS₀₃ は軌道回路と連動「入」となる。

(b) #48 SS 不動作の条件で延長+電中切り換えの指令を受けると、#52 SS₀₁、#52 SS₀₂ は軌道回路と連動「入」となる。

(c) #52 SS₀₁ #52 SS₀₂ が開放しており、片方面外線無加圧かまたは両方面外線加圧で位相差検出継電器（#78 S）不動作、#89 S₁ が開放している条件で「切」のとき、延長キ電の指令を受けると #89 SS₁ 閉合後 #52 SS₀₁、#52 SS₀₂ は閉合する。

(d) 片方面外線加圧かまた両方面外線加圧で位相差検出継電器(#78 S)不動作の条件で、切換方式中延長+電の指令を受けると、軌道回路との連動を解き#52 SS₀₁, #52 SS₀₂を閉合する。

(e) 両外線無加圧の条件で切換方式中、「切」指令を受けると軌道回路との連動を解き #52 SS₀₁ #52 SS₀₂ および #89 SS₁ を開放する。

(f) 両外線無加圧の条件で延長半電中「切」の指令を受けると #52 SS₀₁ #52 SS₀₂ および #89 SS₁ を開放する。

3.2 保護

保護としては表3.3に保護連動表を示す.

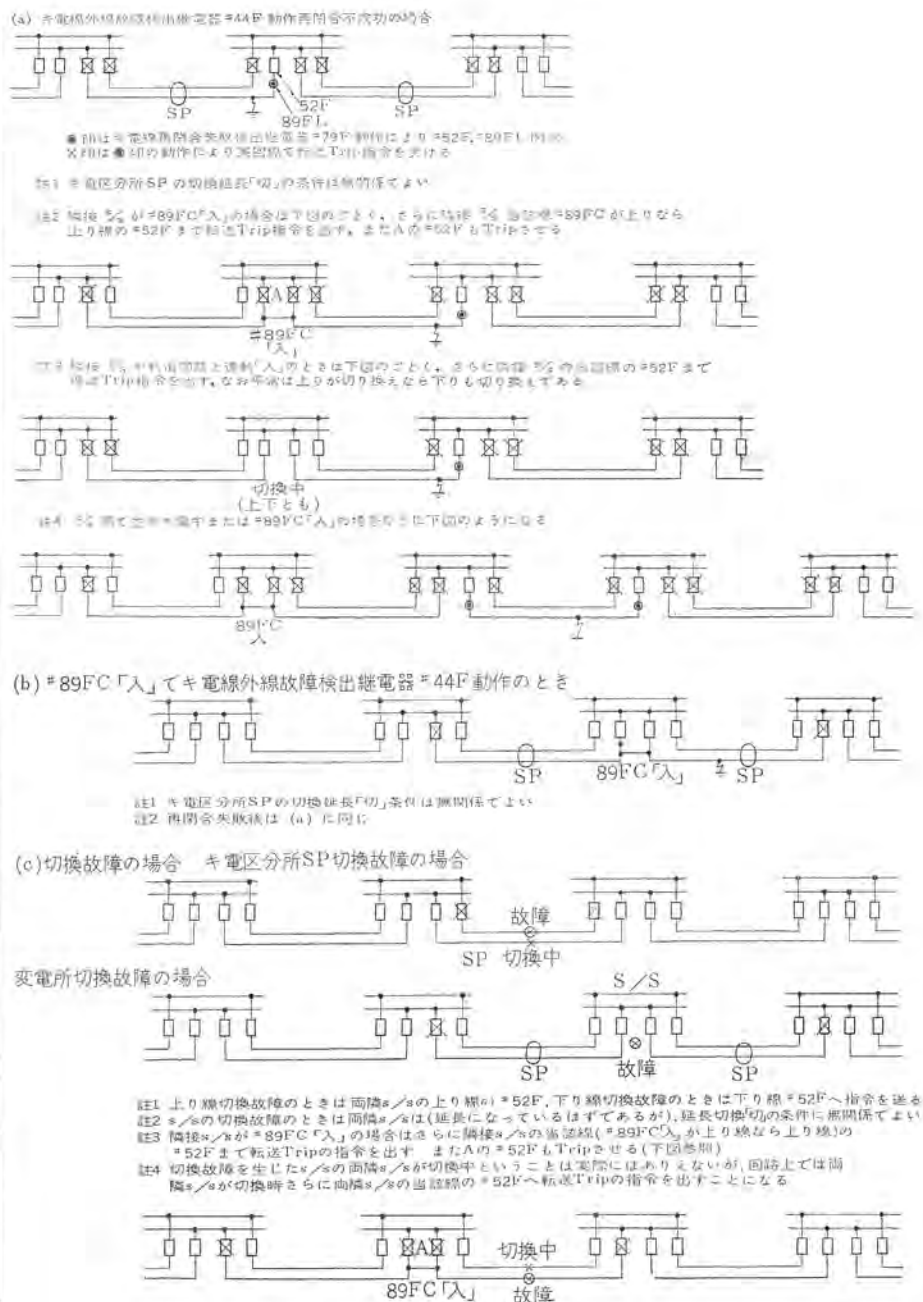


図4.1 転送シヤ断の条件
Fig. 4.1 Condition of transfer interruption.

4. 転送シャ断装置

転送チャ断の条件は図4.1のごとくである.

5. む す び

以上で国鉄新幹線交流電化の無人交流変電所および無人交流分電区分所用配電盤について、その概要を記述したものであるが、交流電化に関しては北九州国鉄交流電化で経験済みであったが、使用する列車の特殊性、列車運転の確実性、保安に対する絶対性など制御、保護に関し新しい考え方が追加され、これらに対し万全を期しえたとともに、さらに単位変電所および区分所として遠方制御される保守条件下で簡易化し保守点検の分野の負担を縮小した設計になっており、ひいては器具一般の信頼度がつよく要望され、またそれにこたえる設計と工作を実施している。

かかる新しい方式の採用は、すべて日本国有鉄道関係各位のご指示とご計画によったもので、当社にとっても参考になる点が多く深く謝意を表する次第である。

参考文献

国鉄新幹線総局発行 被制御機器電気連動要項
(集中遠方監視制御方式)

東海道新幹線 負荷時タップ切換スコット変圧器

嶋 裕 史*・菅 寿 郎*

Scott-Connected On-Load Tap Changing Transformers for New Tōkaidō Trunk Line

Itami Works Hiroshi SHIMA・Hisao KAN

The new trunk line of the Japanese National Railways is designed to operate on 25 kV single phase AC power. Scott connected transformers are employed for the power supply of the new project, because this connection brings about the least unbalance to the power source when it becomes necessary to draw large capacity single phase or two phase power from a three phase power supply. The scott connected transformer has been drawing attention of the circles. Mitsubishi has supplied five 6,000 kVA transformers of this design for electrification of the north Kyūshū line of the J.N.R. and now delivered nine 30,000 kVA units for use on the new trunk line, their features and outline being introduced herein.

1. ま え が き

東海道新幹線は、25 kV 単相交流系統によって電えられることになるが、この電力は地上変電所に設置されるスコット結線変圧器によって供給される。当社では新幹線地上変電所 25 箇所の中、新大阪、新高槻、東山、五箇荘、栗東、新米原、新枇杷島、新関ヶ原、羽島の 9 変電所に納入するスコット結線変圧器 9 台を受注し鋭意製作中であつたが、このほど完成し、工場試験も好成績で終了し出荷された。この変圧器は、当社で製作したスコット結線変圧器としては、前回製作した国鉄北九州電化用 6,000 kVA 5 台に続いて 2 回目の製品となるが、30,000 kVA という大容量であり、また数々の特長を有しているの、その概要を紹介し、合わせてスコット結線についても若干説明してみたいと考える。



図 1.1 新幹線 30,000 kVA スコット結線変圧器の外観
Fig. 1.1 30,000 kVA Scott connected transformer for New Tōkaidō Trunk Line.

2. スコット結線の紹介

スコット結線は、よく知られているように、三相電源から単相あるいは二相の負荷をとるときに用いられる変圧器結線で、一次側を T 形に結線するところから、T 結線とも呼ばれる。以前はかなり広く用いられていたようであるが、近年は大容量器にはほとん

ど採用されることがなかった。しかし、最近国鉄の交流電化が進められるに従って、大容量単相あるいは二相負荷を三相電源から電する必要が生じ、そのためスコット結線が急速に脚光を浴びるようになり、単相交流による交流電化の場合には、ほとんどの場合スコット結線が使用されるに至った。

スコット結線は巻線を 2 個使用し、一次側を T 形に結線して三相電源に接続し、二次側は別個に、あるいは L 形に接続して、単相あるいは二相負荷に接続される。一次巻線の中央にタップを有するほうの巻線を主座巻線、他方を T 座巻線と称する。

スコット結線の特長は、二相負荷をとる場合に、三相側に対する不平衡が少ないことである。三相電源に不平衡電流が流れると電源に対し悪影響を与えるとともに、電流の不平衡によって電圧にも不平衡を生じ、この線路に接続されている他の機器、とくに回

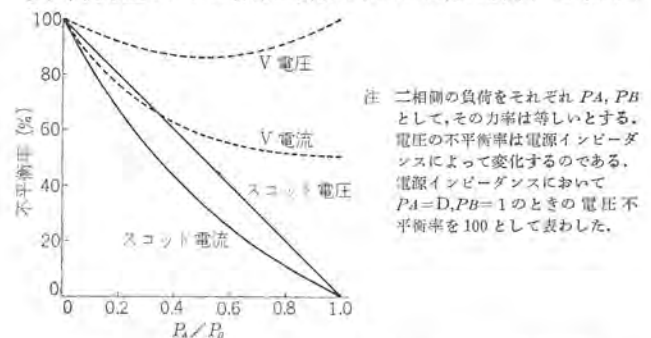


図 2.1 スコット結線と V 結線の電圧電流不平衡率の比較
Fig. 2.1 Comparison of unbalance factors between scott connection and V connection.

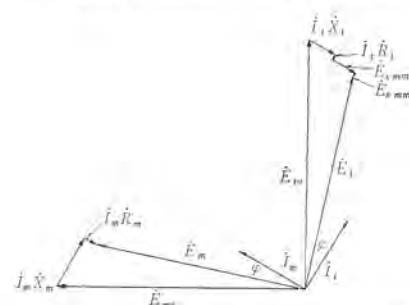
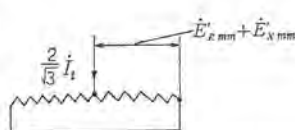


図 2.2 スコット結線の電圧電流ベクトル図
Fig. 2.2 Vector diagram of scott connection.

図 2.3 分流 インピーダンス の測定
Fig. 2.3 Measurement of impedance drop through main primary winding due to feeder primary current.



転機類に悪い影響を及ぼす。よく知られているようにスコット結線においては二相側に容量、力率の等しい負荷が接続されると、三相側には三相平衡電流が流入し不平衡率は0となるが、たとえ二相の負荷が等しくなくても、不平衡率は他の結線に比べて少ない。一例として、やはり三相から単相負荷をとる場合にしばしば用いられるV結線と、スコット結線の電流不平衡、電圧不平衡について比較したものを図2.1に示す。これからスコット結線が電圧電流不平衡の面から見て非常にすぐれていることがわかる。ここで不平衡率は、電圧、電流それぞれ逆相分と正相分の比として示した。

次に、スコット結線のベクトル図について説明する。簡単のために主座において巻数比1:1（T座において $\sqrt{3}/2:1$ ）の変圧器を考え、その二相側の一相あたりの出力を $P=E_m I_m=E_t I_t$ とすると、変圧器の電圧電流は図2.2のようになる。ここに

$I_m R_m, I_m X_m$: 主座巻線の抵抗、リアクタンス 降下（二相側換算）

$I_t R_t, I_t X_t$: T座巻線の抵抗、リアクタンス 降下（二相側換算）

また E_{Rmm}, E_{Xmm} は 図 2.3 の結線において得られた E'_{Rmm}, E'_{Xmm} を二相側に換算したもの、すなわち

$$E_{Rmm} = \frac{2}{\sqrt{3}} E'_{Rmm}, E_{Xmm} = \frac{2}{\sqrt{3}} E'_{Xmm}$$

である。これらの電圧降下は、後述のように設計上考慮を必要とする。

3. 新幹線スコット変圧器の定格事項

新幹線向けスコット変圧器の定格事項として、下記が指定されている。

3/2 相 60 サイクル 30,000 kVA 油入自冷式 連続定格

負荷時 タップ 切替器付き

一次 72.8 kV ± 7 kV 1.4 kV ステップ 11 点 上結線 70 号

二次 30 kV 下結線 30 号

定格としては連続定格であるが、電鉄負荷特有のセリ頭負荷を考慮して、300% 負荷2分間に対して異常なく耐えることが要求されている。また油劣化防止方式として、袋式コンサベータが採用された。

4. 設計上の特長など

前回製作した北九州電化向け 6,000 kVA においては、内鉄形構造を採用したが、今回は容量的にも当社の外鉄形の範囲であり、またインピーダンスとして、とくに低い値が指定されていることも考慮して外鉄形構造を採用した。

4.1 鉄心、巻線の構造

鉄心は外鉄形とし、1鉄心形を採用した。スコット結線変圧器の鉄心は鉄心を2個有する2鉄心形と、2個の鉄心を1個にまとめた1鉄心形に分けられる。前者は鉄心構造的には単相変圧器を2台用いたと同一で、おのおの鉄心の形状を自由に選べるので設計上自由度が大きい利点があるが、重量的に増大する欠点がある。一方後者は、継鉄の一部を共通にするので重量的に軽くすることができるが、主座鉄心とT座鉄心の鉄心断面積や窓の幅などを違えることがむずかしく、設計上の自由度が少ない。今回のように主

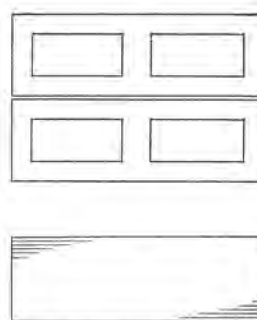


図 4.1 鉄心の構造

Fig. 4.1 Construction of core.

座とT座のインピーダンスが等しいことが要求されている場合には、とくにこの点が問題となるが、後述のように巻線構造を工夫することにより、この点が解決できたので、1鉄心形を採用することにした。鉄心の構造を図4.1に示す。鉄心窓を二つ有する以外は普通の外鉄形鉄心と変わりはないが、主座、T座巻線の間の継鉄は、主座磁束とT座磁束の和が通過するので、約 $\sqrt{2}$ 倍に鉄心幅を増大している。

巻線の設計についてはインピーダンスの点にとくに考慮を払った。すなわちこの変圧器のインピーダンスは、主座T座とも4%とすることが指定されている。この値は、70 kV 系統用変圧器の標準インピーダンス7.5%に比較すると半分程度の低い値である。これは、もちろん、セリ頭負荷の場合の電圧変動率を少なくする目的のためである。今回は外鉄形を採用したので、巻線は交互配置形を採用することとなる。交互配置巻線においては、よく知られているように、高低圧コイル群数を増加することにより、鉄心断面積やコイル形状を変えることなく、インピーダンスを減少させることができる。30,000 kVA 程度の容量における標準の群数は2群であるが、今回は上記のような見地から4群を採用した。この結果通常の30,000 kVA 程度の変圧器とほぼ同様の鉄心断面積を採用して4%のインピーダンスを得ることができた。

さらにインピーダンスに関しては、主座とT座の値を等しくしなければならぬという条件がある。図2.2のベクトル図からもわかるように、主座については、インピーダンスは普通の変圧器と同じ考え



図 4.2 北九州電化向けスコット変圧器
主座巻線構造

Fig. 4.2 Main winding construction of Scott connected transformer for Kitakyushu AC electrification.

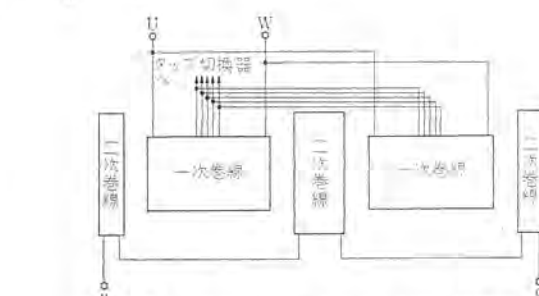


図 4.3 新幹線スコット変圧器主座巻線構造

Fig. 4.3 Main winding construction of Scott connected transformer for New Tokaido Trunk Line.

方でよいが、T座については、インピーダンスの中に、T座の一次電流が主座を分流する際のインピーダンス降下が含まれているので、この値とT座自体のインピーダンスの和が4%になるようにしなければならない。今回は1鉄心形を採用しているので、前述のように、主座とT座の鉄心断面や窓幅は、構造上同一とする必要がある。T座巻線自体のインピーダンスを主座のインピーダンスより大幅に低くすることはむずかしい。したがって、T座の合計インピーダンスを4%にするためには、前記の分流インピーダンス降下を十分低くする。すなわち主座一次巻線の各半分の間の電磁的結合を良くしてやる必要がある。前回の北九州電化向け 6,000 kVA は内鉄形で、主座一次巻線は円盤巻であり、T座に接続される中央タップは巻線中央から取り出している。したがって巻線は上下に2分されているので、この上下の巻線間の結合は悪く、使用上不都合である。これを避けるために二次側巻線を同様に上下に分けて巻き、これを並列接続することにより、二次巻線を通して分流インピーダンス降下を小さくするようにしている。すなわち図4.2に示すような構造である。しかしこの構造では、T座一次電流が主座の一次巻線を分流することにより、主座二次巻線に、常に循環電流が流れるので、巻線の利用率としては、若干低下する。この点を考慮して、今回の新幹線向け変圧器では、主座一次巻線の各半分の間の結合を、二次巻線を介することなく直接密にしてやる方法をとった。この巻線配置を図4.3に示す。すなわち主座の一次巻線は2コイルに分け、そのおのおのが一つの主座一次巻線を形成するようにし、これを並列に接続している。したがって、各半分の巻線の間については2群構成となり、インピーダンスは、T座二次側に換算して0.6%と十分低い値に抑えることができた。この結果T座自体のインピーダンスは3.4%とすればよいことになり、これは、主座と同じ鉄心断面、窓幅によって十分達成できたので、鉄心構造は著しく簡単となり、同時に1鉄心形の利点を十分発揮することができた。このように1鉄心式の採用と巻線利用率の向上により、変圧器の寸法、重量としては、普通の三相30,000 kVA とほぼ同様とすることができた。

4.2 負荷時タップ切換器

この変圧器は70 kV 側受電電圧の変動と、列車起動時の負荷電流による変圧器受電電圧降下を補償するために、負荷時電圧調整を行なう必要があり、最も有効な方法として変圧器に負荷時タップ切換器を取り付けた。負荷時タップ切換の方式には、一次切換、二次切換、直接式、間接式(直列変圧器式)などいろいろな適用方法があり、それぞれに利点、欠点を持つが、最も適切で経済的な方法として、高圧巻線の主座巻線とT座巻線の接続点に、直接にタップ切換器をそう入する一次切換直接式を採用し、負荷時タップ切換器は、当社が高圧大容量変圧器用として標準製品であり、多数の納入実績をもつ、YT形一抵抗式負荷時タップ切換器(ラックシグマウント形)を採用した。

前記のように主座T座の接合点にタップを設けたので、タップ切換器としては普通の三相中性点用と同じものが使用できるが、タップ間電圧が主座とT座では異なるため、切換用抵抗値を変えるなどの考慮が必要であった。

(1) タップ切換方式

変圧器に設けたタップを負荷状態のままで移すには、負荷時タップ切換器が現在使っているタップから離れる前に、次のタップにも接続されていなければならないため、二つの異なったタップが同時に同じ線路につながる機会があって、このとき2タップ間が橋

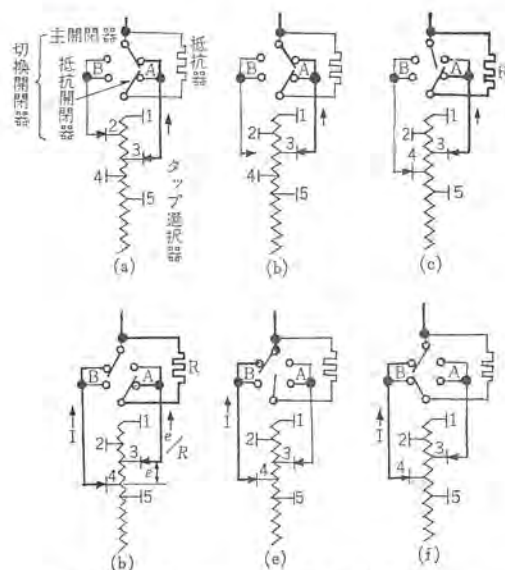


図 4.4 YT 形 タップ 切換器の切換順序
Fig. 4.4 Tap-changing sequence of type YT an load tap changer.

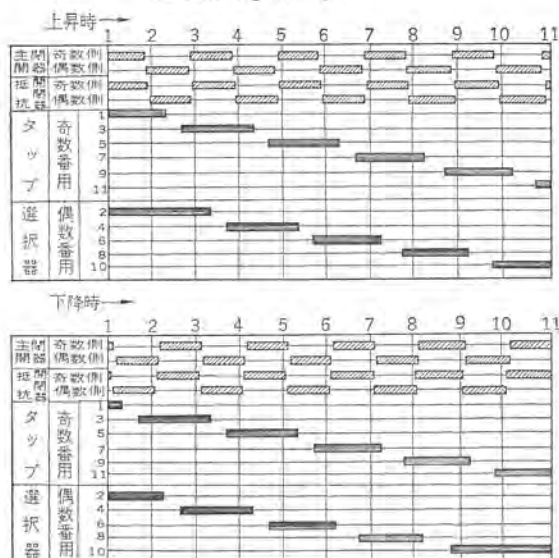


図 4.5 切換動作 シーケンス (11 点)

Fig. 4.5 Sequence diagram of tap changing (11 taps).

絡状態となる。この橋絡回路を流れる電流を安全な値に抑制する要素として、YT 形負荷時タップ切換器には抵抗器を用いたいわゆる抵抗式をとっている。抵抗方式にも現在1抵抗式、2抵抗式あるいは4抵抗式など種々の切換方法があって優劣を競っているが、TY 形負荷時タップ切換器は、構成が簡単で信頼度がすぐれた1抵抗式を用いている。負荷時タップ切換器の結線とタップ切換順序は図4.4のとおりであり、実際に切換器を構成する器具は次のとおりである。

- (a) タップ 選択器
- (b) 切換開閉器
- (c) 限流抵抗器
- (d) 駆動機構

図4.5は、この変圧器に使用した11点形タップ切換器の切換動作シーケンスを示す。図4.4は負荷時タップ切換器がタップ3からタップ4へ切り換えを行なう行程を示している。駆動機構が切換指令により回転を始めると、タップ選択器の偶数側接点Aが、タップ2からタップ4へ進み(この間電流はタップ3を通して流れ続ける)タップ4に接触したのち切換開閉器の主開閉器がBからAに転換し引き続いて、抵抗開閉器がBからAに転換を行なって1タップ

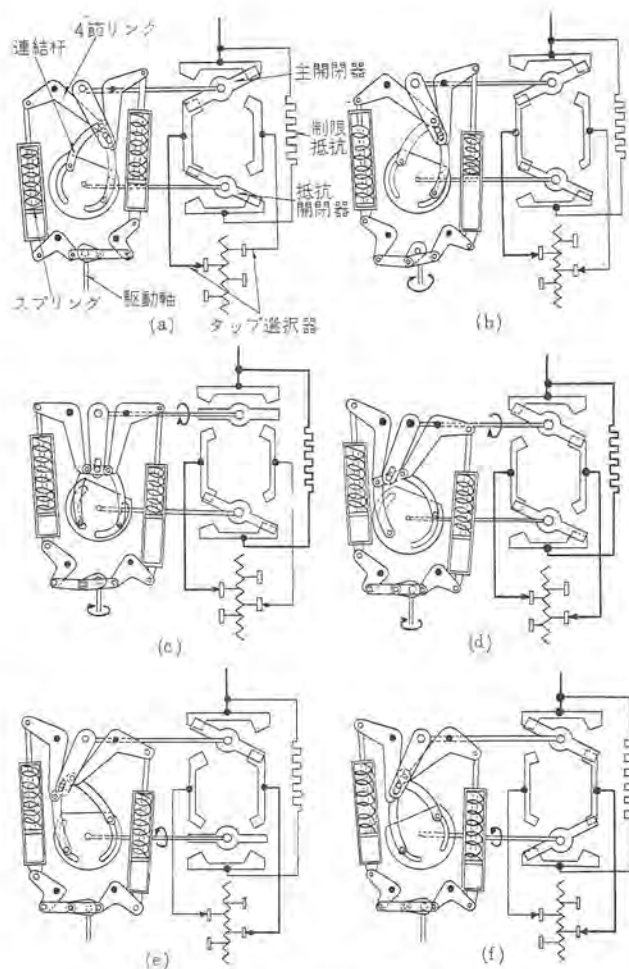


図 4.6 早切機構動作説明図
Fig. 4.6 Operation of quick motion mechanism.

切り換えを完了する。タップ選択器がタップ2からタップ4に移転している間は切換開閉器を動かす早切機構はその駆動スプリングにエネルギーが蓄積され、タップ選択器の移転が終わった後に早切機構のトルリンクが引きはずされて駆動スプリングによって、主開閉器および抵抗開閉器は瞬間的にBからAへ切り換えを行なう。

(2) 切換開閉器と抵抗器

切換開閉器はタップ選択器があらかじめ接触した隣のタップへ現在のタップから回路を移す役目をもっている。図4.4では主開閉器、抵抗開閉器ともに単純な単極双投開閉器として図示したが、実際はこの両開閉器に要求される特性はまったく異なり、主開閉器は常時の通電をつかさどるとともに、切換時の責務は負荷電流とともに変化するから、過負荷電流においても安全に切り換えができればならない。一方抵抗開閉器は、切換時に瞬間通電する以外は連続通電の必要がなく、切換時の責務も負荷電流に無関係に一定である。一般に負荷時タップ切換器はシャ断器と比べた場合、責務は低いが、切り換え度が高いためにもかかわらず、長年月の間、ほとんど無点検で使用できる信頼度を要求される。とくに新幹線キ電用変圧器の場合、ほとんど停止はできない環境となるため、電流を開閉する切換開閉器の主開閉器、抵抗開閉器は上記の特性と要求を考え合わせることが必要である。そこで実際の切換開閉器は図4.6のように、高ひん度切換に対するアーク接点の寿命と機械的耐久度を考慮して、テピン形の両切形開閉器としている。このような構造にすることによって

(a) 1 接点あたりのシャ断容量を半分にする

(b) 開極速度が2倍となりアーク時間が短くなる

(c) 耐久性の弱点であるフレキシブルシャントが不要であるなどの利点が發揮され、きわめて高い耐久信頼度が得られることは明らかである。

主開閉器、抵抗開閉器の転換動作には駆動スプリングとトルリンクを組み合わせた早切機構を用いた。その概略は図4.6のとおりであって、早切機構の駆動クランク軸が回転を始めると、片側(図では右側)のスプリングが徐々に圧縮される。この圧縮が十分行なわれたとき、反対側(左側)のスプリングがトルリンクを押して死点を引きはずすため、スプリングの力によってリンクは一挙に転換する。トルリンクは主開閉器軸、抵抗開閉器軸にレバーをもって結合されており、まず主開閉器が続いて抵抗開閉器が転換する模様は図4.6(a)~(f)のとおりである。このような独特の構造とした利点は次のとおりである。

(a) 開閉器の転換動作がきわめて短時間であり、接点のアークによる消耗が少なく、抵抗器は小形化される。

(b) 駆動モータが万一切換途中で止まっても開閉器は不安定な中間位置に停滯しないから運転上安全である。

(c) 駆動スプリングは圧縮方向を使っているから、万一折損しても切換動作はほとんど影響を受けない。

実際の変圧器定格から通過電流と1ステップの電圧が与えられた場合、抵抗値をどれほどに選ぶかは重要な問題である。一般にYT形負荷時タップ切換器では、抵抗値を低くすれば、線路の過渡的電圧降下は減り主開閉器の極間回復電圧も小さくなるが、抵抗開閉器のシャ断電流が増す、抵抗値を高くすればこの逆となるため開閉器接点の耐久寿命を考え合わせると、抵抗値の自由度はきわめて限定される。普通の電力用変圧器では、もっぱら

抵抗値 = 1 ステップの電圧 / 定格通過電流

と選ぶのを標準としている。しかし新幹線キ電用変圧器においては負荷電流は一定ではなく、大幅に変動するから、電力用変圧器のような抵抗値の決定法は適当ではない。あらゆる負荷条件を考慮に入れた上で切換開閉器の切換能力と接点寿命を勘案し

主座タップ切換器用抵抗器……1.77 ホーム

T座タップ切換器用抵抗器……3.05 ホーム

と決めた。この値をとることにより、主開閉器、抵抗開閉器の30 MVAにおけるシャ断責務は次のとおりとなり、300% 負荷 (90 MVA) においても安全に切り換えが行なわれる。

	シャ断電流	極間回復電圧
主座主開閉器	238 A	422 V
主座抵抗開閉器	395 A	700 V
T座主開閉器	238 A	730 V
T座抵抗開閉器	395 A	1,210 V

(3) 制御回路

電車線にキ電する場合負荷時タップ切換器によって、変圧器受電電圧の変動はもちろん、負荷電流による送電線、変圧器、キ電線などのインピーダンスによる電圧降下をも補償することが、最良であるが、新幹線のように単位負荷の大きい場合は、負荷の変動が激しく、このような制御方法では負荷時タップ切換器はきわめてひんぱんに動作し、むしろ有害な結果が予想される。そこで、無負荷時の変圧器受電電圧の変動のみに応じて電圧調整を行ない、負荷時の送電線、変圧器の内部電圧降下には応動させない方法をとった。一般の電力用変圧器では、変圧器二次側に電圧検出要素を設け、送電線、変圧器のインピーダンス降下に合わせた線路電圧

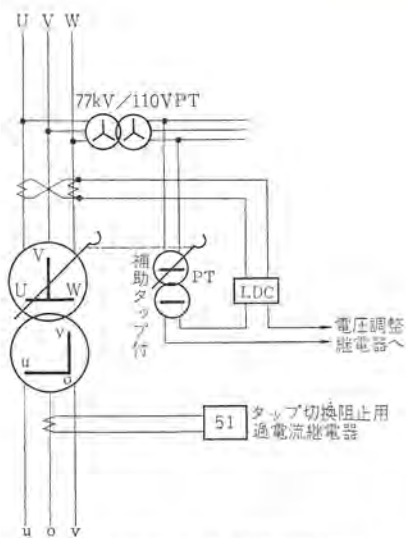


図 4.7 負荷時 タップ 切換器制御回路

Fig. 4.7 Control circuit of on load tap changer.

降下補償器 (LDC) で得た補償電圧を加えてやれば、上記の目的を達するが、この変圧器の二次側は スコット 結線による単相負荷で不平衡があるためこの方法は適当ではない。そのために電圧検出要素および LDC を変圧器一次側に設け、LDC は送電線に電圧降下を与える主座電流分のみにより補償電圧を出すよう結線した。

図 4.7 に概略を示すが、このような特殊回路を用い積分形電圧調整継電器を用いることによって、負荷時 タップ 切換器の不必要な切り換えを阻止することができた。負荷時 タップ 切換器は前述のように 300% までの過負荷切換能力をもっている。しかしこの

ような過負荷時に タップ 切換を行なうことはできる限り避けるべきであることはいふまでもない。この過負荷切換防止対策として、変圧器二次側に図 4.7 のとおり過電流継電器を設け、動作時には負荷時 タップ 切換器駆動電動機を開放して、タップ 切換を阻止させるようにした。

継電器の整定は二次側定格電流の 200% にとったが、主座、T 座ともに過負荷のときには、141% の合成電流で動作することとなり、タップ 切換器の保護は完全である。なお タップ 切換途中で電動機を開放した場合、過電流継電器の復帰とともに、電動機は阻止前に切り換えようとしていた方向に引き続いて駆動させるための、切換方向記憶回路をもたせてあることはもちろんである。この変圧器は、将来増設時を考慮し、負荷時 タップ 切換器の並列制御ができるようすでに考慮されている。

5. 試験結果

工場試験には、問題なく合格した。インピーダンス値は主座 T 座とも約 3.9% が得られ、十分 バランス のとれた設計であることを実証できた。

6. む す び

新幹線 スコット 変圧器の概要について紹介したが、今回の製品が工場試験において満足すべき結果を示したことは喜ばしい。今後電鉄の交流電化の発達に伴い スコット 結線変圧器の需要も増大すると考えるが、今回の製品によって当社外鉄形 スコット 変圧器の標準構造が確立できたので、今後の製品にこの経験を十分活かして行きたいと考えている。

東 海 道 新 幹 線

変 電 所 用 シ ャ 断 器

潮 恒 郎*・米 沢 克 昌*
森 岡 昭 二*・吉 田 頼 弘*

Air Blast Circuit Breakers for Substations of New Tōkaidō Trunk Line

Itami Works

Tsunerō USHIO・Katsumasa YONEZAWA
Shōji MORIOKA・Yorihiro YOSHIDA

Mitsubishi has participated in the project of New Tōkaidō Trunk Line of the Japanese National Railways by supplying three types of newly developed air blast circuit breakers to the substations. Type 70-Y-150 three phase outdoor air blast circuit breakers, each consisting of two units of the main and internal series isolating breaks and being rated 84 kV 600 A 1,500 MVA, are located on the receiving side of the substations. Type 30-AHW-60S, rated 36 kV 1,200 A 600 MVA outdoor breakers for 36 kV single phase feeder line adopt parallel low resistance switching to cope with the high rate of rise of recovery voltages. Type 30-AHL-10 frequently operating indoor breakers, 36 kV 600 A 108 MVA ratings, are used for changing the feeding source side alternatively to the section situated between two substations when the train passes there.

1. ま え が き

新幹線変電所用 シャ断器として 84 kV 受電回路用に 70-Y-150 形三相屋外用空気 シャ断器を、36 kV 電回路用に 30-AHW-60 S 形单相屋外用空気 シャ断器を、さらに区分所の多ひん度切換開閉器として 30-AHL-10 形单相屋内用空気 シャ断器を多数製作納入したのでおのこの構造、動作、試験結果などについて述べる。

2. 84 kV 受電用 Y 形空気シャ断器

図 2.1 は東変電所に納入された 70-Y-150 形空気 シャ断器である。空気タンク上に垂直に立てられた支持パイプの上に M 形の消弧室が配置され V 形の部分が シャ断部、その外側の H 形の部分が断路部のいわゆるユニットシステムをとったシャ断器でもな定格は次のとおりである。

定格電圧 84 kV
定格電流 600 A

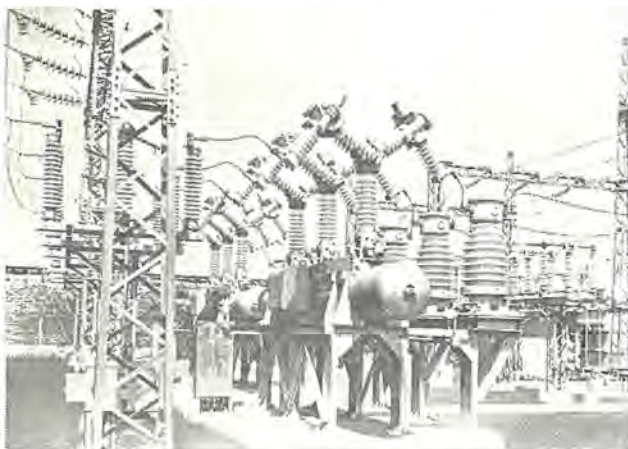


図 2.1 東変電所に納入された 70-Y-150 形空気 シャ断器
Fig. 2.1 Type 70-Y-150 air blast circuit breaker delivered to Ritto substation.

定格 シャ断容量 1,500 MVA
定格 シャ断時間 5 c/s
定格操作圧力 15 kg/cm²・g

シャ断は引はずし指令により空気タンク上の吹付弁が開かれると圧縮空気が支持パイプを通して消弧室に送られ、シャ断部可動接触子が開離して電流をシャ断し、一方遅延弁により約 2 サイクル時限をおいて断路部に送られた空気により、断路部が開極して消弧室に並列の抵抗電流をシャ断するとともに排気口をふさぐので消弧室、断路部内部は圧縮空気で充満されシャ断部は再び接合状態にもどるが、極間の絶縁は高圧気中の断路部で保たれる。

したがって投入は吹付弁と向かい合った排気弁を動作させることにより消弧室内の空気を支持パイプを通して排気し、断路部が投入される。

おもな特長は次のとおりである。

(1) ユニット化されたことによって量産された信頼度の高い部品が使用されており、また部分試験によりシャ断、投入能力を完

表 2.1 Y 形空気 シャ断器の製作経歴

納入先	形名	定 格			数 量	備 考
		電 圧 (kV)	電 流 (A)	シャ断容量 (MVA)		
国鉄新幹線変電所	70-Y-150	84	600	1,500	14	一製作中
徳山ソーダ徳山工場	"	72	600	1,500	1	
近鉄中川変電所	"	84	600	1,500	1	製作中
日本食品富士工場	"	72	1,200	1,500	1	"
国鉄小岩変電所	"	72	600	1,000	1	
東北電力蓬萊発電所	70-Y-250	84	800	2,500	1	
理研大和町工場	"	72	800	2,500	2	製作中
国鉄武蔵野変電所	"	72	1,200	2,500	5	
関西電力白川発電所	"	84	1,200	2,500	1	製作中
北海道電力岡山変電所	"	72	600	2,500	2	"
阪神水道企業庁甲東ポンプ場	"	84	600	2,500	1	"
北海道電力七飯発電所	"	72	600	2,500	6	"
北海道電力七飯変電所	"	72	1,200	2,500	2	"

全に検証されている。

- (2) 断路部は高圧気中で断路を行なう内部断路形であるから
 - a. 断路部可動接触子の行程が小さく、高速度の投入が可能
 - b. 開離時も接触子間に空気吹付が行なわれるためシヤ断部並列抵抗の値を低くできるのでキロメートル故障、局所電力シヤ断といった高い再起電圧に対してもシヤ断特性がよい。
 - c. 抵抗電流のシヤ断は空気吹付の弱い断路部で行なわれるので、励磁電流シヤ断時の過電圧の値が小さい。

という利点を持っている。

(3) シヤ断部と断路部が分離しているので前者はシヤ断特性最良の形状に、後者は断路特性最良に設計されている。

(4) 断路部極間に抵抗シヤ断点などが並列に入っていないので信頼度の高い断路特性が得られる。

(5) 保守点検が容易でとくに接触子の点検は3~5 kgの固定接触子をはずすだけで簡単に行なえる。

試験その他詳細については別号の本誌上に発表されるので割受する。



図 3.1 30-AHW-60 S形
空気シヤ断器
Fig. 3.1 Type 30-AHW
-60 S air blast circuit
breaker.

3. 36 kV キ電用 AHW 形空気シヤ断器

キ電用を使用されるシヤ断器は変電所出口近傍で短絡事故が生じた場合変圧器背後系統の低い周波数成分に変圧器の高い固有振動が重畳するという非常に過酷な再起電圧のもので、そのシヤ断器にとっては最大のシヤ断電流を切る必要が生じる。空気シヤ断器にとっては再起電圧上昇率が高いことはシヤ断電流が大きいことと同程度にきついで、キ電用を使用される場合はとくに条件が過酷である。この解決策として低抵抗シヤ断方式をとるかコンデンサをシヤ断器に並列に設置して回路の周波数を落すか二通りの方法が考えられるが、当社は34年に低抵抗シヤ断方式を用いた空気シヤ断器を国鉄北九州交流電化変電所に納入して好評を得ているので⁽¹⁾今回も低抵抗シヤ断方式を用いた空気シヤ断器を開発製品化して納入した。

3.1 定 格

要求された定格および性能は次のとおりである。

定格電圧	36 kV
絶縁階級	30 号 A
定格電流	1,200 A
定格シヤ断容量	400 MVA, 600 MVA
定格再起電圧	II 号 20 kc
定格シヤ断時間	5 c/s
定格操作圧力	15 kg/cm ² ・g
標準動作責務	O-(0.35 sec)-CO-(1 min)-CO

なお スコット 変圧器異相短絡時および隣接変電所のキ電線が混触した時を考慮して、定格シヤ断電流の70% (11.7 kA) 以下の時は回復電圧が43.2 kV ($\approx \sqrt{2} \times 30$ kV), 定格シヤ断電流の25% (4.2 kA) 以下においては回復電圧が61.2 kV ($\approx 2 \times 30$ kV) が指示されそれにとまって極間の耐電圧は AC 84 kV 10 分間が

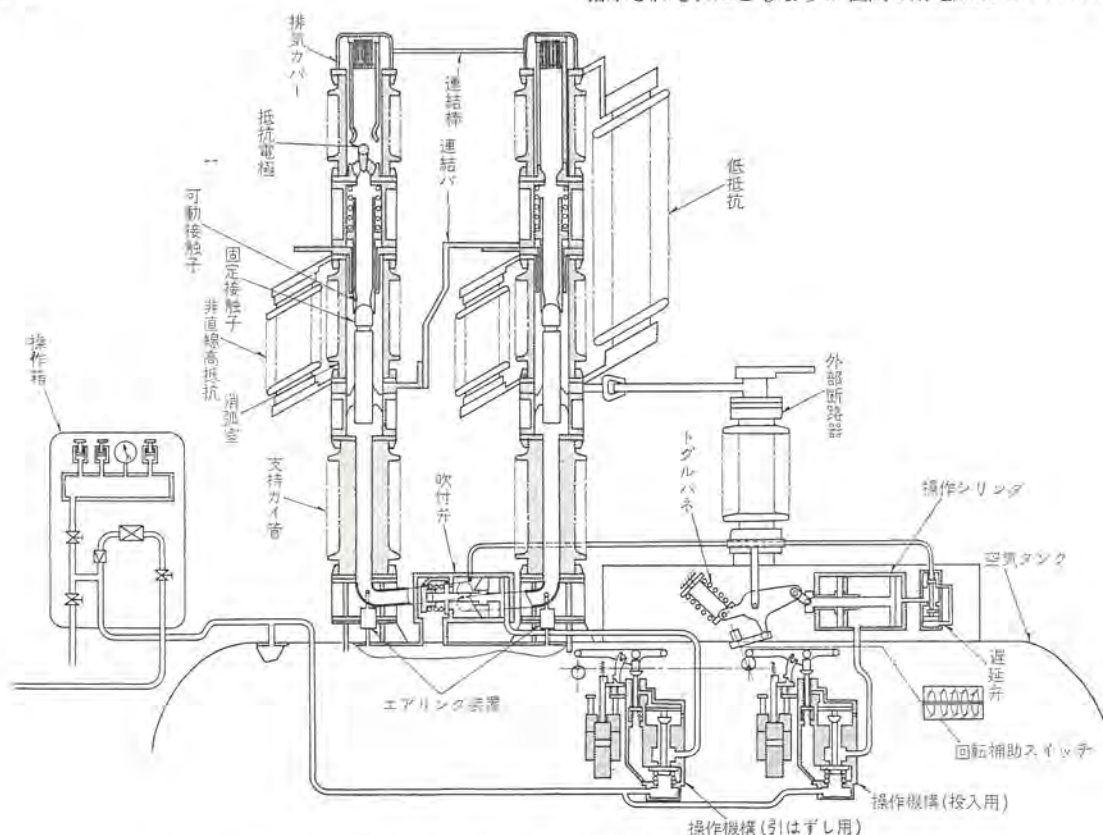


図 3.2 30-AHW-60 S 形空気シヤ断器動作説明図
Fig. 3.2 Schematic diagram of type 30-AHW-60 S air blast circuit breaker.

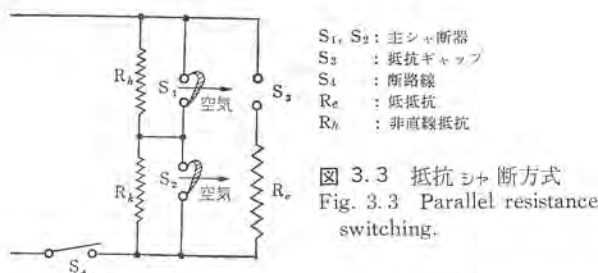


表 3.1 連続開閉操作試験結果

操作回数	0	1,000	3,000	5,000	10,000
開時 シャ断部(sec)	0.043	0.042	0.042	0.040	0.042
極間断路部(sec)	0.078	0.082	0.078	0.083	0.083
投入時間(sec)	0.113	0.114	0.115	0.116	0.111

要求されている、また等価損傷 0.1 mg/cm^2 に耐えるようにガイ管の表面漏れ距離 $[L \text{ mm}]$ と平均胴径 $[d \text{ mm}]$ との間には $L \geq 580 + 2.8d$ なる関係が満足されるように指定された。

3.2 構造および動作

図 3.1 の外観および図 3.2 の動作説明図に示されるように空気タンク上に吹付弁、支持ガイ管を通して二つのシャ断部と一方に操作シリンダによって回転する断路部がある。シャ断部にはそれぞれ電圧均等分布と異常電圧抑制の役目を持った非直線高抵抗と断路部に近いシャ断部には低抵抗が取り付けられている。

引はずし指令によって吹付弁が開き空気タンク中の圧縮空気が二つの支持ガイ管に分流してシャ断部に供給される。消弧室内の圧力が上昇すると固定、可動接触子がともに動き始め、ワイピングの間に接触子が十分加速された後固定接触子と分離する。この時発生したアークは圧縮空気によってノズル形状をした可動接触子内に吹込まれ冷却シャ断されるが、もしシャ断電流が大きいと、再起電圧上昇率が高い場合は図 3.3 の等価回路で示されるように一方の消弧室内に発生したイオン化ガスが主シャ断点である可動接触子の下流に設けられた抵抗電極の方へアークを移し、低抵抗が二つのシャ断点に並列にそう入されることによってシャ断を容易にする。外部断路器は吹付弁から遅延弁を通して一定時間遅れて操作シリンダ内に導入された圧縮空気によって回転され、断路器が極間絶縁を十分保持できる位置まで移動すると、断路部に機械的に連結された操作機構によって吹付弁が閉じられるのでシャ断部内の空気が排気され可動接触子は再び閉合位置にもどる。

投入動作は断路部のみによって行なわれる引はずし時と逆の動作で高速に投入される。断路部はトルバネによって最終位置に保持されるし、ポンピングは機械的に防止されている。

3.3 試験

3.3.1 連続開閉操作試験

1.5×10^4 回の連続開閉操作試験を実施したが、その中 10^4 回は $15 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ で操作し試験前後に各部の寸法測定、浸透損傷試験、ネジ部のゆるみの有無、変形、ガスケットのいたみなどを検査し、残る 5×10^3 回中 3×10^3 回は $15 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 、 2×10^3 回は $16.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ で O-(0.35 sec)-C の操作を繰り返し、寸法測定を除き上記の各検査を行なったが問題なく終了した。表 3.1 に開極、投入時間の実測結果を示す。

3.3.2 温度試験

図 3.4 および表 3.2 に $1,200 \text{ A}$ を通電した場合各部の温度上昇値を示す。低抵抗の温度上昇は大電流シャ断時、回復電圧により約 $1/4$ サイクル抵抗に電流が流れることによって生ずるが、温度上

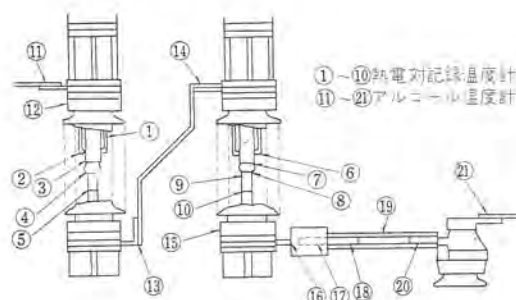


表 3.2 各部温度上昇値

測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
温度上昇(°C)	33.0	39.5	44.5	42.0	50.5	36.5	42.0	44.5	7.5	49.5	37.5
測定点	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	周囲温度
温度上昇(°C)	36.5	47.5	38.5	33.5	27.5	24.5	23.5	21.5	20.5	23.0	10.5

昇が一番高くなるのは回復電圧 61.2 kV で電流 4.2 kA をシャ断した時であるから抵抗に温度ラッカを塗布しこの回路条件で標準動作責務を二回連続シャ断して上昇する温度の最高値を測定したが、設計値とおりの値になっていたので通常の回復電圧 36 kV のもとでは十分余裕のあることがわかった。

3.3.3 シャ断試験

まず抵抗のないシャ断点一つに対するシャ断電流—再起電圧上昇率の特性を短絡試験によって求め、シャ断点二個直列で低抵抗シャ断を行なった際は定格に対しどの程度裕度があるかを予測し

表 3.3 短絡シャ断試験結果

動作 責務	給与 電圧 (kV)	シャ断 電流 (kA)	シャ断時間 (60 c/s ベース)				再起電圧 (kV)	操 作 力 (kg/cm ² ・g)	
			開極 (〜)	アーク (〜)	全 (〜)	抵抗ギヤップ アーク時間 (〜)			
O	61.2	4.25	2.6	0.3	2.9	0.3	6	1.4	13.5
O	61.2	4.0	2.7	0.2 ~ 0.6	2.9 ~ 3.3	0.25 ~ 0.3	6	1.4	12.0
O	61.2	1.75	2.7	0.2 ~ 0.65	2.9 ~ 3.35	0.3 ~ 0.35	4.5	1.4	12.0
CO	61.2	3.9	2.6	0.4 ~ 0.6	3.0 ~ 3.2	0.3	6	1.4	12.8
O	43.2	9.3	2.6	0.35 ~ 0.4	2.95 ~ 3.0	0.3	8	1.4	13.5
O	43.2	9.3	2.7	0.2 ~ 0.5	2.9 ~ 3.2	0.25 ~ 0.3	8	1.4	12.0
CO	43.2	9.1	2.6	0.4 ~ 0.65	3.0 ~ 3.25	0.3	8	1.4	12.8
*O	36	18	2.6	0.4 ~ 0.65	3.0 ~ 3.25	0.25 ~ 0.3	20	1.4	15
O	13	17	2.6	0.35 ~ 0.9	2.95 ~ 3.5	0.25 ~ 0.3	12	1.4	13.5
CO	13	17	2.6	0.3	2.9	0.3	12	1.4	12.8

*印は Weil 等価試験

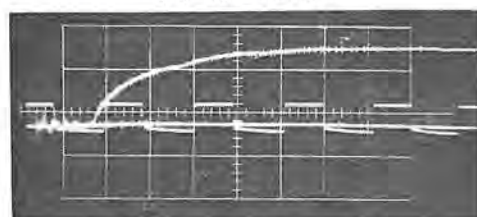
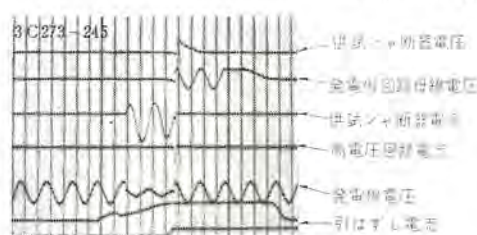


図 3.5 Weil 試験のオシログラム

Fig. 3.5 Oscillogram of Weil circuit test.

表 3.4 小電流シャ断試験結果

	動作 回数	試験 回数	給電 電圧 (kV)	シャ断 電流 (A)	再点 弧	再燃 電圧	アーク 時間 (s)	操作圧力 (kg/cm ² ・g)
充電電流シャ断	0	12	36	6.5	0	0	0.1 以下	12.0
励磁電流シャ断	0	6	36	3.5 ~ 3.7	—	—	1.48 以下	16.5

た後、実際の低抵抗シャ断の試験を行なった。現在の当社短絡試験設備では 600 MVA の直接試験ができないので容量不足分は低減電圧による試験と、Weil の等価回路による試験を実施した。前者は低減電圧における試験電流域においては主シャ断点のアーク時間中にすでに抵抗キヤップ部で放電が始まっており、この放電値が低減試験電圧に比較して十分低い値であることと、抵抗キヤップにアークが移行した場合の主シャ断点にかかる再起電圧は低抵抗に抑制されて非振動になり、その初期上昇率は瞬時回復電圧を E 、低抵抗の値を R 、短絡回路のインダクタンスを L とすると $\frac{ER}{L}$ となり E/L は短絡電流によって決まる値だから試験はほぼ等価性があると考えられるし、後者の等価試験も高電圧回路の充電用コンデンサと低抵抗による放電時定数さえ注意すればよい。表 3.3 におもな試験結果を、図 3.5 に 36kV、18 kA、20 kc/s の再起電圧に相当した Weil 等価試験の代表的なオシログラムを示す。

充電電流シャ断試験は定格操作圧力の 80 % で位相制御を行なって試験したが再点弧はなく、無負荷変圧器励磁電流シャ断試験は 110 % の操作圧力で同じく位相制御を行ないつつ実施したが異常電圧の最高値は変圧器側で給電電圧波高値の 1.5 倍弱であった。結果は表 3.4 に示されるとおりである。

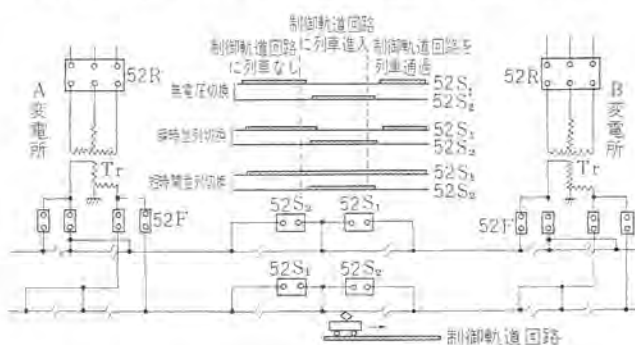
3.3.4 特長

このシャ断器の特長をあげると次のようになる。

- (1) 再起電圧上昇率の高いキ電用シャ断器として低抵抗シャ断方式を採用し、しかもこの抵抗はシャ断電流が大きい、あるいは再起電圧上昇率の高い回路をシャ断した時のみそう入されるので抵抗の熱的条件も楽だし、抵抗のシャ断部に可動部分がないので構造が簡単である。また抵抗は耐吸湿性をもたせるために密閉されているが、温度上昇は十分余裕をみて設計されている。
- (2) 外部断路器を使用しているので、重汚損地区に使用しても極間の絶縁は信頼できる。
- (3) 消弧室や接触部は簡単に点検でき、接触子の取り換えも短時間で可能である。

4. 36 kV 区分所用 AHL 形空気シャ断器

新幹線は列車が 200 km/h にも達する速度で運転されるので、



Tr: スコットトランス 52R: 70-Y-150 ABB
52F: 30-AHW-60 SABB 52S1S2: 30-AHL-10 ABB

図 4.1 新幹線変電所単線接続図
Fig. 4.1 Schematic diagram of substations.

従来のように異なるキ電区間の間にデッドセクションを設け、そこを列車が通過する際にノッチオフして移行する方式は運転手にかかる精神的負担からも、またそれを自動化したとしても風圧による減速の点から不可能になった。

そこで国鉄では新しいアイデアとして変電所の中間に約 2 km に及ぶ比較的長いセクションを設け、図 4.1 に見られるように、そこへキ電する変電所を列車が通過するごとに切り換えて次のキ電区間へスムーズに移行できる方式をとることになった。この切り換えの役目をするのが、区分所用空気シャ断器で、多ひん度操作を目的に製作されたものである。

4.1 区分所の切換方式

区分所の切換方式としては次の三種類がある。

(1) 無電圧切換方式

図 4.1 に示されるように列車が A 変電所キ電区間から B 変電所キ電区間へ進行する場合、セクションは常時 52S₁ によって A 変電所からキ電されているが、列車がセクションに完全に入りきると制御軌道回路からの信号で 52S₁ が開き、瞬時 (約 1/6 sec) の無電圧後 52S₂ が投入されてセクションは B 変電所からのキ電を受けることになる。列車がセクションを完全に出て制御軌道回路からはずれると 52S₂ が開き瞬時後に 52S₁ が再び投入されて前の状態にもどる。この方式は A、B 変電所が異なる系統から受電している場合に使用される。

(2) 瞬時並列切換方式

列車が制御軌道回路にさしかかるとその信号でまず 52S₂ が投入され、セクションは瞬時 A、B 両変電所からキ電され、しかる後に 52S₁ が開かれる方式でその他の動作は無電圧切換方式と変わるところはない。

(3) 短時間並列切換

この方式は 52S₁ は常に投入されたままで、列車が制御軌道回路上にある間 52S₂ によってセクションは B 変電所からも並列にキ電を受ける方式である。この方式も瞬時並列切換方式とともに並列キ電による横流によって系統にじょう乱を起こす心配のないところに使われる。

4.2 定格

区分所用空気シャ断器は上に説明した動作を行なういわゆる多ひん度操作用の負荷開閉器の役目ばかりでなく、切換動作中に短絡事故が起こる可能性も考えてシャ断器としての性能も有していなければならないし、次のような仕様を満足する屋内用空気シャ断器である。

定格電圧	36 kV
絶縁階級	30 A
定格電流	600 A
定格シャ断容量	108 MVA
定格シャ断時間	5 c/s
定格再起電圧	I 号 1.4 kc/s
定格操作圧力	7 kg/cm ² ・g
標準動作責務	O-(0.35 sec)-CO-(1 min)-CO

以上のほかに性能として、O-(5 sec)-C の動作を 5 分間隔で行なった場合に無点検動作回数は 10⁴ 回以上 (ただし注油を行なう必要のあるものはその間適当に注油を行なってよい) を保証しなければならないし、極間の耐電圧は商用周波 84 kV 10 分間が要求されている。

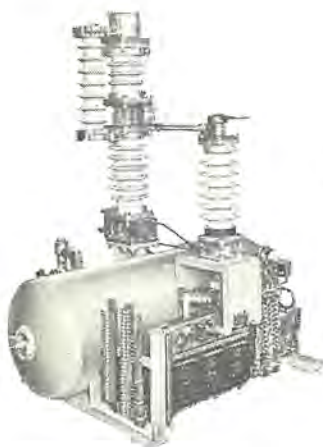


図 4.2 30-AHL-10 形空気 シュ断器
Fig. 4.2 Type 30-AHL-10 air circuit breaker.

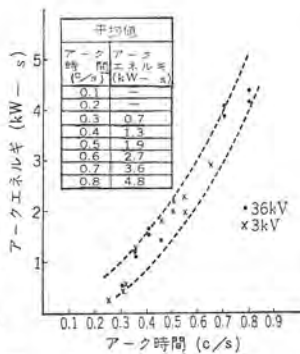


図 4.4 アーク時間とアークエネルギーの関係
Fig. 4.4 Arcing time vs arc energy curve.

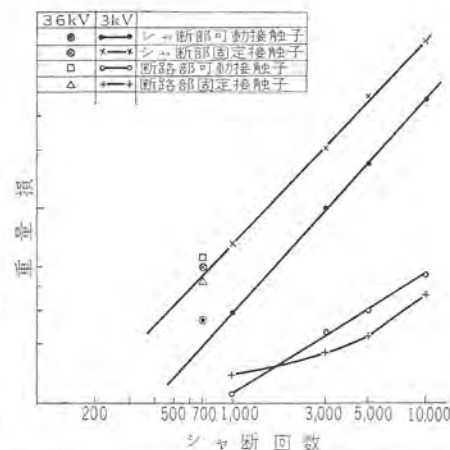


図 4.5 シュ断回数と接触子重量損の関係
Fig. 4.5 Number of interrupting times vs loss of weight of contacts.

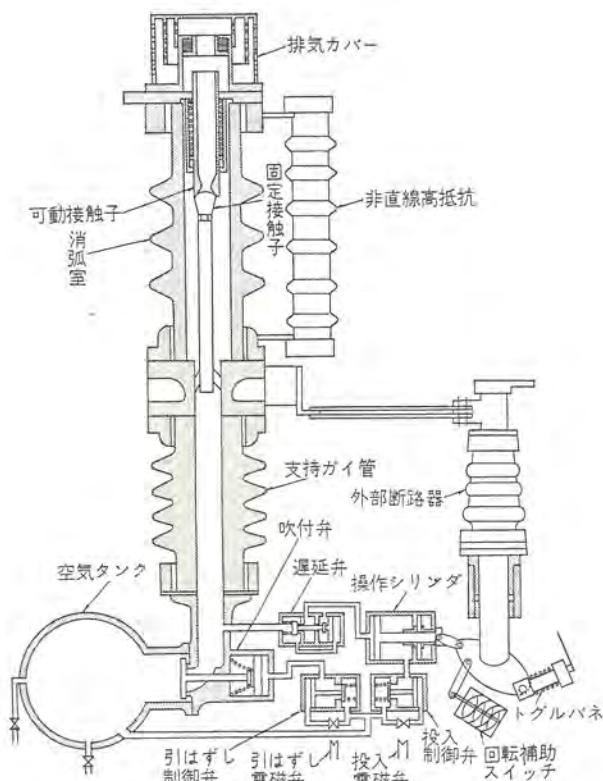


図 4.3 30-AHL-10 形空気 シュ断器動作説明図
Fig. 4.3 Schematic diagram of type 30-AHL-10 air circuit breaker.

4.3 構造および動作

図 4.2 の外観図、図 4.3 の動作説明図に示されるように 7 kg/cm²・g に減圧された圧縮空気を充填したシュ断器空気タンクを基部に吸付弁から支持パイプを経て消弧室へと連なるシュ断部と、シュ断後に極間の絶縁を保ち、また投入動作も行なう外部断路器を有した断路部があり、その下に操作機構、制御機構を備えている。

引はずしは吹付弁を開いて圧縮空気を消弧室に送りこみ、アークをノズルに吹込んで消弧した後外部断路器を開いて回路の絶縁を保持させ、投入は外部断路器のみで行なうもので、電用の空気シュ断器と変わるところはない。

定格投入、シュ断容量は定格操作圧力の 80 % 以上で保証しており、最低動作圧力は定格操作圧力の半分以下である。

4.4 試験

4.4.1 10⁵ 回連続開閉操作試験

5 分間隔で開閉するといった仕様からもわかるように機械的使用条件が非常に過酷であるから、まずこのモデルとなったシュ断



図 4.6 10⁴ 回負荷 シュ断試験後の接触子
Fig. 4.6 Contacts after 10⁴ times load current interrupting tests.

表 4.1 連続開閉操作試験結果

操作回数	0	10 ³	3×10 ³	5×10 ³	7×10 ³	3×10 ⁴	6×10 ⁴	10 ⁵
開極時間 (ms)	36	36	36	35	35	37	33	35
断路時間 (ms)	84	82	86	81	79	84	82	86
投入時間 (ms)	143	141	140	143	138	142	142	142

表 4.2 試験条件とアークエネルギーの関係

	アーク時間 (c/s)	実際のアーク時間	断率 (N回数)	アークエネルギー (kW-S)	各アーク時間のエネルギーを合計したもの
36 kV 600 A pF=0	0.1	0.6	$\frac{1}{5} N_1$	2.7	$\frac{1}{5} N_2 (2.7+3.6+1.3+1.9) + \frac{1}{10} N_1 (0.7+4.8) = 2.45 N_1$
	0.2	0.7	$\frac{1}{5} N_1$	3.6	
	0.3	0.3	$\frac{1}{5} N_1 \times \frac{1}{2}$	0.7	
	0.4	0.8	$\frac{1}{5} N_1 \times \frac{1}{2}$	4.8	
	0.4	0.4	$\frac{1}{5} N_1$	1.3	
	0.5	0.5	$\frac{1}{5} N_1$	1.9	
3 kV 600 A pF=0	0.1	0.6	$\frac{1}{5} N_2$	2.7	$\frac{1}{5} N_1 (2.7+3.6+0.7+1.3+1.9) = 2.04 N_2$
	0.2	0.7	"	3.6	
	0.3	0.3	"	0.7	
	0.4	0.4	"	1.3	
	0.5	0.5	"	1.9	

器によって 10⁵ 回の無負荷連続開閉試験を行ない、その際に発生した問題点を改良して試作品を設計したので、この開発品に対して再び 10⁵ 回の連続開閉操作試験を行なったが、当然のことながら問題点は発生しなかった。開極、投入時間の変動を表 4.1 に示す。

表 4.3 各部温度上昇値

測 定 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度上昇 (°C)	22.5	23.5	24.0	23.0	23.5	10.0	8.5	26.5	13.5
測 定 点	10	11	12	13	14	15	16	17	周囲温度
温度上昇 (°C)	13.5	13.0	11.5	12.5	28.5	32	13	9.5	28.5

表 4.4 短絡シャ断試験結果

動作 責務	給電 電圧 (kV)	シャ断 電流 (kA)	シャ断時間 (50c/s ベース)			再起電圧		投入 電流 (kA)	操作電力 (kg/cm ² ・g)
			開極 (~)	アーク (~)	全 (~)	周波数 (k c/s)	振幅率		
O	36	1.55	2.25	0.55	2.8	7	1.3	—	5.6
O	36	1.5	2.25	0.6	2.85	7	1.3	—	5.6
O	36	1.5	2.25	0.7	2.95	7	1.3	—	5.6
O	36	3.3	2.2	0.75	2.95	1.4	1.3	—	6.1
CO	36	3.1	2.1	0.75	2.85	1.4	1.3	7.4	6.1
CO	36	3.1	2.2	1.0	3.2	1.4	1.3	8.2	5.6
O	36	3.3	2.0	0.9	2.9	1.4	1.3	—	7.0
CO	36	3.05	2.0	0.8	2.8	1.4	1.3	5.7	7.0

表 4.5 小電流シャ断試験結果

	動作 責務	試験 回数	給電電圧 (kV)	シャ断 電流 (A)	再点弧	再発弧	過渡 電圧	アーク 時間 (~)	操作圧力 (kg/cm ² ・g)
充電電流シャ断	0	12	36	3	0	1回 以下	1以下	0.15 ~0.35	5.6
励磁電流シャ断	0	6	36	4	—	—	1.8 以下	0.3 ~0.55	7.7

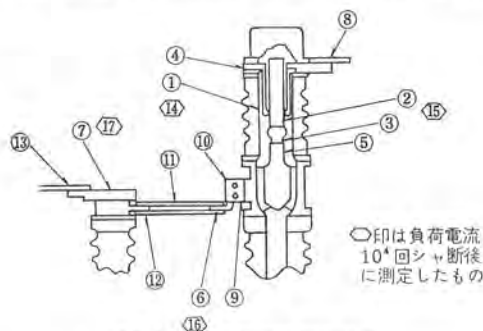


図 4.7 温度試験測定位置
Fig. 4.7 Diagram showing the temperature measuring points.

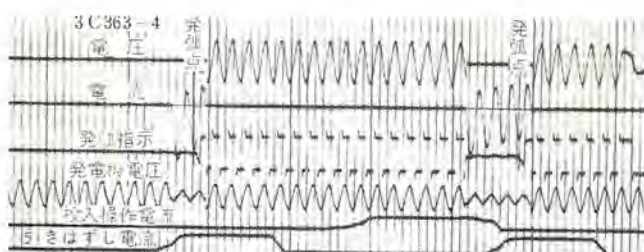


図 4.8 短絡シャ断試験 オシログラム
Fig. 4.8 Oscillogram of short circuit test.

4.4.2 10⁴ 回連続負荷シャ断試験

接触子の取り換えも最低 10⁴ 回の負荷電流開閉まで許されない
のでその消耗度が問題になってくる。

接触子の消耗はアーク 時間中に消費される エネルギー に左右され
ると仮定し、この級の空気 シャ 断器のアーク 電圧は数千 ボルト 以

下であることから、短絡試験設備を使用して 36 kV, 600 A, 力率
0.8 の実負荷 700 回の シャ 断と、工場一般電源を使用して 3 kV,
600 A 力率 0 の等価負荷数十回の シャ 断を行なって、アース 時間
とアークエネルギー の関係を求めたところ図 4.4 のごとく両者とも パラ
ツキの範囲内で $P \propto T^n$ の関係があり、アーク 時間を 0.1 c/s の単位
で区切りその アークエネルギー および確率を求めると表 4.2 のように
なる、すなわち等価試験は 20 % 程度回数を増して試験すれば ア
ークエネルギー はほぼ等しくなると推定された。(ただし投入時の先駆
放電のアークエネルギー は異なる) そこで力率 0, 600 A の等価負荷を
10⁴ 回 シャ 断し途中数回にわたって接触子の重量損を測定したが
すくなくとも 10⁴ 回の負荷開閉まで接触子の取り換えは必要ない
ことが実証された。図 4.5 に シャ 断回数と消耗量の関係を示し、
比較のために実負荷 700 回 シャ 断後の消耗量を併記する。図 4.6
は 10⁴ 回 シャ 断試験後の各接点である。

4.4.3 温度試験

10⁴ 回負荷電流 シャ 断前後の温度上昇試験結果は図 4.7 表 4.3
に示されたとおりで消耗による温度上昇変化はほとんど問題にな
らないことがわかる。

4.4.4 シャ断試験

短絡試験設備を使用して JEC-145 に従って行なった試験結果
を表 4.4 に 36 kV, 3.3 kA, 1.4 k c/s の再起電圧の短絡電流を高速度
再投入 シャ 断した時の代表的な オシログラム を図 4.8 に、また小
電流 シャ 断試験の結果は表 4.5 に示す。

4.5 特 長

おもな特長として次のような点があげられる。

(1) 操作圧力が 7 kg/cm²・g という低い圧力を使用すること
によって機械的な使用条件を楽にしているので多ひん度操作に適
している。

(2) 空気消費量がきわめて少ないことは

- 圧縮空気発生装置が経済的に設計できる。
- 操作音が小さい。

という利点がある。

(3) 保守点検が非常に簡単である。

5. む す び

以上、新しく開発製品化して多数納入された、三種類の空気 シャ
断器について概要を述べた。本年秋からいよいよ営業運転を開
始する新幹線の重要さと、世界中の注目を集めている高度な国鉄
技術に多少なりとも協力できたことは担当者としてこの上ない幸
せである。

終わりにこれら シャ 断器の製品化に多大のご指導、ご援助をい
ただいた国鉄はじめ関係各位に紙上をかりて深く感謝の意を表す
る次第である。

参 考 文 献

- (1) 五十嵐・富永・森岡:「三菱電機」34 855 (昭 35)

オーストラリア納め 330 kV 超高圧変圧器

田村良平*・谷中頼朝*・竹内 実*・青木俊之*

330 kV EHV Transformers for Australia

Itami Works Ryōhei TAMURA・Yoritomo TANINAKA・Minoru TAKEUCHI・Toshiyuki AOKI

Seven 145 MVA on load tap changing autotransformers supplied to Sydney West substation of New South Wales, Australia are epochal units built in this country. They have the largest bank capacity of 435 MVA and are rated at 330 kV which exceeds the highest transmission voltage existing in Japan. These transformers are prominent products which exhibit the real value of Japanese technology to the world and help promote the export of electric machines as well as the advancement of Mitsubishi products to overseas markets. Employment of tap changers made by the Maschinenfabrik Reinhausen is the first trial added up to many new techniques in the design, manufacture and test of the transformers.

1. ま え が き

オーストラリア New South Wales 州電力委員会のシドニー西変電所に設置される 145 MVA, 330/132 kV 負荷時 タップ 切換単相巻変圧器 7 台を製作し、現在現地据付中である。この変圧器はわが国で製作された最大バンク容量 ($3 \times 145 \text{ MVA} = 435 \text{ MVA}$) の変圧器であり、わが国の現行送電最高電圧 275 kV を上回る 330 kV 送電線用単巻変圧器で、わが国では珍しい単巻変圧器の実績と、一段高い絶縁階級 (BIL 1300) の変圧器製作の貴重な経験となった。

この 2 バンク 1 台予備の変圧器が置かれるシドニー西変電所は、Snowy Mountains 水力計画を始め、オーストラリア東南地区の火力発電所と需要地を結び縦貫する主幹線の一部を構成し、シドニー市外辺の 330 kV 送電線の一環を占める主要な変電所である。

変圧器は当社の大形変圧器標準構造の外鉄形変圧器であり、直接式負荷時 タップ 切換単相巻変圧器として外鉄形変圧器の特質を生かした設計を実施した。負荷時 タップ 切換器は西独 MR 社 (Maschinenfabrik Reinhausen) の F 形 4 抵抗式 タップ 切換器 (埋込形) を輸入して取り付けしたが、MR 社とは技術導入の契約ができて、現在は MR 形の国産化を進めている。

工場試験は電力委技師の真しな立ち合いのもとに、BS 規格に基づき厳密に行なわれ、すべてに優秀な成績をおさめた。

2. 変圧器の仕様

この変圧器は 330 kV と 132 kV の連系に 2 バンクおよび予備器 1 台として使用される単巻変圧器である。各バンクの三次巻線には将来 75 MVA の同期調相機を接続し、単巻変圧器巻線は星形、三次巻線は三角形に結線され、330 kV・132 kV 系統は中性点有効接地であるから、巻線は完全な段絶縁であるが、中性点の絶縁は 350 BIL 相当とした、周波数は 50 c/s である。

2.1 系統の運転電圧

330 kV 系統 313.5~346.5 kV

132 kV 系統 132~138.6 kV

三次系統 16 kV $\pm 10\%$

2.2 定格電圧および電圧比

330/ $\sqrt{3}$ kV : 138.6/ $\sqrt{3}$ kV $\pm 10\%$: 16 kV 低圧側無負荷比で

$\pm 10\%$ (1% ステップ) の負荷時 タップ 切換を行なう。(MR 負荷時 タップ 切換器を直接式に使用する)

2.3 定格出力

各単相変圧器は表 6.4 に示す負荷条件で、油入自冷/送油風冷の冷却方式の 2 重定格連続運転能力がなければならない。低圧および三次は同時負荷である。これに基づいて変圧器の高圧側が最大になる定格 MVA を電圧変動率を考えに入れてすべてのタップ位置で計算すると、後述のように三次側力率 0 (遅) 20 MVA (ON のとき 12 MVA)、低圧側電圧 132 kV で負荷時 タップ 切換器下限 タップ 位置 (#1) で、OFB のとき 145.3 MVA、ON のとき 84.1 MVA となる。またこのときの全損失が最大である。なお温度上昇限度は BS 規格どおり、巻線 (抵抗法) は OFB のとき 65°C、ON のとき 60°C とされている。

2.4 インピーダンス電圧

高圧・低圧間 12.5% (125 MVA 基準、低圧側中央 タップ において、裕度 $\pm 10\%$)、なおどの タップ でも 10% 以上であることを指定されている。

2.5 絶縁階級

330 kV 側の絶縁階級は BIL 1300、132 kV 側は BIL 550、試験電圧は表 6.6 に示すとおりである。中性点側は客先要求により BIL 350 相当に上げたが、移行電圧による緩波頭を加えサイ断波試験は行なわない。

2.6 その他

騒音レベルは ON で 81 dB、OFB で 84 dB 以下、励磁電流の高調波含有率は基本波に対して第 5 調波 25% 以下、第 7 調波 15% 以下としている。

3. 定格事項・寸法・重量

外鉄形 フォームフィット 式油入自冷/送油風冷式単相負荷時 タップ 切換単巻変圧器、SR/SRB-FI 1800 形、周波数 50 c/s、3 室式窒素封入 コンサバータ 付

定格出力 高圧 145 (84) MVA

低圧 125 (75) MVA

三次 25 (15) MVA

() 内は油入自冷式の場合を示す。

電 圧 高圧 330 kV/ $\sqrt{3}$



図 3.1 145 MVA 330 kV 単相単巻変圧器
Fig. 3.1 145 MVA 330 kV single-phase auto-transformer.

低 圧	138.6 kV/ $\sqrt{3} \pm 10\%$ (21 タップ)
三 次	16 kV
絶縁階級	高 圧 BIL 1300
	低 圧 BIL 550
	中性点 BIL 350 相当
	三 次 BIL 150
重量 (負荷時 タップ 切換器を含む)	
中 身 重 量	85,000 kg
外 部 重 量	51,000 kg
油 量	53,500 l
油 重 量	48,000 kg
総 重 量	184,000 kg
本体輸送重量	98,000 kg
外形寸法	床 面 積 6,420×7,660 mm
	高 さ 11,500 mm

図 3.1 はこの変圧器の外観を示す。

4. 負荷時タップ切換単巻変圧器

単巻変圧器に負荷時 タップ 切換器を付すには結線方式に特別の配慮が必要である。超高压変圧器は超高压巻線の中性点が直接接地され段絶縁を採用でき、対地絶縁耐力が低くてよく、また相間の電圧がほとんどないために負荷時 タップ 切換器は一般に中性点につけられる。しかし単巻変圧器の場合は中性点は高压低压共通であるから、中性点に タップ を付けることは所要調整範囲に対して タップ 範囲が広くなり、三次電圧が変動する不具合をきたす。

図 4.1 のように単巻変圧器の中性点 (分路巻線) に負荷時 タップ を付けたときの磁束密度の最小、最大の比 d 、調整電圧 R は次式で示される。

$$d = \frac{V_{H \min} - V_{L \max}}{V_{H \max} - V_{L \min}}$$

$$R = \frac{V_{H \min} - V_{H \max}}{d} = \frac{V_{L \max} - V_{L \min}}{d}$$

ここに

$V_{H \min}$: 高压側の最低電圧 $V_{H \max}$: 高压側の最高電圧

$V_{L \min}$: 低压側の最低電圧 $V_{L \max}$: 低压側の最高電圧

この変圧器について d と R を求めると

オーストラリア 納め 330 kV 超高压変圧器・田村・谷中・竹内・青木

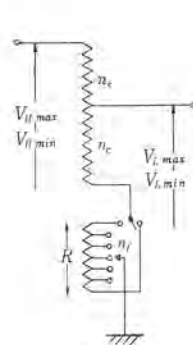


図 4.1 中性点切換
Fig. 4.1 Tap-changing at neutral.

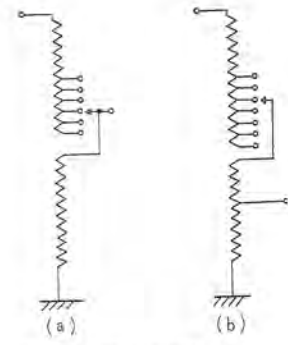


図 4.3 高压側切換
Fig. 4.3 Tap-changing on high voltage side.

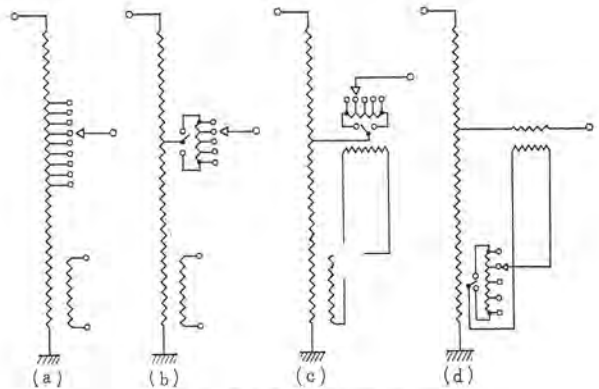


図 4.2 低压側切換
Fig. 4.2 Tap-changing on low-voltage side.

$$d = \frac{330 - 138.6 \times 1.1}{330 - 138.6 \times 0.9} = 0.86$$

$$R = \frac{138.6 \times 1.1}{d} - 138.6 \times 0.9$$

$$= 52 (\text{kV})$$

いずれにしてもこのように磁束密度すなわち三次電圧が変動することは客先の要求にそわなかった。

このように単巻変圧器の分路巻線に タップ を付けるのは特別の場合であり、一般的な結線方式としては図 4.2、4.3 のような多様な方法 (d) 以外は高压 タップ 切換器が実用されている。この変圧器には図 4.2 (b) の方式を採用し、負荷時 タップ 切換器は低压側の線路端に置いた、低压側の電圧変動に應ずる結線方式は図 4.2 (a) が変圧器自体は最も経済的であるが、極性切換付負荷時 タップ 切換器を使用できず、要求の タップ 数が多いのでタップリートを減ずることを主にして図 4.2 (b) の方式によった。

単相変圧器であるので タップ 切換器はもちろん単相であるが、三相単巻変圧器においても高压 タップ 切換方式である限り相間電圧が高いから、単相負荷時 タップ 切換器が採用される。ガイスマウント 式の場合は、端子切換方式 (図 4.2 (a) (b) (c)、図 4.3 (a)) にして、負荷時 タップ 切換器をブッシング 端子と兼ねさせる。しかしこの変圧器には埋込形負荷時 タップ 切換器を使用しているので、132 kV 低压端子は別にブッシングを出している。

単巻変圧器は タップ の変化によって、その巻数比が変わるから、出力基準の % インピーダンス の値は大幅に変わる性質がある、すなわち単巻変圧器の % インピーダンス は

$$\%IX = F \times \frac{f \times n_s^2 \times I_H}{V_H} \equiv F \times \frac{f \times n_c^2 \times (I_L - I_H)}{V_L}$$

$$\equiv F \times r \times \frac{f n_s^2 \times I_H}{V_H - V_L} \equiv F \times r \times \frac{f n_c^2 \times I_L}{V_L}$$

ただし r は巻数分比, f は周波数

ここに F は各 コイル の 形 寸法, 配列, タップ, コイル の 位置 によって決まる定数である。(2 巻線変圧器で電圧変換する巻線にタップを付けると, すなわち V_L 一定のときは上式中の $n^2 I/V$ は一定である) $V_H/(n_s+n_c)=V_L/n_c=V_L$ として上式を書直すと,

$$\%IX = F \times f \times r \frac{W_A}{V_L^2} \quad (\text{ただし } W_A = V_H I_H = V_L I_L)$$

これから タップ 切換による コイル 内 アンペア・ターン 分布の変化による以外に, 単巻変圧器の場合には r^2 に比例し V_L^2 に逆比例して $\%IX$ が大きく変化することがわかる。

この変圧器は タップ 巻線が フォーク 結線であるので, そのアンペア・ターン を正負等価の分路巻線電流に置き換えて n_s でインピーダンスを算出し, 定格巻数分比でもって直通 $\%$ インピーダンス に換算する

5. 構造の概要

変圧器の構造は外鉄形 Form-fit 式, 絶縁方式は当社の標準 Surge-proof 式で一般の説明は略すが, 以下に述べる新しい応用を試みた。

5.1 巻線および絶縁

巻線の配列を図5.1に示す。外鉄形絶縁構造の特長とこの変圧器が単巻変圧器, 負荷時 タップ 切換および大容量器であることを巧みに適合させた設計をした。すなわち, 単巻変圧器の直列巻線・タップコイル・分路巻線は全体が一様な段絶縁になっており, タップコイル および 低圧側静電板は 直列巻線と分路巻線との分界部に配置されている。このような組み合わせの4群を並列に集めてグループとし, その4群が2群づつ2組に分けられ, 各組内の2群はそれぞれ直列巻線の高圧側線路端を相対向させて, 各群間の主絶縁距離を不要にするとともに高圧側線路端用静電板を共通の1枚

で済ませ線路端の電界を良くしている。この配置により巻線間の主絶縁距離は, 三次巻線に対する高・低圧側中性点端の絶縁距離を必要とするだけになった。この距離は三次巻線のインピーダンスが過小にならぬように実際には絶縁とは別の要因から定められる。三次巻線は三つの部分にわけ, 高・低圧側2組の中央と両端に配され, 両端群を直列に接続したものと中央群とを並列接続している。

高・低圧側は前述のとおり全体が一様な段絶縁となっているが, 2群1組となるので, 高圧側線路端から両方向に段絶縁が延びてちょうど鼓状を呈し, 絶縁部材の配置を合理的かつ容易にしている。低圧側静電板は低圧側線路端子に接続され, いずれのタップ位置においてもタップコイルの静電シヤヘイは最大に有効である。この静電板はとくに漏れ磁束の大きな場所に位置することを考慮して, ウズ電流を押えるため電極板に洋白板を使用した。タップコイルも同様に漏れ磁束の大きな場所に位置するので, 短絡機械力を減ずるためにはタップ切換によるアンペア・ターンの空間的平衡を保つ必要がある。このためにタップコイルは図5.2に示すように, 全タップ巻回を一括して並べ巻きしており, いずれのタップ位置においても不平衡をきたさない。図5.3はタップコイルを示す。

高・低圧側の絶縁は前述のとおり4群並列であり, 巻線・絶縁総組立の全厚さは3,220 mmにも達するので, 全厚さのほぼ中央で2分して2回にわけて締め付けを行なった。この全厚さ3,220 mmは当社製作のものとしては現在のところ最大寸法である。図5.4は絶縁総組立を示す。

5.2 内部構造

内部構造の概略を図5.5に示す。巻線・鉄心などの主体はまったく外鉄形 Form-fit 標準構造である。鉄心にはG-9およびG-10の国産最高級のケイ素鋼帯を使用し, 絶縁物は鉄心積み作業を行なう前にグループ乾燥・油含浸を行なって組立途中の吸湿を避け,

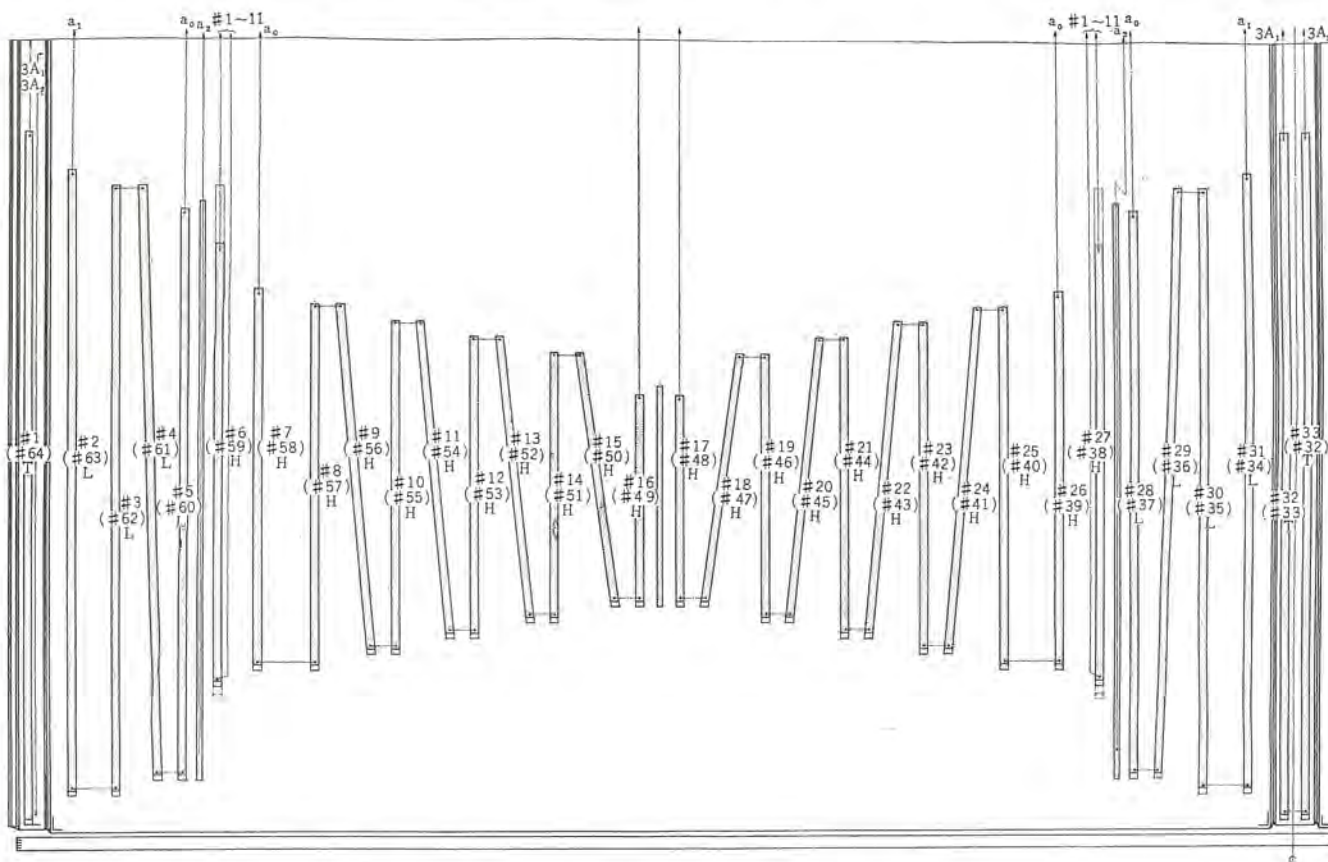


図5.1 コイル配置

Fig. 5.1 Coil arrangement.



図 5.2 タップコイル巻方図
Fig. 5.2 Details of tap coil.



図 5.3 タップコイル
Fig. 5.3 Tap coil.



図 5.4 絶縁組立
Fig. 5.4 Insulation assembly.

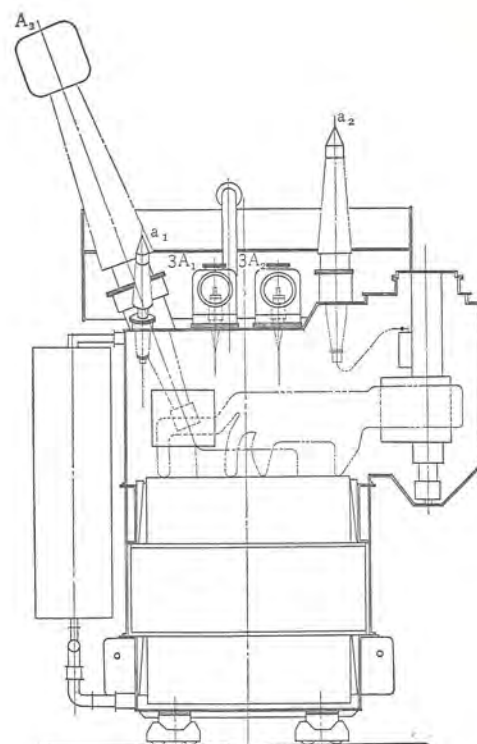


図 5.5 内部構造図
Fig. 5.5 Inside assembly.



図 5.6 内部 リード 配置
Fig. 5.6 Inside lead arrangement.

寸法精度、締め付けを完全にして鉄心の性能を上げるなど組立法にも考慮が払われた。

上方の リード 配列部分の高圧側線路端 リード は巻線・絶縁組立 並列 4 群が 2 群づつで形成している各組より 2 群分共通にした線 路端 リード が 1 本づつ出ており、その全 2 本の リード が一括され て高圧側 プッシング に接続され、また タップリードは 4 群からそれぞ れ出ているが、これは MR 負荷時 タップ 切換器が後述のとおり 3 並列回路のため、4 並列回路を一度一括接続しふたび タップ 切 換器の 3 並列回路に分岐している。図 5.6 は リード の配列の一部 を示す。

5.3 MR 負荷時タップ切換器

負荷時 タップ 切換器は西ドイツ MR 社の FI-1800 形（4 抵抗式）を輸入して取り付けており、図 5.7 はこの切換開閉器、選択開閉器および極性転換器を示す。この タップ 切換器は埋込形であるので、外部には全然活線部分が出ておらず、また切換開閉器室は変圧器本体から仕切られていて、油はコンサバータからガスだまりを介して供給されている。図 5.8 は負荷時 タップ 切換器の結線



5.4 外部構造

この変圧器の外形は図5.9に示すとおりで、標準 Form-fit タンクの1面に負荷時 タップ 切換器をジカ付けし、他の3面に放熱器を分割配置している。

ヲッシング について特筆すべき
 は、実用第 1 号の高圧側 330kV
 OT 形油入 コンデンサブッシング で
 ある。このブッシングを実際に変
 圧器に使用するのは最初であっ
 たが、すでに 440 kV 油入 コン
 デンサブッシング を試作し、多年油
 入コンデンサブッシング を標準として

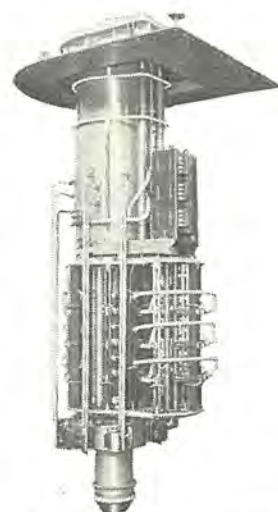
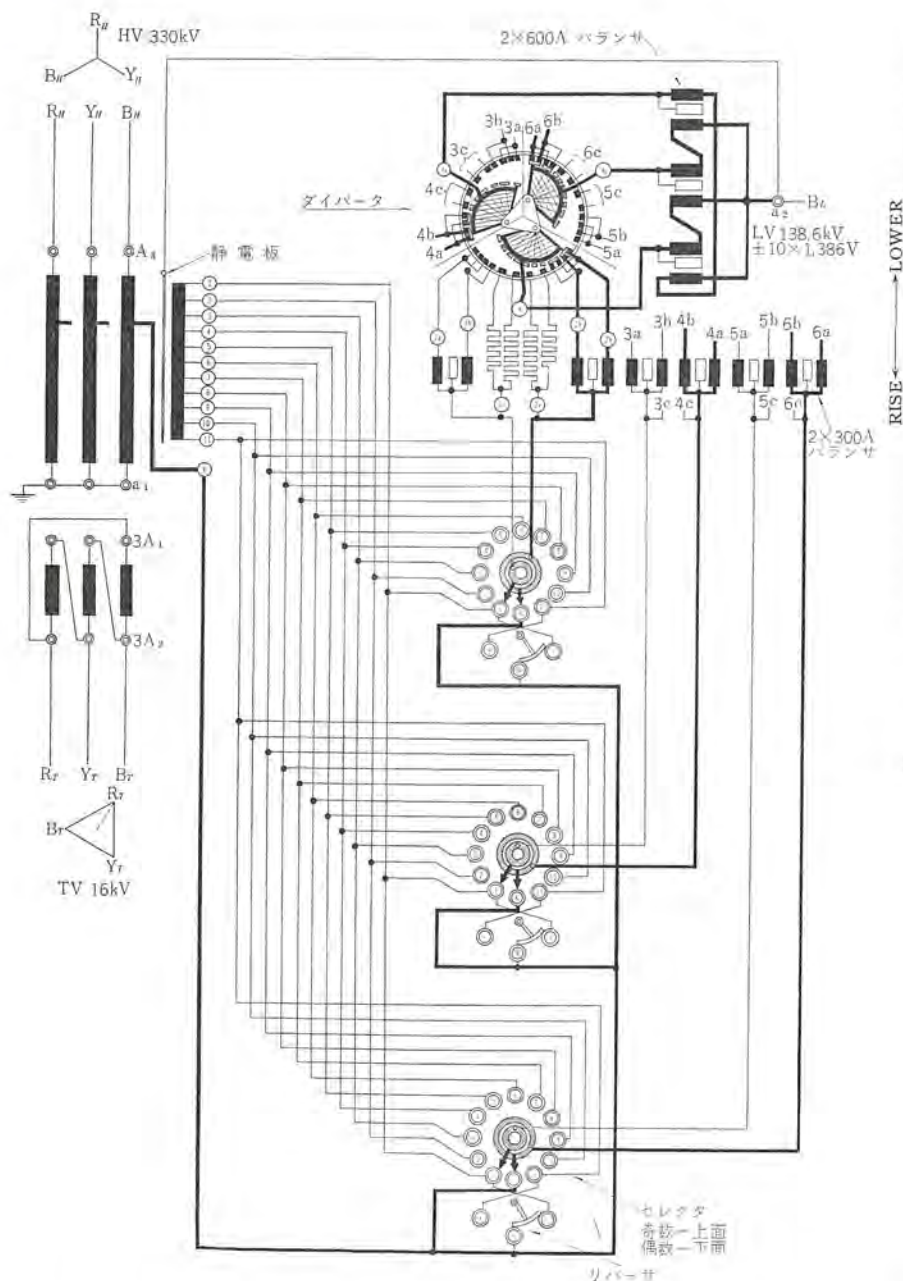


図 5.7 MR タップ 切換器
Fig. 5.7 MR tap changer.



タップ 番 号	セレクトラ	リバーサ	低圧電圧 kV
1	11		124.7
2	10		126.1
3	9		127.5
4	8		128.9
5	7		130.2
6	6		131.6
7	5		133.0
8	4		134.4
9	3		135.8
10	2		137.2
11a	1		
11b	K		138.6
11c	11		
12	10		139.9
13	9		141.3
14	8		142.7
15	7		144.1
16	6		145.5
17	5		146.9
18	4		148.3
19	3		149.6
20	2		151.0
21	1		152.4

(注) 1. この図はタップ#1から出発し、タップ#21に止めた直後の状態を示す
2. 太線は通電中のリードを示す
3. セレクトラは上昇で反時計方向に下降で時計方向に回転する

図 5.8 MR タップ 切換器結線図
Fig. 5.8 Connection diagram of MR tap changer.

製作してきているので、設計・工作上なら問題はなかった。図 5.10 にこの外観を示す。

コンバータは3室式窒素封入形を採用した。これはコンバータ容積の増大、据付時の3室各室の油面調整の複雑さなどの難点があるが、客先の要望によりこの方式が採用された。ブッフホルツ 継電器は オーストラリア 製を取り付け、放圧管の下部の口をさらにもう1枚の放圧膜でふさぐなど、変圧器の内部発生ガスはすべてブッフホルツ 継電器に集るよう考慮されている。

この変圧器の冷却方式は油入自冷式/送油風冷式の2重定格で、自冷式標準放熱器 (M形 25本管-14形) を8個づつ2群と6個1群、合計3群22個設け、各群には送油ポンプ (2kW) 2個づつ油流切換弁2個づつおよび冷却扇 (0.4kW) 6個づつを配している。この冷却方式の切り換えは、変圧器の各巻線 (直列巻線・分路巻線・三次巻線) に設けられた巻線温度継電器により自動的に行なわれる。オーストラリアには地震がないから、この変圧器は耐震装置が全然ないのが特異であり、車台に車止めがついているだけである。なおこの車台は、レールゲージの限定 (2方向とも) およびオーストラリア 国内の輸送制限のため、配置が非常に困難になり、タ

図 5.10 OT 330 kV 形 ブッシング
Fig. 5.10 Type OT 330 kV bushing.



ップ 底板を特殊構造にしている。

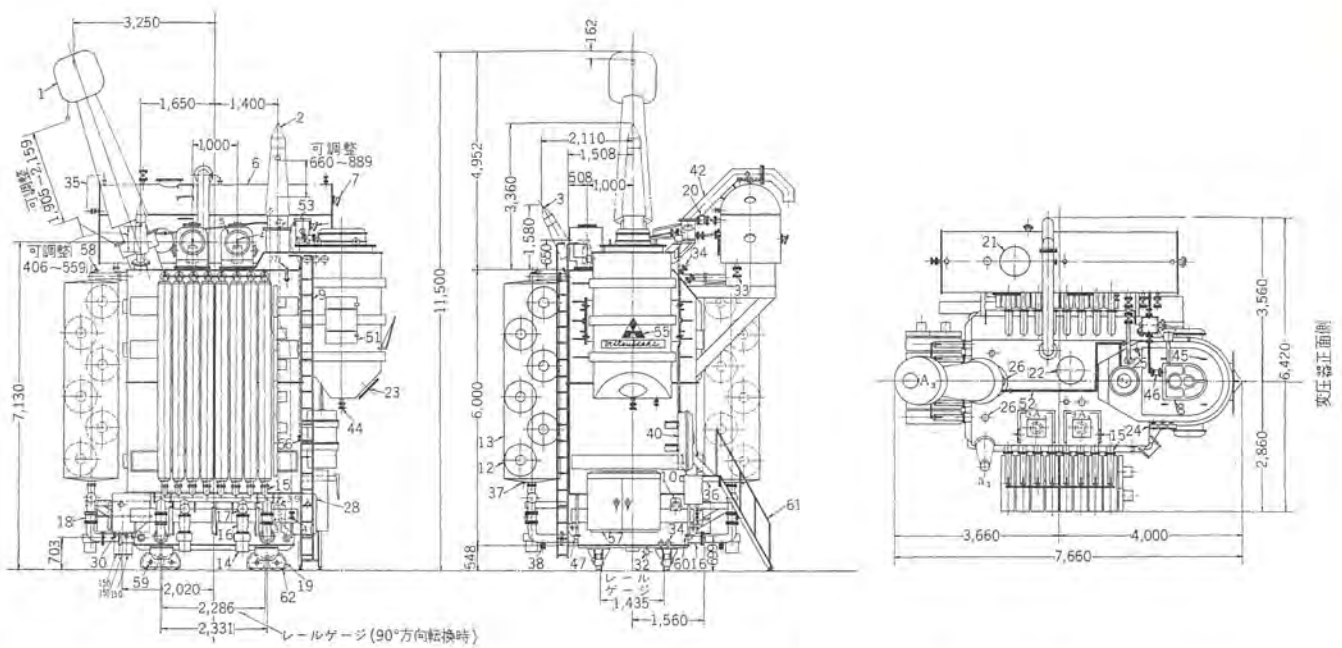
6. 工場試験

7台の変圧器を3回に分けて、(1~3号, 4~6号, 7号) 試験を実施した。全般的には FESCO 検査会社、および N. S. W. 電力委のコンサルタントとして日本工営株式会社により、また 1~3号器には電力委の技師の立ち合いをうけた。衝撃電圧試験に関して、客先の関心がとくに深く、B. S. 規格による印加波形の問題などに多くの検討がかわされたが、当社の努力により満足できる結果を得た。次におもな試験内容について概略を述べる。

6.1 一般特性試験

6.1.1 無負荷試験

励磁電流、および鉄損測定に加えて、励磁電流の波形分析を行なった。現地運転時には、三次側は三相△結線となるため、試験



品番	品 名	品番	品 名	品番	品 名
1	高圧線路側ブッシング	21	マンホール (コンサベータ用)	41	1/2 インチ (12) 検油弁
2	低圧線路側ブッシング	22	マンホール (変圧器本体用)	42	放 圧 管
3	中性点側ブッシング	23	マンホール (タップ切換器用)	44	1 インチ (25) 油ロカ弁 (タップ切換器用)
4	三次側ブッシング	24	温度継電器	45	タップ切換器用ツリ耳
5	ブスダクトフランジ	25	ダイヤル温度計用感温部	46	タップ切換器用保護装置
6	コンサベータ	26	BCT 用口出金	47	引 き 手
7	ダイヤル油面計	27	棒状温度計	51	マンホール (タップ切換器用)
8	負荷時タップ切換器	28	ツ リ 耳	52	接 続 管
9	ハ シ ゴ	30	端子箱 (2 インチユニオン×4 個付)	53	ガス分離器
10	ダイヤル温度計	31	接地端子 (1 1/2 インチ×3/16 インチ銅板用)	54	ダイヤル油面計 (ガス分離器用)
11	銘 板	32	3 インチ (80) 主排油弁 (3 インチホース用アダプタ付)	55	商 標
12	冷却扇 (3 φ 0.4 kW 50 c/s 415 V±15%)	33	2 1/2 インチ (70) コンサベータ用油ロカ弁	56	1/2 インチ (12) 排気弁 (ガス分離器用)
13	放熱器 (14'-25T)	34	2 1/2 インチ (70) 変圧器本体用油ロカ弁 (2 1/2 インチホース用アダプタ付)	57	冷却装置制御盤
14	送油ポンプ (3 φ 2.0 kW 50 c/s 415 V±15%)	35	密着接続管	58	放熱器用ツリ耳
15	4 インチ放熱器	36	フ ミ 台	59	グリースニップル用アダプタ (1/8 インチ BSP ネジ)
16	6 インチ放熱器	37	気 セ ン	60	ジャッキパッド
17	油流指示器	38	1/2 インチ (12) 排油弁	61	ハシゴ (タップ切換器操作用)
18	逆 止 弁	39	シリカゲルクリーザ	62	車 止
19	車 台	40	タップ切換器用操作機構		
20	ブッファホルツ継電器				

図 5.9 変圧器外形図

Fig. 5.9 Outline of 145 MVA 330 kV single-phase auto-transformer.

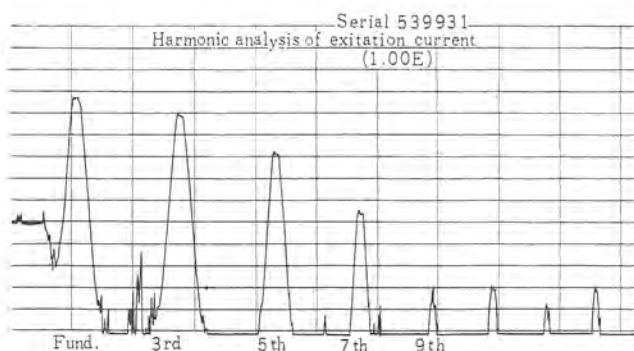


図 6.1 励磁電流の高調波分析 (100% 励磁時)
Fig. 6.1 Harmonic analysis of excitation current at full voltage.

時の単相励磁とは高調波含有率が多少異なるが、工場試験は周波数分析器により、おのこの成分を dB から算出した。図 6.1 および表 6.1 にその結果を示す。また、変圧器騒音は、自冷時 67.6 ホン、送油風冷時 71 ホン とぎわめて低い値であった。

表 6.1 100% 105% 励磁時の高調波成分

励 磁	高調波成分	高 調 波 (%)	
		電圧波形	電流波形
100%	基 本 波	100	100
	第 5 高調波	2.7	23.2
	第 7 高調波	0.9	5.4
105%	基 本 波	100	100
	第 5 高調波	2.9	25.1
	第 7 高調波	0.8	5.3

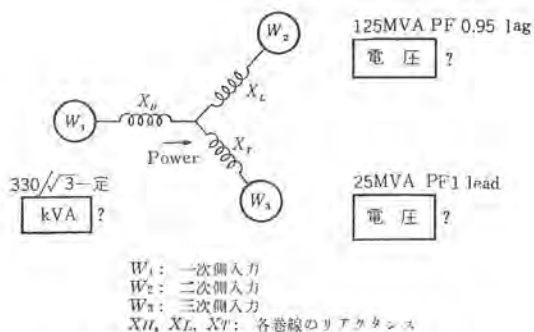


図 6.2 損失計算の基本負荷条件

Fig. 6.2 Basic loading condition for load loss calculation.

表 6.2 負荷条件計算結果

タップ位置	一次側		二次側			三次側		
	容量 (MVA)	電圧 (%)	容量 (MVA)	電圧 (%)	力率 (%)	容量 (MVA)	電圧 (%)	力率 (%)
1 (最低)	126.6	100	125	96.7	0.95 lag	25	99.3	0 lead
11b (定格)	125.1	100	125	67.2	0.95 lag	25	99.7	0 lead
2.1 (最高)	120.7	100	125	67.5	0.95 lag	25	100.5	0 lead

表 6.3 特性一覧 (7 台平均値)

無負荷損失 (kW)	79.9		
負荷損失 (kW)	一次～二次	125 MVA 基準	330.5
	一次～三次	25 MVA 基準	67.34
	二次～三次	25 MVA 基準	67.52
	三巻線合計	(最低タップ)	512.56
		(定格タップ)	399.30
		(最高タップ)	361.40
インピーダンス (%)	一次～二次	125 MVA 基準	13.11
	一次～三次	25 MVA 基準	6.12
	二次～三次	25 MVA 基準	2.75

6.1.2 負荷試験および損失の算定法

インピーダンス および損失測定について特記することはないが、3巻線の保証損失は客先仕様に基づいて、図 6.2 のとき負荷条件にしたがって計算した。すなわちこの方法は規格によった考え方と異なっていて、ある負荷条件のもとで電圧変動を見込んだ値であり、また計算も煩雑で交流計算盤の助けをかりた。

図 6.2 に基づいて交流計算盤で算出した値を、表 6.2 に示す。この表における電圧 % は条件のごとく、一次入力電圧一定のとき、二次・三次出力に応じた電圧でそれぞれの定格タップ電圧に対する % である。これらの条件から 3 巻線の銅損を計算し、表 6.3 に特性一覧表を示す。客先仕様は効率に対する要求なく、すべて損失値が対象であり、試験結果は十分保証値を満足している。

6.1.3 温度上昇試験

2.3 節に述べたごとく、本変圧器の定格は、二次・三次の負荷条件を決め、それに応じた一次入力を定めることになっており、温度上昇試験は次の負荷条件を満足する最大損失に対して行なわれた。

上記負荷時条件で、変圧器の損失最大となるのは、三次側出力が、力率 0 遅れの場合で、かつ巻線構造上最低タップの場合であることを判定した。しかし、各巻線の電流がそれぞれ最大である条件が必ずしも損失最大の条件とは一致せず、一応各タップ位置の損失を算定してみる必要があるので電算器で、最大損失を求めた。この結果を表 6.5 に示す。

巻線の温度上昇を求めるために通電した電流は各巻線の最大電

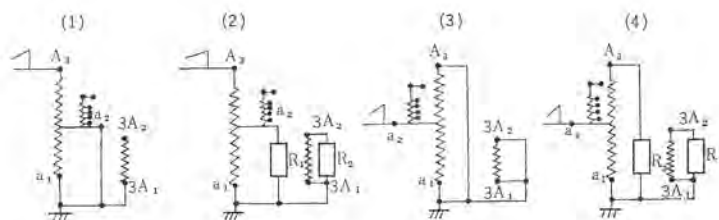


図 6.3 衝撃電圧試験結線図

Fig. 6.3 Connection at impulse test on HV and LV terminals.

表 6.4 変圧器の負荷条件

冷却方式	二次出力	三次出力
自 冷	75 MVA 力率 0.95 遅れ 電圧 132/√3 ~ 138.6/√3 kV	(1) 12 MVA 力率 0 遅れ 電圧 14.4 ~ 16 kV または (2) 15 MVA 力率 0 進み 電圧 16 ~ 17.6 kV
	125 MVA 力率 0.95 遅れ 電圧 132/√3 ~ 138.6/√3 kV	(1) 20 MVA 力率 0 遅れ 電圧 14.4 ~ 16 kV または (2) 25 MVA 力率 0 進み 電圧 16 ~ 17.6 kV
送油風冷		

流であり、送油風冷の場合は次のようになる。

直列巻線 802 A 145.3 MVA, 0.95 E 相当

分路巻線 1,021 A { 二次出力 125 MVA, 0.95 E
三次出力 25 MVA 相当

三次巻線 1563 A 25 MVA, 1.00 E 相当

温度上昇試験結果は油も巻線もともに仕様に対して十分な余裕を示している。

6.1.4 衝撃電圧試験

B. S. 規格では、一般に同一仕様の変圧器については一台のみ形式試験として衝撃電圧試験を行なえばよいことになっているが、この変圧器はとくに客先指示により全台について実施した。

一般に単巻変圧器では、低圧外線が低サージ・インピーダンスであれば、高圧側から雷が侵入した場合には、大半の電圧が直列巻線に印加されるので、とくに耐衝撃性には考慮を要する点が多い。今回は高圧側印加、および低圧側印加の両方の場合とも、図 6.3 に示すごとく、他巻線直接接地の場合と、抵抗接地によりその端子の電圧を BIL の約 75 % に抑えた場合についてそれぞれ試験を行なった。変圧器に対する過酷度は (1) の場合が一番大きく、(2), (4) の条件は試験として大きな意義はないけれども一応全条件について施行した。

なお本変圧器はタップ巻線の構造上、定格タップ (中央) としてタップ巻線をオープン・エンドとした状態が衝撃電圧試験時には過酷となるので、すべての試験に対して図 6.3 のごとくタップ巻線をオープン・エンドとした。しかし電位分布測定によりタップ巻線先端に表われる電位は低圧の BIL に対して、とくに注意を要する値ではないことを確認している。

高圧中性点に対する電圧印加は、直接中性点から規定波形を印加せず、図 6.4 のごとく、高圧端子から波形を印加し、中性点に

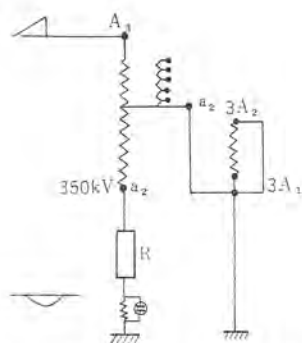


図 6.4 中性点への衝撃電圧印加法
Fig. 6.4 Connection at impulse test for HV neutral.

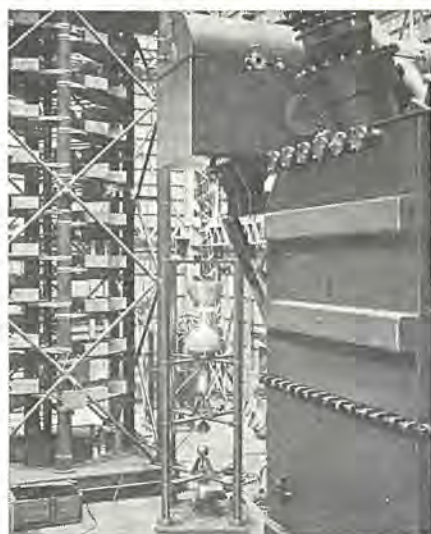


図 6.5 4,000 kV 300 kW 衝撃電圧発生装置と
サイ 断波試験中の変圧器
Fig. 6.5 4,000 kV 300 kW impulse generator and trans-
former for under chop test with multi gaps.

は抵抗をそう入して、緩頭波形として絶縁の検証を行なった。これは実際に中性点に直撃雷の侵入する可能性はないと考えたからである。

B. S. 規格では周知のごとく、電圧印加順序・回数については、他の規格より過酷であるうえ、電圧波形も $1 \times 50 \mu\text{s}$ が標準となっている。日本においては、大形変圧器の衝撃電圧波形を規定どおりに出すことが衝撃電圧発生装置の設備と合わせ考えて経済的でなく、また技術的にもむしろ規格 (JEC) を改訂する方向にあるが、本件は B. S. 規格を満足する波形を要求された。しかし製作当初の設備では、この要求は困難なこととして高圧側で $2.5 \times 30 \mu\text{s}$ を最低の線とし、電力委技師と打ち合わせを行なった。しかし変圧器の完成に先だって、4,000 kV、40 段、 $1.5 \mu\text{F}/\text{段}$ 、300 kW の衝撃電圧発生装置を完成して試験を実施した。図 6.5 に本衝撃電圧発生装置を示す。

また表 6.6 に電圧印加順序および回数を表 6.7 に試験結果得られた電圧波形を示す。高圧側の波頭は、波形振動を抑えるために加減した制動抵抗の関係でこれ以上良くならず、B. S. 規格裕度に入らないが、これは今回やむをえないこととして客先も了承した。低圧、三次側の波尾は、衝撃電圧発生装置を直並列に接続して静電容量をさらに増加しないとこれ以上良くならない。

いずれにしても変圧器として、衝撃電圧特性を良くし並列コイル数が増加すれば侵入静電容量も増加して、大容量化すると衝撃電

表 6.5 温度上昇試験条件(損失最大)

条 件		冷却方式		送注風冷	自 冷
		容 量 (MVA)	電 圧 (%)		
一次側				145.3	84.1
				104	100
二次側		タップ位置		1	1
		容 量 (MVA)		125	75
		電 圧 (%)		95	95
		力 率 (%)		0.95 lag	0.95 lag
三次側		容 量 (MVA)		20	12
		電 圧 (%)		93	90
		力 率 (%)		0 lag	0 lag
各巻線電流		直列巻線 (A)		733	441
		タップ巻線 (A)		1640	984
		分路巻線 (A)		907	544
		三次巻線 (A)		1340	833
基準電圧 (センタ・ポイント) (%)				94.6	94.8
損 失	全銅損失 (kW)			508.9	175.5
	鉄損失 (kW)			74.0	74.5
	全損失 (kW)			582.9	250.0

表 6.6 電圧印加順序および回数

(数値は印加電圧: kV)

印加順序	高 圧		低 圧		高圧 中性点	三 次		
	低圧 接地	低圧抵抗 接地	高圧 接地	高圧抵抗 接地		3A ₂ 印加	3A ₁ 印加	一括 印加
低減全波	1300×0.75	1300×0.75	550×0.75	550×0.75	350×0.75	150×0.75	150×0.75	150×0.75
規定全波	1300	1300	550	550	—	150	150	—
低減サイ 断波	1500×0.75	1500×0.75	630×0.75	630×0.75	—	170×0.75	170×0.75	—
規定サイ 断波	1500	1500	630	630	—	170	170	—
規定サイ 断波	1500	1500	630	630	—	170	170	—
規定全波	1300	1300	550	550	350	150	150	150
規定全波	1300	1300	550	550	350	150	150	150

表 6.7 衝撃電圧試験電圧波形

印 加 点	電 圧 波 形 (μs)
高 圧 印 加 (A ₃)	1.7×57.0
低 圧 印 加 (a ₂)	1.5×27.0
高 圧 中 性 点	24.7×65.2
三 次 印 加 (3A ₁)	1.7×13.0

表 6.8 移行電圧測定結果

印加端子	印加波形 (μs)	タップ 位置	移行電圧 (%)				接地条件		
			A ₃	a ₂	3A ₂	3A ₁	A ₃ (Ω)	a ₂ (Ω)	三次 (μF)
A ₃	1.5×50	定格	—	40	9	10	—	∞	∞
A ₃	1.5×50	定格	—	8	9	10	—	300 Ω	∞
a ₂	2.0×48	定格	230	—	30	26	∞	—	∞
a ₂	2.0×48	定格	28	—	29	28	300 Ω	—	∞
a ₂	2.0×48	定格	29	—	21	—	∞	—	0.3 μF

波波形が悪くなるのは当然である。しかし、波形の技術的意味は別として、輸出変圧器受注の成否が、この衝撃電圧波形にかかる場合もあるので、規格を満足させるとき大形衝撃電圧発生装置が必要となる。当社では現在 500 kW の エネルギ を有する衝撃電圧発生装置を目下製作中である。

6.1.5 誘導試験

高圧線路端、および低圧線路端の試験を同時に行なって巻線に対して過酷な ストレス を与える回路を少なくするために、図 6.6 の回路によって誘導試験を行なった。高圧側に 575 kV 誘起するためには低圧側は 245 kV となり、低圧側試験電圧の 242 kV を

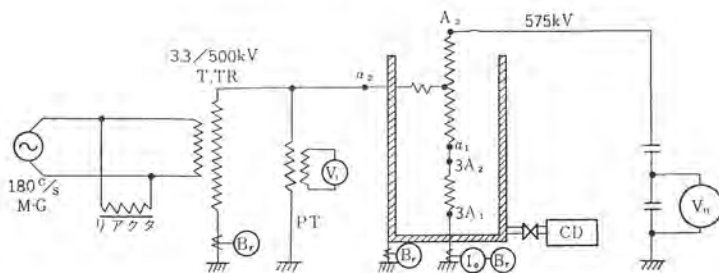


図 6.6 誘導試験結線図
Fig. 6.6 Connection diagram of induced voltage test.

少し上回る。これは タップ 電圧の関係上やむをえないが絶縁設計上多少余裕があるため実質的には問題なかった。

電圧はあらかじめ校正を行なった高圧側 コンデンサタップの C 分圧、および低圧側の PT によって実測するとともに、試験用変圧器接地側、被試験変圧器 タンク 接地側、および主巻線接地側のそれぞれの接地電流を シンクロスコップ で観測し、合わせて油中コロナの発生の有無を調べた。この結果運転電圧ではもちろんのこと試験電圧においても有害な油中 コロナ の発生していないことを確認した。

一般に油中 コロナ の定量的測定は、その有害性との関係も明確でないうえ、超高圧変圧器では校正を行なって単発 コロナ をとらえてみても、あまり意味がないので、今回のごとき定性的観測を行なうことで一応その目的を達するものと考えてよい。油中 コロナ の測定法については、最近定量的測定法を各方面で試みており、当社は種々検討している。これを規格化しようとする動きもあるが、超高圧変圧器の一般試験としては、経済的にも技術的にもまだ検討すべき問題が多い。

図 6.7 は誘導試験中の変圧器であるが、ブッシング の項に述べるごとく、シールド からの気中 コロナ 発生は、540~550 kV からであった。

6.7 その他の試験

ブッシング については形式試験を実施したので概略を述べる。

6.7.1 ブッシングの試験

試験は B.S. 規格および客先仕様によって下記のごとく施行された。

項目 1, 2 は ガイシ ムカ で B.S. 規格どおり実施し、3 以下の項目を当所で行なった。3 はブッシング を 75°C に加熱した状態で 10 lb/sq. inch の圧力で 24 時間実施して、なんら異常を認めなかった。以下に代表的に 330 kV ブッシング について概要を述べる。

4 は 60 c/s, 680 kV 1 分間のほかに参考試験として 750 kV 1 分間を実施して異常を認めなかった。

5 はすべての耐圧試験の前後に 3 回実施したがそれらの前後の変化は認められず絶縁特性のすぐれていることを確認できた。図 6.8 はその一例を示すものである。

6, 8 は同時に実施された。8 の試験電圧は変圧器の サイ 断波試験電圧値と同一であるためブッシング 全体を油中に入れる代わりに気中試験をもって代行した。9 は、30 秒間注水状態で実施、10 の コロナ 試験は、可視 コロナ の発生の有無が目的であるが 265 kV の試験電圧では皆無であった。ブッシング の内部 コロナ, および油中部の コロナ も電流 パルス 法で観測したが皆無であった。



図 6.7 誘導試験中の変圧器
Fig. 6.7 Transformer under induced voltage withstanding test.

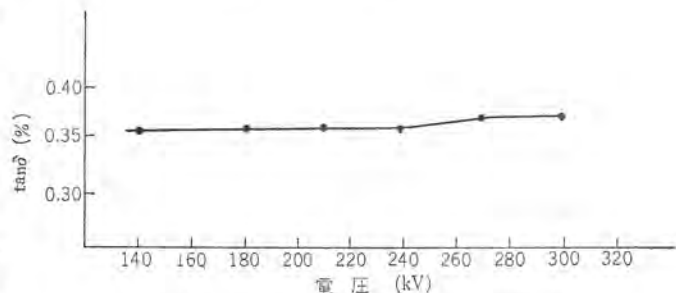


図 6.8 330 kV ブッシング の $\tan \delta$ - 電圧特性
Fig. 6.8 $\tan \delta$ characteristic of 330 kV bushing.

表 6.9 ブッシング 試験項目

試験 順序	試験項目	試験 の 種 目	試験電圧その他の条件			
			330 kV ブッシング (VH 用)	132 kV ブッシング (LV 用)	66 kV ブッシング (HV 中性点用)	22 kV ブッシング (TV 用)
1	冷熱試験	T				
2	吸湿試験	S				
3	油密試験	R				
4	商用周波耐圧試験	R	680 kV	300 kV	150 kV	52 kV
5	力率/電圧特性試験	R	150~300kV	40~132 kV	20~66 kV	6.6~22 kV
6	乾燥衝撃耐電圧試験	S	1300 kV	650 kV	350 kV	150 kV
7	繰り返し力率/電圧特性試験	S	150~300kV	40~132 kV	20~66 kV	6.6~22 kV
8	油中衝撃耐電圧試験	T	1500 kV	750 kV	400 kV	170 kV
9	商用周波注水耐電圧試験	T	555 kV	285 kV	150 kV	55 kV
10	コロナ試験	T	265 kV	105 kV	—	—
11	繰り返し力率/電圧特性試験	T	150~300kV	40~132 kV	20~66 kV	6.6~22 kV
12	温度上昇試験	T				

(注) R: 一般試験 S: サンプル試験 T: タイプ試験

7. 輸 送

この変圧器は上部 タンク を取りはずして本体、上部 タンク とそれぞれ仮 カバー を取り付け、日本ではトレーラ による道路輸送 オーストラリア では、最初の据付けはトレーラ により道路輸送された。なお将来の移設を考慮して鉄道輸送もできるようにになっている。この鉄道輸送は落ち込み式で、輸送限界寸法も日本のものと大差



図 7.1 船積中の 145 MVA 変圧器
Fig. 7.1 145 MVA transformer being lifted for shipping.

なく各部で寸法の切り詰めを余儀なくされ、中部 タンク 側板補強

は取りはずし式にした。本体輸送重量は 98t である。図 7.1 は変圧器本体の輸送を示す。

8. む す び

オーストラリア 納めに製作されたわが国最大 パック 容量 435 MVA, 330 kV 単相負荷時 タッパ 切換単巻変圧器について概要を紹介し、大容量高電圧単巻変圧器に対して、外鉄形変圧器に独特に適用しうる巻線構造を中心に述べた。この鼓形段絶縁は初めて採用した構造であるが、この実績によって今後の超高圧単巻変圧器に多く採択することになる。また外鉄形 タッパ・コイル の並べ巻きは電氣的機械的効用が大きく、活用の道が多いと考えられる。

タッパ 切換器は MR 社の輸入品であるが、MR 社技術の消化ができれば、国産技術としてさらに飛躍できるであろう。

衝撃電圧試験の印加波形に対して、発生装置を改善して、あたう限り規格に近い波形を得ることに努めた。これは客先も誠意を大いに認め、引き続いて Munmorah 火力発電所の 2×400 MVA, 330 kV 変圧器の発注を当社に決定される大きな収穫になった。

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
38-9-6	エレクトロニクスダイジェスト	電車の自動運転制御装置	石田 哲 爾	無 線 機
38-9-27	日本金属学会会報	放電加工における放電繰返し数	上田 時 芳	無 線 機
38-9-28	テレビジョン 学会誌	モレクtron 映像回路	小林 信 三	無 線 機
38-10-1	加工と技術の講座	電磁気材料	小倉 忠 利	相 模
38-10-4	新しい包装 11 月号	包装に対する考え方と仕様の決め方	美濃浦福三	名 古 屋
38-10-14	化学工場	塗膜の レオロジー	柴 山 恭 一	中央研究所
38-10-16	Bulletin of JSME	Experimental Studies on the Air Curtain	齊 藤 春 雄・杉 原 正 浩	中央研究所
38-10-17	制御工学	精密角度符号板とその応用	吉 山 裕 二・白 石 彊	中央研究所
38-10-18	電気電機車	インド 国鉄納め イグナイトロン 式交流機関車	管田恵之助	伊 丹
38-10-20	エレクトロニクスダイジェスト	ME-9 形 7000 Mc 帯多重無線機	阿 部 修	無 線 機
38-10-22	電子科学	三菱 マイクロテレビ 6P-125 形の特長と サービスについて	野 口 善 男	無 線 機
38-10-24	電子材料	マイクロテレビ の電子部品とその問題点	柳 川 滋	無 線 機
38-10-26	エレクトロニクス	SCR を用いた回転機制御	室 賀 淳	伊 丹
38-10-27	電気通信学会関西支部	遅延時間の精密測定法	近 藤 輝 夫・岩 部 昭	無 線 機
38-10-28	プラスチックマテリアル	電気機器構成材料としての注型品の応用	寺 谷 宏	中央研究所
38-10-28	プラスチックマテリアル	強化 プラスチック の応用	信 岡 正 祐	中央研究所
38-10-31	軽金属協会誌	三菱 18 m パラボラアンテナ	南 日 達 郎・中 根 守 久 森 川 洋	伊 丹
38-11-1	情報管理	情報活動への マイクロフィルム の利用—その簡易な一例—	中 島 孝 夫	無 線 機
38-11-5	電気通信学会	高出力 タリウム 水銀灯による照明の経済比較	小堀富次雄	本 社
38-11-8	電子材料	三菱・村田・指月三社の薄膜協同研究について	黒 田 忠 光	無 線 機

コンベヤ式高炉原料自動装入装置

木内 修*・渡辺 克己*・井上 信義*

Automatic Charging Control for Blast Furnaces with Belt Conveyers

Nagasaki Works

Osamu KIUCHI・Katsumi WATANABE・Nobuyoshi INOUE

Material charging equipment of blast furnaces mostly resorted to the skip system in the past. As the blast furnaces grow large sized, the capacities of hoisting motors increase a great deal to make the matters complicated. To overcome the drawback belt conveyer system is now coming in use from the viewpoint of simplification of related machine arrangements, reduction of installation costs and response to the furnace operation. Mitsubishi has supplied the Sumitomo Metal Industry Co. Kokura Plant with electric apparatus for use with a 1,100 ton conveyer type blast furnace—the fourth installation in this country—and the machines are operating successfully. This article accounts for a γ -ray material detecting device, automatic operation programming equipment and other brief points of control equipment.

1. ま え が き

高炉の原料装入設備としては、これまで スキップ 方式によるものが大部分であったが、高炉の大形化に伴い巻上用電動機容量が大幅に増大してきたため、電気ならびに関連機械設備の簡易化、設備費の低減、炉況に対する応動性などから最近 ベルトコンベヤ 式装入設備が注目され、欧州では数年来多数の高炉がこの方式により建設され、実働している。国内においても大阪製鋼、富士鉄室蘭、矢矧製鉄に建設されており、今回住友金属小倉製鉄所に住友機械および当社の手で第4本目のものが建設され、10月1日火入れを行ない、以後順調に運転されている。

大形高炉装入方式については本設備からも ベルトコンベヤ 方式の有利性が実証され、今後 スキップ 式に代わり採用されるものと考えられる。

本方式で一番問題となる点は コンベヤ 上の原料検出方法であるが、これは ガンマ 線検出装置（当社製）の使用により解決し、すぐれた成果を得た。また制御回路には全面的に トランジスタリー を使用し保守点検の容易さ、信頼性の向上を計るとともに、ピンボードによる自動運転 プログラム 設定装置、パルス 発信器と トランジスタ 回路の組み合わせによる旋回 ホップ 回転角度制御回路など、新しい方式を採用し、運転上からの変更要求に容易に応じられる使いやすい装置である。

今後高炉打込装入設備を計画される上に、ご参考になる点が多いと思われるので、本制御装置の概要を以下に説明する。

2. コンベヤ方式とスキップ方式の比較

従来の高炉装入方式はほとんどすべてが斜塔 スキップ 式で、若干のものが斜塔 バケット 式あるいは垂直水平 バケット 式であり、いずれも巻上機にたよっていた。

高炉が大形化した場合装入量を増すためには、1回あたりの装入量は変えないで運転回数を増してもよいが、製鉄技術上および関連機器の作動時間から制約を受け、1回あたりの装入量を増加しなければならない。しかし加減速区間が全速区間に比べ大きい点から巻上用電動機容量は急激に増加し、経済上の問題が生じてくる。この点 コンベヤ 方式では連続装入と考えてもよく、コンベヤ 速

度あるいは コンベヤ 幅を大きくすることにより、高炉の容量増大に容易に対応できるわけである。

次に コンベヤ 方式の利点を述べてみよう。

(1) スキップ 式に比べ機械、電気設備ともはるかに簡易化され、操作、保守とも容易である。

(2) 電気関係の設備費は Ward Leonard 方式による スキップ 式に比べて約 60% 程度以下である。

(3) ラリーカー（ショウ（秤）量車）をやめることにより人手を介さず、貯鉱タンクから連続的に鉱石副原料などの切り出し、ショウ量、装入を行なうことができ、ラリーカーを廃止することもできる。コース 関係についても同様に連続 ショウ 量輸送が可能で打込装入関係の設備をすべて コンベヤ と連続 ショウ 量機により統一することが可能である。

その他設備面積、運転維持費の面では両方式には大差ないものと考えられる。

3. 設 備 の 概 要

3.1 装入コンベヤならびに原料検出装置

図3.1に装入コンベヤ関係の説明図を示す。コース あるいは鉱石コンベヤから装入No.1コンベヤに打ち込まれた原料は以下、No.2～4コンベヤにより炉頂小ベル上に装入される。各コンベヤとも常用機と同一容量の予備電動機を有し、事故の場合ただちに切り換えて使用するようになっている。コンベヤは幅 1,050 mm、速度 80 m/min、能力 415 m³/h、なお高炉容量は 1,100 t/day である。

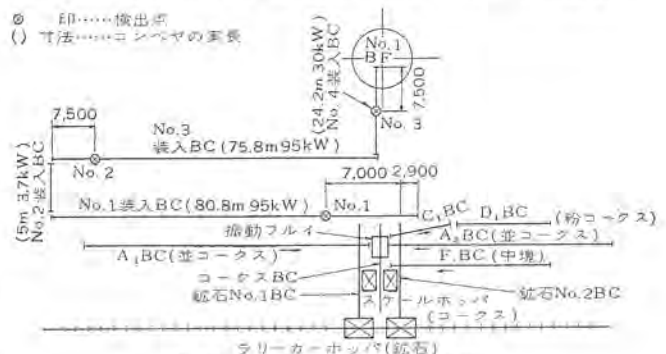


図 3.1 装入コンベヤ関係配置図
Fig. 3.1 Layout of charging conveyor.



図 3.2 照光盤
Fig. 3.2 Luminescent board.

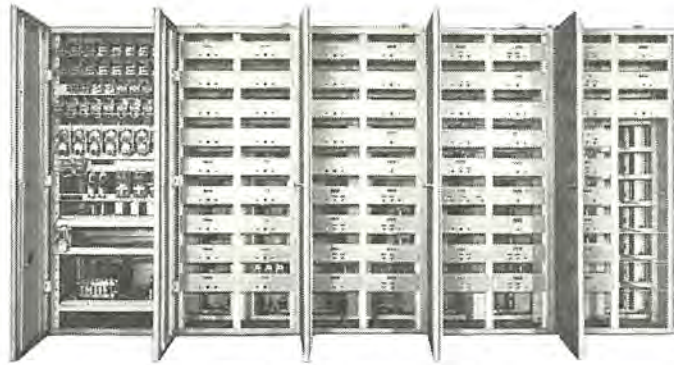


図 4.1 トランジスタリレー盤
Fig. 4.1 Transistor relay board.



図 4.2 タイムスケジュール盤
Fig. 4.2 Time schedule board.

コンベヤ上には3個所にガンマ線による原料検出装置が設けられており、コンベヤ下に線源 (Cs 137, 半減期 33年)、コンベヤ上にカウンタヘッド (シンチレーションカウンタおよびシリコントランジスタによるプリアンプ内蔵) が取り付けられ、打ち込みおよび装入状態の確認、関連機器の制御信号などに使用されている。この検出方法としては機械的のリミットスイッチ、ロードセル、光電管などによるものが考えられるが、第1のものはコンベヤ速度が比較的早くすぐにダメになり問題外であり、現場での振動、じんあい、ガスなどのことを考えると、静止形で機械的構造を有しないガンマ線方式が有利なことがわかる。

3.2 炉頂設備

原料装入は $O_1-O_2-C_1-C_2$ すなわち1チャージ 鉬石2回、コークス2回である。旋回および小ベルの操作は装入のたびごとに行なわれ原料検出装置からの信号とインターロックされている。大ベルは鉬石2回あるいはコークス2回装入ごとに開かれ、大ベル上の原料は高炉中に装入される。大小ベルともクランク式で誘導電動機で駆動されており、クランク軸が1回転する間にベルは閉一開一閉と作動する。なお大ベルと関連して装入深度測定用のサウンジグロッドの巻き上げ、巻き下げが行なわれ、深度が規定値に満たないときは続いて装入が行なわれる。旋回ホップはカゴ形誘導電動機により駆動され、旋回角度検出にはこれまで機械的のリミットスイッチが用いられていたが、パルス発信器を使用した特色ある方式を採用した。その詳細については後述する。

3.3 原料打込設備

鉬石関係はラリーカー (鉬石ショウ量車) 運転手が各原鉬石、焼結鉬、石灰石などの原料を各ピンから定められた量だけショウ量、切り出しラリーカーホップまで運搬、投入する。次いで鉬石装入指令によりパイプレータ、鉬石コンベヤは同時に起動し装入コンベヤ上へと運ばれ、第1検出点からの原料送出完了信号により停止する。ラリーカーをやめて全体をベルトコンベヤと連続ショウ量機で統一すればこれらは全自動運転とすることができ、誤ショウ量などもなくなるが、今回は旧設備の一部改造にとどまったので、そこまで行なうことはできなかった。今後はさらに必要とする銑鉄の組成ならびに各原料の組成を制御装置に入力として与え、原料配合比、1回あたりの装入量を算出し、自動ショウ量機やコンベヤなどにより、まったく人手を介さずに装入が行なわれるようになるものと思われる。

コークス関係はスチールホップ (ショウ量ホップ) を2個有しており、いずれか空のホップのダンパが開かれた後中塊コークスの場合は直接、並コークスの場合は一度フルイ分けられコンベヤあるいは振動フルイからホップへ流入し、満量信号により自動的にこれらは停止しダンパは閉じられる。コークス打ち込指令によりBコンベヤ起動し、ゲートが開かれ装入コンベヤ上へコークスは送り出される。送出完了信号によりBコンベヤが停止するのは鉬石の場合と同様である。

4. 制御装置の概要

制御回路は大きく分けると次の各回路からなりたっている。

1. 単独運転回路
2. 自動運転回路
3. 共通制御回路
4. タイムスケジュール指令回路
5. 旋回角度制御回路

高炉ではとくに連続操業が要求されるので、トランジスタリレーの使用により信頼性の向上を計るとともに、たとえ一部の回路に故障が発生してもその回路を切り放して運転を継続できるように、単独回路と自動回路はまったく別々に設け、多点切換開閉器により一方から他方の回路へ同時に切り換えうように計画した。

また各電動機ごとにユニットシャーシに制御回路をまとめ、外部とはコネクタで接続しているので動作試験、故障の発見などが容易に行なわれうようになった。

4.1 単独運転回路

これには現場操作と中央操作盤からの遠隔単独運転回路が含まれている。まず多点切換開閉器を単独側に切り換え、操作盤上の操作切換開閉器を現場ノッチにした後、現場操作箱の切換開閉器を遠方から現場側に切り換えれば各操作開閉器により各電動機は他の機器と関係なく運転可能となり、試運転、調整、点検などを行なうことができる。

次にすべての現場操作箱の切換開閉器が遠方ノッチにあれば、操作切換開閉器を単独ノッチにすることにより中央操作盤から遠隔単独操作が可能となる。各電動機、ゲートなどはおのおのの操作開閉器により必要なインターロックを取りながら単独に運転停止できるが、できるだけ操作を簡単にするため連動して運転される旋回一小ベル閉開操作、サウンジグロッド巻き上げ一大ベル閉開閉一サウンジグロッド巻き下げの操作は、おのおの小ベルおよび大ベルの起動操作を行

なうのみで自動的に行なわれるようにしている。旋回、サウンジング操作のみ単独に操作することも可能である。鉱石あるいはコークスコンベヤの起動からその原料が炉頂に到達するまで 130 秒、装入完了まで 190 秒程度かかり、一方 1 回の装入時間および次の装入までの時間間隔は 60 秒程度であるので、コンベヤ上の原料が見えないため、時間間隔がつまったり開きすぎたりして操作が困難ではないかと考えられるが、3 点の検出での原料の有無（照光盤上ランプ表示）から、コンベヤ上の原料の位置が大体わかり、一人の操作者ですべての機器を容易に操作できる。

4.2 自動運転回路

これまで自動運転指令装置としては、モートルタイマが多く使用されてきたが、この方式ではスケジュールの変更が困難であった。今回はピンボード方式を用い、短時間の間に任意の運転プログラムを単にピンを差し換えるのみで設定できるようにした。これは 4 秒間隔で最大 20 分までのプログラムが設定でき、1 チャージの時間も任意の時間にタイマをリセットし、新たにスタートさせることにより自由に変えうるようにしており、大変使いやすい装置とすることができた。その詳細については改めて説明する。

4.3 共通制御回路

これには大小ベル上の原料表示回路、装入回数指示回路、ラリカーホッパ打込指令回路などのほか保護回路が含まれており、下記の場合故障表示灯を点灯すると同時にベル鳴動し、各機器とも非常停止する。

- (1) 手動非常停止（各現場操作箱、中央操作盤から）
- (2) 各電動機の過負荷
- (3) 大小ベル、サウンジング保護用リミットスイッチの作動
- (4) 装入コンベヤ用スピードリレーの作動
- (5) 運転プログラムチェック（各種の操作が規定時間までに終わっていない場合；自動運転時）
- (6) 小ベル上へ原料が 2 重に装入された場合
- (7) 原料検出装置の故障（ガンマ線量の指示値が正規の動作範囲を越えた場合；下限値としてはカウンタヘッド近くに補助線源をおき、原料により主線源がまったくさえぎられなくてもある値を指示するようにし、上限値は原料のない場合の指示値をとり、指示値がこの範囲をこえれば故障とみなしている）
- (8) 原料到達時間チェック（No. 1 検出点で原料検出後一定時間以内に No. 2 検出点に原料が到達しているかどうかのチェック、同様に No. 2 検出点～No. 3 検出点到達時間チェック）

タイムスケジュールと指令回路、旋回角度制御回路については改めて説明する。

5. タイムスケジュール指令回路

タイムスケジュール指令回路は基準タイムパルス発生回路、カウンタ回路、タイマ制御回路およびピンボードからなっており、各機器の自動運転回路に起動信号、停止信号およびチェック信号を与え、一度自動起動操作を行なえば、後は自動的に原料が装入され、高炉内原料が規定値以上となれば一時停止し、規定値以下となればふたたび装入を開始する。

5.1 基準タイムパルス発生回路

基準としては交流電源周波数を使用した。周波数の変動は 0.5 % 程度であるが、たとえ変動がありタイムスケジュールが変わっても

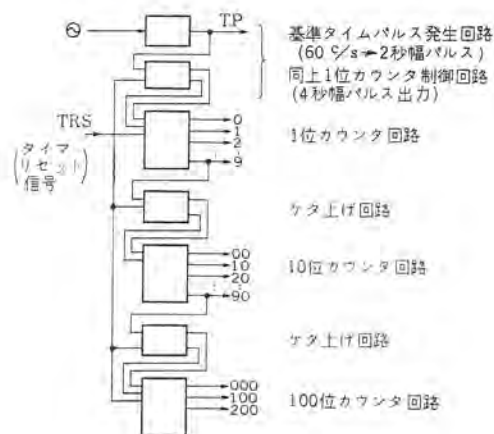


図 5.1 タイマ回路
Fig. 5.1 Timer circuit.

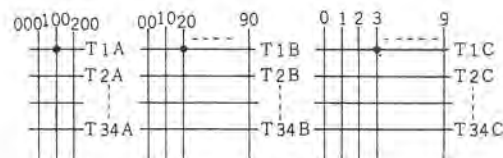


図 5.2 ピンボード
Fig. 5.2 Pin board.

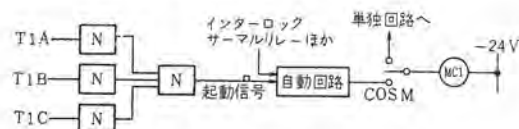


図 5.3 自動運転回路概略図
Fig. 5.3 Skelton of automatic operation circuit.

電動機の運転速度の変動とキャンセルして、かえって定周波発振器を使用するよりも好都合である。電源波形を形成して 2 進カウンタ回路により 4 秒幅の基準パルスを得ているが、2 進回路のままだと 16, 32, 64……と進んで行き、1 秒幅のパルスは得られないので、2 進回路に一部の回路を追加して正確に 4 秒幅の信号を得ている。

5.2 タイマ回路

基準タイムパルスを計数して最大 299、すなわち 1,196 秒、約 20 分までの信号を得ている。なおカウンタとしてはリングカウンタを使用しており、ケタ上げ回路は実際には 2 進カウンタである。なおこの回路には電子計算機などに使用している標準 NOR カードを使用している。

通常はタイマ制御回路からのリセット信号が入っているため各ケタとも 0, 00, 000 のみ出力 ON、他は OFF の状態に止まっている。ここでリセット信号が OFF となると基準パルスの計数を始め、0→1→2→3……と ON 出力が変化していく。1 位が 9→0 に変化する瞬間にケタ上げ回路の出力が反転し 10 位が 00 から 10 に変化する。以下同様にして計数していくわけである。

5.3 タイマ制御回路

装入コンベヤ運転中、鉱石打ち込み完了、保護装置正常の条件で自動起動用操作開閉器を操作すれば、タイマ回路が計数を始め、各機器はスケジュールに従い起動し自動運転が開始される。プログラムの最後まで進むとピンボード上からの信号によりタイマは一度リセットされる。ここで自動起動操作開閉器が停止に操作されていれば運転はそこで停止されるが、まだ起動に操作したままの場合、高炉内原料装入高さが規定値以下となれば、ふたたびタイマリセット信号は OFF となり装入が開始される。

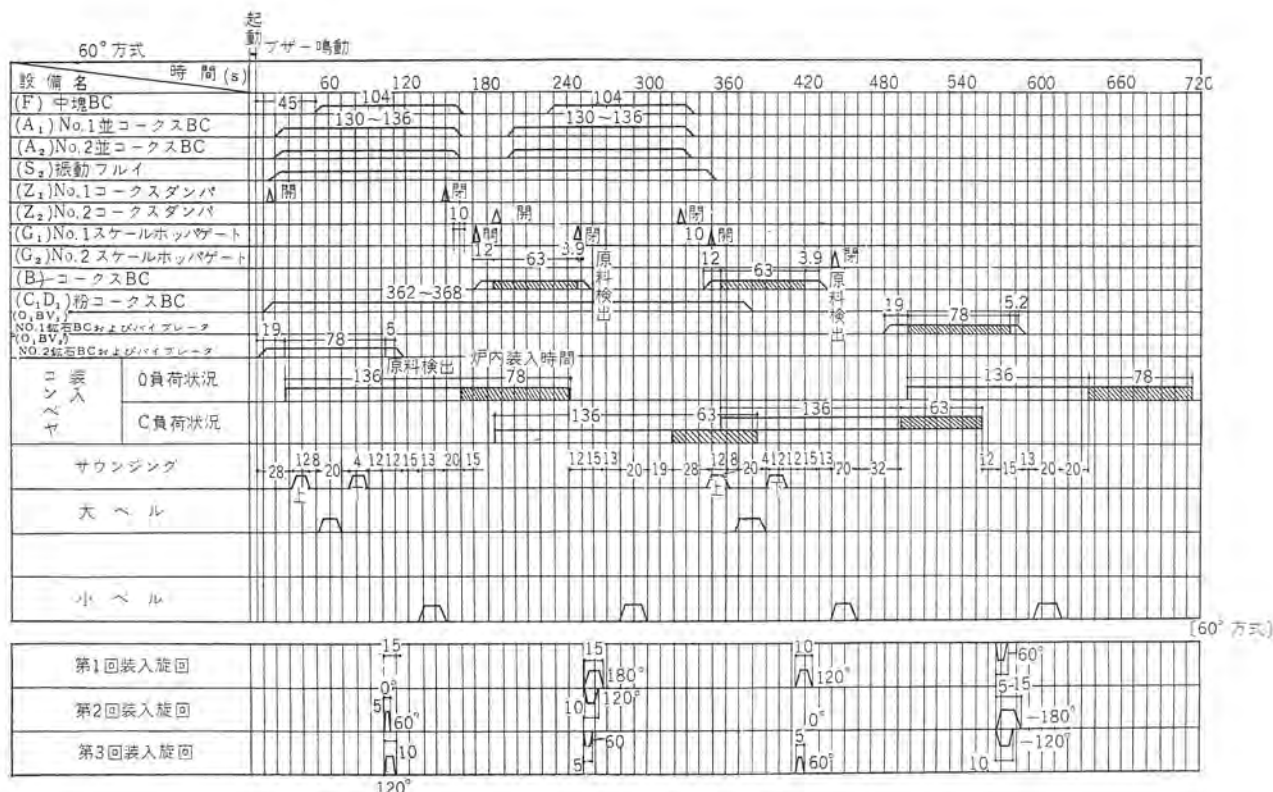


図 5.4 運 転 スケジュール Fig. 5.4 Operation schedule.

5.4 ピンボード

ピンボードは図5.2のように縦軸に時間、横軸に各機器、各ヶごとの信号線を持っており、時間軸にはタイマ回路の出力が図のように接続され、各ヶごとに分けられた横軸から得られる信号はAND回路を通して各機器の起動信号などとして使用している。

すなわち第1行のようにピンを設定すれば自動運転開始から123ステップ、すなわち492秒目にAND回路の出力はON、自動運転回路出力ONとなりMC1が投入されNO.1の電動機は起動する。以下同様にして各機器ごとに起動、あるいは停止のプログラムをピンで設定している。

運転スケジュールは図5.4に示すごとくであるが、装入コンベヤは連続運転され、コークスのスケールホッパへの打込指令、コークスおよび鉱石の装入開始指令などがタイマから与えられている。

炉頂関係設備のプログラムは同じタイマ回路から取ることもできるが、今回は別にタイマ回路を設けている。これは打ち込み関係でシュートつまりなどにより正規のプログラム指令どおり運転が進行しなくなっても、すでに装入コンベヤ上へ送り出された原料は一定時間後には旋回ホッパ上に到達するためである。

1チャージは図5.4に示すとおり $O_2-C_1-C_2-O_1$ の装入までで、1チャージ終了時の炉頂状況は大ベル上に C_1 、 C_2 、小ベル上に O_1 が乗せられた状態にある。大ベルは小ベル2回に対し1回操作されるので運転プログラムは大ベルに続いて小ベルを開く場合、1および3スキップ目と、小ベルのみ開く場合と別々に設定している。

まず第1回目は打込系統のプログラム回路（ピンボードに設定）から起動信号を受け、炉頂関係のプログラムタイマ回路が起動し一定のプログラムに従いサウンジング上、大ベル開、サウンジング下、旋回、小ベル開と運転し大・小ベル上の原料を高炉内大ベル上にそれぞれ装入する。次に第2回目は第3検出点からの原料装入完了の信号によりプログラム運転を開始し、旋回小ベル開と操作する。第3回目はすでに大ベル上に鉱石が2回分乗っているの、まずそ

れを高炉内に装入しなければならないので第3検出点に原料が到達し、小ベル上への装入が開始されると同時にプログラム運転を開始し、第1回目と同じくサウンジング巻上、大ベル開、サウンジング巻下、旋回、小ベル開と運転される。サウンジングおよび大ベルの運転時間中に小ベル上への原料装入は完了し、続いて旋回、小ベル開が行なわれるわけである。

第4回目は2回目と同様である。この運転プログラムもピンボード上で任意の時間どおり選べることは打ち込み関係と同様である。

6. 旋回角度制御回路

旋回角度の検出はこれまで機械的リミットスイッチで行なわれていたが、調整箇所をなくし任意の角度で停止でき、低速運転時も誤りなく検出できる方法としてセルシオン発信機を使用し、トランジスタカウンタ回路でその二次位相角が回転に伴い電源位相と同相、逆相と変化する回数を検出する方法をとった。また同時に照光盤上にセルシオン受信器を設け、旋回状態を指示している。

また旋回角度予告ならびに装入完了表示回路には、停電対策を考慮してキーリレーを使用した特色ある回路を採用したので、これらを合わせて説明する。

旋回角度予告回路の動作としては照光盤上に次回旋回、装入すべき原料の種類と位置をランプで表示し、小ベルを開き装入が終

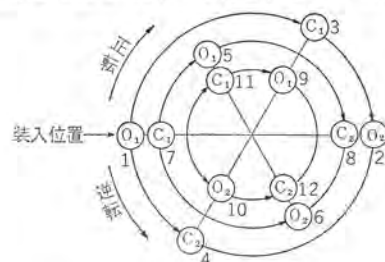


図 6.1 旋回スケジュール Fig. 6.1 Turning schedule.

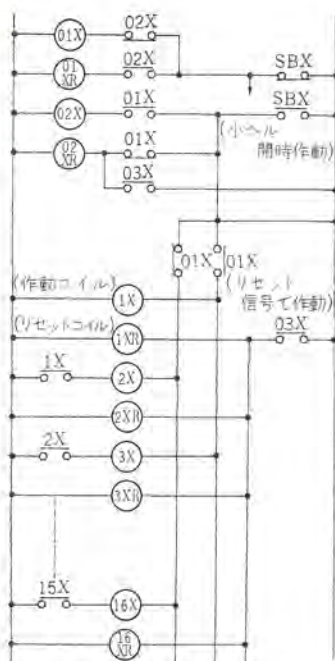


図 6.2 装入回数計数回路
Fig. 6.2 Charging numbers counting circuit.

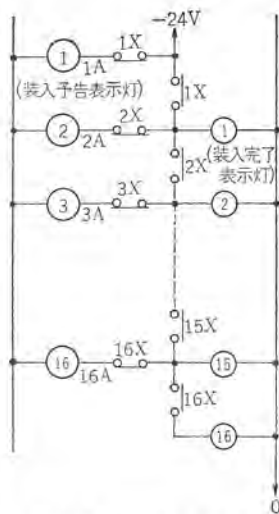


図 6.3 旋回角度予告および装入完了表示回路
Fig. 6.3. Turning angle notifying and changing completion indicating circuit.

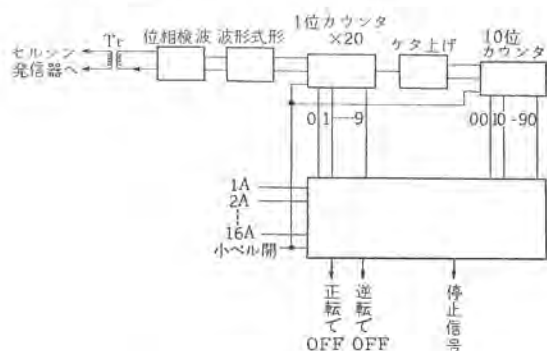


図 6.4 旋回角度制御回路
Fig. 6.4 Turning angle control circuit.

わったら装入完了灯を点灯する。このため キーリレー を用い、図 6.2 に示す カウンタ 回路により、図 6.3 に示す ランプ 表示回路を採用している。小ベルが開くたびに キーリレー が次々に作動し、装入完了表示灯が点灯してゆき、最後には図 6.1 に示す ランプ がすべて点灯することになり、次に大ベルが開いたとき リレー はリセットされ最初の状態にもどる。なお旋回方式は通常 45° 自動および 60° 自動方式がとられるが、炉況により プログラムによらず任意の位置に装入する場合などのため、45°, 60° 手動方式も取れるようにしている。この場合 45° あるいは 60° ごとに停止するので操作開閉器を希望回数操作することにより任意の位置に装入できる。なお手動の場合には旋回予告は変化せず、自動運転時の最終状態を示している。図 6.4 に示すのは旋回角度制御回路である。ホップ軸で 2° の検出精度を出すため、発信器軸は ホップ 軸 4° に対し 1 回転するようにし、照光盤上の受信器には 1.90 の減速装置を内蔵し、ホップ の回転と指示を同期させている。セルシオン 発信器の二次電圧の位相の変化を検出し波形成形した出力で カウンタ回路を作動させ、最大 99=198° まで検出できるようにしている。第 1 回目の操作は、前回小ベル上に装入されていた O_1 をそのまま大ベル上に落とし、2 回目は O_2 を 180° 正転、 C_1 を 120° 正転、 C_2 を 60° 正転などと旋回装入していくわけである。操業は 1 チャージ 12 分、1 ラウンド 36 分 (60° 方式) または 48 分 (45° 方式) で行なわれている。

旋回 カウンタ 出力は常時 0, 00 のみ OFF で他は ON となっており、60° 正転すれば 0, 30 が OFF になる。この信号と旋回予告回路からの信号を組み合わせると正逆転指令と停止信号を得ている。カウンタおよび停止 パルス は小ベル 開の信号によりリセットされ、予告表示は次の旋回指示へと切り換わる。

停止角度が問題となる場合は停止時間を考えて予定角度より 4°, 6° など前の位置で信号を出し、正しい位置で停止するように変更することができる。

旋回 プログラム の変更装置は今回は不要とのことで設けていないが、これも運転 プログラム 設定装置と同様 ピンボード を使用し簡単に変更できるようにすることも可能である。

7. む す び

以上 コンベヤ 式高炉の特長、制御方式などについて述べたが、今後本形式の高炉は広く採用されるものと思われるのでその際の参考になれば幸いである。

終わりに種々ご指導、ご教授いただいた住友金属株式会社小倉製鉄所および社内各位に厚くお礼申し上げます。

テレビジョン用ラミネートブラウン管

岩 田 浩*

Laminated Picture Tubes

Kyōto Works Hiroshi IWATA

In the TV industry nowadays in America laminated picture tubes of implosion protection are used as a common lot for the assurance of safety, whereas none of these kinds have been produced in Japan. However it will not be very long before the picture tubes of TV sets are replaced with these new types. The latest practice of employing newly developed polyvinyl butyral, cellulose butyrate and vacuum forming technique is featured by full protection against implosion and reduction of the weight in addition to many other advantages such as reduction in size, cut down of cost and improvement of viewing quality. This article deals with picture tubes made for trial by this method and also results of tests made for implosion protection.

1. ま え が き

近年、テレビジョンセットはより薄く、より軽く、という大衆の好みを反映して種々な改良が加えられてきた。この傾向にしたがってテレビジョン用ブラウン管もその主製品が14形90度偏向から16形114度偏向に代わりまた最近ではより大きな画面が好まれるため19形114度偏向も相当な伸びを見せている。

このように画面の大きさ、偏向角度が増し、しかも軽量にという制約を受けると必然的にブラウン管の爆縮の危険が増大してくる。したがってテレビジョンセットの前面安全ガラスは不可欠のものになっている。

この前面ガラスはコンパクトなセットの設計に障害となるだけでなく、ブラウン管との空間にほこりなどが付着する問題そのほか画質に悪い影響を与える要素を含んでいる。

このため直接ブラウン管の画像面を強化して耐爆安全性を与えセットに組み込む場合には前面ガラスを使用しない形のブラウン管が近年種々開発され、米国においては今日ではごく一般的な品種としての地位を占めるようになってきた。

この画像面を強化するためにプラスチックを張り付ける方法は従来いろいろ試みられたがわずかの気泡も残さないで張り合わせることがむずかしく実用化されなかった。

最近開発されたビニルブチラール、セルローズアセテートブチレートを開張する方法はこの難点を真空成形手法を応用することによって解決し、従来品と比べて完成品の軽量化という点ですぐれており、

またサイズの縮小、コスト安などの利点とともに、にわかに脚光をあびるようになった。

本報ではこの方法によって試作したラミネートブラウン管の製法と米国 U. L. 規格による耐爆試験について報告する。

2. ラミネートブラウン管

ブラウン管は動作中、ケイ光面に十数 kV という高電圧が印加されているため、画面外側は帯電し、その静電引力によって画面にほこりなどが付着しやすい。通常のテレビジョンセットではこのような汚れは前面ガラスの裏面にまで及んでおり画質、コントラストおよび明るさなどが悪い影響を受ける。

またこのようなセットには外光線を反射する4個の面が存在する。図2.1(a)の矢印はその反射面を示したものであるが、前面ガラスの表面と裏面、ブラウン管画像面ガラスの表面と裏面がそれである。これらの反射面はテレビジョンを視聴する環境が明るい場所であるほど画質を悪化させる効果が大きく、とくに戸外でポータブルテレビジョンなどを視聴する際に著しい。

これらの影響をさけるために次のような形のブラウン管が開発されている。

(1) Bonded Glass Shield 形

前面ガラスと同程度の厚さのガラスを画像面と等しい曲率に曲げて特殊なエポキシ接着剤で張り合わせて一体にする方式でコーニング式と P. P. G 式とがある。

(2) Tension Band 形

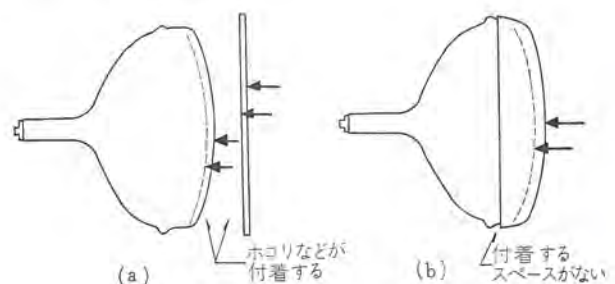


図 2.1 新旧ブラウン管の比較

Fig. 2.1 Comparison of new tube with old one.



図 1.1 試作したラミネートブラウン管(左)

Fig. 1.1 Laminated picture tube made for trial.

ブラウン管のガラスバルブ自身に特別のものを使用し、パネル側面より圧力を加えることによって力学的バラスにより耐爆縮性をもたせ、前面は画像面そのままを露出して使用する方式、キムコード、パノプライ、シェルボンド、ソリデックスなどがある。

(3) Plastic Laminate 形

原理的には(1)と同じであるが、ガラスの代わりに重量が軽いプラスチックを使用する方法でこれから述べようとする方式はこれに属する。この他マイラをエポキシ樹脂で張り付ける方式、メタクリルを光反応性アクリル接着剤で張り付ける方式などがあるが現在のところ実用化されていない。

これらの場合はいずれの形でも図2.1のように反射面は従来のものに比べて半分になり、しかもブラウン管と前面ガラスとの空間はなくなり画面の静電引力による汚れも外側から簡単にぬぐって取ることができる。しかもブラウン管自体に取り付けられているため、テレビジョン製造時やまたサービスマンなどによるブラウン管交換時などのブラウン管取り扱い上の安全性が増すことになる。

これら三つの形について比較すると(1)のガラスは前面ガラスと同程度の重量を有し、19形のもので約2kgもある。(2)の場合においてもバルブ重量が通常のものよりも重くなることは免れない。

しかるに(3)の形では19形用のものでも0.9mmという薄いシートを使用するため約200gという比較にならない重量である。しかし(1)(2)と異なり画像面に傷がつきやすい欠点がある。

全長の点においては(1)と比べて(2)(3)は約10~20mm小さくなりとくに(3)は材料費および製作費において(1)(2)より安価に製造しうる利点がある。

3. ラミネートシート

プラスチックをブラウン管に張り付け、耐爆性を与えるためには次のような条件を満たす必要がある。

- (1) ガラスとの接着力が大であること。
- (2) 接着されたフィルムは強じんであり、しかも衝撃力を吸収する弾性があり、また吸湿性が少く、吸湿による接着力などの性能が低下しないこと。
- (3) 耐候性がすぐれており紫外線などにより変色発泡がなく強度が劣化しないこと。
- (4) 可塑剤を含有するときはその蒸気圧が低くその揮散による周辺のはく離やぜい化の起こらないこと。
- (5) 透明性の良いこと。

このほか、使用温度範囲についても厳冬の屋外公衆用テレビジョンのような温度環境から相当暑熱な温度環境まで、すなわち-20°Cから+50°C程度の温度変化における強度、接着力、弾性などの性能変化が少ないことが要求される。

これらの条件を満たすプラスチックには、まずポリビニルブチラルがあげられる。

この樹脂は強じんできとう性を有し低温における衝撃度にすぐれとくにガラスとは極性基相互の間に水素結合を作るといわれ、その接着力は非常に強い。この樹脂はブチラル化の割合によりその性質が変化するが、ブチラル基60~70mole%、アセチル基0.5~1.0%、残量がP.V.A基という組成においては、機械強度にすぐれ、ガラスに対する接着力も優秀である。この樹脂にセパチン酸デシルエステルまたはトリエチレンブチレート2エチルブチレートなどの可塑

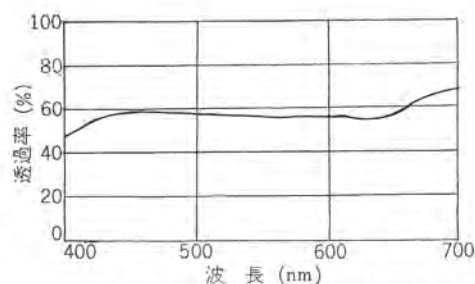


図 3.1 ラミネートシートの分光透過率
Fig. 3.1 Spectro transmission factor of laminate sheet.



図 3.2 ラミネートシート (サイズは12形用)
Fig. 3.2 Laminate sheet (for use in type 12).

剤を添加したものは引張り強度250~300kg/cm²、伸び率200~300%を示し、現在広く自動車、航空機などの安全ガラス中間膜として用いられ、優秀な透明性、耐候性、衝撃の吸収性、および広範囲の温度(-40~+50°C)でその性能に大きな変化を伴わないことが認められている。

このほかにも接着剤を用いることによってマイラやメタクリル、ABSなどの樹脂が使用できるがシートの耐候性、温度範囲および成型性などに問題がありまだ実用に供されていない。

ポリビニルブチラルを用いてブラウン管にラミネートする場合の難点は残留P.V.A基による吸湿性と表面に傷がつきやすく、また汚れが付着すると落ちにくい欠点である。この他アルコール、ケトン、エステル、芳香族炭化水素などの有機溶剤に侵されるためこの樹脂のみでラミネートすることは実際上不可能である。

このためブチラルを表面に出さず最外側を耐候性が良く適度な硬度を持ち機械強度の強い樹脂でおおってやる方法が考えられた。

この方法は1962年米国特許としてモンサントケミカル社に取得されておりブチラルの外面をセルローズアセテートブチレートによっておおっている。セルローズアセテートブチレートはわが国で製造されていないが、耐候性の良い点が特長であるセルローズアセテート系の樹脂の中でもとくにすぐれており、また強じん可塑性に富み成型が容易で寸法安定性が良好であるから表面材料に適した樹脂といえる。

現在このラミネートシートはテレビジョン用として米国ローランド社によって押出法によりラミネートして製造されており次項で述べる試作はこのシートを用いて行なった。

フィルムの厚さはポリビニルブチラルが0.38mm、セルローズアセテートブチレート0.51mmでシートの全厚は0.89mmである。このシートは画像のコントラスト比を上げる目的で図3.1の分光透過率を有するいわゆるスモークカラーに着色されており図3.2に見られるような外観を呈する。

4. ラミネートの方法

テレビジョン用ブラウン管にシートをラミネートする際に問題となる

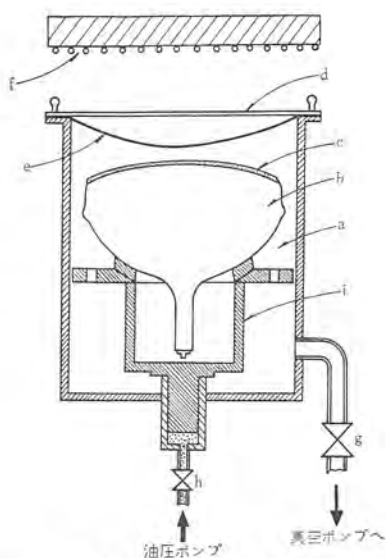


図 4.1 ラミネート 機略図
Fig. 4.1 Laminate type sectional view.

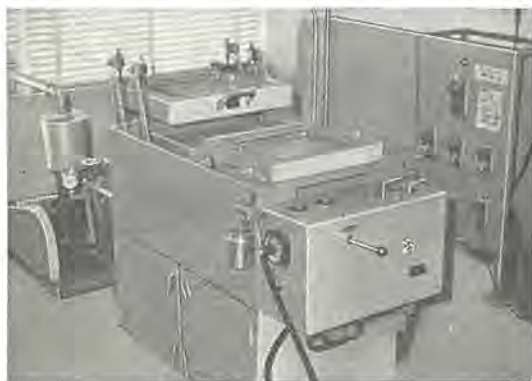


図 4.2 試作したラミネート機
Fig. 4.2 Laminated set made for trial.

のは、ほこりなどの異物の混入と気泡の残留である、

異物の混入に対しては作業を可能な限り清浄な環境で行なう必要があり、また プチアルの吸湿性のため恒温恒湿の部屋が望ましい、

気泡の残留に対しては前述の自動車などに使用される安全 ガス の場合は 10~15 気圧、120~130°C の温度の オートクレーブに入れられるためほとんど完全に脱泡するが ブラウン 管の場合はこのような条件で張り付けることは ブラウン 管の耐圧上不可能である、

このために図 4.1 に示されるような真空成型技術を応用する、すなわち a. の真空室内に ブラウン 管 b を入れ、画像面に可塑剤 c を塗布する、ついで d の締付 ヲク に ラミネートシート e をはさみ、f の ヒータ を用いて成型温度に加熱したあと g の弁を開いて内部を減圧にすると加熱された シート は内部に向かって垂れ、ついには ブラウン 管の中央部で接触し、さらに減圧にすることにより接触面積は広がり h の弁を開いて昇降台 i を上昇させることによって接触は パネルサイド まで及ぶ、このように ラミネート を完了したのち ヒータ を切り、真空室内に空気を流入させ余分のシートを切断し、倍率 10 倍の ルーペ で異物気泡などの有無を調べ欠点のないものは シート 端部を粘着 テーパ で巻いて仕上げる、

この作業での可塑剤の役割は プチアル に可塑性を与えるために用いるのではなくて微小な気泡を残さないために必要なものであり、かつ プチアル に完全に吸収される必要があるために用いる、試作においては米国 U. C. C. 社の 3GH を用いたが プチアル に吸収されるものであれば他のものでも良い、

試作したこの ラミネート 機は図 4.2 の写真に見られるように主として 12 形以下の小形管に使用できるように設計されている、

ある程度の量産可能なようにシートの クランプ は約 1 秒で完了するようになっていてまた広範囲の実験のために ヒータ の温度は相当な幅で切り換えができる、このほか昇降台の上昇速度、上昇位置、下降位置とか減圧速度なども自由に調節できる、

この機械を用いて種々の条件で試験した結果一本あたりの ラミネート 時間は 90~120 秒でしかも加工に必要とする人員は検査員を入れて 3~4 人で良いことがわかった、この点は材料費もさることながら総工程に 1 時間余を費やす Bonded Shield 形や Tension band 形と比べてはるかに有利だといえよう、

5. 耐爆縮試験(安全性のテスト)

耐爆縮試験の方法については従来種々論議されているが下記に述べる方法が最も広く行なわれているもので米国 U. L. 協会の検査規格に採用されている、

(1) 鋼球衝撃試験 (Ball impact test)

図 5.1 に示されるようにまず ブラウン 管の パネルサイド の中央を電子銃の方向と平行に ナスリ を用いて傷を入れる、直径 5.08 cm (2 インチ) の鋼球 (重量 535 g) を 130 cm の高さから振らせ傷を入れた部位の 5 cm 下方を衝撃する、

この方法による試験の結果を図 5.2 に示す、

(2) 高エネルギー衝撃試験 (High energy impact test)

俗に 鉛ロチン 試験と呼ばれるもので、図 5.3 はこの装置を示す、ブラウン 管の上部に直径 2.54 cm (1 インチ) のピンを置き、このピンの頭部を 4.53 kg (10 ポンド) の重量物を 150 cm の高さより落下させて衝撃する、ピンは 6~13 mm 動くが下方には落下しないようにする、

図 5.4 はこの結果を示す、

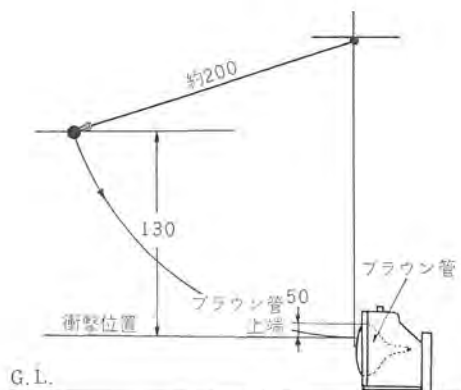


図 5.1 鋼球衝撃試験
Fig. 5.1 Impact test.

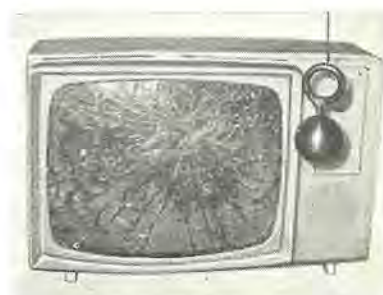


図 5.2 鋼球衝撃試験の結果
Fig. 5.2 Impact test result.

図 5.3 高エネルギー衝撃試験
Fig. 5.3 Impact test with high energy.

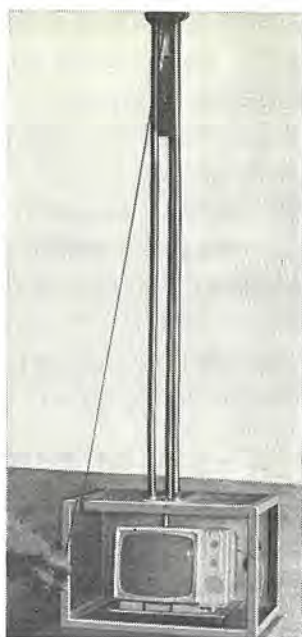


図 5.4 高エネルギー衝撃試験の結果
Fig. 5.4 Result of high energy impact test.

(3) 熱衝撃試験 (Thermal shock test)

(1)と同様にパネル上部にヤスリで傷を入れ故意にクラックを作りこの部分にバーナで溶かしたガラス棒を押しつける。数秒の内に爆縮しなかったら氷を入れた食塩水を上から注ぐ。

この方法は他に傷の上にあらかじめ水をかけておいてバーナで熱しさらに氷冷した水をかける方式もあるがテストを行なう上でバーナ加熱時に爆縮が起こった際の安全性を考えて前者により行なった。

図 5.5はこの結果を示す。

以上の実験を相当数のブラウン管で行なって見たが、すべての場合について図 5.6に見られるようにパネルは完全にラミネートシートによって保持されておりシート自身にはポリビニルブチラルの面にもセルローズアセートブチレート の面にもわずかの破れ目も認められなかった。

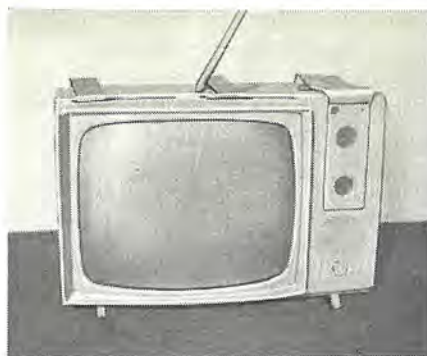


図 5.5 熱衝撃試験の結果
Fig. 5.5 Result of thermal impact test.



図 5.6 試験後のブラウン管
Fig. 5.6 Picture tube after test.

6. む す び

以上に述べたようにこの方法によるラミネートブラウン管は十分な安全性を有しており、またブラウン管にラミネートするシートが0.9 mmという薄いものであるためテレビジョンセットの薄形化軽量化および前面ガラスが不要になるためのキャビネットの簡易化の点で有利な資料を提供する。またスモークカラーによるコントラスト比の上昇および外光反射面の減少は軽量化とあいまってポータブル形のテレビジョンセットに好適であるといえる。さらに材料面および製造時のコスト安の面において将来大いに伸びる形のブラウン管と考えられる。

しかしながらシートの国産化がまだ行なわれていない現在では輸入税などの点より材料費にまだ問題があり、またガラスと比べて傷がつきやすい点やケトン、エステル系の有機溶剤でぬぐうと曇るなどが今後に残される問題である。

現在シートの国産化に着手しているが、いずれにしても近い将来にテレビジョンセットの前面ガラスが使用されない日が来るとは思われるが、その際のテレビ設計および販売などの参考になれば幸いである。

最近のオートラジオ

岡本 春樹*・吉越 英雄*

Modern Autoradios

Electronics Works

Haruki OKAMOTO・Hideo YOSHIKOSHI

It is already four years since autoradios of all transistor type were introduced to the market. Recently their kinds have made a considerable increase and their production has been raised a great deal. Worthy of special mention is that their performance and quality has made a striking advance with a very small rate of faults on them and to satisfaction of those concerned to servicing. Modern autoradios are produced partly in the type of automatic tuning as well as the manual tuning or combining portable sets in addition to a push button type. Generally speaking they have become small sized and compact. The high output type of about 6 W at the maximum is quite popular. This report deals with representative products having the latest trend in design together with technical discussion.

1. ま え が き

オールトランジスタ式のオートラジオが生産され始めてからおよそ4年がたつが、この間、自動車工業のめざましい発展とともに、ラジオの生産も急激に伸びつつある。当社でも数多くの機種を生産してきたが、最近では、性能、品質とも格段に向上し、故障率もきわめて低く、サービス関係者からも喜ばれている。

最近の傾向としては、主流の押しボタン式には、出力が1.5ないし2 Wの普及形のほかに、SEPP.OTL方式による3ないし6 Wの高級形がふえ、手動同調式およびポータブル兼用式が一部に出回っている。またモータ駆動による自動同調方式のものもリモートコントロールが可能であるため、高級車とかスポーツカーなどでは歓迎されている。また小形化の技術が進歩したため、高出力セットでも本体内に電力増幅器を全部収容し、全装置の構成部品数を減らし、取り付けの容易、原価の低減が可能となった。車種によってはスピーカは計器板に直接取り付けられ、パツフル効果が良く、大形スピーカの性能を十分に発揮できるので相当なハイファイ音が楽しめる。この他電動式アンテナも実用化されており、快適に使用することができる。最近の三菱オートラジオについて、代表的機種の紹介と主要回路の簡単な検討を述べる。

2. 機 種 の 紹 介

2.1 AR-807 形オートラジオ

この機種は押しボタンを使用しない手動同調方式のもので、軽自動車から普通乗用車までのあらゆる車種に装着できることを目標に、とくに小形に設計した。しかもスピーカを受信機内に組み込み、一体構造として、本体のみを取り付ければ良いように簡易化をはかった。受信機の外観を図2.1に示す。選局方式として押しボタンチューナは使用していないが、電気性能的には従来の押しボタン式に比べならん色のないものであり、使用トランジスタ数は6石であるが、電力増幅段には大出力トランジスタを使用しているため、スピーカを内蔵したこのクラスのセット中では、最高の出



図 2.1 AR-807 形オートラジオ
Fig. 2.1 Type AR-807 autoradio.

表 2.1 仕 様 一 覧 表

形 名	AR-807	AR-580	AR-740	AR-550 C	AR-590	AR-230	AR-760	AR-920
形 式	手 動 式	押しボタン式	押しボタン式	押しボタン式	押しボタン式	押しボタン式	押しボタン式	自動同調式
用 途	小 形 車 用	小 形 車 用	三菱コルツ 1000 純正用	三菱コルツ 600 純正用	日野コンテッサ 純正用	標 準 形	ブリッス グロリア純正用	標 準 形
電 源	11~15 V	11~15 V	11~15 V	11~15 V	11~15 V	11~15 V	11~15 V	11~15 V
電 圧	1.0 W	1.8 W	1.8 W	1.5 W	1.5 W	1.8 W	2.5 W	2.5 W
電 流	12×8 cm	15×10 cm	16 丸	15×10 cm	15×10 cm	12 丸	18×12 丸	16 丸
消 費	5 W	6 W	6 W	6 W	6 W	6 W	最大出力3.5W時 7.5 W	最大出力3.5W時 7.5 W
電 波	530~1,605 kc	同	同	同	同	同	同	同
力 数	6	6	6	6	6	6	8	10
受 信	6	6	6	6	7	6	1	2
右 側	1	1	2	1	1	1	1	1
イ ン								
テ ナ								
機 高	160 mm	160 mm	160 mm	160 mm	160 mm	160 mm	206 mm	160 mm
深	50 mm	48 mm	52 mm	50 mm	50 mm	50 mm	52 mm	50 mm
幅	125 mm	125 mm	162 mm	130 mm	160 mm	125 mm	156 mm	160 mm
ス	—	165 mm	170 mm	160 mm	160 mm	150 mm	200 mm	170 mm
ピー	—	60 mm	170 mm	120 mm	120 mm	69 mm	70.6 mm	88 mm
カ	—	130 mm	100 mm	112 mm	112 mm	130 mm	126 mm	170 mm
部								
換								
性	底面で差込式	側面で差込式	⊖アース専用	⊖アース専用	⊖アース専用	⊕アース専用	⊖アース専用	底面で差込式

力を有する。この出力をフルに活用できるように外部スピーカも付けられるよう考慮してある。

2.2 AR-580 形オートラジオ

この機種は押しボタン式であるが、超小形チューナを採用したため、このクラスでは最小の寸法で、ほとんどいずれの車にも取付可能である。また機構上の特色としては、

(1) 受信機には出力トランスまでの全部品を内蔵し、外部からは単にスピーカを接続すれば良い構造になっている。

(2) 新たに採用した超小形押しボタンチューナは、従来のものに比べ奥行き寸法は 20 mm 短い、機械的精度が高くそん色がない。

電気的には

(1) 電池電圧は 12 V であるが、電池極性の+-の接地の切換えは、受信機の外側で簡単にできる。

(2) 小形ではあるが、使用トランジスタは標準機種と同じため出力、感度ともに同等の性能を持っている。

(3) 電源のラインに入る雑音防止用フィルタには、新たに設計した部品を使用し、安価でしかも雑音除去特性が良い。

(4) 受信機自身および周囲の温度上昇による感度低下を防止するため、同調周波数 Δf は使用温度範囲 ($-5 \sim 55^{\circ}\text{C}$) 内で、 $\pm 3 \text{ kc}$ 以下に押えた。これは押しボタン式オートラジオでは重要な問題である。(図 2.2)

2.3 AR-760 形オートラジオ

この機種は、プリンス自動車工業株式会社製 プリンスグロリア純正用としてとくに設計製作した高級形押しボタン式である。構造的にはこの車専用のものである。受信機の外観を図 2.3 に示す。構造上の特長としては、ノースタイプで車のインストルメントパネルにあって穴にそう入る形式で、全面的にクロームメッキのダイカスト製品を使用して、メタリックな感じを強調している。電気的な特長としては OTL プッシュプル回路を採用し、最大出力 4 W を有する。パイロットランプの明るさはセッ外部から他の計器類と共通で変化できる。セッに接続される電線類はすべて、厳重な雑音防止の措置がとられている。

スピーカは $18 \times 12 \text{ (cm)}$ の大口径円形を用い、これが計器板の上面に付くため、パツフル効果大でしかも窓ガラスに反射して、良好な音響特性になる。



図 2.2 AR-580 形 オートラジオ
Fig. 2.2 Type AR-580 autoradio.



図 2.3 AR-760 形 オートラジオ
Fig. 2.3 Type AR-760 autoradio.

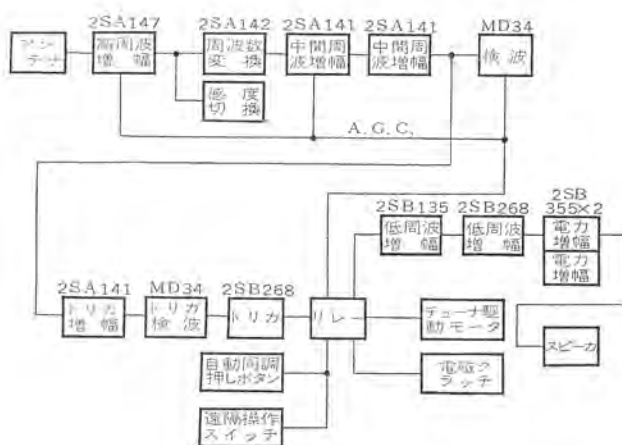


図 2.4 AR-920 形ブロック線図
Fig. 2.4 Block diagram of type AR-920.

2.4 AR-920 形オートラジオ

この機種はモータ駆動による自動同調装置付オートラジオである。スピーカを除いたすべての部品を受信機に内蔵しているが、外形寸法は極力小形に設計されており、従来の押しボタン式セッとほとんど同一である。この特色および操作方式について以下に簡単に述べる。

(1) 電気的特色

この機種の回路方式は高周波増幅付スーパーヘテロダイン方式で、トランジスタ 10 石を使用しており、最大の特長は自動同調装置を有することである。図 2.4 に示したブロックダイアグラムのうちアンテナから検波段に至るまでの回路構成は、高周波増幅段のコレクタ側に感度切換回路が入るほかは AGC 回路も含めて、従来の標準機種とほぼ同一である。トリガ信号はアンテナからの入力信号に応じてリレーを動作させるための信号で、自動同調機構を動作させる基準になるものである。この信号は検波ダイオードの直前の IFT の一次側から取り出している。トリガ増幅回路には 3 個の IFT を使い、非常に高い選択性を持たせトリガ検波回路に送っている。トリガ信号はラジオの中間周波数と正確に一致させておかないと、アンテナからの入力信号と多小ずれた位置で停止するので調整は十分注意しなければならない。

トリガ検波回路にはゲルマニウムダイオード MD34 を使い、この検波出力によって次段のトリガ回路のバイアスを制御し、モータおよびクラッチ電源用リレーの制御を行なわせている。選局操作をする場合は、セッ前面の自動同調用シーソースイッチを押すと、リレーは動作状態になり、同時にチューナ駆動モータも動作する。トリガを動作させるに必要な十分の大きさの電波が受信されるとトリガが動作し、リレーが開放されモータおよびクラッチが停止し、選局動作を完了する。選局動作中は、セッの低周波出力は動作停止させ雑音が出ないようにされている。

(2) 構造的特色

モータの回転方向は前面のシーソースイッチにより左方向、右方向とも任意に選べるため、選局がきわめて簡単である。この機構は全部機械的に行なっており、動作は確実かつ安価である。またシーソースイッチに埋め込んだ DX-LOCAL の感度切換用スイッチにより (実用新案申請中)、電界の強弱により停止局数を選べる。そのほか受信機の底面にはリモートスイッチ差込用のジャックがあり、リモートスイッチにより後部の座席からでも選局ができる。チューナについては、耐久試験を十分に実施しその結果、故障の多い接点部分の構造をダストブルーフとしその他細部の構造を改良した。



図 2.5 AR-920D 形 オートラジオ
Fig. 2.5 Type AR-920D autoradio.

2.5 AR-920D 形オートラジオ

リヤシートに選局用およびリアスピーカ用ポリウムのリモートコントロールユニットを設けた2スピーカ方式のデラックス形で、前後のスピーカの音量を反転するリバーススイッチも、セット前面のシーソースイッチ内に埋め込んであり、大形高級車用としてきわめて便利に使用できる。(実用新案申請中)(図 2.5)

2.6 その他

以上に述べた代表的な標準機種のほか、以下に簡単に紹介する機種も現在生産中である。

(1) AR-590 形……日野自動車工業製 コンテッサ 用純正ラジオで高感度、高選択度の中出力用高級ラジオできわめて安定した性能を示している。

(2) AR-740 形……これは新三菱重工業株式会社製 コルト 1,000 デラックス 純正用で、AR-700 形と同一性能のものである。使用トランジスタは6石、出力は最大2.5Wでスピーカは18cm丸形を使用している。

(3) AR-550C 形……これも新三菱重工業株式会社製 コルト デラックス 純正用である。安定した性能で好評だった AR-550 形のスピーカを15cm×10cm楕円形に変更したもので、使用トランジスタは6石である。

3. 回路および特性

3.1 入力回路

オートラジオのアンテナは、伸縮可能なホイップアンテナが最も普通に用いられる。この等価回路は図 3.1 に示されるが、有効なフック(幅)射部の容量 C_1 および実効高 h_{eff} は次式で示される。

$$C_1 = 2.42 \times 10^{-11} \times \frac{h}{\log \left(\frac{2h}{d} \sqrt{\frac{2H+h/2}{2H+3h/2}} \right)} \quad (F)$$

$$h_{eff} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sin^2(\pi h/\lambda)}{\sin(2\pi h/\lambda)} \quad (m)$$

ただし、 h はホイップの垂直の長さ、 H は地上高、 d は直径で $\lambda \gg h$ である。図 3.1 の場合電界強度 $\varepsilon(\mu V/m)$ と S/N 比との関係は次式で示される。

$$\varepsilon = \frac{S}{N} \cdot \frac{\sqrt{4kT\Delta f Q_L \times C_T}}{h_{eff} Q_L \frac{C_1}{C_T} m}$$

ただし、 $Q_L = W_0 R_0 C_T$ 。

$$C_T = C_1 + C_2$$

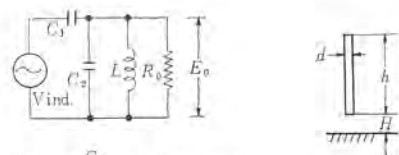
k = Boltzman's const.

T = 絶対温度 °K

m = 変調度

1m 程度のアンテナの場合、 C_1 は約 10 PF、 h_{eff} は約 0.5 m となり、また普通のアンテナでは C_T は約 90 PF であるから、 $T = 300^\circ K$ 、 $M = 0.3$ 、 $Q_L = 80$ 、 $\Delta f = 6 \text{ kc}$ とし、 S/N 比 10 (20 dB) とすると $f = 1,600 \text{ kc}$ で ε は約 $22 \mu V/m$ となり、実際とはほぼ一致

最近の オートラジオ・岡本・吉越



$$E_a = \frac{C_1}{C_2 + C_1} \cdot Q \cdot h_{eff} \cdot \varepsilon$$

図 3.1 アンテナと入力回路
Fig. 3.1 Antenna and input circuit.

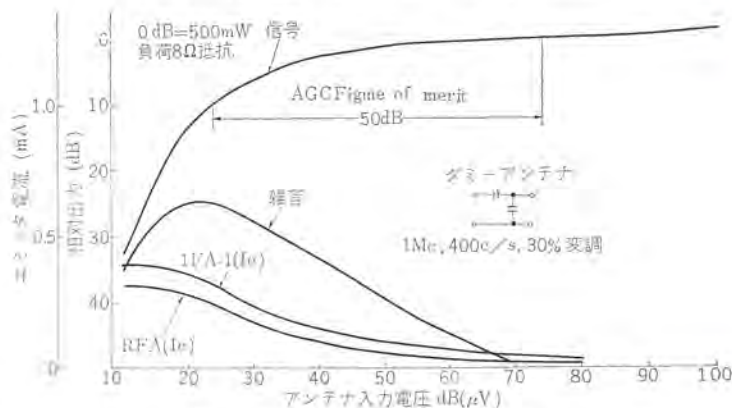


図 3.2 AGC 特性の一例 (AR-580 形)
Fig. 3.2 Example of AGC characteristic.

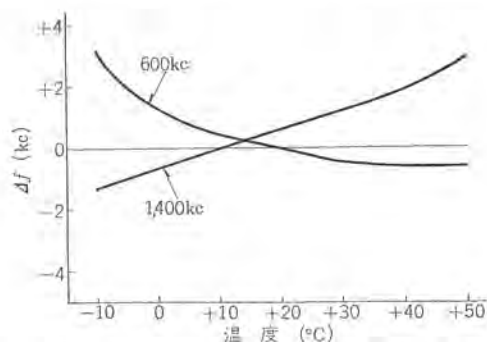


図 3.3 局発周波数温度特性 (AR-760 形)
Fig. 3.3 Localized oscillation frequency temperature characteristic.

する。図 3.1 の一次二次のインピーダンス整合方式は、M 結合であるが同様に π 形および C 分割による容量結合も考えられる。ただし、それぞれの方式によって多少の特長がある。すなわち、 π 形回路は低域ロ波器を形成するので、中間周波妨害とか、送電線などによる誘導障害に対しては比較的抵抗力がない。しかし、一方誘導結合方式は映像周波妨害のような高い周波数成分に対しては阻止する力が弱く、容量分割方式はそれぞれの中間的な性質を示す。したがってアンテナ入力回路に誘導結合を使用した時は、高周波増幅器の出力側は π 形回路を使用するのが良い。

3.2 中間周波増幅と AGC

オートラジオは感度が良いので、良好な選択度特性をもたないと混信障害が大となる。普及形でも中間周波トランスは複同調形を一組と単同調形2個を用いる。高級形では、複同調形と単同調形をそれぞれ2組用いている。この場合、AGC 電源を検波器からとると、手動同調操作がシャワーになるので、検波用の1段前のトランスから、AGC 用ダイオードによって電力をとり出す方式を採用している。この方式は DAVC をかけるのにも好都合である。(図 3.2)

3.3 その他

トランジスタ化された最近のオートラジオでは、出力増幅器に A 級

を用いる ヒット でもせいぜい入力は 5 W ぐらいでさほど大きくない。しかし、車内の取付位置によっては、冬季、周囲温度が低い時でも、ヒータにより相当の高温になる場合がある。このため、受信周波数の温度による変化を少なくする考慮が必要である。中間周波 トランス の温度特性をも含めて、局部発振周波数の温度特性を特殊 チタコン などにより補償している。同調器の フェライトコア の特性は正の温度特性を持つので、1 Mc ではほぼ完全に補償しえても、低い周波数では負、高い周波数では正のズレが多少生じるが、 -10°C から $+50^{\circ}\text{C}$ の範囲で $\pm 3\text{ kc}$ に納まるよう設計されている。(図 3. 3)

4. FM オートラジオ

欧米では非常に普及している FM (周波数変調) 放送は、従来の AM (振幅変調) 放送と異なり、低音から高音まで、音域が広く、ヒズミや雑音も少なく非常に良好な放送波の再生ができる。また、衝撃性の雑音に対しても AM より抵抗があり、外來雑音が多く、しかも、かなりの大出力を出せる オートラジオ ではその特長を十分に発揮できる。しかし一方、搬送波は超短波を使っている

ので、見通し外の伝パツが困難で、中波よりも建造物や地形などの障害の影響を受けやすい欠点がある。これらを補なうためには、家庭用の FM ラジオ 以上の高い感度と、良好なリミター 特性が要求される。日本では、FM ステレオ 放送の技術規程の問題のために、実施が遅れているが、近く普及することは明らかであり当社もこれに備えて種々試作、試験を重ねている。

FM オートラジオ 設計上の問題点は、チューナ、局発の安定化、不要フツ射、感度、リミター および アンテナ など数多いので、別の機会に改めて述べたい。

5. む す び

以上簡単であるが、当社の最近の オートラジオ について、その概要を述べた。全トランジスタ化された オートラジオ も AM 方式については、技術的に一応完成された感があるが、市場の要求を満足するにはなお幾多の検討すべきことがある。今後は FM 付の機種もふえ、さらにたゆまざる努力を重ねて行きたい。末尾ながら、関係者各位のいっそうのご協力とごべんたつをお願いする次第である。

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 考 案 者	関係場所
三相全波半導体整流装置	38-10-14	585658	大 中 臣 輔	伊 丹
計器継電器用回転子	38-10-31	585916	栗 山 聖	神 戸
交流電気車	38-10-31	585917	木 村 久 男	本 社
ミシンの布送り調節装置	38-10-31	585999	三津沢武夫・土橋秀一	和 歌 山
防爆形容器	38-10-31	725795	山 県 満	岡 山
扉締付装置	38-10-31	725796	境 正 昭	長 崎
テレビジョン 受像機の表示装置	38-10-31	725797	杉 田 重 雄・糸賀正己	無 線 機
電気機器の水平引出装置	38-10-31	725798	有 田 晋 策	岡 山
信号灯装置	38-10-31	725799	立 石 俊 夫	神 戸
磁石発電機	38-10-31	725800	市 川 和	姫 路
模擬母線取付装置	38-10-31	725802	立 石 俊 夫	神 戸
配電盤端子台取付用 プレート	38-10-31	725803	久 保 博 和	神 戸
回転形放射線照射装置	38-10-31	725804	前 田 祐 雄・菰 原 智 津 田 栄 一	中央研究所
内燃機関点火装置	38-10-31	725805	三 木 隆 雄	姫 路
照光模擬母線	38-10-31	725808	立 石 俊 夫	神 戸
配電盤用表示装置	38-10-31	725809	安 見 章 造・坂 恵 節 典	神 戸
ガスクロマトグラフ 用成分 ガス 捕集装置	38-10-31	725949	森 川 允 弘	中央研究所
ミシンの送り軸給油装置	38-10-31	726128	森 田 稔	歌 和 山
回転式多接触継電器	38-10-31	726145	立 石 俊 夫	神 戸
電気機器	38-10-31	726155	米 村 貢・田 仲 勝	岡 山
つまみ装置	38-10-13	726157	尾形陸奥雄	無 線 機
配線用 リングマフ	38-10-31	726158	山 本 完 一	神 戸
扇風機用 ゴム 翼車	38-10-31	725801	新 倉 宗 寿	中 津 川
扇風機支柱上下装置	38-10-31	725806	市 岡 洋	中 津 川
冷蔵庫 トビラ 内板の棚 ガード	38-10-31	725810	海 野 賢・木 下 忠 男	静 岡
石油 ストーブ	38-10-31	725811	奥 田 文 一・福 田 稔	群 馬
継電器の作動検出装置	38-11- 5	726390	水 田 和 幸	姫 路
電気煮炊具の自動加熱装置	38-11- 5	726292	広 田 博	群 馬
電気釜の加熱装置	38-11- 5	726293	奥 田 文 一・野 畑 昭 夫	群 馬
真空掃除機	38-11- 5	726294	武 井 久 夫・鶴 田 剛 司	群 馬

6UH-205 形 高 圧 気 中 電 磁 接 触 器

福 元 輝 男*

Type 6UH-205 High Voltage Air-Break Electromagnetic Contactors

Nagasaki Works Teruo FUKUMOTO

The distribution power system is now changing to 6 kV service. For use at this voltage, 6 kV class high voltage air-break electromagnetic contactors have been developed. They are rated at 7.2 kV 200 A capable of interrupting 50 MVA at three phase 7.2 kV by the use of specially constructed arc box. Being of a hinged type, the arc box is easy to turn over, with consequent simple maintenance and inspection. Providing of interlocking device to the magnet obviates the fear of bouncing back and reclosing the contacting elements during the interrupting operation. With rollers attached to the bottom of the main assembly, it is easy to draw out and convenient to mount on a switchboard. This device is widely applied to a 6 kV class motor or transformer as a primary switch, being particularly fitting to starting and stopping of a high voltage motor.

1. ま え が き

近年、各種産業の大規模化に従い、配電系統電力の増大をきたし、従来の 3 kV 配電電圧を 6 kV に昇圧する計画が進められている。たとえば、都市の新築ビルなどでは 6 kV 配電が採用され、その冷凍電動機などには 6 kV 級誘導電動機が用いられるようになってきた。一般工場内動力については、いまだその傾向は顕著でないが、じょじょに 6 kV 級電動機および変圧器の需要は増加しつつある現状である。このすう勢を考慮して、三菱電機では 6

kV 級電磁接触器を開発した。これは、さきに開発して需要家各位よりご好評をいただいている 3 kV 級高圧電磁接触器 H205 形、H405 形電磁接触器の特長を多く取り入れており、必ず需要家各位の満足を得るものと確信している。以下この新形の構造と特長、各種性能試験結果を述べてご参考にご供したい。

2. 定 格 と 特 性

定格および特性表は表 2.1 に示すとおりである。表にかかげる数値は、各種性能試験を施行して得た数値である。また性能試験は現在日本電機工業会で検討中の高圧電磁接触器の規格を主とし、JEM-1097 (交流配電箱)、JEC-145 (交流シ断器)、JEM-1038 (交流電磁接触器)、NEMA standards for industrial control part 24 を参考にした。

図 2.1 はこの電磁接触器の外観を示す。図 2.2、2.3 はそれぞれ外形寸法図、結線図を示す。

表 2.1 7.2 kV 200 A 高圧電磁接触器の定格特性表

定 格 電 圧	7.2 kV (3 φ, 50/60 c/s)
定 格 電 流	200 A
シ ャ 断 容 量	50 MVA
開 閉 容 量	A 級 (定格電流の 10 倍)
開 閉 ひ ん ば ん 度	3 号 (300 回/h)
電 気 的 寿 命	2 種 25 万回以上
機 械 的 寿 命	2 種 250 万回以上

図 2.1 前面から見た 6UH-205 形高圧電磁接触器
Fig. 2.1 Type 6UH-205 high voltage magnetic contactor viewed from the front.

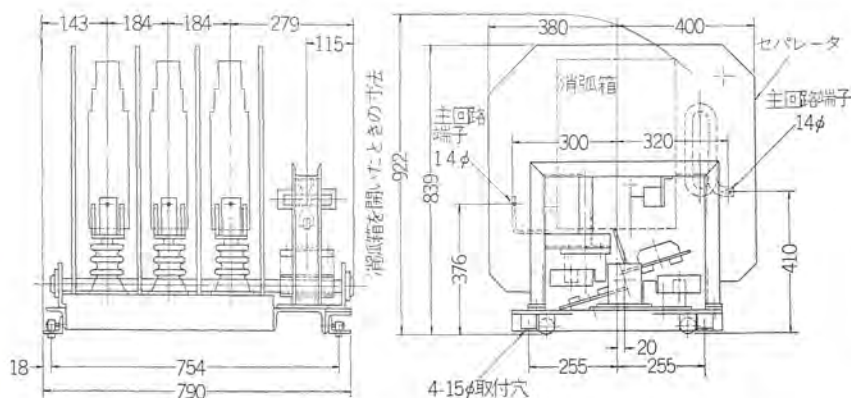


図 2.2 6UH-205 形高圧電磁接触器外形図
Fig. 2.2 Outline of type 6UH-205 high voltage magnetic contactor.

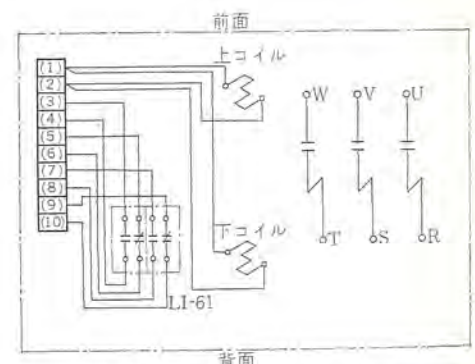


図 2.3 6UH 形高圧電磁接触器接続図
Fig. 2.3 Connection diagram of type 6UH high voltage magnetic contactor.

3. 構造

図3.1は消弧箱を90°倒した高圧電磁接触器の外観を示す。同一ベース上に、各相ごとに一對の6kV用支持ガイシ(JEM規格品)を設け、そのうえに可動側、固定側端子その他の導電部分を支持している。回転軸は両端を玉軸受で支持されており、回転動作は円滑に行なわれ、シーソー形の平衡した2個の電磁石によって投入し、接触パネおよび接触圧力に無関係なもどしパネによって接触子は開放される。回転軸上に耐アーク性、電気絶縁性の良いポリエステル成形品の可動接触子ささえを各相ごとに取り付け、そのうえに可動接触片を組み込んでいる。このように各相ごとにそれぞれ独立した構造となっているため、保守点検が簡単に部品の取り換えも容易であり、絶縁性も高くなっている。

電磁石は1極形を採用しており、固定および可動鉄心を完全に密着させるために、従来は電磁石組み立て時にすりあわせ作業を行っていたが、使用中の接触面の摩耗の不均一や回転軸のネジレなどの原因によるウナリ発生を防止できにくかった。この欠点を除くために、新しい電磁石は、可動鉄心と可動鉄心ささえとの間に、縦横2枚の板パネを入れて前後左右に回転しうるとき構造にしている。

電磁接触器が、開位置にある場合に、接触子間隔を適当に保持し、また大電流シャ断時の電磁力のために、接触子がはね返り再投入される危険性を防ぐための鎖錠機構を備えている。これは電磁器を励磁した場合の漏れ磁束を利用して、鎖錠をはずすもので、励磁しないとはずれない。本器を盤内に組み込む時などその動作を円滑にするために、ローを取り付け押込できるようにしている。

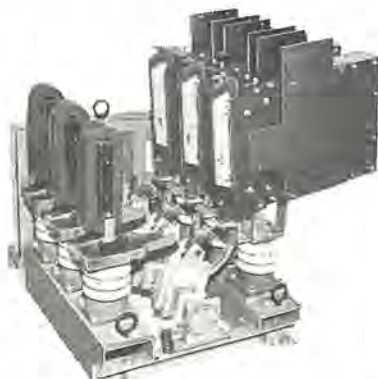


図3.1 消弧箱を倒して接触部を露出した
6UH-205 形高圧電磁接触器

Fig. 3.1 Type 6UH-205 high voltage magnetic contactor
with contacts exposed by removing the arc box.

4. 接 触 子

従来の電磁接触器は、主接触子のほかにアーク接触子を設けたいわゆる二段切り機構を採用していたが、本器ではアーク接触子を廃して主接触子のみとし、これにアーク接触子の役目をも兼ねさせるいわゆる一段切り構造とした。接触子の材質は、その価額、電気的寿命を考慮して、冷間引拔硬銅にAg-Wをはり合わせて使用している。接触子と接触子ささえは、それぞれはめ合わせて固定されており、ボルトのユルミによるスperi回転を防止している。接触子の点検には、消弧箱をつりあげる必要はなく、可動側端子上に設けられたヒンジを支点として、可動側を軽く90°倒すことができ、接触子部分が露出するので、点検取換が容易である。消

弧箱を起こせば、消弧箱内のアークホーンは自動的にアークスイッチと呼ばれる刃形開閉器にそう入されて、可動側および固定側端子と接続される。補助接触子は交流定格600V 10Aで、常時開接点(a接点)2個、常時閉接点(b接点)2個、計4個を備えており、接点材質は銀を使用している。

5. 消 弧 機 構

消弧機構については、当社で長年の経験があり、試験の結果その効果がすばらしく良いことが実証されているV形ミゾ消弧板を使用している。吹消コイルは主回路通電中も電流が流れる直列消弧方式である。すなわち、電磁石の励磁電流が断たれると、もどしパネおよび接触パネによって接触子が開き、その間に発生したアークは、アーク熱によって生ずる上昇気流と、常時通電している直列吹消コイルの作る磁界によって生ずる電磁力により上昇し、アークホーンに移動し消弧板のV形ミゾの中に押し込まれる。V形ミゾ消弧板は交互に積み重ねられているので、アーク長は長くなり、消弧板の冷却効果と細ガキによる圧力効果により消弧される。

6. 試 験 結 果

2章で述べたようにJEM案を主体とし、JEC, NEMAを参考として性能試験を行なったのでこの試験のおもなる項目について述べる。

6.1 動作試験

動作試験の結果は最低動作電圧は79~82%、釈放電圧は45~50%であった。最低動作電圧は、操作回路電圧が低下したときでも確実に動作しうる電圧の最低電圧値で、規格では定格電圧の85%以下と規定されている。この電圧をあまり低くすると、定格電圧時の電磁石閉路時の衝撃が大きくなり、その機械的寿命が短縮されるので好ましくない。釈放電圧は、操作回路電圧をじょじょに下げて開路するときの電圧である。

6.2 温度試験

操作コイルの印加電圧は、JEM案(高圧電磁接触器)には定格電圧、JEM-1097(交流配電箱)には定格電圧の110%を加えるところがあるので、交流配電箱としての使用を考え、今回は主回路は定格電流、操作コイルには定格電圧の110%を加えて試験した。試験結果はJEM-1029の規定値に対し十分余裕があった。

(注) JEM-1097も最近の改訂案では操作コイルには定格電圧を加えると変っている。

6.3 絶縁耐力試験

主回路の各相間、各導電部と接地金属間および接触を開いた状態での各極間のそれぞれの絶縁耐力は、JEM-1021の規定に合格する。すなわち交流19kVを1分間加えてもまったく異常がない。また主回路の各相間、および各導電部と接地間にJEC規格による(1×40)μs全波衝撃電圧60kV正負1回を印加して異常はまったく認められなかった。

6.4 シャ断容量試験

シャ断器の場合と同様に最も重要な性能試験の一つである。単相シャ断試験(試験電圧7.2kV×√3/2=6.25kV)と三相シャ断試験(試験電圧7.2kV)を行なったが、表6.1に試験結果の一部を記載した。標準動作責務はJEC-145(交流シャ断器)によるCO-15秒-COである。本器は表でもわかるごとく各相電流に不平衡が認められるがこれは試験設備の関係である。数値からみても、最初の目標であるシャ断容量50MVAをはるかに越えるものと

表6.1 三相シヤ断試験成績表 4.4 kA

電 圧(V)	全電流(A)	交流分(A)	直流分(A)	電 弧 時 間 (c/s)	全 シ ャ 断 時 間 (c/s)
7,200	6,030	6,000	580	1.5	3.3
	4,141	4,140	105	1.5	3.1
	4,521	4,520	100	1.5	3.3
7,200	6,050	6,000	750	2	3.3
	4,148	4,140	270	1	2.7
	4,528	4,520	270	1.5	3.3

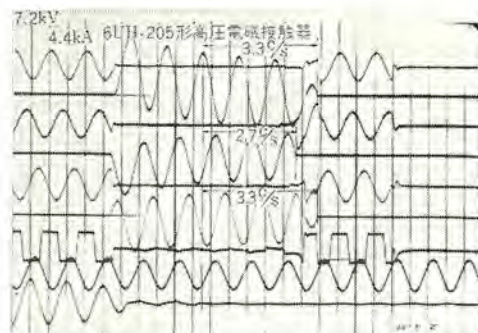


図6.1 三相 4.4 kA シヤ断試験 オシログラム
Fig. 6.1 Oscillograms of interrupting tests on three phase 4.4 kA.

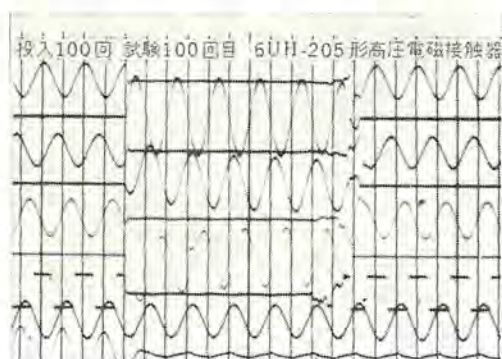


図6.2 4,000 A 投入試験 オシログラム
Fig. 6.2 Oscillograms of closing tests on 4,000A.

思われ、もっか 75, 100 MVA の シヤ断試験を続行中である。
図6.1に代表的 オシログラム を示す。

6.5 閉路電流量試験

電動機起動時の突入電流で、接触子のおどりによる接触子の溶着の有無を確認するために行なわれるもので、可動接触子の許しうる消耗値の 3/4 の厚ミを削り接触圧力を減じて、定格電流の 10 倍を 2 秒間隔で 100 回投入して支障ないことを確かめるものであるが、本器では 7.2 kV 3φ 4,000 A で投入を繰り返して支障がなかった。このことは投入時の電磁力による接触子のおどりが非常に少ないことを意味している。図6.2はその一例を示す。

6.6 開閉容量試験

この試験は接触器がとくにひんぱんな電動機回路の開閉に使用されることを考慮して規定されたもので、定格電流の10倍 (2,000 A) を CO-30 秒-CO-30 秒-CO-30 秒-CO-30 秒-CO の動作責務で開閉し異常ないことが確認された。これは高圧交流電磁接触器 JEM 案および JEM-1097 改訂案 (交流配電箱) の A 級に相当する。

6.7 電氣的寿命試験

等価回路試験設備の関係でもっか試験計画中であるが、同系の、定格 3.6 kV 200 A, H-205 形高圧電磁接触器、定格 3.6 kV 400 A, H-405 形高圧電磁接触器の寿命試験の結果は、開閉ヒン度300回/h で 50 万回を大きく上回っている。これによっても本器の場合目標値 300 回/h 25 万回は確実に保証できると考えている。

7. む す び

今回新たに開発した高圧電磁接触器は幾多の特長をもっているが、まとめれば次のとおりである。

- (1) 構造が小形でがんじょうである。
- (2) 特殊な消弧機構をもっているので、シヤ断容量が大きい。
- (3) 各相がそれぞれ独立しているので、調整が簡単である。
- (4) 消弧箱は ヒンジ 取付けであり、かつ アークスイッチ さし込式の接続になっているので、消弧箱を簡単に倒すことができ保守点検、接点の取り換えが容易である。
- (5) 電磁石に鎖錠機構を備えているので、シヤ断時の再投入の危険性がまったくない。

終わりに シヤ断試験の際種々ご指導ご協力をいただいた当社伊丹製作所の方々に深く感謝の意を表する次第である。

HB形電磁ブレーキ

高野良二*・西野 広*

Type HB Electromagnetic Brakes

Nagoya Works Ryōji TAKANO・Hiroshi NISHINO

To improve the operation efficiency of machines as a means to help promote production, electromagnetic brakes are increasingly coming into demand in combination with electromagnetic clutches. Furthermore high brake performance is called for with them. Type HB electromagnetic brakes are the one built for the purpose. In contrast with the conventional brakes of types AB, AD and DD which are to be coupled to a motor so as to be equipped outside the machine, the type HB is set up with gears inside the machine. The basic type is of the so called, a wet, multiple disk brake type working kept lubricated with D. C. excitation as an electromagnetic brake. This is an associated product with a type HK electromagnetic clutch previously announced. This article describes its construction, operation, performance and features.

1. ま え が き

ブレーキは一つの機械要素として機械工業始め各方面で多数使用されているが、いずれもその目的は

- (1) 機械の運動停止または運動速度のコントロール
- (2) 機械の運動開始の制止

のどちらかであるが、とくに電磁ブレーキは各種電磁クラッチと併用するなどにより機械の運転効率を高め、その需要は増加の傾向にあり、かつそのブレーキ特性は高度なものが要求されつつある。

HB形電磁ブレーキもこれらの目的を達するために製作されたものであるが、当社の従来からの製品であるAB形、AD形あるいはDD形がモートルとカップルして、あるいは機械の外部に装置するのに対し、このHB形ブレーキは機械の内部にギヤなどとともに組み込み使用するものであり、その基本的な形式は油潤滑しながら使用するいわゆる湿式多板形ブレーキで、かつ直流で励磁することによりブレーキが働く電磁制動形で、さきに発表したHK形電磁クラッチの姉妹品ともいふべき製品である。

最近このシリーズの標準化がだいたい完成したのでここにその概要を紹介する。



図 1.1 HB-10形電磁ブレーキ
Fig. 1.1 Type HB-10 magnetic brake.

2. 構造、動作

今日見られる電磁ブレーキのほとんどは摩擦式で、かつ制動部の形状はシュー、ディスクあるいはコーン形が多いがHB形電磁ブレーキも基本構造は摩擦多板形で、また従来のブレーキが一般に乾式状態で使用されるのに対し、このブレーキは油潤滑のもとに

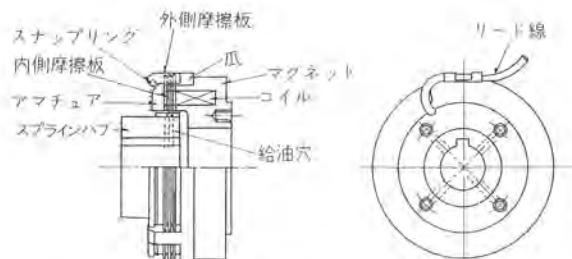


図 2.1 HB形電磁ブレーキ構造図
Fig. 2.1 Constructional diagram of type HB magnetic brake.

使用される、なおブレーキには制動方式により
電磁制動形

スプリング制動形

に分けられるが、HB形ブレーキは前者であるので安全ブレーキとはなり得ない。

(1) HB形ブレーキの詳細構造を図2.1に示すが、このように各種ブレーキの内では最も簡単な構造である。すなわち励磁コイルを内蔵したマグネット、マグネットの外周に固定され制動トルクを受けるツメ(爪)、ブレーキ軸に取り付けるインボリュートスプラインが切られたスプラインハブ、そしてこの両者に交互にかみ合って制動トルクを発生する外側、内側摩擦板が主要部である。なおスプラインハブには摩擦板に給油するための油穴が設けてある。そのほかスナップリング、リード線があるが、リード線の固定には独特の設計が施してあり、また機械への取り付けはマグネット側面に設けてあるインローと取り付け穴によりギヤケース側壁などに行なわれる。

(2) 磁気回路はマグネット、内外摩擦板、ならびにアマチュアをもって形成され、直流24Vを通電すると摩擦板間にブルを生じてマグネット側に吸引され、この部分に摩擦トルクを生じ負荷の急停止が行なわれる。励磁を断てば摩擦板の波打などにより内外摩擦板が分離し、トルクは急減し負荷側は開放される。なお摩擦板磁化形であるのでたとえ摩擦板が摩耗しても自己調整できるので、従来のブレーキに見られた摩耗調整はまったく不要である。

(3) 構造的に特異な点として次の事柄があげられる。

- a. コイルの成形：励磁コイルはスペースファクタおよび作業工程の簡略化を考慮し仮ワックで成形した後、マグネットに入れる



図 2.2 HB 形電磁 ブレーキ
Fig. 2.2 Type HB magnetic brake.

表 2.1 HB 電磁 ブレーキ 仕様

		電圧 DC 24 V						
形 名		HB-0.6	HB-1.2	HB-2.5	HB-5	HB-10	HB-20	HB-40
動摩擦トルク (kgm)		0.6	1.2	2.5	5	10	20	40
静摩擦トルク (kgm)		1.2	2.4	5	10	20	40	80
入 力 (W)		6.5	10	14.5	19.5	25	31	37
外 形 寸 法	A	29	37	42.5	50	54	6.1	70
	B	8.5	10.5	12	19	17	21.5	26.5
	C	2	2	2	3	3	3	4
	D	72	84	96	114	136	160	195
	E	20	25	30	35	40	48	58
	K	48	58	68	80	95	116	145
	P	36	46	54	64	76	95	118
	Q	5	5	6	8	W3/8	W3/8	W1/2
	U	18.5	20.5	25.5	36	46	57.5	68.5
	V	5	5	7	10	12	15	18
重 量 (kg)		0.6	1.1	1.6	2.6	4	6	10

(単位 mm)

ようにした。また コイル は耐油性と E 種絶縁のために エポキシ系のものを採用している。

b. コイル の埋込: コイル の絶縁とマグネット への固着の目的でコイル は エポキシレジンを使用し、全体を埋め込んでいる。なお完全を期するために真空含浸処理を施している。

c. ツメ (爪) の熱処理: 加工工程を単純にし、かつ硬度と精度を上げる目的で特殊の熱処理を行なっている。

(4) 仕様一覧表を表 2.1 に示す。(図 2.2 参照)

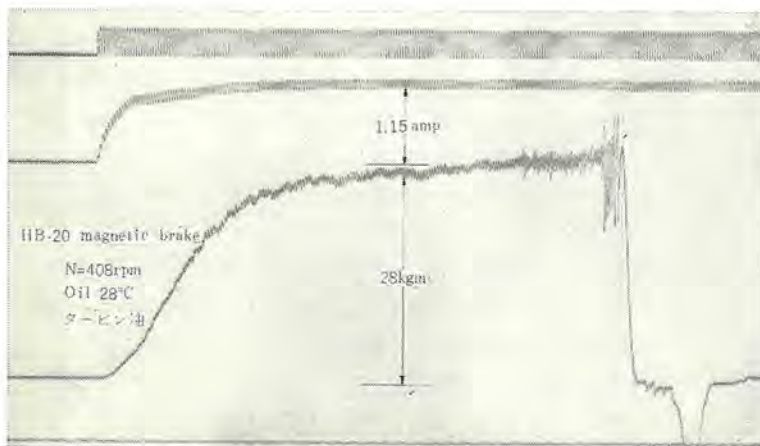


図 3.1 トルク 特性 オシロ
Fig. 3.1 Torque characteristic oscillogram.

3. 性 能

3.1 制動トルク

電磁 ブレーキ の性能としては制動 トルク が最も重要である。今試験用として相当大きな負荷 CD² を使用し、HB 形 ブレーキ で制動する時の状況をオシロで見ると図 3.1 のようになる。すなわち直流湿式 ブレーキ の特質として制動トルク は時間的にわずかに遅れて発生し、まもなく一定値となって比較的安定するが負荷が停止に近づくときわずかに増大する。この制動過程のトルクを動摩擦トルクと呼ぶ。また静止状態で大きな負荷をブレーキにかけてスリップを起こさせたときのトルクを静摩擦トルクと呼ぶ。これらは摩擦面あるいは潤滑状況などにより異なるが、HB 形ブレーキでは大略 1:2 の割合になっている。

前に述べたブレーキの目的の内、運動制止の時は静摩擦トルクを考えればよいが、多くの場合動摩擦トルクが問題になるので、こ

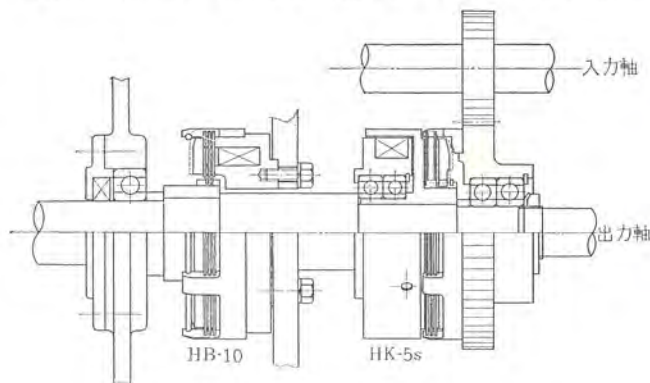


図 3.2 クラッチとブレーキの取付図
Fig. 3.2 Installation of clutch brake.

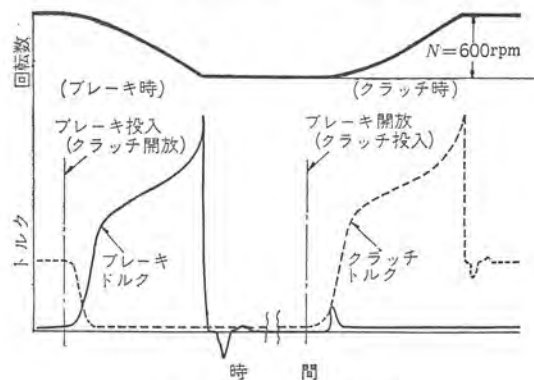


図 3.3 ブレーキ 動作状況
Fig. 3.3 Graphical representation of brake operation.

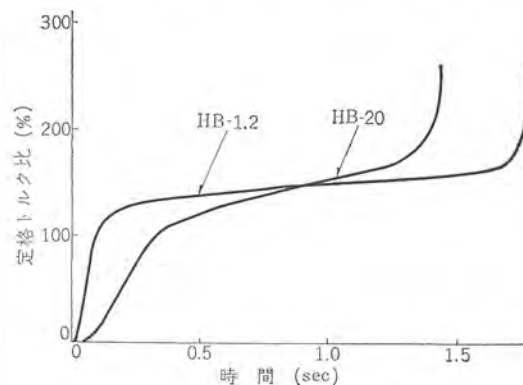


図 3.4 摩擦トルク 特性の比較
Fig. 3.4 Comparison of friction torque characteristic.

れを定格表示トルクとする。

HB形電磁ブレーキは多くの場合電磁クラッチとカップルして使用されるが、今図3.2のように両者を組み込み、同時に試験した結果を図3.3に示す。これはクラッチ、ブレーキを同時に on, off した場合であるが、とくに問題になるのは、たとえばブレーキのトルク立ち上りとクラッチのトルク減衰状況である。両者が大きくラップすると不当なトルクが掛かり悪影響を及ぼす。とくにこの種電磁ブレーキでは磁路にチャップがないために残留磁気とか時定数の影響を受けトルクの減衰が緩慢になりやすいが、HB形ブレーキには特殊な設計と表面処理が施してあるのでこのような懸念はまったくないが、一般的にはある程度のタイムラグを設けるのが望ましい。

直流励磁ブレーキにおいては摩擦トルクの立ち上り状況は機種により異なり、一般に大形になるに従いおそくなる。図3.4に一例としてHB-1.2とHB-20形の比較を示す。もちろんこのカーブは負荷条件により相当異なってくるが、用途によっては立ち上りを早くするためにラップあるいは抵抗を直列にそう入し高電圧で起動しなければならない。

またスプリング制動式のブレーキでは電圧が変化しても制動トルクは変化せず、それにトルク調整も機械的に可能であるが、励磁式のブレーキでは電圧のみに関係しかつこれにより敏感に変化する。

一例を図3.5に示すが定格電圧付近ではだいたい両者比例すると見てよい。したがって励磁式ブレーキではこの特性を巧みに利用して制動時間を任意にコントロールすることも可能である。

3.2 動作時の特性

HB形電磁ブレーキの概略の動作状況は図3.3に示したとおりであるが、機種別にこれらの動作時間を一定の試験条件のもとに測定した結果を表3.1に示す。このようにアマチュア吸引と落下

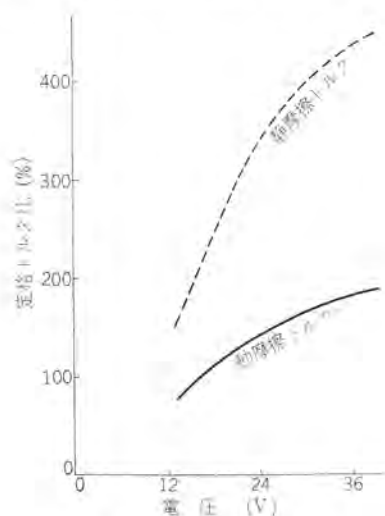


図 3.5 摩擦トルク特性
Fig. 3.5 Friction torque characteristic.

表 3.1 動作時間基準値
(標準電圧に対する値)

形 名	アマチュア 吸引時間 (sec)	アマチュア 落下時間 (sec)	100%トルク 立ち上り時間 (sec)
HB-0.6	0.02	0.04	0.08
1.2	0.02	0.04	0.08
2.5	0.03	0.05	0.14
5	0.04	0.07	0.17
10	0.05	0.09	0.28
20	0.05	0.11	0.38
40	0.06	0.13	0.50

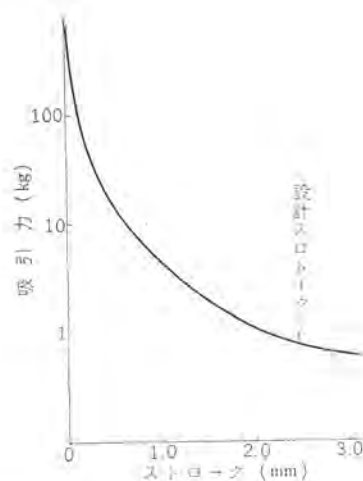


図 3.6 吸引力特性
Fig. 3.6 Attracting force characteristic.

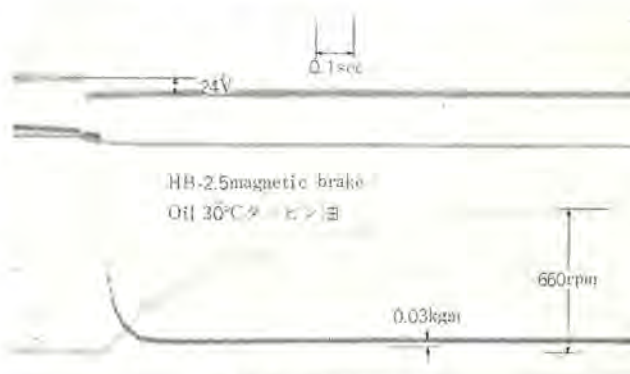


図 3.7 開放特性 オシロ
Fig. 3.7 Opening characteristic oscillogram.

時間はきわめて短いので実用上は支障ないと思われ、また100%トルク立ち上り時間は制動時間算定の目安になる。

なお電磁クラッチの同様な特性が分かれば負荷条件など考慮してクラッチを組み込んだ機械の大略のトルクダイヤグラムを作成することもできる。

このブレーキの吸引力特性は図3.6のようであるが、構造上一般的に吸引開始時の力は低いので低電圧での吸引が困難となり、また吸引後は定格値以上に大きな摩擦トルクが生じがちである。この点HB形ブレーキでは設計的にとくに考慮が払ってあるので十分満足した特性が得られ、たとえば吸引時などは60%の電圧でも確実に動作する。

3.3 開放時の特性

ブレーキ開放と同時に他のクラッチによりブレーキ軸を回転した時のブレーキのトルク変化状況をオシロにとったのが図3.7で残留あるいは空転トルクと呼ぶものである。これからしてもブレーキの切れがいかにかい良いかわかる。

HB形電磁ブレーキの空転トルクは開放時における摩擦板の遊びを十分にとり、また波打構造などの採用により一部を除いて余裕をもって動摩擦トルクの1%以下になっており、使用上ほとんど支障がないが、この空転トルクは従来の乾式ブレーキにはなかったものであるから注意を要する。

3.4 ブレーキの冷却

摩擦式のブレーキではいかなる形式でも運動のエネルギーを熱エネルギーに変換するものであるが、ブレーキ特性はこの熱によって大きく左右されるため、この発生熱をいかにすみやかに除去するか

がブレーキ設計の際に一つのポイントになる。

湿式ブレーキではこの熱を潤滑油でもって強制的に除去しようとするもので、乾式ブレーキが空冷であるのに対し、基本的に異なる点である。

一般に制動時に生ずる熱は毎分一回動作させたとき

$$W=0.163SF$$

ただし W : 制動時の発熱 (W)

S : 制動時のスリップ距離 (m)

F : 全摩擦力 (kg)

となり、今この熱をすべて潤滑油で奪うとすると必要な油量は

$$Q=0.033K\frac{W}{t}$$

ただし Q : 必要油量 (l/min)

K : 冷却係数

t : 潤滑油の温度上昇 (°C)

となる。したがって負荷条件によりこの油量を決めれば最も合理的な潤滑ができ、また空転トルクとか油の温度上昇などを考慮した範囲で油量を増加すれば制動能力(制動仕事量)は相当大きくすることができる。

HB形電磁ブレーキはスプラインハブに油穴が明けてあるので遠心潤滑が容易にでき、また摩擦板のほとんどが露出しているので、冷却効果はきわめてよく過酷な条件でも十分使用することができる。

4. 特 長

(1) 全体にきわめて小形である。

従来乾式あるいは単板ブレーキなどに比較し大きさは数分の一で、ギヤボックスなどの小さなスペースに取り付けることができる。

(2) 摩耗調整がまったく不要である。

ブレーキ動作は境界潤滑の基に行なわれるので、摩耗はほとんど

なく、またたとえ摩耗してもなんら調整の必要がない。

(3) 寿命が長い

遠心潤滑が簡単にでき、また特殊な表面処理とか、磁気回路のため、信頼性が高く半永久的に使用できる。

(4) 残留ならびに空転トルクがともに小さく、使用上ほとんど支障がない。

(5) 組立時の調整が不要などにより、機械への組み込みが簡単である。

(6) 消費電力が少ない。

(7) 安価である。

5. む す び

以上HB形電磁ブレーキの概要について紹介したが、使用上の問題点など湿式クラッチと重複する点については省略した。他社製品と比較しても寸法的、性能的になんら遜色なく、また前項で述べたような多くの特長があるので、当社製のHK形あるいはJKA形電磁クラッチと組み合わせて(図5.1参照)小形かつ安価なこのブレーキを巧みに使用することにより各種機械の生産性向上に大いに寄与するものと思う。



HB-2.5形

HK-1.2S形

図 5.1 HB形とHK形の比較
Fig. 5.1 Comparison between type HB and type HK.

X線テレビジョン

道 家 昭 彦*

1. ま え が き

X線が、医学における診断や治療に、また工業における非破壊検査に重要な役割を果たしていることは周知のところであるが、このX線による透視像を、テレビジョンの像として観察するいわゆるX線テレビジョンもここ数年の研究によってすでに実用段階にはいったものと考えられる。従来X線の透視像を観察する手段としては、

- (1) ケイ光板による直接透視、(おもに医学診断)
- (2) 写真による直接または間接撮影

のいずれかによっていた。ケイ光板による直接透視による方法はケイ光板の可視光出力が小さいため、患者、または観察者に対しX線被ばく(曝)量を許容値まで下げると、像が暗く非常に見えにくいので、暗室での観察を必要とした。また、写真による方法は、現像操作が必要のため、即時性がなく、また連続して動くものを観察することができないなど、不便な点が多かった。

これに対し、最近「イメージングリファイア」が普及段階に入り、さらに、X線テレビジョンの実用化によって、X線像の透視は、容易、安全なものとなり、診断に、治療に、検査に新しい分野を開きつつある。

以下X線テレビジョンの概要と当社で開発したX線テレビジョン装置の詳細につき述べる。

2. X線テレビジョンの特質

ケイ光板による直接透視に比べて、X線テレビジョンによる方法は、下記のごとき利点を有する。

- (1) 映像が明るく、直接透視のごとき眼の暗順応を必要としないので、暗順応に要する時間が不要になる。
- (2) 映像が明るく見やすいので、短時間で検査、診断ができる。
- (3) X線量が少なくすむので、上記(2)とあいまって、患者、医師へのX線被ばく量を減少できる。
- (4) 像が明るいので、肉眼での視覚精度が高い、これは人間の眼が暗いものを見るときは、おもにカン(桿)状体視覚(Rod

Vision)により、また、明るいものを見る場合は、おもに円錐体視覚(Cone Vision)によっており、どちらも暗くなるに従って視覚精度が落ちるが、とくにカン状体視覚の領域では暗くなるにつれて視覚精度が急激に劣化するといわれていることに起因する。図2.1にこの関係を示している⁽¹⁾、本図は十分に暗順応を行なった目で、コントラスト100%のものを見る時の明るさと視覚精度との関係を示している。

(5) テレビジョンの場合は、多人数同時観察ができるので、教育用などに効果があり、また診断の場合には各科の医師が同一状態の観察ができる。

(6) 明るさ、コントラストが自由に変えられ、また陰画、陽画の切り換え、ガンマの補正など、映像を状況に応じて適宜調整できるので認知能、識別能が増す。

3. X線テレビジョンの諸方式

X線像をTV像として再現するX線テレビジョンは、従来から種々な方法が考案され実験されており、なかには考案のみに止まったものもあったが、このおもなものは、下記の4種類に大別できる。

- (1) X線に直接感度を有する撮像管を用いるもの。
- (2) 走査X線管を用いるもの。
- (3) ケイ光板を直接テレビジョンカメラで写すもの。
- (4) X線イメージングリファイアと、テレビジョンカメラによるもの。

(1)はG.E.社で開発したもので、TVXと称し⁽²⁾、酸化鉛を使った一種の光導電形撮像管Xiconを用いるもので、X線像を直接電気信号に変えるもので、その大略を図3.1に示す。

この方式は他の方式に比べて、撮像部分が小さいことが利点であるが、光電面の特性上、残像が長いことと、大きな光電面を作るのが困難であることの問題があり、あまり普及していないようである。

(2)は図3.2に示すような特殊なX線管を用い、ブラウン管のように電子ビームを偏向し、発生するX線を偏向させ、このX線で被検体を走査し、この透過X線でケイ光体を光らせ、この光を電子増倍形光電管で増倍して信号電流を得、X線ビームの走査

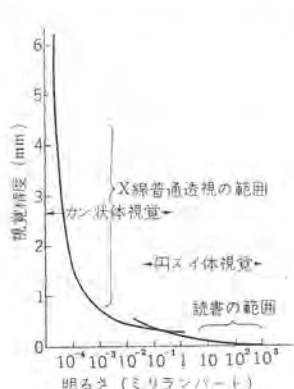


図 2.1 明るさと視覚の精度の関係

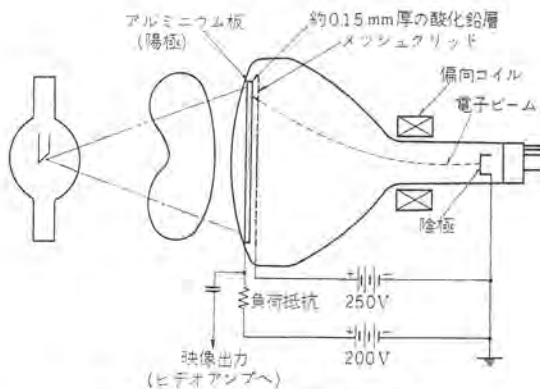


図 3.1 G.E.社 Xicon の原理図

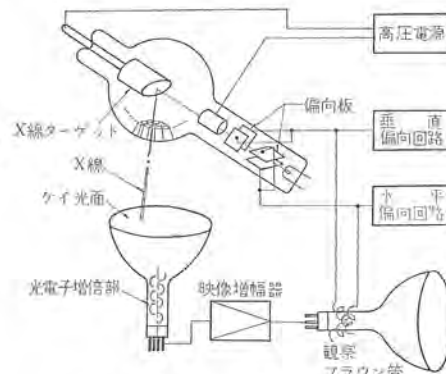


図 3.2 スキャンニング X線管を用いる X線テレビジョン 原理図

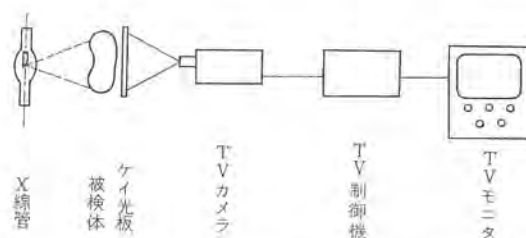


図 3.3 ケイ光板に直接高感度の TV カメラを組み合わせた X 線テレビジョン 原理図

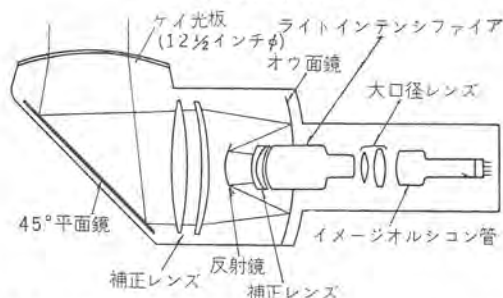


図 3.4 特別明るい光学系 ($F=1:0.7$) に可視光の イメージアンプリファイア と イメージオルシコンを組み合わせた Cinelix 装置原理図

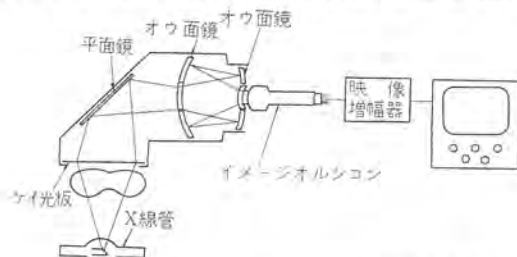


図 3.5 マルコニ社のケイ光板を直接高感度 テレビジョンカメラ で写す方法

と同期したブラウン管上に再生する方式であるが、現在実用にはなっていないようである⁽³⁾。

(3)の方式は、図3.3に示すように透過X線でケイ光板を光らせ、このケイ光板の透視像を直接高感度のテレビジョンカメラで撮像するもので、テレビジョンカメラとしては、感度の高いイメージオルシコンを用いたものを使用する。

またケイ光板の像を、一度可視光のイメージアンプリファイアで輝度増倍しさらに、この増倍された像をイメージオルシコンカメラでテレビジョンの信号とする方法も使われている。(図3.4)

実例としては図3.5に示すように、Marconi社が $F=1:1.7$ というような非常に明るい光学系と、特別に作った4.5インチ径の高感度イメージオルシコンP825形と組み合わせて発表している⁽⁴⁾。いずれにしてもX線によるケイ光板の明るさは $10^{-3} \sim 10^{-4}$ エリランパート程度であるから、とくに明るい光学系と、高感度のイメージオルシコンが要求される。

(4)のX線イメージアンプリファイアとテレビジョンカメラを用いる方法は、現在最も広く用いられている方法で、テレビジョンカメラの撮像管としてはイメージオルシコンも用いられるが、ビジコン形撮像管の高感度化と、回路技術の進歩とあいまって最近では、ビジコン使用のX線テレビジョンが実用化され、すでに普及段階にはいっている。

4. 三菱 X 線テレビジョン

当社で製作したX線テレビジョンも上記(4)のX線イメージアン

プリファイアとビジコンカメラを使用するもので、島津製作所のイメージアンプリファイアと、とくにこの用途のために開発した三菱IT-5形工業用テレビジョン装置とを組み合わせ、X線テレビジョン装置としてすでに東京大学医学部、東京歯科大学などで使用され、好評を博している。

その構成は図4.1に示すとおりで、実際にイメージアンプリファイアにカメラを取り付けた状態を図4.2に示す。

このX線テレビジョン装置の主要部は、X線像を可視光像に変換するX線イメージアンプリファイア部と、この可視光像をテレビジョン像にするテレビジョン部分と、さらにこの両者を結合する光学部とから成っている。以下、上記各部に分けて説明する。

4.1 X 線イメージアンプリファイア

X線イメージアンプリファイアは、X線輝度増倍管、またはX線イメージアンプリファイアとも呼ばれるもので、従来のケイ光透視板の輝度が限界にきており、とくに医学における診断の場合、X線障害の点から、X線量を一定以下に押えるため、ケイ光板の輝度が低く、完全な暗室内での診断が必要であり、さらに診断前に前述のごとく10～20分間の暗順応を行わなければならないとか、また目の視覚精度が悪いとかの不便さがあり、現在のケイ光板にできる像を、なんらかの方法で高輝度に増強することが要求されてきた。Westinghouse, Philips社などでX線イメージアンプリファイアの研究が進められ、1952年ごろから製品として供給されるようになり、わが国においても1957年に、島津製作所から口径125mmのものが発表され、現在では、口径230mmのものも実用化されている。

(1) 構造

X線イメージアンプリファイアの主要部は、図4.3に示すような構造の真空管の一種で、入力側は厚さ0.15mm程度の球面ガラス製の支持体の前面に、入力ケイ光面(ZnCdS・Ag)があり、その後面に光電面(Sd-Cs)を作っている。

X線が入力ケイ光面を刺激してケイ光面が光ると、この光によ

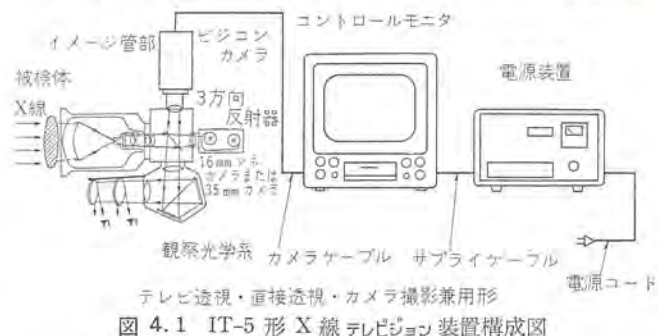


図 4.1 IT-5 形 X 線テレビジョン 装置構成図



図 4.2 イメージアンプリファイアに取り付けた IT-5 形 X 線テレビジョンカメラ

りすぐ後の光電面から光電子を放出し、これを電子レンズ系で加速、集束し、うしろの出力ケイ光面を光らせるもので、入力ケイ光面は直径125(5インチ)~230(9インチ)mm、出力ケイ光面直径は約25mm、加速電圧は25kV程度である。

(2) 性能

a. 輝度倍率

上記のように、像を直径約1/5~1/8.5に縮小することにより、約25~72倍の輝度倍率を得、さらに各面の量子効率と電子の加速により十数倍の利得を得て総合の輝度倍率としては約300~1,200倍となっている。

b. 解像度

X線関係で用いられている解像度は通常、直径が順番に異なる銅線(またはニッケル)線数本を、図4.4のごとく、その直径と等しい間隔で並べたもの(ペネトラメータという)をX線で透視し、どこまで細い銅線が線として見分けられるかによっているが、X線イメージングリファクタの解像度は、入力ケイ光面で25本/cm(線径0.4mm)程度である。

c. 出力ケイ光面のケイ光体

イメージングリファクタの出力面のケイ光体は、視感度のピークが5,500Å(黄緑)にあるので、従来から黄緑のケイ光色を持つP₄-Y₁(ZnCdS·Ag)が使われてきたが、ビジコンの波長感度特性は、

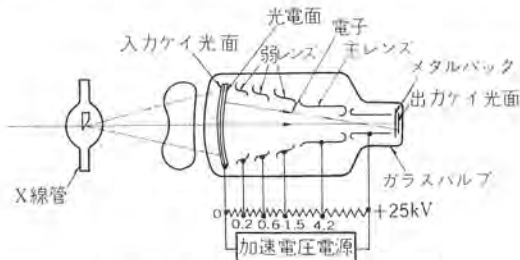


図4.3 X線イメージングリファクタの構造

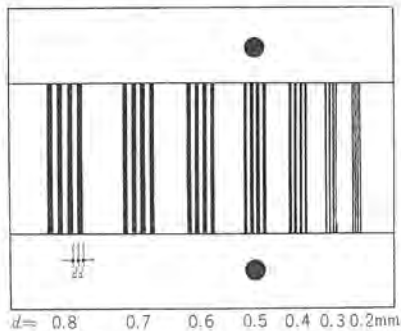


図4.4(a) X線ペネトラメータ

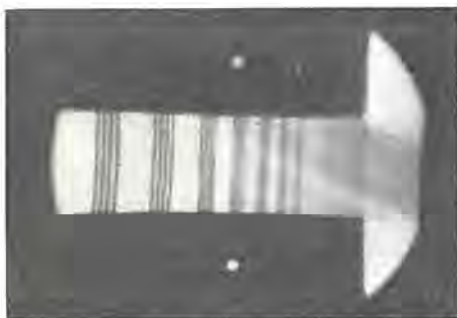
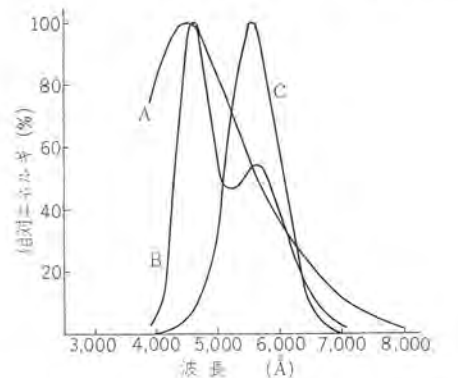


図4.4(b) X線ペネトラメータのTV画面

図4.5に示すように4,500Å付近にピークがあるので、青色のケイ光体、たとえばZnS·Agなどのほうが有利である。しかしX線テレビジョンの場合イメージングリファクタで直接に観察する場合も多いので、青色のケイ光体は視感度的には不利である。そこで4,500Å付近にピークがありさらに5,600Å付近に小さなピークがあるテレビジョンブラウン管用の白色ケイ光体、P₄(ZnS·Ag+ZnCdS·Ag)を用いて好結果を得た。

このP₄ケイ光体を使用するとテレビジョンの感度と、視感度の増大のほかに、さらに写真に対する感度も従来のP₄-Y₁に比べて約2.5倍感度が高くなっている。

実際に従来のP₄-Y₁ケイ光体と、P₄ケイ光体とでそれぞれイメージングリファクタを作ってテレビジョンおよび視覚に対する感度を比較したところP₄はP₄-Y₁に対し、視覚で約1.13倍、テレビジョンの場合撮像管に7038を使用した場合約1.65倍の感度が得られた。



曲線A: ビジコン7735-Aの分光感度特性
曲線B: ケイ光体P₄(ZnS·Ag+ZnCdS·Ag)の分光特性
曲線C: 人間の視感度曲線

図4.5 分光特性

4.2 テレビジョン装置

当社IT-5形テレビジョン装置は前述のごときX線テレビジョン装置としての特長を発揮すべく、次のごとき点を考慮して設計した。

(a) 撮像機部はできるだけ小形軽量とし、とくに医学用透視台の操作を容易ならしめた。

(b) 可能な限り、調整箇所を少なくして取り扱い容易なものとし、電子工学の専門知識を有しない操作者にも簡単に操作できるようにした。

(c) 全体の構成を簡単なものとし、すえつけ運搬に便利ならしめた。

(d) 光学系の設計にとくに留意し感度の増大を計った。

(1) 撮像管

前述したようにテレビジョン装置としては、撮像管にビジコンを用いるものと、イメージオルシコンを用いるものがあるが、ビジコンを用いたものはイメージオルシコンを用いたものに比べて

(a) 装置が小形軽量である。(とくに撮像機については、撮像管の体積がビジコンはイメージオルシコンの約1/20である)

(b) 機器、とくに撮像管関係の取り扱いが容易である。

(c) 装置の価格が低廉である。

(d) 撮像管の価格が低廉で、しかも寿命が長い。

(e) 光学系が小形にできる。

などの利点がある。

一方イメージオルシコンはビジコンに比べて感度が高い利点があるが、X線テレビジョンのように低照度で用いるときは、全体の信号対雑音比、すなわち S/N が使用できる明るさの限界を決めるため、一般に考えられるほどの見かけの感度差は得られない。

このことをもう少し詳しく考察してみる。

今、必要な映像信号の信号対雑音比を 10 と考え、ビジコンおよびイメージオルシコンの光電面上に必要な明るさを考えると、

a. ビジコンの場合

ビジコンの場合は、ビジコン自身の S/N は約 300 くらいで非常に良く、 $S/N=10$ に比し問題にならない範囲であるが、信号出力電流が非常に小さいので、映像増幅器初段から発生する雑音のみを考えればよい。

映像増幅器の雑音電流は次式で与えられる。

$$\bar{i}_n = \sqrt{\frac{4kT}{R_L} f_m \left(1 + \frac{4\pi^2}{3} R_L R_{eq} C_0^2 f_m^2 \right)}$$

ここで \bar{i}_n = 雑音電流

k = ボルツマン 定数

T = 絶対温度

R_L = 撮像管の負荷抵抗

f_m = 映像増幅器の周波数帯域幅

R_{eq} = 初段真空管の等価雑音抵抗

C_0 = 撮像管出力回路の漂遊容量

かりに初段管に、相互コンダクタンス 10 mS 程度の 3 極管を用いたカスコード回路を使用し、 $R_L=50 \text{ k}\Omega$ 、 $f_m=6 \text{ Mc}$ 、 $C_0=30 \text{ pF}$ と考えると、雑音電流 \bar{i}_n は約 $3.5 \times 10^{-9} \text{ A}$ となり、 S/N を 10 とすると、ビジコンの信号出力電流は $35 \times 10^{-9} \text{ A}$ すなわち $0.035 \mu\text{A}$ 必要となる。

像撮管に 7735A 形を暗電流 $0.2 \mu\text{A}$ で使用すると、図 4.6 から光電面必要照度は約 0.1 lx となる。

b. イメージオルシコンの場合

これに対し、イメージオルシコンの場合は信号出力電流が、映像増幅回路の発生する雑音電流に比べて十分大きいので問題とならないが、このように低照度でイメージオルシコンを使用すると、ビームノイズによる S/N の低下が目立ち S/N は大略次のごとく表わされる。

$$S/N = \sqrt{\alpha i_s / 2e f_m n}$$

ここで

α = ビーム変調度

i_s = 信号出力電流

e = 電子の電荷

f_m = 映像増幅器の周波数帯域幅

n = 二次電子増倍部の増倍度

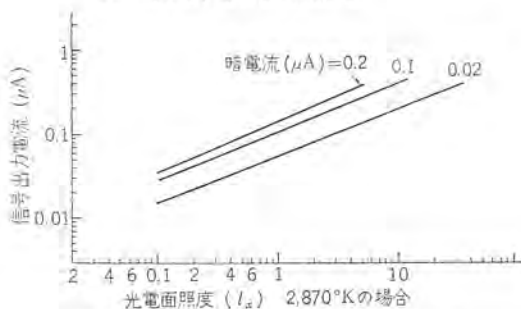


図 4.6 ビジコン 7735-A の光電変換特性

上記ビジコンの場合と同様に、 $S/N=10$ を得るために必要な光電面照度を、現在最も広く用いられている 5820 形イメージオルシコンについて求めて見る。

今かりにこのような低照度でイメージオルシコンを用いる場合のビーム変調度を $\alpha=0.1$ とし、周波数帯域幅は前と同様に 6 Mc 、二次電子増倍部の増倍度を $n=1,000$ と考えると、 $S/N=10$ のときの信号出力電流 i_s は約 $2 \times 10^{-8} \text{ A}$ となる。

イメージオルシコン 5820 の光電変換特性から、この出力電流に相当する光電面上の明るさを求めると、約 0.02 lx となる。

これは前に求めたビジコンの必要な明るさに比べて、約 $1/5$ でよいということになるが、一方受光面の寸法がビジコンの約 3.6 倍であるので、同一イメージアンプリファイアの出力ケイ光像を撮像管の有効光電面いっぱい撮像すると、使用レンズの焦点距離も同様に 3.6 倍必要になり、レンズの直径が同一であるとするとき、レンズの明るさは約 $1/3.6^2 \approx 1/13$ となるので、相対的に像質は悪くなる結果となる。

以上のごとく、感度と他の利点とを検討の結果、撮像管としてはビジコンを使用する方が一般には有利である。

(2) 解像度

イメージアンプリファイアの解像度 $0.3 \sim 0.4 \text{ mm}$ (図 4.4 のチャートで表現した値) をテレビジョン式表現に直すと、約 420~310 本 (視野 125 mm のイメージアンプリファイアの場合) ということになる。

イメージアンプリファイアの解像度を R_1 、テレビジョンの解像度を R_2 とし、簡単のために途中のレンズ系などの解像度は無視できくらい大きいと考えると、総合解像度は、 R_1 、 R_2 のレスポンス関数の形や種々の条件で異なるが、大体下記のように表わされる。

$$R = R_2 \sqrt{1 + R_2^2 / R_1^2}$$

いま、テレビジョンの解像度を 550 本とし、イメージアンプリファイアの解像度を 420 本とすると、総合解像度は約 340 本 (0.37 mm 相当) となる。

イメージアンプリファイアの解像度 R_1 が一定限界にあるとしても、テレビジョンの解像度 R_2 は高いほうが望ましいのはもちろんであるが、解像度を上げるためには、他の条件が一定ならば映像信号増幅器の帯域幅を広くとることが必要であり、帯域幅を広げると雑音は大略帯域幅の $1/2$ 乗に比例して増加し、 S/N 比が低下するので、見かけの解像度はあまり上がらないことになり、やたらに解像度を上げることは無意味であることがわかる。

(3) 性能

X線テレビジョンとしての総合の解像度は、水平、垂直両方向とも 25 本/cm (線径 0.4 mm) で、イメージアンプリファイアの解像度は完全にカバーしている。

実際に人体を透視したときのテレビジョン像の写真を図 4.7 に示す。X線条件は、胸部透視が $70 \sim 80 \text{ kV}$ $0.5 \sim 1 \text{ mA}$ くらいで可能であり、直接透視の 80 kV 、 $2 \sim 3 \text{ mA}$ 必要なのに比べ約 $1/4 \sim 1/3$ の X線量で十分である。

また映像は診断しようとする部位により、ネガまたはポジを自由に切り換え可能であり、どちらか観察しやすいほうを選べるので識別能は非常に向上する。

映像増幅回路には上記極性転換のほか、ガンマの補正回路を有しており、このガンマ補正回路とコントラストの調整により、コ



図 4.7 X線条件 80 kV 1 mA
人体胸部透視の TV 画面

コントラストの低い X 線像の、しかも最も必要な陰影部分のコントラストを最良点に調整できる。

解像度、見やすさ、適正コントラストなどすべてに影響するのが映像増幅器の S/N であるが、本機では映像増幅器に高相互コンダクタンス管を用いたカスコード形増幅器を採用し、さらに、イメージング管の出力ケイ光像が円形であることから、映像の縦横寸法比を 1:1 にして、同一解像度に要する映像増幅器帯域幅を狭くし、 S/N の改善を計っている。

(4) 仕様

機器の構成は

- 撮像機
- 制御監視機
- 電源装置
- 接続ケーブル類

の各部からなり、撮像管としては、高感度のビジコン 7735-A を用いている。

おもな仕様は下記のとおりである。

(a) 走査方式

垂直走査周波数	60 c/s (50 c/s)
毎秒像数	30 枚/秒 (25 枚/秒)
電源同期または非同期いずれでも運転可	
水平走査周波数	18.75 kc (18.375 kc)
走査線数	625 本 (735 本)
飛越走査	1:2

(b) 解像度

水平解像度	550 本以上
垂直解像度	約 450 本 (約 500 本)

(c) 映像増幅器周波数帯域幅

約 6.5 Mc

(d) 映像縦横寸法比

1:1

(e) 映像の大きさ

直径約 200 mm の円形

(f) 映像出力

1 V p-p (75 Ω)

(g) 消費電力

約 500 VA

(h) 重量

撮像機	約 3.2 kg
制御監視機	約 25 kg
電源装置	約 35 kg

4.3 光学系

X 線テレビジョンのように暗い被写体を扱う場合は、光学系の設計がとくに重要である。

イメージング管の出力ケイ光出力像の大きさが、直径約 25 mm で、ビジコンの光電面が約 12×12 mm のところへ内接させるので、像の縮小率は約 $1/2$ となり、レンズの F 値は実効的に約 1.5 倍となり、透過光量は約 $1/2.25$ となる。またこのような至近距離の被写体を使用する場合、収差の補正がなされていないため像質が落ち、鮮鋭な像を得ることができない。

ゆえにこのような場合は 2 個のレンズを使用し、図 4.8 のごとく、第 1 のレンズはその焦点距離 f_1 の所に被写体、すなわちイメージング管の出力ケイ光面をおき、第 1 のレンズから出た平行光線を第 2 のレンズに入れてその焦点距離 f_2 の位置に像を結ばせるようにすることにより実効 F 値を低下せず、また収差の補正の良く行なわれた位置でレンズを用いることができる。

本装置の場合第 1 レンズは、焦点距離 75 mm, $F=1:1.0$ であるので、第 2 レンズとしては焦点距離 35 mm, $F=1:1.9$ の日本光学特製品を使用して、好結果を得た。

光学系としては、X 線テレビジョンのみでなく、第 1 レンズの後にハーフミラーを置き、これを切り換えることにより第 1 レンズからの平行光線をさらに虚像にして直接観察したり、またさらに第 3、第 4 のレンズにより 16 mm 映画、35 mm スチル写真なども撮影ができるようになっている。

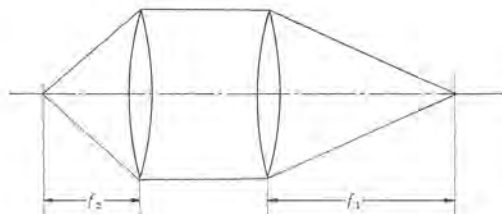


図 4.8 撮像レンズ系

5. 応用例

X 線テレビジョンは医学診断用として相当数使用され、医師の X 線被曝量の減少、または無被曝化、診断時間の短縮、診断の正確化などに役だっている。図 5.1 に診断用として透視台に取り付けた例を、図 5.2 に人体各部の透視の受像画面を示す。

さらに非破壊検査用としても、溶接個所の検査用など、フィルムの現像時間を不要にすることによる工程の短縮や、連続検査による能率の向上に、または鋳物の湯流れの研究などに使用されている。

図 5.3 に鉄およびアルミニウムの X 線テレビジョン使用による非破壊検査時の欠陥検出能を示す。

図 5.3 はいずれも被検体をイメージング管に密着した場合の値で、2 倍程度の拡大透視を行えばさらに 0.5~1.0% 識別能が向上する。

図 5.4 は鉄の溶接個所の受像画面である。

6. むすび

以上 X 線テレビジョン装置について、方式、性能などを述べた。本装置はすでに病院、工場などで実用されその効用を認められているが、今後次のような問題を有している。

(1) イメージング管の輝度倍率の向上。



図 5.1 診断用透視台に取り付けた X 線 テレビジョン 装置



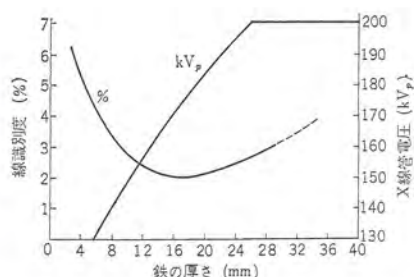
X 線条件 80 kV 0.8 mA

図 5.2 (a)
食道ガンの透視像



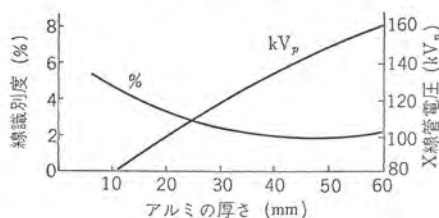
X 線条件 100 kV 0.8 mA

図 5.2 (b)
十二指腸部透視像



焦点 2 mm 管電流 5 mA
焦点-イメージアップ距離
200 mm

図 5.3 (a)
X 線 テレビジョン 透視に
おける鉄の欠陥検出能



焦点 1.5 mm 管電流 5 mA
焦点-イメージアップ距離
200 mm

図 5.3 (b)
X 線 テレビジョン 透視に
おける アルミニウム 欠陥
検出能



肉厚=6.2 mm
肉厚+ビード厚=8.8 mm

図 5.4 (a)
鋼板の溶接箇所



(170 kVp 4 mA
5 インチ I.A. 使用)

図 5.4 (b)
同上の X 線 テレビジョン
受像画面

- (2) ファイバオプティクス などによる光学系の改良.
- (3) 高 ガンマ, 高感度 ビジコン による性能向上.
- (4) 高 エネルギ X 線用 イメージアップリファイア の開発.

さらに機能上の要求として

- (a) 映像の録画
- (b) 他の機器, たとえば遠隔操作透視台, 連続溶接機などの組み合わせ

などがクローズアップされてきた.

(a) については, X 線像を映画にとる従来の方法に対し, 小形ビデオレコーダの実用化により簡単に録画再生ができるようになった. 当社では先に東京大学医学部のご好意により, 島津製作所, ソニー株式会社との共同のもとに臨床実験を行ない, 好結果を得た.

また (b) についても, 順次実用化の段階にあり, さらに X 線テレビジョンの用途, 効用を増すものである.

終わりに, この装置の製作にあたり, 絶大なるご指導ご援助を

賜わった, 東京大学医学部附属病院放射線科各位ならびにご協力をいただいた島津製作所の各位に深甚の謝意を表する次第である.

参考文献

- (1) W.S. Lusby: The Intensification of X-Ray Fluorescent Images. Electrical Eng. p.292 Apr. (1951)
- (2) J. Jacobs and H. Berger: Large-Area Photoconductive X-Ray Pickup-Tube Performance. Electrical Eng. p.158.Feb. (1956)
- (3) R.J. Moon: Amplifying and Intensifying the Fluorescopic Image by Means of a Scanning X-Ray Tube. Science. 112 p.389 Oct. 6 (1960)
- (4) E. Garthwaite and D.G. Haley: An X-Ray Image Amplifier Using an Image Orthicon Camera Tube. Brit. I. R. E. Convention Paper. Session 7 (1959)

プラズマ (その 2) — プラズマの巨視的物性の基礎理論 —

河合 正*・伊藤利朗*・近藤博通**

前号⁽³⁰⁾では個々の粒子に関連した微視的現象について述べたが、この号では粒子の集団的現象に関する基礎的な知識を、気体論的な叙述方法^{(31) (7)~(4)}を用いてできるだけ体系的に述べてみることにしよう。

4. 粒子の分布, Boltzmann 方程式

4.1 位相空間, 速度空間

プラズマの巨視的現象を論ずる場合には、プラズマ中の粒子の大きさを無視、すなわち粒子を質点と見なしてよい。一般に質量 m の質点の運動を論ずるためには、その速度 v ないし運動量 $p=mv$ とその位置を示す座標 q との時間的経過がわかれば十分である。

図 4.1 (a) の振り子のオモリの場合、その q として振れの角度 θ をとり、右振れのときの p を正、その逆を負にとれば、時々刻々の p, q の大きさを示す点〔代表点〕は図 4.1 (b) の (p, q) 平面上を時計方向に回るような軌跡〔トラジェクトリ〕を描く。質点が 3 次元運動をする場合には、位置を示すために、たとえば図 4.2 (a) のような直角座標系、運動量ないし速度を示すためにたとえば同図 (b) のような座標系が必要である。同図 (a) は質点の存在する実際の空間〔ordinary space, 以後実空間とよぶ〕、ここに描いたベクトル r は粒子位置を示すための位置ベクトルであって、 r の 3 成分は位置座標 x, y, z である。運動量、速度は本来ベクトル量 p, v

で表わされるべきものであって、同図 (b) のたとえば p_x は p の x 方向の成分である。同図 (b) が速度を示すための座標系である場合、これは速度空間〔velocity space〕と呼ばれる。これに対し同図 (b) が運動量を示すためのものなら、これを運動量空間と呼んでもよからう。図 4.1 (b) の場合と同じように、粒子の運動を一望のもとに示すためには実空間、運動量空間の各座標軸を、ひとまとめにした 6 次元の仮想的な空間が必要であるが、この仮想空間は位相空間〔phase space〕と呼ばれる。図 4.1 (b) の (p, q) 平面はこの位相空間の最も単純な例である。

粒子の実空間での運動は、粒子の代表点が位相空間中を移動することに相当する。粒子が他の物体と衝突した場合、その p ないし v の向きは反転するから、これに対応して代表点のトラジェクトリは非連続的に変化する。また実空間において $x+dx$ と $x, y+dy$ と $y, z+dz$ と z の間に存在する粒子群——すなわち図 4.2 (a) の微小体積 $dx dy dz [=d\tau_r]$ に存在する粒子群——の中、白丸で示した 1 群の粒子の運動量が p_x+dp_x と p_x, p_y+dp_y と p_y, p_z+dp_z と p_z との間にあるとき、白丸の粒子は運動量空間では微小体積〔仮想的な広義の体積〕 $dp_x dp_y dp_z [=d\tau_p]$ の中にあり、位相空間では $d\tau_r d\tau_p$ なる体積を占めるという表現が用いられる。粒子の集団現象を論ずるとき、同一種類の粒子ごとに別個に式をたてるのが普通であるから、運動量空間での体積 $d\tau_p$ の代わりにこれに対応する速度空間での体積 $dv_x dv_y dv_z [=d\tau_v]$ を用いてもよい。時間が経過するにつれ粒子群の位相空間での位置〔広義の位置〕は変わるが、放射などのエネルギー損や衝突がなければその占める体積 $d\tau_r d\tau_p$ は時間と無関係に一定に保たれる。〔Liouville の定理〕

4.2 分布関数

位相空間で上記の体積素片 $d\tau_r d\tau_p$ ないし $d\tau_r d\tau_v$ の中にある粒子の数 dN' は、通常次の形

$$dN' = f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) d\tau_r d\tau_v \quad (4.1)$$

で表わされる。 $f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$ は分布関数とよばれ、 \mathbf{r}, \mathbf{v} および時間 t の関数である。実空間で体積 $d\tau_r$ を占める粒子の中には種々な速度のものが含まれているから、その全数 N' は式 (4.1) を粒子速度の全範囲にわたって積分したものとなる。したがって実空間の位置 \mathbf{r} における粒子密度 $N'/d\tau_r = n(\mathbf{r}, t)$ [\mathbf{v} に関係せぬ量] は次式

$$n(\mathbf{r}, t) = \int_v f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) d\tau_v \quad (4.2)$$

〔 \int_v : 粒子速度の全範囲での積分を示す〕

で表わされる。したがって次の量

$$dN'/N' = f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) d\tau_v \int_v f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) d\tau_v \quad (4.3)$$

は実空間の微小体積 $d\tau_r$ に位置する粒子の中の 1 個——近似的に位置 \mathbf{r} にある粒子の中の 1 個——の速度が前述の $d\tau_v$ の

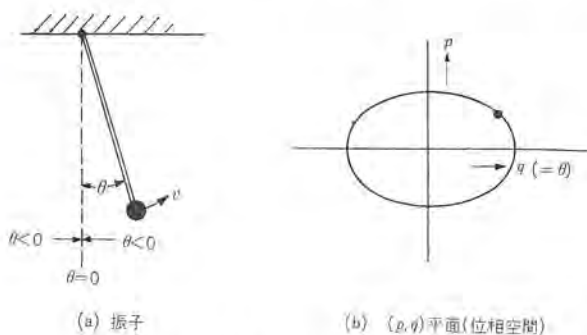


図 4.1 振り子の運動

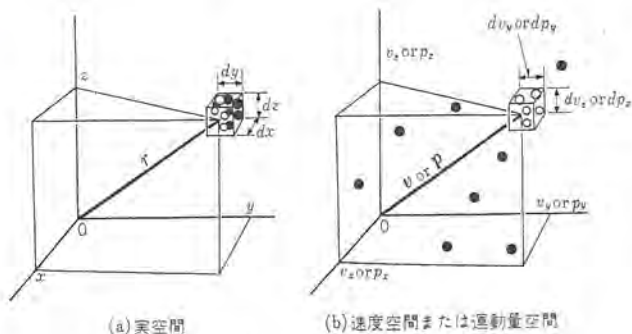


図 4.2 粒子の分布

範囲に入る確率である。

位置 \mathbf{r} において、速度 \mathbf{v} をもつ 1 個の粒子のある性質、たとえばそのエネルギー、を一般的に $g(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$ と書いておこう。時間 t において位置 \mathbf{r} に存在する全粒子の g を平均した値 $\overline{g(\mathbf{r}, t)}$ [\mathbf{r}, t のみの関数。一般に記号の上に引いた線は平均値であることを示す] は、個々の粒子の g にその存在の確率 dN'/N' をかけたものの総和に等しいから

$$\overline{g(\mathbf{r}, t)} = \int g(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) \frac{dN'}{N'} \quad (4.4)$$

がなりたつ。

また実空間のある特定の体積 V_t にある粒子の全数 N を与える式

$$N = \int_{V_t} d\tau_r \int d\tau_v f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) \quad (4.5)$$

は規格化の条件式 [式 (4.17) の説明参照] として用いられる。

4.3 Boltzmann (の輸送) 方程式

1 種類の粒子群 [個々の粒子の質量を m とする] の分布関数の時間的変化の様子、すなわちその群に属する粒子の位置や速度がどのような変化をしてゆくかを考えてみよう。

粒子がある速度 \mathbf{v} で動けばその位置は時間とともに変わる、すなわち実空間での移動が行なわれる。これと同様に、重力、静電力などの外力 \mathbf{F} によって粒子が加速されるならば、当然その粒子の速度は変わってゆく。いいかえれば粒子の代表点は速度空間を移動してゆく。もっと一般的ないい方をすれば、粒子が速度、加速度、をもつときその代表点は位相空間を移動してゆく。このような移動によって起こる分布関数の時間的変化 $(\partial f / \partial t)_{\text{coll}}$ は偏流項 [drift term] と呼ばれることもある。

また前述したように粒子相互間の衝突は、それらの代表点の位相空間における跳躍をもたらす。衝突による分布関数の時間的変化 $(\partial f / \partial t)_{\text{coll}}$ は衝突項 [collision term] と呼ばれる。

分布関数の時間的変化 $(\partial f / \partial t)$ は上記 2 項の和である。すなわち次式

$$(\partial f / \partial t) = (\partial f / \partial t)_{\text{drift}} + (\partial f / \partial t)_{\text{coll}} \quad (4.6)$$

が成立する。

偏流項は、位相空間での代表点の流入流出をベクトル解析の発散定理により決定するなどの方法^{(6) (32)}により求めることができる。この結果を用いて式 (4.6) を書き直すと、粒子集団現象の基礎方程式として知られた Boltzmann (の輸送) 方程式

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{r}} f + \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot \nabla_{\mathbf{v}} f = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \quad (4.7)$$

$$\text{ただし } \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{r}} = v_x \frac{\partial}{\partial x} + v_y \frac{\partial}{\partial y} + v_z \frac{\partial}{\partial z} \left[= \sum_{\alpha} v_{\alpha} \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \right]$$

$$\mathbf{F} \cdot \nabla_{\mathbf{v}} = F_x \frac{\partial}{\partial v_x} + F_y \frac{\partial}{\partial v_y} + F_z \frac{\partial}{\partial v_z} \left[= \sum_{\alpha} F_{\alpha} \frac{\partial}{\partial v_{\alpha}} \right]$$

が得られる。式 (4.7) で衝突項を零としたものは Vlasov 方程式と呼ばれ、プラズマ内の波動の伝播を近似的に取り扱うときなどに用いられている。

ただし Boltzmann 式の衝突項は、元来、代表点のトラジェクトリが突然非連続的変化を行なうような衝突現象に対して適用されるものである。荷電粒子と中性粒子との間、あるいは中性粒子相互間に働く力はごく近距離にしか及ばないものであって、これらの粒子は至近距離に近づいたときにはじめて反発しあうから、これ

らの粒子の衝突による変化を衝突項に入れることには疑義がない。これに反して荷電粒子相互間に働くクーロン力は遠距離にも及ぶものである。これら多数の荷電粒子のクーロン力を合成したもの、すなわち空間電荷の電界による力は上述の外力 \mathbf{F} として Boltzmann 式の偏流項の中に入れなければならない。一方ごく近距離にある荷電粒子同志の散乱の角度は一般に相当大きいから、この散乱現象により生ずる f の変化は Boltzmann 式では衝突項として扱われなければならない。しかしこの大角度散乱も、静電力 \mathbf{F} による小角度散乱も、いずれもクーロン力によるものであって、両者をはっきりと区別することはむずかしい。このような“あいまいさ”が Boltzmann 式の本質的な難点なのである。

しかしながら Boltzmann 式は他の方程式たとえば Fokker-Planck 式⁽⁹⁾に比べて比較的取り扱いが容易であるので、クーロン散乱が支配的な過程であるような高温プラズマ現象の取り扱いにおいてさきも広く用いられている。クーロン散乱よりも中性粒子—荷電粒子間衝突のほうがひんぱんに起こる一般の低電離プラズマに対しては、この Boltzmann 式はよく適合する。なお、最近木原氏は上述の Boltzmann 式のあいまいさを解決した統一的な輸送理論を樹立した。⁽³³⁾

4.4 衝突項の例

質量 m の中性粒子同志の弾性衝突の場合を考えてみよう。両粒子の速度が衝突直前では \mathbf{v}, \mathbf{v}_1 、衝突直後では $\mathbf{v}', \mathbf{v}'_1$ であるような衝突があれば、これとまったく逆の形の衝突 (逆衝突)、すなわち衝突直前では $\mathbf{v}', \mathbf{v}'_1$ 、衝突直後では \mathbf{v}, \mathbf{v}_1 であるような衝突も存在しうる。なぜなら、前者の衝突が、衝突時のエネルギーおよび運動量の保存則から出る次の条件式

$$\begin{aligned} (m/2)(\mathbf{v}^2 + \mathbf{v}_1^2) &= (m/2)\{\mathbf{v}'^2 + (\mathbf{v}'_1)^2\} \\ m(\mathbf{v} + \mathbf{v}_1) &= m(\mathbf{v}' + \mathbf{v}'_1) \end{aligned} \quad (4.8)$$

ただし $\mathbf{v}, \mathbf{v}_1, \dots$ は $\mathbf{v}, \mathbf{v}_1, \dots$ の大きさ。

を満すものなら、その逆衝突もまたこの条件にかなうからである。前者の衝突により速度 \mathbf{v} の粒子の数は減るが、その逆衝突により速度 \mathbf{v} の粒子の数は増す。この増減を考慮すると、図 4.3 に示したように両粒子の衝突前の相対速度の大きさを v_r 、衝突径数 [3.1 節参照] を b 、 φ を同図に示したような角度とすれば、衝突項は

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\text{coll}} = \int_{v_1} d\tau_{v_1} \int db \int d\varphi \{f(\mathbf{v}')f(\mathbf{v}'_1) - f(\mathbf{v})f(\mathbf{v}_1)\} v_r b \quad (4.9)$$

ただし $\int_{v_1} d\tau_{v_1} : \mathbf{v}_1$ を表わす速度空間全域にわたる積分の記号で与えられる。⁽³²⁾ この式の右辺第 1 項は前述の粒子増加分、第 2 項は減少分に相当する。なお、この式の b に関する積分の範囲は、 $2r_0 \geq b \geq -2r_0$ [剛体球として考えた両粒子の半径] である。

また同様に、荷電粒子相互間の散乱の場合 [3.1 節参照] の衝突項は、 χ を散乱角、 $s(\chi)$ を散乱後の粒子が立体角 $d\Omega = \sin \chi d\chi$ の中に入るような散乱の微分断面とすれば、次式

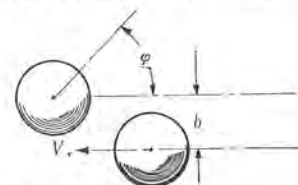


図 4.3 中性粒子相互間の衝突

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{\text{coll}} = \int d\Omega \{f(v')f(v_1') - f(v)f(v_1)\} v_1 s(\chi) \dots (4.9')$$

で与えられる。(31)ただし前節で Boltzmann 式の難点について述べたように、式 (4.9) の積分範囲をどの程度の χ の範囲までとるかが問題となるが、近似的には衝突係数 b が後述の Debye 長の範囲、したがって χ がそれに対応するある大いさの範囲に限定されるものとして積分を実施すればよい。

4.5 分布関数の例

粒子の群は、最初どのような分布の状態になっていたとしても、 $F=0$ の状態で長い間放置されれば、最後には最も確率の高い分布の状態—熱平衡状態—に落ち着く。一般に熱平衡状態では、あらゆる衝突が、それぞれそれと逆の衝突と平衡する〔詳細均合の原理〕。前節の二つの場合についていえば、この均合は次式

$$f(v')f(v_1') - f(v)f(v_1) = 0 \dots (4.10)$$

で表わされる。このとき、衝突項は当然零となる。式 (4.10) の両辺の対数をとれば

$$\ln f(v) + \ln f(v_1) = \ln f(v') + \ln f(v_1') \dots (4.11)$$

これは衝突の際に、運動量やエネルギーが式 (4.8) の形で保存されるとまったく同じ形で、 $\ln f$ が保存されることを示している。衝突におけるこのような相加的な保存量としては、運動量、エネルギー、質量以外に独立なものはありえないから、 $\ln f$ はこれらの量の 1 次結合の形

$$\ln f = \alpha m - (Bmv^2/2) + \gamma \cdot mv \dots (4.12)$$

で表わされなければならない。 α, B, γ は r, t の任意の関数であってよく、したがって分布関数は次式

$$f(r, v, t) = A(r, t) \exp [-m\{\alpha - v \cdot \gamma(r, t) - Bv^2/2\}] \dots (4.13)$$

の形で表わされることになる。

式 (4.13) は局所平衡分布の式と呼ばれる。この式に従う分布の場合、実空間における粒子の密度は場所によって異なる。

これに対し、一様な密度 n で分布した温度 $T^\circ K$ の単一種類の粒子群の熱平衡状態においては、粒子の熱運動速度の大きさ u の分布は周知の Maxwell-Boltzmann 分布の式

$$f(u) = n(m/2\pi kT)^{3/2} \exp(-mu^2/2kT) \dots (4.14)$$

に従う。式 (4.15) は式 (4.14) の特殊な例に相当するが、この場合の粒子の熱運動エネルギーの平均値 $(mu^2/2)$ は式 (4.9) と式 (4.4) から

$$(mu^2/2) \equiv mu^2/2 = (3/2)kT \dots (4.15)$$

すなわち温度 T は $mu^2/2$ に比例する。この式は逆にいえば温度の定義を示している。また最も確率の大きい速度の大きさ u_0 や速度の大きさの平均値 \bar{u} は

$$u_0 = \sqrt{2kT/m}, \quad \bar{u} = \sqrt{8kT/m} \dots (4.16)$$

で与えられる。ただし式 (4.14) は、単原子分子またはそのイオンないし電子に適用されるものである。これらの粒子の運動の自由度は 3、各自由度あたりの熱運動エネルギーたとえば x 方向のそれはいずれも $(kT/2)$ である〔等配則〕。

しかし多原子分子やそのイオンの熱運動の場合、これが鉄亜鈴のように回転する回転運動や、これを構成する原子の間の距離 q_s が変化する振動をも考えねばならぬから、運動自由度 s は 3 よりも大きい。このような各種の運動のエネルギーと、 q_s の関数である原

子間位置エネルギーとの和を $\varepsilon(p, q_s)$ 〔ハミルトン〕と書くと、一様に分布したこれらの粒子の熱平衡状態の分布関数は

$$f(p, q_s) = A \exp\{-\varepsilon(p, q_s)/kT\} \dots (4.17)$$

となる。規格因子 A は式 (4.5) から定められる。この場合、熱運動エネルギーの平均値は $skT/2$ であって、等配則もなりたっている。

一般に、外力、各種の非弾性粒子、フック射損、境界条件を考慮に入れて、位置および時間の関数としての分布関数を理論的に求めることはきわめて困難であって、そのような解析の結果の例としては Drugvesteyn の分布(3)(4)などがあるに過ぎない。また実験においても分布に関する知識はあまり豊富ではない。たとえば低気圧アークの場合、探針による測定の結果からみて電子は Maxwell 分布に従っていると見てよいけれども、イオンの分布は不明である。定常的なし準定常的な高気圧アークの陽光柱においては、各種の粒子は Maxwell 分布に従うものと考えてよいと思われるけれども、実験的な確証はない。超高温プラズマについても同じことがいえる。

われわれは、次章以降においては、粒子の分布関数や個々の粒子の物理量 g を問題にしないで、物理量の平均的な値 \bar{g} を追求してゆくことにしよう。

5. プラズマの巨視的方程式

ある与えられた電磁界配位の中でプラズマがどのようなふるまいをするかを知るための一つの近似的考察として、われわれは 2 章において単一の荷電粒子の運動理論について述べた。そのときにはプラズマを構成している無数の荷電粒子の内の 1 個の粒子のみに着目してその運動の経過を調べ、その結果からプラズマ全体のふるまいを推論しようとする、いわば微視的な立場からの近似方法をとったのである。これとまったく対照的に立つのが、プラズマを気体や液体に関する流体力学と同様な巨視的な見方によって考察する行き方である。この方法は電磁流体力学 (MHD) と呼ばれているが、本章ではその基本的な方程式について説明しよう。

プラズマの MHD 方程式をたてる際に最も問題となるのは、前述のように荷電粒子相互間のクーロン力が遠距離にまで作用するため、Boltzmann 式の積分が適当な近似によってしか得られない点である。一方、プラズマ中のあらゆる部分において常に電気的中性が保たれることは必ずしも期待できないので、MHD 方程式を解く場合には、これらの分離した電荷の作る電界を考慮に入れて首尾一貫した解を求めなければならないが、それは非常に困難である場合が多い。さらに時間的あるいは空間的に激しく変動している電磁界、たとえば単粒子の Larmor 半径程度の距離の範囲でも境界の強さがかなり変化しているといった場、にあるプラズマを取り扱う場合には問題は非常に複雑となる。

これらの点を考え合わせると MHD 方程式を実際に適用するにはやはり相当な近似が含まれることは明らかであり、得られた結果は慎重に検討されなければならない。2 章の単粒子理論はプラズマ考察のための微視的な極限の近似であったということができるが、これに対し今まで得られている種々の MHD 方程式は上記の意味で巨視的な極限の近似であるといってもよいであろう。大ざっぱにいうと前者は粒子密度の低いプラズマによく適合するに

対して、後者は粒子は非常に視模の大きいプラズマや粒子密度の高いプラズマによく適合すると考えられる。一般には、この両近似法は互いに補って使用されるべきものであろう。

5.1 定式化の手続き

プラズマ中には、一般に、電子以外に、質量や電荷の異なる各種のイオンや質量の異なる各種の中性粒子が存在する。各種のイオンないし中性粒子を区別するために、これらの種類別に番号をつけ、たとえば第 j 種 [$j=1, 2, \dots$] のイオン、第 k 種 [$k=1, 2, \dots$] の中性粒子などと呼ぶ。以後 j, k をそれぞれイオン、中性粒子の種別を示す一般的記号、 i, e, n をそれぞれイオン、電子、中性粒子を示す脚字として使用する。各種イオン、電子、各種中性粒子の密度をそれぞれ n_{ij}, n_e, n_{nk} 、これらの質量を m_{ij}, m_e, m_{nk} 、これらの速度を v_{ij}, v_e, v_{nk} また各種イオンおよび電子の電荷を q_{ij} および $q_e = -e$ とする。

プラズマの巨視的な取り扱いに用いられるおもなプラズマの物理量は、プラズマの質量密度 ρ 、その電荷密度 Q 、その速度〔集団運動の速度〕 \mathbf{V} 、その電流密度 \mathbf{j} である。これらは位置座標 \mathbf{r} 、時間 t の関数であって、次式

$$\rho = \sum_j m_{ij} n_{ij} + m_e n_e + \sum_k m_{nk} n_{nk} \quad (5.1)$$

$$Q = \sum_j q_{ij} n_{ij} + q_e n_e \quad (5.2)$$

$$\mathbf{V} = \left(\sum_j m_{ij} n_{ij} \bar{\mathbf{v}}_{ij} + m_e n_e \bar{\mathbf{v}}_e + \sum_k m_{nk} n_{nk} \bar{\mathbf{v}}_{nk} \right) / \rho \quad (5.3)$$

$$\mathbf{j} = \sum_j q_{ij} n_{ij} \bar{\mathbf{v}}_{ij} + q_e n_e \bar{\mathbf{v}}_e \quad (5.4)$$

で与えられる。これらの式の右辺に出てくる2種類の変数、すなわち各種の粒子群の密度および平均速度〔たとえば電子群の集団運動の速度 $\bar{\mathbf{v}}_e$ 、無秩序な熱運動速度は平均すれば零となるから平均速度の中には含まれない〕は、式 (4.2) および (4.4) に示されたように、それぞれの粒子群の分布関数の積分から得られる \mathbf{r}, t の関数である。

そこでまず、各粒子群別に Boltzmann 式、たとえば電子のそれ、

$$\frac{\partial f_e}{\partial t} + \mathbf{v}_e \cdot \nabla_{\mathbf{r}} f_e + \frac{\mathbf{F}_e}{m_e} \cdot \nabla_{\mathbf{v}_e} f_e = \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \quad (5.5)$$

ここで f_e : 電子分布関数、 \mathbf{F}_e : 電子に働く外力をたてる。ただし、この式の衝突項は、各種の項、すなわち電子が他の電子、各種イオン、各種中性粒子とそれぞれ衝突する事によって生ずる f_e の時間的変化の和である。さて、これらの Boltzmann 式をもとにして、それぞれの粒子群の巨視的方程式を別々に求めてみよう。

以後、電子群に例をとって説明する。位置 \mathbf{r} 、時間 t において速度 \mathbf{v} を持つ電子のある物理量 $g_e(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$ を式 (5.5) の両辺に乘じた後、その式を全速度空間にわたって積分し、式 (4.4) を用いると次式〔混乱を避けるため指標記法を用いる〕

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} [n_e \bar{g}_e] - n_e \frac{\partial \bar{g}_e}{\partial t} + \sum_{\alpha} \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} [n_e v_{e\alpha} \bar{g}_e] - \sum_{\alpha} n_e \left[\frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} v_{e\alpha} \bar{g}_e \right] \\ - \sum_{\alpha} \frac{n_e}{m_e} F_{e\alpha} \left[\frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \bar{g}_e \right] = \int_{\mathbf{v}_e} \alpha \tau_{ve} m_e \mathbf{v}_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \end{aligned} \quad (5.6)$$

を得る。ただし g_e, \bar{g}_e はベクトル量である場合もある。

式 (5.6) で $g_e = 1$ とおけば、電子数の保存の式

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla_{\mathbf{r}} \cdot [n_e \bar{\mathbf{v}}_e] = \int_{\mathbf{v}_e} \alpha \tau_{ve} \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \quad (5.7)$$

を得る。この式の右辺は、電離、再結合など、電子の発生消滅を

もたらす衝突現象による電子密度の変化の割合、また左辺第2項は実空間の着目点において電子の流入と流出との不平衡により電子が蓄積してゆくために生ずる電子密度変化の割合であって、この両項の代数和は当然 $\partial n_e / \partial t$ に等しくなる。電子質量密度 $m_e n_e$ を ρ_e と書けば、式 (5.7) は、質量保存〔連続〕の式

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \nabla_{\mathbf{r}} \cdot [\rho_e \bar{\mathbf{v}}_e] = m_e Z_e \quad (5.8)$$

に書き直せる。ただし Z_e は式 (5.7) の右辺に相当する。定常状態では式 (5.7)、(5.8) とともに、右辺も、左辺の各項もすべてゼロとなる。

次に $g_e = m_e \mathbf{v}_e$ としよう。このとき、式 (5.6) は運動量保存の式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho_e \bar{\mathbf{v}}_e) + \nabla_{\mathbf{r}} \cdot (\rho_e \bar{\mathbf{v}}_e \mathbf{v}_e) - n_e \mathbf{F}_e \\ = \int_{\mathbf{v}_e} d\tau_{ve} m_e \mathbf{v}_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \end{aligned} \quad (5.9)$$

となる。 $\mathbf{v}_e \mathbf{v}_e$ はスカラー積 $\mathbf{v}_e \cdot \mathbf{v}_e$ やベクトル積 $\mathbf{v}_e \times \mathbf{v}_e$ などと違って、 \mathbf{v}_e の3成分の相乗積 $v_{ex}^2, v_{ey} v_{ez}$ などの9要素を持つテンソルであり、 $\bar{\mathbf{v}}_e \mathbf{v}_e$ は \mathbf{v}_{ex}^2 などを要素とするテンソルである。念のために式 (5.9) の左辺第2項を詳しく書いておく。

$$\begin{aligned} \nabla_{\mathbf{r}} \cdot (\rho_e \bar{\mathbf{v}}_e \mathbf{v}_e) = \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho_e \bar{v}_{ex}^2) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho_e \bar{v}_{ex} \bar{v}_{ey}) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_e \bar{v}_{ex} \bar{v}_{ez}) \right] \mathbf{x} \\ + \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho_e \bar{v}_{ey} \bar{v}_{ex}) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho_e \bar{v}_{ey}^2) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_e \bar{v}_{ey} \bar{v}_{ez}) \right] \mathbf{y} \\ + \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho_e \bar{v}_{ez} \bar{v}_{ex}) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho_e \bar{v}_{ez} \bar{v}_{ey}) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_e \bar{v}_{ez}^2) \right] \mathbf{z} \end{aligned} \quad (5.10)$$

ただし $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$: 実空間の x, y, z 方向の単位ベクトル。ここで、電子の速度 \mathbf{v}_e の中、無秩序な運動の速度の成分を \mathbf{u}_e とすると、($\mathbf{u}_e = 0$),

$$\mathbf{v}_e = \bar{\mathbf{v}}_e + \mathbf{u}_e \quad (5.11)$$

$$\mathbf{v}_e \mathbf{v}_e = \bar{\mathbf{v}}_e \bar{\mathbf{v}}_e + \mathbf{u}_e \mathbf{u}_e = \bar{\mathbf{v}}_e \bar{\mathbf{v}}_e + (\Psi_e / \rho_e) \quad (5.12)$$

が成立する。 $\mathbf{v}_e \mathbf{v}_e$ は $v_{ey} v_{ez}$ などと、また圧力テンソル $\Psi_e = \rho_e \mathbf{u}_e \mathbf{u}_e$ は $\rho_e u_{ey} u_{ez}$ などを要素とするテンソルである。これらの量を使うと、運動量保存の式 (5.9) は

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho_e \bar{\mathbf{v}}_e) + \nabla_{\mathbf{r}} \cdot (\rho_e \bar{\mathbf{v}}_e \bar{\mathbf{v}}_e) = n_e \mathbf{F}_e - \nabla_{\mathbf{r}} \cdot \Psi_e + \\ + \int_{\mathbf{v}_e} \alpha \tau_{ve} m_e \mathbf{v}_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \end{aligned} \quad (5.13)$$

と書き直される。あるいは、式 (5.7) に $m_e \bar{\mathbf{v}}_e$ を乗じたものを用いて、式 (5.13) をさらに変形すると

$$\rho_e \left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{\mathbf{v}}_e \cdot \nabla_{\mathbf{r}} \right) \bar{\mathbf{v}}_e = n_e \mathbf{F}_e - \nabla_{\mathbf{r}} \cdot \Psi_e + \mathbf{G}_e' \quad (5.14)$$

$$\text{ただし } \mathbf{G}_e' = \int_{\mathbf{v}_e} \alpha \tau_{ve} m_e \mathbf{v}_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} - m_e \bar{\mathbf{v}}_e \int_{\mathbf{v}_e} \alpha \tau_{ve} \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right)_{\text{coll}} \quad (5.15)$$

が得られる。式 (5.14) の左辺は、流体力学〔Eulerの方法〕では $\rho_e d\bar{\mathbf{v}}_e/dt$ と書かれ、単位体積あたりの慣性力 (inertia force) に相当する。また同式右辺第1項は電子群に働く単位体積あたりの外力である。右辺第2項はいささかわかりにくいので、分布関数 f_e が等方的である場合について考えてみよう。この場合、 Ψ_e の9要素の中、対角要素と呼ばれる要素の間には次の関係

$$\rho_e u_{ex}^2 = \rho_e u_{ey}^2 = \rho_e u_{ez}^2 \quad (5.16)$$

がなりたち、これら以外の6要素はすべてゼロとなる。4.4節で

述べたように、熱平衡状態にある温度 T_e の電子群においては、電子1個あたり、1自由度あたりの熱運動エネルギーは $kT_e/2$ であり、また気体運動論によればこの電子群の圧力 p_e は $n_e kT_e$ に等しい。したがって式 (5.16) の各要素、たとえば $\rho_e u_{ex}^2 = n_e m_e u_{ex}^2$ は電子群の圧力 p_e に等しく、 $\Gamma_r \cdot \Psi_e$ は $\Gamma_r p_e$ すなわち電子群の圧力分布 [単位体積あたりの Pressure force] に等しくなる。また右辺第3項 G_e は、あらゆる種類の衝突によって生じた電子群全体の運動量の変化の割合 [式 (5.15) 右辺第1項] から、電子の発生消滅による電子群全体の運動量変化の割合 [同上第2項] を差し引いたものである。

電子1個に働く力は、電界を E 、磁界を B 、重力ポテンシャルを ϕ とすれば、次式 [2章式 (2.1)]

$$F_e = q_e(E + v_e \times B) - m_e \Gamma_r \phi \quad (5.17)$$

で与えられる。ただし電子に作用する電界 E は、その電子の近傍にある他の荷電粒子の及ぼすクーロン場を含んでいるので、時間的に激しく変化する。このような効果を含めて電子群に働く外力の平均を求めることは困難であるから、近接荷電粒子による散乱の効果は衝突項に含ませてしまうという前述の近似法を採用する。また磁界による力の平均化も、ここでは単純に

$$\overline{v_e \times B} = \overline{v_e} \times B \quad (5.18)$$

としておく。ただしこの式は、磁界の空間的変動に基づく電子のドリフト [2.1節] が大きいような場合には、正しくない。このような近似によって式 (5.15) は次式

$$\rho_e \left(\frac{\partial}{\partial t} + \overline{v_e} \cdot \Gamma_r \right) \overline{v_e} = q_e(E + \overline{v_e} \times B) - \Gamma_r \cdot \Psi_e - \rho_e \Gamma_r \phi + G_e \quad (5.19)$$

に書き直される。この式の代わりに、式 (5.9) から出る次式

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_e \overline{v_e}) + \Gamma_r \cdot (\rho_e \overline{v_e} \overline{v_e}) = q_e(E + \overline{v_e} \times B) - \Gamma_r \cdot \Psi_e - \rho_e \Gamma_r \phi + G_e \quad (5.20)$$

$$\text{ただし } G_e = \int_{v_e} d\tau v_e m_e v_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial t} \right) \quad (5.21)$$

を用いてもよい。ただしこの両式の電界 E 、磁界 B は実空間の着目点に群がる電子の個々が経験する電界や磁界ではなく、それらの平均的な値を示すものである。また G_e は式 (5.16) の右辺第1項に相当する。

上記のようにして電子群の巨視的方程式 (5.8) および (5.19) が得られたが、各種のイオン、中性粒子についても同様な式が得られる。これらの式および Maxwell の電磁界方程式が、一般のプラズマの基礎方程式である。ただし、粒子群の巨視的方程式をまとめて、プラズマ物理量 ρ, Q, V, j に関する方程式に変えることができれば、はなはだ取り扱いやすいし、物理的意義もつかみやすい。次節に、この例として完全電離プラズマの場合を論じよう。

5.2 完全電離プラズマの方程式

ここでは、1種類の正イオンと電子とだけからなりたっており、しかも至るところで電気的中性が成立している理想的なプラズマについて考える。完全電離状態であるから、電子、イオンともに発生消滅はない。したがって連続の式は

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \Gamma_r \cdot (\rho_e \overline{v_e}) = 0 \quad (5.22)$$

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \Gamma_r \cdot (\rho_i \overline{v_i}) = 0 \quad (5.22')$$

となる。また運動量保存の式として、電子については式 (5.20)、

イオンに関しては式 (5.20) の添字 e を i に直した次式

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i \overline{v_i}) + \Gamma_r \cdot (\rho_i \overline{v_i} \overline{v_i}) = q_i(E + \overline{v_i} \times B) - \Gamma_r \cdot \Psi_i - \rho_i \Gamma_r \phi + G_i \quad (5.21')$$

を用いる。電子同志の衝突の際、両粒子の運動量の和は保存されるから、電子群全体の運動量はこの衝突による影響を受けない。したがって G_e はイオンが電子に衝突してくることによる電子群運動量変化の割合である。イオンが非弾性衝突を行なわぬとすれば、同様な理由により G_i は電子がイオンに衝突するために生ずるイオン群運動量変化であるが、イオン-電子間衝突においても運動量保存則は成立するから、次の関係

$$G_e = -G_i \quad (5.23)$$

が存在する。また取り扱いの便宜上プラズマは等方的であって、テンソル Ψ_e, Ψ_i はスカラー p_e, p_i におき換えられるとし、プラズマの圧力 ($p_i + p_e$) を p と書く。

さて式 (5.22), (5.22') を辺々あい加えればプラズマの連続の式

$$(\partial \rho / \partial t) + \Gamma_r \cdot (\rho V) = 0 \quad (5.24)$$

が得られる。

また、式 (5.20), (5.21') において、左辺第2項を省略 [プラズマの流れやプラズマ電流が急激に曲らないという仮定に相当] した後、両者を加え、 $(\partial \rho / \partial t) = 0$ とおくと力のつり合いの式

$$\rho_m (\partial V / \partial t) = Q E + j \times B - \Gamma_r p - \rho \Gamma_r \phi \quad (5.25)$$

が得られる。これは左辺の慣性力が、右辺の静電力、電磁力、圧力差による力、重力の代数和とつり合うことを示している。

また、式 (5.20) に q_e/m_e 、式 (5.21') に q_i/m_i をそれぞれ乗じたものを辺々あい加えることによって、プラズマの電流、電圧の関係式が得られる。この式はかなり複雑であるから、今まで採用してきた仮定以外に、次の仮定

$$Q = 0 \quad \text{[電気的中性]}, \quad m_e/m_i \ll 1$$

$$G_e = -G_i = n_e q_e n j \quad [\eta: \text{比例係数}] \quad (5.26)$$

を採用して、その簡略化を行なうと

$$\frac{m_e}{n_e q_e^2} \frac{\partial j}{\partial t} = E + \left(V + \frac{j}{n_e q_e} \right) \times B - \frac{1}{n_e q_e} \Gamma_r p_e - \eta j \quad (5.27)$$

が得られる。この式で左辺はプラズマのインダクタンス [荷電粒子の慣性によるもの] による逆起電力、右辺第2項はプラズマが磁場を横切るときの運動起電力、同第3項はホール起電力、同第5項は抵抗降下に相当する項である。 η はプラズマの比抵抗である。電流 j が流れている状態ではイオン群、電子群は互いに逆向き集団運動を行なっているが、それらがぶつかりあって互いの運動を妨げる、いい換えればそれらが運動量を交換することが激しくなればなるほど η は大きいということになる。式 (5.26) において比抵抗 η が運動量交換の度合を示す量 G_e と j との比例関係の係数として定義されたのはこのような意味からである。

6. プラズマの物理量

6.1 デバイ長 (Debye Length)、プラズマ周波数

1章で述べたように、電気的中性という性質はあらゆるプラズマに共通した本質的な性質である。しかしながらプラズマ中では、多数の荷電粒子がきわめて無秩序に運動しているので、ある時刻のある限られた場所で電子群の電荷とイオン群の電荷とがつり合わないような状態が絶えず起こっているであろう。電気的中性とい

うのは、ある程度以上大きい空間に含まれたおびただしい数の荷電粒子について成立する統計的性質にすぎないのである。今ラズマの中で、半径の球状空間にだけ電子電荷の過剰が生じたとしよう。ここでは当然空間電荷による電界が発生する。いい換えればここに静電エネルギーがたくわえられたことになる。この静電エネルギーは過剰電子群が球状空間に集まる以前に持っていた熱運動エネルギーの一部ないし全部が変換されて生じたものであって、この熱運動エネルギーをこえることはできない。したがって、球状空間半径はある限界 λ_D をこえることはできない。粒子分布や電界分布を考えに入れると

$$\lambda_D = (\epsilon_0 k T_e / n e^2)^{1/2} \quad \text{あるいは} \quad \lambda_D = 7.45 \times 10^3 \sqrt{k T_e / e} / \sqrt{n} [m] \quad (6.1)$$

となる。ただし n は電子過剰が起こらないとしたときの電子密度の平均値、 $k T_e / e$ は電子ボルトで表わした電子温度である。この式の λ_D は Debye 長（正確にいえば電子の Debye 長）と呼ばれるものである。 λ_D 程度の大きさしかないような放電空間は電気的中性を保つということが保証できないから、これをラズマと呼ぶことはできない。半径 λ_D の球 [Debye 球] の中に入る電子の数 n_λ は

$$n_\lambda = (4\pi/3) (\epsilon_0 k T_e / e^2)^{3/2} / \sqrt{n} = 1.370 T_e^{3/2} / n^{1/2} \dots\dots (6.2)$$

で与えられる。たとえばケイ光灯や気中アークの中のラズマに例をとると、それぞれ λ_D は 10^{-3} , $10^{-8} m$, n_λ は 10^6 , $10 m^{-3}$ 程度である。

また別の観点から、 λ_D は電界シャヘイの長さと呼ばれる。たとえば、イオンの存在などのために空間の一部の電位が高くなると、電子がその周囲に集まって来て電界をシャヘイする。この電子集中は上述の熱ジョウ乱による電子集中と本質的には同様なものであって、したがって電界は λ_D 程度以上の長さには及ばないと考えてよい。

Boltzmann 式の衝突項の積分範囲を λ_D の大いさの程度にとるのはこのような理由による。

次にラズマ周波数 [$f_p = \omega_p / (2\pi)$] について少し触れておこう。これは次式

$$\omega_p = \sqrt{n e^2 / (m_e \epsilon_0)} \quad \text{または} \quad \omega_p = 56.4 \sqrt{n} [\text{rad/sec}] \dots\dots (6.3)$$

で与えられる。この式と式 (6.1) とから

$$\lambda_D \omega_p = \sqrt{k T_e / m_e} \dots\dots (6.4)$$

を得る。式 (6.5) は、式 (4.15) や (4.16) に示したような電子熱運動速の自乗平均値 $\sqrt{u_e^2}$ ないし最も確からしい値 u_{e0} と大体同程度の値である。すなわち、電子群は ω_p^{-1} 程度の時間に電界シャヘイの長さ λ_D だけ動く。したがって ω_p より低い角周波数の電磁波がラズマに浸透しようとしても、電子群が集って来てその電磁波の電界をシャヘイしてしまうから、この電磁波はラズマ中に浸透できない。短波が電離層で反射されるのはこのような機構による。

6.2 輸送係数

4 章に述べたように、気体中の粒子は特定の分布関数に従ってランダムな運動を行なっているが、粒子密度に空間的な不均一があると、上記のランダム運動の結果、平均として高密度の部分から低密度の部分へと粒子の流れが形成され、密度が均一化されようとする。この過程を拡散といい、通常拡散係数と呼ばれる係数によ

って特長づけられる。またなんらかの外力が個々の粒子に作用すると、拡散の場合と同様に粒子の巨視的な流れが形成され、この流れの大きさが、移動度と呼ばれる係数によって特長づけられることになる。

以上のように、密度の空間的な不均一、あるいは外力によって巨視的な粒子の流れが形成されたり、あるいは粒子自体がエネルギー、運動量などを有するために、粒子の流れに伴って、熱の流れ、運動量の流れが形成される現象を輸送現象といい、それらの大きさを特長づける係数を輸送係数という。

一般に輸送現象は 4 章で述べた分布関数に関する Boltzmann 方程式あるいは Fokker-Planck の方程式を出発点として、ある程度厳密に解析することができるが⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾ これを一般的に取り扱うことはかなり複雑な内容を含むことになり、本報告の範囲を越えるので、ここでは輸送現象の概念をはあくするという意味で、以下のような性質を満足するいわゆるローレンツ気体を想定して議論を進めよう。

(1) 試射粒子の質量は標的粒子の質量に比べてはるかに大きい。

(2) 試射粒子間の衝突回数は、試射粒子、標的粒子間の衝突回数に比べてはるかに少ない。

以上のようなローレンツ気体の仮定は、不完全電離ラズマにおける電子のふるまいを考察する場合に、最も適当な仮定を与えることになる。

さて以上のようなモデル気体中に粒子の発生、消滅源があり、定常的な微量成分の流れが形成されている場合を考えると、粒子流れ \mathbf{T} は、微量成分の分布関数 f を用いて次式のように表現される。

$$\mathbf{T} = n \mathbf{V} = \int \mathbf{V} f d\tau_v \dots\dots (6.5)$$

ここで f が問題になるが、これを

$$f = f_0 + f_1 \dots\dots (6.6)$$

ここに f_0 は n を微量粒子の粒子密度として

$$n = \int f_0(\mathbf{r}, \mathbf{v}) d\mathbf{v}$$

を満足する Maxwell-Boltzmann の分布関数であり、 f_1 は粒子の流れによる f の f_0 からのズレである。

のように表現すると、 $\int \mathbf{V} f_0 d\tau_v = 0$ であるから、式 (6.5) は次のように表現される。

$$\mathbf{T} = \int \mathbf{V} f_1 d\tau_v \dots\dots (6.7)$$

一方式 (6.6) を式 (4.7) に代入し、高次項 $\mathbf{r} \cdot \nabla f_1$, $\mathbf{v} \cdot \nabla f_1$ を無視すると、定常流に対しては次式が成立する。

$$\mathbf{V} \cdot \nabla f_0 + \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot \nabla f_0 = -\nu_m f_1 \dots\dots (6.8)$$

式 (6.8) で与えられる f_1 を式 (6.7) に代入すると

$$\mathbf{T} = - \int d\tau_v \mathbf{V} \left(\frac{\mathbf{V}}{\nu_m} \cdot \nabla f_0 + \frac{\mathbf{F}}{m \nu_m} \cdot \nabla f_0 \right) \dots\dots (6.9)$$

が得られる。

一般に境界 \mathbf{B} が存在する場合には、 \mathbf{F} は粒子速度 \mathbf{v} の関数、したがって \mathbf{T} の関数となり、やや複雑な内容を含むことになるので、ここでは簡単のために境界 \mathbf{B} のない場合を考えると式 (6.9) は次のように整理される。

$$\mathbf{r} = -\mathbf{r}(Dn) + E\mu n \quad (6.10)$$

ここに D および μ はそれぞれ拡散係数および移動度であって次式で与えられる。

$$D = \int \frac{v^2}{3\nu_m} f_0 d\tau_v \quad (6.11)$$

$$\mu = -\frac{4\pi q}{3mn} \int \frac{v^2}{\nu_m} \frac{\partial f_0}{\partial v} d\tau_v \quad (6.12)$$

ただし q は微量成分 1 個あたりの電荷であり、 m は質量である。結局式 (6.11) および式 (6.12) がそれぞれ拡散係数および移動度の近似式となる。

式 (6.11) および式 (6.12) から明らかなように D と μ とは互いに従属的な関数関係を有している。そこで特殊な場合について D と μ との間の関係を求めると次のようになる。

式 (6.11) および式 (6.12) において $\nu_m = \text{一定}$ とおくと、

$$\mu = q/m\nu_m$$

$$D = \frac{1}{m\nu_m} \cdot \frac{1}{2} m \bar{v}^2$$

となるので、 D と μ の比を取ると ν_m に無関係な、次の関係が得られる。

$$D/\mu = kT/q \quad (6.13)$$

これを Einstein の関係という。

次にプラズマに固有な両極性拡散と称される現象を説明しよう。さてプラズマ中の荷電粒子密度が小さい間は、荷電粒子はその密度に比例して電界に反応して、式 (6.10) に従って流れるが、荷電粒子の密度が大きくなると荷電粒子自身の発生する空間電荷が粒子の流れを変位させるようになる。

この現象を解析するために、1 荷のイオンと電子から構成されたプラズマを考え、その密度をそれぞれ n_i , n_e とすると式 (6.10) から次式が得られる。

$$\mathbf{r}_e = -D_e \nabla n_e - \mu_e E n_e \quad (6.14)$$

$$\mathbf{r}_i = -D_i \nabla n_i - \mu_i E n_i \quad (6.15)$$

ただし簡単のために、 D_i , D_e は位置に無関係と仮定している。式 (6.14), (6.15) と、Poisson の方程式

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = e(n_i - n_e) \quad (6.16)$$

とを連立して解くことによって荷電粒子の流れの現象を解析することができるわけであるが、ここではさらに解析を簡単化するために、外部印加電界がなく、 \mathbf{E} が空間電荷のみによって形成される場合を考える。また空間における荷電粒子の発生、消滅源では、イオンおよび電子は常に対として発生、消滅するので、定常状態では $\mathbf{r}_e = \mathbf{r}_i$ であると仮定する。さらに n_i , n_e の比を C とおき、 C を位置に無関係な数と仮定すると (これは $FC/C \ll r n/n$ と仮定することと同様の意味を持っている)、式 (6.14) および式 (6.15) から容易に \mathbf{E} が消去され次式が得られる。

$$\mathbf{r} = -D_s \nabla n_e$$

ここに D_s は次式で与えられる量である。

$$D_s = C(D_i \mu_e + D_e \mu_i) / (\mu_e + C \mu_i) \quad (6.17)$$

とくに荷電粒子の密度が十分に大きい場合には、 $n_e \simeq n_i$ となり、 C は 1 に一致するようになるので D_s は

$$D_s = \frac{D_i \mu_e + D_e \mu_i}{\mu_e + \mu_i} = D_a \quad (6.18)$$

に収束する。この D_a を両極性拡散係数という。式 (6.18) の意

味を簡単に説明すると、次のようである。式 (6.11) から拡散係数は粒子の平均熱的速度が大きいほど、すなわち粒子の質量が小さいほど大きくなる。したがって一般に $D_e \gg D_i$ である。すなわち電子はイオンよりも早く拡散しようとするが、残されたイオンが空間電荷を形成し、電子の拡散を妨げるように作用し、結局電子とイオンの拡散係数が平均化されるような効果が生ずるわけである。

以上は磁界がなく、直流電界が印加された場合の輸送現象に関する説明であるが、次に磁界が存在し、交流電界が印加されている場合について簡単に説明しよう。

やはり前述のモデル気体を考え、微量気体の分布関数が f_0 にきわめて近いとして、 f_1 に関する高次項を無視すると、式 (4.7) に粒子速度 \mathbf{v} を掛けて速度空間で積分した結果は次式を与える。

$$m \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} + \nu_m \mathbf{r} = \frac{qn\mathbf{E}}{m} - \nabla \cdot \left(\frac{\bar{v}^2}{3} n \right) + \frac{q}{m} (\mathbf{r} \times \mathbf{B})$$

いま、 $\mathbf{E} = E_0 \exp i\omega t$

したがって定常状態では

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 \exp i\omega t$$

と仮定して、これを上式に代入すると、

$$(i\omega + \nu_m) \mathbf{r} = \frac{qn\mathbf{E}}{m} - \nabla \cdot \left(\frac{\bar{v}^2}{3} n \right) + \frac{q}{m} (\mathbf{r} \times \mathbf{B}) \quad (6.19)$$

を得る。

そこで \mathbf{r} を \mathbf{B} に直交な 2 方向 (x, y 方向) および \mathbf{B} に平行な方向 (z 方向) の成分に分けて式 (6.19) を解くと、結局次のような関係が得られる。

$$\mathbf{r} = -\nabla \cdot [D]n + [\mu]n\mathbf{E} \quad (6.20)$$

ここに

$$[\mu] = \frac{q}{m} \begin{bmatrix} \frac{\nu_m + i\omega}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & \frac{-\omega_b}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & 0 \\ \frac{-\omega_b}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & \frac{\nu_m + i\omega}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\nu_m} \end{bmatrix} \quad (6.21)$$

$$[D] = \frac{v^2}{3} \begin{bmatrix} \frac{\nu_m + i\omega}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & \frac{-\omega_b}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & 0 \\ \frac{-\omega_b}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & \frac{\nu_m + i\omega}{(\nu_m + i\omega)^2 + \omega_b^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\nu_m} \end{bmatrix} \quad (6.22)$$

ここに ω_b : サイクロトロン角周波数。

すなわち μ , D はともにテンソル量となる。なおやや詳細な計算によれば、式 (6.21), (6.22) は

$$[\mu] = -\frac{4\pi}{3} \int [\mu] v^2 \frac{\partial f}{\partial v} d\tau_v \quad (6.23)$$

$$[D] = \int \frac{v^2}{3} [D] f d\tau_v \quad (6.24)$$

のように変形されなければならないことが示される。

なおプラズマの導電率も重要な輸送係数の一つであるが、これは式 (6.23) の $[\mu]$ から次のようにして容易に求められる。

いま荷電粒子の種類を表わす番号を一般的に l とすると、

$\nabla \cdot [D]n = 0$ の場合、式 (6.21) から

$$\mathbf{j} = \sum_l q n_l \mathbf{r}_l = \left(\sum_l q n_l [\mu]_l \right) \mathbf{E}$$

したがって、導電率 σ はやはりテンソル量となり、次式で与えられることになる。

$$[\sigma] = \left(\sum_i q_i n_i [\mu]_i \right) \quad (6.25)$$

とくに ω_p が ν_m に比べて極端に大きくない場合には、 $[\mu]$ の各要素は、 m_i に逆比例するので、(式 (6.21) 参照)

$[\mu]$ 電子の有限な要素 $\gg [\mu]$ イオンの有限な要素
の関係が成立する。したがって

$$[\sigma] \simeq -en_e [\mu]_e \quad (6.26)$$

の関係で導電率が与えられることになる。ただし添字 e は電子を意味している。

以上は不完全電離気体の場合の輸送現象であるが、完全電離プラズマの場合には、衝突に際して、電子—イオン系の内部で、運動量が保存されることになるので、不完全気体の場合とはやや様相が異なる。この完全電離プラズマの定常状態での輸送現象を、5章の結果を用いて論じてみよう。式 (5.19) において右辺重力項および左辺を無視し、圧力テンソルをスカラー量、電子およびイオンの密度をいずれも n 、イオン電荷を e とすると、この式に式 (5.26) を代入することにより

$$en\eta(\Gamma^+ - \Gamma^-) = \Gamma^+ \times B + nE \pm \Gamma_r p^\pm e \quad (6.27)$$

が得られる。ただしこの式は二つの式を同時に示したもので、肩字+はイオン、肩字-は電子の量であることを示し、±であらわされた肩字および加減算記号は、イオンの場合に+、電子の場合に-となる。以後磁界の方向を z 方向にとると、式 (2.27) から

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (6.28)$$

を得る。すなわちプラズマ圧力 p は磁界方向には変化しない。また式 (6.27) を

$$\Gamma^\pm = [\mu^\pm] n E - [D_{fp}] \Gamma_r p - [D_f^\pm] \Gamma_r p^\pm$$

の形に整理してみよう。これは、 Γ^\pm の z 成分を零、すなわち磁界方向のイオン流が零となるように坐標軸を選んだことに相当する。この場合の電子およびイオンの移動度は

$$[\mu^\pm] = \begin{bmatrix} 0 & 1/B & 0 \\ -1/B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A^\pm \end{bmatrix} \quad (6.28)$$

ただし $A^- = -1/en\eta$, $A^+ = 0$

またプラズマ圧力コウ配 $\Gamma_r p$ に関する実効的拡散係数は

$$[D_{fp}] = \begin{bmatrix} n\eta/B^2 & 0 & 0 \\ 0 & n\eta/B^2 & 0 \\ 0 & 0 & - \end{bmatrix} \quad (6.29)$$

電子ないしイオンの圧力のコウ配に関する実効的拡散係数は

$$[D_f^\pm] = \begin{bmatrix} 0 & \mp(eB)^{-1} & 0 \\ \pm(eB)^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - \end{bmatrix} \quad (6.30)$$

となる。ただし圧力コウ配の z 成分は零であるから、式 (6.29)、(6.30) の zz 成分 (右下項) は不確定の有限値となっている。また式 (6.25) に対応するプラズマ導電率を式 (6.28) から求めると

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\eta \end{bmatrix} \quad (6.31)$$

不完全電離気体の場合と異なり、印加外部電界は、磁界と平行的な方向だけに電流を駆動するという安定な完全電離プラズマの特異現象が、式 (6.31) によって説明されている。

最後に輸送現象の一つである熱伝導現象について簡単な考察を加えよう。簡単のために空間が、作用半径が十分に小さい1種類の中性気体から成立している場合を考える。しかも粒子は並進運動のエネルギーだけを持っている場合を想定する。さらに、外力および圧力傾斜がなく、したがって粒子の巨視的な流れがない場合を考えると、熱流 Q は次式で与えられることになる。

$$Q = \frac{1}{2} m \int v v^2 f d\tau_v \\ = \frac{1}{2} m \int v v^2 f_1 d\tau_v \quad (6.32)$$

ただし f_1 は式 (6.6) で定義され、次式を満足する分布関数である。

$$\left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{\text{coll}} = -V \cdot \Gamma_r f_0 = - \left(\frac{5}{2} - \beta^2 v^2 \right) f_0 V \cdot \Gamma_r \log T \quad (6.33)$$

ここに $\beta^2 = m/2kT$

ただし温度コウ配の方向を x 方向と仮定している。

式 (6.5) と同様にして

$$\left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{\text{coll}} = -\nu_m f_1$$

とおき、 ν_m を衝突周波数と解釈し、(これを Meyer の仮定という)⁽³⁰⁾、簡単のために ν_m = 一定と考えて、式 (6.29) の積分を求めると、次式を得る。

$$Q = -\lambda_0 \Gamma_r T \quad (6.34)$$

ここに $\lambda_0 = \frac{5}{2} \frac{n}{m\nu_m} (kT) k$

この λ_0 を熱伝導率という。

なおやや詳細な計算の結果によれば、たとえば粒子を完全剛体球と仮定した場合には、

$$\lambda_0 = \frac{75}{16} \frac{n}{m\nu_m} (kT) k \quad (6.35)$$

で与えられ、さらに粒子が分子の回転運動エネルギーのような内部エネルギーを含有する場合には、

$$\lambda_0' = \frac{5}{8} \frac{n}{m\nu_m} kT \left(\frac{15}{4} kT + u^{(i)} \right) \quad (6.36)$$

ここに $u^{(i)}$ は1粒子あたりの内部エネルギーで与えられることが証明されている。⁽³⁶⁾

完全電離プラズマの場合には、剛体球の場合と違って粒子間の力がクーロン力によって支配されているので、Boltzmann方程式が正確に成立しなくなり、取り扱いが複雑になるが、Spitzerらは⁽⁷⁾、空間が1価のイオンで構成されている場合、

$$\lambda_p = 4.5 - \frac{n_e}{m_e \nu_m} (kT) k \quad (6.37)$$

ここに $\nu_m = e^4 n_e \ln A / 32 \sqrt{2\pi} \epsilon_0^3 m_e^{1/2} (kT)^{3/2}$

で与えられる熱伝導率が得られることを明らかにしている。ただし ν_m は、電子のイオンに対する弾性衝突周波数であって、これについては次節で説明する。

空間に粒子の解離あるいは再結合などの反応が存在する場合には、空間の温度傾斜によって生ずる密度傾斜に対応して、拡散現象が生じ、それに伴って結合エネルギーが輸送され、等価的な熱伝導率が非常に大きくなることが明らかにされている。この場合の等価的な熱伝導率についても詳細な計算が行なわれているが⁽³⁷⁾、これについては本論文の範囲をこえるので、説明を省略する。

6.3 緩和時間

たとえば粒子の速度分布、内部エネルギーの分布、さらに広義にいうと粒子の励起、解離あるいは電離の割合が、その初期の状態より本質的に変化するまでの時間を緩和時間といい、上記の分布、あるいは割合が熱平衡に達する速さを表わす量として用いられる。

一般に緩和時間は、対象とする現象に応じて異なり、その厳密な解析は複雑であるが、1回の衝突（速度分布に対しては弾性衝突、電離に対して電離の衝突を考える）で分布あるいは割合が十分に無秩序化されることが予想されるので、緩和時間 τ の近似的には

$$\tau = (nSv_r)^{-1} \quad (6.38)$$

で与えられることになる。ここに S は3章で説明した衝突断面である。一般に v が分布を示す場合には、上式は v のすべての値にわたって平均化されなければならない。

以上は緩和時間のきわめて一般的な説明であるが、以下では、『完全電離プラズマの速度分布に対する緩和時間』という特殊な場合を取り上げてやや詳細な説明を加えよう。

この場合荷電粒子間の相互作用はクーロン力によって支配され、その微分衝突断面は、式(2.8)あるいは式(2.9)によって与えられる。したがってその全衝突断面 S は、式(2.8)、(2.9)の $S(x)$ を使用して、次式で与えられることになる。

$$S = 2\pi \int_0^\pi S(x) \sin x dx \quad (6.39)$$

ただし、ここで問題となるのは $\delta \rightarrow 0$ の極限で S が発散することであるが、6.1節で述べたように、1個の荷電粒子の作用力が、Debye長さの範囲で止まらなければならないことを考慮すると、 δ の最少値としては、式(2.6)の b を式(6.1)の λ_D とおいて、

$$\delta_{\min} = A$$

$$A = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 m_r v_r^2} \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 k T_e} \right)^{1/2} = \frac{12\pi(\epsilon_0 k T_e)^{3/2}}{n_e^{1/2}}$$

ととるべきであることが結論される。

これを式(6.38)に代入して整理すると、

$$S = \frac{(q_1 q_2)^2 \ln A}{4\pi\epsilon_0^2 (m_r v_r^2)^2} \quad (6.40)$$

を得、さらにこれを式(6.38)に代入して整理すると、

$$\tau = \frac{4\pi\epsilon_0^2 m_r^2 v_r^3}{(q_1 q_2)^2 n \ln A} \quad (6.41)$$

が得られる。

さらに、式(6.41)に速度分布関数を掛けて積分し、イオンと電子との質量を考慮すると、イオン相互間緩和時間 τ_{ii} などは

$$\tau_{ii} = \frac{16\sqrt{\pi}\epsilon_0^2 m_i^2 (kT)^{3/2}}{q_i^4 n_i \ln A} \quad (6.42)$$

$$\tau_{ei} = \frac{32\sqrt{2}\pi\epsilon_0^2 m_e^{1/2} (kT_e)^{3/2}}{(Ze^2)^2 n_i \ln A} \quad (6.43)$$

$$\tau_{ie} = \left(\frac{m_i}{m_e} \right) \tau_{ei} \quad (6.44)$$

で与えられることが容易に証明される。

速度分布に対する緩和時間以外の緩和時間についても、詳細な検討⁽¹³⁾⁽⁷⁾が加えられているが、これについては紙面の関係上、説明を省略する。

なお上述の速度分布に対する緩和時間は、近似的に、6.2節の輸送現象の取り扱い中で用いられている平均的な衝突周波数 $\bar{\nu}_m$ の逆数とみなすことができる。とくに式(6.43)の τ_{ei} を式(6.26)に代入して、導電率の磁界方向成分 σ_{11} を求めると

$$\sigma_{11} = \frac{\sqrt{2}\pi}{m_e} \frac{Ze^2 \ln A}{32\epsilon_0^2 (kT)^{3/2}} \quad (6.45)$$

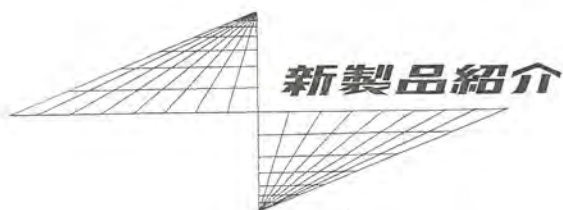
を得る。結局式(6.45)完全電離プラズマの導電率を与えることになる。なおSpitzerらのさらに詳細な計算によれば、

$$\sigma_{11} = 6.06 \times 10^8 T_e^{3/2} / Z \ln A \quad (6.46)$$

となることが証明されている。

参考文献

- (1)~(29) 前号引用文献
- (30) 本講座(その1):「三菱電機技報」38, No. 2 (昭39)
- (31) 石原, 木原: 気体論(I) 岩波講座, 現代物理学(昭29)
- (32) 武藤, 橋爪, 有山: 物性物理の基礎(I) 共立(昭38)
- (33) T. Kihara, O. Aono: J. Phys. Soc. Japan 18 6 p. 837.
- (34) S. Chapman, T. Cowling: The Mathematical Theory of Non-uniform Gases Cambridge (1939)
- (35) J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss: Molecular Theory of Gases and Liquids, U. of Wisconsin (1954)
- (36) H. Kennard: Kinetic Theory of Gases, McGraw-Hill (1938)
- (37) J. N. Butler, S. R. Brownaw: J. of Chem. Phys. 26 p. 1636 (1957)
- (38) A. B. Cambel, J. B. Fenn: Transport Properties in Gases, Northwestern U. (1958)



新製品紹介

航空機の安全飛行に貢献する 航空機用グラウンドクーラ用電機品完成

当社では地上において航空機の電子装置に交流入力および冷風あるいは暖風を送って一定温度の条件のもとで整備、点検するために使用されるグラウンドクーラの電機品をこのほど完成した。

このグラウンドクーラは冷暖送風装置と発電装置およびこれらの制御装置よりなり、高さ約 1.5 m、長さ約 2 m、幅約 1.5 m のトレー上に非常にコンパクトにまとめられ、 -20°C から 50°C の範囲の気温のもとで十分機能を発揮できるので、国内の各飛行場で活躍が期待されている。

発電装置は無サッシ式、7.5 kVA、400 c/s の交流発電機を 11 kW、50 c/s、3 ϕ 、200 V の当社標準の誘導電動機の上にのせ、V ベルトによって増速駆動している。とくに励磁機は起動時の電圧自己確立のため永久磁石を併用した当社独特の構造で、シリコンダイオードによる全波整流を行なっている。

制御装置は発電機および 4 台の電動機の操作および保護、温度調節装置の制御、直流サーブス電力の供給、外部電源切換操作などの機能を有しており、計器、表示灯、操作スイッチなどを操作盤の前面の傾斜部に集中配置しているのできわめて操作が容易にできるようになっている。また、内部収納機器の点検、整備のために操作盤の前面下部のフタが開くようにしてある。なお、交流発電機の自動電圧調整器はトランジスタによる完全な無接点方式を採用しており、小形かつ軽量である。

なお、上記のほかには商用周波数電源で駆動する冷暖送風機用の 5.5 kW、3 ϕ 、200 V、2 P の誘導電動機および冷凍機の凝縮器冷却送風機用の 1.5 kW、3 ϕ 、200 V、2 P の誘導電動機を使用されており、これら電動機および制御装置に商用周波数交流入力进行供給するために、商用周波数電源とグラウンドクーラとを結ぶ約 20 m の 3 心入力キャブタイケーブル、および 400 c/s の交流出力を航空機に供給するためにグラウンドクーラと機体とを結ぶ約 12 m の 4 心出力キャブタイケーブルも付属される。

■ 特 長

このグラウンドクーラ用電機品の特長としては、下記の事項があげられる。

(1) この発電機は、MIL Spec. (米軍規格) に準拠して設計、製作されたもので厳格な過負荷特性および瞬時応答特性などの要求を満足するものであり、高性能であるにもかかわらず小形かつ軽量である。

(2) 制御装置は非常にコンパクトにまとめられ操作、点検、整備がきわめて容易である。

■ 仕 様

交流発電機の仕様は下記のとおりである。

形 式 自己通風形無サッシ式

出力性能	7.5 kVA, 200 V, 400 c/s
相数	三相 4 線式
回転数	6,000 rpm
極数	8 極
力率	0.75 (遅れ)
過負荷	150% 負荷で 5 分間, 200% 負荷で 5 秒間
高調波含有率	全高調波 5% 以下, 各高調波 3% 以下
瞬時応答	最大瞬時電圧変動率 $\pm 33\%$ 以内, 回復時間 0.2 秒以内
重量	約 25 kg
外形寸法	215 mm ϕ \times 310 mm



図 1 発電装置



図 2 制御装置

3級ガスに対する耐圧防爆に新方式の画期的な新製品 水素ガス耐圧防爆形三相誘導電動機の完成

化学工業のめざましい発展に伴ない、電気機器に対する防爆規格の制定とあいまって、防爆形電動機の需要はますます増大の機運にあるが、いわゆる爆発等級3級のガスに対する耐圧防爆形電動機は現在まで、種々の点より製作困難と考えられ、3級ガスが存在する危険場所に対しては一般に高価格の内圧防爆形が使用されていたが、今回当社はあらゆる困難を排除してきわめて安全な保護装置を付した、水素ガス耐圧防爆形誘導電動機を完成し納入した。この電動機の仕様、特長は下記のとおりであるが、この種電動機としては画期的記録品である。今後将来性のあるものと期待される。

■ 特 長

- (1) 回転部分の防爆 スキマ は幾多の実験により決定された、微小 スキマ に加工されておりきわめて正確な値になるように設計上工作上材料上から考慮が払われている。
- (2) 回転部分の防爆 スキマ には特殊金属を装着している。
- (3) 回転部分の防爆 スキマ がきわめて小さいので軸偏心検出用の保護ハウジングを電動機内部に装着し(新案出願中)接触時には外部管制器(新案出願中)により警報を発し電動機を停止させることができる。
- (4) 接触検出用保護回路は水素ガス防爆上の本質的安全回路であり、実験により確認されたものである。
- (5) 電動機はもちろん水素ガス中での爆発試験に完全に合格したものである。

(6) 電動機の特性は JIS C 4201 に準拠し、取付寸法は JEM 1110 によるきわめて小形化された新製品で冷却効果については理想的冷却リウ付を採用している。

したがって今後各容量、極数の低圧カゴ形水素ガス耐圧防爆形電動機の製作が可能になった。

■ 仕 様

水素ガス耐圧防爆形三相誘導電動機

25 kW 6 極 200 V 50 ~ 2,236 フレーム ラーリ 駆動 コントラレッサ用 YΔ 起動、保護装置付、防爆構造 d3aG1



25 kW 6 P 200 V 50 c/s 2236 フレーム
接触保護装置 YΔ 起動器 内蔵管制器
水素耐圧防爆形誘導電動機

三菱 BH 形 2 極 (共通引はずし形) ノーヒューズシャ断器完成

三菱 BH 形 ノーヒューズシャ断器の新形シリーズの一環として、従来の各極個別引はずし形 2 極にかわる各極共通引はずし形 2 極 シャ断器を完成し市販することになった。

■ 特 長

- (1) 新形シリーズの統一設計で内部構造はいっそう簡潔となり、トルク機構を用いた早入早切式の手動開閉機構と耐久力の大きい焼結銀合金の接触子、およびダイオン消弧装置の採用によって、接触子の消耗は著しく軽減され長い寿命が保たれる。
- (1) 2 極同時開閉、同時シャ断であるため、いずれの極にも過電流が流れても全極同時にトリップし合理的な過負荷保護、短絡保護ができる。
- (3) 従来の個別引はずし形 2 極に必要であった延長ハンドル(連結ハンドル)が不用になるため、ハンドルの開閉操作が容易かつ円滑に行なわれる。
- (4) 外形寸法ならびに取付寸法は従来の個別引はずし形 2 極のものと同じであるためその取付、取換に際し互換性がある。

■ 仕 様

極 数 2 極

120 (570)

定 格 電 圧	AC 125, 250 V
定 格 電 流	15 A, 20 A, 30 A, 40 A, 50 A
基準周囲温度	25℃
シャ断容量	5,000 A
重 量	0.3 kg



(左) 1 極、(右) 2 極
BH 形 ノーヒューズシャ断器

オートチューニング (自動同調) 方式で世界最小

三菱オートラジオ AR-920 B 形 新発売

当社では、従来の手動式および押しボタン式オートラジオにかわる新しいオートラジオとして、このたびオートチューニング (自動同調) 方式として、世界最小で、しかも感度は新回路の採用で一段と向上したほか、そのほかにも多くの特長を備えた、高級オートラジオ AR-920 B 形を新発売いたします。

■ 特 長

(1) オートチューニング 方式で世界最小の オートラジオ

大きさは、50 (高さ)×160 (幅)×160 (奥行) mm と、オートチューニング 方式では、世界で最も小さく、ミニカー から大形車まで簡単に取り付けられる。

オートチューニング 方式の採用より

- ボタンを軽く押すだけで、つぎつぎと自動的に放送局を選ぶことができる。
- 指針の走行方向を左右に変えられる。シーソースイッチ をもっているのので、手早く希望の放送局をキャッチ できる。
- 遠方の局でも、簡単にさがし出せる (感度切換 スイッチ 付)。
- リモートコントロールスイッチ をつければ、後部席からも自由に選局 できる。
- 手動でも、好みの放送に合わせることができる。

など多くのすぐれた特長をもっている。

(2) 遠方の放送でも キャッチ できる高感度特性と安定した受信のできる自動利得調整 (AGC) 回路など、すぐれた性能をもっている。

(3) 出力トランスを使用しない独特のトランスレス出力回路と音質補正 (NFB) 回路を採用している。

(4) 専用に設計された 16 cm 丸形および 15×10 cm のダ円形 ダイナトンスピーカ の二つを備えているので好みによって自由に

選択できる。

(5) オールプリント 配線なので振動に強く、また チューナ の接点部分は、ダストラーフ になっているのですぐれた耐久性がある。

■ 仕 様

回 路 方 式	高周波 1 段 スーパーヘロダイ、別に制御回路用 2 段増幅付き
同 調 方 式	マイクロ 同調、手動同調、電動自動同調
自動同調方式	マイクロモータ による往復掃引方式
受信調波数	150~1,605 kc
電 気 的 出 力	最大約 4 W
電 源	11~15 V (極性切換 ソケット 付き)
ス ピ ー カ	16 cm 丸形、15×10 cm ダ円形 ダイナトンスピーカ 各 1 個
ト ラ ン ジ ス タ	10 石 (ダイオード 2 本)
消 費 電 流	13.2 V で 0.15~0.6 A (平均 0.3 A)
寸 法	本体 50 (高さ)×160 (幅)×160 (奥行) mm スピーカ部 60 (高さ)×150 (幅)×105 (奥行) mm
重 量	本体 1.5 kg、スピーカ部 0.32 kg



三菱 オートラジオ AR-920 B 形
現金正価 ￥20,700 (本体 ￥19,200、ロケットアンテナ ￥1,500)

聞 く 楽 し さ を ポ ケ ッ ト に

超小形三菱トランジスタラジオ 6X-515 形 新発売

当社では、このたび ポケット や ハンドバッグ にも入る安価で高感度なトランジスタラジオを新発売いたします。

■ 特 長

(1) ポケット にも入る超小形

コンパクト に設計してあるため、簡単に ポケット や ハンドバッグ におさまります。また 5 cm ダイナミックスピーカ を使用して、6 石 ラジオでは最高の性能を発揮します。

(2) 丈夫な プリント 配線

高感度の フェリコア を用いた平板 アンテナ をはじめ、すぐれた専用部品を使用して、プリント 配線に組み立ててありますから性能にムラがなく、衝撃や振動にも強く、故障がありません。

(3) 温度変化に強い パリスタ 付き

パリスタによって温度補償を行なっていますから、酷暑でも厳寒でも性能は変わりません。また電池電圧が下がっても音声がひずむようなことはありません。

(4) 便利で経済的な低電圧 セット

電源は単三 (UM-3A) 形乾電池 2 本ですから、簡単に取換えができ、電池代が安く経済的です。

■ 仕 様

回 路 方 式	6 石 スーパーヘロダイ
受信周波数	535~1,605 kc
中間周波数	455 kc
出 力	無ヒズミ 100 mW 最大 150 mW
電 源	UM-3A (単三) 乾電池 2 個
ス ピ ー カ	5 cm ダイナミックスピーカ
ア ン テ ナ	平板 パーアンテナ 内蔵
イ ヤ ホ ー ン	片耳用 マグネチックイヤホン 1 個つき
大 き さ	(幅) 6.2×(高さ) 9.4×(奥行) 2.6 cm
重 さ	170 g



6X-515 形三菱 トランジスタラジオ
現金正価 ￥3,880
月賦正価 ￥4,200

■ 東大テレメータ追尾装置完成

—— 大形観測ロケット追尾に新威力 ——

観測用ロケットは年々大形化の傾向を示し、ロケット飛行到達距離は増大の一途をたどっている。このような情勢より東京大学の生産技術研究所が中心となり、秋田県の道川ロケット実験場を廃止し、新たに九州大隅半島の内之浦に一大ロケット基地を建設する計画が進められた。

当社でも昭和36年よりこの計画に参加し、トラッキングテレメータアンテナおよび基礎据付工事をそれぞれ受注した。以来当社研究所各製作所の協力による設計製作の努力の結果、昭和38年9月に鹿児島県肝属郡内之浦町字長坪の東京大学鹿児島宇宙空間観測所にトラッキングテレメータアンテナの設置を完了した。

ロケットの飛行到達距離の増大に伴い超遠距離性のトラッキングレーダの必要性が生じてきた。これらの要求を満足するために直径18mの低雑音高利得のパラボラを有するわが国最大のトラッキングレーダを製作した。

本装置は現在、ロケットとのテレメタリングが主目的であるが、将来宇宙空間の観測用や電波天文学の研究にも使用し得る汎用性を備えている。またこれらの装置は国産の技術により開発し製作したものである。

昭和38年12月11日に内之浦の観測所で行なわれた観測用ロケットL2形2号機の打上げ実験に当追尾装置も参加し、ロケットが発射し太平洋に姿を消すまでの約650秒間追尾して、ロケットより送られて来た高層データ(電波伝パン、地磁気の影響、イオン密度など10チャンネル)をテレメータ受信機でみごとに受信記録することに成功した。このL-2-2ロケットは全長16.492m、外径73.5cm、

重さ6.17tあり、到達高度410km、飛行時間645秒、水平距離607kmの性能を有する優秀なものである。

これらの追尾アンテナはロケット発射台より約300mの場所に設置されており、そのため追尾用アンテナはあらかじめ計算されたロケットの軌道上でかつ仰角約70度で待受けとなる。アンテナがロケットを捕捉するまで手でアンテナを動かしロケットよりのパイロット信号捕捉後は自動追尾装置による全自動追尾に移る。追尾系としては日付、時間、方位角、仰角、ドップラ周波数などを自動的にタイプライアウトすることができる。一方ロケットよりの周波数変調された高層データは同一のアンテナで受信し、テレメータ受信機により復調され自動的に磁気テープおよびペン書きオシログラムに記録することができる。

またパラボラの焦点の部分と取り付けられた一次フック(輻)射器を電動駆動で180度ひっくり返すことにより人工衛星をも追尾することができる。

当追尾アンテナの追尾可能距離についてみると捕捉できる最小受信レベルは受信機の入力端に換算して約-130dBmであり、これは仮に利得0dBの送信アンテナを有するロケットが1Wで送信したとして約20万km以上追尾可能であり、月までの距離の半分に相当する。これよりこの追尾装置の超遠距離性がうかがえる。これらのごく微弱な信号を良く捕捉追尾するためにPhase-Locked Demodulator(略してPLD)方式による狭帯域受信機が用いられている。

またパラボラアンテナには工業用テレビジョン用カメラが取り付けられ、これにより光学観測も可能である。

なお本装置は大略してサイマルデニアスローピング方式アンテナ(直径18m)、油圧発生装置、追尾受信機および制御増幅装置、管制装



図1 観測用ロケットL2形2号機発射角度に設定されたところ



図2 観測用ロケットL2形2号機発射



パラボラアンテナで受信した信号はアンテナの中心部の円筒形の内部で中間周波に変換される。左上部のリングの中で一次輻射器が回転し、ロケットおよび人工衛星に切り換えることができる。手前の家屋に油圧発生装置が収納されている。

図3 トラッキングテレメータアンテナ

置、テレメータ 受信機および記録器、自動電圧調整装置などより構成されている。

表 1 テレメータ 追尾装置概略仕様

追尾方式 周波数	サイマルテニアス ローピング 油圧駆動方式 a) ロケットのパイロット信号 296.7±0.05 Mc 連続波 (円偏波) b) テレメータ信号 298.1 Mc (FM-FM) c) 人工衛星のビーコン信号 4080±0.2 Mc 連続波 (左旋円偏波)
空中線	直径 18 m, 開口角 150 度, パラボラ反射鏡 利得 30dB (ロケット系), 53 dB (人工衛星系) 瞬間最大風速 75 ms まで破損しない
総合角度精度	1 mil rms 以下
追尾範囲	方位角 ±540 度, 仰角 -8~94 度
最小追尾入力	約 -130 dBm
油圧発生装置	水平, 垂直駆動ディーゼルエンジン 175 馬力 50~70 kg/cm ²
アンテナ 回転角速度	水平 4°/s, 垂直 1.5°/s (最大値)
テレメータ受信機 チャンネル数	14
データ記録方式	追尾系 タイプライタ, テレメータ系 磁気テープおよびペン書きオシロ

■ 東洋最大の

東京電力北東京変電所納め 345 MVA 変圧器完成

当社では、かねて東京電力北東京変電所納めとして 345,000kVA 変圧器 1 台を受注鋭意製作中であつたが、このほど完成し客先立合での工場試験も好成績で終了し出荷された。この変圧器は変電所向け 3 巻線変圧器としてはわが国最大容量の記録品である。定格事項は次のとおりである。

特別三相 50 c/s 345,000 kVA 連続定格 送油風冷式 外鉄形
負荷時 タップ 切換器付

一次	275-268.75-262.5 kV ±7.5%	300 MVA
二次	147 kV	300 MVA
三次	63 kV	90 MVA

北東京変電所には既設器として 200 MVA 3 バックが運転されており、本器は 4 号器となるわけであるが、本器では容量的に 1.5 倍の 300,000 kVA となった。このような大容量器であるため重量的に輸送が困難となるので、本器では特別三相方式を採用し、各相を車両形設計として シュナール 貨車でつり掛式輸送を行なった。コイルの設計にあたっては交互配置の群数を従来普通で使用され



東京電力北東京変電所納め 345,000 kVA 変圧器

ている 4 群から 8 群に増加したので短絡機械力も十分低い値におさえることができた。また コイル 絶縁には当社 “HI-L” 耐熱処理絶縁紙を使用し、短時間過負荷特性を大幅に改善してある。負荷時 タップ 切換器としては、当社が技術提携を行なっている西独 MR 社の F 形 800 A 定格のものを使用した。この タップ 切換器は 4 抵抗を使用した抵抗式のもので、全埋込形構造となっており、高い信頼度、容易な保守点検、コンパクト な デザイン などの特長を有している。冷却器としては当社が新しく大容量変圧器用として開発した プレートフィンクーラーを採用した。これは従来のものに比べ単器熱交換能力を 2 倍程度に増大したもので、大容量器における冷却の困難さを解決したものである。また ブッシングには最近開発された コンデンサブッシングの新しいシリーズを使用するなど新技術を十分に駆使した設計となっている。

■ 東京電力中東京変電所納め 345 MVA 変圧器受注

当社では、このほど東京電力より中東京変電所納め 345,000kVA 変圧器 1 台を受注した。中東京変電所には、すでに当社製 260,000 kVA 2 台が運転されているので、今回受注したものは 3 号器となるが、容量的には、既設の 1.5 倍容量の 300 MVA (等価容量 345 MVA) となっており、また負荷時 タップ 切換器つきとなっている。仕様は次のとおりであるが、これは当社が最近完成した東京電力北東京変電所納め 345,000 kVA 変圧器とほとんど同定格である。

特別三相 50 c/s 345,000 kVA 連続定格 送油風冷式
外鉄形 負荷時 タップ 切換器付き

一次	275-268.75-262.5 kV ±7.5%	300 MVA
二次	147 kV	300 MVA
三次	63 kV	90 MVA

■ わが国最大の

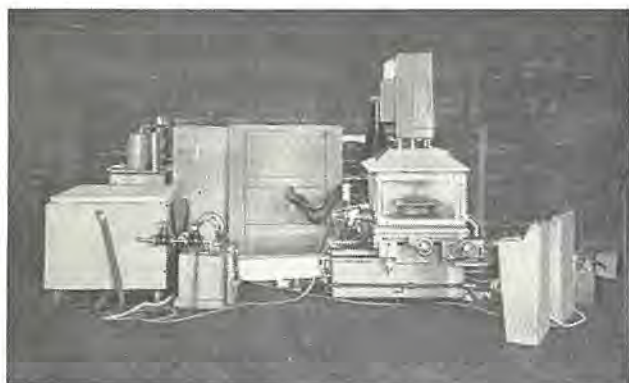
加工電流容量 5,000 A MC-50 V 形電解加工機

去る昭和 37 年秋に、加工電流容量 2,000 A の MC-20 V 形機を完成以来、さらに電流容量の大きい電解加工機を開発中であつたが、さきほど加工電流容量 5,000 A の MC-50 V 形機を完成、昭和 38 年末、後藤鍛工に納入された。

この MC-50 V 形は MC-20 V 形の加工面積に比べ 2.5 倍の面積まで加工ができ大いに需要の増加が期待される機種である。

要 目

電 源	入力 三相 220/200 V 50/60 c/s 120 kVA
	出力 無負荷電圧 DC 20 V 最大許容電流 5,000 A
電 極 送 り	自動制御 ストローク 210 手動送り ストローク 25 早送り ストローク 200
制 御 方 式	油圧 サーボ サーボパンプ は当社製



MC-50 V 形 電解加工機

加工寸法	幅 550×奥行 800×高さ 400 (最大)
加工液	食塩水および特殊溶液
据付面積	幅 6,000×奥行 4,000×高さ 3,000
総重量	12 t (全付属装置を含む)
加工速度	5,000 A のとき 85 g/min
加工遊ギ	0.1~0.5
被加工材	鋼, ステンレス鋼, ニッケル合金, ステライト
電極材料	黄銅, 鉄, 銅

特長

- (1) 電極の消耗がないので, 1 個の電極を繰り返し使用することができる。
- (2) 前述のごとく 5,000 A のとき毎分の加工量が 85 g という非常に大きい加工速度を有する。
- (3) 放電加工のように加工面が硬化することがない。
- (4) 操作が簡単で未熟練者でも容易に取り扱うことができる。
- (5) 高性能の油圧サーボ系を使って安定な加工を常に行なうことができる。
- (6) 独自のガス混入方式を採用して底面の条コン(痕)が生じないので飛躍的に加工精度が改良されている。

用途

- (1) タン(鋳)造形, モールド形, しぼり形などの形彫りには, 普通の機械加工では不可能な焼入後の加工が可能である。
- (2) 耐熱鋼, 磁石鋼など機械加工では不可能が著しく長時間を要するものも, 能率的に加工が可能である。
- (3) 以上のほか, 切断加工, 形削り加工など特殊加工にも広く応用できる。
- (4) 放電加工機の前加工として電解加工機を使用することにより, 放電加工の精度と加工能率を向上することができる。

■ 立体収レン質量分析計

東京大学原子核研究所向けとして新しい形の質量分析計を製作し好性能を得た。この装置は電磁石利用の質量分析計で, 分析用の電磁石の作る磁場は, 半径方向に変化する不均一磁場を用いているので, 同じ大きさ(半径)の他の形のものが一方向(半径方向)収レン性のみを有するのに対して, この分析計では立体収レン性, 高分解能をもつ。

工業計測器として利用した場合には, 微量成分の材質検査などに威力を発することが期待される。

特長

- (1) 収レン性は立体的(半径方向と磁界方向)であるため, 普通の形の質量分析計の数倍のイオン電流が期待でき, 微量質量分析に有利である。
- (2) 分解能は普通の形に比較して2倍近くよくなっているのでも小形のものでも十分大きな分解能が期待できる。
- (3) イオン電流測定の際の安定性もよく(ふらつきが少ない)また, 同じ試料の測定値の再現性もよい。

仕様

イオン半径	20 cm
偏向角	169°42'
イオン加速電圧	1~5 kV
磁場の強さ	最大 4,500 G
分析可能範囲	M/e 2~300
イオン源スリット	0.1 mm
コレクタスリット	1.0 mm
分析能	M/ΔM 340 以上
電子電流	50~500 μA
電子加速電圧	75~200 V
熱イオン源フィラメント	DC 0.5~5 A
励磁電流	1~30 A (25 V)
イオン流測定	二次電子増倍管と振動容量電位計またはパルス増幅器併用



立体収レン質量分析計

■ 三菱金属鉱業桶川工場納め 圧延機制御用プロダック装置完成

ハステロイシート圧延機の自動圧下制御装置としてのプロダック装置を昨年末, 現地桶川工場に納入した。図1は操作盤で, 図2はキュービクルである。

圧延機は3ハイで, 正方向圧延は下ロールと中ロールで行ない, 逆方向圧延は上ロールと中ロールで行なうもので, ロール駆動電動機は, 1,100 kW 600 rpm の誘導電動機, ロール圧下には, 220 V 26 kW, 575 rpm のワードレオード制御直流電動機を用いている。

プロダックは, 各パスにおける圧延機のロール位置を設定器によりあらかじめセットしておき, 圧延の進行とともに, 順次読出して,



図 1 フロダック 操作盤



図 2 フロダック・キュービクル

ロール位置を各パスごとに自動設定するものである。

今回納入のフロダック装置の制御方式は次の4とおりである。

- (1) ロール位置のみの自動設定
- (2) ロール位置の自動設定、ティルティングテーブル 上げ下げの自動起動および圧延後の テーブル 自動停止。
- (3) ロール位置の自動設定、ティルティングテーブル 上げ下げの自動起動、テーブルの自起動および圧延後の テーブル 自動停止
- (4) 任意パスから、任意パスまでの連続全自動圧延制御、また、このフロダック装置による ロール位置の精度は、仕様により、0.25 mm であるが、おもな特長を上げれば
 - (1) 操作盤と キュービクル 各一面からなり、小形である。
 - (2) デジタル 制御を用い、その要素として、標準 トランジスタ NOR カードを用いた無接点式である。
 - (3) AD 変換器は無接点式である フォト 式を採用している。
 - (4) ロール位置のリセットには選択押し ボタンを用い、10進法で セット することができる。
 - (5) 特殊圧延作業に適用して、飛越あるいは、後もどり パスの読出しのための パス 選定押し ボタンを設けたことにより、任意

のパスを読出すことができるとともに、一個のパス 進め押し ボタンにより ロール 位置を順次に読出すことができる。

(6) 手動ロール圧下中でも、自動の場合のどのパスのロール位置に相当するかを常に表示しているの、手動から自動への移行が容易である。

(7) パス 選定押し ボタンと、停止パス 選定 スイッチをあらかじめセッ

トすることにより、その間の各パスは連続的に自動圧延を行なうことができる。

■ 川崎製鉄千葉製鉄所納め 20t 電気機関車受注

川崎製鉄千葉製鉄所納めの No. 5 コークス 炉用 20t 交流電気機関車 1 両を受注した。同所には当社製の交流電気機関車がすでに 4 両稼働しており、今回受注のものもこれらとほぼ同種のものであるが、コークス 炉の大形化とそれに伴う機関車の性能向上の対策として密着式自動連結器の採用、コロガリ軸受の採用、結油系統の改良、消火車 トビラ 開閉装置の改良など種々の改良がとりいれられている。機関車の主要々目をあげれば次のとおりである。

電 気 方 式	三相交流, 400 V, 50 c/s,
重 量, 軸 配 置	20 t, B 配置
機 関 車 出 力	60 kW (1 時間定格)
機 関 車 速 度	7.2 km/h
車 輪 径	860 mm
減 速 装 置	平歯車二段減速
制 御 方 式	電磁接触器式間接制御
ブレーキ方式	SM-3 空気 ブレーキ, 手 ブレーキ
追尾運転装置	磁気増幅器式
自動停止装置	打子式電気式
消火車 トビラ 開閉装置	圧縮空気式回転弁操作

なお本機関車のおもな特長は次のとおりである。

(1) 本来 コークス 炉用電気機関車はコークス 炉から赤熱 コークスが押出されている間は、その速度と時間に マッチ した定速度運転が望まれこれを追尾運転と呼んでいるが、本機関車には磁気増幅器式による追尾運転装置を備えている。したがって運転者がひんばんな マスコン 操作による速度制御をしなくても自動的にほぼ一定の速度を維持することができる仕組みとなっている。なおこの装置はある程度速度調整可能な構造としてある。

(2) また、赤熱 コークスを積載した消火車を消火塔内に停止させる作業も繰り返し行なわれるがこれもそのつど運転者がブレーキ弁操作をするわずらわしさを除くために消火車が塔内の定位置に達したとき自動的に運転停止状態に入り同時に空気 ブレーキ が作動するよう自動停止装置が装備されている。したがって暴進防止の効果も兼ねることができる。

カ プ ラ ン 水 車 の 調 速 装 置

発明者 尾 畑 喜 行

よく知られているように、カプラン水車の出力調整装置は導翼弁と可動翼ランナ弁より構成されている。ところで、ランナ弁を操作するサーボモータが導翼弁用のサーボモータに比べきわめて大きいのにこれに給油する油圧装置の容量が経済的理由によって小さいために、ランナ弁の追従速度が著しく遅れるのが普通である。

図1は導翼開度が時間的に(g)のように変化してもランナ弁は(θ)のように遅れるために、水車の回転力(T)は時効性を持つことを示している。

この発明は、ランナ弁の開度によって調速系を修正する調速装置を提供し、上記のごとき遅れを除こうとするもので、調速装置が機械式でも電気式でも実施できるが、ここで機械式の場合を例示する。

図2において、カプラン水車(1)は水車の回転数の変化を検知するスピーダ(F)、導翼用油圧制御弁(CVG)、導翼開度調整用サーボモータ(SMG)、および速度調整輪(SR)を備え、調整輪(SR)が実際に導翼の開度を変化させて水量を調節する。レバー(L_1)(L_2)、連結カ(杆)(B_1)(B_2)は帰還系である。導翼開度に最も適したランナ開度を得るためランナ用油圧制御弁(CVR)はレバー(L_1)によりカ(K_1)(K_2)、レバー(N_1)を介し制御される。また水車(1)はランナ用サーボモータ(SMR)を備え、サーボモータはピストン(PR)の両側部(A')(B')の圧力差によってリンク機構(H)を駆動し、ランナ弁(RV)の開度を調節する。

さらに、ランナ弁開度により導翼開度帰還量を調節するため、ランナ弁の開動に応動する軸(11)はその延長部にカム(CM_2)を設け、またカ(K_4)、レバー(N_2)、カ(K_5)を結合している。カ(K_5)は中間の拘束点(E)において可トリボム(M)と滑動的に係合している。可トリボム(M)は連結カ(B_2)の点(20)と固定部(21)との間に張られたバネ(S)で常に張力を与えられている。連結カ(B_2)の下端はレバー(L_2)と滑動的に係合している。したがってカ(K_4)の上下動により連結カ(B_2)とレバー(L_2)との接合点(D)はレバー(L_2)上の位置を変え、導翼開度による調速機への帰還量が変化する。なお、カム(CM_2)の形状はランナ弁の開度が導翼開度に対し所定の最終安定状態となった場合、カ(K_1)上の点(F)と拘束点(E)とが相対し、リボム(M)が一直線に張られ、点(20)と点(F)と

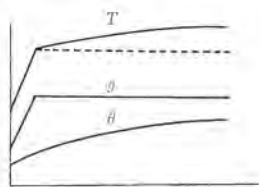


図 1

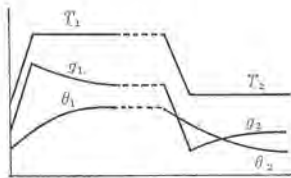


図 2

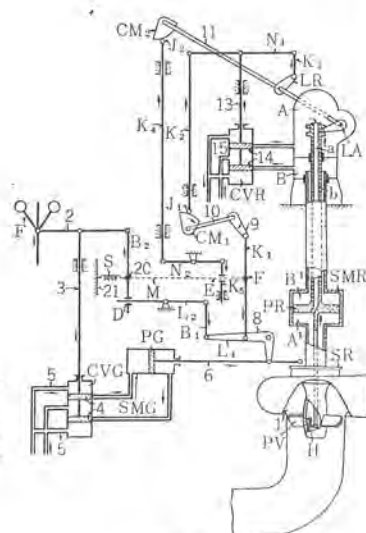


図 3

の間の距離がリボム(M)の所定長さに等しくなるように上記カムの形状を定める。

この装置によれば、導翼とランナ弁が非対称的に運動している場合は、点(F)と拘束点(E)との間にずれが生じ、リボム(M)をたわませるから、点(20)は図の右方に移動し、接合点(D)もレバー(L_2)上を右方に移動するから連結カ(B_2)による帰還量が割引されることになる。この結果調速のために必要な導翼の開度(g)は過渡的に割増されるが、ランナ弁の開度(θ)の追従に応じて漸減し、両者は最終的に所望の関係を保つようになる。しかし回転力は急速に所望の値に達してその値を継続するから制御系の安定化に寄与するところが大きい。

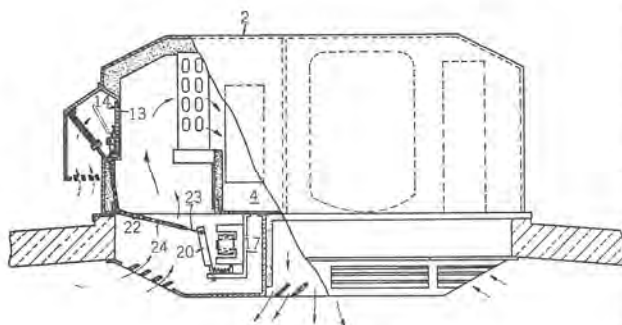
図3はこの発明の調速装置の特性を示し、導翼開度(g)、ランナ弁開度(θ_1)および回転力(T_1)は水車速度の低下した場合を、また導翼開度(g_2)、ランナ弁開度(θ_2)および回転力(T_2)は水車速度上昇の場合につき横軸に時間(t)をとって変化状態を示している。この図からこの発明が回転力の時効性を除いていることが明らかである。

(特許第 298939 号)(山田記)

車 両 用 天 井 形 冷 房 装 置

考案者 牛 田 善 和・加 藤 敏 夫

この考案は、小形冷房装置を天井に取り付け、ダクトを用いずに直接冷風を車内に送風する天井形冷房装置において、車内に新鮮な外気を取り入れる空気取入装置、あるいは車内の汚染空気を外部に排出する排気装置の開閉ラタ(蓋)の操作装置に関するもので、冷房装置(4)を内蔵した箱体(2)の空気流通口(13)に開閉ラタ(14)を設け、この開閉ラタと電磁装置(17)の可動鉄心(20)とを、可トウ(提)線(23)とこれ貫つ(挿)した案内管(24)によって構成された連結装置(22)により連結して、上記開閉ラタ(14)の開閉操作を行なうようにしたもので、開閉ラタ(14)の開閉操作がきわめて簡単になるばかりでなく、一車両に装着された多数の天井形冷房装置の開閉ラタも、車掌室に設けた単一の操作スイッチにより同時に開閉操作ができる実用的効果を有するものである。



(実用新案登録第 570127 号)(土居記)

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
38-10-3	応用物理学会	結晶製作用高温炉の製作およびシールド効果	岡田 武夫・粟根 克和	中央研究所
38-10-3	応用物理学会	Fild Emitter の Blunting の特性	青木 伸一・山中 昭男	中央研究所
38-10-4	応用物理学会	吸収端付近における SiC 単結晶の光吸収	岡田 武夫・香崎 銀博	中央研究所
38-10-8	日刊工業新聞社	放電加工機	東田 孝彦	無線機
38-10-18	近畿地方発明 センター	放電加工機	東田 孝彦	無線機
38-10-25	日本科学技術情報 センター	情報活動への マイクロフィルム の利用	中島 孝夫	無線機
38-10-27	電気関係学会	ストリップライン 電力分配器	川上 昭	無線機
38-10-27	電気関係学会	サーボ式任意関数発生器	柴谷 浩二・井塚 秀弥	無線機
38-10-27	電気関係学会	多重式時間関数発生装置	大鳥羽幸太郎・桑田 博	無線機
38-10-27	電気関係学会	アナコン における自動係数切替器	柴谷 浩二・井塚 秀弥 持田 雅夫	無線機
38-11-4	高分子学会	不飽和 ポリエステル の粘弾性	柴山 恭一・鈴木 康弘	中央研究所
38-11-5	計測自動制御学会	自動平衡系の不安定現象	吉山 裕二	中央研究所
38-11-5	規格協会北海道支部	品質月間記念講演会 “企業における QC”	前田 幸夫	本社
38-11-6	東芝中研	タリウム 水銀 ランプ	牧野 六彦	大船
38-11-6	照明学会	ブラックライト による照明効果	小堀富次雄	本社
38-11-6	照明学会関東支部大会	広告照明に利用する偏光材料	依田 功	大船
38-11-7	八王子 ロータークラブ	新しい照明	小堀富次雄	本社
38-11-7~8	名古屋工業大学	冷凍工学	石川 嘉孝	静岡岡
38-11-8	非線形磁気応用専門委員会	方向 ヒステリシス 磁心を用いた PWM 演算装置	阪尾 正義	中央研究所
38-11-11	京都大学	薄膜回路	小林 信三・福渡 英世 福見 勝彦・大角 功	北伊丹
38-11-12	日本学術振興会	CdS 薄膜	伊吹 順章	中央研究所
38-11-14	三菱金属(株)	液状陰イオン交換体の分析化学への応用	石橋 勝	中央研究所
38-11-14	ターボ 冷凍機講習会 冷凍協会	冷凍機用電動機付属装置及び電気回路	中野 久夫	長崎
38-11-15	エネルギー 変換研究会	MHD 発電	伊藤 利朗	中央研究所
38-11-15	新日本工機技術懇談会	機械工作の自動制御について	小島 一夫	鎌倉
38-11-15~16	名古屋工業大学	冷凍工学	石川 嘉孝	静岡岡
38-11-15~17	昭和 38 年度電気通信学会 全国大会	モレクトロン・デジタルブロック (2D 方式)	小林 信三・忍足 博 田中 禎一	北伊丹
38-11-15~17	〃	モレクトロン 基本増幅回路	小林 信三・忍足 博 吉富 正夫	北伊丹
38-11-15~17	〃	モレクトロン・フリップフロップ	小林 信三・福渡 英世 大角 功	北伊丹
38-11-15~17	〃	SiO 薄膜 コンデンサ	小林 信三・福渡 英世 福見 勝彦	北伊丹
38-11-15~17	〃	シリコン 電界効果型 トランジスタ	山本 隆一・藤井 泰郎 木下 健一	北伊丹
38-11-15~17	〃	シリコン 固体回路 NOR ゲート	山本 隆一・土屋 鍊平 安芸 司	北伊丹
38-11-15~17	〃	シリコン 固体回路基本 マトリックス による 2 段直 結増幅器	山本 隆一・土屋 鍊平	北伊丹
38-11-17	電気通信学会	磁心マトリックス・プレーンの最悪情報配置	倉橋 浩一郎	中央研究所
38-11-17	電気通信学会	GaAs レーザ・ダイオード	須崎 渉	中央研究所
38-11-17	電気通信学会	差動増幅器の入力抵抗による温度特性	大西 良一	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	広帯域 サークュレータ 形 エサキダイオード 増幅器	武富 大晃・喜連川 隆 白幡 潔	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	ダイポール 偏位 コーナリフレクタアンテナ	水沢 正雄・喜連川 隆 白幡 潔	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	パラクタダイオード の直列共振周波数	白幡 潔・喜連川 隆	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	パラメトリック 増幅器の Junability	立山 茂・喜連川 隆 白幡 潔	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	広帯域 8 分の 1 波長 ユニポールアンテナ	武市 吉博・喜連川 隆 水沢 正雄	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	単一導波管直交偏波共用 アンテナ 1 次放射系	小畑 哲男・喜連川 隆 立川 清兵衛	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	人工衛星 ロケット 追尾用 Simultaneous Labing Antenna	立川 清兵衛・喜連川 隆	中央研究所
38-11-18	電気通信学会	サーキュレータ の動作磁界についての検討	紅林 秀都司・中原 庄治郎 川端 俊一郎	中央研究所
38-11-18	中部自動制御研究会	自動最適化制御装置: オプコン	福永 圭之介	中央研究所

次号予定

三菱電機技報 Vol. 38 No. 4

ビル電気設備特集

- H種絶縁乾式変圧器
 - C形空気シタ断器
 - ビル用特高キューピクル
 - ビル電源設備の制御
 - ビル用3kV, 6kV級閉鎖配電盤
 - DB形気中シタ断器
 - 低圧バスダクト
 - ビル用コントロールセンタ
 - 非常用ディーゼル発電機と制御装置
 - ビル冷房用誘導電動機の回転子形式と起動方式
 - 最近の事務所照明の傾向と技術的進歩
 - エレベータ・エスカレータの配電計画
 - 空気調和設備のプロセスオートメーション
-
- 名古屋御園座のどんちよう照明
 - 開放形ターボ冷凍機用誘導電動機
 - レクチフォーム
 - パラメトリック増幅器の実用化に関する諸問題
 - 東海道新幹線架線電圧検知構内無線共用アンテナ
 - MF-9形7Gc帯トランジスタ化多重無線装置
 - トランジスタ式10/25W 400Mc/FM無線電話装置
 - 技術解説：電空併用ブレーキ装置
 - 技術講座：プラズマ(その3)

三菱電機技報編集委員会

委員長 小倉弘毅
副委員長 宗村平精
常任委員 明石 安二
" 大野寛孝
" 河合武彦
" 小堀富次雄
" 篠崎善助
" 高井得一郎
" 中野光雄
" 馬場文夫
" 宮内圭次
" 山田栄一
委員 岩原二郎
" 大森淳夫
" 片岡高示
" 神崎 遼
" 榎本俊弥
" 堀 真幸
(以上50音順)

昭和39年3月22日印刷 昭和39年3月25日発行
「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル内)
(電)東京(212) 大代表 6111

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
電話(291)0912 振替東京 20018

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本 社	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京(212) 大代表 6111
大 阪 営 業 所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪(312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋(56) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神町58・天神ビル (電) 福岡(75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(6)大代表9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(22)代表 6101
富山営業所	富山市総曲輪490の3・明治生命館 (電) 富山(3)代表 3151
広島営業所	広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島(21) 代表 4411
高松営業所	高松市寿町1の4・第1生命ビル (電) 高松(2) 代表 5021
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京(212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪(312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋(56) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神町58・天神ビル (電) 福岡(75) 代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(6)大代表9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(22)代表 6101
富山商品営業所	富山市総曲輪490の3・明治生命館 (電) 富山(3)代表 3151
広島商品営業所	広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島(21) 代表 4411
高松商品営業所	高松市寿町1の4・第1生命ビル (電) 高松(2) 代表 5021
北九州出張所	北九州市小倉区京町10の281・五十鈴ビル (電) 小倉(52) 代 表 8234
静岡出張所	静岡市七間町9の10・池田ビル (電) 静岡(53)代表 9186
岡山出張所	岡山市上石井 174・岡山会館 (電) 岡山(4) 0331~2
長崎出張所	長崎市江戸町30・中島ビル (電) 長崎(2) 0293
金沢出張所	金沢市田丸町55の1 (電) 金沢(3) 6213~4
長野出張所	松本市本町3の123 (電) 松本(2) 1058
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
商品研究所	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
名古屋製作所	名古屋市中村区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋(73)代表 1531
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 福岡(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) 大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原(0427) - (7) - 代表 3231・3241
静岡製作所	静岡市小島110番地 (電) 静岡(85) 大代表 1111
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
大船製作所	鎌倉市大船800番地 (電) 鎌倉(6) 代表 2121
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山(2) 1220~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 尾島 270 番 太田代表 4311 番
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所1 (電) 京都(92) 代 表 1141
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) 鎌倉(6) 大代表 6171
伊丹工場	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 8021
名古屋工場	名古屋市中村区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋(73) 代 表 1531

懸垂形モノレールカー名古屋市東山公園に完成

わが国では初めての懸垂形モノレールカーがこのほど名古屋市東山公園に誕生した。これはフランスサフエジ社と技術提携した日本エアウェイ開発会社が名古屋市交通局協力会の協力を得て建設したもので、新三菱重工株式会社と当社を中心としたいわゆる三菱グループによって製作された。モノレールカーには、この座式と称して路線にまたがる形のものと懸垂形があるが懸垂形で本格的に営業運転を行なうのは今回のものが世界最初といえる。

■ 特 長

- (1) 乗心地が一段とすぐれており、軌条からの振動、騒音がほとんどない。
- (2) 粘着性能がよいので高加速、高減速が得られしかも軌条面が露出していないから雨雪による影響がなく、とくに積雪地向けとして最適である。
- (3) 曲線半径を小さくしても安全に高速度が出せる。
- (4) ATS装置（自動列車停止装置）を備えて安全性を高めてある。
- (5) 懸垂形であるために客室床面を100%利用できる。
- (6) 地上の占有面積が小さく、また建造費が安価である。

以上のように懸垂形モノレールカーは新しい交通機関として数々の利点をもっているため、最近の都市交通混雑緩和策ないし打開策の有効手段として今後の発展が大いに期待される。

■ 主要要目

電気方式	DC 600 V	最高速度	80 km/h
定 員	123 人（座席は ロマンスシート）	主電動機	直流直巻 75 kW, 300 V, 280 A, 1,300 rpm(4台/両)
満 員	150 人	駆動方式	2 段減速直角駆動方式
自 重	22.6 t	制御方式	直並列弱め界磁発電 ブレーキ 付自動進段式
全 長	17,100 mm	空気ブレーキ方式	SME-D 形電空併用方式
性 能	1 時間定格出力 300 kW	照 明	交流ケイ光灯
	加速度 4.0 km/h/s	車体構造	オールアルミ合金製
	減速度（常用） 4.0 km/h/s	非常脱出装置	非常用 ハシゴ およびなわ バシゴ
	〃（非常） 4.7 km/h/s	保安装置	保安用自動列車停止装置、車体接地装置



名古屋東山公園に設置された懸垂形モノレール

