

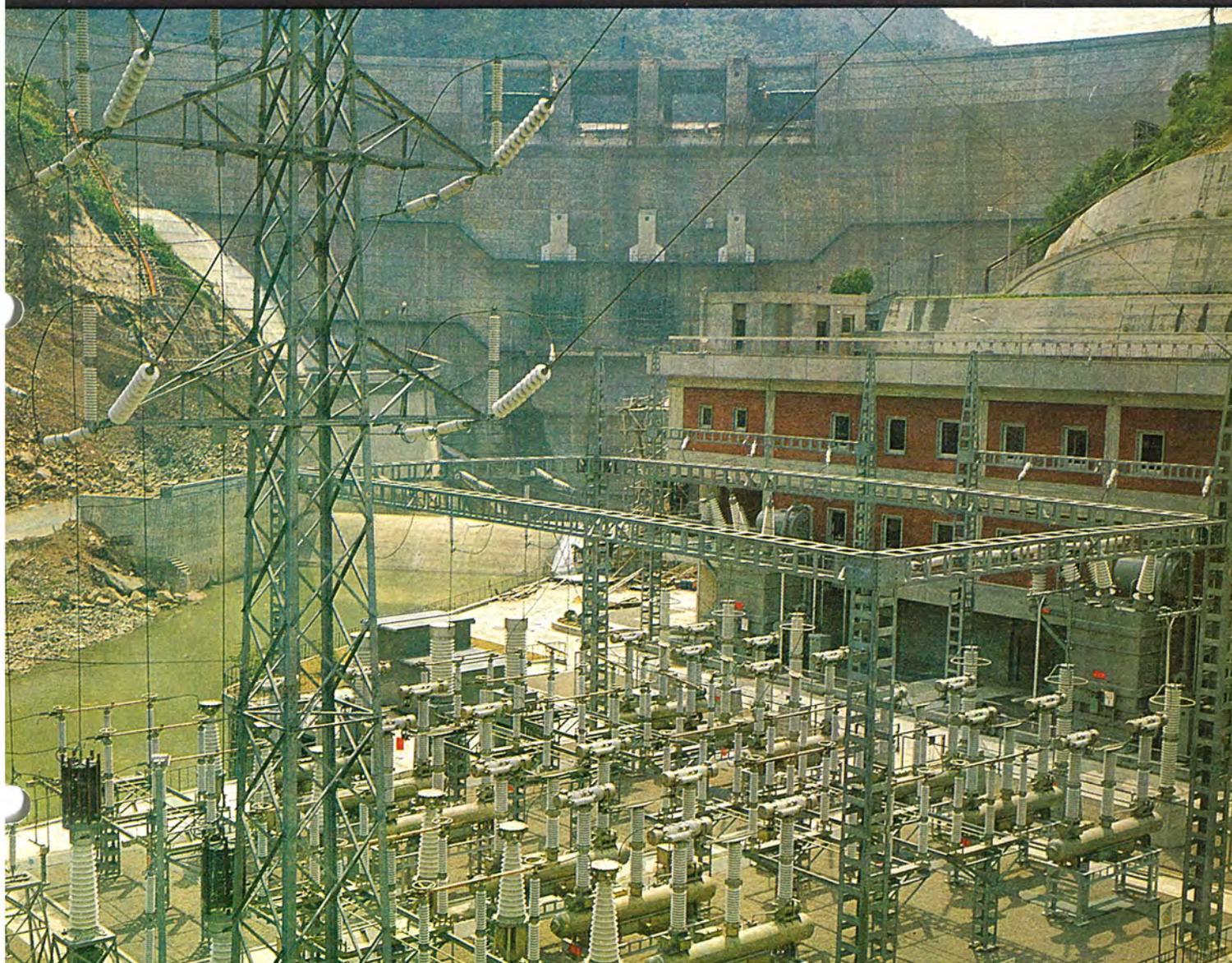
MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

Vol. 38 October 1964

10

関西電力天ヶ瀬発電所



富士山頂から台風をにらむ 富士山頂気象用レーダ 完成



世間の注目を集めて富士山頂に建設中であった 気象用レーダが完成した。9月22日には、レーダがキャッチした映像を気象庁の受信機にリレーする 初テストが行なわれ成功をおさめた。

来年3月までには最終調整も終わり、本格的な観測を開始する。

現在わが国にある気象用レーダで最も大きいのは室戸にある出力600kW、観測半径400kmのものであるが、富士山頂レーダは出力2,000kW、到達距離はゆうに800kmを越え、この範囲にある本州全域、九州の東半分、北海道の一部および小笠原諸島を観測範囲におさめ、従来観測の空白地域となっていた南方海上を完全に掌握し、本土を台風の災害から守る砦として、また総括的予報観測に新しい威力を発揮する。

レーダ画像は、7,000 Mc 帯 マイクロ 多重回線により約100kmの距離にある気象庁に映像伝送しレーダ観測室で観測を行なうとともに、山頂レーダは観測室からリモートコントロールできる。もちろん、レーダ画像は山頂指示機にも表示され観測できる。また、山頂の気温、気圧、風向、風速、露点など気象データは毎定時、自動的にこの回線を利用して気象庁へ伝送し印字記録をする。

富士山頂レーダは、昭和38、39年2ヵ年度予算で、山頂局舎、電源設備を含めて当社が一括受注したが、昨年山頂局舎の建設に引き続いて本年も6月より工事が進められているが、調整後数ヵ月間の運用準備期間をおいて来春気象庁に引き渡される。

レーダ局舎は、直径9m 2階建て、1階観測室にはレーダ指示機があるほか、上記テレメータによる気象データが集中表示され、2階にはレーダ送受信機、リレー端局が設置されている。この局舎の屋上には直径5mのパラボラ空中線を取り付け、空中線を風雪より保護するため、気象用レーダではわが国初めてのレドームを装備している。このほか山頂設備としては、マイクロ無線機室にはリレー送受信機を、またその屋上にはレドーム付のリレー用空中線を取り付け、電源室には20kVA 3台、7.5kVA 2台のディーゼル発電機の設備も完成している。

富士山頂レーダは、出力2,000kWの気象用レーダは世界最大のものであり、このような高所に設置された例もない。また、レーダをマイクロ無線回線で遠隔操作する方式を採用されたのはわが国でも初めてのことであり、レーダリレーによるリモートコントロールの実用は世界でもめずらしい。

このように他に類をみない大出力レーダの建設は、建設期間年間3ヵ月、低気圧、悪気象条件を見事克服してここに完成したが、これは当社の総力をあげての努力の結実であり、活躍が期待されている。



図1



図2

図1 東京気象庁から遠隔操作

図2 ヘリコプターによるレドームワクの空輸



表紙説明

天ヶ瀬発電所は、建設省が「淀川水系改修基本計画」の一環として、洪水調節を主体として建設された多目的ダムである天ヶ瀬ダムから取水するもので、近くに宇治の観光地をひかえているので、観光面おも考慮に入れ、建設されている。

わが社は、同発電所に 55,000kVA カサ形水車発電機を 2 台、(この発電機は、デリヤ水車としてわが国最大容量を誇る立軸 50,000kW デリヤ水車に直結される。) 運転制御装置および配電盤など多くの機器を納入した。

詳細は、次号論文を参照されたい。



三菱電機技報

昭和 39 年 第 38 卷 第 10 号

目 次

《論 文》

正弦波発電機 生駒鎮郎... 2

三菱金属鉱業株式会社蒲川工場納めハステロイシート 3 段ロール圧延機用プロダック装置 ... 齊藤 豊・山下弘雄... 6

接触部の温度上昇と短時間電流量 左近一郎・渡辺慶人... 12

AT 形 ボールレグ S (低圧配電線用自動電圧調整器) 白神十九一... 17

ZKA 形, ZKB 形 パウダクラッチ および ZKB 形 パウダブレーキ ... 宮崎秀夫・村田俊哉・中田幹雄・植田雅晴... 20

宇宙通信用大形アンテナの油圧サーボ機構 金子敏夫・池上駿一郎・渡辺秀也... 29

G-20 計算機直結データ処理装置 間野浩太郎・大野 豊・中村一郎・河野隆一・岩田 誠... 34

MELCOM-1530 ソフトウェア (1) —SIA— 嶋村和也・和田 宏・中島正志... 39

発電効率計 龍田直紀... 46

スイッチ動作におけるトランジスタの最大許容電力 嶋村和也・磯崎 真・織田博靖... 51

400 Mc 帯全固体化多重無線装置 丸浜徹郎・阿部 修・沼田敏男・笹田雅昭・一の瀬友次... 58

空気イオン発生器とその応用 原 仁吾・平林庄司・山口南海夫・平塚 篤・杉本 賢
片桐幸彦・神谷昭美・白石和雄・吉村 宏・成田勇三... 64

レーザの実験 (II) He-Ne ガスレーザ 谷口一郎・白倉一雄・岡田武夫... 75

《技 術 解 説》

変圧器用鉄心材料 (その 1) 清水英範・丸谷領一... 81

《新 製 品 紹 介》

BP-361 形多重母線保護継電装置完成・MR-10 形多接点交流電磁継電器を開発・N-605 形交流電磁接触器およびND-605 形直流操作交流電磁接触器完成・MD-65, 105 および 155 形直流操作交流電磁接触器を開発・ノーヒューズシヤ断器 NF-50A & B, NF-100A-B & C 形用簡易形操作トッテ機構を開発・三菱 FM マルチステレオ DSS-302 形新発売・三菱 フルオートユーザー JE-300 形新発売・三菱 マイクロポンプ MP-11 形新発売 87

《ニュースフラッシュ》

LV-GL 形配電線路用避雷器完成・わが国最大容量後藤鍛工草津工場納め 1,200 kW 誘導加熱装置完成・小田急電鉄納め新方式再生制動電車完成 91

《特 許 と 新 案》

ケイ光体の輝度を増大させる方法・ケイ光灯の製造方法 93

《表 紙》 2. 富士山頂から台風をにらむ富士山頂気象用レーザ完成
3. 動水腐食試験装置完成
4. 電気大工三菱ドリルキット

正弦波発電機

生駒 鎮郎*

Sine Wave Generators

Kōbe Works Tetsurō IKOMA

Sine wave generators are machines capable of generating voltage of strict sine wave form under any load condition. They are extensively used for a power source in dielectric strength test, core test, instrument test and other various tests on cables, condensers and insulators, and further for supplying power to AC computer panels and sonars. A principle that if a magnetic field is constructed to a cylindrical type and is wound by balanced polyphase windings, it functions to absorb the negative-sequence armature reaction under a single phase load, is a discovery made by Dr. Shimizu of Kyōto University. Based on this concept, Mitsubishi has built a single phase 200 kVA (three phase 350 kVA) sine wave generator and also a single phase 1,500 kVA (three phase 2,600 kVA) unit for the Dainichi Nihon Electric Wire & Cable Co. They are now in successful operation.

1. ま え が き

正弦波発電機は絶縁耐力試験、鉄心試験、計器試験、ケーブル、コンデンサなどの試験、さらには交流計算盤、ソナーなどの電源として用いられる。これは普通の突極形発電機と異なり、いかなる負荷条件においても厳密な正弦波電圧を発生しうるものである。

当社ではこのほど大日本電線株式会社にケーブル試験用として、単相 200 kVA (三相 350 kVA) および単相 1,500 kVA (三相 2,600 kVA) 正弦波発電機を製作納入し、好調に運転中であるのでその概要を報告する。

2. 原 理

突極形交流発電機では、電機子のリアクタンスは2倍周波数でもって変化し、電機子電流の流れたとき、これと単相界磁コイルとの相互作用により、高調波分を生じ電機子電圧波形はひずむ。

これに対して正弦波発電機は円筒形界磁を持ち、その周辺上でのパーミアンスはどこでも等しい。したがって電機子、界磁コイルの起磁力が正弦波であれば、空け磁束分布は正弦波となる。また界磁コイルを平衡多相巻線とすれば、逆相分電機子反作用を吸収することは古く京都大学清水博士の考案によるものである⁽¹⁾。

2.1 界磁コイル起磁力

これを正弦波にするには種々の方法がある。ターボ発電機のように集中巻とするか、ダイヤモンドコイルの2層分布巻線とするかに大

表 2.1 正弦波形の各コイル巻数

コイルのマガリ (歯ピッチで)	ターン数 %	コイルのマガリ (歯ピッチで)	ターン数 %
2	6.8	3	10.3
4	13.2	5	16.5
6	19.6	7	21.4
8	22.8	9	25.0
10	25.4	11	26.8
12	13.2		
計	100%	計	100%

(毎極当り 12 スロットの場合)

表 2.2 9/12 ピッチコイルの起磁力の高調波含有率

n	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
%	117.63	16.24	-9.744	-16.81	-13.07	-4.429	3.748	7.843	6.92	2.564	-2.32

別できるが、前者は各コイルでターン数を変化させ波形を正弦波に近づけることが割合簡単ではあるが、回転子にこの多相巻線を設けることは少々困難であり、ダイヤモンドコイルの2層分布巻線はその反対である。

2層巻線形誘導電動機の回転子のような巻線を適当に結線および部分的短絡をして、ある程度の近似正弦波を得ることができ(2)、集中巻として各コイルの巻数を変化させることにより、正弦波に非常に近似した起磁力をうることができる(3)。

$$h_n = \frac{4IN_0}{n\pi} \times \sin \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\alpha\pi}{2} \dots \dots \dots (2.1)$$

h_n … 第 n 次高調波起磁力の値 I … 電流
 N_0 … コイルの巻数 n … 高調波の次数
 α … コイルのマガリ (ユニット)

式(2.1)はコイル1個に対するもので分布巻線の場合集中巻であれば、おのおののコイルについて式(2.1)の値を求め、全コイルについて加える。

ダイヤモンド巻のときは、さらにおのおのに

$$\frac{\sin \frac{n\pi}{2p'}}{\sin \frac{n\pi}{2q}} \dots \dots \dots (2.2)$$

を乗する。ここに p' … 毎極の相帯数 q … 毎極のミジ数
 たとえば毎極あたり 12 スロットのとき、正弦波を得るためには、各コイルのターン数は表 2.1 のとおりであれば、最も正弦波に近くなる。

さらにこの各コイルについて式(2.1)により各高調波を求める。すなわち表 2.1 の 9 歯ピッチのマガリのコイルに対しては各成分は表 2.2 のようになる。

全コイルを合成すれば表 2.3 のようになる。

2.2 平衡多相巻線界磁コイル

上記のような正弦波起磁力を持つ界磁巻線を複数組使用して、平衡多相巻線を形成させる。普通簡単のため二相巻線とする。界

表 2.3 合成起磁力の高調波含有率

n	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
%	100.00	0.5269	-0.7018	0.5305	-0.4241	0.3519	-0.2976	0.2544	-0.2194	0.1843	-0.0996

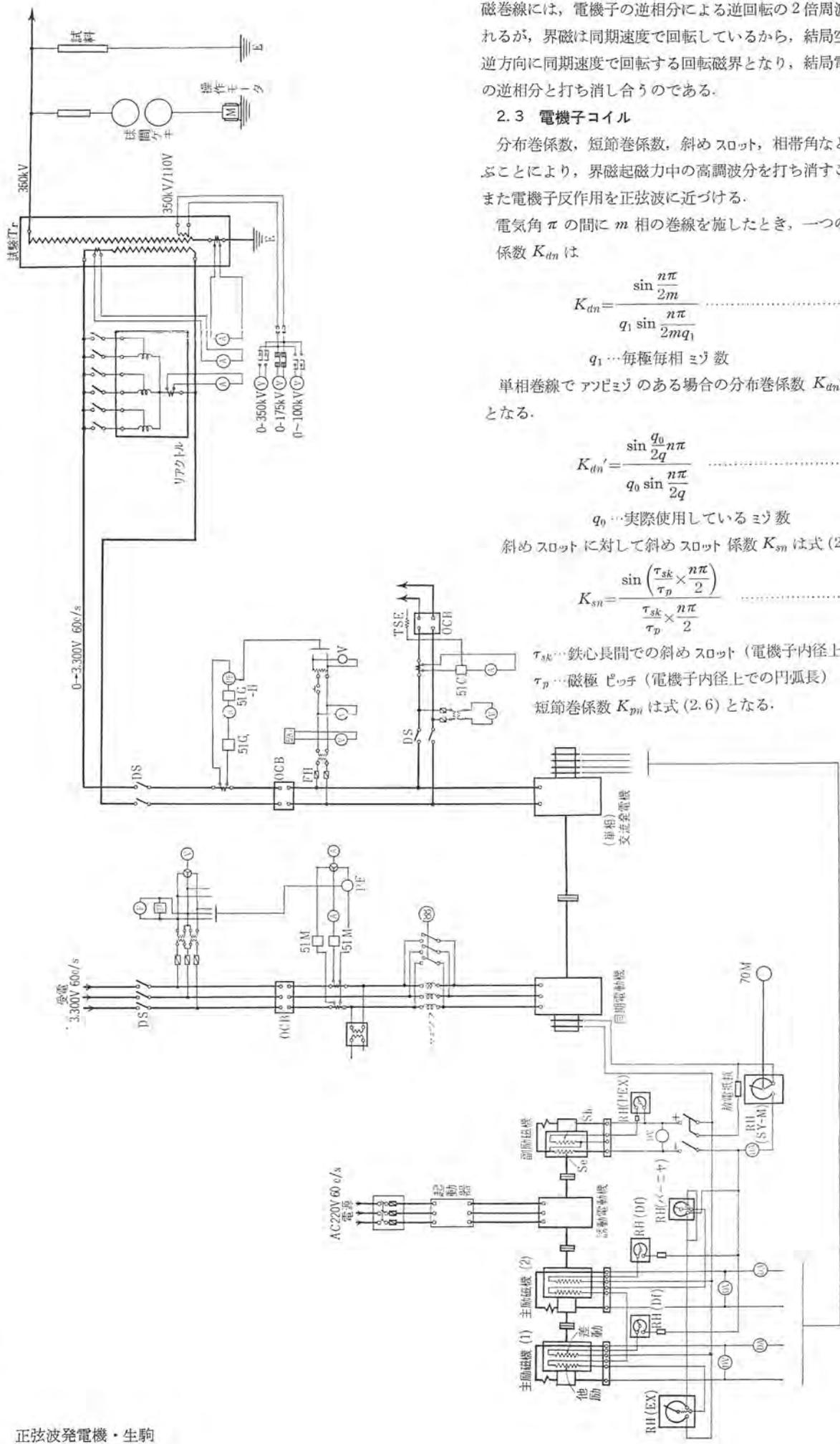


図 3.1 展開接続図 Fig. 3.1 Sequence diagram.

磁巻線には、電機子の逆相分による逆回転の2倍周波数電流が流れるが、界磁は同期速度で回転しているから、結局空間に対して逆方向に同期速度で回転する回転磁界となり、結局電機子反作用の逆相分と打ち消し合うのである。

2.3 電機子コイル

分布巻係数, 短節巻係数, 斜めスロット, 相帯角などを適当に選ぶことにより, 界磁起磁力中の高調波分を打ち消すことができ, また電機子反作用を正弦波に近づける。

電気角 π の間に m 相の巻線を施したとき, 一つの相の分布巻係数 K_{dn} は

$$K_{dn} = \frac{\sin \frac{n\pi}{2m}}{q_1 \sin \frac{n\pi}{2mq_1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

q_1 ... 毎極毎相ミジ数

単相巻線でアビミジのある場合の分布巻係数 K_{dn}' は式 (2.4) となる。

$$K_{dn}' = \frac{\sin \frac{q_0 n \pi}{2q}}{q_0 \sin \frac{n\pi}{2q}} \dots\dots\dots (2.4)$$

q_0 ... 実際使用しているミジ数

斜めスロットに対して斜めスロット係数 K_{sk} は式 (2.5) となる。

$$K_{sk} = \frac{\sin \left(\frac{\tau_{sk}}{\tau_p} \times \frac{n\pi}{2} \right)}{\frac{\tau_{sk}}{\tau_p} \times \frac{n\pi}{2}} \dots\dots\dots (2.5)$$

τ_{sk} ... 鉄心長間での斜めスロット (電機子内径上での円弧長)

τ_p ... 磁極ピッチ (電機子内径上での円弧長)

短節巻係数 K_{pm} は式 (2.6) となる。

$$K_{pm} = \sin n\alpha \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (2.6)$$

α …電機子コイルのマダリ (1ユニット)

2.4 波形を良好にする諸要素

上記のようにいろいろの要素があるが、これをまとめると下のようになる。

- (1) ミジ数を大とする。ただし界磁と電機子とのミジ数の関係に注意を要する。
- (2) 分布巻係数。
- (3) 短節巻係数。
- (4) 斜めスロット。
- (5) 各コイルのターン数を変える (とくに界磁コイル)。
- (6) 電機子相帯角, 結線。
- (7) 分布巻, 平衡多相巻界磁。
- (8) 半閉ミジ。
- (9) 空ゲキの大きな鉄機械とし, 短絡比を大として電機子反作用を減ずる。
- (10) 強力平衡カゴ形ダンパ巻線。
- (11) ヒステリシスを小とすするため, 電機子, 界磁とも低鉄損の薄い電気鉄板パンチングを用いる。
- (12) 磁束密度を小とし, 飽和による悪影響を避ける。

3. システム

図 3.1 に展開接続図を示す。

200kVA 正弦波発電機は平衡二相分布巻界磁を用いており, 各相巻線は独立した2台の直流電源により励磁されている。1,500kVA 正弦波発電機は単相分布巻界磁である。

発電機電圧は, 0~3,300V 間で非常に微細な調節を要するので, 主励磁機は, 他励差動界磁付とし副励磁機として複巻定電圧特性のものを用い, これを駆動用同期電動機の励磁用にも併用した。したがって, 正弦波発電機の界磁は正逆に励磁可能であり, 界磁抵抗はパーニア付とす目的を達している。

電源周波数は, 近來その変動は非常に小となったので, 正弦波発電機駆動用電動機としては同期電動機を使用した。

4. 定 格

4.1 正弦波発電機

単相 1,500kVA, 三相 2,600kVA, 0~3,300V, 60c/s
力率 ±0.8, 1,200rpm, 6極, SFC, 開放保護形

駆動用同期電動機

1,400kW, 三相, 3,300V, 60c/s, 力率 1.0, 1,200rpm, 6極
SFS, 開放保護形

正弦波発電機用励磁機

17.5kW, 110V, 1,750rpm, 他励差動界磁付



図 4.1 単相 1,500kVA, 三相 2,600kVA 正弦波発電機
Fig. 4.1 1,500kVA (single phase), 2,600kVA (three phase) sine wave generator.

電動機用励磁機

7.5kW, 110V, 1,750rpm, 他励

定電圧複励磁機

1kW, 110V, 1,750rpm, 複巻

4.2 正弦波発電機

単相 200kVA, 三相 350kVA, 0~3,300V, 60c/s,
力率 0.5 進~1.0, 1,200rpm, 6極, SFC, 開放保護形

駆動用同期電動機

180HP, 三相, 3,300V, 60c/s, 力率 1.0, 1,200rpm, 6極
SFS, 開放保護形

正弦波発電機用励磁機

2台, 3.5kW, 110V, 1,750rpm, 他励差動界磁付

定電圧励磁機

2.5kW, 110V, 1,750rpm, 複巻

上記のように正弦波発電機は6極としているが, これは毎極あたりのミジ数を大きくとれることと, 機械的強度の点で最適であるからである。

外形写真を図 4.1 に示す。

5. 電機子コイル

2.4 節で述べたような諸項に注意して設計された。

スロット数はできるだけ多くとり, 界磁スロット数との関係も適当にした。分数ミジを使用することについては分数高調波, 電機子反作用の不均一などの影響により, かえって実用上ふつごうを生ずるので, 整数ミジを採用した。

毎極毎相スロット数 q_1 を5とし, 三相星形結線の二相分を単相巻線として利用し, また毎極毎相のスロット5個の内中央の1個を遊ばせ, コイルピッチを $13/15=0.866$ に選ぶことにより, 第3, 5, 7高調波を消す方法が海野氏により考案されている⁽⁴⁾。これも第11高調波以上の高調波成分をも問題にするときは, 全スロットを使用したもののほうが, かえってヒズミ率が少ないので, 本機はアンピスロットを作らず, 結線は三相星形結線とし K_{dn} , K_{pm} を適当に選定し, 高次の高調波成分も含めてその和が最小になるようにした。

スロットはスロットリップを避けるため半閉形とした。

出力電圧が3,300Vであるので, パラ巻コイルを採用すること

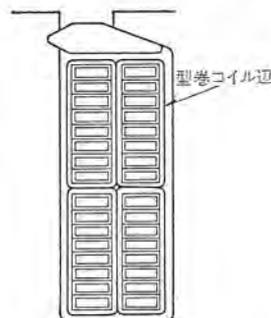


図 5.1 電機子スロット
Fig. 5.1 Armature slot.

図 5.2 完成固定子
Fig. 5.2 Stator completed.



が不可能でコイルは型巻のダイヤモンドコイルとしている。したがってコイルを半閉スロットに入れるため、1スロットあたり4コイル辺を納めるようにし、その1コイル辺は半閉スロットの開口部を通過してそう入できるものとした。つまり1スロットあたり2コイルを納めている。図5.1参照、図5.2は完成固定子である。

6. 電機子コア

本機に使用する鉄心はヒステリシスの小さいことと、同時に磁束の飽和点が高くなるべく高いことが必要である。

使用磁束密度は鉄心が飽和を示す点以下に押えた。

前述のように電機子スロットは半閉ミゾであり、さらにスロットリップルを減少させるため、2電機子スロットピッチのスキウを行なった。1スロットピッチでは電機子スロット開口の影響で多少のリップルが残る。

コアは6セグメントで、フレーム内周に設けられたスキウガイドキーによって、各セグメントは正確にスキウされた位置に固定される。このキーの形状はラセン状の立体曲面であるので、製作法には特別の考慮をはらった。

7. 界磁コイル

前記のように平衡二相集中巻で各コイルのターン数は、起磁力で正弦波に最も近づくように選定した。導体には平角2重ガラス巻銅線を2列用いたが、ターン数をなるべく微細に変化できるように図7.1に示すように各コイルを2分し、外部での接続により各ターンごとに素線1本とした。界磁コイルは正確に成形後バラバラにして素線1本ずつコイル入れを行なった。コイル入れ後キュアされ熱固めされている。図7.2は完成回転子である。



図 7.1 界磁スロット
Fig. 7.1 Field slot.



図 7.2 完成回転子
Fig. 7.2 Rotor completed.

8. 界磁コイルエンド

二相集中巻でターン数の異なる各コイルの支持および接続には相当の苦心を要した。

各コイルの間のスキマにはガラスフェノール積層板を用いて詰め、
正弦波発電機・生駒

なお残るこまかいスキマにはポリエステルブリアレグパテを用い固定した。

パンディングはポリエステルガラスパンディングを全面的に応用した。コイルエンドの最外層には、ポリエステルパンディングを所要寸法に機械加工後、非磁性鋼のリチニングリングを焼付めた。非磁性鋼としては回転速度が1,200 rpmであるので、SUS27HPをリング状に曲げ溶接したもので十分であった。このリチニングリングは界磁コイルおよびダンパエンドリングを外周からさきさえている。

9. ダンパ巻線

界磁スロットウェッジは図9.1のような形状で、鉄と銅との組み合わせでなっている。 $\alpha < \beta$ のように作ってあるので、鉄ウェッジも銅ウェッジも上方に抜け出すことはない。これによって界磁スロットは半閉スロットとなってスロットリップルを少なくしている。この銅ウェッジはウェッジの下の銅棒とともに、ダンパ棒の役目を果しており、鉄心端部でたがいに接続され、完全平衡カゴ形巻線を形成している。この接続は界磁コイルエンド部の上で行なわれるので相当の困難がともなったが、巧妙な方法を案出して成功した。この強力なダンパ巻線は電機子反作用の逆相分を吸収し、またスロットリップルを防止する。

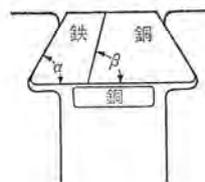


図 9.1 界磁スロットウェッジ
Fig. 9.1 Field slot wedge.

10. 波 形

前述の諸手段を施した結果、無負荷電圧波形の高調波成分は表10.1のようになった。

第21高調波までの全ヒズミ率は0.071%である。負荷時においても強力ダンパ巻線と平衡二相分布界磁とにより、完全に電機子反作用を吸収し、出力電圧波形はまったく変化しない。

表 10.1 出力電圧高調波含有率

n	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
%	100	0	0	0.0512	0	0.0403	0.0197	0	0.0145	0.0148	0

11. む す び

本機程度の高調波含有率を要求される正弦波発電機は特殊機であり、その製作の機会が少ない。大日本電線株式会社のご好意により製作の機会を得た本機は、考えうるすべての方法を用いて完全な正弦波を得ることに成功し、第21高調波までの全ヒズミ率0.071%という成績をおさめることができた。設計、製作には社内関係各部門のあらゆる創意、工夫、協力があったことを記し謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 清水:「電学誌」362, (大7). 368, (大8). 403, (大11). 411 (大11).
- (2) Shildneck: Trans. AIEE, 51, 484 (1932).
- (3) Appleman: Trans. AIEE, 56, 1359 (1937).
- (4) 佐野:「芝浦技報」20, 127 (昭16).

三菱金属鉱業株式会社 桶川工場 納め ハステロイシート 3段 ロール 圧延機用 プロダック 装置

斉藤 豊*・山下 弘雄*

PRODAC System for Hastelloy Sheet Three High Rolling Mill

Kōbe Works Yutaka SAITŌ・Hiroo YAMASHITA

PRODAC is a trade name derived from a Programmed Digital Automatic Control, which was introduced in the Mitsubishi Denki Giho-issued in May, 1962. Described herein is one built specially for use with a hard metal three high rolling mill, consisting of an operation panel and a cubicle and all the control being from the operation panel. The main assembly of the control circuit is a Mitsubishi standard NOR card which comprises such semi-conductors as transistor and diodes. This makes the set small size, no noise and no contact to assure great reliability and easy maintenance. It is now operating in the Mitsubishi Metal Mining Company, Okegawa Works with success.

1. ま え が き

プロダックは、すでに本誌 Vol. 36 No. 5 で紹介したが、この名は Programmed Digital Automatic Control からとったものである。圧延機に適用したプロダック装置は、あらかじめセットした圧延プログラムに従って圧延機を自動制御するもので、今回製作納入

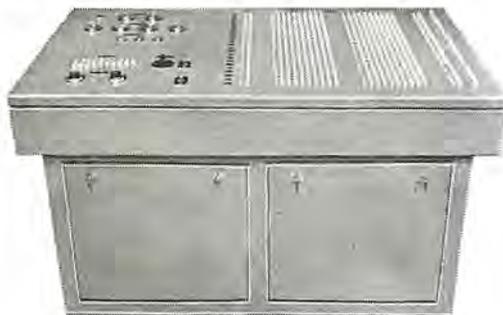


図 1.1 プロダック操作盤
Fig. 1.1 PRODAC control desk.



図 1.2 プロダックキュービクル
Fig. 1.2 PRODAC cubicle.

したハステロイシート 3段 ロール 圧延機制御用プロダック装置について紹介する。

図 1.1 は、この装置の操作盤、図 1.2 はキュービクルであり、すべての制御および表示は操作盤で行なわれる。

圧延機は特殊材料を圧延するだけに、各種特殊な制御方法が要求されているが、現地での据え付け運転はきわめて好調で今後の活躍が大いに期待される。

2. 3 段ロール圧延機および主要回転電機品

図 3.1 は圧延機制御の概略図で、加熱炉から出された材料は、前面テーブル、チルチングテーブルにより送られ、圧延機の中ロールと下ロールで圧延される。この方向を正方向とし、逆方向圧延は上ロールと中ロールで行なわれる。正方向圧延では、チルチングテーブルは“下げ”であり、逆方向圧延ではテーブルは“上げ”となる。表 2.1 に掲げたものは主要な回転電機品である。

表 2.1 主要回転機一覧

台数	回 転 電 機	仕 様
1	圧延機駆動用三相誘導電動機	1,100kW 300V 50c/s 590rpm 連続定格
2	ロール圧下用直流発電機	35kW 220V 1,450rpm 一時間定格
2	ロール圧下用直流電動機	26kW 220V 570/1,150rpm 同上
2	前後面テーブル駆動用三相誘導電動機	30kW 200V 50c/s 600rpm 同上
1	チルチングドライブ用三相誘導電動機	15kW 400V 50c/s 750rpm 同上

3. プロダック方式による圧延機制御

3 段 ロール 圧延機の ロール 自動圧下制御についてのプロダックダイグラム 図 3.1 について制御動作を説明する。

(1) 操作盤上の各パスのロール位置設定器により、ロール位置をプリセットする。

(2) プロダック装置を運転状態にして、正または逆のパスアドバンス押しボタンを押せば、あるパスのロール開度が読み出される。

(3) デジタル差異検出器では、ロールのプリセット値と実際のロール開度の2進数の引算が行なわれ、差の絶対値とその正負をも

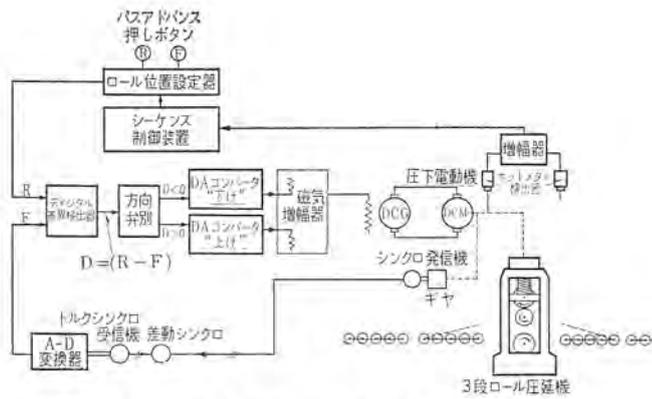


図 3.1 フロダック ブロックダイアグラム
Fig. 3.1 PRODAC block diagram.

出力として得ることができる。

(4) デジタル 差異検出器の出力の正は、ロール“上げ”側の D-A 変換器を動作させ、負の出力は、ロール“下げ”側の D-A 変換器を動作させて、デジタル 量をアナログ 量に変換する。

(5) D-A 変換器の出力を磁気増幅器で増幅し、ワードレオード制御により圧下電動機を駆動して、ロールを移動させる。

(6) ロールの位置はシンクロ送受信機を経て A-D 変換器に伝えられる。その出力であるデジタル 2 進数は前述のデジタル 差異検出器の入力の一つとなっている。ロール 圧下はデジタル 差異検出器の出力がゼロになるまで行なわれる。すなわちリセットのロール位置と、実際のロール位置とが等しくなると、はじめてロールは停止する。

以上が基本的なロール自動圧下制御動作である。このほか、ロールが所定の開度に達したことにより、チルチングテーブルの“上げ”や“下げ”の駆動、テーブルの起動を指令したり、材料の尾端が圧延機を離れたことをホットメタル検出器で検出し、テーブルを自動停止させるなどの制御を行なう。

4. デジタル制御

フロダック装置の主たる制御要素として、プリントカードに組み込んだトランジスタ NOR を使用してデジタル 信号を得ており、ノイズに強く、デジタル であるので、位置の制御精度はいくらでも高めることができる。

4.1 トランジスタ NOR の動作と論理出力

図 4.1 は代表的なトランジスタ NOR 回路である。入力端子 A と出力端子 D の電位について考えてみると、SW が開のときは、入力端子の電位は 0V であり、このためトランジスタは不導通になり、出力端子の電位は $-E_c$ V になる。SW を閉じれば入力端子は $-E_c$ V となり、トランジスタは導通して出力端子は 0V になる。いま 0V を [0]、 $-E_c$ V を [1] と約束すれば、リレー接点の開閉と同じように取り扱うことができる。

4.2 論理回路と 2 進法

図 4.2 はトランジスタ NOR を用いた論理回路で、リレーとの比較

表 4.1 10 進 2 進 対 照 表

10 進法	純 2 進法	10 進法	純 2 進法
0	0 0 0 0	6	0 1 1 0
1	0 0 0 1	7	0 1 1 1
2	0 0 1 0	8	1 0 0 0
3	0 0 1 1	9	1 0 0 1
4	0 1 0 0	10	1 0 1 0
5	0 1 0 1	15	1 1 1 1

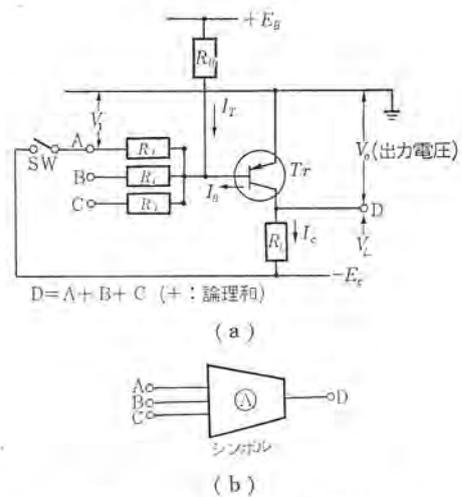


図 4.1 トランジスタ NOR
Fig. 4.1 Transistor NOR.

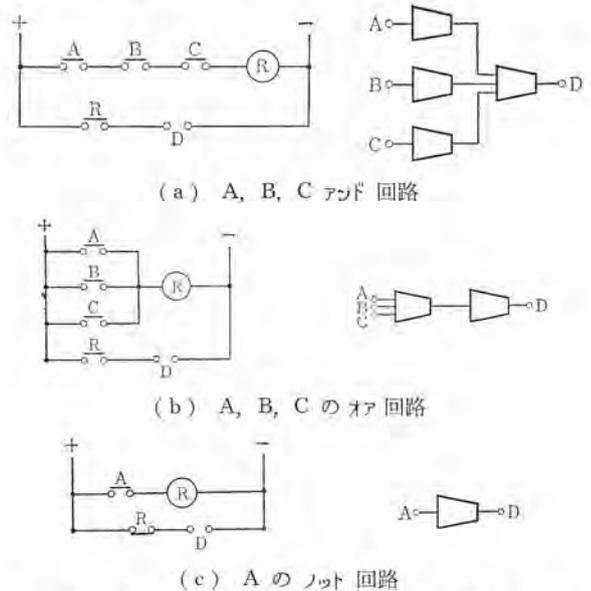


図 4.2 接点式リレーとトランジスタ NOR の比較
Fig. 4.2 Comparison of contact relay with Tr. NOR.

をしたものである。

2 進法はデジタル 制御には欠くべからざるもので、表 4.1 は 10 進数と 2 進数とを対比したものである。

4.2.1 純 2 進数の加算

2 進数加算の法則は次式に示すとおりで、交換の法則も成立する。

$$[0] + [0] = [0]$$

$$[0] + [1] = [1]$$

$$[1] + [1] = [10]$$

たとえば $2 + 3 = 5$ は次のようになる。

$$[10] \dots \dots \dots 10 \text{ 進法の } 2$$

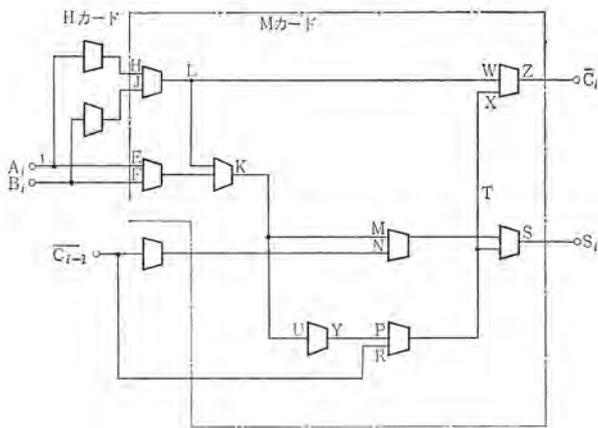
$$+ [11] \dots \dots \dots 10 \text{ 進法の } 3$$

$$\hline [101] \dots \dots \dots 10 \text{ 進法の } 5$$

ロール位置は 10 進法でリセットするが、デジタル 差異検出器での演算を容易にするために、加算の原理により 10 進数を 2 進数に変換している。

4.2.2 純 2 進数の減算

二つの 2 進数の $[A] - [B]$ を得るには、 $[A] > [B]$ の場合には $[A] + [B] + [1]$ を計算すればよい。ここで $[B]$ は $[B]$



A_i, B_i : 入力信号
 S_i : Sum (和)
 C_i : Carry
 C_{i-1} : 前段の加算器からの Carry の補数

図 4.3 全加算器
 Fig. 4.3 Full adder.

の補数で、2進数の各々の「1」を「0」に、「0」を「1」にしたものであり、「1」は「A」+「B」の演算で生ずる桁上げ（キャリー）の「1」を用いる。また、「A」<「B」の場合にはキャリー「1」はなく、キャリーが「0」であることを用いて、「A」+「B」の補数、「A」+「B」を求めればよい。したがって、補数を作る NOR と、図 4.3 に示す全加算器を用いれば、加算、減算は容易に行なえる。下記はその一例である。

(1) 7-5=2 の例

$$\begin{array}{r}
 111 \dots \dots \dots 10 \text{ 進数の } 7 \\
 (-) 010 \quad \quad \quad 10 \text{ 進数の } 5 \text{ の補数} \\
 \hline
 1001 \\
 (+) \quad 1 \\
 \hline
 010 \dots \dots \dots 10 \text{ 進数の } 2
 \end{array}$$

(2) 5-7=-2 の例

$$\begin{array}{r}
 101 \dots \dots \dots 10 \text{ 進数の } 5 \\
 1000 \quad \quad \quad 10 \text{ 進数の } 7 \text{ の補数} \\
 \hline
 101 \quad \quad \quad 10 \text{ 進数の } 2 \\
 \downarrow \\
 010 \dots \dots \dots 10 \text{ 進数の } 2 \text{ の補数}
 \end{array}$$

5. プロダック装置の仕様

特殊材料を圧延する関係上、一般鉄鋼の圧延スケジュールとは趣を異にし、連続圧延はせいぜい6パスであり、その後材料を炉にもどして再加熱する。この間、炉中にある他の板を引出し圧延するのであるが、一つの板について、5~6パスの連続圧延を3~4回にわたって繰り返すので、フロダック装置の運転方式および仕様は次のようになっている。

5.1 プロダック装置の運転方式

- (1) ロール位置のみの自動設定（開度修正）
- (2) ロール位置の自動設定、チルチングテーブル“上げ”または“下げ”の自動起動および圧延後のテーブル自動停止（自動1）
- (3) ロール位置の自動設定、チルチングテーブル“上げ”または“下げ”の自動起動、テーブルの自動起動および圧延後のテーブル自動停止（自動2）
- (4) 任意パスナンバーまでの繰り返し連続自動圧延と自動停止（全自動）

5.2 プロダック装置の仕様

- (1) フロダック装置使用時の圧延機のロール最大開度は140mm

で、開度最小設定値は0.5mmである。

- (2) ロール位置の実際精度は0.5mm以下であること。
- (3) 各パスのロール位置の設定は選択押しボタンを用いて10進法でセットするようにした。
- (4) 正方向、逆方向圧延の繰り返し順序が異なるため、パスアドバンス押しボタンを2個設け、交互に押せば、設定ロール位置を順次に読み出すことができる。
- (5) 特殊な圧延作業のため、任意のロール位置を読み出す必要があり、飛越し、後もどり読み出しのためのパス選定押しボタンを設けた。
- (6) 手動でロール圧下、中ロール位置が自動の場合のどのパスに相当するかを常に追隨して表示しているため、手動から自動への切換が容易である。
- (7) “全自動”運転の場合、所望のパス位置で自動停止させるため、停止パス選定スイッチを設けた。
- (8) あらかじめ設定したロール位置がなんらかの原因で、誤った値に変化した場合に、フロダック装置の出力をロックするとともに警灯を点ずるパリティチェック方式を採用した。
- (9) 読み出し中のパスナンバー、設定ロール位置およびこれと調整中の実際のロール位置との差を、mm単位で数字表示管を用いて表示した。
- (10) デジタル制御要素として標準トランジスタNORカードを用いているので、無接点、小形軽量、寿命半永久、保守容易など数々の特長を有している。

6. プロダック装置

この装置は操作盤とキューピクルからなっていることは、すでに述べたとおりであるが、図 6.1 は操作盤表面を、図 6.2 はキューピクル内部の部品配置を示している。図 6.3 はフロダック装置のフロダックダイヤグラムで、以下にこの図に従い各運転方式について説明する。

6.1 開度修正

切換スイッチを“開度修正”にして、パスアドバンス押しボタン F（または R）を押すと、ゲートメモリ、ゲート G₂ を経てステップングスイッチに一つのパルスが送られ、ステップングスイッチの出力が1段だけ進む。これにより、いままで読み出されていたロール位置の次のロール位置が読み出され、10進→2進の変換を行なうためのD-B変換器を経てデジタル差異検出器DDDに送られる。図 6.4 はデジタル差異検出器の回路で、その出力から得られるキャリーの有無により、ロール“上げ”か、“下げ”かの方向弁別を行なう。D-A変換器はトランジスタを用いた定電流形アナログ→デジタル変換器で、デジタル差異検出器の純2進数の各々ごとに独立した変換器を設けており、おのおの独立に電流値の調整が可能になっている。

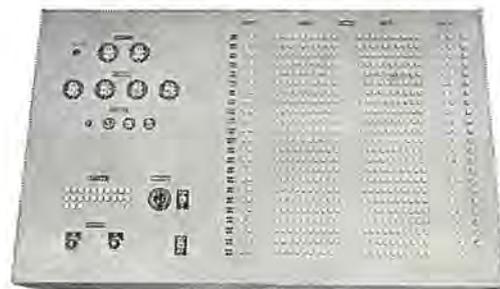


図 6.1 操作盤表面
 Fig. 6.1 Control desk panel.

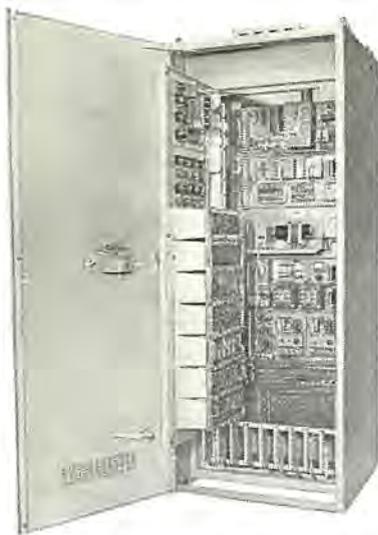


図 6.2 フロダック キュービクル内部
Fig. 6.2 Cubicle interior.

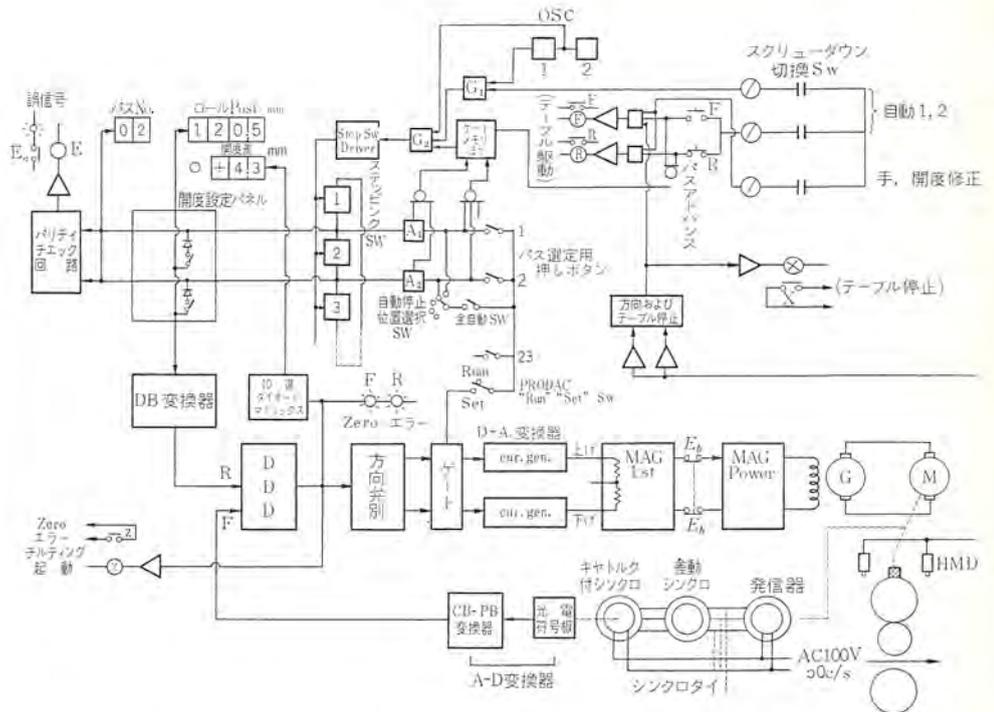


図 6.3 フロダック ダイアグラム Fig. 6.3 PRODAC system diagram.

ので、ロール位置差入力信号と、ロール位置調整速度との関係を理想的なものにすることができる。

デジタル差異検出器の出力の一部は、10進ダイオードマトリックスにより、10進数に変換してロール位置差をmm単位で表示している。D-A変換器よりの出力は、磁気増幅器で増幅され、ワードレオード制御により、スクリーダウン電動機を駆動してロールを新しい位置に向かって移動させる。ロールの位置は、シンクロ送・受信器を経て、A-D変換器に角度として伝えられる。A-D変換器は、光電式交番2進コード符号板を用いているので、単純な純2進符号の変わり目に生じやすい読み取りのあいまいさを除いている。

交番2進コードをさらに純2進コードに変換して、デジタル差異検出器の入力にしている。

デジタル差異検出器の出力の一部は、10進ダイオードマトリックスにより10進数に変換して、ロール位置差を表示管で表示している。ロール位置が新位置に設定されるとロール位置差は0mmとなり、パスアドパンス押しボタン内蔵のゼロエラー灯を点ずるとともに、ゼロエラー・リレー接点を出力として外部に送り出す。続いてパスアドパンス押しボタンを押せば、次のパスのロール位置を読み出し、上記と同様の動作により、ロールは新位置に設定される。次に、飛越しや、後もどりのパスのロール位置を読み出すには、パス選定押しボタンの希望パスナンバーを押し、パスアドパンス押しボタンを押せばよい。たとえば、パス選定押しボタン2を押すと、ゲートメモリ回路内蔵のメモリ状態が変わるが、その出力は相変わらず〔1〕で、発振器OSCからのパルス列はゲートG₂を通過できない。ここでパスアドパンス押しボタンを押すと、ゲートメモリの出力は〔0〕になってOSCよりのパルス列はゲートG₂を通り、ステップングスイッチドライバを駆動し、ステップングスイッチの出力はパルスが続く限りエンドレスに巡回する。

この出力が2段目に来ると、第2のパス選定押しボタンの接点回路とともにアンドの条件を満足するので、A₂の出力により、ゲートメモリをリセットし、ゲートG₂を閉じ、OSCからのパルス列の通過を阻止する。したがって、第2パスのロール位置を読み出すこと

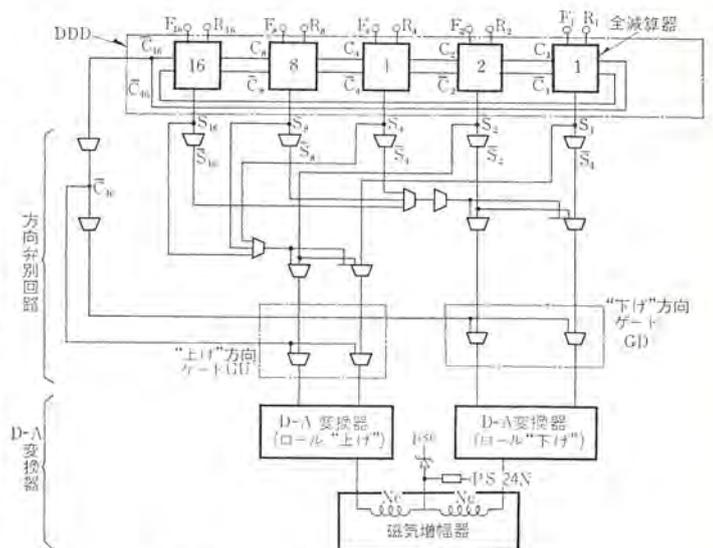


図 6.4 デジタル差異検出回路
Fig. 6.4 Digital difference detector.

ができる。飛越しも、後もどりの動作としてはまったく同じものであることは以上の説明から理解できよう。“開度修正”では、テーブルは手動制御であるから、本図のテーブル駆動リレーはロックされている。

6.2 “自動1”および“自動2”

フロダック装置そのものでは、“自動2”は“自動1”と同じである。基本的なスクリーダウン制御については、“開度修正”と同じであり、圧延後のテーブル自動停止と主制御器の操作により、テーブル停止回路のリセット回路が追加された点が異なる。

ホットメタル検出器HMDを用いたテーブル自動停止回路を設けたことによって、圧延完了後のテーブル停止の接点出力を外部へ送る。テーブル停止後材料を移動させるには、主幹制御器を操作すればよいようになっている。

6.3 全自動

全自動の場合には、“全自動”スイッチを「入」とし、「自動停止

表 7.1 NORカード

カード名称	記号	機能	備考
1 バッファメモリ	B	1ビット・メモリ(2組)	リング・カウンタの構成も出来る
2 フリップ・フロップ	C	NOR フリップ・フロップ	カウンタおよびシフトレジスタが構成できる
3 フリップ・フロップ	CC	NCA形 フリップ・フロップ(3組)	2進カウンタの構成が簡単にできる
4 NORゲート	F	3入力NOR(3組) 2入力NOR(2組)	デジタル制御回路の基本素子
5 多入力NOR	GZ	6入力NORゲート(3組)	各種変形カードあり GZ ₀ ~GZ ₃
6 タイミングゲート	H	4ビット・タイミングゲート(2組)	8組のNOT回路としても使用できる
7 パワーアンプ	JB	リレー駆動回路(5組)	リレー負荷 48V 80mA
8 加算回路	M	ハーフ・アダプター(2組) 2入力NOR(2組)	カード一枚でフルアダプターが構成できる
9 ネオン点灯回路	P	ネオン点灯回路(5組)	
10 専用カード	R	任意回路構成用	R ₁ : 点灯回路の抵抗組み入れ R ₂ : 同上 R _A : DA変換器(3組) R _D : OR回路 R _M : 車安定回路(2組) R _S : 無安定(発振)回路

上記は標準 NO カードの抜粋である。

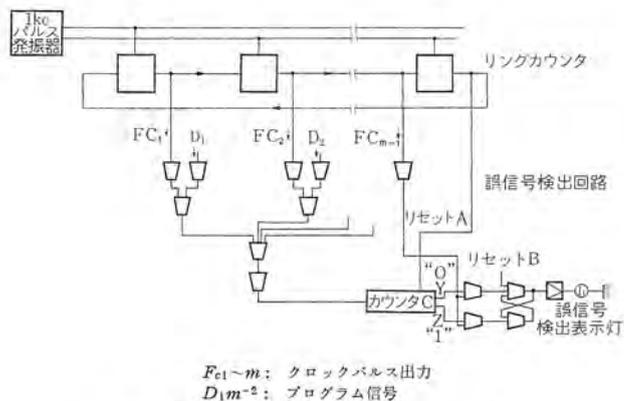


図 6.5 誤信号検出回路
Fig. 6.5 Error detecting circuit.

位置」選択スイッチにより希望パスにセットし、パスアドパンス押しボタンを押せばよい。これにより連続的に正および逆方向の圧延を交互に繰り返して、所定のパス位置で自動的に停止させることができる。この際、パス選定押しボタンを用いることもできることは、前述「開度修正」の場合と同じである。

6.4 誤信号検出回路

パリティチェック方式による誤信号検出装置を用いている。この方法は、 n 個の2元符号のグループに1個の符号を追加して、 $n+1$ 個の符号のうち、状態1をとるものが奇数個になるようにしておいたとき、2個の符号が同時に変化した場合、相変わらず奇数個であることに変わりはなく誤動作を見のがすことになるが、その確率は、1個の符号変化の確率の二乗程度に減少するので、実用上さしつかえなく、簡にして要を得た方式といえる。図6.5は誤信号検出回路である。

7. 各制御機器

操作盤はスイッチ類と表示器だけで、制御機器は、キュービクルに納められている。キュービクルの中トビラは、フロダックの主体をなす NOR カードを入れるカードフレーム7台が取り付けられ、その上部に電源制御パネル、電流制御パネルが取り付けられている。

また内部には、上から電源パネル No.1, No.2, A-D変換器パネル, MAGパネル, HMDパネル, ダイオードパネル, マトリックスパネルが取り付けられており、これらはまったく調整を要しない機器である。

7.1 電源パネル No. 1

主としてトランジスタ NOR カード用直流電源 $\pm 24V$ および DC

$\pm 12V$ の電源を供給し、メーターリレーによる保護装置も付属している。

7.2 電源パネル No. 2

A-D変換器のランプ電源、交番2進を純2進に変換するトランジスタ回路電源、数字表示管点灯用直流電源、磁気増幅器用交流電源などを含んでいる。

7.3 A-D変換器パネル

シンクロ発信機により伝送されて来るロール位置の電気的アナログ信号を、シンクロ受信機で回転角度にもとし、光電式 A-D変換器により交番2進信号を作る装置である。図7.1は交番2進符号板である。

7.4 MAGパネル

フロダック装置の出力を遠方に送るために、D-A変換器の出力を増幅する普通の磁気増幅器である。温度ドリフトのないよう、とくに考慮している。

7.5 HMDパネル

圧延機入口、出口における圧延材料の存在を検出するために用いているホットメタル検出器の増幅部を取り付けている。このほか、MHDによる「自動1」の場合の、テーブル自動停止のリレー、ロール位置差ゼロを接点出力とするゼロエラーリレー、パリティチェック方式による誤信号表示のリレー、「自動2」の場合の正・逆圧延テーブルの自動停止指令リレーなどを設けている。

7.6 ダイオードパネル

主として数値表示管の点灯回路に用いられる

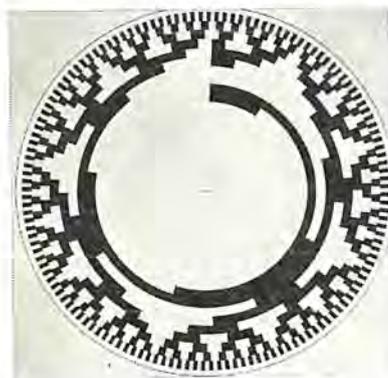


図 7.1 A-D変換器交番2進符号板
Fig. 7.1 A-D converter cyclic B-code pattern.



図 7.2 NORカード
Fig. 7.2 NOR card.



図 7.3 カードフレーム
Fig. 7.3 Card frame.

ダイオードをまとめたものである。

7.7 マトリックスパネル

ロール位置偏差2進信号を10進信号に変換するためのダイオードマトリックスを構成したものである。

7.8 NORカード

標準NORカードは多数用意されているが、このうち使用したものは表7.1に示すものである。NORの標準電源としては、 $\pm 24V$ 、 $\pm 12V$ 、 $+6V-12V$ などがあるが、圧延機工場におけるノイズを考慮して、 $\pm 24V$ を用いた。

図7.2はNORカードで、カード収納用カードフレームも標準品で、外観は図7.3に示してある。

8. 運転成績

図8.1は圧延のロールをプログラムに従って、ロールを5mm下げた場合の、バスアドバンス押しボタンの電圧出力、フロダック装置の“下げ”側のD-A変換器の出力電流波形、および圧下電動機の電機子電圧をペンプロテクトで記録したものである。

図8.2は、ロール位置をプログラムに従って5mm上げた場合で、図8.1と異なるところは、D-A変換器の“上げ”電流出力が終わるとともに、“下げ”側のD-A変換器の下げ電流出力が出ている。これは次の理由により、このように調整しているからである。

すなわち、圧下電動機の出力軸以後につながっている各所のギヤ装置にはバックラッシュがつきものである。ロールの0mm位置の調整では、上ロールと下ロールとを押し付けて決めるので、“下げ”一方の場合には、バックラッシュが消滅された状態でロール位置が決められる。しかし、ロール“上げ”の場合にはギヤの回転方向が逆になるので、反対側のバックラッシュ消滅位置までギヤが巻きもどされて後、ロールが上に向かって移動する。A-D変換器の系統についてもまた同じである。したがってロール“上げ”の場合には、A-D変換器の出力と、プログラムによるロール位置との引き算を行なうデジタル差異検出器の出力が0になる所で、ロールを停めず、必ずオーバーシュートするよう“上げ”側のD-A変換器の電流値を選定する。このようにすれば、オーバーシュートした後は、下げ側のD-A変換器が働いて、ロールを下げ、バックラッシュをふたたび“下げ”方向で消滅させて、ロールを所定の位置に到達せしめるようにしている。

実測によるロール位置整定偏差は、許容偏差0.5mmに対して、0.1~0.2mmであった。

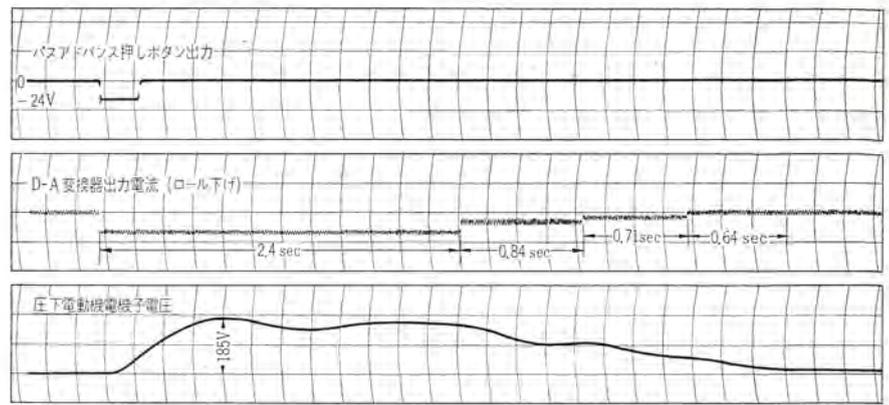


図 8.1 圧延機 ロール 圧下制御特性 (5 mm 下げの場合)
Fig. 8.1 Oscillogram of the mill roll screw down (down).

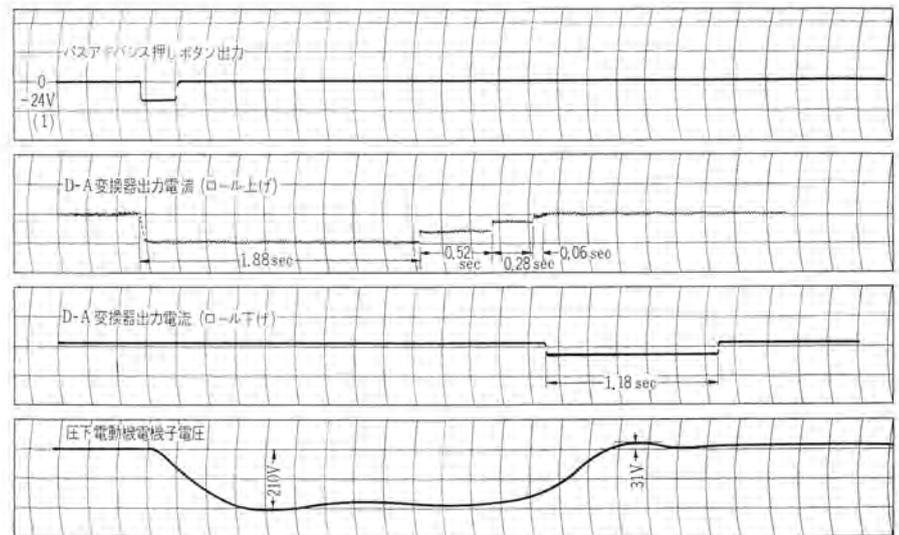


図 8.2 圧延機 ロール 圧下制御特性 (5 mm 上げの場合)
Fig. 8.2 Oscillogram of the mill roll screw down (up).

9. む す び

特殊な操作方式を含んだフロダック装置ではあるが、いずれの運転方式も、正確な圧延機制御を行なっている。特殊材料の圧延技術と、フロダック装置との有機的な運転操作により、将来の活躍が大いに期待される。現地におけるこの装置の設置、試験にあたり、多くの助力を賜った三菱金属鉱業福川工場の工務課ならびに各課の方々に対し、厚くお礼申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) William D, Rowe, George H. Royer: Transistor NOR circuit Design, AIEE 57 (1961)
- (2) 松元, 龍田: 「三菱電機」36, 656 (昭 37)
- (3) 吉山, 白石: 「三菱電機技報」38, 384 (昭 39)
- (4) 齊藤: 「三菱電機」36, 631 (昭 37)

接触部の温度上昇と短時間電流容量

左近 一郎*・渡辺 慶人*

Temperature Rise Calculation and Short Time Current Capacity at Contacts

Itami Works Ichiro SAKON・Yoshito WATANABE

Through the solution of simple differential equation about the temperature rise at the contacts of air break switches, it has been confirmed that the calculated values agree with the measured values with a good approximation. With the recent development of electric power systems, the short time current imposed on an air break switch has largely increased, reaching 75kA for 2 seconds at the maximum by a new regulation. To make clear the relation between the contact pressure and the short time current capacity at line or surface contact, tests have been conducted with contact models and revealed that, even with the same contact pressure, difference in current flowing time brings about difference in the current value of welding the parts.

1. ま え が き

これまで断路器の接触部における温度上昇の問題は、あまり数値的に取り扱われていなかったため、簡単な熱伝導の方程式をたてて、大きな仮定のもとに解き、実測値と比較検討したが実測値とかなりよく一致した。

また最近の系統容量の増大に伴い、断路器に課せられる短時間電流も、これまでの JEC-125 では 20 kA、2 秒のみであったが、今度新たに改訂された規格では大幅に変わって種類が多くなり、最高は 75 kA、2 秒になった。このため短時間電流と接触圧力との関係をより明確に掌握することが重要となり、線および面接触につき、モデルを使用して実験を行なったのでその結果を報告する。

2. 接触部の温度上昇

2.1 接触部の温度上昇計算式

接触部の温度上昇の計算は非常に複雑で、正確にはベッセル関数を用いなければならないが、ここでは、とくに計算が簡単になるように大きな仮定を設けている。すなわち熱は、1 方向のみに流れ、放射状には伝導しない。また接触面積についても大きな問題があるが、ここでは接触面は完全に接触している、という二つの大きな仮定をした。

今、図 2.1 に示すような、断面積 A 、周囲長 l で電流 I が流れている物体を考える⁽¹⁾と、接触部 $x=0$ から x だけ離れた所に厚さ dx (その点の温度を θ) をとり、 dx における熱の出入は次のようになる。

入ってくる熱 $-\lambda A \frac{d\theta}{dx}$ (2.1)

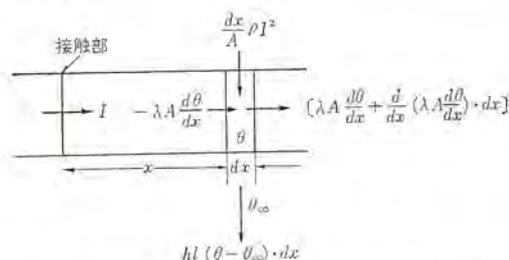


図 2.1 接触部から x だけ離れた点における熱の流入
Fig. 2.1 Flow of heat from a heated surface.

λ : 熱伝導率

$$dx \text{ から出ていく熱 } - \left[\lambda A \frac{d\theta}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\lambda A \frac{d\theta}{dx} \right) \cdot dx \right] \dots (2.2)$$

周囲の空気の冷却効果により空気中に逃げる熱量は、周囲温度を θ_∞ として

$$hl(\theta - \theta_\infty) \cdot dx \dots (2.3)$$

h : 冷却係数

また dx 中で電流 I のために発生するジュール熱は、固有抵抗を ρ とすると

$$\frac{dx}{A} \rho I^2 \dots (2.4)$$

これらがバランスしているためには、(1)-(2)-(3)-(4)=0 が成立しなければならない。すなわち

$$\lambda A \frac{d^2\theta}{dx^2} - hl(\theta - \theta_\infty) + \frac{\rho}{A} I^2 = 0$$

これは $\theta - \theta_\infty$ を独立変数として次のように書き換えられる。

$$\lambda A \frac{d^2(\theta - \theta_\infty)}{dx^2} - hl(\theta - \theta_\infty) + \frac{\rho}{A} I^2 = 0 \dots (2.5)$$

ここに境界条件は

$$\left. \begin{array}{l} x=0, \quad \frac{d(\theta - \theta_\infty)}{dx} = K \\ x=\infty, \quad \theta = \theta_\infty \end{array} \right\} \dots (2.6)$$

したがって式 (2.5) は次の解になる。

$$\theta - \theta_\infty = -\frac{K}{\sqrt{hl/\lambda A}} \cdot e^{-\sqrt{hl/\lambda A} \cdot x} + \frac{\rho I^2}{\lambda A} \dots (2.7)$$

R を接触部の接触抵抗とすると $-\lambda A \left[\frac{d(\theta - \theta_\infty)}{dx} \right]_{x=0} = \frac{1}{2} I^2 R$ と

なるから、 $K = \frac{-I^2 R}{2\lambda A}$

$$\therefore \theta - \theta_\infty = \frac{I^2 R}{2\sqrt{hl/\lambda A}} \cdot e^{-\sqrt{hl/\lambda A} \cdot x} + \frac{\rho I^2}{\lambda A}$$

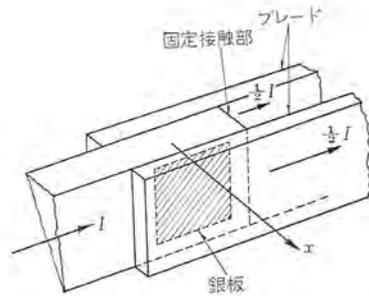
$x=0$ 、すなわち接触部における温度上昇は次式により表わされる。

$$(\theta - \theta_\infty)_{x=0} = \frac{I^2 R}{2\sqrt{hl/\lambda A}} + \frac{\rho I^2}{\lambda A} \dots (2.8)$$

2.2 刃形断路器の接触部における温度上昇

図 2.2 に刃形断路器の接触部の概略図を示すが、熱の流れる方向を x 軸のみとし、上の式 (2.8) を適用すると、この場合、流れる電流は $1/2 I$ になっているから、

図 2.2 刃形断路器の概略図
Fig. 2.2 Flow of heat at the contact of disconnecting switch.



$$(\theta - \theta_{\infty})_{x=0} = \frac{I^2 R}{8\sqrt{h\lambda A}} + \frac{\rho I^2}{4\lambda A} \dots\dots\dots(2.9)$$

式 (2.9) に実際の値を代入してみる.

- $I = 2000\text{A}$
- $R = 10 \times 10^{-6} \Omega$ (実測値の平均値) ブレード 端子間
- $\lambda = 3.72 \text{ W/cm}^\circ\text{C}$ (銅)
- $A = (1.7 \times 2.3) \times 2 = 7.82 \text{ cm}^2$
- $h = 7 \times 10^{-4} \text{ W/cm}^2\text{C}$ (無風状態)
- $l = (1.7 \times 2.3) \times 4 = 15.64 \text{ cm}$
- $\rho = 1.72 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ (銅)

上の値を式 (2.9) に代入すると、接触部における温度上昇 $\theta - \theta_{\infty}$ は

$$\begin{aligned} \theta - \theta_{\infty} &= \frac{I^2 R}{8\sqrt{h\lambda A}} + \frac{\rho I^2}{4h\lambda A} \\ &= 10.7 + 29.6 \\ &\approx 40^\circ\text{C} \end{aligned}$$

実測値では 28, 35, 36, 45°C の値が出ているので、かなりよく一致しているといえる。上の計算結果からみると、温度上昇は、接触抵抗による第1項よりも、かえって第2項の導体の固有抵抗によるほうが大きい。

この計算においては、ブレードと固定接触子との接触面は 17×23 mm の銀板2枚が完全に面接触していると仮定して計算を行なったものであるが、実際には真に接触しているのは、2点もしくは3点と考えられる。しかし等価的に断面積 A を銀板2枚の面積、l をその周囲長と、とても実測値とよく合うので、この式に関してはさしつかえないと思われる。

2.3 リバースループ形接触子

2.2節では、面接触を行なっている刃形ブレード断路器について計算を行なったが、次に線接触を行なっている屋外大形断路器について計算を行なってみた。固定接触子は当社屋外断路器の大きな特色であるリバースループ形接触子である。図2.3はその外観写真である。リバースループ形接触子は、短時間電流通電時に、その電流により接触圧力を自力で増加する作用がある。図2.3から



図 2.3 リバースループ形接触子
Fig. 2.3 84 kV 800 A switch with reverse-loop contacts.

接触部の温度上昇と短時間電流容量・左近・渡辺

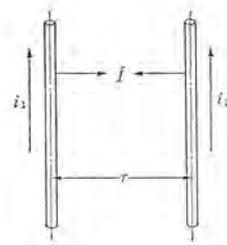


図 2.4 平行直線電流間に働く電磁力
Fig. 2.4 Electromagnetic force between parallel conductors.

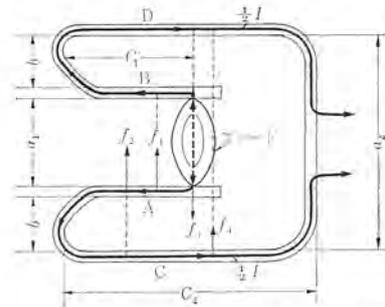


図 2.5 リバースループ形接触子に働く電磁力
Fig. 2.5 Current distribution and electromagnetic force in reverse-loop contact assembly.

明らかなように、固定接触子を通る電流は、このループを流れる際に、反発または相引し、熱処理銅合金の強じん性とあいまって、可動接触子を強く押し高い接触圧力を出すので、大電流の通電が楽になる。このため定格電流通電時には、低い接触圧力でよいので操作力は小さくてすむ。またコイルバネを使用せず、熱処理銅合金の弾性により接触圧力を出すので、きわめて安定した性能を保持できるなどの非常に大きな特長を有している。

次に短絡電流がリバースループに流れた場合、導体間に働く電磁力により、どのくらい接触圧力が増加するか計算してみる。

図2.4のように r (m) を隔てて平行配置された2本の導体 a および b に電流 i_1 (A), i_2 (A) が流れている場合、 i_1 によって b 上の1点 P に生ずる磁界 B は周知のごとく、

$$B = \frac{\mu \cdot i_1}{2\pi r} \text{ (Wb/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.10)$$

導体 b 1 m あたりに働く力 f は

$$f = Bi_2 \times 1 = \frac{\mu i_1 \cdot i_2}{2\pi r} \text{ (N/m)} \dots\dots\dots(2.11)$$

式 (2.11) に $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ を代入し、また (N) を (kg) に変更すると、

$$f = \frac{2i_1 \cdot i_2}{9.8 \cdot r} \times 10^{-7} \text{ (kg/m)} \dots\dots\dots(2.12)$$

電流の向きが互いに反対方向に流れるときは反発力が働く。

図2.5に示すリバースループ形接触子についてみると、

- A と B との間に働く力 f_1 (A→B の方向を正とする)
- A と C " f_2
- A と D " $-f_3$
- C と D " f_4

とすると、接触部に加わる力 F は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} F &= f_1 + f_2 - f_3 + f_4 \\ &= \frac{2\left(\frac{1}{2}I\right)^2}{9.8} \left\{ \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} - \frac{1}{a_1+b} \right) c_1 + \frac{c_2}{a_2} \right\} \cdot 10^{-7} \text{ (kg)} \dots\dots\dots(2.13) \end{aligned}$$

$I = 2.5 \times 22 \times 10^3$ (A) (非対称分波高値), $a_1 = 5.85 \times 10^{-2}$ (m),

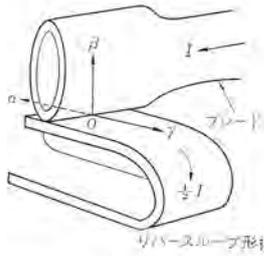


図 2.6 リバースループ形接触子における熱の伝導
Fig. 2.6 Heat transmission in reverse-loop contact.

$b=3.37 \times 10^{-2}(\text{m})$, $c_1=5.7 \times 10^{-2}(\text{m})$, $a_2=11.6 \times 10^{-2}(\text{m})$, $c_2=14 \times 10^{-2}(\text{m})$ を代入すると,

$$F=50 \text{ kg}$$

この計算は、曲がりはずべて直角と仮定したものであり、また電磁力は短絡電流が流れた瞬時から多少遅れて働くので、実際にはこれよりは減少すると思われるが、常時の、導体の弾性による接触圧力は 15 kg 程度であるから、短絡電流通電時には常約 3~4 倍くらいの接触圧力になることがわかる。

2.4 リバースループ形接触子における温度上昇

刃形 フリード 断路器においては、熱の伝達を 1 方向のみにとったが、線接触形断路器では図 2.6 に示すように α, β, γ の 3 方向への熱の伝達を考える。この場合、接触部からどのような割合で熱が逃げるかは次の方法で決定する。今接触部で発生する全熱量を 1, α, β, γ の 3 方向へ伝わる熱量を同じく α, β, γ とすると次式が成立する。

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

熱が α 方向へ伝達する場合を考えると、その熱の伝達量は全体の発生熱量の α であるから、式 (2.7) における定数 K は $\frac{-\alpha I^2 R}{2\lambda A}$ 通電電流は $\frac{1}{2} I$ であるから、結局 K は $\frac{-\alpha I^2 R}{4\lambda A}$ となり、 α 方向から求めた接触部の温度上昇 TR_α は次式により表わされる。

$$TR_\alpha = \frac{\alpha I^2 R}{4\sqrt{h\lambda A}} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

ただし、 α 方向には電流は流れないから固有抵抗を含む第 2 項は 0 になる。同様にして、 β 方向、 γ 方向から求めた温度上昇 TR_β, TR_γ は、おのおの

$$TR_\beta = \frac{\beta I^2 R}{4h'l'\lambda A} + \frac{\rho' I^2}{4h'l'A} \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

$$TR_\gamma = \frac{\gamma I^2 R}{4\sqrt{h\lambda A}} + \frac{\rho I^2}{4h\lambda A} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

$TR_\alpha, TR_\beta, TR_\gamma$ は等しいから

$$TR_\alpha = TR_\beta \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

$$TR_\alpha = TR_\gamma \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

式 (2.14), (2.18), (2.19) から α, β, γ が決定されるから $TR_\alpha (= TR_\beta = TR_\gamma)$ が求められることになる。ここに λ', l', ρ' は フリードの熱伝導率、周囲長、固有抵抗、 λ, l, A, ρ は固定接触子 (リバースループ形接触子) の熱伝導率、周囲長、断面積、固有抵抗である。フリード方向における断面積は固定接触子の断面積 A と同じにとった。表 2.1 に計算値と実測値との比較を示す。図 2.7 は接触抵抗 R を変化させて測定した接触部の温度上昇

表 2.1 温度上昇の計算値と実測値の比較

通電電流 (A)	接触子枚数	温度上昇値 (C°)	
		計算値	実測値
2000	リバースループ 5 枚	44	38~39
800	" 2 枚	30	31
400	" 1 枚	15	13

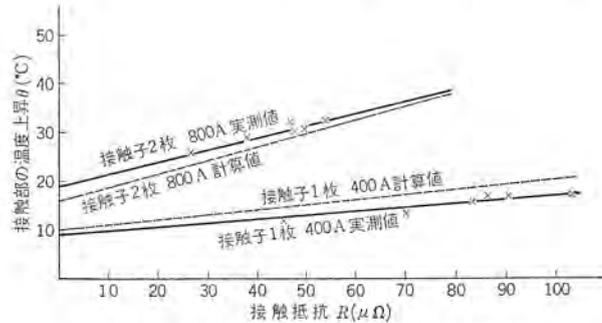


図 2.7 接触抵抗と接触部の温度上昇の関係
Fig. 2.7 Relation between contact pressure and temperature rise in reverse-loop type contact.

値、およびその計算値との比較である。

ここで注意を要することは γ が負になることがある。このことは逆に熱が接触部へ流入していることを示す。たとえば端子部がかなり温度が高く、端子から熱をもらっていることが考えられる。

接触抵抗値は、すべて接触子並列の状態での実測 (通電電流は直流) である。定格電流通電時の接触抵抗 (集中抵抗および境界抵抗) と、直流電圧降下法で測定した抵抗値とは当然差異があるが、ここでは同一と仮定してある。また熱伝導に対してもかなり大胆な仮定をしたが、これはむしろ安全率として考えてよからう。

3. 短時間電流量

これまで、接触圧力の高い領域において接触圧力と溶着電流との関係については、点接触に關したものがのみで、実際に使用される面、線接触について定量的に実験で求めたものはあまりないため、面および線について短絡試験モデルを作り、接触圧力と短時間電流量の関係を求めてみた。

3.1 短絡試験モデル

図 3.1 に短絡試験モデルの概略図を示す。また図 3.2 は試験モデルの接触子であるが、面、線ともすべて接触面は銀の厚メッキで表面は $\nabla\nabla\nabla$ 仕上げである。接触圧力は圧縮バネによっている。

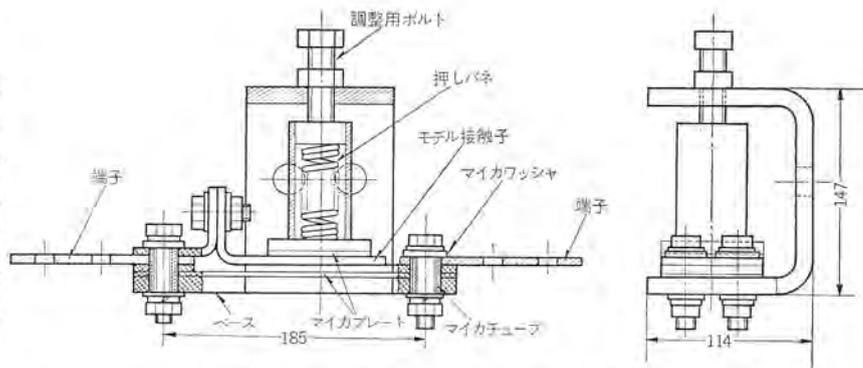


図 3.1 短絡試験モデル
Fig. 3.1 Models for short circuit current test.

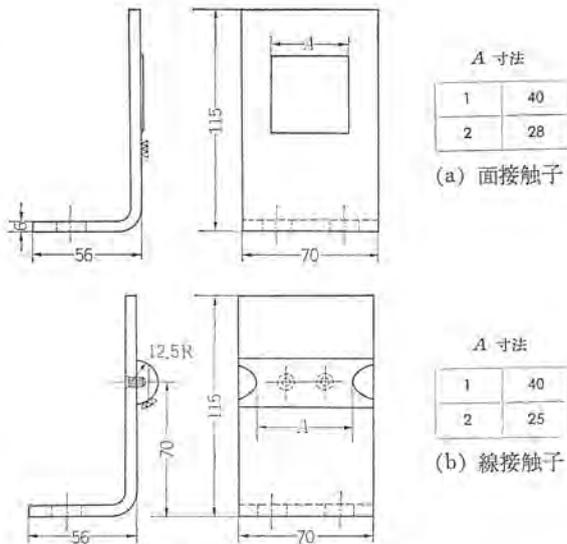


図 3.2 モデル接触子
Fig. 3.2 Model contacting piece.

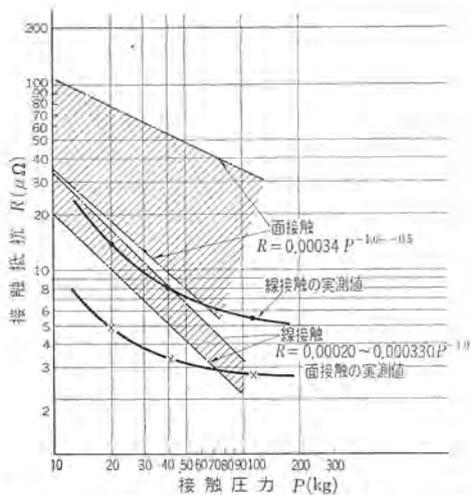


図 3.3 面線接触における接触圧力と接触抵抗の関係
Fig. 3.3 Relation between contact pressure and contact resistance in line and surface contact.

3.2 試験結果

3.2.1 接触抵抗の測定

図 3.3 に線、面接触における接触抵抗 $R(\mu\Omega)$ と接触圧力 P (kg) の関係をプロットしたカーブを示す。圧力は 20, 40, 110 kg の 3 種、接触面は線面接触の 2 種として、おのおの線接触で線の長いもの (40 mm)、短いもの (25 mm)、また面接触で面積の大きなもの (1,600 mm²)、小さなもの (800 mm²) の 2 種とした。

接触抵抗の測定には DC 100A を通電し、接触部における mV フロップを測定したものであるが、線の長短、面の大小の差はほとんど認められなかったため、プロットした値は平均値である。

3.2.2 短時間電流と接触圧力との関係

通電電流は、20, 30, 40, 50, 60 kA (対称実効値) で、通電時間は 0.2 秒である。図 3.4, 3.5 におおの面、線接触における溶着限界電流と接触圧力との関係を示した。溶着したか、しなかったかの判定は一応次のとおりとしたが、すべて肉眼でみたもので、断路器に関するかぎりこの程度の判定基準で十分と思われる。

○印: 溶着跡、荒れのまったくないもの

接触部の温度上昇と短時間電流容量・左近・渡辺

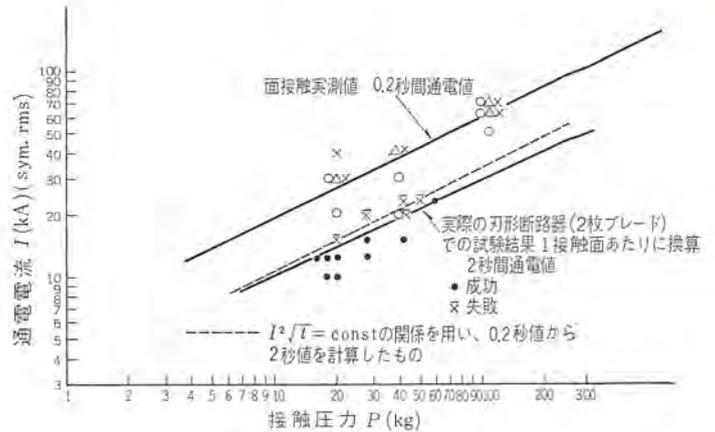


図 3.4 接触圧力と短時間溶着限界電流特性 (面接触—0.2 秒値)

Fig. 3.4 Relation between short circuit current and contact pressure (Surface contact...0.2 sec).

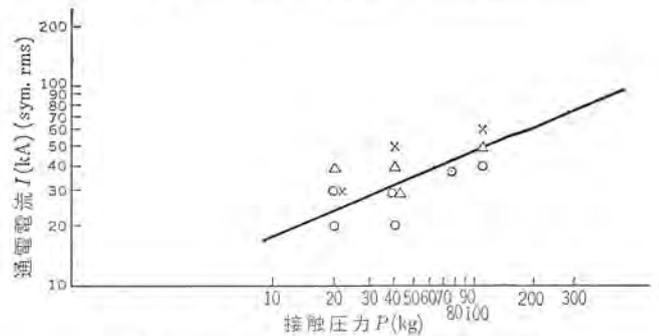


図 3.5 接触圧力と短時間溶着限界電流特性 (線接触—0.2 秒値)

Fig. 3.5 Relation between short circuit current and contact pressure. (Line contact...0.2 sec)

△ : わずかな溶着跡があるが、定常電流の通電にはさしつかえなく、接触状態をより良好にすることにより○印になると思われるもの

× : 明らかに溶着と認められるもの

短時間電流試験においても、線の長短、面の大小の差はあまり認められなかった。

3.3 考察

3.3.1 接触抵抗に対する考察

接触抵抗はラインの長短、また面の大小の差による相異は、あらかじめ予想されたようにほとんど認められなかった。

一般に接触抵抗 $R(\Omega)$ と、接触圧力 P (kg) の関係は次のように表わされる。

$$R = K \cdot P^{-\frac{1}{n}}, \quad K, n \text{ は定数} \quad \dots\dots (3.1)$$

K, n はこれまで定性的理論式と実験から次のような値が求められている。一例として E. Contius 氏のもの (銅銅接触) を表 3.1 にあげる⁽²⁾。

表 3.1 の値は、圧力がどのような範囲で、成立するかは明らかでない。また測定結果は銀銀接触であり、比較するのはすこし問題があるが、一応参考のために、上の式から求めた曲線を図 3.3

表 3.1 接触抵抗と圧力との関係

接触の種類	点接触	線接触	平面接触	
E. Contius 氏によるもの	K	0.000205~0.000230	0.00020~0.00033	0.00034~0.05000
$R = P^{-\frac{1}{n}}$	n	2.0	1.0	1.0~0.5

にいっしょに記入した。これらの曲線と比較すると、面接触の場合は測定値は大分低い値を示し、また線接触については 40~50 kg まではだいたいよく斜線で表わされた中に入っているが、それ以上の高い圧力になると、測定値のほうが上に出てくる。このことは面接触の場合についても同様な傾向を示している。

これだけの測定結果から推定するのは早急であるが、接触圧力が 40~50 kg 以上になると、接触抵抗は圧力の -1.0 または -2 乗に比例しなくなる傾向がみられる。

測定した接触抵抗は、DC 100A を通電して測定したもので、大電流通電時には、接触抵抗による発熱による温度上昇により接触抵抗は変化してくる。

3.3.2 接触圧力と短時間溶着限界電流に対する考察

面接触の場合の溶着限界電流の特性曲線は、以前に種々の刃形断路器について同じ実験を行なって得た値を整理して引いた曲線を図 3.4 に同時に示す。この場合の刃形断路器はすべて 2 接触面であるため、1 接触面に換算したもので、通電時間はすべて 2 秒である。この二つの特性曲線を比較すると今回実験した 0.2 秒値のほうが約 2 倍高い溶着限界電流値になっている。すなわち、溶着限界電流値は、通電時間に大きく左右されるのではないかと思われる。溶着現象は熱に大きく関係し、発生熱量は時間の関数 PRt (R : 接触抵抗) になるので、溶着限界電流は通電時間によって異なり、時間が長いとそれだけ過酷になってくると結論される。このことは、断路器の国際規格 IEC-129 (1961) においても、短時間電流の通電時間が 1 秒より長い場合は、次の式が適用されるとしている。

$$I^2 \cdot t = \text{constant} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

すなわち、接触抵抗が同一であるかぎり、発生熱量が同量であれば、その過酷度は同一であるとし同一通電電流でも通電時間が長いとそれだけ過酷になるとしている。

今回の実験結果からみると、 $I^2 t = \text{constant}$ ほど、時間 t はきいていなく

$$I^2 \sqrt{t} = \text{constant} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

の関係で時間 t が関係している。図 3.5 で参考のために 0.2 秒値から式 (3.3) を使用して、2 秒値を求めてみたが、かなりよく以前の実験値と一致している。

以上述べたことは、線接触についても同様なことがいえるのである。図 3.6 に今度の短絡試験モデルで求めた面接触と線接触

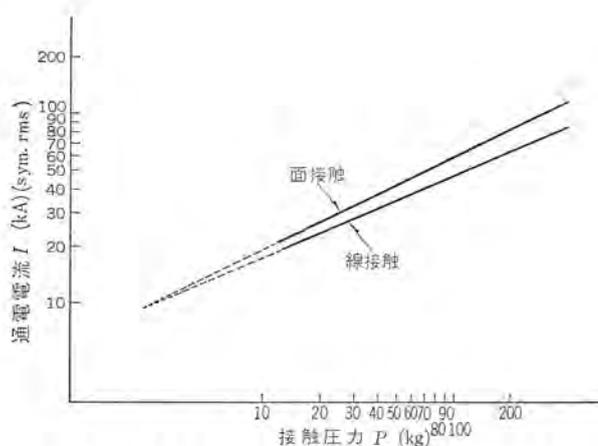


図 3.6 線接触および面接触における短時間電流特性 (0.2 秒値)
Fig. 3.6 Short circuit current capacity in line and surface contact. (0.2 sec)

における比較を示すが、やはり大電流領域では、面接触のほうがずっと有利になってくる傾向がみられる。交差する点は求められなかったが、この特性曲線を延長して推定すると接触圧力は 2~3 kg くらいと推定される。

4. む す び

断路器の最も基礎的な問題である接触部の温度上昇の計算、および短時間電流容量の実験結果について報告した。

(1) 接触部の温度上昇については、簡単な熱伝導の方程式をたてて、板ラードの接触部、およびリバスルーラ形接触子の接触部について計算を行ない、実測値と比較検討したが、かなりよく一致した。

(2) 短時間電流容量については、線、および面接触につきモデルを製作して、短時間電流と接触圧力との関係を求めたが、0.2 秒値と 2 秒値とでは溶着電流値に大きな差があり、通電時間にも関係することが認められた。

参 考 文 献

- (1) R. Holm: Electric Contacts (Hugo Gegers Förlag Stockholm) Wachen H. Giedt, Ph. D.: Principles of Engineering Heat Transfer (D. Van Nostrand Company, INC)
- (2) 鳳: 電気接点と開閉接触子 (克誠堂)

AT 形ポールレグ S (低圧配電線用自動電圧調整器)

白神 十九一*

Type AT POLEREG-S
(Automatic Voltage Regulator for Low-Voltage Distribution Lines)

Nagoya Works Tokukazu SHIRAGA

Mitsubishi has been producing "POLEREG" which is an automatic voltage regulator for low voltage distribution lines and a highly efficient inductive voltage regulator of stepless and contactless in construction. In contrast with this, a new, simpler "POLEREG-S" has been developed so as to be used for lines where not so much elaborated function as that of the former unit is needed. The new "POLEREG-S" operates on the tap changing principle. This is to be used in a low load density district and serves for the improvement of voltage and the adjustment of complaints on lowered voltage by simple and inexpensive means. In detail the unit is an autotransformer with taps to be changed over in three steps by the use of a magnetic relay controlled through a transistor circuit.

1. ま え が き

従来、当社は低圧配電線用自動電圧調整器として、無段階、無接点の高性能な誘導形電圧調整器「ポールレグ」を製作しているが、今回さらに簡易形の タップ 切換式自動電圧調整器「ポールレグ S」を開発し、東北電力その他に納入したので、その概要を紹介する。

ポールレグ S は、無段階調整をするほどの必要のない低負荷密度地区の、電圧改善、電圧苦情処理などを簡単にして廉価に行なうことを目的とし、単巻変圧器の タップ を電磁 リレー で切換える方式で、この電磁 リレー は トランジスタリレー 回路により制御されるようになっている。

2. タップ切換式自動電圧調整器の
問題点とその解決

本器の使用目的から低廉であることが重点であるため、タップ 切換方式を採用しているが、それに伴う次の問題点が考えられた。

- (1) 出力電圧が段階的な調整になること。
- (2) 機械的な タップ 切換方式による接点寿命および信頼性の問題。

(1) に関しては切換段数を増せば出力電圧がなめらかな調整になることは当然であるが、それに伴う価格の上昇をまぬがれないので、切換段数 3 段、ステップ幅 5% のものについての実験結果から実用的にはこれで支障ないことがわかった。

(2) に関しては、これが機器性能としての生命となるので、種類の回路について実験のうえ 3.2 節で詳述のとおり

- (a) パリスタによって接点 アーク を抑制する。
- (b) 主接点のシャ断時間より長い時限をもって、主接点に直列抵抗をそ入するような補助接点を設ける。
- (c) 瞬時の電圧変動に応動しないよう、約 20 秒の遅延動作時限を取ると同時に、約 2% の感度幅を設定する。

の 3 方法を採用することによって、寿命試験の結果 140% 過負荷 20% PF において、20 万回以上の寿命を確認し、製品としては余裕を持って定格条件で 10 万回を保証している。10 万回動作回数を実用年数でみると、配電線の電圧変動の実態と動作時限から判断して 20 年以上と推定される。

3. 構造と動作

ポールレグ S は、主切換電磁 リレー、補助 リレー、トランジスタリレーなどを一つのパネルにユニット化したものと電圧調整用単巻変圧器とを、角形の密封 ケース に収納して、ケース 上部のつり金具により電柱腕木に取り付ける構造となっている。

単巻変圧器は A 種絶縁乾式自冷式とし、主切換用と補助用の電磁 リレー は当社の RP-2 形 ラララインリレーであるが、とくに ポールレグ S 用として製作したものを使用している。

図 3.1 は外観を、図 3.2 は内部構造を示す。

3.1 結線と電圧調整動作

入力電圧が定格電圧を中心に上下に変動する場合と、入力電圧が常に定格電圧より低下している場合の両方に、それぞれ適する使用ができるように、入力電圧範囲切換 (選択) 用 コネクタの差し換えて、図 3.3 および図 3.5 の結線で示す 2 使用法がある。

(1) 昇降補償用として使用の場合 (図 3.3 参照)

入力電圧が定格電圧の $\pm 5\%$ 程度以内のとき、リレー A、B は b に接して分路巻線は短絡された状態にあるので、入力電圧がそのまま出力電圧となり無調整である。

次に入力電圧が +5% 近くを越えると、トランジスタリレーによってリレー A は b に、B は a に接するとともに数 サイクルの時限を持って、リレー D が動作し D_b が開き D_a が閉じる。

単巻変圧器の直列巻線と分路巻線の巻数比は 1:10 であり、また巻線 11-12 と 21-22 の巻数、31-32 と 41-42 の巻数はそれ



図 3.1 ポールレグ S 外観
Fig. 3.1 Exterior view of POLEREG-S.



図 3.2 ポールレグ S 内部構造
Fig. 3.2 Interior of POLEREG-S.

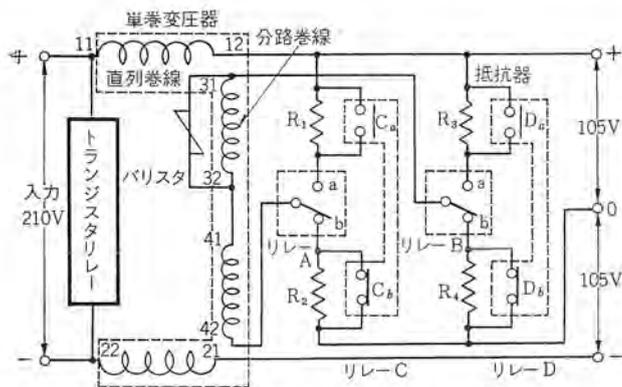


図 3.3 昇降圧補償の場合の結線図 (単 3)
Fig. 3.3 Connection diagram for step-up and step-down regulation (1φ 3W system).

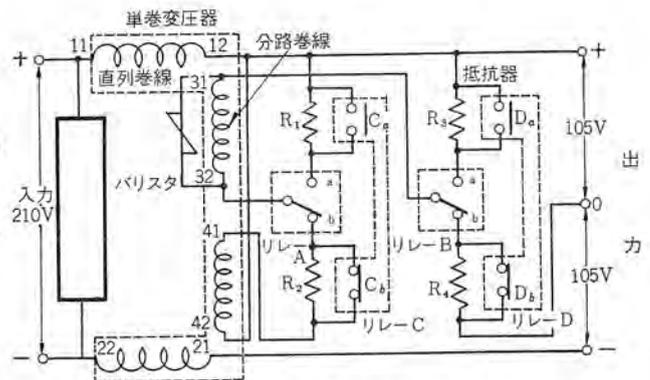


図 3.5 降圧補償の場合の結線図 (単 3)
Fig. 3.5 Connection diagram for step-down regulation (1φ 3W system).

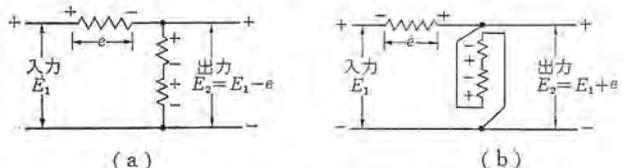


図 3.4 電圧調整要領略図
Fig. 3.4 Sketch of voltage regulation.

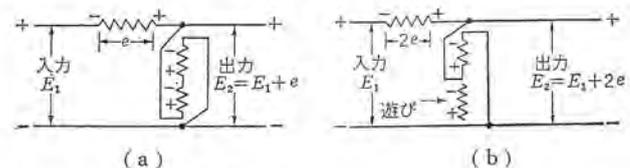


図 3.6 電圧調整要領略図
Fig. 3.6 Sketch of voltage regulation.

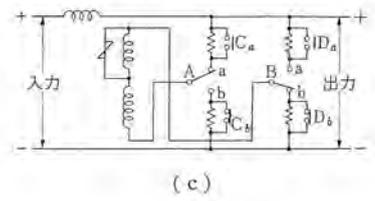
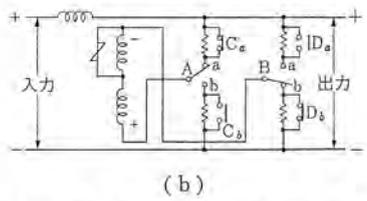
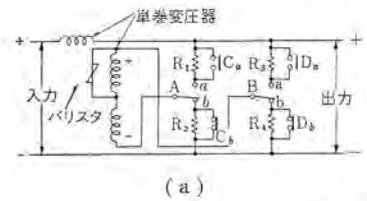


図 3.7 主接点保護動作説明図
Fig. 3.7 Diagram of protection for the main contactor.

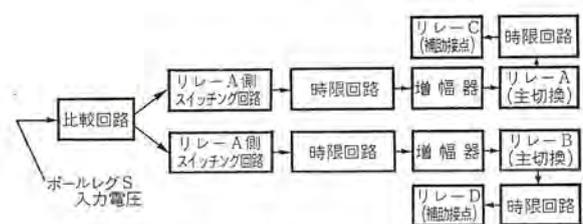


図 3.8 制御回路ブロック線図
Fig. 3.8 Block diagram of the control circuit.

それ等しいので、5% 降圧された出力電圧を得る。
その接続を略示すれば図 3.4 (a) のとおりである。
入力電圧が -5% 程度より低くなると、リレー A は a に、B は b に接するとともに、数サイクルの時限を持ってリレー C が動作し C_b が開き C_a が閉じる。その接続を略示すれば図 3.4 (b) のとおりとなり、5% 昇圧された出力電圧を得る。

図 3.3 は単 3 回路で示したが、単 2 回路に使用する場合にはフック端子部分の接続変えによって、直列巻線 11-12 と 21-22 を並列にして (+) 側端子に接続し、入出力 (-) 端子を (0) 端子と接続するほかは同じである。

(2) 降圧補償用として使用の場合 (図 3.5 参照)
入力電圧が定格電圧の ±5% 程度以内のとき、リレー A は b に、B は a に接して分路巻線は短絡された状態にあるので、入力電圧がそのまま出力電圧となり無調整である。

入力電圧が -5~-10% のときには、リレー A、B は b に接し、C_a、D_a は開、C_b、D_b は閉となり、その接続を略示すれば図 3.6 (a) のとおりとなって 5% 昇圧された出力電圧を得る。

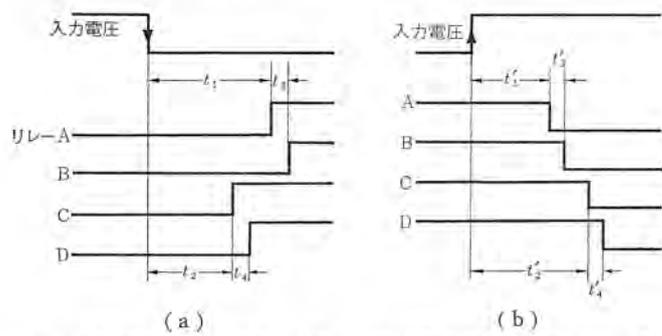


図 3.9 遅延時間特性
Fig. 3.9 Characteristic of time-delay.

入力電圧が 10% 程度より低くなると、リレー A は a に、B は b に接し、C_a、D_a は閉、C_b、D_b は開となる。その接続を略示すれば図 3.6 (b) のとおりになって 10% 昇圧された出力電圧を得る。

図 3.4 は単 3 回路で示したが、単 2 の場合も直列巻線の結線変更以外は同じである。

3.2 主切換接点の保護動作

一例として無調整→5% 調整の切換動作についてはつぎのとおりであるが、その他の切り換えについても同様である。

図 3.7 (a) の状態 (無調整) においてトランジスタリレーがリレー A を動作させた場合、リレー A の接点が b から a に移る瞬間に単巻

ZKA 形, ZKB 形パウダクラッチおよび ZKB 形パウダブレーキ

宮崎 秀夫*・村田 俊哉*・中田 幹雄*・植田 雅晴*

Types ZKA and ZKB Powder Clutches, Type ZKB Powder Brakes

Himeji Works Hideo MIYAZAKI・Toshiya MURATA・Mikio NAKATA・Masaharu UEDA

Powder clutches have been developed by technical cooperation of the S. Smith & Sons Ltd. and the Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft. Of them herein are described the construction and performance of type ZKA (Rotary field type) and type ZKB (stationary field type) powder clutches and type ZKB powder brakes which have been brought to completion as standard products for industrial application. The principle of the powder clutch is that between the working surfaces is filled stainless steel powder, which forms chain connection by the effect of a magnetic field and transmits the torque. Its distinctive feature is that the exciting current and the torque are almost proportional and the torque remains mostly unchanged with the change of slip speed. This performance promises wide applications.

1. ま え が き

産業機械、工作機械などの自動化のための機械的要素として、多種のクラッチが採用されているが、とくに伝達トルク（以下トルクと略称）の制御とか操作という問題については、従来のクラッチでは十分その目的を達し得ない面が多かった。ここで述べるパウダクラッチは、その目的に適する性能として、励磁電流で伝達トルクを任意に調整でき、しかもその両者の関係がほぼ比例的であること、またスリップ速度のいかにかわらずトルクはほぼ一定であることなどがあり、このような新しい面での応用がかなり期待されるクラッチである。

パウダクラッチは、ドイツ人 W. Vogel 氏 (1943) およびアメリカ人 J. Rabinow 氏 (1947) により発明されたものであるが、さる昭

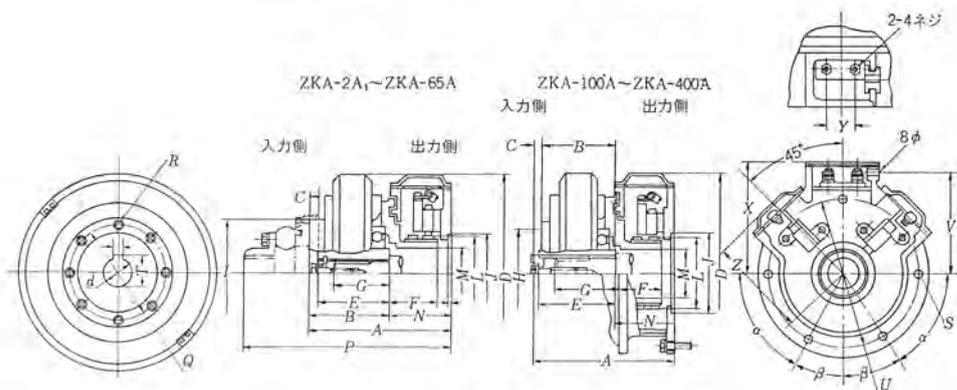
和 37 年 12 月に、その特許権者であるイギリスの S. Smith & Sons Ltd. およびドイツの Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft との技術提携により、開発を始めたものである。最近、一般工業用標準製品として ZKA-A₁ 形（コイル回転形）、ZKB-A₁ 形（コイル静止形）パウダクラッチおよび ZKB-Y 形パウダブレーキのシリーズを完成したのでここに紹介する。

2. 標準仕様および外形寸法

2.1 寸法および性能

パウダクラッチの系列としては、コイル回転方式の ZKA 形クラッチ、コイル静止方式の ZKB 形クラッチおよびブレーキを開発した。図 2.1, 2.2 および図 2.3 はその代表的写真を、表 2.1~2.3 には各形式の外形寸法図を、また表 2.4~2.6 にはその性能を示した。

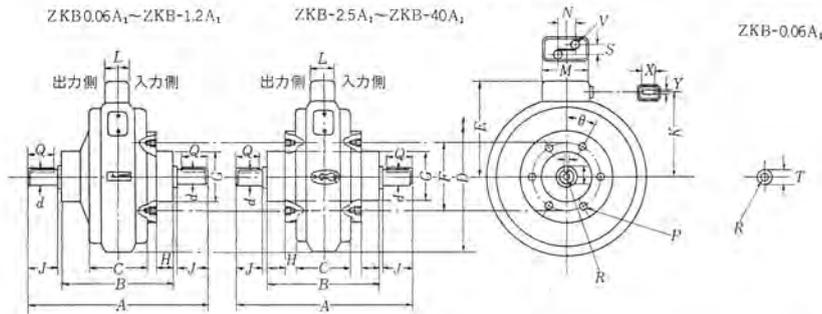
表 2.1 ZKA 形パウダクラッチ外形寸法



寸法 mm

形名	A	B	C	D	E	F	G (min)	H (g7)	J (H7)	K	L	M	N	P	Q	R ネジ 径	ネジ 本数	d (H7)	T (+0.2 -0)	W (E9)	U	S (φ)	V	X	Y	Z	α (°)	β (°)
ZKA-2A ₁	127.5	73	10	152	62	45	40	110	80	4	76	52	54.5	207.5	103	5	6	20	226	6	104	5.5	75	88	37	76	60	30
* -6A ₁	156	112	10	215	102	36	55	140	104	4	100	70	44	256	128	6	6	30	33	8	132	5.5	90	109	15	88.5	60	30
* -10A ₁	183.5	132.5	20	255	116.5	43	60	170	104	4	100	70	51	312.5	150	8	6	35	39	10	132	5.5	90	109	15	88.5	60	30
* -20A ₁	201	150.5	20	300	131.5	42.5	80	218	104	4	100	73	50.5	356	200	8	6	45	49	12	132	5.5	90	109	15	88.5	60	30
* -45A ₁	260.5	193.5	20	365	170	54	110	270	150	4	130	102	67	444	242	12	8	60	66.5	18	208	9	135	154	15	132	60	30
* -65A	280.5	213.5	20	405	190	54	120	295	150	—	130	102	67	—	260	12	8	60	66.5	18	208	9	—	—	—	132	60	30
* -100A	305	227	7	455	235	58	150	185	200	—	170	110	71	—	210	12	8	80	88.5	24	230	9	—	—	—	134	60	30
* -200A	421.5	323	7	470	331	78.5	210	185	200	—	170	110	90.5	—	210	12	8	90	98.5	24	230	9	—	—	—	147	60	30
* -400A	—	413	7	575	402	85	250	220	200	—	210	135	107	—	270	20	8	100	110	28	220	9	—	—	—	167	45	15

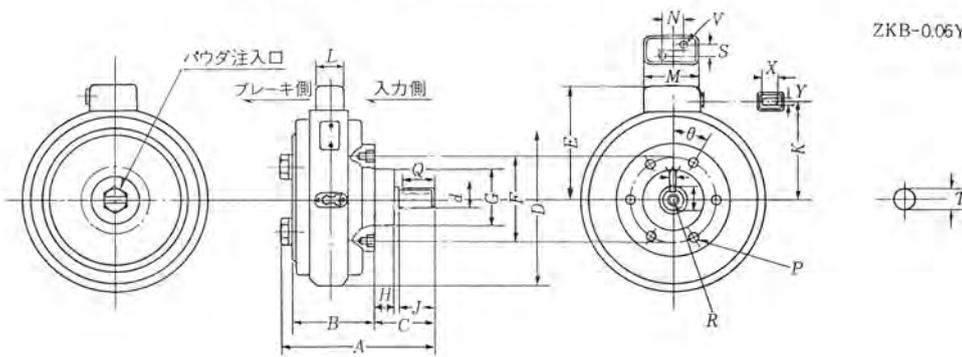
表 2.2 ZKB 形 パウダクラッチ外形寸法



法寸 mm

形名	A	B	C	D	E	F	G (g7)	H	J	K	L	M	N	S	D			キー		R		X	Y	V	d (h7)			
															ネジ径	本数	ネジ有効深さ	θ°	W (P7)	T (0-02.3)	Q					キー止めネジ径	用ネジ有効深さ	
ZKB-0.06A ₁	132	80	40	94	74	55	33	15	22	63	33	53	10	14	5	6	10	30	—	7	20	—	—	12	4	4	2	8
* -0.3A ₁	154	98	42	112	83	64	42	14	22	72	33	53	10	14	5	6	10	30	4	11.5	20	3	6	12	4	4	2	10
* -0.6A ₁	164	100	54	134	95	64	42	14	26	84	33	53	10	14	5	6	10	30	4	13.5	24	4	8	12	4	4	2	12
* -1.2A ₁	192	124	58	152	104	64	42	15	28	93	33	53	10	14	6	6	10	30	4	13.5	25	4	8	12	4	4	2	12
* -2.5A ₁	230	136	68	182	119.5	78	55	17	41	108.5	33	53	10	14	6	6	10	30	5	17	40	5	15	12	4	4	2	15
* -5A ₁	294	172	85	219	138	100	74	30	53	127	33	53	10	14	6	6	10	30	7	23	50	6	15	12	4	4	2	20
* -10A ₁	360	216	98	290	174	140	100	28	65	163	33	53	10	14	10	6	15	30	7	33	60	10	20	12	4	4	2	30
* -20A ₁	408	250	128	335	197	150	110	30	69	186	33	53	10	14	10	6	15	30	10	38.5	60	10	20	12	4	4	2	35
* -40A ₁	500	292	158	398	229	200	130	35.5	92	218	33	53	10	14	12	8	25	22.5	12	48	85	10	20	12	4	4	2	45

表 2.3 ZKB 形 パウダブレーキ外形寸法



寸法 mm

形名	A	B	C	D	E	F	G (g7)	H	J	K	L	M	N	S	P			キー		R		X	Y	V	d (h7)			
															ネジ径	本数	ネジ有効深さ	θ°	W (P7)	T (-0.23)	Q					キー止めネジ径	用ネジ有効深さ	
ZKB-0.06Y	93	48	41	94	74	55	33	15	22	63	33	53	10	14	5	6	10	30	—	7	20	—	—	12	4	4	2	8
* -0.3Y	102	56	42	112	83	64	42	14	22	72	33	53	10	14	5	6	10	30	4	11.5	20	3	6	12	4	4	2	10
* -0.6Y	114	64	46	134	95	64	42	14	26	84	33	53	10	14	5	6	10	30	4	13.5	24	4	8	12	4	4	2	12
* -1.2Y	130.5	76	49	152	104	64	42	15	28	93	33	53	10	14	6	6	10	30	4	13.5	25	4	8	12	4	4	2	12
* -2.5Y	155	85	64	182	119.5	78	55	17	41	108.5	33	53	10	14	6	6	10	30	5	17	40	5	15	12	4	4	2	15
* -5Y	198	102	91	214	138	100	74	30	53	127	33	53	10	14	6	6	10	30	7	23	50	6	15	12	4	4	2	20
* -10Y	238.5	135	100	290	174	140	100	28	65	163	33	53	10	14	10	6	15	30	7	33	60	10	20	12	4	4	2	30
* -20Y	271.5	159	109	335	197	150	110	30	69	186	33	53	10	14	10	6	15	30	10	38.5	60	10	20	12	4	4	2	35
* -40Y	332.5	189.5	139.5	398	229	200	130	35.5	92	218	33	53	10	14	12	8	25	22.5	12	48	85	10	20	12	4	4	2	45

表 2.4 ZKA 形 パウダクラッチ性能表

形名	公称伝達トルク (kg-m)	動 磁 コ イ ル				時定数 (sec)	回転部 GD ² (kg-m ²)		重量 (kg)
		電圧 (V)	電流 (A)	抵抗値 (Ω/20°C)	消費電力 (W)		入力側	出力側	
ZKA-2A ₁	2	24	0.65	37.2	16	0.074	0.0052	6.5	
* -6A ₁	6	24	1.71	14	41	0.35	0.037	14.5	
* -10A ₁	10	24	2.5	9.6	60	0.32	0.08	23.5	
* -20A ₁	20	24	2.45	9.8	59	0.4	0.2	37.5	
* -45A ₁	45	24	2.28	10.5	55	0.5	0.55	84.0	
* -65A	65	75	0.74	10.1	55.5	0.7	1.0	120	
* -100A	100	75	2.02	37.2	150	1.0	1.75	196	
* -200A	200	75	4.44	16.9	330	1.8	3.9	352	
* -400A	400	75	5.4	13.9	405	1.9	13.7	600	

表 2.5 ZKB 形 パウダクラッチ性能

形名	公称伝達トルク (kg-m)	励磁コイル				時定数 (sec)	回転部 GD ² (kg-m ²)		冷却方式	重量 (kg)
		電圧 (V)	電流 (A)	抵抗値 (Ω/20°C)	消費電力 (W)		入力側	出力側		
ZKB-0.06A ₁	0.06	24	0.58	41.17	13.9	0.025	2.43×10 ⁻⁴	0.36×10 ⁻⁵	自然冷却 (密閉形)	2
" -0.3A ₁	0.3	24	0.845	28.4	20.3	0.03	9×10 ⁻⁴	1.15×10 ⁻⁴		3
" -0.6A ₁	0.6	24	1.43	16.8	34.3	0.06	2.71×10 ⁻³	9.8×10 ⁻⁴		5
" -1.2A ₁	1.2	24	1.73	13.8	41.5	0.10	5.13×10 ⁻³	1.81×10 ⁻³		6.5
" -2.5A ₁	2.5	24	2.24	10.7	53.7	0.10	1.64×10 ⁻²	7.1×10 ⁻³		10.5
" -5A ₁	5	24	3.4	7.06	81.5	0.11	4.22×10 ⁻²	1.9×10 ⁻²		18.5
" -10A ₁	10	24	4.4	5.45	105.5	0.21	1.4×10 ⁻¹	7.35×10 ⁻²	自然冷却 (ファン付) (開放形)	4.4
" -20A ₁	20	24	4.6	5.22	110	0.3	3.7×10 ⁻¹	2.3×10 ⁻¹		62.5
" -40A ₁	40	24	6.1	3.94	146.4	0.4	9.7×10 ⁻¹	6×10 ⁻¹		85

表 2.6 ZKB 形 パウダブレーキ性能

形名	ブレーキトルク (kg-m)	励磁コイル				時定数 (sec)	回転部 GD ² (kg-m ²)	冷却方式	重量 (kg)
		電圧 (V)	電流 (A)	抵抗値 (Ω/20°C)	消費電力 (W)				
ZKB-0.06Y	0.06	24	0.58	41.17	13.9	0.025	2.43×10 ⁻⁴	自然冷却 (密閉形)	1.2
" -0.3Y	0.3	24	0.845	28.4	20.3	0.03	9×10 ⁻⁴		2.4
" -0.6Y	0.6	24	1.43	16.8	34.3	0.06	2.71×10 ⁻³		4
" -1.2Y	1.2	24	1.73	13.8	41.5	0.10	5.13×10 ⁻³		5.2
" -2.5Y	2.5	24	2.24	10.7	53.7	0.10	1.64×10 ⁻²		8.4
" -5Y	5	24	3.4	7.06	81.5	0.11	4.22×10 ⁻²		15.2
" -10Y	10	24	4.4	5.45	105.5	0.21	1.4×10 ⁻¹	自然冷却 (ファン付) (開放形)	35
" -20Y	20	24	4.6	5.22	110	0.3	3.7×10 ⁻¹		50
" -40Y	40	24	6.1	3.94	146.4	0.4	9.7×10 ⁻¹		68



図 2.1 ZKA 形 パウダクラッチ
Fig. 2.1 Type ZKA powder clutch.



図 2.2 ZKB 形 パウダクラッチ
Fig. 2.2 Type ZKB powder clutch.

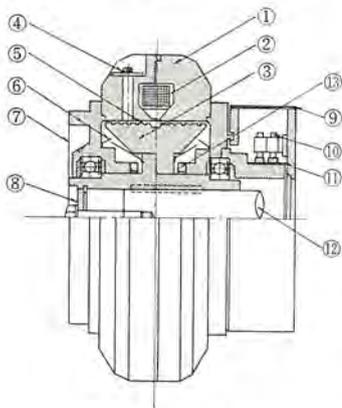


図 2.3 ZKB 形 パウダブレーキ
Fig. 2.3 Type ZKB powder brake.

3. 構造および動作原理

3.1 構造および動作原理

パウダクラッチの構造は図 3.1 および図 3.2 に示すように、ドライブメンバ (駆動体) とドリフメンバ (被駆動体) とを同心円上にギヤツを隔てて配置し、それぞれのメンバは自由に回転できるよう、



- ① ドライブメンバ
- ② 励磁コイル
- ③ ドリフメンバ
- ④ パウダ注入口
- ⑤ パウダキャップ
- ⑥ ラピンスバックン
- ⑦ 入力側ブラケット
- ⑧ 底金
- ⑨ ブラシボックス
- ⑩ ブラシ
- ⑪ スリップリング
- ⑫ 出力軸
- ⑬ ゴム磁石

図 3.1 ZKA 形 パウダクラッチ構造図
Fig. 3.1 Construction of type ZKA powder clutch.

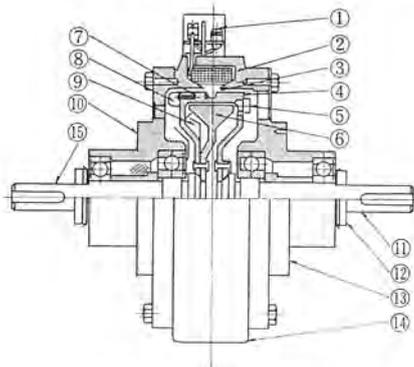
ベアリングでささえられている。このギヤツ (このギヤツをパウダギヤツと呼んでいる) には、透磁率が高く耐熱性のすぐれた鉄粉 (パウダ) が入っており、それに磁束を通すようドライブメンバ内 (図 3.1 参照) またはドライブメンバの外周 (図 3.2 参照) に励磁コイルを配置しただけの、きわめて簡単な構造である。これらコイルおよびドリフ、ドライブ各メンバの配置構造は種々あるが⁽¹⁾ 当社では次の二つの方式を採用している。

3.1.1 コイル回転形 (ZKA 形クラッチ)

図 3.1 はその構造図である。ドライブメンバ内に直接励磁コイルを内蔵しているため、寸法的にはコンパクトにまとまり、しかも磁路中のギヤツがパウダギヤツのみであるから、励磁力も比較的小さくて済むが、コイル部が回転するので、ブラシとスリップリングによる給電構造が必要である。またドライブメンバとドリフメンバ間にベアリングが配置してあるが、クラッチ完全連結時には両者が一体となるので、ベアリングの作動がなくなる構造となっている。

3.1.2 コイル静止形 (ZKB 形クラッチおよびブレーキ)

図 3.2 がその構造図である。ドライブメンバとコイルは別々になっており、主要部分はステータ (コイル内蔵)、ドライブメンバ、ドリフメンバ (図 3.3, 3.4, 3.5) からなっている。またパウダギヤツのほか、エ



- ① 端子
- ② 励磁コイル
- ③ エアキャップ
- ④ ドライブメンバ
- ⑤ パウダ注入口
- ⑥ ドリフメンバ
- ⑦ パウダキャップ
- ⑧ 冷却用ファン
- ⑨ ラピンスバックン
- ⑩ 出力側ブラケット
- ⑪ 入力軸
- ⑫ ベアリング押えナット
- ⑬ 入力側ブラケット
- ⑭ ステータ
- ⑮ 出力軸

図 3.2 ZKB 形 パウダクラッチ構造図
Fig. 3.2 Construction of type ZKB powder clutch.



図 3.3 ステータ
Fig. 3.3 Stator.



図 3.4 ドライブメンバ
Fig. 3.4 Driving member.



図 3.5 ドリブンメンバ
Fig. 3.5 Driven member.

アキカップを有しているため、それだけ大きな励磁力を必要とし、したがってコイル、外形寸法も比較的大きくなるが、ドライブメンバの慣性モーメントは小さくすることがとできる。また外被構造としてはトルク 2.5 kg-m 以下の小形のもの全密封形であるが、それ以上のものについては熱容量を増加させるため、出力側ブラケット内部のドライブメンバにファンを設け冷却する開放形構造にしている。この冷却風は出力側ブラケットから入り、アキカップを通りクラッチ内部を冷却した後、入力側ブラケットの排気口から出るようになっている。図 2.3 のパウダブレーキは、ドリブンメンバを出力側ブラケットに固定したもので、入力側はクラッチと同一構造とし標準化をはかっている。

3.1.3 動作原理

無励磁の状態ではドライブメンバを回転させると、遠心力によりパウダはドライブメンバ動作面に押し付けられ、ドリブンメンバとはならんら連結しない。このシヤ断状態を図 3.6 に示す。コイルに直流電流を通ずると、図 3.7 に見るように磁束が発生し、パウダは瞬時に磁束にそって鎖状に連結する。このときのパウダ間の連結力、およびパウダと動作面との摩擦力により入力側から出力側へトルクが伝達される。

3.2 構造上の問題点

3.2.1 コイル絶縁

励磁コイルの絶縁は、B 種またはそれ以上を採用している。ZKA 形の場合には、ガラステープを介してアルミニウム巻ワにポリエステル線を巻き付け、エポキシ樹脂を含浸したコイルをドライブメンバ内にネジ止めし、回転による振動に耐えられるようにしている。ZKB 形の場合には、ポリエステルの成形巻線後ガラステープ外装絶縁を行ない、ポリエステル線の真空含浸処理を行なっている。またリード線にはテフロン線を使用している。

3.2.2 動作面

パウダと直接接してトルクを伝達するドライブメンバ、ドリブンメンバの動作面は、面荒れや、摩耗を防ぐため厚さ 40~50 μm 程度の硬質クロムメッキを施している。またドライブメンバ動作面には、図 3.5 に見られるようなミジが切つてある。このミジはパウダの分布に粗密を作り、励磁シヤ断後のパウダ連結のクズレを良くし、ク

ZKA 形、ZKB 形パウダクラッチ および ZKB 形パウダブレーキ・宮崎・村田・中田・植田

図 3.6 シヤ断状態
Fig. 3.6 Disengaged state.

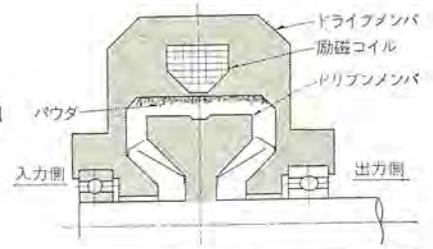
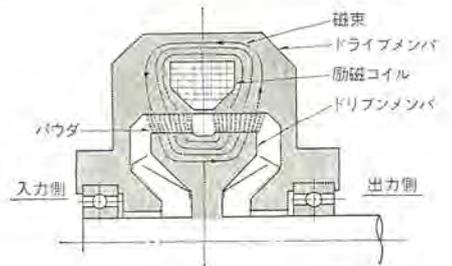


図 3.7 連結状態
Fig. 3.7 Engaged state.



ラッチのシヤ断特性を良好にすることを目的としているもので、その形状、大きさなどは実験的に定めている。

3.2.3 ベアリング

使用上から見て、クラッチ、ブレーキともベアリングの耐久性がパウダとともに重要な問題の一つである。ときにはボール部の温度が、100°C を越えた連続使用になることもあり、また油分が流出してパウダに混入すると、特性低下をきたすので、潤滑剤としては耐熱性に富み、かつ高温時にも適度の稠度を有するようなグリースが望まれる。この要求に対して減摩剤として二硫化モリブデン MoS_2 を約 10% 添加したシリコングリースを採用し、またとくに高温度による熱膨張を考慮して、ベアリングスキマは C_3 を採用している。

3.2.4 パウダ漏れ防止構造

パウダが動作面付近から漏れエィするのを防止するために、ラピッドスチールを用いているが、構造的には摩擦シールではないので空転トルクがなくクラッチのシヤ断性能は良好である。通常はラピッドスチールを 2 重または 3 重に重ね、ベアリング前部にさらにゴム磁石を取り付け、漏れパウダのベアリング部への侵入を防いでいる。

3.2.5 パウダ

パウダはクラッチ性能上非常に重要な要素である。とくにトルク性能、シヤ断性能および耐久性を大きく左右するもので、パウダに要求される性能としては次のことがあげられる。

- (1) 磁界中での透磁率が高いこと。
- (2) 残留磁気が少ないこと。
- (3) 流動性の良いこと。
- (4) 耐摩耗性が良好なこと（摩擦による摩耗、破壊のないこと）。
- (5) 耐熱性が良好なこと（熱による透磁率の低下、焼結、酸化あるいは変質のないこと）。

とくに耐熱性の点で 300°C 以上となることがあるため、それに耐えうるものでなくてはならない。これら諸性能を満足させるため、パウダの材質、粒子径、形状の面から次のような各種パウダについて実験を行なった。

- | | |
|---------------|--|
| (a) カーボニル 鉄粉 | 100 (150 μ), 325 mesh (50 μ) |
| (b) フェライト | 200 (75 μ), 325 mesh (50 μ) |
| (c) センダスト | 200 (75 μ), 325 mesh (50 μ) |
| (d) ステンレス 系鉄粉 | 100 (150 μ), 200 (75 μ), 325 mesh (50 μ) |

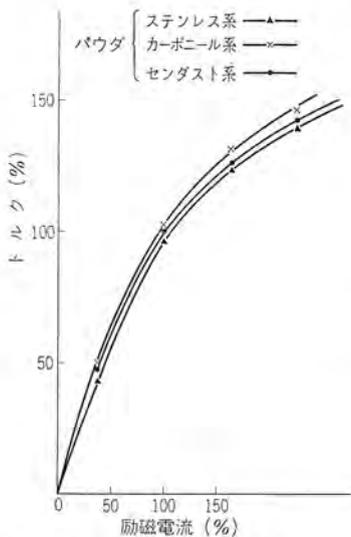


図 3.8 トルク特性 (パウダ材質)
Fig. 3.8 Torque characteristics (powder material).

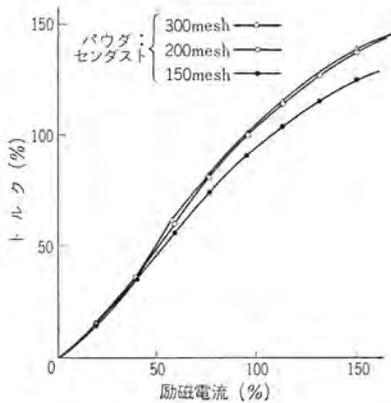


図 3.9 トルク特性 (パウダ形状)
Fig. 3.9 Torque characteristics (powder shape).



図 3.10 精製前のパウダ
Fig. 3.10 Unmilled powder.

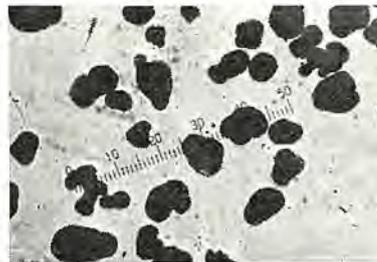


図 3.11 精製後のパウダ
Fig. 3.11 Milled powder.

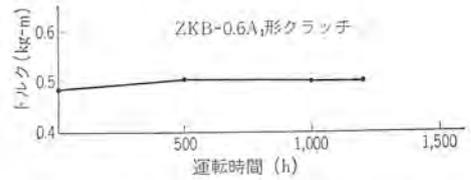


図 3.12 耐久運転によるトルク変化
Fig. 3.12 Torque change by endurance test.

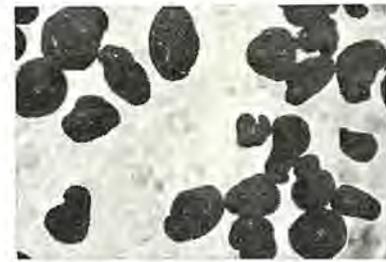


図 3.13 耐久試験前のパウダ
Fig. 3.13 Powder before endurance test.



図 3.14 耐久試験後のパウダ
Fig. 3.14 Powder after endurance test.

材質

カーボニル 鉄粉は磁気的性能は良いが、高温における酸化、焼結が見られ耐熱性に難点があり、使用に耐えなかった。フェライトは耐熱性は最も良いが、磁気性能が悪く特殊な用途に使用できないに過ぎない。センドストおよびステンレス鉄粉は、磁気性能、耐摩耗性、耐熱性ともすぐれた性能を示し好成績を得た。図 3.8 に、パウダ材質によるクラッチトルク比較性能を示している。

粒子径

表 3.1 に示すように、粒子径が大きくなれば充テン率は高くなり、見かけ密度は大きくなるが、図 3.9 に示すように、トルク特性は逆に低くなる傾向を示している。粒子が大きくなれば、遠心力によって粒子の結合が妨げられ、トルク伝達能力を弱める結果と考えられる。したがって実験結果から大体の粒度分布は、20~80 μ 、中央値は 50~60 μ が望ましいという結論を得ている。

形状

形状は球形が望ましく、不規則となるほど充テン率は低く、磁気的性能も低下してくる。また丸みを帯びているほうが充テン率を高めるのに役立ち、さらに流動性を非常に向上させるこ

表 3.1 粒子径による充テン率の変化

パウダ	粒子径 (μ)	充テン率 (%)
センドスト系パウダ	100 以下	61.0
	70	59.7
	50	59.0
	40	50.0

とができる。図 3.10, 3.11 には、それぞれパウダの精製前と精製後の形状を示している。以上の結果から現在われわれはステンレス系パウダを全面的に採用しているが、このパウダで得た耐久試験結果を図 3.12 に示している。1,200 時間の連続スリップ後にも、トルクの低下はほとんど認められない。また図 3.13, 3.14 にこの耐久試験前と試験後のパウダの状態を示す。図 3.14 のパウダは微細粉が混合しており、色については、試験前は灰カッ色であったものが、多少赤カッ色 (表面がわずかに酸化している) に変色していた程度で、十分使用に耐えることが判明した。

3.2.6 磁気回路

磁気回路を構成する鉄材 (とくにドライブ、ドリフマンパ) は十分管理の要があり、通常はカーボン含有量 0.1% 以下のものを使用している。この磁気材料の管理いかんによっては、トルクのバラッキ (ヒステリシスによるものも含む) や、残留、空転トルクの増大などをきたすことになる。

次に磁気回路中の空ゲキ、すなわちエアキャップおよびパウダキャップは、クラッチ性能に大きな影響を及ぼす。エアキャップについては、主として所要 AT の大小、外形形状の大きさに影響することは他の電気機械と同様であるが、パウダキャップについて Ets. Ed. Jaeger の P. Ferry 氏は、パウダの大きさの約 15 倍程度が望ましく、それより小さければクラッチのシャ断性能が悪く、またそれ以上にするとパウダの連結個数が多くなるので、トルク性能が不安定になりやすいとの説をとっている。しかし実際問題としては、クラッチの形状、大きさのいかんにかかわらず同一パウダキャップにすることは、

パウダ分布を均一化するためのナラシ運転の難易とか、所要起磁力の関連性などのために困難な問題である。現在 ZKA 形については 1~2 mm, ZKB 形については 0.4~1.2 mm になっている。

4. 性能

4.1 トルク性能

Richard. Grau 氏, Bruce. A. Chubb 氏らによれば, パウダクラッチのトルクは近似的に式 (4.1) で表わしている⁽²⁾。

$$T = 1.63 \times 10^4 (f \cdot \rho_p \cdot R/A) \phi^2 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

- ここで f : パウダ摩擦係数
 ρ_p : パウダ充填率
 ϕ : パウダギヤットの全磁束 (wb)
 A : 磁束に直角なパウダギヤット全断面積 (m²)
 R : ドリフトメンバ半径 (m)

さらに上記の ϕ は鉄部のリラクタンスを無視すると, 式 (4.2) となる。

$$\phi = \frac{B \cdot A}{2} = \mu_s \cdot NI / K \cdot L_g \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

- ここで B : 磁束密度 (wb/m²)
 μ_s : パウダギヤットの比透磁率
 N : 励磁コイル巻数
 I : 励磁電流 (A)
 L_g : パウダギヤット長 (mm)
 K : 定数

式 (4.1) の f は, パウダクラッチでは静摩擦, 動摩擦係数とも同一となり, 実験的にきまる定数である。式 (4.1), (4.2) からパウ

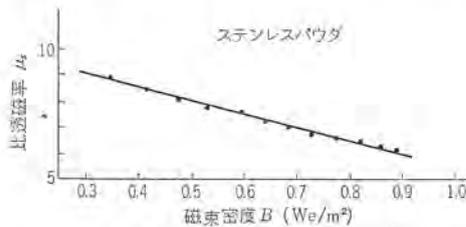


図 4.1 μ_s - B 特性
 Fig. 4.1 μ_s - B characteristics.

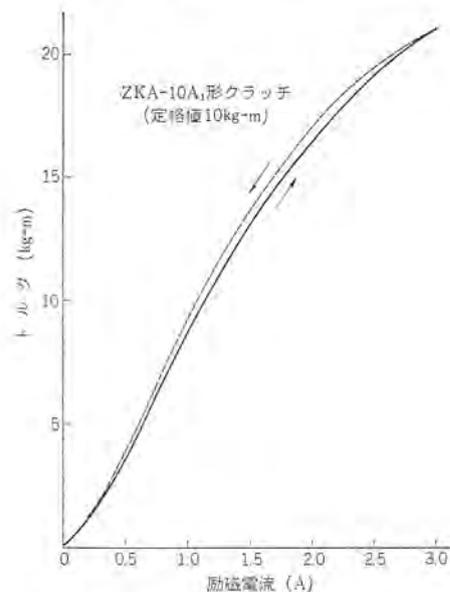


図 4.2 励磁電流—トルク特性
 Fig. 4.2 Exciting current-torque characteristics.

ダギヤットの μ_s が一定であるとすれば, トルクは磁束密度か, あるいは励磁電流の二乗に比例するが, 実際には図 4.1 からわかるように, μ_s の値が磁束密度により変化するので, むしろトルクは励磁電流に比例すると言ってよい。

4.1.1 トルク—励磁電流性能

図 4.2 にトルクと励磁電流の関係を示す。この曲線で見られるように, 弱励磁および強励磁の飽和部を除いてはほぼ直線的であるが, 多少ヒステリシスを有し, また電流をシャ断してもわずかの空転トルクが残る。これは磁気材料の残留磁気によるもので, 完全には避けられない。これが大きい場合には, クラッチとしてのトルク制御およびシャ断性の点で問題となる。

この問題に関しては, 磁気材料の選定と磁気回路の設計的配慮によって, ある程度解決することができる。トルクのヒステリシス率の幅は, 定格トルク付近で 10% 以内であり, また空転トルクについては, パウダギヤットに磁気漏れ分路を設けると有効であり, 通常その値は定格トルクの 1% 以下である。また必要に応じては, 逆励磁を加えることにより減少させることも可能である。逆励磁電流と空転トルクの一例を図 4.3 に示す。これからわかるように, 逆励磁電流を増すと次第に減少し, ある点で最低値となり, さらに増すと逆に増加する。この最低値は励磁電流値ゼロのときの 1/3~1/5 程度である。また各クラッチの励磁電流値ゼロのとき

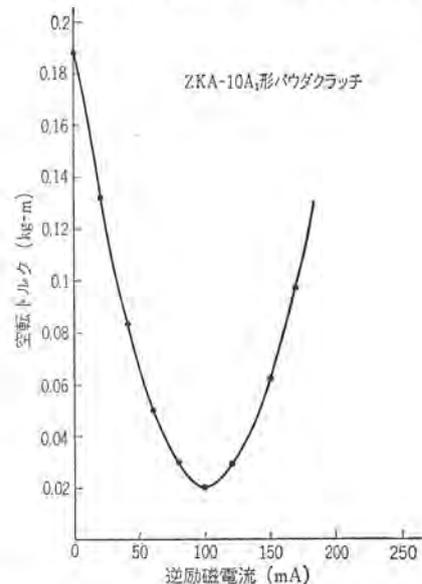


図 4.3 逆励磁電流—空転トルク特性
 Fig. 4.3 Reverse exciting current-racing torque characteristics.

表 4.1 空転トルク

形名	定格トルク (kg-m)	空転トルク (kg-m)
ZKA-2A ₁	2	0.06
ZKA-6A ₁	6	0.1
ZKA-10A ₁	10	0.19
ZKA-20A ₁	20	0.40
ZKA-45A ₁	45	0.55
ZKB-0.06A ₁	0.06	5.0×10 ⁻⁶
ZKB-0.3A ₁	0.3	0.001
ZKB-0.6A ₁	0.6	0.0019
ZKB-1.2A ₁	1.2	0.015
ZKB-2.5A ₁	2.5	0.020
ZKB-5A ₁	5	0.035
ZKB-10A ₁	10	0.05
ZKB-20A ₁	20	0.12
ZKB-40A ₁	40	0.40

の空転トルクを表4.1に示す。ZKB形のほうがエアギャップがあるため、ZKA形に比べてその値が小さくなっている。

次にパウダ充填率（パウダギャップの体積にパウダ比重4.5をかけた値をもって充填率100%と呼んでいる）をパラメータとしたときの、トルクと励磁電流の関係は図4.4に示すように、充填率によってトルクのコウ配および飽和点が変わり、100%まではほぼ充填率に比例してトルクは増加するが、それ以上では増加の割合は急激に減少し、むしろパウダ間および動作面との摩擦により空転トルクのみが増大する。したがってパウダ充填率は100%以下に押えるべきで、現在では90~100%の範囲に規定している。図4.5には、ZKA形とZKB形とのトルク特性の比較を示すが、エアギャップの有無が、かなり所要励磁電流に影響を与えることがわかる。

4.1.2 トルクスリップ性能

図4.6は励磁電流をパラメータとして、トルクとスリップ回転数の関係を示しているが、一定励磁電流におけるトルクは、スリップ速度に関係なくほぼ一定である。これはこのクラッチの特長で、伝達トルクがパウダと動作面との摩擦力のみでなく、パウダ連結力によるものであることが原因と考えられる。実際には多少のバラツキがあり、スリップ速度ゼロ付近では不安定となることもあるが、一般には、スリップ速度によってトルクは変動しないといって実用上さしつかえない。トルク変動の要因としてパウダ分布の問題があるが、パウダ分布を均一にするには、構造的にパウダがパウダギャップ面へ容易に導入されるような形状が望ましい。そのためパウダギャップ側面の形状、およびパウダギャップについて、設計的配慮を行っている。またスリップ速度が比較的小さい場合はトルクは

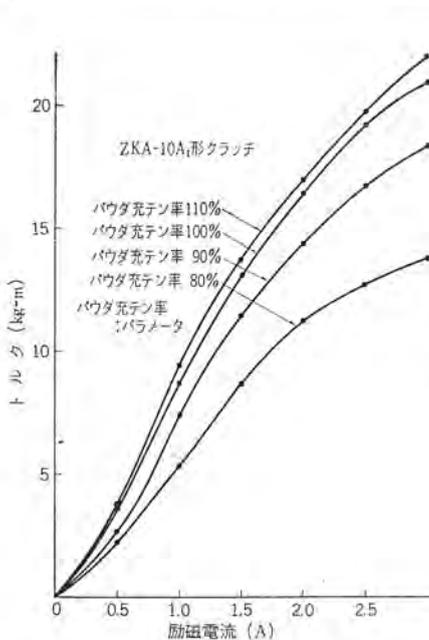


図 4.4 励磁電流—トルク 特性
Fig. 4.4 Exciting current-torque characteristics.

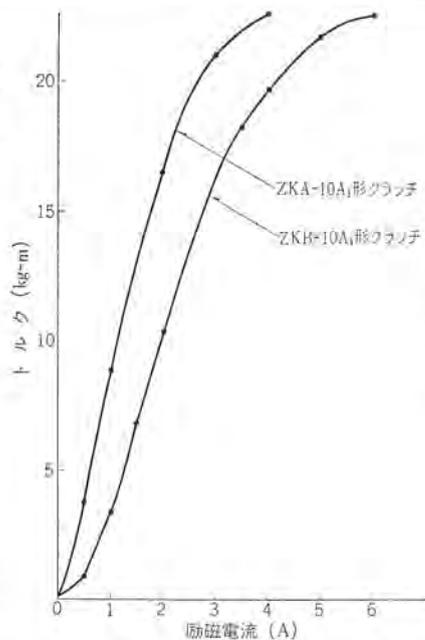


図 4.5 ZKA形とZKB形とのトルク比較
Fig. 4.5 Comparison of torque between type ZKA and ZKB.

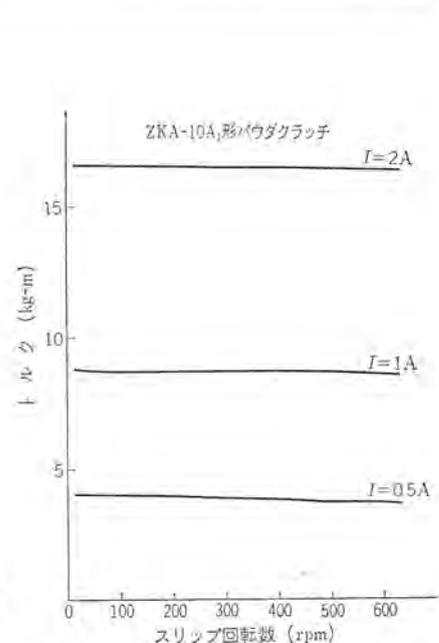
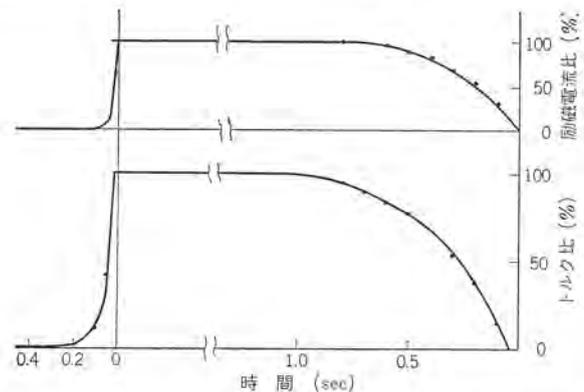
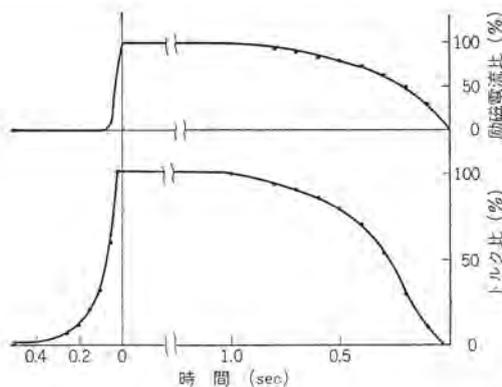


図 4.6 スリップ回転数—トルク 特性
Fig. 4.6 Slip revolution-torque characteristics.



励磁電流	投入時 (sec)			シャ断時 (sec)		
	トルク	時定数	95%	トルク	時定数	95%
0.3	0.025	0.36	0.87	0.03	0.025	0.09

(a) ZKA-10A₁形パウダクラッチ

100%トルク=15.1kgm 100%電流=2.05A 回転数 200rpm

励磁電流	投入時 (sec)			シャ断時 (sec)		
	トルク	時定数	95%時	トルク	時定数	95%時
0.26	0.04	0.36	1.0	0.016	0.004	0.058

(b) ZKB-10A₁形パウダクラッチ

100%トルク=19kgm 100%電流=4A 回転数 200rpm

図 4.7 クラッチ 応答性能
Fig. 4.7 Clutch response characteristics.

一定であるが、高くなってくるとパウダの遠心力のために連結力が低下したり、パウダ分布が不均一になるなどの原因により、トルクが低下しがちである。実測データによれば、パウダギヤ部での周辺速度が1500 m/min程度を越すと、このような傾向が現われる。

4.2 応答性能

図4.7は投入時、シヤ断時の過渡状況の一例を示したものであるが、投入時の励磁電流の時定数は、コイルのインピーダンスで決定されるもので、一般にはその形状寸法の大きさに比例して増大する。これに対して、トルクには無応答時間があるが、これは図4.7からわかるように、電流時定数の10%程度であり、パウダクラッチの特長として、この無応答時間の短いことがあげられる。これはパウダ連結のための配列所要時間であり、非常に慣性の小さい粒子が移動するわけであるから、可動片とか、可動鉄心の移動する他方式の電磁クラッチに比べて短くなるわけである。またトルクの時定数については、大体電流と同様の傾向を示すが、磁気回路内の磁束の遅れのために、多少その時定数は大きくなっている。

次にシヤ断時については、時定数は投入時のその10%以下である。しかしトルクの時定数は、電流よりかなりおくれる。これは電流変化が早すぎて、磁束がその変化に十分追従しにくいと考えられる。このデータはコイルの並列抵抗無しの場合であるが、実際にはシヤ断時にコイルに発生するサージ電圧を吸収するため、コイルの約10倍程度の並列抵抗をそう入しているため、トルク時定数はさらに2~3割大きくなる。なおこのシヤ断性能は、3.2.6項で述べたように、パウダギヤ部がパウダの大きさに比べて十分でなく、10倍以下の場合にはトルク減衰の途中で大きなスキップ現象を起こし、スムーズにシヤ断されないことがある。また実験結果によれば、投入時、シヤ断時それぞれのトルク時定数はスリ

ップ速度が1,000 rpm以下ではほとんど変化しない。図4.8はZKB-5A₁の電流投入時、シヤ断時の過渡状態をオシロで示したものである。

4.3 許容スリップ工率、許容連結エネルギー、耐久性

4.3.1 連続スリップ時の許容スリップ工率

図4.9は、パウダクラッチを連続スリップ状態で使用した場合の温度上昇特性の一例である。ZKA形では、ドライメンパが直接外気と接するため冷却効果が大きく、入力側の回転数が増すと著しくスリップ工率が增加する。またZKB形は図4.10に示したように、内蔵ファン効果によって、回転数増加によるスリップ工率の増大がかなり期待できる。両者を比較したとき、低回転数ではそれほど差はないが、高回転になるとZKA形のほうが有利である。また個々のクラッチについて、ドライメンパの単位面積あたりのスリップ工率を示したものが図4.11および図4.12である。ZKB形のうち2.5A₁以下のものは、密閉構造なので回転差による変化は見られない。両タイプとも大形になるほど、単位面積あたりのスリップ工率は低下する傾向が見られる。許容スリップ工率の限界値付近で連続使用した場合の、各部の温度上昇ならびに最高許容温度を表4.2に示すが、一般の使用状態では、この最高温度よりもいくぶん低い余裕ある使用を推奨する。許容温度以上では連続使用するとパウダの焼結、動作面への融着などによる磁気特性の劣化、ベアリングの焼き付き、コイルの過熱などにより耐久性は著しく低下

表 4.2 各部最高許容温度表

場 所	温度上昇 (°C)	最高温度 (°C)
クラッチ表面 (ヨーク)	60	100
ベアリング	40	80
コ イ ル	90	130
パ ウ ダ	260	300

(周囲温度 40°C の場合)

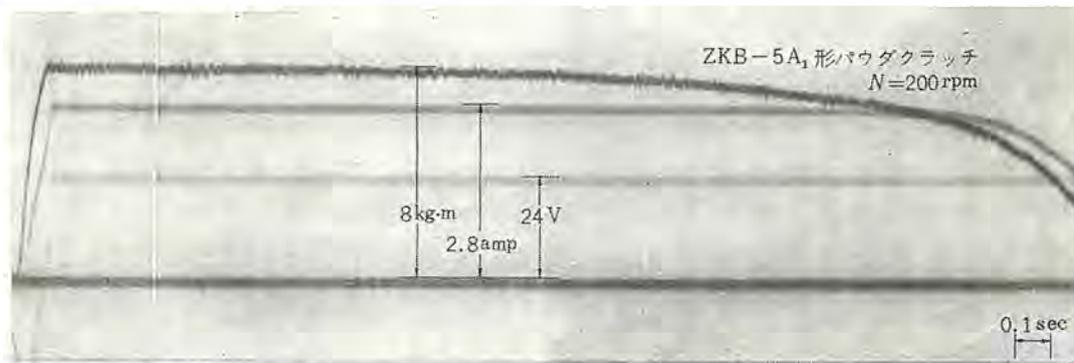


図 4.8 ZKB-5A₁ 過 渡 特 性 オ シ ロ

Fig. 4.8 Oscillogram of type ZKB-5A₁ transition characteristics.

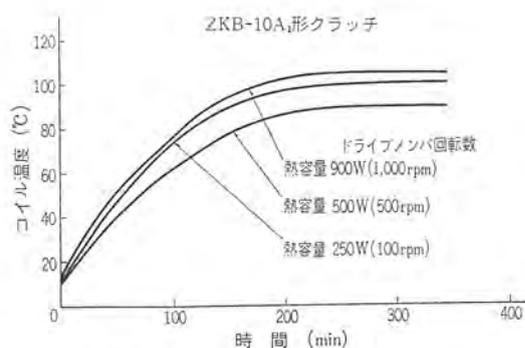


図 4.9 温度上昇特性 (I)

Fig. 4.9 Temperature rise characteristics.

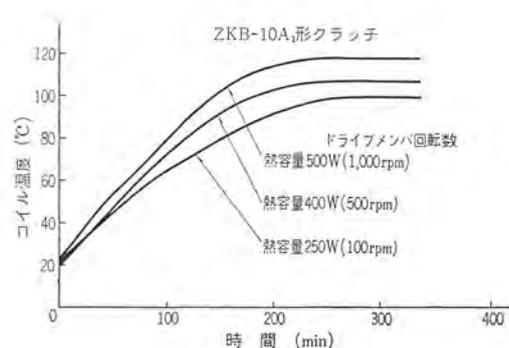


図 4.10 温度上昇特性 (II)

Fig. 4.10 Temperature rise characteristics.

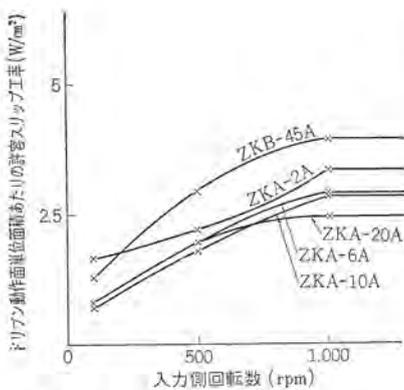


図 4.11 許容スリップ工率特性 (I)
Fig. 4.11 Allowable slip loss characteristics (I).

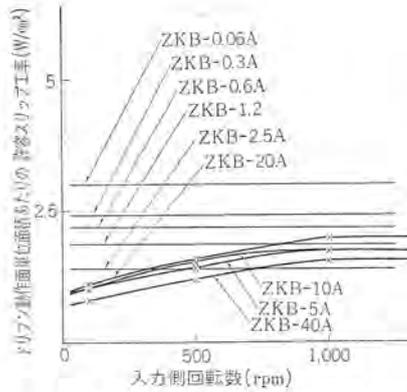


図 4.12 許容スリップ工率特性 (II)
Fig. 4.12 Allowable slip loss characteristics (II).

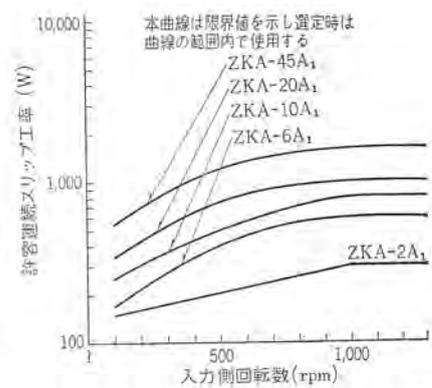


図 4.13 ZKA 形許容連続スリップ工率
Fig. 4.13 Type ZKA allowable continuous slip loss.

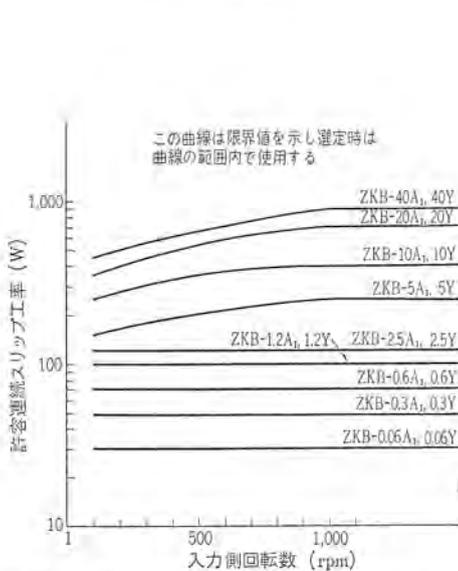


図 4.14 ZKB 形許容連続スリップ工率
Fig. 4.14 Type ZKB allowable continuous slip loss.

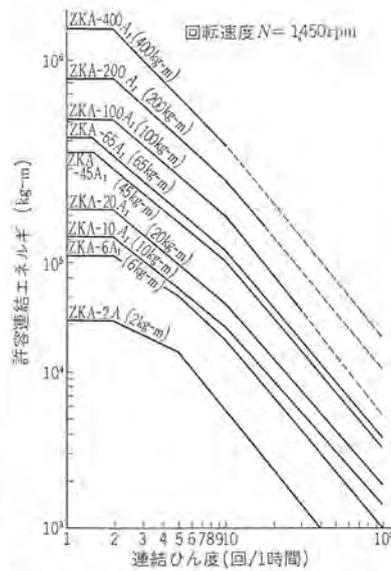


図 4.15 ZKA 形許容連結エネルギー線図
Fig. 4.15 Type ZKA allowable engaged energy diagram.

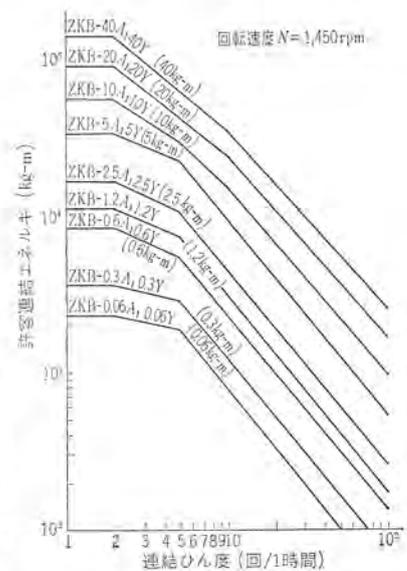


図 4.16 ZKB 形許容連結エネルギー線図
Fig. 4.16 Type ZKB allowable engaged energy diagram.

する。またとくに許容スリップ工率を増加させるために、圧縮空気による強制冷却方式も有効であり、目下検討中である。

4.3.2 間欠スリップ時の許容連結エネルギー

パウダクラッチを単純な連結緩衝装置として使用する場合には、過渡的にはスリップ熱を発生するが、最終的には完全連結となり熱の発生はなくなる。パウダクラッチでは、連結ひん度が低ければ、一回あたりの許容連結エネルギーはかなり大きくとれる。しかし連結ひん度の増加とともに急激に減少し、50回/1時間以上になると、間欠スリップとしてよりもむしろ連続スリップ状態として取り扱ったほうが適しているようである。

4.3.3 耐久性

クラッチの耐久性は使用条件によって決まるから、当然スリップ工率と伝達トルクの限界内で使用することが必要である。パウダの耐久性は、規定スリップ工率以内の使用で5,000~8,000時間としているが、過酷な使用条件によっては、これより早く劣化する。パウダの劣化は、トルク低下の傾向となって表われるが、初期値より30%以上トルク値が低下すれば、パウダを交換する必要がある。

4.3.4 連続スリップ許容線図

連続スリップ工率の限界値を図4.13、4.14に示す。これは周囲温度20°Cの場合にコイル上昇温度100°C、したがって最高温

度を120°Cと規定したときのクラッチスリップ工率を、クラッチ入力側回転数の関数として表わしたものである。

4.3.5 許容連結エネルギー連結ひん度線図

クラッチまたはブレーキを連結用として使用するときに発生する連結エネルギーの許容値を、図4.15、4.16に示している。なお図4.15はA.E.G.で求めたデータである。

5. む す び

以上ZKA形、ZKB形パウダクラッチおよびブレーキの構造、性能などの概要について述べたが、応用面については、すでに一部簡単ではあるが発表しているので割愛した⁽³⁾⁽⁴⁾。最後に、パウダの調査、実験データなどの点で種々ご協力いただいた当社中央研究所の各位に厚く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) P. Ferry: Les Coupleurs électromagnétiques a poudre, Tech et Sci aéronaut [5] 1962
- (2) R. Grau, B. A. Chubb: The magnetic particle clutch, Aerospace Engineering, November (1961)
- (3) 宮崎, 村田: パウダクラッチとその応用, 機械工業 [9] (1963)
- (4) 宮崎, 村田: 電磁粒子式クラッチの特性とその応用, 機械設計 [5] (1964)

宇宙通信用大形アンテナの油圧サーボ機構

金子敏夫*・池上駿一郎*・渡辺秀也*

Hydraulic Servomechanisms Applied to A Large Antenna for Satellite Communications

Kamakura Works Toshio KANEKO・Kiichirō Ikegami・Hideya Watanabe

Various kinds of apparatus installed in the Ibaraki Communication Center of the Kokusai Denshin Denwa Co. (International Telegraph and Telephone Co.) involve a number of novel techniques. Of them stands out a hydraulic servosystem of driving part for use with a sending and receiving antenna of 20 m in diameter made by Mitsubishi. A hydraulic power unit used of unattended operation by remote control with every precaution is not to overrun the driving part. This article describes about the features of the hydraulic servosystem attached above the contents of the principal elements, their characteristics, all other essential points and a countermeasure to several problems.

1. ま え が き

世界通信として衛星中継通信の研究が1961年1月ごろから、国際電信電話株式会社において計画され、その手始めとして、通衛星の追尾装置用6mφアンテナおよび、宇宙通信用20mφ送受信アンテナの設置準備が始められ、その設計製作を当社が受注することになった。

追尾装置は1963年6月に完成し、7月にはこれを用いて通信衛星テラスタ2号のビーコン電波に対する追尾実験に成功した。同年10月末に20mφ送受信アンテナおよび送受信関係諸装置が完成し、11月15日通信衛星リレー1号に20mφアンテナを指向し追尾させることに成功した。次いで11月23日午前5時27分42秒、アメリカカリフォルニア州モハーベ局からリレー1号を中継して送られたTV信号は、Grade 4と評価されるほどの画像をとらえることができ、そのプログラムはNHKのテレビ電波を通して全国に中継された。引き続き十数回実験が行なわれ、機器の性能調査の上で、貴重なデータを得るとともに、全装置が所期の性能を満足していることがわかった。

この報告はこれら諸装置のうち20mφアンテナの駆動部について述べる。

2. 要求性能諸元

20mφアンテナ系駆動部の設計に要求された主要性能諸元は表2.1のとおりである。

表 2.1 20mφアンテナ駆動系の主要性能諸元

	方位角	フ(俯)仰角
回転角範囲	±400°	-2°~+90°
角速度範囲	0.01~3°/sec	0.005~1°/sec
角加速度	3°/sec ²	1°/sec ²
角度検出精度	1/200°	1/200°
総合追尾精度	3分	3分

3. アンテナ駆動方式とその概要

この計画の20mφアンテナはEL-AZ駆動方式を採用することにしたので、衛星追尾のためには天頂近傍での角速度がきわめて大きくなる。このため天頂付近の使用を制限しているが、それでも

0.005°/sec~3°/sec程度の角速度範囲で、精密な制御が要求された。また人工衛星に指向させて、送受信に用いる大形アンテナは、その反射鏡の指向精度に対する要求がきびしく、追尾精度として0.01°以上の精度が必要とされた。これらのためアンテナの制御指令信号、アンテナ指向角度、信号処理にはデジタル方式が採用された。また動力伝達機構としての歯車列は、普通パックラッシ、静および動摩擦トルク、慣性効率のほか、各軸および歯形列の弾性変形が問題であった。とくに反射鏡が大形になると、負荷軸まわりの

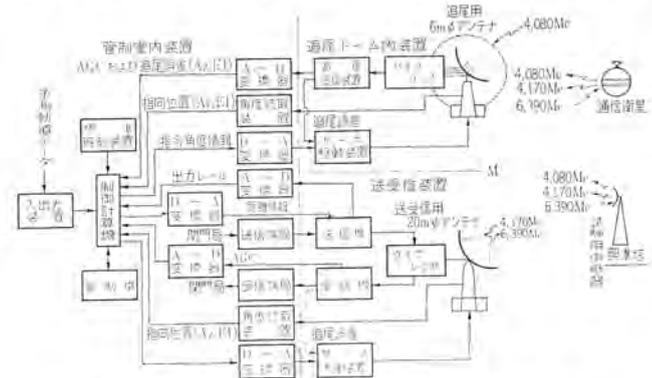


図 3.1 茨城宇宙通信実験所総合系統図
Fig. 3.1 All round system diagram of Ibaraki satellite communication laboratory.

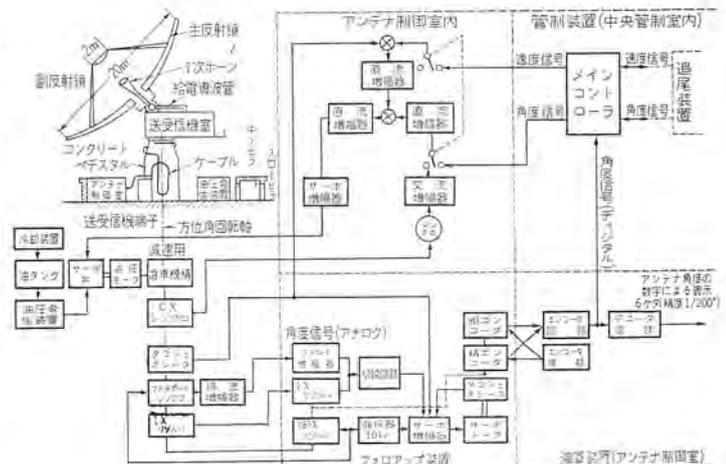


図 3.2 20mφアンテナ駆動系統図
Fig. 3.2 Antenna driving system diagram.

*鎌倉製作所



図 3.3 茨城宇宙通信実験所の全景
Fig. 3.3 Full view of Ibaraki satellite communication laboratory.



図 3.4 20mφアンテナの近景
Fig. 3.4 Antenna 20 m diameter.

慣性能率、負荷トルクが増大するので、機械系の共振周波数が低下し、制御系のバンド幅が小さくなる。これらの系に、伝達駆動部のバックラッシュ、静摩擦トルクなどが影響するほどの値になると、制御が非常に困難となるので、歯車列はその精度を高くしてバックラッシュを少なくするとともに、駆動機構の剛性を高めることが重要な問題となった。

駆動方式としては、電動機駆動や油圧駆動の方法が考えられたが、次の理由によって、後者を採用することにした。

- (1) 変速比が電気方式に比べて大きくとれる。とくに低速駆動特性がすぐれている。
- (2) 駆動部は電気方式に比べ、小形で大きなトルクが得られる。したがって速応性がよい。
- (3) 油圧式は電氣的雑音の心配がない。

油圧駆動にもポンプ制御方式とバルブ制御方式とが考えられたが、この装置は制御方法が簡単で、性能のすぐれている点で、バルブ制御方式を採用することにした。図 3.1 は茨城宇宙通信実験所総合系統図である。図 3.1 において、まず追尾用アンテナは、あらかじめ計算されている予測軌道データに従って、通信衛星のたいたいの方向に向けると、衛星が発射するビーコン電波を受信し、水平および垂直面内の電波到来方向を検出し、この信号によってアンテナを衛星方向に追尾させて衛星の位置を検出している。この追尾用 6mφアンテナの方位角、 ψ (俯) 仰角の角度情報は、デジタル化して、送受信用 20mφアンテナに伝え、同アンテナを衛星の方向に指向させ、衛星からの通信電波および、地上から衛星へ送

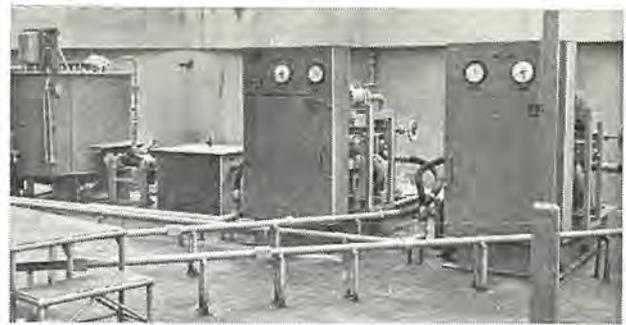


図 3.5 20mφアンテナ駆動用油圧発生装置
Fig. 3.5 20 m dia. antenna driving oil pressure device.

る電波を正確に送受している。

図 3.2 は 20mφアンテナ駆動系統図であり、方位角回転軸まわりのみについて示している。図 3.2 において、コンクリートベテスタルの近くにある油圧発生装置からは、一定圧力の油圧がサーボ弁に供給されている。いま中央管制室にあるメインコントローラからの指令信号が直流増幅器、サーボ増幅器を通して、サーボ弁のトルクモータに印加されれば、その信号の大きさに比例した速度で油圧モータを回転させることができるので、これを減速した歯車機構を介して、アンテナの方位角回転軸を駆動している。アンテナ回転角度の瞬時値は、その回転軸に直結されているシンクロとリゾルパとによって、アンテナ制御室にあるフォロアップ装置のフォロアップ軸にアナログ量で伝達される。またフォロアップ軸に直結したエンコーダによって、アンテナ角度がデジタル化して読み出され、メインコントローラに伝達される。メインコントローラでは、これを軌道情報による方位角、 ψ 仰角の入力値と比較し、その差が 0 となるように角度信号を制御増幅器回路に加えるというループを構成している。

ψ 仰軸は方位角軸の上に設ける構造になっているので、そこに高圧油を送る方法として、電気のスリップリングに相当する油圧のロータリジョイントを用いた。これは 140 kg/cm² 程度の高圧油を完全にシールさせるとともに、回転トルク、寿命などの点でも所期の目的を十分達成させることができた。

図 3.3 の写真は茨城宇宙通信実験所の全景で、手前円形レードーム内に、追尾装置用 6mφアンテナおよびその駆動油圧装置が設置されている。写真の中央に見えるアンテナが送受信用 20mφアンテナの外観である。図 3.4 に 20mφアンテナの近景の写真を示す。図 3.5 は 20mφアンテナ装置の近くに設置したアンテナ駆動用油圧発生装置の写真である。

4. 20mφアンテナの油圧サーボ機構

4.1 20mφアンテナ駆動部のおもな構成要素

ブロック線図を図 4.1 に示す。このアンテナは送受信機の要求性能から、外径 20mφという大形になっているので、図 4.1 に示す駆動系の出力馬力はきわめて大きくなる。したがって、わずかに安全率を大きくするだけで所要出力も大きくなる。さらに歯車駆動系や反射鏡の重量を増加し、機械共振周波数を低下させて制御系の動特性を劣化させるとともに、製作費を高価にさせるなど各部に不利な影響を与えることになる。

以上の理由で駆動装置の所要出力をできるだけ綿密に検討し、適切な出力——駆動トルク、速度、加速度——で設計をすすめることが重要であった。

アンテナの負荷としては、おもにアンテナの不平衡トルク T_U 、駆

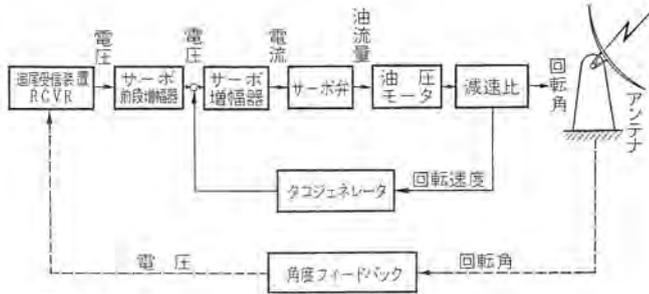


図 4.1 20 m 径アンテナ駆動部の主構成要素のブロック線図
Fig. 4.1 Block diagram of main constituent element for driving 20 m dia. antenna.

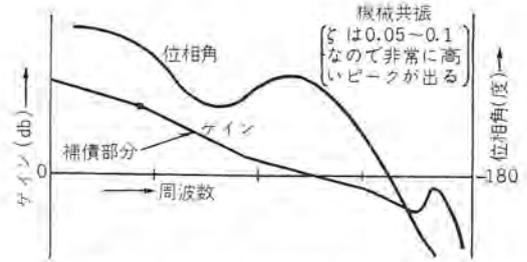


図 4.2 アンテナ駆動系のボード線図
Fig. 4.2 Board diagram of antenna driving system.

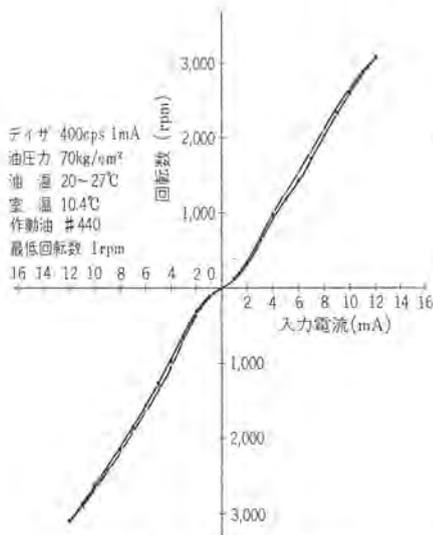


図 4.3 サーボ弁と油圧モータの入力電流-出力流量特性 (EL側)
Fig. 4.3 Input current-output flow characteristic of servo valve and oil pressure motor.

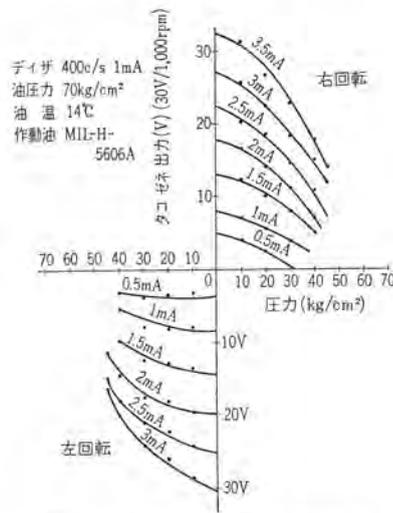
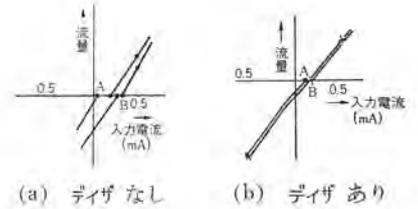


図 4.4 サーボ弁と油圧モータの圧力-速度特性 (EL側)
Fig. 4.4 Pressure-speed characteristic of servo valve and oil pressure motor.



(a) デイズなし (b) デイズあり

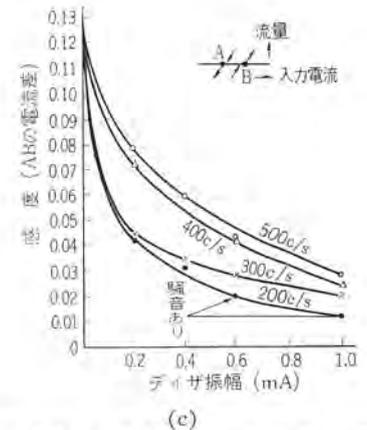


図 4.6 サーボ弁と油圧モータのデイズ振幅、周波数、感度との関係
Fig. 4.6 Relation among dither amplitude of servo valve and oil pressure motor, frequency sensitivity.

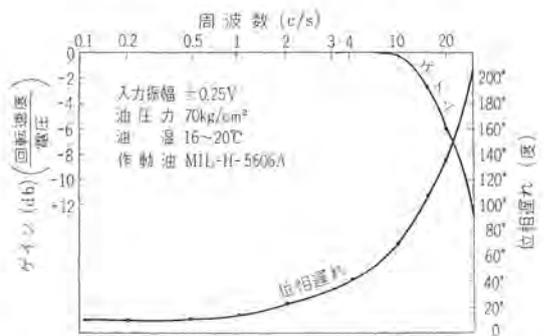


図 4.5 サーボ弁と油圧モータの周波数応答特性 (EL側)
Fig. 4.5 Frequency response characteristics of servo valve and oil pressure motor.

動機構の摩擦トルク T_F , 風圧によるトルク T_W , (ロードムにおおわれているときは無視できる。) 慣性負荷によるトルク $J_L \ddot{\theta} N$ (J_L は油圧モータ軸における油圧モータ自身から被駆動部までの等価慣性係数, $\ddot{\theta}$ は負荷の回転角加速度, N は油圧モータから負荷までの減速比) などであるから, 油圧モータの出力トルク T_M は

$$T_M \geq \frac{T_V + T_F + T_W}{N} + J_L \ddot{\theta} N$$

ここで, 出力負荷の要求値 $\ddot{\theta}$ と, 推定値 T_V , T_F , T_W とから, J_L , N , T_M を決める。

J_L , N , T_M はそれぞれ関連している因子であるとともに, T_M はその供給油圧力に, N は油圧源の流量と, その系の一巡伝達関数のルーゲインに関係している。

図 4.1 のサーボ前段増幅器には低周波数域のゲインが高くなるような補償回路を付加して, 低速回転時のルーゲインを高くして精度を上げ, 高周波数域ではルーゲインを下げて系の安定性を増すようにした。

以上のようにして, アンテナ油圧サーボ機構のおもな構成要素の諸元を決めた。これらのシミュレーションによって決めた諸元をもとにして画いたのが図 4.2 のボード線図である。

4.2 おもな機器の実測値

(1) サーボ弁と油圧モータとの組み合わせ

バルブ制御油圧サーボ系において, おもな構成要素であるサーボ弁と油圧モータについての実測結果を示せば図 4.3, 4.4, 4.5のごとくである。

サーボ弁と油圧モータはその組み合わせを適切にして, 所要性能を満たすことが必要である。また両者の連結に配管を用いることは不必要な油容積を増加し, 可動部の慣性質量と容積変化とを大きくし, サーボ系として悪い影響を与える。

この装置では以上のことを考え, 標準形油圧モータの一部を改

造して、配管なしにサーボ弁と油圧モータとを直結した。

(2) デイザの決定

サーボ弁のトルクモータ部には磁石を使用している。またスラールとスリープとは工作上ゼロ重合にして、その摩擦負荷をゼロにすることは実際上不可能である。これらが原因で生ずるヒステリシスや、流量0付近の不感帯を取り除くためにデイザを印加することにした。デイザの効果は一般に供給圧力、負荷、サーボ弁や油圧モータ固有の特性、およびデイザ周波数と振幅によって変わる。したがってその最適値は、実際に使用する機器について決めなければならない。

いまサーボ弁と油圧モータとを組み合わせた系において、入力電流0近傍で、油圧モータが回転しはじめるときのサーボ弁の入力電流値をもって感度とすると、デイザ周波数を一定にして、デイザ入力振幅と感度との関係とを測定した結果が図4.6である。

この装置ではこれらの測定結果を参考にして、デイザ周波数を400 cpsと決め、デイザ振幅の適正な値はアンテナサーボ系の総合調整の段階で決めることにした。

5. 油圧発生装置

5.1 概要

送受信用20mφアンテナを駆動する動力源である油圧発生装置は図5.1に示すような外観で、常時無人運転のできる遠隔操作式にしてある。もしこれらの装置のどこかが故障して、駆動部が暴走し、反射鏡やその他の機器を損傷させては大変なので、この装置の設計にあたり、安全装置として次のような配慮をした。

(1) アンテナ回転角が第1制限域に達すると、自動的にサーボ弁の入力信号を0にし、供給油圧を下げるとともに機械ブレーキをかけるようにしている。第1制限域を通過し、第2制限域

表 5.1 圧力の設定値

設定圧力 (kg/cm ²)	スイッチ No.		作 動 内 容	
上限値	AZ	EL	高压接点 sol 2 ON	ソレノイド弁を開いて供給圧力を0にし、かつポンプ駆動電動機を停させる。安全装置として使用。
	85	75		
設定値	60	50	低压接点 sol 1 ON	ソレノイド弁が閉じて、供給圧力が上昇し60 kg/cm ² になると制御室の青ランプが点灯しアンテナが作動状態になっていることを表示。

に達すると、ポンプ駆動電動機の電磁開閉器をOFFにし、油圧系全部を断している。(図5.2)

(2) ポンプ駆動電動機のスイッチと、供給油圧を上昇させるための電気信号スイッチとの間に電氣的遅延リレーをそう入し、両スイッチを同時に投入しても電動機が定常回転になってから供給油圧力が上昇するようにして、電動機への過負荷を避けている。

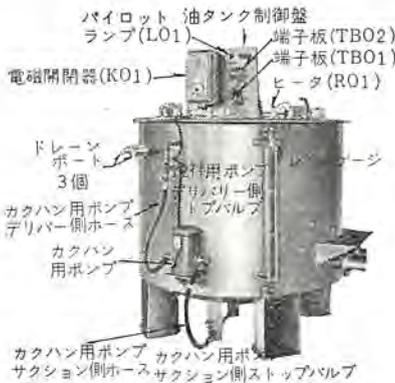
(3) 2接点付圧力計を使用して、低压接点では設定圧力になったことを遠隔指示し、高压接点は供給圧力がなんらの理由で高くなっている場合に指示するもので、このときはポンプ駆動電動機を停止させるようにしている。(表5.1)

5.2 油圧発生装置の油圧回路

サーボ弁を用いた油圧サーボ系の供給油圧源としての油圧発生装置は、一般の油圧発生装置として具備すべき条件のほか、次の項目について特別な工夫を払った。

(1) 供給油圧力の変動を少なくした。

サーボ弁の油圧供給口で圧力が変動すると、制御流量が変動し、アンテナの動きが円滑に回転しなくなる。このアンテナのように最低速度0.01°/sec以下から最高速度3°/secの広範囲にわたり円滑に動かすとともに、精密な追尾をさせるには、供給油圧力をできるだけ一定に保持する工夫が必要である。また機械の構成上、油圧発生装置とアンテナ駆動油圧モータまでの約30m間を高压配管で連結しなければならなかったため、油圧回路の設計にはとくに



(a) ポンプユニット



油圧発生装置(EL)



油圧発生装置(AZ)

図 5.1 油圧発生装置

Fig. 5.1 Hydraulic power unit.

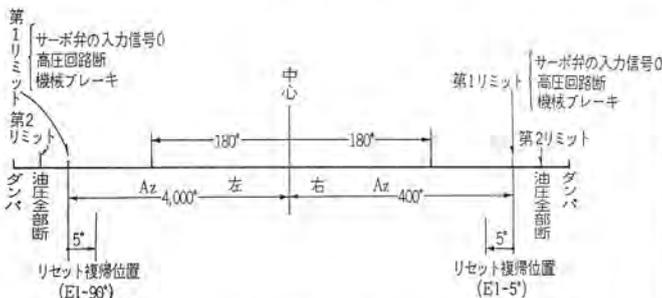


図 5.2 アンテナ回転角制限域
Fig. 5.2 Limit of antenna rotating angle.

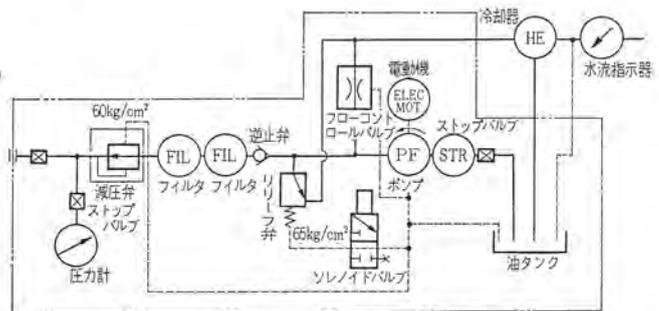


図 5.3 油圧発生装置油圧回路図
Fig. 5.3 Hydraulic circuit diagram of hydraulic power unit.

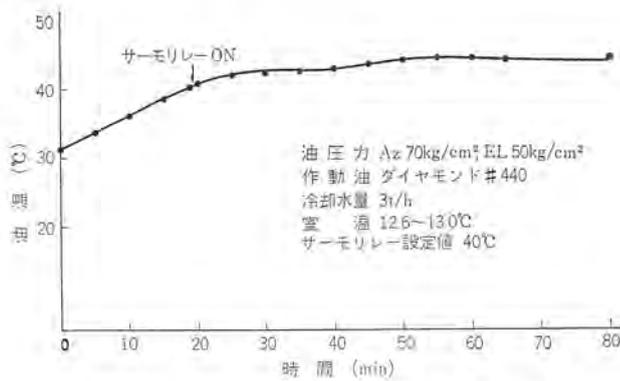


図 5.4 油タンク温度制御の実測値
Fig. 5.4 Measured value of oil tank temperature control.

考慮をした。図 5.3 はその油圧回路図である。

(2) 油温を一定値に保持すること。

サーボ弁は構造上温度変化によるゼロ点移動を避けることはむずかしい。この対策として系の設計にあたり、ルーザインの大きさと許容しうるゼロ点移動との関係や、経済上油温制御の範囲を考えて、油タンクの大きさ、油の種類、ポンプの種類、油温制御の設定値、油温冷却の方式などを決めた。初期の計画では地下水が豊富に得られる場所が予定されていたが、途中アンテナ建設地が変更になり、地下水を多量に得ることがむずかしくなり、貯水池を構築し、クーリングタワーを設けて循環水を冷却用に使することにした。

一般に油圧装置の適正運転温度範囲は 30~50°C で、60°C 以上になると酸化作用によって、作動油としての性能が劣化する。とくに油圧発生装置の所要馬力は AZ, EL の両者を合わせると 100 馬力で、バルブ制御方式なので、多量の熱を発生する。

以上の理由で、油温冷却には水を冷媒とした熱交換器で 32°C の水 8t/h を必要とする仮定のもとに配管工事をした。工事終了後の実測結果は図 5.4 に示すように、計画した水量で油タンク内平均温度を 40±5°C 以内におさめることができた。(表 5.2)

(3) 作動油中のゴミ水分の対策。

この油圧サーボには比較的ゴミに敏感なサーボ弁を使用することにしたので、油圧回路の設計にあたっては、とくにゴミの口過に細心の注意を払った。図 5.3 に示すように油圧発生装置内のみでも、ストレーナ 1 個およびラインフィルタを 2 重に設け、10μ 以上のゴミを全部除去するようにした。油圧配管工事を終えて作動油を入れる前にも、フラッシング油を用いての 1 次フラッシング、続いて作動油 ダイヤモンド #440 を用いての 2 次フラッシングを長時間実施し、

表 5.2 油温制御と警告信号の一覧

	スイッチ No.	作 動 内 容	備 考
60	ON SO3.	ソレノイド弁を用いて、電動機を停止させる。	油温が高いため危険のため停止させる。
55	ON SO5.	アンテナ制御装置の赤ランプを点滅させる(遠隔指示)	注意警告。
40	ON SO6.	冷却水用ソレノイド弁を開いて冷却水を流す。	油温の制御範囲を 45±5°C にとった。
15	OFF SO4.	アンテナ制御装置の赤ランプを点滅させる(遠隔指示)	注意警告。
10	OFF SO2.	ソレノイド弁を開いて、電動機を停止させる。	油温が低く、油の粘度が高いためポンプを保護する。
	OFF SO7.	ヒータに通電し、油タンク内をカトヘンし油温を均一にする。	油温を上げるため。

最後に新作動油 ダイヤモンド #440 に入れ換えて最終運転に入るようにした。しかしながら、建設工事にあたり、配管距離が長くて、完全にゴミが除去されなかったことや、屋根が準備される前に機械装置の据え付けを終えなければならぬなどから、作動油中に水分が浸入し、運転初期には作動油不良によるトラブルが生じた。現在では、これらは作動油とフィルタの適正な保守管理によって問題は解決されている。

6. む す び

以上新しく製作した宇宙通信用 20mφアンテナの油圧サーボ装置の概要を述べたが、この装置はすでに周知の茨城県十王町KDK茨城宇宙通信実験所に設置され、38年11月23日、リレー1号による初の日本・アメリカ間テレビ伝送実験に成功、以後順調な運転を続けている。しかしながら宇宙通信の営業運転用としてはいくつかの改良点が残されており、さらによりよき製品を生みだすための諸般の研究を続けている。本稿はこれまでの一区切りとし、宇宙通信用大形アンテナ油圧サーボの概略を紹介した。

装置を開発するにあたっては種々ご指導をいただいた国際電信電話株式会社関係各位をはじめ、社内各関係者が協力一致して努力したことによるもので、これら関係各位の尽力に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 国際電信電話 KK 国際通信の研究 39, Jan, 1964
- (2) 国際電信電話 KK 国際通信の研究 40, Apr. 1964

G-20 計算機直結データ処理装置

間野浩太郎*・大野 豊*・中村一郎*
河野隆一**・岩田 誠**

Automatic Data Reduction and Processing System Directly Coupled with G-20 Computer

Japan National Railway

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

Kōtarō MANO・Yutaka ŌNO・Ichirō NAKAMURA

Ryūichi KŌNO・Makoto IWATA

In the application of electronic computer there has been introduced an Automatic Data Reduction and Processing System. This is a system to accomplish a series of function to record into a magnetic tape various data available under a specific circumstance such as during flight or running and to reproduce and lead them into an electronic computer where they are given necessary reduction and processing very quickly. The system is now in extensive use for grasping actual working state so as to be utilized for the information of design. The J.N.R. technical research laboratory has planned an automatic data reduction and processing system of this type directly coupled with G-20 computer for the purpose of real time processing from various data obtained during the running of cars together with the information of time and distance through the abovementioned treatment. The system has been brought to completion by Mitsubishi.

1. ま え が き

日本国有鉄道技術研究所では、新幹線などの車両内で、走行中に収集して来た多くのデータを適当な装置を介して直接電子計算機に導入して、高速に処理し、種々のデータの分析、設計資料の獲得などを能率よく、かつ迅速に行なうことを目的として、いわゆる「G-20 計算機直結データ処理装置」の設置を試みてこられたが、当社がその製作にあたり、このほど完成をみたので、その内容について概略をしるす。

最近多量のアナログデータやパルスデータを直接テレメータで受け取ったり、あるいは磁気テープ記録装置で記録して来たものを再生したりしつつ、直接電子計算機にかけ、実時間的に適当な処理を行なう一連のシステム (Automatic Data Reduction and Processing System) が、アメリカなどでは、とくに航空宇宙工学の発展とともに大いに利用されつつある。本装置もそのようなシステムの鉄道における応用の一つであって、わが国においては新しい試みであり、そのシステムを動作させるための、とくに方式的な点において種々の興味のある問題があると思われる。

2. システムの構成

このシステムは大きく分けて、車上で測定データその他を収集記録する部分と、計算機室でデータ処理を行なう部分からなる。前者は時刻信号発生装置、入力整合装置、車軸回転検出装置、状態コード発生装置、電源装置、磁気テープ入力装置、磁気テープ記録装置からなり、図 2.1 のように結合される。また後者は磁気テープ再生装置、磁気テープ出力装置、結合装置 (A-D 変換装置を含む) 制御卓からなり、これが G-20 電子計算機に“Communication Line”を介してつながれる。これら装置の関係は図 2.2 のようである。

ただし上記装置中、磁気テープ記録装置と再生装置とは、現在は一つの磁気テープ記録再生装置 (AMPEX CP-100) で兼用し

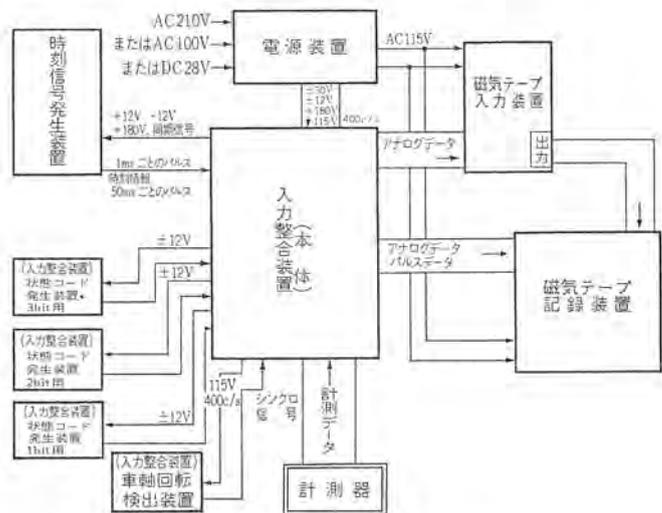


図 2.1 データ収集部ブロック線図 (車上)
Fig. 2.1 Block diagram of data collecting section.



図 2.2 データ処理部ブロック線図 (計算機室内)
Fig. 2.2 Block diagram of data reduction section.

ているが、将来は記録収集用数台と、再生用とを別に使用し、記録テープのみを各所から持参し処理することになるであろう。これらの装置の動作の概略をする前に、各装置の機能と性能のあらまし、および G-20 電子計算機について述べておく。

3. 各装置の概略

3.1 時刻信号発生装置

時刻を 0.1 秒のケタまで計時表示し、1 秒ごとに、その時の時刻を秒のケタまで（すなわち、時、分、秒）6 ケタ、2 進 10 進表示パルス列として、直列に送出することができる。またこの装置からは、50 ms ごとのパルスも発生する。時刻の基本は水晶発振器であり、24 時間における真の時刻との誤差を 1 秒以下に押えている。外観を図 3.1 に示す。

3.2 入力整合装置

データ収集記録の際の中心となる装置であり、その機能によって次の 4 部に大別される。

(1) 入力信号整合部

この部は、アナログ信号入力を増幅あるいは減衰させ、またある場合には、信号中に含まれる ± 20 V までの直流バイアス電圧を除去し、以後のシステムで扱いやすい ± 1 V 以下の信号となし、このほか必要に応じて、入力信号として校正電圧を与える機能を有する。増幅、減衰はすべて演算増幅器を用いて行ない、その雑音およびドリフト（30 分間に付き）は、10 mV 以下となるようにしている。

増幅、減衰器の構成は

バイアス電圧調整増幅器（1~10 倍の 6 段可変）……6 チャンネル
 バイアス電圧調整減衰器（1~1/20 倍の 6 段可変）……6 チャンネル
 減衰器（1~1/20 倍の 6 段可変）

である。なおこのほかに増幅、減衰を行なわない直接チャンネルを 8 チャンネル有している。

(2) 距離情報発生部

図 2.1 の車軸回転検出装置で検出した車軸回転のシンクロ信号を受け取り、最終的に 1 メートルごとのパルスを発生し、そのパルスを計数して、1 メートルのケタから 100 メートルのケタまで 6 ケタを表示する。なお、車軸回転を受け取る部分と、パルスを発生する部分との間に機械積分器を用い、その調節によって車輪径の摩擦などによる変動を補償し、径 820~910 mm に対して距離計数の精度を、100 キロメートルに対し 0.1% 以下に調整することができる。



図 3.1 時刻信号発生装置
Fig. 3.1 Time signal generator.



図 3.2 入力整合装置
Fig. 3.2 Input signal adjuster.

また、距離の計数は増加あるいは減少を、切り換えによって選ぶことができる。

この部分では距離を計数する一方、距離 10 メートルごとに、ちょうど時刻信号発生装置におけるごとく、10 メートル以上の距離情報 2 進 10 進 5 ケタを、直列に送出することができる。

(3) 状態コード送出部

3.3 節で述べる状態コード発生装置における状態を、3.1 節時刻信号発生装置中で述べた 50 ms ごとのパルスごとに 8 bit のコードとして、直列に送出するものである。

(4) パルスデータ多重変調部

時刻信号発生装置からの 1 秒ごとの時刻 6 ケタ、距離情報発生部からの 10 メートルごとの距離情報 5 ケタ、状態コード送出部からの 50 ms ごとの状態コード 8 bit のそれぞれ直列信号の“0”と“1”に対して、それぞれ 7.5 kc から 46 kc までの六つの周波数を割り当てて、AM 多重して出力 1 チャンネルを得ている。

以上の部分の一つにまとめた入力整合装置の外観を図 3.2 に示す。

3.3 状態コード発生装置

図 3.3 に示すとき簡単な装置であるが、押しボタンの数が 8 個、4 個、2 個のそれぞれ 3 種類あり、それぞれ 3 bit、2 bit、1 bit の 2 進コードを発生する。これはこのコードを利用して、ある場合にはどの記録データチャンネルに対して校正電圧を入れているかを示したり、ある場合には、たとえば列車が曲線を進行中であるなどの状態を示すものである。

上記 3 種類の装置を所定個数組み合わせると、8 bit の状態コードを入力整合装置の状態コード送出部で作る。たとえば 3 bit の装置 1 個、2 bit の装置 2 個、1 bit の装置 1 個がその組み合わせの一例である。

3.4 電源装置

上記 3 種の電源電圧を供給している。また、後述する磁気テープ記録再生装置の電源ともなっている。この装置は、入力電圧が DC 28 V、AC 100 V、210 V、それぞれ 50 または 60 サイクルのいずれであっても、切り換えにより所定の電圧を発生する。

3.5 磁気テープ入力装置

これは、アメリカ E. M. R 社製の FM 変調多重装置であり、参考のために簡単な仕様のみ記しておく。

(1) I 形（入力信号……電圧）：2 組

入力チャンネル数 ……6 チャンネル
 変調方式 ……FM (7.35~150 kc)
 変調特性 ……入力電圧 0~5 V のとき 偏差 $\pm 7.5\%$
 以内
 入力インピーダンス ……500 k Ω
 出力レベル ……3.0 VAC (ツェン頭値)
 出力インピーダンス ……1 k Ω



図 3.3 状態コード発生装置（左：3 bit 用、右：2 bit 用）
Fig. 3.3 Status code generator.

表 4.1 G-20 計算機と結合装置の関係

最初の状態	指 令	条 件	最後の状態	応 答
STAND BY	自分の CAL (呼出)	—	CALLED	GRN
CALLED	自分の CAL	—	CALLED	GRN
CALLED	他 の CAL	—	STAND BY	—
CALLED	Line Command	—	CALLED	—
CALLED	STP (Mag tape Stop)	Mag tape Stop 中 巻もどし中	CALLED	RED GRN
CALLED	FWD (Mag tape 駆動)	Mag tape Stop 中 巻もどし中	CALLED	GRN RED
CALLED	BAC (Mag tape 巻もどし)	Mag tape Stop 中 巻もどし中	CALLED	GRN RED
CALLED	QER (ERR を計算機が受けたとき)	Error ありなし	CALLED	RED GRN
CALLED	QRD (A-D 変換有無チェック)	A-D 変換せず A-D 変換中	CALLED	RED GRN
CALLED	QN1 (INT #3 を計算機が受けたとき)	INT #3 ありなし	CALLED	RED GRN
CALLED	QN2 (INT #2 を計算機が受けたとき)	INT #2 ありなし	CALLED	RED GRN
CALLED	OUT (切り離し)	—	Out of Service	—
CALLED	TRA (計算機へデータ送準備)	—	INSTRUCT-ED	GRN
CALLED	RCV (計算機からデータ受準備)	—	INSTRUCT-ED	GRN
INSTRUCT-ED	SDT (データ送受開始)	RCV TRA 後	MESSAGE	REQ
MESSAGE	Data (ECV, SDT 後)	全部データを受け付けた 否 受付データにパリティエラー	STAND-BY MESSAGE STAND-BY	END REQ ERR
MESSAGE	REQ (TRA, SDT 後)	全部データを送った 否 送るデータにパリティエラー	STAND-BY MESSAGE STAND-BY	END DATA ERR
MESSAGE	END	RCV TRA MESSAGE とも	STAND-BY	—



図 4.1 G-20 電子計算機システム
Fig. 4.1 Bendix, type G-20 computer system.

れば、どんな条件のもとにどの状態に移って、どんな応答を発生するかを示しておく。

ここに Line Command とは、適当なデータを結合装置内の所定のレジスタに記憶して、その内容によって所定の制御条件を与えようとするものである。

5. データ記録収集部の動作

車上に持ちこんで、測定すべきデータ(たとえば振動、温度、ヒズミなど)を記録収集してくるのがデータ記録収集部の本来の目的であるが、記録したデータは、計算機室内で高速データ処理をうけるのであるから、それを可能とするために十分な制御信号を付加すること、できるだけ多くのデータを同時に記録すること、および記録するときの信号レベルを整えることが必要となる。

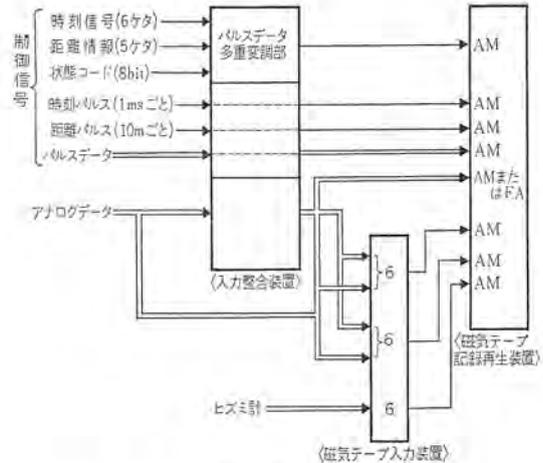


図 5.1 記録の内容と形式
Fig. 5.1 Signal flow chart.

5.1 記録の内容と形式

最大限の記録を行なうときの内容と形式を図 5.1 に示す。図に示すような形式で各データを接続することにより、データ、制御信号の両方を合わせ、計 29 の情報を、最終的に磁気テープ記録再生装置に記録することができる。

なお各アナログデータを記録する場合には、そのチャンネルには、真のデータに先だて、入力整合装置で発生する校正電圧を与えて(同時に所定の状態コードを与えつつ)、各チャンネルについて最終的に A-D 変換されたときの数値の校正を容易とする必要がある。

5.2 記録信号のレベル

計算機室で処理する場合には、再生されるアナログデータを A-D 変換する。このとき変換精度から考えて、磁気テープ記録再生装置の出力信号の最大が、A-D 変換器の最大入力 $\pm 1V$ に近くなるような記録をしておくことが望ましい。そのため入力整合装置の入力整合部の増幅器、あるいは減衰器を利用するわけである。

6. 結合装置の動作

前にも述べたように結合装置は、G-20 計算機と記録して来たデータを再生する部分とを結びつける重要な働きをもっているので、結合装置の動作を述べることによって、計算機室における処理動作をおおむね説明することになる。

結合装置へは、磁気テープ側と計算機側の両側から種々の情報が入って来るが、結合装置内では、それらにかかわるすべての処理をコアメモリを利用しつつ徹底した time sharing によって行なっている。次に結合装置の行なう処理を列挙する。

6.1 各動作の種類

(1) 制御情報の記憶と表示

磁気テープから入来する時刻情報、距離情報、状態コードの 3 種をそれぞれ特定の場所に記録し、新しいデータに変わるときに時刻または距離の情報を制御卓に表示させる。

また、1ms ごとの時刻パルス、1メートルごとの距離パルスをとともに、パルスが来るごとに計数し、それぞれの情報の下位ケタを構成している。またマスクレジスタの内容によって((4)項を参照)、サンプリングの指定が時刻または距離の場合は、そのサンプリングの周期を作り出すための計数が、時刻パルスまたは距離パルスの来るごとに行なわれる。すなわちサンプリング周期は、1メートルまたは 1ms を基本単位とし、その整数倍の間隔を定めることができるが、そのためにあらかじめ計算機からサンプリング周期の 2^{16} に対

表 6.1 マスクレジスタの各ビットの役割

0	距離パルスで Sampling
1	時刻パルスで Sampling
2	任意パルスで Sampling
3	制御車からのパルスで Sampling
4	距離信号で“一致”をとる
5	時刻信号で“一致”をとる

する補数(サンプリングレート)をあるアドレスに与えられており、結合装置では距離または時刻のパルスの来るごとにその内容に1を加えていき、オーパフロウの生じたときにサンプリングを開始するという訳である。

(2) アナログデータの変換と記憶

上記過程によってサンプリングパルスが発生したら、A-D変換装置へのアナログ入力・最大16チャンネルに対し、順次走査しつつ、A-D変換を実行していかなければならない。この場合最大16チャンネル中、何チャンネルまで走査させるかもあらかじめ計算機から指定されていて、それによってコントロールすることができる。変換されたデータは、11bitとなるので、8bit 1 wordのメモリに2wordずつを組にして一時記憶しておく。所定数のチャンネルに対しひととおりの変換、記憶を終了したならば、計算機に対し割込み信号(No. 2)が送られる。

(3) パルスデータの計数

磁気テープ記録再生装置からは、アナログデータのほかに任意のパルスデータが来ることもあるが、結合装置では2チャンネルA、Bのパルスデータについて、パルスが来るごとに計数記憶させることができる。

(4) マスクレジスタの指定

G-20計算機の側から、いわゆるマスクレジスタの内容を任意に指定して、結合装置内の制御方式をコントロールすることができる。マスクレジスタの内容は表4.1におけるLine Commandの形式で計算機から与えられ、SAMPLINGの種類の指定、“一致”の指定を表6.1のように定めることができる。なお“一致”とは、上記(1)項のごとく、距離時刻情報を読み込み書き換えられている過程において、あらかじめ計算機から与えられた設定値(プリセット数)と一致するかいなかということであり、一致した場合に計算機へ割込み信号(No. 3)を出す。

(5) 計算機からの種々の命令による制御

表4.1に記したごとき指令によって結合装置は、磁気テープ記録再生装置の制御や、一連のデータの受付、一連のデータの送出手間などを行なうことができる。

(6) 一連のデータの受付

上に述べて来たようなコントロールの基礎となるデータ、すなわち、サンプリングレート、チャンネル数、プリセット数を計算機から受け付け、記憶する。

(7) 一連のデータの送出手間

上記(1)、(2)、(3)項の過程で一時記憶してあるデータ、すなわち交換データ、距離情報、時刻情報、状態コード、パルスA積算、パルスB積算をGroupにして計算機へ送出することができる。

6.2 コアメモリの記憶内容

6.1節で述べた種々のデータ、制御信号が、コアメモリをいかに利

表 6.2 コアメモリの記憶内容

アドレス	内容	アドレス	内容
54	変換データ用	25	サンプリングレート
7		26	
255		27	
0	状態コード	28	制御用に使用
1	距離信号	29	
2		30	
3		31	
4		32	
5		33	
6	距離下位ケタ	34	
7	時刻信号	35	
8		36	
9		37	
10		38	
11		39	
12	時刻下位ケタ	40	
13	パルスA積算	41	
14		42	
15	パルスB積算	43	
16		44	
17	プリセット数	45	
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			

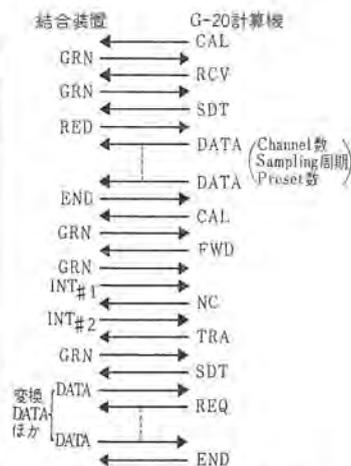


図 6.1 結合装置と G-20 計算機との情報授受の例
Fig. 6.1 Example of interchanging information between coupler and G-20 computer.

用しているかを示すために、その割当を表6.2に記す。

6.3 G-20 計算機による制御

最後に、結合装置と、G-20 計算機との典型的な情報の授受を図6.1に示す。これにより一応の情報の流れと処理の過程は、明らかとなろう。

7. システムとしての性能

このシステムを使用してアナログデータを処理する場合、測定時のデータが G-20 計算機に入るまでの誤差は、A-D 変換部で 0.3% 以下、磁気テープ記録再生装置での誤差を入れても 3% 以下であることが保証されている。またこのシステムでは、16チャンネルのデータに対して、最短 3ms ごとのサンプリングが可能であり、さらに検討を加えて 1ms ごとにまで縮めることは不可能ではない。

8. む す び

最初にも述べたごとく、本稿のような計算機直結のデータ処理装置は、今後膨大な記録データの処理を要する所など、至る所において利用されていくであろう。この装置が、鉄道技術研究所での種々データ処理に今後ともますますその有用性を発揮していくであろうことを期待すると同時に、同様の技術が航空宇宙工学の分野はもとより、自動車工業などの分野でも利用されていくことを望みたい。

終わりに、本工事の遂行にあたって種々のご援助をいただいた国鉄本社通信課の方、鉄道技術研究所計算センター 塙室長、島主任研究員、沼田研究員、その他の諸氏に末筆ながら感謝を表す。

(昭 39-6-15 受付)

参 考 文 献

- (1) 大野：ペンデックス G-20 の Communication Line。「情報処理学会誌」3, No. 5, P. 262 (昭37)
- (2) 間野ほか：測定データ処理用結合装置 DRACO について、情報処理学会全国大会予稿 P. 59 (昭38)

MELCOM-1530 ソフトウェア (1)-SIA-

嶋村和也*・和田 宏*・中島正志*

MELCOM-1530 Software (1)-SIA-

Kamakura Works Kazuya SHIMAMURA・Hiroshi WADA・Masashi NAKAJIMA

The mechanization of business management through the introduction of electronic computers of late has made a long stride. This can be surmised the rapid expansion of expenditure on mechanization of business in industries and governmental enterprises shown in the latest statistics.

MELCOM-1530 system, as introduced in the previous issues of the journal, is an electronic computer system of general purposes based on the stored logic which used for business data processing and scientific and technological calculation.

One of its softwares, SIA system, may be said a program system which has made the most of its characteristic features.

1. ま え が き

近年、電子計算機の導入による経営事務の機械化は、急速な進展を見ている。これは最近の統計の示す各企業、官公庁などの事務機械化経費率の急激な伸びによってもうかがい知ることができ、今後高性能でしかも経済的な電子計算機に対する要求は、ますます高まるものと予想される。

さて、すでに紹介されているとおり⁽¹⁾、MELCOM-1530 システムは、ストアド・ロジックの概念を基本とした、経営事務データ処理および科学技術計算用のはん(汎)用中形電子計算機システムである。記憶容量 8~32k ワード (1ワード 18ビット) のプロセッサを中心に、周辺機器としてカード・リーダー、カード・リーダー・パンチ、紙テープ・リーダー、紙テープ・パンチ、ライン・プリンタ、コンソール・タイプライタ、磁気テープ、磁気ディスク、テレ・コントロール・ユニットなどを接続して構成されるが、その構成は、システムの目的用途によって任意に選定できる。大形計算機は衛星計算機としての利用も適しており、また最近注目を集めつつある大規模なリアル・タイム集中データ処理システムとしての実用化もすでに進められている。

MELCOM-1530 システムのソフトウェアについては、本号を皮切りに今後引き続き紹介を行なう予定である。本稿ではとくにプログラム・システムの中核をなす SIA (Symbolic Instruction Assembler) について述べる。

2. ストアド・ロジック (stored logic)

ストアド・ロジックとは、ロジックすなわち論理機能が記憶装置にストアされることを指している。一般に電子計算機の論理構造は、論理素子の結線によって形成されるが、ストアド・ロジック電子計算機では、その一部が記憶装置の内部において形成される。すなわち論理ないし命令構造がマイクロ・プログラム的に形成され制御されるわけで、この点がストアド・ロジック電子計算機の特徴であると言えよう。

したがって、目的に応じて命令あるいは job が、ストアド・ロジックの入れ換えによって任意に構成されるため、プログラムの融通性 (flexibility) やシステムのはん用性などの効果が生ずる。また MELCOM-1530 では、とくに工夫された機械語 LOGAND (LOG-AND) の採用や、効果的な命令接続法などにより、初期のいわゆるマイクロ・プログラム方式に認められた短所を解決している⁽¹⁾⁽²⁾。

MELCOM-1530 ソフトウェアは、以上のストアド・ロジックの特徴を活かして作られているが、とりわけ以下記述する SIA システムにおいて、その特色が見られる。

なおストアド・ロジック電子計算機が論理素子の縮小によって、信頼性および経済性の面でもたらず プラス も軽視できない。

3. ソフトウェアの体系

MELCOM-1530 のソフトウェアの体系を図 3.1 に示す。システム・プログラムとしては、アセンブラ・レベルの SIA (Symbolic Instruction Assembler)、マクロ・アセンブラ・レベルの SIAS (Symbolic Instruction Assembly System)、コンパイラとして FORTRAN、COBOL がある。

SIA はその命令ライブラリとして LOGRAM (LOGRAM)・ライブラリを付属している。LOGRAM とは数個ないし数十個 (まれには数百

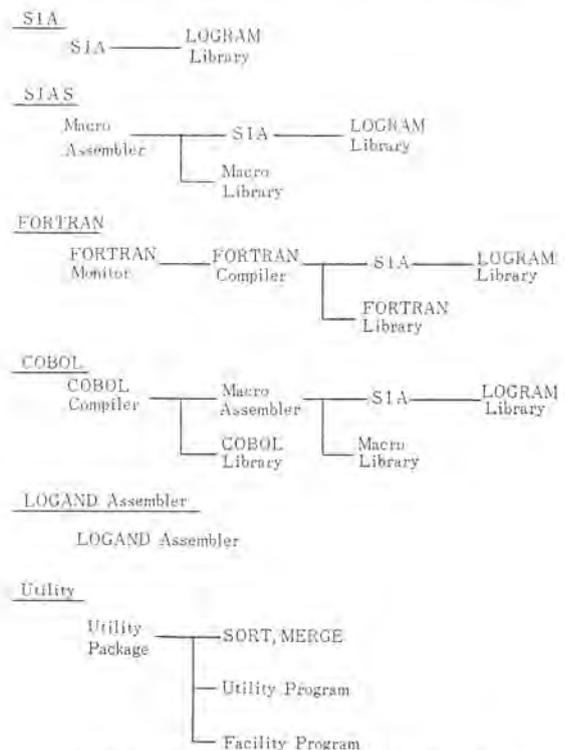


図 3.1 ソフトウェアの体系
Fig. 3.1 Software system.

個)の機械語ロガッドによって組み立てられた一種のサブルーチンであり、ADD, SUBなどの通常の命令の機能をもつ。ログラムはシステム・プログラムの制御により、ログラム・ライブラリの中から選択されてスタッド・ロジックとして記憶装置に入る。ログラムは必要に応じて作成、ライブラリに追加することができる。

マクロ・アセンブラ、コンパイラなどもその中間言語としてSIAを使用している。

SIASはIOCSとしてのOPEN, CLOSEなどのマクロ命令をもつマクロ・アセンブラ・システムである。SIASはその中にSIAを包含し、マクロ命令およびSIA命令で書かれたプログラムをアセンブルする。必要に応じてマクロ命令サブルーチンを作成し、追加することができる。

FORTRAN, COBOLは、これを使用するシステムの記憶容量あるいは周辺機器により規模が異なるが、基本的にはそれぞれ、FORTRAN IV, COBOL 61に準拠して作られている。

ロガッド・アセンブラは、ロガッドで書かれたプログラムを純機械語へ変換するアセンブラである。ロガッドによるコーディングは、通常専門のプログラマによって行なわれるが、一般のプログラマがコーディングを行なうことも、さして困難ではない。

4. 翻訳と実行

SIA言語で書かれたソース・プログラムが、SIAシステム・プログラムによりオブジェクト・プログラムに翻訳され、実行される過程を次に述べる。

3章で、SIAではスタッド・ロジックとしてプログラムがストアされること、プログラムは通常の命令の機能をもち、ロガッドの集まりから

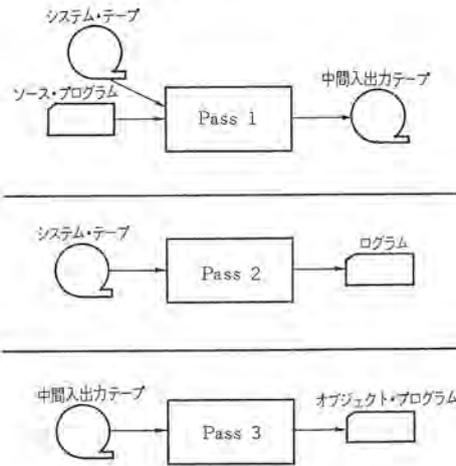


図 4.1 翻訳の手順
Fig. 4.1 Assembling procedure.



図 4.2 ハウス・キーピング
Fig. 4.2 House-keeping.

SP0010	SP0020	SP0030	SP0040	SP0050	SP0060	SP0070	SP0080	SP0090	SP0100	SP0110	SP0120	SP0130	SP0140	SP0150	SP0160	SP0170	SP0180	SP0190	SP0200	SP0210	SP0220	SP0230	SP0240	SP0250	SP0260	SP0270	SP0280	SP0290	SP0300
BEGIN	STDREC	THREE	REG1	SWITCH	BLOCK	ACTION	CREG1	RDTAPE	BCL	MVC	MVW	BRN																	
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001	000001
	000001	000001	000001	0000																									

にソース、左側にオブジェクトが表示され、オブジェクトは呼出しシーケンスが octal で表示されている。

5. SIA プログラミング

5.1 ステートメントの種類

SIA プログラムを構成する各ステートメントは、次の4種類に大別される。

(1) 処理命令 (Processing Instruction)

プログラムの実質上の処理を規定する命令であり、大部分の命令はこれに属する。

(2) データ命令 (Data Instruction)

データの記憶場所を定め、またプログラムで用いるデータの形式を規定する擬似命令である。

(3) 制御命令 (Control Instruction)

プログラムの開始と終了、またプログラムの記憶場所などを定める擬似命令である。

(4) コメント (Comment)

プログラムについての注釈であり、プログラムそのものには影響を与えず、翻訳印刷リスト上に示される。

5.2 ステートメントの形式

図 5.1 に示される SIA コーディング・フォームに、ステートメントを書き並べてゆく。図のように5個のフィールドがあり、ステートメントによって記入すべきフィールドが規定されている。

(1) ロケーション・フィールド (Location Field)

ステートメントに記号番地をつける場合に、必要なシンボルを記入する。

(2) オペレーション・フィールド (Operation Field)

各命令のオペレーション・コードを記入する。

(3) データ・タイプ・フィールド (Data Type Field)

データ命令および制御命令の一部に使用し、後述の標準データ・タイプを記入する。

(4) パリアブル・フィールド (Variable Field)

各命令のオペレーション・コード、データ・タイプ等によって決まる種々の形式のオペランドを記入する。

(5) 一連番号フィールド (Sequence Number Field)

プログラム・チェックの区分を表わすシンボル、ステートメントの一連番などを記入する。プログラムそのものには影響を与えず、翻訳印刷リスト上に示される。

5.3 各フィールドに使用するシンボル

ロケーション・フィールドに記入するシンボルはデータ命令で規定されたデータの記憶場所、あるいは処理命令の記憶場所に記号番地をつけるために使用されるが、このシンボルは1字ないし6字の英

表 5.1 SIA で使用される特殊記号

記号	用途
/ (slash)	オペランドの区切りを表わす
* (asterisk)	1. コメント・ステートメントであることを表わす 2. ワード・アドレスに付加してキャラクタアドレスを表わす
,	アドレスのインデックス修飾に用いる
((left parenthesis)	間接アドレスに用いる
) (right parenthesis)	*
+ (plus)	正符号であることを表わす
- (minus)	負符号 *
# (pound)	プログラム中で無視される。したがって訂正削除に用いられる
△ (blank)	情報の終わりを表わす

数字で少なくとも1字は英字を使用するように規約されている。これは、そのシンボルが他のステートメントのオペランドとして用いられるとき、絶対番地あるいは特別な意味をもつ特殊記号として解釈されることによって誤りの発生することを避けるためである。また同一のシンボルを二つ以上のステートメントにつけることも、同様に避けられねばならない。

オペレーション・フィールドに記入するオペレーション・コードは、その命令に固有の1字ないし6字の英数字で与えられる。またデータ・タイプ・フィールドに記入されるデータ・タイプは1字の英字または2字の英数字である。

パリアブル・フィールドでは、英数字のほか整数や特殊記号が用いられる。整数は literal な数値を表わす場合および相対番地を表わす場合に用いられる。一般に符号をもたない整数は正と見なされるが、とくに区別を必要とする場合は正負の符号を使用する。

SIA で用いられる特殊記号とその用途は表 5.1 のとおりである。なお使用例については図 5.1 を参照されたい。

5.4 データの形式

MELCOM-1530 の記憶装置は、図 5.2 のように1ワード18ビットを単位として構成されている。1ワードは、また、6ビットずつ3キャラクタの構成と考えると処理することもできる。したがって目的に応じて、ワードあるいはキャラクタ単位で、また10進数あるいは2進数として、種々の大きさ、形のデータを扱える可能性もっている。

SIA では、プログラム上で使用する標準データの形式を定めている。標準データの形式として定められているフィールドを標準データ・フィールドと呼ぶが、データ・フィールドには、それぞれ固有の名前としてデータ・タイプが定められている。図 5.3 にこれらのデータ・フィールドの構成とデータ・タイプを示す。

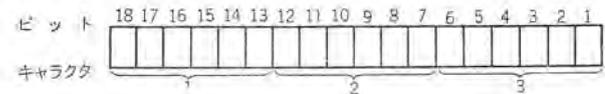


図 5.2 1ワードのビットおよびキャラクタ構成
Fig. 5.2 Bit and character position in a word.

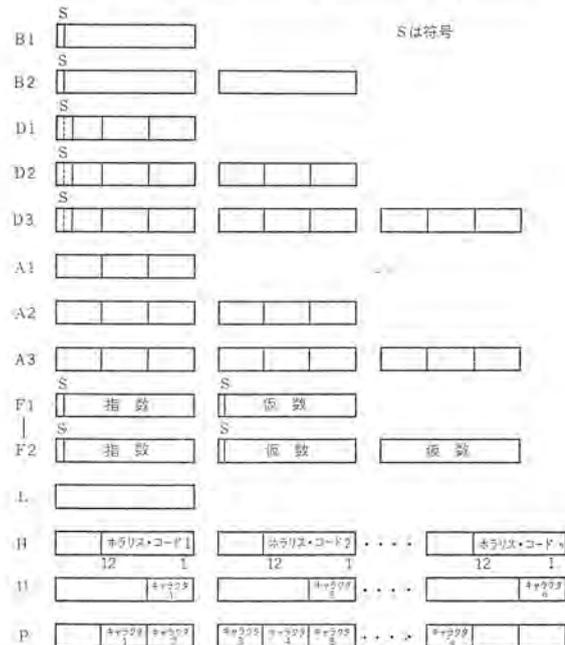


図 5.3 標準データ・フィールドとデータ・タイプ
Fig. 5.3 Standard data fields and data types.

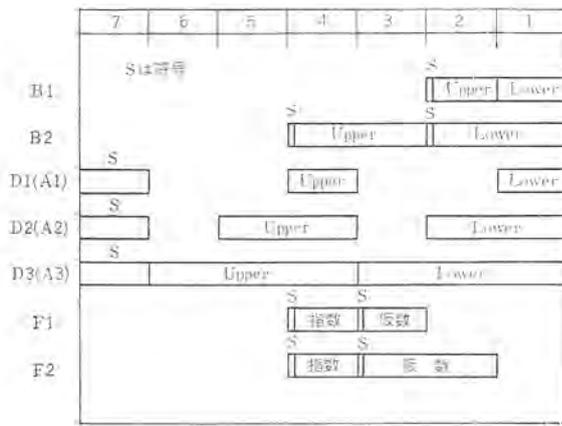


図 5.4 システム・アキュムレータ
Fig. 5.4 System accumulator.

(1) 固定2進フィールド (B1, B2)

B1 フィールドは1ワード、B2 フィールドは連続した2ワードで構成される。これらのフィールドには2進数が入り、負の数は2の補数の形で入る。符号はB1の場合第18ビット、B2の場合第1ワードの第18ビットで表わされ、正ならば0、負ならば1である。小数点はB1の場合第1ビットの右、B2の場合第2ワードの第1ビットの右にあるとする。

(2) 固定10進フィールド (D1, D2, D3)

D1 フィールドは1ワード、D2 フィールドは連続した2ワード、D3 フィールドは連続した3ワードで構成される。各ディジットは6ビット・コードで表わされる。符号はそれぞれ先頭のゾーン・ビットで表わされ、正ならば00、負ならば10である。数字はそれぞれ下位から入り、数字の入らない部分は0になる。

(3) 英数字フィールド (A1, A2, A3)

A1 フィールドは1ワード、A2 フィールドは連続した2ワード、A3 フィールドは連続した3ワードで構成される。各キャラクターは6ビット・コードで表わされる。キャラクターはそれぞれ上位から入り、キャラクターの入らない部分はブランクになる。

(4) 浮動2進フィールド (F1, F2)

F1 フィールドは連続した2ワード、F2 フィールドは連続した3ワードで構成され、ともに浮動小数点演算に使用する。F1, F2 フィールドの指数、仮数の関係は図 5.3 のとおりである。

(5) ロジカル・データ・フィールド (L)

L フィールドは1ワードであり、0 または 1 の任意のビット構成を指定できる。普通抽出やタイプライタ・キャラクターの設定に用いる。

(6) ホリス・データ・フィールド (H)

H フィールドは、カードからデータを読み込んだり、カードにデータをパンチする場合に用いる。図 5.3 に示されるように、ホリス・コードで表わされた一つのキャラクターが、一つのワードの第1~第12ビットの位置に入り、いくつかのワードで一つのHフィールドを構成する。ホリス・コードは、キー・パンチでカードにパンチしたときのカード上のパターンに相当する12ビット・コードである。

(7) U (unpacked) 英数字フィールド (U)

U フィールドはカードからデータを読み込んだときに使用する。6ビット・コードで表わされた一つのキャラクターが、一つのワードの第3キャラクターの位置に入り、いくつかのワードで一つのUフィールドを構成する。ホリス・コードでパンチしてあるカードを、変換を含んだカード・リードの命令で読み込むと、カード上のデータはUフィールドの形で入る。

(8) P (Packed) 英数字フィールド (P)

P フィールドは6ビット・コードの連続したキャラクターで構成される。フィールドの最初および最後のキャラクターは、ワード中どの位置にあってもよい。

(9) システム・アキュムレータ

図 5.4 にシステム・アキュムレータの構成を示す。7ワードの専用の記憶場所を用いており、データ・タイプに対応してそれぞれの形が定まっている。

現 SIA システムでは、命令としては、D3 フィールド すなわち9ケタまでの加減乗除の演算を行なえるようになっていいるが、さらに多数ケタの演算は、SIAS によるマクロ命令の使用によって行なえる。

5.5 データの設定

データ命令には次のオペレーション・コードをもつ3種類の命令があり、これらの命令によってデータ・エリアを設定することができる。

DA (Data Define) データ・タイプ指定

この命令は、指定されたデータを指定されたデータ・フィールドの形で記憶する。必要ならばフィールドの最初の番地に記号番地をつける。

RS (Reserve) データ・タイプ指定

この命令は、指定されたデータ・フィールドを指定された個数だけ確保する。必要ならばフィールドの最初の番地に記号番地をつける。

AC (Address Constant) B1

この命令は、そのオペランドに書かれた記号番地に対応した絶対番地を、2進フィールドの形で記憶する。必要な

表 5.2 アドレスシンの形式

基本形	dw DW	w WR m ±m	c CH WR*i	n
相対アドレス	DW±m	WR±m	CH±m WR*i±m	w および c のそれぞれの形式を使うことができる
インデックス	DW, WR DW±m, WR	WR, WR WR±m, WR	CH, WR CH±m, WR WR*i, WR WR*i±m, WR	
間接アドレス	(WR)(DW) (WR±m)(DW)	(WR) (WR±m)	(WR) (WR±m)	
間接アドレスのインデックス	(WR)(DW), (WR) (WR±m)(DW), (WR)	(WR), WR (WR±m), WR	(WR), WR (WR±m), WR	

WR: ワード・アドレス DW: ワード・アドレス (data-dependent) CH: キャラクター・アドレス m: 整数

表 5.3 SIA 主要命令一覧

(1) 処理命令

種類	Op.	Tp.	Var. Fld.	機	能	データ・タイプ
データ 移動 送	LDL		dw ₁	(dw ₁) → (LA)		D _{1-g} A _{1-g} # # # # # # # # # # # # # # #
	LDU		dw ₁	(dw ₁) → (UA)		
	STL		dw ₁	(LA) → (dw ₁)		
	STU		dw ₁	(UA) → (dw ₁)		
	MVF		dw ₁ /dw ₂	(dw ₁) → (dw ₂)		
	MVW		w ₁ /w ₂	(w ₁) → (w ₂)		
	MNW		w ₁ /w ₂ /n ₃	(w ₁ から n ₃ ワード) → (w ₂ から n ₃ ワード)		
	MVC		c ₁ /c ₂ /n ₃	(c ₁ から n ₃ キャラクタ) → (c ₂ から n ₃ キャラクタ)		
	CPW		w ₁ /w ₂ /n ₃	(w ₁) を w ₂ から n ₃ ワードにコピー		
	CPC		c ₁ /c ₂ /n ₃	(c ₁) を c ₂ から n ₃ キャラクタにコピー		
	CUP		w ₁ /c ₂ /n ₃	U フィールドを P フィールドに n ₃ ワード 変換		
	CUF		w ₁ /dw ₂ /n ₃	U # F # n ₃ # 変換		
	CUFDZ		w ₁ /dw ₂ /n ₃	U # F(D) # n ₃ # 変換		
	CUH		w ₁ /w ₂ /n ₃	U # H # n ₃ # 変換		
	CPH		c ₁ /w ₂ /n ₃	P # H # n ₃ # キャラクタ 変換		
CPH		dw ₁ /w ₂ /n ₃	F # H # n ₃ # 変換			
演算	ADD		dw ₁	(dw ₁)+(LA) → (LA)		D _{1-g} # # # # # # # # #
	ADD2		dw ₁ /dw ₂	(dw ₁)+(dw ₂) → (LA)		
	ADD3		dw ₁ /dw ₂ /dw ₃	(dw ₁)+(dw ₂) → (dw ₃), LA		
	ACC		dw ₁	(dw ₁)+(CA) → (CA)		
	SUB		dw ₁	(LA)-(dw ₁) → (LA)		
	SUB2		dw ₁ /dw ₂	(dw ₁)-(dw ₂) → (LA)		
	SUB3		dw ₁ /dw ₂ /dw ₃	(dw ₁)-(dw ₂) → (dw ₃), LA		
	SACC		dw ₁	(CA)-(dw ₁) → (CA)		
	MPY		dw ₁	(dw ₁)×(LA) → (CA)		
	MPY2		dw ₁ /dw ₂	(dw ₁)×(dw ₂) → (CA)		
DIV		dw ₁	(CA)÷(dw ₁) → 商=(LA), 余=(UA)			
シフト	SLLND		n ₁	LA 左へ n ₁ ケタ シフト		
	SALND		n ₁	CA # #		
	SLRND		n ₁	LA 右へ #		
	SARND		n ₁	CA # #		
	SLRR		n ₁	LA # # 四捨五入		
	SARR		n ₁	CA # #		
入出力	RCHN		w ₁ /w ₂ /n ₃	カードから n ₃ コラム読み込み w ₁ 以下へ入れる。エラーのとき w ₂ へ飛ぶ		
	PUNC		w ₁ /n ₂	w ₁ から n ₂ ワードをカードにパンチ		
	TYPE		w ₁ /n ₂	w ₁ から n ₂ ワードをタイプアウト		
	PRA		w ₁ /n ₂ /n ₃	w ₁ から n ₂ ワードをプリントし、n ₃ ケタ進める		
	PRS		w ₁ /n ₂ /n ₃	# # n ₃ チャンネル進める		
	ADP		n ₁	プリント用紙を n ₁ 行進める		
	SKP		n ₁	# n ₁ チャンネル進める		
	REW		n ₁	テープ・ユニット n ₁ を巻きもどし、ロード・ポイントにセット		
	RDTN		n ₁ /w ₂ /n ₃ /w ₄ /w ₅	テープ・ユニット n ₁ から w ₂ 以下に n ₃ ワード読み込む。エラーのとき w ₄ へ飛ぶ。エンド・オブ・ファイル検出のとき w ₅ へ飛ぶ		
	WRTN		n ₁ /w ₂ /n ₃ /w ₄ /w ₅	テープ・ユニット n ₁ に w ₂ から n ₃ ワード書込む。エラーのとき w ₄ へ飛ぶ。エンド・オブ・テープ検出のとき w ₅ へ飛ぶ		
WEF		n ₁ /w ₂ /w ₃	テープ・ユニット n ₁ にエンド・オブ・ファイル・マークを書込む。エラーのとき w ₂ へ飛ぶ。エンド・オブ・テープ検出のとき w ₃ へ飛ぶ			
TER		n ₁ /w ₂	テープ・ユニット n ₁ を順方向に一定長消す。エンド・オブ・ラープ検出のとき w ₂ へ飛ぶ			
BST		n ₁ /w ₂	テープ・ユニット n ₁ を 1 ブロックもどす。ロード・ポイントならば w ₂ へ飛ぶ			
ブランチ	BRN		w ₁	無条件に w ₁ へ飛ぶ		
	BRS		w ₁ /w ₂	次のシーケンスを w ₂ に入れ、w ₁ に飛ぶ		
	BRI		w ₁ /n ₂ /n ₃ /w ₄	(w ₁)+n ₂ → (w ₁)。 (w ₁)<n ₃ ならば w ₄ へ飛ぶ		
	BMN		dw ₁ /w ₂	(dw ₁)<0 ならば w ₂ へ飛ぶ		
	BMZ		dw ₁ /w ₂	(dw ₁)=0 # #		
	BML		dw ₁ /dw ₂ /w ₃	(dw ₁)<(dw ₂) ならば w ₃ へ飛ぶ		
	BME		dw ₁ /dw ₂ /w ₃	(dw ₁)=(dw ₂) # #		
	BCE		c ₁ /c ₂ /w ₃	(c ₁)=(c ₂) ならば w ₃ へ飛ぶ		
	BCU		c ₁ /c ₂ /w ₃	(c ₁)≠(c ₂) # #		
	BCL		c ₁ /c ₂ /w ₃	(c ₁)<(c ₂) # #		
	BFE		c ₁ /c ₂ /n ₃ /w ₄	(c ₁ から n ₃ キャラクタ)=(c ₂ から n ₃ キャラクタ) ならば w ₄ へ飛ぶ		
	BFU		c ₁ /c ₂ /n ₃ /w ₄	# # # #		
	BFL		c ₁ /c ₂ /n ₃ /w ₄	# # # #		
	CMPL		w ₁ /w ₂ /n ₃ /w ₄ /w ₅ /w ₆	(w ₁ から n ₃ ワード)>(w ₂ から n ₃ ワード) ならば w ₄ へ飛ぶ # # # # # # # # # # # # # # # # # #		
	BRO		w ₁	オーバー・フロー・インディケータ・セットならば w ₁ へ飛ぶ		
その他	CLR			アキュムレータをクリア		
	HLT		w ₁	停止		
	SET		w ₁ /n ₂	n ₂ → (w ₁)		
	INC		w ₁ /n ₂	(w ₁)+n ₂ → (w ₁) (ワード)		
	MCA		w ₁ /n ₂	(w ₁)+n ₂ → (w ₁) (キャラクタ)		
	EDIT		c ₁ /c ₂ /c ₃	c ₁ フィールドを c ₂ フィールドのコントロールにより編集して c ₃ フィールドへ入れる		

(2) データ命令

Op.	Tp.	Var. Fld.	機	能
DA	D _{1-g} A _{1-g} P PC PW	n A ¹ ...A		Var. Fld. で与えられたデータを、Tp. で指定されたデータ・フィールド中に入れる
RS	B _{1-g} D _{1-g} A _{1-g} U H P PC PW	n/A...A n (n=10 進整数 A=英数字, 特殊記号)		Var. Fld. で指定された個数だけ、Tp. で指定されたデータ・フィールドを確保する
AC	B ₁	w ₁ , c ₁ , n ₁		アドレス・コンスタントとして絶対番地を記憶する

(3) 制御命令

Loc.	Op.	Tp.	Var. Fld.	機能
S	BEGIN SLC END DS CANCEL	(記入)	c/s n ₁ , w ₁ w ₁ w ₁ , c ₁ , n ₁	プログラムの開始を表わす プログラムの記憶場所を設定する プログラムの終了を表わす Loc. のシンボル S が Var. Fld. に書かれているオペランドを指すと定義する この命令以前の Loc. のシンボルをすべて取消す

w: ワード・アドレス
c: キャラクタ・アドレス

dw: ワード・アドレス (data-dependent)
n: literal な値

LA: アキュムレータ (lower)
UA: アキュムレータ (upper)
CA: アキュムレータ (combined)

らばその番地に記号番地をつける。

SIA では、一般に命令とデータは密接に結びついている。多くの場合、命令はそのオペランドのデータ・タイプに無関係ではない。すなわち、命令にはその命令によって定められたデータ・タイプをもったオペランドが従属しなければならない。

データ・タイプと関係づけられる命令を、data-dependent な命令と呼び、データ・タイプに無関係な命令を data-independent な命令と呼んで区別している。

5.6 アドレッシング

(1) ワード・アドレスとキャラクタ・アドレス

5.4 節で述べたように、SIA ではデータをワードあるいはキャラクタ単位で処理することができる。一般にワード・アドレスあるいはキャラクタ・アドレスの設定は、データ命令によって行なうが、データ・フィールドにつけられる記号番地は、指定されたデータ・タイプが P に関連するものを除いてワード・アドレス、P に関連するものはキャラクタ・アドレスを表わす。

なお設定されたワード・アドレスに、*1, *2, *3 をつけて、それぞれ第 1, 第 2, 第 3 キャラクタ・アドレスを表わすことができる。

(2) 相対アドレス

相対アドレスは、ワード・アドレスまたはキャラクタ・アドレスに符号のついた整数をつけて表わす。正符号の場合は基のアドレスより後へ、負符号の場合は基のアドレスより先へ、ワード単位またはキャラクタ単位で数えた相対アドレスを表わす。

(3) 間接アドレス

間接アドレスは、使用しようとするアドレスが入っているワードの記号番地を用いてアドレッシングを行なう方式である。間接アドレスは、アドレスを () でくくって表わす。

(4) インデックス

アドレスのインデックスは、二つのアドレスの間を、で結びつけて行なう。これによって後のアドレスの内容が前のアドレスに加算される。

なおインデックスはプログラムによって実行されるので、とくに使用数に制限はない。

以上のアドレッシングに関する使用例については、図 5.1 を参照されたい。

實際上オペランド・フィールドにおいて、種々のアドレッシングの組み

合わせが可能である。表 5.2 は使用可能なアドレッシングの形式を示している。

5.7 命令

表 5.3 に現 SIA における代表的命令の一覧を掲げる。

SIA 命令の大きな特色は、一般のアセンブラ・システムの命令のように、1 アドレス方式あるいは 2 アドレス方式というように、命令の形成が固定されていないことである。命令の目的機能にしたがってオペランド・フィールドは可変になっている。また同一機能の命令についても、オペランド・フィールドの形式にいくつかの種類がある場合がある。(表 5.3, ADD, ADD2, ADD3 など)

オペランド・フィールドが可変であって、必要なだけのオペランドをもつことができるために、命令の性格がマクロ的になる場合もある(表 5.3, RDTN, BRI など)。

SIA 命令はまた、情報の取り扱いに柔軟性をもっている。アドレッシングもその一端を示すものといえるが、10 進、2 進およびその変換命令、固定および浮動小数点演算命令などは、事務、技術両面の使用を可能にしている。またコード変換命令によって、入出力媒体上のコードの取り扱いに多様性をもたせることができる。これは他のデータ処理システムとの情報互換性 (compatibility) を示すものともいえる。

6. む す び

SIA はストア・ロジックの特色が活かされたプログラム・システムである。アドレッシングや命令の機能にそれが見られる。命令はその形式が固定されておらず、また情報の取り扱いに柔軟性がある。SIA は事務データ処理、科学技術計算、OR 計算などいずれにも使用できる。なお命令の新設追加は、プログラムを作成しプログラム・ライブラリとして登録すればよく、容易である。

一方、SIA は literal の使用に多少制約があるなど、なお機能的に十分満足とは言えない点もある。今後さらに検討を進め、より有用なシステムへと改訂してゆきたいと考えている。

次号では、主として SIA アセンブラの構造について述べる予定である。

参 考 文 献

- (1) 三上: MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム——そのストア・ロジック設計, 「三菱電機技報」, 38, No. 8 (昭 39)
- (2) RICHARD H. HILL: Stored Logic Programming and Applications, DATAMATION, p. 36, Feb. (1964)

Performance Monitor for Steam Power Plant

Kamakura Works Naonori TATSUTA

A performance monitor was built in July, 1963 for use in a heavy oil burning power plant, Shintokushima No.1 125 MW of the Shikoku Electric Power Co. Being a combination of the analog and the digital technique, it computes accurately the thermal efficiency of the power plant with an accuracy of $\pm 0.5\%$ of the measured maximum value (40%).

It is also capable of expanding or contracting the time for measurement so as to suit the operating condition of the power plant. In spite of simple construction it is highly effective in practice. A design efficiency is indicated as well as measured thermal efficiency with it, the operation efficiency can be improved through the use of this unit as a guidance of the operation.

1. ま え が き

火力プラントの熱効率近年急激に上昇しつつあり、最近では超臨界圧ボイラの実用化にともなってさらに大きな飛躍をとげようとしている。このような高性能、高能率なプラントを常に最適な条件で運転するためには従来の計装以外に新しい機器を導入して効果ある運用をはかることが必要で、このための新しい試みとしてデータロガを採用して各種の効率計算⁽¹⁾⁽²⁾を行なわせるとか、計算制御の導入による自動最適化などが実施または計画されつつあるが、ここに紹介する発電効率計もその一例として熱効率を正確迅速にはあくして、それをただちに運転に反映させ高能率運転の実をあげようとする試みである。

この発電効率計は昨年7月四国電力株式会社新徳島火力発電所1号125 MW重油専焼発電プラントに納入されたもので、アナログとデジタルの技術を巧みに併用して、簡単な構成で効率を高精度に計測するものである。さらに2ペン記録計を用いて発電出力に対応した設計効率をも同時に指示しているの、効率変化、設計効率との偏差を常時監視できるので、運転指針としての効果はきわめて大きい。本文ではこの発電効率計の特長、おもなる仕様、動作原理ならびに主要回路について述べる。

2. 特 長

この装置はとくに簡単な構成で高精度を得るために、特別な考慮を払っており、そのおもなるものをあげれば次のとおりである。

(1) アナログ方式とデジタル方式の併用

検出変換方法を勘案して比較的細かく検出できる重油流量に対してはデジタルで取り扱い、発電電力はアナログで取り扱い、この装置の効率算出方式をきわめて簡素化した。

(2) 動作の基準を重油消費量にしたこと

一定時間の積算値を対象とする場合にはパルスで検出するものについては ± 1 の誤差を避けることはできない。ここではこの誤差を本質的に除去するため、時間を動作の基準とせず、重油消費量が一定の値に達した時点で効率算定を行なう方式とした。このことは誤差の除去に役立つとともに、回路の簡素化にも非常に有効であった。

(3) 重油消費量の基準値を可変としたこと

火力プラントのプラント効率算出にあたっては、プラントの時定数の影響を十分考慮しなければならないし、また運転は全負荷から $1/4$ 負荷程度まで変化する可能性もあるので、これに対応した適当な時間の平均効率を算出するようにしなければ、信頼性のある結果は得られない。このためにこの装置ではプラントの運転条件に対応して数分ないし30分程度の積算値で効率が算出し得るよう、基準重油量を6段階に変更できるよう考慮してある。

また実際の運用上の効果をあげるためには

(4) 測定効率と設計効率の同時表示

運転上の基準となる設計効率を測定効率と同時に指示記録することにより、効率の変化の傾向をすみやかにあくでき、設計効率との偏差を常時監視することができるので、運転指針としての効果が高く、また異常状態の発見が容易となる。

(5) 計測時間の伸縮が容易

2.3節とも関連して運転条件に対応して基準重油量を適当に選定すればかなり迅速な効率変化をとらえることもできるし、また比較的長時間の平均効率をもとめることもできる。

(6) 構成が簡単で保安容易したがって安価

2.1, 2.2節とも関連して高精度の測定を簡易に行なうようにとくに考慮してあるので、構成も単純明解となり、保守が容易でしかも安価である。

3. おもなる仕様

この装置のおもなる仕様を列挙すれば次のとおりである。

3.1 指示記録項目

3.1.1 測定効率 (η_p)

下記の式にしたがって、発電機出力と重油消費量とを計測して算出した効率である。

$$\eta_p = \frac{860 \times (\text{発電機出力の } T \text{ 分間の積算値})}{(\text{重油発熱量}) \times (\text{重油消費量規定値})} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

ただし T は重油消費量が規定値に達するまでの時間

3.1.2 設計効率 (η_{pd})

表 3.1 に示す発電機出力に対応した値

なお表 3.1 の値には配管効率 99.3% を含んでいる。

表 3.1 設計効率の例

発電機出力 (kW)	31,250	62,500	93,750	125,000	138,300
設計効率 (%)	30.98	35.84	37.30	38.20	38.05

3.2 入力信号

前項の効率を算出するために必要な次の信号を受けとる。

3.2.1 発電機出力

サーマルコンバータを用いて、発電機出力をそれに比例した直流 mV 信号に変換 (この場合には 0~150 MW を 0~62.71 mV に変換) してこの装置の入力とする。

3.2.2 重油消費量

重油管系にそう入された流量計によって、100 l ごとにパルスを発信させ、このパルスを流量単位として消費量を求める。

3.3 手動設定器

手動設定器において下記 2 量の設定が可能である。

3.3.1 重油発熱量

重油発熱量はポテンシオメータによって設定することができ、その可変範囲は 9,000~10,000 kcal/l (または 9,500~10,500 kcal/l) である。

3.3.2 基準重油量

効率計算式 () における重油量の基準値はロータリスイッチにより下記の 6 種に設定することができる。

0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25.6 kl 手動設定器にはこのほかに電源スイッチとか、動作表示ランプなどが取り付けられている。

3.4 指示記録計

- 記録方式 2 ペン 連続記録
- 記録紙 150 mm 帯形
- 記録紙速度 30, 60, 120 mm/h
- 記録紙目盛 30~40% (全目盛幅: 10%)

3.5 誤差

この装置の誤差は計測最大値 (40%) の ±0.5% 以内 (すなわち効率値にして ±0.2% 以内の誤差)



図 3.1 発電効率計
Fig. 3.1 Performance monitor for steam power plant.

3.6 電源

AC 110 V ± 5 V 60 c/s

3.7 外形寸法

発電効率計本体: 幅 600 × 高さ 2,000 × 奥行 500

手動設定器: 幅 275 × 高さ 185 × 奥行 425 (パルス取付形)

記録計 (2 ペン式): 幅 284 × 高さ 324 × 奥行 400 (パネル取付形)

外観については図 3.1 を参照されたい。

4. 動作説明

4.1 回路構成

この装置の回路構成は図 4.1 に示すごとくで、その要部はそれぞれ次のような機能を有する。

(a) 重油消費量カウンタ

重油流量計から発信される単位流量ごとのパルスを計数積算するものであり、手動設定器から与えられる基準重油量に相当する数値に達すれば主制御回路に指令を与え、その内容はゼロに復帰して、ふたたび計数を開始する。

(b) 直流増幅器

サーマルコンバータによって得られる発電電力に比例した直流 mV 信号を高精度で増幅する。

(c) 電力積分器

直流増幅器出力の発電電力に比例した直流電圧を重油消費量が規定値に達するまでの時間積分するものであり、その積分時定数は手動設定器の基準重油量設定機構に連動して制御される。またこの積分器は主制御回路からの指令によって、リセット、積分、ホールドの状態に制御される。

(d) 設計効率関数発生器

発電電力に相当したプラント効率の値を直流電圧として発生するための折線近似方式の関数発生器である。

(e) 手動設定器

手動設定器には計測の基準となる重油量を設定するための基準重油量設定器と重油の発熱量を設定するための発熱量設定器とがある。

(f) 指示記録計

2 ペン式の記録計で、内部には 2 組の独立したサーボ機構がある。そのうちの 1 組は電力の積分値と重油発熱量をうけて効率を求めて指示記録する測定効率指示記録部であり、他の 1 組は設計効率関数発生器の出力をうけて、これを指示記録する設計効率指示記録部である。この指示記録計は主制御回路からの指令によ

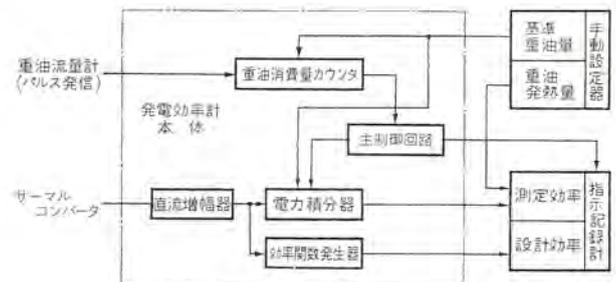


図 4.1 発電効率計の構成
Fig. 4.1 Composition of performance monitor.

て動作およびホールドの2状態に制御される。すなわち前記の電力積分器が積分動作中はこの記録計はホールド状態にあり、電力積分が完了して積分器がホールド状態になると、この記録計は動作状態に入るよう制御される。

(h) 主制御回路

重油消費量カウンタが、基準重油量に達すると主制御回路が動作して、電力積分器をホールド状態に、また記録計を動作状態にし、さらに次の重油流量パルスが到来すると積分器をリセットし、記録計はただちにホールド状態に制御するための回路を主体に構成されており、このほかに基準重油量設定器の設定値位置を切り換えた場合に自動的に各部をリセットするための回路、電源投入時に自動的にリセットを行ない、一時限後重油流量パルスに同期して自動的に動作を開始するための回路なども含まれている。

4.2 動作原理

この装置による効率の算定は式(3.1)により行なうわけであるが、回路の簡易化と精度を向上させるために次のような方法を採用している。すなわち式(3.1)の右辺の分母における重油流量規定値とは、手動設定器で設定されている基準重油量の値であり、重油消費量カウンタは重油量そのものの計測が目的ではなくて、むしろ重油が規定量だけ消費されるに要した時間を求めて他の部分を制御するための信号を得ることが主たる目的で設けられている。一方、式(3.1)の右辺の分子における発電電力の積分値は分母における重油量が規定値に達する時間とちょうど一致しなければならない。この時間を規定しているのが重油消費量カウンタであるといえる。

以上のようにして式(3.1)の分母と分子の計測時間の同時性が確保されるわけであるが、さらに手動設定器の基準重油量設定器によって重油消費量カウンタの容量と電力積分器の積分時定数とを同時に変化させることにより、電力積分器の積分終了時点における出力電圧を正規化することができる。すなわち一定流量で重油を使用し、一定出力の発電を行なっている場合を考えれば基準重油量設定器をどこに設定しても電力積分器の出力電圧は積分終了時点で等しくなるようにしてある。このため式(3.1)は次のように簡単な形に変換して効率を求めることができることになる。

$$\text{測定効率} = \frac{\text{電力積分値}}{\text{重油発熱量}} \times 100\% \quad (4.1)$$

この式における右辺の除算は自動平衡形の指示記録計を用いて行なわれる。

図4.2において入力 E_A を重油発熱量に比例した電圧、 E_B を電力積分器の出力電圧とすると、このサーボ系が平衡した場合には

$$x \cdot E_A = E_B \quad (4.2)$$

の関係が成立する。したがってスライド抵抗器の回転角 x は

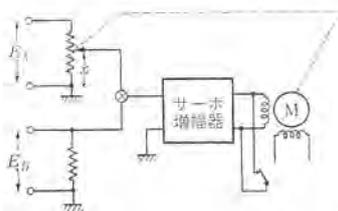


図4.2 自動平衡計器による割算回路
Fig. 4.2 Division circuit by the use of automatic balanced meter.

表4.1 基準重油量と計測時間との関係

基準重油量 (kl)	発生電力量		計測時間		
	$\eta=30\%$ MWh	$\eta=40\%$ MW	流量 40Kl/h (min)	20Kl/h (min)	10Kl/h (min)
0.8	2.8	3.72	× 1.2	× 2.4	⊙ 4.8
1.6	5.58	7.43	× 2.4	⊙ 4.8	⊙ 9.6
3.2	11.1	14.9	⊙ 4.8	⊙ 9.6	⊙ 19.2
6.4	22.3	29.7	⊙ 9.6	⊙ 19.2	⊙ 38.4
12.8	44.6	59.5	⊙ 19.2	⊙ 38.4	× 76.8
25.6	89.2	119.	⊙ 38.4	× 76.8	× 153.6

注) 本表は重油発熱量を 10,000Kcal/l とした場合。

$$x = \frac{E_B}{E_A} \quad (4.3)$$

となり、 x によって測定効率が求められることになる。なおこのサーボ系が動作状態にあるのは積分器がホールド状態にある間のみで、このほかの場合にはサーボモータの1巻線を短絡してモータの回転をとどめ、そのままの位置に停止させている。

4.3 積分時間

この装置の方式によれば積分時間は重油が一定量ポイラに供給される時間となるので、負荷の条件によって積分時間は変化する。

一方積分時間の最低値は燃料をポイラに与えてから、その影響が発電機出力にあらわれるまでの時間より長くなければならぬので数分以下の計測時間ではまったく無意味である。

また燃料の流量は短い時間についてみると微細な変動がかなりあるので、この影響が無視し得る程度の時間をとることも必要である。少なくとも流量計から得られるパルスにして20~30パルスは必要であろう。

この装置では基準重油量として0.8~25.6klの範囲を6段階で設定できるが、この設定値と重油流量に対する計測時間の関係を示せば表4.1のようになる。

これらのことから勘案して、この装置の計測時間が数分~30分程度となるような使用法すなわち表4.1において⊙印のあるような使用法が妥当であり、×印のあるような使用法は実用価値はない。この点は使用上とくに注意を要する事項である。

5. 主要回路

5.1 直流増幅器

サーマルコンパタから与えられる直流mV信号を高精度で増幅するため400c/sチョップを使用したトランジスタ増幅器で、その回路構成は図5.1に示すとおりである。図5.1から明らかなようにこの増幅器は入出力絶縁形の構成をとり入力におけるコモードノイズの除去を効果的にしたことは大きな特長の一つであり、また電流帰還の採用によって高入力インピーダンスである点も大きな特長である。

復調器は出力用とフィードバック用との2組があるが、両者ともまったく同様の回路構成をとり、逆接続トランジスタをスイッチ素子とした復調器で、両者の特性の相異によって誤差が発生するのを防いでいる。

表5.1 基準重油量に対する積分定数

基準重油量 (Kl)	動作するリレー	入力電圧	入力抵抗 (MΩ)	積分コンデンサ (μF)	積分時定数比
0.8	U	e	1	5	1
1.6	V	e	2	5	2
3.2	W	e	4	5	4
6.4	X	e	4	10	8
12.8	Y	e	8	10	16
25.6	Z	1/2e	8	10	32

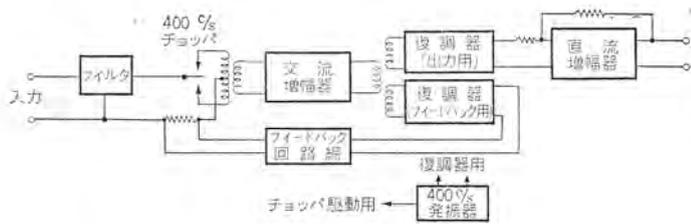


図 5.1 直流増幅器のブロック線図
Fig. 5.1 Block diagram of DC amplifier.

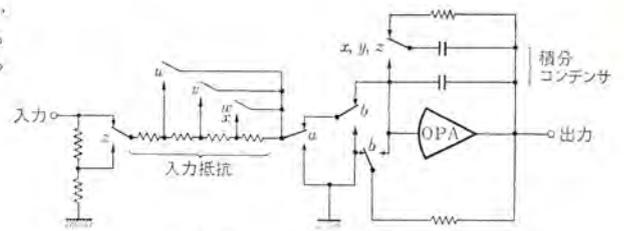


図 5.2 電力積分器
Fig. 5.2 Integrater for power output.

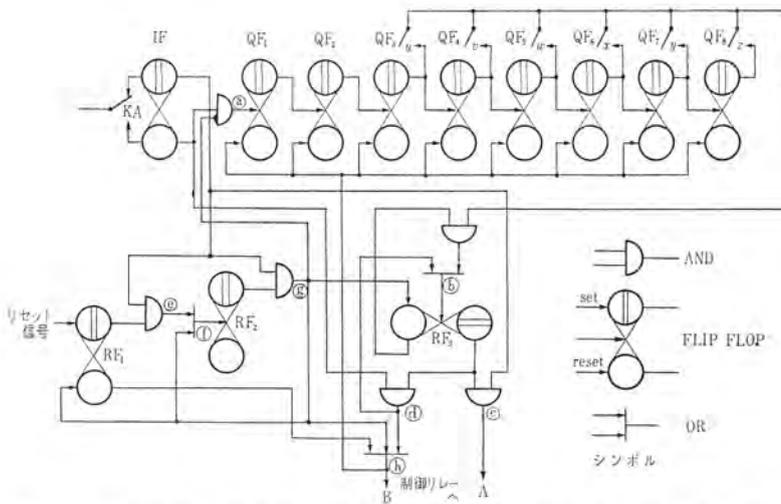


図 5.3 重油消費量カウンタおよび主制御回路
Fig. 5.3 Counter for fuel consumption and main control circuit.

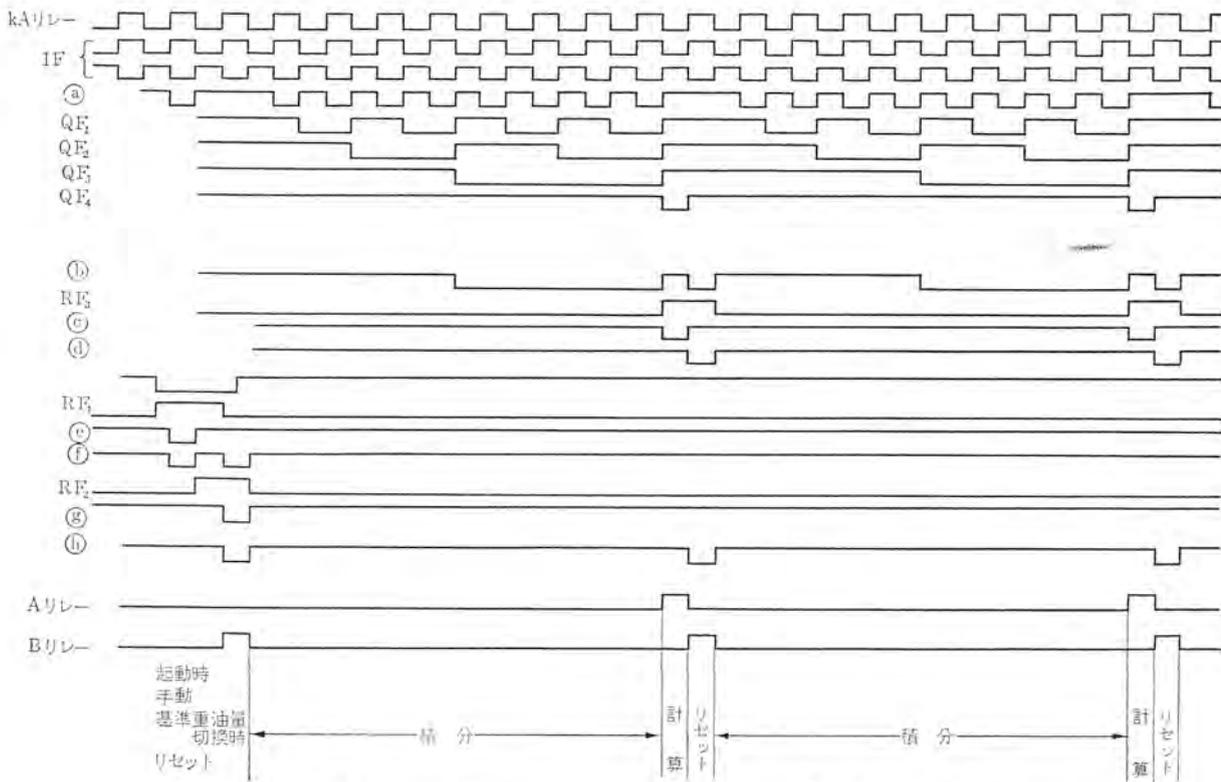


図 5.4 タイムチャート

Fig. 5.4 Time chart.

出力用復調器にはインピーダンス変換用にトランジスタによる平衡形直流増幅器を付加してあり、その出力インピーダンスをきわめて小さい値におさえている。

5.2 電力積分器

電力積分器の回路構成は図 5.2 に示すとおりで通常の積分器の構成とまったく同様である。図中 u, v, w, x, y , および z 発電効率計・龍田

は積分時定数切換リレーの接点であり、 a と b はホールドおよびリセット用リレーの接点である。基準重油量の設定値に対する積分時定数の選定は表 5.1 のとおりであり、入力抵抗を 4 段階、積分コンデンサを 2 段階、入力電圧を 2 段階に切り換えて、広範な積分時間の変更に対処している。なお積分時定数が非常に長い場合があるので、演算増幅器には高性能の真空管式を使用しとくに

リップ電流の減少に留意するとともに、積分コンデンサにはリーケージの十分小さいものを選定使用し、積分コンデンサの切り換えを行なうリレーの接点には、特別に高絶縁形のものを使用している。このため一定入力電圧で基準重油量の設定値を0.8kVから25.6kVまで変化させても積分器出力は0.1%の誤差以内に十分おさまっている。

5.3 重油消費量カウンタおよび主制御回路

これらの回路はすでに十分の実績を有する抵抗トランジスタによるNOR回路によるカード10枚を用いて構成されており、その論理構成は図5.3に示すとおりであり、その動作は図5.4のタイムチャートに示す。両図によりその動作を説明する。

(a) 入力フリップフロップIF

入力フリップフロップは流量計からのパルス（パルスはいったんKAリレーで受信継ぎされて入力フリップフロップに与えられる）を再生しリレー接点に含まれるチャタリングを吸収するためのものである。この回路はフリップフロップがいったんセットされた後は入力を取り除いても出力はそのまま保持され、出力が変化するのはリセットの入力が与えられた場合のみであるという特性を利用したものである。すなわちKAリレーの接点がチャタリングをおこしても、その接点が反対側の極に接触しない限りIFの出力はただちに反転してチャタリングを伝達しないし、リレー接点が反対側に切り換われただけに出力も反転することのできる特長がある。

(b) 重油消費量カウンタQF₁~QF₃

重油消費量カウンタは2進8ケタのカウンタである。その動作はすでに周知のとおりであって、図5.4のタイムチャートを対照ねがえれば自明であろう。

(c) リセットフリップフロップRF₁

RF₁は重油消費量カウンタが基準重油量設定器に設定された値に達したときにカウンタをリセットするとともに、演算制御用のリレーAおよびBを制御するきわめて重要な部分である。

たとえば基準重油量設定器が0.8kVにセットしてある場合には図中のUリレーの接点が閉じており、流量のパルスを8個受信し終わるとQF₃の出力から接点uを通してRF₁にパルスが与えられて反転し、その出力によりただちにカウンタをリセットして0にもどすと同時にAリレーを動作させる。このパルスが終了すればBリレーも復帰し、同時にRF₁もふたたび反転してもとの

状態にもどり、重油消費量カウンタは計数を開始する。

(d) リセット用フリップフロップRF₁およびRF₂

RF₁およびRF₂はこの装置の起動時あるいは手動のリセット操作の場合、ならびに基準重油量設定器の設定変更を行なった場合に自動的に正しくリセットを行なうための回路である。図示のように複雑なリセット方式を採用しているのは重油消費量を正確に計測するため、流量パルスの終わりからはじめて、規定数の流量パルスの終わりまでの時間を正確に求めるためである。

5.4 設計効率関数発生器

設計効率の関数は発電機出力のある値において極大値を示す。この関数を発生させるためにこの装置では2台の演算増幅器を使用している。すなわち1台の演算増幅器ではダイオードによって4本の折線で近似した単調増加形の関数を発生させ、次の演算増幅器によって、さらにこの関数と入力との差を求めることによって極大値を有する関数を発生させている。

6. む す び

この発電効率計はアナログとデジタルの技術を巧みに併用して重油専焼発電プラントの熱効率を正確に算出するものであり、計測最大値の±0.5%の精度は実用状態で確認されており、設計効率との同時指示によって高能率運転に効果を発揮するものである。また計測時間の伸縮が容易であり、プラントの運転条件にあわせた使用方法が可能であるので、その実用効果もすぐれていると考えられる。

最後にこの装置の導入を企画され、種々ご指導たまわった四国電力株式会社火力部の各位をはじめ、導入に際してご協力いただいた四国電力株式会社新徳島火力発電所の各位ならびに社内外の関係者各位に深甚なる謝意を表するとともに、この小文が火力プラントの効率向上をめざして日夜努力しておられる方々の何等かのご参考になれば幸である。

参 考 文 献

- (1) 松元、龍田、貴田：データ処理装置——火力プラントへの適用例、「三菱電機技報」36, No.10 (昭37)
- (2) 龍田、貴田、深尾、西：東北電力新潟火力発電所納めデータ処理装置、「三菱電機技報」38, No.2 (昭39)

スイッチ動作におけるトランジスタの最大許容電力

嶋村和也*・磯崎 真*・織田博靖*

The Maximum Allowable Power Dissipation of Transistors for Switching Operation

Kamakura Works Kazuya SHIMAMURA・Shin ISOZAKI・Hiroyasu ODA

It is suggested to prescribe a safety operation range of transistors for use in switching operation from the viewpoint of heat. In doing so, first a thermal characteristic of transistor is extracted as a transient thermal resistance $\theta(t)$ which is measurable from outside. Next this $\theta(t)$ is made available from approximation by compounding parameters θ_s and τ_s , distribution constants quickly responding to time, and lump constant parameters Θ_i and τ_i having a large time constant. Under such a provision a simple calculating formula is given to find the maximum junction temperature when repeated pulsive power dissipation is produced in switching operation of transistor. The maximum allowable power dissipation is readily determined by substituting allowable junction temperature of the transistor to this calculating formula.

1. ま え が き

トランジスタはその電気的特性上、スイッチ素子としてすぐれた機能をもっており、本来の寿命、信頼度も真空管をはるかにしのぐものがある。しかしトランジスタは半導体接合の微妙な表面現象を利用する素子であるから、使用条件にきわめて敏感であって、使用定格を誤ると寿命、信頼度を著しくそこなうことがある。

従来からトランジスタの諸定格に関しては多くの研究・制定がなされ、A級増幅器などの設計は安全に行なえるようになった。しかしスイッチ動作における安全動作範囲の設定に関しては、いまだに大きな問題を残している。とりわけリアクティブな負荷をスイッチする際、各部使用電圧、平均損失電力などが十分規格を満足しているにもかかわらず、破壊ないしは劣化が顕著に発生することが指摘されている。われわれは、かかる現象はスイッチ過渡時に現われるピーク電力により、トランジスタの接合部温度が過渡的、累積的に大きく上昇することが主因であることを確かめてきた⁽¹⁾。ここに「スイッチ動作におけるトランジスタの最大許容電力をいかに規定するか」という問題を提起した。

そこで本文ではこの問題を解決するため、印加電力と接合温度上昇の関係を一般的に検討し、まずその関係を規定しているトランジスタの熱的な特性値を抽出する。この特性値は外部から簡単に測定可能であり、スイッチ動作におけるトランジスタの定格を示す量として広くカタログなどに記載されるべき性質のものである。次にこの特性値を用いて与えられたトランジスタの最大許容電力を算定する方法について述べる。

これらの手法により、安全で信頼度の高いスイッチ回路が設計できることはもちろん、動作接合温度を自由に制御して所定信頼度を有する経済的な回路を設計することもできるようになる。

付録として熱特性の測定回路などを具体的に述べた。なお従来行なわれた他の研究との関連等については別に報告するので割愛した⁽²⁾。

2. トランジスタの熱特性

目下トランジスタの熱特性はマニュアル類にも記載してあるように、定常熱抵抗 θ なる値により単純に掌握されている。しかしこの θ は元来一定電力と定常接合温度上昇との比として定義されたものであり、トランジスタがスイッチ動作をするなど、消費電力が大きく

変動する場合の接合温度の過渡変位を推定するパラメータにはなしえない。そこで、かかる不便をなくするため、トランジスタの熱的特性を理論、実験の両面から再検討し、接合温度の過渡的な変位をも正しく算定できるトランジスタの熱的な特性値を抽出する。

2.1 熱伝導の基本モデル

最も基本的な一様熱媒体内における一次元熱伝導モデルを考察し、以下の検討の指針とする。

図2.1において側流は十分小さく、熱伝導は完全に一次元的であるとすれば面熱源Qから距離xにある点Aの温度Tは

$$-\frac{\partial T}{\partial x} = rh \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = mc \frac{\partial T}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

あるいは式(2.2)を式(2.1)に代入した

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = mcr \frac{\partial T}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

により記述され、これを熱伝導方程式と称する。ここに

- h : 熱流密度
- r : 熱抵抗係数
- m : 比重
- c : 比熱

先端を恒温に固定した場合の、接合温度 $T_j (=T(0,t))$ の変位を考える。図2.1において領域 $-L \leq x \leq L$ を考え、初期条件および境界条件をそれぞれ

$$h(0,t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ H_0 = \frac{P}{8.36A} & (t \geq 0) \end{cases} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$T(x,0) = T_s \text{ (一定)} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$T(\pm L,0) = T_s \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

と与えれば、 T_j は

$$T_j = P \cdot \theta_s [1 - f(t/\tau_s)] + T_s \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

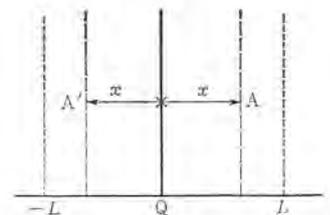


図2.1 一次元モデル
Fig. 2.1 One dimensional model.

* 鎌倉製作所

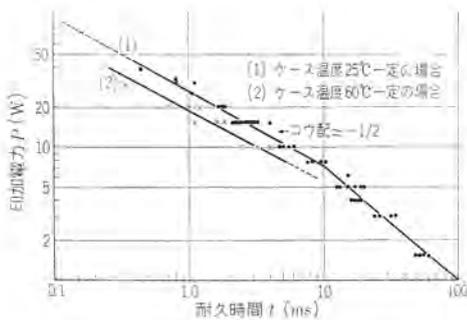


図 2.6 印加電力と耐久時間との関係
Fig. 2.6 Experimentally obtained relation between destructive power and duration time.

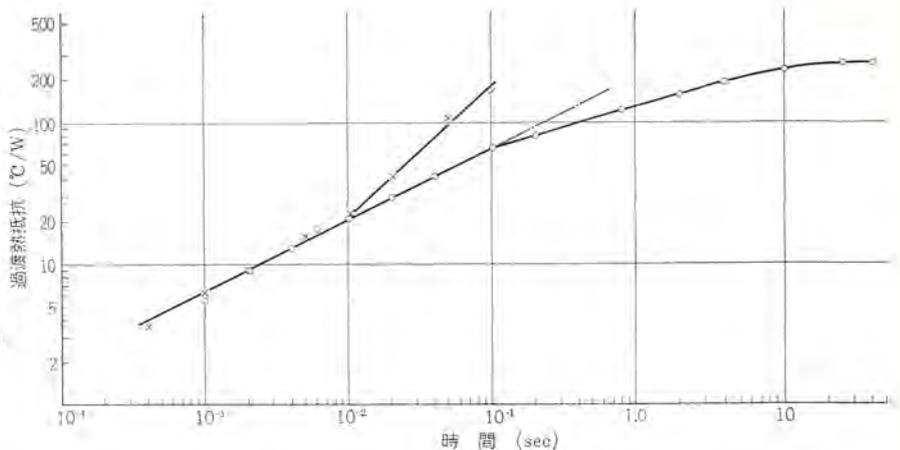


図 2.7 過渡熱抵抗 θ (トランジスタ 2SA64 の実測例)
Fig. 2.7 Transient thermal resistance (experimentally obtained data of 2SA64).

になりうること。

(c) (a), (b) の操作が簡単で一般性があり、測定にも特別の装置を必要としないこと。

なお測定回路などについては 6 章で述べる。

2.2.1 破壊による直接的な方法

接合温度 T_j が、ある値 T_{ja} に達したときにトランジスタの破壊が起こるものとする。周囲温度 $T_a (= T_j$ の初期値) をパラメータとして、印加電力 P と破壊に至るまでの経過時間 t を、同一種類のトランジスタ多数にわたって観測し統計的相関を求める。

図 2.6 はトランジスタ 2SA64 (PNP 合金ゲルマ, $P_{cmax} = 80$ mW free air, $f_a \geq 13$ Mc, $V_{CB} \geq 35$ V) における実測データである。

$t < 10$ ms では $P-t$ の関係は全対数方眼紙上でコウ配 $-1/2$ の直線になっているので

$$K(P\sqrt{t}) = T_{ja} - T_a \quad (2.22)$$

と書ける。これは 2.1 節における一次元モデルの解析結果と定性的によく一致し、設定モデルが実際にも妥当なものであることを示す。

いま周囲温度 T_{a1}, T_{a2} において、破壊を招いた $P\sqrt{t}$ をそれぞれ $(P\sqrt{t})_1, (P\sqrt{t})_2$ とすれば

$$K = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{(P\sqrt{t})_1 - (P\sqrt{t})_2} \quad (2.23)$$

$$T_{ja} = \frac{1}{2} [K\{(P\sqrt{t})_1 + (P\sqrt{t})_2\} + (T_{a1} + T_{a2})] \quad (2.24)$$

を求まる。ここで式 (2.11) において $T_j = T_{ja}$, $T_a = T_{a1}$

とすれば

$$\theta(t) = (T_{ja} - T_{a1})/P \quad (2.25)$$

なる関係を得るから、図 2.6 の $P-t$ 曲線から図 2.7 の $\theta-t$ 特性を得る。かくて外部からトランジスタの熱特性を表わす固有量を測定できたことになる。なお目下のトランジスタでは $K \approx 230^\circ\text{C}/\text{WS}^{1/2}$, $T_{ja} \approx 186^\circ\text{C}$ となった。

2.2.2 I_{cbo} を媒介にした間接的方法

T_j が定常値に達したのちに P を除去し、 I_{cbo} を媒介にして以後の T_j を測定すれば、さきの 2.1 節 (3) 項の考察から過渡熱抵抗 θ は式 (2.19) により求まる。

一例として図 2.7 にこのようにして求めた 2SA64 の θ の値を示した。

ここで図 2.7 において、二つの方法による θ の測定結果を吟味することにより、多くの事実を読むことができる。すなわち

(1) t が小さな範囲では、 $\theta-t$ の関係は全対数方眼紙上でコ

ウ配 $1/2$ の直線になっているので、 $\theta \propto \sqrt{t}$ であることがわかる。これは 2 章に示した一次元モデルの $\theta-t$ 特性と定性的によく一致し、設定モデルが接合部近傍をよく現わすものであることを示している。

(2) $t \leq 10$ ms では両測定結果は定量的にも良い一致を示し互いに T_j の測定法が妥当なものであること、および得られた θ の測定値が信頼しうるものであることを実証していると考えられる。

(3) また目下の破壊は $T_j = T_{ja} (= 186^\circ\text{C})$ に達することにより起こる熱的なものである。

(4) T_j の上昇変位を利用して測定した θ の値と、 T_j の下降変位を利用して測定した θ の値が一致することから、 θ に直線性があることがわかり、ここに「重ね合わせの理」を適用しうる根拠を得た。

(5) T_j の過渡変位を I_{cbo} を媒介として間接測定することが可能である。すなわち従来過渡状態 (とくに t が小なとき) における $T_j - T_{cbo}$ 関係は、静的に予備測定した $T_j - T_{cbo}$ の関係と異なるのではないかの疑問があったが、取り扱う時間が ms order 以上ならば両関係は良く一致するとみられる。

(6) $t > 10$ ms では、二つの方法により求めた θ の値が異なるのは、直接測定法では $T_a = \text{一定}$ としたのに対し、間接測定法ではケース温度 $T_c = \text{一定}$ としたことによる。(両測定法において $T_c = \text{一定}$ と条件を同一にすれば、それぞれの θ も一致して行くことを追試した。) 逆にかかる現象をみて、 $t \approx 10$ ms 程度で熱波はケースに達し、以後周囲に伝達すると考えられる。したがって外部冷却条件により $\Delta T_j (= T_j - T_c)$ を制御できるのは、この場合 $t \geq 10$ ms 以上を問題とするときである。

2.3 θ の近似

熱特性に関するトランジスタの固有量 θ を以上のように求めておけば、任意の P に対して

$$\Delta T_j = \int_0^t \theta(t-\tau) \cdot \frac{dP}{d\tau} d\tau \quad (2.26)$$

として接合温度上昇 ΔT_j を算定できる。しかし一般には、 θ が時間に対し簡単に解析表示できない変化をするので、時間区分法などにより逐次的に ΔT_j を求めていかねばならず、取り扱いがめんどうである。デジタル計算機などを利用するとしても見とおしの良くない作業となる。したがって次に述べる θ の近似法が有効と思われる。

2.3.1 複数の集中定数表示による方法

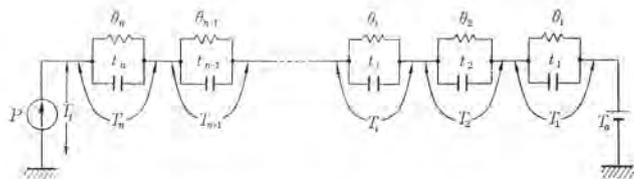


図 2.8 熱等価回路
Fig. 2.8 Thermal equivalent circuit.

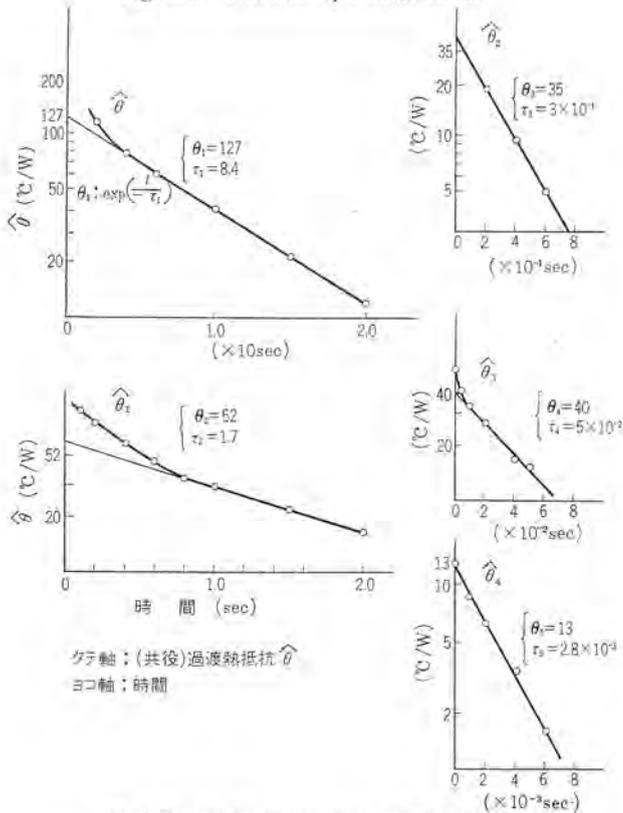


図 2.9 実測した θ の図式解析
Fig. 2.9 Graphical analysis of θ for the test unit.

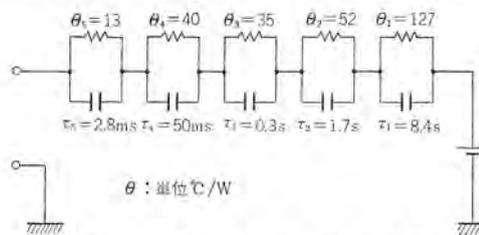


図 2.10 測定素子の熱等価回路
Fig. 2.10 Thermal equivalent circuit of the test unit.

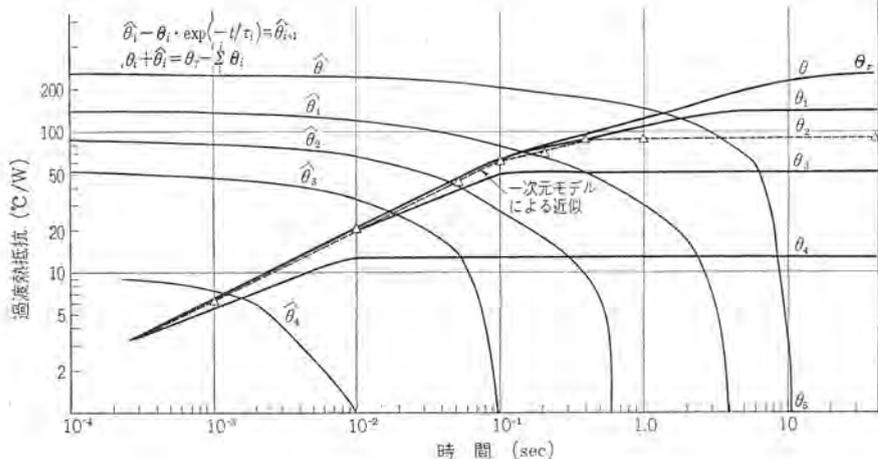


図 2.11 $\theta_i, \hat{\theta}_i$ の時間特性
Fig. 2.11 Time dependence of $\theta_i, \hat{\theta}_i$.

表 2.2 一次元モデルの $\theta-t$ の関係

t/τ_s	0.01	0.1	0.5	1.0	4.0
θ/θ_s	0.072	0.23	0.50	0.70	1.00

T_j の変位に関する限り、2.1 節の図 2.4 に示したような等価変換定数群により表示できるから、 θ を図 2.8 のような等価回路で記述することにする。すなわち

$$\theta(t) = \sum_i \theta_i [1 - \exp(-t/\tau_i)] \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

で表示する。すると

$$\hat{\theta}(t) = \theta_T - \theta(t) = \sum_i \theta_i \cdot \exp(-t/\tau_i) \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

ただし $\theta_T = \sum_i \theta_i \quad \dots\dots\dots (2.29)$

と表わされる。ここで $\theta_i \cdot \exp(-t/\tau_i)$ を半対数方眼紙上に描けば切片 θ_i 、勾配 $-1/\tau_i$ なる直線になることに着目して、順次 $\theta_1\tau_1, \theta_2\tau_2, \dots, \theta_n\tau_n$ を求める。すなわち図 2.9 のごとく $\hat{\theta}-t$ の曲線に接線を引き、まず θ_1, τ_1 を求める。次いで $\hat{\theta} - \theta_1 \cdot \exp(-t/\tau_1) = \hat{\theta}_1$ なる曲線に接線引いて θ_2, τ_2 を求める。このような操作を繰り返して θ_n, τ_n まで求めていく。n の限界は取り扱う最大印加電力 P_{max} に対し $P_{max} \cdot \theta_{n+1}$ を無視できるところまでとすればよい。このようにして求めた熱等価回路は図 2.10 のようになる。

このように時間不変量で具体的に θ を表わしておけば、 T_j の算定に見とおしがきく。また電気回路によりアナログ的にシミュレートして、複雑な P に対する T_j も簡単に知ることができる。ただし多くの θ_i, τ_i を求めるのはめんどうであること、接線の引き方で個別的な θ_i, τ_i が若干異なってくる（しかし θ_i, τ_i を合成した全等価回路としては θ をよく近似できる。これは θ_i, τ_i がトランジスタの熱的な特性と個別的には関係のないパラメタであることによる。）こと、異なるトランジスタ間の熱特性を一見して比較しにくいことなどに欠点がある。

2.4 1 次元モデルによる近似

さきの方法では

$$\hat{\theta}_i(t) - \theta_i \cdot \exp(-t/\tau_i) = \hat{\theta}_{i+1}(t) \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

としながら、 $\hat{\theta}$ を経時 t の大な部分から順次集中定数 θ_i, τ_i として抽出していった。図 2.11 の $\theta_i, \hat{\theta}_i$ はこの経過を示している。 θ_i を視察すると、i を増し近似が t の小な部分に進むにつれて、その対時間特性がさきの「端を固定した一次元モデル」の過渡熱抵抗の対時間特性と酷似してることがわかる。

そこで θ を一次元モデルの特性値 θ_s, τ_s により近似表示することを考える。

「端を固定した一次元モデル」の $\theta-t$ の関係は表 2.2 のようになっている。（ただし θ_s, τ_s を θ_s, τ_s でそれぞれ規準化してある。精度 2% 以上）

したがって表 2.2 の関係を満たすように、 θ_s-t 特性から θ_s, τ_s を導けばよい。具体的には $\theta_s = \theta_i(t \rightarrow \infty), \tau_s; \theta_i = 0.7\theta_s$ に対応する時間としてまず θ_s, τ_s の候補を見出す。次に $\theta_i/\theta_s - t/\tau_s$ の関係が表 2.2 を満たすかいかをチェックし、良い一致をみればその θ_s, τ_s を採用する。良い一致をみなければ集中定数 θ_i, τ_i の抽出をさらに行なって θ_{i+1} について同様のこ

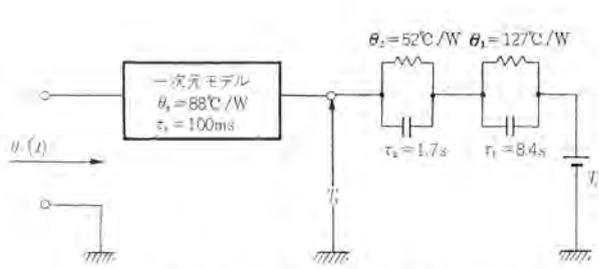


図 2.12 測定素子の熱等価回路
Fig. 2.12 Thermal equivalent circuit of the test unit.

とを行なう。目下の例では図 2.11 から明らかなごとく $\theta_2(t)$ が $\theta_s = 88^\circ\text{C}/\text{W}$, $\tau_s = 100\text{ms}$ なる一次元モデルによってよく近似できる。この様子を図 2.11 中に破線で示した。

以上から目下のトランジスタは全体として図 2.12 のような「集中定数+分布定数」の等価回路によって近似表示されたことになる。

この表示法は、スイッチ過渡時に発生するような時間幅の小さなパルス状電力消費があった場合の、 T_j の算定にとくに有効なものである。すなわち問題にする接合温度上昇 ΔT_j に対し、パルス幅 t が

$$\theta_1 \cdot t / \tau_1, \quad \theta_2 \cdot t / \tau_2 \ll \Delta T_j \quad \dots \dots \dots (2.29)$$

を示すべく小であれば、集中定数部分は長い時間の平均電力に対してのみ応動するので、図 2.12 において

$$T_j = P_{AV}(\theta_1 + \theta_2) + T_a \quad \dots \dots \dots (2.30)$$

とし、過渡応答は「端を固定した(温度 = T_c)一次元モデル(パラメタ θ_s, τ_s)に対するものを考えればよく、式(2.7)と図 2.2 が有効に利用できる。これにより繰り返しパルス電力の消費があった場合などの T_j も整然とした形で容易に求めることができるので次章で紹介する。またかかる方法により、近似を行なったときの誤差の評価も $\theta_1, \tau_1, \theta_2, \tau_2$ などの値がわかっているので正確に行なえる。しかし一般のトランジスタでは τ_1, τ_2 は 1~100sec の大きさであるから、たとえばトランジスタが高速スイッチ素子として賞用される $t < 10\text{ms}$ では式(2.29)の条件を十分満足されることが多く、実際上の制約はあまりない。

なお t の非常に小さな部分(目下の例では $t < 0.4\text{ms}$) では θ の測定が行なわれていないが、モデルとの対応がよいので $t \rightarrow 0$ の場合に外そうしてもよいと考える。

3. 最大許容電力

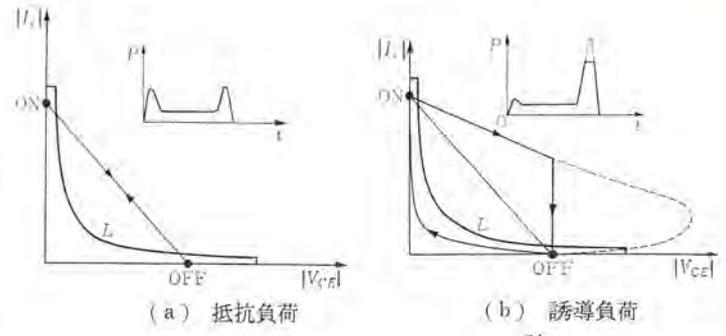
トランジスタの最大許容電力は、そのトランジスタに許しうる最大接合温度上昇 $\Delta T_{j\text{max}}$ との関連で規定される。ここではトランジスタが、スイッチ動作をするときに発生する消費電力を与え、さきに抽出したトランジスタの熱的な特性値を用いて、 ΔT_M を算定する方法について述べる。これにより、スイッチ動作におけるトランジスタの最大許容電力が明らかになる。

3.1 スイッチ動作における消費電力

トランジスタスイッチ回路は、効率の点からおおむねエミッタ接地で用いられており、消費電力 P は

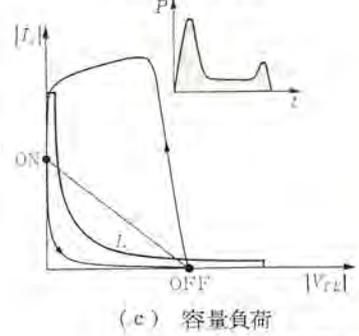
$$P = V_{CE} \cdot I_c \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

として算定してよい場合が多い。いま種々の負荷条件におけるスイッチ動作の $V_{CE} - I_c$ 軌跡と P の形を考えてみる。図 3.1 (a), (b), (c) はそれぞれ抵抗負荷、誘導性負荷、容量性負荷をスイッチするときの $|V_{CE}| - |I_c|$ 軌跡および $P - t$ (電力-時間) 関係の一例を示したものである。いずれもスイッチ過渡時に、消費電力に



(a) 抵抗負荷 (b) 誘導性負荷

図 3.1 種々の負荷に対するスイッチ軌跡と消費電力
Fig. 3.1 Switching locus and power dissipation for various load.



(c) 容量負荷

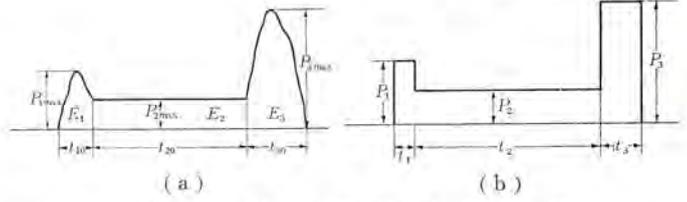


図 3.2 消費電力波形の近似
Fig. 3.2 Approximation of the wave form of dissipated power.

ピーク値があることに注意したい。なお曲線 L は、通常マニュアルなどに記載してある、最大許容電力定格を示すもので、スイッチ動作をさせる場合には、この A 級動作を想定して規定された許容範囲をはるかにこえて使われるのが、むしろ普通である。(そうして、どれだけこえてもよいかを定量的に定めるのが、本文のテーマである。) 図 3.1 (b) の誘導性負荷の例では、スイッチ・オフ時のサージ電圧をダイオードなどで抑止してある。(これがない場合には軌跡は点線のようになる。)

ここで以後の解析の便を考えて、図 3.2 (a) のような P の一般形を同 (b) のような「つなぎ合わせの方形波」で近似する。このとき図 3.2 (a), (b) において

$$P_1 = P_{1\text{max}}, \quad P_2 = P_{2\text{max}}, \quad P_3 = P_{3\text{max}} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

としてピーク値を採り、時間幅は電力量不変として

$$t_1 = E_1 / P_1, \quad t_2 = E_2 / P_2, \quad t_3 = E_3 / P_3 \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

とすれば実用上よい近似を得、かつ安全である。ここに E_1, E_2, E_3 はそれぞれ時間区間 t_{10}, t_{20}, t_{30} の電力量である。

3.2 接合温度変位

過渡熱抵抗 θ が測定され、これが図 2.12 のような「集中定数+分布定数」の等価回路で表わされているので、具体的に電力を与えてこれに対する ΔT_j を求めてみる。ここでは、実際上興味がある繰り返しスイッチ動作が行なわれる場合について考え、式(2.29)の近似も成立するものとする。したがって T_s は式(2.30)により定まる恒温度になる。

3.2.1 単純な繰り返し電力の場合

簡単のために、図 3.3 (a) のような繰り返し電力消費があったとする。このときの T_j は式(2.7)を用いて

$$T_{nj\text{max}} - T_s = P \theta_s [1 - f(t_1 / \tau_s)] \cdot \frac{1 - [f(t_1 / \tau_s) \cdot f(t_2 / \tau_s)]^{n-1}}{1 - f(t_1 / \tau_s) \cdot f(t_2 / \tau_s)} \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

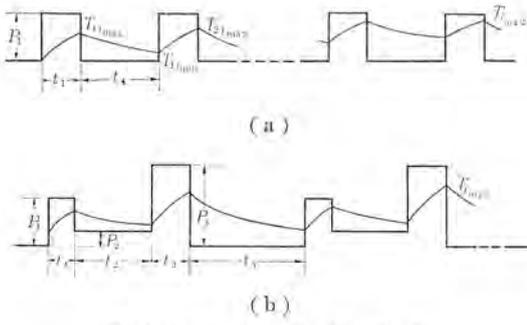


図 3.3 消費電力波形
Fig. 3.3 Wave form of the dissipated power.

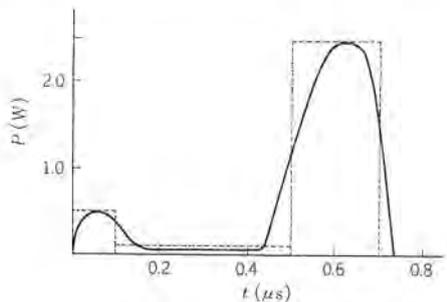


図 3.4 消費電力波形の実例
Fig. 3.4 Actual example.

$$T_{nj\min} - T_s = (T_{j\max} - T_s) \cdot f(t_2/\tau_s) \dots\dots\dots (3.5)$$

と求まる。ここに

$T_{nj\max}$: n パルスめの最大接合温度

$T_{nj\min}$: n パルスめの最小接合温度

である。 n が十分大きく、 T_j が過渡定常状態に達すると最大接合温度 $T_{j\max}$ は

$$T_{j\max} = T_{nj\max} (n \rightarrow \infty) = P\theta_s \frac{1 - f(t_1/\tau_s)}{1 - f(t_1/\tau_s) \cdot f(t_1/\tau_s)} + T_s \dots\dots\dots (3.6)$$

と表わされる。 $f(t/\tau_s)$ の値は図 2.2 から求まるが、いま

$$t_1/\tau_s, t_4/\tau_s \leq 1 \dots\dots\dots (3.7)$$

なる範囲を考えれば、式 (2.15) を用いて

$$T_{j\max} = P\theta_s \cdot \frac{\sqrt{t_1}}{\sqrt{t_1} + \sqrt{t_4} - \sqrt{t_1 t_4/\tau_s}} + T_s \dots\dots\dots (3.8)$$

を得る。さらに

$$t_1, t_4 \leq 0.01\tau_s \dots\dots\dots (3.9)$$

では式 (3.8) の分母第 3 項は無視でき、 τ_s を含まない式となる。

3.2.2 実用的な形

さきの 3.1 節の考察から図 3.3 (b) のような繰り返し電力消費がある場合を考えれば、実状に即したものと看做す。

さきの単純な波形の場合と同じようにして

$$T_{j\max} = \frac{\theta_s}{1 - f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4} [P_3(1 - f_3) + P_2(1 - f_2)f_3 + P_1(1 - f_1)f_2f_3] + T_s \dots\dots\dots (3.10)$$

と求まる。ただし $f_i = f(t_i/\tau_s)$ である。

ここで、さきと同じく近似により式を簡略にできる。

$$t_1, t_2, t_3, t_4 \leq 0.01\tau_s \dots\dots\dots (3.11)$$

の場合には

$$T_{j\max} = \frac{P_1\sqrt{t_1} + P_2\sqrt{t_2} + P_3\sqrt{t_3}}{\sqrt{t_1} + \sqrt{t_2} + \sqrt{t_3} + \sqrt{t_4}} \cdot \theta_s + T_s \dots\dots\dots (3.12)$$

なる簡単にして整然とした式を得る。

3.2.3 計算例

さきに熱特性を測定したトランジスタに、繰り返しスイッチ動作を

行なわせて、図 3.3 の実線で示すような電力消費があったとする。このときの最大接合温度 $T_{j\max}$ を求めてみる。

(1) トランジスタの熱特性は図 2.12 のように掌握されている。すなわち 集中定数 パラメタ $\Theta_1 = 127^\circ\text{C}/\text{W}$, $\tau_1 = 8.4\text{ s}$, $\Theta_2 = 52^\circ\text{C}/\text{W}$, $\tau_2 = 1.7\text{ s}$, 一次元モデルのパラメタ $\theta_s = 88^\circ\text{C}/\text{W}$, $\tau_s = 100\text{ ms}$ 。なお ケース 温度 $T_c = 25^\circ\text{C}$ とする。

(2) 消費電力を図 3.3 の破線のように近似する。すなわち $P_1 = 0.5\text{ W}$, $t_1 = 0.1\ \mu\text{s}$, $P_2 = 0.1\text{ W}$, $t_2 = 0.4\ \mu\text{s}$, $P_3 = 2.5\text{ W}$, $t_3 = 0.2\ \mu\text{s}$, $t_4 = 4\ \mu\text{s}$ (この値は図には示してない)。

いま取り扱う最も大きな時間 $t_4 = 4\ \mu\text{s}$ を採り上げても、 $\Theta_1 \cdot t/\tau_1$, $\Theta_2 \cdot t/\tau_2$ は非常に小さく式 (2.29) を十分満足する。したがって式 (2.30) を用いて

$$\begin{aligned} T_s &= P_{AV}(\Theta_1 + \Theta_2) + T_c \\ &= 0.13 \times (127 + 52) + 25 \\ &\approx 47.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

となる。したがって $T_{j\max}$ は式 (3.12) を用いて

$$\begin{aligned} T_{j\max} &= \frac{P_1\sqrt{t_1} + P_2\sqrt{t_2} + P_3\sqrt{t_3}}{\sqrt{t_1} + \sqrt{t_2} + \sqrt{t_3} + \sqrt{t_4}} \theta_s + T_s \\ &= \frac{0.5\sqrt{0.1} + 0.1\sqrt{0.4} + 2.5\sqrt{0.2}}{\sqrt{0.1} + \sqrt{0.4} + \sqrt{0.2} + \sqrt{4}} \times 88 + 47.5 \\ &\approx 82^\circ\text{C} \end{aligned}$$

となり、ゲルマニウムトランジスタとしては非常に危険な値になる。いま従来よく行なわれた「平均電力」の考え方で接合温度 T_{jAV} を求めると

$$\begin{aligned} T_{jAV} &= P_{AV} \cdot (\Theta_1 + \Theta_2 + \theta_s) + T_c \\ &\approx 58.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

となり、相当小さく算定され、これを信用して設計を進めると危険であることがわかる。また、この例のようにピークパワーにより $T_{j\max}$ が過大上昇していることを知れば、有効なピークパワー 吸収回路を付加し $T_{j\max}$ を安全な値まで下げることができる⁽⁵⁾。

4. む す び

以上のような検討により次のようなことがいえる。

(1) トランジスタの熱特性は外部から測定可能な過渡熱抵抗 $\theta(t)$ ($= \Delta T_j/P$) により表現するのが一般性がある。最も良い $\theta(t)$ は目下実用されている定常熱抵抗に時間の次元をもち込んだものであり、この $\theta(t)$ を求めておけば任意の印加電力に対する T_j の過渡変位も可能である。

(2) $\theta(t)$ を簡単に精度良く測定する方法を得た。(6.2 節に述べた I_{cbo} を媒介にした直流スイッチ用が実用的でよい)

(3) 実測した $\theta(t)$ は速い時間に応答する「端に恒温点をもつ一次元モデル (パラメタ θ_s, τ_s)」と時定数の大きい「集中定数 (パラメタ Θ_1, τ_1)」との合成として良く近似できる。(図 2.11 参照)

(4) このような準備のもとに、トランジスタがスイッチ動作をして、パルス状の繰り返し電力消費があったときの $T_{j\max}$ などを算定する見とおしの良い式 (3.12) を得た。最大許容電力はそのトランジスタに許しうる接合温度 (付与すべき寿命とも関係するが、Ge では 80°C , Si では 150°C 以上になると危険である) を与えればただちに求まる。

諸賢のご批判を得、上記 $\theta(t)$ のようなものがカタログなどにも明記されるようになることを切望する次第である。

終わりに実験を手伝っていただいた柴本氏に感謝する。

参考文献

- (1) 嶋村・磯崎・織田：スイッチ動作におけるトランジスタの最大許容電力(熱的検討) 信学会トランジスタ研究会資料 TR63-22 (1963.9).
- (2) 嶋村・磯崎・織田：トランジスタの熱的な構造について. 信学誌投稿中.

- (3) Mortenson: Transistor Junction Temperature as a Function of Time. P.I.R.E. 45, 4, p503 (April 1957).
- (4) Strickland: Thermal Equivalent Circuit of a Transistor. IBM Journal, 3, 1, p 35. (Jan. 1959).
- (5) 嶋村・磯崎・織田：誘導負荷スイッチにおけるトランジスタの破壊防止. 連大予稿 No. 1340 (昭39).

付録

2.2節に述べた θ の測定の実際について述べる.

1 耐久時間の測定(破壊の観測)

付図1のような回路により, 供試トランジスタ θ_x に所定の電力 P を印加して, 破壊にいたるまでの耐久時間 t をメモリスコープ(岩崎MS-5014)で観測して, $P-t$ の関係を得た. 所定電力の設定はトランジスタが安全に動作するようなDuty Factor, パルス幅ともきわめて小さな(Duty Factor 約 10^{-4} , パルス幅 $0.2\sim 0.5\mu s$ で行なった)繰り返し電力を観測して行なった. 破壊は付図2のごとく I_c の著しい増加を観測して知ることができる.

この方法は破壊測定(destructive method)であるから, 多数のサンプルについて測定し, 統計的特性として掌握しなければならない. しかし破壊の限界を知るには最も直接的な方法であり, 媒介パラメータを通して行なう間接測定にみられる不確定性を避けうるという特長があり, とくに間接測定法の検証に有用である.

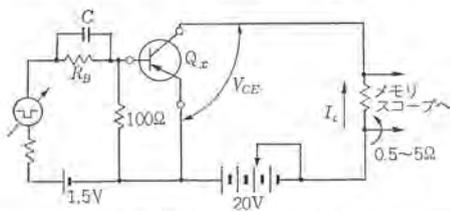
2 過渡接合温度の測定

ここでは I_{cbo} をパラメータとして T_j を推定する. I_{cbo} は電力消費のあるコレクタ・ベース接合に最も関係の深い感温パラメータであると考え, とくに I_{cbo} を選んだ.

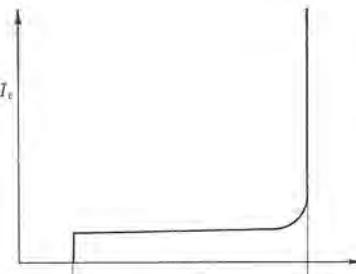
(1) $I_{cbo}-T_j$ 関係の測定

一般に行なわれているごとく, トランジスタを恒温タックにそう入して必要な温度範囲にわたって I_{cbo} を測定して, 付図3のような関係を得る.

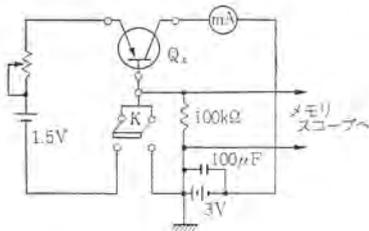
(2) $I_{cbo}-t$ (経過時間)の測定



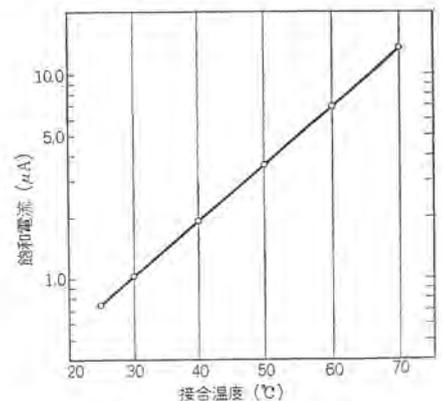
付図1 破壊測定回路
Fig. 1 The test circuit used in the destructive measurement.



付図2 耐久時間の測定
Fig. 2 Measurement of the duration time t .



付図4 冷却曲線を求める試験回路
Fig. 4 The test circuit used in the determination of the cooling curve.



付図3 飽和電流の温度特性
Fig. 3 The saturation current of the test unit as a function of the temperature.

垂直軸: 0.1V/div
 $I_{cbo} = V/100k\Omega$
時間軸: 上から 1ms, 10ms, 100ms, 1s, 5s/div



付図5 試験素子の冷却曲線
Fig. 5 Cooling curve of the test unit.

400 Mc 帯全固体化多重無線装置

丸 浜 徹 郎*・阿 部 修*・沼 田 敏 男**
笹 田 雅 昭**・一 の 瀬 友 次**

400 Mc Band All Solid State Multiplex Radio Relay Equipment

Tetsurō MARUHAMA・Osamu ABE・Toshio NUMATA

Kamakura Works, Itami factory

Masaaki SASADA・Tomoji ICHINOSE

With all the active elements turned to solid states, 400 Mc band multiplex radio relay equipment has been developed. Its outline dimensions have been reduced to half~a thirds of conventional equipment. The consuming power is also decreased to one sixth to one tenth. The reliability of unit is proved excellent. It permits the attachment of measuring instruments the minimum in number for the convenience of maintenance. It is also capable of housing 7~14 items of remote alarm and supervisory control equipments. A battery floating power supply system by means of a transistorized DC-DC converter helps to reduce the station power consumption a great deal. The receiver being provided with a transistorized high frequency amplifier so as to make the noise figure below 10 dB, even a transmission output of 5 W makes possible the relay circuit composition of fairly long distances.

1. ま え が き

半導体技術の進歩、とくに VHF 帯電力 トランジスタ、パラクタダイオードの急速な実用化によって、UHF、SHF 帯の全固体化が可能になってきた。ここに述べる ME-40 形 400 Mc 帯全固体化多重無線装置は、当社北伊丹製作所製の優秀な半導体を用い、最新の回路技術を駆使して開発完成したものである。

400 Mc 帯多重通信は、わが国では郵政省規則により、その多重度を 24 回線までに制限されており、いわば小容量の簡易多重である。また、この周波数帯を電波伝搬の面から見ると伝搬路シヤハイ物による回折損は比較的大きく、さればとて SHF 帯で簡易に使われている反射板中継は実用的でない。一方この電波は見通し内で使われている限り、SHF 帯のようにフェーディングに悩まされる危険はほとんどないといつてよい。

この装置は、上記の実情にかんがみ、主として見通し内の使用を目的としており、その限りにおいて簡易多重としての性格に合致すべく十分な考慮を払って設計した。なお見通しのかかない地区でこれを使用する場合の補助装置として、目下簡易中継装置の開発を急いでいる。

この装置のおもな特長を列記すれば次のとおりである。

(1) この装置は全固体化されており、とくに送信出力回路においては VHF 帯までシリコンパワートランジスタで増幅し、さらにパラクタダイオードによるパラメトリックテイ(通)倍で、400 Mc 帯 5 W の出力を得ている。送信回路の半導体がすべてシリコンであるので温度変化に対し、装置全体が安定である。

(2) この装置 1 台の所要電力は 50 W 以下で、従来のそれに比べて著しく少ない。

(3) 現用機のほか、電源部も含む完全な予備機が同一架に収容できる。

(4) 無人局として使用する場合の遠方監視制御については、所要カードの組み合わせプラグインによる簡易な設備で、広範な計画に任せられる。

(5) 高周波、ビデオ、電源なども含むすべての回路が無接点化されており、データ伝送回線に適する。

(6) 保守に必要な最少限の測定器、たとえば電力測定兼用折返し試験器、簡易信号発生器(いずれも半導体化)などを、プラグインによりこの装置きょう(筐)体内に実装できる。

2. 無線機の概要

2.1 構成および構造

無線機は、幅 520 mm、奥行 225 mm、高さ 1,500 mm、背面設置可能な標準鉄架に、現用、予備機、保守用測定器、遠方監視制御回路を実装し、その他、特殊要求に応ずるに十分なプラグを有しており、その外観を図 2.1 (a)、前面トビラを除いたものを図 2.1 (b) に示す。無線機の各パネルは図 2.1 (c) のとおり実装されるプラグイン方式であり、制御、ビデオ系、遠方監視制御回路は、シート化、カード化を行ない、標準化を計った。この無線機に使用する活性回路はすべて半導体で、発熱については、従来の電子管式に比較して大幅に改善され、最も発熱の著しい送信部においても放熱片温度上昇は約 10°C で、主要素子のシリコン化により自然空冷で十分である。

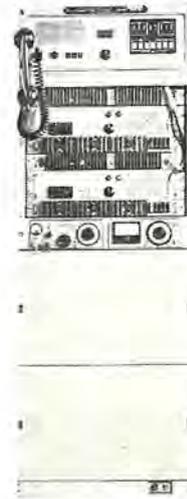


図 2.1 (a) ME-40 形無線機外観

図 2.1 (b) ME-40 形無線機実装

Fig. 2.1 (a) View of type ME-40 radio equipment.

Fig. 2.1 (b) Bay assembly of type ME-40 radio equipment.

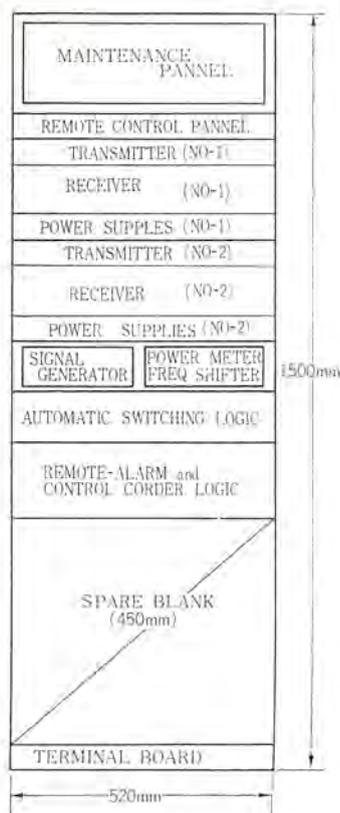


図 2.1 (c) 架実装図
Fig. 2.1 (c) Outline of bay assembly.

2.2 動作の概要

主要系統は図 2.2 に示す構成であり、最大伝送容量は 12~108 kc に配列された SS 多重方式 24CH, 別に 0.3~2.4 kc の打ち合わせ回線および 2.9 kc \pm 70 c/s の遠方監視制御回線 (パイロット信号兼用) をおのおの 1 回線有する。

送信部は水晶制御信号に可変容量ダイオードによる位相変調を加え、100 Mc までトランジスタにより 72 倍増幅したのち、2 段の可変容量ダイオードによるパラメトリック 2 倍列により、400 Mc 帯の出力を得ており、72 倍である。また可変容量ダイオードによる位相変調回路は、変調感度が高いので、変調ピッチ増幅を必要としない。

受信部は低雑音高周波増幅器を備えた水晶制御ダブルスーパーで、第 1 局発は 4 倍方式、最終段はダイオードによる 2 倍を行ない、回転を簡略化した。中間周波段は位相等化器、AGC を付加することにより、安定化を計り、受信状態の監視は復調雑音レベル、パイロット信号レベルの双方により行なっている。

本機は手動接点以外は、ビデオ系、電源系、高周波系を含め、すべて固体化することにより電力消費、形状重量、価格の低減と瞬断時間の短縮を計っており、これら制御用論理回路をカード化することによって自由度の多い計画、他機種への流用を容易にした。

電源はトランジスタ式 DC-DC コンバータによる直流供給方式を標準とし、整流電源を付加すれば、交流 100/200 V での使用ができる。また、トランジスタ化 AVR を内蔵しており、供給電源電圧に対しても安定である。

消費電力は、電源電圧 DC-24V の場合 42~46 W であり、後述の測定器、遠方監視回路を含めても 55 W を越えることはない。

本機は標準 7. 最大 14 項目の遠方監視、制御回路を論理カードのプラグインにより実装でき、また固体化した信号発生器、電力計兼折返し試験器をプラグインできるので、機器自体の信頼性に加え、保守が容易である。

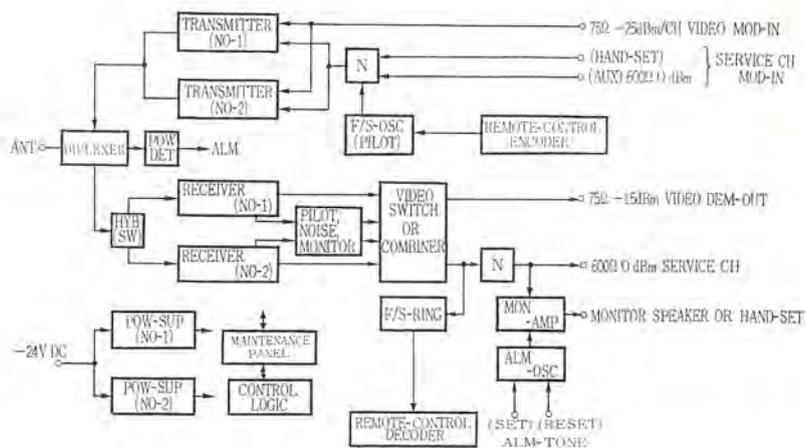


図 2.2 総合系統図
Fig. 2.2 Block diagram of overall system.

2.3 定格

- (1) 周波数範囲 335~470 Mc
- (2) 送受周波数間隔 15 Mc 以上
- (3) 送受信周波数安定度 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 以内
- (4) 送信電力 5 W
- (5) 送信 72 倍
- (6) 変調方式 位相変調
- (7) 伝送周波数特性 $\left. \begin{array}{l} 0.3 \sim 2.4 \text{ kc} \\ 12 \sim 108 \text{ kc} \end{array} \right\} \pm 2 \text{ dB 以内}$
- (8) 受信方式 2 重スーパーヘテロダイーン
- (9) 受信雑音指数 10 dB 以下
- (10) 不要波射減衰器 50 dB 以上
- (11) 映像抑圧度 60 dB 以上
- (12) 入出力インピーダンス

入力 75 Ω \pm 20%, -25 dBm/CH (VIDEO)
および レベル 600 Ω \pm 20% 0 dB (VOICE)
出力 75 Ω \pm 20%, -15 dBm/CH (VIDEO)
600 Ω \pm 20% 0 dBm (VOICE)

- (13) 電源 DC-24 V 50 W 以下
AC-100/200 V 80 V A 以下
- (14) 環境条件 -10~+50°C RH 40~90%

伝送通路数	変調指数	受信帯域幅	スレッショルド・レベル
24CH	0.2 rad/CH (rms)	600 kc	-97 dBm
12CH	0.4 rad/CH (rms)	400 kc	-99 dBm

3. 各部の詳説

3.1 送信回路の構成

送信回路の技術的主要点は、高周波電力部増幅 72 倍であり、水晶発振出力を位相変調のち、トランジスタにより $\times 3 \times 3$ 倍を行ない、50 Mc、20mW の電力として高出力シリコントランジスタを励振し、100 Mc 帯 10 W を得て、可変容量ダイオードによる 72 倍列 ($\times 2, \times 2$) を励振しており、このレベルダイヤグラムを図 3.1 に示す。高出力トランジスタ MT-200, MT-300, MTD-350 は表 3.1 に示す性能であり、いずれも 3 重拡散シリコンプレナトランジスタで、その回転効率はきわめて良く、ベース励振電力の一部がコレクタ側に直接通過する効果もあるが、励振電力を含めた総合効率率は 80% を越える。可変容量ダイオード MVB-Series は表 3.2 に示す、性能を有する合金形シリコン製であり、本機では MVB-6114 は段間整合に適し直列形 2 倍回路、MVB-6117 および

表 3.1 高出力シリコントランジスタの定格

TYPE	V _{CE0}	V _{CE1}	V _{CE2}	I _c	P _c	f _T	C ₀₁	MEMO
MT-200	60V	4V	40V	0.5A	3W	210Mc	10 pF	f _T Measured at
MT-300	100V	5V	70V	2A	13W	210Mc	45 pF	VCE 28 Δ
MTD-350	100V	4V	100V	1A	25W	280Mc	30 pF	f=70 Mc

表 3.2 可変容量ダイオードの定格

TYRE	C(-4V)	O	V _{Br}	θ _T	n	MEMO
MVB-6114	47pF	50 min	80 min	10c/W	0.48	O: Measured at -4V Bias
MVB-6117	47pF	100 min	100 min	MAX	TYP	f=50 Mc
MVB-6116	22pF	100 min	100 min			

MVB-6116 は負荷インピーダンスが低く、放熱のよい並列形テイ倍回路をいずれも集中定数で実現しており、これらテイ倍回路のバイアスは調整の容易な半固定バイアスを採用した。

これらテイ倍回路は、バイアス、回路定数、調整により、パラメトリック発振、入出力特性のヒステリシスを起こすので注意を要する。

送信部の温度特性は図 3.2 (a) に示すとおり良好で、テイ倍列の帯域幅は図 3.2 (b) に示すように 24 CHSS-PM 多重の伝送に十分であり、また、この帯域幅を得るに必要な調整は特別な技巧を要しない。

3.2 受信回路の構成

受信機は高周波増幅を有するダブル・スーパー方式で、系統図を図 3.3 に示す。RFA はトランジスタ 2N2415 を採用し、雑音指数を下げ高感度化を計った。この増幅器の利得は使用帯域幅内で約 10 dB、雑音指数は 5 dB、受信機総合雑音指数は 10 dB 以下、通常は 8 dB 程度である。第 1 混合器は 1N23B で行ない、60~80 Mc の水晶発振出力を 6 テイ倍して得た約 0.3 mm の局発信号で、RF 信号を 25 Mc の 1st IF 波に変換する。1st IFA は 1 段の増

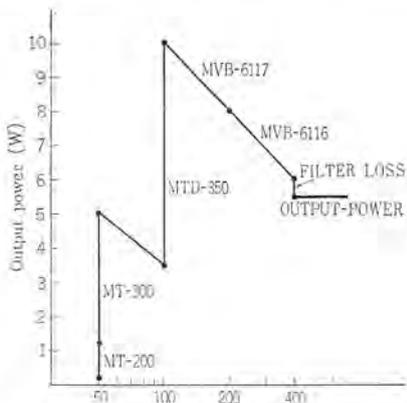


図 3.1 レベルダイアグラム
Fig. 3.1 Level diagram of RF power stage.

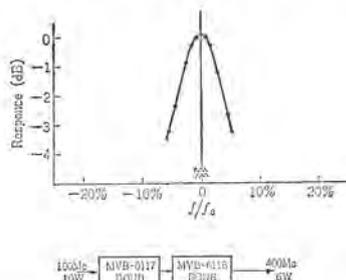


図 3.2 (b) テイ倍列伝送帯域幅
Fig. 3.2 (b) Band width of doubler chain.

表 3.3 ビデオ・スイッチ特性

測定項目	測定値	備考
駆動電流	40 mA	
2 次ヒズミ減衰量	75 dB 以上	54 kc 10 dBm で測定
3 次 "	60 dB 以上	36 kc 10 dBm "
スケルチ動作時漏エリ減衰量	90 dB 以上	No. 1, No. 2 とも OFF のとき
切換動作時漏エリ減衰量	85 dB "	各入力から出力への漏エリ
切換動作時間減衰量	60 μs	No. 1 ON No. 2 OFF のとき
そう入損失	0.5 dB	No. 2 から出力への漏エリ
伝送周波数特性	150c/s~400kc	1 dB 偏差点間
入出力インピーダンス	75 Ω	

幅と 3 dB 帯域幅 800 kc のロハ器からなり、2nd IFA は 600 kc (24CH 時) の 3 dB 帯域幅を有するロハ器および 2 段の位相補償回路を含む 5 段の増幅器からなっている。リミッタ、周波数弁別器の出力は、66 μs のエンフェシス回路を経て増幅され、シャ断周波数 4 kc の高低域ロハ器によってビデオ信号と音声信号とを分離し、ビデオ信号は増幅後 75 Ω、-14 dBm/CH でビデオスイッチへ、また音声信号は 1 ms のデエンフェシス回路を含む増幅器を経て 600 Ω、+4 dBm 出力で送出される。

切換制御方式については 3.4 節で述べるが、本機では現用、予備の受信出力の切換およびスルチを無接点化するため、図 3.4 (a) に示す、シリコンダイオード MC232 を用いたビデオ・スイッチを採用し、信頼性の向上と高速化を計った。この回路は信号源に対してスイッチの動作状態いかにかわらず、常に定インピーダンスを呈する長所を有し、表 3.3 および図 3.4 (b) に示すように良好な特性を得ている。

3.3 送受信共用回路の構成

空中線共用回路は分波器構成であるが、送受信間隔が 3~4 % 程度になると、受信感度が送信電力に抑圧されないように、十分な減衰を与えるためには、かなり大形な、あるいはそう入損失の多いロハ器となる。

本機に採用した分波器は、前述の欠点を補う構成の簡易なストリップラインと集中定数を利用した帯域消去形ロハ器を使用してい

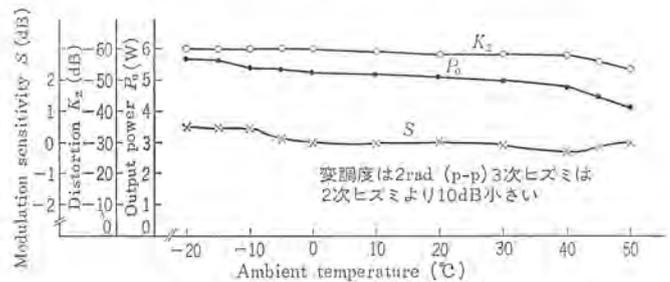


図 3.2 (a) 送信部温度特性
Fig. 3.2 (a) Transmitter characteristics vs temperature.

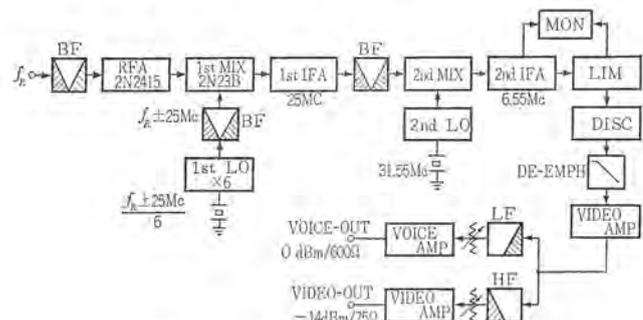


図 3.3 受信部系統図
Fig. 3.3 Schematic diagram of receiver.

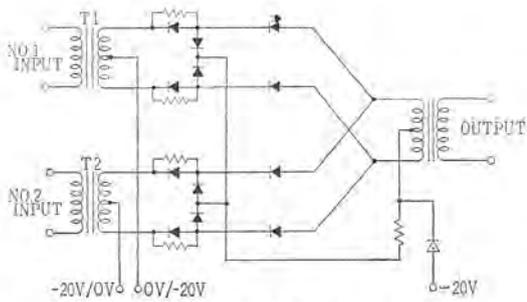


図 3.4 (a) ビデオ・スイッチ
Fig. 3.4 (a) Video switch circuits.

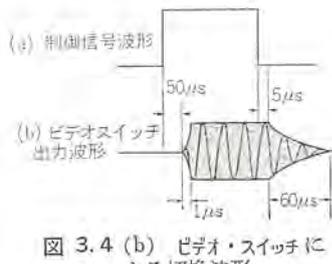


図 3.4 (b) ビデオ・スイッチによる
切換波形
Fig. 3.4 (b) Signal waveform
through video switch.

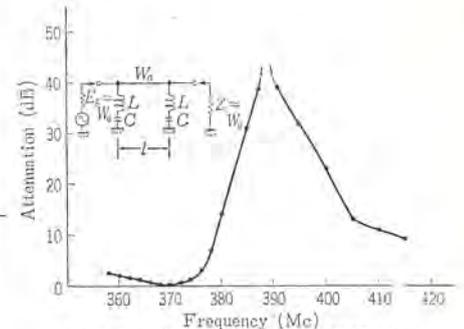


図 3.5 帯域消去 0.1 器の特性例
Fig. 3.5 Band elimination filter at
400 Mc band.

るので、その概要を述べる。

図 3.5 に示すように L, C なる集中定数形、直列共振回路を相互の間隔を打ち消す間隔 l だけ離して 2 個分布定数(トリラート)回路に接続すれば、そう入損失の少ない帯域消去 0.1 器が構成できる。この 0.1 器の動作は次の式により表示される。

$$l = \frac{1}{\beta'} \tan^{-1} \left[\frac{2B_0}{B_0^2 - 1} \right] + \frac{\lambda'}{2} n \dots (3.1)$$

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\beta \approx \frac{2\pi}{\lambda'}, \quad \lambda' = \frac{2\pi v_c}{\omega} \dots (3.2a)$$

$$B_0 = \frac{1}{Z_N(1-k^2)} \dots (3.2b)$$

$$Z_N = \frac{\omega_0 L}{W_0} \dots (3.2c)$$

$$k = \frac{\omega'}{\omega_0} = \frac{\text{通過角周波数}}{\text{減衰極角周波数}} \dots (3.2d)$$

$$W_0 = \text{入出力 インピーダンス} \dots (3.2e)$$

通過角周波数 ω' でのそう入損失 $L(\omega)$ は、

$$L(\omega) \approx 20 \log \left[1 + \frac{1}{2} \alpha l \frac{1}{Z_N^2(1-k^2)^2} \right] \dots (3.3)$$

ω' 近傍の動作減衰量 $L(\omega)$ は近似的に

$$L(\omega) \approx 20 \log \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{Z_N(1-K^2\Omega^2)} \left(2 \cos \Omega\theta - \frac{1}{Z_N(1-k^2\Omega^2)} \times \sin \Omega\theta \right) \right] \dots (3.4)$$

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega'} \dots (3.5)$$

$$\theta = \beta' l$$

また、減衰極における動作減衰量 $L(\omega_0)$ は

$$L(\omega_0) \approx 20 \log \frac{1}{2} \left(\frac{Q_0}{Z_N} \right)^2 \dots (3.6)$$

ここで Q_0 は直列共振素子の Q である。

この 0.1 器は共振素子の Q が低くてよいので、集中定数で実現でき、また帯域が広いので、受信部前段の帯域 0.1 器と大きく干渉することがない。図 3.5 は実現例である。なお、送信部の不要周波数抑圧用帯域通過フィルタは半同軸 2 段の最大平坦形で、そのそう入損は、約 0.2dB である。

3.4 制御回路の構成

制御方式は、送信部においては、現用動作指定を有する cold-stand by 方式で、送信電力の低下により電源を切断し、警報(音響, ランプ)を発し、予備機に切り換わる。送信電力監視は差動増幅器により、半導体の CONTACT-POTENTIAL による温度効果を補償しており、送信電力が約 10 dB 低下した場合、20 μs で

電源を切断し、予備機に起動信号を送る。送信部の起動速度はおもに電源の平滑回路で決定され、100~200 ms である。受信部は並列動作であり、いずれの電源部からも電源を供給されており、2 台の受信部は復調雑音、パイロット断により、スレッシュホールド ± 2 dB で警報を発するが、この場合ビデオはダイオードスイッチで切り換えあるいはビデオコンパイナで合成される。また 2 台の受信部が同時に障害のときは、相手局送信障害あるいは伝搬路障害と判定し、時間差を持って受信障害のときは自局障害と判定する回路を有する。

図 3.6 (a) に送信系制御系統、図 3.6 (b) に受信系制御系統を示す。また送信出力の切換は、終段の可変容量ダイオードテ倍回路のパイアス変化によるインピーダンス特性により切り換えを行なっている。

制御論理は負電源方式とするため NPN, PNP 合金形トランジスタで構成した。また、電磁リレーをいっさい使用しないので、表

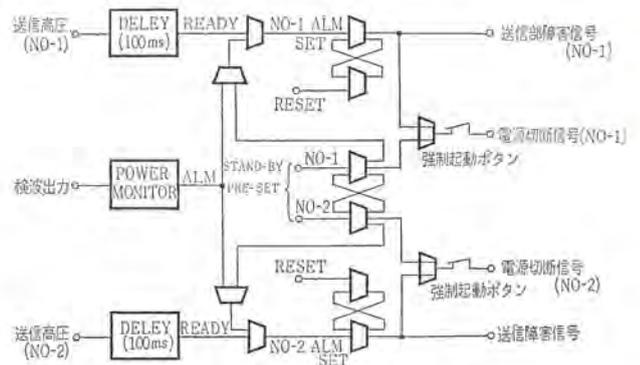


図 3.6 (a) 送信系制御系統図
Fig. 3.6 (a) Schematic diagram of transmitter control circuit.

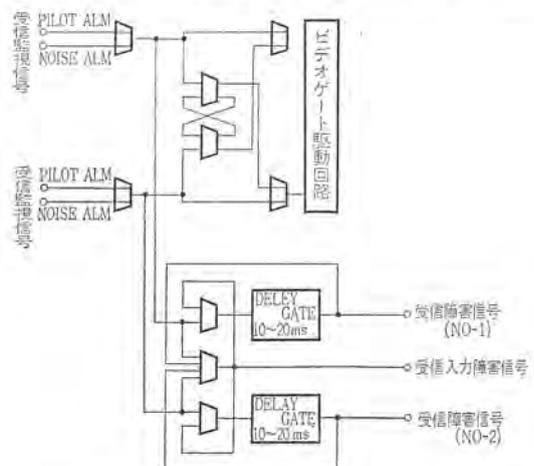


図 3.6 (b) 受信系制御系統図
Fig. 3.6 (b) Schematic diagram of receiver control circuit.

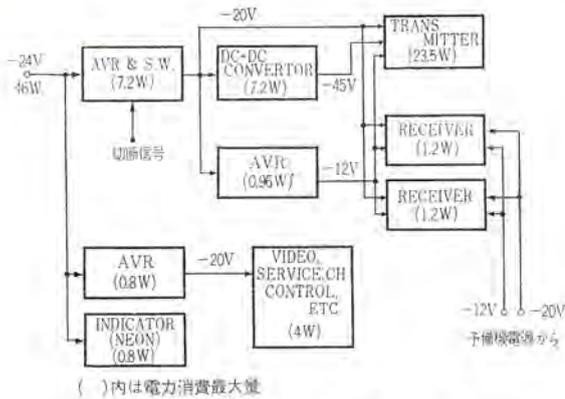


図 3.7 電源系統図
Fig. 3.7 Schematic diagram of power supplies.

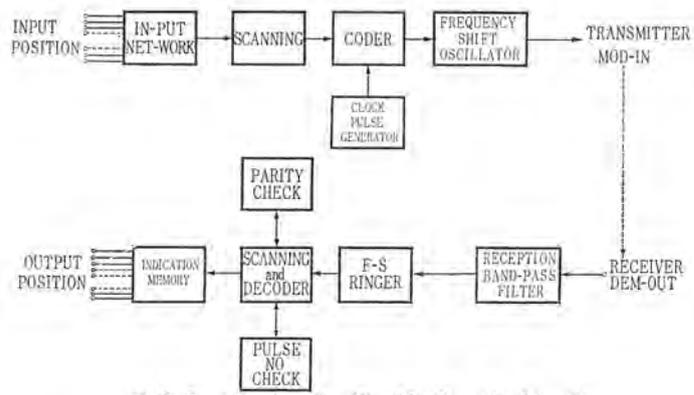


図 3.8 遠方監視制御系統図
Fig. 3.8 Supervisory equipment block diagram.

示はネオン管、警報音は方形波発振器によるスピーカ鳴動とし、制御スイッチはノン・ロック・ブッシュボタンによるワンタッチシステムである。打合せ回線は 2.4 kc でシャ断し、2.9 kc ± 70 c/s の F/S 発振器をラダグインして遠方監視制御とパイロット信号に併用した。

3.5 電源方式

本機の消費電力はきわめて少ないため、10~100 h の無停電対策として 20~200 Ah の蓄電池をフローティング使用することが推奨されるが、電圧の変動に耐えられるよう AVR を内蔵し、この制御トランジスタをシャ断とすることにより、電源スイッチを兼ねている。また、送信部の高圧 -45 V, 0.45 A は DC-DC コンバータを使用するが、この発振周波数は、効率をいくぶん犠牲にして、約 3 kc という高い周波数で使用しているため、平滑回路のチョークコイル、ケミカルコンデンサ、発振回路のトイダルコイルが小さくなり、幅 480 mm、奥行き 140 mm、高さの鉄製パネルに AVR とともに収容でき、重量は約 3 kg である。

この回路の誘導によるスパイクの漏れは十分注意する必要があり、出力端子におけるスパイク含有率は数 mV である。またこのスパイクが機外に与える妨害は、おのおの AVR が抑圧する効果をもっている。

電源系統およびその消費電力分配は図 3.7 に示すとおりであり、試作機による実測値は最大消費量 46 W であった。

3.6 付属回路

本機は、保守の容易さ、および無人局としての使用のため、固体、無接点化した遠方監視制御装置を所要カードのラダグインにより 7~14 項目実装できる。

この遠方監視制御方式は、8 ビット (内 1 ビットはパリティ) を単位とする長短符号連続送出方式であり、伝送速度は 50 ボーである。この系統図を図 3.8 に示す。また、本機は固体化された信号発生器 (400 Mc 帯および中間周波数) および送信電力計兼送受折返し試験器を内蔵する。後者は、折返し受信レベルを可変でき、また空中線共用回路の有無にかかわらず使用できる特長を有する。

4. 総合特性

総合周波数特性、送受総合ツイ(歪)率特性、受信入力対送受総合 S/N 特性を図 4.1~4.3 に示す。

伝送周波数特性はビデオ帯域内で 2 dB 内の偏差である。

ツイ率特性は 54 kc と 36 kc の信号を用い、2 次ヒズミ、3 次

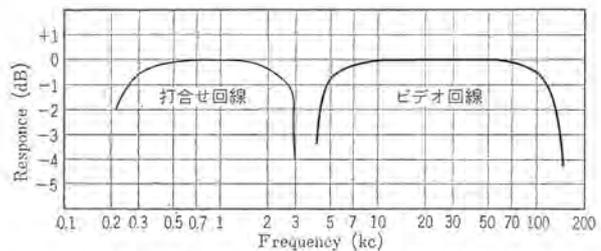


図 4.1 送受総合周波数特性
Fig. 4.1 Overall frequency characteristics.

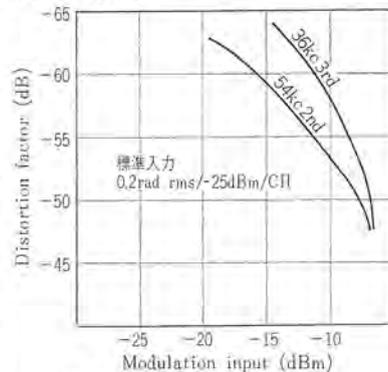


図 4.2 送受総合ツイ率特性
Fig. 4.2 Overall distortion characteristics.

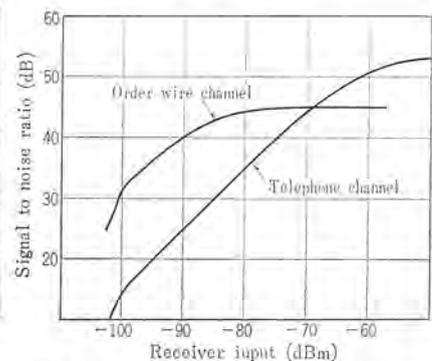


図 4.3 高周波受信入力対 S/N 特性
Fig. 4.3 RF Input vs S/N characteristics.

ヒズミを測定したもので、24CH の信号を伝送した場合、準漏話の S/N を 50 dB 以上に保つに十分な値である。

受信入力と送受総合の S/N 特性は、ビデオ回線では 54 kc 0.2 rad の通話路信号に対し、また打合せ通話路については 1 kc 2 rad の信号を用いて測定した値である。

高感度化によってスレッシュホールド・レベルが -99~-98 dBm となるが、トランジスタ DC-DC コンバータの発生するスパイク電圧が通話路の残留雑音に影響することはない。

5. 回線設計

電波の利用が増すにつれて、周波数の規制、送信電力の低減、フック射器の特性規制、受信感度の向上などが必要となるのは当然である。UHF 帯では、回折、反射、散乱などによって思わぬ個所に不要電波の到来を招くことが避けられないが、それだけに送信出力をできる限り少なくし、受信感度の向上および指向性の鋭い高利得空中線でこれを補うことが肝要であろう。また、1 章で述べたように伝搬条件の比較的良好な場合にはフェーディングはきわめて少ないから、従来通話路 S/N をある値に保つたために、高周波入力を必要以上に高く選ぶきらいがあるのを改め、無線回線の

条件に応じた必要かつ十分なフロアアウトマージンにとどめ、S/Nは、一例として音量圧伸器の採用などによって補う方法を考慮すべきであろう。

以下に送信出力 5W と受信雑音指数 10 dB の組み合わせによる回線設計の一例を述べる。ただし 400 Mc 帯では都市ならびに周辺の場合、いわゆる都市雑音が受信機の総合雑音レベルを劣化させる現象があるので、受信機自体の内部雑音レベル向上させても効果が少ない場合があるが、これについては後述する。

5.1 回線設計基礎数値

- (a) 距離 60 km, 山岳伝搬でナイフェッジによるシャヘイ損失 7 dB と仮定
- (b) 通話路容量 24 CH
- (c) 給電線損失 0.07 dB/m 同軸ケーブルを両局合計 50 m 使用
- (d) 回線信頼度 99.9% 以上
- (e) 信号対雑音化 標準伝搬状態において 45 dB 以上
- (f) 周波数 400 Mc

5.2 回線設計

送信出力 5W と絶対利得 12 dB のコナレフレクタ空中線を用いて回線設計すれば表 5.1 のとおりである。

表 5.1 回線設計表

自由空間損失	120.0 dB
分波器損失 (合計)	2.0 dB
給電線損失 (ノ)	4.0 dB
空中線利得 (ノ)	24.0 dB
シャヘイ損失	7.0 dB
全区間損失	109.0 dB
送信出力 (5 W)	+37.0 dBm
全区間損失	109.0 dB
受信入力	-72.0 dBm
受信入力	-72.0 dBm
スレッショルド・レベル	-97.0 dBm
ドロップアウトマージン	25.0 dB

この回線のフェージング損失 L_F は郵政公報によれば 99.9% の回線信頼度に対し

$$L_F = 0.2 \times 60 + 3 = 15 \text{ (dB)}$$

である。郵政公報に規定されている送信出力の規制式、すなわち

$$A + M > P_T > A \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、

$$A \text{ (dBm)} = (L_p + L_f + L_F) - G_{AI} - G_{AR} + P_{T0}$$

$M \text{ (dB)}$: マージン, 通常 10 dB

は別の形式に書き改めれば、

$$L_F + M > D \quad M > L_F \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

ただし D/M はフロアアウトマージン (dB) であって、この回線のフロアアウトマージンは 15~25 dB に選ぶことになるから、表 5.1 の回線設計が満足される。ただし、シャヘイ損失が 7 dB ある区間の場合、フェージング損失が見込みよりも大きいこともありうるから、伝搬実験の結果、受信入力をさらに大きくする必要があれば、空中線により利得の高いものを選定すればよい。

表 5.1 の回線設計で得られる標準状態での信号対雑音比 $(S/N)_{CH}$ は S/N 改善係数 I が、

$$I = 10 \log \left(\frac{m_0^2 B}{f_s} \right) = 9 \text{ dB} \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

- ただし m_0 : 変調指数 (ラジオ/CH, rms)=0.2
- B : 受信帯域幅=600 kc
- f_s : 伝送帯域=3 kc

であるから、CCITT 勧告の評価回路による改善を 2.5 dB とすれば、計 11.5 dB の改善が得られ、

$$(S/N)_{CH} = (S/N)_{RF} + 11.5 = 45.5 \text{ dB} \quad \dots \dots \dots (5.5)$$

となり、 $(S/N)_{CH}$ の要求も満足される。

以上の回線負荷は外来雑音をまったく考慮する必要のない場合について行なったが、都市またはその周辺で、都市雑音が受信機内部雑音に比べて無視できない場合には、郵政公報に規定されている次式で外部雑音電力 P_{rne} を求めて補正すればよい。

$$P_{rne} = 10 \log \frac{B}{b} + E - 20 \log f - 77.3 + \frac{G_s}{2} - L_f \text{ (dBm)} \quad \dots (5.5)$$

注 各信号の説明は郵政公報に述べられているとおりであるから省略する。

外部雑音電界強度の二乗平均値 $E \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$ は場所、高さ、方向、時間などによって異なるが、およその目安として

大都市の場合	10~18 dB	(いずれも $b=20 \text{ kc}$ $f=400 \mu\text{c}$ で測定 した場合
中都市	5~10 dB		
小都市	~5 dB		

であろう。今一例として $E=10 \text{ dB}$ とすれば前述の回線構成の場合

$$P_{rne} \doteq -102 \text{ dBm}$$

であるから受信機内部雑音レベル P_{rni} ($=-106 \text{ dBm}$) に加算すれば、総合の雑音レベル P_{rn} は

$$P_{rn} \doteq -100.5 \text{ dBm}$$

となる。すなわち P_{rni} に比較して 5.5 dB の低下となるから絶対利得 16 dB の空中線を使用すればこれを補うことができる。

6. む す び

以上、新たに開発した ME-40 形 400 Mc 帯全固体化多重通信無線機の概要を報告した。

本文に述べたごとく、全固体に加えてあらゆる部分に新規でかつ簡易化された方式、回路を採用し、今後ますます需要の増大する UHF 帯簡易多重通信回線の用途に対応することができるものと考えている。一例として太陽電池との組み合わせによる完全無人中継所、災害対策用可搬形移動多重装置などの実現にも役だつものと思われる。

終わりに本機を開発するにあたって、懇切なご指導を賜った日本国有鉄道電気局の関係各位、測定器の製作に協力いただいた安立電気株式会社の各位に厚く御礼申し上げる。また、設計について指導、激励を賜った当所榎本技術部長、半導体部品の製作に協力願った当社伊丹製作所の大久保技師ほか関係各位、遠方監視制御部の設計を分担願った当部小林技師らに深甚なる謝意を表する。

(昭 39-7-2 受付)

参 考 文 献

- (1) 丸浜, 笹田, 一の瀬: マイクロ波周波数テリ倍器, 電連大, 講義番号 1128 (昭 39)
- (2) 沼田, 笹田: 無線機制御機能の半導体化, 電連大, 講義番号 1517 (昭 39)

空気イオン発生器とその応用

原 仁吾*・平林庄司*・山口南海夫**

平塚 篤***・杉本 賢***・片桐幸彦***

神谷昭美****・白石和雄****・吉村 宏****・成田勇三****

Ionizers and Their Applications

Central Research Laboratory

Ware Research Laboratory

Nakatsugawa Works

Jingo HARA・Shōji HIRABAYASHI・Namio YAMAGUCHI

Atsushi HIRATSUKA・Suguru SUGIMOTO・Yukihiko KATAGIRI

Akimi KAMIYA・Kazuo SHIRAIISHI・Hiroshi YOSHIMURA・Yūzō NARITA

The air ion used to be an object of study in the meteorology. Its medical effect has been investigated of late and further its hygienic effect has been brought to light in connection with the contamination of air in cities and industrial zones. This has made the air ion recognized as a new element of air conditioners. Mitsubishi has been studying its effect on human bodies and brought to completion of unique ionizers operating on pulse discharging by utilizing corona discharge. As one of the applications air cleaners are considered promising products. This article deals with brief explanation of air ions and experiments of ionizers thus developed. Mitsubishi ionizers and ionic air cleaners are of no harm and have good efficiencies of ionization and abilities of changing the generated ion quantities with ease.

1. ま え が き

最近、都市や工業地帯における大気汚染の問題がクローズアップされて、環境衛生上重大な問題となり、われわれの日常生活が有形、無形におびやかされつつあるが、これは産業発展の必然的な過程とも考えられ、国をあげてその対策に取り組んでいる現状であるが、なお工場のパイ煙、有毒ガス、自動車の排気ガスなど、都市を取り巻く悪条件から居住者は自己を守らなければならない状況である。空気イオンは元来、気象電気学の分野における研究対象であったが、その医学的效果も研究されていた。しかるに近年の大気汚染の問題とか、建築構造の空気イオンとの関連が、明かにされるとともに、空気イオンは今や冷暖房、除じんなどの気調装置の新しい要素として再認識されるに至った。

当社でも空気イオンの人体に対する効果に着目して調査、研究を進め、コロナ放電を利用した独特のパルス放電式空気イオン発生器の開発に成功し、さらに空気イオン発生器の空気清浄機への応用を行なった。これらは上記の現状に対し適切な製品と考えられるので、ここに空気イオンの概要、パルス放電式空気イオン発生器の研究結果および三菱イオナイザ、三菱アionoックエアクリーナなどについて報告する。

2. 空 気 イ オ ン

2.1 大気中の空気イオン

大気中に空気イオンが存在することは、古くから気象電気学の分野で地球物理学の立場から研究されていた。すなわち大気の電導性は、正あるいは負に帯電した微粒子が空間に浮遊して、大気中の電場の電位差方向に運動をするためであることが解明されてから、すでに久しい。大気電場は地球を導体と考えるとき、帯電々荷が表面に現われるためこの電荷により地表上に生ずる電場であり、大気中に浮遊する正あるいは負の帯電微粒子が、この電場方向に運動すると空地電流が生ずる。この空地電流の原因となる大気中の正あるいは負の帯電微粒子が空気イオンであって、それ

ぞれ正イオンあるいは負イオンと呼ばれている⁽¹⁾⁽⁹⁾⁽¹⁸⁾。

空気イオンは、大気中の電場によって運動するが、単位強度の電場内における空気イオンの速度を移動能度 (Mobility $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$) と呼ぶ。空気イオンの移動能度はその電気量 e と質量 m の比によって定まるが、空気イオンはこの比が非常に広範囲で、一般に移動能度によって次のように分類される。

小イオン:	移動能度	$0.4 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 以上
中イオン:	"	$0.4 \sim 0.04 \text{ cm}^2/\text{V sec}$
間イオン:	"	$0.04 \sim 0.004 \text{ cm}^2/\text{V sec}$
大イオン:	"	$0.004 \sim 0.0003 \text{ cm}^2/\text{V sec}$

大気中にはいろいろの原因で発生した空気イオンが存在するが、これらのうちで最も単純なものは、気体分子から遊離した電子と、電子を失った正荷電分子である。電子は小イオンに比べて、はるかに大きな移動能度を持っているが、大気中では、生成後瞬間的に空気分子に付着して分子イオンとなり、電子のまま存在することはほとんどない。大気中で発生した電子が分子イオンとなる確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-8}$ 程度といわれ、分子イオンが、さらに他のいくつかの空気分子と結合したものが、負の小イオンであり、分子イオンが大気中の水蒸気やジエチルなどに付着すると、中イオンや大イオンになる。正イオンにも分子イオン、小、中、大イオンが同様に存在する。

2.2 空気イオンの生成

大気中に存在する空気イオンの生成の原因としては次のようなものがある⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁹⁾。

(1) 宇宙線

地球外からくる宇宙線により空気が電離されて空気イオンを発生するが、高空においてとくに盛んで、電離層の成因の一つである。

(2) 紫外線

太陽光の紫外線によって高空ほど電離が行なわれ、空気イオンの発生も多い。

(3) 光電効果

ある波長の放射線の投射により、光電子放射が行なわれると、

空気イオンが発生する。

(4) 放射能物質

地中にある放射能物質が崩壊して気体になると、地表に漏出し、空気を電離して空気イオンが発生する。

(5) 放電現象

大気中における放電現象、とくに雷現象などによって空気が電離されて空気イオンが発生する。

(6) 燃焼

燃焼による空気イオン発生にはショック(約)熱物体によるものや、酸化の化学作用によるものなどがある。

(7) 表面積変化

たとえばスプレーで水滴が分裂するとき、レナード効果により分裂した水滴自身は正に帯電し、周囲の空気が負に帯電する。

以上が、大気中で空気イオンが生成する原因と考えられるものであるが、最近盛んに研究されている人工的空気イオン発生器も、以上の原理のいずれかを利用したものである。

また大気中で生成した空気イオンは、永久に存在するものではなく、生成、消滅を繰り返すのであるが、空気イオンは生成してから消滅するまで大気中に存在する時間がどのくらいであろうか。これについては次のような説明がなされている。小イオンの平均寿命は、清浄な大気のほうが大きいので、小イオン濃度の大小は大気の汚染度のめやすともなり、その時間は分子イオンで数分の1秒、小イオンが約10秒、大イオンが約300秒といわれる。また大小イオン数は相反関係にあり、一方が増せば一方が減少する。室内で発生させた空気イオンの存在時間は空気の汚染度、人員数、室内構造(壁面の性質、家具の種類と配置)および気調装置などで、著しく左右されることが予想される。

2.3 空気イオンの消滅

次に空気イオンの消滅については、その機構は次のように説明されている⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁹⁾。

(1) 再結合

イオン化した気体はそのまま放置すると、外部からなんらの作用を受けなくても正、負のイオンは相互の引力によって再結合し、それぞれの電荷が中和して気体分子に戻り、イオン数が次第に減少する。

(2) 拡散

空気イオンは、濃度の濃いほうから希薄なほうへ拡散して、次第に等質になる傾向がある。濃度が等しくなった場合に、境界面における現象を考えて見ると、金属のような導体面に接している場合はその近傍の空気イオンは導体面の反対符号の鏡像電荷と中和してしまい、壁面近傍の濃度が希薄になるので、さらに空気イオンが拡散してきて、ふたたび中和を繰り返す。このようにして空気イオンが境界面に拡散、消失するのである。

この境界面が絶縁物である場合は、空気イオンの存在する空間と絶縁物の間の電位差によって空気イオンが絶縁物の表面に吸着されるが、表面に空気イオンの電荷が蓄積して、空間との電位差が消失すると、それ以上空気イオンが絶縁物に付着しなくなり、平衡を保つ。けれども実際には絶縁物の電荷漏れによって空気イオンの付着、消失が継続するものである。

(3) 付着

電離された空気から発生した電子が空気分子に付着して小イオンが発生するように、小イオンは大気中の水蒸気や、シアンに付着して中イオン、あるいは大イオンに変わってゆくので、これも空

気イオンの消失と考えることもできよう。

2.4 空気イオンの測定

長い空気イオン研究の過程において、空気イオンの測定が不可欠であったように、将来も測定の技術と機器の進歩が研究推進の原動力となることは疑いない。

最も古い空気イオン測定器としてはハフ(箱)検電器、KY式イオン測定器などがあるが、いずれも単位時間を定めて、その経過後のイオン総量を個/cc/sec単位に算出するものであり、単位時間内の短時間における空気イオン濃度の変化は知り得ない欠点があった⁽¹⁾⁽¹⁰⁾。

電気試験所式空気イオン測定器はこれらの欠点を改善し、時間変化の記録も可能とし、空気イオン研究の進展に寄与した⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾。

しかしながら、最近空気イオンが環境衛生上重要であることが着目されて、空気イオン発生器が室内気調装置の一部として考えられるに至り、室内における空気イオン濃度分布が問題になっている現在では、狭い閉鎖された空間の局部的な空気イオンの濃度分布を測定する必要が生じ、現在の吸入式測定器では空間の気流をコントロールするので、さらに新しい見地から空気イオン測定器の再検討が要求される。同時に今後空気イオンの利用が普及することを予想した場合、従来困難視されていた簡易形空気イオン濃度計の出現も強く望まれる次第である。

現在標準的に使用されている電気試験所式空気イオン濃度計の原理を図2.1に示す⁽¹⁰⁾。

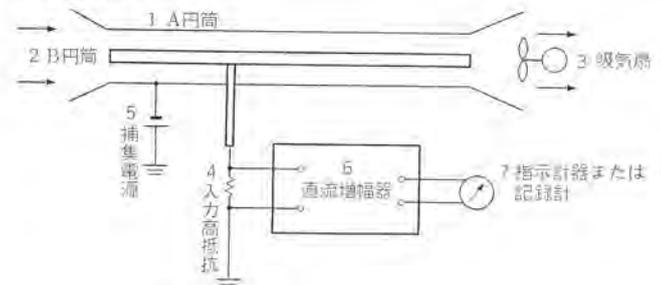


図2.1 イオン濃度計⁽¹⁰⁾
Fig. 2.1 Ion density meter.

図2.1において1,2はそれぞれ空気イオンを吸引捕集する外円筒および内円筒、3は円筒A内に空気イオンを含んだ外気を吸引するための吸気扇、4は直流増幅器6の入力高抵抗、5は内外両円筒に電位差を与えて吸入空気イオンを捕集する直流電源、7は直流増幅器6の出力を指示する計器または記録計である。

大気中の空気イオンは吸気扇で外円筒内に吸入され、電界により内円筒に捕集されて入力高抵抗を流れ、増幅器の入力電圧降下を生じ、これが増幅されて指示計器あるいは記録計に表示される。

図2.1の空気イオン濃度計によれば

$$\mu \geq \frac{Q \log_e D_p / D_c}{2\pi l V}$$

- μ : 易動能度 (cm²/volt·sec)
- D_p : 外円筒の内径 (cm)
- D_c : 内円筒の外径 (cm)
- l : 実効集イオン極(内円筒)長 (cm)
- Q : 吸気風量 (cm³/sec)
- V : 捕集電源電圧 (V)

すなわちVボルトの捕集電圧、Q cm³/secの風量では易動能度 μ 以上のイオンが測定できるわけである。

また、直流増幅器の出力指示計は、入力高抵抗中のイオン電流による電圧降下を示すので、このイオン電流から捕集された空気

表 2.1 負イオンの作用と効果⁽¹⁾

負イオンの作用	有効とされる疾患
鎮静作用	神経衰弱, 耳鳴, 神経症
催眠作用	不眠症
鎮痛作用	ロイマチス, 痛風, 頭痛
鎮ガイ作用	気管支炎, 肺炎, 百日せき
鎮ヨウ(痒)作用	湿シ, その他の皮膚疾患
呼吸鎮静作用	ぜんそく
止ケイ(痙)作用	てんかん, 手指のしびれ
血圧降下作用	高血圧, 低血圧
ホルモン剤類似作用	1. インシュリン類似(糖尿病) 2. 脳下垂体前葉卵巣ホルモン類似(更年期障害, 他) 3. 甲状腺機能亢進
局所循環促進作用	凍傷
通り(痛)作用	便秘
制汗作用	更年期多汗
変質作用	アレルギー
発育促進作用	発育不足
食欲増進作用	胃病
下熱作用	カゼその他
疲労回復	過労その他

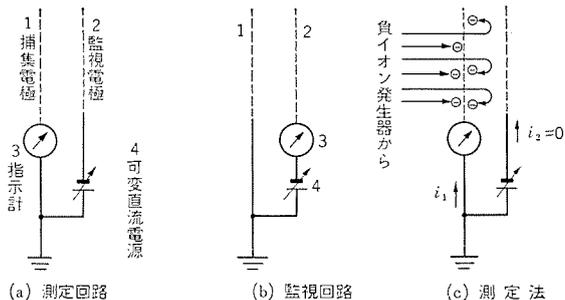


図 2.2 簡易形イオン濃度計
Fig. 2.2 Simplified type ion density meter.

イオンの電荷量がわかり、空気イオンが電気素量 e をもつことから空気イオン数が換算できる。

電気試験所式空気イオン濃度計は、大気中の微小イオンが測定できる精度の高いものであるが装置が大形であり取り扱いも容易でない。商品研究所では、空気イオン発生器のイオン発生量のように、高濃度の空気イオンを測定するのに適した簡易で取り扱い容易な空気イオン測定器を試作して、好結果を得ている。図 2.2 にこの簡易形イオン濃度計を示す。図 2.2 (a), (b) に示すように捕集電極 1, 監視電極 2 (ともに金属網), 微小電流計 3, 直流電源 4 から構成され、直流電源は捕集電極 1 から漏れるイオンをなくすために、監視電極に加えるためのものである。(出願中)

図 2.2 (c) は、負イオンを測定する場合の測定原理を示している。発生器から吹き出された負イオンは捕集電極に到達し、一部捕集されるが、残りのイオンは漏れて監視電極のほうに進む。図 2.2 (c) において、印加電圧がゼロのときは、監視電極は捕集電極と同様に一部捕集されて残りは漏れてしまうが、捕集電極から漏れてくるイオンの運動量に対して打ち勝つだけの負の電圧を監視電極に加えるときは、漏れたイオンは全部捕集電極に逆もどりして捕集される。そのために図 2.2 に示すように監視電極の印加電圧を徐々に大きくし、監視電極に流れるイオン電流がゼロになる電圧を印加すればよい。

この簡易形イオン濃度計では両電極(金属網)の大きさが自由に換えられるので、イオン吹出口が大きい発生器でも測定でき、かつ捕集筒のように、測定すべき発生器と捕集電極の間に障害物を持たないので、発生イオン量を正確に測定できる。

2.5 空気イオンの生理作用

空気イオンの存在が気象電気学分野で発見された後、生理作用についても外国はもちろん、わが国の北大医学部などで早くから研究され、医療効果が認められていた⁽¹⁾⁽²⁾。

一般に負イオンが人体に鎮静的に作用するのに対して、正イオンは刺激的に作用するといわれている。すなわち負イオンは鎮痛、催眠、鎮ガイ(咳)、制汗、食欲高進、血圧降下、そう快感、疲労防止、回復などの作用があるのに対して、正イオンは、不眠、頭痛、不快感、血圧高進、温感などの作用があるといわれ、医学的な臨床例も内外で多く発表されており、イオン発生器開発関係者も負イオンにより快感を、正イオンにより不快感を経験している⁽¹⁾(表 2.1, 2.2 参照)。

空気イオンの医療効果の研究は戦後ふたたび活発になり、アメリカ、ソ連では盛んな研究の結果、軍事的にも重要であることが認識され⁽³⁾、さらに最近、電気試験所、北大医学部などの長期にわたる研究から、大気汚染や建築物の気調問題と関連して、空気イオンの保健効果が注目されるに至った⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

表 2.2 近年における空気イオンの生理学的効果の研究報告⁽¹²⁾

正イオンの効果	負イオンの効果	報告者
	花粉熱, ぜんそくの症状軽減	Kornbluch, Griffin Piersol & Speicher
アレルギー性呼吸器病の症状悪化	影響なし	Corrado Beckett
呼吸量の減少 呼吸器管内粘液腺を刺激		Winsor Beckett
	呼吸器疾患に有効 神経過敏症に効あり	Mibashan
	気管支ぜんそく, 高血圧, 落ノウ症に有効 回復の遅い外傷, 軟組織の シユ物の治ユ促進	Vasilyev
繊毛運動の低減, 筋肉の収縮, 局所貧血, 外傷に対するゼイ弱性を来す	繊毛運動を活発にする	Krueger, Smith Hildebrand, & Meyers
過剰の場合有害 不快感をきたし, 呼吸器系の 能率を低下	適度な安らぎをきたし, 健康 を増進する。正イオンの 効果のある程度逆転可	Krueger, Smith
5-Hydroxytryptamine (Serotonin) の放出をきたす	チトクロム結合酸化反応を 促進し, 5-Hydroxytryptamine を排除	Krueger Smith

表 2.3 地域的な空気の性状⁽¹³⁾

場 所	小管村	田無	日比谷	新宿	事務ビル	デパート
天候・時間	雨 11.00	曇 11.00	曇 11.00	曇 11.00	玄関 ホール 事務室	電気集 塵器有 同無
CO (ppm)	—	—	2.5	—	5	5
CO ₂ (ppm)	350	350	350	700	400	700
Dust 個/cc	170	260	780	1,250	670	775
正イオン 個/cc	670	346	150	69	154	44
負イオン 個/cc	695	336	101	61	126	45
イオン密度比 +/-	0.97	1.03	1.48	1.13	1.22	0.98
移動能度 V/cm/sec	0.47	0.45	0.52	0.5	—	—
温度 °C	4.0	13.2	15	16	16.9	16.8
湿度 %	93	89	86	84	86	86
						83
						82

現状では空気イオンの医療効果について、今後の研究にまつ点はまだ多いが、空気の清浄な地域の、自然の状態に近い空気イオン量の存在が、われわれの日常における保健のために必要であることは認められている。すなわち山地や郊外などの空気の清浄な地域では、大気中に正イオンが 300~1,000 個/cc, 負イオンが 200~800 個/cc 程度存在するのに対し、大気汚染した市街地やビル内では、正、負両イオンとも ジンアイの濃度と反比例して、数十個/cc 程度まで減少していることが実測されているので、都会地や室内では人工的に空気イオンを補給する必要があるわけで、冷房の利いた室内で気分が悪いなどという例は、負イオンの不足がその一因であるといわれている⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹³⁾(表 2.3 参照)。

上記のように空気イオンの医療効果については今後解明すべき点が多いけれども、少なくとも適量の負の小イオンは人体の調節

作用を助け、補薬的な重要な作用を持つものであると結論されており、空気イオンは空気のビタミンだといわれている。

3. 空気イオン発生器

3.1 コロナ放電による空気イオン発生の方法

コロナ放電による空気イオン発生の原理を図3.1に示す。針電極に高電圧を印加しコロナ放電を起こさせると、電子および正イオンが発生し、電子は空気中の酸素分子と結合して負イオンを作る。このとき針電極に印加された電圧が負極性であれば、針先近傍に生成した正イオンは、ただちに針電極に吸引されて消滅し、一方負イオンは電界によって加速され平板電極に向かって進む。しかし正イオンに比べて行路が長いので、送風機により、平板電極に吸引される力に打ち勝って一部空間に負イオンを放出させることができる。

いま印加電圧として、直流の代わりにパルス電圧を用い、そのパルス幅を負イオンが電界によって平板電極に到達するに要する時間よりも十分短く選べば、発生した負イオンは平板電極に吸引されることなく、風力によって、理想的には100%空間に送り出すことができる。いま、かりに針電極先端の半径を0.01mm、電極間ギャクを10mm、印加電圧を5kVとし、 O_2^- の移動度を $1.84 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ として電極間の走行時間を計算すると約 $270 \mu\text{s}$ となり、パルス幅はこれより十分短ければよい。

上述のようにパルス方式では、直流方式に比べてきわめて効率よく空気イオンを発生させることができ、またパルスの繰り返し周波数を変えることによって、イオン発生数を容易に制御することができる。 (出願中)

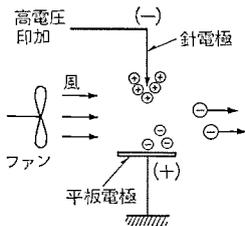


図 3.1 イオンの発生方法
Fig. 3.1 Principle of air-ion generator.

3.2 イオン発生数

清浄な空気中の負イオンの数は $200 \sim 800$ 個/ccであり、一方治療用としては $10^3 \sim 10^7$ 個/ccを症状に応じて時間を決めて与えている⁽²⁾。空気イオン発生器のイオン発生数をどの程度にすればよいかは、現状では定説はないが、市販されているイオン発生器の発生数は $10^8 \sim 10^{10}$ 個/secのオーダーであるので、 10^{10} 個/sec(風の体積流量を $1,000 \text{ cc/sec}$ とすればイオン密度は $10^7/\text{cc}$ となる)を発生量の目標とした。

イオン電流 I_i は空気の体積流量を $Q \text{ cm}^3/\text{sec}$ 、イオン密度を n 個/ccとすれば、式(3.1)で表わされるので、

$$I_i = nQe \text{ (A)} \dots\dots\dots (3.1)$$

ただし e = 電荷素量 ($1.6 \times 10^{-19} \text{ c}$)

1秒あたりのイオン発生量 $N (=nQ)$ の値を 10^{10} 個/secとするために必要なイオン電流は $1.6 \times 10^{-9} \text{ A}$ となる。

一般に直流コロナ放電の特性は、図3.2に示すように、コロナ開始電圧以下の電圧においては、 10^{-13} A 程度の暗流が流れ、コロナ開始と同時に電流は急増して 10^{-6} A 程度になる。したがって直流では電圧を変えて、放電電流を上記の 10^{-9} A 程度に少なくすることは非常に困難である。一方イオン発生量は、後に述べる空

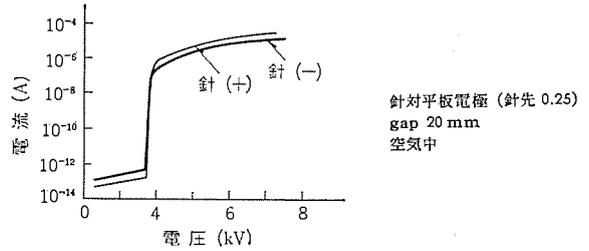


図 3.2 直流コロナ放電の特性
Fig. 3.2 Characteristics of DC corona on needle-point electrode.

間電荷制限効果により本質的に限界がある。すなわちイオンが発生すると、その空間電界によって後続のイオンが反発され、送り出し得るイオン数には制限がある。この制限は風速によって決まり、電極部の風速が約 $1 \sim 2 \text{ m/sec}$ 程度でイオンの最大発生数は約 10^{10} 個/secとなる。すなわち 10^{-9} A 程度以上の電流はイオン発生量の増加には寄与せず、無効電流となり、後述のようにオゾンや酸化窒素の発生を増すことになるから、コロナの放電電流はできるだけ少ないほうがよい。放電電流を少なくするためには、

- (1) 対向電極を設けない無電極放電にする。
- (2) 放電回路に直列に高インピーダンスを接続する。
- (3) パルス電圧を用いて実効的な印加時間を短くする。

などの方法が考えられる。

しかし(1)は近接物体の影響を受け、物体を近づけると電流が急増するなどの問題があり、(2)は直列抵抗の値が $10^{12} \Omega$ 程度の高抵抗が必要で、その保持材料の絶縁抵抗がそれ以上でなければならないので実用的でない。これに対し(3)はパルスの繰り返し周波数を変えて容易に放電電流を制御することができ、また前述のようにパルス幅をイオンの電極間走行時間に比べて十分短くすることにより、イオンの発生を容易にすることができる。

3.3 パルス放電の特性

まずコロナ開始電圧の2, 3の特性を示す。図3.3は針対平板電

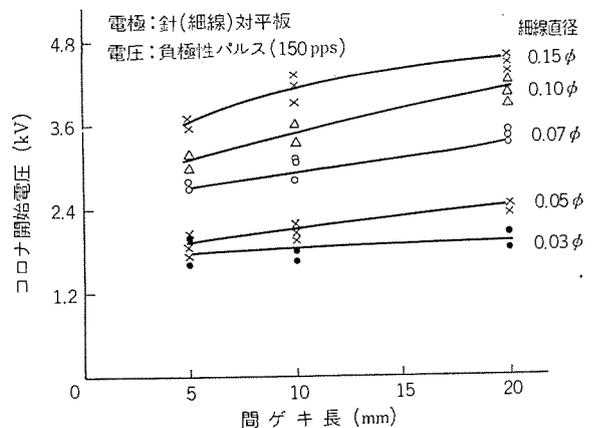


図 3.3 コロナ開始電圧と間ギャク長の関係
Fig. 3.3 Relation of C.S.V. with gap length.

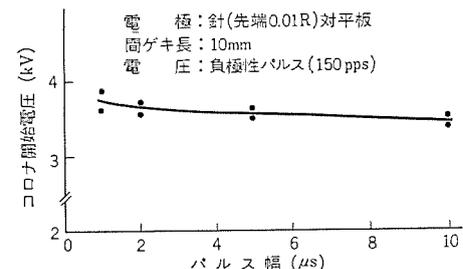


図 3.4 コロナ開始電圧とパルス幅の関係
Fig. 3.4 Relation of C.S.V. with pulse width.

極において、針電極として細線を用いたときの負パルスコロナの開始電圧である。細線の直径を大きくすればコロナ開始電圧は上昇するが、間隔長にはほとんど影響されない。また図3.4はパルス幅とコロナ開始電圧の関係で、コロナ開始電圧はパルス幅によってほとんど変化しないことがわかる。

図3.5および図3.6は、図中に示したように針対平板電極を用い（針電極の先端の半径約0.01mm）、負の高電圧パルスを加えてコロナ放電させたときの放電電流と、発生した負イオンを風力によって送り出し、同軸円筒形のイオン測定器で検出したイオン電流の特性である。図3.5から、コロナ開始電圧はこの場合約3.8kVであることがわかる。パルス電圧を上げると、空間に放出されずに無効電流となつて、平板電極に流れる放電電流は、ほぼ直線的に増加するが、一方空間に放出されるイオン電流はほとんど増加しない。また図3.6から、パルス幅を増すと放電電流は増加するが、イオン電流はほぼ一定であることなどがわかる。すなわちイオンを効率よく発生させるためには、パルス電圧はコロナ開始電圧以上の電圧においてできるだけ低い電圧がよい。またパルス幅は短いほうが良いが、0.5~10μsの範囲では大差がない。図3.7は、図中に示したように針対金網電極を用い、風を電極と順方向に送ったときの、パルスの繰返し周波数とイオン発生数の関係を、風速をパラメータにして測定したものである。風速は針先近傍の値である。イオン発生数は、パルスの繰返し周波数が低いところでは周波数に比例して増加するが周波数が高くなると飽和する。この飽和周波数は風速が大であるほど高くなる。金網に流れる電流はパルス周波数に比例し、風速が変わってもほとんど変わらない。

図3.8は図3.7の結果を用いて、パルスの繰返し周波数をパラメータにとり、イオン発生量と風速の関係を示したものである。これから両者の間には次式が成立する。

$$N = Kv^\gamma \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ただし N : イオン発生量, v : 風速, K, γ : 定数

指数 γ はパルス周波数とともに増加し、周波数が高くなると次第に $\gamma=3/2$ に漸近する。この関係は図3.9に示すように、より大きいダクトを用いて、その中央部にのみイオン発生源を設け、イオン測定器までのダクトの外壁にイオンが拡散しないようにし、またイオンを完全に捕集できる2枚の金網から構成された簡易イオン測定器を用いて、イオン発生数と風速の関係およびイオン発生

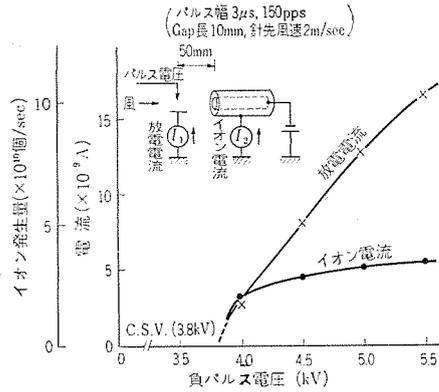


図 3.5 パルス電圧特性
Fig. 3.5 Ion characteristics of pulse voltage.

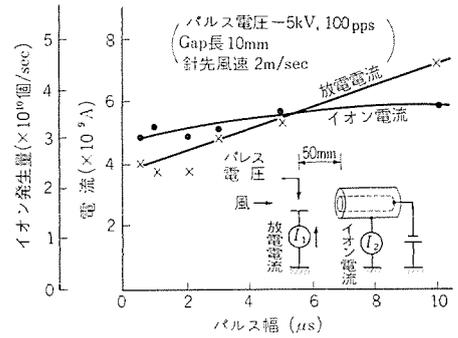


図 3.6 パルス幅特性
Fig. 3.6 Ion characteristics of pulse width.

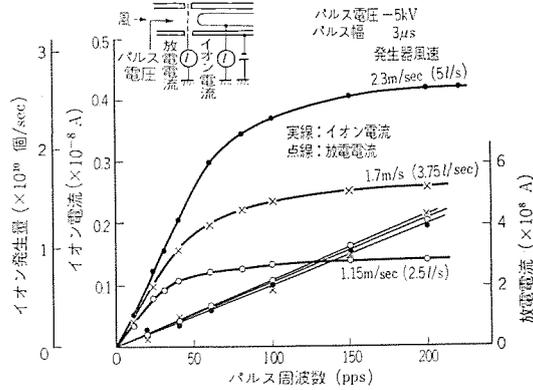


図 3.7 パルス周波数および風速特性
Fig. 3.7 Ion characteristics of repeated frequency of pulse and air velocity.

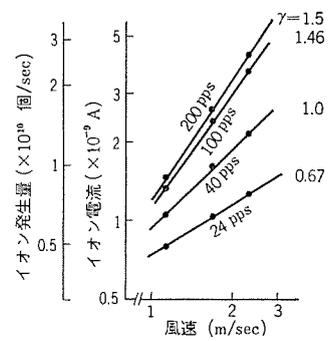


図 3.8 風速とイオン発生量
Fig. 3.8 Characteristics of ion quantity against air velocity.

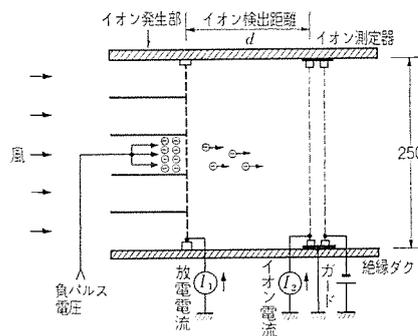


図 3.9 イオン発生と測定装置
Fig. 3.9 Ion generator and measurement device.

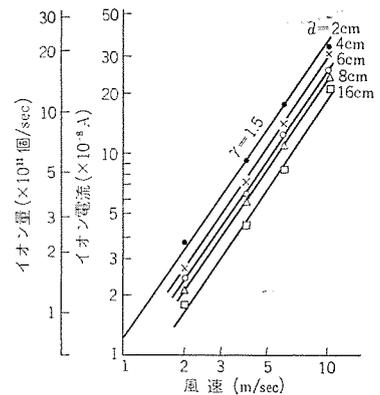


図 3.10 風速とイオン発生量
Fig. 3.10 Characteristics of ion quantity vs air velocity.

源から測定器までの距離の関係を求めた図3.10に示す結果においても、式(3.2)の関係が得られ、この場合も $\gamma=3/2$ を得ている。これらの結果から最大イオン発生量には、固体中や真空中と同様に空間電荷制限則に従う限界があることが考えられる。

固体中の空間電荷制限電流密度 J は

$$J = \frac{9}{8} \cdot \epsilon_0 \cdot \mu \cdot \frac{E^2}{d} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

ただし ϵ_0 : 誘電率, μ : 移動度, E : 電界, d : 電極間距離で与えられ⁽⁴⁾, また真空中の空間電荷制限電流は

$$J = \frac{4}{9} \cdot \sqrt{\frac{2e}{m}} \cdot \frac{E^{3/2}}{d^{1/2}} \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

ただし e : 電荷素量, m : イオンの質量で表わされる⁽¹⁷⁾ことが知られている。

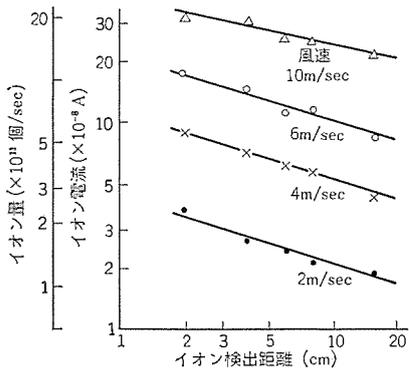


図 3.11 イオンの減衰特性
Fig. 3.11 Attenuation characteristics of ion by distance from the ion source.

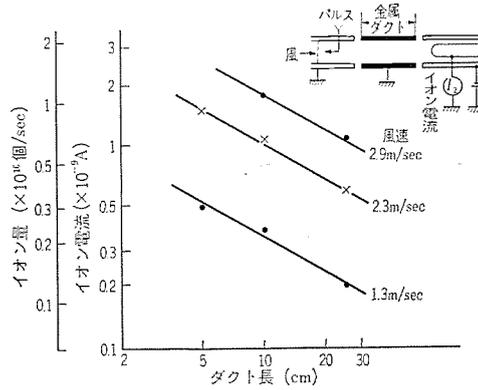
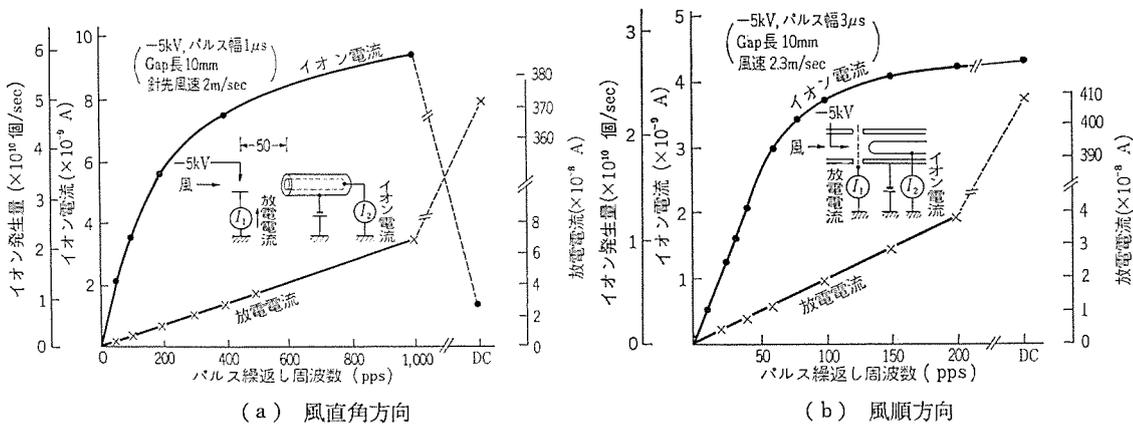


図 3.12 金属ダクトの影響
Fig. 3.12 Attenuation characteristics of ion quantity by metal duct.



(a) 風直角方向 (b) 風順方向

図 3.13 パルス方式と直流方式の比較
Fig. 3.13 Comparisons between pulse method and DC method.

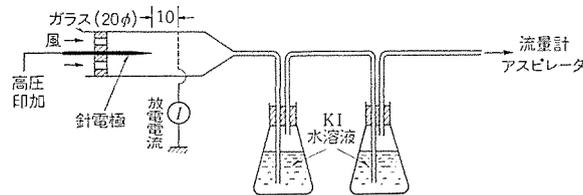


図 3.14 オゾン測定装置
Fig. 3.14 Measurement device of O₃.

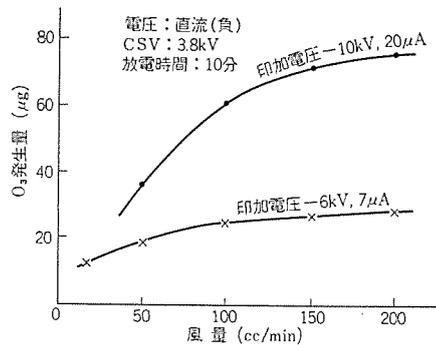


図 3.15 O₃ 発生量と風量との関係
Fig. 3.15 Relation of O₃ generation with air flow.

となる。
イオン発生量が、式 (3.6) で表わされるような固体中の空間電荷制限則に従うならば、風速の 2 乗に比例し、イオン発生源から測定器までの距離に逆比例することが期待され、また式 (3.7) で示される真空中の空間電荷制限則に従うならば、イオン発生量は風速の 1.5 乗に比例し、イオン発生源からの距離の 0.5 乗に逆比例することが期待される。図 3.10 に示したデータは、風速に対して 1.5 乗に比例し、また図 3.11 に示すようにイオン発生器からの距離の 0.3 乗に逆比例している。すなわち風速とイオン発生量の関係は、固体中の空間電荷制限電流則よりも、真空中の空間電荷制限電流則に近い傾向を示す。
図 3.12 はイオンの減衰に及ぼす金属ダクトの長さの影響を調べるために行なった実験結果の一部で、イ

ここで、気体中においてイオンが電界 E の中で動く速さ v は
$$v = \mu E \dots\dots\dots (3.5)$$

ただし μ : イオンの移動度
与えられるから、イオンを風の力で v なる速度で送り出す代わりに、電界で送り出すことを考えると、風速 v (イオンの速度) と電界 E を式 (3.5) の関係で直接対応させることができるから、式 (3.3) および式 (3.4) の電界 E の代わりに風速 v で置き換えると ($E = v/\mu$)、式 (3.3) は

$$J = \frac{9}{8} \cdot \frac{\epsilon_0}{\mu} \cdot \frac{1}{d} \cdot v^2 \dots\dots\dots (3.6)$$

となり、また式 (3.4) は

$$J = \frac{4}{9} \cdot \sqrt{\frac{2e}{m}} \cdot \frac{1}{\mu^{3/2}} \cdot \frac{1}{d^{1/2}} \cdot v^{3/2} \dots\dots\dots (3.7)$$

オン量はダクト長のほぼ 0.5 乗に反比例して減衰している。

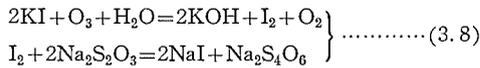
3.4 パルス方式と直流方式の比較

風の方向を、針に対し直角方向と順方向にしたときのパルス式と直流式の比較結果を図 3.13 (a) に示す。風が直角方向のときは、直流ではほとんどイオンが出ない。同一イオン電流におけるイオン電流と無効放電電流の比を求めると、パルス方式は直流方式の約 2,000 倍で、パルス式はそれだけ発生効率がよい。風が順方向のときは、図 3.13 (b) に示すようにイオン発生数はパルスと直流で大差がなく、直流でも空間電荷制限則に従う限界数までイオンが放出できる。しかしイオン電流と無効放電電流の比は、パルス式は直流式の約 100 倍大きく、発生効率はパルス式がはるかによい。以上の結果、風の方向をいろいろ変えても、パルス式は直流

式に比べてイオン発生効率が非常に高く、イオン発生量と直接比例関係にある放電電流を非常に小さくできることが分る。

3.5 オゾン発生量

図 3.14 の配置でヨードカリ法によりオゾン (O₃) 発生量を測定した。放電により発生した O₃ は全部 KI 水溶液にトラップされ、これを式 (3.8) に示す化学方程式からわかるように、チオ硫酸ナトリウムで滴定することによって、O₃ 量を測定できる。



この方法で測定した O₃ の値には酸化窒素の値も含まれる。

図 3.15 は直流の負コロナ放電を用いて、風量と O₃ 発生量の関係を調べたもので、O₃ 発生量は風量が 200 cc/min (風速 64 cm/min) 以上になると飽和する。すなわち 200 cc/min 以上では発生した O₃ は全部 KI 水溶液にトラップされる。したがって以後の試験はすべて風量を 200 cc/min にして測定した。実際のイオン発生器では風速はもっと速いが、風速によって放電電流はほとんど変わらないので、上記の風量で得られた試験結果は、実際のイオン発生器にただちに適用できる。

図 3.16 に、直流における O₃ 発生量と放電電流の関係を示す。O₃ 発生量は放電電流が増すとやや飽和の傾向があるが、ほぼ放電電流に比例する。また負コロナのほうが正コロナよりも O₃ 発生量は約 3 倍大である。

負極性パルス放電に対する O₃ 発生量と放電電流の関係を図 3.17 に示す。電圧一定のとき O₃ 発生量は放電電流に比例する。

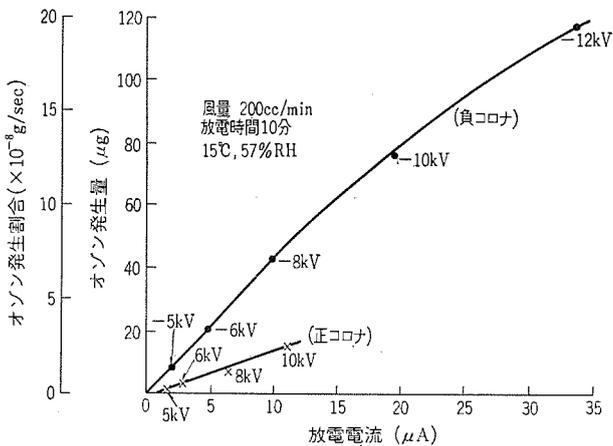


図 3.16 直流コロナによるオゾン発生量と放電電流の関係
Fig. 3.16 Relation of O₃ with discharge current obtained by DC corona.

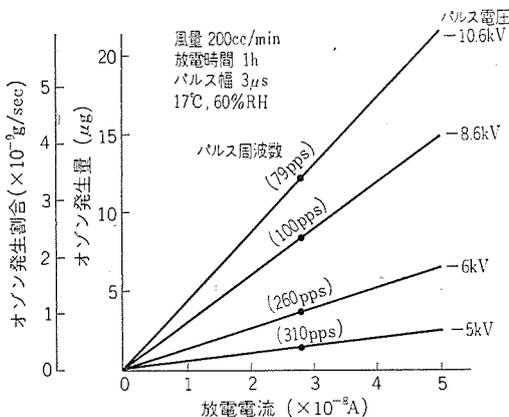


図 3.17 パルスコロナによるオゾン発生量と放電電流の関係
Fig. 3.17 Relation of O₃ generation with discharge current obtained by pulse corona.

またパルスでは電圧一定のとき放電電流は繰返し周波数に比例するので、O₃ 発生量は繰返し周波数に比例するといえる。

実際のイオン発生器では、パルスの印加電圧は -5~-6kV, 繰返し周波数 100~150 pps で用いるが、この場合の O₃ 発生量と、パルスの代わりに同一直流電圧を用いたときの O₃ 発生量を、図 3.15 および図 3.16 から比較すると、パルス式では直流式に比べて O₃ 発生量は数十分の一になる。すなわちパルス方式では O₃ 発生量が少ないことが大きな特長である。

3.6 高電圧パルス発生回路

イオン発生器用のパルス発生器としては、パルス電圧 -5~-6kV, パルス幅 10 μs 以下、パルスの繰返し周波数数 10~200 pps が必要で、また装置が小形であり価格が安いこと、信頼性が高く寿命の長いこと、保守点検が容易であることなどが要求される。この目的のために数種のパルス発生回路について検討したが、テレビ用フライバックトランスとトランジスタからなる小形で簡単な、しかも必要な諸特性を十分に満足するパルス発生器を開発した。その概略図を図 3.18 に示す。トランジスタとフライバックトランスでブッキング発振させ、フライバックトランスの高圧側に所要のパルスを発生させるもので、図 3.19 にその出力波形を示す。

トランジスタは等価寿命試験回路を用い、パルス電流に対して十分な寿命を保有していることを確認している。またこの種のパルス発生器では、直接空中に放射される障害電波および電源線に伝搬する雑音について考慮する必要があるが、開発したパルス発生器では、そのいずれも 15dB 以下に納めており、許容雑音電波 (40 dB) に比べて十分に小さく、家庭用のラジオその他の電気器具に対する障害はまったくない。(出願中)

以上パルス放電式空気イオン発生器の原理や基礎的特性などについて述べたが、要約すると、パルス式イオン発生器はきわめて効率よく空気イオンを発生させることができ、その発生量は、パルスの繰返し周波数を変えることによって広範囲に制御できる。またオゾン発生量は直流放電式より著しく少ないなどの特長を有する。最大イオン発生量は真空中の空間電荷制限電流則に近い空間電荷

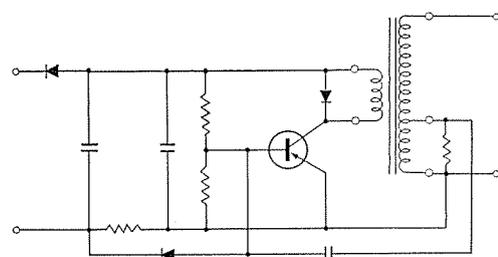


図 3.18 パルス発生回路
Fig. 3.18 Circuit diagram of pulse generator.

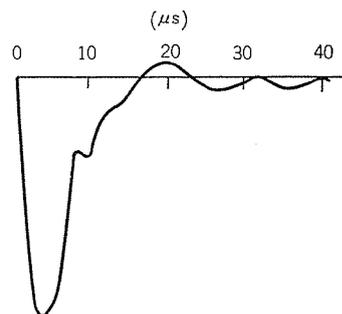


図 3.19 パルス波形
Fig. 3.19 Wave form of pulse.

制限効果によって制限されることなどについて述べた。

4. 三菱イオナイザー

4.1 開発経過

冷暖房、換気、湿度調節と空気調和が発展してきているが、最近さらには、負イオンの存在が環境衛生上、あるいは医学、生理学上重要な因子と見られるようになった。工場から吐き出されるパイ煙、自動車の排気ガスなどによる大気汚染は年を追ってひどくなり、この大気汚染によって人体に必要な“空気のビタミン”負イオンは極度に減少している。さらに近代ビルはもとより、ホテル、喫茶店、一般家庭でも冷暖房完備が多くなってきているが、室内の空気はこれら冷暖房機器により負イオンが不足し、頭痛や、不快を感じるいわゆるビル病、現代病の一因ともなる。三菱イオナイザーはこれら負イオンの失われた空気に人工的に負イオンを与えて、すがすがしい自然の空気よみがえらせ、健康的でそう快な環境とする「負イオン発生器」である。

4.2 おもな特長

- (1) 独特なパルス放電方式により負イオンの発生効率がよく、コロナ放電に伴う有害なオゾンや酸化窒素の発生がほとんどない。
- (2) 対向電極を設けてあるので、無電極放電方式に見られる近接導体への放電がなく、常に対向電極に向かって放電し、イオン放出量は安定している。
- (3) 回路にはトランジスタを使用しているので寿命は半永久的である。
- (4) 多人数で使用の場合、近距離で個人が使用の場合と押しボタンスイッチにより切り換えができ、それぞれの場合に最適のイオン量が得られる。
- (5) 小形軽量(2.2kg)であるため、手軽に持運びができる。
- (6) 運転音は非常に静かで、就寝中でもほとんど気にならない。
- (7) どんな場所にも調和するユニークなデザインである。

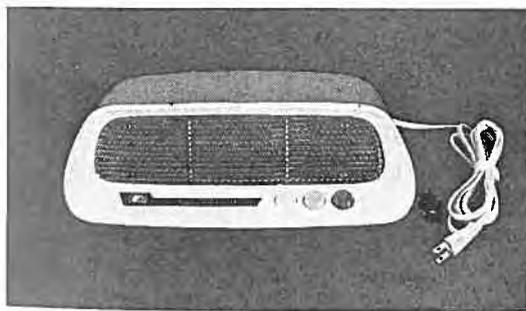


図 4.1 イオナイザー VG-5A 形 外 観
Fig. 4.1 Type VG-5A ionizer (exterior view).

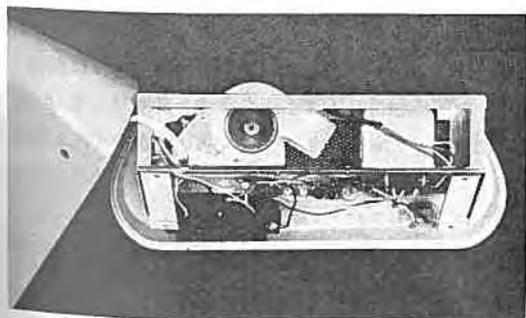


図 4.2 イオナイザー VG-5A 形 内 部
Fig. 4.2 Type VG-5A ionizer (interior view).

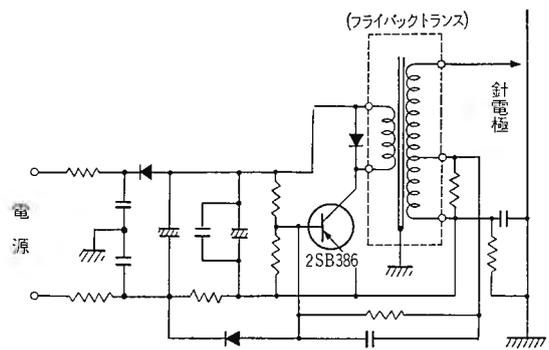


図 4.3 パルス高電圧発生回路
Fig. 4.3 High pulse voltage generating circuit.

表 4.1 仕 様

形 名	VG-5A
電 源	50/60 c/s 100V
消 費 電 力	14/12 W
負イオン発生量	10 ¹⁰ 個/sec
ス イ ッ チ	3 段階押しボタン式
コ ー ド	有効長さ 2.5m プラグ付
外 形 寸 法	高さ 129×幅 338×奥行 186 (mm)
重 量	2.2kg

4.3 構造の概要および仕様

イオナイザ VG-5A 形は次の主要部分からなっていて、この主要部分は、すべてケーシング内のシャシに取り付けられてあり、ゴム座を止めている4本のネジをはずし、ケーシングを取りはずすことにより簡単にシャシを取り出すことができる。図 4.1 にイオナイザ VG-5A の外観を、図 4.2 にケーシング内部のシャシを示す。

(1) パルス高電圧発生回路

トランジスタ 1 石によるフロッピング発振回路と、フライバックトランス 1 個による負のパルス高電圧発生装置を持っている。図 4.3 にこのパルス発生回路を示す。

(2) 放電電極

コロナ放電を行なわせる電極は、針対平板電極による。負のパルス高電圧を印加する針電極には径 0.05 mm のステンレス細線を使用し、コロナ放電が容易にでき、酸化による経時変化の心配がない。対向電極(正電極)は前面保護金網を併用している。電極間隔は 10 mm である。

(3) ファンモータ

コロナ放電によって針電極近傍に生成されたイオンを、風で室内に送り出すために、羽根径 40 mm のシロッコファンを使用し、風量は 0.09 m³/min である。ファン駆動用モータは 2 極限取起動モータを使用、騒音、振動はほとんど感じられない。

(4) 制御用スイッチ

強、弱、切の 3 段階押しボタンスイッチ

外装のケーシングはプラスチック製で、白とエメラルドグリーンのツートンカラーで、落ち着いた色調とユニークなデザインは製品の格調を高めている。

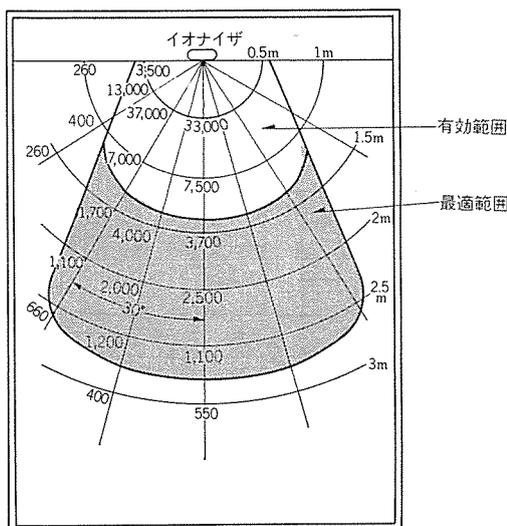
4.4 イオン分布

外気とシャ断され、空気の動きがきわめて少ない室内においてイオナイザー VG-5A を例用した場合の負イオン分布を、図 4.4、4.5 (強ノッチ)、図 4.6、4.7 (弱ノッチ) に示す。

4.5 使用上の注意

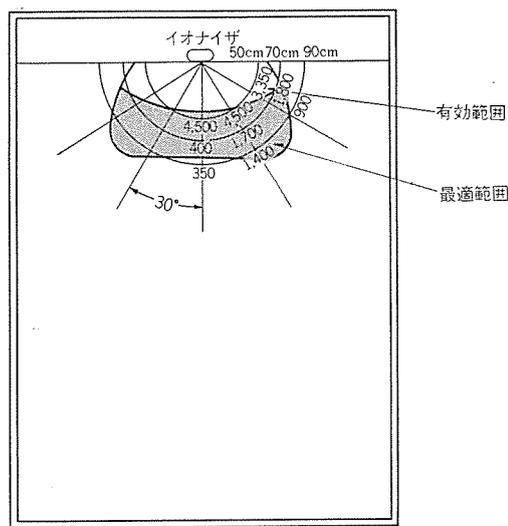
イオナイザー VG-5A は強弱の切り換えができ、

- (1) 室内に広く分布させ、多人数で使用する場合、



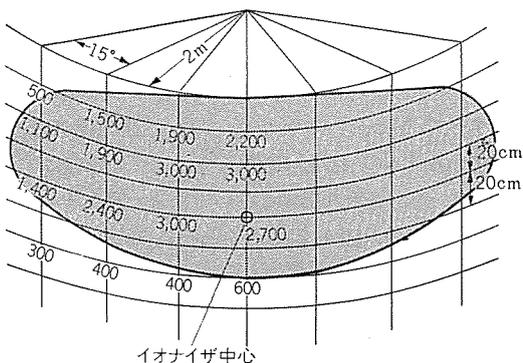
(100 V, 60 c/s, 強ノッチ イオナイザー 高さ 80 cm, 測定高さ) 床上 1 m, 部屋の大きさ 12 畳, 部屋閉め切り, 単位 個/cc

図 4.4 負イオン 水平分布図
Fig. 4.4 Horizontal distribution of negative ions (high).



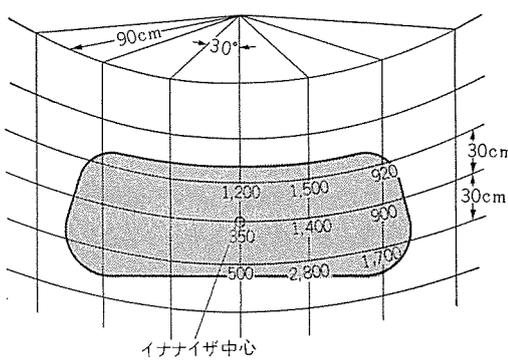
(100 V, 60 c/s, 弱ノッチ イオナイザー 高さ 80 cm, 測定高さ) 80 cm, 部屋の大きさ 12 畳, 部屋閉め切り, 単位 個/cc

図 4.6 負イオン 水平分布図
Fig. 4.6 Horizontal distribution of negative ions (low).



(100 V, 60 c/s, 強ノッチ, 部屋の大きさ 12 畳, 部屋閉め切り,) 測定面イオナイザー 前方 2 m 半径, 単位 個/cc

図 4.5 負イオン 垂直分布図
Fig. 4.5 Vertical distribution of negative ions (high).



(100 V, 60 c/s, 弱ノッチ, 部屋の大きさ 12 畳, 部屋閉め切り,) 測定面イオナイザー 前方 90 cm, 単位 個/cc

図 4.7 負イオン 垂直分布図
Fig. 4.7 Vertical distribution of negative ions (low).

(2) 執務机の上など近距離で個人で使用する場合 を想定し、

前項のイオン分布で明かなように、(1)の場合には強ノッチで、(2)の場合には弱ノッチで使用するにより、自然の空気に含まれている負イオン密度 600~2,000 程度の適切なイオン量を得られる。しかしイオン分布図からわかるように、イオン量はイオナイザーから離れるに従って減少し、一様な分布は望めないの次の点に注意を要する。

- (a) 横あるいは後方はイオン量が少ないので、正面に向うように置くこと。
- (b) イオナイザーはほぼ胸の高さになるように置くのがよい。
- (c) 強ノッチでは 1.5m~2.5m で使用すると最適である。
- (d) 強ノッチで 1m 以内ではイオン量が多いので、短時間に限って使用すること。
- (e) 弱ノッチでは 70cm~1m で使用すると最適である。
- (f) イオンは風で容易に飛ばされるので、風の少ないところで使用すること。

4.6 使用場所

- (1) 勉強部屋, 書斎, 居間, 寝室

- (2) 重役室, 会議室, 精密作業場, オフィス
- (3) 病院, 美容院
- (4) ホテル, レストラン, 喫茶店

5. 空気清浄機 (アイオニック エアークリーナー)

5.1 開発経過

ここ数年来国内産業の発展はめざましいものがあるが、その反面大気汚染については、ますます深刻な問題になってきている。とくに最近の産業はその内容が複雑化し、従前のパイ煙のみならず、石油、ガス工業をはじめとする有機諸工業、その他の工業から発生するガス、自動車の排気ガス、さらに家庭内では熱源として石油、ガスなどの利用が増加し、今まで一般に単なるホコリと言われていたものとともに、かような有害ガスがすでにわれわれの家庭内にまで押し寄せて来ている。このように汚染された空気の影響について考えて見るに

- (1) ホコリ自体、すなわち粒子が人体に与える害
- (2) ガスの化学的成分による害
- (3) 臭気を与える不快感
- (4) 空気中に浮遊している細菌が与える害

などが考えられる。説明するまでもなく、これら ジンアイ の粒子は呼吸器系統の疾患を、ガスは呼吸器、内臓に、臭気は不快感を、そして細菌は種々の病源となり、それぞれなんらかの悪い結果を起こす原因につながっている。またここで見のがすことのできないのは負イオンの不足である。

最近になってこの空気中のイオン量と大気汚染の間には密接な関係、すなわち ジンアイ の増加とともに負イオン量は逆比例的に減少することが明らかにされた(表 2.2 参照)。したがって ジンアイ の多い都会地、あるいはその近辺においては負イオン量が著しく少なく、高原地の 10 分の 1 にも減少することがある。負イオンは鎮静の効果をはじめとして、生体に対する効果に期待がかけられ、数多くの医学者の研究対象となっており、その効果が立証されつつある(表 2.1 参照)。ここでわれわれは失った自然状態の空気を 1 台の機械でとりもどすため、研究、試験の結果、空気清浄機の内部機構として基本的には次のような構成を行なった。

- (1) 第 1 フィルタ(ポリウレタンフォーム) 5~10 ミクロン以上の比較的大きな ジンアイ を集める。
 - (2) 第 2 フィルタ(ガラス繊維) 1 ミクロン 近くの ジンアイ をとる。
 - (3) 第 3 フィルタ(ガラス繊維) 0.1~0.01 ミクロン 級の ジンアイ、細菌のフィルタ
 - (4) 第 4 フィルタ(活性炭) ガス、臭気の吸収
 - (5) 殺菌灯(殺菌線) 殺菌
 - (6) 負イオン発生器(パルス放電式) 負イオンの供給
- 以上のごとき複合メカニズムにより、使用場所として推奨している一般家庭、事務所、病院その他これに類似する人の集合場所には、十分その効果を期待することができる。

5.2 仕様および構造

(1) 仕様

表 5.1 参照

(2) 構造

送風機、負イオン発生器、殺菌灯、各種スイッチを内蔵した本体の中へ各種フィルタを順次そう入する構造をとった。第 1 フィルタ(フロントフィルタ)と第 2 フィルタ(プリフィルタ)は第 3 フィルタ(メインフィルタ)を構成する箱内へ納め、単独取りはずしができるようになっている。なお箱内からフィルタが抜け出ないように、フィルタ押えによって圧力を与えている。この 4 種のフィルタを本体にそう入した後、フィルタ間の空気の漏れを防止することと、外観上の問題

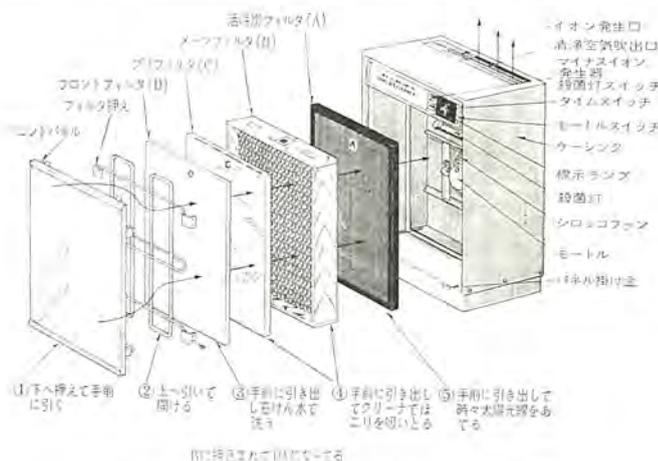


図 5.1 イオナイザーの構造
Fig. 5.1 Construction of ionizer.

表 5.1 仕様

要目	機 種											
	K S - 0 3 B			K S - 0 6 B								
電源 AC 100 V	50 c/s			60 c/s			50 c/s			60 c/s		
风量調節ノッチ	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
消費電力(W)	35	27	20	41	27	18	114	93	70	129	107	69
処理风量(m ³ /min)	2.2	1.8	1.3	2.5	1.8	1.2	6.0	4.3	3.2	5.9	4.3	2.7
適用床面積	10~20 m ² (3~6坪) 6~12人						20~40 m ² (6~12坪) 12~24人					
集塵効率(変色度法)	大気チリ(塵) 0.3 μ 99% 以上						左に同じ					
殺菌灯	10W (50c/s または 60c/s 専用)						左に同じ					
外形寸法	高さ×幅×奥行 745×440×280						高さ×幅×奥行 912×565×355					
重量(kg)	25.0						47.0					
外 装	冷間圧延薄鋼板 メラミン焼付塗装						左に同じ					
モーター	コンデンサモーター ポールベアリング						左に同じ					
フ ァ ン	22cm シロッコ羽根						28cm シロッコ羽根					
ス イ ッ チ	押しボタンスイッチ タイムスイッチ						左に同じ					
フ ィ ル タ	フロント フィルタ プ レ フィルタ メ ー ン フィルタ 活 性 炭 フィルタ						左に同じ					
コ ー ド	有効長 3m プラグ付						左に同じ					

で最後にフロントパネルを前面に取り付ける構造となっている。

(3) 付属品

(a) 負イオン発生器

パルス放電式高圧発生回路を採用した当社独特のイオン発生器が付属されている。この内容は前項の当社イオナイザ VG-5A と同一であるので参照されたい。(図 5.3 参照)

(b) 殺菌灯

大形空気清浄機には、負イオン発生器とともに殺菌灯が内蔵されている。殺菌消毒には熱、口過、薬品、放射線素があるが、空気殺菌に最も適した紫外線による殺菌を採用している。殺菌に最も有効な波長は、2,500~2,600 Å であるが、当社では全放射量の



図 5.2 空気清浄機外観
Fig. 5.2 Exterior view of air cleaner.

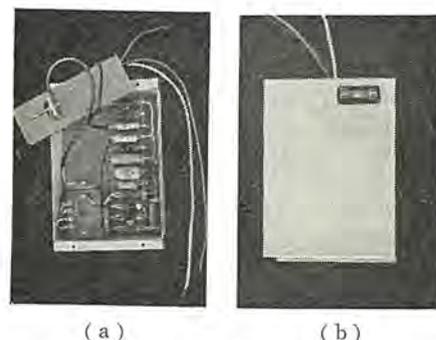
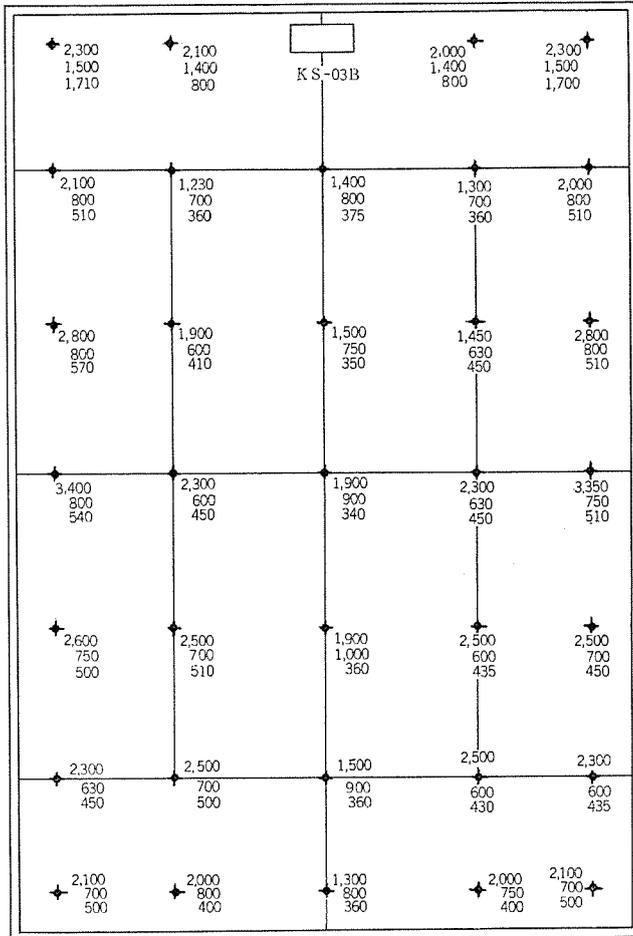


図 5.3 空気清浄機用イオンジェネレータ(負イオン発生器)
Fig. 5.3 Ion generator of air cleaner.

表 5.2 殺菌灯仕様

電 圧 (V)	ランプ長 (mm)	管 径 (mm)	ランプ入力 (W)	殺菌線出力 2537Å (W)	平均寿命 (h)
100	330	25	10	1.7	3,000

表 5.3 空気清浄機 KS-03B 負イオン分布



上段: 最高ノッチ負イオン密度 (個/cc) 中段: 中ノッチ負イオン密度 (個/cc)
 下段: 低ノッチ負イオン密度 (個/cc) 測定高さ床上 1 m

90% 以上が 2,537 Å の波長を有する紫外線殺菌灯を採用している。

空気清浄機では、第 3 フィルタ (メインフィルタ) でもかなり細菌が捕集可能と考えるが、完全とはいえない。フィルタを通過した細菌をその後の行程、すなわち反射率の高い殺菌室で十分な殺菌線の照射により、ほとんどの細菌を死滅させるように考慮を払っている。

5.3 空気清浄機の負イオン分布

空気イオンを多量に発生することもたいせつであるが、実際に室内で使用する場合、その分布が非常に重要である。当社空気清浄機は、きわめて清浄な空気と適量の負イオンを室内に、くまなく放散分布させることができる。12 畳相当の室内で、当初空気清浄機を運転しない場合、すなわち室内の自然空気のイオン密度を測定した結果 100~200 個/cc であったのが、空気清浄機 (KS-03B) を運転し負イオン密度を測定した結果表 5.3 のとおり負イオン密度は顕著に増加し、またその分布もきわめて良好な結果を得ている。

5.4 空気清浄機の使用場所

空気清浄機の設置場所としては第 1 に人の集合場所、すなわち家庭、事務所、病院、サービス業、その他がある。第 2 に人間以外の他の動物に対する保護としてその飼育室で殺菌、脱臭、イオン供

表 5.4 三菱空気清浄機の使用場所

一般家庭	1 応接間 2 居間 3 子供部屋 4 老人の部屋 5 寝室 6 書斎 7 仕事部屋
事務所	1 会議室 6 宿直室 11 研究室 2 重役室 7 暗室 12 精密作業室 3 応接室 8 医務室 4 事務室 9 更衣室 5 電話交換室 10 受渡室
病院	1 待合室 6 実験室 2 診察室 7 研究室 3 病室 4 調剤室 5 手術室
サービス業	1 バー 6 美容院 2 料亭 7 理髪店 3 レストラン 8 ホール、ダンスホール 4 喫茶店 9 各種遊技場 5 ホテル 10 一般商店

給などを行なう。第 3 に ジンアイ、ガスのふんいきをきらう、たとえば精密機器の組立、それらの設置室など数多くの使用目的がある。その具体的例として表 5.4 に掲載した多くの用途が考えられる。

6. む す び

以上、空気イオンの概要とその効用および数々の特色を備えた当社独特のパルス放電式空気イオン発生器について説明し、これを応用した三菱イオナイザおよび三菱アイオニックエアクリーナを紹介した。

空気イオンは、今や気調装置の新しい要素として再認識されているおりから、これらの製品が汚染されつつあるわれわれの環境の浄化に貢献するとともに、さらに応用分野の拡大を関係者一同期待している次第である。

参 考 文 献

- (1) 木村・谷口: 空気イオンの理論と実際 南山堂
- (2) 安倍: 空気イオンの生理作用 産業環境工学 II-15
- (3) 安倍・原: 空気イオンの諸問題 公衆衛生 28, No. 6, P. 9
- (4) 青木: 空気イオン 電試彙報 23, No. 7
- (5) 青木: 吸気式イオン測定器による測定イオン密度とイオンの移動能度分布について 電試彙報 17, No. 5
- (6) 加藤: 空気イオン 産業環境工学 II-12
- (7) 加藤: 空気イオンの知識と諸問題 産業環境工学 III-25
- (8) 市川: 空気イオンと環境衛生 産業環境工学 II-16
- (9) 関川: 大気汚染と大気イオン 産業環境工学 II-14
- (10) 富田: 空気イオンの発生と測定 産業環境工学 III-26
- (11) Atmospheric ionization, heating and ventilating research association ap. (1961)
- (12) W. Wesley H.: Clinical effects of artificially produced negative ions on respiratory patients. J. of the Franklin Inst. 270, No. 3, Sept. (1960)
- (13) 空気清浄に関するセミナー資料, 大気汚染と空気イオンについて 電子新聞社, 昭 39. 5. 9
- (14) H. B. McKay: RADIO-ELECTRONICS July (1960)
- (15) R. Nagy: Westinghouse Engineer p. 58 March (1961)
- (16) 石川: 物性, April (1962)
- (17) 川上: 電子回路 I. p. 149 (1953)
- (18) 島山・川野: 気象電気学 (岩波全書)

レーザーの実験 (II)

He-Ne ガスレーザー

谷口一郎*・白倉一雄*・岡田武夫*

Experiments on Lasers (II)

He-Ne Gaseous Laser

Central Research Laboratory

Ichirō TANIGUCHI・Kazuo SHIRAKURA・Takeo OKADA

The output beams of gaseous lasers excel those of solid state ones in continuously operated radiation and high monochromaticity. The construction of He-Ne gaseous laser unit and experimental techniques for the observation of the output beams of gaseous lasers are described herein with the experimental results.

The setup used for experiment consists of a discharge tube with Brewster angle windows, containing He-Ne gas mixture. rf power supply for excitation of gases and external confocal spherical mirrors with dielectric multilayer coatings. The output beam is at 1.15μ central wavelength; the threshold value for oscillation is about 35 W in a case. Mode patterns, polarization and output vs rf exciting power are given as experimental results of characteristics of gaseous laser beams.

1. ま え が き

すでにレーザーの実験 (I), ルビレーザーの報告で述べたように、レーザー出力光は数多くの特長を持っている。なかでもガスレーザー出力光は容易に連続発振が得られること、および鋭い単色性を示すことで固体レーザー出力光よりもすぐれている。A. Javan らが内部反射鏡形平面 Fabry-Perot 共振器を用いてはじめて He-Ne 混合ガスのレーザー発振に成功して⁽¹⁾以来、He-Ne, Ne-O₂, Ar-O₂, He-Xe, Xe-Kr, Ne, Ar, Kr, Xe, He, Br, I, C, N, S, Hg, Cs, N₂ などの混合ガスまたは単独ガスによるレーザー発振が得られ、発振スペクトル線の数は 200 本以上にもなり、その波長も可視光領域から赤外領域にまで及んでいる。

この間にガスレーザー装置の反射鏡共振器の形式とその配置方法について理論的にも解析検討され⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾、実験に用いられてきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。また各種の励起方法が行なわれてきた。増幅度の小さいガスを用いてレーザー発振を得るために作動領域を長くする必要がおこる点を考慮すれば、レーザー作動ガスの種類によらず、原理的には同じような方法で発振を得ることができる。

この報告では試作した He-Ne ガスレーザー発振装置の機構とレーザー出力光の観測方法および実験結果について述べる。発振装置は He-Ne ガスを含む プリュースタ窓付放電管、励起用高周波電源および誘電体多層反射膜付外部共焦点球面反射鏡とから成っている。レーザー発振中心波長は 1.15μ で、発振入力限界値は約 35 W であった。レーザー出力光のモードパターン、偏光特性、入力による出力の変化などの諸特性の実験結果を示す。

2. 発振装置の概略

ガスレーザー発振を得るためにはレーザー作動ガスと負温度状態を作り出すための励起装置および十分な再生作用を与えて発振現象を起こさせるための共振器が必要である。A. Javan らが He-Ne 混合ガスを用いて最初にガスレーザーの発振に成功した装置を図 2.1 に示す⁽¹⁾。共振器は平面反射鏡 Fabry-Perot で、反射鏡の平行度を出すための角度調整はマイクロメータで行なうようになっているが、2枚の両側反射鏡の平行度が数秒以内の精度で調整された

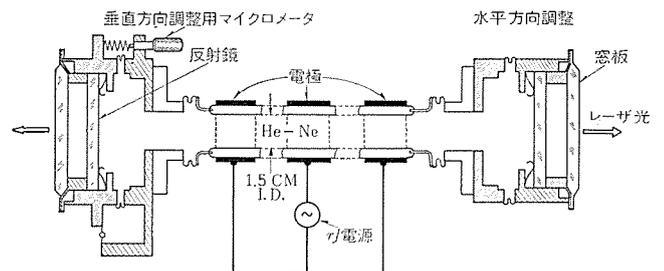


図 2.1 ガスレーザー装置 (A. Javan et al⁽¹⁾ による)
Fig. 2.1 Diagram of gaseous laser
(after A. Javan et al⁽¹⁾).

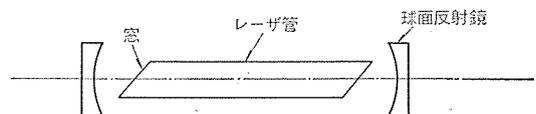


図 2.2 球面反射鏡外部共振器によるガスレーザー装置
(W.W. Rigrod et al⁽⁵⁾ による)
Fig. 2.2 Gas discharge laser with external spherical mirrors
(after W.W. Rigrod⁽⁵⁾).

ときに発振が得られるほど、厳密である。

また反射鏡が放電ガスと共存するためその反射膜が損傷される恐れがある。その後 Rigrod ら⁽⁵⁾が球面反射鏡を外部共振器に用いた装置 (図 2.2) でレーザー発振を得て以来各所でこの形が多く使用されている。これは共振器の支持調整機構が簡単であること、反射膜が損傷しないこと、共振器内で各種の実験ができることなどの理由による。

筆者らは内部反射鏡形装置をそのまま利用して外部反射鏡形として用いて He-Ne ガスレーザーの実験を行なった。以下レーザー管の構造と製作方法、球面反射鏡共振器と角度調整機構、励起用電源について述べる。

3. レーザー管

3.1 レーザー管の構造

図 2.2 に示すように外部共振器形ではレーザー管と共振器とは分離しているため、レーザー光軸上においてレーザー管の窓板による反射回折、散乱損失が生じて共振器の Q 値を低下させる恐れがある。

* 中央研究所

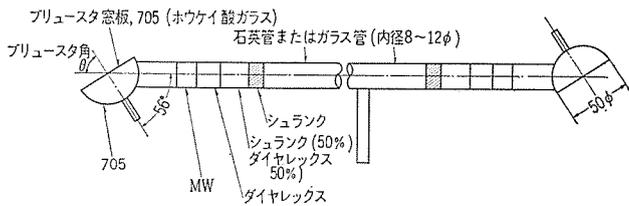


図 3.1 レーザ管の構造
Fig. 3.1 Construction of a laser tube with Brewster angle windows.

したがってレーザ管に用いる部品とその構造は重要である。ここで試作使用したレーザ管の構造を図 3.1 に示す⁽⁷⁾

放電管は石英管(約 80 cm)で窓板を融着したガラス製半球に接続するために4段のガラス段継ぎを行なっている。この窓板は厚さ 4 mm, 直径 50 mmφ, 有効径 30 mmφ に対して面精度 $\lambda/10$ 以内で材料は珪酸ガラスである。レーザ管の内径は 8 mmφ と 12 mmφ のものを作ったが, 窓板の中心部にヒズミを生じないように半球の断面直径はいずれも 50 mmφ で上の窓板をガラス融着した。窓板の面とレーザ管の軸とはレーザ発振光の波長でプリュースタ角度になるようにしてあり約 56° である。この場合管軸方向に進む光の窓板入射面に平行な成分 (R_p) は反射損失が最小になるため, 共振器内の利得を最大にすることができる。しかし R_p の角度依存性はそれほど鋭くはなく, 窓板の取付け角度は $\pm 1^\circ$ 以内でもよいと思われる。管の両端をプリュースタ角度に研磨して窓板を真空接着剤ではりつけることもある。この方法は簡単であり窓板がヒズミを生じる心配もないがレーザ管の不純ガスを除くためのベークングを十分に行なえないのが欠点がある。

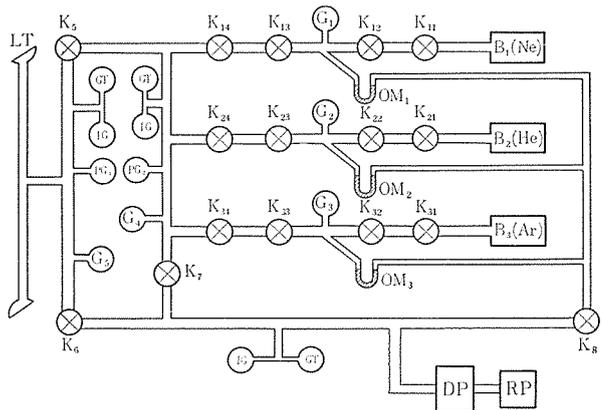
石英を用いなくても硬質ガラスの管で十分発振を得ることができる。ガラスを用いた場合には段継ぎをする必要がなく石英に比べると安価である。ただしガス封入にあたっては 3.2 節に述べるような注意が必要である。

3.2 ガスの導入

レーザ管内に任意圧力の高純度ガスを混合, 封入するために図 3.2 に示すガス導入系を使用した。ガラス製ポンプ ($B_{1,2,3}$) 入りのガス (He, Ne, Ar) は市販のもので純度は 99.9% 以上である。レーザ管に封入するガスの純度がどの程度まで要求されるのか定量的な実験の報告はないが, かなり高純度であることが必要であると思われる。そのため全系を焼き出しながら数日間排気して, 真空度が 10^{-6} mm Hg 程度になるまで行ない, またとくにレーザ管部のみの真空度が 48 時間経過後も 10^{-3} mm Hg 以上に保持できるまでにした。実際にレーザ管にガスを封入して作る場合には, 排気作業停止時からガス圧の調整, 混合を行ない, 封じ切るまでに 30 分間程度ですむので 10^{-4} mm Hg 以上の真空度になっていることが期待できる。

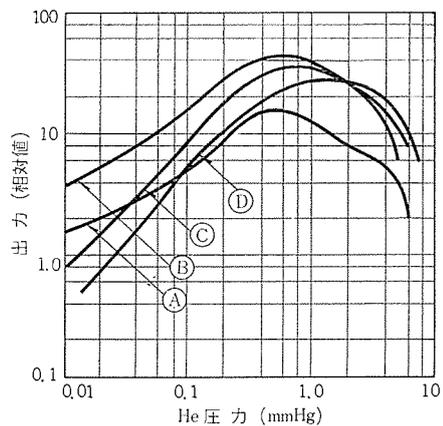
負温度状態を得るに必要な最適のガス圧力はガスの種類および同種のガスについてもその発光波長によって異なり, 各種ガスレーザについて報告されているが, とくに He-Ne ガスレーザの出力光エネルギーと He, Ne の圧力依存性が詳しく報告されている⁽⁸⁾。この結果 (図 3.3) からわかるように He-Ne ガスレーザの場合には He (0.8~1.0 mm Hg), Ne (0.1 mm Hg) が最適圧力であるが, 上述のガス導入系を使用した場合, レーザ管の不純ガス圧力を 0.1% 以下に抑えることが期待できる。

レーザ管の部分の焼出しを十分に行なったあとで, さらに Ne ガスまたは He ガスの放電により管壁のガス出しを繰り返して行



B: ガスポンプ (ガラス製) G: ゲッターバルブ OM: シリコン油マノメータ PG: ピラニゲージ IG: イオンゲージ GT: ガス導入管 DP: 油拡散ポンプ RP: 油回転ポンプ LT: レーザ管 K: コック

図 3.2 ガス導入系
Fig. 3.2 Vacuum system setup for gas laser tube.



A: Ne 0.05 mmHg B: Ne 0.10 mmHg
C: Ne 0.15 mmHg D: Ne 0.20 mmHg

図 3.3 レーザ出力 (1.15μ) の He, Ne 圧力依存性 (C.K.N. Patel による⁽⁸⁾)

Fig. 3.3 Laser output at 1.15μ central wave length as a function of He pressure for different Ne pressures (after C.K.N. Patel⁽⁸⁾).

なった。石英製レーザ管は割合に早くこの作業を終えることができるが, ガラス製管の場合にはかなり時間をかけ放電を繰り返す必要がある。

ガスの混合封入は次のようにして行なった。あらかじめ各コック間の体積比を求めておく。Neガスを K_{14} - K_{13} 部にため, K_{14} を開けたときレーザ管部で 0.1 mm Hg になるような圧力しておく。次にレーザ管部に Heガスを 0.8~1 mm Hg ためて, K_{14} を開いて混合ガスを得, 封じ切る。各部に不純ガスのトラップにパリュムゲッターバルブを使用し, 圧力はシリコン油マノメータおよびピラニゲージで測定した。

4. 共振器とその調整機構

4.1 共振器用球面反射鏡の特性

レーザ用共振器として Fabry-Perot 形の平面および球面反射鏡が用いられている。いずれの場合も反射鏡の散乱, 吸収による損失を避けなければならない。使用した球面反射鏡は次のようなものである。

曲率半径	1,000 \pm 1 mm R
球面精度	$\lambda/100$
実径	30φ mm

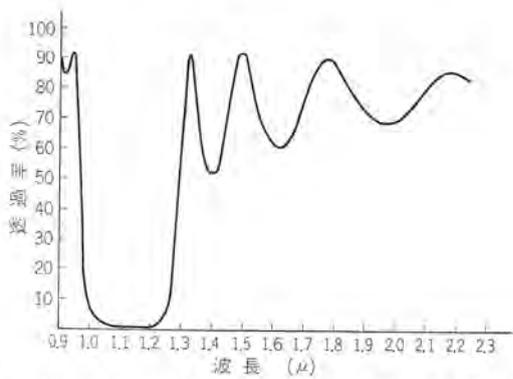


図 4.1 球面反射鏡の分光透過率曲線 (誘電体交互多層反射膜付)
Fig. 4.1 Spectral transmission curve of dielectric multi-layer coatings on spherical mirror.

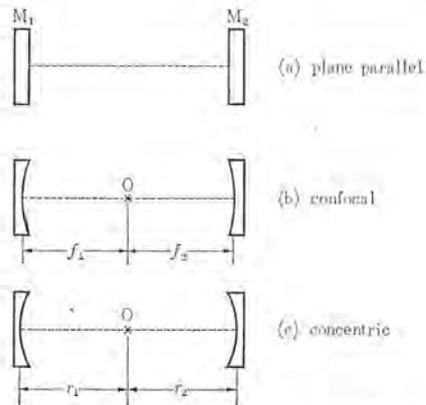


図 4.2 共振器の配置
Fig. 4.2 Configurations of mirrors for laser cavity.

有効径	20φ mm
厚さ	10t mm
材質	BK7

反射面には誘電体 ZnS と MgF_2 の交互 13 層反射膜をコーティングしたもので、その分光透過率を図 4.1 に示す。波長 1μ 付近では吸収もなくこの分光曲線を反射率曲線 ($R=1-T$) とみなしてよいと思われる。銀の蒸着膜の反射率が鋭い分光特性を持たないのと比較すると誘電体交互多層膜は図 4.1 のような特性を持つので、発振光以外の不要な波長光の損失を大きくすることができ、また損傷しにくい。

4.2 共振器の配置

4.1 節で述べた各種の反射鏡をいろいろな条件で配置させた場合の理論的な解析が行なわれ実験されている。配置は図 4.2 に示すように

- (a) Plane Parallel 配置 (平行平面鏡)
 - (b) Confocal 配置 (M_1, M_2 球面鏡の焦点を同一点にする)
 - (c) Concentric 配置 (M_1, M_2 球面鏡の中心を同一点にする)
- が代表的なものでこの他にも球面鏡と平面鏡の組み合わせや (b) と (c) の中間状態配置も実験されている⁽⁶⁾⁽⁹⁾。その結果 (b) の配置が最も調整が簡単であることが実験的に確かめられている。

ここでは 4.1 節で述べた球面反射鏡を 1m の間隔に配置し、Confocal 形で実験を行なった。

4.3 共振器の調整機構

用いた調整機構装置を図 4.3 に示す。長さ 1m の 4 本の invar rod をスペーサとして両端に基準板を固定し、これを基準にして反射鏡支持板を微調整用差動ネジによって調整する。すでに (1) の 2.3 節で述べたようにレーザ発振光の周波数は共振器の共振周

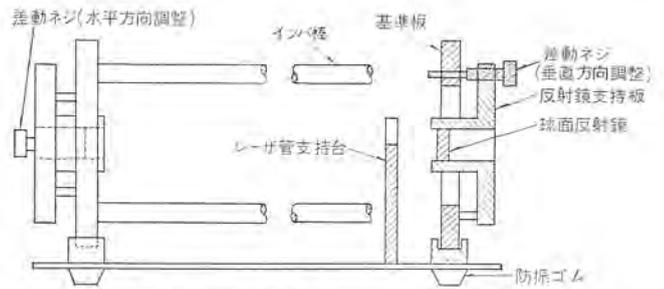


図 4.3 He-Ne ガスレーザ装置
Fig. 4.3 Diagram of He-Ne gas laser.

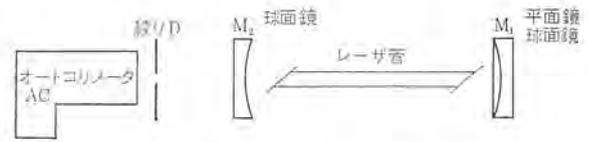


図 4.4 共振器の調整法
Fig. 4.4 Mirror adjustment for the plane parallel and spherical mirror system.

波数に影響されるので、周波数の安定な発振を得るためには L をできるだけ変化させないようにする必要がある。このため熱膨張係数の小さい invar rod をスペーサに用いた。

ここで使用している差動ネジとはピッチの差が小さいネジを 2 通り切ったもので、この差動ネジ 1 回転につき約 20 秒の角度調整が得られた。一方端の差動ネジに対して他方端の差動ネジは支持板内で 90° ずれた位置につけ、反射鏡の垂直方向と水平方向の平行度角度調整を行なわせている。

4.4 共振器の調整

反射鏡共振器の調整は図 4.4 に示すような方法で次のようにして行なった。オートコリメータ A.C. の軸と共振器支持調整機構部の軸とを一致させておく。オートコリメータは望遠鏡の原理を用いているもので、出射平行光線の平面反射鏡による十字線の反射像をみて角度測定をするものであって、球面反射鏡では反射像が結ばずコリメーションはできない。そこでまず M_1 として平面反射鏡を用いてコリメーションを行なう。このとき AC の対物レンズの前に絞り D をおき、AC の視野内で十字線像が中心にくるとき、絞りのどの部分に反射光が返っているか、また反射光が絞りの上でどの程度ずれた場合に十字線像が何分程度移動しているか対応をつけた。この結果、絞りに返る反射光をみることによって数分以内の調整が可能であることを確かめた。次に M_1 に使用する球面反射鏡を用いて上と同じ操作を行なう。 M_2 は裏面の平面からの反射像をみることによって容易にコリメートすることができた。この方法では完全な confocal の条件が満たされていることを確かめることができないが、反射鏡の間隔を正確に配置することによってだいたいの配置を決めることができる。

5. 励起方法

(1) の 2.1 節で述べたように一般にガスレーザで用いられる励起方法には光ポンピング、電子衝突、励起移動によるものがある。電子衝突による放電発光にも直流放電、高周波放電、パルス放電などがある。ここでは高周波放電による励起を行なった。

ここでは無電極ガス放電励起用として図 5.1 に示す高周波電源を用いた。負荷となるレーザ管の大きさ、ガス圧、電極間距離などによって整合がずれるので C-R 整合回路を備え、放電エルネが大きくなるように調整しなければならない。マッチングをと

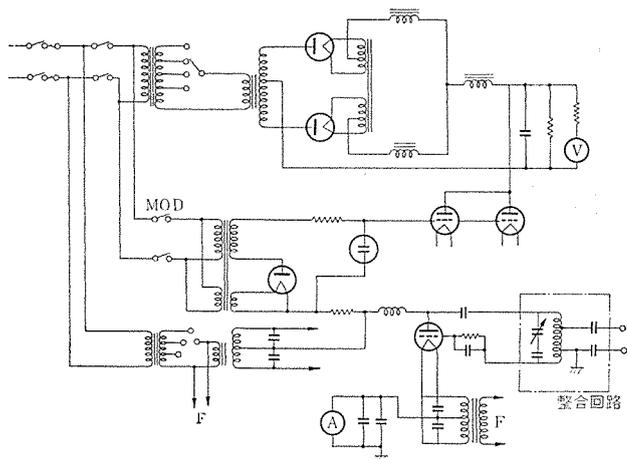


図 5.1 レーザ管放電励起高周波電源
Fig. 5.1 A circuit of rf exciter for laser tube.

ることによって当然 rf 周波数 (約 30 Mc) は変化するが、放電そのものにはあまり影響がなくそれほど厳密である必要はない。また放電のアフタグローを調べるために 60 c/s の方形波変調回路を備えている。

一般に rf 放電エネルギーの測定は困難である。ここでは rf 電源の電圧 V 、電流 A から励起入力进行推定した。rf 電源の最大出力は 400 W (2kV max, 200 A max) である。

6. 発振の実験

3.2 節により製作したレーザ管を 4.4 節で述べた方法で平行度調整を行なった confocal 形共振器の中に入れ、ベークライト製支持台の上に配置した。この時レーザ管軸と共振器軸とを目測程度で一致させておく。レーザ管の中央部に rf 電源の負電極板を取り付け、その両側約 25 cm の部分に正電極板を取り付けた。放電開始電源出力の低いところ、電源出力に対して放電強度の大きいところに整合回路を調整しておく。

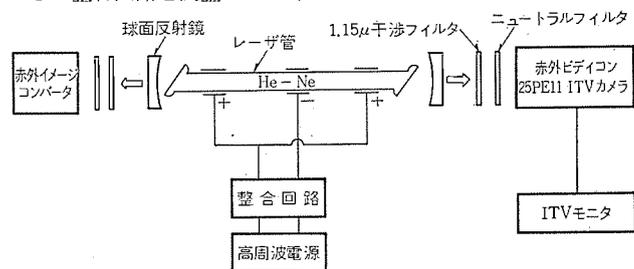


図 6.1 レーザ光のモードパターン観測装置
Fig. 6.1 Block diagram of the experimental setup for the observation of the beam patterns in He-Ne laser output beam.

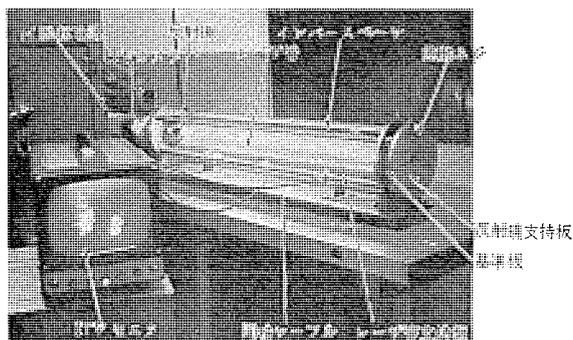


図 6.2 発振中の He-Ne ガスレーザ装置
Fig. 6.2 Photograph of the experimental setup of He-Ne laser on oscillation.

レーザ発振現象を確認する方法は幾とおりかあるが、発振光のモードパターンを観測するのが簡単である。この観測方法を図 6.1 に示す。図 4.1 に示すように球面反射鏡は両側ともに光をわずか透過するので、両側から発振光が得られる。得られた He-Ne レーザ出力光は波長 1.15μ で、金属干渉フィルタ ($\lambda_0 = 1.15 \mu$, $\Delta\lambda_0 = 35 \text{ m}\mu$) とニュートラルフィルタを通して赤外線イメージコンバータまたは赤外用ビデオカメラ (25PE11) 付 ITV カメラ および受像機で観測した。発振装置および観測装置の写真を図 6.2 に示す。イメージコンバータよりも ITV モニタで観測の方がパターンが大きくみえて実験が行ない易い。また両側の出力光モードパターンをみるため 2 台の ITV 装置による観測を行なった。

rf 電源出力を大きくして放電の強さを増した状態でレーザ管の位置を調整し、さらにレーザ管を軸の周りに回転させることによりレーザ発振光のモードパターンを得ることができた。パターンをモニタで観測しながらレーザ管の位置を調整し、共振器の調整もともに行なうことによって発振限界値 (threshold) を下げることができる。レーザ管の長さ、管径、電極間距離などによって異なるが最も良い条件で threshold は 35 W であった。

6.1 発振出力光のモードパターン

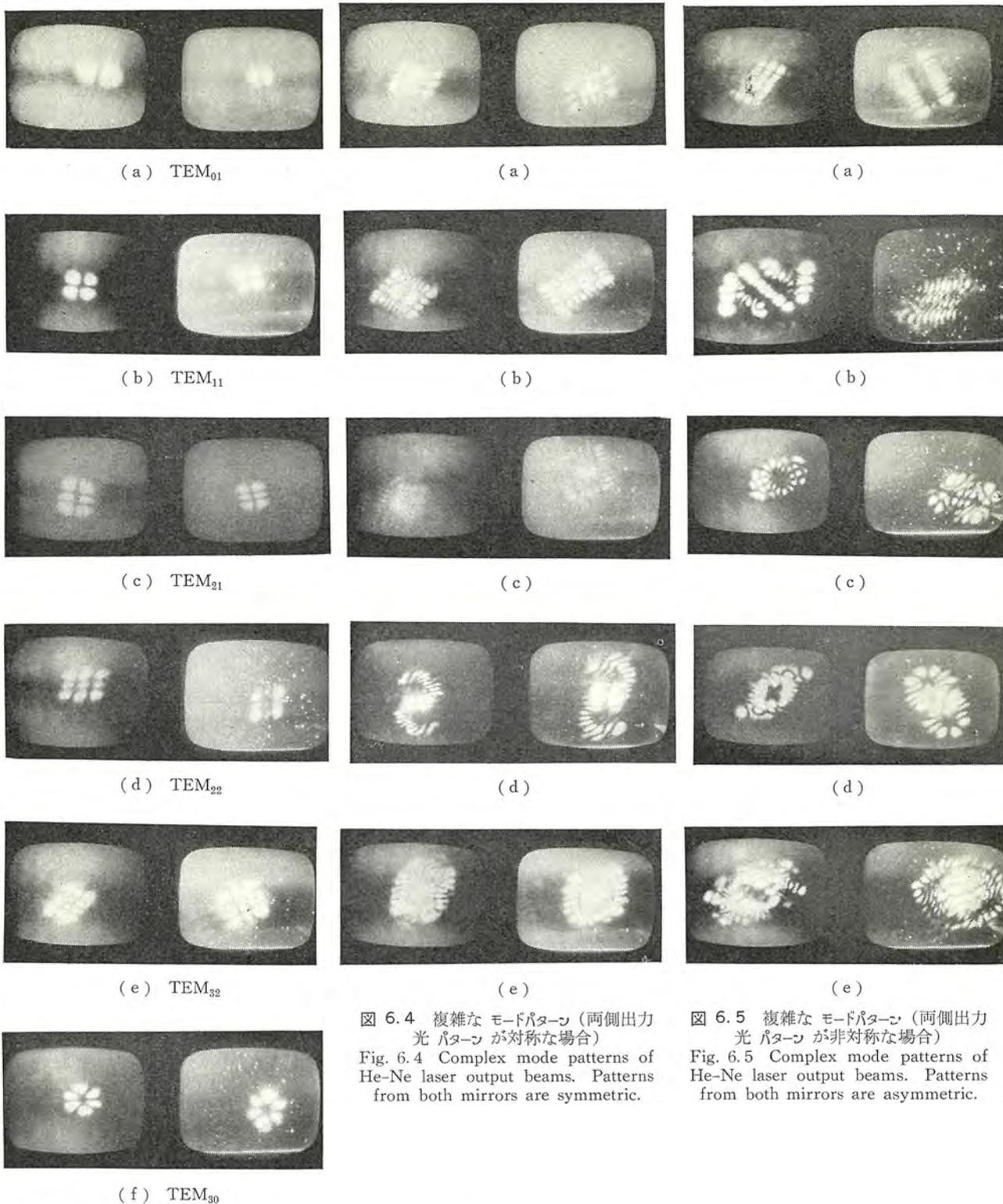
すでに述べたように発振出力光の特性は諸条件によって変化する。共振器の平行度、レーザ管の位置および窓板の状態、励起入力などによる出力光モードパターンの変化を示す。図 6.3, 6.4, 6.5 は真空接着剤 (デコチンスキーセメント) で窓板を取り付けたレーザ管を用いて実験したもので、両側の反射鏡から出てくるレーザ光のパターンを同時に観測した例である。

図 6.3 は単純なモードパターンの数例である。(a)~(f) はそれぞれ TEM_{01} , TEM_{11} , TEM_{22} , TEM_{32} , TEM_{30} を表わし、両側の出力光パターンは対称である。このような単純なモードの発振はレーザ管の位置を適当に選び threshold よりやや大きい励起入力で得られる。

図 6.4 は数多くのモードで発振している場合で両側のパターンは対称である。(a)(b)(c) は単純なモードの重ね合わさったものであるが、励起入力を低くすることによって単純なモードの発振が得られる。(d), (e) は励起入力はかなり大きいときで、(d) はレーザ管軸が光共振器軸とかなり傾いた場合、(e) は軸がほぼ一致している場合のパターンであるが非常に複雑である。

図 6.5 は多重モード発振をしている場合で両側からの出力ビームが非対称になった例である。理論的には対称になるはずであるが、このような非対称を示す原因として窓板のヒズミや表面状態の非対称性が考えられる。ガラス融着した窓板を付けたレーザ管による実験では、両側からの出力光パターンの対称性は接着剤窓板取付レーザ管の場合よりも悪いことが確かめられた。融着のためにガラス窓板にヒズミが大きいことがその原因と考えられる。また窓板の表面がほこりなどで汚れている場合にも非対称を示す。このような表面状態のとき、散乱による損失が大きくなって threshold が高くなる。

レーザ管の位置と共振器の平行度が固定されている場合、励起入力を増大してゆくと単純なモードから高次のモードが発振し得る状態になって重なり、反射鏡面上でパターンは拡がり、強い複雑なモードパターンを示す。共振器の反射鏡の平行度を微小変化させてゆくときのモードパターンはかなりゆっくりと変化しているが、レーザ管の位置を変化させた場合には著しく変化することが観測された。



(a) TEM₀₁

(a)

(a)

(b) TEM₁₁

(b)

(b)

(c) TEM₂₁

(c)

(c)

(d) TEM₂₂

(d)

(d)

(e) TEM₃₂

(e)

(e)

(f) TEM₃₀

図 6.4 複雑なモードパターン (両側出力光パターンが対称な場合)
Fig. 6.4 Complex mode patterns of He-Ne laser output beams. Patterns from both mirrors are symmetric.

図 6.5 複雑なモードパターン (両側出力光パターンが非対称な場合)
Fig. 6.5 Complex mode patterns of He-Ne laser output beams. Patterns from both mirrors are asymmetric.

図 6.3 単純なモードパターン
Fig. 6.3 Simple mode patterns of He-Ne laser output beams.

6.2 レーザ出力光の励起入力依存性

rf 電源出力を大きくして放電エネルギーを増加させた場合のレーザー出力の大きさの変化を調べた。レーザー出力を 1.15 μ の金属干渉フィルタを通して R.C.A.-7102 光電子増倍管で検知した。レーザー発振出力光に他の放電発光スペクトル線も含まれて検知されるので、共振器内に吸収体を入れて Q 値を低下させ、発振を停止させたときの出力をも測定した。この結果を図 6.6 に示す。曲線 a, b, c

はそれぞれレーザー発振時、発振停止時、およびその差 (レーザー発振光の出力とみられる) の検知器の出力を相対強度で目盛ったものである。この図からわかるように励起入力を増加させた場合、ある程度まではレーザー出力も増大するが、最大値を過ぎて減少し飽和効果を示している。励起入力が非常に大きくなるとレーザー光遷移の上のエネルギー準位 (E_2) である Ne の 2s レベルからさらに上の準位へ励起されてその分布数 N_2 がむしろ減少する ((I) の図 2.3)

7. む す び

以上 ガスレーザ 発振装置の製作方法、レーザ 出力光の モードパターン、励起入力による出力の変化、および出力光の偏光特性などについて述べた。

ブリュースタ 角度窓板を ガラス 融着したレーザ 管の方が接着剤で取付けた管よりも寿命が長い。管の材質は溶隔石英管でも ガラス 管でもあまり差がなく、ガラス の方が加工し易い点では有利である。ガスレーザ においては作動領域が均質であるためかなりはっきりしたモードパターン が得られ、共振器理論の実験的裏付けに有利である。ただし窓板の不均一性により パターン に非対称性が生じる場合があり留意せねばならない。球面反射鏡の平行度はあまり厳密ではなく数分程度まで許容され、レーザ 管軸と共振器軸の傾きもかなり許容されて発振を得ることができる。

共振器の共振周波数の間隔は (I) の式 (2.17) で与えられ実験的に ビート が観測されている⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。また縦方向に単一なモードで発振を得る方法⁽¹²⁾⁽¹³⁾、波長標準あるいは長さの精密測定を行なうように自動制御した安定な発振をおこなう ガスレーザ 装置の研究が行なわれている⁽¹⁴⁾。

(I) の 2.3 節で述べたように ガスレーザ 出力光は固体レーザ のそれと比較して出力 エネルギ は小さく普通数 mW であるが、容易に連続発振が得られること、単色性がきわめて良いことの点ではすぐれている。これらの特長は ガスレーザ の出力光が通信工学、赤外域での分光學、長い距離の干渉計、長さの精密測定などに有用な手段となることと思われる。

レーザ の発振が成功してからわずか数年の間にその開発研究は驚異的な発展をみせた。この報告はまったく基礎的な実験について記したものであって、今後ますます発展して広い分野に应用される可能性を持つ レーザ の開発研究に基礎的な データ を与えるものである。

終わりにこの実験について数多くのご忠告をいただきました工業技術院計量研究所、田幸敏治博士に感謝致します。

(昭 39-3-18 受付)

参 考 文 献

- (1) A. Javan, W. R. Bennett, Jr. and D.R. Herriott: Phys. Rev Lett. 6, 106 (1961).
- (2) A.G. Fox and T. Li: Bell System Tech. J. 40, 453 (1961).
- (3) G. D. Boyd and J. P. Gordon: ibid, 40, 489 (1961).
- (4) G. D. Boyd and H. Kogelnik: ibid, 41, 1347 (1962).
- (5) W. W. Rigrod, H. Kogelnik, D. J. Brangaccio and H. R. Herriott: J. Appl. Phys. 33, 743 (1962).
- (6) 田幸敏治他: 応用物理, 32, 492, 497 (1963).
- (7) D. J. Brangaccio: Rev. Sci. Inst. 33, 921 (1962).
- (8) C. K. N. Patel: J. Appl. Phys. 33, 3194 (1962).
- (9) T. G. Polanyi and W. R. Watson: ibid, 34, 553 (1963).
- (10) D. R. Herriott: J. O. S. A. 52, 31, (1962).
- (11) W. R. Bennett, Jr: Phys. Rev. 126, 580 (1962).
- (12) H. Kogelnik and C. K. N. Patel: Proc. I. R. E. 50, 2365 (1962).
- (13) D. A. Kleinman and P. P. Kislink: Bell System Tech. J. 41, 453, (1962).
- (14) T. S. Jaseja, A. Javan, C. H. Townes: Phys. Rev. Lett. 10, 165 (1963).

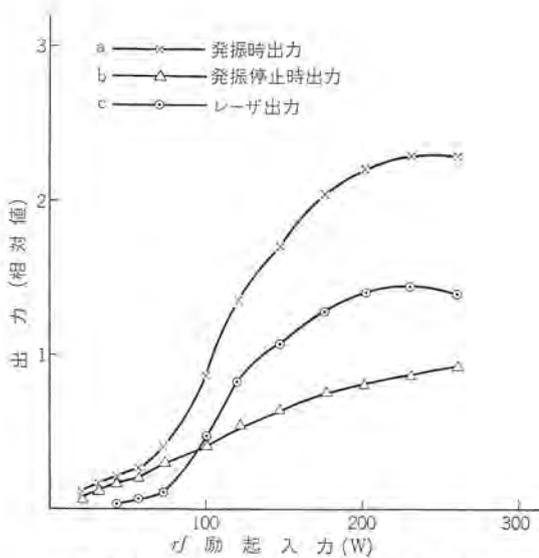


図 6.6 レーザ出力と rf 励起入力の関係
Fig. 6.6 Laser output vs rf exciting power.

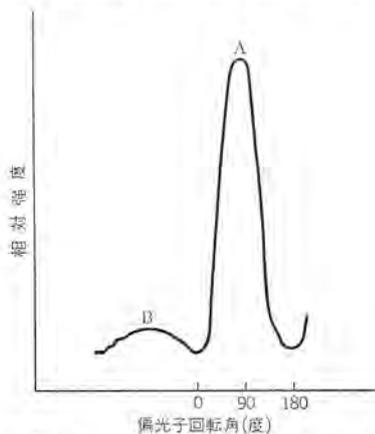


図 6.7 レーザ出力光の偏光特性
Fig. 6.7 Polarization characteristics of the laser output beams.

またレーザ光遷移の下の準位 (E_1) である Ne の 2p レベルへは下の準位から励起されて分布数 N_1 が大きくなる。これは (I) の 2 章で述べたように、負温度状態を妨げる効果を与えて増幅度が減少し出力が減じるものと考えられている。

6.3 レーザ光の偏光特性

3.1 節で述べたようにレーザ管の窓板は管軸を入射光軸とするブリュースタ角度で取付けられている。したがってこの窓板を透過するときの光の入射面に平行な成分は反射損失が小さいのに対して垂直な成分は反射損失が大きく、このためレーザ発振は平行成分のみしか起こり得ないと考えられる。レーザ出力光を干渉フィルタ、偏光板を用いて検知器でその出力を測定し、出力光の偏光特性を調べた。この測定結果を図 6.7 に示す。低いピーク B はレーザ発振を停止させた場合である。ピーク A はレーザ発振出力光の光電子増倍管の出力で、偏光子の振動方向が窓板入射面と平行になった位置における値である。このことからレーザ出力光が直線偏光であることがわかる。

6.4 レーザ光の出力

レーザ光の出力 エネルギ の絶対測定は行なわなかったが、検知器 7102 の出力電圧から感度補正、フィルタの減衰量を考慮に入れて概算すると出力 エネルギ は数 mW 程度であると考えられる。

変圧器用鉄心材料(その1)

清水英範*・丸谷領一*

1. ま え が き

一般に電気機器の特性を左右するものに、三つの要素があると考えられる。すなわち設計、加工技術および材料である。これら3要素のうち、どれか一つでも不十分なものがあれば、でき上がった機器から要求する特性を得ることはできなくなるであろう。このように設計、加工技術、材料の3要素は、電気機器を製造する上で欠くことのできない重要なものである。

本文においては、変圧器鉄心に関して、これら3要素のうち材料に重点をおきながら設計加工技術にもふれつつ、その概要を紹介することとする。

誘導機器用鉄心材料として考えられるものには、鉄、ニッケル、コバルトおよびこれらを主成分とする合金などのいわゆる強磁性体があるが、これらを工業的に実用化するためには、次のような条件を備えていなければならない。すなわち

- (1) 磁気特性がよいこと。たとえば透磁率が大きく、ヒステリシス損が小さいことなど。
- (2) 加工性、機械的強度などにすぐれていること。
- (3) 価格が安いこと。

これら個々の条件に最も適しているのが、鉄および鉄を主成分とする合金であって、純鉄、鉄ニッケル合金、鉄アルミ合金など種々あげられるが、中でも19世紀後半に発明された鉄に数%のケイ素を入れたケイ素鋼は、製造法が比較的容易安定で、きわめて安価に量産しうることから、その後、著しい進出をみ、今日では広く電気機器の鉄心材料として用いられるにいたっている。このことは、変圧器用鉄心にもいえることであって、高周波用などの特殊用途の鉄心を除いて、そのほとんどがケイ素鋼を使用している。すなわち、今日においてケイ素鋼板は電気機器の骨格であるということができよう。このような理由により、本文では、ごく一部分を除いて、他はケイ素鋼板についてのみ紹介している。

2. 変圧器に用いられる鉄心材料

変圧器用鉄心材料としては、特殊用途のものを除いて他のほとんどがケイ素鋼板を使用している。一般に誘導機器の鉄心は、ウエ電流損を減少させるため、薄板を積層あるいは、巻回して使用

するが、ケイ素鋼板の薄板としては、0.30 mm, 0.35 mm, 0.50 mm, 0.70 mmが標準⁽¹⁾で、高周波機器用としては、0.10 mm, 0.05 mm, 0.025 mmなどの厚さのものが、現在、国内で市販されている。0.30 mm以下は一般に巻鉄心として使用され、0.35 mm以上が、切り板として積層使用されている。

2.1 ケイ素鋼板の一般特性

ケイ素鋼板の物理的性質とケイ素量との関係を、図2.1および図2.2に示す⁽²⁾。

2.1.1 密度

酸化スケールを落としたものについては式(2.1)で表わされるが、工業上、占積率、断面積などの計算には表2.1の値を用いる。

$$7.865 - 0.065 \times \text{Si} \% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

2.1.2 抗張力および降伏点

約4.5% Siまでは増加するが、その後は急激に低下する。

2.1.3 熱膨張係数

ケイ素量の影響はほとんどうけない。
0~100°Cの範囲においては、Si 8%以内のケイ素鋼で $11 \sim 13 \times 10^{-6}/\text{°C}$ である。

2.1.4 熱伝導度

板に平行な方向と直角方向でかなり異なり、表2.2のごとくである。

2.1.5 ゼイ(脆)性

ケイ素量とゼイ性の関係を図2.3に示す。

2.1.6 電気抵抗

ケイ素量5%までは、ケイ素の添加によって急激に増加し、式(2.2)で表わされる。

$$\rho = 9.99 + 12 \text{Si} \% \quad [\mu\Omega\text{-cm}] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

抵抗の温度係数は2%ケイ素 0.0015/°C, 4% Si で 0.008/°C である。

表 2.1 ケイ素鋼の密度

ケイ素量 [%]	密度 [g/cm ³]
0~0.5	7.85
0.5~2.0	7.75
2.0~3.5	7.65
3.5~5.0	7.55

表 2.2 ケイ素鋼の平均熱伝導度 (cal/cm/s/°C)

材 料	平行方向	垂直方向
低ケイ素鋼	0.113	0.00132
高ケイ素鋼	0.047	0.00122

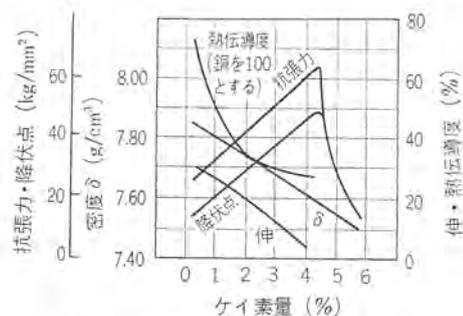


図 2.1 ケイ素鋼板の物理的性質

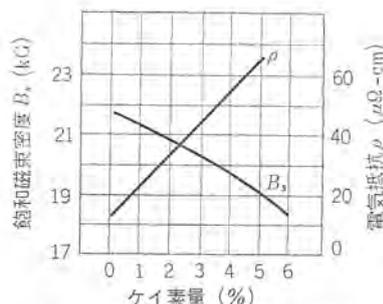


図 2.2 ケイ素鋼板の電気磁気的性質

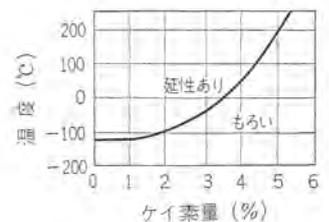


図 2.3 ケイ素鋼のゼイ性

2.1.7 磁気飽和値

ケイ素量の増加につれて低下し、近似的に式(2.3)で示される。

$$B_s = 21,600 - 480 \text{ Si \%} \quad [G] \dots \dots \dots (2.3)$$

2.2 ケイ素鋼板の種類⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

従来わが国において、ケイ素鋼板といえば、その発達の順序および製法の差異から、熱延無方向性ケイ素鋼板と冷延方向性ケイ素鋼板とに分けられていたが、その後、冷延によっても方向性のないものが製造されるようになり、また近年2方向性を有すケイ素鋼も出現するにいたり、製法および特性の方向性から次の四つに大きく分類されることが多い。

- (1) 熱延ケイ素鋼板(無方向性): JIS C 2551
- (2) 冷延ケイ素鋼帯("): JIS C 2552
- (3) 方向性ケイ素鋼帯(1方向性): JIS C 2553
- (4) 2方向性ケイ素鋼帯(2方向性)

2.2.1 熱延ケイ素鋼板

1900年、イギリスの R. A. Hadfield らの研究によって、鉄に2.5%のケイ素を添加することは、Magnetic Softness を増加させることになるということが明らかにされた。これがケイ素鋼板誕生のきっかけとなり、1903年に始めて、ドイツにおいてケイ素板が製造された。同年、アメリカにおいても製造されている。始めて商品化されたのは、1905年、アメリカにおいてであるが、当時の鉄損特性は、 $W_{10/50} = 1.78 \text{ W/kg}$ であった。わが国においても1938年(大正13年)始めて工業的に生産され、八幡製鉄、川崎製鉄、各社独特の研究、開発により今日では諸外国に比べ、そんな遜色ないものが生産されており、富士製鉄も最近市販を開始している。

(1) 製造法の概略

現在ケイ素鋼板はおもに平炉または、電気炉で溶解されている。まず最初にクズ鉄に適量の銹鉄を加え、平炉または電気炉で溶解精錬し、十分脱酸して、不純物を除去した後、ケイ素を加えて鋳型に注入し鋼塊とする。製造法の一例は



のようになり、分塊圧延機で圧延され、厚さ約10mm、幅約300mm、長さ1,000mmのシートバーとなる。これを加熱炉で1,150°Cに加熱し、2枚重ねて荒圧延機にかけ、これを950°Cで加熱して途中で4枚重ねとし、仕上圧延機で圧延する。

次にこれを1枚ずつにはがし、矯正機を通した後積重ねて焼鈍する。焼鈍温度は850~950°Cで5~30時間加熱する。このようにして作られた板は検査、試験を経て出荷される。

(2) 磁気特性

1900年には $W_{10/50} = 2.2 \text{ W/kg}$ だったものが、1920年ごろには $W_{10/50} = 1.25 \text{ W/kg}$ となり、1950年には $W_{10/50} = 0.9 \text{ W/kg}$ のものが出現するまでにいたった。

図2.4、2.5に最近の国産ケイ素鋼板の一特性例を示す。

2.2.2 冷延ケイ素鋼帯

冷延ケイ素鋼帯とは、冷延と熱処理を適当に選ぶことにより、結晶方向性が問題とならない程度の鋼帯にしたものであり、わが国においては1955年(昭和30年)製品化された。この鋼帯は

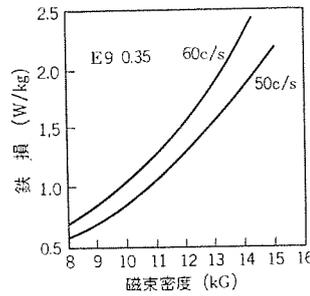


図 2.4 熱延ケイ素鋼板の鉄損

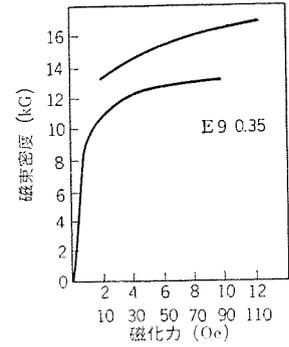


図 2.5 熱延ケイ素鋼板の直流磁化特性

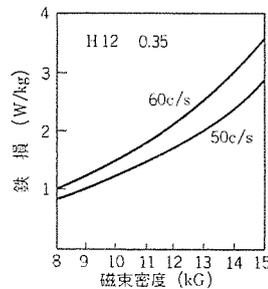


図 2.6 冷延ケイ素鋼帯の鉄損

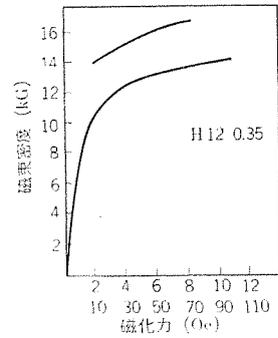


図 2.7 冷延ケイ素鋼帯の直流磁化特性

図 2.8 ケイ素鋼の空間格子

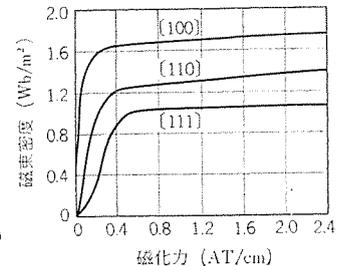
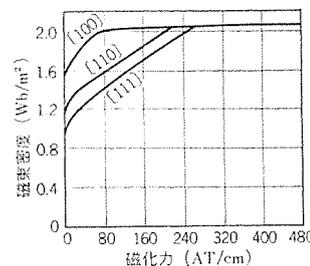
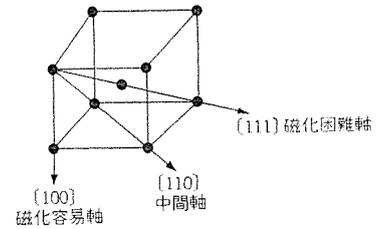


図 2.9 ケイ素鋼単結晶の磁化特性

任意の幅の帯状として供給されるため、連続打抜機による高能率加工が可能であるほか、鋼帯表面がなめらかで占積率がよく、熱延のものに比べ、磁氣的、機械的に著しい優位性を有する。

この鋼帯の用途は熱延鋼板の分野とだいたい同様で、主として回転機用鉄心などに用いられるが、上記の優位性のため、今後ますます熱延鋼板にとって代わって使用されるものと考えられる。

図2.6、2.7に最近の国産冷延ケイ素鋼板の一特性例を示す。

2.2.3 方向性ケイ素鋼帯

1933年 N. P. Goss は3.0~3.5%ケイ素鋼と用い冷間圧延と焼鈍を繰り返して、磁氣的方向性を有する鋼帯をはじめて試作したのが始まりで、その後1935年アメリカにおいてその製造法が完成されるにいたり、変圧器鉄心材料は大幅に改良され、設計、工作法にも多大な影響を及ぼした。その結果、変圧器は小形、軽量化

し、特性も顕著に良好となった。

今日では電力用変圧器は、ほとんど例外なく、この方向性ケイ素鋼帯を使用しており、方向性ケイ素鋼帯なしでは、電力用変圧器は考えられないといっても過言でないところまできている。

(1) 方向性ケイ素鋼帯の異方性

ケイ素鋼は体心立方格子の結晶構造を有し、その原子配列は、図 2.8 のようになっている。図において〔100〕方向が磁化が最も容易であり、次が〔110〕方向で〔111〕方向が最も磁化の困難な方向である。3.85%ケイ素鋼の各軸方向の磁化特性は図 2.9 のとおりである。

熱延ケイ素鋼板は各単結晶が任意の方向に配列しているの、その磁気特性は図 2.9 の 3 方向の平均値をこえることはない。方向性ケイ素鋼帯では、これら単結晶の磁化容易軸〔100〕が冷延、熱処理の操作により、圧延方向に配列されたものである。鋼帯中のすべての単結晶の〔100〕軸が 1 方向に配列すれば、その鋼帯の磁化特性は図 2.9 の〔100〕の曲線のそれになるが、実際は、すべての結晶を同一方向に配列させることはむずかしく、いかに多くの結晶を同一方向に配列をさせるかということが重要な問題となる。

(2) 製造法の概略

方向性ケイ素鋼帯の製造法については、前述の N. P. Goss に端を発して、世界各国で多くの研究がなされ、その特許の数もおびただしいものがあるが、ここでは代表的と考えられる 2 回圧延法について述べる。

2 回圧延法——G. H. Cole, R. L. Davidson の工程——

2 回圧延法については、N. P. Goss が元祖であるが、ここでは上記方法について述べる。

- (a) 厚さ 2.7 mm まで熱間圧延する。
- (b) コイル状で 760°C、24~36 時間の箱焼鈍をする。
- (c) 第 1 回目の冷延で、約 70%、0.7 mm の厚さにする。
- (d) 1,000°C で開放焼鈍する。
- (e) 第 2 回目の冷延で約 50%、0.35 mm の厚さにする。
- (f) 最終焼鈍する。乾燥水素気中 1,200°C、60 時間。

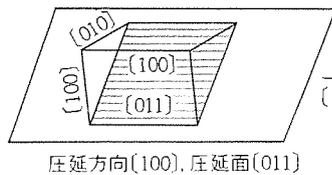


図 2.10 方向性ケイ素鋼帯中の単結晶の配列

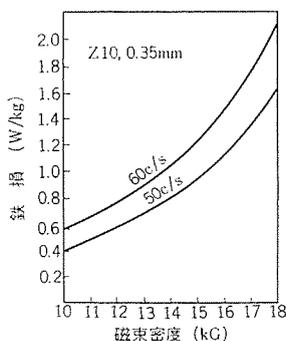


図 2.12 方向性ケイ素鋼帯の鉄損

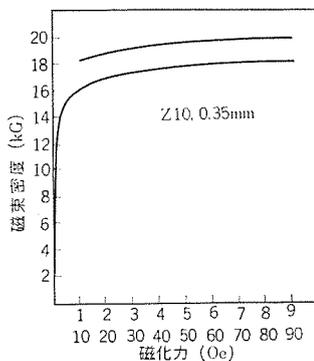


図 2.13 方向性ケイ素鋼帯の直流磁化特性

(3) 磁気特性

方向性ケイ素鋼帯は、図 2.10 のように圧延方向に磁化容易軸が配列されているので、圧延方向すなわち鋼帯長さ方向に磁界を加えた場合、鉄損は最小となり透磁率は最大となる。図 2.11 はその様子を国産方向性ケイ素鋼帯に例をとって示すものである。また図 2.12, 2.13 は鉄損特性および磁化特性を示す。

(4) 使用上の注意

上述のように方向性ケイ素鋼帯は、すぐれた特性を有するが、この鋼帯を使用するにあたっては次の 2 点に注意しなければならない。

(a) 方向性を有する。

図 2.11 に示すごとく、方向性ケイ素鋼帯は方向によって特性が大幅に異なり、圧延方向とそれに直角方向とでは、鉄損で約 3 倍、所要 AT では数十倍になるため、磁束は常に圧延方向に通るように鉄心形状を考慮しなければならない。(詳細後述)

(b) 機械的ヒズミ

方向性ケイ素鋼帯は機械的ヒズミに非常に敏感で、曲げ、衝撃などにより著しく鉄損が増加するので、その取り扱いには注意を要する。(詳細後述)

2.2.4 2 方向性ケイ素鋼帯⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

2 方向性ケイ素鋼帯が著しく世の注目を浴びるようになったのは、1956 年ドイツ金属学会において F. Assmus らによって、その工業化の可能性が報告され、その翌年、論文に発表されたことに始まる。その同じ年の 1957 年に、アメリカの磁気および磁性材料の学会において、G. E. 社および Westinghouse 社の両方から、同時に 2 方向性材料の開発が報告され、大きな話題を呼ぶに至った。

国内においても、この製法については現在までに多くの特許出

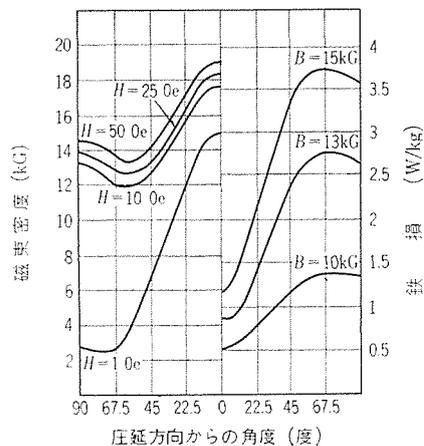


図 2.11 方向性ケイ素鋼帯の磁気特性の方向性 (Z12, 0.30 mm)

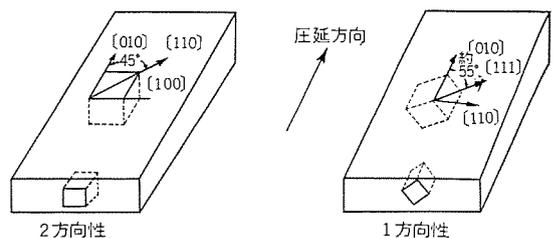


図 2.14 結晶のそろい方の比較

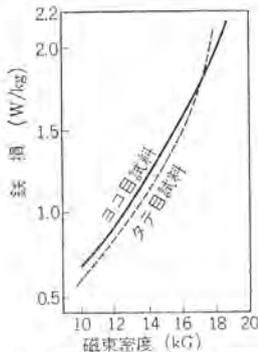


図 2.15 2 方向性 ケイ素鋼帯の鉄損

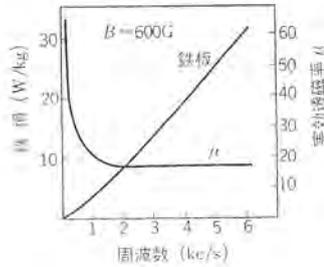


図 2.16 粉末モールド磁性材料の特性



図 2.17 粉末モールド磁性材料を用いた試作高周波変圧器 (535 kVA, 800 V, 1φ 水冷式)

願がなされており、工業化をはかることが可能な段階にまできている。

この2方向性ケイ素鋼帯を1方向性ケイ素鋼帯と比較すると、Gossの発明による1方向性ケイ素鋼帯は図2.14のごとく〔10〕方向が圧延方向にそろう、それと直角方向に〔110〕方向が向いているため、圧延方向と直角方向は、かなり磁性が劣る。これに比べ2方向性ケイ素鋼帯は、直角方向にも磁化容易軸〔100〕が来るため、圧延方向と同程度の特性を有し、このことが最大の特長となっている。この鋼帯は温度変化に対して、やや不安定でエージングを伴うため注意を要する。ところで、この鋼帯を変圧器鉄心を使用する場合は、従来、無方向性鋼帯のときに使われていたマザカ形形状とすることも可能であり、工程面や、材料の有効利用という面にも効果を発することが考えられ、性能も相当改善されるであろう。また、在来の1方向性ケイ素鋼板は、板厚が0.1mm以下に薄くなると、透磁率、保磁力の急激な低下をさけることができなかったが、2方向性ケイ素鋼帯では、著しい低下は認められないので400 c/s、1,000 c/sなどの高周波で使用される特殊な変圧器やパルス変圧器などの鉄心材料には最適である。この鋼帯は、今後、新しい使用法の研究により相当広く利用される可能性は十分にあるが、今後、伸びていくための最大の障害はコストであると考えられる。

現在、国内各社で実験室的段階では、高性能のものが得られていると伝えられているにもかかわらず、ほとんど市場に顔を出さない理由もここにあると考えられ、今後この鋼帯が伸びるための最も大きな問題点の一つであると考えられる。

2.2.5 粉末モールド磁性材料⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

最近、主として高周波変圧器、変成器用鉄心材料として当社において開発されているものに、粉末モールド磁性材料がある。これは、磁性体粉末をお互いに接着性絶縁物で絶縁しながら、硬化させた磁性材料で、フェライト、圧粉鉄心などと同系統のものであるといえるが、根本的に異なる特長を有する。すなわち、従来のフェライト、圧粉鉄心などは、あらかじめ材料メーカでリツコアなどに製造されているものを、ユーザである電気機器メーカが購入して、その鉄心にコイルを巻いて完成させていたが、この材料は、

あらかじめ成形してあるコイルの入っている型の中へ磁性粉末を入れ、そこへ接着性絶縁物を含浸させて、硬化したときには、すでにコイルを内蔵した誘導器になっているものである。

この材料を使用することにより高周波誘導器の生産工程は、合理化され、また小形軽量になる特長を有する。

図2.16はこの材料の一例を示すものである。

3. 方向性ケイ素鋼帯の規格⁽¹¹⁾

方向性ケイ素鋼帯の寸法・形状・磁気特性などは日本工業規格(JIS C 2553)に規定されている。

この規格によれば、方向性ケイ素鋼帯は、G10、G11、G12、G13、G15の5種類に分類されており、板厚は0.30mm、0.35mmの2種類を標準としている。

磁気特性の詳細は、表3.1に示すごとくであるが、この表から明らかなごとく、種類分けの記号G10、G11などは、50 c/s、15,000Gにおける単位重量あたりの鉄損値の上2ケタの数字を採り、Gなる文字は、Grain Oriented Silicon Steelの頭文字を採ったものである。なお国内各鋼帯メーカはおのおの独自の記号をつけ、Z10(八幡製鉄)、RG10(川崎製鉄)、VC10(富士製鉄)などとしている。また形状・寸法などについては、表3.2に示すごとくに規定されている。

皮膜抵抗値については、抵抗測定法などに問題があり、この規格には規定されていない。なお最近、製鋼技術の進歩により、特性の向上には、目ざましいものがあり、G15、G13クラスは、実質

表 3.1 磁気特性の規格値 (JIS C 2553)

種類	厚さ (mm)	鉄 損 [W/kg]				磁 束 密 度 [G]			
		* W10/50	W15/50	* W10/60	* W15/60	* B3	B10	* B25	* B50
G15	0.35	0.70以下	1.50以下	0.90以下	1.94以下	以上	以上	以上	以上
	0.35	0.72*	1.55*	0.92*	2.00*	15,100	16,100	17,000	17,800
G13	0.30	0.61*	1.30*	0.79*	1.70*	15,600*	16,600*	17,400*	18,100*
	0.35	0.63*	1.35*	0.82*	1.76*				
G12	0.30	0.56*	1.20*	0.73*	1.58*	16,100*	17,000	17,800*	18,400*
	0.35	0.58*	1.25*	0.76*	1.64*				
G11	0.30	0.51*	1.10*	0.67*	1.46*	16,500	17,300*	18,000*	18,600*
	0.35	0.53*	1.15*	0.71*	1.52*				
G10	0.30	0.47*	1.00*	0.61*	1.34*	16,800*	17,600*	18,200*	18,800*
	0.35	0.49*	1.05*	0.64*	1.40*				

(注) 1. *印は参考値
 2. W10/50 は 10 kG、50 c/s の時の単位重量当りの鉄損を示す
 3. B3 は 3 Oe のときの磁束密度を示す

表 3.2 形状寸法などの規格 (JIS C 2553) (単位 mm)

幅	厚さ	厚さの許容差	幅方向の厚さの偏差	幅の許容差	幅ゆり(2mにつき)	切断カエリ	外観	層間絶縁皮膜
150 以下	0.30 0.35	±0.03	0.02 以下	+0.4 -0	1.0 以下	0.05 以下	サビ、ワレその他の有害なキズなく皮膜が密着してはがれないこと	絶縁リニマ、変圧器油、機械油などに侵されないこと
150 をこえ 300 以下	0.30 0.35		0.02 *	+0.5 -0				
300 をこえ 600 以下	0.30 0.35		0.03 *	+0.6 -0				
600 をこえ えるもの	0.30 0.35		0.03 *	+1.0 -0				

的には、ほとんど生産されていない。しかし、鋼帯使用者側としては、G9、G10 クラスの高品位のものを使用する反面 G13 クラスの比較的低位の鋼帯も必要としている。

すなわち鋼帯の飽和磁束密度が現在のような値である間は、使用できる磁束密度は鋼帯の品位が変わっても、あまり変わらない。それゆえ、磁束密度をほぼ一定と考えた場合、品位を1段階上げることによって鉄損は、0.1 W/kg 減少すると考えられ、この考え方に基づけば、鉄心重量の大きい大容量変圧器に高品位鋼帯を使用した場合、損失減少効果は大きく、冷却器の減少などの二次的効果も生ずるが、鉄心使用量の少ない中・小容量器では、その程度が小さく、冷却器の数を減少するほどの影響も与えない。すなわち、品位を上げることによる材料費の増大と、損失の減少とを比較して原価計算を行なうと電気機器使用者の中には、中・小容量器の場合 G13 などの低位のものでもよいと要求される場合もあるわけであって、電気機器メカとしては、大容量器用として G9、G10 クラスの高品位のものを要求する反面、G13 クラスの低位のものも要求するわけである。

4. ケイ素鋼帯の絶縁皮膜⁽¹²⁾

4.1 概要

変圧器鉄心に限らず一般に電気機器鉄心は、ウズ電流損を減少させるためケイ素鋼板などを積層して成層鉄心とするが、板の接触面における抵抗すなわち層間抵抗値が小さいと層間ウズ電流損が発生し、裸損損失が大きくなるので、鋼板表面には十分な表面絶縁を行なう必要がある。

表面絶縁は次のような事項を満足していなければならない。

- (a) 圧力を加えても絶縁抵抗値が減少しないこと。
- (b) 鉄心の占積率を減少させないこと。
- (c) 絶縁油に耐え、また絶縁油に悪影響を及ぼさないこと。
- (d) セン断、打抜、大半径の曲げなどによってハク離しないこと。
- (e) 鋼帯の打抜性を害しないこと。
- (f) 吸湿性がなく、鋼帯のサビを誘発するものではないこと。

焼鈍されたケイ素鋼板の表面には、酸化皮膜が付着しており、これが絶縁皮膜としてわずかに役にたつので、小形変圧器などの幅の狭い鉄心では、実用上さしつかえない程度の抵抗値となることもあるが、一般には、これだけでは不十分なので、従来から種々の方法がとられてきている。すなわち薄い紙をはる方法、加熱乾燥ワニス、あるいは水ガラスを塗布焼き付ける方法などである。

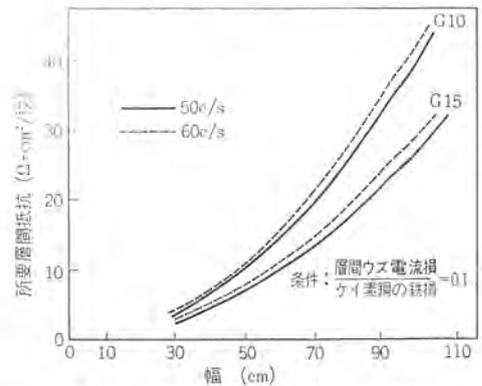


図 4.1 所要層間抵抗と鉄心幅の関係

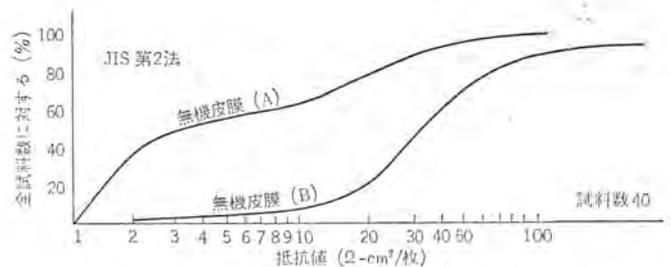


図 4.2 方向性ケイ素鋼帯層間抵抗値

ところが、アメリカにおいて無機質の表面絶縁を施す方法が発明され、現在では、ほとんどの鋼帯に表面絶縁処理を施して供給されるようになってきているが、これはきわめて薄い層で絶縁抵抗も高く、耐熱性が大きいなどの特長を有している。

なお表面絶縁皮膜抵抗値は、単に常規運転時に鉄心内に誘起される起電力に対する層間ウズ電流損低減という観点からのみ決められるべきものでなく、衝撃電圧印加時の皮膜破壊による残留鉄損を防止する必要がある。この意味で皮膜は平滑、均一であることが要求される⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

現在、絶縁皮膜に関する特許は、国内・国外を問わず非常に多く、鋼帯メカは各自独特の方法・技術で無機質の絶縁皮膜を施して市販している。

4.2 層間ウズ電流損⁽¹⁵⁾

層間ウズ電流損は、鉄心積高さには関係なく、鉄心幅の二乗に比例し、次式で与えられる⁽¹⁶⁾。

$$W = \frac{1}{24\rho} \alpha^2 (\omega B^2) \times 10^{-8} \text{ [W/cm}^2\text{]} \dots (4.1)$$

ただし、 ρ : 固有層間抵抗 [Ωcm], ω : $2\pi f$ (ただし f は周波数), B : 最大磁束密度 [Wb/cm²]

したがって層間ウズ電流損を、ケイ素鋼板のウズ電流損の何%に抑えるかということを決めれば式(4.1)から、鉄心幅に対する必要層間抵抗値を計算で求めることができる。

図 4.1 に (層間ウズ電流損)/(ケイ素鋼の鉄損)=0.1 とした場合の所要層間抵抗値をのせる⁽¹⁷⁾。

4.3 市販ケイ素鋼帯の層間抵抗値

最近、市販されている方向性ケイ素鋼帯の層間抵抗値の実測結果の一例を図 4.2 に示す。

4.4 層間抵抗測定法

層間抵抗測定法は現在、JIS C 2550 によって定められており、

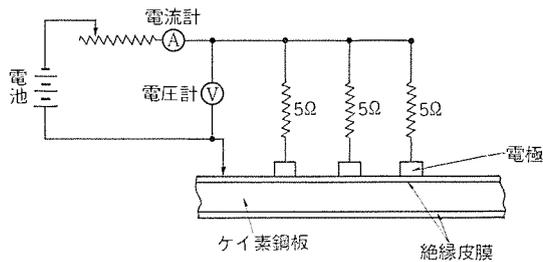


図 4.3 第2法による層間抵抗試験回路

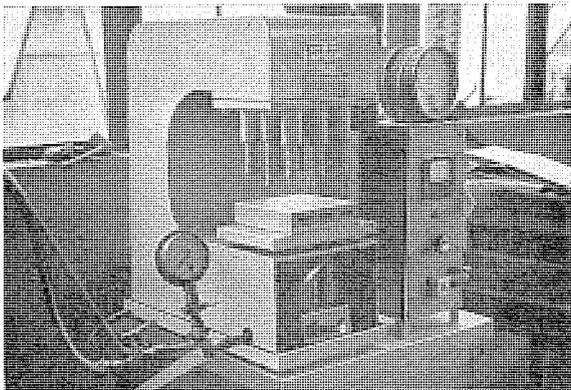


図 4.4 層間抵抗測定装置 (JIS 第2法)

第1法と第2法のふたとおりある。

4.4.1 第1法

第1法とは、30 mm × (250~500) mm の大きさの試料 40 枚を重ねてから電極、絶縁板を乗せ、35 kg/cm² で加圧し、そのときの上下電極間の抵抗を測定する。このとき層間抵抗 R_s は次式によって与えられる。

$$R_s = \frac{AR}{S} \quad [\Omega\text{-cm}^2/\text{枚}] \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

ただし、 R_s : 層間抵抗値 ($\Omega\text{-cm}^2/\text{枚}$)

A : 試験片の断面積 (cm^2)

R : 電極間の抵抗 (Ω)

S : 試験片の枚数

4.4.2 第2法

第2法は1枚の試験片で行ない、図 4.3 の状態に保ち、35 kg/cm² の圧力のときの電流値を読んで次式で計算する。

$$R_s = A \left(\frac{1}{I} - 1 \right) \quad [\Omega\text{-cm}^2/\text{枚}] \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

ただし、 A : 電極の総面積 (cm^2)

I : 電流計の読み (A)

現在、わが国においては、取引用として、第2法を採用することが電機工業会磁気材料委員会で検討されており、鋼帯メカ、電機メカ間に試料の回送試験が行なわれた結果、器差による影響大であることが判明したので、測定器を1台試作し、その測定器を各メカ間に持ちまわって測定し、その結果がよければ、同一仕様で測定器を製作して標準にすることとなった。昭和40年中ごろまでに一応の結論が出る予定である。

4.4.3 両法の比較

第1法は実際の積層鉄心の状態に対応し、締め付けた鉄心の総合効果を表わすが、切断カエリなどがあると測定結果は、誤ったものとなる可能性が大きく、また試料を切断して、積層するので、能率的でない。この点、第2法は1枚の鋼板で試験するものであるので工場での管理用などには適している。しかし絶縁皮膜、とくに無機質の皮膜は、その製法上均一性を得ることが困難であり、第1法・第2法、いずれにおいても再現性に問題があり、これによる製品の漂遊損の計算には使用できないが、最近ではかなり均一性の点で改善されているので、第2法による取引の問題および測定抵抗値の使用者における有効な活用が期待できる。

参考文献

- (1) 日本工業標準調査会: JIS C 2551, JIS C 2552, JIS C 2553
- (2) 木村: 変圧器の設計工作法 15 (昭 36)
- (3) 電気学会: 電気材料 I (昭 35)
- (4) 高橋: OHM 45, 22 (昭 33)
- (5) 五弓: ケイ素鋼板 77 (昭 30)
- (6) 堀籠: 「富士製鉄技報」11, 318
- (7) 加藤: 「電気製鋼」33, 141 (昭 37)
- (8) 成田: OHM 11, 125 (昭 36)
- (9) 丸谷・原田: 電学連大 593 (昭 39)
- (10) 丸谷・原田: 電学連関西大 7-19 (昭 38)
- (11) 日本工業標準調査会: JIS C 2553
- (12) 成田: 電気試験所研究報告 566, 1 (昭 33)
- (13) T. R. Specht: AIEE paper No. 56-743 (1956)
- (14) M. F. Beavers: AIEE paper No. 55-30 (1955)
- (15) D. A. Jones: I. E. E. 453, 509 (1961)
- (16) 電気学会: 電気材料 I 73 (昭 35)
- (17) 小川: 電学連大 S, 3-5 (昭 38)

新製品紹介

BP-361 形 多重母線保護継電装置完成

最近の大容量発電所、変電所の母線構成が従来の単純な複母線形式から、多数の母線群により構成された多重母線形式に変わってきた。このような多重母線の母線保護を母線の運用、とくに母線区分断路の開閉や各端子断路器のブリッジ操作、あるいは将来の増設などに何ら制約されることのない多重母線保護継電装置、BP-361 形を開発し、今回関西電力株式会社堺港火力発電所に納入した。さらに同じく関西電力株式会社尼東第 2 火力発電所納めを製作中である。

使用する主継電器

短絡保護関係

LBB-1B-D 形位相比較比率差動式母線継電器

LD-1B-D 形位相比較式抑制制御入力装置

LT-1-D 形端子入力装置

LBS-1-D 形母線継電器

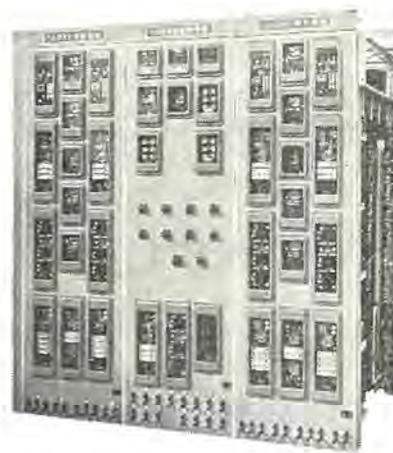
BS-1-D 形基準入力装置

地絡保護関係

LBC-2-D 形母線継電器

BC-2 形入力装置

LBE-1-D 形母線継電器



関西電力株式会社 堺港火力発電所納め
多重母線保護継電器盤 正面

MR-10 形 多接点交流電磁継電器を開発

小形軽量、長寿命で信頼性の高い MR 形シリーズの一環として、MR-5 形、55 形、4 形、44 形に引き続いて MR-10 形多接点交流電磁継電器の開発を完了した。

この MR-10 形は、現行標準品 MR-55 形が接点構成 5a 5b で一定に対し a 接点を 5a 以上 10a 接触までの各種接点構成を可能にしたもので MR-5 形、55 形と同一の取付面積である。

■ 特長と性能

(1) 高性能、長寿命

JEM-1038 による A 級 1 号 1 種以上に相当する。電気的 100 万回以上、機械的 1,000 万回以上の長寿命、高性能である。



MR-10 形 電 磁 継 電 器

(2) 小形軽量

コンパクトな構造で取付面積は小さく、MR-5 形、55 形と同じである。

(3) 信頼性が高い

半密閉構造とし接点閉閉部に配線 クズ や ジンアイ などの侵入を防ぎ、接触不良のおそれが少なく、高い信頼性を有する。

(4) 広範囲な使用

同一部品により接点構成を容易に変えることができ、10a9a1b、8a2b、7a3b、6a4b、5a5b と多くの接点構成を可能とし広範囲に使用できる。

■ 仕様

定格電圧 (V)	定格電流 AC(A)	閉路シャ断 電流容量 AC(A)	連続通電 電流容量 (A)	操作電磁コイル 入力		操作電磁コイル 定 格
				VA	W	
600	250	5	50	19	4.3	100 V 50 c/s 100-110 V 60 c/s
	600	3	30			200 V 50 c/s 200-220 V 60 c/s
						400 V 50 c/s 400-440 V 60 c/s

N-605 形 交流電磁接触器および ND-605 形 直流操作交流電磁接触器完成

N および ND-605 形電磁接触器は、AC 600V、600A までの回路に使用するもので、2 極および 3 極の表面接続形と裏面接続形がある。

■ 特 長

- (1) シャ断容量が大きく過酷な条件でも重負荷に耐える。
- (2) 特殊銀接点を使用し、ダイヤモンドグリッド付特殊磁器の消弧室

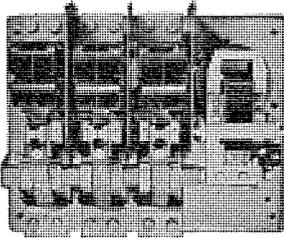


図 1 N-605 形
交流電磁接触器

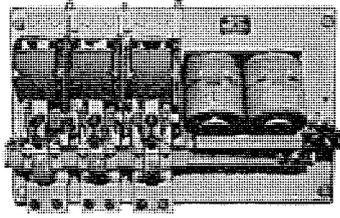


図 2 ND-605 形
直流操作交流電磁接触器

を備なえているからきわめて長寿命である。

(3) 取扱・保守点検が容易

(4) 補助接点は最大 4 個までつき、接触の種類は必要に応じて、部品を取り換えずに a↔b 接点の変更ができる。

MD-65, 105 および 155 形 直流操作交流電磁接触器を開発

MD-7, 15, 35 形発売に引き継ぎ MD-65, 105, 155 形の開発を完了し MD 形直流操作シリーズの全シリーズを完了した。

これは先に完成した M 形交流操作シリーズの操作電磁石部分を直流にしたもので全機種 M 形と同一取付寸法の姉妹品である。

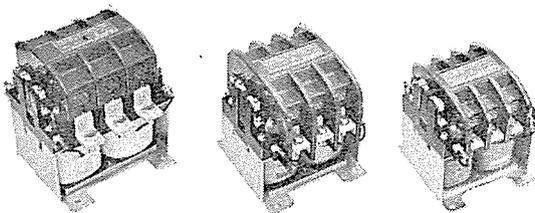
■ 特長と性能

(1) 高性能長寿命

AC 操作の M 形と同様 JEM-1038 に規定する A 級 1 号 1 種以上に相当し電氣的 100 万回機械的 1,000 万回以上の高性能長寿命である。

(2) 小形軽量

小形でコンパクトな構造で取付面積は小さく取付穴ピッチは M 形と同一である。従来の ND 形に比較して 50~60% 程度になって



MD-155, 105, 65 形 直流操作交流電磁接触器

ノーヒューズシャ断器 NF-50A & B, NF-100A-B & C 形用簡易形操作トッテ機構を開発

ノーヒューズシャ断器を盤内に組み込み外部から操作するとき操作トッテ機構を使用する。この操作トッテ機構は、コントロールセンタ、その他各種の盤に使用するノーヒューズシャ断器のめざましい発展に伴い需用は増大してきた。

このたび当社は従来の操作トッテ機構とまったく同一性能で、小形、安価な簡易形操作トッテ機構を開発した。

■ 特長

(1) 操作トッテ機構の占有面積、製品重量は従来の 1/2 になった。

(2) 新しい設計で、機構は簡潔になり、盤の取り付けは非常

(5) 従来の製品 FF-605, FD-605 形に比べ小形で安価である。

■ 仕様

形名	定格電圧 (V)	定格電流 (A)	閉路シャ断電流量 (A)		性能	重量 (kg)
			AC 600 V			
N-605	600	600	6,000		A-2-2	42
ND-605						52

- 注 1. N と ND 形は写真のように、通電部分は同じで操作電磁コイルいずれも B 種絶縁がことなる。
 2. N-605 形のコイルは 200 V 50 c/s, 220 V 60 c/s のように 2 定格コイルである。
 3. ND-605 形のコイルは 100(200), 110(220)V [() は直列接続] を標準とする。

いる。

(3) 信頼性が高い

動作機構が簡単であり直流専用の鉄心を使用し抵抗管を使用しない方式で振動衝撃に強く落下不能および騒音の発生は皆無であり信頼性が高い。

(4) 広範囲の使用が可能

信頼性が高いこととあいまって補助接点が多くとれること操作電磁コイルは 2 個使用で直列接続か並列接続かで定格が 2 重にとれ広い範囲で使用可能。

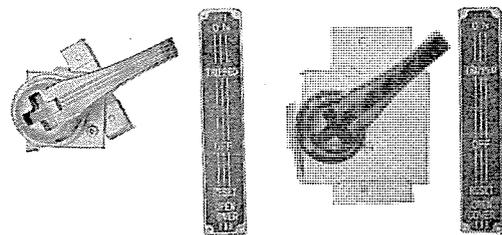
■ 仕様

形名	MD-65	MD-75	MD-105	MD-125	MD-155	
定格電圧 (AC) (V)	600	600	600	600	600	
定格電流 (A)	AC 250 V	60	75	100	120	150
	AC 600 V	50	50	100	100	150
連続通電容量 (A)	75	80	120	150	200	
シャ断電流量 (A)	AC 250 V	640	780	1,000	1,200	1,500
	AC 600 V	500	500	1,000	1,000	1,500
	DC 110 V	40(150)	40(150)	50(200)	50(200)	
操作電磁コイル	DC-24, 48, 100, 110, 200, 220 V その他					

- 注 1. 直流シャ断電流量は誘導負荷 15 msec で 1 極シャ断の場合を () 内は 2 極直列の場合を示す。
 2. MD-65 と 75 および MD-105, 125 は同一外形寸法である

に容易になった。

(3) 取付関連寸法はほとんど同一で互換性がある。



(左) 簡易形操作トッテ機構 (右) 従来形操作トッテ機構

NF-100A-B 形は指示名板が異なるほか関連寸法はまったく同一、NF-50A-A & B 形、NF-100A-C 形は指示名板とインタロック止め金の位置が異なるほか関連寸法はまったく同一。

(4) 施錠用ミジを追加し、南京錠のほかピンで操作トッテを機械的にロックすることができる。

製品重量 0.36 kg

F M ステレオ放送がきける 三菱 FM マルチステレオ DSS-302 形 新発売



DSS-302 形 三菱 FM マルチステレオ

現金正価 ¥ 54,800

月賦正価 ¥ 57,800

当社では、FM マルチステレオアダプタを内蔵したステレオの第4弾として、このたび完全自動演奏ができるパーフェクトオートプレーの採用、各放送局でモニター用として採用され、その音質を誇るフリーエッジスピーカーを使用した三菱FMマルチステレオを新発売いたします。

■ 特長

(1) FMステレオ放送が開ける。

FMステレオ放送用マルチアダプタを内蔵していますから、従来のFM放送はもちろん迫力あるFMステレオ放送も十分お楽しみになれます。

(2) パーフェクトオートプレー採用

演奏の開始から、演奏が終了してピックアップが元の位置に戻るまで、すべて完全自動式という三菱だけがもつすぐれた特長です。もちろん途中からの演奏、途中での演奏停止も思いのまま、レバーの操作だけです。誰れにでも楽に操作ができ、レコードや針を痛

める心配がありません。

(3) 放送局モニター用スピーカー使用

NHKをはじめ各民間放送局でモニター(音質監視)用として採用され、最高の音質として認められているP-610A形フリーエッジスピーカーを用いていますから、低音から高音まで歯切れの良い鮮明な音を再現します。

(4) 音の深まりを増すエコー装置つき

(5) 温度、湿度の影響を受けないセラミックカートリッジを使用、快適な演奏が楽しめます。

(6) 好みの音質が楽しめる3段切換音質調整つまみつき。

(7) 長寿命のダイヤ針つき

■ 仕様

ステレオアンテナ

形 式 11 球 1 石 9 ダイオード

2 バンドチューナ付ステレオアンテナ

受信周波数 MW 530~1,605 kc FM 76~90 Mc

感 度 極微電界級

音声出力 3+3(W)

スピーカ P-610A 形 16 cm フリーエッジスピーカー 2 個

ステレオプレーヤ

モーター 2 極高性能シンクロモーター

ターンテーブル 直径 20 cm ゴムシート付き

ピックアップ ターンオーバー形、ステレオセラミック、ダイヤ針つき

速 度 4 スピード

針 圧 7 g

外形寸法 (幅) 100×(高さ) 75×(奥行) 38 cm

重 さ 23.5 kg

ジュースしぼりもカスとりもぜんぶ自動 三菱フルオートジュースー JE-300 形 新発売

当社では、このほど材料を入れるだけで自動的にジュースができる世界ではじめて採用した自動機構に、続けて多量のジュースができる自動カスとり機構をプラスしたフルオート機構のジュースーを新発売いたします。

■ 特長

(1) 自動的にしぼれます。

当社がはじめて完成した独特の構造により、自動的にジュースーができます。従来のようにいちいちピストンで材料を押し込む必要

がなく、気軽に使用できます。

(2) 自動的にカスがとれます。

独特のつたと遠心カゴの作用により、ジュースは注ぎ口からコップへ、しぼりカスは排出口からカス受箱へ自動的に分離されます。フィルタを掃除する必要がなく、連続して多量のジュースがしぼれます。

(3) ジュースのしぼり率が最高です。

遠心カゴは大形に精巧に設計されておりますから、効率よく分



JE-300 形三菱フルオートジューサー

現金正価 ¥ 11,900
月賦正価 ¥ 12,500

離されるので、濃くて純度の高いおいしいジュースができます。

(4) すばらしい切れ味でスリ残しがありません。

独特のツタとすばらしい切れ味のステンレス刃によって、材料をキメ細かくすりつぶし、すり残しがまったくありません。

(5) 透明プラスチック容器

清潔な透明容器を採用してありますから、ジュースのできるようすが一目でわかります。

(6) 使いやすいツタ・大きな投入口

■ 仕様

電 源	100 V 50/60 c/s
消費電力	200 W
定格使用時間	連続
回転数	9,000 回/min (無負荷)
電動機	直巻整流子電動機
重 量	3.3 kg
付 属 品	カス受箱 (ツタつき) 1個 おろし用遠心皿 1個 縮付けネジまわし 1個

小さなポンプで手軽に水を!

三菱マイクロポンプ MP-11 形 新発売

当社では、このたび洗たく機の吸排水用として、家庭での水遊び、庭の撒水用などに利用できる、また持ち運びは片手で楽にできるので、皆様のアイデアを生かせば、水の不便はいっぺんになくなり暮しに夢をあたえるオールプラスチック製の三菱マイクロポンプを新発売いたします。

■ 特長

(1) いつでもどこへでも片手で持ち運びができます。

三菱マイクロポンプは、小形 (3.5 kg) 軽量ですからどこへでも手軽に持ち運びできる暮しに便利なポンプです。

(2) 全合成樹脂ですからアースは不要です。

ポンプケーシング、羽根車をはじめ外部構造がすべてプラスチック製ですから、耐食性がすぐれ美しく軽量で、アースの必要はありません。

(3) 逆止弁を内蔵してあります。

吸込側の室には、ナイロンボール・パッキンからなる逆止弁を設けてありますので、度々の呼び水は必要ありません。

(4) すばらしいポンプ性能

吸上げ高さ 1.5 m で 1 分間に 20 l (50 c/s 地区)、23 l (60 c/s) 地区の水を吸上げます。

(5) クールなデザイン

グレーとレッドのツートンカラーは、レジャーに家庭用にピッタリです。

(6) 取扱いの便利な標準付属品がついています。

■ 仕様

モーター	
種類	コンデンサモーター
電 圧	100 V
周波数	50/60 cs
消費電力	50 c/s—100 W, 60 c/s—140 W
ポンプ	
吸上高さ	1.5 m

押し高さ	50 c/s—2 m, 60 c/s—3.5 m
揚水量 (全揚程 1.5 m の時)	50 c/s—20 l/min, 60 c/s—23 l/min
吸込管径	1.5 mm
吐出管径	1.5 mm
重 量	3.5 kg
標準付属品	バンド、コップル、ストレーナ、吸込みゴムホース (1.8 m) 各 1 個

特別付属品 (¥ 850) ポンプ壁掛け金具、シャワー取付金具、シャワー、噴水ノズル、噴水ノズル ささえ、コック

■ 用途

- (1) 洗たく機の吸・排水用として。
- (2) 庭や温室の撒水用に。
- (3) 家庭での水遊び、シャワー用に
- (4) 自動車の洗浄に。
- (5) 噴水用として池・庭園・喫茶店などに。
- (6) 業務用として…ショウウィンドを飾る水すだれに、金魚屋さんの水の取り換え用に。
- (7) その他



MP-11 形三菱マイクロポンプ
現金正価 ¥ 6,500

ニ ュ ー ス フ ラ ッ シ ュ !

NEWS FLASH!

■ LV-GL 形配電線路用避雷器完成

当社では、昭和5年に配電線路用避雷器としてLV形避雷器の製作を開始して以来、発電機用避雷器生産をも含めた卓越した技術を生かして、配電用避雷器の分野でも幾多の改良をかさね、国内でもっとも実績のあるメーカとして配電線の耐雷施工に寄与している。また、最近の需要増大に備えて量産体制を強化するため昭和38年2月にLV-GA形避雷器を開発し、国内はもちろん輸出用としても多数製作納入し好評を博している。

一方、「配電線耐雷設計基準要綱（電力中央研究所技術研究所）1963年」が発刊されるに及んで、配電線の雷「サージ」発生機構とその保護対策が解明され、耐雷設計指針が確立されたといえるが、今後飛躍的に増大すると考えられる需要に応じるため、量産体制のなおいっそうの強化と特性向上をねらって、このほどLV-GL形避雷器を開発した。LV-GL形避雷器は、LV-GA形とギャップの消弧方式は同一であるが、汚損特性・放電耐量の向上をはかり、小形軽量に重点をおいて改良設計された製品で、JEC-156（1963）の公称放電電流2,500A 避雷器定格を有する。このLV-GL形避雷器は、6.6kV以下の回路用として表に示す定格のものが開発を完了しており、LV-GA形から製作切換準備中で、今後の適用が期待される。

LV-GL 形 避 雷 器 特 性

定格電圧 (許容端子電圧) (kV rms)	使用回路電 圧非有効接 地 (V)	商用周波 放電開始電 圧 (kV rms) 以上	衝撃放電開始電圧 kV crest 以下				制限電圧 kV crest 以下	
			100%		0.5μs		2,500 A	5,000 A
			規格値	標準特性	規格値	標準特性		
※ 0.65	750以下	2.5	—	6	—	—	5	6
1.4	1,100	3	—	8	—	—	7.5	9
2.1	1,650	4	—	10	—	—	11	13
2.8	2,200	5	—	12	—	—	11	13
4.2	3,300	6.9	17	14	20	17	14	16
8.4	6,600	13.8	33	28	38	33	28	32

注※ 適用回路は、交流0~750Vの回路で被保護機器の衝撃耐電圧が7,500V crest以上であれば使用できる。



図1 LV-GL形定格8.4kV 避雷器(S形支持金具付、リード線はドライブで簡単に接続できる。また線路側の磁器フタは着脱自在である)



図2 LV-GL形定格4.2kV 避雷器(腕木に取り付けた場合)

■ わが国最大容量後藤鍛工草津工場納め 1,200 kW 誘導加熱装置完成

タツ(鍛)造や圧延を始めとする熱加工の工場では、設備合理化に応じるため、従来の重油・ガソリンに代わり、生産管理の簡単かつ確実な、誘導加熱装置を採用しつつある。この時期に、当社では1kc、1,200kWのわが国最大の記録容量であるタツ造用誘導加熱装置を完成し、後藤タツ工草津工場に納入した。

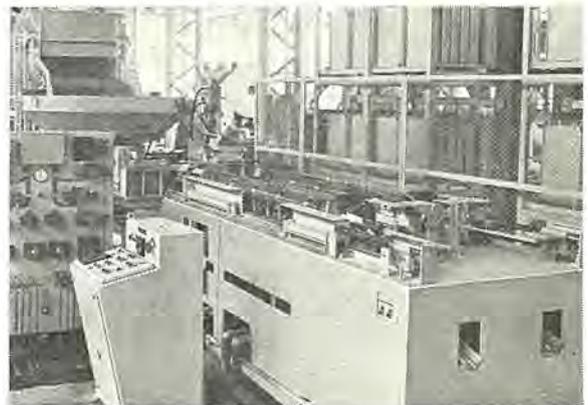
直径50~80φの鋼片がトンネル状の加熱コイルを、2~4分間で通過する間に、1,200~1,300°Cのタツ造温度まで均一に加熱される。鋼片の送りはラッパ式であるため、構造がきわめて強固であり、また加熱中、鋼片が互に溶着しても、新構想の引き放し機構により、確実に鋼片を一つずつ取り出すことができる。

この装置の性能を高めるため、加熱前の鋼片をでストックしておくホッパと、自動的に鋼片を配列させるフィーダを使用している。またプレスには自動搬送装置が取り付けられるので、一度にホッパに鋼片を投入しておく、加熱からタツ造まで全自動・無人にて処理することができる。

さらに加熱中、鋼片が酸化脱炭するのを防ぐため、加熱コイルの中にふんい気ガスを入れるなど斬新な試みがなされている。二列の加熱コイルから短時間に交互に鋼片が加熱され、取り出されるありさまは非常に壮観である。大容量・高効率のこの装置が、今後十分に活躍するものと期待される。

仕 様

- 材質 炭素鋼、特殊鋼
- 加熱物 形状 丸ピレット(角ピレット)
- 寸法 50~80φ(50~80口)、75~300 長さ
- 温度 1,250°C(最高1,300°C)
- 処理重量 最高4,000kg/h
- 電 源 1kc 1,200kVA(600kVA MG 2台並列)



後藤鍛工 草津工場納め 1kc 1,200kW 高周波誘導加熱装置

■ 小田急電鉄納め新方式回生制動電車完成

小田急電鉄 39 年度新車に今回当社で開発した直巻、界磁 $1/4$ 電流回生方式が採用され、その主電動機および制御装置、6 編成分がこのほど完成し、客先立ち合いでの工場等価試験の結果、好成績にて終了し納入された。この新回生制御方式は従来の各方式の種々の問題点を簡単な方法で解決せんとしたもので、力行は従来の直巻電動機の場合とまったく同じで、制動時の界磁電流 $1/4$ として架線励磁の他励分巻発電機とし励磁電流を減らして回生効率を大幅に向上させたものである。

諸元性能は次のとおりである。

電気方式	DC 1,500 V
編成	TcMM'M(T)Tc
自重	M 車 36t Tc 車 26.4t T 車 25t
定員	M 車 162 人 Tc 車 144 人 T 車 162 人
車輪径	M 車 910 mm Tc 車 762 mm

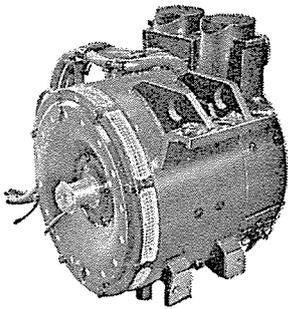


図 1 MB-3095-AC 形主電動機

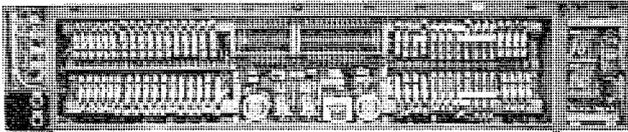


図 2 CB-66C-1 主制御器

主電動機

形名	MB-3095-AC 形 12 台 / 編成
1 時間定格	130 kW 500 V 290 A 1,500 rpm (75% F)
歯車比	92 / 15 = 6.13

制御装置

形名	ABFM-176-15MRH 形
	2 組 / 編成
制御方式	6 個モータ単一制御、回生ブレーキ 応荷重加減速度制御

加速度	2.8 km / h / s (定員の 250% まで一定)
減速度	常用最大 4.0 km / h / s (回生) 非常 4.5 km / h / s

最高運転速度 100 km / h

ブレーキ方式 回生、空気併用方式

おもな特長は次のとおりである。

- (1) 力行時は主電動機は直巻電動機となるので運転特性は一般電車となら変わりはない。
- (2) 回生制動時は電機子 2 回路に対し、 $1/4$ 電流の界磁 1 回路なので励磁損失はきわめて少なく、回生効率は良好である。
- (3) 高速時は直列抵抗を付加することにより大きな制動力を得ている。
- (4) 適当な安定抵抗の使用により電圧変動に対しても問題ない。
- (5) 主電動機の端子電圧は 500 V と通常のものより高くとっているにもかかわらず高速からの回生ブレーキを確保するため、1,250 V という高い過電圧を許容している。また絶縁は界磁、電機子ともに F 種エポキシ樹脂による一体固化絶縁としている。
- (6) 制御装置は超多段式電動カム軸式であるほか、磁気増幅器制御極付シリコン整流器 (SCR) などの全面採用により無接点化を行ない、高性能化とともに保守を容易にしている。
- (7) 回生ブレーキは従来車と同様に単一ブレーキ弁により制御でき、回生ブレーキが消滅したのちは同等の空気ブレーキがかかるようになっている。
- (8) 従来の非回生車との連結運転が可能である。



特許と新案

ケイ光体の輝度を増大させる方法

発明者 河合登・大田重吉

この発明はケイ光放電灯、ケイ光水銀灯、ブラウン管などのケイ光体発光応用の放電管に使用されるケイ光体をヒドロジンの溶液で処理することを特長としたケイ光体の輝度を増大させる方法である。

この発明においてヒドロジンを使用する理由はこの化合物は水素ガスのような強力な還元作用を示さず、ちょうどケイ光体の還元に適合するような還元作用を示すためである。

たとえば、ハロリン酸カルシウムケイ光体においては、その活性体原子でありながら活性体としての作用を示さない原子価5価のアンチモンおよび4価のマンガンはそれぞれ3価のアンチモンおよび2価のマンガンのままで還元され、それ以上に還元されることなく活性中心として十分なる機能を発揮する状態となり、これがために全体としてのケイ光体のケイ光強度を増大させ高い輝度値を与えるに役立つものである。

またこの発明の利点とするところは、ケイ光体塗膜中に仮にヒドロジンが残留したとしてもこれは熱分解が非常に容易である

がために被膜形成後の焼成作業中において無害なガスとなって完全に除去することができることである。

次に本発明実施の一例を示す。

ハロリン酸カルシウムケイ光体の原料をボールミルなどの細碎機にかけて所望する粒度の粒子となす。このケイ光体微粉に濃度5%のヒドロジン水溶液ケイ光体1部に対して1.5ないし2.0部加え30分間カクハシし、次にこの液量1部に対して蒸留水1ないし2部を加え1~24時間静置したる後傾斜洗浄を行ないさらに洗浄前の液量と同一の蒸留水を加えて吸引ロカシ、洗浄後乾燥してこの発明の製品が得られる。ここに得られた乾燥ケイ光体は、普通一般の方法により溶剤および粘結剤と混合され塗布液の形成に使用される。

この実施例によって得られたハロリン酸カルシウムケイ光体の輝度は、粉砕された未処理のケイ光体の輝度を100として106の値を示した。

(特許第 303126 号) (倉屋記)

ケイ光灯の製造方法

発明者 大田重吉

従来、ケイ光灯はケイ光灯管内にケイ光体を塗布し、その結合剤を飛散させるために、これを約650°C付近の温度で焼付け、しかる後、電極を封止し、排気、ベース付の作業を行なって造られることは周知のとおりである。

この発明は、前記工程中、ケイ光体塗布管の焼付け工程終了後に、これをヒドロジン水溶液中に浸漬する処理工程を加え、ヒドロジンの化学的還元力を利用してケイ光体内の活性剤マンガシ、アンチモンをケイ光体にとって有効な活性剤に変化させた後電極の封止、排気、ベース付を行なうことを特長とするものである。さらに、これを詳述すれば、この発明は、まず周知の方法でケイ光体を灯管内に塗布し、乾燥後約620~680°Cで焼き付ける。その後0.1~30%濃度のヒドロジン水溶液中にこれを浸漬し、次に純水中に移し、数分後に引き上げ数分間乾燥する。その後の工程は周知の方法による電極の封止排気、ベース付であって、これらの工程を経てケイ光灯としての完成品をつくる。

次に、この発明の効果について述べれば、この発明を実施した場合、光束出力の増加と光束維持率の改善が得られるものである。また、この発明を実施した場合の付加的な効果としてケイ光膜の管壁に対する付着力が大きくなることが認められている。

この発明を実施した場合に上記のように光束出力の増加と光束維持率の改善が得られる理由は、ケイ光体製造時、塗布液製造時、ケイ光焼付け時に生成され、かつ、ケイ光体にとって有害な高級酸化物 $Mn_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot Sb_2O_5$ などをヒドロジンがケイ光体にとって有効な形の活性剤、 $MnO \cdot Sb_2O_3$ に還元する作用のあること、しかも、この作用はきわめて適当で決して上記高級酸化物を $Mn \cdot Sb$ の金属状態にまで還元しないことなどに起因し、ケイ光体が、その保有する全能力を発揮できるためと考えられる。

(特許第 404356 号) (倉屋記)

次号予定

三菱電機技報 Vol. 38 No. 11

船用電機品特集

特集論文

- 日本国有鉄道青函連絡船の電機設備
 - タービタンカ船の中央制御方式
 - 三菱 Δアリングウインチ
 - 船用多点温度監視装置
 - ディーゼルエンジン用平均有効圧力計
 - ブラシレス交流発電機
 - 船用データロガ
 - 三菱船用テレビジョン装置
- ### 論文
- 関西電力天ヶ瀬発電所 55,000 kVA 水車発電機、運転制御装置および配電盤
 - 関西電力天ヶ瀬発電所 50,000 kW デリタ水車
 - 最近の送電線保護継電装置 (6)
 - 新幹線列車無線旅客電車用設備
 - 全固体化 150 Mc 帯 10 W FM 移動用無線電話装置
 - バイメタル式サーモスタットの解析
- ### 技術解説
- 変圧器用鉄心材料 (その 2)
 - 技術者・研究者と技術情報

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
常任委員	明石精
〃	安藤安二
〃	大野寛孝
〃	河合武彦
〃	小堀富次雄
〃	高井得一郎
〃	中野光雄
〃	馬場文夫
〃	宮内圭次彦
〃	安松靖一
〃	山田榮一
委員	大森淳夫
〃	榎本俊弥
〃	片岡高示
〃	神崎邇介
〃	島津大幸
〃	堀真
	(以上 50 音順)

昭和 39 年 10 月 22 日印刷 昭和 39 年 10 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

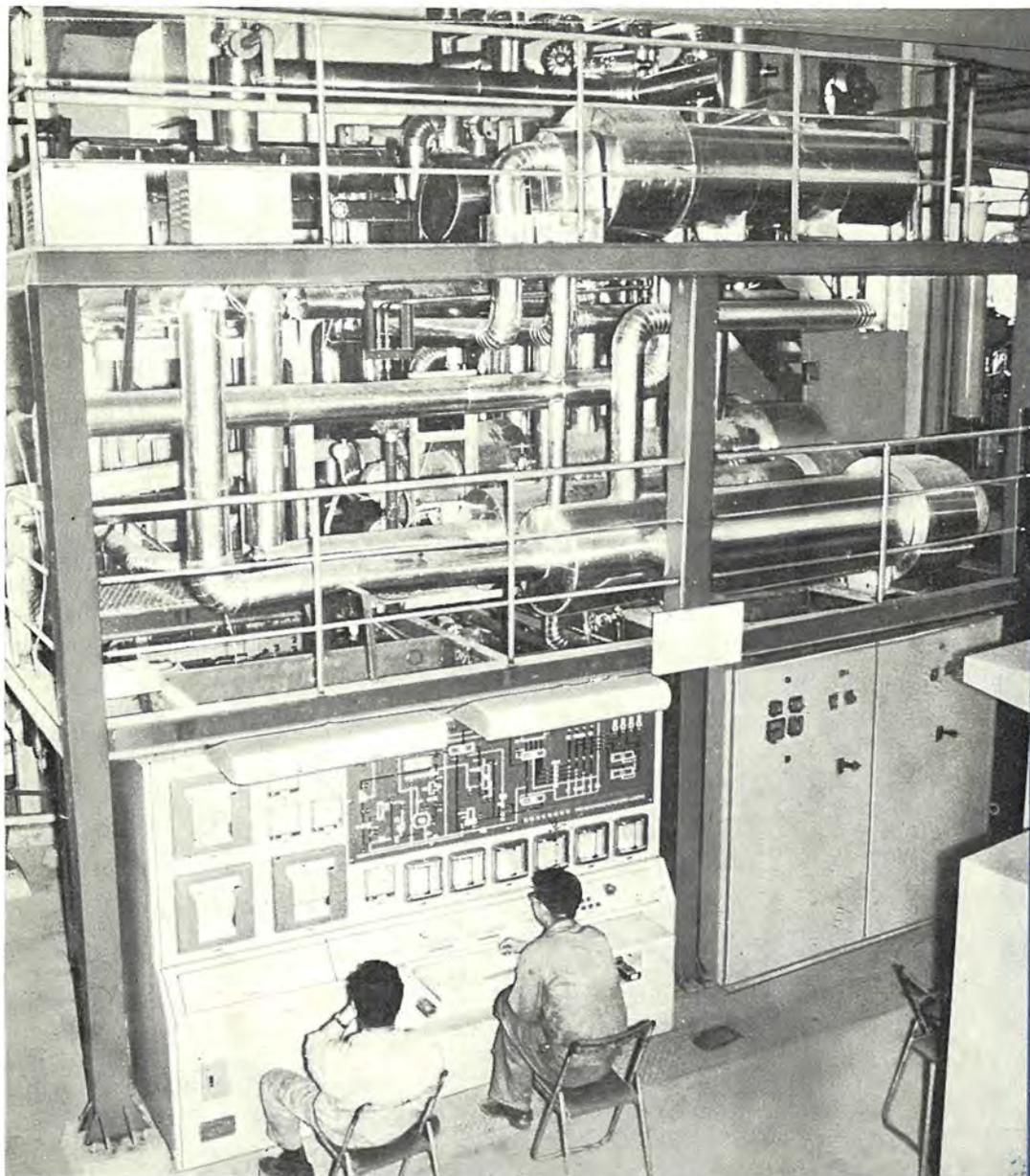
発売元

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

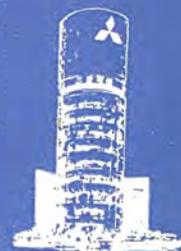
本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

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・名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号 天神ビル 5 階 (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 (26) 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	富山市桜木町 1 番地・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	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 大代表 0001
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・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 2 丁目 12 番地 1 号 天神ビル 5 階 (電) 福岡 (75) 代表 6321
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 (26) 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	富山市桜木町 1 番地・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 4419
高松商品営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
横浜出張所	横浜市神奈川区沢渡 16 高島台第 2 ビル (電) 横浜 (48) 4021 4761
新潟出張所	新潟市万代町 69 番地 (電) 新潟 (4) 643
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
北九州出張所	北九州市小倉区京町 10 の 28・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町 3 番 1 号長崎交通産業ビル (電) 長崎 (2) 0293
岡山出張所	岡山市駅前町 1 の 1 岡山会館 (電) 岡山 (4) 代表 0331
金沢出張所	金沢市幸町 13 番 28 号 (電) 金沢 (31) 6213~4
長野出張所	松本市白坂 212 番地 (電) 松本 (2) 1058・(3) 1453
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) 神戸 (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) 大代表 8021
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 (72) 大代表 5131
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	中津川市駒場町 1 番地 3 号 (電) 中津川 大代表 2121
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 6111
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 太田 代表 4311
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 西山 (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
稲沢製作所	稲沢市字井之口 (電) 稲沢 (32) 代表 4121
鎌倉製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
伊丹工場	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 大代表 5131
鎌倉工場	鎌倉市東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 代表 1531
相模製作所	東京都世田谷区池尻町 437 番地 (電) 東京 (44) 代表 8111
伊丹製作所	三田市三輪町字父々部 85 番地 (電) 三田 4371~4375

● 動水腐食試験装置完成！



動水腐食試験装置



社会と企業を結ぶPR施設
三菱電機スカイリンク

この装置は現在発電用原子炉として最も有利な地位にある軽水炉に使用する金属材料の動的腐食試験を行なうもので、去る6月に500時間の立合試運転を完了した。

この装置は高温高圧水の五つの状態を実現することができ、現在実用されている原子炉はもちろん、将来の原子炉の各部に現われる流体条件と同一条件で試験を行なえるものである。

装置は主循環系と純化給水系および、安定な運転のための計測制御系よりなり、主循環系の設計圧力および最高温度はそれぞれ 124 kg/cm²、420°C で、試験用水は電気抵抗 1×10⁶ Ω·cm 以上の高い値に保たれる。

この装置の主要部は SUS43 ステンレス鋼で作られ、水の循環のための キャンドモータポンプ、総出力 420 kW のヒータ、冷却水の蒸発 7 ヲ (潜) 熱を利用する特殊な予冷熱交換器および コンデンサ、差圧 100 kg/cm² の減圧装置、燃料棒表面やその他の発熱部と同様の試験を行なえる発熱面試験設備および種々の安全装置を備えた制御盤など、新しい方式の装置がいくつか採用されている。

この装置による主要試験流体条件を表に示す。

主要試験流体条件

流体の状態	圧力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	流速 (m/sec)
加圧水	100	300	7
飽和水	100	310	7
気水混合体	100	310	17
飽和蒸気	100	310	20
過熱蒸気	100	420	20