

MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

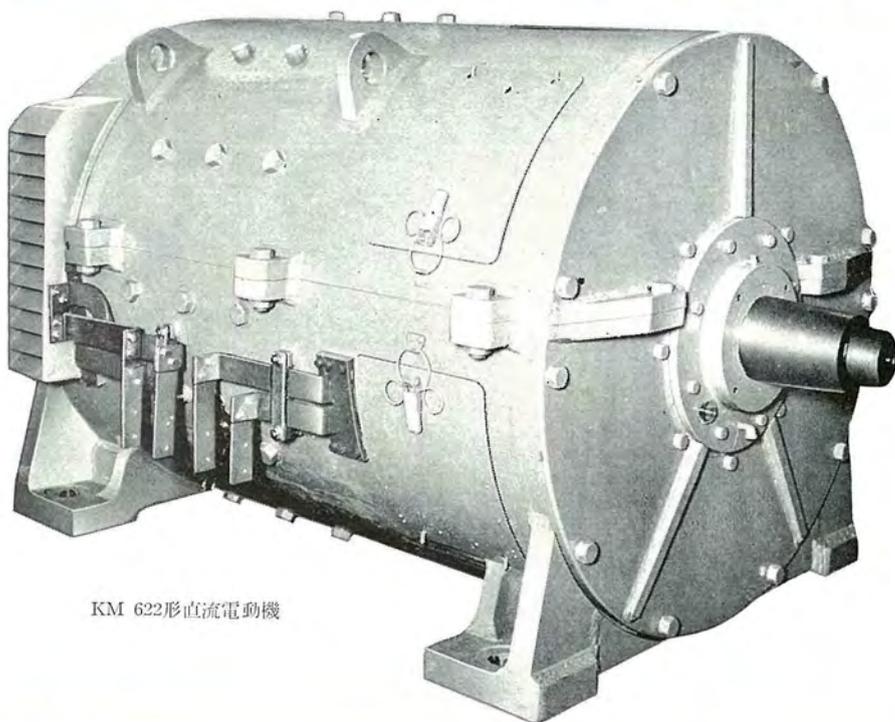
Vol. 36 June 1962

防爆實驗室全景



6

# 圧延補機用 KM形大形直流電動機 完成！



KM 622形直流電動機

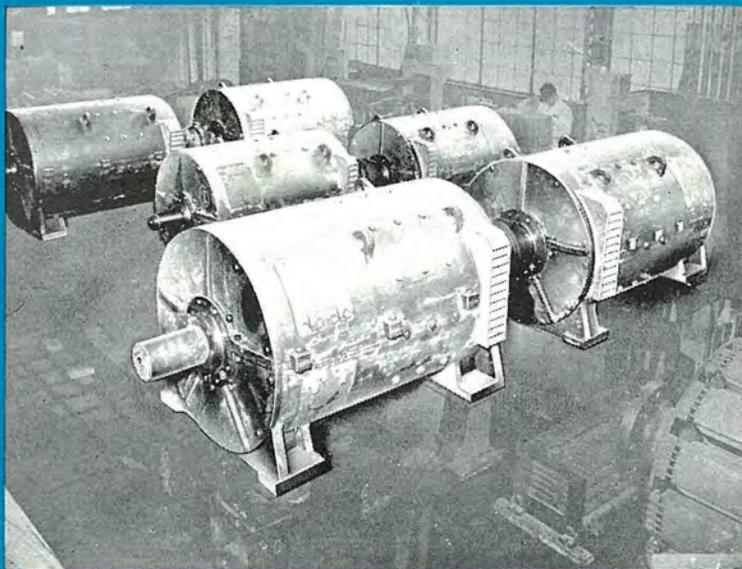
八幡製鉄(堺)納め第3ホットストリップミル用として下記の3ツク番を同時に完成した。これらは JEM 1109 (1961) 規格に新たに追加規定された、大形3ツク番に準拠して製作されたもので、規定の諸条件を満足しているほか、下記のような特長をもつ標準電動機である。

## 仕様

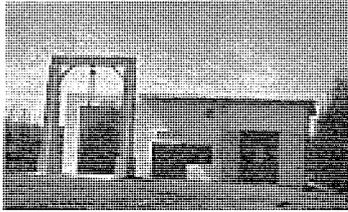
ツク番	出力(kW)	電圧(V)	回転数(rpm)	絶縁	温度上昇(deg)
KM-620	205	220	390/ 975	B	75
KM-622	280	"	360/1,080	"	"
KM-624	370	"	340/1,020	"	"

## 特長

- ① 頻繁な正転・逆転・過負荷などの苛酷な運転に適するよう、電気的・機械的にとくに考慮したがんじょうな電動機で、基底速度における過負荷耐量は 250% 1 分間である。
- ② 電機子の  $GD^2$  を極力減らしているので制御性がよい。
- ③ フレームは丸形二割構造とし、電機子は  $\square$  軸受を軸からはずすことなく、フレームから取出せる。
- ④ 整流子点検窓は、できるだけ大きくとり、またブラシの位置・配列にはとくに考慮を払い、窓からの点検が容易なようにしてある。
- ⑤ 端子の位置・配列は AISE 規格に合せた。



試験中の大形 KM 電動機群 (前列より 624, 620, 622 の各ツク番)



表紙説明

工場防爆，炭坑防爆のための研究試験の必要性増加のため福岡製作所に設置された防爆実験室の全景である。写真に向って左側は開放形爆発試験装置でタンク内容積 27,000l，右側は密閉形爆発試験装置で内容積 1,100l，240l の試験容器各 1 基と内容積 240l の高圧混合容器 1 基を備えている。とくにこの密閉形爆発試験装置は日本における最大のものでありこの装置による研究，試験によって当社の防爆機器の安全性の確認と品質の向上が期待される。



# 三菱電機

昭和 37 年 第 36 卷 第 6 号 (工場防爆機器特筆)

## 目次

工場電気設備の防爆	平野琢磨・林昇寿	2
工場用防爆形三相誘導電動機	秋吉俊男・藤山辰之	8
工場用防爆形制御装置	平野琢磨・下城勇	18
工場用防爆形電気ホイス	藤木博愛・武谷勝次	28
防爆構造電気機器の爆発試験設備	林昇寿・中尾伊三郎・佐藤勝治・小井川茂	33
トレーラ式・シリコン整流器移動変電所		
	糸岡義太郎・亀山三平・横島洋志・佐野善之助・左近一郎・新名昭吉	38
北陸線向け EF 70 形交流機関車	荻野脩・米沢輝雄・相田茂夫	44
列車自動運転のシミュレーション	小原太郎・白庄司昭・真鍋舜治・上村勝彦	52
RH-3 形空港地表面監視レーダ (ASDE)	榎本俊弥・井上義男・森川洋・植田英雄・種田方寿・近藤輝夫	59
低周波制御巻上機用誘導機の過渡トルク	片山仁八郎・甘粕忠男	65
新形電動油ポンプ	杉山昌司・岩田鋼二	70
TA 形交流アーク溶接機	竹内友彦・中山梅雄・鶴飼順	76
エア・カーテンの研究	斎藤春雄・杉原正浩	81
過渡現象解析機 (同期スイッチ式アナコム) の付属装置の半導体化	馬場準一・森本英男	89
マイクロ・プログラム方式による万能論理回路	福永圭之介	95
中性子速度選択機	大野善久・岡本浩一・菟原智・大野栄一・太田和年	102
イオン・電子切換形パン・デ・グラフ形加速器 (VC-3 形) (2)	今村元・滝口高志	109
通信機パネ用洋白材料の溶解時における亜鉛の損失	尾島学二・小倉忠利	112
《技術解説》		
高周波誘導加熱装置 (V) 一高周波用整合変圧器，コンデンサ溶解炉	中村幸雄・荻野脩・南角英男	116
《文献抄訳》		
高効率，変換器回路中のモータ電流でトランジスタを開閉する新方式・宇宙飛行体用電力系統・内部冷却式電力用変圧器・立坑巻上機の自動制御		120
《ニュース・フラッシュ》		
八幡製鉄戸畑製造所納め第 4 冷間圧延機稼働開始・台湾石門発電所納め 57,500/50,000 kVA 水車発電機・若松築港納め 2,250 kW 500 rpm スペリ電磁カップリング完成・1,500 kW レクタフロードライバ・電子軌道追跡記録装置完成・新形交流ウインチの完成・高性能の高速中性子チョップ・セレン化カドミウム光導電セル PZE-31 03・AS プレーキ		123
《特許と新案》		
(特) 高速度シタ断器		127
《最近における当社の社外講演一覧》		58, 101
《表紙》		
2. 圧延補機用 KM 形大形直流電動機完成		
3. 防爆形電気ホイス		
4. 八幡製鉄新洞岡発電所納め水素冷却タービン発電機		

# 工場電気設備の防爆

福岡製作所 平野 琢磨\*・林 昇寿\*

## Explosionproof Measures of Factory Electric Equipment

Fukuoka Works Takuma HIRANO・Shōji HAYASHI

Explosionproof measures of electric equipment means to take preventive means not to cause explosion disaster by sparking or arcing of the apparatus which ignites inflammable gas, vapor or coal dust in plants. Necessary steps for the purpose are to take caution as follows. (1) Ventilation and dust prevention of plants are strictly tried so that gases, vapor or coal dust does not reach concentration dangerous enough for explosion. (2) Electric equipment liable to become a source of ignition must be kept away as much as possible from dangerous atmosphere, and (3) should it needs electric apparatus there, appropriate explosion-proof design must be taken in the construction. If any one of the above three is realized, the danger will be avoided for certain.

### 1. ま え が き

電気設備の防爆とは電気設備が原因となって、可燃性ガス、蒸気または粉じんが引火ないし着火して爆発災害を生ずるのを防止することである。爆発災害が発生すると生産設備の破壊はもちろん、貴い人命の損失を招くのが普通であり、電気設備を爆発の危険ある場所に設置するばあいは点火源とならないよう管理しなければならない。

爆発現象は酸化されやすい物質すなわち可燃性のガス蒸気あるいは粉じんと、酸素すなわち空気の供給と、反応を開始するために必要な熱すなわち点火エネルギーが同時に存在するときに発生するので、この三要素のうち一つでも欠ければ爆発は起こらない。したがって電気設備の防爆にはつぎの点を考慮しなければならない。

(1) ガス蒸気または粉じんが爆発危険濃度に達しないように作業場の換気、通風、除じんを努めること。

(2) 爆発危険場所にはできるかぎり点火源となるおそれのある電気設備を設置しないこと。

(3) 止むなく設置するばあいは、最小限度のものを危険場所の状況ガス蒸気または粉じんの種類に応じて点火源とならないよう考慮された防爆構造のものを選定して設置すること。

近年化学工業のいちじるしい発展によって電気設備の防爆化の必要度が増加してきたので、工場災害を防止するために工場防爆に関する基準ならびに規格があいついで改訂ならびに制定されたことは工場災害防止の面で誠に同慶にたえないところである。

当社では防爆機器の製作について長い経験と豊富な製作実績をもっているが、この機会に当社の防爆機器に対しその概要を説明する。

### 2. 危険場所の電気設備基準

電気設備の防爆については欧米には詳細な基準があるが、わが国では炭坑用として JISC0901 と取締り規則として鉱山保安規則があるのみで、工場電気設備については規格されたものもなく、取締り規則も適切ではなかった。これに関し昭和30年10月労働省産業安全研究所より「工場電気設備防爆指針」(ガス蒸気)が技術指針として発表され、その後これが広く各方面に利用されてき

たが、国内における実績、経験および研究結果などに基づき、改正すべき問題点がでてきた。また国外においてもドイツ規格 VDE 0171/57、英国規格 BS229 などの規格が改正され、さらに IEC でも防爆構造に対する勧告草案などが発表されたので、これらを参考として内外の情勢に対処し、国際的にもトップレベルの防爆規格を作る気運が高まり、昭和36年1月ガス蒸気に関する指針の改正と粉じん危険場所における電気設備の防爆指針が発表された。

さらにこの改正指針中「3000 電気機器防爆構造」は昭和37年1月 JISC0903「電気機器の一般用防爆構造通則」として公示された。つぎに取締りの拘束力をもつ労働安全衛生規則については、爆発災害を防止するため昭和35年11月一部改正が行なわれ、さらに改正指針を骨子として作られた「電気機械器具防爆構造規格」が昭和36年9月30日告示42号として公布され安全衛生規則は全面施行のはこびとなった。

したがって工場防爆電気設備は今後労働安全衛生規則により実施しなければならない。

新防爆指針に準拠して製作された防爆構造の電気機械器具は告示42号「電気機械器具防爆構造」に合格することになっており、旧指針に該当する電気機械器具もこの規格に適合するものとして取扱われるようになっている。

このほかに危険場所における電気設備に関する基準として、電気工作物規程、消防法(政令306号)9条-17項において必要事項が定められている。

### 3. 電気機器の防爆構造(ガス蒸気)

防爆構造の詳細は告示42号、JISC0903、新防爆指針に定められているので説明を省略し必要事項だけ記すことにする。

#### 3.1 ガス蒸気の種類

工場防爆においては、ガス蒸気の種類が非常に多いので発火点によって表3.1のように5等級に、点火波及を生ずるスキの値に

表 3.1 発火度の分類

発火度	発火点の範囲
G 1	450°C 超過
G 2	300°C 超過 450°C 以下
G 3	200°C 超過 300°C 以下
G 4	135°C 超過 200°C 以下
G 5	135°C 以下

表 3.2 爆発等級の分類

爆発等級	スキの奥行 25 mm において 点火波及を生ずるスキの値
1	0.6 mm 超過
2	0.4 mm 超過      0.6 mm 以下
3	0.4 mm 以下

より表 3.2 のように 3 等級に分類する。各種ガスについて発火度と爆発等級により分類した例を表 3.3 に示す。

爆発性ガスが爆発を起こすためには、空気とガスの混合する割合によって決まるもので適当な濃度で混合しているばあい最大爆発圧力を発生し、この濃度よりも上がっても下がっても次第に爆発力は減少し、ついには爆発を起こさない限界に達する。各種ガ

表 3.3 爆発性ガスの分類

爆発等級	発火度	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
1		アセトン・エタン 酢酸 エチル・アンモニア ベンゼン・酢酸 一酸化炭素・メタン メチルアルコール・プロパン トリオール	エチルアルコール 酢酸 アミル ブタン ブチルアルコール 酸化エチレン 無水酢酸	ガソリン ヘキサン	アセトアルデヒド エチルエーテル	
2		エチレン 石炭ガス				
3		水性ガス 水素	アセチレン			二硫化炭素

表 3.4 爆発性ガスの爆発等級、発火度および主要な危険性

物質名	爆発等級	発火度	発火点 (°C)	引火点 (°C)	爆発限界 (Vol. %)	蒸気密度 (空気 = 1)
アセチレン	3	G 2	305	ガス	2.5~81	0.90
アセトアルデヒド	1	G 4	140	-37.8	4.1~55	1.52
アセトン	1	G 1	538	-17.8	2.6~12.8	2.00
アミルアルコール (正)	1	G 2	300	38	1.2~10.0	3.04
アンモニア	1	G 1	630	ガス	16~25	0.58
一酸化炭素	1	G 1	605	ガス	12.5~74	0.976
エタン	1	G 1	470	ガス	3.0~12.5	1.035
エチルアルコール	1	G 2	423	12.8	4.7~19	1.59
エチルエーテル	1	G 4	160	-45	1.9~48	2.56
エチルメチルケトン	1	G 1	516	-1.1	1.8~10	2.48
エチレン	2	G 1	450	ガス	3.1~32	0.975
塩化ビニル	1	G 1	472	ガス	4~22	2.15
オクタン (イソ)	1	G 2	418	-12.2	1.1~6.0	3.93
ガソリン	1	G 3	220~350	66	6.0~13.5	—
キシロール (オルソ)	1	G 1	約 250	-42.8	1.4~7.6	3~4
クロロベンゼン (モノ)	1	G 1	464	17.2	1.0~6.0	3.66
酢酸 (水)	1	G 1	638	29.4	1.3~7.1	3.88
酢酸アミル (イソ)	1	G 2	485	40	5.4~	2.07
酢酸エチル	1	G 1	380	25	1.0~7.45	4.49
酢酸ブチル (正)	1	G 2	460	-4.4	2.5~9.0	3.04
酢酸プロピル (正)	1	G 1	421	22.2	1.7~7.6	4.00
酢酸メチル	1	G 1	450	14.4	2.0~8.0	3.52
酸化エチレン	1	G 2	454	-10	3.1~16	2.56
シクロヘキサン	1	G 3	429	<-17.8	3.0~80	1.52
水性ガス	3	G 1	260	-20	1.3~8.0	2.90
水素	3	G 1	—	ガス	7.0~72	—
石炭ガス	2	G 1	580	ガス	4.0~75	0.069
デカン (正)	1	G 3	649	ガス	5.3~32	—
トルエン	1	G 1	208	47.3	0.8~5.4	4.90
二硫化炭素	3	G 5	536	4.4	1.4~6.7	3.14
ブタン (正)	1	G 2	100	-30	1.25~44	2.64
ブチルアルコール (正)	1	G 2	405	-60	1.9~8.5	2.01
ブチルアルコール (イソ)	1	G 2	340	28.9	1.4~11.2	2.55
フルフラール	1	G 2	425	27.8	1.68~10.9	2.55
フロパン	1	G 1	316	60	2.1~	3.31
ヘキサン (正)	1	G 3	466	ガス	2.2~9.5	1.56
ヘプタン (正)	1	G 3	234	-21.7	1.2~7.5	2.97
ペンゼン	1	G 1	223	-3.9	1.2~6.7	3.45
ペンタン (正)	1	G 3	538	-11.1	1.4~7.1	2.77
無水酢酸	1	G 2	287	<-40	1.5~7.8	2.48
メタン	1	G 1	315	49.6	2.7~10	3.52
メチルアルコール	1	G 1	535	ガス	5.3~14.0	0.554
	1	G 1	464	11.1	7.3~36	1.11

- 注 1. この表の爆発等級および発火度については VDE 0171/57 および VDE 0165/57 によつたほかつぎの資料を参考とした。  
 (1) Nabert, Schön—“Sicherheits technische Kennzahlen brennbaren Gase und Dämpfe”  
 (2) British Standard 229:1957 Table A.  
 2. 発火点, 引火点, 爆発限界, 蒸気密度などについてはつぎの資料を参考とし, とくに危険度の高い値を採用した。  
 (1) 日本化学会; 防災指針  
 (2) National Fire Protection Association: National Fire Codes. Vol. 1 (1960)  
 (3) Factory Mutual Engineering Division: “Properties of Flammable Liquids, Gases and Solids” (1959)  
 (4) 「可燃性液体, ガス, 揮発性固体の火災危険性」  
 3. この表に記載されていないガスの発火度についても上記資料などにより発火点を検討の上その最低値によって決定することが望ましい。  
 4. この表に記載されていない爆発性ガスの爆発等級については逐次調査の上明確にしていく予定であるが, 問題のある場合は労働省産業安全研究所に照会されたい。なお, 爆発等級 3 のガスはきわめて少なく, 特殊なものを除けば爆発等級 2 に対する機器の使用で十分である。したがって実際の選定にあたってはいちじるしい支障は生じないものと思われる。

スの爆発等級，発火度および危険性について表 3.4 に示す。

### 3.2 危険場所

ガス蒸気の爆発するおそれのある場所をガス蒸気危険場所といい，危険性のあり方によって2種類に分類されている。

#### (a) 第1種危険場所

(1) 爆発性ガスが通常の使用状態において集積して危険となるおそれのある場所。

(2) 修繕保守または漏れなどのため，しばしば爆発性ガスが集積して危険となるおそれのある場所。

(3) 機械，装置などの破損または作業工程における誤操作の結果，危険な濃度の爆発性ガスを放出し，この場合同時に電気機器にも事故を生ずるおそれのある場所。

#### (b) 第2種危険場所

(1) 可燃性ガスまたは液体を常時取扱っているが，それらは密閉した容器または設備内に封じてあり，その容器または設備が事故のため破壊した場合，または誤操作の場合だけ漏出による危険の生ずる場所。

(2) 確実な機械的通風により爆発性ガスが集積して危険とならないようにしてあるが，換気装置の異常または事故を生じたばあい危険の生ずるおそれのある場所。

(3) 第1種場所の周辺で危険な濃度の爆発性ガスがときどき侵入するおそれのある場所。

危険場所の決定にあたってはそれぞれの空間の広さ，危険物の種類と量，装置と作業の種類，換気の種類，危険予防装置の有無等を十分検討して行なうべきであり，指針では検討を要する業種および作業場所について具体的に例示してあるが，危険場所の決定にあたっては，指針は最低の基準を示しているということを考慮して決定しなければならない。

### 3.3 防爆構造の種類

防爆構造にはつぎの5種類を認めてある。

#### (1) 耐圧防爆構造 (記号 d)

全閉構造で容器内部でガス爆発を起こしても，その圧力に耐え，かつ火災が外部に逸して引火するおそれのない構造である。したがって容器強度，接合部のスキとスキの奥行，容器外面温度が重要な要素であり規格ではそれぞれの値を規定されている。

#### (2) 油入防爆構造 (記号 o)

火花アークなどを発生しガ스에点火するおそれのある部分を油中に納め，その部分から発生する火花アークを油面上の爆発性ガスと接触しないようにしたものである。

#### (3) 内圧防爆構造 (記号 f)

点火源となるおそれのある部分を容器内に納め，新鮮な空気または不燃性ガスなどの保護気体を容器内に圧入することにより，ガスの侵入するのを防止した構造である。

#### (4) 安全増防爆構造 (記号 e)

運転中に火花アークまたは過熱を生じてはならない部分にこれらの発生するのを防止するように構造上，温度上昇についてとくに安全度を増加した構造である。

安全度を増加させるため巻線の温度上昇限度を 10°C 低くとり，絶縁スキマや沿面距離についても一般品に比べ広くとるように規定してある。

#### (5) 特殊防爆構造 (記号 s)

前述の(1)~(4)以外の方法によって外部の爆発性ガスへの引火を防止できることが試験その他によって確認された構造である。

### 3.4 防爆構造の表示

防爆構造の電気機器には，ガス蒸気の発火度，爆発等級によって表 3.5 のとおり記号が決められているので，これを表示するようになっている。この記号を表示した機器は当該およびそれ以下の爆発等級および発火度のガスに対して安全性が保証されていることを示している。

表 3.5 防爆構造の記号

耐圧防爆構造	d
油入防爆構造	c
内圧防爆構造	f
安全増防爆構造	e
特殊防爆構造	s
爆発等級 1 (0.6 mm 超過)	1
"    2 (0.4 mm 超過 0.6 mm 以下)	2
"    3 (0.4 mm 以下)	3a(水素および水性ガス) 3b(二硫化炭素ガス) 3c(アセチレンガス) ⋮ 3n(すべてのガス)
発火度 G1 (450°C 超過)	
"    G2 (300°C 超過 450°C 以下)	
"    G3 (200°C 超過 300°C 以下)	
"    G4 (135°C 超過 200°C 以下)	
"    G5 (135°C 以下)	

また新指針および JISC0903 に準じて製作されたものは構造の表示とともに新 JIS 番号を名板に記入することとしている。

### 3.5 電気機器の防爆構造の選定

電気機器はそれに表示された危険等級の爆発性ガス蒸気に対し安全性が保証されたものである。しかし防爆構造の種類によって，安全度，保守の難易，経済性にいちじるしい差異があるので実際選定にあたっては使用場所，経済性などを慎重に検討し決定しなければならない。指針では低圧および交流 600 V 以上の電気機器の選定指針および端子箱構造の適用例について詳細に規定している。一般に油入機器はできるかぎり危険場所に設置することを避けるようになっているが，これは事故発生のおそれある油が火災事故を拡大するようなことになりうるからである。

#### 3.5 電気工事の防爆

ガス蒸気の危険場所に電気工事を施行するばあい，電気設備に基因する引火爆発事故を防止するためつぎの事項を定めている。

(1) 第1種場所の低圧電気工事および交流 600 V 以下の電気工事

(2) 第2種場所の低圧電気工事および交流 600 V 以下の電気工事

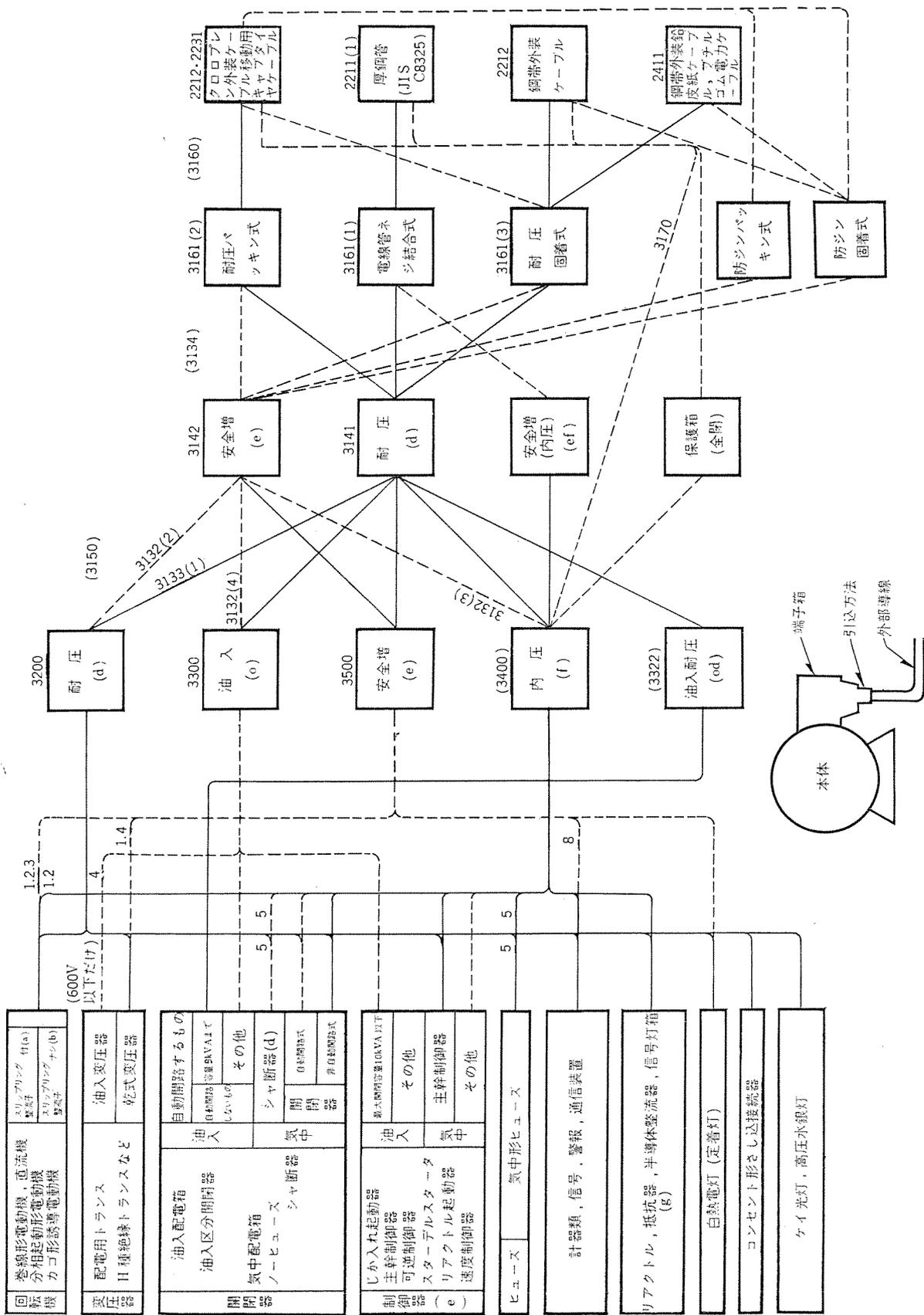
(3) 第1種場所の電気工事

(4) 第2種場所の電気工事

これらは新指針に詳細に規程してあるので省略する。

図 3.1 および図 3.2 は第1種危険場所における電気設備と第2種場所における電気設備のあり方を図解したものである。図は左側より機器の種類，本体の防爆構造，端子箱の構造，引込方法および外部導線をあげ，それぞれの適用されるばあいを示すもので実線で結ばれるものはそのまま使用してさしつかえないばあい，点線で結ばれるものは使用してもさしつかえないがなるべく避けた方がよいばあいを示している。左端の○は高圧機器のばあいだけ適用されるもので，図中の数字は使用されるばあいの条件を示すもので，その内容は“注”を参照しておく必要がある。

機種の種類 本体の防爆構造 端子箱の構造 引込方法 外部導線



(注) (1)~(8)については第2種危険場所と同じである。○ 600V 以上にも適用できる。

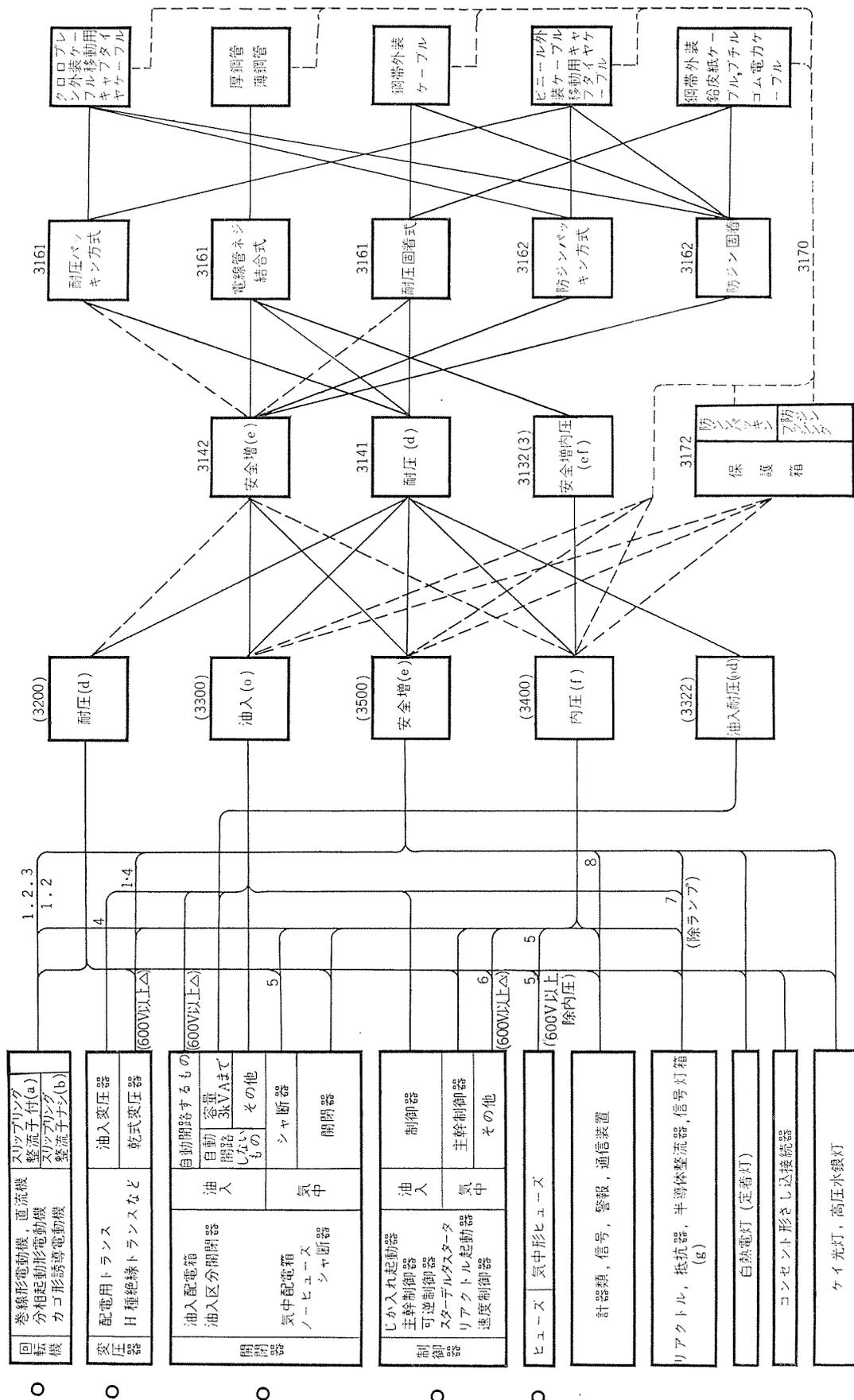
図 3.1 第1種危険場所における電気設備 (ガス蒸気防爆)  
Fig. 3.1 Electric equipment at class 1 dangerous place.

たとえば 5kW カゴ形電動機を第1種場所に設置するばあいをとらげてみる。本体の防爆構造は耐圧または内圧防爆を採用しなければならない。点線で結ばれる安全増防爆については、図では 1・2・3 の数字が記されているがこれは“注”にその条件があげられている。

端子箱は耐圧のばあい耐圧防爆構造となり、引込方法は外部導線が厚鋼管工事であれば、電線管ネジ結合式となる。すなわち第

1 種場所であれば、電動機は本体耐圧、端子箱耐圧、配線工事は厚鋼管工事となる。

安全増のばあいは厚鋼管工事が第1種場所では標準となっているので、端子箱は耐圧となる。使用条件としては電動機の過負荷特性に合った過負荷保護装置を必ずとりつけなければならない。図中の数字は新防爆指針に示される各部分の構造の示す項目の番号である。その詳細については指針を参照していただきたい。



(注) (1) 全閉構造とすること。  
 (4) 過熱または過負荷保護装置を付する。  
 (7) 閉閉部分のないものまたは閉閉部分耐圧防爆構造のもの。  
 (2) 熱過電流継電器などの過負荷保護装置を付すること。  
 (5) 起動用変圧器またはリアクトルを安全増構造としたものを含む。  
 (6) 600V 以上にも適用できる。  
 (3) スリップリング整流子は耐圧または内圧とする。  
 (6) 閉閉部分抽入その他安全増防爆構造のもの。

図 3.2 第 2 種危険場所における電気設備 (ガス 蒸気)  
 Fig. 3.2 Electric equipment at class 2 dangerous place.

#### 4. 粉じんに対する防爆

粉じん危険場所に対する電気設備の安全についてはわが国では具体的な基準がなかったので、米国電気工事規程 NEC Hazardous Location の class II および class III を参考として制定されて

いる。

##### 4.1 粉じんの分類

危険の対象となる粉じんはその種類により 4 種に分類してある。

- (1) 可燃性粉じん
- (2) 爆燃性粉じん
- (3) 導電性粉じん

(4) 可燃性繊維

それぞれの粉じんについて危険の程度により、粉じん危険場所を5種類に分類してある。その詳細は爆発指針を参照されたい。

4.2 粉じん防爆構造の種類

構造上普通防じん構造と特殊防じん構造がある。

(1) 普通防じん構造(記号 DP)

全閉構造で接合面の奥行きを35S以上の仕上程度、奥行き10mm以上でつねに圧力をもって押しつけられる構造とし、またパッキンを使用して粉じんが内部にほとんど侵入しないようにした構造である。

(2) 特殊防じん構造(記号 SDP)

普通防じんよりもさらに防じん効果を増加したもので外傷に対ししょうぶな構造とし、接合面には必ずパッキンを使用することを原則としている。

このほか温度上昇限度と絶縁空間距離などにつき規定されている。

4.3 防じん構造の選定

おもな電気機器の防じん構造の選定指針を表4.1に示す。電気工事については指針に規定されているので省略するが第2種危険場所における工事とはほぼ同じである。

表 4.1 電気機器の防じん構造の選定指針

○印は設置してよいもの、×印は設置してはならないもの

機器の種類	危険場所の種類 防じん構造の種類	爆燃	導電	可燃		繊維	
		特 特 じん	特 普 じん	A 特 普 じん	B 普 全 閉 じん	普 全 閉 じん	全 閉 じん
回転機	スリップリング、整流子などのあるもの	○	○ <sup>1</sup>		○	○	○
	スリップリング、整流子などのないもの	○		○	○	○	○
	変圧器類	×		○	○	○	
	制御用変圧器類	×		○	○	○	○
開閉器	操作用	○	○		○	○	○
	一般用	×	○		○	○	○
電灯	白熱電灯 定着灯	○		○	○	○	○
	移動灯	×	○		○	○	○
	ケイ光灯	○		○	○ <sup>2</sup>	○ <sup>2</sup>	
	高圧水銀灯	○		○	○	○	
	コンセント形さし込接続器	×	×		○	○	
	計器類	○ <sup>3</sup>	○ <sup>3</sup>		○	○	
	信号通信装置	○	○ <sup>1</sup>		○	○	

- 注 1. 火花を発する部分、裸充電部分は特殊防じん構造とし、その他は普通防じん構造とすることができる。  
 2. ケイ光ランプのガラス管部分は、露出したままでもよい。  
 3. 計器は制御回路用開閉器に必要とする場合にのみ特殊防じん構造として使用することができる。  
 4. 回転機、抵抗器、接点部分を普通防じん構造の容器に入れ、その他は全閉構造とすることができる。

5. 漏電による災害防止

漏電による感電、火災、誤操作などを防止する目的で新指針では接地抵抗は10Ω以下に保つことを規定し、電路に地気自動警報器、または地気自動シャ断器を設けることをすすめている。

このほか非接地式電路の採用をすすめているが、これは接地事故の際漏れ電流による災害防止をする上に接地式にくらべ有効であるため、地絡時にすみやかにこれを検出できる感度50mA以下の漏電自動警報器を設ける必要がある。この方式は工場新設の際や改修のばあいなどにぜひ検討してみることが望ましい。

6. 電気設備の保守

いかに立派な電気設備であってもその保守が不十分であれば災害を防止することはできない。保守についてはとくに注意すべきで、耐圧防爆品について述べると、

(1) 防爆面の保守

接合面は傷みやすいので、サビの発生を防止する目的で油脂類を塗布することが望ましい。

(2) 容器の防錆

必要に応じサビ落とし、再塗装を実施すること。

(3) 接続、しめ付部分のゆるみ防止

接続線だけでなく各部のネジしめ付部分のゆるみについては事故の原因となりやすいのでとくに注意すること。

7. 防爆機器の試験

防爆機器の試験方法については、近く改訂案が出されることになっているが、これによって、防爆機器の防爆性ははっきりと試験すべき基準が定められることになる。防爆構造の電気機器は危険場所で使用される関係上、その安全性については最大の保証を要請されるものであるから防爆機器を設備するにあたっては、この試験規格により安全性を確認された十分信頼のおける製品を使用することが大切である。

防爆機器については炭鉱用品のように検定制度が実施されないため、とくに試験設備を新設し、これを高度に活用して十分安全性を保証した電気機器を供給できるようにしている。

8. むすび

防爆電気機器は製造者、電気工事者および使用者の防爆に関する知識と指針で定められた基準を正しく実行することによってその性能を発揮するものであり、勝手な判断や習慣にとらわれてはならない。また災害を恐れるあまり理由なく指針に示されている以上の設備とし高価な設備とする必要はない。

一般工場における爆発事故防止の問題が大きくクローズアップされてきた現在当社の防爆機器の果たす役割はますます大きくなってきた。われわれは今後とも研究を重ね、十分信頼していただけるより優秀な電気機器を製作したいと念願している。

# 工場用防爆形三相誘導電動機

福岡製作所 秋吉俊男\*

長崎製作所 藤山辰之\*\*

## Explosionproof Three Phase Induction Motors for Factory Use

Fukuoka Works Toshio AKIYOSHI

Nagasaki Works Tatsuyuki FUJIYAMA

A guide to explosionproof electric machines for factory use published by the Industrial Safety Research Institute of the Labor Ministry was revised in Jan. 1961. Its paragraph 3000 was made public as the JIS C 0903 named "General Rules for the Construction of Electrical Apparatus for Use in Explosive Gas Atmospheres" in last January. In connection with it, this paper describes main products of Mitsubishi explosionproof three phase induction motors, brief introduction of the rules referred to, and important points of explosionproof problems. It also deals with how the rules are taken up in the company's products and permissible locked rotor time on the safety increased explosionproof type motors that possess the most crucial problem. Lastly, a new product PTC Thermister, a protective device for the motor is presented for the first time.

### 1. ま え が き

労働省産業安全研究所より発表されている、「工場防爆電気設備防爆指針」が昭和36年1月に改正され、ガス・蒸気防爆だけでなく、粉じん防爆が追加され、さらに防爆試験指針が審議中の段階にあるが、本年1月に3,000項の一部が「電気機器の一般用防爆構造通則」、JIS C 0903として公布制定された。一方労働省安全衛生規則中の防爆関係の部分が改正指針を骨子として「電気機械器具防爆構造規格」の名称で昭和36年9月に労働省令第42号として公布された。したがって今後の工場防爆電気設備は労働基準法にもとづく安全衛生規則により実施しなければならず、同防爆規則の中で粉じん防爆関係を除く構造部分が、JIS化されたので今後はすべてそれらの部分はJISの方に依ることとなり、一応の法律的制約の体勢が整ったことになる。これを機会に国内における電気設備の防爆についてさらにいっそうの関心と、大々的な設備改善が促進されつつあるのはよろこばしきことと言わねばならない。思うに炭坑用として従来より制定されていたJIS C 0901「電気機器の防爆構造」および上記の「工場防爆電気設備防爆指針」の活用と、幾多の貴重な経験を基礎とし、さらに欧米におけるすぐれた防爆規格、すなわちドイツのVDE、英国におけるBS規格、米国のNEC、UL規格および国際電気標準会議IECによる防爆規格などのデータを積極的に取り入れて、国際的に高度の新規格、新指針が完成されたわけで、日進月歩の化学工業のあらゆる分野において大きな貢献をなすことであろう。しかしながらガス・蒸気の爆発と言う問題が問題であるだけにいついかなる不測の事態が起こるかもわからないので、絶えず綿密な計画と、実験を行ない、よりすぐれた保護方法の発見と、規格の進歩改良が今後とも続けられなければならないだろう。当社においてもすでに爆発試験設備を完成し、この分野でのさらにいっそうの調査研究態勢を整えた。ここでは新防爆規格に準拠した三相誘導電動機につき説明するが、とくに安全増防爆形電動機において大なる変更が行なわれた。いずれも規格の精神にのっ取って忠実に設計・製作されたものであることは言うまでもない。

### 2. 防爆に関する一般的事項

#### 2.1 対象ガスの分類

工場防爆が炭坑用のいわゆる坑気防爆とまったく異なるのは、対象とする爆発性ガスの種類が異なる点で、坑気防爆では単にメタンを主成分とする1種類のガスであるのに対して、工場防爆は爆発等級すなわち爆発の際ギャップを通じて点火波及を生ずる難易さと、ガスそのものの発火点とによって爆発性ガスを分類し広範囲のガスを対象とするものである。新防爆規格ではこれらのガスの発火点を表2.1のようにG1, G2, G3, G4およびG5の5段階に分類し、また点火波及を生ずるスキの値に従って表2.2

表 2.1 爆発等級の分類

爆発等級	スキの奥行 25 mm において点火波及を生ずるスキの値
1	0.6 mm 超過
2	0.4 mm 超過 0.6 mm 以下
3	0.4 mm 以下

表 2.2 発火度の分類

発火度	発火点の範囲
G 1	450°C 超過
G 2	300°C 超過 450°C 以下
G 3	200°C 超過 300°C 以下
G 4	135°C 超過 200°C 以下
G 5	135°C 以下

表 2.3 爆発性ガスの分類例

爆発等級 \ 発火度	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
1	アセトン エタン 酢酸エチル アンモニア ベンゾール(純) 酢酸 一酸化炭素 メタン メチルアルコール プロパン トルオール	エチルアルコール 酢酸アミル(イツ) ブタン(正) ブチルアルコール(正) 酸化エチレン 無水酢酸	ガソリン ヘキサン(正)	アセトアルデヒド エチルエーテル	
2	エチレン 石炭ガス 水性ガス				
3	水素	アセチレン			二酸化炭素

のように 1, 2, 3 級に区別してある。これに従って代表的ガスを示したのが表 2.3 である。

## 2.2 爆発圧力

対象ガスが爆発を生ずるためには酸素すなわち空気を必要とし、空気との混合割合に下限界と上限界の範囲がある。これらを表 2.4 に示す。爆発圧力は爆発により温度が上昇しその結果ガスの容積が増大して圧力を生ずるのであるが、爆発時間が短いため断

表 2.4 爆発性ガスの爆発等級、発火度および主要な危険性

物質名	爆発等級	発火度	発火点 (°C)	引火点 (°C)	爆発限界 (Vol. %)	蒸気密度 (空気=1)
アセチレン	3	G 2	305	ガス	2.5~81	0.90
アセトアルデヒド	1	G 4	140	-37.8	4.1~55	1.52
アセトン	1	G 1	538	-17.8	2.6~12.8	2.00
アミルアルコール(正)	1	G 2	300	38	1.2~10.0	3.04
アンモニア	1	G 1	630	ガス	16~25	0.58
一酸化炭素	1	G 1	605	ガス	125~74	0.976
エタ	1	G 1	470	ガス	3.0~12.5	1.035
エチルアルコール	1	G 2	423	12.8	4.7~19	1.59
エチルエーテル	1	G 4	160	-45	1.9~48	2.56
エチルメチルケトン	1	G 1	516	-1.1	1.8~10	2.48
エチレン	2	G 1	450	ガス	3.1~32	0.975
塩化ビニル	1	G 1	472	ガス	4~22	2.15
オクタン(イソ)	1	G 2	418	-12.2	1.1~6.0	3.93
ガソリン	1	G 3	220~350	66	6.0~13.5	—
ガソリン	1	G 3	約 250	-42.8	1.4~7.6	3~4
キシロール(オルソ)	1	G 1	464	17.2	1.0~6.0	3.66
クロルベンゼン(モノ)	1	G 1	638	29.4	1.3~7.1	3.88
酢酸(水)	1	G 1	485	40	5.4~	2.07
酢酸アミル(イソ)	1	G 2	380	25	1.0~7.45	4.49
酢酸エチル	1	G 1	460	-4.4	2.5~9.0	3.04
酢酸ブチル(正)	1	G 2	421	22.2	1.7~7.6	4.00
酢酸プロピル(正)	1	G 1	450	14.4	2.0~8.0	3.52
酢酸メチル	1	G 1	454	-10	3.1~16	2.56
酸化エチレン	1	G 2	429	<-17.8	3.0~80	1.52
シクロヘキサン	1	G 3	260	-20	1.3~8.0	2.90
水性ガス	3	G 1	—	ガス	7.0~72	—
水素	3	G 1	580	ガス	4.0~75	0.069
石炭ガス	2	G 1	649	ガス	5.3~32	—
デカン(正)	1	G 3	208	47.3	0.8~5.4	4.90
トルエン	1	G 1	536	4.4	1.4~6.7	3.14
二酸化炭素	3	G 5	100	-30	1.25~44	2.64
ブタン(正)	1	G 2	405	-60	1.9~8.5	2.01
ブチルアルコール(正)	1	G 2	340	28.9	1.4~11.2	2.55
ブチルアルコール(イソ)	1	G 2	425	27.8	1.68~10.9	2.55
フルフラール	1	G 2	316	60	2.1~	3.31
プロパン	1	G 1	466	ガス	2.2~9.5	1.56
ヘキサン(正)	1	G 3	234	-21.7	1.2~7.5	2.97
ヘプタン(正)	1	G 3	223	-3.9	1.2~6.7	3.45
ベンゾール	1	G 1	538	-11.1	1.4~7.1	2.77
ペンタン(正)	1	G 3	287	<-40	1.5~7.8	2.48
無水酢酸	1	G 2	315	49.6	2.7~10	3.52
メタン	1	G 1	535	ガス	5.5~14.0	0.554
メチルアルコール	1	G 1	464	11.1	7.3~36	1.11

表 2.5 Müller Hillebrand による可燃性ガス蒸気の爆発圧力(空気中)

物質名	化学当量 (%)	爆発圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	物質名	化学当量 (%)	爆発圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )
アセチレン	7.75	9.0	水素	29.6	6.7
アンモニア	21.9	4.6	二酸化炭素	6.54	7.17
一酸化炭素	29.6	6.48	ヘキサン	2.16	7.8
エタ	5.66	8.04	ベンゼン	2.72	8.0
エチルアルコール	6.54	5.5以上	メタノール	12.3	6.6
エチルエーテル	3.38	8.0	メタン	9.5	7.23
エチレン	6.54	8.4	酸化水素	12.3	4.6
シアン	9.50	10.68			

熱膨張と考えられている。爆発時の火炎の温度は一応計算することができるが、実測により求めさらにポイルシャルの式を用いて爆発圧力の概略値を推測することもできる。Müller Hillebrand は表 2.5 のような圧力を発表している。

## 2.3 点火波及の速度

爆発圧力は一般のガスで 5~10 kg/cm<sup>2</sup> 程度であるが、その圧力に達するまでに要する時間はさらに危険性がある。たとえば水素は爆発圧力としてはさ程でもないが、これが他のガスに比べ危険であるのは点火波及の速度が速いことが最大の要因である。水素

においては約 8 ms, アセチレンにおいては約 13 ms, エチレンで約 24 ms, ベンゼンは約 48 ms, アセトン・一酸化炭素で約 60 ms, メタンは約 70 ms で最大爆発圧力に達すると言われ、これらの時間が小さければ、時間の 2 乗に逆比例した大なる衝撃値となる。BS 規格は点火波及の速度に注目した、ガスの分類法を採用しているのもこれを重視したからである。

## 2.4 爆発圧力と容積

ガスと空気との混合割合、温度、初圧力が一定の場合、これを爆発したときのガスの容積は温度に比例して大きくなるが、断熱膨張と考えると、爆発圧力は容器の大小によらないことになりそうである。しかし実際には容器が小さければ圧力が上がらない傾向が知られている。これは容器の冷却能力すなわち表面積と容積の比が容積が小さくなるにつれて大となるためと考えられている。

## 2.5 容器接合面のスキと奥行

容器、ここでは電動機の場合、必ずスキが存在する。スキがあれば爆発の際外部に点火波及するが、一定のスキと奥行を取れば、ガスの温度低下と、爆発力をやわらげることがわかっている。なお議論のわかる複雑な問題もあるが、防爆規格においてはもっとも重視しているものの一つである。

## 2.6 防爆構造の種類

### (1) 耐圧防爆構造(記号 d)

爆発性ガスが点火される部分を容器の中に密閉し、容器内のガスの爆発が起きた場合は容器が表 2.6 の圧力に耐え、また容器周辺のガスへ爆発が波及するのを防止する構造を言い、したがって電動機の場合、軸の貫通部とフレーム・ブラケットのハメ合部などが問題となるが、これらの部分のスキと奥行を過去の実験などに

表 2.6 容器の耐圧強度規準(内部圧力: ゲージ)

内容積	2 cm <sup>3</sup> 以下	2 cm <sup>3</sup> をこえ 100 cm <sup>3</sup> 以下	100 cm <sup>3</sup> を越えるもの
爆発等級 1	製作上必要な強さ	8 kg/cm <sup>2</sup> 以上	10 kg/cm <sup>2</sup> 以上
爆発等級 2			
爆発等級 3			

爆発試験により測定した爆発圧力の 1.5 倍ただし最小値は 8kg/cm<sup>2</sup>

表 2.7 静止部分またはまた動く部分のスキおよびスキの奥行(単位 mm)

スキおよびスキの奥行	内容積		2,000 cm <sup>3</sup> をこえるもの			
	2 cm <sup>3</sup> 以下	2 cm <sup>3</sup> をこえ 100 cm <sup>3</sup> 以下	100 cm <sup>3</sup> をこえ 2,000 cm <sup>3</sup> 以下	2,000 cm <sup>3</sup> をこえるもの		
最大スキ(直径差)	爆発等級 1	0.3	0.2	0.25	0.3	0.4
	爆発等級 2	0.2	0.1	0.15	0.2	0.25
	爆発等級 3	0.1	爆発試験において点火波及しない最大スキの 50%			
スキの最小奥行	5	10	15	25	40	
ボルト穴までの最短距離	5	6	8	10	15	

表 2.8 回転軸のスキおよびスキの奥行

スキおよびスキの奥行	内容積		500 cm <sup>3</sup> をこえるもの			
	2 cm <sup>3</sup> 以下	2 cm <sup>3</sup> をこえ 100 cm <sup>3</sup> 以下	100 cm <sup>3</sup> をこえ 500 cm <sup>3</sup> 以下	500 cm <sup>3</sup> をこえるもの		
軸受の最大スキ(直径差)	1	0.45	0.3	0.45	0.45	0.6
	2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4
	3	0.15	※	※	※	※
軸受の最小奥行	1	5	10	15	25	40
	2	5	10	15	25	40
	3	5	10	15	25	40
軸受の最大スキ(直径差)	1	0.3	0.2	0.3	0.5	
	2	0.2	0.1	許容しない		
	3	0.1	※	許容しない		
軸受の最小奥行	1	5	15	25	40	
	2	5	15	25	40	
	3	5	15	25	40	

※ 爆発試験において点火波及しない最大スキの 50%

表 2.9 耐圧防爆構造における温度上昇限度 (°C)

発火度	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
温度上昇限度	320	200	120	70	40

より表 2.7・表 2.8 のように規定している。またたとえ内部に爆発を生じなくとも、運転時およびなんらかの原因により容器外面の温度が、ガスの発火点に近づけば危険であるので表 2.9 のとおり容器外面の温度上昇限度を規定している。

(2) 内圧防爆構造 (記号 f)

点火源となるおそれのある部分を容器内に納め、新鮮な空気または不燃性ガスなどの保護気体を容器内部に圧入することにより、運転開始前に容器内部に侵入した爆発性ガスを駆逐するとともに、引続いて運転中にこれらのガスが侵入しないようにしたもので、この構造には通風式と封入式とがあり前者では、運転開始前容器の 5 倍以上の内容積の保護気体で容器内を清掃し、運転中は周囲圧力より水柱 5mm 以上高く保持しなければならない。後者は保護気体を封入して内圧を保持する構造で、両者とも気体圧力が規程圧力より低下する場合、警報または運転を停止させるなどの保護装置が必要である。内圧防爆構造は大形電気機器や爆発等級 3 に属するガスなどに対して採用されるものであるが、送風装置、監視装置などを必要とするので一般に高価なものとなるが、大容量機は安価となり将来は相当使用されるものと思われる。

(3) 安全増防爆構造 (記号 e)

常時運転中に火花・アークまたは過熱を生じてはならない部分にその発生をとくに防止した構造で、とくに規格では定格負荷時の温度上昇限度を適用規格の規準値より 10°C 低く取り、防爆指針では定格電圧で拘束されたときの固定子・回転子の温度上昇限度を規定しているので当社ではこの点にも十分考慮を払い設計している。その他機械的に接触防止の方法を講ずるなどの考慮を払わねばならない。とくに低圧回転機および裸充電部分・絶縁充電部分は全閉構造を要求されている。高圧回転機では例外が認められている。その他充電部相互間・充電部とアース間・充電部と接触しやすい部分などにおける漏れ電流を防止するため一定の沿面距離・空間距離の規定がある。問題となるのは主として端子箱・巻線形の場合のスリップリング部分である。なお耐圧防爆形の場合も同様の距離を取るようきめられている。安全増防爆形の場合は構造部分の爆発強度は保証されていないので危険度の高い場所での使用は禁止されているので注意しなければならない。BS 規格、UL 規格などには安全増防爆構造がないが、VDE には規定されており、わが国は VDE の流れをくんでいるもので安全増防爆の存在価値については十分議論・検討されつくしたものである。英米よりの輸入プラントの際、まれに問題化されることがある。

(4) 特殊防爆構造 (記号 s)

(1)~(3) の方法以外によって、外部の爆発性ガスに引火を防止できることを試験などにより確認した構造を言い、将来新しい構造の発展の意味を含ませたものと考えられる。

2.7 危険場所と防爆形電動機の選定

ガス蒸気危険場所とは空气中に爆発または燃焼をするに十分な量の爆発性ガスが存在する場所のことであるが、この場所の選定は問題の性質上きわめて難しいと言わざるをえない。すなわちガスの濃度、ガスの種類、場所の状況を勘案し必要にして十分な限度を決めるのが経済的な点からも良いわけであるが、実情は必ずしも明確でない。従って一応これらを防爆指針では第 1 種場所、第 2 種場所の 2 種類に分類している。

(1) 第 1 種場所

(a) 表 2.3 のような爆発性ガスが通常の使用状態において集積して危険となるおそれのある場所

(b) 修繕、保守または漏れのため、しばしば爆発性ガスが集積して危険となるおそれのある場所

(c) 機械、装置などの破損または作業工程における誤操作の結果、危険な濃度の爆発性ガスを放出し、この場合同時に電気機器にも故障を生ずるおそれのある場所

(2) 第 2 種危険場所

(a) 可燃性ガスまたは可燃性液体を常時取扱っているが、それらは密閉した容器または設備内に封じてあり、その容器または設備が事故のため破損した場合または操作を誤った場合にだけ漏出による危険の生ずる場所

(b) 確実な機械的換気装置により、爆発性ガスが集積して危険とならないようにしてあるが、換気装置に異常または事故を生じた場合は危険の生ずるおそれのある場所

(c) 第 1 種場所の周辺または隣接する室内で、危険な濃度で爆発性ガスがときどき侵入するおそれのある場所

これらの危険場所にいかなる種類の防爆形電動機を選定すべきかは、危険場所の判定よりは問題がないと考えられるが、危険場所そのものの決定が場合によっては議論の分かれるところとなることもあることを考えれば、やはり重大なことがらと言わざるをえない。防爆指針では回転機に対して表 2.10 ように規定している。

表 2.10 危険場所に対する電動機選定規準

防爆構造の種類 回転機の種類	低圧・高圧とも					
	第 1 種危険場所			第 2 種危険場所		
	耐圧	内圧	安全増	耐圧	内圧	安全増
巻線形	○	○	△ <sup>1・2・3</sup>	○	○	○ <sup>1・2・3</sup>
カゴ形	○	○	△ <sup>1・2</sup>	○	○	○ <sup>1・2</sup>

1. 低圧の場合 全閉構造のこと
  2. 低圧の場合 過負荷保護装置をつけること
  3. スリップリング部分は耐圧または内圧とすること
- 印: 適するもの △印: なるべく避けたいもの

2.8 電気機器と外部配線との接続

電気機器と外部配線との接続は機器に付属した端子箱を通じて行なうことになっているが、内圧防爆構造および第 2 種場所に固定して使用される安全増防爆構造の機器の場合は直接接続または保護箱を通じて行なってよいことになっている。その適用表を表

表 2.11 端子箱の適用表

防爆構造の種類 電動機本体記号	端子箱記号	危険場所および接続方式			
		第 1 種		第 2 種	
		電線管	ケーブル	電線管	ケーブル
d	d	○	○	○	○
	e	×	△	△	△
	直接接続	×	×	×	×
e	d	○	○	○	○
	e	×	○	○	○
	直接接続	×	×	△	△
f	d	○	○	○	○
	e	×	△	△	△
	e(f) 直接接続	○	○	○	○
		△	△	△	△

○印: 適するもの △印: 使用してもよい ×印: 不適  
e(f): 内圧の加わる安全増防爆構造

表 2.12 端子箱より電動機本体への導線引込み

電動機本体の 防爆構造: 記号	端子箱の防爆構造: 記号	
	d	e
d	耐圧スタッド式	防ジンスタッド式、防ジンブッシング式 防ジンパッキン式、防ジンクランプ式 防ジン固着式
f	耐圧パッキン式	
e		

表 2.13 外部導線の耐圧防爆構造の端子箱の引込み

導線引込方式	外部配線工事方式			
	厚電線管	銅帯鍍装ケーブル	クロロブレン外装ケーブル	移動用キャプタイヤケーブル
電線管ネジ結合式	○	—	—	—
耐圧パッキン式	—	—	○	○
耐圧固着式	—	○	○	×

○印：適するもの ×印：不適

表 2.14 外部導線の安全増防爆構造の端子箱への引込み

導線引込方式	外部配線工事方式			
	薄電線管	銅帯鍍装ケーブル	クロロブレン外装ケーブル	移動用キャプタイヤケーブル
電線管ネジ結合式	○	—	—	—
防ジンパッキン式	—	—	○	○
防ジン固着式	—	○	○	×

○印：適するもの ×印：不適

2.11 に示す端子箱より電動機本体に導線を引込む場合は表 2.12 に示し、外部導線を端子箱に引込む方式は表 2.13、表 2.14 に示す。なお直接接続方式については省略する。

### 2.9 防爆構造の表示

防爆構造の表示はその記号を表示した電動機が、該当のまたはそれ以下の爆発等級および発火度のガスに対してその安全性が保証されていることを示すもので、防爆構造の種類、表 2.1 による爆発等級、表 2.2 による発火度の順に示すことになっている。ただし安全増・内圧防爆構造のように爆発等級に関係なく適用される構造のものは省略し発火度だけとしている。しかしここで注意しなければならないのは安全増防爆構造の一部に耐圧防爆構造または内圧防爆構造などが含まれている場合には ed または ef と表示したとえば、安全増防爆の電動機で本体が G1 のガスを対象とし、端子箱が爆発等級 2 級、発火度 G2 のガスを対象とする耐圧防爆構造である場合は全体として ed2G1 と表示する。その他防爆指針ではとくに安全増防爆形の場合後に述べる許容拘束時間と拘束電流を表示するように決められているので当社電動機はこれを表示している。

### 3. 耐圧防爆形電動機

当社の工場用耐圧防爆形電動機のおもなるものは主として構造上から見ると大別してつぎの 3 種類があげられる。

#### 3.1 XF 形低圧カゴ形耐圧防爆形誘導電動機

XF 形は発火度 G3、爆発等級 1 級を標準としているが d2G4 まで製作している。いずれも JEM 1110 による外形寸法を採用し、容量的には 4 極を例にとり約 70 kW までであるが構造的には 22 kW を境として若干異なっている。つぎにおもな特長・構造を説明する。一般に小形機は量産に適し、長寿命で取扱いが簡単、構造の単純化が望まれ、XF 形はこれらの条件を考慮して設計されている。

##### (1) 外部構造

フレーム・ブラケットなどの外部構造には強力な鋳鉄を使用し、すべて 10 kg/cm<sup>2</sup> の爆発圧力に耐えるように設計してある。その 2,000

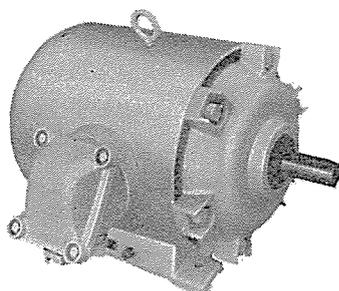
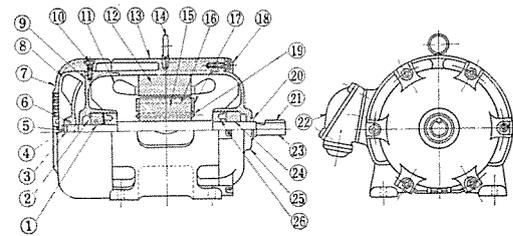


図 3.1 XF 形三相誘導電動機  
Fig. 3.1 Type XF three phase induction motor.



品番	品名	品番	品名	品番	品名
1	ボールベアリング	10	エンドカバー締付ボルト	19	回転子鉄心
2	調整座金	11	固定子コイル	20	フリンジヤ
3	座金	12	固定子鉄心	21	軸端キー
4	爪付座金	13	ワク	22	端子箱
5	ファン締付ボルト	14	アイボルト	23	軸
6	ファンキー	15	回転子鉄心	24	ボールベアリング
7	エンドカバー	16	ローターバー	25	負荷側ブラケット
8	ファンブラケット	17	エンドリング	26	防爆環
9	反負荷側ブラケット	18	ブラケット締付ボルト		

図 3.2 XF 形誘導電動機構造図

Fig. 3.2 Type XF induction motor constructional drawing.

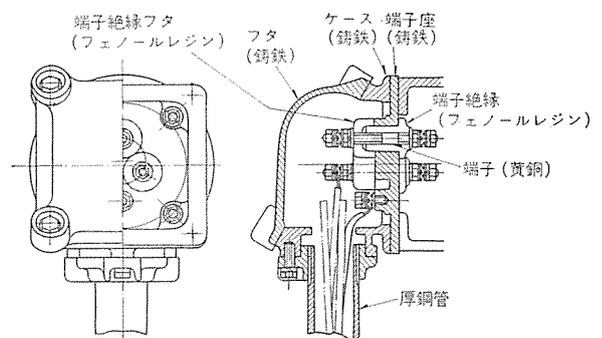


図 3.3 耐圧防爆形端子箱

Fig. 3.3 Pressure-resistant explosionproof terminal box.

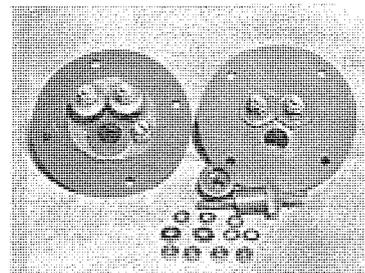


図 3.4 XF 形端子および端子座

Fig. 3.4 Type XF terminal and terminal seat.

フレーム以下の外観は図 3.1 のとおりである。

##### (2) 軸貫通部

軸貫通部のスキおよび輿行は図 3.2 の品番 26 に示す防爆環により保持し、2 級防爆の場合はこの防爆環を取換えることにより簡単に 2 級となる。

##### (3) 端子箱

厚鋼電線管付を標準としているが、銅帯鍍装ケーブル用耐圧固着式引込口、耐圧パッキン式、移動用キャプタイヤケーブル用ベルマウス式、パッキン式引込口のいずれも取付け可能な構造にしてある。ケースは十分な耐圧防爆構造で、端子は図 3.3 のようなスタッド式引込方式で 1 本ごとに貫通導体を絶縁物と一体とした構造で個々に取換え可能で図 3.4 のような六角の絶縁座で回り止めにしてある。

##### (4) 軸受部

JEM 1110 による 2,000 フレームまでは広幅のフォアウェイシールボールベアリングを採用している。この特長はグリス封入量が多くつねに新しいグリスを長期にわたって供給できる構造である、2 枚のシールプレートにより 2 重シールをしてあるので外部よりの異物の浸入と油洩れの防止になりさらに寿命を延長できる。グリスはリチウム系を採用している。またベアリングの外輪とハウジングのはめ合わせ

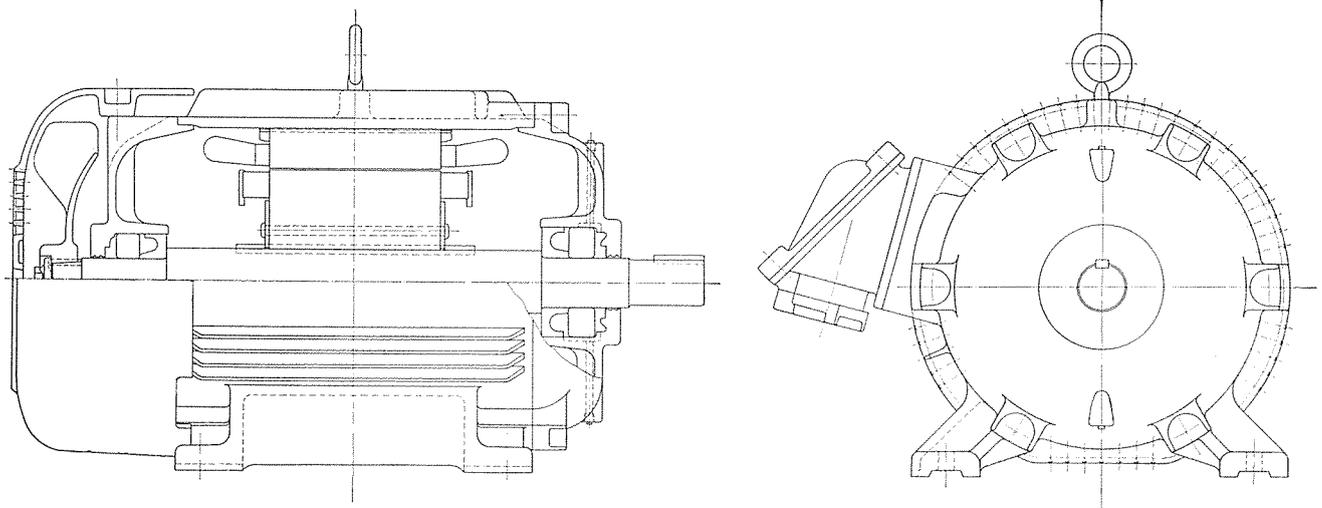


図 3.5 XF 形組立断面図 (2,200 フレーム 以上)  
Fig. 3.5 Type XF motor cross sectional view.

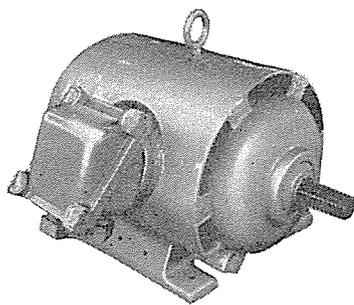


図 3.6 取付ボルトは防食パテで埋込む  
Fig. 3.6 Foundation bolts are covered by corrosionproof putty.

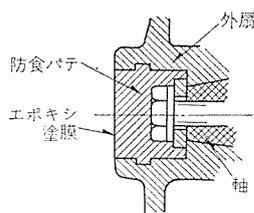


図 3.7 軸端の外扇取付構造  
Fig. 3.7 Mounting of external fan to shaft end.

は適当にゆるくし、反負荷側の外輪に プレロードスプリング を装着する合理的な構造である。2200 フレーム 以上は オープンボールベアリング を使用し図 3.5 のような構造である。

#### (5) 防食構造: 形名 CFX 形

一般に防食構造を必要とする場合は、それに付随して防食性を要求されることが多い。したがって XF 形は簡単な処理により完全な防食形となるようにつぎのような考慮を払って設計してある。

△外部構造が鋳鉄製で表面を平滑になるように努めた。

△ボルト・ナット 類の軟鋼製品は耐食メッキを施す。

△防爆錠締構造を利用し ナット 類を防食パテで埋め込むこともできる。この実用例が図 3.6 である。

△外扇締付ボルトの部分は図 3.7 のように軸端をテーパーにして分解に便利な構造とし、また防食パテで埋め込むこともできる。

△軸貫通部には図 3.2、品番 20 の位置に防食合成ゴム製のワッパをつけ、軸受を保護している。

△防食塗装は鋳鉄の表面に 5 層、内面に 4 層のエポキシ系塗料を施せば完全防食となる。

△固定子コイルをさらに保護したいときは、当社独特のポリエステル系のダイレジンで完全にモールドに近い保護層を形成することもできる。このとき形名は CFX-D 形として区別する。

△A 種絶縁物はすべてマイラを主体とした耐熱・耐食性にすぐれたものを使用している。

#### (6) 屋外形: 形名 XF-W 形

近年建家が省略できるという経済的理由、および防爆条件を緩和する目的などで電気機器を屋外形化する傾向があるが、防食形の場合も同様であるように屋外使用の場合はとくに防爆面の保護に十分な注意を与えておかなければ規定の防爆スキの信頼度が問題になってくる。JEM の防爆委員会においても重要視しているが XF 形は完全な屋外カバーを付し、軸貫通部はオイルシールを追加するなどの万全の考慮を払っている。なお防爆面はうすく不乾性のグリースを塗って組立てる。

#### 3.2 SFA-X 形大形カゴ形耐圧防爆形誘導電動機

図 3.8 は SFA-X 形耐圧防爆形誘導電動機の構造図を示す。この電動機は固定子フレームおよびブラケット外面に多数の放熱用リウを設け、電動機内部に発生した熱量は、すべて固定子フレームおよびブラケットに伝わり、軸端に取付けられた外部ファンによる冷却風で放散される構造のものである。

##### (1) 固定子フレームおよびブラケット

固定子フレームおよびブラケットは鋳鉄製であって、規格に示されている内部爆発圧力には十分耐える肉厚を持っている。また固定子フレームとブラケットの接合面は、規格に示される値以上に取りしており、火炎逸走防止の安全性を増している。

##### (2) 軸受部

図 3.9 は SFA-X 形耐圧防爆形誘導電動機の軸受構造を示す。軸受にはころがり軸受を使用し、軸貫通部の防爆性を保持するために防爆環を取付けている。また連続運転中にグリースを入換えることが可能な構造としている。屋外形電動機となった場合には、防水用シールを取付けた構造とし、水の侵入を防止する構造にすることができる。

##### (3) 端子部分

端子箱は耐圧防爆構造を標準としている。端子箱より電動機内部への導線引込口は、耐圧スタッド式引込方式を標準としており、その構造は図 3.10 に示す。

端子箱は鋳鉄製とし、内部爆発圧力には十分耐える構造にするとともに、沿面距離、空間絶縁距離なども十分取り安全性を増している。外部より端子箱への電線引込方式は、コパウンド固着式、耐圧パッキン式のいずれにもすることができる。また、電線の保護として電線管を使用する場合には、小部品を取換えるだけで電線管をねじ込むことができるようにしている。

端子箱の取付は電動機の大きさにより、横向きあるいは立向き

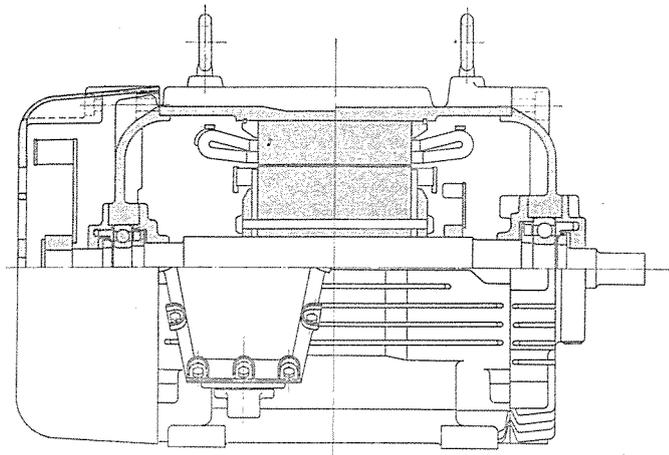


図 3.8 SFA-X 形組立断面図

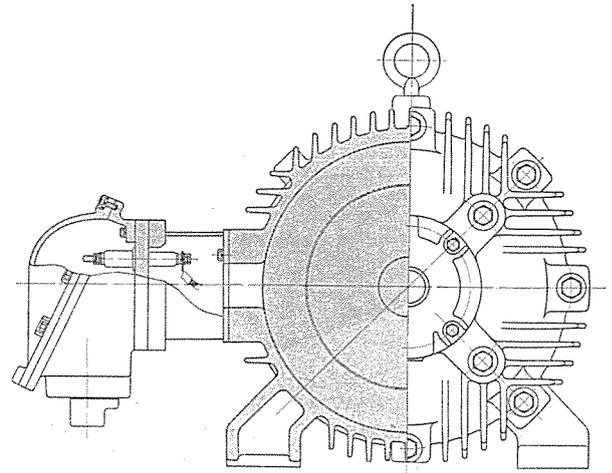


Fig. 3.8 SFA-X motor cross-sectional view.

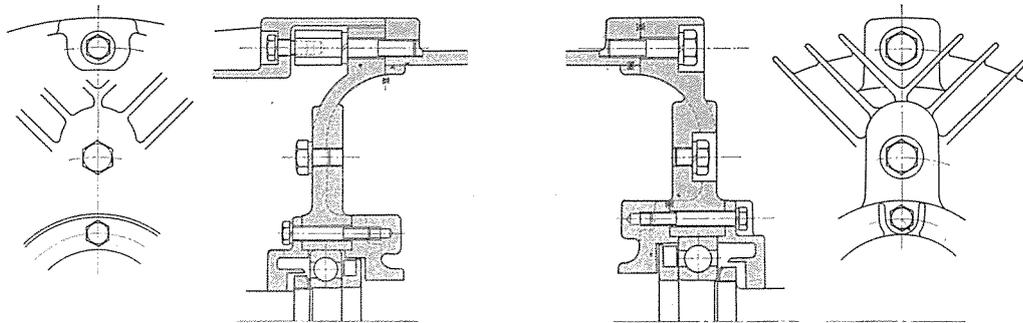


図 3.9 SFA-X 形軸受構造図  
Fig. 3.9 Bearing construction drawing of type SFA-X.

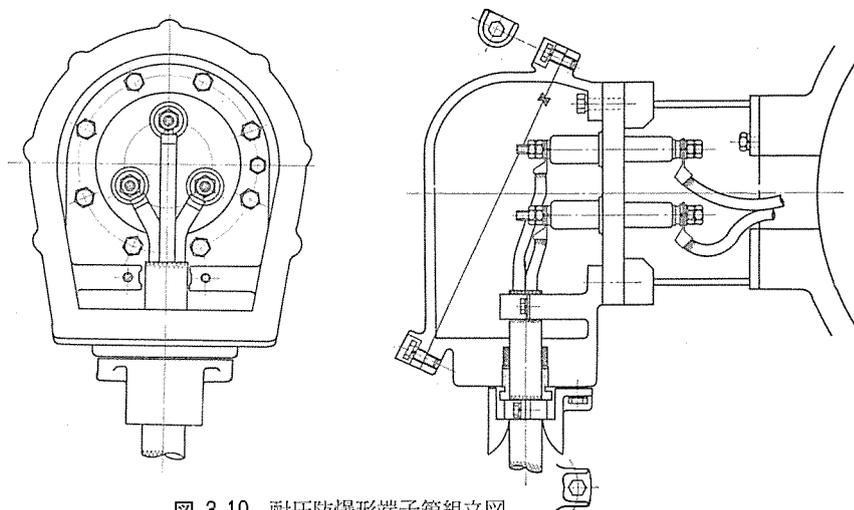


図 3.10 耐圧防爆形端子箱組立図  
Fig. 3.10 Assembly of pressure-resistant explosionproof type terminal box.

を標準としているが、これらはいずれも 90 度ピッチで、端子箱の向きを変えることができる構造としている。

### 3.3 大容量 MKT-X 形, MST-X 形 耐圧防爆形誘導電動機

図 3.11 は MKT-X 形誘導電動機の構造図, 図 3.12 は外観を示す。この電動機は固定子鉄心外周に多数の冷却管を配置し、外部 ファン により発生した冷却風はこの冷却管内部を通り他端より排出され、一方内部 ファン およびエアダクト によって発生した冷却風は、電動機内部の熱をうばい冷却管の間を通過してふたたび内部 ファン へと循環する。この場合冷却管によって外気と

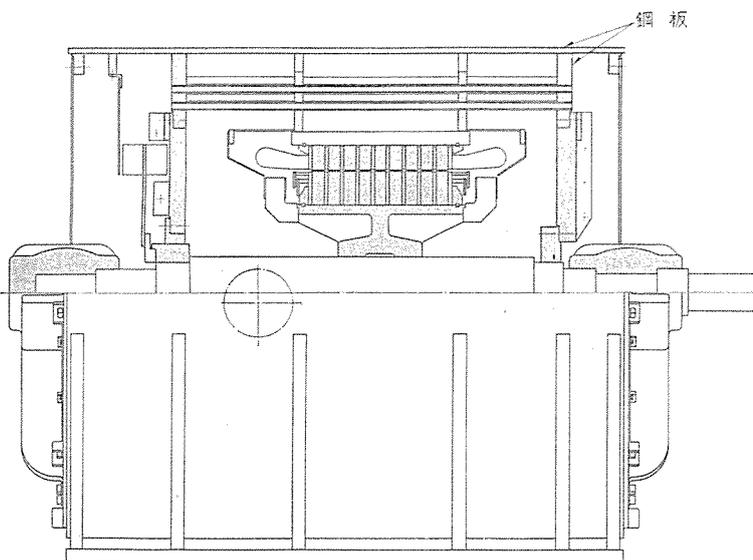


図 3.11 MKT-X 形組立断面図

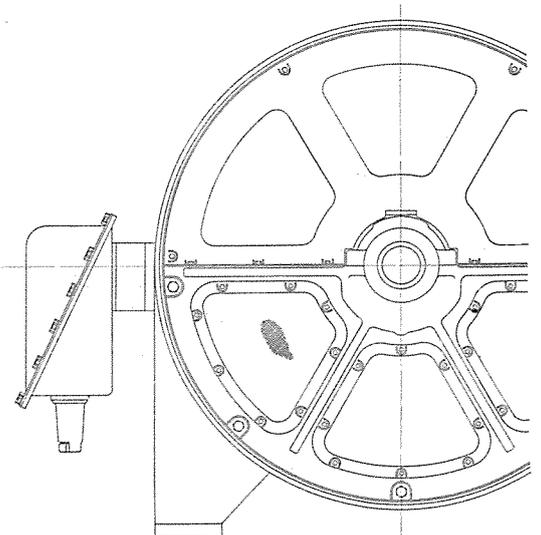


Fig. 3.11 Type MKT-X motor cross sectional view.

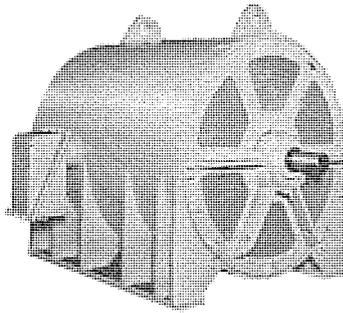


図 3.12 MKT-X 形耐圧防爆形銅冷却管付全閉外扇形誘導電動機 150kW 3,300V 60 c/s 12 P 600 rpm  
Fig. 3.12 Type MKT-X pressure-resistant explosion-proof totally enclosed induction motor with copper cooling pipe.

内気の熱交換が行なわれ、電動機を冷却する構造となっている。

(1) 固定子フレーム

固定子フレームは鋼板溶接構造で、外周壁(背板)および管板、管板に取付けられ内気と外気をシャ断する仕切板は、内部爆発により生ずる圧力に十分耐える強度を有している。また仕切板の軸貫通部は規定によるスキマおよびスキマの奥行きを有するように防爆環を取付けている。

(2) 軸受部分

MKT-X 形(カゴ形), MST-X(巻線形) 形はスリーフ軸受を標準としているが、ころがり軸受とすることもできる。スリーフ軸受の場合は、軸受、ブラケットとも鋳鉄製で、二つ割りの構造となっているので、軸受の分解、点検に便利である。なおブラケット部分は直接防爆性保持に必要な箇所とはいえないが、取付ボルトの錠縮構造とすることにより、仕切板の防爆性を保持する構造としている。

(3) 端子部分

SFA-X 形と同様に端子箱より本体への引込口は、耐圧スタッド式を採用している。端子箱は鋼板溶接製とし十分な強度を有するとともに、絶縁距離も十分な値をとっている。外部電線の端子箱への引込口の構造についても、SFA-X 形のもと同様である。

4. 安全増防爆形電動機

安全増防爆形電動機の特異性として、先に述べたように温度上昇限度が 10°C 低い点、および指針によるとガスの発火度に応じた許容拘束時間が決められている点および必ず過負荷保護装置を設けなければならないことなどがあげられ、設計上多くの考慮を払わなければならないのでこれについて先に述べる。

4.1 温度上昇限度

温度上昇限度が 10°C 低い点、耐圧防爆形に比し、冷却効果を良くするか、電気的設計内容を余裕のある設計にするなどの対策が必要になるが、小形電動機では国内的に外形寸法の統一をはかるという線で JEM 1110 がある点もあり、あまり外形寸法を上げることは製作者によりまちまちになりがちであるため JEM 委員会では安全増防爆形電動機の寸法統一が計られ、A 種絶縁、E 種絶縁 4P, 6P について一応 JEM 1110 通りで決定の段階にある。当社もすでにこの線で作成している。なお将来汎用 E 種絶縁の外形寸法統一が考えられているので、当社は A 種絶縁の線で作成していることを付記する。

4.2 許容拘束時間:  $t_m$

許容拘束時間とは初温度 40°C で、回転子を拘束し、定格周波数、定格電圧を加えた場合の温度上昇が表 4.1 の値に達するまでの時間  $t_m$  (固定子、回転子いずれか短い方) をいい、このときの

表 4.1 許容拘束時間に対する温度上昇限度 °C

	絶縁階級	温度上昇限度				
		G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
固定子および絶縁した回転子巻線	A	120- $\theta$	120- $\theta$	120- $\theta$	85- $\theta$	50- $\theta$
	E	135- $\theta$	135- $\theta$	135- $\theta$	85- $\theta$	50- $\theta$
回転子巻線	B	145- $\theta$	145- $\theta$	140- $\theta$	85- $\theta$	50- $\theta$
	F	170- $\theta$	170- $\theta$	140- $\theta$	85- $\theta$	50- $\theta$
	H	195- $\theta$	195- $\theta$	140- $\theta$	85- $\theta$	50- $\theta$
絶縁してない回転子		350- $\theta$	230- $\theta$	140- $\theta$	85- $\theta$	50- $\theta$

$\theta$ : 定格負荷で連続運転時の巻線の温度上昇値

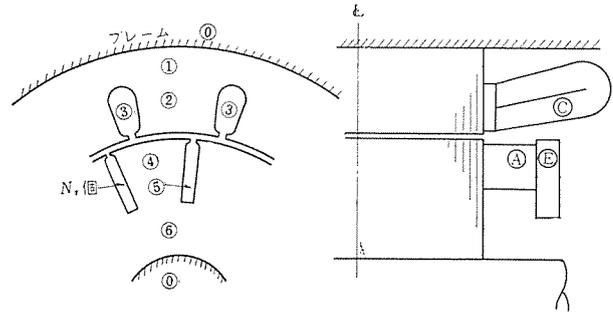
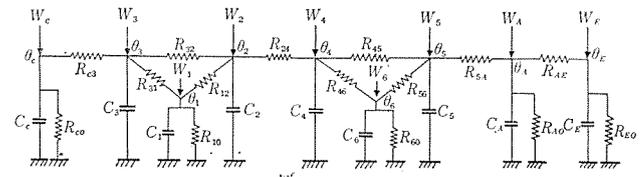


図 4.1 溝形状と固定子、回転子の側面図  
Fig. 4.1 Shape of slot and side view of stator and rotor.



ここで  $W_S$ =各 Unit 中で発生した熱損  $w$   
 $\theta_S$ =各 Unit の平均温度上昇 °C  
 $R_S$ =各 Unit 間の熱抵抗 °C/w  
 $C_S$ =各 Unit の熱容量  $w \cdot S / ^\circ C$   
 subscript は図中、○印の記号すなわち Unit を表す

図 4.2 熱的等価回路  
Fig. 4.2 Thermal equivalent circuit.

電流を拘束電流という。表 4.1 の出所は VDE 0171 でそのまま採用されたものである。

カゴ形の場合、 $t_m$  はなるべく 10 秒以上いかなる場合も 5 秒を下ることは許されないが、特殊電動機で各部の温度が表 2.9 の値をこえるおそれがないような特殊の運転を保証されたものは例外として許すことになっている。カゴ形電動機の場合は一般に絶縁階級の低い場合は回転子導体の方が先に許容温度に達するので、実測および実測値を根拠にした信頼度のおける計算式を導く必要がある。固定子コイルについては旧防指針に簡略式が与えられているが、これはある程度信頼のおけるもののように、VDE の規格とまったく同様の式である。回転子導体等の温度を計算するには熱的等価回路を利用するのが便利である。まずつぎの仮定のもとに図 4.1 のような構造の場合を考えると、

- (a) 鉄心中での熱の軸方向の流れを無視する。
- (b) 熱的入力時間は時間とともに変化しない。
- (c) 各材料の熱容量は時間、位置、温度に無関係な定数である。

図 4.2 は以上の仮定のもとにフレームおよび軸の温度をベースとした熱的等価回路である。ここで  $W_s, R_s$ 、および  $C_s$  は既知であるから各部の温度の時間に対する関係式を固定子コイル、回転子導体各部において計算することができる。結果は固定子コイルの場合旧指針に与えられた式と非常に似た形にまとめ、回転子の場合においても実用上簡便な式を得た。これらの式を用い電子計算機を用いて計算した結果と、測温塗料による実測データの例を 2P, 6P, 8P に示したのが図 4.3, 図 4.4 および図 4.5 である。極数

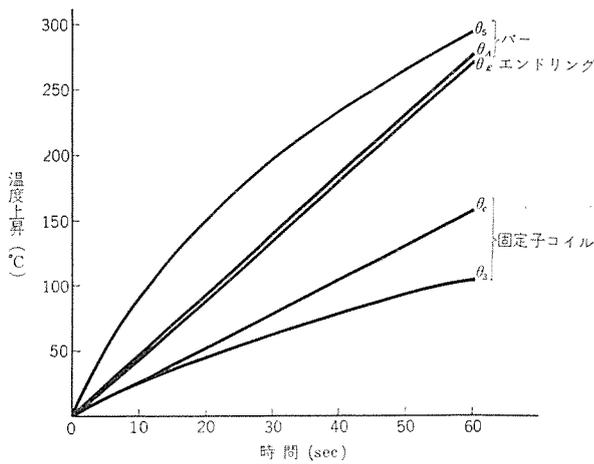


図 4.3 22 kW 2P 拘束時温度上昇計算曲線  
Fig. 4.3 Temperature rise calculation curves in locked rotor time of 22 kW 2P motor.

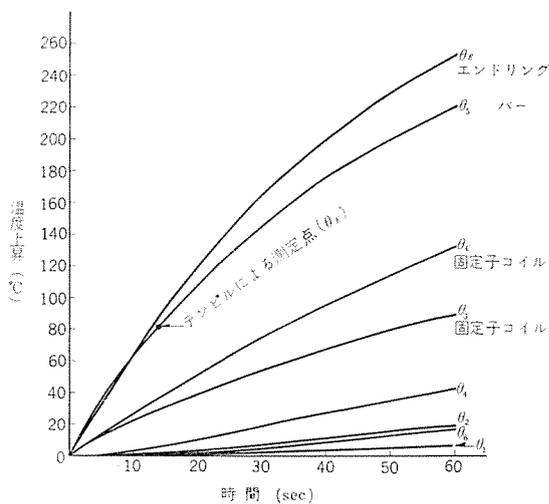


図 4.4 1.5 kW 6P 拘束時温度上昇計算曲線  
Fig. 4.4 Temperature rise calculation curves in locked rotor time of 1.5 kW 6P motor.

が小さいほど回転子導体の温度上昇は苦しくなる傾向にあるので発火度が小さい G4 以上になると相当熱容量を大きくしなければ合格なくなる。当社はこの点十分の考慮を払って安全な設計を行なっている。拘束時回転子導体の温度測定は测温塗料の精度の高いものを用いているがこれでは一点しか求まらない。温度上昇曲線を得るには熱容量のごく小さい熱電対などを用い、オシロを使用するなどして時間遅れのないようにしなければ秒のオーダーの测温であるから正確を期しがたいので注意を要する。

#### 4.3 サーミスタ保護装置

安全増防爆形電動機は確実な過負荷保護装置をつけなければならない。したがって電動機内の温度によって確実に電源を切るのがもっとも理想的である。当社はこの目的のため PTC サーミスタの温度による抵抗変化特性を利用し、電動機の温度がある危険値に達したならば電源のメインスイッチをシャ断するという方式の防爆上もっとも安全なサーミスタ付電動機および制御器を試作した。図 4.6 は PTC サーミスタ素子図 4.7 は PTC (Positive Temperature Coeff.) サーミスタの抵抗特性の一例を示す。図 4.8 は電動機のコイルエンドに取付けられた要領図で各相に 1 個あて装着される。どの相が危険温度に達しても電源を切るように調整してある。図 4.9 はサーミスタ用端子およびベルマウス付防爆形端子箱の例を示してある。制御回路については防爆形管制器の項を参照願いたい。この方式はきわめて信頼度の高いもので将来の発展が期待される。

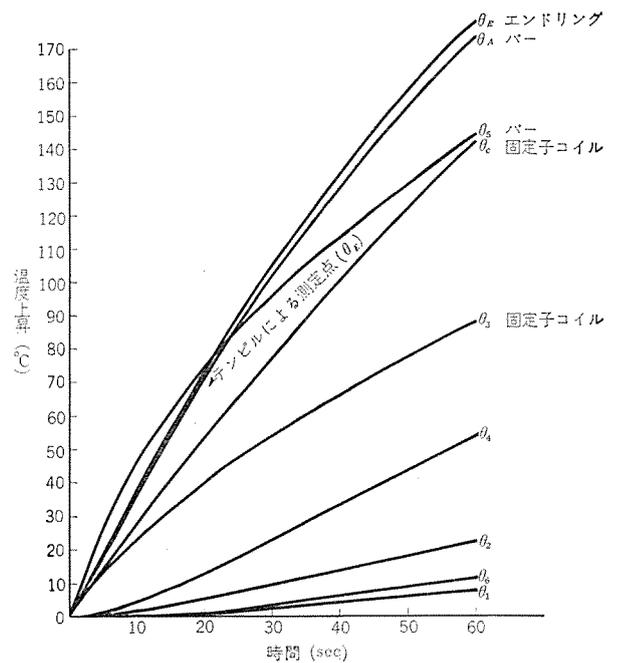


図 4.5 5.5 kW 8P 拘束時温度上昇計算曲線  
Fig. 4.5 Temperature rise calculation curves in locked rotor time of 5.5 kW 8P motor.

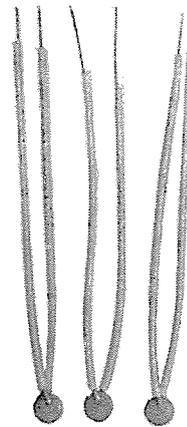


図 4.6 PTC サーミスタ素子  
Fig. 4.6 PTC thermister element.

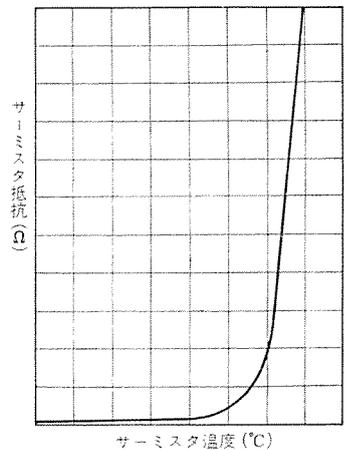


図 4.7 PTC サーミスタ 特性曲線  
Fig. 4.7 PTC thermister characteristic curve.

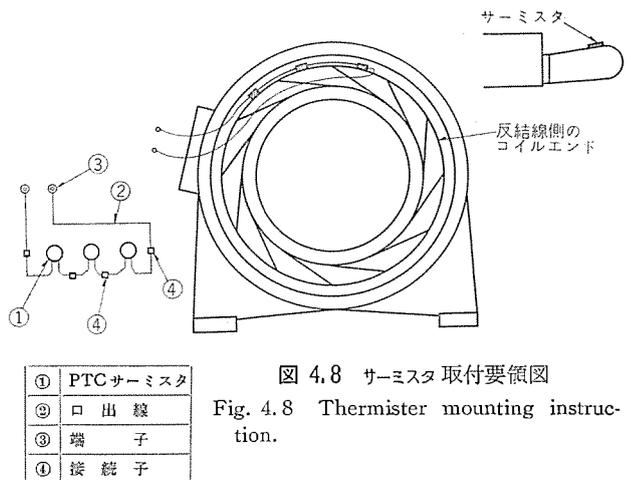


図 4.8 サーミスタ取付要領図  
Fig. 4.8 Thermister mounting instruction.

#### 4.4 AF 形低圧カゴ形安全増防爆形電動機

AF 形は発火度 G3 を標準として、A 種絶縁、JEM 1110 の寸法による。2,000 フレームまでと 2,200~2,800 フレームまでとは若干構造を異にしていることは XF 形と同様である。

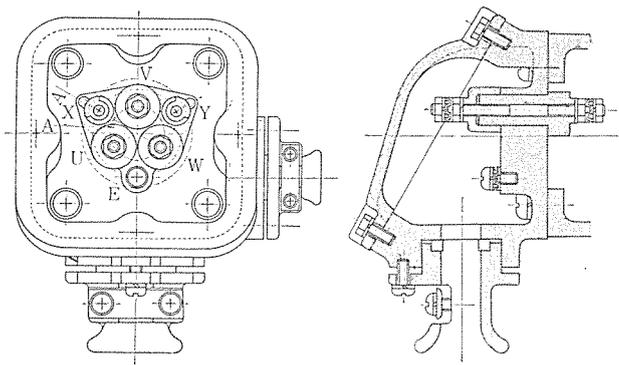


図 4.9 PTC サーミスタ 付端子箱組立図  
Fig. 4.9 PTC thermister terminal box assembling.

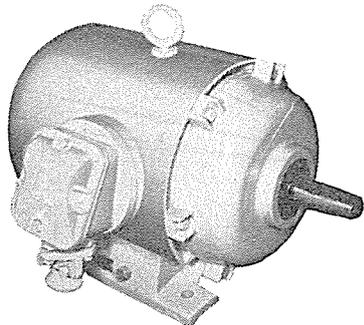


図 4.10 AF 形三相誘導電動機  
Fig. 4.10 Type AF three phase induction motor.

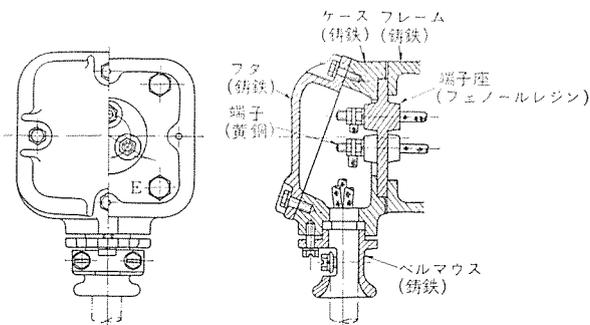


図 4.11 安全増防爆形端子箱  
Fig. 4.11 Safety increased explosionproof terminal box.

(1) 外部構造

外部主要構造は铸铁製を使用していることは XF 形と同様。図 4.10 のような外観である。

(2) 軸受部

防爆環を除き XF 形と同様の構造を採用している。

(3) 端子箱

防爆構造上問題となるのは主として端子箱で、カバー 取付 ボルトの錠締構造、接合面の奥行きは 10 mm 以上の防じん構造、端子間の絶縁距離など規格に準拠している。端子部は図 4.11 のように 3 端子を型造絶縁物で モールドした スタッド式である。端子箱導線引出口は ヘルマウス 付防 じんパッキン 式を標準としているが管配線用 引込口とすることもできる。

(4) 防食構造：形名 CFA 形

CFX 形と同様、防食処理を施せば完全防食形となる。

(5) 屋外形：形名 AF-W 形

XF-W 形と同様の考慮を払っているが、とくに屋外カバーを付けず、端子箱接合面は合成ゴムパッキンをしき、フレームとブラケットのはめ合部は防水パテをはめ込み組立てるなどの方法を採用している。

4.5 大形全閉外扇形安全増防爆形電動機

冷却方式に従いつぎのものがあげられる。

SFA-X 形	リウ付全閉外扇形
MKT-X 形 (カゴ形)	銅冷却管付全閉外扇形
MST-X 形 (巻線形)	銅冷却管付全閉外扇形

上記の中、巻線形の場合の スリップリング 部分は耐圧防爆構造または内圧防爆構造を採用する。また SFA-X 形、MKT-X 形、MST-X 形の冷却方式その他については、耐圧防爆構造のものと大差がない。

4.6 高圧開放防滴保護形安全増防爆形電動機

形名はカゴ形の場合 MKB-X 形、巻線形の場合、MSB-X 形とする。

この構造における電動機は通常本体を開放防滴保護形とし、巻線形の場合は スリップリング 部分を耐圧防爆構造または内圧防爆構造としたもので、比較的危険度の低い場所で使用されるのが普通である。図 4.12 は スリップリング 部分を耐圧防爆構造とした安全増防爆構造誘導電動機の外観である。

なお電動機を構成するすべての部分で爆発性ガスに触れるおそれのある部分の温度上昇は、爆発性ガスの発火度により分類された規格の値をこえることはなく、絶縁巻線の温度上昇もそれぞれの規格の値より 10°C 低くとっている。また許容拘束時間も特別な場合を除き 10 秒以上とっており、5 秒を切ることはないようにしている。

安全増防爆形誘導電動機の端子箱は安全増構造を標準としている。端子箱から電動機本体への引込口は、スタッド式を標準とし、外部電線の端子箱への引込口構造は、固着式、パッキン式のいずれも製作することができる。

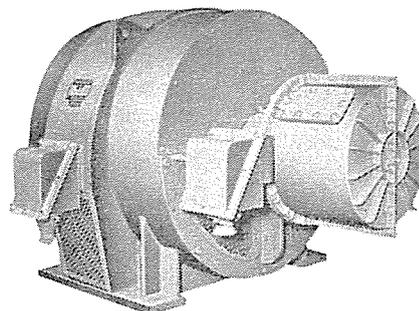


図 4.12 MSB-X 形安全増防爆形誘導電動機  
400 kW 3,300 V 60 c/s 10 P 720 rpm

Fig. 4.12 Type MSB-X safety increased explosionproof induction motor.

5. 内圧防爆形誘導電動機

耐圧防爆構造電動機と、内圧防爆構造電動機の経済比較を行なうと、大容量機になるに従って内圧防爆構造電動機の方が有利となってくる。内圧防爆構造には、通風式と封入式の 2 方式がある。

5.1 通風式内圧防爆構造誘導電動機

この方式は清浄な空気または不燃性ガスを風胴により、電動機内部に圧送し、ふたたび風胴によって外部(室外)へ送出する方式と、電動機周囲へ直接放出する方式が考えられる。前者の場合は排気用の風胴を必要とするため、風胴内の通風損失その他で送風機または圧縮機の容量が増加することが考えられる。後者の場合は、通風は内部熱損失の換気も兼ねているので、直接電動機周囲に排出する場合には、電動機そのものに多くの排気孔を設ける

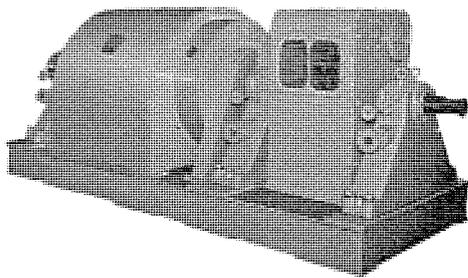


図 5.1 MSB-X 形内圧防爆形誘導電動機 1,750 kW  
3,300 kV 60 c/s 2P 3,600 rpm

Fig. 5.1 Type MSB-X pressurized explosionproof induction motor.

必要が生じ、万一内部で過熱、短絡、焼損などの事故が起こった場合に、内部に生じた高熱気、火の粉などを危険ガスふんい気中に放出してしまうことになり、外部の爆発性ガスの引火点が低い場合などには、引火爆発の危険が考えられる。また、最低内圧を確保することに対して問題がある。以上のように電動機外部の爆発性ガスの種類および電動機室の換気状態などを勘案して、どちらの方式をとるか決定すべきであろう。

図 5.1 は内圧防爆構造の誘導電動機の外観を示す。また、端子引出口の構造は、端子箱を設けることも、直接引込式とすることも可能である。

### 5.2 封入式内圧防爆形

電動機内部に不燃性の保護気体を封入し、封入気体の圧力が所定の圧力以下になった場合、警報を発するかまたは、電動機の運転を停止させるような保護装置を設けている方式のもで、この圧力は、通風式、封入式の場合も規格の値は、最低圧力部において水柱 5 mm 以上となっているが、水柱 5 mm は非常に小さい圧力差であるので、検出が困難と思われるので、当社では最低差圧力を水柱 20~40 mm にとっている。

### 5.3 保護装置

封入式の場合の保護装置については 5.2 項に述べたが通風式の場合には、起動前電動機内容積の 5 倍以上の清浄な空気で清掃されたのち、運転を開始するようなタイムリレーと、内圧が所定の圧力以下に低下したときに警報を発するか、または運転を停止するような微圧リレーを設けている。

## 6. LPG タンカ用防爆形電動機

石油産業の発達とともに石油ガスの需要も急速に増大している。この需要を満たすために、大量の石油ガスを輸送する必要が生じ、LPG タンカが続々建造されつつある。LPG タンカとはその名の示す通り、液化石油ガスを運搬する船のことである。一般に LPG とはプロパンをさしているが、このほかにプロピレン、ブタン、ブチレン

などの混合ガスである場合が多い。これらのタンカに使用される電気機器は設置される場所によって、防爆構造をとる必要がある。

現在防爆に関する規格としては、わが国においては JIS C 0903 があり、陸上の工場および一般の電気設備に対する防爆構造について規定されている。しかしながらこの規格は陸上の電気設備に関するものであって、船用としては、船主の選定する船級協会の規則に適合するほかに準拠規格はないといってよい。これらの船級規則は一般用電動機についての規定であって、防爆電動機については規定がない。したがって防爆構造に関する規定をいずれからとるかについては、船主、船級協会、造船所の意図によって異なり、船級協会規則と、各国の防爆規格の組合せが数種類考えられる。代表的なものを列記すればつぎのようになる。

船級協会	NK	防爆規格	J I S
船級協会	AB	防爆規格	U L
船級協会	ロイド	防爆規格	B S

つぎに防爆構造の選定であるが、まず据付場所が適切であるかどうか問題になる。JIS 規格に規定されている危険場所に適応する防爆構造の分類によると、第 1 種場所では耐圧防爆構造または内圧防爆構造にする必要が生じ、第 2 種危険場所では安全増防爆構造を採用することができる。この中で内圧防爆構造は通風装置、保護装置が必要となり大容量のものでは、採用可能であるが小形機に対しては適当でない。また安全増構造は第 2 種場所に限られる。したがって LPG 船に使用される電動機の大部分は、耐圧防爆構造が普通である。

耐圧防爆構造の電動機の構造は陸上のものと大差ないが、端子部分の構造は各造船所によって異なった構造を要求されることがある。また、設置される場所とくに甲板に設置される場合は、防水構造とすることがある。とくに海水による腐食に対しては十分考慮する必要があり、そのため接合面が腐食し、防爆性を失うことのないようにしなければならない。

## 7. む す び

以上 JIS C 0903「電気機器の一般用防爆構造通則」の制定公布を機会に、最近目覚ましい進展をつづける化学工場用に多数使用されている当社の防爆形電動機の一般的な説明を試みたが、ここに紹介することを得なかった数多くの機種があることをはなはだ残念に思うものである。いうまでもなく防爆規格の精神は、かけがえのない人命の尊重と、貴重な物的財産の保護を目的とし、欧米の言葉を拝借すれば、Humanism の表われであり機器の製作者としてよるこんですぐれた技術の開発製作に努力したいと考えている次第である。しかし問題の性質上使用者の協力なしには安全とはいえないので今後とも倍旧のご援助をお願いしたいと切望するものである。

# 工場用防爆形制御装置

福岡製作所 平野 琢磨\*  
長崎製作所 下城 勇\*\*

## Explosionproof Control Apparatus for Factory Use

Fukuoka Works Takuma HIRANO  
Nagasaki Works Isamu SHIMOJO

Marvellous progress in modern industries has come to involve causes of firehazard in their daily processes of production. Dangerous gases for catching fire or explosion are apt to hang over and any sparking or arcing of electric apparatus may bring about unexpected disaster of big fire. Consequently safe operation of electric machines is the key to the safe management of the plants. Demand for explosionproof electric equipment is on the increase year after year, so that the authorities have made public the rules of explosionproof construction of electric apparatus. Under the circumstances Mitsubishi produces various electric products to cope with the general trend. Herein is described control apparatus built explosionproof among them.

### 1. ま え が き

近年化学工業の急速な発展により、石油精製、石油化学、薬品、肥料、鉄鋼などの諸工業では、火災や爆発の危険性をもつガス蒸気が多量に原料あるいは製品として取扱われているので、爆発や火災の危険性はいたるところに存在しているといっても過言ではない。これらの諸工場における爆発災害はその被害範囲がきわめて大きいので、爆発危険場所における電気設備は点火源とならないよう、十分考慮された防爆構造のものを使用しなければならない。

一般工場における防爆機器の需要増加の今日、爆発災害防止の目的で、わが国では工場防爆に関する基準として、労働省産業安全研究所技術指針「工場電気設備防爆指針」(ガス蒸気—1961) (粉じん防爆—1961) が 1961 年 1 月に発表され、ついで JIS C0903 「電気機器の一般用防爆構造通則」が 1962 年 1 月に制定された。このほか法律として拘束力をもつ労働安全衛生規則の一部改正が行われ、労働省令第 42 号として「電気機械器具防爆構造規格」が 1961 年 10 月告示されている。

当社では長年にわたり多数の防爆機器を製作しているが、防爆に関する諸基準の制定を機会に最近における工場防爆形制御装置についてその大要をのべる。

### 2. 防爆形制御装置の具備すべき条件

防爆構造が完全であり安全性の保証されたものであることが第一で、このほか防食、防水、防湿の点についても考慮を払っておく必要がある。これらについて説明する。

#### (1) 防爆構造が完全であること。

制御器類は火花 アークなどを発生するものが多いので、耐圧または油入防爆構造のものも多く、まれに対象ガスにより内圧または特殊防爆構造が採用される。これらの構造については規格で詳細に定めてあるので、これに従って製作されたものでなければならない。

#### (2) 防水防湿特性がすぐれていること。

制御器類の多くは耐圧防爆構造であるが、屋外に設置されるばあいが多いので、構造上や保守の面でトラブルが起こりがちであり、屋外用として使用されるばあいには、あらかじめ考慮されたものを使用しなければならない。

#### (3) 防食特性がすぐれていること。

爆発性ガスや蒸気の中には腐食性をもつものがあり、また海岸近くの塩風に吹かれる場所などにおいては、容器内外面に腐食を起こしてくる。したがって機器はあらかじめ防食上の注意を払っておく必要がある。

#### (4) 堅牢かつ取扱いが容易であること。

危険場所に設置されるのでできるだけ安全度の高いもので堅牢かつ故障を起こさないものでなければならない。また制御器類は保守点検の機会が多いので取扱い保守が簡単に行なえるものであること。

### 3. 防爆形制御器の特色

工場防爆用制御装置はその用途に応じ、種々のものがあるが、その大部分は火花、アークなどを発生するものである。当社では危険場所における油入機器の使用は火災の危険があり、保守および安全性の点からも特別のばあいのほかは採用しない方針で、防爆機器の完全乾式化を目標として研究をつづけてきた。工場防爆においては制御器類はほとんど耐圧防爆構造でしかも屋外に設置される傾向が強いので防爆性能だけでなく、屋外用としての性能も必要であるから耐圧防爆構造につき説明する。

#### (1) 防爆構造は d2G3 である。

規格で示される防爆構造のうち、発火度 G1, G2, G3, 爆発等級 2 に含まれるすべてのガス蒸気に対し安全に使用できる。実際上は容器表面温度 70°C 以下であり発火度 G4 まで異常なく使用できるが、シ+断容量不足によるアークの連続や、その他の原因による内部温度の上昇を考慮し G3 までとしているが、要求により G4 まで製作できる。

#### (2) 耐圧強度

小形容器は鋳鉄、中形大形容器は鋼板製とし強度は規格に示される内部圧力に耐えうるように製作している。

耐圧容器はボイラなどの圧力容器と異なり比較的短時間の爆発圧力に耐えうる強度をもてば十分であり、容器の設計にあたっては爆発時の内部圧力によりいくぶんヒズミを生じるが、このばあいスキマを広げることを助長しない構造およびヒズミによる応力が溶接部に集中しない構造とするように注意を払っている。当社では各国の防爆規格、爆発強度試験、水圧試験などのデータより各部

分の安全率を決め、鋼板製容器では板とハリ の組合せにより強度を確保しており、大形容器では補強の増加を行ない板厚は抑える方法をとっている。これは必要以上に重量を増加させ取扱いが不便になったり、高価な容器とならないようにするためである。板厚については発錆による厚さの減少を考慮し最低板厚を決めている。

### (3) カバー 締付

防爆容器のカバーは多数のボルトで締付けられており保守点検が不便であるため、ボルト1本だけで開閉できるものが発表されているが、これらはいずれもかみ合せ式であり、正確な工作法と防食性のある特殊軽合金が必要である。軽合金を使用しなければならない理由は接合面のスキマを規格値以内に確保するためには機械的な衝撃や経年変化によるヒズミの発生を防止するとともに、腐食によりサビを発生し防爆機能を失うおそれがあり機械的、化学的ならびにできるだけ軽いという要求から、特殊な軽合金が必要となる。このため容器は高価なものとなる欠点がある。また一般工場では運転を始めると休止するまで数カ月以上も連続使用されるものが多く、カバー開閉の機会も少なく保守も十分にできないのが実情である。当社ではボルト締め付を標準としているが、これは接合面が荒れたばあいスキマの広がりを防ぐ目的と経済的な理由からである。比較的カバー開閉の機会が多い機器についてはボルトの紛失などを考慮してカバー開放の際ボルトはカバーより脱落しない方法をとっている。

### (4) 端子箱部分

制御器類の本体は耐圧防爆であるから、端子箱は耐圧防爆構造を標準としている。これは第1種、第2種危険場所を通じて特別の考慮を払わずに使用できる利点がある。低圧機器の端子箱の寸法については、小さくて接続作業がやりづらいものが多いので、現在端子箱の最小寸法を決める委員会が審議中である。当社の制御器関係の端子箱についてはVDE0170/Nの覚書を参考として、端子箱の寸法

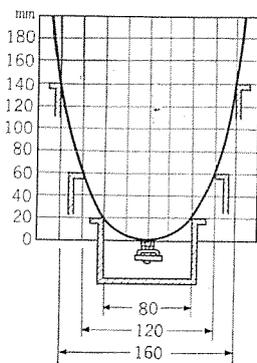


図 3.1 長辺の窓寸法  
Fig. 3.1 Dimensions of long side of window.

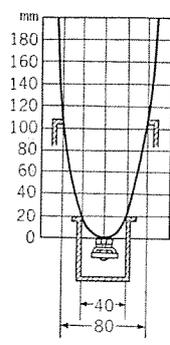


図 3.2 短辺の窓寸法  
Fig. 3.2 Dimensions of short side of window.

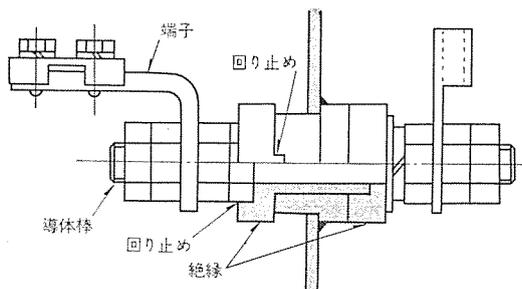


図 3.3 防爆スタッド  
Fig. 3.3 Explosionproof stud.

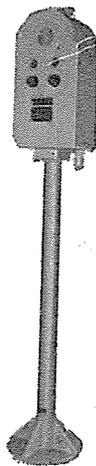


図 3.4 屋外用耐圧防爆形自立操作盤 (d2G3) (排気筒・水抜き装置付)  
Fig. 3.4 Flameproof stand type control box for outdoor use (with breather valve and drain valve).

を決めている。接続が容易でしかも確実に締付けられる構造とするため、接続作業用窓の寸法を窓面から端子までの深さに応じ、方形窓の長辺寸法を図3.1、短辺の長さを図3.2に準じて定め、構造上寸法が確保しにくいばあいでも図3.2以下にとることをさせている。スタッド貫通部分は図3.3に示すような標準のスタッド方式を採用し、1本ごとに独立させ破損時は取換えてできるようにしている。導体はモールド製絶縁物にはめこみ、導体とモールドはナットにより、モールドと容器とは、凸起によりかみ合されているのでともまわりすることはない。外部接続線と導体の接続は容易でかつ十分締付けられるようにL形端子を設けている。

外部配線の引込方式は、厚鋼電線管ネジ結合式であるがコンパウンド固着式、パッキン式も可能である。

### (5) 防食処理

屋内設置のばあいでも腐食性ガスにさらされることを考慮して、発錆による板厚減少は容器強度の低下を招くので下処理としてショットブラストによる完全サビ落し後、強固なリン酸塩被膜を施しポンドライズ処理を行なった上に、5層の特殊防食塗膜を形成し保護をしている。名板類はすべてステンレスを使用しつねにわかりやすくしている。

### (6) 屋外設置機器

小形機器とくに自立形操作盤(メータスタンド)は気温の変化による呼吸作用が激しく、窓ガラスの曇りや内部に水滴がたまったりして絶縁劣化を招くので、排気筒や水抜き装置を取付け呼吸作用を促進させたり、容器内の水を排出させる方法をとっている。図3.4は屋外用自立操作盤である。

中形機器ではケース、カバー接合面の内側に耐候性の強いゴムパッキンを使用した防水構造や、防滴カバーなどを設けている。(図3.5)

大形機器あるいは高圧機器については、防滴カバーとパッキンを併用しさらに屋根を設けている。また休止時の吸湿防止のため、スペースヒータを取付け容器内を保温している。屋外用はすべて特別の指示がないばあいは実施していない。屋外用機器については近く発表予定の「防爆構造の電気機器の試験方法」(改訂案)にもとくにとり上げられ、散水試験の方法が決められている。図3.6は規程による散水試験を実施中の状況である。

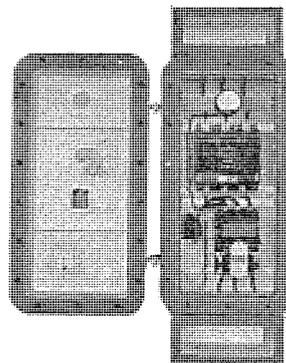


図 3.5 屋外用耐圧防爆形電磁開閉器 (d2G3)  
Fig. 3.5 Flameproof type combination line starter for outdoor use.

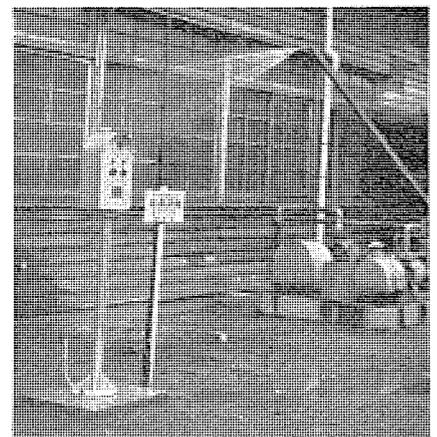


図 3.6 散水試験状況  
Fig. 3.6 Water sprinkling test.

#### 4. 耐压防爆構造機器

当社では現在数多くの各種機器を製作しているが、これらのうちもっとも一般的に使用されるものおよびとくに新しい機器についてのべてみる。

##### 4.1 低圧気中シャ断器

回路の分離と過熱および短絡保護の目的で、ノーヒューズシャ断器(以下 NFB と称す)だけを耐压容器に納めた NE 形と JEM-1097 交流配电箱に準拠し負荷回路の短絡、過電流および低電圧保護装置を備えた NX 形とがある。

NFB を使用する最大の理由は、ヒューズと比べたばあい動力回路では電動機の起動電流、変圧器の励磁電流のような短時間の突入電流に対して、過負荷保護に都合のよいヒューズは溶断するが、NFB はパイメタルの時延引はずしにより不要な動作を行わず、短絡のような大電流に対しては電磁引はずしが動作し 1 サイクル程度で安全確実にシャ断する。ヒューズは溶断のつどカバーを開き取換え

を要するため保守がわずらわしく、かつヒューズ自体では回路の開閉ができないので別に断路器を必要とし、さらに溶断時に外部からはわからないので、単相運転の危険が生じる。

NFB は外部からの開閉および全極同時シャ断できるので単相運転の心配はなく、シャ断容量の大きい割に小形であるから防爆用としては非常に安全度の高いものである。NF225A フレーム以上は電磁引はずし電流が可調整式で図 4.1 に示すように簡単な構造の電磁石要素でツマミによりレバーを動かして引はずし電流を調整できるので、同一系統に接続される電磁開閉器や他の保護装置との協調ができるので危険場所の回路の適切な保護を行なえる利点がある。すなわち電磁開閉器は短絡電流をシャ断する能力がないので、このようなばあい電源開閉器として可調整式電磁引はずしをもつ NFB の使用が望ましい。

また図 4.2 に示すような系統において ACB・ヒューズ および NFB の関係は協調しておくことが望ましい。各保護装置の  $i-t$  (電流-時間) 特性が図 4.3 に示す関係にあるとき、NFB が可調整

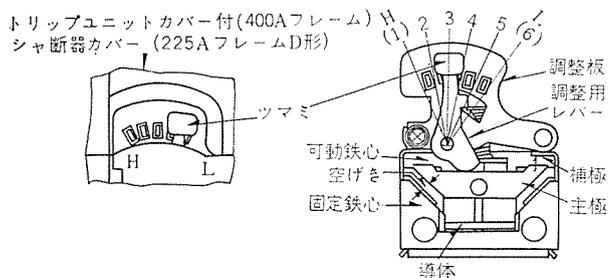


図 4.1 225A フレーム D 形および 400 A フレーム可調整式電磁引はずし装置

Fig. 4.1 Adjustable magnetic trip device.

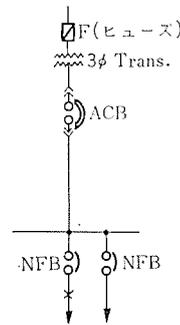


図 4.2 代表的な系統例

Fig. 4.2 Typical example of system.

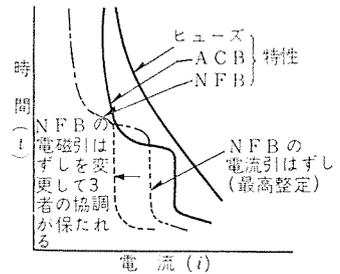


図 4.3 ヒューズ、ACB および NFB の  $i-t$  特性の協調

Fig. 4.3 Coordination of  $i-t$  characteristic among fuse, ACB and NFB.

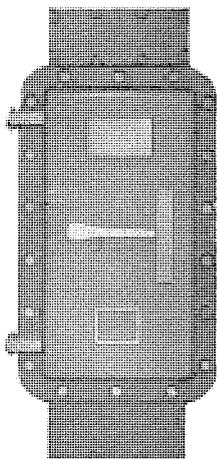


図 4.4 NE600 形耐压防爆形気中シャ断器 (d2G3) AC 600 V 600 A  
Fig. 4.4 A view of type NE600 flameproof type no-fuse breaker.

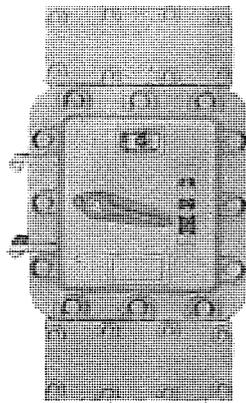


図 4.5 NE200 形耐压防爆形気中シャ断器 (d2G3) AC 600 V 200 A  
Fig. 4.5 A view of type NE200 flameproof type no-fuse breaker.

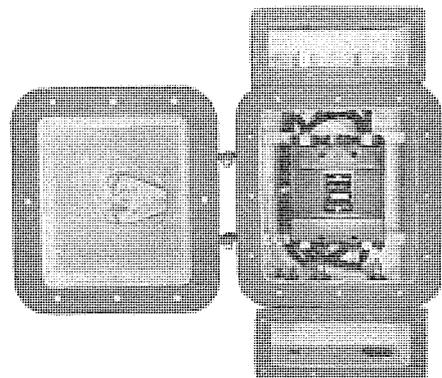


図 4.6 NE200 形耐压防爆形気中シャ断器 (d2G3) (カバーをはずしたところ)  
Fig. 4.6 A view of type NE200 flameproof type no-fuse breaker.

表 4.1 NE 防爆形気中シャ断器標準表

形式記号	極数	定格電圧 (V)		定格電流 (A) 周囲温度 25°C, 50°C	フレーム	定格シャ断容量 (A) AC (NEMA)		上部		下部		重量 (kg)
		AC	DC			250 V	(500 V) 600 V	L <sub>1</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>4</sub>	
NE50	2/3	250/500	125/250	15, 20, 30, (40), 50	NF50A	5,000	(2,500)	22, 28 または 36		22, 28 または 36		42
NE100	2/3	250/600	250	15, 20, 30, (40), 50, (60), 70, (90), 100	NF100B	△20,000	*15,000	22, 28 または 36		22, 28 または 36		93
NE200	2/3	600	250	*70, *100, 125, 150, 175, 200, 225	NF225D	30,000	20,000	36, 42 または 54		36, 42 または 54		96
NE400	2/3	600	250	250, 300, 350, 400	NF400A	30,000	20,000	42, 54		42, 54		130
NF600	2/3	600	250	200, 225, 250, 300, 350, 400, 500, 600	NF600A	30,000	30,000	54, 70 または 80		54, 70 または 80		170

注 1. \*印: 定格電流の定格シャ断容量はこの表を適用しない。

2. △印: は定格電流 60 A 以上に適用する。

3. \*印: は定格電流 25°C 50 A 以上, 50°C 40 A 以上に適用する。

4. ( ) は特殊定格電流を示す。

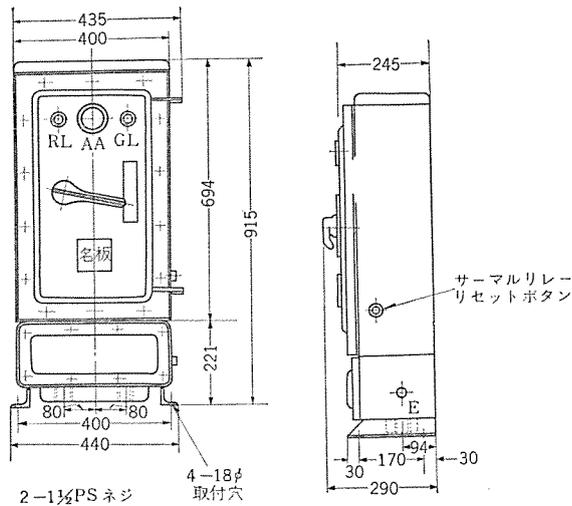


図 4.7 NE200 形耐圧防爆形気中シタ断器外形図 (d2G3) AC 600 V 200 A (屋外用)

Fig. 4.7 Outside view of type NE200 flameproof air circuit breaker for outdoor use.

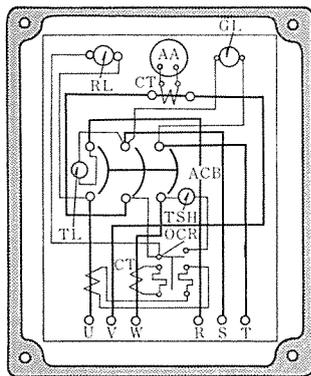


図 4.8 NE200 形耐圧防爆形気中シタ断器接続図

Fig. 4.8 Wiring of type NE200 flameproof air circuit breaker.

式であれば両者の協調は点線の位置に調整することができる。

NE 形防爆形気中シタ断器の種類と定格を表 4.1 に示す。図 4.4 は NE600 形気中シタ断器、図 4.5 および図 4.6 は NE 200 形気中シタ断器の外部と内部を示す。NX 形は比較的開閉のひん繁でない電動機のじか入れ起動器、変圧器の二次開閉器として使用されるもので NFB のほかに独立した熱動過電流継電器、低電圧保護装置および電流

表 4.2 電磁開閉器の種類と定格一覧表

形名		EKX-15	EKX-35	EKX-55	EKX-105	EKX-155	
電磁接触器		NS-15	N-35	N-55	N-105	N-155	
電気連動子(常時閉)			LI-132	LI-142	LI-152	LI-152	
熱動過電流継電器		TR-10	MW-11	MW-21	MW-31	MW-41	
定格容量	標準仕様	200~220 V	3.7	7.5	11	22	37
		400~550 V	3.7	11	19	37	75
kW	特殊仕様	200~220 V	0.75~2.2	2.2~5.5	3.7~7.5	11~19	19~30
		400~550 V	0.75~2.2	3.7~7.5	7.5~15	19~30	30~60

注 1. 標準使用の定格容量は JIS A 級 1 号 1 種を満足するばあいに適用する。  
 2. 特殊使用の定格容量は寸動(インチャング)などの短時間運転を継続して行ったり過相制動(ブラッキング)などをするばあいに適用する。このばあいは電動機の起動電流および開閉ひん度などの使用条件によって電氣的寿命が大きく制限されるから適用電動機の容量を下げる。特殊使用の定格容量については照会されたい。

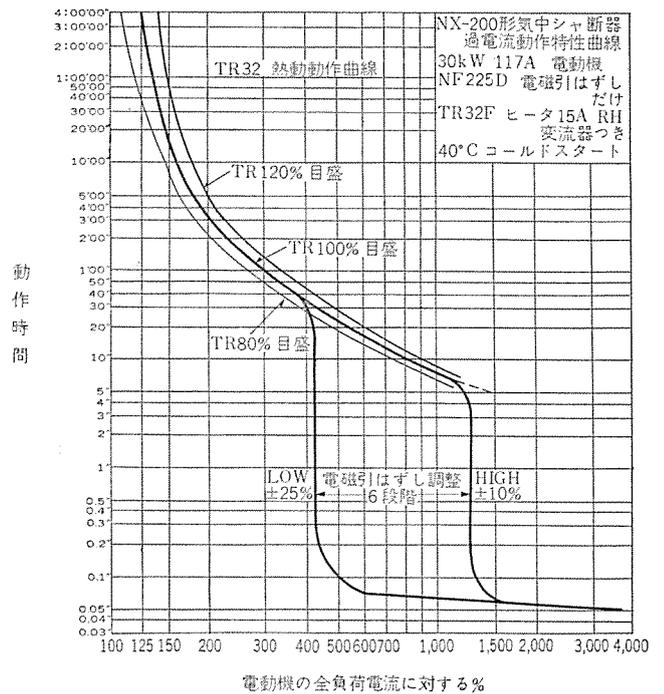


図 4.9 NX200 形気中シタ断器動作特性曲線

Fig. 4.9 Characteristic curve of NX200 flameproof type circuit breaker.

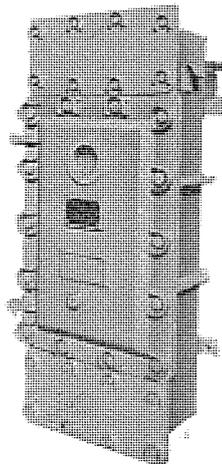


図 4.10 EKX55 形耐圧防爆形電磁開閉器 (d2 G3) 600 V 50 A

Fig. 4.10 A view of EKX55 flameproof type line starter.

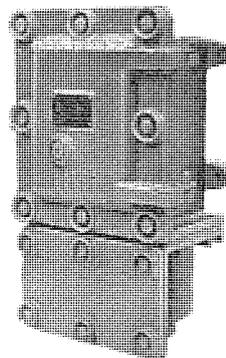


図 4.11 EKX15 形耐圧防爆形電磁開閉器 (d2G3)

Fig. 4.11 A view of EKX15 flameproof type line starter.

計を取付けている。図 4.7 に外形図、図 4.8 に接続図を示す。NX 用の NFB は電磁引はずし装置だけの特殊品を使用しておりその特性は図 4.9 に示すようになっている。NX200 は NF225D 形を使用し定格 200 A 用は引はずし電流 500~1,500 A, 100 A 用は 350~850 A の 2 機種を標準としている。シタ断容量 30,000 A を超すばあいは DB 形気中シタ断器を使用している。

#### 4.2 低圧用電磁開閉器

一般工場における電動機は機械に直結で単独運転される点是一般工場と変わらないが、電動機容量がかなり大きく高圧電動機を使用するばあいもあるが、一般にはカゴ形電動機のじか入れ起動が多い。当社の標準系列について説明する。

##### (1) EKX 形防爆形電磁開閉器

この電磁開閉器は JISC8325 の交流電磁開閉器の A 級 1 号 1 種のもっている。その種類と定格を表 4.2 に示す。取付品の詳細については当社一般用電磁開閉器と同じであるので説明を省略する。図 4.10 は EKX55 形電磁開閉器、図 4.11 は EKX15 形電磁開閉器である。

##### (2) EDX 形防爆形電磁開閉器 (コンビネーションスタータ)

分岐回路保護としての NFB と電磁開閉器とを組合せたもので、熱動過電流継電器と NFB を併用しているため電動機の過負荷保護だけでなく、短絡に対する回路保護も行なうことができるので保護の万全を期すことができる。同一箱内に納めているので取付面積が節減できるとともに配線工事が簡略となる。表 4.3 に標準

表 4.3 三菱 EDX 形防爆形電磁開閉器 (コンビネーションスター) 標準選定表

行番	最高適用電動機の定格		EDX 形の 大分類形名	三相交流シャ断容量 JIS 法, ( ) 内は NEMA 法						備 考 シャ断容量と変圧器容量の関係
	電 圧	出 力		ACB			MC			
				フレーム	シャ断容量		形	シャ断容量		
1	200—220 V	3.7 kW	EDX-10A	50 A	250 V, 5,000 A (250 V, 5,000 A)		ESO15	250 V, 150 A		変圧器容量は 50 kVA 未満であること。 ただし変圧器と ACB 間の電線コウ長 が 60 m をこえる ばあいは 50 kVA 以 上でもよい。
2	200—220 V	7.5 kW	EDX-11A	50 A, 100 C	250 V, 5,000 A (250 V, 5,000 A)		EKO35	250 V, 300 A		
3	200—220 V	11 kW	EDX-12A	100 B	250 V, 5,000 A (250 V, 5,000 A)		EKO55	250 V, 500 A		
4	200—220 V	22 kW	EDX-13A	225 D	250 V, 10,000 A (250 V, 25,000 A)		EKO105	250 V, 1,000 A		
5	200—220 V	37 kW	EDX-14A	225 D	250 V, 10,000 A (250 V, 25,000 A)		EKO155	250 V, 1,500 A		
6										変圧器容量にかかわらずシャ断容量 10,000A 以上であること。
7										
8	400—440 V	3.7 kW	EDX-10B	100 B	500 V, 10,000 A (600 V, 15,000 A)		ESO15	440 V, 100 A		
9	500—550 V	2.2 kW	EDX-10B	100 B	500 V, 10,000 A (600 V, 15,000 A)		ESO15	550 V, 40 A		
10	400—550 V	11 kW	EDX-11B	100 B	500 V, 10,000 A (600 V, 15,000 A)		EKO35	600 V, 250 A		
11	400—550 V	19 kW	EDX-12B	100 B	500 V, 10,000 A (600 V, 15,000 A)		EKO55	600 V, 500 A		
12	400—550 V	37 kW	EDX-13B	225 D	500 V, 10,000 A (600 V, 20,000 A)		EKO105	600 V, 1,000 A		
13	400—550 V	75 kW	EDX-14B	225 D	600 V, 10,000 A (600 V, 20,000 A)		EKO155	600 V, 1,500 A		

注 適用負荷の制限...この表は周囲温度 40°C で起動電流が約 500%, 起動時間がコールドで約 15 秒以下, ホットでは 8 秒以下の負荷に適用できる。  
これより苛酷な起動条件のものは原則としてこの表をそのまま流用できない。

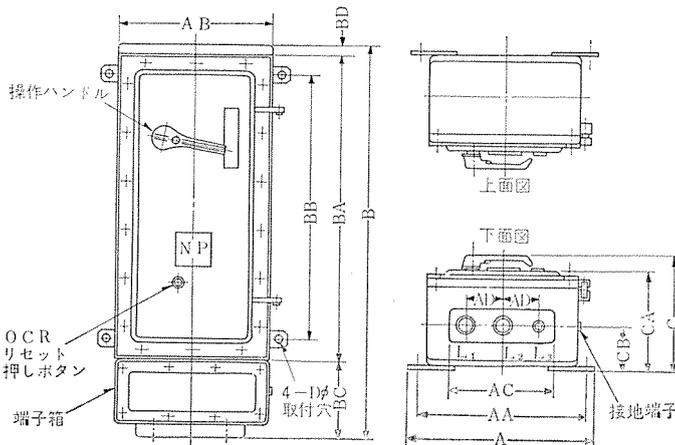
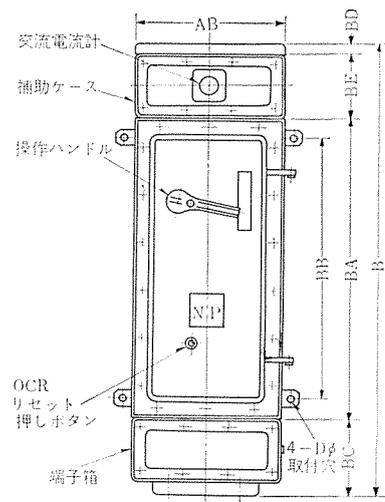


図 4.13 EDX 防爆形電磁開閉器 (電流計付)  
Fig. 4.13 Type EDX flameproof magnetic switch with ammeter.



形 式	寸 法														管用平行ネジ (JISB0203)		
	A	AA	AB	AC	AD	B	BA	BB	BC	BD	C	CA	CB	D	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
EDX-10A	390	350	315	200	65	812	594	530	198	20	230	195	80	15	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-11A	390	350	315	200	65	812	594	530	198	20	230	195	80	15	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-12A	390	350	315	200	65	902	684	620	198	20	255	220	105	15	PS 1	PS 1	PS <sup>3/4</sup>
EDX-13A	500	450	400	280	95	1,050	820	710	206	24	315	270	120	18	PS 1 <sup>1/4</sup>	PS 1 <sup>1/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-14A	500	450	400	280	95	1,050	820	710	206	24	315	270	120	18	PS 1 <sup>1/2</sup>	PS 1 <sup>1/2</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-10B	390	350	315	200	65	812	594	530	198	20	230	195	80	15	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-11B	390	350	315	200	65	812	594	530	198	20	230	195	80	15	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-12B	390	350	315	200	65	902	684	620	198	20	255	220	105	15	PS 1	PS 1	PS <sup>3/4</sup>
EDX-13B	500	450	400	280	95	1,050	820	710	206	24	315	270	120	18	PS 1 <sup>1/4</sup>	PS 1 <sup>1/4</sup>	PS <sup>3/4</sup>
EDX-14B	500	450	400	280	95	1,050	820	710	206	24	315	270	120	18	PS 1 <sup>1/2</sup>	PS 1 <sup>1/2</sup>	PS <sup>3/4</sup>

図 4.12 EDX 形防爆形電磁開閉器外形寸法図

Fig. 4.12 Type EDX flameproof magnetic switch outline dimensions.

選定表を示す。接続線引込は下部で電線管ネジ結合式を標準とし、電流計、表示灯などの特殊器具を取付けるばあいは補助ケースを上部に取付ける方法をとっている。図 4.12 は標準形、図 4.13 は電流計付の外形図、図 4.14 は外観を示す。屋外用として使用するばあいは図 4.15 の構造図に示されるようにパッキンを接合面に取付けるようになっている。

特殊仕様のばあいは組合せ方式を採用しているので電磁開閉器を選定するばあいは表 4.4 により行なうことにしている。すなわ

ち形式のあとに定格を示す第 1 記号をつけ、さらに特殊取付器具によって第 2 形式記号を追加して取付品の内容を示すこととしている。

(3) 操作用器具

制御器の操作用として押しボタンスイッチ、操作開閉器を使用するが図 4.16 は押しボタンスイッチ、図 4.17 はクレーンその他の制御器用の操作開閉器である。

このほか電磁開閉器を非危険場所に設置し電流計、押しボタ

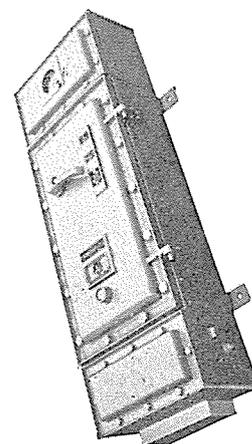


図 4.14 EDX-11B-1 形耐圧防爆形電磁開閉器 (d2G3) AC 440 V 30 A

Fig. 4.14 A view of EDX-11B-1 type flameproof combination line starter.

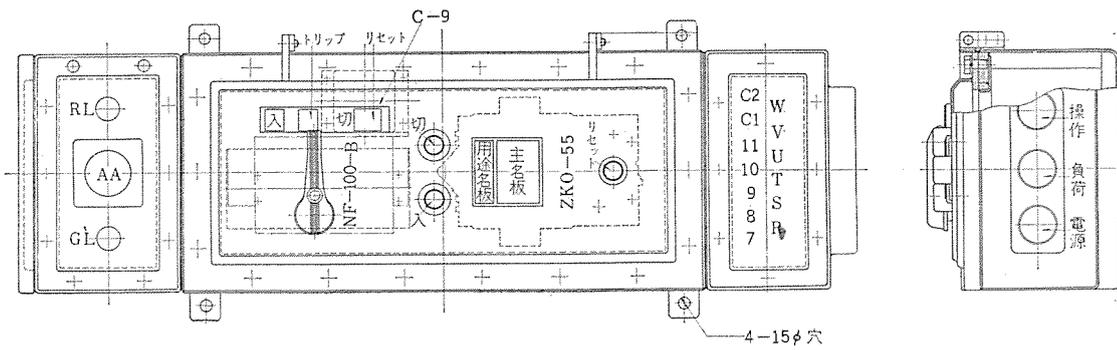


図 4.15 EDX-12-3 形耐圧防爆形 コンビネーションスタータ 構造図 (断面図)  
Fig. 4.15 Type EDX-12-3 flameproof combination starter constructional diagram.

表 4.4 防爆形標準制御器一覽表

カゴ形電動機用制御装置選定基準																					
形式記号		第1形式記号						第2形式記号													
記号	保護構造	番号	標準取付器具		定格容量 (kW)				特殊取付器具												
			電磁開閉器	ノーヒューズシャ断器	標準仕様		特殊仕様		番号	電流計	信号灯	押しボタンスイッチまたは操作スイッチ	主回路に電流計以外の器具つき	制御回路に信号灯以外の器具つき							
200-220 V	400-550 V	200-220 V	400-550 V	(標準品)																	
										(取付品標準で寸法特殊なもの)											
EKX	耐圧防爆形	5	ESO-5		1.5		0.75-2.2	0.75-2.2	なし	(標準品)											
		15	ESO-15		3.7	3.7	0.75-2.2	0.75-2.2													
		35	EMO-35 EKO-35		7.5	11	2.2-5.5	3.7-7.5													
	55	EKO-55	11		19	3.7-7.5	7.5-15														
	105	EKO-105	22		37	11-19	19-30														
内圧防爆形	155	EKO-155	37	75	19-30	30-60	0														
	305	EKO-305	75	150	19-30	30-60															
EDX	耐圧防爆形	10A	ESO-15	NF50A (NF50A) (NF100C) (NF100B) NF225D NF225D (NF400) (NF600) NF100B NF100B NF100B NF225D NF225D (NF400) (NF600)	3.7		0.75-2.2	0.75-2.2 3.7-7.5 7.5-15 19-30 30-60	なし	(取付品標準で寸法特殊なもの)											
		11A	EMO-35		7.5		2.2-5.5														
		12A	EKO-55		11		3.7-7.5														
		13A	EKO-105		22		11-19														
		14A	EKO-155		37		19-30														
	内圧防爆形	10B	ESO-15		3.7		0.75-2.2														
		11B	EMO-35		7.5	11	2.2-5.5														
		12B	EKO-55		11	19	3.7-7.5														
		13B	EKO-105		22	37	11-19														
		14B	EKO-155		37	75	19-30														
	粉じん防爆形	15B	EKO-305		75	150	19-30								30-60	0					

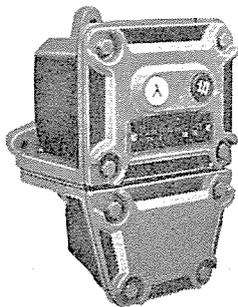


図 4.16 PNX-21 形防爆形押しボタンスイッチ (d2G3)  
Fig. 4.16 A view of PNX-21 flameproof type push-button switch.

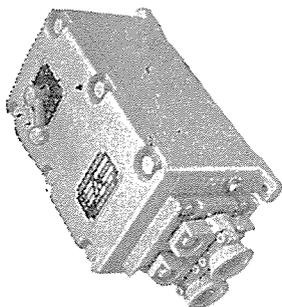


図 4.17 CX 形耐圧防爆形操作開閉器 (d2G3)  
Fig. 4.17 A view of flameproof type control switch

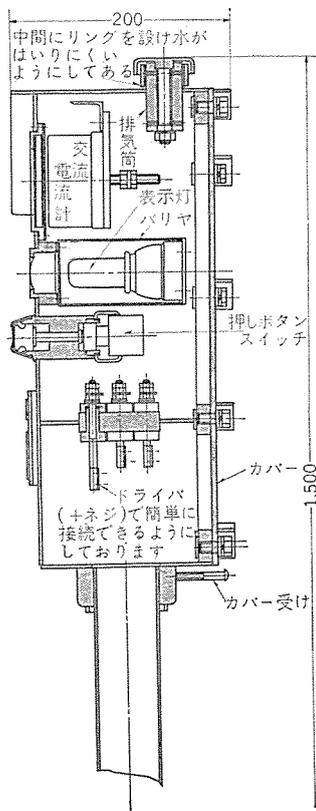


図 4.18 AS-2PX 形防爆形自立操作盤組立図  
Fig. 4.18 Assembling of type AS-2PX flameproof stand type control box.

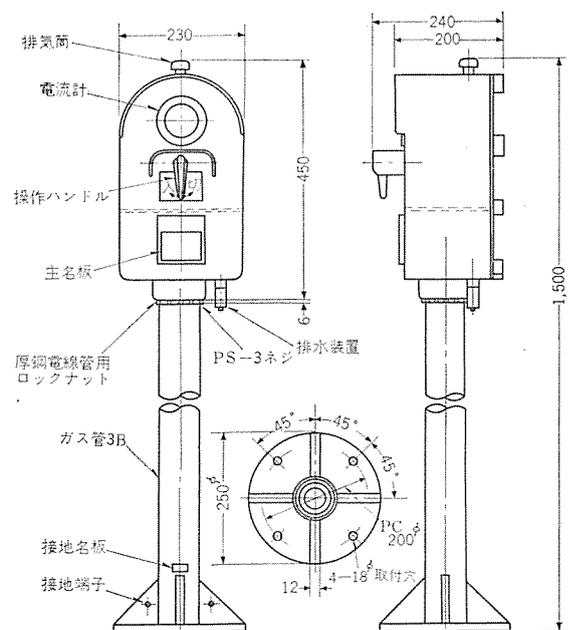


図 4.19 AS-2CX 形防爆形自立操作盤外形寸法図 (防爆構造 d2G3)  
Fig. 4.19 Outline dimensions of type AS-2CX flameproof stand type control box.

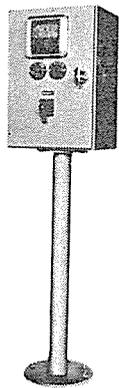


図 4.20 CX-AX 防爆形自立操作盤 (ed1 G3)  
Fig. 4.20 Type CX-AX flameproof stand type control box.

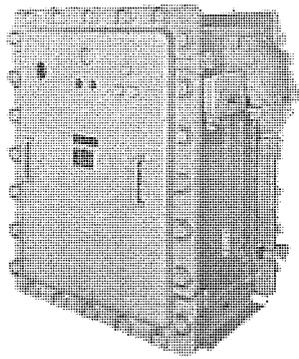


図 4.21 SHX162 形耐圧防爆形高圧気中電磁開閉器 (d2G3) 3,450V 100A  
Fig. 4.21 A view of SHX162 flameproof type high tension dry type magnet switch.

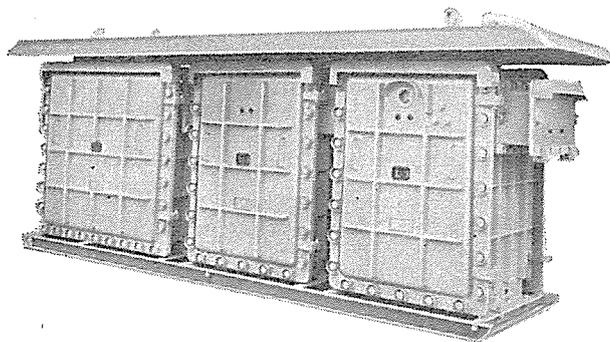


図 4.22 防爆リアクトル 起動盤 (d2G3) 屋外用  
Fig. 4.22 A view of flameproof type reactor starter for out door use.

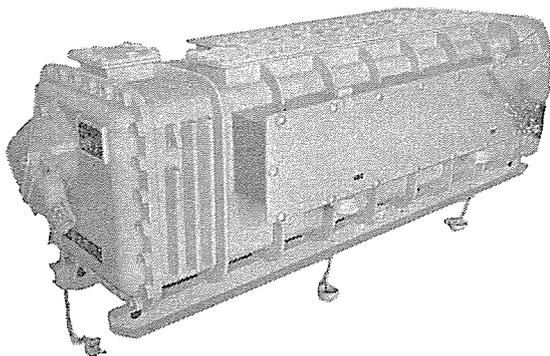


図 4.23 MT150X 形防爆形乾式変圧器 (d2G2) 3,450 V 三相 150 kVA  
Fig. 4.23 A view of MT150X flameproof dry type transformer.

表 4.5 SHX 形耐圧防爆形高圧気中電磁開閉器一覽表

記号	番号	取 付 品				注
		電流接触器	A	V	WH	
SHX	112	SH105 100 A	○			A 交流電流計 V 交流電圧計 WH 積算電力計 PB 押しボタンスイッチ
	113		○	○	○	
	162		○		○	
	163		○	○	○	
防爆形	212	SH205 200 A	○		○	
	213		○	○	○	
	262		○		○	
	263		○	○	○	

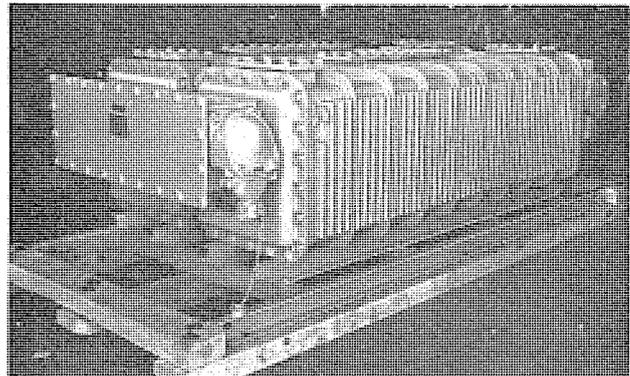
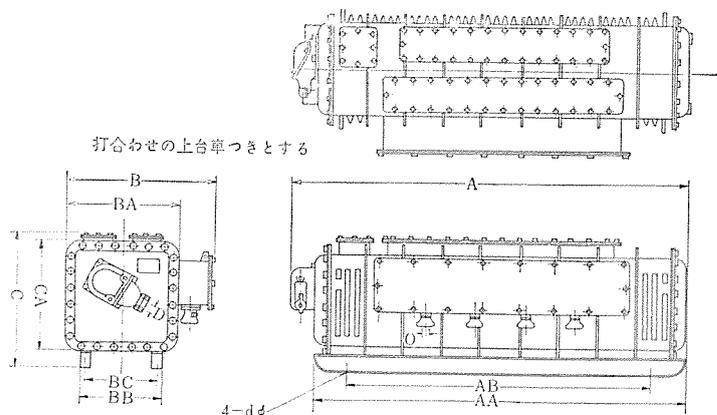


図 4.24 MT300X 形防爆形乾式変圧器 (d1G2) 300 kVA 三相 3,450 V  
Fig. 4.24 A view of MT300X flameproof dry type transformer.



kVA	A	AA	B	BA	BB	C	CA	D	O	AB/BC/d	kg
30											
50	1,967	1,840	790	620	380	743	620				750
75	1,967	1,840	790	620	380	743	620				800
100	2,260	2,120	865	670	460	795	680			1,880/406/19	1,000
150	2,260	2,120	865	670	460	795	680			"	1,250
200	2,400	2,260	865	670	460	820	680				1,450
225	2,500	2,350	900	710	500	840	700				1,600
300	2,650	2,500	960	770	560	900	760				2,200

図 4.25 耐圧防爆形乾式変圧器外形図 3,450 V H 種絶縁  
Fig. 4.25 Outline dimensions of flameproof dry type transformer.

スイッチや表示灯などを取付けた自立操作盤(メータスタンド)を電動機の横に設置し制御する方法が石油工場などで多数使用されている。これは屋外での使用が多いので当社ではスタッドの上部に呼吸作用を促進させるための排気筒を、下部に容器内の水を抜く排水装置を設けることにより容器内外の温度差をできるだけ少なくしてガラス窓の曇りや露のできることを防いでいる。図 4.18 は構造図である。このほか操作開閉器を取付けハンドル式としたもの(図 4.19)や、操作開閉器だけを耐圧防爆構造とし、容器を安全増構造としたものがある(図 4.20)。

#### (4) 高圧気中電磁開閉器

高圧電動機の起動用あるいは変圧器一次開閉器として油入形に代わり、気中式のものが近年多数使用されているが当社ではシヤ

断容量の大きい SH105 あるいは SH205 形電磁接触器を使用しこれに表示灯、計器類、操作用変圧器、過電流継電器などの器具を取付けた SHX 形高圧気中電磁開閉器を標準としている。

SHX 形電磁開閉器の定格は、3,450 V、100 A、200 A がありいずれもシヤ断容量 25MVA である。この開閉器は 100 A 用、200 A 用とも同一寸法で、計器類は図 4.21 の箱体で電流計、電圧計、電力計まで取付けられるようになっており、取付品により表 4.5 の形名がつけられている。操作用変圧器を内蔵しているのでとくに電磁開閉器の操作電源を必要としない。

また高圧開閉器は原則として第 1 種場所における設置を止められているので標準品の端子箱は安全増構造とし、引込口はコンパウンド固着式とし屋外用のばあいとはとくに防滴カバーや屋根を取付け

ている。

(5) リアクトル 起動器

電源容量不足のばあい高圧電動機などの起動時、他系統への影響が大きいため減圧起動方式を採用するが、図 4.22 は高圧電動機のリアクトル 起動盤である。

SHX 形高圧電磁開閉器と乾式自冷リアクトルを組合せたもので屋外設置であるため、リアクトル および電磁開閉器は休止時にスペースヒータで保温するようになっており、吸湿による絶縁低下を防止している。このほか防滴カバー および屋根を設けている。

(6) 変圧器

当社は業界に先がけて、耐圧防爆形乾式変圧器を開発し現在まで多数の製作経歴をもっており、乾式変圧器は H 種絶縁方式を標準としており端子箱は第 1 種場所に設置されるばあいは耐圧防爆構造、第 2 場所のばあいには安全増防爆構造としている。図 4.23 は 150kVA 三相変圧器、図 4.24 は 150kVA 2 台並列の 300kVA 三相変圧器である。当社標準変圧器の寸法を図 4.25 に示す。

変圧器容量が大きくなると耐圧防爆構造では重量が増加し取扱いが不便であるから内圧防爆構造とした方が有利である。

5. その他の防爆機器

5.1 油入防爆構造 (o)

油入防爆構造は油の劣化、漏れおよび過大電流開路時の防爆性などの点から開閉容量の小さいもの以外は第 1 種場所での使用は危険であり、主回路の開閉器は第 2 種場所またはそれ以上の安全な所におくことが望ましい。

油入開閉器では開閉時に水素を含む可燃性の分解ガスを発生するので、ガスが容器内に充満しないように必ずガス抜穴を設け、火花開閉部は規定油面より一定の深さに保つため油面計を油タンクに取付けたり、油取換えできる排油装置などを設けるように考慮する必要がある。また使用にあたっては開閉器ではインチャングや大電流のシャ断はできるだけさけることが望ましい。この構造は開閉器、抵抗器、変圧器などに適用されるもので、当社では開閉器として SX 形油入配電箱 (図 5.1) や LH 形油入電磁開閉器など高圧用のものがある。低圧用機器はほとんど気中式であり、油入形としては PNO 形押しボタンスイッチ (図 5.2) がある。

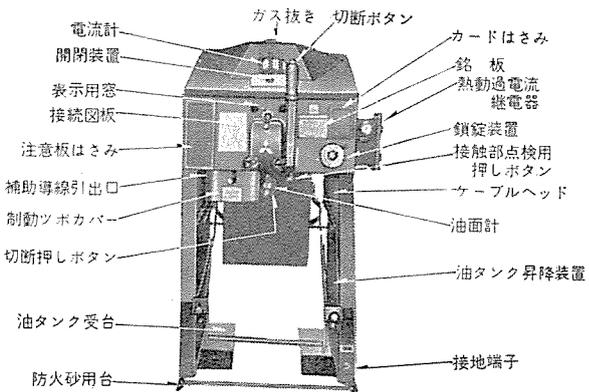


図 5.1 SX 形防爆形油入配電箱 (oe)

Fig. 5.1 A view of type SX explosionproof oil switch.

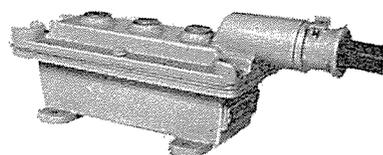


図 5.2 PNO 形油入押しボタンスイッチ (o)

Fig. 5.2 A view of type PNO explosionproof push-button station.

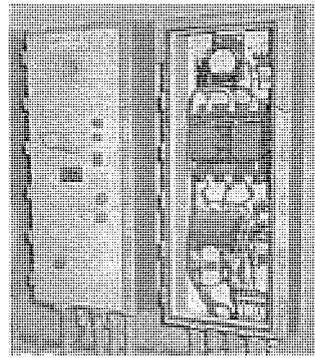


図 5.3 EDX13-29 形内圧防爆形電磁開閉器 (f)

Fig. 5.3 A view of pressurised explosionproof combination starter.

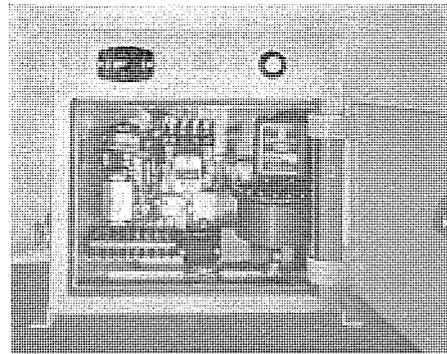


図 5.4 内圧防爆用監視盤

Fig. 5.4 Watching device for pressurised explosion-proof apparatus.

5.2 内圧防爆構造 (f)

点火源となるおそれのある部分を容器内に入れ、新鮮な空気や不燃性ガスなどの保護気体を容器内に圧入することにより運転開始前に容器に侵入していた爆発性ガスを駆逐するとともに、引続き運転中にこれらのガスが侵入しないようにしたもので、この構造には通風式と密封式とがある。前者は運転開始前に容器の 5 倍以上の内容積の保護気体で容器を清掃し、運転中は周囲圧力より水柱 5 mm 以上高く保持しなければならない。後者は保護気体を封入し内圧を維持する構造で両者とも規定圧力より低下するばあい警報または運転を停止させるなどの保護装置が必要である。内圧防爆は大形電気機器や爆発等級 3 に属するガスなどに対し採用されるものであるが、通風装置、監視装置などを必要とするので小形機器では高価なものとなるが大形機器では耐圧防爆とするよりも取扱い、保守ならびに設備が安くつくので、高圧の開閉器、変圧器あるいは計測器などについては将来相当使用されるものと思われる。図 5.3 は内圧防爆形コンビネーションスタータである。当社では連続通風式を標準とし、通風圧力は 20~100 mm 水柱で保護することとし、容器強度は 1 kg/cm<sup>2</sup> に耐えうる程度としている。

図 5.4 は内圧監視装置である。

5.3 特殊防爆構造 (s)

耐圧、油入、内圧、安全増のいずれにも属さない方法により爆発防止できることが試験により確認された構造であり、抗気防爆で認められている狭隙防爆構造やヒューズ、ケーブルなどをケイ砂や砂の中にくむこむ砂詰防爆構造 (Sand filled Apparatus) や、点



図 5.5 FX-IM 形特殊防爆形浮動水銀スイッチ (s)

Fig. 5.5 A view of type FX-IM special explosionproof type float mercury switch.

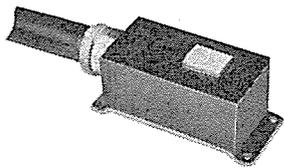


図 5.6 特殊防  
爆形制限開閉  
器 (s)

Fig. 5.6 A view  
of special ex-  
plosionproof  
type limit  
switch.

火エネルギー以下の微小入力で制御する回路方式の本質的安全防爆構造 (Intrinsically Safety Apparatus) などは特殊防爆構造に含まれる。当社では、水銀スイッチをエポキシ樹脂で成形した浮動水銀スイッチ (図 5.5) や鉄心の移動により差動的に巻いたコイルを前記樹脂で成形し、コイル出力電圧で増幅器を作動させる無接点押しボタンスイッチや磁気誘導形無接点リミットスイッチ (図 5.6) などがある。

## 6. 集成電気機器の防爆構造

変圧器と二次スイッチ断器を組合せたパワーセンタ、スイッチ断器と電磁開閉器を組合せたコントロールセンタなどにおいて、2個以上の独立した

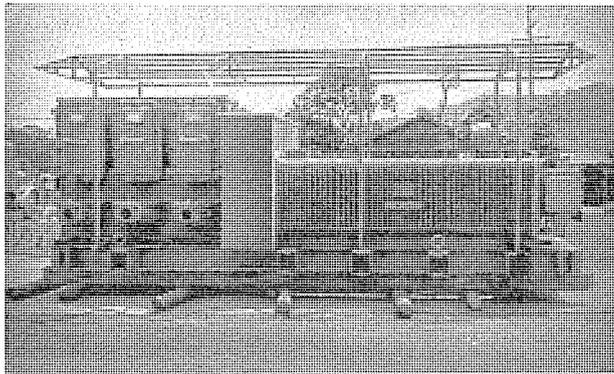


図 6.1 450 kVA 耐圧防爆形  
パワーセンタ (屋外用) (de1G1)  
Fig. 6.1 450 kVA flameproof type power center. (out door use)

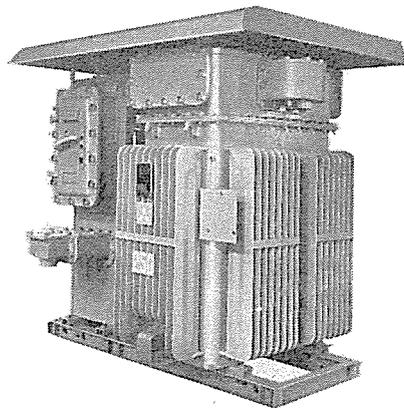


図 6.2 250 kVA 油  
入防爆形パワーセンタ  
(ode1G1) (屋外用)

Fig. 6.2 250 kVA  
explosionproof oil  
immersed power  
center. (out door  
use)

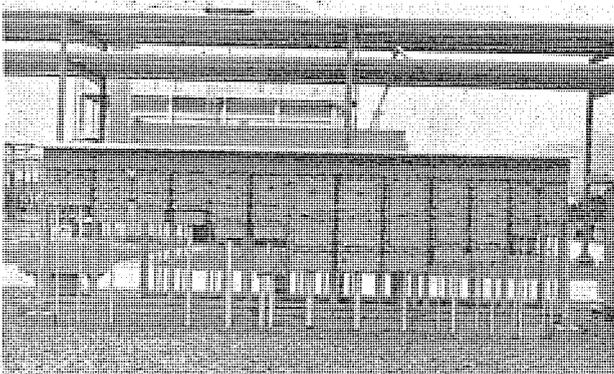


図 6.3 防爆形  
パワーセンタ (de1G1) (屋外用)  
Fig. 6.3 Explosionproof type power center. (out door use)

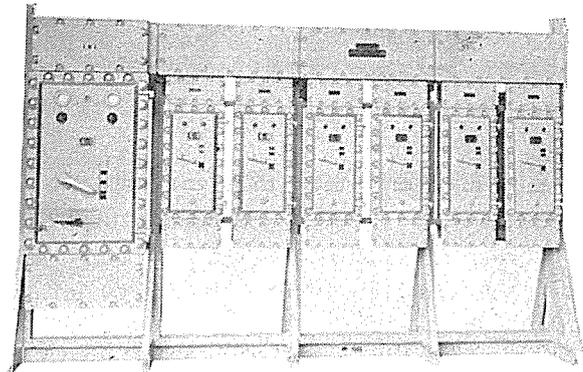


図 6.4 防爆形  
コントロールセンタ (de2G3)  
Fig. 6.4 Explosionproof type control center.

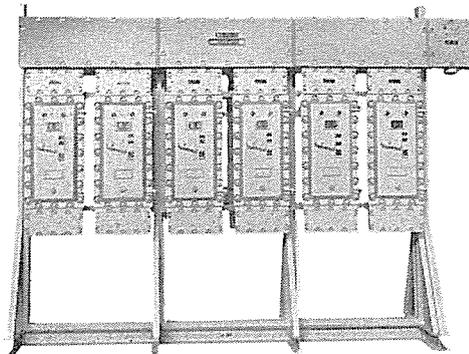


図 6.5 防爆形  
コントロールセンタ (de2G3)  
Fig. 6.5 Explosionproof type control center.

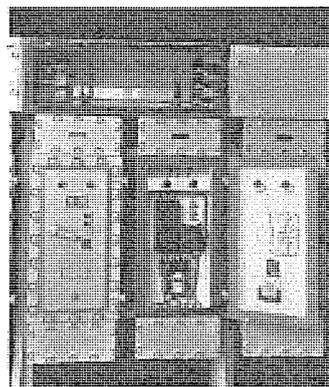


図 6.6 防爆形  
コントロールセンタ  
(de2G3) (カバーを開いた  
ところ)  
Fig. 6.6 Explosionproof type  
control center. (cover off)

機器を組合せて防爆機器としているものを集成電気機器とよび、特殊な構造となっている。図 6.1 は屋外用 450 kVA 耐圧防爆形パワーセンタで 450 kVA 耐圧防爆形乾式変圧器と DB 形耐圧防爆形スイッチ断器 (AC 600 V 1,500 A) および NF600 形耐圧防爆形気中スイッチ断器 5 台を安全増防爆構造の母線箱を介して組合せたもので、最大故障電流が 30,000 A を超えないように変圧器の % インピーダンスを高くとっている。図 6.2 は油入防爆形 250 kVA パワーセンタで、油入防爆変圧器と NE600 形耐圧防爆形気中スイッチ断器 2 台を組合せたものである。

図 6.3 は耐圧防爆形コントロールセンタである。これらはいずれも第 2 種場所の屋外で固定して設置されるため、防滴用の屋根を設け母線室のカバーはパッキンを介して取付けるなど特別な考慮が払われている。

図 6.4、図 6.5 は屋内用コントロールセンタ、図 6.6 は母線室の接続部分を示している。

パワーセンタやコントロールセンタなどでは、変圧器容量が大きいので故障電流を推定してスイッチ断容量を検討しておく必要がある。

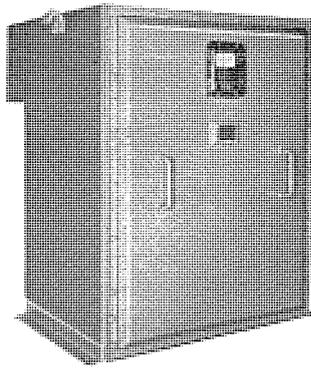


図 7.1 SHC-105 形特殊防  
じん 形高圧気中配電箱  
(SDP)

Fig. 7.1 A view of SHC-105  
special dustproof type high  
tension dry type switch  
box.

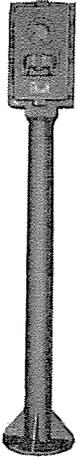


図 7.2 AS-2PC 形普通防じん形自立操作盤  
(DP)

Fig. 7.2 A view of AS-2PC dustproof stand  
type control box.

## 7. 粉じん防爆構造

粉じん 危険場所における電気設備についてはわが国では具体的な基準がなかったので、防じん構造のものを使用していたが、今回 NEC (米国電気工事規程) の Hazardous Location class II および class III を参考として、新しく基準が制定されたので、今後は防爆指針で規程された構造のものを使用しなければならないようになった。

当社では指針で示された構造により、図 7.1 に示す特殊防じん構造 (記号 SDP) の SHC 形高圧気中配電箱や図 7.2 に示す普通防じん構造 (記号 DP) の AS-C 形自立操作盤を製作したが防じん構造については基準が制定されたばかりであり、その構造の詳細についてはさらに検討しなくてはならないと思われる。

## 8. 安全増防爆構造の回転機の保護

安全増防爆構造の詳細については防爆形電動機の稿にのべられているように、欧州において設備費を安くしようとする経済的な理由から耐圧防爆形に代わりうるものとして考えられたものであり、その基本的な思想は sparkless つまり故障によって発火し点火源とならないものであることが強く要求される。したがって電動機のばあいその過負荷特性に対し完全に保護できる熱動過負荷保護装置を設けなければならない。したがって起動停止回数の多い電動機では保護装置はコイルが危険な温度上昇に達しないうちに作動するなどの欠点がある。

当社では電動機の温度保護の信頼性を増大しようとする目的で、今回正の温度係数をもつスイッチングサーミスタを開発した。これはアスピリン錠の大きさのセラミック円盤で PTC サーミスタと称するものを一相に 1 個ずつ 3 個を直列に接続し電動機巻線に組みこみ、危険

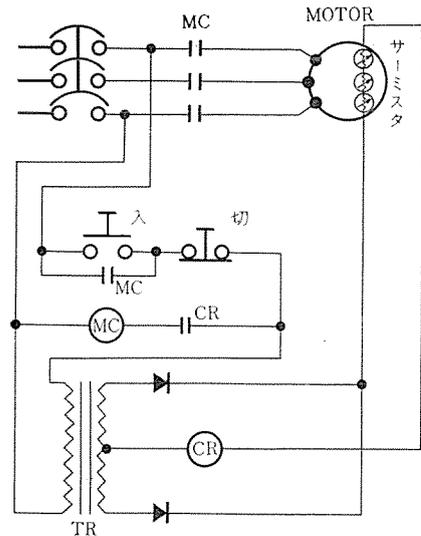


図 8.1

Fig. 8.1 Wiring of gurdistor motor relay.

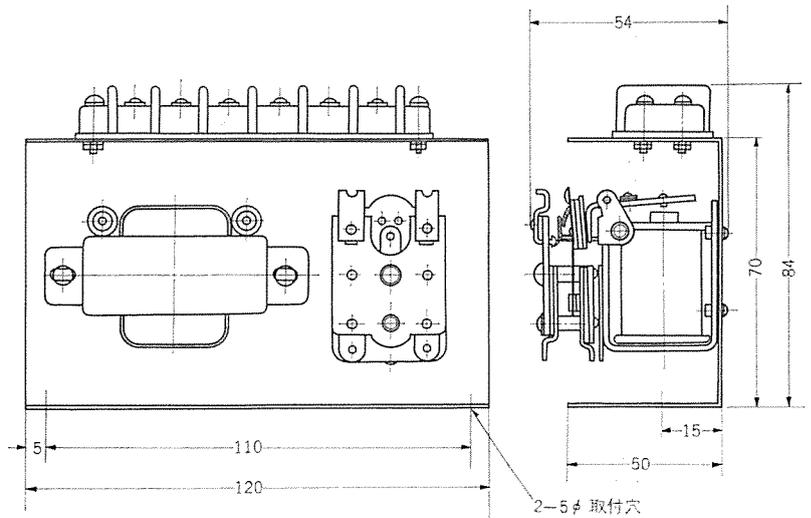


図 8.2 サーミスタ リレー 盤外形寸法図

Fig. 8.2 Outline dimensions of thermister relay box.

な温度 (A種絶縁では G1, G2, G3 のガスで 120°C) に達する前にサーミスタを開閉器として動作させるものである。

図 8.1 はサーミスタで保護するばあいの接続図で、現在開発されたものは A 種絶縁用で、巻線温度が 105°C 付近で回路をシャ断できる。図 8.2 はサーミスタ リレー 盤である。リレー部分はコンパクトにまとめられているので将来はサーマルリレーの代わりに多数使用されるものと期待している。

## 9. む す び

電気はあらゆる産業活動の基本であり電気なくしては生産活動も能率向上も考えられない。

したがって電気を安全に活用することは電気設備の保守を最小限に止め、工場災害を防止する かつ である。

とくに制御器類は常時火花を発するものであるから、その取扱い保守については万全を期す必要がある。

防爆電気機器の需要が増加しつつある今日、もっとも信頼していただける電気機器を供給しようよう努力をしているので今後とも各位のご厚意あるご批判とご協力により、安全性を保証した製品を作り工場災害防止に多少とも役だつように研究して行きたい。

# 工場用防爆形電気ホイスト

福岡製作所 藤木博愛\*・武谷勝次\*

## Explosionproof Electric Hoists for Factory Use

Fukuoka Works Hiroyoshi FUJIKI・Katsuji TAKEYA

Electric hoists are the most convenient and handy machines for loading and unloading, being extensively used in every industry. However, they must be constructed explosionproof where inflammable gases and vapor are present. General matters concerning the explosionproof apparatus are stated in other papers, so mention is only made for particular problems on explosionproof measures of electric hoists. Mitsubishi takes its standard to design the company's electric hoists to withstand class 2 explosion and G3 ignition (Ignition point exceeding 200°C). The reason of this decision together with construction and specification of the parts of the hoist are described in this paper. Particularly heating of magnetic breakers is discussed in detail so as to explain the device needs not explosionproof structure against ignition to the extent of G3.

### 1. ま え が き

電気ホイストは、もっとも手軽で能率的な荷役機械として、近年あらゆる産業に使用されているが、可燃性ガス・蒸気が存在する場所では、必ず防爆形ホイストを使用しなければならない。当社では従来工場電気設備防爆の旧指針による耐圧防爆形(dB2)および安全増防爆形(edB2)電気ホイストを製作していたが、指針および労働安全衛生規則の改正につづき、本年1月にJIS C 0903が制定されたのを機会に、安全増防爆形をやめ耐圧防爆形だけを製作することにし、従来のもよりさらに面目を新たにした工場防爆形電気ホイストを完成、現在まですでに多数各方面に納入している。その一例を図1.1, 1.2に示す。

防爆形電気ホイストについては従来ほとんど紹介されていないので、ここに現在生産中の当社工場防爆形電気ホイストについてその大要を述べてご参考供したい。防爆形電気機器に関する一般的事項については前に述べてあるので省略し、ここでは電気ホイストの特長を主として述べることにする。

その特長とするところは

- (1) エチレン・石炭ガス・ガソリン・ヘキサンなどまでの広範囲のガス・蒸気を対象とした耐圧防爆形とし、安全増防爆形は製作しない。(表示 d2G3)
- (2) ブレーキ部分は発火度 G3 までは防爆の必要を認めないので防爆構造は電気機器だけとする。

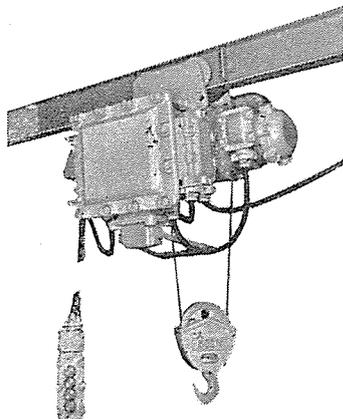


図 1.1 HN-1/2 HM 形耐圧防爆形電気ホイスト  
Fig. 1.1 Type HN-1/2 HM explosionproof electric hoist.

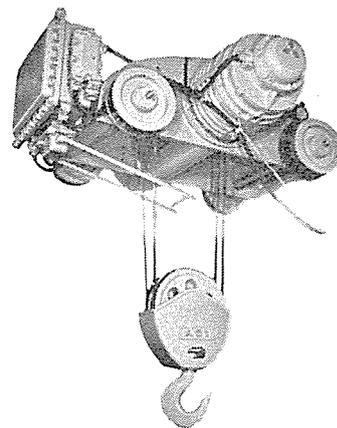


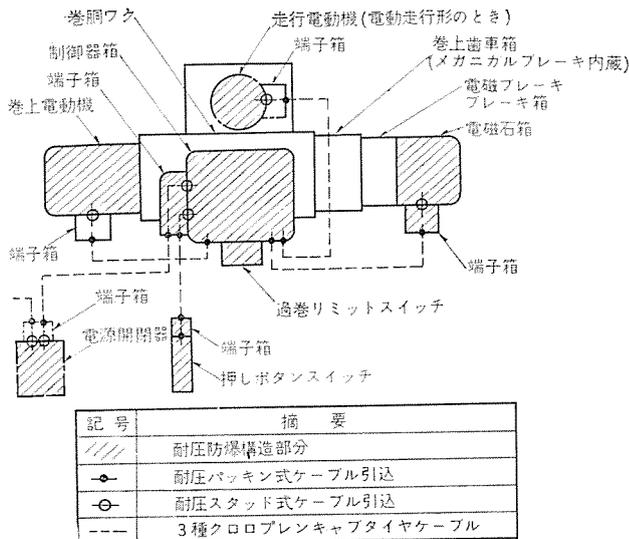
図 1.2 HB-5LR 形耐圧防爆形電気ホイスト  
Fig. 1.2 Type HB-5LR explosionproof electric hoist.

- (3) 電源側、押しボタン用ケーブル両端、電動機、電磁ブレーキ、電磁石箱などは保守点検の便をはかって端子箱を設けている。
  - (4) 端子箱は安全度を高めるため耐圧防爆構造のものを採用している。
  - (5) ケーブルはすべて接地線入りの3種または3種相当のクロップレキヤブタイプケーブルを使用し、電源部で確実に接地できるようにしている。
- などである。なお電気ホイストの全般的なことに関しては、本誌昭和33年第8号ならびに当社カタログ(C-20157またはL-30024-M)に詳述しているのでご参照願いたい。

### 2. 防爆形電気ホイストの特長

防爆形電気ホイストを設計するに際し、一般の電気機器と比較してつぎのような特異性を十分考慮しなければならない。

- (1) ホイストは荷物の運搬ばかりでなく設備の補修用にも使用される。したがって一般的な見地では第2種場所と判定される所でも破損設備からガスが漏れているばあいでも使用される可能性がある。
- (2) 図2.1に示すようにいろいろの電気機器および機械部分の集合体である。
- (3) 電気機器としては電動機・電磁石・配電用ケーブルのほか、常時火花を発生するスイッチ類が共存する。
- (4) 機械部分にはブレーキなどの発熱体を持っているため、そ



(備考) 電源開閉器はホイストの範囲外である。

図 2.1 防爆形電気ホイスト構成図  
Fig. 2.1 Construction of explosionproof electric hoist.

の温度上昇値を確認する必要がある。

- (5) これらは一体として組立てられ、高所のレールに取りつけられて走行する。
- (6) 操作は一般には地上からホイストとともに移動する押しボタンスイッチにより行なう。
- (7) 電気ホイスト本来の特長を減少させてはならない。

### 3. 電気ホイストの防爆上の問題点

JIS C 0903 の対象は電気機器に限られているが、ホイストを実際使用するに当たっては、その火花を発生する部分ばかりでなく高温となる部分についても防爆上の安全性を持たさなければならない。そこでホイストの設置条件や、その電気的ならびに機械的にも防爆上問題となりうる点をとり上げていろいろと検討を加えた結果、当社電気ホイストはその電気機器だけを耐圧防爆構造とすれば、爆発等級 2 発火度 G3 のガス・蒸気の存在する場所で十分実用に供することができるという結論に達した。つぎにその検討事項について述べる。

#### 3.1 設置場所と適用ガス・蒸気の種類

ホイストを設置するに当たってそれが第 1 種場所であるか第 2 種場所であるかその判定に苦むことが多い。また一般的な見地から第 2 種場所と判断されても、設備破損などのばあいでもその処置のためホイストは使用されうることを考慮に入れなければならない。安全増防爆形では第 1 種場所には使用できないが、耐圧防爆形のもの第 1 種・第 2 種場所とも使用できる。しかも後に述べる理由で安全増防爆形が耐圧防爆形にくらべて価格的に安くないとすれば、だれでも安全度の高い耐圧防爆形を選ぶのは当然である。

つぎに適用ガス・蒸気の種類であるが、現代化学の発達はめざましいものがあり、新しい製品がつぎつぎとあらわれている。このためできるだけ広い範囲にホイストを使用できるようにしたいわけであるが、ホイストが一般に天井に取りつけられた I 形鋼モノレールを走行する関係上、油入や内圧防爆が採用できないため耐圧防爆構造を採用すると、JIS の規定およびつぎに述べるいろいろの条件からあらゆるガス・蒸気に適用することは不可能である。そこで一般的にガソリンや石炭ガスは現在生活必需品とも考えるので、この程度を限度として爆発等級 2、発火度 G3 とすれば一応十分と考えられる。これらより悪い条件のものに対しては、

特殊防爆構造を研究中である。

#### 3.2 電動機部分

ホイストの電動機はとくに高ひん度の起動を要求されしかも荷物も多種多様であり、一般に目測により負荷されるから過負荷もしばしばありうることであり、高ひん度起動による温度上昇とともに、もっとも注意を要する点である。極端なばあいは電動機がロックされることもありうることで、安全増防爆形としてその温度上昇値を使用上十分な許容度を持たせれば電動機は必然的に大形となり、価格的にも割高のものとなる。そこでこれを耐圧防爆形として規格を一本化し量産すれば、コスト的にも割安で安全な品質の安定したものが得られることは想像に難くない。これがホイスト用電動機に安全増防爆形を採用しなかった理由である。

#### 3.3 電磁ブレーキ電磁石部分

電磁ブレーキ用電磁石はホイストを使用するにつれて電磁ブレーキ板が摩耗するため、固定コアと可動コアとの間隙がしだいに大きくなり、一定の期間を定めてこのギャップを調整する必要がある。もしこれを怠るとコアのギャップが過大となり、起動時コイルに過大の電流が流れてコイルの過熱を起こすことになる。またコアそのものもホイストが短時間定格であり、小形・強力にまとめる必要上その磁束密度はかなり高くつてある。このためコアおよびセージングコイルの温度上昇も当然考慮に入れなければならない。したがって正常運転時のコイルの温度上昇値だけを考慮して防爆構造を決定するのは危険である。

#### 3.4 電磁ブレーキブレーキ部分

ブレーキなどの機械部分に対する防爆規定は現在ないので一般にはほとんど考慮されていない。しかしながら電気ホイストに対しては電磁ブレーキは不可欠のものである以上、これを無視してホイストの防爆を論ずるわけにはいかない。このため当社ホイストではその温度上昇値を理論的および実験的に求め、この部分に電気機器に準じた耐圧防爆構造を適用することの要否を決定している。現在この部分に対しての防爆上の資料もないのでつぎに詳細に検討してみることにする。

電磁ブレーキは巻上電動機のロータなどの回転部分の運動エネルギーを短時間に吸収し、巻上・巻下を急速に停止するためのものであるから、その制動面では吸収した運動エネルギーが熱エネルギーに変化して温度も当然上昇する。この現象を

- (1) ブレーキ部分全体の温度上昇
- (2) ブレーキ摩擦面の局部的、過渡的の温度上昇

の二つに分けて考えることにする。

1 回の制動によってブレーキ部分から放出される熱量  $J$  は、回転部分の持つ運動エネルギーに等しいので

$$J = I\omega^2/2 \quad (J) \dots\dots\dots(3.1)$$

ここに  $\omega$ : 制動前の回転角速度 (rad/sec)

$I$ : 回転部分の慣性モーメント (kg・m<sup>2</sup>)

ホイストの電磁ブレーキは、円板形ブレーキ板 (レジンモールド系アスベスト) の間に円板形のブレーキ車 (鋳鉄) がはさまれて制動されるので、発生した熱量の大部分はブレーキ車側に移動すると考えられる。それで上記第 (1) 項としては、もっとも高温となる可能性のあるブレーキ車について考慮すればよい。

運転開始から  $t$  秒後のブレーキ車の温度上昇を  $\theta$  (°C) とすれば

$$\theta = \frac{Q}{h_c A} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \dots\dots\dots(3.2)$$

ただし  $Q = J/\tau$  (W),  $T = C/h_c A$  (sec) である。

ここに  $Q$ : 単位時間当たり発生熱量 (W)

- $h_c$ : ブレーキ車の熱放散係数 ( $W/^\circ C \cdot m^2$ )
- $A$ : ブレーキ車の放熱面積 ( $m^2$ )
- $T$ : ブレーキ車の熱時定数 (sec)
- $\tau$ : 平均制動周期 (sec)
- $C$ : ブレーキ車の熱容量 ( $J/^\circ C$ )

つぎにホイストの電磁ブレーキは、非常に短い制動時間(0.2~0.4 sec)内に式(3.1)に示した熱量が摩擦面に発生するので、この部分だけが局部的、過渡的に温度上昇することが考えられる。この値を $\theta_l$ ( $^\circ C$ )とすれば

$$\theta_l = \frac{2}{\sqrt{C\rho K\pi t_b}} \cdot \frac{J}{S} \dots\dots\dots(3.3)$$

となる<sup>(1)</sup>。ただし  $t_b = \omega I / T_b$  (sec)

- ここに  $C$ : ブレーキ車の比熱 ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )
- $\rho$ : ブレーキ車の密度 ( $kg/m^3$ )
- $K$ : ブレーキ車の熱伝導度 ( $J/sec \cdot m \cdot ^\circ C$ )
- $t_b$ : 制動時間 (sec)
- $T_b$ : 制動トルク ( $N \cdot m$ )
- $S$ : 全制動面積 ( $m^2$ )

この $\theta_l$ は停止後非常に短い時間(大体 $t_b$ 位)で定常状態に達すると考えられるので、制動面の最大温度上昇値 $\theta_{max}$ は次式で表わされる。

$$\theta_{max} = \theta + \theta_l \dots\dots\dots(3.4)$$

これらの式に当社ホイストの実際の数値を入れて計算した結果では $\theta_l$ は案外小さく、 $\theta_{max}$ はほとんど $\theta$ の値によって決定される傾向にある。 $\theta$ の計算で問題となるのは起動ひん度であるが、実用的に考えられる最大のひん度および使用時間として、1,200回/hで15分間、600回/hで30分、300回/hで連続をとって計算し、また実際試験を行なった結果 $\theta_{max}$ すなわち制動面の最大温度上昇値は100 $^\circ C$ 未満である。これはG3の温度上昇限度120 $^\circ C$ よりかなり下まわっている。

以上の理由により発火度G3のものに対しては、ブレーキ部分に対しとくに耐圧防爆構造とする必要を認めない。

### 3.5 制御器部分

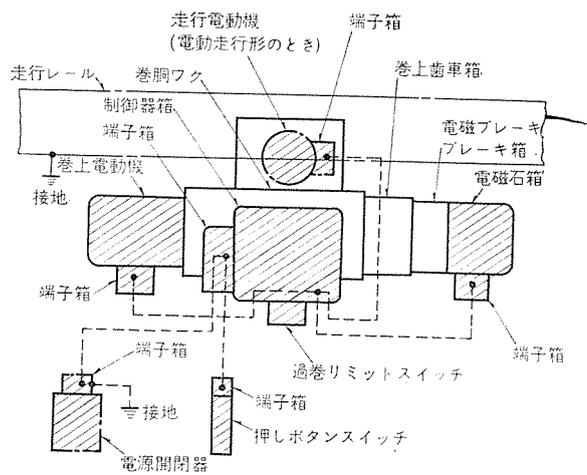
制御器部分は常時火花を生ずる部分であり、もちろんこの部分には安全増防爆は考えられない。制御用または操作用スイッチを防爆上安全な場所に置いて、ホイストを遠方操作するばあいでも、過巻リミットスイッチはつねにホイスト本体とともに移動するので、ホイストを据置形として防爆上安全な場所に置かないかぎり、リミットスイッチは防爆形とする必要がある。このため水素、アセチレンなどに対する一般の耐圧防爆形電気ホイストは製作できないわけである。

### 3.6 給電装置

一般の電気ホイストはトリアール線からトリアールポールにより集電するが、防爆形ではケーブルケーブルによらなければならない。このばあい注意しなければならない点は、そのケーブル支持装置とケーブルサイズの決定である。

ホイストの走行レールが直線で距離も30m以下程度なら問題ないが、レールが曲線のばあいや走行距離が長いばあいは、その条件にしたがって検討しなければならない。とくにレールが細長いルーラ状などのときはほとんど不可能であり、U字形やガータつきに変更を要する必要がある。

つぎにケーブルサイズであるが、これは電源変圧器からホイストまでの全配線についてもいえることで、ホイストは起動ひん度が高く、その電動機はいずれも直入起動式であるため、給電線が長いばあいは温度上昇に対する安全電流値ばかりでなく起動電流による起動時の電圧降下に対して十分に考慮しなければならない。



記号	摘要
////	耐圧防爆構造部分
●	接地端子
≡	接地
---	接地用導線(ケーブルの1心を使用)

(備考) 制御器箱の2個の接地端子は電気的に完全に接続されるようになっている。

図 3.1 防爆形電気ホイスト 接地関連図  
Fig. 3.1 Ground connection for explosionproof electric hoist.

### 3.7 接地

接地についてはとくに安全上十分な考慮をはらう必要がある。ホイストはレールを走行するので、このレールを完全に接地しておけば通常問題ないわけであるが、じん埃その他の介在物により、ホイストがレールに対しつねに規定の抵抗値以下で接触していると断定しがたい。このため当社防爆形ホイストはとくに電源ケーブルを4心とし、1線を電源部で完全に接地するようにしている。これらの関係を図3.1に示しているので、各部の接地がどうなっているか一見してわかると思う。

### 3.8 その他

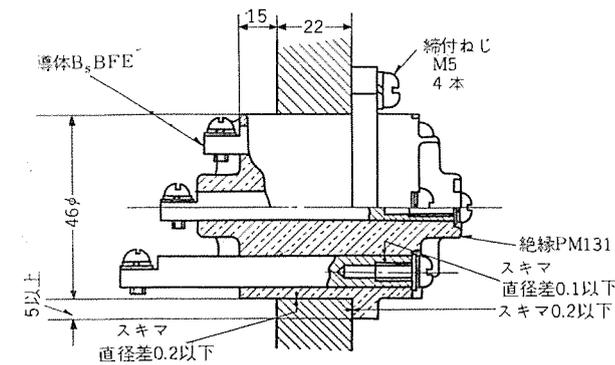
JISC 9620(電気ホイスト)によれば、機器外周温度でもっとも高温となる部分は巻上歯車箱で、その温度上昇値は70 $^\circ C$ となっているが、当社のものはこの限度内に十分の余裕をもってはいっている。この温度上昇はおもに荷重巻下時のメカニカルブレーキの発熱によるものであり、その制動面発熱は歯車箱内の潤滑油を媒介として、歯車箱全体の温度上昇となるわけであるから、このばあい制動面だけの局部的温度上昇は問題とならない。

しかしながらも発火度G4までを対象として考えるならば、G4に対する温度上昇限度が70 $^\circ C$ であるため、最悪のばあい問題となり、このばあい荷重および使用ひん度などよほど明確にしておかないと危険である。

以上いろいろと述べて来たが電気ホイストは、JISC 9620による30分定格を標準としていることは考慮しておかなければならない。したがってとくに起動ひん度の高いものや連続的に使用されるものについては、一般電気ホイストと同様各部分をその仕様適合したものとして製作しなければならない。

## 4. 各部構造概要

2, 3項で電気ホイストの特異点、問題点を検討した結果、機械構造部分は標準と同じものを使用し、電気部分だけを耐圧防爆形(d2G3)とすることにした。つぎにその防爆構造に対する見解を述べるが、一般電気機器に対する概念やその構造については前に述べてあるので、ここでも電気ホイストに限定して述べることに



	導体本数	締付ねじ 大きさ
操作用	5本 (8mmφ)	4
電源用	3本 (13mmφ)	6

(備考) 沿面距離………16mm 以上  
空間絶縁距離………8mm 以上

図 4.1 耐圧 スタッド 式導体引込部分詳細図 (操作用および電源用)  
Fig. 4.1 Explosionproof type terminal block detail.

する。

#### 4.1 電動機

電気ホイストの電動機は全閉特殊カゴ形であり、3.2項で述べた理由で耐圧防爆形 (d2G3) を採用している。温度上昇値や構造など一般耐圧防爆形電動機と同じであるが、端子箱は耐圧防爆形を採用している。ホイスト機器間の配線には3種キャブタイヤケーブルを使用しているので、JIS規格によれば、この部分は安全増防爆形の端子箱を使用してもよいことになっているが、ホイストのばあいには電磁石類の吸引時の衝撃や走行時の振動が比較的に強いので端子ねじがゆるむ可能性があり、このため万一この部分で火花を生じても安全なよう考慮しているわけであり、保守上も便利である。電動機内部と端子箱間は耐圧スタッド式、端子箱からのケーブル引出口は耐圧パッキン式とし、端子箱には内部接地端子を設けている (図 2.1~4.2 参照)。

#### 4.2 電磁ブレーキ電磁石箱

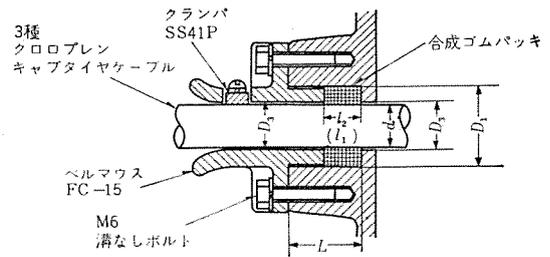
この部分は電磁石を内蔵しており、3.3項に述べた理由でやはり耐圧防爆構造 (d2G3) としている。ブレーキ作動用に引き棒と称するロッドが容器外に出るが、その運動はホイストの起動停止時だけであり、通電中は静止しているのでそのスキマおよびスキマの奥行としては「静止部分またはまれに動く部分」を適用できる。また電磁石箱とそのカバーに対しては規定のスキマおよびスキマの奥行をとり、締付ねじは錠締構造とし、容器およびねじの強度はもちろん内圧 10 kg/cm<sup>2</sup> に十分耐えるものとしている。

端子箱は前記電動機と同じ考え方を採用しているが、スタッドは電磁コイルが単相のため2本となっている点異なる (図 2.1, 3.1, 4.2, 4.3 参照)。

#### 4.3 制御器箱

電気ホイストの制御器箱は、一般にホイスト構成の中心となる巻胴ワックに取りつけられ、電源およびホイスト各機器間配線の中すうをなすものである。防爆構造はすでに述べられた電磁開閉器の耐圧防爆構造 (d2G3) となら異なる所はないが、配電用キャブタイヤケーブルの引込方式に集積機器としての特異性がある。

ホイスト機器間の配線は、一般に工場出荷時すでに完了しており、据付時に給電用キャブタイヤケーブルを電源開閉器に取りつけるだけとなっている。ホイスト機器間の配線に対しては「2個以上の電気機器が組合わされて1個の電気機器を構成し、これらの間を結合



(備考)  $l_1$  は圧縮前、 $l_2$  は圧縮後のゴムパッキン長

貫通導線	寸法 mm	d	D <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>	L	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>
3種 4心 0.75mm <sup>2</sup>		16.5	33	17.5	25	15以上	12以上
3種 4心 2mm <sup>2</sup>		17.9	33	19	25	15以上	12以上
3種 4心 3.5mm <sup>2</sup>		19.8	33	21	25	15以上	12以上
3種 6心 0.75mm <sup>2</sup>		19.5					
3種 4心 5.5mm <sup>2</sup>		21.7	39	23	25	15以上	12以上
3種 4心 8mm <sup>2</sup>		23.3	39	25	25	15以上	12以上

図 4.2 耐圧パッキン式ケーブル引込部分詳細図  
Fig. 4.2 Explosionproof type cable packing seal detail.

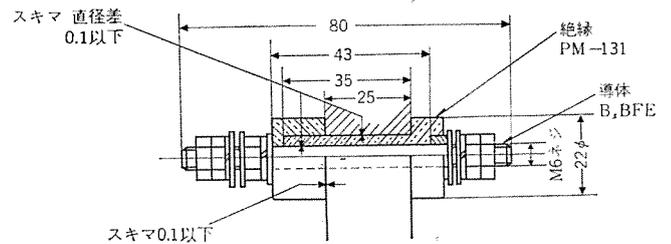


図 4.3 耐圧スタッド式導体引込部分詳細図 (電磁ブレーキ電磁石箱)  
Fig. 4.3 Explosionproof type terminal stud detail.

する導線の一部が機器の外に出るばあいにも、これが短かく外傷に対し保護されていて器具内結線と認めうるばあいには、パッキン引込方式を用い端子箱を省略することができるが当てはまる。給電用ケーブルと押しボタン用ケーブルは長くてこれが当てはまらないため必ず端子箱を用いなければならないが、ホイスト機器間の配線にはこれが適用できる。しかしながら保守上の問題を考慮して、当社のものは図 2.1 に示すように制御器箱だけを耐圧パッキン引込方式とし、電動機と電磁石箱側には端子箱を設けている。なお接地用導線は万一ホイスト機器間の締付部分がなんらかの原因で接触抵抗が増大したときのことを考慮して、図 3.1 に示すよう各機器ごとに接地端子を設け、すべてが一括して電源部分に接地されるようにしている。

#### 4.4 過巻リミットスイッチ

当社電気ホイストの過巻リミットスイッチは制御器箱の下部に図 2.1 に示すよう直接取りつけて一体として組立てられており、これらは制御器箱内部で配線できるため特別なケーブル引込部分不要である。したがって過巻リミットスイッチは制御器箱の一部としての防爆構造を満足すればよい。リミットスイッチのレバー軸は、「まれに動く部分」としてのスキマおよびスキマの奥行を適用できる。

#### 4.5 押しボタンスイッチおよびそのケーブル

押しボタンスイッチはホイスト本体から垂下され、ホイストとともに移動し一般に片手で操作するため小形軽量にまとめる必要があり、当社のものは防爆上許容しうる最小限の寸法としている。

操作用キャブタイヤケーブルは、2点押しボタンに対し4心、4点押しボタンに対して6心を使用し、それぞれ1心は図 3.1 に示すよう接地用に利用している。このケーブルはとくに耐屈曲性のすぐれたものを使用し、またケーブルに直接張力が加わらないよう鎖

で本体につり下げているが、ホイストの各ケーブルの中ではもっとも損傷を受けやすく取換えの必要も生じてくる。このためケーブル両端には端子箱を設けており、その引込口は耐圧パッキン式を採用し端子箱内でねじ接続するようにしている。つまり外部のケーブルを取換えるときは、このねじ部分で取換えるのでスイッチ内部の防爆機能がそこなわれることはない。

押しボタンスイッチ内部と端子箱間の導体引込は、押しボタンケースが小さいため、スタッド方式とせず、耐圧パッキン式を採用し、小形軽量化をはかっている。

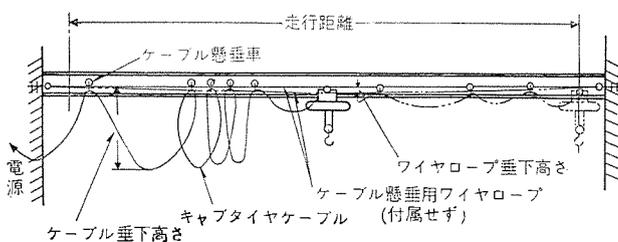
#### 4.6 配電および給電用ケーブル

防爆ホイストの配電および給電用ケーブルは、表 4.1 に示す 3 種または 3 種相当のクロロレンキャブタイヤケーブルを使用し、図 3.1 に示すようにその 1 心は接地用に利用している。とくに押しボタンスイッチのケーブルは前述のように耐屈曲性のとくにすぐれたものを使用している。

給電用ケーブルは、走行距離が短いばあいはホイストと給電点との間に垂下させておくだけでよいが、長くなると図 4.4 に示すようなケーブル懸垂装置が必要となる。これはワイヤロープなどを走行レールと平行に張り、これに滑車を走らせてケーブルを懸垂させるもので直線走行だけに限られる。曲線走行のばあいはその条件に

表 4.1 標準防爆形電気ホイスト用ケーブル一覧表

形式容量 用途	HN-1/4 t	HB-1 t	HB-2 t	HB-5 t HB-7.5 t	HB-15 t
	HN-1/2 t		HB-3 t	HB-10 t	
給電	2 mm <sup>2</sup>	2 mm <sup>2</sup>	5.5 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>	14 mm <sup>2</sup>
巻上電動機	0.75	2	3.5	8	14
走行電動機	0.75	0.75	0.75	2	2
電磁ブレーキ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2 点押しボタン	防爆形特種 4 心 0.75 mm <sup>2</sup> クロロレンキャブタイヤケーブル				
4 点押しボタン	防爆形特種 6 心 0.75 mm <sup>2</sup> クロロレンキャブタイヤケーブル				



(備考) 1. ワイヤロープ垂下高さは、ホイストが右端に来たばあいの中央でのワイヤロープの最大タワミの量を示す。  
2. 走行レールは直線に限る。曲線のばあいは別途ご照会願いたい。

走行距離 (m)	ケーブル懸垂車数(可動個)	ケーブル垂下高さ (m)	ワイヤロープ太さ (mm)	ワイヤロープ垂下高さ (m)
10	3	1	6	0.03
15	5	1	6	0.07
20	7	1	6 8	0.13 0.08
25	9	1	8	0.13

図 4.4 ケーブル懸垂装置概略図  
Fig. 4.4 Cable suspension system outline.

従って別途考慮している。

電源開閉器はホイストとは別個になるが、ホイスト電動機の容量に応じて短絡および過負荷保護のついたものを選定する必要がある。これはホイストが高所に設置されており、しかも荷役作業上これらの保護装置をホイストの制御器につけることが不具合なためである。

電源開閉器は設備場所のうちなるべく安全度の高い場所に設け、とくに給電ケーブルの 1 心は必ず接地しなければならない。その他の配線工事については防爆規定および一般電気工事基準に従って行なう必要がある。なお防爆形ホイストつき天井クレーンなどのばあい、クレーン走行電動機の制御器箱を分岐箱と兼用させることができる。

## 5. 仕様

仕様としては保護構造が耐圧防爆形 (d2G3) となっている以外は、標準ホイストとなら異なるところはないので、ここではその概略を列記するに止める。

- (1) 形名 HN・HB 形
- (2) 容量 1/4~15 t
- (3) 揚程 低揚程, 高揚程, 超高揚程
- (4) 形状 普通形, D-ヘッド形, ダブルレール形
- (5) 走行方式 懸垂形, 手押・鎖動・電動走行形など
- (6) 操作方式 床上押しボタン, 遠方操作, 自動, 半自動, 運転室操作など
- (7) 保護構造 JIS C 0903 による耐圧防爆形 d2G3, ただし屋外形や防食形もある。
- (8) 巻上速度 標準のほか微速・高速・2 段速度など
- (9) 走行速度 同上
- (10) 走行レール 標準に同じ, ただしできるだけ直線
- (11) 集電装置 3 種 4 心 クロロレンキャブタイヤケーブル
- (12) 電源 三相交流, 標準は 200/220 V, 50/60 c/s
- (13) 定格 JIS C 9620 による 30 分定格
- (14) 塗装色 本体 マンセル 7.5 BG 6/1.5, フックと押しボタンケース 2.5 Y 8/12 が標準
- (15) 応用品 ケージつきテラハ, ホイストつき天井クレーンなど

## 6. むすび

以上現在製作している当社工場防爆形電気ホイストの概要について述べた。ホイストの使用分野が現代産業のあらゆる場所に広まり、しかも各現場には現代化学の産物としての爆発性物質が進出している現情にかんがみ、労働安全上の見地から防爆形ホイストの使用は今後ますます増大するものと考えられる。現在当社電気ホイストは爆発等級 2, 発火度 G3 を限度としているが、今後爆発試験設備により実験を重ね、もっと高度の防爆性を要するガス・蒸気に対しても使用できる特殊防爆形電気ホイストを製作する方針である。

## 参考文献

- (1) 林重憲: 演算子法解説, 251 (昭 30)

# 防爆構造電気機器の爆発試験設備

福岡製作所 林 昇寿\*・中尾伊三郎\*\*・佐藤勝治\*\*・小井川 茂\*\*

## Explosion Test Equipment of Explosionproof Electric Apparatus

Fukuoka Works Shōji HAYASHI・Isaburō NAKAO・Katsuji SATŌ・Shigeru KOIKAWA

Because of the development of chemical industry of late, demand for explosionproof electric apparatus is now on the increase for disaster prevention of plants as well as that of coal mine. Under the circumstances Mitsubishi has completed large scale explosion test facilities to be used for the development of safe and dependable apparatus. The test equipment consists of an enclosed type explosion test vessels with a volume of 1,100 l and of 240 l, and also an open type test vessel of 30,000 l in volume. With this equipment the Company is now able to conduct not only explosion test of explosionproof apparatus but also basic study such as analysis of gas explosion phenomena.

### 1. ま え が き

抗気防爆とともに最近の化学工業の発展により、ガス、蒸気、粉じんによる火災や爆発の危険場所が増大する傾向にあり、工場電気設備の防爆に対する一般の認識も高まってきた。

さらに労働基準法に基づく「改正労働安全衛生規則」が36年10月1日より全面施行となり、ガス、蒸気、粉じんの爆発危険場所における防爆構造電気機械器具の使用が明確化された。

当社ではこれまで優秀な防爆構造電気製品を多数製作するとともに試験研究に力をそそいできたのであるが、このような情勢下

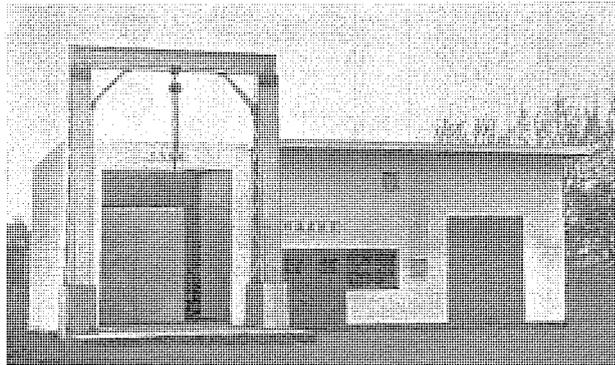


図 1.1 防爆実験室全景

Fig. 1.1 Full view of explosionproof room.

にあって、より安全性、信頼性の高い防爆機器を製造、開発するため、これら防爆構造電気機器製品の構造試験だけでなく、ガス爆発現象の解析など基礎的な実験研究を行なう目的で、大規模な爆発試験設備の計画を行ない、このほど福岡製作所内に、内容積 1,100 l および 240 l の密閉形爆発試験容器と内容積 30,000 l の開放形爆発試験容器からなる爆発試験装置を設備した防爆実験室を完成した。

これらの爆発試験容器はわが国で最大の内容積を有するが、とくに内容積 1,100 l の密閉形爆発試験容器は、この形式のものとしてはわが国では例のない最大のもので、水素ガスその他いかなる混合ガスによる試験でも容易に行なうことのできる構造のものである。

### 2. 防爆構造電気機器の試験

#### 2.1 試験内容

防爆構造電気機器の試験方法については、労働省産業安全研究所より発表された防爆指針追補“4000 防爆構造の電気機器試験

表 2.1 各種防爆構造への試験の適用

防爆構造の種類に応じて○印の試験を行なう

試験の種類	耐圧防爆構造	内圧防爆構造	油入防爆構造	安全増防爆構造
構造検査	○	○	○	○
機械的強度試験	○ <sup>(1)</sup>			○ <sup>(1)</sup>
爆発試験	○			
発火試験			○	
温度試験	○	○	○	○
熱衝撃試験	○ <sup>(2)</sup>			○ <sup>(2)</sup>
散水試験	○ <sup>(3)</sup>	○ <sup>(3)</sup>	○ <sup>(3)</sup>	○ <sup>(3)</sup>
気密試験				○ <sup>(4)</sup>

- 注 (1) 機械的強度試験はのぞき窓、照明器具、さし込接続器およびフレキシブルフィッチングについて行なう。  
 (2) 熱衝撃試験は耐圧防爆構造の移動灯および屋外用の照明器具について行なう。  
 (3) 散水試験は屋外用機器について行なう。  
 (4) 気密試験は照明器具について行なう。

方法” (改訂案) に定められ、これが近い将来、JIS 規格化されることになっている。これによると形式試験として、構造試験、機械的強度試験、爆発試験、発火試験、温度試験、熱衝撃試験、散水試験、気密試験の 8 種類があり、防爆構造の種類に応じて、表 2.1 のように適用される。

これらの試験の実施は、工場防爆の場合はその実施者については指定してないので、公的機関に依頼してもメーカー自身の責任において実施してよいことになっているが鉱山関係の抗気防爆については公的機関に依頼しなければならず、L.P.G タンクなど船舶関係の防爆電気機器については AB 規格、ロイド規格などがあり、AB 規格の場合は社内試験では認められず第三者の証明が必要である。

#### 2.2 爆発試験

前述の諸試験のうち、もっとも重要な試験は耐圧防爆構造電気機器について行なわれる爆発試験であり、これは爆発強度試験と爆発引火試験からなり、つぎに述べるような内容のものである。

##### (1) 爆発強度試験

爆発強度試験とは、耐圧防爆構造電気機器において、その爆発等級にしたがって機器内部に、表 2.2 に示された爆発圧の得られるような爆発性混合ガスを満たし、点火爆発させるもので、機器容器はこの爆発圧に耐えなければならない。

規定の爆発圧を得るには一般に混合ガスの初圧を上げるにより解決する。その理由は

一般に爆発圧は

表 2.2 爆発強度試験必要内部圧力

機器内容積	2 cm <sup>3</sup> 以下	2 cm <sup>3</sup> をこえ 100 cm <sup>3</sup> 以下	100 cm <sup>3</sup> をこ えるもの
爆発等級 1	製 作 上 必 要 な 強 さ	8 kg/cm <sup>2</sup> 以上	10 kg/cm <sup>2</sup> 以上
爆発等級 2			
爆発等級 3			
爆発試験により測定した爆発圧力 の 1.5 倍、ただし最小値は 8 kg/cm <sup>2</sup> 10 kg/cm <sup>2</sup>			

$$P_e = P_a \cdot \mu \cdot \frac{T_e}{T_a}$$

ただし  $P_e$  爆発圧  $T_e$  爆発温度 (絶対温度)

$P_a$  初圧  $T_a$  初めの温度 (絶対温度)

$\mu$  ガス 燃焼時の体積変化

にて与えられ、 $\mu \cdot \frac{T_e}{T_a} = \text{const}$  とすると爆発圧  $P_e$  は初圧  $P_a$  に比例して増加することになる。

初圧を上げる場合、機器の スキマ がこの実験を困難にする場合には、その スキマ をかりに閉鎖して試験を行なってよい。

この試験は 10 回繰返し行なって、試験結果、機器容器に破損を生じたり、実用上支障のある変形を生じてはならない。

(2) 爆発引火試験

爆発引火試験とは、耐圧防爆構造電気機器において機器容器内部および外部、すなわち爆発試験容器内に、機器の爆発等級より 1 級上位の爆発等級に属する混合ガス (爆発等級 8 級に属する機器では、対象ガスと空気混合物でもっとも火炎逸走しやすい混合比のもの) を満たして、機器容器内部で点火爆発させ、機器容器外部への火炎逸走の有無を調べるものである。

機器容器内の点火はできるだけ火炎逸走しやすい位置を選んで行ない、試験回数は 15~50 回繰返し行ない、そのうち一度でも火炎逸走してはならない。

なお、爆発引火試験により、表 2.2 に示された圧力が得られたら爆発強度試験をも含めて行なってよいことになっている。

3. 当所の防爆試験設備

3.1 防爆実験室

防爆実験室は、図 3.1 に示すようなもので大要はつぎのとおりである。

建物 鉄筋ブロック構造

建坪 85 m<sup>2</sup>

つぎの各室からなる。

(a) 密閉形爆発試験室

(1,100 l および 240 l 密閉形爆発試験容器、高圧ガス混合器、2 t ホイスト)

(b) 開放形爆発試験室

(3,000 l 開放形爆発試験容器、ターボフロア混合用ファン、荷おろし用チェンブロックおよび台車)

(c) 観測室

(爆発圧力測定器、操作スイッチ盤、密閉形爆発装置バルブ操作盤)

(d) 機械室

(真空ポンプ、コンプレッサ)

(e) 高圧ガス容器室

(圧縮空気および各種高圧ガスポンプ)

実験室建物は開放形爆発試験装置による爆発引火試験の際、相当大きな空気振動を生じ、大音響を発するので周囲に及ぼす影響を考慮して周囲の建物より 50 m 以上離れた所内運動場の片隅に建設した。

実験室建物自身、爆発時の衝撃圧に耐えることが要求されるので、壁の厚さは 250 mm あり、爆発試験において被試験機器が破壊、飛散しても安全であるように設計してある。

また各室にはベンチュレータおよび換気扇などを取りつけて、自然および強制換気を行ない、たとえガスもれなどの事故が生じても危険濃度に達しない構造にできている。

さらに密閉形および開放形爆発実験室内の電気設備はすべて耐

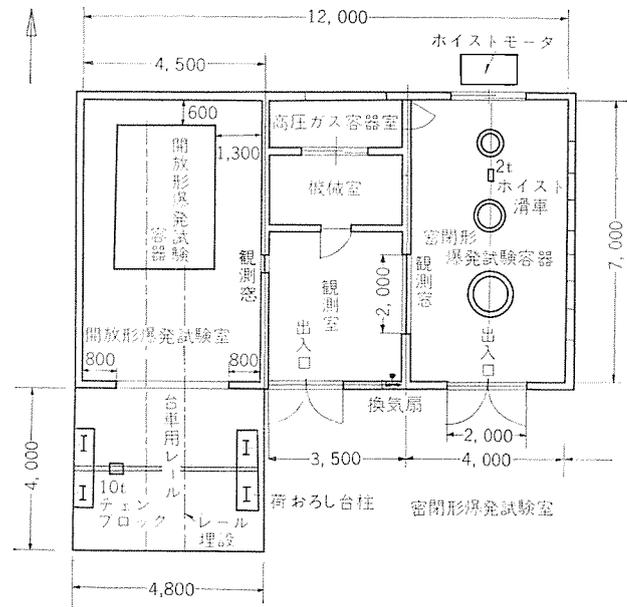


図 3.1 防爆実験室平面図

Fig. 3.1 Plan of explosion test room.

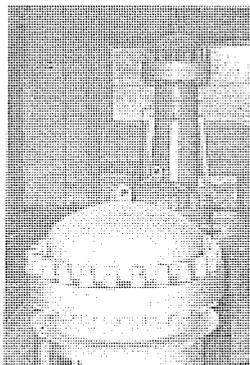


図 3.2 密閉形爆発試験室  
Fig. 3.2 Enclosed type explosion test room.

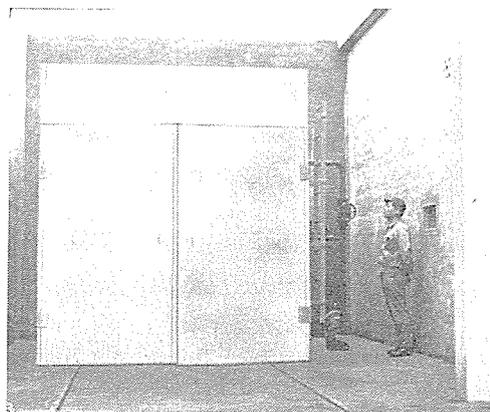


図 3.3 開放形爆発試験室  
Fig. 3.3 Open type explosion test room.

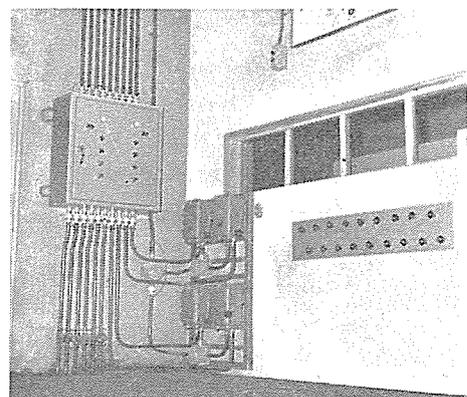


図 3.4 観測室 (スイッチ操作盤および密閉形爆発試験装置のバルブパネル盤)  
Fig. 3.4 Observation room.

圧防爆構造をとり、観測室内には危険ガス配管が通らないようにしてある。

この防爆実験室の特長は密閉形爆発試験装置と開放形爆発試験装置の両方の設備を有することである。

密閉形爆発試験装置は全密閉の爆発試験容器と同じ構造の高圧ガス混合機および真空ポンプ、コンプレッサなどから構成されたものであり、開放形爆発試験装置は鋼製角形容器で、その一面を開放した（試験の際はビニール膜などで密閉する）爆発容器とガス循環フロー、混合ファンなどから構成されている。

この両者を比較した場合、密閉形爆発試験装置のほうが設備が高くつく点をのぞくと、空気とガスとの混合比の決定が容易で混合時間が短い、すなわち試験に要する時間が短いこと、初圧が自由に得られるので引火試験と強度試験が同時にできること、および開放形の場合のように引火試験の際に大音響を発生することがないなどあらゆる面ですぐれている。

ゆえに密閉形爆発装置による試験を主とし密閉形で試験できない、大形の機器だけ開放形で行なう方針により内容積 240 l および 1,100 l の密閉形爆発容器を有する密閉形爆発試験装置と内容積 30,000 l の開放形爆発容器を有する開放形爆発試験装置の設備を行なったものである。

### 3.2 密閉形爆発試験設備

#### (1) 密閉形爆発試験装置の概要

密閉形爆発試験装置は図 3.5 のような構造であり、労働省産業安全研究所の同構造装置を参考に設計製作したものである。

この装置はつぎのものからなる。

#### (a) 大形密閉形爆発試験容器

内容積 1,100 l  
 内径 1,000 mm 高さ 1,540 mm  
 最高常用圧力 15 kg/cm<sup>2</sup>

(図 3.6 参照)

#### (b) 小形密閉形爆発試験容器

内容積 240 l  
 内径 600 mm 高さ 1,016 mm

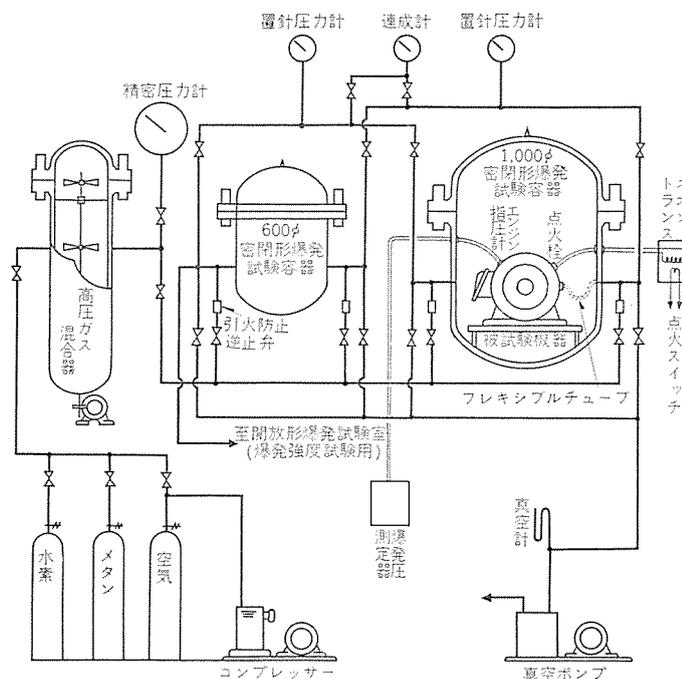


図 3.5 密閉形爆発試験装置説明図

Fig. 3.5 Enclosed explosion test equipment explanatory diagram.

最高常用圧力 15 kg/cm<sup>2</sup>

(図 3.7 参照)

#### (c) 高圧ガス混合器

内容積 0.24 m<sup>3</sup>  
 内径 400 mm 高さ 1,700 mm  
 最高常用圧力 15 kg/cm<sup>2</sup>

(かくはん機 モータ 耐圧防爆形 d1G3 0.4 kW, 三相 200 V)

(図 3.8 参照)

#### (d) 真空ポンプ

排気量 300 l/min  
 到達真空 10<sup>-3</sup> mmHg

(駆動用 モータ 耐圧防爆形 d1G3 0.75 kW 三相 200 V)

#### (e) コンプレッサ

2 段式最高 18 kg/cm<sup>2</sup>

(駆動用 モータ 耐圧防爆形 d1G3 1.5 kW 三相 200 V)

#### (f) 据置形電気ホスト, 2t

ホスト 駆動 モータは室外に固定され、滑車だけ室内天井を走行する形式。

#### (g) 点火装置

自動車用点火プラグ

ネオトランス

一次電圧 100 V, 二次電圧 12,000 V, 容量 135 VA.

ネオトランスの二次電圧にて自動車用点火プラグに火花を生じさせる形式

#### (h) 爆発圧測定装置

エンジン 指圧計

測定範囲 0~30 kg/cm<sup>2</sup>

金属細線抵抗線 ヒズミ計  
 電磁 オシログラフ

#### (i) 操作パネル

操作パネルおよび精密圧力計, 連成計, 置針圧力

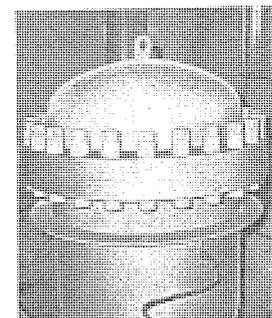


図 3.6 大形爆発試験容器  
 Fig. 3.6 Large explosion test vessel.

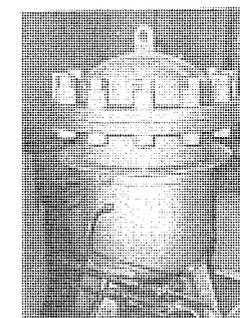


図 3.7 小形爆発試験容器  
 Fig. 3.7 Small explosion test vessel.

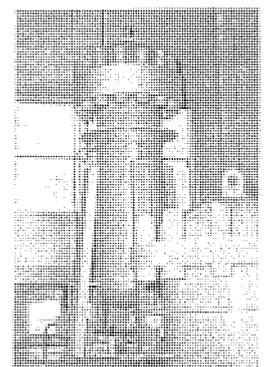


図 3.8 高圧ガス混合器  
 Fig. 3.8 High pressure gas mixer.



図 3.9 爆発圧測定装置  
 Fig. 3.9 Explosion pressure measuring device.

計を取りつけている。

(j) 圧縮空気 タンク および可燃性 ガスポンペ

(k) 警報装置

警報用信号灯 赤線 ランプ つき

耐圧防爆形 (密閉形実験室内に取りつけ)

普通形 (観測室内に取りつけ)

警報ベル 2 個

(1) その他

引火防止逆止弁

水銀真空計

フレキシブルチューブ

(2) 密閉形爆発試験装置操作順序

図 3.5 の装置から爆発試験を行なう場合、この装置の操作はつぎのように行なう。

(a) 混合 ガス の作成

まず可燃性 ガス (例、水素、メタン、プロパン など) を、つぎに圧縮空気 (コラレッサ により  $12\sim 18\text{ kg/cm}^2$  に圧縮) 高圧 ガス 混合器の中に圧入する。このとき、それぞれのガス圧を精密圧力計で読みとり、容器内の ガス 混合比を定める。すなわち高圧混合 ガス 容器の内容積は一定であるので、圧入時の温度変化を無視すると分圧混合法により、精密な ガス 混合比を得ることができる。

つぎに混合容器内に設けたかくはん機により濃度一定の混合 ガス を作る。

(b) 爆発容器を真空にする

爆発試験容器内に被試験機器をすえつけ、この被試験機器に、ガス 給排気配管(シームレスフレキシブルチューブ)、点火 ラグ、爆発圧測定用エンジン 指圧計などを取りつけて、爆発試験容器のふたを閉じ、真空 ポンプ により被試験機器内および爆発試験容器内を真空にする。

(c) 試験開始

バルブ 操作により、高圧 ガス 混合器より爆発試験容器および被試験機器内に混合 ガス を送給する。この ガス 圧は連成計にて読みとるもので、求める初圧が得られたらバルブ を閉じ、点火爆発試験を行なう。

爆発試験容器および被試験機器、それぞれに連続された置針圧力計により機器内の爆発および機器外の火炎逸走を検知する。

火炎逸走を生じないときは被試験機器内の廃 ガス を真空 ポンプ で抜き、新しい混合 ガス をそう入し爆発試験を繰り返す。

密閉形爆発試験装置では初圧を自由に得ることができるので、爆発強度試験において開放形装置のようにゴムパッキンなどでスキマを密閉する必要もなく、爆発強度試験と爆発引火試験を同時に行なうことができる。

(d) 点火および爆発圧記録装置

点火 スイッチ を入れるとネオントランスの二次側の高電圧により点火 ラグ に スパーク を生じ、爆発に要する エネルギ を被試験機器内部の混合 ガス に与え、爆発を起こさせるものである。

爆発圧測定は機器内の爆発圧を機器に取りつけたエンジン 指圧計により抵抗線形動ヒズミ 測定装置を通じて電磁 オシログラフ により記録する。

この装置の主要なバルブはパネル盤にまとめて取りつけられ、観測室にて操作が行なえるようにできている。

(d) 試験に対する安全装置

点火 スイッチ を入れる前段階において、防爆実験室外周に取りつけた 2 個の警報ベルを鳴らす。このベル回路がはいらないと点火 スイッチ を入れても点火回路ができない構造にしている。

密閉形爆発試験室の高圧 ガス 混合器、後述の開放形爆発試験室のフロア および ファン の運転中には、同様に点火回路ができないし、また密閉形、開放形各試験室からこれらの機器および点火 スイッチ をロック できる構造にして、誤操作による事故防止を考慮している。さらに爆発試験室および観測室内には警報用信号灯を設置しているのでこれにより外部からの侵入者に対する警告および上述の電気機器、点火 スイッチ の ロック の確認などを行なうことができる。

### 3.3 開放形爆発試験設備

(1) 開放形爆発試験装置

図 3.10 のような構造であり、つぎのものからなりたっている。

(a) 開放形爆発試験容器

内容積  $30,000\text{ l}$  の角形容器

$2.5 \times 3.5 \times 3\text{ m}$

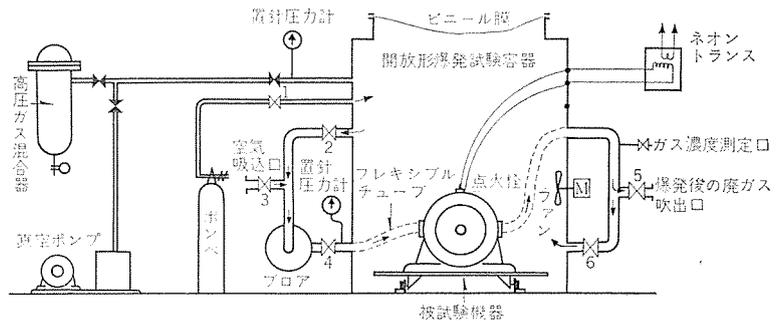
上面を開放

引火試験のときはビニール膜にて上面および前面を密閉する構造である(図 3.3 参照)

(b) ガス 混合用 ファン

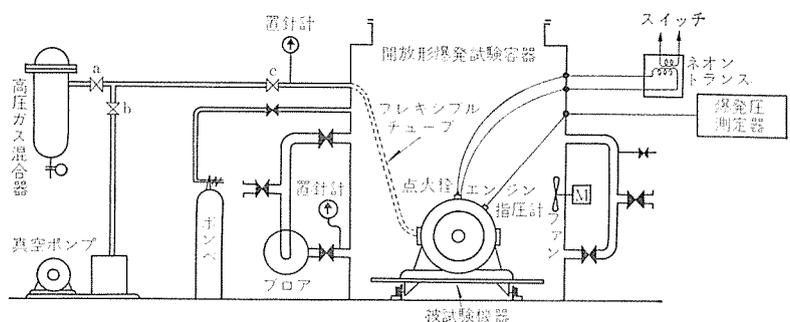
$300\text{ mm}$  径、単相  $100\text{ V}$ 、 $100\text{ W}$

(c) ガス 循環フロア



バルブ操作  
 ① ガス混合 バルブ 1,2,4,6 開, 3,5 閉  
 ② 点火 バルブ 全開  
 ③ 廃ガス処理 バルブ 3,4,5 開, 1,2,6 閉  
 〳のバルブは使用せず (全閉)

(a) 爆発引火試験



バルブ操作  
 ① 機器内を真空にする b, c 開, a 閉  
 ② ガス送給 a, c 開, b 閉  
 ③ 点火 バルブ 全開  
 〳のバルブは使用せず (全閉)

(b) 爆発強度試験

図 3.10 開放形爆発試験装置説明図

Fig. 3.10 Open type explosion test equipment explanatory diagram.

口径 50 mm φ, 風量 3 m<sup>3</sup>/min, 300 mmHg, 3,600 rpm  
(耐圧防爆形 モータ 0.4 kW, 三相 200 V にて駆動する)

- (d) 荷おろし用 10 t チェンブロック および台車
- (e) ガス 濃度測定器  
光干渉屈折形, 水素 ガス 用 メタンガス 用各 1 個, 測定範囲  
水素用 0~50%, メタン 用 0~20%.
- (f) 点火装置  
点火 プラグ および ネオントランス (密閉形爆発試験装置と同じ)
- (g) 爆発圧測定装置  
密閉形爆発試験装置と共同使用
- (h) 警報装置  
密閉形爆発試験装置の場合と同様で, 警報 ランプ および警  
報 ベル がある. (図 3.11 参照)

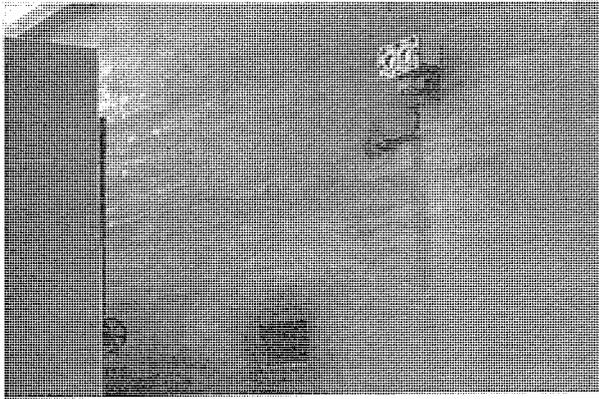


図 3.11 耐圧防爆形信号灯

Fig. 3.11 Pressure resistant explosionproof type signal lamp.

(i) その他

ガス 配管のうち固定配管は, 口径 50 mm の鉄管, 爆発試  
験容器と被試験器の連結は, 口径 50 mm の シームレスフレキ  
シブルチューブ 使用

(2) 開放形爆発試験装置の操作順序

開放形爆発試験装置では初圧を上げることができないので, 規  
定の爆発圧は得られない. ゆえに爆発強度試験は, 爆発引火試験  
とは別に行なう必要がある.

(a) 開放形爆発試験による爆発引火試験

図 3.10 において爆発試験容器内に, 被試験機器をすえつけ,  
点火 プラグ, ガス 送給配管 (シームレスフレキシブルチューブ 50 mm φ をフ  
ラッジ 接続する) を行ない, 天井の開放面を ビニール 膜で密閉, 正  
面とびらの スキマ を密封する. つぎにフロア, ファン を運転しなが  
ら高圧 ガスポンプ 室から ガス 小導管をとおして容器内に ガス をそ  
う入する.

ガス 濃度は光干渉形 ガス 濃度計で測定する. 測定箇所は容器に  
数箇所設けてある.

所定の均一な ガス 濃度が得られたら, フロア, ファン を止めてバ  
ルブ を閉めて点火爆発を行なう.

点火装置および方法は密閉形爆発装置の場合とまったく同様で  
あり, また火炎逸走しない場合の被試験機器内の爆発確認は置針  
圧力計にて行なう. 機器が不良の場合は外部の ガス に引火して爆  
発試験容器全体の ガス 爆発を起こし上部の ビニール 膜が破れる.  
火炎逸走をしなかった場合は被試験機内の廃 ガス だけ バルブ 操作  
と フロア により新鮮な空気と置換しその後, 前と同様な操作で規  
定濃度が得られるまで ガス 循環を行ない試験を繰り返す.

(b) 爆発強度試験

図 3.10 のような装置において, 被試験機の スキマ をゴムパッキン  
などで完全に密閉したあと, 点火 プラグ, 爆発圧測定用 エンジン 指  
圧計およびそれらの リード 線などを取りつける.

密閉形爆発試験室にある高圧 ガス 混合器で所定の混合比の ガス  
を作っておき, これを固定小導管で開放形実験室まで導くもので  
ある.

固定小導管より, 機器までの配管は シームレスフレキシブルチューブ で  
行なう.

まず被試験容器内を真空にして, つぎに混合 ガス を送り込む.  
所定の初圧が得られたところで, バルブ を閉じて点火爆発させる.  
点火および ガス 爆発圧測定は密閉形の場合とまったく同じである.  
爆発後は廃 ガス を真空 ポンプ で抜き, 新しい ガス を送り込み実験  
を繰り返す.

#### 4. む す び

最近完成した防爆実験室の設備内容を紹介したが, 試運転段階  
にあり, この試験装置による試験結果を追って発表するつもりで  
ある.

今後はこの設備により, 各種防爆機器の引火試験, 強度試験な  
どを行ない, さきに理論的強度計算を行なった数表との対比を行  
なうとともに ガス 爆発に対する基礎研究を行ない, さらに安全性  
信頼性の高い品質奉仕の防爆電気機器の開発, 製作に努力したい.

最後にこの試験設備の設計および建設段階において, ご指導賜  
わった労働省産業安全研究所, 田口化学課長殿, 同内藤技官殿お  
よび通産省資源技術試験所九州支所, 江村課長殿, 元通産省資源  
技術試験所九州支所兼平課長殿はじめ関係各位に厚く謝意を表す  
る.

#### 参 考 文 献

- (1) 労働省産業安全研究所, 工場電気設備防爆指針 (ガス 蒸気  
防爆-1961) (昭 36-1).
- (2) 労働省産業安全研究所, 工場電気設備防爆指針 (防爆構造  
電気機器の試験方法 (改訂案)) (昭 36-11-20).
- (3) 田口 昇・内藤道夫・石見 太・密閉形爆発試験装置の構  
造とこれによる爆発試験について.
- (4) 平子春男・今村克己・防爆電気機器の爆発試験設備, 東芝  
レビュー 16. 7, p. 844 (昭 36-7).
- (5) Müller Hillebrand: 防爆電気機器原論 (蒲生朝郷著).
- (6) 兼平一郎・中尾伊三郷: 耐圧防爆容器の強度計算と爆発  
試験, 「三菱電機」33. 8. p. 95 (昭 34-8).

# トレーラ式・シリコン整流器移動変電所

阪神電気鉄道株式会社

糸岡 義太郎\*

三菱電機株式会社伊丹製作所

亀山三平\*\*・横島洋志\*\*・佐野善之助\*\*・左近一郎\*\*

三菱電機株式会社神戸製作所

新名 昭吉\*\*

## Trailer Type Silicon Rectifier Mobile Substation

Hanshin Electric Railway Co., Ltd.

Yoshitaro ITOOKA

Mitsubishi Electric Manufacturing Co. Itami Works

Sanpei KAMEYAMA・Hiroyuki YOKOHATA・

Zennosuke SANO・Ichirō SAKON

Mitsubishi Electric Manufacturing Co. Kobe Works

Shōkichi NIINA

To cope with ever increasing traffic volumes the electric railway companies are trying their best to make effective use of the facilities, being interested in mobile substations a great deal. The principal aim of the mobile substations is to give full play to their mobility. Then, they must be built as light as possible with operation and maintenance kept simple. Using the silicon rectifier and dividing the transformer installation on two trailers, Mitsubishi has completed a mobile substation comprising four trailers to be supplied to the Hanshin Electric Railway Co. Their weight is kept down below 12 tons each. The rated capacity is 1,500 kW at 1,500 V. They are very powerful as a special heavy duty substation unit.

### 1. ま え が き

近年になって、電鉄業界では、ますます増加する輸送へのサービスの向上と、予備機器をより有効に活用される手段として、移動変電所の採用に大きい関心を持ち、すでに、封じ切り形水銀整流器をもちいた、軌条式あるいはトレーラ式の移動変電所がいくつか製作されてきた。

これらの移動変電所は、いずれも積載各機器の進歩により、軽量化が可能となり、しかも取扱い保守の簡易化がはじめてなりつつあるものであるが、今回製作された移動変電所は、シリコン整流器を採用することによって、さらに一段と軽量化、簡易化が可能となり、しかも直流電圧 600 V、1,500 V の切換え共用という技術的問題も同時に解決したものである。

シリコン整流器は、実用性を研究され始めてまだわずか数年にしかたらない状態であるにもかかわらず、化学工業用などの低電圧大電流用途においてはすでに確固たるその地位を築きあげ、いまや高圧用としての代表的用途である電鉄変電所用にも君臨しようとしている。このような折から、今回のようにまとまった移動変電所が、わが国ではもちろんのこと世界でも始めての試みとして製作されたことは、今後の電鉄業界のサービス計画に貴重な資料を提供することになるであろう。

以下に、この方式の移動変電所が採用された経過、および各機器とその積載トレーラの性能、特長、工場試験の成績などのあらましを記し、関係各位の参考に供するものである。

### 2. 採用の経過と仕様の概略

移動変電所の使用目的としては

- (1) 既設変電所の変換機器の取換工事
- (2) 既設変電所の故障、その他による運転休止のばあいの救援
- (3) 季節的な負荷増加時の応援

#### (4) 本設備完成までの応急変電所

など、があげられる。

移動変電所の種類としては、軌条式とトレーラ式に大別され、それぞれの線路、もしくは道路などの立地条件によって、その方式が左右されることが多い。

本移動変電所は、上記の既設変換機器の取換工事および、故障その他による運転休止に対処することを主たる目的とし、線路の側線が少ないこと、道路条件は大部分の変電所が、かなり恵まれているという2点から、トレーラ式を採用した。

したがって、今回の移動変電所は、大形トラックに近い機動性を持たすためと、一部変電所の道路条件から、極力小形に、重量は少なくとも 12 t 以下、できれば 10 t を目標とし、さらに取扱いの敏速容易を主眼とした。

まず、移動変電所の軽量化をねらう場合、もっとも困難なのは整流器用変圧器で、今回は小形軽量化の見地から、分割式すなわち変圧器を2台に分けて、トレーラ1車当たりの重量を軽減するとともに、取扱い容易なように自冷式としたので、変圧器車は2台になる。

整流器も同様に、小形軽量化、取扱い容易の点から、シリコン整流器を採用し、重量および占積の多いトレイ式をやめ、組込式とし、結線は二重星形(相間リアクトル付)逆結線として、使用枚数の減少と耐サージの向上に努力した。このシリコン整流器は直流回路保護の高速気中シヤ断器および配電盤とを組合せて、整流器車とした。別に、シヤ断器車を設け、CTを内蔵させて簡素化したので、移動変電所の車両構成は、シヤ断器車、1号変圧器車、2号変圧器車、整流器車、の4車となる。

なお、将来、1,500 V 昇圧が予想されるので、変圧器とシリコン整流器をA群とB群に分け、600 V 時はこれらを並列、1,500 V 時は直列という切換方法を採用した。

また、変電所構内の敷地の関係上、シヤ断器車—1号変圧器車—2号変圧器車—整流器車と直列、つまり、一直線にならざる場合や、並列、つまり横に順次ならざる場合や、両者の中間という

べき直並列に配列する場合がありますので、これらの種々のケースを想定して、いずれの配列方法でも支障なく容易に施工できるように検討し仕様した。電源は既設変電所の構内という原則から、特高は 20 kV 引込、制御は交流三相 200 V および直流 100 V を既設の方から供給することとして、補助電源設備を省略した。

運転方式は、遠方監視制御も可能なように配慮するとともに、携帯用の オイルスタ 程度の簡易監視盤を設け、既設変電所の配電盤室からでも、容易にワンマンコントロールできるような方式を用いた。

これらの配線は、取扱い敏速容易の立場から、主回路接続は、ソルダーレスターミナル、制御回路は、キャノンプラグを考え、使用ケーブルは、主回路が フラチゴム 制御は、ビニール外装とし、既設変電所内部の移動変電所駐在近くに、それぞれの接続設備を設けて、移動変電所自体の付属電線の短縮化と、各既設変電所への接続の共通化をねらった。これらの付属ケーブル類は、移動ごとに運搬する必要があるので、特殊なドラム巻とし、巻戻し、巻取りを敏速化するように、スタンドおよびシャフトを用いることとした。

移動変電所という性格から、既設機器、とくに回轉變流機との並列運転が予想されるが、これらの多くの容量および特性の異なる機械と、すべて満身に並列運転をさせることは、困難な問題で、その解決策として、かなり多数の変圧器タウ (23,000/22,500/22,000/21,500/21,000/20,500/20,000) を設けるとともに、電圧変動率を 4% という比較的低い値を採用した。それだけに直流短絡電流の増大が予想されるので、シリコンの枚数の選定、保護装置の協調については、かなりの検討を要した。

機器の定格は S 種、すなわち特殊定格を採用した。一般に 1 時間出力  $y$  と瞬時最大出力  $z$  (いずれも kW) との間には、つぎの実験式で近似させられる。

$$z = y + c\sqrt{y}$$

ただし、 $c$ : 係数

阪神電鉄では、 $c$  は 60~80 程度であるので、平均して 70 と考える。また、閑散時の 1 時間出力は ラッシュ 時の半分程度で、上式の  $y$  を ピーク 時の 1 時間出力とすると、閑散時の 1 時間出力  $m$  との間には  $y = 2m$  の関係があるから、

$$z = 2m + c\sqrt{2m}$$

$$c = 70 \text{ を代入,}$$

$$z \approx 2m + 100\sqrt{m}$$

$$z/m \approx 2 + 100/\sqrt{m}$$

$m$  を 1,200 kW とすると、

$$z/m \approx 4.89$$

概算で、閑散時の 1 時間出力に対して、ラッシュ 時の瞬時最大は 500% に近いことが推測される。

したがって、整流器の定格は閑散時の 1 時間出力を基準とし、ラッシュ 時はこれの 2 倍が約 1~2 時間、瞬時最大は 450~500% が 20 秒以下で繰返されるという実状から、200% 1 時間半、450~500% 30 秒繰返しという実際的な数字に合わせた方が、負荷と整流器の特性がマッチするから、合理的かつ経済的と考え、基準を 600 V, 1,200 kW におき、つぎのように定格を定めた。

DC 600 V 1,200 kW 特殊定格

DC 1,500 V 1,500 kW 特殊定格

特殊定格の明細はつぎのとおり

定格出力で連続使用し、機器の温度が一定になった後、引き続き (1)(2) の過負荷で所定の時間使用する場合、いずれの負荷にても支障なく耐え、機器の連続使用を不能とするような

悪影響を機器のどの部分にも与えることのないものとする。

(1) 定格電流の 200% 1.5 時間

(2) 定格出力 5 分間、定格出力電流の 450% 30 秒を繰返し 9 回、500% 30 秒 1 回、ただし 500% 1 回は最後に加わるものとする。

これより、本移動変電所の瞬時最大出力は、6,000 kW で、1 時間出力の最大は、2,400 kW 程度であるから、水銀 アーク 変換装置の標準である E 種に換算すると、過負荷容量としては、大体 2,000 kW 程度の機器に相当するものと考えられる。

### 3. 移動変電所の概要

この移動変電所は 20 kV の交流特高受電をし、変圧器およびシリコン整流器を通じて 600 V または 1,500 V の直流電圧に変えて、電車キ線線に給電するものである。図 3.1 はこの移動変電所の全景である。主要機器としては 20 kV ガイシ形油シヤ断器 1

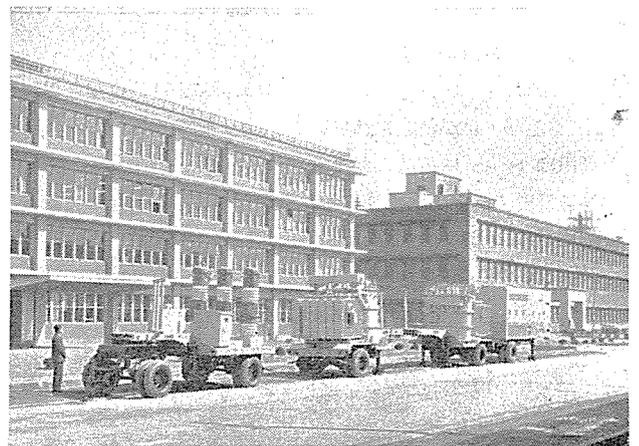
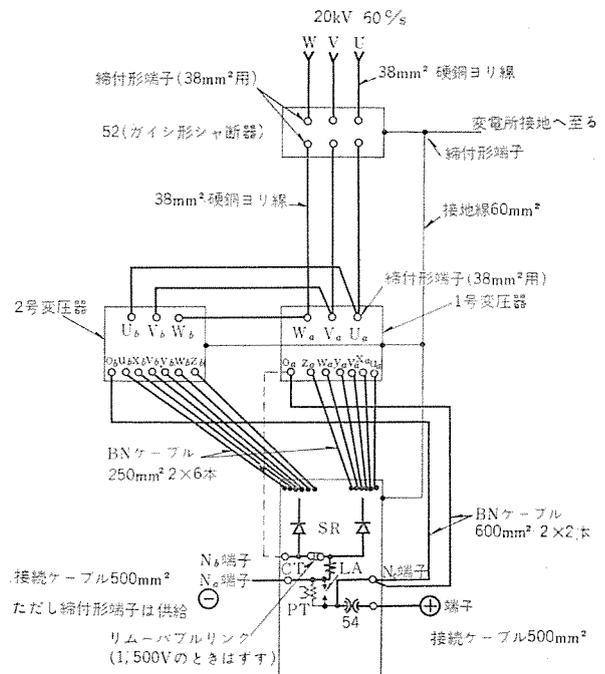


図 3.1 トレーラ式移動変電所全景  
Fig. 3.1 Mobile substation.



この図は 600 V 出力の接続である 1,500 V で使用のときはつぎの変更を必要とする。

1. LA を取はずし 1,500 V 用とする
2. PT 付属の倍率器の端子を 1,500 V に接続変更する
3.  $\theta a-Nc$  間のケーブルを  $\theta a-Nb$  に接続変更する (点線で示す)
4. リムーバブルリンクを取はずす

図 3.2 主回路結線図

Fig. 3.2 Single line diagram.

台、シリコン整流器用変圧器2台、シリコン整流器2バンク、直流高速度シャ断器1台および配電盤1式である。主回路の結線図は図3.2に示すとおりであるが、これが4車に分割されている。すなわち、シャ断器車1台、変圧器車2台、整流器車1台となっている。20kV側の配線は硬銅ヨリ線および硬平銅バーを使用し、SSP形支持ガイシで支えている。直流側はブチルゴム電力ケーブルを使用し、端末処理を完全に施し、ケーブルクリートまたはケーブル支持金具でトレーに取り付けてある。各車の配置は3通りが考えられており、細長い敷地に適した直列配置、正方形に近い敷地には直並列配置(A)、前記二配置の中間の敷地には直並列配置(B)が考えられている。この場合20kV側の配線が容易かつ安全にできるように変圧器タンク上部にSSPガイシを取付け、平銅バーをうまく取付け、同じ変圧器で直列配置はもちろん並列の配置でも、特高線が交差することなく結線されている。

#### 4. 積載機器

##### 4.1 シャ断器車(図4.1)

シャ断器車にはガイシ形油シャ断器1台およびその操作電源用セレン整流器1台が積載されている。ガイシ形油シャ断器を採用した理由はトレーに積載したまま、消弧室の点検が可能であり、また巻線形変流器が内蔵できるし、重量も少なくなるなどである。

定格電圧24kV 定格電流600A 定格シャ断容量は1,000MVAで200/5A 1.0級40VAの巻線形変流器を内蔵したもので、電気操作方式を採っており、制御電源はAC200Vをセレン整流器でDC100Vに変えている。また図4.1に示すようにトレー回りに保護網を取付けて安全を期しているし、前部に特高線引きと

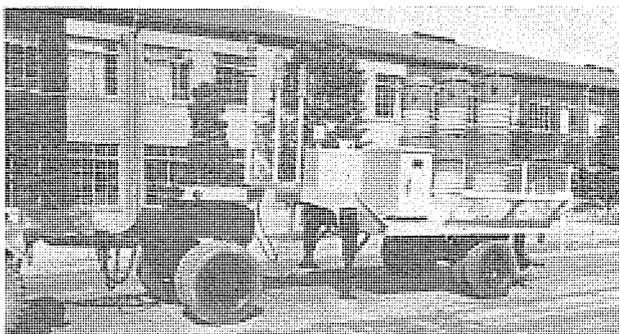
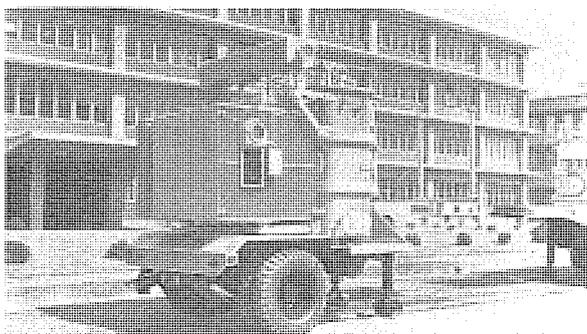


図4.1 シャ断器車、ガイシ形油シャ断器20-M-100A形搭載  
Fig. 4.1 Circuit breaker trailer.



シリコン整流器用変圧器搭載  
一次電圧20kV  
二次電圧680-550V  
一次容量840kVA 超重負荷特殊定格  
二次容量1,190kVA  
結線 一次入 二次入-Y

図4.2 変圧器車  
Fig. 4.2 Transformer trailer.

め用の支持ガイシポールがつけられている。積載機器重量は3.5tでトレー込み全重量は6.2tである。

##### 4.2 変圧器車(図4.2)

20kVの特高圧を受電し、シリコン整流器に供給する変圧器を積載したもので、油入自冷式であり、相間リアクトルを内蔵し、また直流側電圧が600Vと1,500Vとの共用であり、電圧変動率が4%におさえるなどの条件の上に全重量を12t以下に制限を受けたため、2台に分割され、2車となっている。また、前述のように配置が変わっても配線が容易なように20kV側ラッキングはタンク上部に、直流側ラッキングはタンク側面に下向きに出されている。したがって20kV側配線はタンクの上で行なわれ、直流側ケーブルの接続は下部で行なわれ、種々の配置でもつねに結線接続が安全容易に行なえるよう変圧器上部に支持ガイシを置いてある。一次側は無負荷タップ切換器で7段(23-22.5-22-21.5-21-20.5-20kV)に切換えができ、低電圧変動率とともに既設変電所との並列運転を可能にしており、二次側600V、1,500V切換えも油をぬかないでハンドホールから切換えができるようにコンバータ内に油を押し上げるための手動油ポンプが内蔵されている。重量低減には冷間圧延方向性ケイ素鋼板G級コアを使用し、1台の容量は一次840kVA 二次1,190kVAの超重負荷特殊定格でラジエータを多く取付けているにもかかわらず完成時トレー込み全重量は11.9tであった。

##### 4.3 整流器車

###### (1) 整流器車の構成と構造

整流器車は、シリコン整流器室、直流高速度シャ断器室、配電盤室の3室にわかれ、その各室には図4.4に示すような各機器が収納されている。

シリコン整流器は風冷式であり、その冷却は、整流器室側面下部より吸込み側面上部へと排出される風により行なわれる。季節風などの風による冷却効果の影響を少なくするように、冷却風の吸入口と排気口とを同一側面にもうけ、しかも中央部には適当なバリヤを設置して風の吹き抜けを防止している。また運休時のほこりの侵入や台風の際などの雨水の侵入などにそなえて、吸風口、排気口外側にカバーを取付けられるようになっている。

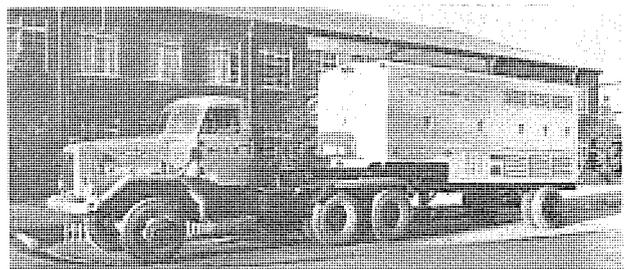


図4.3 整流器車 シリコン整流器1,200/1,500kW  
600,1,500V 超重負荷特殊定格  
Fig. 4.3 Rectifier cubicle trailer.

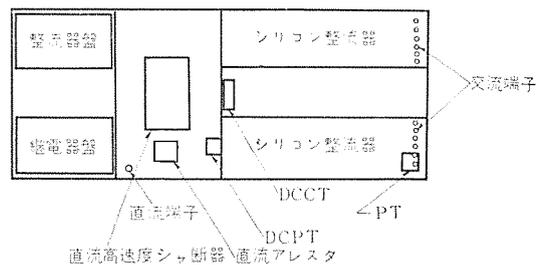


図4.4 整流器車機器配置図  
Fig. 4.4 Layout of the rectifier cubicle.

整流器室、配電盤室は中央に廊下をもうけその両側に機器を配置し、ケイ 光灯の照明をほどこしたりなどして、各計器などの監視、点検の便宜をはかっている。

直流高速度 シュ断器室は、シュ断器動作時のイオン化されたガスの発生による影響を除去するよう特別な考慮が払われている。

整流器車の運転状況は、前後の入口上部にもうけられた青赤ランプで明示される。キューピクル上部には積載物限界表示灯がつけられ、スマートなツートンカラーに塗装されたこの車は WAGON と名付けられて、軽快な印象を与える。

全長 6 m、全幅 2.5 m 全高 3.5 m 重量 10 t を目標とし設計を進め、これを実現させたことは、シリコン整流器の採用によるのが大きい。これにもまして、その重量の軽減はつぎのような構造上の苦心のたまものである。

- (a) フレームに、キューピクルを直接溶接し取付ける方式としたこと。
- (b) フレームには軽量形鋼を使用し、しかも主要メンバと取付用メンバとを可能な限り共用としたこと。
- (c) 整流器交流側の端子接続を車内とし、ブッシングを省略したこと。

これらの結果、重量は目標を大きく下回りつぎのようにおさめることができた。

積載重量	5,860 kg
フレーム自重	3,290 kg
総重量	9,150 kg

### (2) シリコン整流器と整流回路

電鉄変電所用としてシリコン整流器を採用するばあいその整流回路としては、一般に 600 V 用は相間リアクトル付二重星形結線、1,500 V 用には三相ブリッジ結線を採用するのが有利であるが、このばあい、600 V—1,500 V の切換えにあたって、相間リアクトル付二重星形結線の整流器 2 組を直並列に切換える方式とした。

相間リアクトル付二重星形結線は、従来より水銀整流器に広く用いられている方式であるが、ここでは、その正負極を互に逆とした結線としている。すなわち、相間リアクトルの中性点を直流正極端子とし、直流キ電線側より侵入するサージ電圧の保護に役だっている。この際シリコン整流器アームに並列にそう入された C-R 回路はサージ電圧の波頭を押えるとともに、電圧の振動を抑制し、リアクトルでの電圧吸収が有効に行なわれるような定数が選定されている。

シリコン整流素子としては、ハードソルダ方式を採用した合金形のものであり、脈動する負荷に対しても、その能力をフルに発揮できる特長を有する。その定格と回路としての構成はつぎのとおりである。

シリコン整流素子は合金形であり、有効にハードソルダ法がとり入れられているので、ソフトソルダ法で製作したものと比較すると、使用温度を高くとれる特長があり、脈動負荷に対してもその能力を十分に発揮することができる。その定格と回路としての構成はつぎのとおりである。

シリコン整流素子形名	SR200F-20
セリ頭逆耐電圧 (PRV)	1,000 V
最大平均順電流	200 A
回路構成	6 <sup>S</sup> ×5 <sup>P</sup> ×6 <sup>A</sup> 2 組

シリコン整流素子の並列枚数を決定するには、負荷条件での温度上昇のほか、回路に発生する異常現象、たとえば短絡電流なども考慮しなければならぬ。この場合、200 % 負荷 1.5 時間 500 %

負荷 30 秒の負荷条件と直流キ電線での短絡事故を考慮し、重量をもっとも小さくできるような冷却条件を与えて協調をとっている。そのため放熱片にはアルミ合金の鋳物を採用した。

直列枚数は、回路に発生するサージ電圧と、サージ保護装置を考慮したうえでの絶縁協調をとって決定する。直流キ電線正負極に直流アレスタを設置するとともに、整流回路各アームに C-R サージアブゾーバ、バリスタをもうけている。また、並列に相間リアクトル付二重星形逆結線を採用していることはすでに述べたとおりである。

図 4.5 にシリコン整流器の過負荷保護協調曲線を示す。

シリコン整流器は、ユニット構造の構成単位を組合せてツク組に固定した構造を採用している。ユニットは、一枚の絶縁板に放熱片、電圧分割器、その他の保護装置部品を、組立工作、保守点検の便などからみてもっとも有利な分割単位となるような構成要素からなっている。

シリコン整流器固有の保護装置としては、多数使用されているシリコン素子が万一故障したばあいに、ただちに検出し表示する故障検出装置、送風機に異常が発生したばあいにただちに保護動作を行なう断風検出器、冷却風高温検出器などを採用し、万全の保護をほどこしている。

図 4.6 は整流器の内部組立構造を示している。

### (3) 直流高速度 シュ断器

直流高速度 シュ断器としては、シリコン整流器過負荷保護用として使用するのだから、正性のものを採用している。その仕様の概要はつぎのとおりであり、地上変電所用に用いるものごとくには変わってはいない。

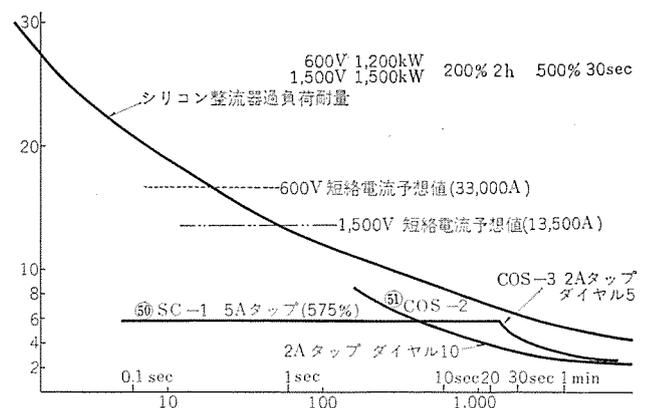


図 4.5 阪神移動変電所シリコン整流器過負荷保護曲線  
Fig. 4.5 Overcurrent protection curves.

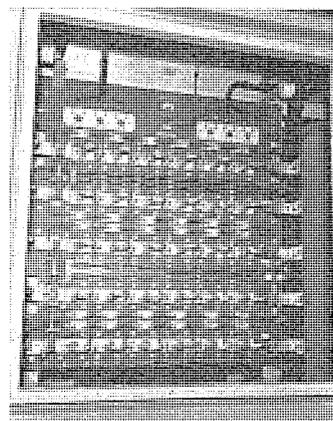


図 4.6 シリコン整流器内部  
Fig. 4.6 Interior of silicon rectifier.

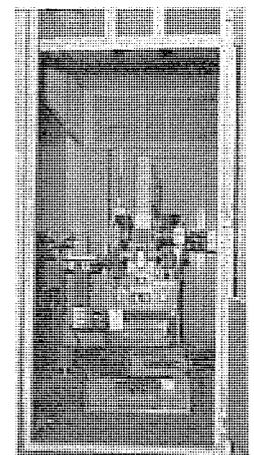


図 4.7 高速度 シュ断器室  
Fig. 4.7 High speed DC breaker compartment.

形名	HS-40C
定格電圧	1,500 V
定格電流	4,000 A
動作電流目盛	6,000-8,000-10,000-12,000 A
操作方式	DC-110 V 電磁操作式

1,500 V に昇圧するばあい、動作電流はさしあたり 6,000 A とし、使用して後、後に適当な目盛に変更することになっている。

図 4.7 に直流高速度  $\chi$  断器室の内部を示す。

#### (4) 配電盤と制御保護方式

移動変電所である関係上配電盤は耐震形となっており、据付面積を極力小さくすることが要求されるので構造配置その他に特別の考慮が払われている。それらは継電器盤、整流器盤より構成され、直流電圧は 600 V と 1,500 V の切換方式が採用されているため、それらに支障ないよう考慮されており、また移動車に積載運搬してどこにでも設置可能な小形軽量の簡易監視盤も備えている。

#### (1) 制御方式

制御方式は無人変電所として使用するため遠方制御方式を主眼とし、その他の必要上監視盤での制御および整流器車内での直接制御もできるよう考慮されている。すなわち、遠方制御はタイムスイッチ 運転と自動運転にわかれ、タイムスイッチ 運転は制御所でタイムスイッチの入指令を出しておくだけで所望の時間に達すると自動的にシリコン 整流器冷却扇を運転、続いて 交流  $\chi$  断器および直流高速度  $\chi$  断器が投入されて整流器の運転を開始し、所望の時間に達すると、それらは自動的に開放されて運転を停止する。また自動運転は制御所で交流  $\chi$  断器の投入開放の指令を出すだけで、整流器の運転停止ができ、監視盤制御も同様である。整流器車内での直接制御は自動運転と手動運転にわかれ、自動運転の場合には遠方制御の自動運転とまったく同一であるが、手動運転の場合には機器の単独試験運転も可能となっている。

上記を表にすればつぎのようになる。

制 御 方 式		
遠 方 制 御	タイムスイッチ 運 転	タイムスイッチにより整流器の運転停止を行なう。ただしタイムスイッチは制御所よりの指令によって選択される。
	自動運転	制御所よりの指令により整流器の運転停止を行なう。
監視盤制御		簡易監視盤よりの指令により整流器の運転停止を行なう。
直 接 制 御	自動運転	整流器車内整流器盤よりの指令により整流器の運転停止を行なう。
	手動運転 (試験)	整流器車内整流器盤の各機器の単独スイッチにより運転停止を行なう。

#### (2) 保護装置

整流器の保護装置としてはつぎのように分類することができる。

##### a. 重故障

- (a) 主回路に過電流が流れ交流過電流継電器 (#51) が動作したとき
- (b) 主回路に短絡故障発生し高速度過電流継電器 (#50) が動作したとき
- (c) 整流器に逆流が流れ逆流継電器 (#32) が動作したとき
- (d) 整流器用変圧器の温度上昇し温度継電器 (#26 T) が動作したとき
- (e) 整流器用変圧器に急激なるガスが発生しブッホツ 継電器

(#96-2) が動作したとき

- (f) シリコン 整流器の温度上昇し温度継電器 (#26H) が動作したとき
- (g) シリコン整流素子が故障し検出継電器 (#26D) が動作したとき
- (h) シリコン 整流素子が故障し検出継電器 (#SDT) が動作したとき
- (i) 整流器用冷却扇故障し断風継電器 (#63B) が動作したとき
- (j) 制御電源に逆相欠相低電圧を生じ交流電圧継電器 (#47) が動作したとき

上記の場合は機械的鎖錠継電器により交流  $\chi$  断器および直流高速度  $\chi$  断器を開放して整流器の運転を停止するとともに、故障内容を故障表示器に表示しベル 警報する。鎖錠の復帰は復帰用開閉器により整流器を起動前の状態にもどす。ただし交流電圧継電器 (#47) が動作したときだけは、鎖錠継電器を付勢しないで、直接交流  $\chi$  断器および直流高速度  $\chi$  断器を開放する。

##### b. 軽故障-1

- (a) 直流主回路に過電流が流れ直流高速度継電器 (#54) が自動  $\chi$  断したとき
- (b) 受電々圧低下し低電圧継電器 (#27) が動作したとき
- (c) 直流主回路に過電流が流れ直流過電流継電器 (#76) が動作したとき

上記の場合は一次継電器により交流  $\chi$  断器および直流高速度  $\chi$  断器を開放して整流器の運転を停止するとともに、故障内容を故障表示器に表示しベル 警報する。ただし鎖錠しないので一次継電器の復帰により自動的に整流器は起動前の状態にもどる。

##### c. 軽故障-2

- (a) 整流器用変圧器に緩慢なるガス 発生し ブッホツ 継電器 (#96-1) が動作したとき
- (b) 制御電源用 ノーヒューズ $\chi$  断器が自動  $\chi$  断したとき
- (c) 整流器車の扇が開かれたとき

上記の場合は整流器の運転を停止せず故障表示器だけに表示しブザー 警報する。

故障表示器は二重表示式になっており、その機構はまず一次継電器接点により故障表示器の コイル を付勢すると白色表示板が出る。しかる後に表示器に付属されている押し ボタン を押すと故障が継続中であれば黄色表示板に変わり、一次継電器接点が接点を閉じている間その表示板は残り、一次継電器の復帰とともに自動的にもとの状態にもどるようになってくる。

なお、簡易監視盤、遠方制御所には重故障、軽故障-1、軽故障-2 に大別して故障表示するとともにベル 警報およびブザー 警報を行なっている。

## 5. 工場試験とその結果

工場試験としては、移動変電所の構成機器ごとの単独の試験はもちろんのこと、組合総合試験として、負荷試験、電圧変動率の測定、人工故障短絡試験、開閉 サージ 試験などの電気的試験のほか、各 トレーラの配列試験、車両としての走行試験、屋外機器としての注水試験などすべてについて行ない、満足な結果が得られた。その要点をつぎに記す。

### 5.1 負荷試験

シリコン 整流器の温度上昇、整流器各ストリングの電流分担率などの測定は、低電圧負荷により行なうので、実際の組合せでの負荷

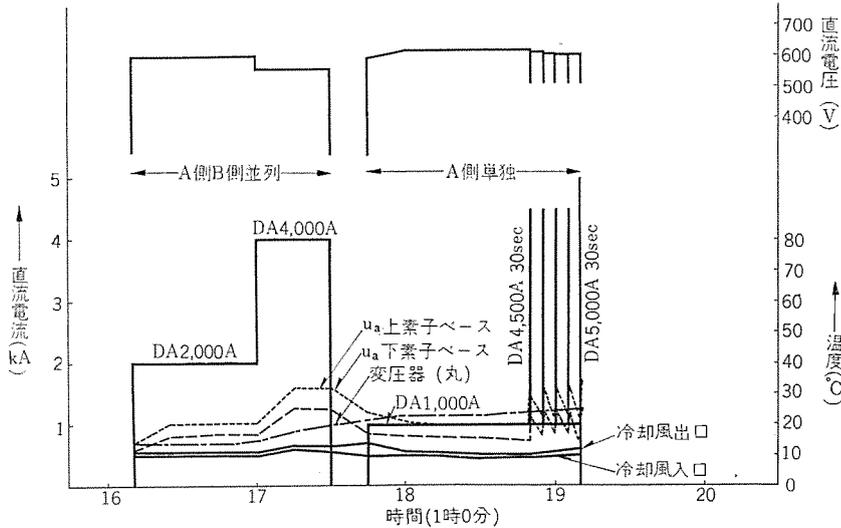


図 5.1 移動変電所負荷試験  
Fig. 5.1 Load test on mobile substation.

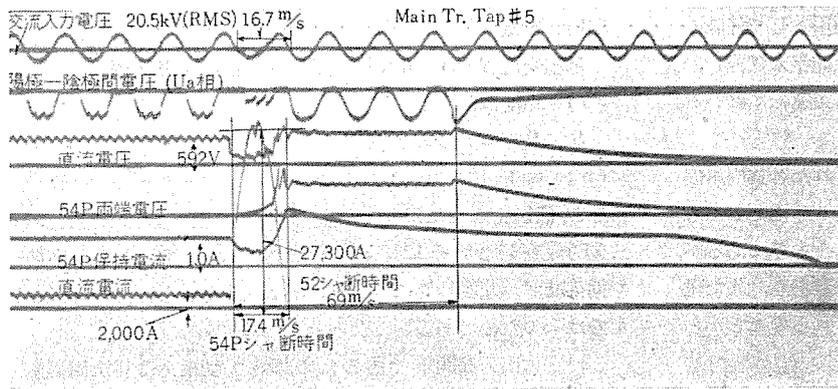


図 5.2 人工故障短絡試験 オシログラム  
Fig. 5.2 Oscillogram of short circuit test.

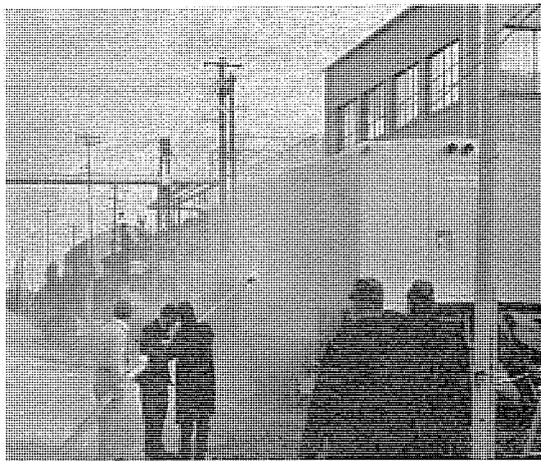


図 5.3 注水試験  
Fig. 5.3 Weatherproof test.

試験は、負荷運転の可能なことを証明するためのものである。

定められた定格に従って、直流電圧 600 V、1,500 V の両方について行なわれたが、そのうちの 600 V 用としての立会試験時における負荷試験の結果を図 5.1 に示す。

### 5.2 電圧変動率の測定

この移動変電所は、実際には、負荷増強用として用いられることが多く、既設各変電所に回転変流機が多いので、それらとの並列運転に際して、電圧変動率は約 4 % 程度でなければならない。

工場電源による電圧変動率の実測値は、600 V として使用する

ばあいについては、4.16 % であった。

### 5.3 人工故障短絡試験

シリコン整流器の直流側を短絡し、キ電線などでの短絡事故に際して短絡電流に耐えることを証明するための試験である。短絡電流のシャ断は直流高速度シャ断器で行なう。

図 5.2 は、この試験の直流電圧 600 V のばあいの試験結果を示すオシログラムを示す。

### 5.4 開閉サージ電圧試験

整流装置には、受電側（交流側）およびキ電側（直流側）にそれぞれサージ電圧に対する保護装置がもうけられているが、その動作を各シャ断器の投入、シャ断時について測定する試験である。この結果、整流器に危険なサージ電圧がかからないことを確認した。

### 5.5 配列試験、走行試験

実際に使用する変電所により、その敷地などの条件のため、各トレーの相互配置が異なる。そこで、これらを大要 3 種類にわけそのおのおのばあいについて、配置、配線が容易に行なえることを確認した。

トレーは車両であるから、車両としての性能を十分に備えていることを確認せねばならない。同時に、積載機器は、車両振動などに対して十分な信頼度をもつ必要がある。これを確認したのが走行試験である。

将来、600 V 用から、1,500 V 用に切換えて使用する際その切換作業が、短時間のうちに円滑に行なえることも、同時に確認した。

### 5.6 注水試験

屋外機器として、耐水構造であることの確認のため、注水試験を行なった。その概略仕様はつぎのとおりである。

水源圧力 5 kg/cm<sup>2</sup>

放水量 100 l/min

図 5.3 にその試験状況を示す。

## 6. む す び

移動変電所は、予備機器の有効な利用法という面からみて、その意義は非常に大きい。また都市近郊の郊外電車線は、道路事情もよいため、トレー式が有利になる。最近になって、電鉄変電所用としてもシリコン整流器が広く採用されるようになり、冷却装置以外にほとんど補助装置を必要としない保守の簡便さが実証されつつある折から、移動変電所としてもシリコン整流器の採用は、より便利なものとなるものと信ずる。

3 月初旬より、運転が開始されつつあるわけであるがその実績は関係各方面の注目に値するものとなるであろう。

最後に、今回の移動変電所の製作、試験に際して多大の協力をいただいた関係各位に厚くお礼を申し上げる次第である。

## 北陸線向け EF 70 形交流機関車

伊丹製作所 荻野 脩\*・米沢輝雄\*\*・相田茂夫\*\*\*

## Type EF 70 AC Electric Locomotives

Itami Works

Osamu OGINO・Teruo YONEZAWA・Shigeo AIDA

A new tunnel has been completed in Hokuriku trunk line of the Japanese National Railways. In line with the opening of this new service, electrification work is on the progress as far as Kanazawa, which calls for increase of 18 locomotives, type EF 70. Mitsubishi has supplied 7 units out of them. They are so designed as to have sufficient adhesion force by taking into account gradient in the tunnel. A drum type tap changer, a novelty of the kind, is installed to the locomotive to change over high voltage taps. A transformer mounted on the locomotive is Mitsubishi Form-fit type unit of established reputation.

## 1. ま え が き

昭和 32 年 10 月、北陸線米原敦賀間の電化にともなって投入された ED 70 形 イグナイトロ式交流機関車 19 両は、全数当社が納入したものであり、現在なお同区間で客貨両用として好評のうちに活躍を続けているが、待望の北陸ずい道も昨年未貫通し、今年 6 月からいよいよ金沢までの電化が完成し営業運転にはいることとなった。

EF 70 はこのいわゆる金沢電化のために投入された客貨両用機関車で全 18 両のうち当社が 7 両受注納入した。この機関車はもちろん日本国有鉄道のご指導の下に共同設計されたものであるが、主変圧器をはじめ当社が設計を担当した機器も多数あり、また総合的な電気回路関係も当社で担当したので以下それらのことがら



図 1.1 EF 70 形交流電気機関車

Fig. 1.1 Type EF 70 AC locomotive.

を中心にして、この機関車の概要を述べ、ご参考に供したいと思う。

## 2. 設 計

## 2.1 設計条件

この機関車の設計にあたって提示された条件はつぎのようなものであった。

## (1) 運転区間

北陸線敦賀金沢間で客貨両用とする。

## (2) 運転性能

## a. 起動性能

(a) 北陸ずい道内の 12% コウ配で、貨車 1,000t けん引で起動可能なこと。

(b) 10% コウ配で、貨車 1,200t けん引して起動可能なこと。

## b. 速度性能

(a) 平たん線で客車 600t をけん引したとき 95 km/h の速度でなお加速力の余裕があること。

(b) 貨物運転のとき前記の コウ配とけん引条件で十分な ツライ速度をもっていること。

## (3) 電気方式

単相交流 20 kV, 60 c/s 交流専用 シリコン 整流器式

## (4) 軸配置, 主電動機, 駆動装置

$B_0-B_0-B_0$ , ツリカケ式

## (5) 軸重 16t 以下

## 2.2 設計上とくに留意した点

(1) 査定 コウ配 12% がずい道内にあるため、むりな高粘着を期待せず、起動特性にゆとりのある設計をねらった。F 形としたのはそのためである。

(2) 大出力機関車であるため、タップ 切換えは高圧側切換えとなったが、東北線用 ED 71 でタップ 切換器にじゃっかんの問題があったのでこれの設計には細心の注意を払った。

(3) 交流電化にともなうかなり多種類の機関車が試作され、使用される機器も種々雑多となってきたので、この機関車では、こんごの機関車のことも考えて思いきって機器の標準化を図った。

## 3. 特 長

前述のようないろいろのことを考慮して完成した機関車には、ED 71 のときのようにはなやかな特長は生まれなかったが実用的にはもっとも歓迎されるつぎのような地味な特長が生まれた。

(1) F 形としたため、高圧側 タップ 切換えでありながら制御方法にかくべつの細工をほどこさなくても十分に余裕のある粘着特性が得られ、コウ配起動にも安心して使用できる。

(2) このため主回路や制御回路もぎわめて簡単となり保守や点検に便利である。

(3) さきに製作された試作 ED 713 形交流機関車には、当社製の ローラ 形 タップ 切換器が取付けられ、優秀な使用実績をあげているが、こんどの EF7012 号車から EF 7018 号車までには、これをさらに改良した新形 タップ 切換器が使用されており、同じく当社製の外鉄形主変圧器とともに、高圧 タップ 切換式交流機関車の生命がかけられている。これらの器具についてはのちほど詳述する。

## 4. 性 能

(1) 主電動機は前述の設計条件を満足するとともに、D 形の機関車にも歯車比の変更で使用でき、さらには直流機関車にも使用できるようなものとして MT 52 形が選定された。この仕様

については後述するが脈流 1 時間定格は 475 kW である。

(2) 起動時の期待粘着係数は貨車 1,100 t (1,000 t+余裕 100 t) けん引でコウ配 12% のとき出発抵抗 10 kg/t としても 27.5% であり、余裕をもって起動可能である。

(3) ノッチ数は 25 とし、オーバータップは設けず高速性能は弱界磁 (70% 1 段) によって得ている。

表 4.1 ツライ速度一覧

けん引荷重 (t)	コウ配 (%)	ノッチ	昇磁	ツライ速度 (km/h)
貨車 1,000	12	25	全界磁	47
貨車 1,200	10	25	全界磁	46.5
客車 600	0	26	70% 弱界磁	103

表 4.2 主要要目表

用途	客貨両用
電気方式	単相 AC 20 kV 60 c/s
機関車方式	シリコン整流器式
運転整備重量	96 t
軸配置	$B_0-B_0-B_0$
形式	箱形両運転台
車体長	15,955 mm
各台車心皿間距離	4,825 mm
パンタ折りたたみ高さ	4,240 mm
車体屋根高さ	3,605 mm
車体幅	2,805 mm
台車形式 両端台車 中間台車	DT 120 DT 121
固定軸距離	2,800 mm
動輪径	1,120 mm
1 時間定格出力 " 引張力 " 速度	2,360 kW 19,600 kg 43.1 km/h
最大運転速度	105 km/h
動力伝達装置	1 段歯車減速, ツリカケ式 パネ入歯車使用, モジュール 12 歯数比 17:70=1:4.12
主電動機	MT 52 形 4 極丸形 1 時間 475 kW, 900 V, 570 A 強制通風
シリコン整流器	強制強風 単相ブリッジ結線 連続定格 2,430 kW, 750 V, 3,240 A 個数 240 (5S×12P×4A)
主変圧器	外鉄形, フォーム・フィット, 送油風冷式 鉱油使用 電圧 20 kV/1,080 V/476 V/1,500 V 容量 2,580 kVA/2,450 kVA/130 kVA/ 420 kVA 電流 129 A/2,270 A/273 A/280 A
高圧タップ切換器	油入円筒形 13,000~780 V 25 タップ
制御方式	非重連 高圧タップ制御 界磁制御
ブレーキ方式	EL14AS 空気ブレーキ, 手ブレーキ
列車暖房装置	電気式
補機方式	相変換方式 入力側 単相 60 c/s 440 V 出力側 三相 60 c/s 440 V

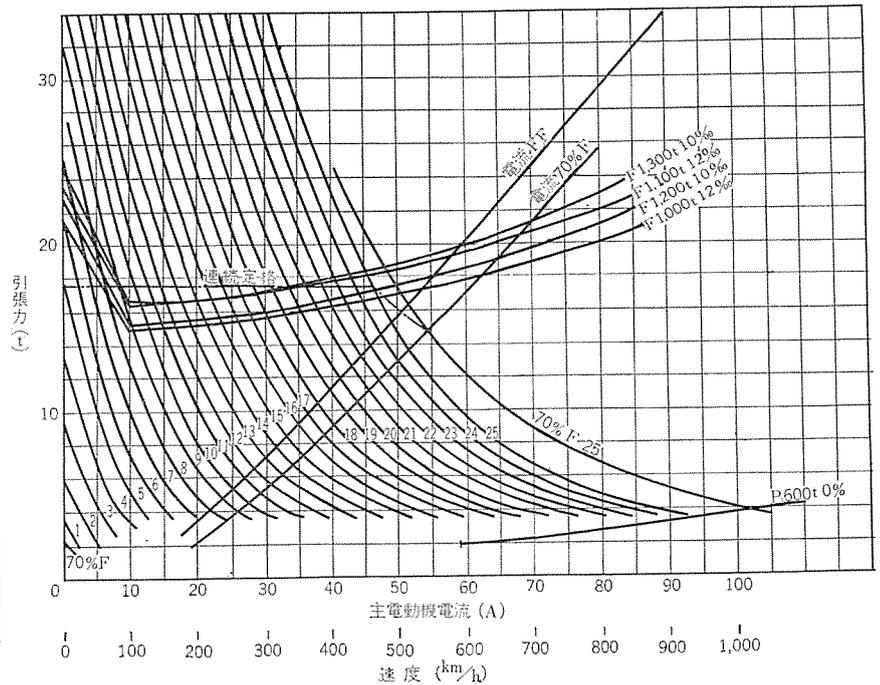


図 4.1 速度—引張力曲線

Fig. 4.1 Tractive effort-speed curves.

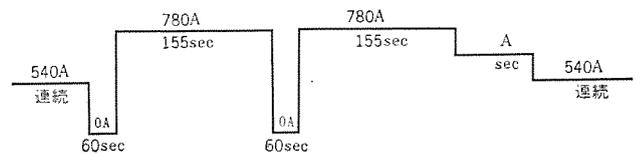


図 4.2 シリコン整流器に対する電流条件

Fig. 4.2 Current duty for the silicon rectifier.

(4) 速度引張力曲線を図 4.1 に示す。この曲線から求められた線電圧 20 kV における ツライ速度を表 4.1 に示す。

(5) 主変圧器の二次定格電圧は、主電動機の連続定格電流が流れたとき主電動機の端子電圧が 750 V となるように選定し、主変圧器の連続定格電流は、貨車 1,200 t けん引の通貨運転を考慮して主電動機連続定格電流の約 70% に選定した。

(6) シリコン整流器の直列枚数および並列枚数の選定にはつぎの条件が課せられた。

a. 直列枚数を選定するときの条件

(a) 衝撃波電圧は一次側の避雷器によって 80 kV に制限され、その 90% が二次側に移行する。

(b) 開閉サージとしては線電圧の最高値の 2 倍 (ピーク値) を考慮する。

(c) 1 ヘルパックしても残りの直列枚数で連続運転ができること。

b. 並列枚数に対する条件

平均引張力に相当する起動電流で貨車 1,100 t をけん引して 2 回起動する場合を考慮して図 4.2 のような電流条件を満足すること。

(7) この機関車の主要要目を表 4.2 に示す。

## 5. 制御方式

この機関車は前述のように粘着に余裕があることと、重連の必要がないことから、制御方式はきわめてオン・ドックスで簡単であって、取扱いも楽である。

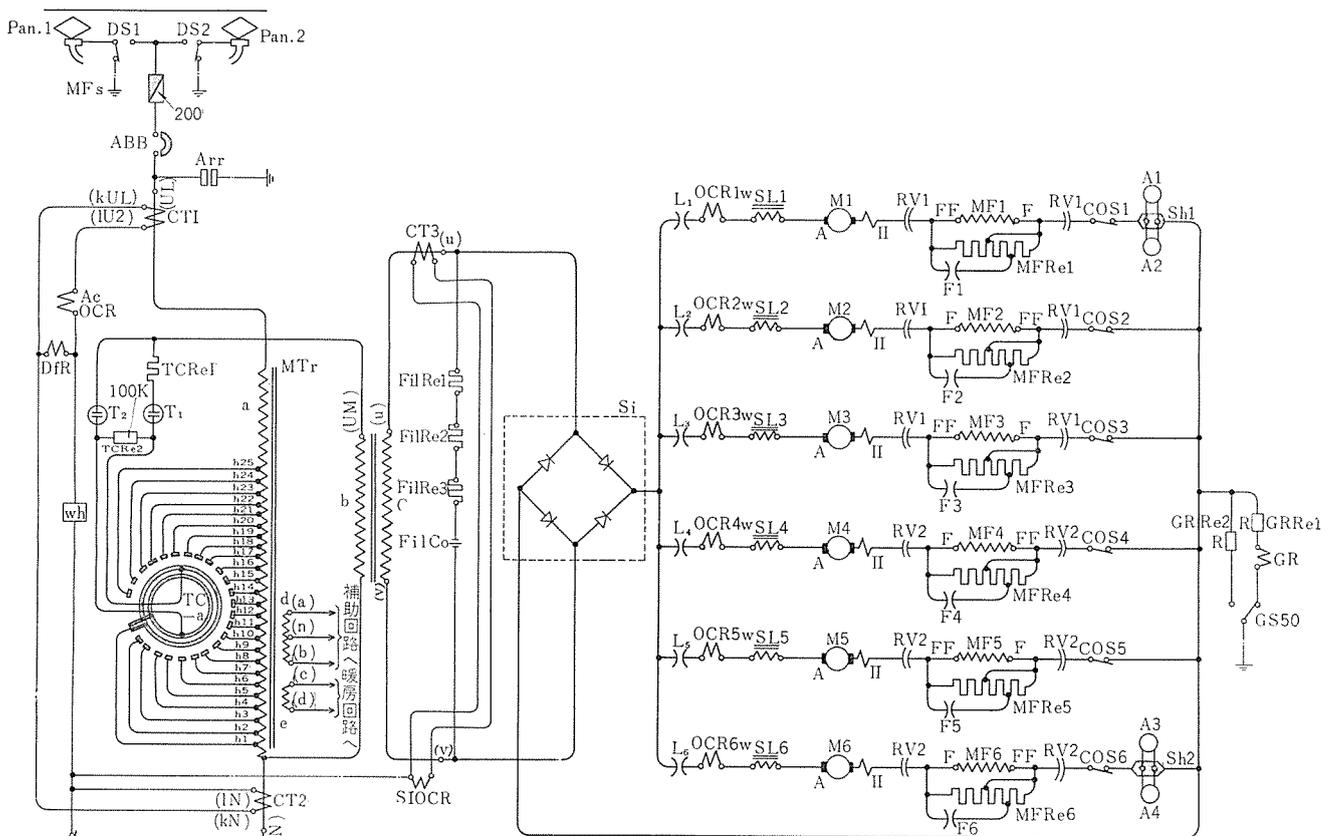


ABB	空気シヤ断器	Filco	交流フィルタコンデンサ	MTr	主変圧器
ACOCR	一次過電流継電器	FilRe	同上用抵抗器	OCR 1~6	主電動機過電流継電器
Arr	避雷器	GB 1~3	接地ブラシ	Pan 1, 2	パンタグラフ
COS 1~6	主電動機開放器	GR	接地継電器	RV	逆転器
CT 1, 2	一次側変流器	GRe 2	接地開放抵抗器	SiOCR	シリコン過電流継電器
CT 3	二次側変流器	GS 50	接地開放スイッチ	Si	シリコン整流器
DfR	差電流継電器	L 1~6	断流器	SL 1~6	平滑リアクトル
DS 1, 2	パンタグラフ断路器	MFRe 1~6	界磁抵抗器	T1, T2	切換開閉器
F 1~6	界磁接触器	MFs	主ヒューズ	TCa	選択開閉器
				TCRe 1	限流抵抗器

タップ切換器カム接触器動作順序表

タップ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
1		○
	○	○
	○	○
	○	○
2		○

図 5.1 主回路 ツナギ

Fig. 5.1 Power circuit diagram.

(1) 主回路

ツナギは図 5.1 に示すとおりであって、高圧側のタップ切換えは抵抗切換式であり、主変圧器の二次側にはブリッジ結線されたシリコン整流器が接続されていて、その直流出力側に主電動機 6 個が平滑リアクトルとともに並列に接続されている。それぞれの主電動機回路は断流器 L<sub>1</sub>~L<sub>6</sub> によってべつべつにシヤ断され、さらに過電流継電器 OCR 1~5 によってべつべつに保護されている。接地は直流出力端のいっぽうで接地継電器によって行なわれている。

(2) 制御回路

タップ切換器の制御は非重連で多数の制御線を引き通す必要がないので簡単のため、主幹制御器のノッチ指令をそのまま電線でタップ切換器に伝える通常的方式を採用している。この方式は制御方式からいえばデジタル方式であって、ED71 形交流機関車のように指令を電圧の値に変えて伝える方式はアナログ方式といえる。

起動初期には単機運転時の円滑性を考慮して、弱界磁起動を行なうようになっている。

空気シヤ断器はオトリツプ形となっていて、各保護継電器の a 接点でトリップ回路をメイクするため、ED 71 の場合によく問題となった振動による空気シヤ断器のトリップ現象がなくなっている。

(3) 補機方式

ED 71 形機関車と同様、すべての補機は三相誘導電動機とし、100 kVA の分相起動形相変換機によって三相交流を供給している。

簡単のため主変圧器の三次巻線と相変換機入力側とは直結し、空気シヤ断器の投入とともに相変換機はかならず無負荷起動するようになっている。

6. タップ切換器

前述のとおりこの機関車に取付けられている当社製高圧タップ切換器には、設計、工作上多くの特色が折りこまれているので以下に詳述する。

6.1 形式

- 切換方式 高圧側抵抗切換式
- 駆動方式 直流電動機駆動
- 切換開閉器 気中磁気吹消形
- タップ 選択器 油中円形配置 0-5 形

6.2 性能

- 定格電圧 13 kV
- 定格電流 300 A

定格	連続
タップ数	25
切換時間	0.5 sec/タップ
1タップ電圧	520 V
限流抵抗	1.23 $\Omega$
油量	180 l
全重量	860 kg

### 6.3 特長

この切換器は、とくにひんぱんな動作に対して信頼度が高く、保守点検が容易なように設計製作されている。その特長を列挙すると、

- (1) 切換速度が速く、1タップわずか0.5secである。
- (2) ショークスに余裕のある機構で、起動停止が確実である。
- (3) タップ選択器は摩擦の少ないローラコンタクトを使用している。
- (4) 絶縁物は電気的特性および機械的性質のすぐれたガラスエポキシ積層板を使用している。

### 6.4 動作

切換速度の速いこの種タップ切換器においては、良好な動作ショックを得るような機構設計が必要である。この切換器の動作ショックスを図6.1に示す。タップ選択器の間けつ駆動によって、切換開閉器が開いてからタップ選択器が開くまでの時間は、1タップ0.5secの切換速度において5c/sと、十分な余裕を有している。停止位置をショックスの対称な位置から35度ずらしてあるのは、 $T_2$ 開閉器が開くとき、タップ切換器が十分高速に達するようになるためである。35度ずらして停止させてもタップ選択器が間けつ駆動方式であるため、ローラコンタクトは固定コンタクトの中央に位置している。

### 6.5 構造

このタップ切換器は、切換開閉器、タップ選択器、制御スイッチ、駆動装置および限流抵抗器からなっており、図6.2のように組立てられている。各部の構造についてのべる。

#### (1) 切換開閉器

磁気吹消形の気中開閉器で  $T_1$ 、 $T_2$ 、2個の開閉器が1本のガイ管上に取付けられ、カム機構に連結された絶縁操作ロッドにより交互に駆動される。カム機構には空気吹付用シリンダがあり、開閉器の接点が開く瞬間に絶縁管を通して空気の吹きつけを行ない、

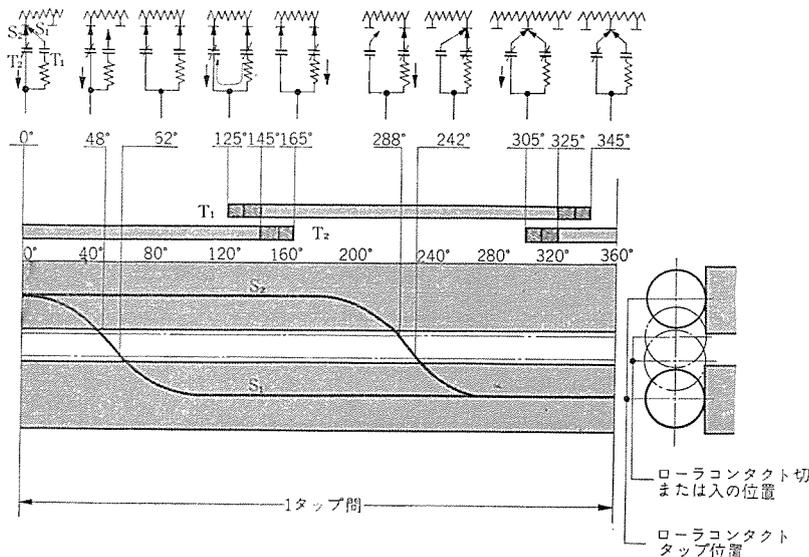


図 6.1 切換器動作 ショークス  
Fig. 6.1 Sequence of the transfer switch.

開閉器の アーク 時間を短縮している。

#### (2) タップ 選択器

図 6.3 に示すように、固定コンタクトは絶縁板上に円形に配置されている。いっぽう手前側絶縁板(図 6.4)に集電リングが取付けられ、2個のローラコンタクトが固定コンタクトの内、外側と集電リングに接触し、それぞれは間けつ的に駆動される。絶縁物はガラスエポキシ積層板を使用しているため、長年の使用に対しても絶縁劣化はきわめて少ない、また機械的強度もすぐれている。間けつ駆動部は玉軸受、針状軸受などを使用しており、金属摩擦粉が絶縁物を侵すことのないよう設計されている。

#### (3) 制御 スイッチ

第1, 第2制御スイッチはカムスイッチを使用している。第1制御スイッチは1タップの回転角が小さいので、ゼネパヤを使用して間けつ駆動を行なわせることにより、スイッチの開離速度を上げるとともに、その動作点を確実にしている。またストップ用カムがあり上限下限においてメカニカルストップを動作させる。

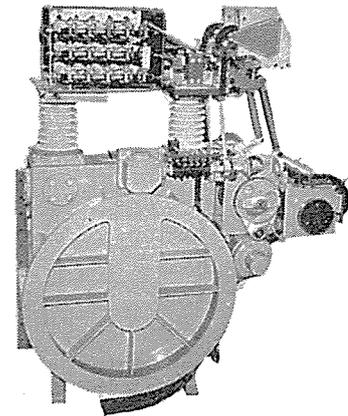


図 6.2 HTC6 形負荷時タップ切換器  
Fig. 6.2 Type HTC6 on load tap changer.

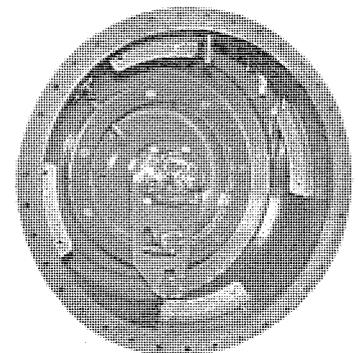


図 6.3 タップ 選択器  
Fig. 6.3 Selector switch.

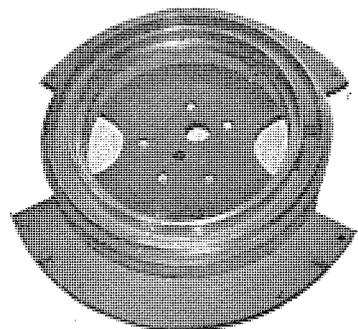


図 6.4 集電リング  
Fig. 6.4 Collector ring.

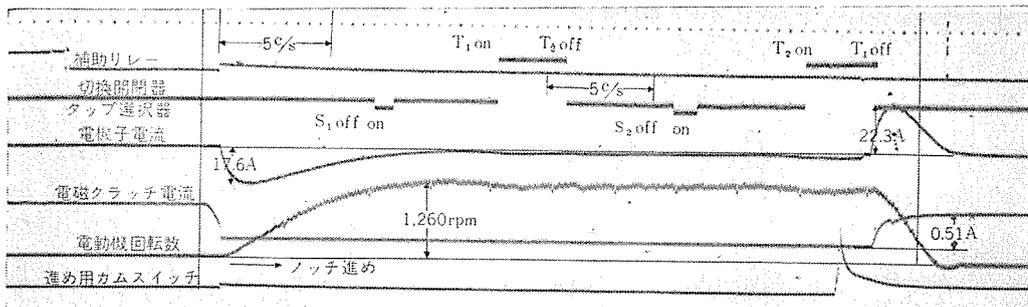


図 6.5 動作 シーケンス (ノッチ 進め)

Fig. 6.5 Sequence (notch progress).

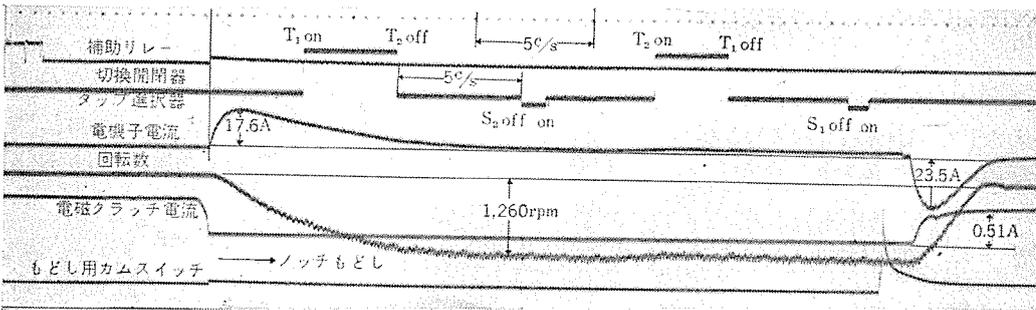


図 6.6 動作 シーケンス (ノッチ もどし)

Fig. 6.6 Sequence (notch back).

表 6.1 タップ 切換器温度上昇試験結果

切換開閉器 コンタクト	$T_1$	31°C
切換開閉器 コンタクト	$T_2$	23°C
吹消 コイル	$T_1$	42°C
吹消 コイル	$T_2$	43°C
タップ 選択器 ローラコンタクト	$S_1$	27°C
タップ 選択器 ローラコンタクト	$S_2$	26°C
限流抵抗器		320°C

(4) 駆動装置

直流 110 V の操作電動機から 2 段減速されて、カム 軸、タップ 選択器および制御 スイッチ を駆動する。カム 軸には制御 カム によって動作する メカニカルストップ と ハート 形 カム があり、ハート 形 カム は タップ 切換器を 1 タップ ごとに確実に規定位置に停止させる。操作電動機の仕様はつぎのとおりである。

方式	直流分巻補極つき
形式	閉鎖丸形自己通風形
極数	四 極
定格	電機子 15 分、界磁連続
出力	600 W
電圧	100 V
電流	9.5 A
回転数	1,200 rpm

(5) 限流抵抗器

限流抵抗器は、リボン 状鉄 クローム 抵抗体を巻いて構成したユニットを 15 本 1 組にしてガイ 管上に取付けており、つぎの使用条件を満足するよう製作されている。

- a. コウ 配起動 2 分周期で 3 回
- b. 平たん起動 5 分周期で無限回

6.6 試験

(1) 温度上昇試験

60 c/s 300 A を連続通電した場合、各部の温度上昇結果は表 6.1 のとおりである。ただし限流抵抗器は 82 A 連続通電の結果である。

(2) 動作特性試験

切換開閉器、タップ 選択器の シーケンス および起動停止特性は図 6.5 および図 6.6 のとおりである。

7. 主 変 圧 器

車両用として定評のある当社製主変圧器は、EF 70 形交流機関車全両に取付けられ、ED 70 形交流機関車用の主変圧器とともにその性能を北陸全線に示すこととなった。

7.1 定格事項および仕様

相数	单相	
周波数	60 c/s	
定格	連続定格	
容量	交流巻線 2,580 kVA	
	直流巻線 2,450 kVA	
	補機巻線 130 kVA	
	暖房巻線 420 kVA	
電圧	交流巻線 20,000 V	線路側 20 号
絶縁階級		接地側 1 号
	直流巻線	3 号

タップ 番号	電圧(V)	タップ 番号	電圧(V)	タップ 番号	電圧(V)
25	1,080	16	693	7	303
24	1,040	15	650	6	260
23	996	14	606	5	217
22	953	13	563	4	173
21	910	12	520	3	135
20	866	11	476	2	99.0
19	823	10	433	1	65.0
18	780	9	390		
17	736	8	347		

補機巻線	476 V (238×2)	1 号
暖房巻線	1,500 V	3 号

温度上昇限度	70°C
周囲温度	25°C
冷却方式	送油風冷式 鉱油使用
形式	外鉄形 フォームフィット 構造
循環油量	800 l/min
油ポンプ	三相 60 c/s 2.2 kW 1 台
冷却風量	150 m <sup>3</sup> /min
冷却ファン	三相 60 c/s 1.5 kW 2 台

内蔵変流器	交流線路側	40 VA	3.0 級	300/5
	交流接地側	40 VA	3.0 級	300/5
	直流側	40 VA	3.0 級	4,000/5
タップ 切換器	25 点負荷時 タップ 切換器			
総重量	6,700 kg (タップ 切換器を除く)			
油量	1,650 l (タップ 切換器を除く)			

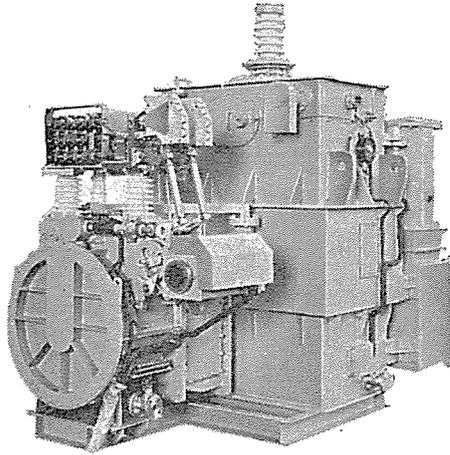


図 7.1 TM-5 形主変圧器外観  
Fig. 7.1 Type TM-5 transformer.

## 7.2 構造

車両積載用変圧器としてすでに北陸線、インド国鉄に多数納入し好評を得ている当社独得の外鉄形 フォームフィット 構造を採用している。外鉄形 フォームフィット 構造は車両積載用として軽量、堅ろう、小形化を満すに最適の構造である。

### (1) 巻線

巻線接続は図 7.2 に見られるように 20 kV を 13,000 ( $h_{25}$ — $N_c$  間)~780 V ( $h_1$ — $N_c$  間) に変圧する単巻 タップ 巻線と、この電圧を受けて 1,080~65 V の直流巻線電圧を得る主巻線とからなっている。補機、暖房巻線は タップ 巻線の別巻線となっている。

タップ 変圧器および主変圧器の コイル 配置を示せば図 7.3 のとおりである。図でもわかるように外鉄形変圧器は コイル の数が少

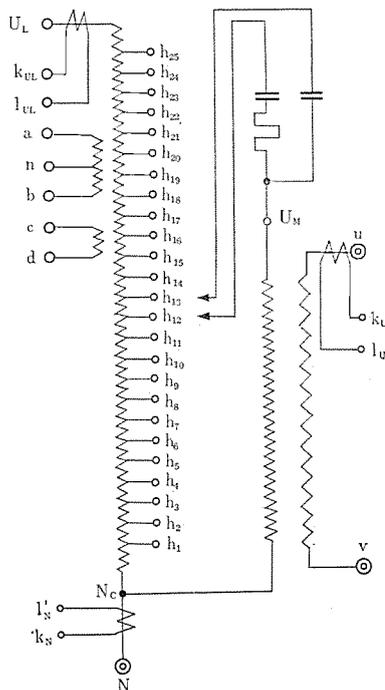
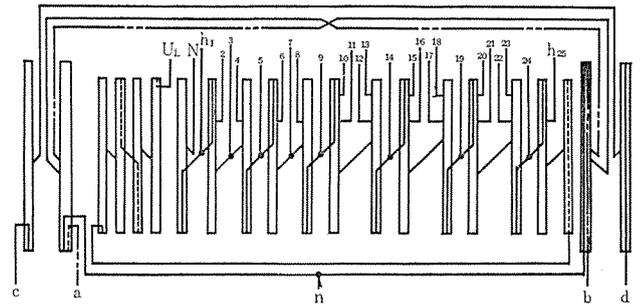
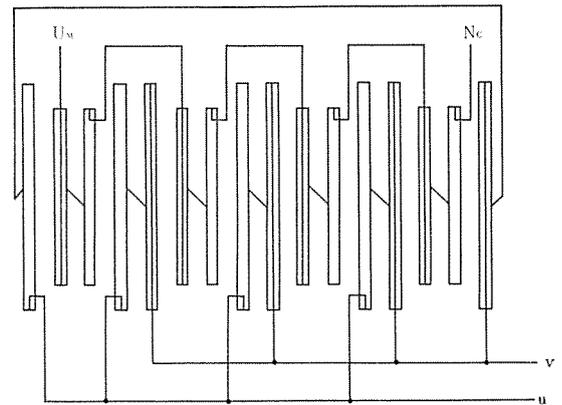


図 7.2 主変圧器結線図  
Fig. 7.2 Connection diagram of the transformer.



(a) タップ 変圧器



(b) 主変圧器

図 7.3 コイル 配置図

Fig. 7.3 Coil arrangement.

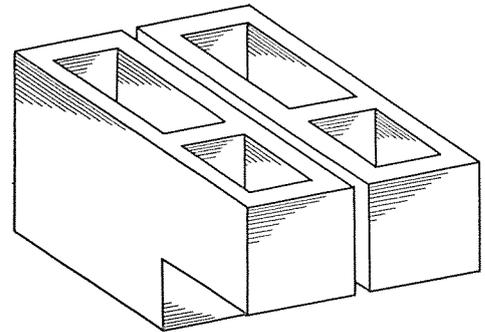


図 7.4 鉄心

Fig. 7.4 Core construction.

なく、コイル 幅が大きく、コイル の対向面積が大きく、合成直列静電容量が大きく、コイル 内での大地への静電容量が小さい。したがって衝撃電圧侵入に対して巻線内の初期電位分布が本質的に良好であり、したがって電位振動もわずかである。このことは タップ 巻線の タップ 切換器への接続端子に現われる衝撃電圧を低く押えられることになるのでタップ 切換器の設計は容易となり、より安全に使用することができる。

また低 タップ における直流巻線の電圧変動率は列車の起動特性に直接影響するわけであるが、外鉄形交互配置巻線では容易に高低圧 コイル の対向面積を変化することができるので、転流リアクタンス を比較的広範囲に容易に選定することができ、所望の電圧変動率を得やすい。この変圧器では タップ 変圧器は タップ を有する共通巻線の両側に直列巻線を 2 分割して、いわゆる 2H-L の配置を採用し、主変圧器は 8H-L の配置をとって転流リアクタンス を調整した。

### (2) 鉄心

冷間圧延ケイ素鋼帯  $Z_{12}$  を使用しているため、鉄心構造は額縁構造を採用している。このため磁束の方向はつねに圧延方向と一

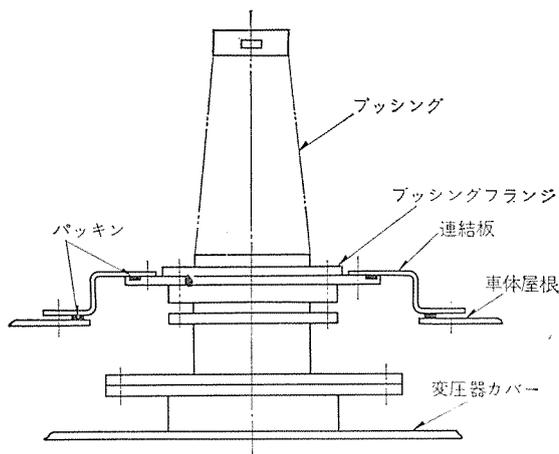


図 7.5 ブッシング—屋根連結部

Fig. 7.5 Fitting of bushing penetrating through locomotive roof.

致し鉄損も少なく、冷間延延ケイ素鋼帯の特色を十二分に発揮している。タップ変圧器と主変圧器の鉄心は図 7.4 に示すように一部共通にした方式を採用し、重量、スペースを節減している。

(3) 外部構造

フォームフィット変圧器であるからタンクは上、下部に分割され、中身全重量を支持する台ワックを兼ねた下部タンク上縁四周に鉄心が積まれる。また上部タンクにも鉄心締付部が設けられており、この上、下部タンクを溶接することによって鉄心はもちろん巻線もタンク全周面によって強く締めつけられている。

本体はコンサーバなしの吸湿呼吸口付の構造で本体上部の空気部には油面の波うち防止板が設けられ、上部カバーから出ている線路側ブッシングは図 7.5 に示す構造で車体屋根を貫通し、雨水の浸入を防止するとともに振動および製作時の寸法誤差にもさしつかえないようにしている。

タップ切換器への接続端子は本体下部側面に設けられており、さきに述べた当社製負荷時タップ切換器および日立製タップ切換器のいずれでも取付くようにアダプタを設けてタップ切換器と接続している。

冷却は送油風冷式で、放熱器にはエロフィン管を使用し、放熱器の内部は2区画に区分されているので油はその間を直列に循環して冷却されるようになっている。冷却風は冷却器下部から車内空気をとり、冷却器を通して上部から車体屋根を貫く風洞に接続されて車体上下に排気されるようになっている。

8. 主電動機

この機関車ではさきに述べたように MT 52 形の共同設計標準形主電動機が採用された。定格事項はつぎのとおりである。

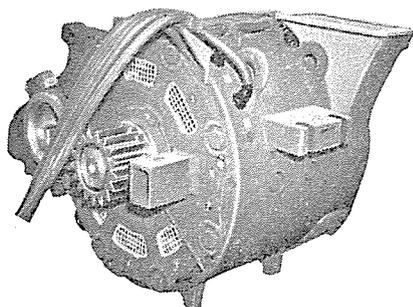


図 8.1 MT 52 形主電動機

Fig. 8.1 Type MT 52 traction motor.

方式	直流直巻補極付 丸形 つつ、ツリカケ式 2% 永久抵抗分路
極数	4
形式	閉鎖他力通風式
絶縁	電機子、昇磁とも F 種
1 時間定格	出力 475 kW (脈流)
	電圧 900 V (脈流)
	電流 570 A (脈流)
	回転数 1,070 rpm
	風量 70 m <sup>3</sup> /min
重量	2,780 kg (本体だけ)

外観写真を図 8.1 に示す。

9. その他の主要機器

シリコン整流器は日立製で連続出力 2,430 kW、2 台の送風機を自載している。

平滑リアクトルは東芝製オープンコア形で 6 台が一つの箱に納められ主電動機送風機と同軸の送風機から風洞を通じて強制通風冷却されている。このリアクトルによって主電動機電流の脈流率は約 30% におさえられる。

表 9.1 に補機一覧表を示す。

表 9.1 補機一覧表

品名	台数	形名	電動機	補機
主電動機用電動送風機	2	MH 3036 -FK58	三相, 60 c/s, 440 V, 四極, 19 kW	140 m <sup>3</sup> /min, 175 mmAq
電動空気圧縮機	1	MH 3009 M-C3000	三相, 60 c/s, 440 V, 四極, 15 kW	8 kg/cm <sup>2</sup> , 2,950 l/min
シリコン整流器用電動送風機	2	MH 3037 -FK59	三相, 60 c/s, 440 V, 四極, 1.2 kW	90 m <sup>3</sup> /min, 35 mmAq
主変圧器用電動送風機	2	MH 3039 -FK60	三相, 60 c/s, 440 V, 四極, 1.5 kW	75 m <sup>3</sup> /min, 40 mmAq
主変圧器用油ポンプ	1	MH 3038 -OP3	三相, 60 c/s, 440 V, 四極, 2.2 kW	800 l/min, 3.5 m
相変換機直流発電機	1	DM67-DM68	60 c/s, 440 V, 四極, 100 kVA, DC 100 V, 1,795 rpm, 5 kW	

10. 保護方式と絶縁協調

保護方式としては、主電動機過電流に対しては各主電動機回路にそう入した過電流継電器と断流器によってそれぞれの回路をシャ断しシリコン整流器過電流に対してはシリコン整流器の交流側にそう入した過電流継電器によって、また主変圧器事故に対しては一次側過電流継電器と差電流継電器によって空気シャ断器をトリップさせ、さらに二次側回路の接地事故に対しては接地継電器によって同じく空気シャ断器をトリップさせるようになっている。これらの継電器にはターゲットがついていて、事故を表示し、また空気シャ断器のトリップに対してはランプ表示するようになっている。

補機回路は抵抗接地を行なって、接地事故に対してはネオンランプ表示をするようになっており、過電流に対する保護はそれぞれの補機にそう入されているノーヒューズシャ断器によっている。相変換機の起動保護には限時継電器が用いられ、約 9 秒以内に起動を完了しない場合には空気シャ断器をトリップさせるようになっている。

暖房回路は直接接地されており、接地事故に対しては負荷にそう入された過電流継電器によって、負荷側の断流器で事故電流をシャ断するようになっていたが、この電流はかなり大きく、また

この回路は客車を引き通すために事故の起こる確率も高いので、空気シャ断器をトリップさせるように改造されることとなった。

絶縁協調としては従来どおり交流耐圧はガイシ類に対して60kV、主変圧器は誘導で50kVとし、サージについては標準サージに対し120kV、サイ断波で130kVとした。

また主変圧器に対するサージの制限電圧は80kV以下となるよう一次側に避雷器を設けている。

主変圧器の直流巻線へのサージ移行をおさえてシリコン整流器を保護するために、直流巻線の端子間にそう入した交流フィルタが役立ち、現車での実測の結果、一次側からのサージの移行率は、シリコン整流器の交流側端子間で標準波形の場合4%以下、かん頭、長尾波の場合5%以下であった。

また空気シャ断器の開閉サージはこれも現車で測定の結果、も

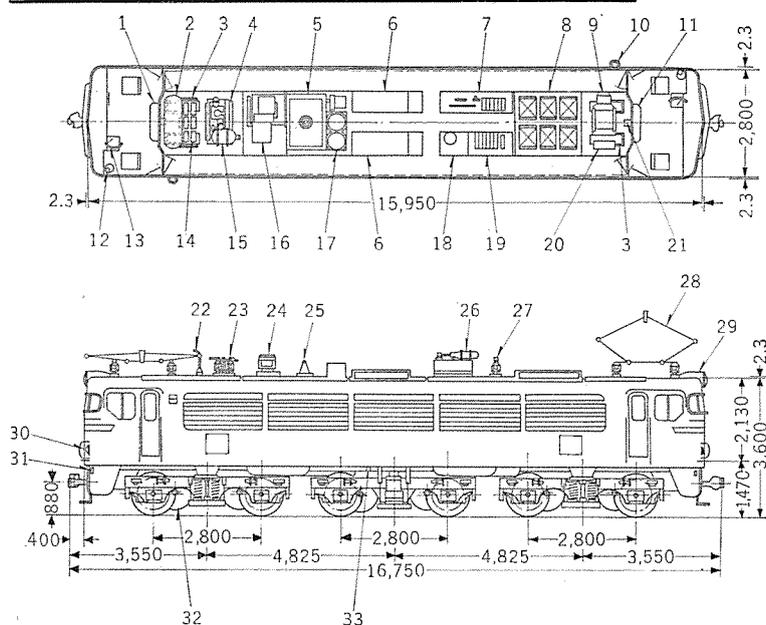


図 11.1 機器配置と外形寸法図

Fig. 11.1 Internal arrangement and out line dimensions of the locomotive.

照号	品名	照号	器名
1	第1制御箱	18	固定機器 ヲク
2	空気 ダメ	19	左機器 ヲク
3	主電動機用送風電動機	20	相変換器用起動抵抗器
4	蓄電池箱	21	風圧継電器
5	主変圧器	22	架線電圧検知 アンテナ
6	シリコン 整流器箱	23	パンタグラフ 断路器
7	右機器 ヲク	24	避雷器
8	主平滑 リアクトル 箱	25	主変圧器 ブッシング
9	相変換器	26	空気 シャ 断器
10	列車暖房用車側表示灯	27	主 ヒューズ
11	第2制御箱	28	パンタグラフ
12	ブレーキ 弁	29	前照灯
13	主幹制御器	30	標識灯
14	交流側 フィルタコンデンサ	31	ジャンパ 連結器
15	空気圧縮機	32	主電動機
16	高圧 タップ 切換器	33	外部電源用栓受
17	主変圧器用軸流通風機		

っとも交流フィルタの効きめがうすい1ノッチでも定格の約1.34倍のピークが出たに過ぎなかった。

主変圧器の巻線比は5.4%に相当するので、シリコン整流器は雷サージに対しても開閉サージに対しても、4.6項に記した最初の仮定に対して十分安全側にある。

シリコン整流器の対大地インパルスは定められていないが実測の結果移行率は大地に対して約5%以下であった。シリコン整流器の対大地交流耐圧は3,500Vなので、このインパルスには十分耐えると考えられる。

## 11. 機器配置・ぎ装

主要機器の配置ならびに外形寸法を図11.1に示す

通風方式としては、2台の主電動機用送風電動機の両端にそれぞれ2台ずつの多翼形送風機を取付け、3台の送風機

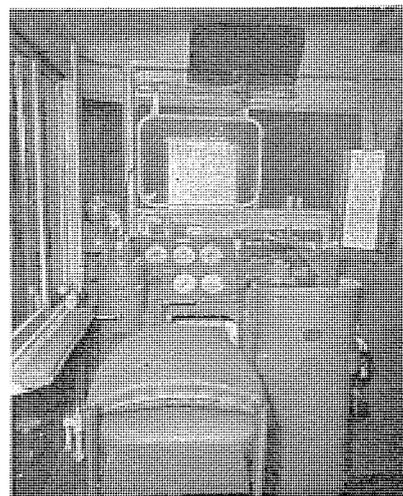


図 11.2 運転室

Fig. 11.2 Operator's cab.

からそれぞれ風洞によって2台ずつの主電動機へ風を送り、残りの1台からは風洞によって平滑リアクトル相へ風を送るようになっている。また主変圧器およびシリコン整流器はそれぞれ独立の軸流送風機を自蔵し、どちらも室内の風を吸って屋根上へ吹き出すようになっている。

図11.2に運転室の写真を示す。

## 12. む す び

かくしてEF70形交流機関車は完成し、36年末から37年3月にかけて当社製作分7両が納入され、2月には日本国有鉄道技術研究所の手によっていろいろな性能試験が行なわれた。その結果期待粘着係数はED70より小さかったがF形の余裕で十分に設計条件を満足する引張力が得られた。この余裕でけん引荷重を2割方増加できるかどうか、機器の容量(主としてシリコン整流器)の検討も行なわれている。

この機関車は37年4月現在、いわゆる教習運転中であるが、営業列車をけん引して新北陸ずい道を走破し、北陸線の輸送力を飛躍的に増大させる日も間近にせまっている。

日本国有鉄道各位のご指導ならびに新三菱重工関係各位のご協力に対し感謝をささげてむすびとする。

# 列車自動運転のシミュレーション

伊丹製作所 小原 太郎\*・白庄 司 昭\*  
 研究所 真鍋 舜 治\*\*  
 本社 上村 勝 彦\*\*\*

## Simulation of Automatic Train Operation

Itami Works Taro OHARA・Akira SHIRASHOJI  
 Research Laboratory Shunji MANABE  
 Head Office Katsuhiko UEMURA

The purpose of automatic train operation is to increase the traffic volume with safety. In the project of operating passenger trains on the New Tokaido Trunk Line of J.N.R. at a speed of 200 m/h max. and in highly frequent service, safe running can never be expected by mere skill of the motor man. The automatic operation, there, comes in as a matter of vital necessity. Mitsubishi has developed a program train operation apparatus and is going to have a test with the cars shortly. The model of this device was built in last September and analyzed with an analog computer. For further study simulation of automatic operation was made by the use of a digital computer IBM 7090. These tests will for certain contribute to the success in the epochal high speed transit in Japan.

### 1. ま え が き

わが国における最近の経済活動は高度の成長をとげるとともに日を追うてさらに活発化しつつあるが、これにともない貨物や旅客の輸送量も飛躍的に増加し、現在そして将来の輸送形態に大きな使命が課せられている。これらの輸送事情に対し、わが国では地理的その他の特殊条件から鉄道車両に期待される輸送力は航空機や自動車に比べはるかに大きく、かつ、ますます増大する傾向にあるといえる。

このため、列車自体はもとよりその運転業務に新しい構想や技術を導入していわゆる運転の近代化を図り合理的に輸送力の増大を図ることが緊急の要務となり、各方面において積極的に推進されていることは周知の事実であって、列車運転の自動化もその一つの大きなあらわれといえることができる。

列車運転の自動化を行なうということはわれわれにとって大きな夢であり、今までいろいろと検討されてきたが、自動化のためには列車特性のほか線路条件や架線電圧の変動あるいは運転条件などの制御因子を定量的に把握することが必要であり、これがきわめて困難であったため早急に実現することが望めなかった。

しかるに、最近の電子工学技術や自動制御理論の急速な進歩はこれらの複雑な制御を巧妙に可能とすることができるため、いろいろな自動運転方式が研究、試作されるようになった。

さいわい、当社は国鉄当局のご指導を得て、完全な自動運転方式ともいべき画期的な“プログラムによる列車自動運転装置(Program Train Operating Apparatus 略称 P.T.O.)”を製作中で近く現車試験が予定されているが安全を第一義とする列車運転の使命から考えて制御が安定で確実であるということが絶対的な条件となる。

とくに、列車のように時定数が大きく、かつ、コウ配や走行抵抗そして架線電圧の変動などの外乱をふくむ運動体の自動制御には未知の分野が多く、今後の研究にまつべき点が多い。

このような見地から、当社では最新のデジタル計算機IBM7090形を駆使して、このP.T.O.について詳細なシミュレーションを行な

いかずかずの貴重な資料を得ることができたので、近く行なわれる現車試験の参考にするとともに、その内容を報告し大方のご批判をいただきたいと考える。

### 2. プログラムによる列車自動運転方式

列車運転の自動化を行なう目的は、あくまでも安全に輸送力を増強するためであるが、具体的にはつぎの諸条件を満足する必要がある。

- (1) 列車運転密度を高め、輸送能率の向上を図ることによって生じる先行列車への追突ならびにその他の事故を完全に防止する。
- (2) 速度制限箇所などでは確実に自動減速して、制限速度を超過しないこと。
- (3) 所定の地点、たとえば駅や停止信号区間では侵入速度いかにかわらず、つねに一定位置に乘心地よく停車させること。
- (4) 定められた運転ダイヤどおりに走行する。とくに、架線電圧の変動や延発などの不測の現象に対しても適切な回復運転を行ない、いわゆる定時運転を行なうこと。
- (5) 従来のように、運転手の熟練と注意力を必要とせず、その疲労度を軽減して運転の保安度を向上すること。

これらの要求を満足するためには、いかなる方式が最も適切であろうか。

また、現在各方面で主として行なわれているのは地上の保安信号と連動しブレーキ制御を主体としたA.T.C.装置(Automatic Train Control Apparatus)やA.T.S.装置(Automatic Train Stop Apparatus)を用い部分的な自動化が行なわれているが、これらはあくまで保安制御であって、現在の日本国有鉄道が誇る定時運転を実現することは困難であるといえる。

一方、この定時運転をふくめた自動運転方式としてはわずかにソ連が1958年モスクワ近郊で3両編成の電車で試験した例と、日本国有鉄道が技術研究所構内で直流電車をを用い約1kmのループ線で最高40km/hで試験された実例があるだけでとくに後者は

別名 ノッチプログラム<sup>(1)</sup>ともいべき方式である。これらに並行して、当社が製作中のプログラムによる列車自動運転装置（以下 P.T.O. という）は、列車の出発から停止までを車内に装備した独自の電子計算システムにより制御し完全に自動化した方式で、東海道新幹線用旅客電車を対象としているものである。

### 2.1 P.T.O. 装置の概要<sup>(2)</sup>

さきに述べたように、P.T.O. 方式は所定の区間を与えられた運転ダイヤ通りに自動的に走行することを主目的とするため、原理的には運転ダイヤで示された距離（ $S$ ）、速度（ $v$ ）、時間（ $t$ ）をパターンとし、列車で検出した  $S$ 、 $v$ 、 $t$  と比較しながら、つねに両者が一致するよう自動的に制御する方式で、つぎの3要素から成り図 2.1 にそのブロック構成図を示してある。

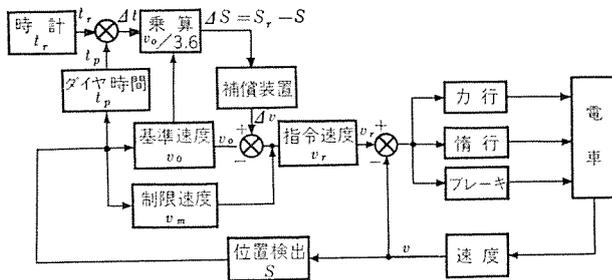


図 2.1 ブロック構成図  
Fig. 2.1 Block diagram.

#### (1) S-v 制御部

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

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

一方、線路条件によって当然制限速度があるが、この場合も  $S$  に応じた最大速度  $v_m$  を読み込んでおき、後述の指令速度  $v_r (= v_0 \pm \Delta v)$  を制限するにするとともに、不測の事故に備えて先行列車に対する保安信号により  $v_r$  を制限してあるためつねに、 $v_r < v_m$  で安全が確保されるようになっている。

#### (2) S-t 制御部

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

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

$$\begin{aligned} \Delta t < 0 \text{ のときは } & \text{増速指令} & \Delta v > 0 \\ \Delta t > 0 \text{ のときは } & \text{減速指令} & \Delta v < 0 \end{aligned}$$

したがって、制限速度  $v_m$  を加味した  $v_0 \pm \Delta v$  を列車への指令速度  $v_r$  として与えるようになっている。

このようにすることによって、走行抵抗や、架線電圧の変動などの外乱に対しても自動的にこれを補償して定時運転を可能とされている。

#### (3) v-v 制御部

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

これらの制御選択や、ノッチ選択のひん度は制御系の安定度に



図 2.2 P.T.O. 指令装置外観（モデルテスト用）  
Fig. 2.2 Appearance of P.T.O. direction apparatus.

もからんで、P.T.O. の性能を左右することにもなるので回路や常数の設定には十分な考慮が払われている。

まず、制御選択は、指令速度  $v_r$  に  $v_r$  と  $v$  の差を加算した値をもって制御選択速度（ $v_c$ ）とし、力行ノッチの選択は  $k \cdot v_c$  の値をもって 1~25 ノッチの選択を可能としている。なお、新幹線旅客電車は高速で相当時間の釣合運転を行なうことから力行制御には、必要にして十分な釣合運転域を設けている。

このような P.T.O. 方式を列車に適用することによって、列車の走行位置や速度がつねにプログラムによる基準の位置と速度で照査されるため、運転時分の精度を大巾に向上できるほか、外乱による時間おくれ、あるいは、すすみも自動的に修正することができる。図 2.2 はモデルテストに用いた P.T.O. 指令装置の外観である。

## 3. 列車自動運転の理論式

P.T.O. を用いた列車自動運転のシミュレーションを行なう目的としては、列車自体が、与えられたプログラムにどのように追従し、系全体の安定度がどのようになるかを詳細に解析することと、これに適用するプログラムの最適値を求めめるために行なう場合にわけられる。

後者については電気機器の温度上昇や消費電力量を最小にして所定の運転を行なうことを目的とした列車のシミュレーションであって関係方面で行なわれつつあるが<sup>(3)</sup>、ここでは前者についてのシミュレーションを行なうことにした。

これらのシミュレーションを行なうに際してはまず列車の運動方程式その他の理論式を確立しそれに基づいた情報を計算機に導入する必要がある。

### 3.1 列車の運動方程式

列車の運動方程式は列車を 1 つの質点とみなし、ニュートンの運動の第 2 法則を適用することによって次式で表わすことができる。

$$W(1+\gamma) \frac{dv}{dt} = T(N \cdot v) - R(v) + G(S) - B(v) \dots (3.1)$$

- W=列車総重量
- $\gamma$ =回転部分による補正係数 (=8%)
- T=引張力
- N=力行ノッチ
- v=速度
- R=走行抵抗
- G=勾配抵抗
- B=ブレーキ力
- S=距離

なお、主電動機回路の電流を  $i$  とすると

$$T = f_1(i)$$

$$v = f_2(i)$$

式 (3.1) の右辺に示される引張力  $F$ 、走行抵抗  $R$  および、ブレーキ力  $B$  は速度  $v$  による非線形関数であるほか、引張力は主変圧器の電圧変動率やシリコン整流器の電圧降下損による影響などをうけ、関数微係数が不連続になる傾向にある。

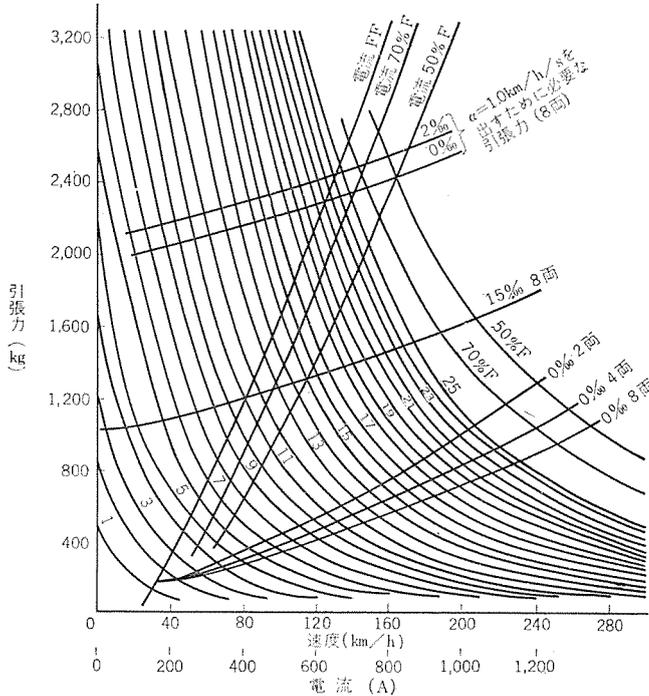


図 3.1 速度—引張力曲線  
Fig. 3.1 Speed—tractive force curve.

このため、式 (3.1) を解くには、その右辺の関数表示をできるだけ忠実に近似するのが望ましい。

(1) 引張力

新幹線用電車（以下、電車という）では交流電気車としての特長である力行ノッチの選択を行なうほか、特定ノッチにおける力行釣合運転を行なう関係上、電車の引張力も電流や速度のみのパラメータで一義的に表示することは適切でない。すなわち、引張力は速度と選択ノッチによって定められるので式 (3.1) のように引張力  $F=f(N \cdot v)$  の形で示す必要がある。

この場合、まずパンタ点電圧を与えて主変圧器、整流器を経て主電動機に加圧される直流電圧  $E_d$  を求め、主電動機の特性格線から  $E_d$  と  $v$  に対応する電流または引張力を求めるという手順になる。

たとえば、架線電圧を一定と考えても  $E_d$  を求めるには主変圧器の電圧変動率や整流器の特性を前述のように考慮する必要があるがいずれも非線形特性を有するため曲線による近似か数表の読み込みによって値を求めなければならない。

さらに、 $E_d$  と  $v$  から主電動機電流  $i$  を求めるには通常式 (3.2) を用いている。

$$v = \frac{E_d - i_r}{E_0 - i_r} \cdot v_0 \dots \dots \dots (3.2)$$

$E_0$  = 主電動機定格電圧

$v_0 = E_0, i$  に対応する主電動機特性格線から  
求まる速度

$r$  = 主電動機内部抵抗

しかしながら、主電動機特性が非直線形であるため式 (3.2) の解も複雑である。

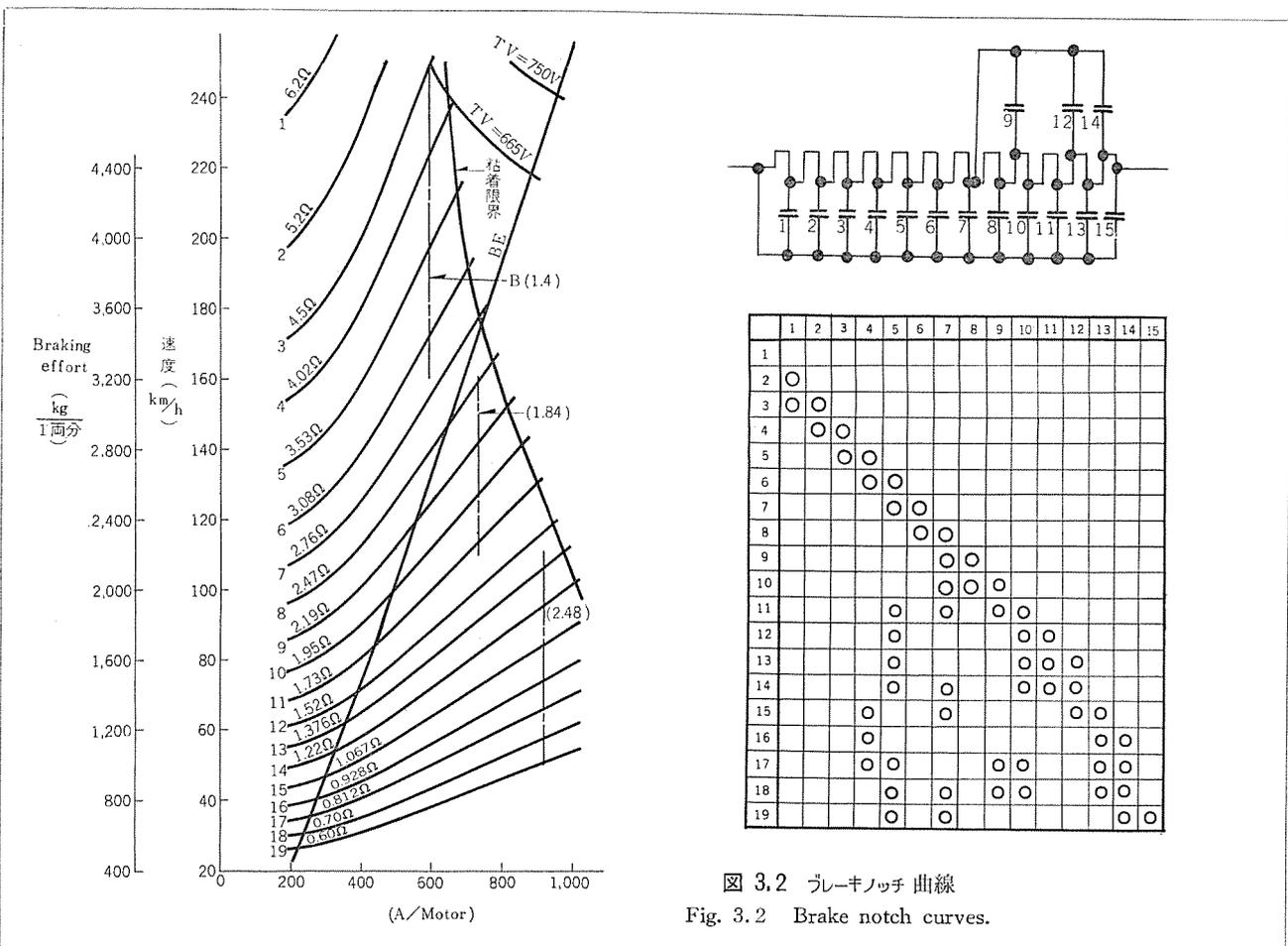


図 3.2 ブレーキノッチ 曲線  
Fig. 3.2 Brake notch curves.

したがって、実用上はさきに述べた手順で得られた速度—引張力曲線を適当な方法で近似するのが簡単でありまた精度も十分であるという見地から、今回は図 3.1 に示す速度—引張力曲線を LAGRANGE の近似式によって表わした。すなわち、与えられた曲線上の点を  $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n)$  とすれば求める曲線は式 (3.3) によって与えられる。

$$F = \sum_{i=1}^n \left( b_i \cdot \prod_{j=1(j \neq i)}^n \frac{v - a_j}{a_i - a_j} \right) \dots \dots \dots (3.3)$$

なお、ここでは  $n=4$  として 3 次式で近似し、計算上十分な精度が得られている。

(2) 列車走行抵抗

新幹線電車用として与えられた列車の走行抵抗はつぎの式 (3.4) である。

$$R(v) = (1.6 + 0.035v)W + cv^2 \dots \dots \dots (3.4)$$

$$c = \frac{1}{2} \rho c_d F$$

$$c_d = 0.46 + 0.00225 l$$

$l$  = 列車長

$W$  = 列車重量

$F$  = 車体断面積

$\rho$  = 空気密度

$v$  = 列車速度

(3) コウ配および速度制限

コウ配および速度制限を示す線路プロフィールは国鉄より与えられた試案を適用し、これに任意の運転条件を加味したものである。

(4) 加減速度

力行加速度はつねに 1 km/h/s となるよう主電動機電流をセツトし、ブレーキ時の減速度は、速度域によりつぎの値としてある。減速時のノッチ曲線は図 3.2 を用いてある。

速度域 (km/h)	減速度 (km/h/s)	限流値 (A)
250~160	1.4	540
160~110	1.84	670
110~0	2.5	840

(5) 指令制御速度

プログラムによる設定速度および時間差による補償速度の和を指令速度  $v_r$  とし、これと検出速度  $v$  を比較し  $v_r$  が大のとき力行および力行ノッチの選択を行ない、 $v_r$  と  $v$  が等しいときは釣合運転、 $v_r$  が小さいときはブレーキ制御を行なうが、これをつぎに述べる論理表示式を用いて表わした。

すなわち、以上のような理論式を用いて、そのプログラミングを能率的に行なうには、理論式の計算順序を指定する論理式あるいはフローチャートをかくための基礎とすべき論理式を用いることが極めて有効であるので、今回のシミュレーションにはこの方式を全面的に採用し、従来のようなフローチャートをほとんど省略して直接 FORTRAN を作成することができた。この表示方式<sup>(4)</sup>について若干の例を示してみよう。

(例 1)  $Y$  は  $X$  の関数で  $X \geq A$  で  $B$ ,  $X < A$  で 0 となる。

$$Y = B(X \geq A)$$

(例 2)  $Y$  は  $X$  の関数で  $X \geq A_1$  で  $B_1$ ,  $X \leq A_2$  で  $B_2$  かつ  $A_2 < X < A_1$  では 0 である。

$$Y = B_1(X \geq A_1) + B_2(X \leq A_2)$$

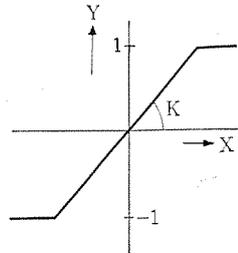
(例 3)  $Y = f(X_1, X_2)$  であらわされ、かつ  $X_1 > A_1$ ,  $X_2 > A_2$  のいずれかの条件が成立するとき改めて計算する。

$$Y = f_1(X_1, X_2)$$

$$(Y) = (X_1 > A_1) + (X_2 > A_2)$$

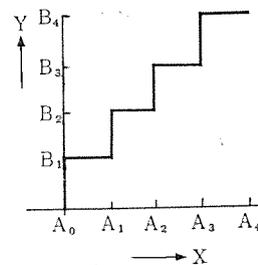
なお、第 1 式は  $X_1, X_2$  より  $Y$  を計算する式、第 2 式はこの計算を行なうかどうかの決断をあらわすものである。

(例 4) 線形をふくむ飽和  $Y = \frac{1}{K} \text{Sat}[KX]$



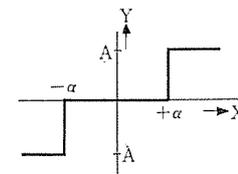
- ①  $Y = KX (-1/K \leq X \leq 1/K)$   
 $+ (K > 1/K) - (X < -1/K)$
- ②  $Y = Y_1 (-1 \leq Y_1 \leq 1) + (Y_1 > 1)$   
 $- (Y_1 < -1) \quad Y_1 = KX$

(例 5) 階段的任意関数



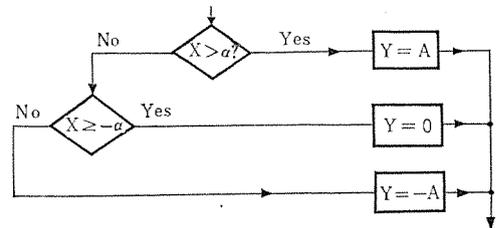
$$Y = \sum_{n=1}^N B_n (A_{n-1} < X \leq A_n)$$

(例 6) 不感域  $Y = AH^a[X]$



$$Y = A(X > \alpha) - A(X < -\alpha)$$

これをフローチャートであらわすとつぎの通りである。



## 4. 計算

### 4.1 使用した計算機

このシミュレーションに用いた IBM 7090 形電子計算システムは、入力装置、出力装置、演算装置、制御装置のほか、データ・チャンネル、マルチプレクサーなどこのシステムの特長となっている部品より構成され、現在日本で実用されている計算機のなかでは、もっともすぐれた機能を有しているもので図 4.1 にその構成図を示してありおもな特性をあげるとつぎのとおりである。

- (1) 自動プログラム方式を有しているため Formula Translating System (略して FORTRAN) 用いて容易に技術計算を行なうことができる。FORTRAN システムによれば計算機の中で行なわれる 2 進法表示を何ら考慮することなく普通の数式に近い形で命令を与えればよいのでプログラムの作成が極めて簡単である。
- (2) 磁気コア記憶装置の記憶容量は 32,768 語 (1 語 36 ビツ

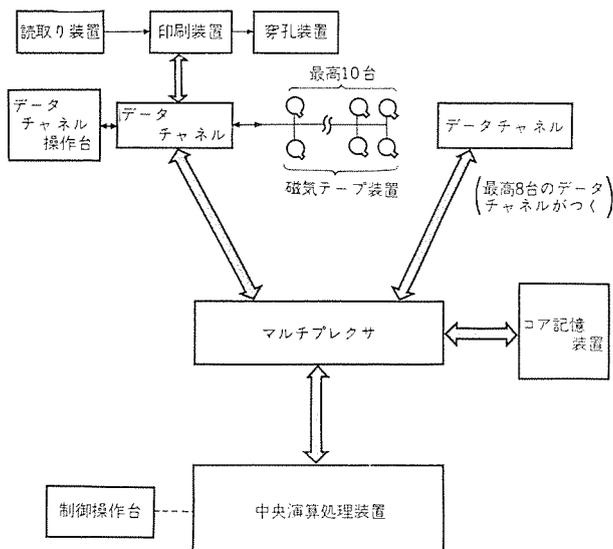


図 4.1 IBM 7090 形のブロック構成図  
Fig. 4.1 Block diagram of type IBM 7090.

ト=符号ビット+35ビット)でこれらの記憶は自由にかつ正確に伝送し、また演算処理を行なうことができる。

(3) 演算速度はつぎのとおりで他の計算機に比較し格段の高性能を有している。

IBM 7090 形の演算速度

演算の種類		演算速度 (μsec)	回数 / 秒
固定小数点方式	±	4.36	229,000
	×	4.36~30.52	平均 39,500
	÷	6.54~30.52	// 32,700
浮動小数点方式	±	13.08~32.70	// 71,400
	×	4.36~28.34	// 41,500
	÷	6.54~28.34	// 35,200
理論演算 (判断)		2.18 または 4.36	458,000 または 229,000

IBM 7090 形と他の計算機の計算速度比較 (単位 ミリ秒)

関数	IBM 650	IBM 704	IBM 7090
$\sqrt{x}$	75	1.24	0.142
$\sin x, \cos x$	123	3.0	0.317~0.412
$\arctan x$	12.7	4.2	0.317~0.412
$I_n x$	14.0	2.22	0.349
$e^x$	180	2.46	0.333
$\sinh x, \cosh x$	240	5.11	0.604~0.641

(4) 出力装置は計算結果を印刷、カードパンチあるいはアナログ表示などにより行なうことができるので検討その他が非常に便利である。

4.2 計算の方法

シミュレーションを行なうには3に述べた運動方程式を解いて電車の運動を求める操作と、これによって得られた時間、速度、距離を設定値と比較して力行、制動をはじめ種々の制御条件を決定する操作が必要である。後者は P. T. O. 装置の指令演算部の働きをそのまま模擬すればよい。

運動方程式を解くとき、結果が線路条件と対応させて直感的に見やすいところから、一般には距離を独立変数にとることが多い

が、ここでは制御系のむだ時間を計算に折り込むため時間を独立変数にとった。

計算の手順は図 4.2 のフローチャートに示すとおりである。

(1) データ読み込み

列車性能 ノッチ 曲線, 制御系の諸定数, 列車重量, 編成両数

線路条件 コウ配

P. T. O. のプログラム

これらのデータをすべて磁気テープから読み込む。

(2) 初期条件の設定

(3) 変数の移しかえ

1ステップ前の計算サイクルで得られた結果(第1サイクルの時は

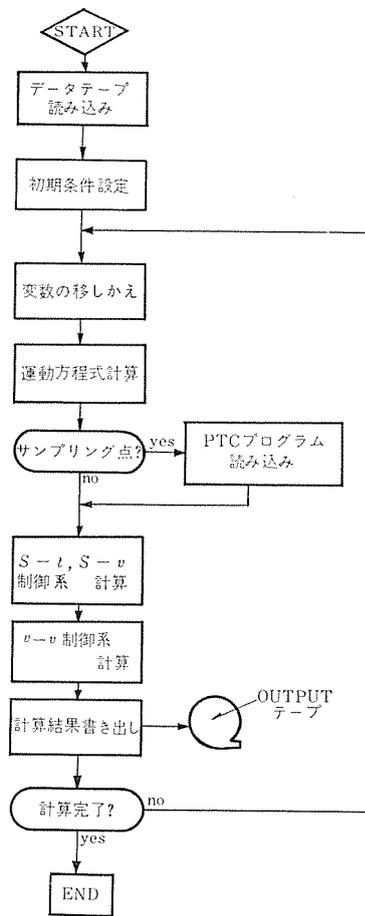


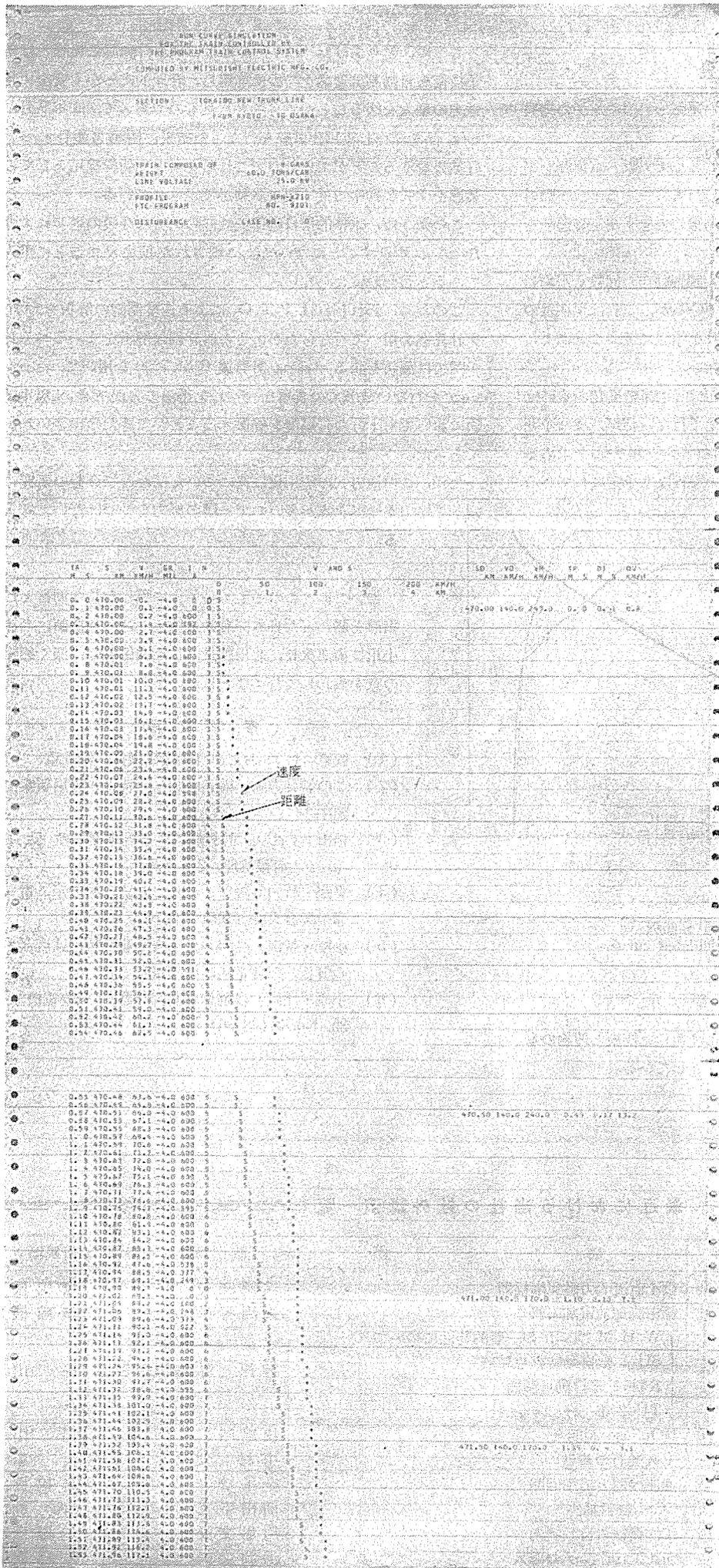
図 4.2 フローチャート  
Fig. 4.2 Flow chart.

```

PRK=PRK+0.1
IF (VCK) 205, 204, 204
204 IF (VCK-5.0) 206, 206, 206
206 BRK=BRKB
GOTO 202
208 PRK=1.0
GOTO 202
205 FRK=0.0
202 BRK=BRKB
JBRK=BRK+0.1
IF (VCK+9.0) 210, 210, 215
210 IF (VCK+15.0) 214, 212, 212
212 BRK=BRKB
GOTO 290
214 BRK=1.0
GOTO 290
215 BRK=0.0
290 VNK=A4+VCK
IF (PRK) 220, 222, 222
220 NRK=1
GOTO 224
222 NRK=NRFUN(NRKB, VNK, VNK)
224 NK=NRKB+NRKB-NRKB
CUK=CUFUN(NK, VK, A5)*PRK

```

図 4.3 FORTRAN の一例  
Fig. 4.3 Example of FORTRAN.



初期値)をメモリーに移し、次の計算 サイクル に使用できるよう準備する。

(4) 運動方程式の計算

与えられた条件のもとに、運動方程式を解く。

(5) サンプリングの判定

運動方程式を解いた結果、つぎの P.T.O. プログラムテークを読み込むべき地点に達したかどうかを判定し、必要ならば P.T.O. プログラム の数値を入れかえる。

(6) S-t, S-v 制御系の計算

(7) v-v 制御系の計算

P.T.O. 装置の行なう計算とまったく同一の計算を行ない、制御信号を出す。

(8) 計算結果の書き出し

1 計算 サイクル を終ったので結果を磁気 テープ に書き出す。

(9) 計算完了の判定

計算が未完であれば (3) へもどり次の計算 サイクル に入る。

この計算手順に従って理論式を前述の FORTRAN システムで書き表し、カードにセン孔して計算機の入力とする。図 4.3 は FORTRAN システムで書かれたプログラムの一部である。

計算結果はいったん磁気テープにたくわえた後、任意の形式でプリントすることができ、特殊な手法を用いて曲線をプロットさせることもできる。図 4.4 は計算結果の一部で、時間・走行距離・実際の速度・指令速度・電動機電流・力行惰行制動の別(およびノッチ)を数字でプリントするとともに走行距離と速度をプロットしている。なお サンプリング 点ではこのほかに設定時間、速度、時間遅れを数字で表わしてある。

図 4.4 計算例

Fig. 4.4 Example of calculation.

## 5. 計算結果

計算した一例として、大阪—京都間の運転シミュレーションの結果を示すと図 5.1 のとおりである。

すなわち、この例ではパターンプログラムとして大阪—京都間を平均コウ配と見なしたものを試みに適用したものであるが、実際の運転曲線は上り・下りのコウ配条件を勘案して忠実な定時運転を遂行してゆく状態が表われている。

また、P. T. O. としての性能を表わす制御動作の回数も平均して 2~3km ごとにノッチ選択を行なっているが、これは現在線の特急車の例にならったもので、回路常数を適宜に選ぶことによって任意に選択しうることはいうまでもない。

このほか、電線電圧を変化した場合とか、列車の延発あるいは途中区間における停車などの外乱を与えて行なったが、ほぼ予期の結果をうることができたが、実に最適のパターンプログラムを求めるためのシミュレーションなども、引きつづいて行なう予定にしている。

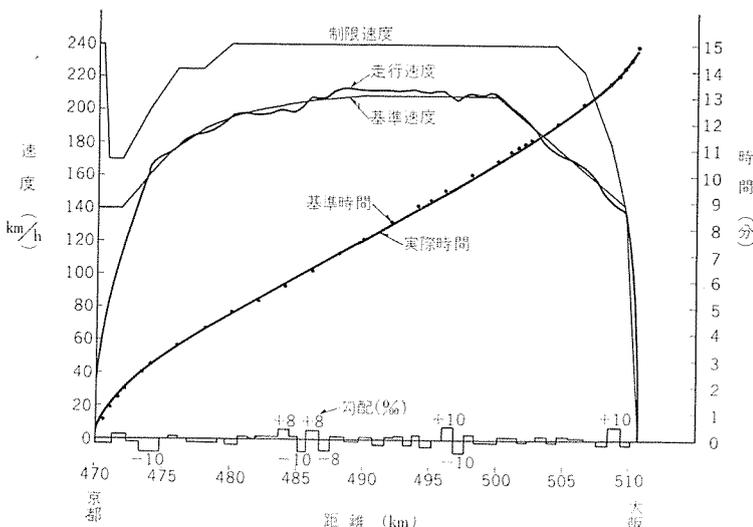


図 5.1 計算曲線  
Fig. 5.1 Calculated curve.

## 6. む す び

長い間の夢であった列車の自動運転化は新しい技術と理論のもとによりやく実現への一步をふみだそうとしている。

ここに、とりあげた“プログラムによる列車自動運転装置”は電子技術と自動制御理論を巧妙に応用し、合理的にしかも安全に輸送力の増大を図ることを主目的としたものであって、昨年9月にモデル品を試作し実用化試験を行なった結果、極めて注目すべき好結果をうることができたのでこれらをもとに新幹線用としての装置を1式製作中で近く現車試験が予定されている。

このような、本格的な自動運転装置の成否は今後の進歩に大きなエポックを画すことになり当社に課された使命はまことに重大であると言わねばならない。

このため、われわれは P. T. O. による速度制御の解析をアナログ計算機を用いて行なったが、さらに詳細な解析を求めるべくわが国では最新を誇るデジタル計算機 IBM 7090 を用いてシミュレーションを行ない数多くの貴重なデータを得ることができ、現車試験においても十分な信頼度を確保することができたのはさいわいであった。

ただ、この種方式の実用化は緒についたばかりで今後の研究にまつべき点が多いので一層の努力をにつけたいと考える。

さいごに、このシミュレーションに際し有益な助言とご指導を賜った日本国有鉄道伊藤、坪内両技師、当社小川技術部次長、北川課長はじめ関係各位に深く感謝の意を表わしてむすびとしたい。

### 参 考 文 献

- (1) 篠原：サーボおよび自動操縦操作，第5章，
- (2) この制御方式，構成に関し，特許・実用新案出願中。
- (3) 稲田：デジタル計算機による列車運転のシミュレーション，情報処理，25号。
- (4) 真鍋・竹内：論理と非線形の統一的表示，電気通信学会大会（1961-12-16）。
- (5) 小原・持田・真鍋：列車自動運転装置速度制御の解析，三菱電機，技術報告。
- (6) 小原・北岡：自動列車制御装置，「三菱電機」，35, No. 3 (昭 36)

## 最近における当社の社外講演一覧

年月日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所属場所
37- 1-19	電 気 学 会	微小直流入力磁気増幅器	浜岡文夫	無 線 機
37- 1-23	日刊工業新聞社	精密高速放電加工機	東田孝彦	無 線 機
37- 2- 2	名古屋ホテル	W. H. M プレーカの一般的特性について SU-1 形自動時刻点減器 SA-11 形自動点減器 TU-2 形 タイムスイッチ	神原 昇・武田克己	福 山
37- 2- 2	岡 山 会 館	NO-Fuse 説明会	松尾昭二	福 山
37- 2- 3	日刊工業新聞社	永久磁石の基礎	中村 弘	大 船
37- 2- 5~ 6	油 圧 機 器 講 習 会	油圧機器と応用回路	金子敏夫	無 線 機
37- 2- 7	岐阜経営者協会	CCS. 経営講座	前田幸夫	本 社
37- 2- 9	自 動 制 御 技 術	工作機械の自動制御	馬場文夫	無 線 機
37- 2-10	三菱化成技術懇談会	プロセスコンピュータの導入	浜岡文夫	無 線 機

## RH-3 形 空港 地 表面 監視 レーダ (ASDE)

無線機製作所 櫻本俊弥\*・井上義男\*\*・森川 洋\*\*\*  
植田英雄\*\*\*・種田方寿\*\*\*・近藤輝夫\*\*\*

## K Band Airport Surface Detection Equipment

Electronics Works Toshiya KASHIMOTO・Yoshio INOUE・Hiroshi MORIKAWA  
Hideo UEDA・Masatoshi TANEDA・Teruo KONDO

With the rapid development of aerial navigation after the war, the number of airplanes arriving and departing the airport has increased by leaps and bounds. This has made impracticable the lookout of the traffic with the naked eye. Under the circumstances, Mitsubishi has been developing airport surface detection equipment (ASDE) and conducted the evaluation test of a prototype-equipment RH-2 in 1958. Based on testing data thus made available, the company was successful in completing a type RH-3 radar in the year end of 1961, conducting the field test at Tokyo International Airport in February-March this year.

A type RH-3 radar consists of a short pulse transmitter-receiver, a narrow beam antenna and a high resolution indicator and is capable of obtaining overall resolution of 3 m, 3 m at a distance of 600 m.

## 1. ま え が き

海外において空港監視用として高分解能レーダが盛んに使用されはじめた昭和30年ころ、これの開発に着手してから約6年、昨年末ASDE (Airport Surface Detection Equipmentの略)としての高分解レーダRH-3を完成した。今回運輸省運輸技術研究所にご依頼し東京国際空港(羽田)においてその実用試験を実施し、諸外国の最新鋭機に劣らない結果を得たので機器の概略と試験結果を報告する。

戦後の急速な航空事業の発展は空港における航空機の発着量の増加、それに伴う空港内の交通増加を来し、運航の安全性と迅速性がますます重要となって来ている。とくにここ数年来ジェット機の就航に伴いいわゆる人間の目による監視が困難になる日の近いことが予測される。この時にあたり高解像度レーダが完成され、十分その要求にこたえうる事が証明されたのであるが、ここで当社の開発の歴史を簡単に振りかえってみたい。

昭和30年より31年にかけてラインタイプパルサーによるshort pulseの生成の実験をかさね<sup>(1)</sup>ひきつづき本格的な高分解能レーダとして方位分解能0.5度(1.8kmの先で15m)、距離分解能15mを目標とした24,000 Mc/sの第一次試作機の設計開発に着手し所期の目的を達して昭和32年開発を完了した<sup>(2)</sup>。その後昭和34年7月より8月にかけて運輸省運輸技術研究所にご依頼し東京国際空港において評価試験を行ない貴重な設計資料がえられ、適切な設計を行なえば24,000 Mc帯で十分実用性のあるASDEを製作しうる確信をえた<sup>(3)(4)(5)</sup>。

第1次試作の結果の上にたち、想を新たに直ちに第2次試作機(実用機)の設計に着手した。

すなわち

- (1) 高解像度指示機の製作
- (2) 極短パルス送信機、広帯域受信機の製作
- (3) 高分解能空中線の製作

の3項に目標をおき、距離、方位とも600m先で分解能をそれぞれ3mとした。

時あたかも、昭和35年4月運輸省より極短パルス狭ビームを忠実に再現する高解像度指示機の研究に対して研究補助金の交付をうけ36年3月成功裡に指示機の開発を完了した。指示機と同

時に空中線装置、送受信機の製作に着手し、36年8月にはこれらの完成をみた。その後工場内において総合試験を行ない、37年2月3日の羽田の実用試験をもって開発を完了した。

元来ASDEを第一目的として開発して来たが、港湾における船舶の交通整理を行なういわゆるハーバーレーダとして使用される場合も考慮して設計してあり、今回の羽田実験において六郷川(多摩川)、東京湾を航行する小形船舶を明瞭に捕え、十分ハーバーレーダとしても実用できることが判明した。

## 2. 概 説

ASDEとして第一に要求されるものは高分解能であるがこのRH-3レーダでは前に述べたように分解能の目標を距離、方位とも約600mにおいて3mとした。

距離分解能を決定するものは送信パルス幅とそのパルスを忠実に再現する受信系である。3mに対応するパルス幅は0.02 $\mu$ sである。3m離れた二つの目標を完全に分離させるには受信系の特性を考えて大略0.015 $\mu$ s以下にするのが望ましい。これは技術的には可能でありまたわれわれの実験でも確認されたが、実用機としての信頼性、量産性、経済性を考え、またパルス波形が正確に方形波ではないので3m離れた目標でもひょうたん形にスクープ上に現われ、十分二つに区別できる等の理由でパルス幅を0.02 $\mu$ sとし、それに伴い高周波部および中間周波部の帯域幅を100 Mc以上とした。またビデオ増幅部の帯域幅はとくに70 Mc以上とし、ステップ入力に対し波高値の90%までの立上り時間を0.005 $\mu$ s程度として3m離れた目標は区別でき、4m離れた目標は完全に分離できるようにした。

方位分解能は空中線の水平ビーム幅で決められる。3mの距離分解能に見合う600m先で3mの方位分解能を得る水平ビーム半値幅は約0.3度である。

つぎに、空港地表面探知用および港湾用レーダともにふかんレーダであるので垂直ビーム幅は変形パラボラ反射鏡使用の $\text{cosec}^2\theta$ 形とした。空中線回転数は前回の試作機では電源50 c/sのとき25 rpm、60 c/sのとき30 rpmで設計したが、航空機のような高速目標を、近距離で扱う関係上、昭和34年の評価試験の結果少なくとも40~50 rpm 必要の結論が出たので今回は50 c/sで40 rpm、60 c/sで48 rpmとした。

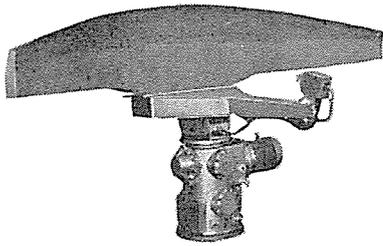


図 2.1 空中線  
Fig. 2.1 Antenna.



図 2.2 送受信器  
Fig. 2.2 Transmitter—receiver.

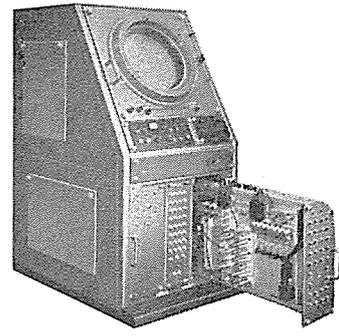


図 2.3 指示器 Fig. 2.3 Indicator.

つぎにパルス繰返し周波数について考える。一般に空中線一回転ごとに目標に当るパルス数は10以上必要である。今空中線回転数を最高48 rpm、水平ビーム幅を0.3度としたのである目標にビームが向いている時間は1/960秒であるからこれに当るパルス数を10以上にするには9,600 pps以上でなければならない。このレーダでは10,000 ppsとした。

指示距離範囲については飛行場の広さを考え最大半径を2マイルとし、0.5、1、2マイルの3レンジを設け、また本機の設置場所が必ずしも飛行場の中心にならないことから1半径オフセッタできるようにした。さらに港湾用レーダとしての使用も考えられるので5マイルレンジを追加した。最大距離範囲を5マイルとしたのは、降雨等による減衰を考慮した場合この程度が妥当なところであり、港湾においては、監視範囲が360度にわたらないので、1半径オフセッタすれば10マイルまで監視できるからである。ただし10マイルの距離に相当する時間は122 μsになり、繰返し周波数10,000 ppsではパルス間隔が100 μsしかなくて表示できないので、5マイルレンジだけ繰返し周波数を5,000 ppsとし、同時にパルス幅を0.04 μsとした。

このレーダは取扱う距離が短いので機器ケーブルおよび各種波形発生回路における遅延が無視できないので可変遅延回路を用意して補正することとした。

最後に上記レーダによって得られたエコーパルスをいかに忠実に表示するかという問題が残った。このようなレーダの指示機に要求されるものは第一に高分解能であり、第二に管制塔内で使用する関係上高輝度であるということである。これの詳細は後に述べる。

このレーダの概略仕様は下記のとおりである。

- 周波数 23,800~24,250 Mc
- ピーク出力 40 kW
- パルス幅 0.02 μs, 0.04 μs
- 繰返し周波数 10,000 pps, 5,000 pps
- 空中線回転数 約 40 rpm
- ビーム幅 水平 0.3度
- 垂直 約 15度 cosec<sup>2</sup>θ形
- 偏波面 水平偏波および円偏波  
(遠隔操作で切換可能)
- 分解能 距離 3 m
- 方位 0.3度
- 受信帯域幅 100 Mc
- 最小受信感度 -70 dBm 以下
- 雑音指数 19 dB 以下
- 最小探知距離 50 m 以下
- AFC 自動 (40 Mc) および手動

CRT 16インチ、高分解能、残光性  
指示距離範囲 0.5、1、2、5マイル  
オフセッタ 1半径  
スイーパ直線性 各レンジとも5%以内  
(注) 距離範囲とオフセッタとの組合せでできる数個のあらかじめセットした観測範囲をプッシュボタン操作で選択可能

### 3. アンテナ

アンテナの放射パターンは方位分解能をあげるため水平方向は0.3度とし、垂直方向はアンテナの設置高を十分とり形状識別度をあげかつ受信々号を一定にするためいわゆる cosec<sup>2</sup>θとした。

今アンテナの高さをh、地表面をふかんする角度をθ、その方向の相対利得をG<sub>θ</sub>とすると反射波P<sub>r</sub>は

$$P_r \propto G_\theta^2 R^4 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{ただし } R = h \cdot \text{cosec } \theta$$

となるので、G<sub>θ</sub>が cosec<sup>2</sup>θに比例すればP<sub>r</sub>は一定となり地表面の目標よりの反射は一定になる。

cosec<sup>2</sup>θのパターンをもつアンテナを実現する方法としては、円偏波、直線偏波の切換を考慮して検討の結果パラボラ反射鏡を变形させ、1個のホーンで吹付ける方法が採られた。

反射鏡の機械的寸法はパターンより一次的に決定され横3m、縦0.5mとした。反射鏡の曲面精度は波長の1/16で約0.8mmとなる。風速毎秒45mの場合約50rpmで使用しても曲面は上記の精度を保つ必要があり、かつ毎秒75mの風にも破壊しないことが望ましいので反射鏡全体を一つのから構造として補強はりを入れて強度をもたし、材料は耐食アルミ合金を採用し極力軽量化を図った。反射鏡の風圧によるヒズミ、回転トルクを知るため、1/5の模型により風洞実験を行なったが、ヒズミは全く問題なく回転トルクもつりあい異により、風圧トルクをほぼ均一化することが認められ結果を実用機に採用した。

レードームは、過去の経験および風洞実験の結果、軽重量のままでも十分耐候性を持たせうることが確認されたので、経済性も勘案

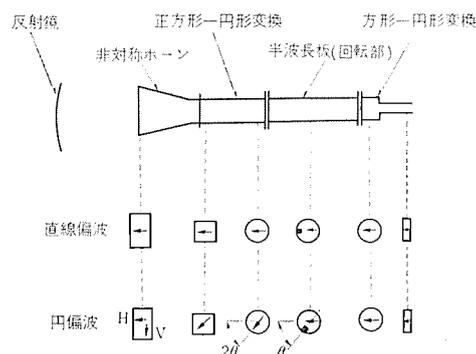


図 3.1 偏波切換機構  
Fig. 3.1 Polarization switching mechanism.

して必要がないとの結論をえた。

レインクラッタの影響を円偏波により軽減するよう、アンテナの一次放射器に偏波切換装置を設け、雨のない時は指示機よりの遠隔操作で直線偏波に切換えうるようにした。その構成は図3.1に示す。

#### 4. 送信機

最小探知距離は一般的に TR 管の復帰時間により決まるが、K バンドの TR 管の復帰時間は 4~5 μs である。最小探知距離を 50 m とすると TR 管の復帰時間よりはるかに短い時間(0.34 μs)で受信々号を通さねばならない。このときのそう入損は -50~60 dB と推定される。しかしレーダ方程式より計算すると 50 m 先の目標のクロスセクション σ は 2×10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup> 程度となり、かなり小さな目標でも検知できる。すなわち TR 管の復帰時間は問題ではなくむしろ送信時の漏洩電力による受信機のリングアップの抑制がより重要であることが確められた。

変調回路は 0.02 μs の短パルスのため回路構成が多少複雑になり、寸法重量が大きくなるのはやむをえないとして真空管方式のパルサを採用した。系統図を図4.1に示す。スイッチ管のグリッド駆

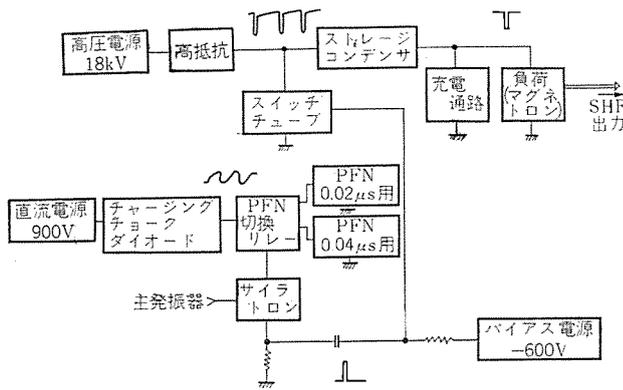


図 4.1 送信機系統図  
Fig. 4.1 Block diagram of transmitter.

動電力は約 700 V, 1 A を必要とするので高レベルのパルス増幅管は能率が悪く、パルストランスにも問題があるのでハードチューブをラインタイパルサで駆動する方式を採用した。またパルスの繰返し周期の上限はサイクロトンの消イオン時間で決まるが約 15,000 pps までとり得た。

#### 5. 広帯域受信機と AFC 回路

距離分解能を向上するためには、極短パルスのレーダエコーを受信増幅して、PPI 指示機ブラウン管上に表示するための広帯域、高利得の受信機が必要になる。広帯域、高利得の増幅器としては、従来、複同調回路、単同調高次スタグ増幅回路(平たん特性 Tchebycheff 特性)複同調高次スタグ増幅回路などが用いられて来たが、いずれも広帯域増幅管の球自身の Figure of Merit, 実際にはその球を用いた回路の GB 積(利得×帯域幅)以上の帯域は得られない。同時に球の入力容量が大きいと、高い周波数における入力アドミタンスが大きくなり、広帯域中間周波増幅器としては、増幅上限周波数に制限を受けるため、帯域幅がとれなくなる。現在 Figure of Merit 300 程度の球は市販されているが、入力容量が比較的大きく、またセラミック管、板極管等の UHF 帯で使用できる高 gm 管もあるが、高価である。しかしこれらの球を用いても、結局 GB 積以上の帯域はとれず、しかもレーダ受信機のように 100 dB にも及ぶ高利得の増幅器を構成すると、多段増幅器の帯域縮

退のために、各段の帯域は、総合帯域よりはるかに広くとる必要が生じ、0.02 μs の極短パルス波形の増幅に必要な 100 Mc にも及ぶ帯域は実現できなくなる。したがって従来のレーダと同様にヘテロダイン受信方式を用いる場合の中間周波増幅器としては、分布増幅器によらざるを得なくなる。分布増幅器では、各球の gm は相加的に加わるのに対して、入力容量および出力容量は、それぞれ入出力側の、伝送時間の等しい擬似線路の集中定数素子として働くので、相加的にならないため、GB 積以上の帯域幅も実現できる。実際の回路は m=1.27 の誘導 m 形遅延回路網で構成した。その総合利得 G は式 (5.1) で与えられる。

$$G = \frac{Z_0 g_m}{2} \frac{n \cdot m^3}{[m^2 - (1 - m^2)x_k^2] \sqrt{m^2 - x_k^2}} \dots (5.1)$$

ただし n: 球数  
m=1.27  
 $x_k = \frac{f}{f_c}$ ,  $f_c$ : シャ断周波数  
 $Z_0$ : 特性インピーダンス

式 (5.1) から周波数特性が与えられるが、実際には式 (5.2) で示されるように、陰極側のリードインダクタンス、格子陰極間真空管容量、電子走行時間などの影響で、入力コンダクタンス g が周波数と共に増加する。

$$g = g_m \omega^2 (L_c \cdot C_{gc} + K\tau^2) \dots (5.2)$$

ただし  $L_c$ : 陰極リードインダクタンス  
 $C_{gc}$ : 格子陰極間容量  
 $\tau$ : 電子走行時間

主としてこの損失のために、高域において利得の低下を来すので、1 段当りの球数が制限される。以上の点を考えて、各段 6 本の 6AK5 を用いた。6AK5 は入出力容量に大差なく、したがって陽極、格子側に同一のコイルを使用しても整合がとれる利点がある。中間周波増幅器の低域特性としては、0.02 μs の送信パルスが、ミキサリスタルによって整流されて生じる DC パルスが受信機に混入するのを防ぐため、そのエネルギー成分が十分シャ断されることが望ましく、この点からも低域シャ断周波数は高い方がよいが、これは一方高域シャ断周波数の上昇を意味し、総合利得と経済性から、協調点を見つける必要があった。第 2 検波器の後に続くビデオ増幅器も、同様な分布増幅器で構成し、最終段には 6CL6 を用いて出力 50 V 以上を得た。受信回路総合特性を図 5.1 に示す。

AFC 回路は、つぎの諸点を考慮して設計する必要がある。

- (1) 送信周波数が高い。
- (2) 入力パルス幅が狭く、そのエネルギー分布は、非常に広い帯域にわたっている。
- (3) Duty が低い。

したがって AFC 回路としては、AFC 増幅器、周波数弁別器の帯域が広く、かつ十分のループゲインを持ち、広範囲にわたって安定に制御できることが必要である。これを実現するため、IF 中心

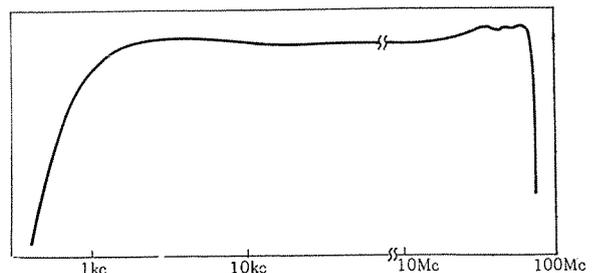


図 5.1 受信機総合周波数特性 (ビデオ出力)  
Fig. 5.1 Overall receiver frequency response curve. (video output)

周波数の上下 20 Mc 離れた所にそれぞれ中心周波数を持つ 2 ルートの中間周波増幅器を作り、検波した後その出力代数和を取ることによって広帯域特性を得た。これと ファンタストロンを使用した自動周波数掃引式直流増幅器を組み合わせることにより、クライトンのリペア電圧変化による全使用可能範囲約 40 Mc にわたってきわめて安定に同期、制御できる AFC 回路を実現することができた。

## 6. 指 示 機

### 6.1 高輝度・高分解能 表示

過去、ミリ波レーダの分解能は、指示機の分解能で制限されていた。また空港地表面探知レーダ用指示機は管制塔内で使用するため、できれば白昼でも使用可能な輝度を有することが望ましい。

白昼でも使用できる高輝度表示で、まず考えられるものは蓄積管である。蓄積管の輝度は 1,000~2,000 フィートランプ(一般の P7 スクリーンは約 1 フィートランプ程度)にもおよび、白昼でも観測可能である。しかし、本機では観測範囲が短いのでスイープ速度は直径 10 インチの CRT を使用したとしても、毎秒当り  $8.4 \times 10^5$  インチになるのに対し、蓄積管の書き込み速度は最新のものでも毎秒当り  $7.5 \times 10^4$  インチしかなく分解能も十分でないので、現状では使用不可能である。

つぎに考えられるのは、PPI 走査を TV 走査に変換するいわゆる スキャンコンバータ の使用である。これの書き込み速度は多少不足であるが、半径 1 マイル程度ならば使用でき、直径当り 1,000 本程度の分解能が期待できるが 0.5 マイル表示ができないので別途開発することにして、今回は P7 スクリーンの CRT を使用しビデオ増幅器出力に余裕をもたせ高輝度化に努力するとともに高分解能化を第一目標とすることにした。

CRT のスポットの大きさと分解能の関係を下記に示す。式(6.1)は距離、式(6.2)は方位分解能を示す。

$$D = Sd/L \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

$$\theta = Sd/rL \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

ただし、 $D$ : スポットの直径に相当する距離 (m)

$S$ : 指示距離範囲 (m)

$L$ : CRT の有効半径 (mm)

$r$ : 空中線から目標までの距離 (m)

$\theta$ : 方位分解能 (radian)

半径を 135 mm (12 インチの CRT)  $S$  を 0.5 マイル (925 m) とし  $D$  を 3 m とすると  $d$  は約 0.44 mm となる。また、方位分解能を 0.3 度  $r$  を 600 m 他は同じとすると  $d$  は約 0.46 mm となる。同条件で、CRT を 16 インチ (有効半径 185 mm) とすると  $d$  はそれぞれ 0.6 mm, 0.63 mm となる。一般に、CRT は試験条件よりはるかに高輝度で使用するためスポットサイズは規格値より大きくなる。また、周辺部のスポットサイズは中心部の 2~3 倍になる。

以上を考え合わせると 12 インチ CRT では 0.15 mm 以下、16 インチでは 0.2 mm 程度の規格のものを使用しなければならない。ここでスポットサイズの点から見た CRT 入手の難易、航空機・車両等が拡大表示されるための識別度の上昇などを勘案して、スポットサイズ 0.19 mm 以下の米国製 16 インチ・電磁偏向・静電集束・高分解能 CRT を使用することにした。

周辺部のスポットサイズの増大を補正するためダイナミック集束回路を付加した。本機においては、変形ラートストラップ積分回路と CR を組合せて  $t^2$  波形を作り、集束電極に加える方式とした。ほかに、スポットサイズを増大させるものに、偏向コイル、電源のリップル、

CRT 周辺の漏洩磁束等がある。偏向コイルは周辺ボケの原因になるので、とくに、注意して設計・製作を行ない、直流電源もリップルを 0.002% 程度とした。また CRT の電子銃および電極部分、ならびにサーボモータ、シンクロ制御変圧器は 78% ニッケルの高透磁率合金と銅を交互に重ね合わせたものでシールドした。

以上の結果、中心部で 0.25~0.3 mm、周辺部で 0.45~0.5 mm の非常に先鋭なスポットを得た。すなわち、指示機としての分解能は、中心部で 1.5 m、周辺部においても 2.5 m を実現し得た。

### 6.2 高速スイープおよび直線性に関する考慮

この指示機では、取扱う距離範囲が短く、かつ繰返し周波数が高いので各回路ともインピーダンスをできる限り低くして各種ゲートスイープ波形の立上り・立下り時間の高速化に努めた。その結果図 6.1~6.3 に見られるようにきわめて良好な波形が得られた。

また、この指示機は空港管制員の目視の補助に使用されるので、その直線性も良好であることが望まれる。そのためスイープ発生回路・増幅回路・コイルドライブ回路ともに多量の負帰還をかけ、かつ、偏向コイルのインダクタンスも極力下げたので偏向電流は 1 半径オフセットした場合 1.2 A にもおよんだが、図 6.3 でもわかるように非常に良好な直線性が得られた。

CRT 中心部ではスイープ輝線の角速度が周辺部に比しておそいため、中心部の輝度が上り過ぎ、観測しにくくなるので、アンブランキングゲート用トリガを可変遅延回路 (0.05  $\mu$ s ステップ 総合 1  $\mu$ s) で遅延させた。アンブランキングゲートがある電圧まで上ったら、そこから指数的に増加させる方法もあるが、回路が複雑化するので上記の方法をとった。

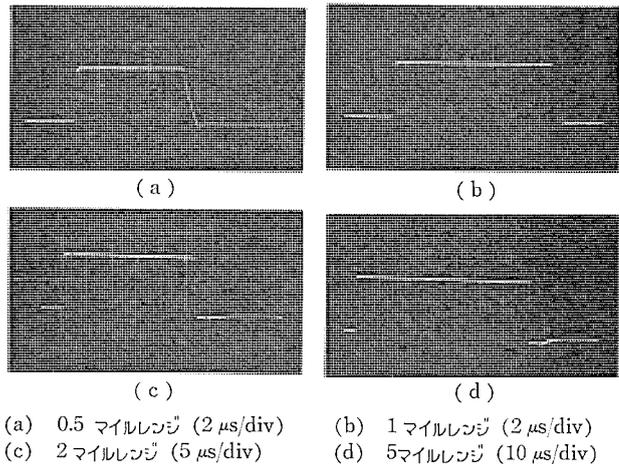


図 6.1 スイープゲート波形  
Fig. 6.1 Sweep gate waveform.

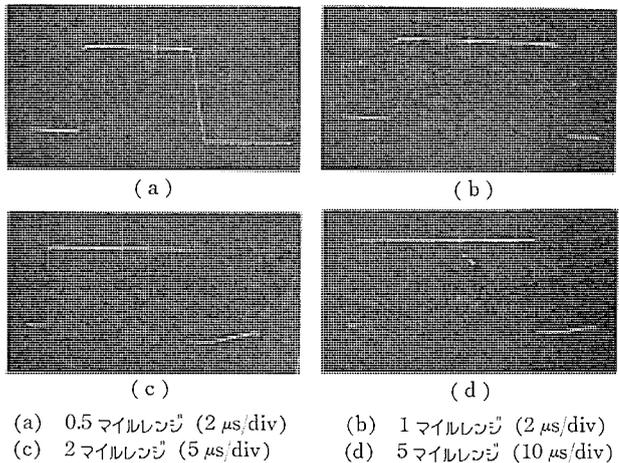
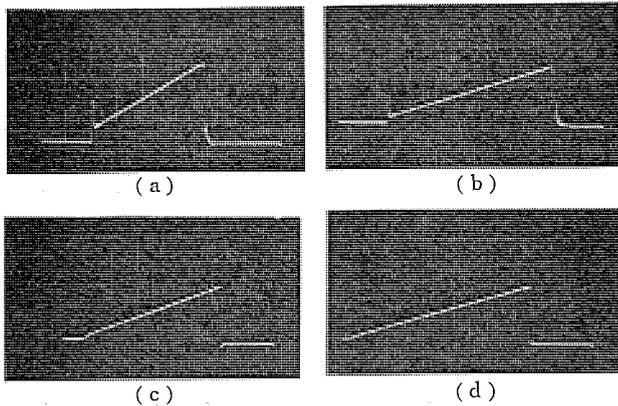


図 6.2 アンブランキングゲート波形  
Fig. 6.2 Unblanking gate waveform.



(a) 0.5 マイルレンジ (2  $\mu$ s/div) (b) 1 マイルレンジ (2  $\mu$ s/div)  
(c) 2 マイルレンジ (5  $\mu$ s/div) (d) 5 マイルレンジ (10  $\mu$ s/div)

図 6.3 偏向 コイル 電流波形

Fig. 6.3 Deflection coil current waveform.

### 6.3 人間工学的考慮

管制塔内の管制員は非常に多忙であるので、距離選択はラッシュボタン方式とした。また、空港においては、監視したい場所が決まっていると考えられるので、0.5, 1, 2, 5 マイルのほかに A~E 5 個のラッシュボタンを設けオフセットと 0.5~5 マイル間の任意の距離をあらかじめプリセットしておき、1 動作で監視したい場所を CRT の中心に映し出せるようにした。

なお、A~E 以外のオフセットは手動とした。

管制塔内で使用するため、指示機の高さは、目視を妨げないようできるだけ低くし、かつシャーシ類は引出し構造として、すべての操作・保守・点検を前面から容易に行なえるよう考慮を払った。

## 7. 試験結果

### 7.1 機器取付位置

今回の実験は、東京国際空港ビル屋上の气象台塔上に空中線・送受信機を置き、指示機・同電源等はビル屋上平面の仮小屋に置き実施した。空中線の地上高は約 20 m 弱で、空中線の周囲、約 4~6 m のところに風向・風速計等の 3 本の鉄塔が本機の空中線を取り巻く位置に立っていたが、この影響は認められなかった。

### 7.2 分解能

距離・方位分解能の測定は 300 m, 600 m, 1,000 m の 3 地点で測定する予定であったが、実施にあたって空港の運用・保安等を妨害しない地点を選ばざるを得なかった結果、300 m, 500 m, 950 m となった。

距離分解能の測定は、上記各地点において、空中線より見て一直線になるように 2 目標を並べて PPI スコーラ上でこのエコーを観察しながら間隔を変え、識別できる最小間隔を巻尺で測定した。

方位分解能は 2 目標を空中線を中心とした同心円上に並べ、そ



図 7.1 実用試験中の RH-3 形レーダ  
Fig. 7.1 Type RH-3 radar under field test.

の間隔を変えながら PPI スコーラ上で観測し、識別できる最小角を空中線直下のトランジットで測定した。以上の結果を、表 7.1 に示す。目標としてはコーナ・リフレクタを用意したが、 $\sigma$  が大き過ぎ受信系が飽和するので主として人間を使用した。

表 7.1

距離 (m)	300	500	950
距離分解能 (m)	3	3	3
方位分解能 ( )	20	18	18

測定は 0.5 マイル・レンジで行なったが、950 m の場合は測定点が CRT の周辺ぎりぎりの所に来るので 0.5, 1 マイル両レンジで測定したが、同じ結果が得られた。スクラ上のスポットを観察するとスポットの中心の輝度は周辺部より明るくなっている。そのため、二つのスポットが重なり始めても肉眼では分離した目標であることが明らかにわかった。なお、距離分解能に関しては 2.5 m でも空中線回転 5 回に 1 回くらいの割合で、分離して見えることがあり、方位分解能では 300 m の時は 18 分(角度)その他の時は 16 分(角度)でも同様に 5 回に 1 回くらいの割合で分離して見えた。以上の結果、距離 600 m において 3m $\times$ 3m という所期の分解能は確実に達せられたことが確認された。

### 7.3 識別度

図 7.2 に 0.5 マイルの、図 7.3 に約 0.75 マイルにプリセットした Dレンジのパターンを示す。中央で交差する 2 本の太い黒い線は舗装された滑走路で、そのまわりに、少しくすく白く出ているのが滑走路周辺の草地帯である。昭和 34 年度の実験の際は夏期であったので、草地のエコーは周囲の固定エコーと同程度の強さであったが、今回は冬期のため草が枯れてほとんど非常に微弱な反射しか認められなかった。左側滑走路の向側に並んでいるのは格納庫群、また、中心近く上方に突出し先端で斜め右に曲って

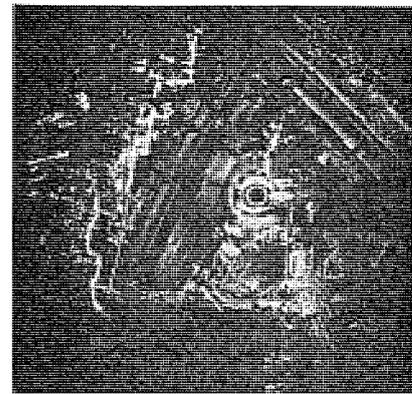


図 7.2 1/2 マイルレンジの PPI パターン  
Fig. 7.2 1/2 nautical mile-range PPI pattern.



図 7.3 3/4 マイルレンジの PPI パターン  
Fig. 7.3 3/4 nautical mile-range PPI pattern.

いるのが送迎用フィンガで、その両側がエプロンである。右上黒い部分は東京湾、下側に太く黒いのが六郷川（多摩川）でその中に点々と見えるのが滑走路の延長を示す進入灯である。

空中線設置高が低いので右側中央部およびその下側は管制塔、その他建物および工事の鉄塔などのため、滑走路がシャハイされている。現在、空港拡張および新滑走路増設のための埋立工事であるので、空港ビル（空中線設置場所）の右側より下にかけて、また、右側滑走路の海側は工事用鉄塔、盛土等のため雑然としたエコーが出ている。中心真下の六郷川中にあるエコーは河岸にある建物によるイメージ、下側右に長く尾を引いているようなエコーは沢山ならんだガスタックで、尾のように見えるのはその多重反射像である。

このレーダでは一般のレーダのように目標の有無を検知・測距を行なうのではなく、目標が何であるかを識別することが重要な要素である。空港内にある航空機・車・人間などの映像の一例を図7.4～図7.7に示す。

航空機は、DC-8・707のような大形ジェット機から、小形の遊覧飛行用のデハビランド・ダウ、セスナ等まで、その形状および向きが識別できとくに、大形機においてはエンジン・ナセルまで確実に識別することができた。また、中形トラック、ジュー、人間はスポットとして出るが（バスは長方形に見える）その大きさにより確実に識別することができた。ただ、今回の実験では空中線設置高が低いので空中線位置から見て真横を向いている飛行機は反対側の翼が見えないので十文字の飛行機のかたちには見えなかったが、この場合でも向きは明了に識別できた。

#### 7.4 降雨による影響

ミリ波レーダ使用に際し懸念されるのは、雨雪による散乱・吸収の問題である。本機ではこのため偏波の水平—円切換装置を装備したが、実験中は異常乾燥中で降雨がなくこれの実験は行なうことができなかった。

昭和34年に行なった前回の試作機の実験結果によれば3mm/hの降雨の際でも羽田空港程度の範囲では水平偏波のままでも使用できるという結果が出ている<sup>(3)(4)</sup>。

#### 7.5 機器の設置場所に対する考察

今回の実験により、分解能・識別度とも良好で、十分実用に供しうることが判明したが、同時に機器の設置場所の良否が実用性を左右する重要な要素であるのでこれの考慮事項について述べると、

(1) 空中線設置高はできるだけ高くする。

今回の実験でも、滑走路中の航空機の反対側の翼が機体のかげになり見えない場合や、フィンガ横、あるいは格納庫前に数機一列に並ぶと前方の機体のため後方の機体の一部がマスクされて飛行機の形状を呈しなくなったが、空中線を高くすれば、このようなことがなくなって識別度が上がり、かつ多重反射・イメージ等が軽減できる。

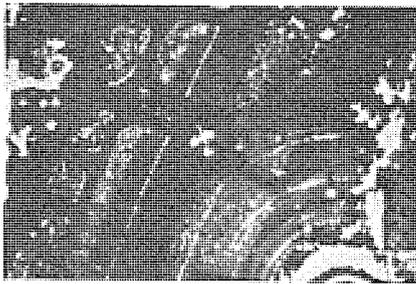


図 7.4 滑走路上の大形4発機 (DC-7C)  
Fig. 7.4 A 4-engine airplane (DC-7C) on the runway.

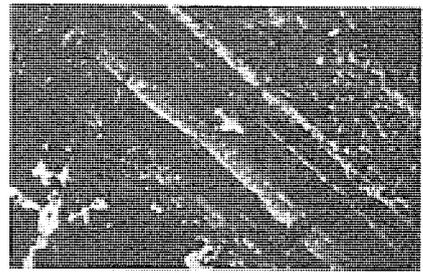


図 7.5 滑走路上のジェット機 (707)  
Fig. 7.5 A jet-plane (707) on the runway.

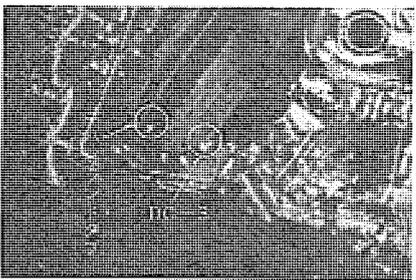


図 7.6 滑走路端で離陸を待つ中・小形機  
Fig. 7.6 Airplanes waiting for their taking off at the end of the runway.



図 7.7 フィンガ近辺のジェット機、車両および人間  
Fig. 7.7 A jet-plane, vehicles and human beings near the finger.

(2) 指示機のCRT面に、直射日光・電灯光が入らぬようにする。

P7スクリーンは光学的に残像を生ずるスクリーンであるので光が入るとしばらくその残像が残り映像のコントラストが悪くなり、航空機のような高速目標の管制に支障をきたすおそれがある。

(3) これは機器の位置に関係はないが、冬期には滑走路周辺の草が枯れて反射が弱くなるので、指示機を明るい所で使用するためのコントラストの低下を考えると滑走路・誘導路を明確にするよう、これに適当な反射物体を配置すれば空港管制の迅速化に役立つものと考えられる。

## 8. む す び

今回の羽田実験の結果、RH-3形レーダが空港地表面探知装置として、十分その実用に耐えることが証明されたが、これが航空事業の発展にいささかなりとも寄与することを願い、今後も一層の努力を続ける所存である。

おわりに、始終好意あるご教示・ご指導をいただいた運輸省航空局、運輸技術研究所、東京航空保安事務所、ならびに東京国際空港の各関係者各位に深甚な謝意を表すると共に、このレーダ製作にご協力いただいた所内関係者各位に感謝の意を表し筆をおく。

## 参 考 文 献

- (1) 吉田・渡部・若田：短パルス変調器、「三菱電機」31, No. 7, (昭32)
- (2) 榎本・吉田・渡部：24,000 Mcレーダ、「三菱電機」32, No. 2, (昭33)
- (3) 榎本・近藤・石井：東京国際空港における24,000 Mcレーダ、「三菱電機」34, No. 12 (昭35)
- (4) 荒木・松田・西・榎本・近藤：空港における24,000 Mcレーダの試験について、「電通誌」43, No. 3 (昭35)
- (5) 井上・近藤：ASDE (空港地表面探知装置)の問題点について、昭36電通学会全国大会シンポジウム“航空および航海レーダの諸問題”(S4-5)

## 低周波制御巻上機用誘導機の過渡トルク

長崎製作所 片山仁八郎\*・甘粕忠男\*\*

## Transient Torque of Low Frequency-Controlled Mine Hoist Driving Induction Machines

Nagasaki Works

Nihachirō KATAYAMA・Tadao AMAKASU

In stopping an induction motor driven mine hoist operating at a rated speed, there are often cases when the power supply of commercial frequency is suddenly changed over to a low frequency so as to effect dynamic braking. This procedure, accompanies a large transient torque occurring in a few cycles after closing the switch. This torque changes with the change of the secondary resistance and also the rate of speed change. The study on the mere transient current and torque of induction motors has been reported, but relatively little has been discussed on the case of sudden change of speed. The writer describes herein his rather unique method of calculating this phenomenon of transient torque by the use of electronic computers and several results thus made available by it.

## 1. ま え が き

定格速度で運転中の巻上機を停止するために、急に駆動用誘導電動機の電源を切り、低周波電源に切換え発電制動をすることがある。低周波電源に投入後数サイクル間、誘導機には過渡トルクが発生する。この過渡トルクを求める場合、誘導機のスリップが $-2,000\sim-1,500\%$ からプラス側まで急速に低下するので、スリップの変化を考慮に入れねばならない。また起動用抵抗を利用し、二次抵抗を広範囲に変えうるため、二次抵抗の値によって過渡電流過渡トルクがどのような影響を受けるかを把握しておく必要がある。従来誘導機の過渡電流や過渡トルクについての論文は多くあったが<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>、速度が急変した場合の過渡電流、過渡トルクについて扱ったものはあまりない<sup>(5)</sup>。本文では、高速度の電子計算機を用い速度が急変した場合の誘導機の過渡電流、過渡トルクの求め方と数値例について簡単にのべる。

一方巻上機のロープはいろいろな要素の振動を含んでいるので、これらの固有振動数と、誘導機の発生する過渡トルクと共振せぬよう選定しなければならない。

## 2. 巻上機の低周波制御

まず巻上機の低周波制御について説明する。一般に鉱山用巻上

機の運転は図2.1のように、

- (1) 全速への加速
- (2) 全速運転
- (3) 全速からの減速
- (4) 着地への最後の微速運転

の四つの状態がある。

低周波制御を行なうのは、上記の(3)および(4)であり、(3)では定格周波数の $1/15\sim 1/20$ 、定格電圧の $1/15\sim 1/20$ の低周波電源を用いて発電制動し、(4)では同じ電源で誘導電動機として運転する。

これをトルク-速度曲線に描くと図2.2のようになり、二次抵抗の値によってトルクの値は変化する。

低周波の場合でも、電動機の抵抗は不変であるが、リアクタンスの

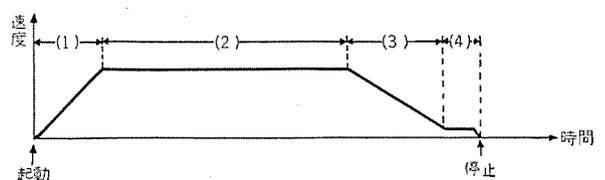


図 2.1 低周波制御巻上機運転の一例

Fig. 2.1 Example of low frequency controlled hoist operation.

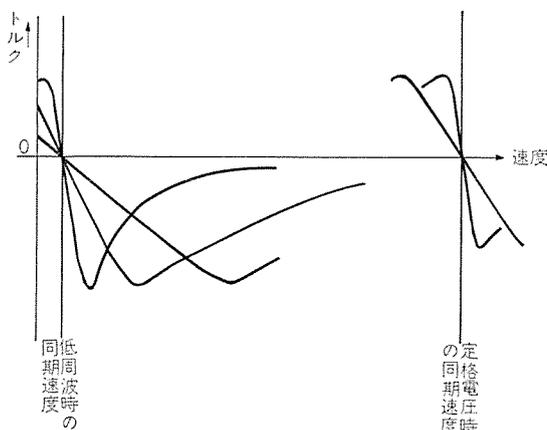


図 2.2 トルク-速度曲線

Fig. 2.2 Torque-speed curves.

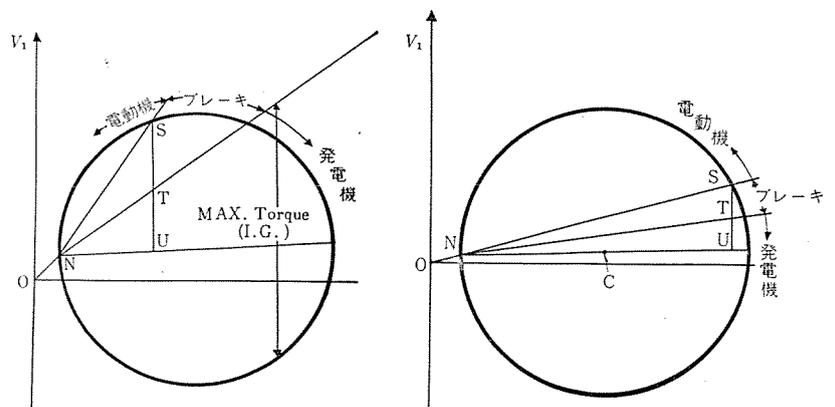


図 2.3 (a) 低周波時円線図

Fig. 2.3 (a) Circle diagram during low frequency operation.

図 2.3 (b) 普通の誘導機の円線図

Fig. 2.3 (b) Circle diagram of ordinary induction machine.

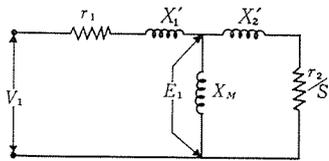


図 2.4 誘導機の等価回路  
Fig. 2.4 Equivalent circuit of induction machine.

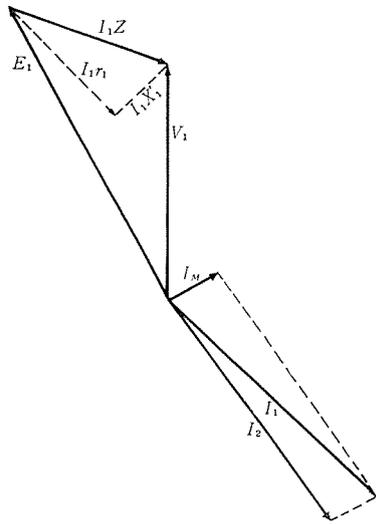


図 2.5 誘導機のベクトル線図

Fig. 2.5 Vector diagram of induction machine.

値は周波数の比で減少する。per unit 表示をすると、抵抗は 15~20 倍に増加し、リアクタンスはほぼそのままである。そのため低周波時の円線図は図 2.3 (a) のようになり、図 2.3 (b) の普通の電動機に比べると誘導発電機の範囲が広がっている。

等価回路は普通と同じく図 2.4 で表わせるが、per unit 抵抗の増加によってベクトル線図は図 2.5 のように  $I_1$  の値と位相角によっては、電圧降下  $I_1 Z_1$  は非常に大きくなって、 $E_1$  のベクトルは電動機時に比較して大幅に変化する。このため電動機ときには定数として取扱って来た  $X_M$  が、低周波で発電機として用いられる場合は、 $E_1$  の増加にともなう磁気回路の飽和の影響があり定数としては取扱えない。したがって図 2.3 に描いた円線図も正確には円にならない。しかし飽和が少なく一次抵抗が小さいものでは近似的に円として扱える。

### 3. 誘導機の過渡特性

速度一定の時の過渡電流・過渡トルクは誘導機の方程式を解いて求め、速度が変わった時には数値解法によって解く。この章では、図 2.3 の等価回路で電圧  $E_1$  が変わっても、磁気回路の飽和がなく  $X_M$  は不変とした。

#### 3.1 速度一定の時

電源電圧が対称であるとして正相分のみを考え、静止した座標を用いると、誘導機の方程式は<sup>(6)</sup>

$$\begin{bmatrix} V_1 \varepsilon^{jt} \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + X_1 P & X_M P \\ X_M \{P - j(1-s)\} & r_2 + X_2 \{P - j(1-s)\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_1(t) \\ i'_2(t) \varepsilon^{j\theta} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

で表わされる。式 (3.1) 中

- $r_1, r_2$ : 一次、二次の抵抗 (per unit)
- $X_1, X_2$ : " 自己リアクタンス ( " )
- $X_M$ : 相互リアクタンス ( " )
- $t$ : 時間 ( " )
- $P$ :  $d/dt$  に相当するオペレータ

- $s$ : スリップ (per unit)
- $V_1$ : 電源電圧の正相分 ( " )
- $i'_1, i'_2$ : 一次、二次電流の正相分 ( " )
- $\theta = \int (1-s) dt$

である。

後にのべる数値解法に便利のように、電流と電圧を虚数部と実数部に分け

- 電圧  $V_1 \varepsilon^{jt}$  の実数部を  $Rv_1$ , 虚数部を  $Jv_1$
- 一次電流  $i'_1(t)$  "  $Ri_1$ , "  $Ji_1$
- 二次電流  $i'_2(t) \varepsilon^{j\theta}$  "  $Ri_2$ , "  $Ji_2$

とする。トルクはトルクテンソルと一次電流と二次電流の共軛値との積の実数部であり

$$\begin{aligned} T &= \text{Re}(-jX_M) \{i'_1 \times (i'_2 \varepsilon^{j\theta})^*\} \\ &= \text{Re}(-jX_M) (Ri_1 + Ji_1) (Ri_2 - Ji_2) \\ &= X_M (Ri_2 \times Ji_1 - Ri_1 \times Ji_2) \quad (\text{per unit}) \dots (3.2) \end{aligned}$$

となる。

定格周波数から低周波電源に切り換えた時には、すでに定格周波数の残留電圧は十分減衰しているので、

$$i'_1(0) = i'_2(0) = 0$$

として式 (3.1) に Laplace 変換を施して方程式を解くと突入電流を求めることができる。その過程は多くの文献<sup>(7)</sup>に出ているのでここでは省略する。電圧を  $V_1 \cos t$  とすると、突入電流は  $Ri_1$  となり、その結果のみを示すと、

$$\begin{aligned} i_1 &= A \cos(t + \phi_0 + \phi_s) + B \varepsilon^{-\alpha t} \cos(\beta_1 t + \phi_0 + \phi_1) \\ &\quad + C \varepsilon^{-\alpha t} \cos(\beta_2 t + \phi_0 + \phi_2) \dots (3.3) \end{aligned}$$

である。式 (3.3) の第 1 項は定常電流であり、第 2、第 3 項が過渡電流である。 $\phi_0$  は投入時の電圧の位相角であり、 $\phi_s, \phi_1, \phi_2$  はそれぞれ諸定数から決まる位相角である。低周波制御の誘導機では、 $r_1, X_1, X_2, X_M, s$  が一定で  $r_2$  だけが可変であり、 $r_2$  が変わると  $A, B, C, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  は広範囲に変る。

以下多くの数値例を挙げるので、その例に用いる誘導機の諸定数を次のように定める。

	[I]	[II]	
$V_1$	1.0	1.0	(per unit)
$r_1$	0.378	0.098	"
$X_1$	2.662538	1.695187	"
$X_2$	2.662538	1.695187	"
$X_M$	2.566876	1.618815	"
$S$	-18.33427	-18.20000	"

[I] の誘導機で、 $r_2$  によって  $A, B, C, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  がいかに

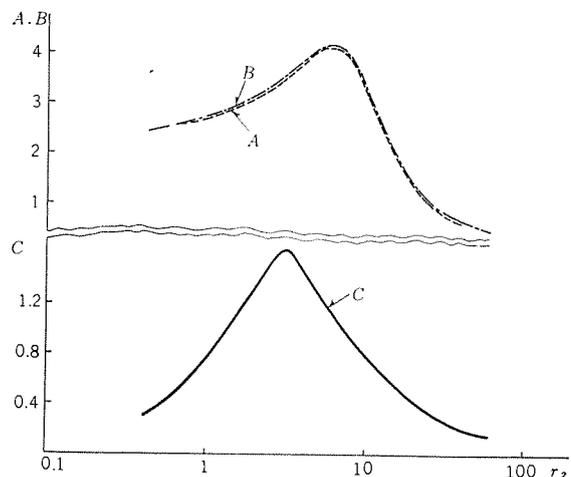


図 3.1 二次抵抗  $r_2$ -A, B, C 曲線  
Fig. 3.1 Secondary resistance  $r_2$  vs A, B and C curves.

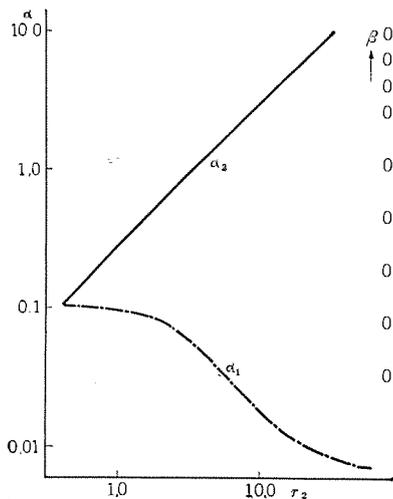


図 3.2  $r_2$ - $\alpha_1, \alpha_2$  曲線  
Fig. 3.2  $r_2$ - $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  curves.

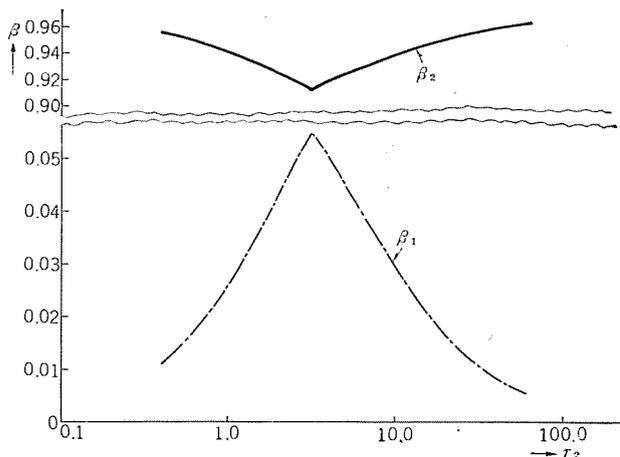


図 3.3  $r_2$ - $\beta_1, \beta_2$  曲線  
Fig. 3.3  $r_2$ - $\beta_1$  and  $\beta_2$  curves.

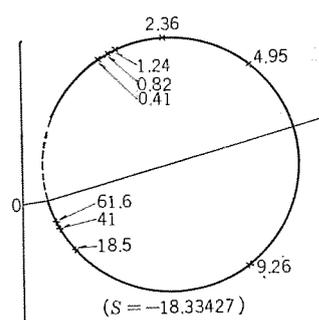


図 3.4 誘導機 [I] の円線図  
Fig. 3.4 Circle diagram of induction machine [I].

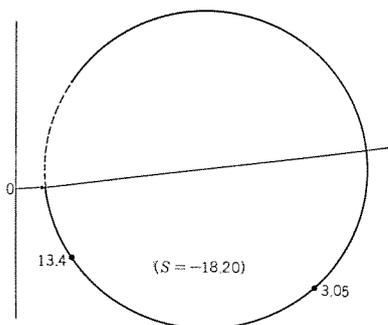


図 3.5 誘導機 [II] の円線図  
Fig. 3.5 Circle diagram of induction machine [II].

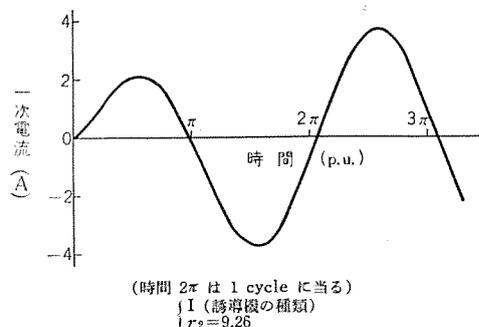


図 3.6 誘導機 [I] で速度一定の時の一次電流  
Fig. 3.6 Primary current of induction machine [I] at a constant speed.

変るかを曲線に示すと図 3.1~図 3.3 となる。

図 3.1 で A~C は per unit 表示であり、A と B とはほぼ同じ傾向で変化し、C は A, B よりもはるかに小さい値である。A のピークは図 3.4 の円線図で最も O 点から離れた点に相当している。

$\alpha_1$  は二次抵抗が増すと減少するが  $\alpha_2$  は逆に急激に増加する。したがって第 2 項は  $r_2$  が増すにつれて減衰がおおくなる。式 (3.3) で B の方が C よりも大きいので過渡電流が減衰し定常値に落ち着くまでの時間は二次抵抗の大きい方がかえって長くなる。

$\beta_1$  は運転速度に比べて非常に小さく、 $\beta_2$  は運転速度に近い値である。 $\beta_1$  の最大値と  $\beta_2$  の最小値は同一  $r_2$  でおこる。

[I] の誘導機で  $r_2=9.26$  (p. u.) の時の一次電流は図 3.6 に示す。以下挙げる曲線はすべて初期の電圧の位相角  $\phi_0$  を零として計算したものである。

速度一定の時のトルクは、式 (3.1) を解いて得られた突入電流  $Ri_1, Ji_1, Ri_2, Ji_2$  を式 (3.2) に代入すれば良く、誘導機 [I] で  $r_2=9.26$  とした時のトルクは図 3.7 である。

### 3.2 速度変化を考慮した場合

誘導機の微分方程式は速度変化を考慮に入れると非線形になり、一般に数値解が必要である。

$$\sigma = (X_1 \times X_2 - X_M^2) / X_1 \times X_2 \dots (3.4)$$

$$\left. \begin{aligned} X'_1 &= \sigma X_1 \\ X'_2 &= \sigma X_2 \\ \delta'_1 &= r_1 / X'_1 & \delta'_2 &= r_2 / X'_2 \\ \eta_1 &= X_M / X_1 & \eta_2 &= X_M / X_2 \end{aligned} \right\} \dots (3.5)$$

とおき、実数部と虚数部に分け微小時間  $\Delta t$  のあいだ回転子の速

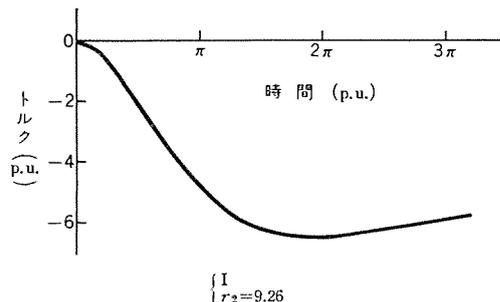


図 3.7 誘導機 [I] で速度一定の時のトルク  
Fig. 3.7 Torque of induction machine [I] at a constant speed.

度変化がないものとして、式 (3.1) を数値解を求めやすい形に書き直すと次のようになる。

$\frac{\Delta Ri_1}{\Delta t}$	$\frac{Re_1}{X'_1}$	$-\delta'_1$	$(1-s) \frac{\eta_1 \cdot \eta_2}{\sigma}$	$\delta'_2 \cdot \eta_1$	$(1-s) \frac{\eta_1}{\sigma}$	+ ... (3.6)
$\frac{\Delta Ji_1}{\Delta t}$	$\frac{Je_1}{X'_1}$	$-(1-s) \frac{\eta_1 \cdot \eta_2}{\sigma}$	$-\delta'_1$	$-(1-s) \frac{\eta_1}{\sigma}$	$\delta'_2 \cdot \eta_1$	
$\frac{\Delta Ri_2}{\Delta t}$	$-\frac{Re_1 \cdot \eta_2}{X'_1}$	$\delta'_1 \cdot \eta_2$	$-(1-s) \frac{\eta_2}{\sigma}$	$-\delta'_2$	$-\frac{(1-s)}{\sigma}$	
$\frac{\Delta Ji_2}{\Delta t}$	$-\frac{Je_1 \cdot \eta_2}{X'_1}$	$(1-s) \frac{\eta_2}{\sigma}$	$\delta'_1 \cdot \eta_2$	$\frac{(1-s)}{\sigma}$	$-\delta'_2$	

式 (3.6) によって得られた電流を式 (3.2)

$$T = X_M (Ri_2 \cdot Ji_1 - Ri_1 \cdot Ji_2) \dots (3.2)$$

に代入して求めたトルクと、運動の方程式

$$\Delta s = \frac{[T - L(s)] \cdot \Delta t}{GD^2} \dots (3.7)$$

とを組合せ、Runge-Kutta あるいは Milne らの数値解法を用いると速度変化を考慮に入れた電流、トルクが求められる。ただし式 (3.7) で

$L(s)$ : スリップ  $s$  の関数として表わした負荷トルク (per unit)  
 $T$ : 式 (3.2) によって求めた誘導機のトルク ( // )  
 $GD^2$ : 回転体の  $GD^2$  を per unit で表わしたもの (unit  $GD^2$  とは unit トルクで, unit 時間の間にスリップ 1.0 より 0 まで加速される  $GD^2$ )

である。これらの数値解法は高速度の電子計算機的应用により容易におこなうことができる。

数値例として、前に挙げた [I], [II] の誘導機で速度変化が一定であるとして解いた結果を図 3.8~図 3.16 に示す。(上記速度変

速度変化                    [I]                    [II]  
                                      -0.4784609                    -0.1158648

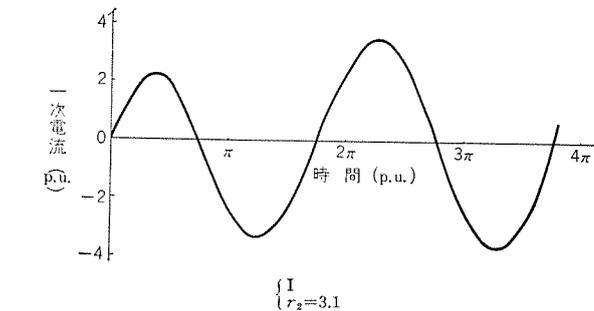


図 3.8 誘導機 [I] で速度が変わった時の一次電流

Fig. 3.8 Primary current of induction machine [I] when speed is changed.

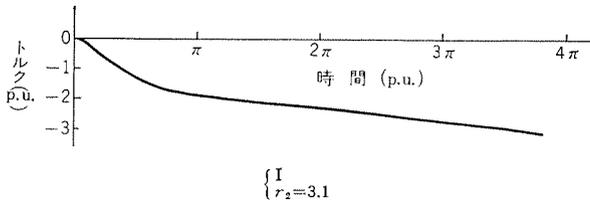


図 3.9 図 3.7 に相当するトルク

Fig. 3.9 Torque corresponding to Fig. 3.7.

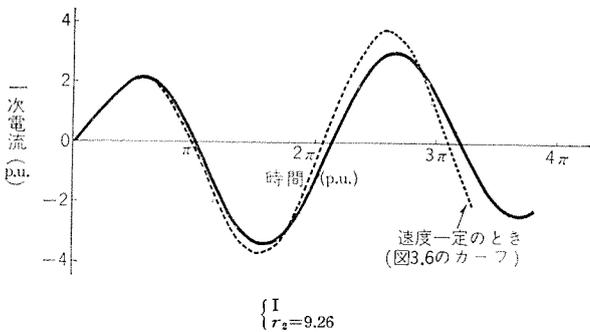


図 3.10 誘導機 [I] で速度が変わった時の一次電流

Fig. 3.10 Primary current of induction machine [I] when speed is changed.

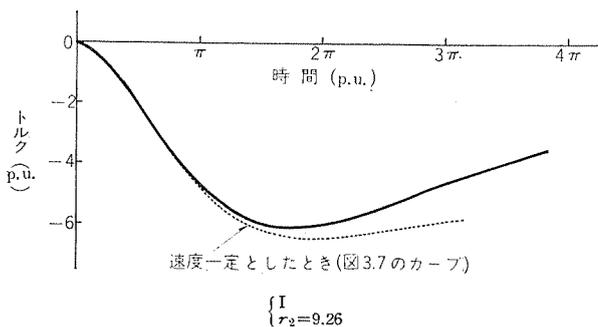


図 3.11 図 3.10 に相当するトルク

Fig. 3.11 Torque corresponding to Fig. 3.10.

化は [I] では 1 秒間にスリップが  $-9.0187781$  変り, [II] では 1 秒間にスリップが  $-1.82000$  変ることに相当する)。

図 3.10, 図 3.11 より, 3.1 で速度変化がないと考えた場合と, 3.2 で速度変化を考慮した場合の電流, トルクが比較できる。速度変化がある場合でも, 二次抵抗の大きい方が式 (3.3) に相当する  $\alpha_1$  が小さく, 第 2 項の減衰がおそいため, トルクの減衰もおそく長時間脈動する。実際に巻上機で低周波制御するのは, 一次電流に制限があるので二次抵抗が大きく トルク 脈動の大きい範囲であ

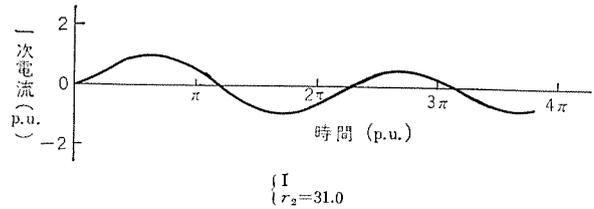


図 3.12 誘導機 [I] で速度が変わった時の一次電流

Fig. 3.12 Primary current of induction machine [I] when speed is changed.

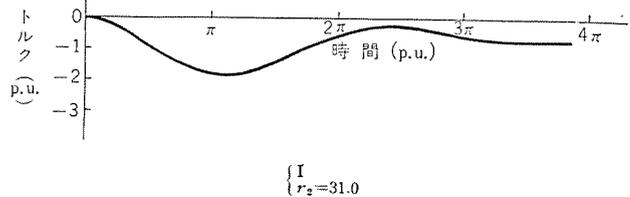


図 3.13 図 3.12 に相当するトルク

Fig. 3.13 Torque corresponding to Fig. 3.12.

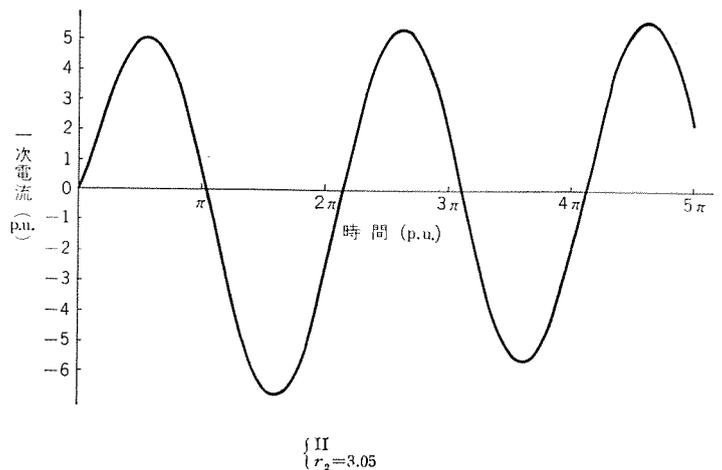


図 3.14 誘導機 [II] で速度が変わった時の一次電流

Fig. 3.14 Primary current of induction machine [II] when speed is changed.

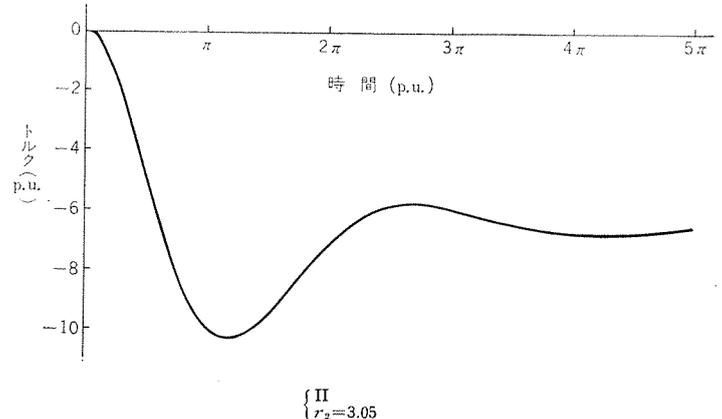


図 3.15 図 3.14 に相当するトルク

Fig. 3.15 Torque corresponding to Fig. 3.14.

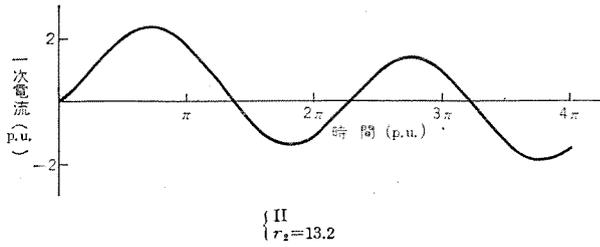


図 3.16 誘導機 [II] で速度が変わった時の一次電流  
 Fig. 3.16 Primary current of induction machine [II] when speed is changed.

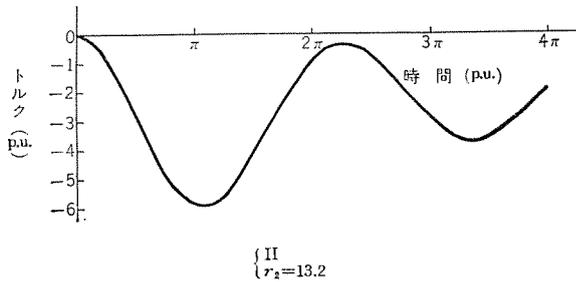


図 3.17 図 3.16 に相当するトルク  
 Fig. 3.17 Torque corresponding to Fig. 3.16.

る。トルクに脈動のおこった場合のトルク変動の周波数はほぼ電源周波数である。

運転の途中で二次抵抗を急に減らした時にもトルク変動は起こり、この周期もやはり電源周波数に近い値である。その時のトルクの最大値は二次抵抗の値によっても変わるが、突入時のトルクに比べて小さいのでここでは省略した。

本文での取扱いは  $X_M$  は一定としたが  $X_M$  をあらかじめ  $E_1$  の関数として求めておけば、電流値よりも  $E_1$  を求めそれから  $X_M$  を計算し、これを取れんさせて電流、トルクを解くことができる。

#### 4. 巻上機ロープのたて振動

巻上機を図 4.1 のように考えるとロープのたて振動にはいろいろ複雑な要素が含まれており、その振動を解析することは容易でない。

問題を簡単にするために図 4.1 の A 部でテールロープを切りはなし、図 4.2 (a) のように回転体の  $GD^2$  を重量に換算しロープをバネと考えドラムに力(トルク)変化が加わるものとして解けば良い。図 4.2 (a) の振動系の振動を解く際に、ロープの自重とケージの重さとは同じくらいのオーダーになることがあるので、ロープの自重を無視することはできない。そこで図 4.2 (a) は同図 (b) のような振動系におきかえられる。これはちょうどディーゼルのクランク軸のネジリ振動数を求めるのに似ている。低周波制御をおこない、トルクに変動があった時各ロープにかかる力はケージの床面からの位置とケージ中の荷の重さによって広い範囲で変化する。

巻上機的设计に際しては、誘導機の発生するトルク、ロープのスプリングコンスタント、各部の重量、ロープ長などよりロープのたて振動を解き、ロープやケージに大きな力が加わらぬよう注意する必要がある。

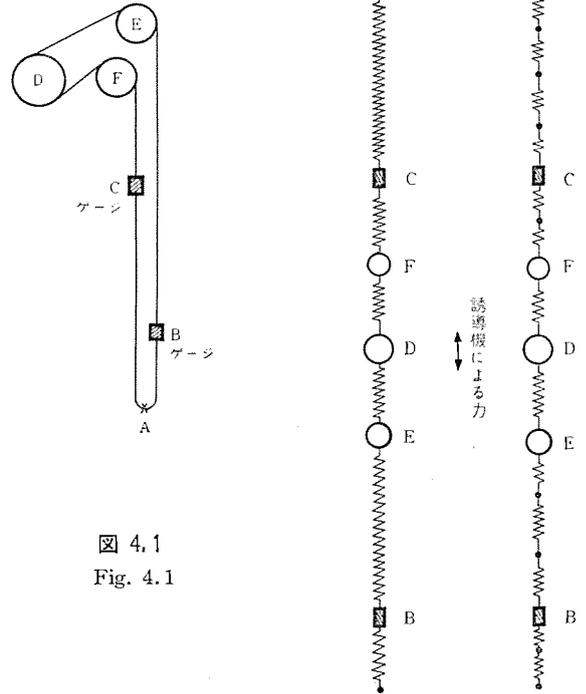


図 4.1  
 Fig. 4.1

図 4.2 (a) 図 4.2 (b)  
 Fig. 4.2 (a) Fig. 4.2 (b)

#### 5. むすび

以上低周波制御巻上機用誘導機の過渡トルクが二次抵抗の値によっていかに変わるかを主としてのべた。

ここに挙げた過渡トルクの数値解法は、低周波制御だけでなく誘導機の起動時、運転中二次抵抗や電圧を急変した場合、短絡発電機駆動用電動機のように速度の急変する場合や三相短絡時の過渡電流過渡トルクの計算にも広く用いられる。また本文では触れなかったが単に一定の  $GD^2$  のものを駆動するものとして速度変化が求められるだけでなく、二つ以上の回転体の間に軸が介在し、軸のネジリを考慮に入れて速度変化、電流、トルクを求めることも容易にできる。

#### 参考文献

- (1) ALGER: The nature of Polyphase Induction Machines. 374 (1951).
- (2) A. M. WAHL, L. A. KILGORE: Transient Starting Torque in Induction Motors. AIEE 40-100.
- (3) M. R. CHIDAMBARA, S. GANAPATHY: Transient Torques in 3 Phase Induction Motors During Switching Operations, AIEE 61-221.
- (4) W. V. LYON: Transient analysis of A. C. Machinery (1954).
- (5) J. TAKEUCHI: Starting Transient Torque of Squirrel Cage Induction Motor.
- (6) 竹内寿太郎, 別宮貞俊: 対称座標行列法解説 (昭 33).
- (7) J. TAKEUCHI: Matrix Theory of Electrical Machinery. (1958).

## 新形電動油ポンプ

名古屋製作所 杉山昌司\*・岩田鋼二\*

## Mitsubishi New Type Motor Driven Oil Pumps

Nagoya Works Shōji SUGIYAMA・Kōji IWATA

Motor driven oil pumps are extensively used for circulation of cutting oil or grinding oil of machine tools. Mitsubishi has long been producing type NP motor driven oil pumps with public approval. But to cope with the modernized machine tools new standard type NQ motors have been developed in a variety of models as a series of products. They have been made smaller and their shape is elegant so as to match with the up to date design of machine tools. The company is now prepared for meeting almost all demands of users. This article covers their construction, characteristics and features.

## 1. ま え が き

機械工作における金属切削において液体の切削剤または研削剤が重要視されていることは言を待たない。すなわち切削剤、研削剤のおもな機能は

- (1) 切粉と刃物の間の溶着を少なくし摩擦や摩耗を減じ構成刃先を小にする。
- (2) 刃物や加工物を冷却し、冷却中に生じた熱を切削領域から外部へ伝導する。
- (3) 切粉を切削域から洗い流す。
- (4) 切削面が腐食するのを防ぐ。

などがあげられる。

この切削剤を能率よく循環させるには、一般に電動油ポンプが使用されている。当社はこの目的のために長年 NP 形電動油ポン

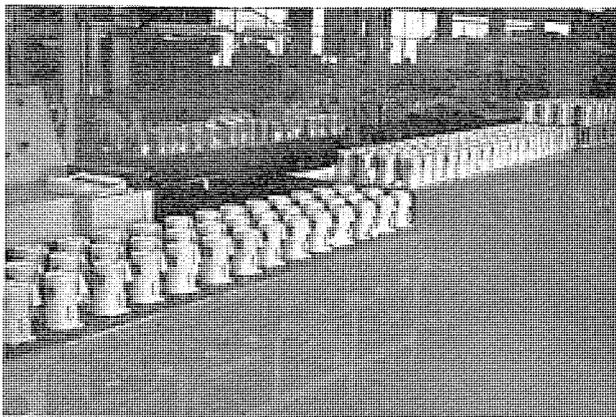


図 1.1 量産中の電動油ポンプ

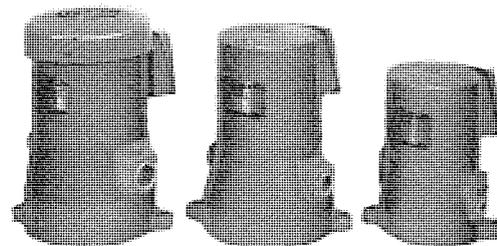
Fig. 1.1 Motor driven oil pump in quantity production.

う<sup>(1)</sup>の生産を続け好評を博してきたが、近時きわめて近代化された各種機械にマッチできるように今回モデルチェンジを行ない、かつ新形式の機種もあわせ標準化したので、その概要を紹介する。

## 2. 形式と種類

## 2.1 形式

電動油ポンプの構成は、三相誘導電動機と遠心ウズ巻ポンプをコンパクトに組合せ電動機の駆動によりポンプ作用を行なわせるものである。



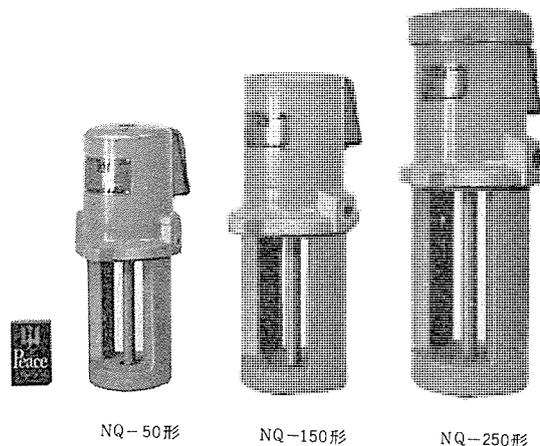
NP-250形

NP-150形

NP-50形

図 2.1 NP 形電動油ポンプ

Fig. 2.1 Type NP motor driven oil pump.



NQ-50形

NQ-150形

NQ-250形

図 2.2 NQ 形電動油ポンプ

Fig. 2.2 Type NQ motor driven oil pump.

形式は、NP 形および NQ 形を標準としている。

(1) NP 形は床置形で図 2.1 に外観を示す。電動機と自吸ポンプを内蔵し任意の床上に設置して使用するもので今回モデルチェンジしたものである。

(2) NQ 形は浸油形で図 2.2 にその外観を示す。本体の下方にポンプを置きポンプ部分は必ず油そう中で運転させるように電動機はフレンジ付きとし油そう上に設置できるようにしている。今回新しく標準化したもので、最近油そうを機械と別個に設置される傾向にあり、また油ポンプとしても吸込管の配管およびポンプ室のシールが不用で NP 形に比べて保守が簡単のため、今後多数採用されるものと考えられる。

## 2.2 種類

種類は表 2.1 のように NP 形、NQ 形それぞれ 4 機種としており大きさは形名で称呼するようにした。形名のつぎの数字は使用電動機の定格出力を表示している。

表 2.1 電動油ポンプの仕様一覧表

名称	形式	電圧	周波数	揚程	流量	使用モートル		重量 (kg)	
		V	c/s	m	l/min	構造	容量		
床置形	NP-50	200	50	1.5	10	全閉	三相 50W	6.2	
		200	60	1.5	12				
	NP-150	200	50	2	25	全閉	三相 150W	11	
		200	60	2	30				
NP-250	NP-250	200	50	3	50	全閉外扇	三相 250W	13.4	
		200	60	3	70				
NP-400	NP-400	200	50	4	80	全閉外扇	三相 400W	17	
		200	60	4	100				
浸油形	NQ-50	200	50	1.5	11	全閉	三相 50W	6.6	
		200	60	1.5	13				
	NQ-150	NQ-150	200	50	2	30	全閉	三相 150W	11.5
			200	60	2	35			
NQ-250	NQ-250	200	50	3	60	全閉外扇	三相 250W	14.2	
		200	60	3	80				
NQ-400	NQ-400	200	50	4	90	全閉外扇	三相 400W	18.7	
		200	60	4	100				

[油粘度は 40 cst (センチストーク)……約 160 R sec……の場合を示す]

## 3. 構造

電動油ポンプは機械との取付け関係上油滴の飛び散る場所、チリにまみれやすい所に設置されるという点を考慮に入れて、保護方式はすべて全閉形または全閉外扇形を採用している。以下各形式別に構造の概要を述べる。

### 3.1 NP 形の構造

#### (1) 電動機部分

図 3.1 に NP 形の構造断面図を示す。電動機は当社のスーパーライン

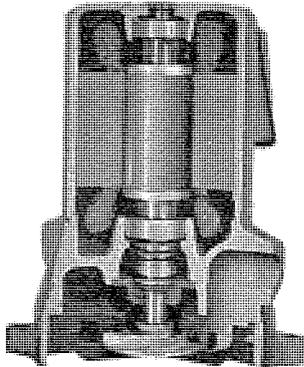


図 3.1 NP 形電動油ポンプの断面  
Fig. 3.1 Section of type NP motor driven oil pump.

A モートル<sup>(2)</sup> に準じた立形三相誘導電動機を使用し、とくに電動機およびポンプを極力小形化するため高速回転の 2 極を採用している。すなわち軸受はリチウムグリス入りのシールドボールベアリングとしベアリング部分には適当な予圧を与えて軸方向の遊びを制限し、さらにベアリングの異常振動を防ぐと同時に外輪のクリープ現象を防止するプレロードスプリングをそう入している。回転子は純度の高いアルミニウムを用いてパー、エンドリングを強圧鍛造したダイカスト回転子である。固定子コイルは化学研削剤に対して良好な特性を示す PVF 線を使用し当社独得の熱硬化性ワニスにより十分処理されており溝絶縁には耐熱耐湿性に富むマイラを使用して絶縁性能を向上させている。

ダイカスト回転子は軸にはめこまれ軸の下方にはポンプの羽根車を取付けて十分バランスをとっているため工作機械でもっとも有害な振動はきわめて少ない。

新形電動油ポンプ・杉山・岩田

#### (2) ポンプ部分

ポンプ部分は効率のよい遠心ウズ巻ポンプとウズ巻室を備え、かつ自吸作用をすることができる。羽根車は耐摩耗性、耐食性の特殊黄銅ダイカスト製である。油の密封装置は信頼度の高いメカニカルシールを装着しさらに切削油中に混入する切削粉やチリが回転シール面に食込まないようにメカニカルシールの前段にラビリンスを設けてシール効果をよくしている。ポンプ室の油は O リング、ガスケットなどで完全にシールし油もれの心配はない。

#### (3) 端子部分

端子箱は図 3.2 に示すように必要に応じて上下左右に 90 度ずつ向きが変えられるようにし配線を便利にした。すなわち端子カバーをはずし端子箱内のねじをはずせば端子の向きは容易に変え

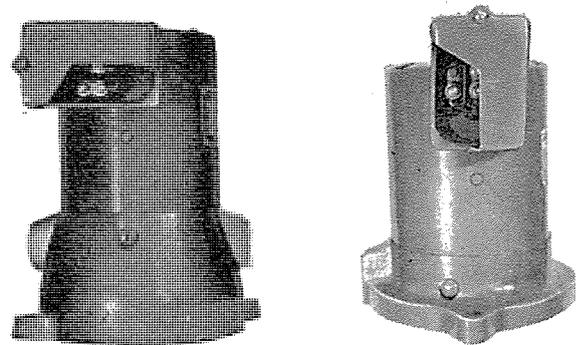


図 3.2 端子箱  
Fig. 3.2 Terminal box.

ることができる。端子板はねじ類を使用しないで端子箱のスプリング作用を利用して取付けてあるので端子箱を小形化することができ電動機大きさにマッチしたスマートな形状となっている。

#### (4) 商標ふた

NP、NQ 形の 50、150 形は全閉形で電動機軸が外部に露出せず、したがって回転方向の確認ができないうらみがあるので透明の商標ふたを用いて回転方向が容易に確認できるようにしてある。この商標ふたは外わくを黄銅製としその中央部にレンズ機能をもった透明プラスチックを用いているため全プラスチック製のよ熱変形や化学薬品などによるヒズミがなく脱落がおきない。なお、250 形 400 形は全閉外扇形のため商標ふたは用いない。

### 3.2 NQ 形の構造

図 3.3 に構造断面図を示す。

電動機部分およびポンプの羽根車は NP 形のそれぞれの容量のものと同じであるがすでに述べたように軸を延長してポンプ部分を電動機から離して油中で運転するようにした。ポンプの密封装置、ガスケット、吸入管の配管が不用で構造的にも取扱いにも NP 形よ

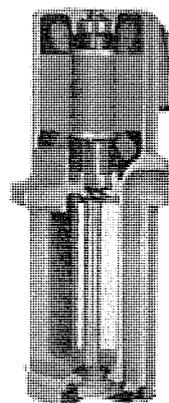
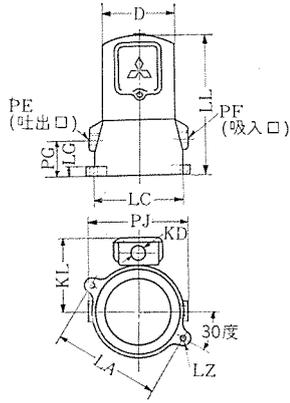


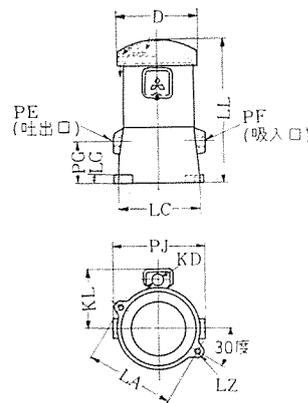
図 3.3 NQ 形電動油ポンプの断面  
Fig. 3.3 Section of type NQ motor driven oil pump.

表 3.1 NP, NQ 形 電動油 ポンプ 外形寸法表

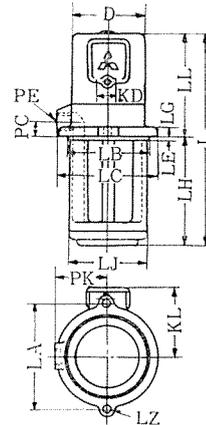
形名	D	PC	PE	PF	PG	PJ	PK	KD	KL	L	LA	LB	LC	LE	LG	LH	LJ	LL	LZ	
床置形	NP-50	98	—	PS 1/4ネジ	PS 1/4ネジ	40	125	—	22	92	—	130	—	110	—	12	—	—	170	7
	NP-150	108	—	PS 1/2ネジ	PS 1/2ネジ	60	150	—	22	97	—	160	—	140	—	15	—	—	210	9
	NP-250	135	—	PS 3/4ネジ	PS 3/4ネジ	70	165	—	22	108	—	160	—	140	—	15	—	—	230	9
	NP-400	157	—	PS 1ネジ	PS 1ネジ	85	185	—	22	119	—	180	—	160	—	15	—	—	285	9
浸油形	NQ-50	98	13	PS 1/4ネジ	—	—	—	62.5	22	92	290	130	95	120	5	12	150	93	140	7
	NQ-150	108	20	PS 1/2ネジ	—	—	—	75	22	97	350	160	120	145	5	15	180	118	170	9
	NQ-250	135	25	PS 3/4ネジ	—	—	—	82.5	22	108	415	160	130	155	5	15	230	128	185	9
	NQ-400	157	30	PS 1ネジ	—	—	—	92.5	22	119	510	180	140	170	5	15	280	138	230	9



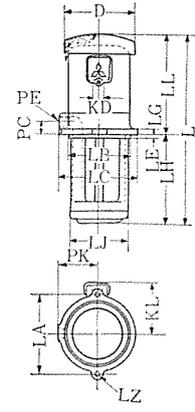
NP-50, NP-150 形 電動油 ポンプ 外形寸法図



NP-250, NP-400 形 電動油 ポンプ 外形寸法図



NQ-50, NQ-150 形 電動油 ポンプ 外形寸法図



NQ-250, NQ-400 形 電動油 ポンプ 外形寸法図

り簡単である。ただ油そう上に取付けた際毛細管現象により軸を伝って上昇し電動機内部へ浸入しようとする研削油を下部軸受の下側に耐油性合成ゴムのフリッジを取付けて油切りをするよう考慮している。

### 3.3 外形寸法

外形寸法は汎用電動機のような協約寸法が決められていないので取付け寸法は旧形とできるだけ合わせるように考慮した。とくに NP 形に関しては、NP-150 形、NP-250 形、NP-400 形の取付け寸法はそれぞれ旧形の NP 125 W, NP 200 W, NP 400 W, と合わせている。その他高さ、外径寸法とも旧形より小形化した。表 3.1 に外形寸法図を示す。

重量も形状の小形化とともに軽減され旧形に比し、ほぼ 80~85% になった。

## 4. 性能

### 4.1 ポンプ特性

電動油ポンプの性能はポンプの揚程-流量の関係が、使用条件にマッチし、電動機はそのときのポンプ動力に対し十分な駆動能力があればよい。

ポンプの軸動力は式 (4.1) で表わされる。

$$P = K \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{\eta} \dots\dots\dots (4.1)$$

- ここに P...ポンプ 軸動力
- γ...液体の単位体積当たりの重量
- H...揚程
- Q...流量
- K...定数

式 (4.1) より一定の揚程、流量に対するポンプ軸動力すなわち電動機出力はポンプ効率に左右される。ポンプにおいて最高効率を出すには、ポンプ羽根車の外径、幅、羽根角度、羽根車室の形状などを最適にすればよい。三菱電動油ポンプはこの点をよく吟味

し電子計算機による特性計算を行ない、また各種の実験結果、もっとも効率のよい羽根車やその構造を選定している。すなわち揚程流量の定格値に対して羽根車の外径寸法が決定されるが、今オイラーの理論によれば遠心ポンプの揚程は (図 4.1 参照)

$$H_{th\infty} = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 C_{m2}}{g \cdot \tan \beta_2}$$

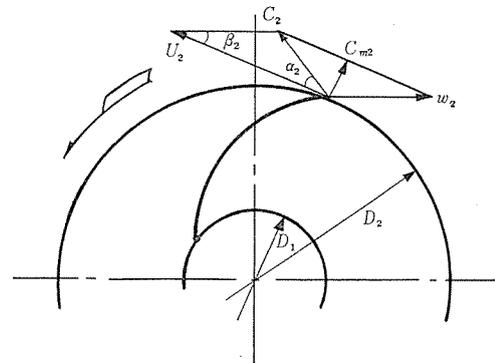


図 4.1 羽根車出口の速度線図  
Fig. 4.1 Velocity vector of impeller.

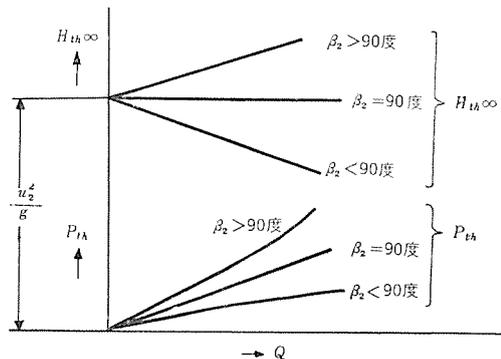


図 4.2 ポンプの理論的揚程および動力  
Fig. 4.2 Theoretical head and power of pump.

羽根の厚みを無視すれば  $C_{m2} = Q / \pi D_2 b_2$  で表わされるから、

$$H_{thos} = \frac{u_2^2}{g} - \left[ \frac{u_2}{g \cdot \pi D_2 b_2 \tan \beta_2} \right] Q \dots\dots\dots (4.2)$$

また理論的な所要動力は、

$$P_{th} = \gamma \cdot Q \cdot H_{thos} = \gamma \cdot Q \left[ \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2}{g \cdot \pi D_2 b_2 \tan \beta_2} Q \right] \dots\dots\dots (4.3)$$

ここに  $H_{thos}$ …理論揚程

$g$ …重力加速度

$u_2$ …羽根車の周速度

$\beta_2$ …羽根角度

$b_2$ …羽根幅

$P_{th}$ …理論動力

となり羽根車の出口角度に対する揚程や所要動力の関係は図 4.2 のとおりとなる。ただしオイラーの理論は羽根が無限であると仮定されたものであるが実際には有限でありかつ各種損失が含まれるため上記計算式は修正される必要がある。実際試作した結果では

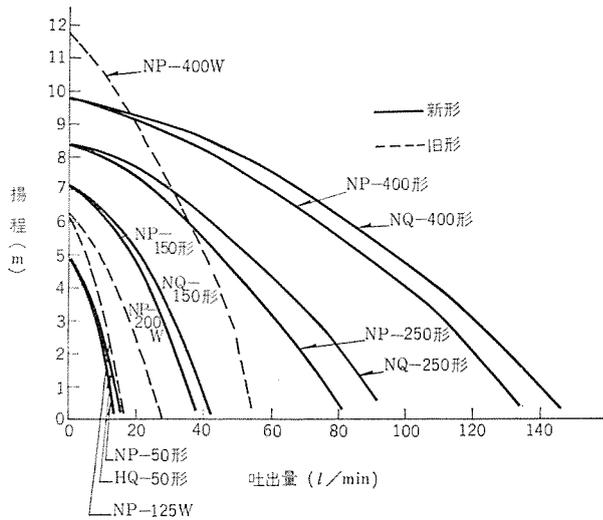


図 4.3 揚程-流量特性

200 V 50 c/s 油粘度 40 cst (約 160 R sec) 比重 0.9  
Fig. 4.3 Head-quantity characteristic curve.

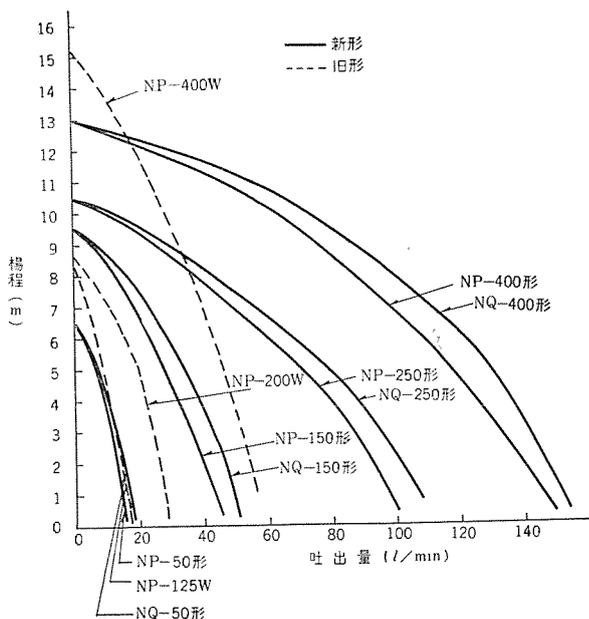


図 4.4 揚程-流量特性

200 V 60 c/s 油粘度 40 cst (約 160 R sec) 比重 0.9  
Fig. 4.4 Head-quantity characteristic curve.

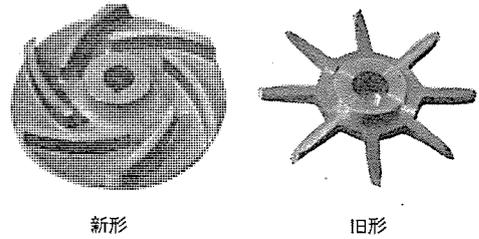
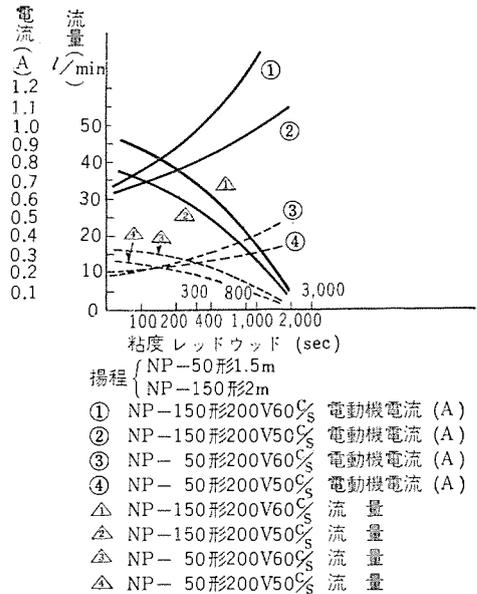


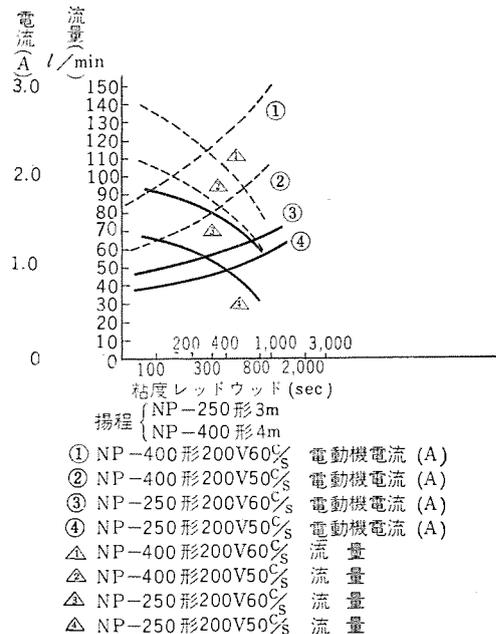
図 4.5 羽根車  
Fig. 4.5 Impeller.

羽根車の出口角度が 30~40 度が最高効率を示すことがわかった。図 4.3 および図 4.4 は三菱電動油ポンプの揚程-流量特性を示しているが同一条件で実測した旧形の特性能点線で示した。この図から、たとえば旧形の NP 400 W, NP 200 W, NP 125 W と新形の NP-400 形, NP-250 形, NP-150 形をそれぞれ比較すると新形の流量はいずれも約 2 倍以上であり電動機出力はほぼ同じであるから結局ポンプ効率はきわめて向上していることが了解されよう。この原因は、図 4.5 に新旧の羽根車の形状を示しているが、羽根車の形状ならびに羽根車室の差であると考えられる。



揚程 { NP-50形1.5m  
NP-150形2m  
① NP-150形200V60% 電動機電流 (A)  
② NP-150形200V50% 電動機電流 (A)  
③ NP-50形200V60% 電動機電流 (A)  
④ NP-50形200V50% 電動機電流 (A)  
△ NP-150形200V60% 流量  
△ NP-150形200V50% 流量  
△ NP-50形200V60% 流量  
△ NP-50形200V50% 流量

NP-50 形 NP-150 形



揚程 { NP-250形3m  
NP-400形4m  
① NP-400形200V60% 電動機電流 (A)  
② NP-400形200V50% 電動機電流 (A)  
③ NP-250形200V60% 電動機電流 (A)  
④ NP-250形200V50% 電動機電流 (A)  
△ NP-400形200V60% 流量  
△ NP-400形200V50% 流量  
△ NP-250形200V60% 流量  
△ NP-250形200V50% 流量

NP-250 形 NP-400 形

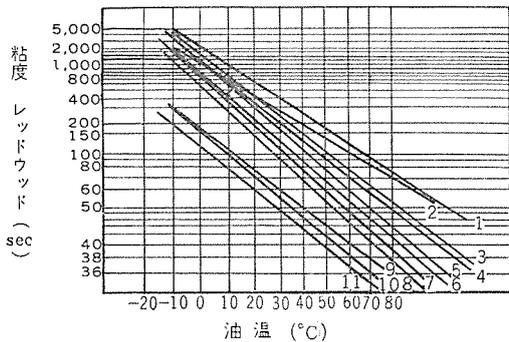
図 4.6 油粘度に対する特性  
Fig. 4.6 Characteristic for oil viscosity.

#### 4.2 油の粘度に対するポンプ性能の変化

同一ポンプにおける性能は、液体の種類(とくに粘度)により非常に変化する。とくに油ポンプのばあい粘度は油の種類により異なりさらに同種の油でも温度によって異なるため油の粘度に対するポンプ性能を把握することは必要である。図4.6はNP形各種について定格揚程における油粘度に対する油量、電動機電流の関係を示している。この図からわかるように粘度が低いときは電動機電流は少なくつまりポンプ動力は軽く流量は多い。逆に粘度が高くなるにしたがい電動機電流は上昇し流量は減少してくる。したがって油の粘度がますます高くなれば電動機は過負荷になりついには焼損することにもなる。(このようなおそれのあるときは、三菱ES-5形電磁開閉器の併用をおすすめする。)三菱電動油ポンプはこの点を考慮して相当高粘度油でも使用できるよう設計している。すなわち流量は減少するが60 c/sでは200センチストークス(レッドウッド約800 sec) 50 c/sでは400センチストークス(レッドウッド約1,600 sec)まで使用しても電動機は基準温度上昇限度以下であり短時間ではなお少々の高粘度油でも耐えるようにしている。

#### 4.3 切削油の粘度

では実際に現在使用されている切削油の粘度を考察してみよう。切削油は一般に切削中摩擦面への浸透と切粉を洗い流す性質とが要求されるため流動性のある粘度の低い油が要求される。普通使用される切削油では50°Cでレッドウッド30~100sec程度でなかでも70sec前後のものが大部分を占めているようである<sup>(3)</sup>。代表的な切削油の温度-粘度特性の1例を図4.7に示したが三菱電動油ポンプはこれら一般の切削油ならば油温が0~10°C以上で問題なく使用できることがわかる。なお定格の基準粘度にしたレッドウッド160secは50°Cでレッドウッド70secの切削油の常温(約25°C)のときである。



- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| 1. 不溶性切削油サルクラット Y1     | 6. 不溶性切削油ダイカトール特2M      |
| 2. 菜種油                 | 7. 不溶性切削油サルクラット1M       |
| 3. 不溶性切削油エシロンカットUB-100 | 8. 不溶性切削油エシロンオイル No. 3  |
| 4. 不溶性切削油サルクラット 1S     | 9. 不溶性切削油エシロンオイル No. 3L |
| 5. 不溶性切削油エシロンオイル No. 7 | 10. 不溶性切削油サルクラット2M      |
|                        | 11. 不溶性切削油エシロンオイル No. 2 |

図4.7 切削油 温度-粘度線図  
Fig. 4.7 Temperature-viscosity curve of cutting oil.

#### 4.4 配管損失

電動油ポンプを実用するには必ず配管して送油することになるが配管中に失われる損失を計算して油ポンプの特性と照し合わせてこそ真に理想的な設計といえる。

##### (1) 管路の損失

管路の損失は次式から計算できる。

$$h_p = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (4.4)$$

式(4.4)は基本式であり、この中につきの値を入れて計算すれば配管中の損失水頭が算出できる。

$$\lambda = \frac{64}{R} \dots \dots \dots \text{層流のばあい,}$$

$$\lambda = 0.3164 \times \frac{1}{R^{0.25}} \dots \dots \dots \text{乱流のばあい,}$$

$$R = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

ここに  $h_p$ …配管中の損失水頭

$\lambda$ …管の摩擦係数

$d$ …管の内径

$l$ …管の長さ

$v$ …管内流速

$R$ …レイノルズ数

$\nu$ …動粘性係数

##### (2) エルボの損失

$$h_e = \zeta \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (4.5)$$

ここに  $h_e$ …エルボの損失水頭

$\zeta$ …エルボの損失係数

この損失の計算はかなり面倒なもので、その時その時にいちいち計算するのはやっかいのため上記計算式により算出した管路およびエルボの摩擦損失水頭を図4.8、図4.9に表わして参考に供する。もちろん概略の計算でありまた管内の平滑度などによっても変わるのでご使用上の参考程度のものご承知願いたい。

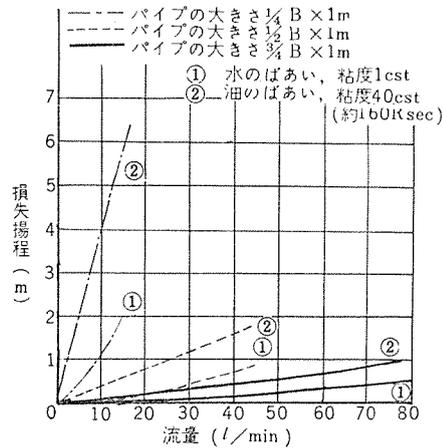


図4.8 パイプの摩擦損失揚程  
Fig. 4.8 Friction head loss of pipe.

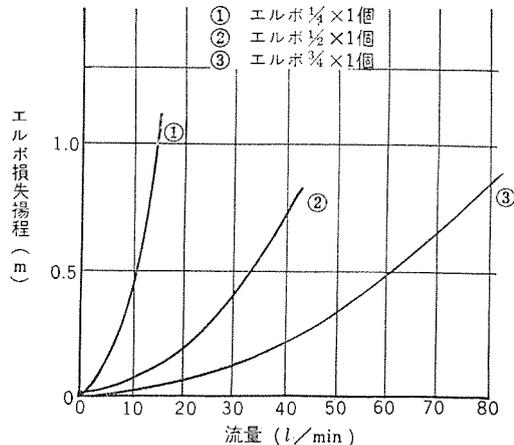


図4.9 エルボ損失揚程  
Fig. 4.9 Friction head loss of elbow.

## 5. 特 長

### (1) 完全な保護方式

油滴や水滴のかかる場所やほりにまみれやすい所に設置されやすいため全閉形または全閉外扇形とし電動機内部を完全に保護している。

### (2) 小形軽量で優美な外観

各種機械に付属するため極小形軽量化しあわせて形状を、近代化された諸機械に マッチ したものとした。

### (3) すぐれた ポンプ 性能

形状を小形化したにもかかわらず ポンプ 効率はきわめて向上させたので油量は旧形よりいちじるしく豊富になった。

### (4) 静かな運転

工作機械等の一部品として使用するため振動があっては工作精度に悪影響を与える心配があるため ポンプ と電動機は一体に組立られ、回転子は十分な バランス がとってあるので、きわめて静かな運転である。

### (5) 寿命が長い

非常に改善された コイル の絶縁、耐摩耗性の羽根車などのほか、十分吟味された材料および部品を選択使用しているので長年の使用に耐える。

### (6) すえ付、取扱いが簡単

すえ付は2本の ボルト で油 タンク の上または取付台などに簡単に設置できる。また油量の調節は遠心 ポンプ を使用しているので吐出管側に取付けられる コック など容易にできるから取扱いはきわめて簡単である。

### (7) 便利な端子箱

端子箱は上下左右に向きが変えられ、配線に便利で接続しやすい端子箱としている。

### (8) 回転方向は透明商標ふたにより容易に確認できる。

(9) 工作機械の冷却油だけでなく、その他液体の ポンプ としても使用できる。

## 6. 取扱い上の注意

### (1) すえ付け

NP 形 (床置形) は吸込損失を少なくするため、なるべく油面に近い位置にすえ付けることが効率よく ポンプ を使用するコツである。NQ 形 (浸油形) は ポンプ 部分が必ず油面より下になるようにすえ付けなければならない。

### (2) 配 管

配管は外形図に示したパイプネジに相当するパイプで配管し、すでに述べたように、なるべく曲りを少なくし、全配管長さも短くするようにしたい。とくに NP 形の吸込管は空気漏れがあると ポンプ 性能が低下するため継手部分は塗料などを塗布してねじ込むようにするとよい。

### (3) 呼び油

NP 形はすえ付後第一回目の運転にだけ呼び油が必要である。呼び油は必ず吐出側から十分注入するようにする。2 回目からの運転は自吸作用ができるから呼び油の必要はない。なお NQ 形はまったく呼び油の心配がない。

### (4) 回転方向

回転は一方方向のため名板内に明示した方向へ回転させるよう配線しなければならない。標準回転方向は上部から見て反時計式である。

### (5) 油そう

油そうにもどった冷却油は、切削粉や異物が無数にはいるから十分に切削粉を除いて油 ポンプ に吸わせることが必要である。油そうを数個に区切ってオーパフロー 装置などのフィルタをつけることも一方法である。

## 7. む す び

以上総合するとつぎのとおりである。

(1) 新しい標準形式 NQ 形 (浸油形) および各形式の種類を増したので需要家の方々に必要な容量のものを供給できるようになった。

(2) ポンプ 性能が全般的に向上したので利用範囲が広がった。

(3) 小形軽量化するとともに形状を優美に設計製作しているので最近の諸機械に マッチ したものとなった。

三菱電動油 ポンプ は以上述べたように幾多の特長をもった新製品であるが、需要家各位のご指導ご批判を得て今後いっそう品質改善を達成しご期待にそいたいと願っている。

## 参 考 文 献

(1) 稲垣：工作機械用 NP 形電動油 ポンプ、「三菱電機」、32, No. 3 (昭 33)。

(2) 関野・小野：スーパーライン A モートル、「三菱電機」、32, No. 11 (昭 33)。

(3) 切削油各社 カタログ 参考。

## TA 形 交 流 アーク 溶 接 機

名古屋製作所 竹内友彦\*・中山梅雄\*・鶴飼 順\*

## Type TA A. C. Arc Welder

Nagoya Works Tomohiko TAKEUCHI・Umeo NAKAYAMA・Jun UKAI

Electric welding is on the go in every field of modern industry. Particularly arc welding is becoming popular with its semi-automatic or full automatic welding process. But manual welding with coated electrodes is still predominant. Recently Mitsubishi has developed transactor type AC Arc Welders, which are new products as manual welders and operate on the transactor system—the first trial in Japan. The welders have the following features; (1) arc stability is excellent, (2) current adjusting range is wide, and (3) it is very advantageous to weld thin plates with them. The Company is now in a position to produce them in quantities. This report gives an account on the principle, specification, construction and characteristic of transactor type arc welders.

## 1. ま え が き

近年機械構造物の軽量化、原価低減を計る目的で、造船、車両、自動車、その他あらゆる分野において製造工程中溶接作業はますます重要な位置を占めつつある。

戦後になって溶接作業の合理化、高能率化を目的としてサブマージドアーク溶接法、シグマ溶接法、炭酸ガスアーク溶接法などの全自動、半自動溶接が各分野で注目を浴びているが、まだ大部分の溶接作業が被覆アーク溶接棒を使用した手溶接で行なわれている現状である。

当社では以前からアーク溶接機を製作しており、アーク溶接に関する基礎的な研究を続けてきた結果、最近の旺盛な需要に答えてとくにこの分野の生産にも積極的に進出することになり、このたび手溶接用の交流アーク溶接機で、わが国でははじめての新しいタイプの三菱トランスアクタ形交流アーク溶接機を開発し、量産化に移った。

ここではこの三菱トランスアクタ形交流アーク溶接機の原理、仕様、構造、特性などについて紹介する。

## 2. トランスアクタ形アーク溶接機の原理

良く知られているように、手溶接用のアーク溶接機はアークの負性抵抗特性にマッチさせるために、溶接機の外部特性は垂下特性であることが必要である。この垂下特性は一般にリアクタンスを与えられ、変圧器漏れリアクタンスを利用した漏れ変圧器形、定電圧電源に可変リアクタを接続した可変リアクタ形などがある。

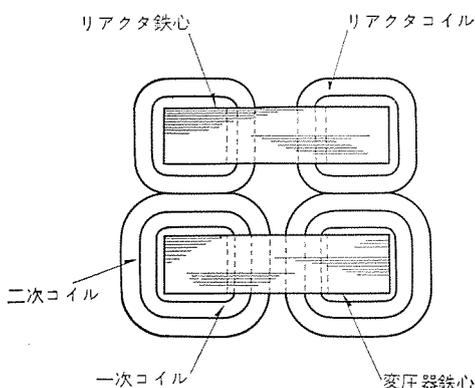


図 2.1 可変リアクタ形溶接機の鉄心、コイル配置  
Fig. 2.1 Arrangement of coil and core on variable reactor type arc welder.

トランスアクタ形アーク溶接機はこの可変リアクタ形アーク溶接機をより小形、経済的に改良した方式である。

可変リアクタ形溶接機において、変圧器とリアクタの配置を、図 2.1 のようにしたばあいの変圧器二次コイルとリアクタコイルの両者の電流の作用について考えてみる。コイル中の電流の方向は、コイルの巻き方と結線の方法によって、図 2.2 (a) のように流しうる。このコイルは溶接回路にいずれも直列に接続されているため、二次コイル、リアクタコイルとも同一値の電流が流れる。したがって図 2.2 (b) のように二次コイルとリアクタコイルの接する部分 A, B を 1 本の導体 L で共有化しても、導体 L 中には電流は流れないことになる。電流の流れない導体はそれを取去っても磁界分布になんら影響がないから、図 2.2 (c) のように結線しても、図 2.2 (a) のばあいと同一な効果が得られ、しかも A, B 部分の変圧器二次コイルとリアクタコイルの銅材料の節約、銅損がゼロとなり、小形で経済的な高能率溶接機の製作が可能となる。

トランスアクタ形アーク溶接機はこの理論によって製作されたものであり、図 2.3 に実際のコイル構造を、図 2.4 にその写真を示す。

図 2.3 トランスアクタコイル構造  
Fig. 2.3 Structure of transactor coil.

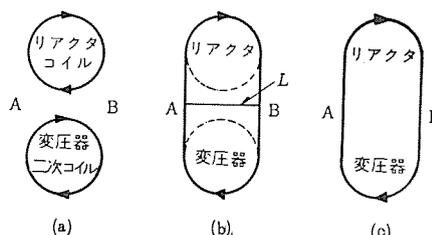
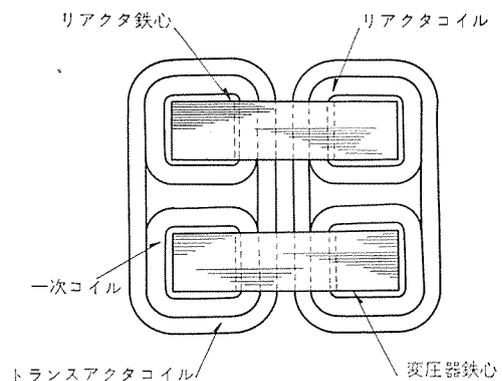


図 2.2 二次コイルとリアクタコイル中の電流  
Fig. 2.2 Current in secondary and reactor winding.

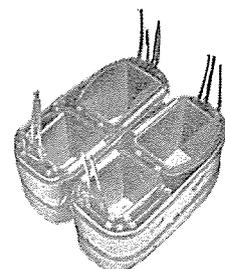


図 2.4 トランスアクタコイル  
Fig. 2.4 Transactor coil.

図中トランスアクタコイルとして示されているコイルが、前述のように変圧器二次コイルとして二次電圧を誘起すると同時に、リアクタコイルとして二次電流を制限する作用がある。

### 3. 仕様

交流アーク溶接機は日本工業規格 JIS C 9301 に特性、構造などが規定されているので、その規格概要を表 3.1 に示す。またこのたびに開発した、トランスアクタ形 300A 交流アーク溶接機の仕様を表 3.2 に、外部特性を図 3.1 に示す。図 3.1 中に  $20+0.05I$  (V) で表わされている負荷電圧曲線は、JIS に規定された値であり、溶接作業中のアーク電圧と考えられる。したがって各外部特性曲線はリアクタの可動鉄心がこの電圧、電流値を与える位置において無負荷から短絡までの溶接機二次端子電圧、電流をプロットしたものである。

表 3.1 交流アーク溶接機の種別、定格、特性、JIS C 9301 (1956)

種別	定格二次電流 (A)	定格使用率 (%)	定格負荷電圧			最高二次無負荷電圧 (V)	二次電流		適用溶接棒径 (mm)
			抵抗降下 (V)	リアクタンス降下 (V)			最大値 (A)	最小値 (A)	
				50 c/s	60 c/s				
AW200	200	50	30	0		85	200 以上 220 以下	35 以下	2~4
AW300	300		35				300 以上 330 以下	60 以下	2.6~5
AW400	400		40				400 以上 440 以下	80 以下	3~6
AW500	500	70	40	10	12	95	500 以上 550 以下	100 以下	4~8

表 3.2 三菱トランスアクタ形 300A 交流溶接機標準仕様

形式	電源側				溶接側					外形寸法 (mm) 幅×奥行×高さ (ハンドルを除く)	重量 (kg)	適用溶接棒径 (mm)	
	電圧 (V)	周波数 (c/s)	入力		定格電流 (A)	定格使用率 (%)	電流範囲 (A)	定格負荷電圧					無負荷電圧 (V)
			kVA	kW				抵抗分 (V)	リアクタンス分 (V)				
TA-300-1	200	50	25.5	12.9	300	50	30~320	35	0	81	460×540×745	190	2~6
TA-300-1	200	60	25.2	12.8	300	50	30~320	35	0	81	460×540×745	190	2~6

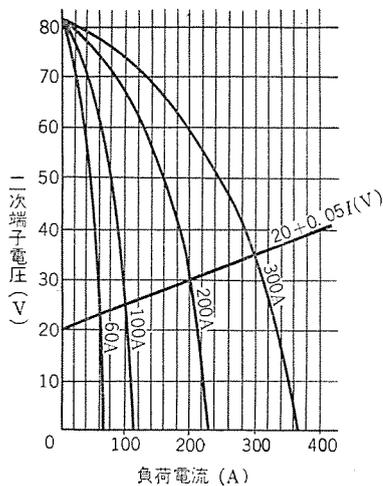


図 3.1 TA-300 形溶接機外部特性  
Fig. 3.1 External characteristic of type TA-300.

### 4. 構造

図 4.1 は溶接機外観、図 4.2、図 4.3 は溶接機内部で図 4.4 は溶接機概略構造図である。

#### 4.1 鉄心、コイル構造

コイルはH種二重ガラス巻角銅線、または裸角銅線をガラステープで巻いたものを使用し、マイカラップ、ガラス布、石綿板などの無機質絶縁材料で絶縁して、シリコンワニス含浸処理を行なった完全H種絶縁を採用している。コイルの温度上昇限度については、JIS C

図 4.1 TA-300 形交流溶接機外観

Fig. 4.1 External view of type TA-300 A.C. arc welder.

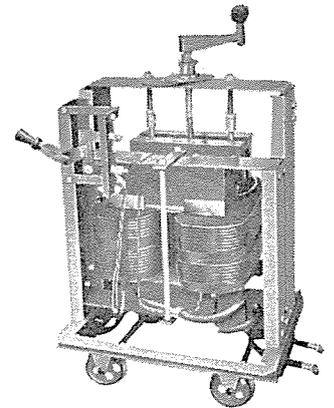
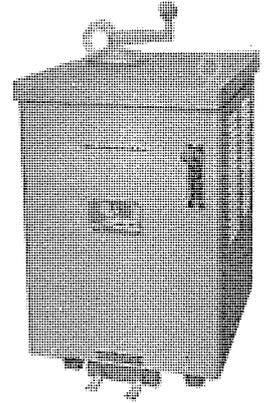


図 4.2 TA-300 形溶接機内部変圧器側  
Fig. 4.2 Internal view of type TA-300, transformer side.

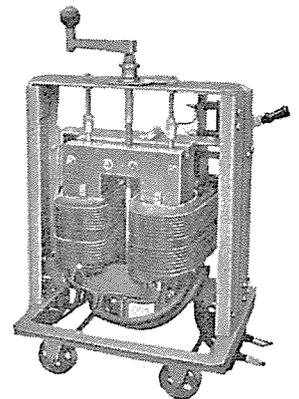


図 4.3 TA-300 形溶接機内部リアクタ側  
Fig. 4.3 Internal view of type TA-300, reactor side.

図 4.1 溶接機温度上昇限度

絶縁の種類	温度上昇限度 (deg)		
	抵抗法	温度計法	
		絶縁被覆の上から測定した場合	導体に直接接触して測定した場合
A 種	70	60	80
B 種	90	80	100
H 種	160	150	170

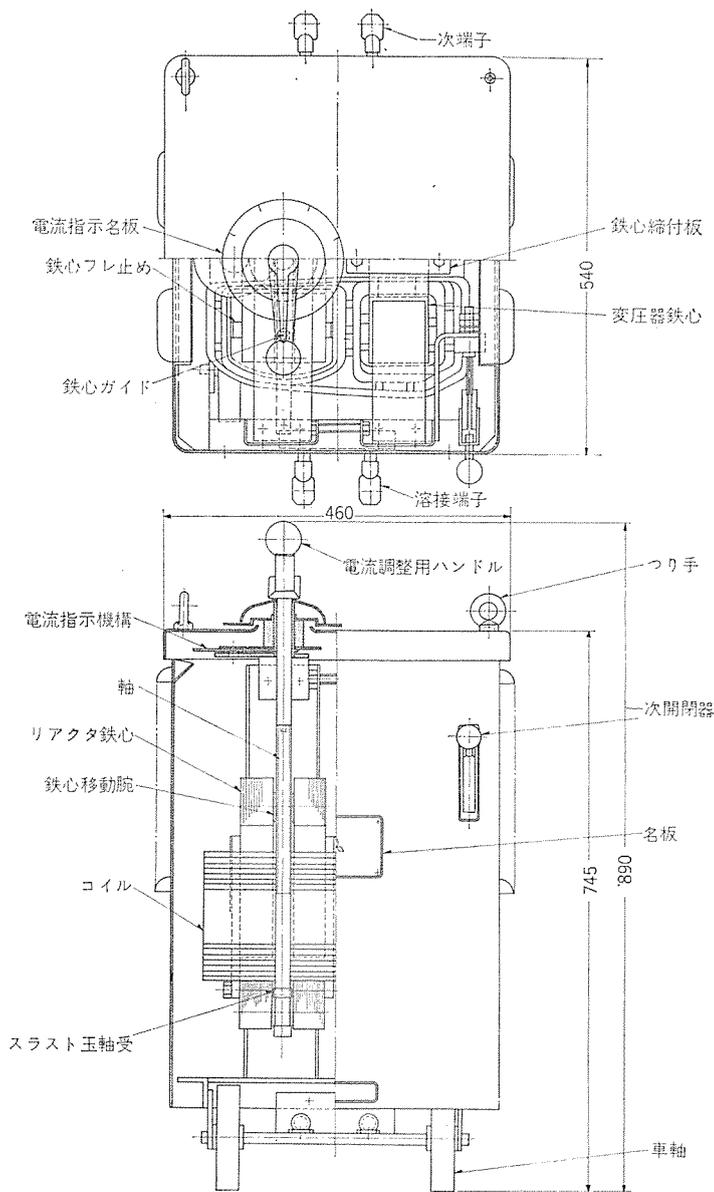


図 4.4 TA-300 形溶接機概略構造図  
Fig. 4.4 Cutaway sketch of type TA-300.

9301 に表 4.1 のように規定されている。

同表 に示すように、H 種絶縁は、A 種絶縁あるいは B 種絶縁に比べて約 2 倍の許容温度上昇値を有しているから、コイルに H 種絶縁を採用したことにより、電線サイズが著しく縮小でき、機器が小形化される。

鉄心は良質なケイ素鋼板を使用し、歩留りを考慮した鉄心形状で、すべて型、打抜きで製作し、生産性の向上をはかっている。変圧器鉄心の締付をリベットあるいはボルト締めで行なうと、コイルとの間に不必要な空間ができて不経済になるので、鉄心外周部を数箇所溶接して、鉄心を締付ける構造を採用し、上下に 2 分割して、鉄心に溶接した鉄心締付板を上下から強固にボルト締めして組立てているから、経年変化による騒音の増加はなく、分解修理も簡単に行なえる構造になっている。

#### 4.2 可動鉄心移動機構

図 4.4 に示すように、リアクタ可動鉄心は可動鉄心中に取付けた鉄心移動腕中に移動ネジを切削し、これと同じく移動ネジを切削した軸をはめ、この軸を回転することによって鉄心を上下に移動させる構造になっている。軸をなめらかに回転させ、かつ大きな鉄心間吸引力の変動荷重にも十分耐えられるように、移動ネジに

は台形ネジを採用している。

後に述べるように、溶接機に発生する騒音はほとんどリアクタ鉄心間の吸引力による。したがって溶接機の設計にあたっては、この吸引力をできるだけ小さくし、吸引力によって発生した振動をケースなどに伝達させない構造とすることが必要である。前者は鉄心の磁束密度を下げれば良いが、経済性の点である限度がある。そこで一般に後者の構造面によって解決が計られている。

三菱トランスアクタ形アーク溶接機では、この鉄心間吸引力を、上部の移動ネジと下部のスラスト玉軸受で保持させ、振動が直接外部に伝達することを防いでいる。また鉄心両側の空隙長のアンバランス、および可動鉄心と固定鉄心対向面のずれによって生じる振動の増加を防ぐために、鉄心中に非磁性体の鉄心ガイドと、可動鉄心側面を適当な圧力で押さえる鉄心ふれ止めを設けてある。

#### 4.3 電流指示機構、一次開閉器、その他

溶接電流の指示はカバー上のダイヤル目盛で行なわれる。指示機構は多段歯車式減速機構を採用し、軸の回転を適当な減速比でダイヤルに伝達している。

溶接を行っていない間は溶接機は無負荷損だけ消費され、電力量としてはわずかであるが不経済であり、またこの間に部外者などが溶接棒に触れたりすると感電の危険があるので、規格には開閉器の設置は規定されていないが、一次側に単極のナイフスイッチを設置し、ケース外部から容易に操作できる構造になっている。

その他構造上とくに留意した点は、溶接機内部のネジのゆるみ止めである。溶接機内部のネジは、溶接機使用時の振動、溶接機移動時の振動などによって、他の電気機器よりゆるむ恐れが多分にある。このため耐熱性、機械的性質をとくに考慮した合成樹脂接着剤を、組立後すべてのネジ部分に塗布し、ボルト、ナットのゆるみ止めを行なっている。

### 5. 特 性

#### 5.1 アークの安定性

アーク溶接機は溶接棒と母材間にアークを発生させ、アーク熱によって溶接を行なわせる装置であるから、保証電流調整範囲内でつねに安定なアークが発生できなければならない。被覆アーク溶接における溶接アークの安定性は、溶接機の電源特性と溶接棒の絶縁回復特性に関係するものであり、両者について考えなければならない。とくに最近では溶接棒の研究が進み、アークの安定性に関して電源特性をうんぬんされることは少なくなったが、溶接機としてはアークの安定性で良好な特性を持つものほど好ましいことはいうまでもない。

トランスアクタ形アーク溶接機は漏れ変圧器形のアーク溶接機に比

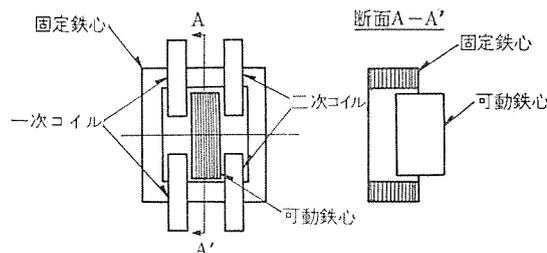


図 5.1 漏れ変圧器形溶接機鉄心、コイル配置  
Fig. 5.1 Arrangement of core and coil on leakage transformer type arc welder.

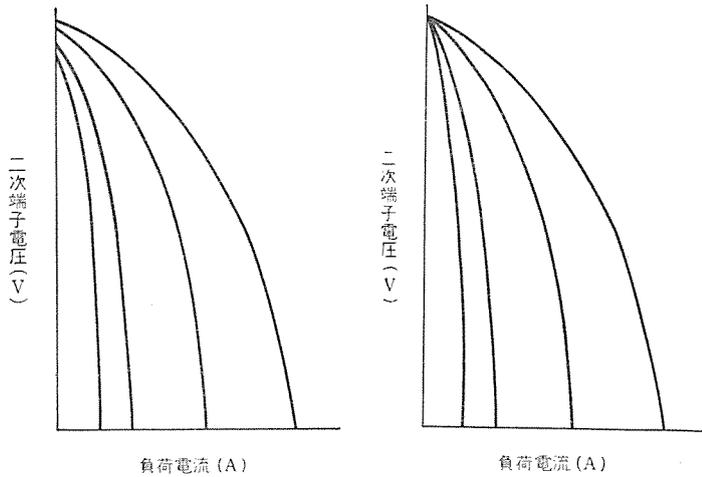
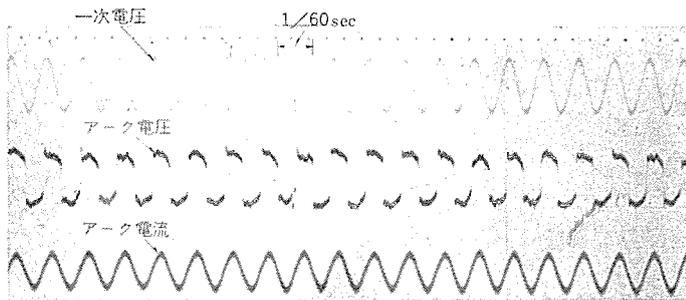


図 5.2 漏れ変圧器形外部特性  
Fig. 5.2 Leakage transformer type external characteristic.

図 5.3 トランスアクタ形外部特性  
Fig. 5.3 Transactor type external characteristic.



溶接電流 180 (A) 溶接棒 D4301 4φ  
材料 SSOOP 6 (t) 溶接施工 突合せ溶接

図 5.5 (b) 溶接作業中の電圧、電流のオシログラム  
Fig. 5.5 (b) Oscillogram of welding operation.

べて、本質的にアークの安定性がすぐれている。すなわち、図 5.1 に示す鉄心、コイル配置を有する漏れ変圧器形アーク溶接機は、一、二次コイル間の漏れリアクタンスを、可動鉄心の移動によって調整し、溶接電流を変化させる形式のものであり、現在使用されている溶接機の大部分はこれに属する。この方式の溶接機では無負荷時にも二次コイルの巻かれている主磁路と漏れ磁路の磁気抵抗の逆比に比例する磁束が可動鉄心中を通るので、二次無負荷電圧が低下する。とくに可動鉄心と固定鉄心の対向面積が大きくなるほど、すなわち、漏れリアクタンスが大きくなり、溶接電流が小さくなるほど無負荷電圧の低下は著しく、外部特性は図 5.2 のようになる。一方トランスアクタ形溶接機では、無負荷時は普通の配電用変圧器と同じであると考えられるから、磁束の漏れはほとんどなく、また可動鉄心の位置が変わっても無負荷電圧は一定で、外部特性は図 5.3 のようになる。溶接アークは電源の無負荷電圧が低いほど、また溶接電流の小さいほど不安定になることは良く知られている。漏れ変圧器形アーク溶接機はこの点アークの安定上好ましい特性とはいえない。無負荷電圧は、定格溶接電流 300 A、巻数比による 2 次電圧 80 V、の漏れ変圧器形溶接機において、溶接電流 30~50 A の可動鉄心位置では、72 V 程度に低下する。イルミナイト系被覆溶接棒 D4301 を用いて実験を行なった結果、溶接電流 60 A では、無負荷電圧が 68 V 程度になると溶接作業が非常に困難になる。このことは巻数比による二次電圧が、いずれも 80 V に設計された溶接機でも、トランスアクタ形では、一次電圧の変動が 18% まで十分にアークの安定性を保証するのに対して、漏れ変圧器形では、わずか 6% の保証しかできないことを意味している。

また溶接機損失中の漂遊負荷損はアークの安定性に影響を持ち、

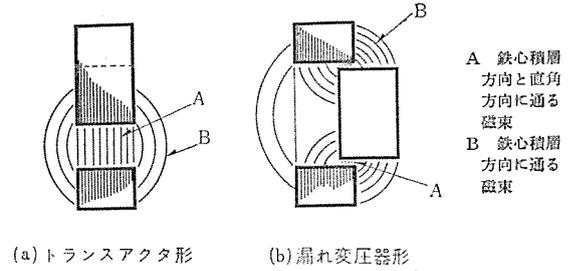
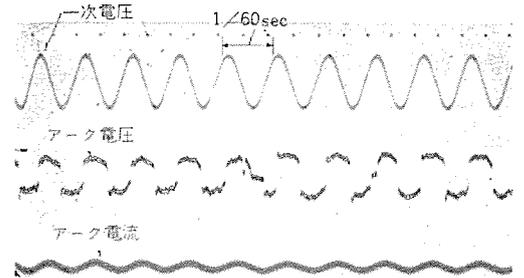


図 5.4 磁束成分説明図  
Fig. 5.4 Explanatory diagram of flux component.



溶接電流 90 (A) 溶接棒 D4303 2.6φ  
材料 SSOOP 3.2 (t) 溶接施工 突合せ溶接

図 5.5 (a) 溶接作業中のオシログラム  
Fig. 5.5 (a) Oscillogram of welding operation.

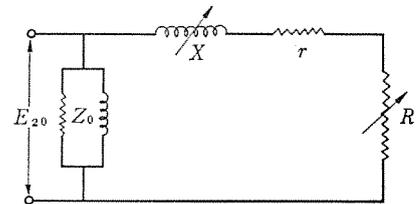


図 5.6 TA-300 形溶接機等価回路  
Fig. 5.6 Equivalent circuit of type TA-300 arc welder.

漂遊負荷損が大きいかほどアークの安定性は劣るといわれている<sup>(1)</sup>。トランスアクタ形 300 A アーク溶接機は漏れ変圧器形に比べて、定格負荷時の漂遊負荷損が約 1/2 になっている。これは溶接機の漂遊負荷損はおもに積層鉄心の積層方向を通る漏れ磁束により生ずる鉄心中のウズ電流によると考えられ、この漏れ磁束は図 5.4 に示されるように、漏れ変圧器形のものほど著しく、したがって漂遊負荷損も多くなると推定される。

上述のように無負荷電圧が一定で漂遊負荷損が少ないことによるすぐれたアークの安定性は、トランスアクタ形溶接機の特長の一つである。

図 5.5 に溶接中のアーク電圧、アーク電流、一次電圧のオシログラムを示す。

当社でこの 300 A トランスアクタ形溶接機を使用し、板厚および電流を次第に下げて実験を行なった結果、0.8 mm 板厚の軟鋼板 (SPC-1)、およびステンレス鋼 (SOS27) を前者は 1.6φ KNAPSACK-GRIESHEIM、後者は 2.0φ eutectic 溶接棒により、溶接電流 30 A で突合せ溶接が可能であった。

## 5.2 溶接電流とリアクタンスの関係

図 5.6 にトランスアクタ形溶接機の等価回路を示す。等価回路より、溶接電流とリアクタンスの関係は次式で表わされる。

$$X = \sqrt{\left(\frac{E_{20}}{I}\right)^2 - (R+r)^2} \dots \dots \dots (5.1)$$

ここに X: 溶接機内部リアクタンス (Ω)  
I: 溶接電流 (A) E<sub>20</sub>: 無負荷電圧 (V)  
R: 負荷抵抗 (Ω) r: 溶接機内部抵抗 (Ω)

300 A 三菱トランスアクタ形アーク溶接機では、

$E_{20}=80\text{V}$ 、 $r=0.02\Omega$ である。  
 負荷抵抗  $R$  は JIS より、  
 $R=20/I+0.05\Omega$  として電流  
 の関数で表わされる。

上記数値を式 (5.1) に代入  
 して、溶接電流とリアクタンス  
 の関係を求めると、図 5.7 の  
 ようになる。図中点線で表わ  
 されている曲線は、 $X=E_{20}/I$   
 の関係を示す。図から明らか  
 なように、溶接電流値の小さ  
 い範囲では、溶接電流はほぼ  
 リアクタンスによって決まるが、  
 溶接電流が大きくなるに従  
 い、抵抗分の影響が大きくな  
 ることがわかる。

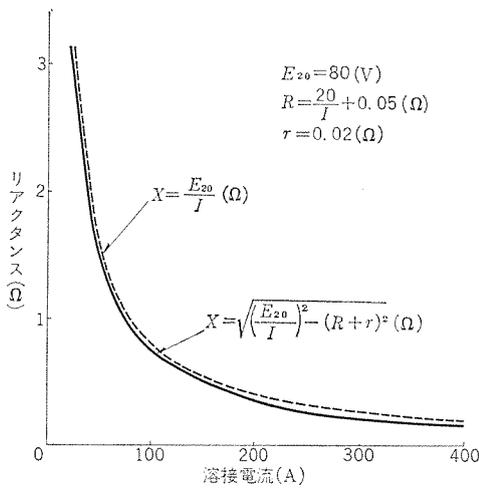


図 5.7 溶接電流とリアクタンスの関係  
 Fig. 5.7 Relation between welding current and reactance.

トランスアクト形溶接機は、リアクタンスを空隙長  $g$  だけで変化して  
 いるから、リアクタンスと空隙長  $g$  関係は  $X=k/g$  に近い曲線とな  
 り、溶接電流と鉄心移動距離の関係はほぼ直線的になっている。  
 図 5.8 に溶接電流と電流指示ダイヤルの回転角度を示す。また漏  
 れ変圧器形と異なって、変圧器とリアクタは別々に設計することが  
 可能であるから、溶接電流範囲を広く設計ができる。このことは  
 トランスアクト形の特長であり、表 3.1、表 3.2 に示されるように、  
 規格値 60A に対して 30A の最小電流値を保証している。

### 5.3 騒音

溶接機に発生する騒音は、ほとんどリアクタ可動鉄心と固定鉄心  
 間の吸引力で発生する振動による。鉄心間吸引力は一般に次式で  
 表わされる。

$$F = \frac{1}{2} (uI)^2 \frac{dP}{dg} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここに  $F$ : 鉄心間吸引力 (N)  $uI$ : 励磁アンペアターン  
 $P$ : 磁路のパーミアンス (Wb/AT)  
 $g$ : 空隙長 (m)

角速度  $\omega$  なる正弦波交流で励磁した場合式 (5.2) はつぎのよ  
 うに表わされる

$$F = \frac{1}{4} (uI)^2 \frac{dP}{dg} (1 - \cos 2\omega t) \dots\dots\dots (5.3)$$

すなわち、パーミアンスの空隙長に対する変化率と、励磁アンペア  
 ーの 2 乗の相乗積に比例し、基本周波数の 2 倍の周波数で、一  
 定方向に変動する吸引力が発生する。

トランスアクト形のように、リアクタンスの調整に空隙長を変化させる  
 方式では、パーミアンス  $P$  は、鉄心空隙の周りの磁束のフリンジングを  
 考慮した場合次式で表わされる。

$$P = \frac{k_1}{g} + k_2 \log \frac{k_3 + g}{g} \text{ (Wb/AT)} \dots\dots\dots (5.4)$$

ここに  $P$ : 空隙のパーミアンス (Wb/AT)  $g$ : 空隙長 (m)

$k_1, k_2, k_3$ : 鉄心形状で定まる定数

一方溶接電流とリアクタンスは  $I=E_{20}/X$  であるから溶接電流と  
 パーミアンスは次式で表わされる

$$I = \frac{E_{20}}{PN^2} \text{ (A)} \dots\dots\dots (5.5)$$

ここに  $I$ : 溶接電流 (A)  $E_{20}$ : 二次無負荷電圧

$P$ : 磁路のパーミアンス (Wb/AT)  $N$ : リアクタコイル巻数

したがって鉄心間吸引力は、パーミアンスすなわち空隙長  $g$  の関  
 数となる。

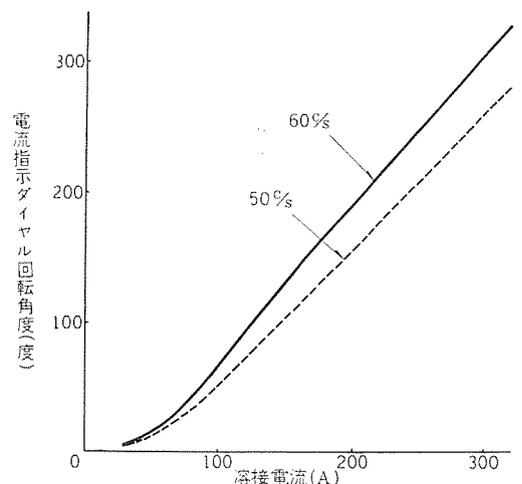


図 5.8 溶接電流と電流指示ダイヤル回転角度の関係 TA-300 形 アーク溶接機  
 Fig. 5.8 Relation between welding current and rotating angle of current indicating dial.

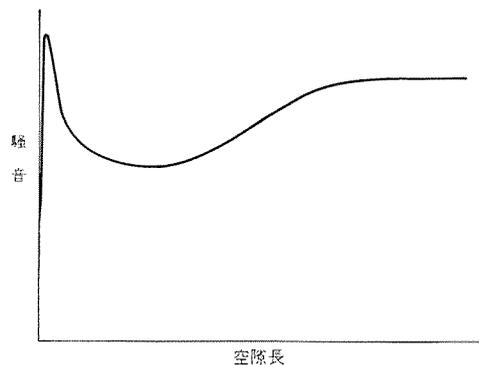


図 5.9 TA-300 形溶接機騒音試験データ  
 Fig. 5.9 Noise test data of type TA-300 arc welder.

図 5.9 にトランスアクト形溶接機の騒音試験データを示す。空隙長  
 0 の場合は鉄心移動ネジによって可動鉄心と固定鉄心を締付けた  
 ととき、騒音は最小になっている。騒音値最大の点は、空隙長が  
 わずかに生じた位置で現われており、鉄心面がたたき合っかなり  
 大きな騒音となり、空隙長を増すに従い騒音は低下し、ある値  
 で極小値をとり、それ以上になると再び増加する。

TA-300 形溶接機の最小保証溶接電流 30A は空隙長が数ミリメ  
 ートルの点であり、前述の騒音最大となる空隙長より相当大きく  
 っており、保証溶接電流範囲 30~320A における騒音は小  
 さくなっている。

## 6. む す び

以上三菱トランスアクト形交流アーク溶接機の概要を述べたが、こ  
 の溶接機は、(1) アークの安全性がすぐれていること、(2) 溶接  
 電流調整範囲が広いこと、(3)、(1)、(2) によって溶接適用分野  
 が広く、とくに 300A の溶接機であっても 0.8mm の薄板の溶接  
 まで可能であること、などの特長を有している。アーク溶接機は非  
 常に普及してはいるが問題点もかなりある。今後もアーク溶接に  
 関する基礎的な研究を続け、優秀な各種アーク溶接機、溶接装置  
 を発表していく予定である。

### 参 考 文 献

- (1) 安藤: 交流アーク溶接機, 電気書院 (昭 37).
- (2) 安藤・中村: 電気溶接機器(上), 溶接ニュース出版局(昭32).

## エア・カーテンの研究

研究所 齋藤春雄\*・杉原正浩\*

## Air Curtain

Research Laboratory Haruo SAITO・Masahiro SUGIHARA

The air curtain is generally a two dimensional air jet of some width, blowing down to the floor with certain velocity from the nozzle installed at the ceiling, to prevent the outside air from entering the room and to use it as a conventional cloth curtain or a door, so that it is so to speak a doorless door.

Mitsubishi produced and installed the first air curtain apparatus in this country several years ago. Since then, it has been used in places extensively with many practical experiences on its utility and performance, promising a further wide range of usefulness.

However, little has been studied concerning the operating principle and the performance of the air curtain, particularly, taking into account the effect of the outside wind and the suction mouth open in a floor.

In this respect, tests and analysis have been made a comprehensive so as to find how the air curtain is deflected and how much outdoor air blows into the room under various conditions of geometrical configuration of air curtain and outside wind velocity.

As a result, general instructions for designing the air curtain have been made available, which are reported herein.

## 1. ま え が き

エア・カーテンは10年ほど以前初めてスイスで試作された装置であるが、わが国でも数年前読売会館に設置されて<sup>(1)</sup>以来大いに利用されるようになり、その有用性や性能についても多くの実際的な経験が得られて来た。しかしその作動原理や性能についての詳細な研究は国内外を問わずほとんどなされていない。その理由は現象の単純さにかかわらず一般に噴流の厳密な理論的取扱いが容易でなく、さらに側風下で作動するエア・カーテンのように複雑な場合にはほとんど解析ができないことによるものと思われる。また実験的に見ても、これまでエア・カーテンのように気体の噴流を利用した機械設備があまり開発されなかつたので実用性が重要視されなかつたことによるものと思われる。しかし、エア・カーテンは目新しい構想であるというだけでなく広範な有用性が今後に期待できる装置であつて、その一般的な特性や設計指針を確立するために詳細な研究を進めることは非常に重要なことである。

エア・カーテンの設計に際して最も重要なことからの一つは側風に対する抵抗力の見積りである。この抵抗力が全然なければ側風に対するドアの役割を果さないことになる。ある流速の側風を完全にさえぎるに要するエア・カーテンの風速、吹出角度および流れの幅等の選定基準あるいは設計指針が確立されていれば任意の側風に対してつねに外気を遮断することは容易であり、また固定されたエア・カーテンの場合でも側風によってそれがいかに曲げられ室内に外気がどのように侵入するかがわかっていれば適当な手段を講ずることによって室内の状態をつねに一定に保つことができるであろう。

このような考えにもとづきわれわれは普通のエア・カーテンに一般的な現象であるにかかわらずいまだ理論的にも実験的にもほとんど解明されていない問題、すなわち側風のある噴流特性を実験的に研究し、さらにエア・カーテンによって仕切られた室内外に側風が持ちこむ外気量を実験的に求め、その結果から一般的な噴流特性を見出し、適切な設計法を確立することを試みた。

その結果、吸込口をもつ実際のエア・カーテンの場合でも噴流の広がりの変化を適当に仮定すれば上述の一般的解析値が実験値と比較的よく一致することが明らかになった。したがって設計に際してこれらの解析式を用いればエア・カーテンが所要条件を満すか

どうか計算だけによって推定しうることとなった。この報告はエア・カーテンの一般的特性の理論ならびに実験的研究に関するものである。

## 2. エア・カーテンの特性に影響する諸元

## 2.1 噴流の形

文献(8)に例示されているようにエア・カーテンのなかには噴流を横から吹出して上下に吸込むような変則的な形式も種々考えられているけれどもこれらは性能上とくに特長的な利点を持つものではないからもっとも一般的な上部吹出、下部吸込の形式だけ考えることにする。

またこの吹出および吸込口を結ぶ管路についても、実際のエア・カーテン設備では(a)閉じた管路を用いる場合、(b)大気中から吸込み大気中に吹出す開いた管路を用いる場合の二つが実用されている。定常的な平衡状態において(a)の形式では吹出流量と吸込流量とが等しく、室内に出入する流れはないが、(b)の形式で送風機と管路の組合せが悪いときには室内に出入する流れが存在しう。これは室内を冷暖房しているときはもちろん、そうでない時にも好ましいことではない。吹出量と吸込量とが異なる場合は異常な状態であるからわれわれの実験では(a)の場合のみを考察することにした。

## 2.2 幾何学的寸法

エア・カーテンの流れは2次元的と考えることができ、図2.1の紙面に垂直方向の噴流幅 $l$ は一定で、その大小はほとんど特性に影響しない。しかし同図に示された六個の量、すなわち吸出口幅 $A_0$ 、吸入口幅 $S$ 、高さ $D$ 、吹出口と吸込口の食違い長さ $L$ 、

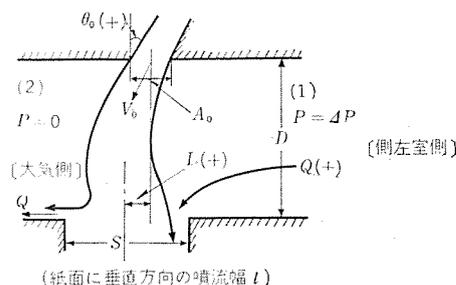


図 2.1 エア・カーテンの一般的断面図  
Fig. 2.1 Air-curtain configuration.

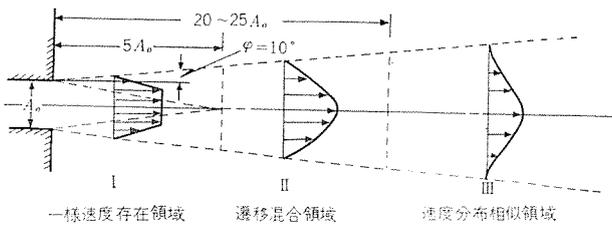


図 2.2 噴流の中の流れの状態 (矢印は速度分布を示す)  
Fig. 2.2 Flow pattern in a jet.

噴流速度  $V_0$  および吹出角度  $\theta_0$  はいずれも噴流の特性を左右する重要な量となる。もちろんこれらの諸量の間には相関関係がありエア・カーテンに要求される特定の条件に対してこれらの諸量がすべて一義的に決ってしまうわけではない。

例えば高さ  $D$  は人の出入あるいは搬入される荷物の大きさなどの条件によって適宜事前に設定することができる。吹出口幅  $A_0$  も他の量と関連はあるがある範囲の値を任意にとることができる。しかし一般に噴流は図 2.2 の様に三つの領域から成り各領域はそれぞれ異なる特性を持っているので噴流の全領域を一体として一般的に取扱うのは好ましくない。さらにまた実際エア・カーテンの計画上重要なこととしてこのような噴流のなかを人や荷物が通過するため  $V_0$  や  $\theta_0$  等を余り大きくはとれないことがあげられる。したがって側風に対する抵抗力を増加させるためには  $A_0$  を大きくしておかなければならない。すなわち建物の出入口等においてある程度側風をささぎる作用を要求される通常のエアは、縦横比  $D/A_0$  に余り大きな値をとりえないことになりエア・カーテンでカーテンに実現する噴流はほとんど図 2.2 の領域 I に属するものに限れると考えてよい。実際このような目的のエア・カーテンには高さ  $D=2$  m, 吹出口幅  $A_0=1$  m 程度の縦横比の比較的小さい形式がしばしば用いられるがこの場合でも側風の影響はかなり大きく噴流速度 3 m/s で吹出口に直角に吹出させた場合 5 m/s の側風によって完全に吹飛ばされてしまうようになる。これらの理由のためにこの研究では領域 I のエア・カーテンに考察を限り縦横比を  $D/A_0=2$  および 4 に定めることにした。

側風がない時には吸込口幅  $S$  を任意に変えても室内外に出入する流量は零であって性能に影響はない。しかし側風によって噴流が曲げられる時には  $S$  が大きいほど室内に出入する流量が小さくシャ断効果が大きいと考えられる。したがって実験的には  $S$  をできるだけ広い範囲に変化させるのが好ましいが実際設計上には当然限界があるのでこの実験においては  $S=A_0/2, A_0, 2A_0$  を採用することに決定した。

吹出口と吸込口の食違い長さ  $L$  は実際のエア・カーテンではほとんどつねに零にとられるが、 $L$  を適当に変えることによって側風の侵入を防ぐことももちろん可能であるからここでは実現しうる範囲として  $L=0, \pm 2A_0$  の三種類を選び食違いの影響をしらべることにした。

噴流の吹出角度  $\theta_0$  を変えてエア・カーテンの側風に対する抵抗力を増すことは有効で実現可能な方法であるから実験的には広い範囲にわたって  $\theta_0$  を変化させるのが好ましいがここでは実際的な値として  $\theta_0=0^\circ, 23^\circ, 37^\circ$  の三つの場合について実験を行なうことにした。

### 2.3 空気力学的相似

2.2 においてエア・カーテン各部の寸法に対する適当な実験範囲を吹出口幅  $A_0$  を基礎として与えたが、この  $A_0$  と噴流の吹出速度  $V_0$  とは空気力学的相似性を考慮して決める必要がある。われわれはこの実験結果を直ちに実機に適用出来る様に両方の Rey-

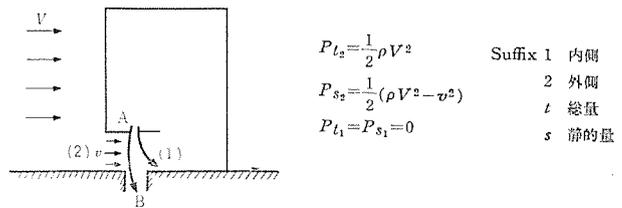


図 2.3 側風速と側風圧の関係  
Fig. 2.3 Relation between side wind velocity and side pressure.

nolds 数を一致させることにした。このような考慮から吹出口の大きさは 10 cm × 50 cm, 風速は 10~40 m/s に決定した。

### 2.4 側風

建物の入口に設けられた実際のエア・カーテンに対する側風の影響を調べるにはエア・カーテンに直角方向の側風分速度を知ればほぼ充分である<sup>(7)</sup>。しかし実験装置の中で側風の影響を風速の形で直接与えるためにはかなり大形の装置を必要とする。一方、実機エア・カーテンに側風が当たる場合をモデル的に表示すると図 2.3 のように側風がない時には室内外の圧力が相等しく噴流の曲がりはなく、風速  $V$  の側風があるときにはエア・カーテン近傍の流れはいわゆるよどみ点近傍の流れをなし図 2.3 の (2) の側に外風による動圧  $\rho V^2/2$  とほとんど等しい大きさの圧力が働くように考えることができる。直接にはこの圧力によって噴流が曲げられるのであり側風は圧力という形を通して噴流に影響するのである。従ってこの研究では実験上の便宜を考慮し側風速  $V$  を与える代りに噴流への側圧を与えることにした。以上のように実際のエア・カーテンが側風にさらされるときには側圧の形で影響を受けることとなるが、カーテンのごく近傍に着目すると外風の侵入に相当する速度分布が依然存在し圧力値自身はそれにともなって図 2.3 の A 点から B 点まで連続的に変化する。しかしながらこの変化する側圧を実験的に測定することは難しいだけでなく余り実用的でもない。また AB 間の (2) 側に働く圧力は恐らく総圧  $P_{t2} = \rho V^2/2$  と静圧  $P_{s2} = \rho(V^2 - v^2)/2$  の間の適当な値に落ち着くと考えられるので、この実験では側圧として側圧室の静圧と総圧の両方の影響を試験することにした。実用的にもこの二つの圧力を採用するのが好都合である。

## 3. 実験装置

図 3.1 に装置の平面図を示す。装置は大別して、いわゆるエア・カーテン噴流の流れる主風路とこれに側圧をかけ外風に対応する流れを作るための側風路からなりたっている。図の左側が主風路、右側が側風路である。

### 3.1 主風路

定格値 90 m<sup>3</sup>/min, 75 mmAq の遠心ラウフで起された流れは流量調節弁を通った後貯気そうにはいり、ここから収縮管部を通してエア・カーテン噴流として吹出す。この主噴流の流量は収縮管直前の V 点における中心速度測定値から求めた。すなわち任意の流量に対して風速計を吹出口に近い断面内に走査させて風速分布を測定し、これを積分した流量と V 点の中心風速との関係をあらかじめ校正しておき、これを用いて簡単に主噴流流量を算出した。

噴流部の吹出口幅  $A_0=10$  cm, 側圧のかかる側の噴流幅  $l=50$  cm はともに一定の値であるが吸込口幅  $S$  は 5, 10, 20 cm の三種類に変化させることができるようにした。噴流の高さ  $D$  も可変であるがこの実験では 20, 40 cm の二種類に限定した。吹出口には可変ピッチの案内羽根列をつけ流れの噴出方向  $\theta_0$  を任意に

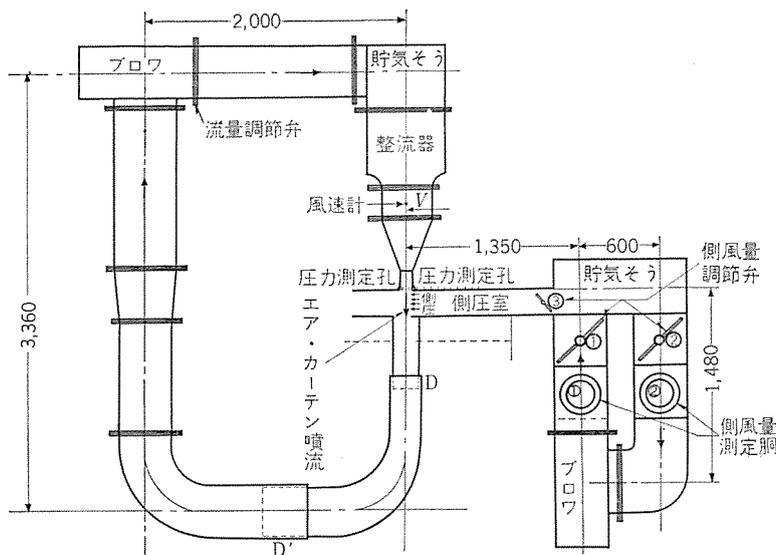


図 3.1 実験装置全体の平面図  
Fig. 3.1 Test apparatus.

変えるようにした。もちろん流れの噴出方向は案内羽根の偏向角より小さいので噴出方向は実測しなければならない。吸込口断面は左右それぞれ 20 cm の長さだけ移動可能で吹出口と吸込口が食違っている場合の実験も行うことができるようになされている。

吸込口の左右への移動や高さの変更による管路の変化は図 3.1 の D、D' の部分で管をすべらせることによって行なわれる。またこれらの可動部や流量調節弁における空気の流れは適当な形のネオ・プレン又はフェルト・パッキングによって完全に防止されている。

### 3.2 側風路

主風路に用いたと同一性能のブロウによって駆動された風は貯気そうに入った後側風量調節弁③を通してエア・カーテン噴流に側圧を加える。噴流に対する側風がなるべく均一な流れになるようにするため貯気そう下部に流入した流れが上部から流出するようになされている。

エア・カーテン噴流に、ある側圧をかけると噴流は曲げられ、それともなってある側風量が噴流部を通して出入する。この側面風量は側風路から供給されねばならず、それはまた外部から側風路へ出入することによって補なわれなければならない。このため図 3.1 の紙面に垂直方向に側風量測定胴①、②を設け、この何れかを大気に開放することによって側風量を補給すると同時にその値を測定するようにした。たとえば図 3.1 のように吹出口と吸込口が正対している状況で側圧として正の圧力を加えると側風はエア・カーテン噴流を押し曲げて吸込口あるいは外部に向かって流出する。この場合には側風量測定胴①を閉じ②を開放し、側風量調節弁を調節することによって必要な正の圧力をかけるとともに測定胴②を通して側風路に流入する側風量を胴②において測定するのである。又負の圧力を加えたい時には逆に測定胴①を開放し②を閉止することによって達成でき、側風は測定胴①を通して側風路から外部へ流出するから、胴①において流量を測ればよいのである。側風量測定胴は内径 22 cm、長さ 150 cm の円管で両端はベルマウス状に作られている。実験の際の流量測定は管の中心に置いたサーミスタ風速計によって行なったが、この場合にもあらかじめピトー管を走査させることによって正確に求めた速度分布から流量を算出し、この流量と測定胴中心位置に於けるサーミスタ風速計指示値との校正曲線を種々の Reynolds 数に対して求めておいてこれを使用するようにしたので測定値自身は正確である。

エア・カーテン噴流への側風の影響を側圧の影響に転化し得るこ  
エア・カーテンの研究・斎藤・杉原

とはすでに述べた通りである。したがって実験的には噴流に種々の大きさの側圧を加えることが必要でこのために図 3.1 の側風量調節弁①、③、②が取り付けられている。

これらの弁の操作によって側圧室の圧力は任意の値に設定しうるのである。実際のエア・カーテンに使用する側圧は建物の高さやエア・カーテンの設置位置によって多少の不規則さはあるが、ほぼ一様と考えられる<sup>(7)</sup>からこの実験では基礎資料としてできるだけ一様な側圧をかけるように考慮し図 3.1 のように比較的大きな側圧室を設けたのである。この側圧の値は重要な量であるから存在するならばその分布は正しく知っておく必要があるので噴流の吹出口側壁および底面に合計 80 個の側圧測定孔を設けて圧力分布を測定しうるようにしたが任意の実験条件に対しての圧力分布はほぼ一様であることが確かめられたので最終的には数個の点の測定値の算術平均をもって側圧とすることにした。

なお図 3.1 の点線のようにエア・カーテンの高さ変更にもなって側圧室の断面が弁③における管路の断面より大きくなるような場合には適当な拡大用案内羽根を使用し、圧力分布を一様ならしめるように考慮した。

## 4. 計測法

### 4.1 圧力測定

噴流の両側にかかる側圧は重要な測定量の一つである。また流量測定においても最終的にはサーミスタ風速計を使用したはその校正曲線を求める方法はピトー管による圧力測定に依存している。これらの圧力はいずれも高々数十ミリメートル水柱程度の小さい値であるだけでなく多点の圧力を同時に測ることが必要とされる。このような目的のために新しく精密傾斜形多管圧力計を製作これを使用した。

これは管数 10 本、長さ 30 cm、最大測定可能液柱 15 cm で液留タンクを任意の高さに調整することによって正負両方の圧力を測りううようになっている。測定管には内径精度のよいものを選んでから内径誤差にもとづく測定誤差は極めて小さく、またタンク内の液面移動も管内液面変動の総和の 1/1,000 程度とし測定中の零点変動も極めて小さいように設計されている。なお、一層高い精度を望む時には 10 本中 1 本を基準管として液面指示用に用いれば圧力測定を全く厳密に行なうことができる。

測定圧力用の封液には何を用品いてもよいが低圧測定には通常アルコールまたは蒸留水が用いられる。しかし、これらはどれも表面張力が比較的大きいため管内の多少のよごれが精度に大きく影響する。そこでわれわれはこのような誤差をなくするために適当な表面活性剤を使用した結果測定精度をゲッチェン形圧力計とほとんど同じ程度に高めることができた。

ゲッチェン形圧力計は時間的に変動する圧力測定に対して不便であるがわれわれの傾斜形多管圧力計はこの点でも極めて使い易いので実際の圧力測定を正確かつ容易に行なうことができた。

### 4.2 風速測定

主風及び側風の風量もこの実験の重要な測定量の一つである。実際には実験回数が相当多いので測定管中心風速だけを測定し、この測定値とあらかじめ求めた校正曲線とから真の流量を求めるようにしたことはすでに述べた。この中心速度の測定にピトー管を使うことは手数でな好ましいことではない。そこでわれ

われは三菱 TA-1 形 サーマスタ 風速計を用いた。

さて、サーマスタ 風速計による測定では厳密にいうと液体の種類、圧力、温度などによって液化し、たとえ風速が同じでもその測定値は異なってくる<sup>(2)</sup>。まず液体の種類については、この実験においてもサーマスタ 風速計の校正条件と同様に空気を使っているから問題はない。次に圧力については流れの静圧 100 mmAq の場合、風速にはほぼ 1% 程度の測定誤差がはいてくるのがわかっているが、この実験では最高数 10mmAq、常用 20 mmAq 程度であるからこれによる誤差は殆ど問題にならない。温度については風速計自体に温度補償用の調整器がついており、それによる誤差は 2% 以下と見積られている。このようにして測定に使用した風速計による測定値は 2% 以下の誤差範囲以内で十分正確と考えてよい。

## 5. 実験結果

エア・カーテン に関して一般的な結論を得るために相当広範な実験を行なった。われわれの研究の目的は前述のようにエア・カーテン噴流に側風が当たる場合、如何なる量の外気が室内に入出入するかという実際の問題であり、さらにその結果から一般的なエア・カーテン設

表 5.1 各実験の際の諸量

実験番号	種類	L (吹出口と吸込口との食違い)	D (高さ)	S (吸込口幅)	$\theta_0$ (吹出角) (度)	$Q_0$ (流量)	$V_0$ (平均流速)
1	I (傾き、食違いのない場合)	0	0.2	0.2	0	1.840	36.80
2				0.2	0	1.215	24.30
3				0.1	0	0.610	12.20
4				0.1	0	1.740	34.80
5				0.05	0	1.150	23.00
6				0.05	0	1.195	23.90
7			0.4	0.2	0	1.740	34.80
8				0.2	0	1.150	23.00
9				0.1	0	0.590	11.80
10				0.1	0	1.665	33.30
11				0.1	0	1.165	23.30
12				0.05	0	0.575	11.50
13				0.05	0	0.640	12.80
14	II (ある食違い)	-0.2	0.2	0.2	0	1.767	35.34
15						1.166	23.32
16						0.614	12.28
17						1.730	34.60
18						1.280	25.60
19	0.625	12.50					
20	III (傾きある場合)	0	0.2	0.2	23	1.680	33.60
21						1.180	23.60
22						0.582	11.64
23						1.665	33.30
24						1.200	24.00
25						0.577	11.54
26						0.4	0.2

計指針を確立することにある。すなわち実験的にいえば側室内の圧力  $P = \Delta P$  が正負の種々の値をとるときに側風流量  $Q$  が如何に変化するかを調べることによって噴流特性を論ずることである。

求める  $\Delta P \sim Q$  曲線はもちろん噴流の物理量および幾何学的形状によって異なってくる。この実験では噴流幅  $A_0$  を 10 cm の一定値にとったが高さ  $D$ 、吸込口幅  $S$ 、吹出口と吸込口の食違い長さ  $L$ 、吹出口における噴流の噴出角  $\theta_0$  および噴流の流量  $Q$  を種々の値に変化させている。

実験条件を配置によって大別すると (I) 吹出口と吸込口の食違い及び噴流の噴出角が零である最も普通の場合、(II) 食違いのある場合、(III) 噴流が斜めに吹出される場合の三つである。表 5.1 に実験を行なった種々の場合を表にして示してある。

同表のように合計 26 の場合について実験を行なったが、そのうち最も一般的に用いられている I の場合の実験結果の一例を図 5.1 に例示する。(実験番号 1)。

図 5.1 の横座標  $\Delta P$  は図 2.1 の (1) の側、すなわち側室内の圧力と (2) の側すなわち大気側との圧力差で (2) より (1) の方が大きい時正にとってある。縦座標  $Q$  は (1) の側より噴流または大気中に吹出す流量を正とし、噴流または大気が (1) 側に吹込む場合を負にとってある。

主風および側風の流量はそれぞれ 3.1, 3.2 で述べた方法で測定したものである。また側圧  $\Delta P$  は 2.4 で述べたように噴流に作用している側圧を正確に測定することが困難なため静圧および総圧によって実験値を整理した。

すなわち、側風流量  $Q$  が正の場合はこの流量が一樣速度で噴流にあたるものとし  $P_{t1} = P_{s1} + \rho(Q/Dl)^2/2$  から総圧を求め、 $\Delta P$  には  $(P_{t1} - P_{s2})$  と  $(P_{s1} - P_{s2})$  を採用した。 $Q$  が負の場合も同様にして  $P_{t2} = P_{s2} + \rho(Q/Dl)^2/2$  から総圧を求め  $\Delta P$  には  $(P_{s1} - P_{t2})$  と  $(P_{s1} - P_{s2})$  を採用した。

## 6. 実験結果の検討

図 5.1 の実験では吹出口と吸込口が対称であるから側圧の正負に応じて侵入外気も正負符号が逆になるだけで絶対値は同じはずである。実際この実験結果も原点中心にはほぼ完全に対称となっている。

次に、われわれはこの実験値を説明し得る計算式を求めなければならないが、先にも述べたようにエア・カーテンに使われているような噴流を粘性、乱れ及び吸込口の影響をすべて考慮に入れて一般的に解くことは困難であるから、われわれはこれらの影響を適宜斗酌しながら、流れ自身は理想流体の流れに従うものと考えて解析することにした。

さらに、この解析にあたって考え方を二つの段階に分ける。すなわち、第 1 に噴流の側圧による曲がりには吸込口や床面の存在に影響されぬものとする。すなわちそれがない場合の噴流に一樣側圧  $\Delta P$  がかったものとして計算できると仮定する。第 2 にそのようにして計算した噴流が吸込口を持つ床面に当たると噴流は前方、後方に適宜分流するが、分流の仕方は噴流の曲りとは独立に計算できると仮定する。

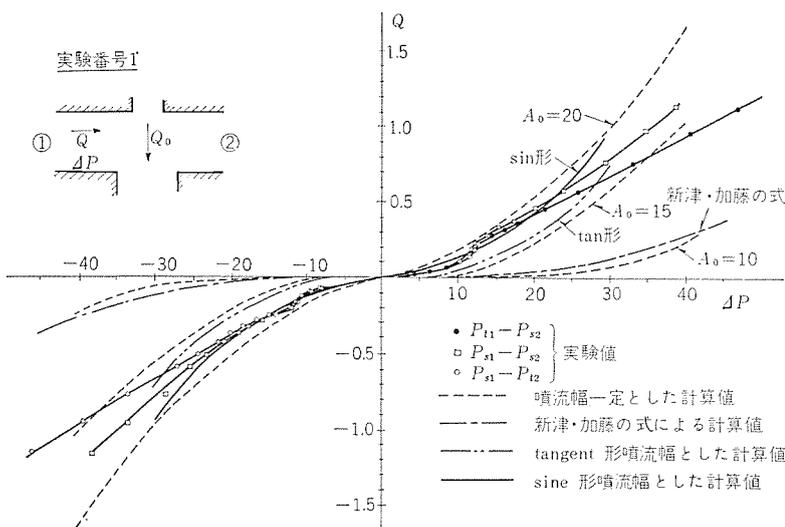


図 5.1  $L=0, D=0.2, S=0.2, \theta_0=0^\circ, Q_0=184$  の場合の実験および計算結果  
Fig. 5.1 Experimental and theoretical results in experiment No. 1.

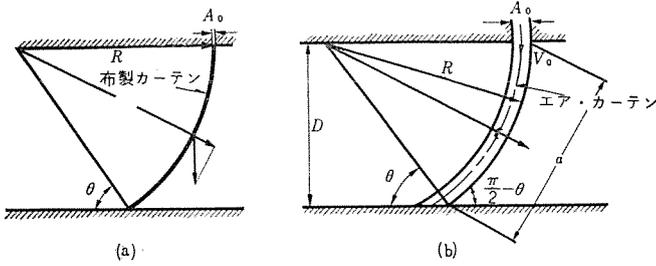


図 6.1 布製カーテンとエア・カーテンの比較  
Fig. 6.1 Relation between ordinary cloth-curtain and air curtain.

### 6.1 噴流幅一定とした解析結果との比較

エア・カーテンはその名の様に空気で作られたカーテンであるが一名エア・ドアーともいわれる。外風の強弱に応じて噴流の傾き、吹出口や吸入口の位置などを変更して外風の侵入を完全にシ断させる場合はエア・ドアーといえるが外風に応じて噴流が流される場合はエア・カーテンの域を出ない。しかし、エア・カーテンの場合にも、もちろん外風に対する抵抗は存在する。

さて普通の布製のカーテンもエア・カーテンと同様に側風に対して或る抵抗力を生ずるが、この場合の抵抗はカーテンの重量  $W$  に基づくものである。すなわち図 6.1 (a) に示すようにカーテンが円弧状に曲げられて側風とつり合っているとすれば、カーテンの密度を  $\rho$ 、厚さを  $A_0$ 、単位面積当りの風圧を  $\Delta P$  で表わして平衡の条件から直ちに  $\Delta P = \rho A_0 \sin \frac{\theta}{2}$  の関係が求められる。すなわち、同じ偏奇状態で大きな風圧に耐えさせるには、カーテンの密度又は厚さを大きくしなければならない。

一方エア・カーテンは曲げられた噴流の遠心力によって側圧に抵抗するのである。したがって、布製カーテンのように密度や幅だけでなく、その曲率半径及び噴流速度も抵抗力に直接影響することとなる。

そこで先ず最も簡単な噴流の模型として粘性や乱流による拡散のない理想的な噴流を考える。すなわち図 6.1 (b) のように吹出口幅  $A_0$  と等しい一定幅のエア・カーテンが曲率半径  $R$  で曲げられているものとする。またエア・カーテンは 2 次元的で紙面に垂直方向には  $l$  の長さをもち一定速度  $V_0$  で流れているとする。今エア・カーテン中心面上に単位面積を占める流れの部分の考えるとその質量は  $\rho A_0$  であるから、この部分がもつ遠心力は  $\rho A_0 V_0^2 / R - \frac{A_0}{2}$  となる。ただし  $\rho$  は空気の密度を表わす。実際に外力が加わるのは噴流の外側の面であり曲率半径  $R$  は  $D / \sin \theta$  で表わされるからエア・カーテンの外側の面が持つ単位面積当たりの遠心力  $\Delta P$  は

$$\Delta P = \frac{\rho A_0 V_0^2 \left( R - \frac{A_0}{2} \right)}{\left( R - \frac{A_0}{2} \right) R} = \frac{\rho A_0 V_0^2}{R} = \frac{\rho A_0 V_0^2 \sin \theta}{D}$$

となる。

この結果は流体力学的な運動量の法則を用いても同様に求められる。

この結果によるとエア・カーテンでは偏奇状態が  $\rho, A_0, V_0, D$  等種々の量によって変化することがわかる。実際には  $\rho$  や  $D$  には余り任意性はないが  $A_0, V_0$  は適当に選ぶことができる。もっとも  $V_0$  は使用箇所によっては余り大きくすることはできないし、消費動力の上からいっても  $V_0$  を大きくするよりは  $A_0$  を大きくして流量を増す方が有利である。

上式の考え方はさらに一般的な場合に対しても成立し図 6.2 のように噴流に逆らって側圧が加わる場合に適用すると次の結果を

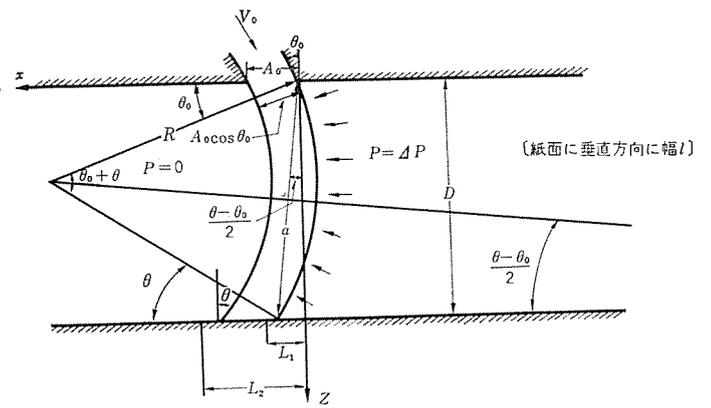


図 6.2 噴流に逆らって側圧のかかる場合のエア・カーテン  
Fig. 6.2 General air curtain configuration against sidewind.

得る。

$$R = \frac{\rho A_0 V_0^2 \cos \theta_0}{\Delta P} = \frac{\rho Q_0^2}{\Delta P \cdot A_0 l^2 \cos \theta_0} \quad (6.1)$$

$$\sin \theta = \frac{D}{R} - \sin \theta_0 \quad (6.2)$$

したがって図のように高さ  $D$  の吹出口から吹出した噴流の端が床面に当たる位置  $L_1$ 、および  $L_2$  は

$$L_1 = R(\cos \theta_0 - \cos \theta) \quad (6.3)$$

$$L_2 = L_1 + \frac{A_0 \cos \theta_0}{\cos \theta} \quad (6.4)$$

として求められる。

また噴流と同じ向きに側圧がかかる場合に対しても同様にして次式を得る。

$$R = \frac{\rho A_0 V_0^2 \cos \theta_0}{\Delta P} = \frac{P Q_0^2}{\Delta P \cdot A_0 l^2 \cos \theta_0} \quad (6.5)$$

$$\sin \theta = \sin \theta_0 + \frac{D}{R} \quad (6.6)$$

$$L_1 = R(\cos \theta_0 - \cos \theta) \quad (6.7)$$

$$L_2 = L_1 + \frac{A_0 \cos \theta_0}{\cos \theta} \quad (6.8)$$

すなわち  $A_0, \theta_0, l, D$  等の形状寸法及び噴流の密度  $\rho$ 、流量  $Q_0$  が与えられたエア・カーテンに、ある側圧  $\Delta P$  が加えられた噴流が湾曲するとき、その形状は円弧状になり、曲率半径  $R$  は式 (6.1) 又は式 (6.5) によって一定に決められる。したがって気流が床面に当たる位置  $L_1, L_2$  および入射角度  $\theta$  も式 (6.2), (6.3), (6.4) または式 (6.6), (6.7), (6.8) によって幾何学的に与えられるのである。

かくして噴流が床面に当たる位置及び角度がわかったから次にこの分流のしかたを考える。図 6.3 (a) のように流量  $Q_0$  の流れが床面にあたる時、前方および後方に分流する流量をそれぞれ  $Q_f$  および  $Q_b$  とすれば簡単な考察からこれらが次式で表わされることが示される。

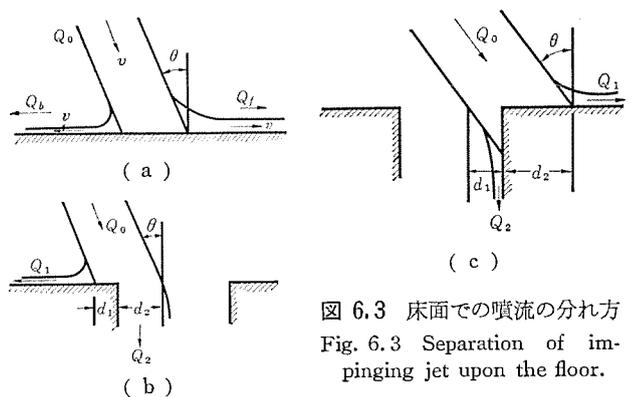


図 6.3 床面での噴流の分れ方  
Fig. 6.3 Separation of impinging jet upon the floor.

$$\left. \begin{aligned} Q_f &= \frac{Q_0}{2}(1 + \sin \theta) \\ Q_b &= \frac{Q_0}{2}(1 - \sin \theta) \end{aligned} \right\} (6.9)$$

この考え方を応用すれば底面に吸込口のある場合も処理することができる。例えば図 6.3(b) の場合には噴流の変位  $L_1, L_2$  と吸込口位置とから図の  $d_1, d_2$  が決定され、 $Q_0$  の中の  $d_2$  に相当する部分はそのまま吸込まれるが  $d_1$  に相当する部分の分流量は上の考え方にしたがって次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= Q_0 \frac{d_1}{d_1 + d_2} \frac{1}{2} (1 - \sin \theta) \\ Q_2 &= Q_0 \frac{d_2}{d_1 + d_2} + Q_0 \frac{d_2}{d_1 + d_2} \frac{1}{2} (1 + \sin \theta) = Q_0 - Q_1 \end{aligned} \right\} (6.10)$$

又図 6.3(c) の場合の  $Q_1$  としては  $Q_2$  中の  $d_2$  に相当するものうち  $Q_1$  方向に分流する部分および  $d_1$  に相当するものうち上方にはね返って来る部分を考慮しなければならない。このようにして図 6.3(c) に対しては式 (6.11) が成立する。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= Q_0 \frac{d_2}{d_1 + d_2} \frac{1}{2} (1 + \sin \theta) + Q_0 \frac{d_1}{d_1 + d_2} \frac{1}{2} (1 - \cos \theta) \\ Q_2 &= Q_0 \frac{d_2}{d_1 + d_2} \frac{1}{2} (1 - \sin \theta) + Q_0 \frac{d_1}{d_1 + d_2} \frac{1}{2} (1 + \cos \theta) \\ &= Q_0 - Q_1 \end{aligned} \right\} (6.11)$$

以上噴流の変位に関する式 (6.1)~(6.8) 及び分流に関する式 (6.9)~(6.11) 等を用いると側風のために室内に侵入する流量  $Q$  を計算することができる。

しかし、側圧が大きくなって  $R$  が小さくなると式 (6.2) または式 (6.6) から  $\theta$  を求めることができなくなる。すなわち噴流が完全に吹飛ばされて床面まで達しなくなる。この場合には流れの様子が図 6.4 のようになるがその流量は次のようにして求められる。

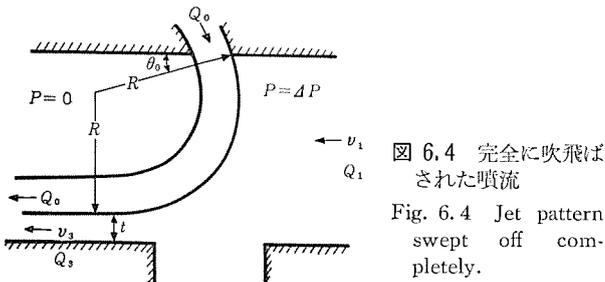


図 6.4 完全に吹飛ばされた噴流  
Fig. 6.4 Jet pattern swept off completely.

同図において室内外に出入する流量  $Q_1$  には噴流の全流量  $Q_0$  の他に  $t$  に相当する部分の流量  $Q_3$  が含まれる。この  $Q_3$  を求めるにはこの部分の圧力が噴流内側の圧力と等しく流れは床面に平行で、かつ損失がないものと仮定してベルヌーイの式を適用するのである。このようにして  $Q_1$  は次式で与えられることとなる。

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 + Q_3 \\ &= Q_0 + \frac{1}{1 - \frac{D^2}{D_0^2}} \left[ \frac{I^2}{D^2} Q_0 \pm I \sqrt{\left( \frac{Q_0}{D I} \right)^2 + J \left[ 1 - \left( \frac{I}{D I} \right)^2 \right]} \right] \end{aligned} (6.12)$$

$$\text{但し } I = [D - R(1 + \sin \theta_0)]V, \quad J = \frac{2\Delta P}{\rho}$$

また側風方向に吹出す場合にも式 (6.12) が成立する。ただし、この場合の  $I, J$  は次のようになる。

$$I = [D - R(1 - \sin \theta_0)]V, \quad J = \frac{2\Delta P}{\rho} (6.13)$$

さて、以上の計算方法を図 5.1 の実験条件に適用した結果が図中点線で示されている。  $A_0=10$  の曲線が吹出口幅  $A_0=10$  cm の場合の計算値で今の実験の条件に合致するものであるが計算値と実験値とは十分な一致を示していない。これは計算において噴流幅がいたるところ一定と仮定したことにもとづいている。すなわち、吸込口近くにおける噴流幅が吸込口幅にくらべてかなり小さ

くなりある範囲の側圧  $\Delta P$  によって噴流が偏奇しても底面にあたることなく噴流全体がそのまま全部吸込口に吸込まれ、側圧室流量がいぜんとして零に保たれる状態がありうるのに対し実験では僅かの側圧に対して有限の側圧室流が現われることにもとづくものと考えられる。これは実際の噴流には拡がりがあり底面付近ではほぼ吸込口幅に等しくなることを示している。

そこで噴流の流量を一定としその幅を吸込口幅と同じく 20 cm とした場合及び吹出口との平均幅 15 cm に等しいと仮定した場合についても計算を行ない、その結果を  $A_0=20, 15$  の曲線として図 5.1 に併記した。これらと比較すると実験値はむしろ  $A_0=20$  の計算結果に近いことがわかる。しかし実験曲線と計算曲線の割合は余りよく一致せず実験値は  $\Delta P$  が小さい時は  $A_0=20$  cm の曲線、 $\Delta P$  が大きくなるに従い  $A_0=15$  あるいは  $A_0=10$  の計算曲線に近づいている。したがって  $\Delta P$  の広い範囲にわたりこれ等の計算値と実験値との比較から設計指針となるような画一的かつ合理的な結論を見出すことは困難である。

なお、この実験のように噴流速度が比較的大きい場合の実験曲線の特長として  $\Delta P$  の小さい所で上方に凹となることを見出される。これは噴流断面内の速度分布が一様でなく自由噴流の場合のように誤差関数に似た分布をもつためであると考えられる。

## 6.2 新津・加藤の方法による解析結果との比較

新津・加藤両氏はエア・カーテンの特性について種々研究を実施しているがその第 6 報に側流及び側圧を受ける噴流の偏奇特性を取扱っている。われわれの計算ではエア・カーテン噴流に一樣側圧が加わった場合を考察しているが両氏は噴流の外側に沿って流れがあり噴流方向に静圧分布が存在することを考慮に入れている。任意の外圧に対して吹出角度、吸込口位置の変更によって外風の侵入を全く阻止するのでもなければ、後者の方が多少合理的と思われる。そこで図 5.1 の実験条件に対し、両氏の方法による検討を行なった。

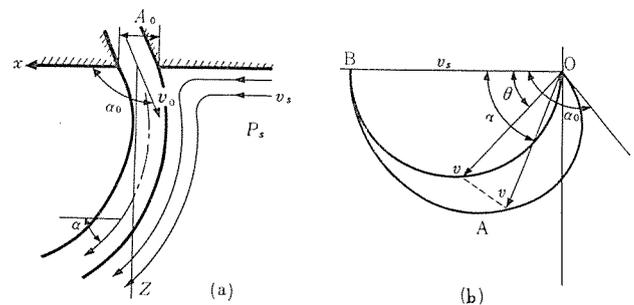


図 6.5 側流および側圧のかかった噴流の形とそのホドグラフ  
Fig. 6.5 Jet pattern and its hodograph under side flow and side pressure.

両氏の考え方の概略及び結果は次の通りである。図 6.5(a) に示すように噴流は風速  $v_s$ 、圧力  $P_s$  の一樣流にさらされその噴流と側流は完全流体のウズ無し流れで両者は混合しないと考える。このとき噴流に沿う側風のホドグラフは図 6.5(b) の OAB 曲線のようになるが  $V$  の変化は次式で与えられると仮定する。

$$v = v_s \cos \frac{\alpha}{m} = v_s \cos \frac{\pi}{2} \frac{\alpha}{\alpha_0} = v_s \cos \theta$$

またこの流線にベルヌーイの定理を適用すると次式を得る。

$$P = \frac{1}{2} \rho v_s^2 \sin^2 \theta + P_s$$

すなわち噴流に対してその流れ方向に漸変する圧力  $P$  が側圧として働くものとするのである。この噴流の微小部分に運動量の法則を適用し、積分すれば噴流の形が求められるがその積分は容易

でない。そこで多少大胆ではあるが簡単化のために特別の場合として、

$$P = P_s \sin^2 \theta$$

を仮定し、次式を導びいている。

$$x = -\frac{\rho A_0 \cos \beta_0}{P_v + P_s} u_0^2 m \int_{\pi/2}^{\theta} \frac{\cos m\theta}{\sin^2 \theta} d\theta$$

$$= -\frac{\rho Q_0^2 m}{A_0 \cos \beta_0^2 P_t} \int_{\pi/2}^{\theta} \frac{\cos m\theta}{\sin^2 \theta} d\theta = -\frac{\rho Q_0^2 m}{A_0 \cos \beta_0^2 P_t} X \quad (6.14)$$

$$z = -\frac{\rho A_0 \cos \beta_0}{P_v + P_s} u_0^2 m \int_{\pi/2}^{\theta} \frac{\sin m\theta}{\sin^2 \theta} d\theta$$

$$= -\frac{\rho Q_0^2 m}{A_0 \cos \beta_0^2 P_t} \int_{\pi/2}^{\theta} \frac{\sin m\theta}{\sin^2 \theta} d\theta = -\frac{\rho Q_0^2 m}{A_0 \cos \beta_0^2 P_t} Z \quad (6.15)$$

但し  $P_t = P_v + P_s = \frac{1}{2} \rho v_s^2 + P_s =$  側風総圧

新津・加藤両氏は図式積分によって上式の  $X, Z$  を求めその関係曲線を与えている。したがって噴流の所要物理量および側風総圧が与えられれば上式から エア・カーテン の変位が計算でき、 $X-Z$  曲線から流れの角度  $\alpha$  を求めることができる。さらにこの計算と 6.1 に述べた分流計算を用いると側風総圧  $P_t = \Delta P$  に対する側風流量  $Q$  が求められる。図 5.1 の実験条件に対しこのようにして計算した結果を同図に破線で示した。この結果から明らかなようにこの方法による計算値も一樣側圧の計算結果とほぼ同じになり十分実験値を説明することができない。

この新津・加藤の方法も究極的にはやはり一定幅噴流を考えた基礎におき、ただ側圧が一樣ではないとしたところにわれわれの方法との差があるが後者の影響はわずかであるから実験との不一致はむしろ当然のことと思われる。

### 6.3 tangent 形噴流幅とした解析結果との比較

以上の推論によって噴流の偏奇特性が噴流の幅に強く影響されることは明らかである。実際式 (6.1) においても曲率半径  $R$  が噴流幅  $A_0$  によって直接的に影響されることがわかる。

このほかにも噴流断面内の速度分布が一樣でないための影響ももちろんあるであろうがわれわれは簡単のために速度分布は一樣で噴流幅だけが変化するものとして考察を進めることにする。

噴流の幅が変化する場合にも側圧によるその曲がり方は 6.1 と同様の方法で考察することができる。すなわち図 6.6 の様に噴流

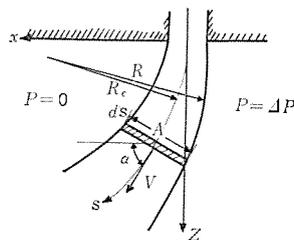


図 6.6 幅が変化する噴流  
Fig. 6.6 Notation of jet with variable width.

の長さ方向に厚さ  $ds$  の微小部分を取りその幅を  $A(s)$  とするとこの微小部分については一樣幅噴流として得た解析式がそのまま適用される。すなわち図示した記号を用いて、

$$R_c = -\frac{ds}{d\alpha} = R - \frac{A}{2} = \frac{\rho Q_0^2}{\Delta P^2 A} - \frac{A}{2}$$

したがって

$$-\int_{\alpha_0}^{\alpha} d\alpha = \alpha_0 - \alpha = \int_0^s \frac{2 \frac{\Delta P^2}{\rho Q_0^2} A}{2 - \frac{\Delta P^2}{\rho Q_0^2} A^2} ds \quad (6.16)$$

を得る。これから噴流の条件および噴流の幅  $A(s)$  さえ与えられれば積分によって各  $s$  における噴流の角度  $\alpha(s)$  が求められる。 $\alpha$  が求まれば

$$x = \int_0^s \cos \alpha ds, \quad z = \int_0^s \sin \alpha ds \quad (6.17)$$

を用いて噴流中心線の座標  $x(s), z(s)$  を求めることができる。これから底面にあたる噴流の位置、角度等を求めるには与えられた噴流の高さ  $D$  に対して

$$z(s) = D \quad (6.18)$$

を満足する  $s$  を求め、この  $s$  に対する  $A, \alpha, x$  を求めればよい。この後側風量を計算するには 6.1 の分流計算法を用いればよい。

この計算を進めるためには噴流幅分布  $A(s)$  を与えなければならぬがわれわれはまず自由噴流を考え側圧がかかって曲げられた場合にもその幅分布は自由噴流のものと同じであると考え。しかし実際にはこの自由噴流の場合でも有限な吹出口幅をもつ噴流幅を厳密に算出することは難しい。Reichart は (a) 自由噴流の運動量は変化しない、(b) 噴流軸に垂直な断面上の運動量の分布は Gauss の誤差関数で表される、(c) 噴流の展開角は一定である、という仮定の下に噴流特性式を提案したがこの場合にもたとえば噴流混合域の幅等についての実験定数を導入する必要がある。新津・加藤両氏は平面噴流についてこのような実験定数を導入したがその結果は図 2.2 のように (a) 噴流の拡散角度は  $\varphi = 10^\circ$  と考えてよい、(b) 速度が噴出速度と等しいいわゆるポテンシャルコアは吹出口幅  $A_0$  の 5 倍の距離迄続くと考えてよいことを示している。

われわれは今の場合にもこの推論を適用し噴流幅分布が式 (6.19) にしたがるものと考え。

$$A(s) = A_0 \left( 1 + 2 \tan \varphi \cdot \frac{s}{A_0} \right) \quad (6.19)$$

この式の形からこの幅分布を tangent 形と呼ぶことにする。式 (6.19) を式 (6.16) に代入すると

$$\alpha = \alpha_0 + B \log_{10} \frac{2 - P \left( \frac{A}{A_0} \right)^2}{2 - P} \quad (6.20)$$

式 (6.20), (6.17), (6.18) を用いれば噴流中心線の床面上の位置及び角度が求められる。ただし、この場合噴流の足両端が床面にあたる位置の中心線からの距離  $\Delta X_l$  (左),  $\Delta X_r$  (右) は拡散角 ( $\varphi = 10^\circ$ ) があるために同一ではなく

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_l &= \frac{A}{\sin(\alpha - 10^\circ)} \frac{\sin 100^\circ}{2} = 0.49240 \frac{A}{\sin(\alpha - 10^\circ)} \\ \Delta X_r &= \frac{A}{\sin(\alpha + 10^\circ)} \frac{\sin 80^\circ}{2} = 0.49240 \frac{A}{\sin(\alpha + 10^\circ)} \end{aligned} \right\} \quad (6.21)$$

となる。

実際の計算は比較的面倒で数値積分を必要としわれわれは電子計算機 Bendix G-15 を利用して計算を進めた。

このような計算の一例として実験 1 の条件にしたがる計算の結果を図 5.1 に 2 点鎖線で示した。この結果を見ると計算値はなお多少実験値を下廻っているが  $A_0 = \text{const} = 10 \text{ cm}$  の曲線にくらべれば大幅に実験値に近づきかなり合理的な結果を示していることがわかる。また  $\Delta P$  が大きくなり噴流の足が吸込口から遠くなった範囲で一致がよくなることも認められる。

上の取扱いでは噴流断面の速度分布を一樣と仮定しているが厳密にはもちろん異なる。速度分布を考慮した算式の誘導は困難ではないが結果は冗長でありあまり実用的ではないので省略する。

### 6.4 Sine 形噴流幅の解析結果との比較

前節の結果からみても計算法にはなお多少改良の余地が残されている。その第一はまず吸込口の影響を考慮に入れることである。とくに噴流の足の近くに吸込口がある場合には吸込口の影響がかなり大きくなると思われる。噴流の足が吸込口に入る場合の実際

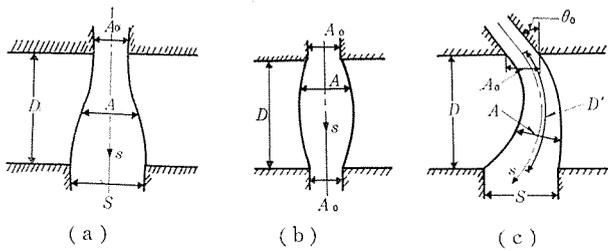


図 6.7 吸込口の影響を考慮して仮定した噴流の形  
Fig. 6.7 Assumed jet profile taking the suction into account.

の流線はやはりなめらかな曲線を示すはずである。そこでわれわれはこのような吸込口の影響を考慮し、しかも比較的取扱いの簡単な sine 形噴流幅分布を仮定してみた。すなわち図 6.7 (a) の噴流に対して

$$\left. \begin{aligned} A &= A_0 + (S - A_0) \sin \frac{\pi}{2} \frac{s}{D} \quad (s < D) \\ A &= S \quad (s > D) \end{aligned} \right\} \quad (6.22)$$

図 6.7 (b) の場合には吹出口における噴流の拡がり角が自由噴流と同じ展開角をもつものとして

$$\left. \begin{aligned} A &= A_0 + C \sin \pi \frac{s}{D} \quad (s < D) \\ A &= A_0 \quad (s > D) \end{aligned} \right\} \quad (6.23)$$

図 6.7 (c) の場合には、

$$\left. \begin{aligned} A &= A_0 \cos \theta_0 + (S - A_0 \cos \theta_0) \sin \frac{\pi s}{2D'} \quad (s < D') \\ A &= S \quad (s > D') \end{aligned} \right\} \quad (6.24)$$

の様に仮定するのである。

これ等の式と式 (6.16)~(6.18) とから噴流変位を求め、分流計算を用いて側風流量を計算する方法は既述の通りである。この場合に対してもわれわれは Bendix G-15 形電子計算機を用いて計算を行なった。

実験条件 1 に対するこの計算結果が図 5.1 に実線で示されている。この場合にも計算値と実験値とはよく一致し、とくに  $\Delta P$  が小さい所では予想通りよく一致を示しており実際の設計計算にも十分適用し得るものであることがわかる。ただ  $\Delta P$  が大きく噴流の側圧による変位が大きくなるとこの方法よりもむしろ tangent 形自由噴流計算の方がすぐれている。これは吸込口の影響が小さくなるので当然予想されることである。

## 7. む す び

以上われわれが行なった実験結果の一例について種々解析結果との比較検討を行なったがこのような検討は他の 25 個の実験結果についても広く同様に実施した。その結果一般的結論として次の事項があげられる。

(1) 噴流をその吹出口と同じ一定幅でかつ一様速度と考える計算方法では外風によるエア・カーテンの変位及びそれによって起る外風侵入量を正しく算出することができない。

(2) 新津・加藤両氏の取扱方法の如く外風による噴流への側圧が噴流に沿って変化すると考えても噴流幅を一定と仮定する限

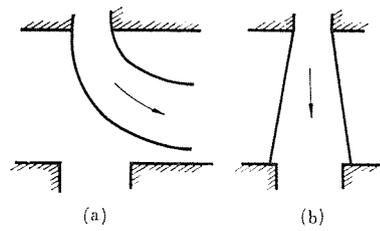


図 7.1 幅分布が tangent 形になる噴流  
Fig. 7.1 Jet with tangent-type distribution of width.

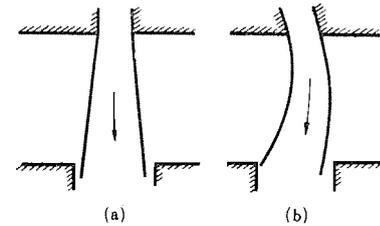


図 7.2 幅分布が sine 形になる噴流  
Fig. 7.2 Jets with sine-type distribution of width.

り計算値は実験値と一致しない。

(3) 図 7.1 に示した様に側圧が大きくて噴流が吸込口からかなりはずれるにいたった場合や自由噴流として求めた噴流幅が吸込口幅よりも大きいような場合には自由噴流形すなわち tangent 形噴流幅を仮定するのがよい。

(4) 図 7.2 の様に自由噴流として求めた噴流の足が吸込口に入ってしまう場合には sine 形噴流幅を仮定するのがよい。

(5) 吹出口と吸込口との食違いが大きい場合には tangent 形、sine 形のいずれを仮定してもよい。

(6) 吸込口近くを通る噴流と吸込口側壁とが平行に近い角度になる状態では吸込口の影響が大きくなり計算値と実験値の一致は必ずしもあまりよくない。

以上この研究によって得られた結論にもとづいてわれわれは一般的なエア・カーテンの性能計算ならびに具体的設計方法を確立することができたのでここにその概要を報告する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 内山隆夫・塚本信雄：「三菱電機」31, 955 (1957).
- (2) K. Akashi, Ogino & N. Kanto: Mitsubishi Denki Lab. Rep. 2, 439 (1961).
- (3) E. E. Gyax: H. P. A. C. 28, 146 (1956).
- (4) H. P. A. C 28, 97 (1956).
- (5) Refr. Eng. 64, 49 (1956).
- (6) H. P. A. C. 29, 112, (1957).
- (7) 新津靖, 加藤孝夫: (第 1 報)「衛生工業協会誌」32, 587 (1958); (第 2 報) 34, 78 (1960); (第 3 報) 34, 876 (1960); (第 4 報) 34, 883 (1960); (第 5 報) 34, 891 (1960); (第 6 報) 35, 267 (1961); (第 7 報) 35, 273 (1961).
- (8) 井上宇市:「衛生工業協会誌」33, 256 (1959); 34, 672 (1960).

## 過渡現象解析機 (同期スイッチ式アナコム)の付属装置の半導体化

研究所 馬場準一\*・森本英男\*

## Transistorized Transient Network Analyser

Research Laboratory Junichi BABA・Hideo MORIMOTO

For the analysis of transient phenomena in electric power systems, a transient analyser or a repetitive type analog computer is indispensable. This paper deals with the accessory of the repetitive type analog computer, in which a synchronous switch, arrester analog, corona analog and saturation analog are transistorized. The devices, thus transistorized, become small sized, doing away with mechanical parts of the synchronous switch and a relay tube imported from America before. Now the device is built with all home produced parts assembled. In addition, development of conductance-control elements has made available the function hard to realize with an old ON-OFF switch, for instance, analogue of a rupturing voltage of DC arrester.

## 1. まえがき—Transient Analyser の構成

電力系統の過渡現象の解析には、交流計算盤の素子を利用した過渡現象解析機 (Transient Analyser または同期スイッチ式アナコム) がよく用いられている。これは高速繰返し形のアナログ計算機であって、その構成は表 1.1 のようなものである。

つきにこれらの構成要素について簡単に説明しておく。

## (1-A) 電源部

これは、電力系統の解析に当たっては、系統の発電機群あるいは雷サージ電圧 (流) 源に相当するものである。

(a) 商用周波数電源: これは 50 または 60 c/s の正弦波電源であって、電力系統の過渡現象を実時間模擬で行なう場合に用いられるものである。

系統の Switching Surge, Fault Surge, 再起電圧の解析などがこの実時間模擬に該当する。

(b) 高周波電源: これは系統の過渡現象をその時間軸を短縮して解析する場合に用いられるものである。

電力系統問題にはその過渡現象の継続時間の相当に長いものがある。変圧器の突流現象などはその一例である。このような問題においては、過渡現象は主として基本波を中心として考えてさしつかえない。また繰返し高速度計算機であるか

ら、過渡現象の継続時間の長いものを実時間で計算するのはあまり得策ではない。このような場合に、高周波電源を用いて計算を行なうのである。500 c/s 前後のものが適当である。

なお、電力系統の周波数特性を見るのに可変周波発振器を用いる。

(c) 任意関数発生器: 電力系統において、外雷を模擬するのに用いられる。これは  $L, C, R, M$  の受動素子と直流電源を用いることによって容易に得ることができる。たとえば、 $(1-e^{-t/\tau})$  なる関数は、図 1.1 のような回路で発生させることができる。

電圧源として用いられる場合が多いが、比較的大電流源を必要とするときは、後述のコンダクタンス制御素子を用いるのがよい。

## (1-B) 受動線形素子

これらは電力系統における

- (a) 発電機内部 インピーダンス
- (b) 変圧器 インピーダンス
- (c) 線路…… $\pi$ 回路近似による
- (d) 中性点接地 インピーダンス
- (e) 直並列 コンデンサ
- (f) リアクトル

を表示するのに用いられる。この場合これらの受動素子の周波数特性を考慮して使用時間軸を決定する必要がある。

三菱タイアの AC Board の素子では、大略の目安として、10 kc 程度の現象までは実時間で、それ以上に早い現象は、現象が 1 ms の程度になるように時間軸を変換するのがよい。たとえば、 $1 \mu s \rightarrow 1 ms$  として時間軸は 1,000 倍となる。

## (2-A) 同期スイッチ

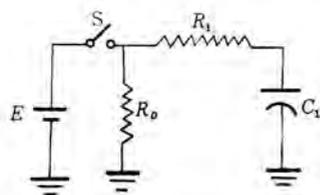
これは、高速度繰返し形アナログ計算機の核心をなすものであって、(a) ON-OFF 素子と (b) コンダクタンス制御素子の二つに分類できる。

(a) ON-OFF 素子と称するものは、回路を ON-OFF するものであってスイッチのコンダクタンスは、理想的にはゼロから無限大に変化するものである。

このようなものとしては、機械的なスイッチと半導体スイッチの二つが考えられる。半導体スイッチについては後述することとし、ここでは、まず機械的なスイッチについてのべる。われわれが同期スイッチに用いているものは、電子管回路

表 1.1 Transient Network Analyser の構成

A 本 体	1. 電源部—商用周波数および高周波電源任意関数発生器 (50 c/s あるいは 60 c/s)	
	2. 受動線形素子—抵抗, インダクタンス, キャパシタンス 理想変成器	
B 付 属 装 置	1. 同期スイッチ	ON-OFF 素子 コンダクタンス制御素子
	2. 受動非線形素子	アレスタ・アナログ コロナ・アナログ 変圧器飽和アナログ
	3. 測定装置	シンクロスコープ ペン書きオシロスコープ その他

図 1.1  $\frac{1}{1+ST}$  発生回路Fig. 1.1  $\frac{1}{1+ST}$  generating circuit.

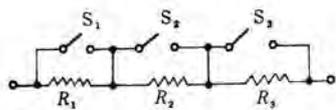


図 1.2 コンダクタンス制御素子の近似  
Fig. 1.2 Approximation of conductance control element.

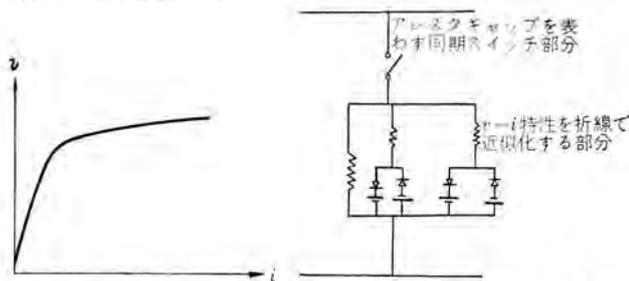


図 1.3 アレスタの  $v-i$  特性  
Fig. 1.3  $v-i$  characteristic of arrester.

図 1.4 アレスタ・アナログの原形図  
Fig. 1.4 Original diagram of arrester analog.

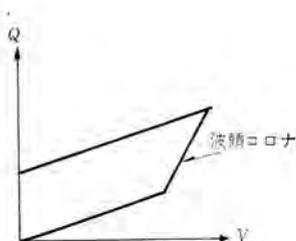


図 1.5 コロナの  $V-Q$  特性  
Fig. 1.5  $V-Q$  characteristic of corona.

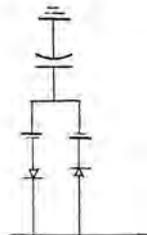


図 1.6 コロナ・アナログ原理図  
Fig. 1.6 Principle diagram of corona analog.

で駆動される Western Electric 社製の水銀 Contact Relay 275B (あるいは C. P. Claire 社製 HG-1002) であって、その性能はつぎのとおりである。

- 電流 連続 SA (RMS 値)
- 電圧 500 V 以下
- 開閉容量\* 250 VA 以下
- \* (開路のときの電流) × (閉路時の電圧)
- 抵抗 25~40 mΩ
- 動作周波数 60 c/s 以下
- 寿命 10<sup>9</sup> 回以上の開閉に耐える
- 動作時間のバラツキ 0.1 ms 以下

(b) コンダクタンス制御素子と称するものは ON-OFF 素子と異なり、接点間のコンダクタンスを任意に制御できるようにしたものである。このような素子は、直流シヤ断における高速度シヤ断器、限流ヒューズあるいは空気シヤ断器の残留電流の解析には欠くことのできないものである。

このような性能を有するコンダクタンス制御素子は機械式のものでは、実現することはほとんど不可能である。(近似的には図 1.2 に示すように多段式の抵抗シヤ断で行なうことができるかも知れないが、多くの素子を必要として不経済である。)

しかし、半導体を用いれば、このような素子はきわめて容易に実現することができる。実際の回路については次節にのべる。

#### (2-B) 受動非線形素子

電力系統問題においては、アレスタ、コロナなどの非線形要素を考慮して解析を進めてゆく必要がある場合が多い。ここでは、アレスタとコロナのアナログについて大略をのべておく。

##### (a) アレスタ・アナログ

アレスタは図 1.3 に示すような  $v-i$  特性を有する。

この特性は 2~3 本の折線で近似化することができる。原理的な回路は図 1.4 に示すようなものである。これの半導体化については次節にのべる。

##### (b) コロナ・アナログ

電力系統におけるコロナ・アナログは、コロナ放電の全域に(波頭コロナおよび波尾コロナ)なるものは、放電機構の研究がまだ十分行なわれていないのでできないが、波頭コロナについては、その電圧-電荷特性が図 1.5 のようなものであるから図 1.6 によって模擬することができる。

これらの半導体化については次節にのべる。

##### (2-C) 測定装置

測定装置については、周知のことであるから特記しない

## 2. 同期スイッチの Transistor 化

### 2.1 ON-OFF 素子

ON-OFF 素子は機械式のスイッチで十分実現可能である。ON-OFF だけならば、とくに Transistor 化する必要はないように思う。しかし Transistor 化による利点は、

- (a) スイッチ部分に外国品を用いずにすむ。機械的スイッチで水銀 Contact Relay 275B (あるいは、HG-1002) に相当する国産品はない。
- (b) 繰返し周波数を上昇させることができる。
- (c) 意図しない電流遮断による過電圧の防止が容易である。
- (d) 動作時間のバラツキが小 (1 μs 以下)。

Transistor 化した同期スイッチの構成部分はずきのものからなる。

- (1) 電源周波数に同期化したパルスが発生する部分  
Multivibrator より構成
- (2) ON-OFF の時間を任意に制御するための部分  
2 台の Monostable Multivibrator とパルス増幅部よりなる。
- (3) スイッチ部分  
電圧の高い Power Transistor を利用する。

電流の遮断をする必要のないときは、Controlled Rectifier を用いるのが便利であるが現在では、Silicon Controlled Rectifier の値段は高価であるので、当分は Power Transistor を用いてゆくのが合理的である。

実際の回路は図 2.1~図 2.3 に示してある。

また、この回路を用いたときの Switch の性能は図 2.4, 図 2.5 のとおりである。

なお、H-10 のところに三菱シリコンパワートランジスタを用いると、

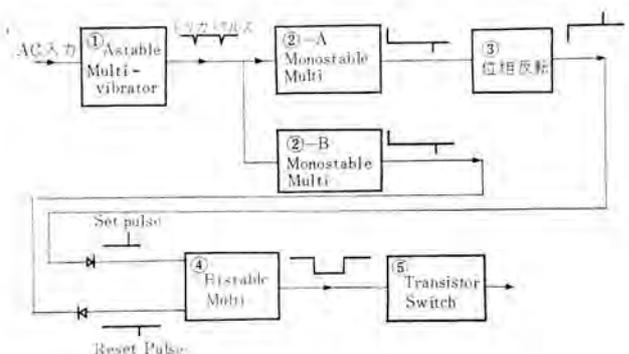


図 2.1 ブロック図  
Fig. 2.1 Block diagram.

ON-OFF time は一ヶタ短くなる。(資料の提供に関し、物一、上佐技師に謝意を表する)

(1) ON-OFF 素子の構成

- (a) フロック図 (図 2.1)
- (b) フロック図の説明

①は Astable Multi であって、AC 入力に同期した トリガルス

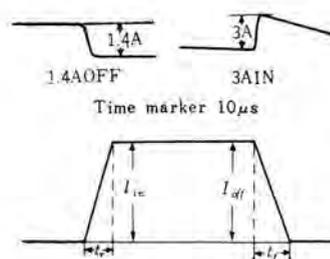


図 2.4  $t_r$  と  $t_f$  の定義  
Fig. 2.4 Definition of  $t_r$  and  $t_f$ .

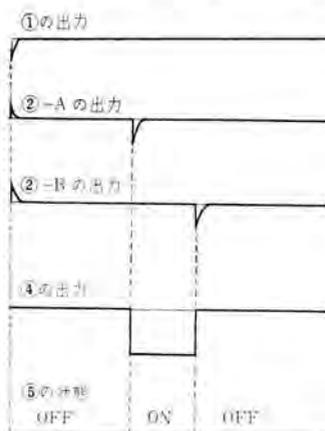
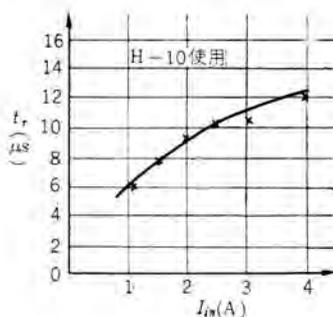
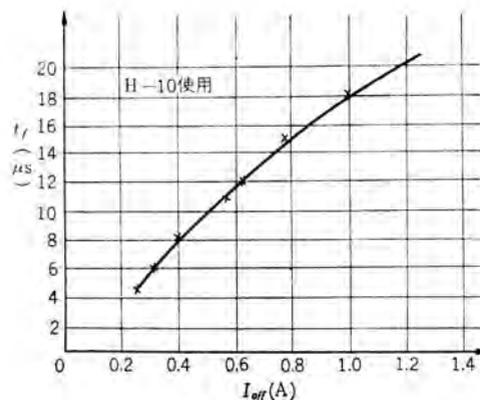


図 2.2 Fig. 2.2.



(a)



(b)

図 2.5 TR, SW の性能  
Fig. 2.5 Performance of TR and SW.

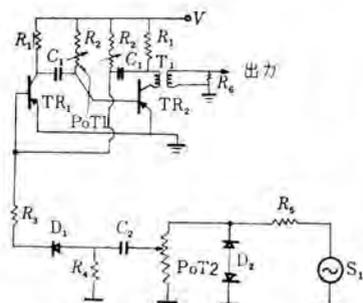


図 2.3 (a) Astable multivibrator.  
Fig. 2.3 (a) Astable multivibrator.

- 諸元素  
 $R_1$  5k  $R_2$  20k  
 $R_3$  20k  $R_4$  250k  
 $R_5$  5k  $R_6$  200k  
 POT 1 50k  
 POT 2 50k (ポテンショ)  
 $C_1$  0.01~4  $\mu$ F  
 $C_2$  0.02  $\mu$ F  
 $D_1$  MD35  
 $D_2$  Zener Diode IN 1778  
 $T_1$  変成器  
 $S_1$  電源 AC 100V,  
 周波数任意  
 $V = -16V$   
 $TR_1$  TJ35  $TR_2$  TJ35

を発生するものである。AC 入力は Zener Diode を用いて、正弦波を立上がり急峻な台形波とする。

②は Monostable な Multi であって、トリガルスによって動作し、動作の時間は CR の時定数によって調節される。

②-A, ②-B とともに同時にトリガルスによって ON となるが、OFF となる時間はそれぞれ独立に任意に変えるようになっている。

③は ②-A の出力を位相反転するものである。実際の回路ではパルス変圧器の極性を逆にすればよい。

このパルスをそれぞれ Diode を通して、④の Bistable Multi にもってゆく。

④は Bistable Multi であって、②-A の出力 (invert されている) によってセットされ、②-B の出力でリセットされ、出力としてはこの区間だけ負 (または正) の方形波を発生する。

⑤は Transistor Switch で、上記方形波はエミッタとベースに印加され Power Transistor は ON または OFF となる。

各点の出力の Time Saquand を記すと図 2.2 のとおりである。

(c) 回路図 (図 2.3)

- ① Astable Multivibrator
- ② Monostable Multivibrator
- ③ Bistable Multivibrator

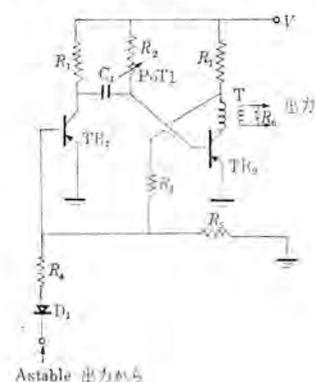


図 2.3 (b) Monostable multivibrator.  
Fig. 2.3 (b) Monostable multivibrator.

- 諸元素  
 $R_1$  5k  $R_2$  20k  
 $R_3$  25k  $R_4$  50k  
 $R_5$  50k  $R_6$  10k  
 POT 1 50k (ポテンショ)  
 $C_1$  0.01~4  $\mu$ F  
 $D_1$  MD35  
 $V = -18V$   
 $TR_1$  TJ35  $TR_2$  TJ35  
 $T$  変成器

③の回路定数の場合、出力波形は のように、その立上がりは 0 でない。  $t_1 \approx t_2 = 4 \mu s$  程度である。

④ Transistor Switch

現在の価格では  $f_{ad}$  の高いメサパワートランジスタは、その価格はかなり高価であるので、Transistor Switch と Bistable Multi との間に介するパルス増幅器は真空管とした。

回路構成は図 2.6 のとおりである。

$T$  によって Transistor の ON-OFF をすみやかにするためにインパルスを送るわけである。これによって ON-OFF は非常に速くなる。

AC 用には、上記の Switch がもう 1 個入用である。図 2.6 に

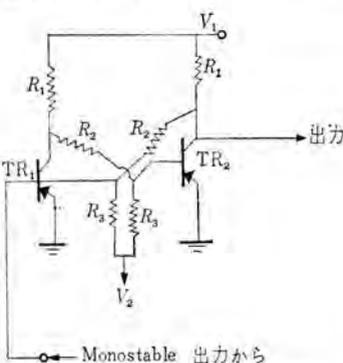
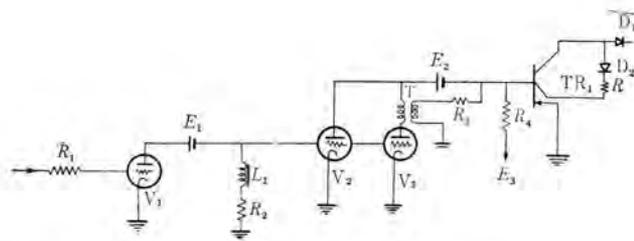


図 2.3 (c) Bistable multivibrator.  
Fig. 2.3 (c) Bistable multivibrator.

- 諸元素  
 $R_1$  5k  $R_2$  20k  
 $R_3$  20k  
 $TR_1$  TJ35  $TR_2$  TJ35  
 $V_1 = -18V$   $V_2 = +2V$



- 諸元素  
 $R_1$  10k                     $V_1$  6SN7  
 $R_2$  10k                     $V_2$  605×2 (三極接続)  
 $R_3$  3k                       $V_3$  605×1 (同上)  
 $R_4$  5k                       $E_1$  100V 10mA  
 $L_1$  50mH (鉄心入り)     $E_2$  250V 360mA  
 $TR_1$  H-10 (新電元社製)  $E_3$  2V 360mA  
 $D_1$  逆耐 100V 5A のダイオード  $D_2$ : Zener Diode (IN 1792) } 過電圧用  
(実験 SR-102 を活用した)     $R_2$ : 抵抗 15k

図 2.6 Fig. 2.6

おけるアークは、そのときは実際のアークではない。アークとは異なった電位にある。

(2) スイッチ特性と計算誤差

トランジスタスイッチは、ベースにトリガパルスがはいった瞬間からただちに ON→OFF 式は OFF→ON に移転するものではない。図 2.7 (a) に示すように若干の時間を必要とするものである。

このようにシタ断または投入に若干の時間を必要とするということが、どの程度の計算誤差となるかを示しておく。

ここでは計算対象として図 2.7 (b) に示すような  $L, C$  回路の固有再起電圧を求め問題を取上げる。

スイッチが理想的なものであれば、 $I(t)=I$  となるが、電流零値になるまで、 $t_{OFF}$  の時間を要するときは、

$$I(t) = \frac{I}{t_{OFF}} t \quad t \leq t_{OFF}$$

$$= -I \quad t > t_{OFF}$$

このような条件のもとで、コンデンサ  $C$  の両端に現われる電圧 (固有再起電圧) を求めるとつぎようになる。

$$t \leq t_{OFF} \quad L \frac{di_L}{dt} = v$$

$$i_C = C \frac{dv}{dt} = LC \frac{d^2 i_L}{dt^2}$$

$$\therefore LC \frac{d^2 i_L}{dt^2} + i_L = \frac{I}{t_{OFF}} t$$

初期条件は、 $t=0$  で  $i_L=0, \frac{di_L}{dt}=0$

$$i_L = \frac{I}{t_{OFF}} \left( t - \frac{1}{\omega} \sin \omega t \right) \quad \left. \vphantom{i_L} \right\} \omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{I}{t_{OFF}} (1 - \cos \omega t)$$

$$t > t_{OFF}$$

$$LC \frac{d^2 i_L}{dt^2} + i_L = I$$

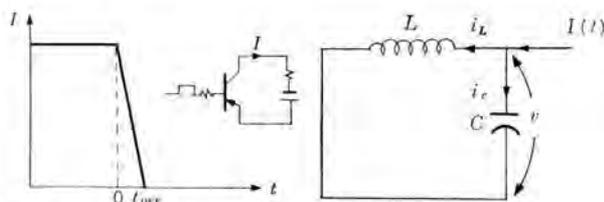


図 2.7 (a) シタ断特性  
 Fig. 2.7 (a) Interruption characteristic.

図 2.7 (b) 固有再起電圧  
 Fig. 2.7 (b) Intrinsic transient recovery voltage.

初期条件は  $t=0$  で

$$\begin{cases} i_L = I - \frac{I}{\omega t_{OFF}} \sin \omega t_{OFF} \\ \frac{di_L}{dt} = \frac{I}{t_{OFF}} (1 - \cos \omega t_{OFF}) \end{cases}$$

$$\therefore i_L = I + A \sin \omega t + B \cos \omega t$$

$$B = -\frac{I}{\omega t_{OFF}} \sin (\omega t_{OFF})$$

$$A = \frac{I}{\omega t_{OFF}} (1 - \cos \omega t_{OFF})$$

したがってこの端子電圧は、

$$v = \sqrt{\frac{L}{C}} (A \cos \omega t - B \sin \omega t)$$

ここで、 $v$  の振幅に注目すれば、

$$|v| = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{|A|^2 + |B|^2} = \sqrt{\frac{L}{C}} I \frac{\sin \left( \frac{\omega t_{OFF}}{2} \right)}{\left( \frac{\omega t_{OFF}}{2} \right)}$$

正解は  $|v| = \sqrt{\frac{L}{C}} I$  であるから、誤差は  $\varepsilon = 1 - \frac{\sin \left( \frac{\omega t_{OFF}}{2} \right)}{\left( \frac{\omega t_{OFF}}{2} \right)}$  となる。

る。

$\omega t_{OFF}$  と誤差との関係はつぎのとおりである。

$\omega t_{OFF}$	$\varepsilon$ (%)
0.1	0.04
0.2	0.17
0.3	0.37
0.5	1.04
0.6	1.50
0.8	2.65
1.0	4.22

さらに  $\omega = 2\pi/T$ ,  $T$  は振動の周期とすれば、

$$\omega t_{OFF} = 2\pi \left( \frac{t_{OFF}}{T} \right)$$

したがって上の表から、誤差  $\varepsilon$  を与えれば、

$$\frac{t_{OFF}}{T} = \frac{1}{2\pi} f(\varepsilon) \quad \text{となる。}$$

$\varepsilon = 1\%$  ならば、 $f(\varepsilon) = 0.5$

$$\therefore \frac{t_{OFF}}{T} \approx \frac{1}{12}$$

$\varepsilon = 2\%$  ならば、 $f(\varepsilon) = 0.7$

$$\therefore \frac{t_{OFF}}{T} = \frac{1}{9}$$

すなわち、大略  $t_{OFF} = \frac{1}{10} T$  であれば、誤差は 1% 前後におさまる。

A.C. Board の素子を流用する ANACOM では 10kc 程度までの過渡現象を観測するから、 $T = 100 \mu s$ , したがって  $t_{OFF} \approx 10 \mu s$  程度であればよい。

2.2 コンダクタンス制御素子

コンダクタンス制御素子の原理は図 2.8 (a) のとおりである。

すなわち、エミッタ接地してベースに抵抗  $R_B$  を通して電圧を印加すれば、ベース電圧はアース電位に近いから、

$$I_B(t) = V(t)/R_B$$

$$I(t) = \beta I_B(t) = \frac{\beta}{R_B} V(t)$$

したがって、 $V(t)$  を所望の波形にすれば、 $I(t)$  も所望の波形となる。この式では  $\beta$  が一定なら厳密に正しい解が得られるが、 $\beta$  は必ずしも一定でないので、若干の誤差はさげられない。しか

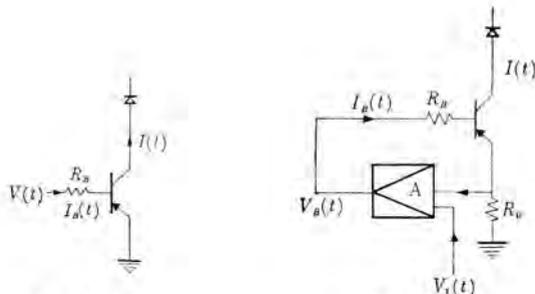


図 2.8 (a)  
Fig. 2.8 (a)

図 2.8 (b)  
Fig. 2.8 (b)

し、限流ヒューズのアナログなどには使用できるものである。  
これに対して図 2.8 (b) の方は、Feedback 方式であって、

$$\left. \begin{aligned} I(t) &= \frac{\beta}{R_B} V_B(t) \\ V_B(t) &= A[V(t) - R_0 I(t)] \end{aligned} \right\}$$

したがって

$$I(t) = \frac{AB}{1 + \frac{AB}{R_B} R_0} V(t)$$

ここで  $R_B/AB \ll R_0$  であれば  $I(t) = \frac{V(t)}{R_0}$  となる。

### 3. 受動非線形要素

#### 3.1 アレスタ・アナログ

アレスタは放電キャッチャーと非線形抵抗要素からなるものである。従来われわれが用いてきたものは、放電キャッチャーとして同期スイッチ、非線形抵抗要素としては折線近似で、直線抵抗、整流器、直流電源よりなるものであった。

今回はこれを半導体化して、つぎのような構成をした。

放電キャッチャー → Zener Diode + Monostable Multivibrator  
Zener Diode で放電電圧を定め、Monostable Multivibrator で電流の流通時間を制御する。

非線形抵抗要素 → Zener Diode + linear resistor  
折線近似で行なうものである。

整流器 + 直流電源の機能を Zener Diode で行なわしめる。

この装置の放電電圧 (Monostable Multivibrator が trigger される電圧) は 0~6.4 kc まで一定であった。

回路構成図は図 3.1 に示してある。

アレスタ・アナログの構成

(1) ブロック図 (図 3.1)

- a. キャッチャー部分
- b. 非線形抵抗部分  
折線近似を行なうものである。

(2) 回路図

(a) Dead Zone (図 3.2)

入力電圧がある一定値を超過したときに、はじめて出力

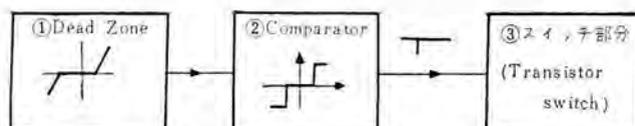


図 3.1 アレスタアナログのブロック図  
Fig. 3.1 Block diagram of arrester analog.

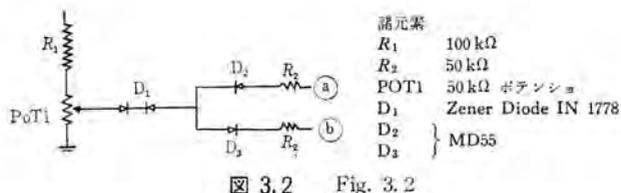


図 3.2 Fig. 3.2

諸元素	
R <sub>1</sub>	100 kΩ
R <sub>2</sub>	50 kΩ
POT1	50 kΩ ポテンショメータ
D <sub>1</sub>	Zener Diode IN 1778
D <sub>2</sub>	MD55
D <sub>3</sub>	

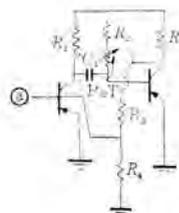
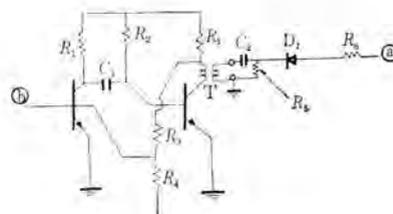


図 3.3 (a)  
Fig. 3.3 (a)



諸元素	
R <sub>1</sub>	5 kΩ
R <sub>2</sub>	20 kΩ
R <sub>3</sub>	20 kΩ
R <sub>4</sub>	50 kΩ
R <sub>5</sub>	10 kΩ
R <sub>0</sub>	50 kΩ
T	変成器
C <sub>1</sub>	0.01~4 μF
C <sub>2</sub>	0.02 μF
D <sub>1</sub>	MD35

図 3.3 (b) Fig. 3.3 (b)

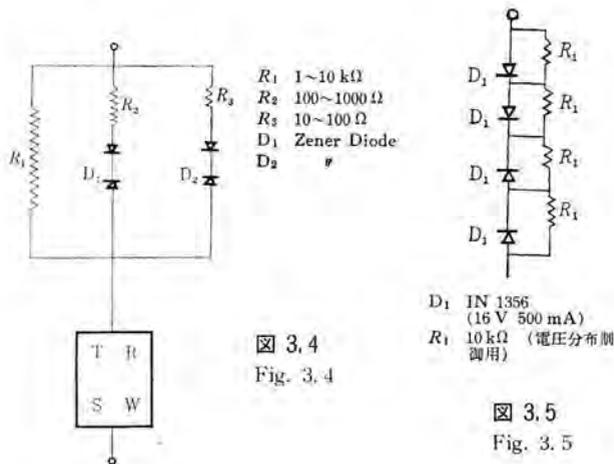


図 3.4  
Fig. 3.4

図 3.5  
Fig. 3.5

を発生するものである。

Zener Diode からなるものである。

(b) コンパレータ (図 3.3)

前記 Dead Zone よりの出力があった場合に、これによってトリガされるもので、この出力によって TR, SW を駆動する。

このようなものとしては Monostable Multi は正のパルスに対しても応動するように NPN Transistor を用いたものを併用する。

(c) スイッチ部分 (図 3.4)

これは、ON-OFF 素子とまったく同様のものである。非線形要素 (図 3.5)

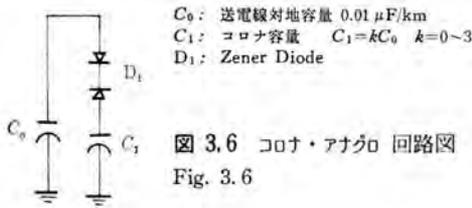
Zener Diode を用いる。

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> は電流容量と Zener 電圧の点から下記のようにする。

### 3.2 コロナ・アナログ

コロナの波頭部分の模擬は図 1.6 に示すように、整流器、直流電源、コンデンサよりなるものである。ここでも整流器+直流電源を Zener Diode で模擬すれば、回路は簡単化される。

回路構成図は図 3.6 に示してある。



$C_0$ : 送電線対地容量  $0.01 \mu\text{F}/\text{km}$   
 $C_1$ : コロナ容量  $C_1 = kC_0$   $k=0\sim 3$   
 $D_1$ : Zener Diode

図 3.6 コロナ・アナログ 回路図  
 Fig. 3.6

### 3.3 変圧器飽和アナログ

変圧器飽和は図 3.7 のような特性によって模擬できる。このようなアナログを作るには、つぎのようにコンダクタンス制御素子を用いた方式による。

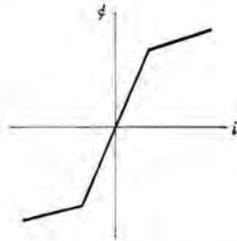


図 3.7 磁束と電流の関係  
 Fig. 3.7 Relation between magnetic flux and current.

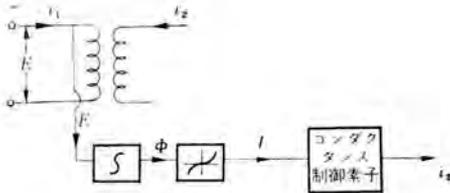


図 3.8 飽和アナログ原理図

Fig. 3.8 Principle of saturation analog.

図 3.8 について原理を説明すおぼ、つぎのとおりである。

$$E = L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 - M \frac{di_2}{dt}$$

$$i_2 = K \int E dt \quad \dots \text{折線近似ならば } K \text{ はその折線の傾度となる}$$

上の式は、その場合には正確にかくと、

$$K_1 \int_0^t E dt \quad |\Phi| < |\Phi_1|$$

$$K_2 \left[ \int_{t_1}^t E dt + \int_0^{t_1} E dt \right] \quad |\Phi_1| < \Phi < |\Phi_2|$$

$$\therefore E = L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 - KME$$

$$\therefore E = \frac{L_1}{1+KM} \frac{di_1}{dt} + \frac{R_1}{1+KM} i_1$$

したがって インダクタンスは  $\frac{L_1}{1+KM}$  となる。

$KM \gg 1$  ならば

$$\frac{L_1}{1+KM} \approx \frac{1}{K^2 \eta}, \quad \eta = \frac{L_1}{M} \approx \text{変成器}$$

またこのとき、この Analog の  $X/R$  はすべての折線区間を通して、一定値  $\omega L_1 / R_1$  となる。

実際の回路は図 3.9 のとおりである。

図 3.10 に変圧器の飽和アナログを使用した場合の Push Current の一例を示している。

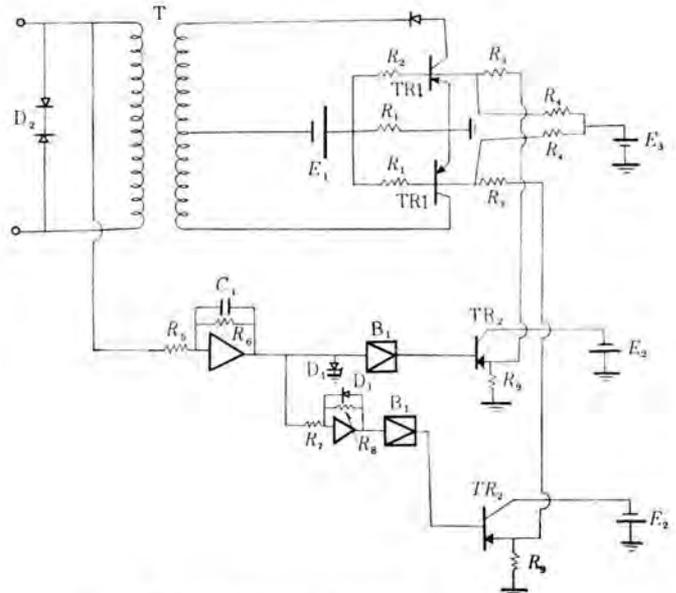
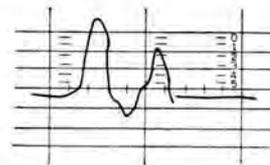


図 3.9 飽和アナログ回路図

Fig. 3.9 Circuit diagram of saturation analog.



- |                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| $R_1$ 10 $\Omega$        | $C_1$ 0.05~0.01 $\mu\text{F}$       |
| $R_2$ 20~50 $\Omega$     | $B_1$ : Cathode Follower            |
| $R_3$ 100~500 $\Omega$   | $D_1$ : Diode                       |
| $R_4$ 200~1,000 $\Omega$ | $T$ : 一次 2, 二次 1, 中性点 tap つき        |
| $R_5$ 50~100 k $\Omega$  | $TR_1$ : H-10                       |
| $R_6$ 5~10 $\mu\Omega$   | $TR_2$ : 2SB107 (2SB107A の方がよいであろう) |
| $R_7$ 100 k $\Omega$     | $D_2$ : 保護用 Zener Diode             |
| $R_8$ 100 k $\Omega$     | (H-10 のときは Zener 電圧 50V のものを用       |
| $R_9$ 2 k $\Omega$       | いる)                                 |
| $E_1$ : 50V 1.5A         | $E_2$ : 40V 0.5A                    |
|                          | $E_3$ : 0~20V                       |

図 3.10 Push current の一例 (アナログ使用)

Fig. 3.10 Example of push current.

## マイクロ・プログラム方式による万能論理回路

研究所 福永圭之介\*

## Micro-programmed Logical Computer

Research Laboratory Keinosuke FUKUNAGA

So to speak a general purpose logical computer is suggested against the digital circuits for automatic control and communication equipment, so as to try all logical operations by means of a standard, simple circuit. To have the operation as an individual logic circuit, programs must be written and executed for the logical computer according to the specifications. In the composition of the logical computer, a micro-programming's scheme suggested by Blankenbaker is used. In his device four kinds of orders with two bits is in use, but the one designed and tried by the writer has eight kinds of orders with three bits, which make possible minimizing the necessary bit number for the program. The writer's report covers the study on the bit number of the interior memory and the program for binary counters and an optimizing controller is realized with the computer referred to.

## 1. ま え が き

近來 デジタル 回路が広範囲に自動制御や通信関係に用いられるようになったが、本文はこれらの用途にたいして汎用の Logical Computer とでもいうべきものを提供し、あらゆる論理演算動作を標準の簡単な回路（これを今後万能論理回路とよぶ）で行なわせようとするものである。この場合、万能論理回路が個々の論理回路として働くためには、仕様に応じてプログラムが作成され、それが実行されることになるが、プログラム実行に要する時間は、単能回路の動作時間に比して一般に長くなる。すなわち、回路の簡単化が動作時間によって補なわれていることになる。

これらの関係はちょうどデータ処理にたいする単能回路と汎用のデジタル計算機の関係と類似している。

万能論理回路を構成するにあたっては、Blankenbaker の提案したマイクロ・プログラムの手法が用いられた。マイクロ・プログラムは汎用デジタル計算機の制御回路を用途に応じて変えて、随時その用途に適した単能計算機として使用できることを目標に考察されたものであって、EDSAC II の設計に関連して Wilkes<sup>(1),(2)</sup>が最初に提案した。その後 Blankenbaker<sup>(3),(4)</sup>は同様の問題を遅延線を使用して論じている。

## 2. Wilkes と Blankenbaker のマイクロ・プログラム

Wilkes 方式のマイクロ・プログラムの大要はつぎのとおりである。

図 2.1 において デコーダ から出る micro-order の横線がマトリックス A において縦線である micro-operation に接続されていて演算回路の各種のゲートに信号を伝達する。

他方、micro-order の信号はマトリックス B、遅延要素、レジスタを

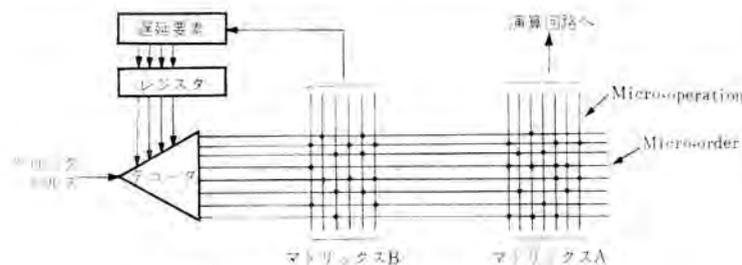


図 2.1 Wilkes 方式のマイクロ・プログラム  
Fig. 2.1 Micro-program by Wilkes' system.

通して帰還され、つぎの時点における デコーダ の形を変える。かくして micro-order の信号の時間列はマトリックス B により決定され、演算回路への micro-operation の信号の時間列は、さらにそれにマトリックス A の影響が加わる。

ここでマトリックスを固定してしまえば、この制御回路は固定されたものになるが、マトリックスの縦線の接続を外部から簡単に換えられるようにすると、十分多様性のある制御回路ができあがることになる。

Blankenbaker の提案したマイクロ・プログラムは Wilkes のそれと多少異なっていて、つぎのとおりである。

図 2.2 において、 $M$ 、 $N$ -遅延線は、論理回路に一連の命令を与えるもので、命令としては  $M$ 、 $N$  の 2 本の遅延線を使用する場合、 $(M=1, N=1)$ 、 $(M=1, N=0)$ 、 $(M=0, N=1)$ 、 $(M=0, N=0)$  の 4 種類のものが利用できる。1 ビットの遅延要素  $L$  は汎用デジタル計算機のアキュムレータに相当するものである。また、

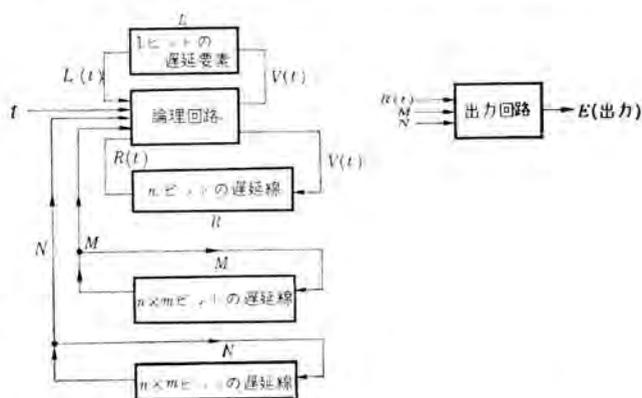


図 2.2 Blankenbaker のマイクロ・プログラム  
Fig. 2.2 Micro-program by Blankenbaker's system.

表 2.1 4 種の命令表

命令の記号	命令の動作 (名称)	論理回路の動作				
		N	M	U	V	E
—	DO NOTHING	0	0	L	R	0
I	INPUT-OUTPUT	0	1	L	I	R
A	AND	1	0	$L \cdot \bar{R}$	R	0
S	STORE	1	1	1	L	0

R-遅延線はnビットの記憶素子であって、各ビットの読み出し、書き込みはn遅延時間ごとに可能である。

つぎに4種の命令としてどのようなものが採用され、また一般の論理関数がどのようにして計算されるかを示すとつぎのようになる。

まず表 2.1 は命令表であるが、その動作を説明すると、

(1) DO NOTHING: 論理回路は L, R になんらの動作をほどこすことなく U, V として送り出す。すなわち、R-遅延線が1ビットだけこれによってサイクリックにシフトするだけで、Lの内容には変化がおこらない。

(2) INPUT-OUTPUT: IがVとしてはいるので、R-遅延線にIが書き込まれ、同時にRが出力として読み出される。Lにはこの場合変化がおこらない。

(3) AND: R-遅延線は1ビットだけサイクリックにシフトされるだけであるが、L-遅延要素には、L・Rなる演算結果がたくわえられることになる。

(4) STORE: L-遅延要素の内容が、R-遅延線に書き込まれ、Lは1にリセットされる。

つぎに一般の論理関数は、

$$X_1(t) = f_1(X_1(t-1), X_2(t-1), \cdot, +, -) \dots (2.1)$$

$$X_2(t) = f_2(X_1(t-1), X_2(t-1), \cdot, +, -) \dots (2.2)$$

( $\cdot$ : AND,  $+$ : OR  $-$ : NEGATION)

のように表わされるが、たとえば

$$X_1(t) = X_1(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1) + \bar{X}_1(t-1) \cdot X_2(t-1) \dots (2.3)$$

$$X_2(t) = X_1(t-1) \cdot X_2(t-1) + \bar{X}_1(t-1) \cdot X_2(t-1) \dots (2.4)$$

なる例題に対しては、つぎの一連の命令が用意されることになる。

すなわち命令は表 2.2 に示すように、

$$ASAS \dots -AA-S \dots -A-A-S \dots \dots (2.5)$$

の順番に論理回路に供給され、途中点線で区切ったごとに R-遅延線の一周期が対応することになる。

上の例題に見られるように、計算したい論理式が与えられると、それから n と m の数をほぼ正確に推測することができる。

(1) n の数: 式 (2.3), (2.4) 右辺に用いられた  $X_1(t-1)$ ,  $X_2(t-1)$  をたくわえるためのメモリは必要であるが、このほかに、 $\bar{X}_1(t-1)$ ,  $\bar{X}_2(t-1)$  をたくわえることが要求される。

また Prime implicant  $X_1(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1)$ ,  $\bar{X}_1(t-1) \cdot X_2(t-1)$  などを計算した後にこれを一時的にたくわえる  $M_1, M_2$ , また、これらを OR で加え合わせて  $X_1(t)$ ,  $X_2(t)$  としてたくわえるための  $M_3, M_4$  などが要求される。このほかに入力信号 I や出力信号 E をたくわえるためのメモリが必要である。式の形によって

表 2.2 式 (2.3), (2.4) のマイクロ・プログラム

n	m								演算内容
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	$X_1, \bar{X}_1, X_2, \bar{X}_2, M_1, M_2, M_3, M_4$								
1	A	S	A	S	-----				$\bar{X}_1, \bar{X}_2$ (Lの初期値1)
2	-	A	A	-	S	-----			$X_1(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1) \rightarrow M_1$
3	A	-	-	A	-	S	-----		
4	-----	A	A	-	S				$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \rightarrow M_3$
5	-	A	-	A	S	-----			$X_1(t-1) \cdot X_2(t-1) \rightarrow M_1$
6	A	-	A	-	S	-----			
7	-----	A	A	S	A				$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \rightarrow M_3$
8	S	-----	A						$\bar{M}_3 \rightarrow X_1$
9	-	-	S	-----					$\bar{M}_3 \rightarrow X_2$

はこれらのうち、節約できるメモリも出てくるので、nの最大数は次式で与えられることになる。

$$n \leq 2 \times (\text{変数の数}) + (\text{Prime implicant の最大数}) + (\text{式の数}) + 1$$

$$X_1(t-1), \bar{X}_1(t-1) \quad M_1, M_2 \quad X_1(t) (M_3, M_4) \quad I, E$$

..... (2.6)

(2) m の数: Prime implicant の計算ごとに表 2.2 の1行は必要で、このほかに各式ごとに、Prime implicant を OR で加え合わせるのに1行、 $X_i(t) \rightarrow X_i(t-1)$  の移項に各1行が必要である。このほか全体を通じて必要なものに、変数の Complement を取るのに1行、入力を受け入れるのに1行、出力の準備などに1行などがある。

したがって m の最大数は次式で与えられる。

$$m \leq (\text{Prime implicant の全数}) + 2 \times (\text{式の数}) + 3$$

$$X_i(t) \rightarrow X_i(t-1) \dots (2.7)$$

最後に実際の回路にどの程度の m, n が必要かの概念を得るために、 $2^p$  までパルス数を数える同期カウンタについて考えてみる。ただし、入力パルスは非同期式であって、入力パルスが同期クロックの数サイクルにわたって存在しうものとする。カウンタの論理式としては2通りのものを想定して、3段のカウンタについて、付録 1, 2 に実際のマイクロ・プログラムを示した。

第1の計算式は付録 1 を参照にして、一般的につぎのようなものになる。

$$X_p(t) = \left[ \bar{X}_p(t-1) \cdot \left( \prod_{k=1}^{p-1} X_k(t-1) \right) + X_p(t-1) \cdot \left( \sum_{k=1}^{p-1} \bar{X}_k(t-1) \right) \right]$$

$$\cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) + [\bar{I}(t) + I(t-1)] \cdot X_p(t-1)$$

$$X_1(t) = \bar{X}_1(t-1) \cdot I(t) \cdot I(t-1) + [\bar{I}(t) + I(t-1)] \cdot X_1(t-1)$$

$$E(t) = \left\{ \prod_{k=1}^p X_k(t-1) \right\} \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \dots (2.8)$$

この場合の n, m は付録 1 の付表 1.2 にもみられるように、Prime implicant 用のメモリと  $X_i(t)$  用のメモリを共通に使用することができるので、n の数が節約できて、

$$n = 2 \times (p+2) + (p+2) + 1 = 3p+7 \dots (2.9)$$

$X_i(t-1)$  と Prime implicant  $X_p(t)$  用一時記憶  $I(t), I(t-1)$  の最大数 (付表 1.2 の  $T_6$ )

$$m = \left\{ \sum_{k=1}^p (k+2) + 1 \right\} + 2 \times (p+1) + 2 = \frac{p(p+1)}{2} + 4p + 5$$

Prime implicant の全数      式の数      ..... (2.10)

第2項の計算式は付録 2 を参照にして、一般的につぎのように書かれる。

$$X_k(t) = X_k(t-1) \oplus \bar{X}_{k-1}(t) \cdot X_{k-1}(t-1)$$

$$= X_k(t-1) \cdot X_{k-1}(t) + X_k(t-1) \cdot \bar{X}_{k-1}(t-1)$$

$$+ \bar{X}_k(t-1) \cdot \bar{X}_{k-1}(t) \cdot X_{k-1}(t-1)$$

(k=0, 1, ..., p)

(⊕): EXCLUSIVE OR

$$X_0(t) = \bar{I}(t)$$

$$E = \prod_{k=1}^p X_k(t-1) \cdot \bar{X}_0(t) \cdot (t-1)$$

..... (2.11)

その n, m の数は付録 2 の付表 2.1 にもみられるように、

$$n = 2 \times (p+1) + 3 + 2 \times (p) = 4p+5 \dots (2.12)$$

$X_k(t-1)$       Prime       $X_k(t)$   
(k=0, 1, ..., p) implicant (k=0, 1, ..., p-1)  
の最大数

$$m = (3 \times p + 1) + (3p - 1) + 2 + 2 = 6p + 4 \dots\dots\dots (2.13)$$

Prime implicant 全数  $M_1, M_2, M_3 \rightarrow \bar{X}_1(t)$   $X_0(t) \rightarrow X_0(t-1)$   $X_1(t) \rightarrow X_1(t-1)$  Input-Output Complement

これらの値を種々の  $p$  についてまとめてみると、表 2.3 のようになる。

表 2.3 カウンタに必要な  $n$  と  $m$  の数

p	2 <sup>p</sup>	計算式 ≧ 1			計算式 ≧ 2		
		n	m	n × m	n	m	n × m
1	2	10	10	100	9	10	90
2	4	13	16	208	13	16	208
3	8	16	23	368	17	22	374
4	16	19	31	589	21	28	588
5	32	22	40	880	25	34	850
6	64	25	50	1,250	29	40	1,160
7	128	28	61	1,708	33	46	1,518
8	256	31	73	2,263	37	52	1,924
9	512	34	86	2,924	41	58	2,378
10	1,024	37	100	3,700	45	64	2,880
11	2,048	40	115	4,600	49	70	3,430
12	4,096	43	131	5,633	53	76	4,028

### 3. 改良されたマイクロ・プログラム式の万能論理回路

前項でのべたように論理関数が少し複雑になると、 $n$  と  $m$  の数はかなり大きな値になる。そこでわれわれは、Blankenbaker 式のマイクロ・プログラムにおいて、 $n$  と  $m$  の数を減らすために、どのような方法が取られるべきかをこの節で検討することとする。

(1) 一般的にいって、万能論理回路が行なわなければならない演算はすべて、

$$X_k(t) = f_k[x_1(t-1), x_2(t-1), \dots, x_p(t-1), \cdot, +, -] \quad (k=1, 2, \dots, p) \dots\dots\dots (3.1)$$

のように  $p$  変数にたいして、 $p$  個の論理式で表わされる。

(2)  $n$  として本質的に要求されるのは  $X_k(t-1)$  ( $k=1, 2, \dots, p$ ) の  $p$  個と、式 (3.1) の計算結果を全部の演算が終わるまで一時的にたくわえておく  $X_k(t)$ , ( $k=1, 2, \dots, p$ )  $p$  個である。式 (3.1) の論理式によっては  $X_k(t)$  の演算結果をそのまま  $X_k(t-1)$  に入れてよい場合もあり、必ずしも  $X_k(t)$  用に  $p$  個のメモリを必要としないが、一般的には  $X_k(t)$ ,  $X_k(t-1)$  用に 2 個のメモリは必要である。

$\bar{X}_k(t-1)$  は  $X_k(t-1)$  があれば必然的に定まる情報で、これよりのメモリをもうけることはむだといえる。

また Prime implicant ごとに 1 個の一時的メモリをもうけるのもむだで、Prime implicant を計算することに、前の計算結果との論理和による集積和を取るようし、そのアキュムレータとして  $X_k(t)$  をそのまま使用するようにすれば好都合である。

以上の論議から理想的な  $n$  の数  $n_{ideal}$  としては、

$$n_{ideal} \leq (\text{変数の数}) + (\text{式の数}) \leq 2p \dots\dots\dots (3.2)$$

(3)  $m$  の数を論ずる場合、式 (3.1) をどのような形で表現することが好ましいかという問題とからんで、 $n_{ideal}$  の数の決定程簡単ではない。式 (3.1) の論理式の形をくふうすれば、あるいは  $m_{ideal}$  もかなり一般的に論じられるかも知れないが、ここでは式 (3.1) が加法標準形を出発点として Veitch-Karnaugh 法などの単純化を経て、Prime implicant の論理和の形で表わされているものとする。

そのような場合、式 (3.1) に表われる Prime implicant の全数だけの  $m$  の数は必要である。もちろん、異なった式の中に表われる Prime implicant を 2 度計算しないで済むようなくふうができるときは、多少  $m$  の数を減らすことができる。

全部の計算が終わったとき、 $X_k(t) \rightarrow X_k(t-1)$  の移項に  $X_k(t)$  の数だけの  $m$  が必要である。

Input-Output 用の  $m$  は必要である。

Prime implicant の論理和を取るのに 1 個の  $m$  を使用していたが、これは  $n$  の所でものべたように、一時的メモリにつねに計算された Prime implicant を集積して行くようにすれば不要になる。

Complement を取るための  $m$  は取り除きうる。

以上の論議より  $m_{ideal}$  は、

$$m_{ideal} \leq (\text{Prime implicant の全数}) + (\text{式の数}) + 1 \quad X_k(t) \rightarrow X_k(t-1) \quad \text{Input} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

これ以上大きく  $m$  の数を減らそうとすると、二つあるいはそれ以上の Prime implicant の平行演算的な考えを万能論理回路の中に持込む必要があり、かなり本質的な変更になる。

式 (3.2), (3.3) を式 (2.6), (2.7) と比較すると、Blankenbaker のマイクロ・プログラムの  $n$ ,  $m$  は、 $n_{ideal}$ ,  $m_{ideal}$  よりもかなり大きいものであることがわかる。これは命令の種類を 4 種に限ったために起こるもので、4 種の命令をどのように変えようとも  $n$ ,  $m$  の数に根本的な改良はおこらない。

改良されたマイクロ・プログラムは命令を構成する  $M$ ,  $N$  の遅延線にさらに 1 本の遅延線を加え、命令の種類を 8 種にして、 $n$  と  $m$  をほぼ  $n_{ideal}$ ,  $m_{ideal}$  まで減少させたものである。

本文で使用される 8 種類の命令は表 3.1 のとおりである。これらをさらに説明すると、

(1) DO NOTHING:  $R$ -遅延線をサイクリックに 1 ビットだけ右にシフトする。 $L$ -遅延要素は不変。

(2) INPUT, OUTPUT: Input と Output のタイミングが独立に選べるように、二つの命令を分離した。

(3) STORE:  $L$ -遅延要素の内容を  $R$ -遅延線に書き込み、 $L$ -遅延要素を 1 にリセットする。

以上 4 種の命令をもうけることには、あまり選択の余地がないが、以下の 4 種の命令の選択にはいくとおりものものが考えられる。

(4) AND と NEGATED AND:  $L$ -遅延要素に、 $L \cdot R$ ,  $L \cdot \bar{R}$  を入れる AND と NEGATED AND は、Prime implicant の計算を  $m$  1 個の間に行なうのに便利である。また、これら二つの命令を用意すれば、 $R$ -遅延線の中に  $X_k(t-1)$  だけをたくわえればよく、 $\bar{X}_k(t-1)$  用のメモリが不要になる。

(5) OR:  $L$  と  $R$  の論理和を取って、 $R$ -遅延線に入れることは、Prime implicant の計算結果を集積するのに用いて便利で、Prime implicant の数だけ一時的メモリを必要とした前回に比し、それを全部不要とする命令である。 $L$  は 1 にリセットされる。

(6) NEGATION:  $L$  の Complement を取って、 $L$  に入れる。 $0$  を  $R$ -遅延線に入れるのにも用いて便利である。

以上の命令を用いて式 (2.3), (2.4) のマイクロ・プログラムを作ってみると、表 3.2 のようになる。

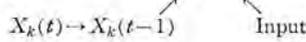
表 3.2 を参照しながら、 $n$  と  $m$  を推測する一般式を求めてみると、

$$n \leq (\text{変数の数}) + (\text{式の数}) \leq 2p \quad X_k(t-1) \quad X_k(t) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

表 3.1 8種の命令表

命令の記号	命令の動作(名称)	命令			論理回路の動作		
		P	N	M	U	V	E
—	DO NOTHING	0	0	0	L	R	0
N	NEGATION	0	0	1	$\bar{L}$	R	0
A	AND	0	1	1	L·R	R	0
$\bar{A}$	NEGATED AND	0	1	0	L· $\bar{R}$	R	0
O	OR	1	1	0	1	L+R	0
S	STORE	1	1	1	1	L	0
I	INPUT	1	0	1	I	R	0
E	OUTPUT	1	0	0	L	R	R

$$m \leq (\text{Prime implicant の全数}) + (\text{式の数}) + 1 \dots\dots (3.5)$$



すなわち、式(3.4)、(3.5)は式(3.2)、(3.3)と一致し、 $m_{ideal}$ 、 $m_{ideal}$ を実現していることがわかる。

改良されたマイクロ・プログラムを用いたときに、どのくらいの  $m$ 、 $n$  の数が必要であるかの概念を得るために、ふたたび式(3.5)と式(2.11)で与えられる  $p$  段カウンタの例を取ってみる。 $p=3$  の場合のマイクロ・プログラムは付録3の付表 3.1、付表 3.2 に示したが、これを参照にして  $m$  と  $n$  はそれぞれ次式で与えられる。

計算式 #1 の場合

$$n = p + 2 + 2 = p + 4 \dots\dots (3.6)$$

$$m = \sum_{k=1}^p (k+2) + 1 + (p+1) + 1 = \frac{p(p+1)}{2} + 3p + 3 \dots\dots (3.7)$$

計算式 #2 の場合

$$n = 2 \times (p+1) = 2p + 2 \dots\dots (3.8)$$

$$m = (3p+1) + (p+1) + 1 = 4p + 3 \dots\dots (3.9)$$

種々の  $p$  の値にたいしては、 $n$ 、 $m$ 、および  $n \times m$  が表 3.3 に示されている。

表 3.3 を表 2.3 と比較してみると、 $n$ 、 $m$  とともにいちじるしく減少していることがわかる。一般的にいて、 $n$  の数を問題にするときには計算 #1 が、演算時間 ( $n \times m$ ) を問題にするときには計算式 #2 がすぐれているといえる。

表 3.2 式(2.3)、(2.4)の改良されたマイクロ・プログラム ( $L$  の初期状態は 1)

n	m				演算内容
	1	2	3	4	
	$X_1$	$X_2$	$M_1$	$M_2$	
1	A	$\bar{A}$	—	S	$X_1(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1) \rightarrow M_2$ $\bar{X}_1(t-1) \cdot X_2(t-1) + M_2 \rightarrow M_2$ }式(2.3)
2	$\bar{A}$	A	—	O	
3	A	A	S	—	$X_1(t-1) \cdot X_2(t-1) \rightarrow M_1$ $\bar{X}_1(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$ }式(2.4)
4	$\bar{A}$	$\bar{A}$	O	A	
5	S	—	A	—	$M_2 \rightarrow X_1$
6	S	—	—	—	$M_1 \rightarrow X_2$

図 3.1 は命令を構成するのに使用されたビット数  $d$  と、 $n$ 、 $m$ 、さらに回路を構成するのに必要な全ビット数  $t = (d \times n \times m + n)$  の関係を、10 段カウンタ、計算式 #1 を例にとって示したものである。図からも見られるように  $d$  を 3 以上にしてもプログラムが容易になるだけで  $n$  と  $m$  の数は変わらず、したがって逆に  $t$  は増加する結果となり、図からも 3 ビット、8 種類の命令が最も経済的であることがわかる。

#### 4. 万能論理回路の構成

図 2.2 のブロック図で表され、表 3.1 の命令表を持つ万能論理回路の論理回路部を構成してみよう。

表 3.1 より  $U$ 、 $V$ 、 $E$  はそれぞれつぎのような論理関数で与えられる。

$$U = L \cdot \bar{N} \cdot \bar{M} + \bar{L} \cdot P \cdot \bar{N} \cdot M + L \cdot R \cdot \bar{P} \cdot N \cdot M + L \cdot \bar{R} \cdot \bar{P} \cdot N \cdot \bar{M} + P \cdot N + I \cdot P \cdot \bar{N} \cdot M \dots\dots (4.1)$$

$$V = L \cdot P \cdot N + R \cdot (\bar{M} + \bar{N} + \bar{P}) \dots\dots (4.2)$$

$$E = R \cdot P \cdot \bar{N} \cdot \bar{M} \dots\dots (4.3)$$

式(4.1)、(4.2)、(4.3)は図 4.1 に示したような論理回路で構成され、 $M$ 、 $N$ 、 $P$ 、 $I$ 、 $R$ 、 $L$  とともに  $\bar{M}$ 、 $\bar{N}$ 、 $\bar{P}$ 、 $\bar{R}$ 、 $\bar{L}$  が外部から供給されるならば、わずかに 11 個の AND、OR ゲートで構成されることになる。

図 4.2 は試作された万能論理回路の写真を示している。試作品の命令用遅延線には紙テープ、フォトテープ、リードを用い、 $R$ -遅延線にはトランジスタ・ソフト・レジスタを用いている。

表 3.3 改良されたマイクロ・プログラムに必要な  $n$  と  $m$

p	2 <sup>p</sup>	計算式 #1			計算式 #2		
		n	m	n × m	n	m	n × m
1	2	5	7	35	4	7	28
2	4	6	12	72	6	11	66
3	8	7	18	126	8	15	120
4	16	8	25	200	10	19	190
5	32	9	33	297	12	23	276
6	64	10	42	420	14	27	378
7	128	11	52	572	16	31	496
8	256	12	63	756	18	35	630
9	512	13	75	975	20	39	780
10	1,024	14	88	1,232	22	43	946
11	2,048	15	102	1,530	24	47	1,128
12	4,096	16	117	1,872	26	51	1,326

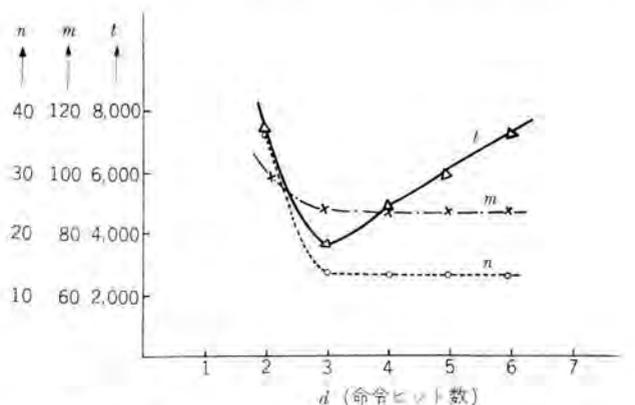


図 3.1 10 段カウンタ 計算式 #1 に必要な全ビット数  $t(d \times n \times m + n)$

Fig. 3.1 Total bit number  $t(d \times n \times m + n)$  necessary for 10 step counter-calculating formula #1

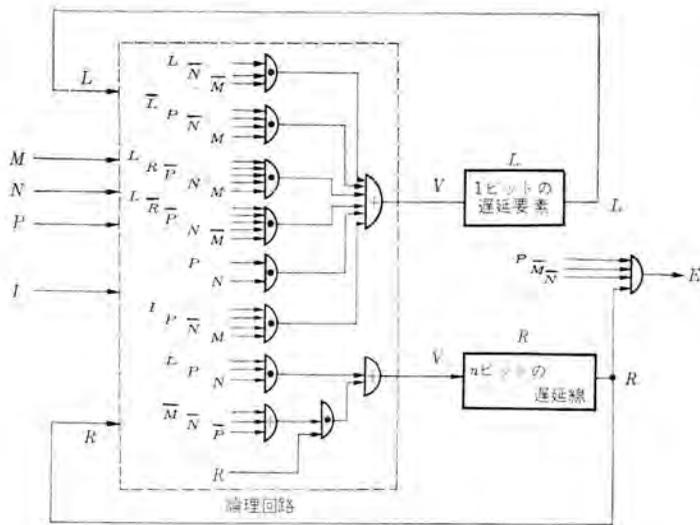


図 4.1 万能論理回路の構成 (D:AND:P:OR)  
Fig. 4.1 Composition of general purpose logic circuit.



図 4.2 万能論理回路の写真  
Fig. 4.2 View of general purpose logic circuit.

### 5. む す び

以上 Blankenbaker の マイクロ・プログラム を改良して、万能論理回路を構成することを試みたが、その際明らかとなった諸点を列挙するとつぎのとおりである。

(1) 3 ビット 8 種類の命令を使用すると  $n, m$  の数とともに理想的な最小値にまで下げることができることが明らかとなった。

2 ビット 4 種類の命令では  $n, m$  は 8 種類の命令を使用したときよりもかなり大きな値になり、またたとえ 4 ビット 16 種類の命令を用意しても Prime implicant の平行演算を行なわない限り、 $n, m$  をより小さくすることはできない。

(2) 本文ではこの万能論理回路を  $p$  段カウンタとして用いた場合、どの程度の  $n, m$  を必要とするかを示したが、その他の種々の論理回路にたいしても、同様の検討がなされた結果、この種の万能論理回路がかなり広範囲にわたって、実用に供しようとの確信をもった。

その一例として自動制御最適化装置 OPCON<sup>(15)</sup> の論理回路部分をこの万能論理回路で実現することを検討したが、 $n \cong 20$ 、 $m \cong 70$ 、 $n \times m = 1,400$  となった。

これを紙テープに打って、フォト・テープ・リーダーで論理回路に供給すると、テープの送り速度を約 200 Characters sec として演算時間は約 7 sec となり、これは単能の論理回路の  $m$  sec 程度と

比較すると、非常におそいが、プロセスの制御などに用いるには十分速い。

遅延線として磁気円板、ドラムなどが使用されればさらに高速になる。

(3) この種の万能論理回路はデータ処理装置としては、必ずしも適当でなく、順序論理回路だけを応用の対象にするべきである。

(4) 万能論理回路は命令遅延線部、 $R$ -遅延線、簡単な論理回路と簡単な機能を持つ三つの部分にわかれているため、回路の保守点検が容易で、また各部別に信頼性を向上させる手段もこうじやすい。

(5) 本文の万能論理回路は、メモリ各素子が番地を持たない Logical computer である。その結果プログラムを作るとき、つねに  $R$ -遅延線のタイミングを考える必要があり、また作られたプログラムの中にはむだな部分が DO NOTHING として多数存在することになる。(全プログラム中の DO NOTHING の占めるパーセンテージは、プログラムが大きくなるほど高くなるが、OPCON の場合で約 75% であった。) しかしながら、これらのむだをさけるためにメモリ各素子に番地を付け、通常のデジタル計算機と同じような構成を持った Logical Computer を考えると、命令語長が長くなり、制御回路も複雑で必ずしも経済的でなく、さらに Stored program 方式の威力も論理演算にたいしてはそれほど発揮されないうらみがある。両者の優劣はさらに詳細に検討されるべきであるが、とくに小規模な万能論理回路としては、本文の方法に多くの利点を見出すことができる。

(6) 試作品には命令遅延線に紙テープ、 $R$ -遅延線にトランジスタ・シフト・レジスタを用いたが、これら遅延線をどのようなものに置代えて行くべきかは、今後の問題点である。また、入出力関係の取扱いについても一層の検討がまたれる。

最後にこの研究にあたっては、東大電気工学科、高山滝雄氏(36年当所で夏期実習)の助力に感謝します。

### 参 考 文 献

- (1) Wilkes, M. V., and Stringer, J. B.: Micro-programming and the design of the control circuits in an electronic digital computer, Proc. Cambridge Phil. Soc., (April, 1953).
- (2) Mercer, R. J.: Micro-programming, Journal of Association for Computing Machinery, 4, 157-171 (1957).
- (3) Blankenbaker, J. V.: Logically Micro-programmed Computers, Trans. IRE, EC-7, pp. 103-109 (1958).
- (4) 坂井, 西尾: マイクロプログラミング (Blankenbaker-Campeau の) に関する一考察, 昭 36 電気連合大会 No. 313
- (5) 福永: 試行法による多変数最適化制御, 制御工学, 5, 46-52 (昭 36).

### 付録 1. 3 段 カウンタ 計算式 #1

カウンタは入力が 0 から 1 に変化したときにだけ、付表 1.1 のような変化を示すものとする。

マイクロプログラム方式による万能論理回路・福永

入力がたとえ 1 を保持しても、カウンタには変化がおこらない。この変化を示す第一番目の計算式は、

$$X_1(t) = \bar{X}_1(t-1) \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) + X_1(t-1) \cdot \bar{I}(t) + I(t-1) \quad \dots\dots(\text{付 1.1})$$

$$X_2(t) = [X_2(t-1) \cdot \bar{X}_1(t-1) + \bar{X}_2(t-1) \cdot X_1(t-1)] \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) + X_2(t-1) \cdot \bar{I}(t) + I(t-1) \quad \dots\dots(\text{付 1.2})$$

$$X_3(t) = [\bar{X}_3(t-1) \cdot X_2(t-1) \cdot X_1(t-1) + X_3(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1) + X_3(t-1) \cdot \bar{X}_1(t-1)] I(t) \cdot \bar{I}(t-1) + X_3(t-1) \cdot \bar{I}(t) + I(t-1) \quad \dots\dots(\text{付 1.3})$$

$$E = X_3(t-1) \cdot X_2(t-1) \cdot X_1(t-1) \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \quad \dots\dots(\text{付 1.4})$$

これらの式のマイクロ・プログラムは付表 1.2 に示す。この場合は Prime implicant 用のメモリと  $X_i(t)$  用のメモリを共通に使用することができるので、 $n$  の数が節約できて、

$$n = 2 \times (3+2) + 5 + 1 = 16 \quad \dots\dots(\text{付 1.5})$$

$X_i(t-1)$  ( $i=1, 2, 3$ ) Prime implicant の最大数  
 $I(t), I(t-1)$   $M_6$

$$m = (3+4+5+1) + 2 \times 4 + 3 = 23 \quad \dots\dots(\text{付 1.6})$$

Prime implicant 式の数の全数  
 Input-Output Complement

付表 1.1 3 段カウンタの真理値表

$t-1$			$t$		
$X_3$	$X_2$	$X_1$	$X_3$	$X_2$	$X_1$
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0

付表 1.2 計算式 #1 の場合のマイクロ・プログラム

$n$	$m$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	
		$\bar{X}_3, \bar{X}_2, \bar{X}_1, X_3, X_2, X_1, \bar{I}, I, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$	
1		I -----	Input-Output
2		ASASASASAS -----	Complement
3		-A -AA -A -AS -----	$\bar{X}_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow M_1$
4		-A -A -AA -----S -----	$X_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow M_2$
5		-A -A -A -A -----S -----	$X_3 \cdot \bar{X}_1 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow M_3$
6		A -----A -----S -----	$X_3 \cdot \bar{I}(t) \rightarrow M_4$
7		--A -A -----S -----	$X_2 \cdot I(t-1) \rightarrow M_5$
8		-----A A A A A S -----	$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \cdot \bar{M}_4 \cdot \bar{M}_5 \rightarrow M_6$
9		-A -A -----AA -S -----	$X_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow M_1$
10		-A -A -A -A -S -----	$\bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow M_2$
11		A -----A -----S -----	$X_2 \cdot \bar{I}(t) \rightarrow M_3$
12		--A -----A -----S -----	$X_2 \cdot I(t-1) \rightarrow M_4$
13		-----A A A A S -----	$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \cdot \bar{M}_4 \rightarrow M_5$
14		-A -A -----A -S -----	$\bar{X}_1 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow M_1$
15		A -----A -S -----	$X_1 \cdot \bar{I}(t) \rightarrow M_2$
16		--A -----A -S -----	$X_1 \cdot I(t-1) \rightarrow M_3$
17		-----A A A S -----	$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \rightarrow M_4$
18		A -S -----	$I(t) \rightarrow \bar{I}(t-1)$
19		-A -A -A -A -A -----	$X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot I(t) \cdot \bar{I}(t-1) \rightarrow I(t)$
20		S -----A -----	$\bar{M}_6 \rightarrow X_3$ (付1.4)
21		-----S -----A -----	$\bar{M}_5 \rightarrow X_2$
22		-----S -----A -----	$\bar{M}_4 \rightarrow X_1$
23		-----S -----	

付録 2. 3 段カウンタ計算式 #2

カウンタは一般に考えられているように、前段が 1→0 へと変化したときにだけ、変化をおこすと考えると各段において、

$$X_k(t) = X_k(t-1) \oplus \bar{X}_{k-1}(t) \cdot X_{k-1}(t-1) = X_k(t-1) \cdot X_{k-1}(t) + X_k(t-1) \cdot \bar{X}_{k-1}(t-1) + \bar{X}_k(t-1) \cdot \bar{X}_{k-1}(t) \cdot X_{k-1}(t-1) \quad (k=0, 1, 2, 3) \quad \dots\dots(\text{付 2.1})$$

ただし、初段においては、入力が 0→1 に変化したときにだけ変化するが、

$$X_0(t) = \bar{I}(t) \quad \dots\dots(\text{付 2.2})$$

と置けば、(2.1) ですべての場合が統一的に論じられる。その場合の出力は、

$$E = X_3(t-1) \cdot X_2(t-1) \cdot X_1(t-1) \cdot \bar{X}_0(t) \cdot X_0(t-1) \quad \dots\dots(\text{付 2.3})$$

で与えられる。

このマイクロ・プログラムを付表 2.1 に示す。この場合の  $n$  と  $m$  の数は、

$$n = 2 \times (3+1) + 3 + 2 \times (2+1) = 17 \quad \dots\dots(\text{付 2.4})$$

$X_i(t-1)$  Prime implicant の最大数 ( $i=0, 1, 2, 3$ )  
 $X_i(t)$  と  $\bar{X}_i(t)$  ( $i=0, 1, 2$ )

付表 2.1 計算式 #2 の場合のマイクロ・プログラム

$n$	$m$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	
		$\bar{X}_3, \bar{X}_2, \bar{X}_1, X_3, X_2, X_1, \bar{I}, I, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$	
1		I -----	Input-Output
2		ASASASASASASASAS -----	Complement
3		A -----A -----S -----	$X_3(t) \cdot X_1(t-1) \rightarrow M_1$
4		-A -A -A -----S -----	$\bar{X}_3(t-1) \cdot X_1(t-1) \rightarrow M_2$
5		-A -A -A -----S -----	$\bar{X}_3(t) \cdot X_3(t-1) \cdot \bar{X}_1(t-1) \rightarrow M_3$
6		-----A A A -----	$\bar{M}_3 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \rightarrow \bar{X}_1(t)$
7		-----S -----	
8		-----A S -----	$X_1(t)$
9		-A -----A -----S -----	$X_1(t) \cdot X_2(t-1) \rightarrow M_1$
10		-----A -A -A -----S -----	$\bar{X}_1(t-1) \cdot X_2(t-1) \rightarrow M_2$
11		-----AA -----A -----S -----	$\bar{X}_1(t) \cdot X_1(t-1) \cdot \bar{X}_2(t-1) \rightarrow M_3$
12		-----A A A -----	$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \rightarrow \bar{X}_2(t)$
13		-----S -----	
14		-----A S -----	$X_2(t)$
15		-----A -A -A -----S -----	$\bar{X}_2(t) \cdot X_3(t-1) \rightarrow M_1$
16		-----AA -----S -----	$\bar{X}_2(t-1) \cdot X_3(t-1) \rightarrow M_2$
17		-----AA -----A -----S -----	$\bar{X}_2(t) \cdot X_3(t-1) \cdot \bar{X}_4(t-1) \rightarrow M_3$
18		-----A A A -----	$\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \rightarrow \bar{X}_3(t)$
19		-----S -----	
20		A -S -----	$X_3(t) \rightarrow X_3(t-1)$
21		-A -A -A -A -A -----	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \bar{X}_0(t) \cdot X_0(t-1) \rightarrow E$
22		S -----A S -----A S -----	$\bar{X}_1(t) \rightarrow \bar{X}_1(t-1)$

$$m = \underbrace{(3 \times 3 + 1)}_{\substack{\text{Prime implicant} \\ \text{の全数}}} + \underbrace{3 \times 3 - 1}_{\substack{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3 \rightarrow \bar{X}_1(t) \\ X_0(t) \rightarrow X_0(t-1) \\ X_1(t) \rightarrow X_1(t-1)}} + 2 + 2 = 22$$

Input-Output Complement

付録 3. 3 段カウンタの改良されたマイクロ・プログラム

n	1 2 3 4 5 6 7	
m	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ $X_2(t) \quad X_1(t) \quad X_0(t) \quad I(t) \quad I(t-1)$	
1	---1---	Input
2	AAAAA-S	Output (付1.4)
3	AAAAAES	$X_2 \cdot X_1 \cdot X_0 \cdot I(t) \cdot I(t-1) \rightarrow M_1$
4	A-AA-A0-	$X_1 \cdot X_2 \cdot I(t) \cdot I(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$
5	A-AA-A0-	$X_1 \cdot X_2 \cdot I(t) \cdot I(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$ (付1.3)
6	A--A-0-	$X_2 \cdot I(t) \rightarrow M_1$
7	A--A-0-	$X_2 \cdot I(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$
8	-----A	$M_1 \rightarrow X_2$
9	S:AAAAAS	$X_2 \cdot X_1 \cdot I(t) \cdot I(t-1) \rightarrow M_1$
10	-AA-AA0-	$X_2 \cdot X_1 \cdot I(t) \cdot I(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$
11	-A-AA-0-	$X_2 \cdot I(t) + M_1 \rightarrow M_1$ (付1.2)
12	-A-AA-0-	$X_2 \cdot I(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$
13	-----A	$M_1 \rightarrow X_2$
14	-S:AAAAAS	$X_1 \cdot I(t) \cdot I(t-1) \rightarrow M_1$
15	-AA-AA-0-	$X_1 \cdot I(t) + M_1 \rightarrow M_1$ (付1.4)
16	-A-AA-0-	$X_1 \cdot I(t-1) + M_1 \rightarrow M_1$
17	-----A	$M_1 \rightarrow X_1$
18	-S:AAAS	$I(t) \rightarrow I(t-1)$

付表 3.1 計算式 #1 の改良マイクロ・プログラム  
 $n = 3 + 2 + 2 = 7$  ..... (付 3.1)  
 $X_k \quad I(t), I(t-1) \quad M_1, M_2$   
 $m = (5+4+3+1) + (3+1) + 1 = 18$  ..... (付 3.2)  
 Prime implicant  $X_k(t) \rightarrow X_k(t-1)$   
 の全数  $I(t) \rightarrow I(t-1)$

n	1 2 3 4 5 6 7 8	
m	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ $X_2(t) \quad X_1(t) \quad X_0(t) \quad X_2(t) \quad X_1(t) \quad X_0(t) \quad X_2(t) \quad X_1(t)$	
1	I-----	Input
2	AAA-AAAS	Output (付2.3)
3	A-A-S---E	$X_2(t) \cdot X_1(t-1) \rightarrow X_1(t)$
4	-AAO----	$X_2(t-1) \cdot X_1(t-1) + X_1(t) \rightarrow X_1(t)$
5	AAAO----	$X_2(t) \cdot X_2(t-1) \cdot X_1(t-1) \cdot X_1(t) \rightarrow X_1(t)$
6	---AAS---	$X_1(t) \cdot X_2(t-1) \rightarrow X_2(t)$
7	--A-AO---	$X_1(t-1) \cdot X_2(t-1) + X_2(t) \rightarrow X_2(t)$
8	-AA-AAO---	$X_1(t-1) \cdot X_1(t) \cdot X_2(t-1) + X_2(t) \rightarrow X_2(t)$
9	-----AAS	$X_2(t) \cdot X_1(t-1) \rightarrow X_1(t)$
10	-----A-AO	$X_2(t-1) \cdot X_2(t-1) + X_3(t) \rightarrow X_3(t)$
11	-----A-AAO	$X_2(t-1) \cdot X_2(t) \cdot X_3(t-1) + X_3(t) \rightarrow X_3(t)$
12	AS-AA----	$X_2(t) \rightarrow X_2(t-1)$
13	--S--A--	$X_1(t) \rightarrow X_1(t-1)$
14	---S--A	$X_2(t) \rightarrow X_2(t-1)$
15	-----S-	$X_3(t) \rightarrow X_3(t-1)$

付表 3.2 計算式 #2 の改良マイクロ・プログラム  
 $n = 2 \times (3+1) = 8$  ..... (付 3.3)  
 $X_i (i=0, 1, 2, 3)$   
 $m = (3 \times 3 + 1) + (3+1) + 1 = 15$  ..... (付 3.4)  
 Prime implicant  $X_i(t) \rightarrow X_i(t-1)$   
 の全数  $(i=0, 1, 2, 3)$  Input

最近における当社の社外講演一覧

年月日	主催または開催場所	題名	講演者	所属場所
37-2-13	九州生産性本部	工場防爆機器の研修会	林昇寿	福岡
37-2-14	原子力学会	近畿 VTR-B の臨界試験	岸田公治	伊丹
37-2-14	労働省・全日本産業安全連合会	工場照明	小堀富次雄	本社
37-2-15・21	関西経営管理協会	作業の標準化・作業標準化の手法	奈川敏雄	本社
37-2-16	原子力学会	三菱研究用原子炉の特長と構造	岸田公治	伊丹
37-2-16	日本産業協会	リーマ加工について	落合一郎	伊丹
37-2-17	原子力学会	PWR用磁気シラック形制御棒駆動装置の試作	渡辺聡	伊丹
37-2-17	電気技術普及会	電波で速度を測る話	渋谷裕	無線機
37-2-18	NHK大阪中央放送局	ケイ光灯のラジオ雑音について	土井貞春	大船
37-2-21	科学技術情報センター	わが社のドクメンテーション	前田幸夫	本社
37-2-21	新潟市中央会館	タイムスイッチ, 自動点滅器	高島登	福山
37-2-22	産業安全研究所	商店照明に関する講演	佐々木武敏	本社
37-2-26~27	世田谷サービスセンター	タイムスイッチ, 自動点滅器	高島登	福山
37-2-27	電子機器小形化技術講習会	電子機器の超小形化について(1)	黒田忠光	無線機
37-2-28	産業訓練協会	CCS経営講座	前田幸夫	本社

## 中性子速度選択機

日本原子力研究所 大野善久・岡本浩一  
三菱電機株式会社研究所 藤原智\*・大野栄一\*\*・太田和年\*

## Neutron Mechanical Velocity Selector

Japan Atomic Energy Research Laboratory  
Mitsubishi Electric Manufacturing Co.  
Research Laboratory

Yoshihisa OHNO・Kōichi OKAMOTO

Satoru HAGIHARA・Eiichi OHNO・Kazutoshi OHTA

A neutron mechanical velocity selector is a device to select any desired monochromated beam out of a neutron beam emitted from a nuclear reactor, being an indispensable apparatus for the study of various nuclear properties of a sample against neutron. This paper gives an account of a device delivered to the Japan Atomic Energy Research Institute for the purpose of taking out a monochromated beam ranging from energy 0.0003eV to 0.03eV at 25% resolution. It has a rotor made of KR monel 19 cm in dia. and 44 cm in length, and with 80 slots cut out of it having a depth of 4.5 cm, they all being arranged at a helical angle of 15°45'. This rotor is driven by a 400 W motor in a vacuum vessel with its digital speed controlled between 1,500 rpm~15,000 rpm with an accuracy of 0.1%.

## 1. ま え が き

中性子速度選択機は原子炉の中性子束から望みの単一 エネルギーの中性子だけを選び出す装置で、中性子結晶モノクロメータとならんで、主として試料の中性子に対する原子核的諸性質を研究するのに不可欠なものである。

結晶モノクロメータはすでに昭和33年末当社から東海村日本原子力研究所に納入され、JRR-1 原子炉による予備実験を終え、JRR-2 原子炉に移転され活躍を続けている。今回このモノクロメータに追加する中性子速度選択機を製作したのでそのあらましを報告する。

この装置は既設コリメータ部の後に設置され、必要とする波長の中性子束に対する高次の中性子束を遮断し（主として1/2波長のものが対象になる）結晶中における高次の反射による妨害を除去しようとするものである。

## 2. 装置の概要

この装置は大別すると、(1)ロータおよびその駆動機構、(2)回転制御回路および制御盤、(3)真空系と油循環系の3部よりなりたっており、図2.1、図2.2、図2.3に示した。各項についての詳細は後に述べるが、まずその動作の概要を述べる。

結晶モノクロメータではブラッグの法則

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots \dots \dots (2.1)$$

$d$ : 結晶面間距離,  $n$ : 散乱の次数

$\lambda$ : 中性子の波長,  $\theta$ : ブラッグ角度

を利用して単一エネルギーの中性子を得るが、この散乱の次数  $n$  のために得ようとする波長  $\lambda_0$  のほかに  $\lambda_0/2$ ,  $\lambda_0/3$ ……といったより高次の中性子の反射が行なわれる。より高次というのは波長の短い、したがってエネルギーの高い中性子を取り出そうとするエネルギーの中性子束の中に含まれてくることを意味する。

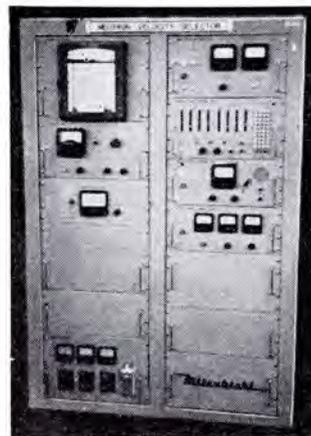


図2.2 回転制御装置  
Fig. 2.2 Speed control unit.

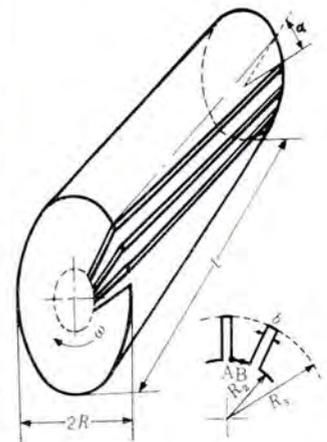


Fig. 2.4 Rotor size and completed rotor.

図2.4 ロータ寸法とロータ

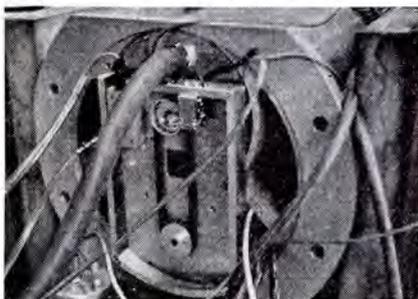


図2.1 ロータと回転装置  
Fig. 2.1 Rotor and rotating equipment.

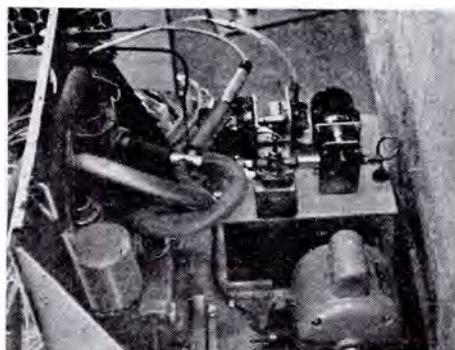


図2.3 補器装置  
Fig. 2.3 Auxiliary machine.

結晶の反射率は次数が高くなるにしたがって減少するが、第2次はかなり効いてくる。この結晶からの中性子の高次の反射を除去するためには、ヘリカルロットをもつ回転体を回転させ、そのロットの中を中性子を通らせる方法が有効である。とくに中性子の波長が8Å以上、速度で494 m/sec以下、エネルギーで0.001277 eV以下の場合には他の方法がまったくなく現在唯一の手段である。図2.4に示すようなロータを中性子が通り抜ける場合にロータスロットのねじれ角度を $\alpha$ 、回転角速度を $\omega$ 、ロータの長さを $l$ とすると通り抜ける中性子の速度 $V$ は

$$V = \omega l / \alpha \quad (2.2)$$

から得られる。このロータを高次の中性子の反射を除くフィルタとして用い、ある回転角速度 $\omega$ で回転させ、速度 $V$ の中性子を得ようとする場合、スロットの広がりがあると外部よりははいてくる中性子束のひろがりがあるために式(2.2)で与えられる $V$ 以上の速度をもつ中性子はいってくる。式(2.1)のブラッグの式で $n=2$ 以上を除去したいのであるから、回転角速度 $\omega$ のときの通り抜ける中性子の最大速度 $V_{max}$ に対する必要条件は

$$V_{max} < 2V \quad (2.3)$$

で与えられ、また式(2.2)からは次式が得られる。

$$V_{max} = \omega l \{ \alpha - (2d\alpha + \beta) \} = V \{ 1 - (2d\alpha + \beta) / \alpha \} \quad (2.4)$$

$\beta = QlR$ ,  $Q$ : 中性子束のひろがり,  $R$ : ロータの平均半径  
 $2d\alpha$ : スロットのひろがり角

このようなロータを定速回転させると必要な単色中性子を取り出すことが可能でありまた回転数を変えるとそのエネルギーを変化させることができる。

### 3. ロータと駆動機構

#### 3.1 仕様

ロータおよび駆動機構の概要を図3.1に示す。

そのおもな仕様はつぎのとおりである。

ロータ 外形  $R_0=95$  mm,  $l=440$  mm

ブレード長さ 45 mm, 80枚

材質 KR モネル

軸受 アンギュラ・コンタクト形, 超精密級軸受2組, グリス潤滑

駆動方式 ベルト駆動

駆動電動機 他励分巻形直流電動機 出力 400 W 7.5 A

15,000 rpm 水冷式 連続 1,000時間

軸シール オイルシール 油潤滑

速度検出 ランプによるフォトバルスとタコジェネを両用

ロータ 軸1回転で30パルス

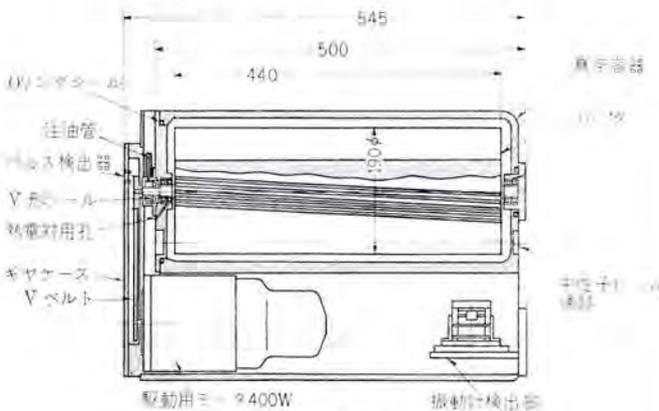


図3.1 中性子速度選択機組立図  
 Fig. 3.1 Assembly of velocity selector.

\* Inco Technical Bulletin T-9

ランプ 寿命: 1.2 定格で 1,000 時間

真空系 真空ポンプ: キコ形 60 l/min

真空計: サーマスタ形 TG-R1 形

ケーシング アルミニウム合金鋳物

#### 3.2 ロータ材料

ロータ材料としてはつぎの条件からKRモネルを選んだ。

- (1) 中性子,  $\gamma$ 線に対する吸収が大きいこと。
- (2)  $\gamma$ 線のシヤヘイ効果を考慮して比重の大きいこと。
- (3) 高速回転に耐えるため機械的強度と比重の比が大きいこと。
- (4) 機械的強度についてはロータの寸法上や機械工作法の点で焼入れや時効硬化で強度を増したものであり、しかも切削が容易であること。

ここで各種材料についてAECV-2040による熱中性子の吸収断面積で計算した値を表3.1に示す。材料としては高速回転体として考えられる材料のなかで中性子の吸収効果の大きいものを選んでみた。

表3.1のようにKモネルが中性子吸収の点でもっともすぐれている。Kモネルの成分、物理的性質、機械的性質を表3.2\*, 表3.3\*, 表3.4\*に示す。

#### 3.3 ロータの応力計算

(1) ブレードの応力計算

ロータの強度を考える場合、遠心力による高い応力はブレードの根本とロータの中心部に発生すると考えられるので、この2点について検討した。図2.4に示す寸法のロータでブレードの根本に

表3.1 各種材料の中性子に対する適応性

材 料	cm <sup>2</sup> /g	比重	体積当たりの吸収 cm <sup>2</sup> /g × 比重
モネル K (Ni, Cu, Al)	0.044	8.5	0.375
インコネル (Ni, Cr, Al)	0.0394	8.5	0.340
Ti合金 (6Al-4V)	0.065	4.5	0.29
合金鋼 (Fe, Ni, Cr, Mo)	0.0265	7.8	0.21

表3.2 Kモネルの成分

元素	×	元素	%	備 考
Ni	63~70	Cu	残部	実際に使用したKRモネルはCを少量変化させて切削性を改良したものである。
Al	2~4	Si	1 max	
Fe	2 max	Ti	0.25~1	
Mn	1.5 max	C	0.25 max	

表3.3 物理的性質

比重	8.46	熱伝導率 Cal/cm <sup>2</sup> sec/°C/cm	0.043
比熱 Cal/g/°C	0.127	膨張係数 /°C	14~16 × 10 <sup>-6</sup>
ヤング率 kg/cm <sup>2</sup>	1.82 × 10 <sup>6</sup>	melting Range °C	1,315
ポアソン比	0.32		

表3.4 機械的性質 Hot finished annealed & agehardend.

抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	108	疲労限 (両振平板) 26 kg/mm <sup>2</sup>	10 <sup>8</sup> 回
降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	0.2% 70.0	疲労限 (両振丸棒) 31~39 kg/mm <sup>2</sup>	10 <sup>8</sup> 回
伸び <sup>a</sup>	(2%) 20% 以上	衝撃値 (シャルピキホル) Ft-lb-s	20~30

生じる遠心力を  $F$ 、ブレードの厚さを  $b$  とすると、根本に生じる応力  $\sigma_1 = F/b$ 。これに機械的公差  $\pm 5/100 \text{ mm}$  とメッキ層  $5/100 \text{ mm}$  を両側に見込んだ  $15\%$  増しの応力  $\sigma$  を考えると  $18,000 \text{ rpm}$  では  $\sigma_{\text{mean}} = 11.6 \text{ kg/mm}^2$  となる。

(2) ブレード曲げによる応力

この場合外力として考えられる力は急激な  $\omega$  の加速や減速による慣性力と空気抵抗が考えられる。いまベアリングの故障などで急激な停止を行なう場合も考えると予想は困難であるが  $\omega$  の慣性  $1.2 \text{ kg cm sec}^2$  と平均加速  $20 \sim 50 g$  を想定しても 1 枚のブレードの先端荷重は  $0.1 \text{ kg}$  程度である。また空気抵抗トルクを考慮する場合も  $\omega$  の軸トルクが先端に分布してかかる程度と仮定するとこれも問題にならない。以上ブレードを曲げる外力は非常に少ないが、念のため  $0.1 \text{ kg}$  の荷重を先端に加えて計算すると先端部の変位は  $0.0595 \text{ mm}$ 、根本応力は  $\sigma_0 = \pm 1.2 \text{ kg/mm}^2$  となる。

(3)  $\omega$  中心部の応力

$\omega$  中心部のソリッドな部分についての応力を求めてみる。外周に応力の加わった中実円柱として考えると、半径方向、円周方向応力  $\sigma_r$  と  $\sigma_\theta$  は  $50,000 \text{ rpm}$  までの間では弾性域にあるから

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \{K_3 + K_1(R_2^2 - r^2)\} \gamma \omega^2 / g \\ \sigma_\theta &= \{K_3 + K_1 R_2^2 - K_2 r^2\} \gamma \omega^2 / g \end{aligned} \right\} (3.1)$$

ただし  $K_1 = (3m-2)/8(m-1)$ ,  $K_2 = (m+2)/8(m-1)$

$$K_3 = \frac{80b}{4\pi R_2} (R_2^2 - R_1^2)$$

$\gamma$ : 単位体積重量  $m$ : フォン数

中心の応力を  $18,000 \text{ rpm}$  で求めると  $\sigma_r, \sigma_\theta = 7.17 \text{ kg/mm}^2$  となる。また  $r = R_2 = 50 \text{ mm}$  における円周方向の応力を  $18,000 \text{ rpm}$  で求めると  $\sigma_\theta = 4.87 \text{ kg/mm}^2$  となる。

(4) ブレード根本部に加わる集中応力

図 2.4 に示すブレード根本 A 点に半径方向の引張りによる集中応力が生じる。その係数は種々の実験から  $1.5$  を採用すれば十分と考えられるのでこれを  $18,000 \text{ rpm}$  で求めると  $(\sigma_r)_A = 17.3 \text{ kg/mm}^2$  となる。

ブレードの曲げにより A 点に曲げ集中応力が生じる。これを係数  $1.3$  として求めると  $(\sigma_\theta)_A = 1.56 \text{ kg/mm}^2$  となる。

(5) 軸の危険速度

上記、ソリッドが両端で自由支持されていると仮定すると中央におけるたわみ  $\delta$  は  $6.2 \times 10^{-4} \text{ mm}$  となる。危険速度  $N$  は  $699 \text{ c/s}$  となり使用回転数  $250 \text{ rps}$  に比べ相当高い。

(6) ブレードの自由振動数

ブレードの自由振動数  $n$  は片持ハリと考えて一次の値が  $720 \text{ c/s}$  となる。振動源としては  $\omega$  の回転によるものだけと考えられ、これも使用回転数に比べ、相当高く問題はない。

(7) ブレードの安全度

今までに述べた応力の組合せを考慮して疲労限としての安全度を  $18,000 \text{ rpm}$  において考えると

$$1/n = \sigma_0/\sigma_y + \sigma_a/\sigma_e \dots\dots\dots (3.2)$$

$\sigma_0$ : 定常応力  $17.3 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 59 \text{ kg/mm}^2$  降伏点

$\sigma_a$ : 変動応力  $1.5 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_e = 20 \text{ kg/mm}^2$  疲労限

$n \approx 2.7$  となり十分安全である。

(8)  $\omega$  中心部の破壊について

回転円筒と回転円板ではその応力分布に  $5\%$  以上のちがいはないので、一応回転円板と考えてみると、この円板が実際に破壊す

る機構は平均応力が材料強度の  $90\%$  程度に達してからである。しかし高速回転の場合は、それまでに永久変形によってバランスが失われてその結果破壊が生じると考えられる。したがって、いちじるしい塑性変形が生じる回転数を求めてみる。平均応力は次式で求まる。

$$\sigma_{\text{mean}} = \left\{ K_3 + K_1 R_2^2 - K_2 \frac{R_2^2}{3} \right\} \frac{\gamma \omega^2}{g} \dots\dots\dots (3.3)$$

$6,000 \text{ rpm}$  では  $0.74 \text{ kg/mm}^2$

$18,000 \text{ rpm}$  では  $6.68 \text{ kg/mm}^2$

$51,000 \text{ rpm}$  では (無制限塑性流れにはいる)

となる。いずれにせよ、使用回転数においては降伏点に対して十分低い応力であり、まず問題のない値である。

3.4  $\omega$  工作法

KR モデル 単一鍛造材よりブレードと、両端軸部を削り出して製作した。この方法がもっとも安全でバランスもよく、寸法精度もよいと考えられるが、ブレードが薄く、かつ長いのでその削り出しには特殊な治具と工具を必要とした。寸法精度としてはブレードピッチ誤差  $10/100 \text{ mm}$ 、 $\omega$  の外周は  $2/100 \text{ mm}$ 、全長は  $5,100 \text{ mm}$ 、以上の精度で加工した。メッキは熱中性子に対して吸収の大きい純カドミウムを特殊な電極を用いてブレード全面に  $5/100 \text{ mm}$  の厚さに電気メッキした。

3.5  $\omega$  軸受構造

軸受は  $\omega$  両端部をアンギュラコンタクト形の玉軸受 2 組計 4 個で支える構造とした。とくに高速回転に耐えるようソリッドリテーナを用いたアンギュラコンタクト形を採用し、1 組に 2 個を背中合せに組合せた。ベアリング荷重としては  $\omega$  重量以外にはまったく問題にならない。したがって  $\omega$  重量約  $50 \text{ kg}$  を基礎として  $10,000$  時間の寿命と  $15,000 \text{ rpm}$  の運転を基準として寿命係数を  $2.7$ 、速度係数を  $0.13$  と考えて計算すると基本負荷容量は  $1,040 \text{ kg}$  となり、17202 形 2 個を使えば十分の余裕があると考えられる。

3.6 潤滑

潤滑の問題は玉軸受が真空容器の中にあるか、外にあるかで非常に異なった条件になる。ここで用いた方式は玉軸受を真空中に置き、オイルシールを片側 1 組としたものである。

潤滑材の油の蒸気圧は  $10^{-2} \text{ mmHg}$  以下であり、この場合十分長時間その成分変化はないものと思われる。また真空容器中の軸受潤滑にはグリスを用いた。潤滑剤の限界速度指数を考えると、ソリッドリテーナの場合グリスで  $250,000$  であり、 $15 \text{ mm}$  軸径の玉軸受で  $15,000 \text{ rpm}$  では  $1,000$  時間の寿命を十分確保できるものと考えられる。

3.7  $\omega$  の空気抵抗

一般に流れは密度が十分大きい間は連続流と考えられるが、密度が次第に小さくなるとスベリ流となり、さらに遷移流の領域を経て自由分子流にまでなる。その領域はもちろん明確に線を描くことはできないが、だいたいつぎのような領域の区別が妥当である。この場合  $\omega$  はブレード端までの円筒と考え、ブレード間の空気は考慮しないものとする。

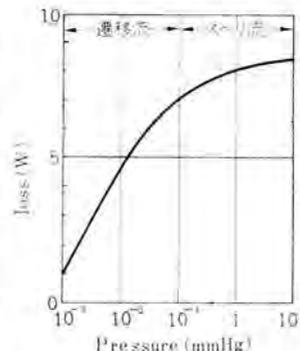


図 3.2  $\omega$  の空気抵抗 (15,000 rpm)  
Fig. 3.2 Fluid loss of rotor.

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{連続流} \begin{cases} R_e > 1 \text{ では } M/\sqrt{R_e} < 0.01 \\ R_e < 1 \text{ では } M/R_e < 0.01 \end{cases} \\
 \text{スベリ流} \begin{cases} R_e > 1 \text{ では } 0.01 < M/\sqrt{R_e} < 0.1 \\ R_e < 1 \text{ では } 0.01 < M/R_e < 0.1 \end{cases} \\
 \text{遷移流, スベリ流と自由分子流の中間領域} \\
 \text{自由分子流 } M R_e > 3
 \end{array} \right\} (3.4)$$

ここに  $M=U/a$ , また  $R_e=\rho U h/\mu$

$U$ : 線速度  $\mu$ : 粘性係数

$a$ : 音速  $\rho$ : 密度

$h$ : 面間距離

上式で 15,000 rpm における  $M$  に対してスベリ流にはいる領域では  $R_e > 1$  が得られる。圧力  $P$  と風損  $W$  との関係をグラフにすると図 3.2 になる。いずれも非常に低い値であり問題はないものと考えられる。

$10^{-1} \sim 10^{-2}$  mmHg の容器中での運転の結果は空気抵抗は全く問題にならないで軸シール部の摩擦損失がもっとも大きかった。

### 3.8 振動

この系で問題となるロータの振動に関し、その発生源として最大のもはロータのアンバランスによるものである。実際の釣合作業の結果、アンバランス量の大半が静的なものであったが、これは重ね切削に起因する工作精度の累積によるものと考えられる。

釣合作業はまず低速大気中で行ない、高速時は大気中で行なうとブレードの影響があらわれる傾向にあったので、真空中で行なった。後者の場合は発ぼうポリウレタンを十分厚く積み、その上にロータを容器に入れてのせ、真空度  $10^{-2}$  mmHg 回転数 6,000 rpm まで行なった。この系の固有振動数はポリウレタンを十分積み重ねた結果数サイクルであった。また、測定にあたってはブラウン管による位相計を併用した。修正は種々の制約から両端面の半径 30 mm の位置で行なった。残量不釣合は試しおもりによるデータによると相当偏重心  $1 \mu$  以下であった。

また、異常振動の発生に際して電動機の入力を切断する安全回路に使用のため、機械的に安定な速度形ピックアップを製作した。周波数特性は  $20 \sim 250$  c/s  $\pm 1$  dB 以内である。また、このピックアップはロータ容器中で横振動を常時検出するよう装着されている。

## 4. 回転速度の制御

### 4.1 制御装置の検討

中性子選択器のロータの回転速度は通過するエネルギーレベルを決定する重要な因子であるからきわめて正確で安定なものでなくてはならない。この点に関して与えられた仕様は

- (a) 回転速度の精度は最高回転数の  $\pm 0.1\%$  以内  
(ただし絶対精度)
- (b) 速度設定の範囲は 1,500 rpm  $\sim$  15,000 rpm

このように設定範囲が広く、高い絶対精度を要求されるために、速度の検出部にはデジタル方式を採用することにし、その制御装置を設計製作した。

回転速度のデジタル制御方式にも種々あるが、ここでは負荷の慣性モーメントが非常に大きいことから、装置が簡単で速度表示も簡単なパルス計数方式を採用した。その構成は図 4.1 のようになっている。ここではまず回転速度はフォトトランジスタによって速度に比例した周波数のパルスとして検出される。つぎに水晶振動子を基準にした正確な基準時間だけ入力を出力に通過させるゲートを通してカウンタに接続される。したがってカウンタでは基準時間の間にゲートを通過して来たパルスが計数され、これが設定値と比

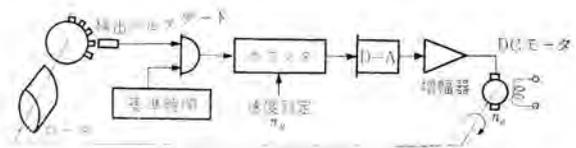


図 4.1 パルス計数方式による回転速度のデジタル制御

Fig. 4.1 Digital speed control by pulse counting method.

較されて、その間の差が D-A 変換器によりアナログ量に変換される。負荷を駆動するモータはこのアナログ信号によって制御されるから帰還ループが形成されつねに設定値に一致するような制御が行なわれる。

ここでは装置をできるだけ簡単にしてしかも所望の目的を達するために、D-A 変換器を 1 段だけのものとしていわゆる 3 位置オンオフ制御を応用した。つぎにこれについて説明する前に、負荷となるロータと駆動モータの選定について簡単に述べる。

### 4.2 ロータ定数とモータの選定

ロータ定数として得られているものはつぎのとおりである。

最高回転速度 ( $N_{LP}$ ) 15,000 rpm

慣性モーメント ( $GD^2$ ) 0.478 kg-m<sup>2</sup>

最大損失 ( $P_{LP}$ ) 150 W

損失は速度に比例するものとし最大負荷トルクを求めると

最大負荷トルク ( $T_{LP}$ ) 0.01 kg-m

となる。したがって単位法で表わした負荷の慣性係数  $J_L$  は

$$J_L = \frac{GD^2 N_{LP}}{375 T_{LP}} = 1,910 \text{ (sec)} \quad (4.1)$$

この 1,910 秒という数値はロータを最高回転数で放置したときに停止に至るまでの時間と考えられる。

つぎにモータの出力は負荷の損失分を十分供給できるだけでなく、十分な加速トルクをも出しうることが必要である。いまロータを回転速度  $N_{LP}$  まで加速するに要する時間を  $\tau_{LP}$  (sec) とすると負荷軸での加速トルク  $T_{La}$  および加速最大パワー  $P_{La}$  は

$$T_{La} = \frac{GD^2 N_{LP}}{375 \tau_{LP}} \quad (4.2)$$

$$P_{La} = 1.026 T_{La} \cdot N_{LP} = 1.026 \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{N_{LP}^2}{\tau_{LP}} \quad (4.3)$$

となる。

これに  $N_{LP}$ ,  $GD^2$  の値を代入すると

$$T_{La} = \frac{19.1}{\tau_{LP}} \text{ (kg-m)} \quad (4.4)$$

$$P_{La} = \frac{296}{\tau_{LP}} \times 10^3 \text{ (W)} \quad (4.5)$$

となる。これをグラフに示したのが図 4.2 である。

そこでモータの所要出力を考えてみよう。モータの機械的時定数が負荷のそれに比べてはるかに小さい場合にはモータ所要出力  $P_{MP}$  は負荷損失  $P_{LP}$  と負荷の加速最大パワー  $P_{La}$  の和に等しく

$$P_{MP} = P_{LP} + P_{La} \quad (4.6)$$

と表わすことができる。

$P_{La}$  は加速時間  $\tau_{LP}$  を 30 分としたとき約 160 W となり  $P_{LP}$  は前に検討した値を用いて 150 W とすれば、モータ所要出力は約 310 W となる。したがって余裕をみて定格出力 400 W、最高回転数 ( $N_{MP}$ ) 15,000 rpm、定格トルク ( $T_{MP}$ ) 0.026 kg-m の直流モータを用いることになった。

損失分を外乱トルクを考え、モータの全出力が加速に使われたとすれば歯車比を 1 とし単位法による加速時間  $\tau_a$  は

$$\tau_a = \frac{GD^2 N_{MP}}{375 T_{MP}} = 735 \text{ (sec)} \quad (4.7)$$

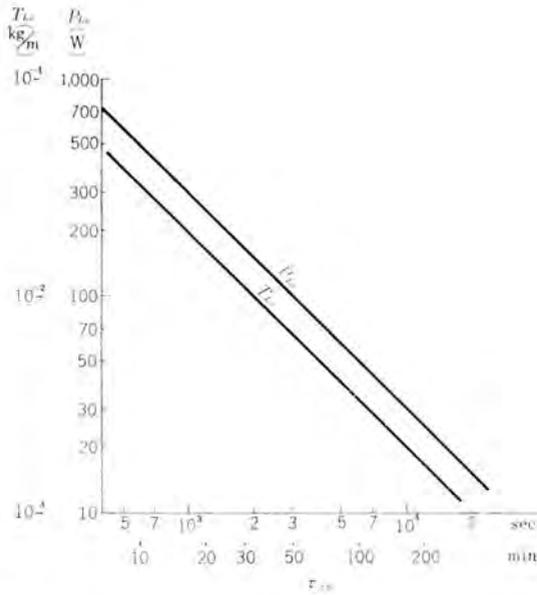


図 4.2 加速時間と加速度 トルク および パワー の関係

Fig. 4.2 Relation of acceleration time with acceleration torque and power.

となる。

### 4.3 3 位置オンオフ制御

上に検討したようにこの系では負荷の慣性が非常に大きいので、

図 4.1 の D-A 変換器を簡単化して 3 位置 オンオフ 制御とすることができる。

その場合の制御動作は、設定回転速度を  $N_r$ 、実際の ロータの回転速度を  $N_c$  とすると次の三つになる。

- (a)  $N_c < N_r$  出力最大で加速
- (b)  $N_c = N_r$  損失分だけ供給
- (c)  $N_c > N_r$  出力最小(零)で減速

$$(4.8)$$

式 (4.8) に示された制御動作を行なうには一定の時間を必要とするから、この 御動作を周期  $\tau_p$  (sec) で繰返すことになる。これは一種のサンプル系と考えられるが、 $\tau_p \ll \tau_\alpha$  のときには  $\tau_p^2$  のむだ時間として近似できる。

また実際に式 (4.8) の制御動作を行なうためにはモータを制御するための磁気増幅器を用いているので、ここに一次おくれがあるが、その時定数は約 0.1 sec と考えられる。

以上の考察に基づいてこの制御装置のブロック線図をかくと図 4.3 のようになる。

いま  $N_c < N_r$  で加速されるとき、1 周期  $\tau_p$  の間の速度変化を  $x$  とすると

$$x = (1 - T_d) \frac{\tau_p}{\tau_\alpha} \times 100\% \quad (4.9)$$

となるが、精度  $\varepsilon$  を保つためには

$$x < \varepsilon/2 \quad (1.10)$$

でなくてはならず、これから

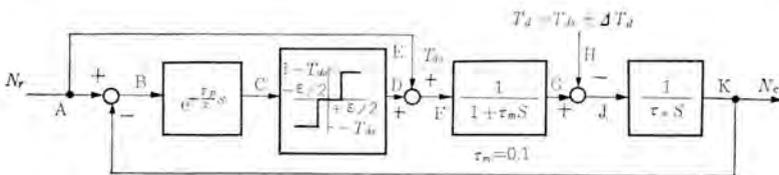


図 4.3 回転速度制御装置のブロック線図

Fig. 4.3 Transfer functions of the speed control system.

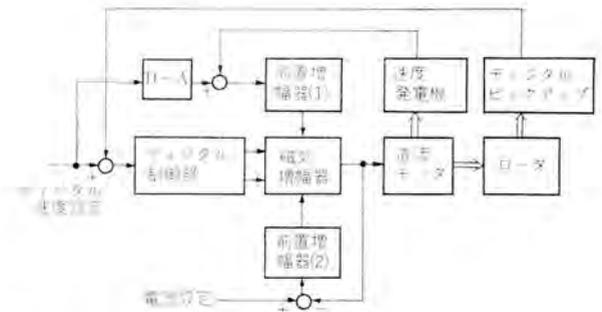


図 4.4 制御装置の概略

Fig. 4.4 Block diagram of the speed control system.

$$\tau_p \leq \frac{\varepsilon \cdot \tau_\alpha}{2(1 - T_d)} \quad (4.11)$$

が得られる。

$T_d$  はモータトルク  $T_{MP}$  に対する損失負荷トルク  $T_{LP}$  の比であるが、ここでは 0.5 とすると、 $\varepsilon = 0.1\%$ 、 $\tau_\alpha = 735$  sec であるから  $\tau_p \leq 0.735$  sec となる。

したがってデジタル制御装置の動作周期は 0.7 sec 以下にすることが要求される。実際には設定を容易にするために 1/3 sec 計数してつぎの 1/3 sec に判定動作を行なうことにより、2/3 sec の周期となっている。

つぎに損失分  $T_{d0}$  の供給ルータについてであるが、損失トルクがほぼ一定と考えると、損失パワーは回転数にほぼ比例して変化する。したがって磁気増幅器には回転速度に比例した入力を加えればよい。

さらに速度発電機帰還をその制御に付加すれば、アナログ系も併用された信頼度の高い系となる。

また直流モータは回転速度によりインピーダンスが大幅に変化するために、別に電流制御ルータを付加して電機子電流を一定とし、能率のよい一定トルク加速ができるようになっている。

これらをまとめて制御装置の概略を図 4.4 に示す。

### 4.4 デジタル制御部

デジタル制御部は 10 進スケラを中心に構成され前述の 3 位置 オンオフ 動作を行なうもので、そのブロック図を図 4.5 に示す。つぎにこれらについて簡単に説明する。

#### (1) 回転速度の設定

設定の最小単位は精度の 1% 以下であることが必要であるので、0.1 rps を単位とする 4 ケタの数値により設定および表示を行なう。

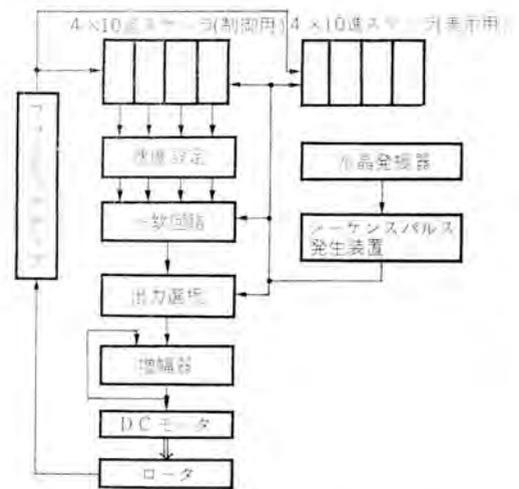


図 4.5 デジタル制御部

Fig. 4.5 Block diagram of the control system.

したがって仕様の速度範囲は 25.0 rps から 250.0 rps ということになる。

実際の設定はラッシュボタンにより4ケタの数を選択するようになっており、これによってスケールから一致回路への接続がなされる。

(2) 回転速度の検出

円周に30個の穴をもった円板とフォトトランジスタによる光電式の検出部を用いている。回転速度を  $N_r$  (rpm) とすると、検出パルスの繰返し周波数  $f_p$  は

$$f_p = 30 \times N_r / 60 = N_r / 2 \text{ (c/s)} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

となり、最高周波数は  $N_r = 15,000 \text{ rpm}$  のときで、7.5 kc となる。

(3) 制御のシーケンス

前節で考察したようにこの制御動作の繰返し周期  $\tau_p$  は 0.7 sec 以下でなくてはならない。また一方設定は rps であり、検出パルス周波数が式 (4.12) で与えられることから、計数時間を 1/3 sec とすると、計数されるパルス数  $m_c$  は

$$m_c = f_p \cdot 3 = 10 \times (N_r / 60) \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

となる。すなわち rps による回転速度の10倍に等しくなる。

そこで図 4.6 のようなシーケンスを作って制御動作を行なわずにすることにする。ここで

- $g_1$ : 制御用スケールのリセットパルス
- $g_2$ : 制御用スケールのゲートパルス (1/3 sec)
- $g_3$ : 出力選択用メモリのリセットパルス
- $g_4$ : 出力選択用メモリのゲートパルス

である。この動作はまず  $g_1$  でスケールがリセットされつぎに  $g_2$  の間だけゲートが開いて検出パルスがスケールに加えられる。 $g_3$  で出力用メモリがリセットされて、今の  $g_2$  の内容に基づいた制御動作が  $g_4$  によって出力用メモリに移される。この内容はつぎの周期の  $g_3$  によってリセットされるまで保持していることになる。

この制御パルス中とくに  $g_3$  は直接精度を左右するもので、この時間は正確でなくてはならない。ここではその基準として水晶発振器を用いており、 $10^{-5}$  の精度を保っている。

(4) 一致回路

一致回路は図 4.7 のように速度設定のラッシュボタンスイッチにより 0~9 の中の1個がゲートとしての NOR につながれる。スケール出力は動作したとき 0 になるものとすれば、4ケタとも 0 のとき、すなわち設定値とスケールの内容が一致したときだけ一致出力を生じる。

(NOR は入力がかす0のときにだけ出力生じる論理要素である。)

(5) 出力選択回路

前に式 (4.8) で与えられた制御動作を行なう回路である。まず式 (4.8) の条件を一致回路の出力  $C$  と関連させてみると、

- (a)  $N_e < N_r$ :  $C$  を生じない。
- (b)  $N_e = N_r$ :  $C$  を生じた後、 $g_2 = 1$  の間には続いて検出

パルス  $p$  を生じない。  
 (c)  $N_e > N_r$ :  $C$  を生じた後、 $g_2 = 1$  の間に続いて検出パルス  $p$  を生じる。  
 となるから、この条件に応じて加速出力および減速出力を生じるようにすればよい。

図 4.8 は上述の関係を満足するとともに 4.3 節の出力メモリの動作をも考慮した回路である。

(6) 表示回路

制御用スケールの内容を読むのは繰返し周期が早くむずかしいと思われるので、2 周期間計数値を止めて表示するための表示用スケールを持っている。単位は制御用と同じ 0.1 rps で rps 表示である。

4.5 アナログ制御部

アナログ制御部はデジタル制御部が所期の精度を確保して安定な運転ができるようバックアップするもので、速度制御、電流制御(加減速制御)を行なう。また、補助的役割としてゼロ速度検出や過電流保護も行なう。

(1) 速度制御

モータに直結された速度発電機の出力電圧によってあらい速度制御を行なうもので、常時デジタル系と一緒に働いて、そのベース分を受持っている。またデジタル系に事故が生じたときはそれを切り離して単独で運転することもできる。設定はデジタル設定と連動でもまた別に手動によっても与えることができる。

(2) 電流制御

モータの電機子電流を一定に制御して一定トルクによって能率よく加速、減速を行なわせるためのものである。これには前置増幅器として 1 kc 電源の演算形磁気増幅器を用いており、そのブロック図を図 4.9 に示した。

ここで出力増幅器にはアナログ速度制御信号  $A_v$ 、電流制御信号  $A_i$  およびデジタル信号  $D$  ( $m_3$  または  $m_4$ ) が加わることになるので、それらの優先順位が問題となる。ここではモータを保護するため電流制御を第一に考え、つぎに精度を確保するためにデジタル信号に重点をおいた。

(3) 起動および停止

モータをもっとも効率よく短時間に起動加速を行なわせるには、

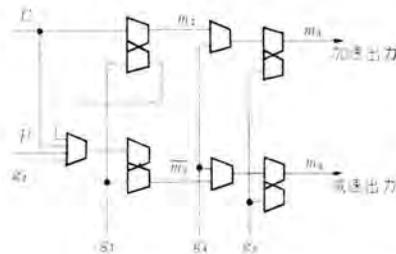


図 4.8 出力選択回路  
 Fig. 4.8 Output selecting circuit.

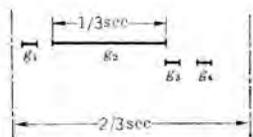


図 4.6 シーケンス制御パルス  
 Fig. 4.6 Sequence control pulses.

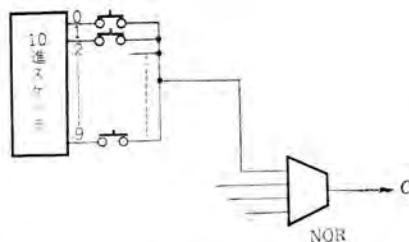


図 4.7 NOR を用いた一致回路  
 Fig. 4.7 Coincidence circuit using NOR

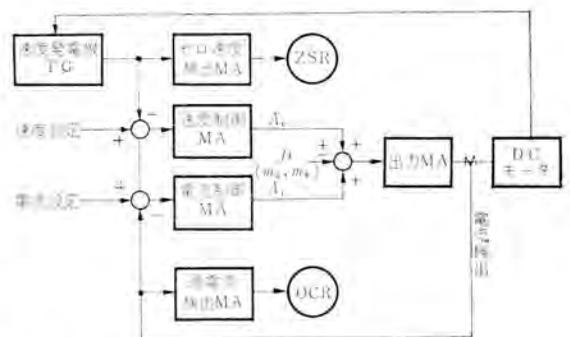


図 4.9 アナログ制御部ブロック  
 Fig. 4.9 Block diagram of the analog control system.

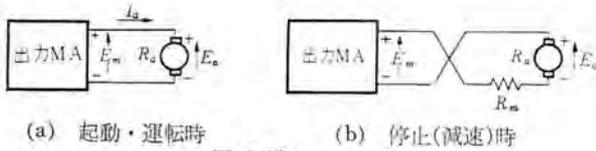


図 4.10 モータの接続

Fig. 4.10 Connection of DC motor to output amplifier.

前述のような定電流制御がよいが、減速時間を短縮するには制動電流を流し、やはりこれを制御すればよい。しかし出力磁気増幅器がシングル のときはそのままではこれができないので、図 4.10 のように抵抗  $R_m$  を入れてモータを逆接続する。この時流れる電流  $I_a'$  は

$$I_a' = (E_a + E_m) / (R_a + R_m) \dots\dots\dots(4.14)$$

となるから磁気増幅器出力電圧  $E_m$  により  $I_a'$  を制御できる。この場合モータが停止すると  $E_a = 0$  となり、 $E_m$  は最大になっているからただちに回路を断しないか逆方向に回転を始めてしまう。図 4.9 のゼロ速度検出 ZSR はそのためのものでこの動作により電源を断として完全停止に至らしめる。

## 5. 補器と安全保護装置

### 5.1 補器装置

ロータを真空容器の中で回転させるためキニ形真空ポンプで電磁弁を通して排気している。真空度は  $10^{-2}$  mmHg 程度でサーミスタ真空計で検出される。またロータ軸のシール部分には小形キニポンプで油を循環させ、熱除去と潤滑を合せ行なっている。この油の系統には 5 l の油タンクを持ち途中には濾過器をそなえている。ロータの異常振動を生じたときすみやかにこれを検出するため速度形の振動検出器をロータ回転装置の中に組んでいる。

記録装置は 6 打点式の記録計を用いて運転中はつぎの 6 個の量を記録する。

- (a) 軸受 No. 1 温度
- (b) 軸受 No. 2 温度
- (c) シール潤滑油温度
- (d) 主モータ温度
- (e) ロータ容器横振動
- (f) ロータ回転速度

(a)~(d) の温度は熱電対から直接得られる。(e) のロータ振動は 3.8 節で述べた検出部と増幅器から得られ、(f) の回転速度はタコジェネ出力から得られる。この記録計には警報作用点があり、上記 6 接点おのおの独立にトリップ値を設定できるようになっている。

### 5.2 保護装置

運転中につぎの状態が発生した場合にはただちに出力増幅器の電源を断とし、警報ラザーをならし、赤ランプを点ずる。

- (a) 記録計警報接点が動作したとき。
- (b) ロータ振動計増幅器の保護接点が動作したとき。
- (c) 真空計増幅器の保護接点が動作したとき。
- (d) 主モータ過電流リレーが動作したとき。
- (e) “停止”で制動減速中、モータ速度が 0 となり、ゼロ速度リレーが動作したとき。

ここで (a) と (b) は重複しているようにみえるが、(a) では 6 個の点を順次記録しているため、同一点は約 1 分ごとにしか測定できず、温度、速度は時定数が長いのでこれでもよいが振動は少々危険性をともなうので早急な保護動作が必要であるため、別に独立した保護接点を併用したものである。(d) 主モータ温度が記録計にはいつているが、モータ温度ではベルトのスリップによるシャフトの温度上昇と冷却水停止事故を主眼に長時間定格を監視し、

この過電流リレーでは短時間定格を保護するためである。

## 6. 運転結果

ロータは十分なバランス修正を行なったのち、高速回転試験を行なった。

まず、ベアリング損失、空気抵抗損失 (0.05 mmHg のとき)、軸シール損失、電動機および駆動機構損失の総計を自然減速の時間から求めてみた。15,000 rpm から停止までにほぼ直線的に変化し約 21 分で停止した。10,000 rpm 以上では多少は損失は増加するが、その値は平均値の 20% 増しであり、平均して約 1.5 kg-cm の損失トルクとなっている。この中には電動機の機械的損失が 30% 程度含まれており、それを除けばほぼ設計値に近い値となっている。

加速試験の結果は図 6.1 に示してある。回転数を 250 rps に

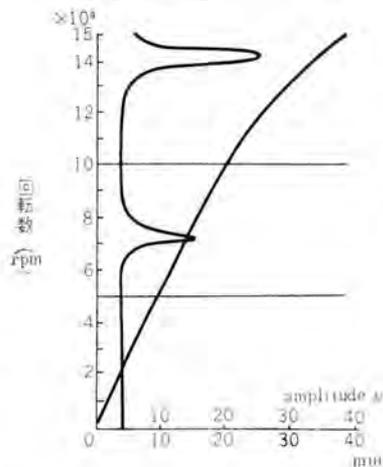


図 6.1 加速曲線と振動の変化  
Fig. 6.1 Acceleration curve and vibration amplitude.

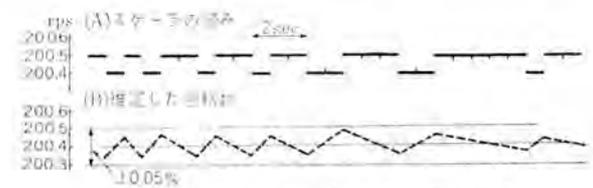


図 6.2 定常運転時における制御動作の一例  
設定 200.5 rps (12,030 rpm)  
Fig. 6.2 Speed regulation at steady state.

設定し、5.9 A の電流で加速すると約 40 分で最高回転数 15,000 rpm に達する。途中 7,200 rpm と 14,400 rpm のところで振動計の振幅が大きなピークを通るがその他では 3~5  $\mu$  程度の振動である。この共振点は回転体装置の据付状態で異なる。つぎに 12,030 rpm の定常運転時の回転数制御の状態を図 6.2 に示す。ここではデジタル設定を 200.5 rps としたもので (A) はデジタルスケラの読みを示し、(B) はこの結果から逆に推定した実際の回転数である。ここでは 200.3~200.5 すなわち  $+0, -2\epsilon_1$  以内にとどまっていることがわかる。この制御動作は設定を変えても同様で、つねにスケラの読みは  $\pm 0.1$  であり、回転数は  $\pm 0.2$  rps 以内の精度を保つことが確認された。

騒音は 50 cm のところで 75 ホン以下である。熱電対を用いた温度の測定点はいずれも温度上昇 10°C 以下である。安全保護装置も正確に動作し、長時間の連続運転を無人で行なうことができた。

## 7. むすび

以上、述べたようにデジタル速度制御を用いた中性子速度選択機として機械的性能は十分満足されたので、原子炉による中性子線を用いた分解能の測定結果を期待している。

# イオン・電子切換形バン・デ・グラーフ形加速器 (VC-3形) (2)

三菱原子力株式会社研究所 今村 元\*・滝口 高志\*\*

## A Mitsubishi Van de Graaff Type Particle Accelerator Model VC-3 (Part 2)

Mitsubishi Atomic Power Industries, Incorporated Gen IMAMURA・Takashi TAKIGUCHI

Following the previous issue, the article goes into details of the performance related to the components of the Mitsubishi Van de Graaff type particle accelerator. Herein are described characteristics of accelerated beam and acceleration tubes and also calibration of energy which has to be prepared for all experiments. Study is going on with this apparatus for the purpose of improving the performance further. It will not be long before another experimental reports are made public.

### 4. 加速ビームおよび加速管の特性

この装置で加速されたビームの特性について述べる。電子ビーム強度は全エネルギー範囲で0から300  $\mu\text{A}$  まで可変である。同様に陽子ビーム強度は、分析管を通して、最高30~40  $\mu\text{A}$  が得られ、これ以下可変である。電子ビーム集束は、最小集束直径5 mm $\phi$  (80%以上のビームがこれにはいる)であり、集束コイルにより任意に大きくできる。陽子ビームの集束状況は加速電圧で異なるが、最小直径5 mm $\phi$  にしぼることができる。

バン・デ・グラーフ形加速器のような多電極の加速管では、ビームの加速状態は、加速電極の構造およびその印加電圧によって変わる。集束状態がエネルギーによって変化することは、装置全体の電界レンズシステムを総括的に考えることによって理解できる。図4.1には、この装置全体の全レンズシステムおよびその中のビームの理論的なふるまいを示した。ここで、第1集束レンズとは、イオン源引出し電極で構成されるレンズで、第2集束レンズとは、加速初段電極によるレンズである。イオン源、カナルの中心から発散して出るビームは第1集束レンズでやや発散角が小さくなり、つぎの単極レンズで集束されて第1の像を結ぶ。この第1像は、第2集束レンズにより第2像点に結像される。第2像点は、加速管の物点となり加速電極で加速集束されて、分析管入口付近に第3の結像が行なわれる。第3結像点をエネルギーにかかわらず一定に保つためには、

第2像点の適当な移動が必要で、これには、単極レンズおよび、第2集束レンズを可変にする必要がある。M. M. Elkindの計算式<sup>(1)</sup>に従って加速管のレンズのエネルギーによる変化と、第2集束レンズの電圧による変化を求めると、第2集束レンズの電圧依存性がかかり大きいことがわかる。したがって、単極レンズによる補正と並列に第2集束レンズもエネルギーによって正確に変化させる必要がある。この装置においては、第2集束レンズの電圧は加速電圧とともに、線形に増大させて、それに対する補正、すなわち厳密な集束点の調整は、単極レンズによって行なっている。

一方加速管の特性として、その耐電圧が運転を経過するに従って上昇するという現象すなわち永年効果がある。ビーム取出口直下に、回りをシャハイしたGM計数管においてX線を測定してみた。その結果が、図4.2である。横軸がエネルギー、縦軸が、X線の測定値である。これからわかることは、加速電圧が増加すると計数値も増加し計数値がある値に達すると、電圧は非常に不安定になり、ついには放電を起す。一度放電を起した電圧では、計数値は減少し、その近傍の電圧もまた、安定に近づいている。さらに電圧を上げると、ふたたび計数は増加してきて、電圧もまた不安定になり、ついには放電を起す。放電後は準安定状態となる。電圧を上げるたびにこれを繰返して、次第に高い電圧での電圧安定が得られる。3 MVの電圧においては、不安定が数回繰返され、次第に計数値が減少して安定な電圧が得られた。図4.2

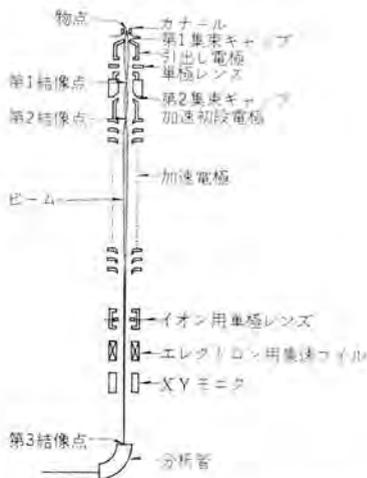


図4.1 全ビーム集束システム図  
Fig. 4.1 Schematic diagram of beam focusing system.

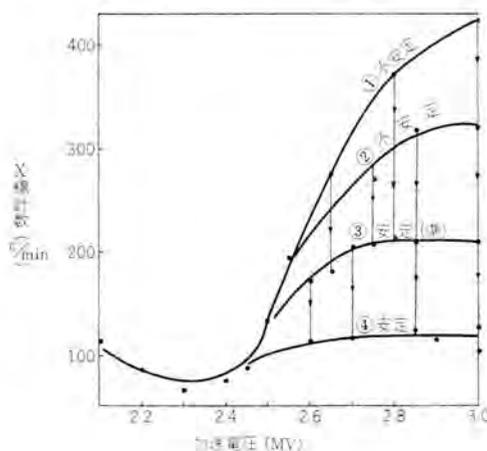


図4.2 加速電圧の安定性と発生X線の関係 (正電圧)  
Fig. 4.2 Relations between stability of accelerating voltage and X ray intensity (positive potential).

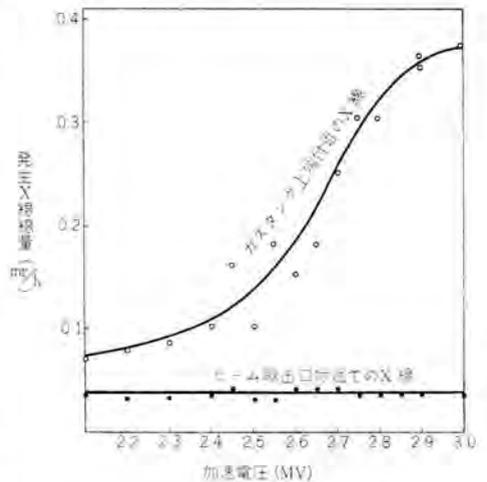


図4.3 加速正電圧とローディング現象  
Fig. 4.3 Beam loading phenomena in positive accelerating voltage.

において、計数曲線に ①, ②, ③, ④ の番号をつけたが、①, ② は不安定な電圧のときの計数値、③ は準安定、④ は安定状態でのそれである。この実験ではもちろんビーム放出はしていない。

正電圧におけるもう一つの加速管の特性はいわゆる、エレクトロン・ローディングの現象である。電界あるいはビーム衝突によって生じた電子または負イオンが、陽イオンと逆に高電圧電極に向けて加速される現象である。加速された電子が高電圧電極に衝突して発生する X 線をガス・タンク外部から測定した結果が図 4.3 である。2.5 MV 付近から電圧が増加するとともに、X 線量が急増することがわかる。ローディング現象に閾値の存在を示している。縦軸が、 $\text{mr/hr}$  で測定した X 線量である。これは電圧だけの結果であるが、ビーム放出時には、この数倍の強度となる。ビーム出口の付近における線量はエネルギーによらず一定である。図 4.3 にはこれも示した。

### 5. エネルギーの較正

加速装置においては、その加速粒子の最終エネルギーを厳密に測定しておき、実験にあたって容易に粒子エネルギーを読みうるようにすることが必要である。高電圧電極の電圧をつねに指示できる計器を、一つの加速荷電粒子エネルギーで較正し、両者が互に対比づけられるようにしておけば良い。高電圧を指示する方法は種々あるが、この装置では、発電電圧計を用いた。タンク側壁に、高電圧電極に向けて置かれて発電電圧計からの電流値は、高電圧電極の電圧 1MV 以上では電圧と線形の関係が存在する。したがって、較正とは、この線形関係を求めることである。

この装置では電子線と、陽子あるいは重陽子を加速することができるので、加速電子線による較正と加速陽子による較正とが比較できる。簡単なエネルギー較正は、電子線によるガラスの黒化度測定<sup>(13)</sup>によっても可能である。この装置においては加速陽子による較正を行なったのでそれについて述べる。この方法は、陽子による原子核反応を用いるもので、これには標準となる反応もあげられている<sup>(14)</sup>。核反応の対象となる物質は、良く知られた核レベル構造を持つもので、反応の閾値あるいは共鳴現象の明確なものに限られている。較正のための反応を選ぶ場合重要なことは、較正しようとするエネルギー範囲で、その反応機構がよく知られたものであることである。

ここでは、電圧の特性から、較正エネルギー範囲として一応 1.5 MeV

表 5.1  $\text{Al}^{27}(\text{p}, \gamma)\text{Si}^{28}$  からの共鳴  $\gamma$  線 ( $E_p = 1.5 \sim 2.5 \text{ MeV}$  のもの)

$\text{Si}^{28}$ の励起レベル (MeV)	陽子エネルギー (MeV)	エネルギー間隔 (keV)
11.69+1.469	1.523	70
11.69+1.536	1.593	77
11.69+1.610	1.670	18
11.69+1.628	1.688	41
11.66+1.667	1.729	24
11.69+1.690	1.753	53
11.69+1.741	1.806	104
11.69+1.842	1.910	63
11.69+1.903	1.973	56
11.69+1.966	2.039	12
11.69+1.978	2.051	61
11.66+2.037	2.112	20
11.69+2.056	2.132	29
11.69+2.084	2.161	14
11.69+2.097	2.175	9
11.69+2.106	2.184	22
11.69+2.127	2.206	110
11.66+2.233	2.316	61
11.69+2.292	2.377	28
11.69+2.319	2.405	40
11.69+2.358	2.445	81
11.69+2.445	2.536	

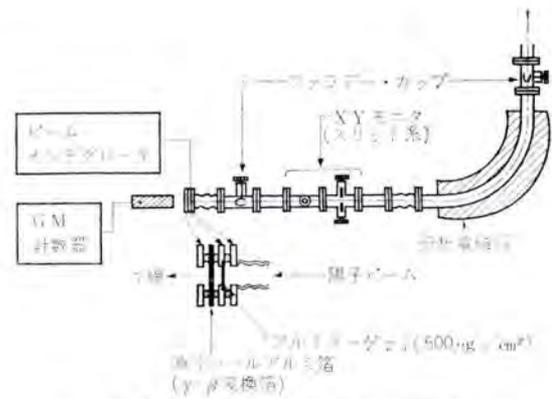


図 5.1  $\text{Al}^{27}(\text{p}, \gamma)\text{Si}^{28}$  実験装置図  
Fig. 5.1 Schematic diagram of experimental apparatus of  $\text{Al}^{27}(\text{p}, \gamma)\text{Si}^{28}$  reaction.

から 2.5 MeV に認定した。つぎにこの範囲内で、数点の共鳴反応点を持つような核反応を選ぶことになるが、ターゲットが容易に準備できることから  $\text{Al}^{27}(\text{p}, \gamma)\text{Si}^{28}$  の反応をとった。 $\text{Al}^{27}$  の陽子反応はかなり多く実験されており、それによる  $\text{Si}^{28}$  のレベル構造もかなり精密に研究されている。共鳴  $\gamma$  線を発生する  $\text{Si}^{28}$  の核レベルとそれに対応する陽子エネルギーとの関係を、上記のエネルギー範囲にだけ限って表示したのが、表 5.1 である<sup>(15)</sup>。

表 5.1 には示さなかったが、陽子エネルギー 2.2 MeV 以上では、 $(\text{p}, \gamma)$  反応以外にも種々の反応が生起する。また  $(\text{p}, \gamma)$  反応の半値幅も大きくなる。図 5.1 に示すように、この実験の装置は簡単なので、2.2 MeV 以上では、明確に、ピークを検知できないことが予想される。これから、反応実験のエネルギー上限として 2.2 MeV を選定した。

反応を生ずる核ターゲットは、厚さ 0.3 mm のタンタル板に 99.99% の純度の Al を真空蒸着して作った。およそ 10 mg の Al を  $56 \phi$  の Ta 板に蒸着を行なったもので、Al 膜厚は約  $500 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  である。これによる陽子エネルギー損失は無視できる。

分析用電磁石を通過した陽子は、ターゲットにあたる前に図 5.1 に示すようにファラデー・カップでビーム中心を合わせるとともに、ビーム電流の大体の測定を行なった。ビーム電流の平均はおよそ  $2 \mu\text{A}$  である。ビーム電流の正確な測定はターゲットに直結されたビーム・インテグレータで積分された値で測定した。

Al ターゲットから放出される  $\gamma$  線は、簡単のため GM 計数管を用いて、ターゲットにあたる陽子流  $10 \mu\text{C}$  あたりの放出  $\gamma$  線として計数したものである。GM 計数管の計数効率の正確な値は、発生  $\gamma$  線の絶対量を測定する必要がないので、算出しなかった。

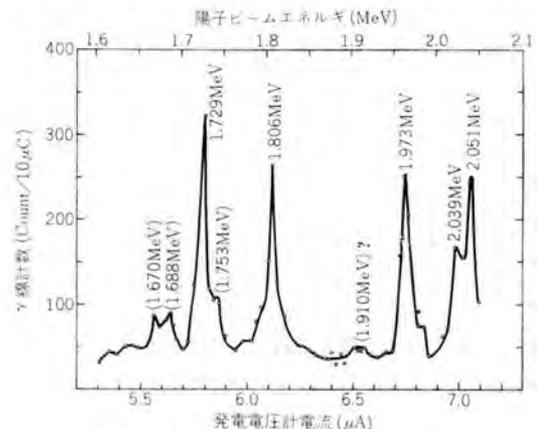


図 5.2  $\text{Al}^{27}(\text{p}, \gamma)\text{Si}^{28}$  からの共鳴  $\gamma$  線  
Fig. 5.2 Resonance  $\gamma$  ray resulted from  $\text{Al}^{27}(\text{p}, \gamma)\text{Si}^{28}$ .

表 5.2 共鳴  $\gamma$  線 ピーク

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
発電電圧計 ( $\mu\text{A}$ )	電磁石電流 (A)	$\gamma$ 線計数 ( $\text{C} \cdot 10^{-5} \text{C}$ )	陽子エネルギー (MeV)	備考
5.55~5.60	—	85	1.670 $\pm$ 0.025	×
5.60~5.65	—	85	1.688 $\pm$ 0.025	×
5.80 $\pm$	3.40 $\pm$ 0.005	320	1.729 $\pm$ 0.025	○
5.83~5.87	—	100	1.753 $\pm$ 0.025	×
6.12 $\pm$	3.49 $\pm$ 0.005	150	1.836 $\pm$ 0.025	○
6.50~6.60	—	50	1.910 $\pm$ 0.015	×
6.75 $\pm$	3.67 $\pm$ 0.005	250	1.973 $\pm$ 0.015	○
6.99 $\pm$	3.74 $\pm$ 0.005	160	2.039 $\pm$ 0.015	○
7.06 $\pm$	3.76 $\pm$ 0.005	243	2.051 $\pm$ 0.015	○

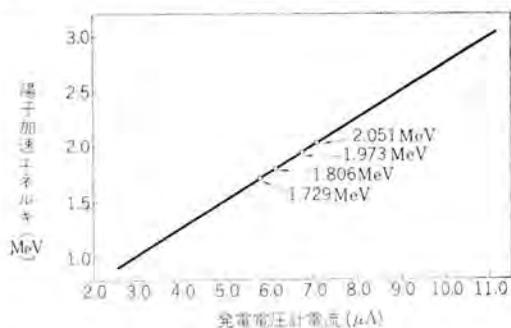


図 5.3 エネルギ 校正直線

Fig. 5.3 Relation between generating voltmeter and accelerating energy.

た、発生  $\gamma$  線のエネルギーが高いので、計数管前面の  $\gamma$  線変換板を厚くして変換効率を上げるようにしてある。

図 5.2 に、このようにして得られた共鳴  $\gamma$  線と発電電圧計電流との関係を示す。横軸が発電電圧計電流、縦軸が  $\gamma$  線計数値である。得られた共鳴ピークの位置の陽子エネルギーへの対応づけは、分析用電磁石の磁界と、分析管の曲率半径より算出したエネルギーとさらに、 $\text{Si}^{28}$  の核レベル構造<sup>(15)</sup> とを比較することによって行なった。核レベルとの比較において重要なことは、各共鳴ピーク間隔と  $\text{Si}^{28}$  核の各レベル間隔との比較である。この場合は図示のように、それが良く一致している。図において、各ピークの上に書かれた数値は、 $\text{Si}^{28}$  の核レベルから考えられる一次陽子線のエネルギー値である。図でカッコで示した数値は、この実験で明確に共鳴ピークとして断定できなかったものである。なぜなら、 $\text{Si}^{28}$  の核レベル間隔が小さくて、装置のエネルギー変動と同じくらいであると、共鳴ピークとしては分離できなくなるし、また、時おり発生する原因不明の装置の電圧変動、あるいは計数装置の不安定などから明らかな計数が得られなかったのである。前者に属するものは、1.753 MeV、2.093 MeV などのピークであり、後者に属するものは、1.670 MeV、1.688 MeV、1.910 MeV にあると思われるピークである。計数値にはバックグラウンドの値が処理されている。

図 5.2 で得られた結果を、表 5.2 に示す。第 4 コラムが対応づけられた陽子エネルギー (MeV 単位) である。第 5 コラムでは、校正に採用して良いと思われる共鳴ピークに○印を付けたものである。

図 5.2 および、表 5.2 から、発電電圧計電流と、陽子エネルギーとの対応ができる。図 5.2 の上の横軸が、MeV 単位でのエネルギー値である。図 5.3 には、表 5.2 のうちの、4 個の共鳴ピークから、発電電圧計電流と陽子エネルギーの関係を求めたものである。横軸は発電電圧計電流、縦軸が陽子エネルギー、または陽子と同等の電荷を持った粒子のエネルギーである。

この反応実験においては、高電圧電極の電圧、つまり加速エネルギーの安定化は、散布電流の調節によってだけ行なわれた。この形の加速器において普通用いられるコロナ・ポイントを使用しないで、電圧安定度がどれくらい得られるかを試みることに意図があった。この試みは、図 5.2 で示した実験結果からおおよそわかる。すなわ

ち、共鳴ピーク間隔のせまいレベルの分離がどれくらい可能かによってわかる。実験によると、1.729 MeV と 1.753 MeV にあるピークの分離が明確でない。このレベル間隔は、24 keV である。一方 2.039 MeV と 2.051 MeV のピークの分離は明確である。このレベル間隔は 12 keV である。1.75 MeV 近傍では、電圧変動の範囲は 25 keV くらいで、およそ 1.4% となる。一方 2 MeV 近傍では、15 keV くらいで、およそ 0.7% くらいである。このことは、2 MeV 以下では、以上に比べて安定度は悪いということである。これは、ギャップ長と封入ガス圧との関係からくるものであろう。コロナ放電は針-板間距離が小さすぎても、また大きすぎても、安定度が低下するからであらう。あるエネルギーに対する針-板間距離は、封入ガス圧力の値で大きくもなり小さくもなる。あるエネルギー範囲に対して、安定なコロナを出す針-板距離とするには、封入ガス圧力が適当でなければならないことがこれでわかる。一般に、この装置においては、電圧可変範囲、1.5~3.0 MeV のうち、2.0~2.5 MeV がもっとも安定度良好である。これはコロナ・ポイントを用いないでのことだが、コロナポイントを用いることによって、正電圧 1.5 MeV から 3.0 MeV まで、一様な安定性を得ることができるわけである。これについては別の機会に述べる。

## 6. む す び

イオン・電子切換形バン・デ・グラフ形加速器を製作し、その構造と実験結果の一部を述べた。世界で初めての試作であるため、さらに性能を良くするためにまだ改良すべき点は幾つかあるが、この中でもイオン加速の場合の集束系統、また加速管などについて目下検討中である。

最後に、この装置の研究に種々指導をいただいた工業技術院名古屋工業技術試験所故桐崎千代利部長、堀三陽部長、原行一技官に深く感謝の意を表するとともに、取締役大野才三技師長、研究所菅野正雄副所長始め製作および実験を担当していただいた皆様に感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) R. J. Van de Graaff: A 1,500,000 Volt Electrostatic Generator, *Phys. Rev.*, **38**, 1919 (1931).
- (2) 今村・中村・井上・藤永: 電子線加速用ベルト起電機, 「三菱電機」, **31**, 468 (昭 32). 今村・藤永・高部・篠原・重松: 電子線加速用バン・デ・グラフ形加速器 (VE-3 形), 「三菱電機」, **35**, 1 (昭 36).
- (3) R. J. Van de Graaff: Tandem Electrostatic Accelerator, *Nuc. Instr. and Methods*, **8**, 195 (1960).
- (4) A. W. Knudsen: Fast closing Vacuum Valve, *Rev. Sci. Instr.*, **27**, 148 (1956).
- (5) 藤永敦・高部俊夫: 運動真空バルブ, 「真空」, **2**, 202 (昭 34).
- (6) R. G. Herb: Van de Graaff Generators. *Handbuch der Physik*, Vol. XLIV, 64 (1959).
- (7) I. Michael, et al: *Rev. Sci. Instr.*, **30**, 855 (1959).
- (8) 西川哲治, 他・加速器, 36 (1960).
- (9) 藤永敦・後藤正之・今村元・藤田彪太: 最近の Van de Graaff 形加速器について, 「応用物理」, **27**, 422 (1958).
- (10) C. D. Maak, et al: Design and Operation of a Radio-Frequency Ion Source for Particle Accelerator, *Nuclearics*, **9**, 18 (1951).
- (11) M. M. Elkind: Ion Optics in Long, High Voltage Accelerator Tubes, *Rev. Sci. Instr.*, **27**, 129 (1953).
- (12) J. G. Trump, et al: Generating Voltmeter for Pressure-Insulated High Voltage Source, *Rev. Sci. Instr.*, **11**, 54 (1940).
- (13) 今村元・後藤正之・宮下恭一・佐伯安男: Van de Graaff 形加速器の電子線エネルギーの測定—ガラスによるエネルギーの測定—第二回原子力シンポジウム 報文集, 物理原子力 (2) 37 (昭 33).
- (14) J. B. Marion: Accelerator Energy Calibration, *Rev. Mod. Phys.*, **33**, 139 (1961).
- (15) D. E. Alburger, et al: Nuclear Energy Levels, Z—11 to 20, *Rev. Mod. Phys.*, **22**, 373 (1950).

# 通信機バネ用洋白材料の溶解時における亜鉛の損失

世田谷製作所 尾島 学 二\*・小倉 忠利\*\*

## Loss of Zinc in the Melting of Nickel Silver for Spring Material of Communication Equipment

Setagaya Works Gakuji OJIMA・Tadatoshi OGURA

In alloying zinc, copper and nickel to make nickel silver for spring material of communication equipment, zinc plays two parts: one is an ingredient and the other a deoxidizing agent. During the melting remarkable loss of zinc is noted. From results obtained from 6 charges in a 115 kg high frequency induction furnace, 98 charges in a 300 kg, similar furnace and 76 charges in a 300 kg low frequency induction furnace, the loss of zinc were found 6.7%, 5.1% and 5.5%, respectively. This reveals that the loss during the melting in a large quantity is less than that in a small quantity, and also that higher frequency operation is more favorable than lower frequency one. The phenomena are considered attributable to the fact that a larger melt has a comparatively less surface area to its quantity than that of smaller one, resulting in less zinc loss, while the lower frequency melting involves stronger stirring action, which brings about a larger loss of zinc. Thus, the melting yield of 96.9% and 95.6% were made available by taking similar conditions into consideration with 300 kg furnaces of higher and lower frequency.

### 1. ま え が き

銅・ニッケル・亜鉛の3元素よりなる通信機バネ用洋白材料の溶解は原料が溶解後、電解マンガンを加え、さらに溶湯の温度を上げて1,280°Cで保持した後に、ふたたび、微量のマンガンを添加してから、1,350°Cにおいて溶湯を沸騰させて後鋳込みを行なう。この沸騰は溶湯中の酸化物を浮上させ除滓を容易にして、鋳込みの時に酸化物が巻き込まれて鋳形に注入されるのを防ぐためである。

しかし、亜鉛の沸点は907°Cのため蒸発するほか、ZnOなる酸化物となって飛散する。この状況をまず115kgの予備溶解によって調査した。すなわち、鋳塊に含有されている亜鉛の量と配合した亜鉛の量とから亜鉛の損失を求めた。つぎに、300kgの量産溶解によって高周波誘導溶解と低周波誘導溶解との亜鉛の損失における相違を調べ、あわせてこの両溶解の場合の溶解損失を求めた結果を述べる。

### 2. 予備溶解による亜鉛の損失

原料として電解ニッケル・電気銅・電気亜鉛を1次溶解したものを60%と、別に1次溶解した洋白の返り材40%とを使用し、800V・100kW・1,000c/sの当社製高周波誘導溶解炉により1溶解115kgとして6チャージ予備溶解を行なった。使用した炉は高周波用100番の亜鉛ルツボをマグネシヤ粉末によってコイル系に固定したものである。

溶解に使用した原料の配合成分は表2.1に示したとおりである。

すなわち、ニッケルと銅は亜鉛が添加量より減少するので、標準成分より少なくしてある。亜鉛は脱酸剤として作用し、マンガンは

表 2.1 バネ用洋白材料の配合と標準成分 (単位%)

	Ni	Cu	Zn	Mn
標準成分	18	56	25.55	0.35
配合	17.5	54.3	27.47	0.65
標準成分に対する増減	-0.5	-1.7	+1.92	+0.3

溶剤として働くから標準成分より多く添加した。この溶解は原料が溶落後に電解マンガンを加えてから、温度を1,280°Cに上げてここで10分保持した後に、微量のマンガンを添加して、さらに1,350°Cに溶湯の温度を上げて25分保持する方式によった。この溶湯を厚み25mm×幅175mm×長さ600mmの鋳塊に鋳込んで分析した結果、表2.2の値が得られた。

表 2.2 バネ用洋白材料予備溶解の鋳塊分析値 (単位%)

溶番	Ni	Mn	Fe	Cu	Zn (残)
801	17.29	0.34	0.06	56.16	26.15
802	17.89	0.29	0.04	55.82	25.96
803	18.13	0.22	0.07	56.04	25.54
804	18.14	0.35	0.08	56.30	25.13
805	17.95	0.36	0.05	55.88	25.76
806	18.35	0.30	0.04	55.82	25.49
平均	17.96	0.31	0.057	56.00	25.67

以上の結果より亜鉛の損失をみた。亜鉛の分析値は他のものを分析した残量としてしか求まらないために、ケイ素その他の含有不純物を0.05%と評価すると、鋳塊中の亜鉛の含有量はつぎのようになる。

$$25.67\% - 0.05\% = 25.62\% \dots\dots\dots(2.1)$$

亜鉛の添加量は27.47%なるがゆえに、亜鉛の損失量を計算すると

$$27.47\% - 25.62\% = 1.85\% \dots\dots\dots(2.2)$$

この値は洋白の溶解中に亜鉛が蒸発したり、酸化物として消耗される結果生じたもので、添加亜鉛量に対して約6.7%に当てている。

### 3. 高周波誘導溶解による亜鉛の損失

電解ニッケル・電気銅・電気亜鉛を40%と別に1次溶解した洋白の返り材を60%使用して800V・300kW・700c/sの当社製高周波誘導溶解炉により1溶解300kgとして溶解した。この量産溶解の98チャージより亜鉛の損失を求めた。使用した炉はクレー

ポッドの 290 番のルツボをマグネシウムによってコイル系に固定したものである。

溶解に使用した原料の配合成分は表 3.1 に示したとおりである。溶解方法は予備溶解と同じように行ない、1 溶解で铸塊は厚み 43 mm×幅 178 mm×長さ 600 mm を 8 本つくった。この溶湯よりとった分析値は表 3.2 に示したとおりである。この場合の亜鉛の分析値をヒストグラムにして図 3.1 に示した。これより平均値

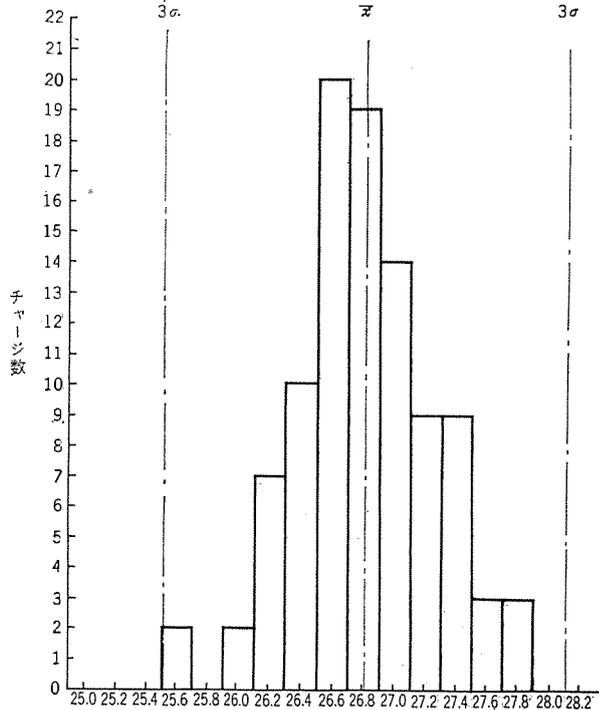


図 3.1 300 kg 高周波誘導溶解した溶湯中の亜鉛分析値のヒストグラム (98 チャージの結果)

Fig. 3.1 Histogram of analyzed values of zinc in the melt of 300 kg high frequency induction furnace.

表 3.1 パネ用洋白材料 300 kg 量産溶解における配合割合 (単位 %)

Ni+Cu+Mn+その他	Zn
71.8	28.2

表 3.2 パネ用洋白材料高周波誘導溶解における溶湯の分析値 (単位 %)

溶番	Ni	Mn	Fe	Cu	Zn (残)
454	18.00	0.32	0.01	55.24	26.43
458	18.04	0.36	0.01	55.32	26.27
461	18.52	0.33	0.01	55.48	25.66
465	17.98	0.29	0.02	55.14	26.57
468	17.73	0.32	0.04	54.78	27.13
472	17.62	0.43	0.04	54.49	27.42
476	17.53	0.43	0.03	54.63	27.38
480	17.69	0.37	0.04	55.12	26.78
504	18.16	0.47	0.04	55.16	26.17
508	17.95	0.43	0.03	54.99	26.60
512	17.84	0.37	0.03	55.12	26.64
516	17.78	0.44	0.03	55.26	26.49
520	17.73	0.44	0.03	55.13	26.67
524	17.54	0.39	0.05	55.17	26.85
528	17.65	0.35	0.05	55.25	26.70
532	17.76	0.37	0.04	55.40	26.43
536	17.69	0.51	0.03	55.13	26.64
540	17.81	0.43	0.03	56.62	25.11
544	17.76	0.42	0.03	55.46	26.33
545	17.76	0.36	0.03	55.77	26.08
548	17.47	0.36	0.03	55.45	26.69
552	17.78	0.42	0.02	55.15	26.63
556	17.81	0.36	0.03	55.01	26.79

560	17.76	0.46	0.03	55.30	26.45
564	17.63	0.44	0.04	55.30	26.59
568	17.78	0.43	0.04	55.11	26.64
572	17.63	0.44	0.04	55.17	26.72
576	17.91	0.47	0.04	54.85	26.73
580	17.95	0.42	0.04	55.10	26.49
584	17.48	0.42	0.04	54.35	27.71
588	17.29	0.40	0.04	54.99	27.28
592	17.52	0.32	0.04	54.91	27.21
596	17.53	0.41	0.04	54.90	27.12
600	17.38	0.38	0.04	54.47	27.73
604	17.61	0.35	0.04	54.75	27.25
660	17.96	0.36	0.05	54.55	27.08
664	17.49	0.31	0.04	55.03	27.13
668	17.48	0.41	0.04	55.17	26.90
672	17.38	0.35	0.08	54.83	27.36
676	17.47	0.39	0.09	54.86	27.19
680	17.87	0.30	0.05	55.27	26.51
684	17.46	0.45	0.05	55.10	26.94
688	17.45	0.44	0.07	54.70	27.34
692	17.52	0.42	0.06	55.15	26.85
696	17.70	0.34	0.07	55.23	26.66
700	17.41	0.38	0.04	54.76	27.41
704	17.34	0.35	0.04	54.74	27.53
708	17.82	0.42	0.05	54.60	27.11
712	17.35	0.43	0.05	54.67	27.50
716	17.56	0.37	0.05	55.20	26.82
720	17.32	0.38	0.05	55.17	27.08
724	17.75	0.36	0.05	54.90	26.94
728	17.57	0.45	0.04	55.06	26.88
732	17.82	0.49	0.04	55.44	26.21
736	17.83	0.47	0.03	55.19	26.48
740	17.72	0.44	0.04	54.88	26.92
744	17.72	0.40	0.04	54.77	27.07
748	17.81	0.36	0.04	54.85	26.94
752	17.52	0.43	0.04	55.25	26.76
756	17.63	0.46	0.04	55.32	26.55
760	17.64	0.40	0.04	55.80	26.12
764	17.62	0.43	0.05	55.32	26.58
768	17.62	0.34	0.05	55.32	26.67
772	17.74	0.43	0.05	55.65	26.13
776	17.48	0.42	0.05	55.00	27.05
780	17.52	0.40	0.05	55.40	26.63
784	17.08	0.35	0.05	55.75	26.77
788	17.65	0.41	0.04	55.30	26.60
792	17.47	0.43	0.06	55.12	26.92
796	17.87	0.36	0.05	55.55	26.17
800	17.44	0.45	0.05	55.26	26.80
804	17.73	0.47	0.04	54.89	26.87
808	17.64	0.43	0.04	55.24	26.65
811	17.56	0.44	0.03	54.10	27.87
815	17.85	0.42	0.03	55.40	26.30
819	17.55	0.32	0.04	54.78	27.31
823	17.55	0.39	0.16	55.04	26.86
827	17.80	0.38	0.16	55.57	26.09
831	17.54	0.40	0.02	54.92	27.12
835	17.56	0.43	0.03	55.29	26.69
839	17.60	0.38	0.05	55.71	26.26
843	17.35	0.33	0.05	55.35	26.92
847	17.50	0.28	0.04	54.82	27.36
851	17.15	0.32	0.04	55.09	27.40
855	17.70	0.42	0.04	54.82	27.02
859	17.54	0.42	0.05	55.08	26.91
863	17.64	0.36	0.05	55.35	26.60
866	17.90	0.33	0.04	55.10	26.63
870	17.36	0.33	0.04	54.90	27.37
874	17.31	0.39	0.04	54.75	27.51
878	17.46	0.40	0.05	55.75	26.34
882	17.32	0.43	0.04	55.51	26.70
886	17.54	0.39	0.04	55.25	26.78
890	17.55	0.36	0.05	55.09	26.95
894	17.54	0.42	0.06	55.23	26.75
898	17.64	0.40	0.04	55.20	26.72
902	17.72	0.40	0.05	54.97	26.86
906	17.81	0.33	0.05	55.44	26.37

を求めると

$$\bar{x} = 26.81 \% \dots\dots\dots(3.1)$$

となる。この値の中のケイ素その他の含有不純物 0.05% を除くと、亜鉛の含有量は

$$26.81 \% - 0.05 \% = 26.76 \% \dots\dots\dots(3.2)$$

亜鉛の添加量 28.2% より損失量を算出すると

$$28.2 \% - 26.76 \% = 1.44 \% \dots\dots\dots(3.3)$$

となる。すなわち、高周波誘導溶解で 300 kg 量産溶解を行なった場合約 5.1% の亜鉛が損失される。

#### 4. 低周波誘導溶解による亜鉛の損失

つぎに高周波誘導の 300 kg 量産溶解の場合と同じ原料を用い、600 V・230 kW・50 c/s の当社製低周波誘導溶解により、1 溶解 300 kg ずつ溶解した 76 チャージの量産品の損失を調べた。使用した炉はカーボンポッドの 500 番ルツボをアグネシアでコイル系に固定したものである。

原料は表 3.1 の高周波誘導 300 kg 溶解の場合と同じであり、溶解方法も前述した方法に準じて行なった。鋳塊も厚み 43 mm × 幅 178 mm × 長さ 600 mm のものを 1 溶解に 8 本とった。この時の溶湯の分析値は表 4.1 のとおりである。亜鉛の分析値は前回とおりニッケル・マンガン・鉄・銅の値を差引いた残量として求めたが、ヒストグラムで表わすと図 4.1 のようになる。これより

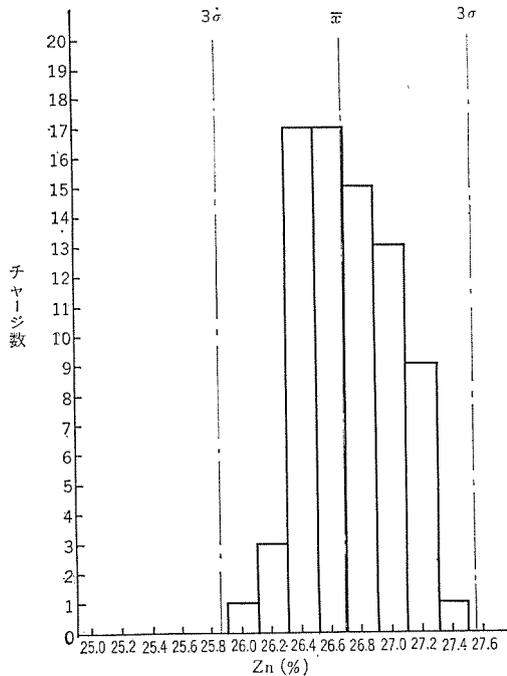


図 4.1 300 kg 低周波誘導溶解した溶湯中の亜鉛分析値のヒストグラム (76 チャージの結果)

Fig. 4.1 Histogram of analyzed value of zinc in the melt of 300 kg low frequency induction furnace.

表 4.1 パネ用洋白材料低周波誘導溶解における溶湯の分析値 (単位 %)

溶番	Ni	Mn	Fe	Cu	Zn (残)
1001	17.72	0.22	0.05	55.45	26.56
1002	17.75	0.15	0.05	55.61	26.44
1003	17.82	0.18	0.05	55.42	26.53
1004	17.85	0.17	0.04	55.06	26.88
1005	17.69	0.21	0.05	55.75	26.30
1006	17.70	0.25	0.05	54.86	27.14
1007	17.68	0.25	0.04	55.00	27.03
1008	17.54	0.29	0.05	55.06	27.06

1009	17.55	0.31	0.05	54.92	27.17
1010	17.72	0.33	0.05	54.90	27.00
1011	17.63	0.28	0.06	54.91	27.12
1012	17.73	0.28	0.05	55.30	26.64
1013	17.75	0.38	0.04	54.98	26.85
1014	17.63	0.49	0.05	54.35	27.48
1015	17.60	0.31	0.05	55.15	26.89
1016	17.79	0.25	0.05	54.75	27.16
1017	17.75	0.26	0.07	55.58	26.34
1018	17.73	0.20	0.06	55.19	26.82
1019	17.61	0.23	0.08	54.92	27.16
1020	17.65	0.14	0.04	55.12	27.05
1021	17.69	0.27	0.06	55.04	26.94
1022	17.65	0.29	0.06	55.35	26.65
1023	17.72	0.24	0.06	55.26	26.72
1024	17.52	0.26	0.06	55.18	26.98
1025	17.70	0.28	0.07	55.45	26.50
1026	17.72	0.25	0.06	55.11	26.86
1027	17.98	0.22	0.06	55.15	26.59
1028	17.70	0.25	0.05	55.51	26.49
1029	17.73	0.27	0.05	55.13	26.82
1030	17.77	0.24	0.05	55.13	26.81
1033	17.52	0.26	0.04	55.21	26.97
1034	17.52	0.24	0.05	55.22	26.97
1035	17.42	0.26	0.05	55.10	27.17
1036	17.46	0.21	0.05	55.31	26.97
1037	18.00	0.24	0.06	55.67	26.03
1038	17.53	0.22	0.05	55.30	26.90
1039	17.70	0.23	0.05	54.86	27.16
1040	17.82	0.25	0.06	55.45	26.42
1041	17.53	0.24	0.06	55.67	26.50
1042	17.68	0.24	0.06	55.01	27.01
1043	17.76	0.22	0.06	55.15	26.81
1044	17.77	0.22	0.05	55.49	26.47
1045	17.66	0.22	0.05	55.11	26.96
1046	17.67	0.22	0.05	55.45	26.61
1047	17.81	0.20	0.06	55.35	26.58
1048	17.72	0.15	0.06	55.88	26.19
1049	17.63	0.33	0.05	55.04	26.95
1050	17.62	0.31	0.06	55.27	26.74
1051	17.66	0.31	0.05	55.37	26.61
1052	17.71	0.28	0.05	55.26	26.70
1053	17.64	0.30	0.05	54.79	27.22
1054	17.55	0.29	0.05	54.90	27.21
1055	17.74	0.30	0.04	55.11	26.81
1056	17.67	0.31	0.04	55.50	26.48
1057	17.63	0.33	0.04	55.77	26.23
1058	17.70	0.32	0.04	55.63	26.31
1059	17.69	0.31	0.05	55.63	26.32
1060	17.69	0.34	0.04	55.11	26.82
1061	17.82	0.39	0.04	55.08	26.67
1062	17.79	0.42	0.04	55.28	26.47
1063	17.94	0.34	0.04	55.35	26.33
1064	17.61	0.27	0.05	55.30	26.77
1065	17.81	0.30	0.05	55.30	26.54
1066	17.76	0.23	0.06	55.77	26.18
1067	17.74	0.29	0.05	55.48	26.44
1068	17.80	0.27	0.04	55.08	26.81
1069	17.88	0.27	0.05	55.40	26.40
1070	17.89	0.29	0.05	55.31	26.46
1071	17.80	0.28	0.05	55.55	26.32
1072	17.86	0.25	0.04	55.22	26.63
1074	18.06	0.22	0.03	55.17	26.52
1075	17.81	0.24	0.05	55.54	26.36
1077	17.86	0.24	0.04	55.20	26.66
1079	17.78	0.24	0.04	55.35	26.59
1081	17.78	0.21	0.05	55.50	26.46
1083	17.91	0.19	0.03	55.37	26.50

平均値を求めると

$$\bar{x} = 26.69\% \dots\dots\dots(4.1)$$

となる。この値の中のケイ素その他の含有不純物 0.05% を除くと、亜鉛の含有量は

$$26.69\% - 0.05\% = 26.64\% \dots\dots\dots(4.2)$$

亜鉛の添加量 28.2% より損失量を算出すると

$$28.2\% - 26.64\% = 1.56\% \dots\dots\dots(4.3)$$

となる。すなわち、低周波誘導で 300 kg 溶解を行なうと約 5.5% の亜鉛が損失される。

### 5. 洋白材料の量産における溶解減耗量

いままで、高周波誘導溶解および低周波誘導溶解の場合の量産の 300 kg 溶解における亜鉛の損失量について述べて来たが、実際の溶解作業においてはこれ以外に溶湯が蒸発したり、酸化したり、また、溶滓となったりして減耗されるものである。これについては参考までに検討を行なった。いま、溶湯の減耗量を原料そう入量と、溶解後銻込まれた銻塊の量に溶湯の余った量を加えた量との差から溶解歩留として求めた。高周波誘導溶解の場合の歩留を示すと 98 チャージの値より図 5.1 のようになり、溶湯の歩留は

$$\bar{x} = 96.9\% \dots\dots\dots(5.1)$$

となる。また、低周波誘導溶解の場合の歩留を同様に 98 チャージより求めると、図 5.2 のようなヒストグラムになる。これより低周波誘導溶解の時の溶湯の歩留は

$$\bar{x} = 95.6\% \dots\dots\dots(5.2)$$

となる。これらより低周波誘導溶解では高周波誘導溶解の場合に

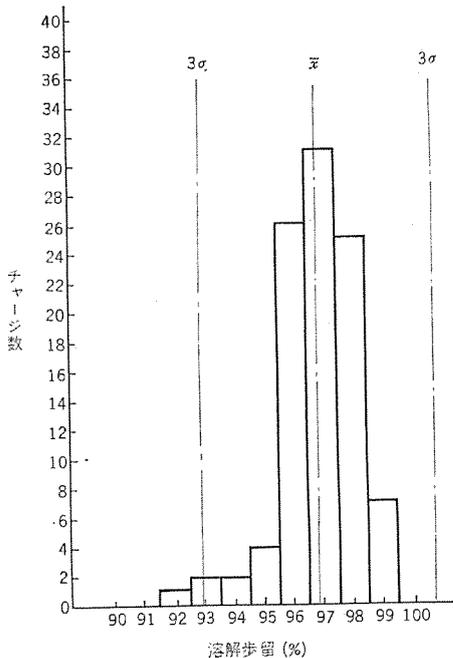


図 5.1 300 kg 高周波誘導溶解における溶解歩留 (98 チャージの結果)  
Fig. 5.1 Melting yields with 300 kg high frequency induction furnace.

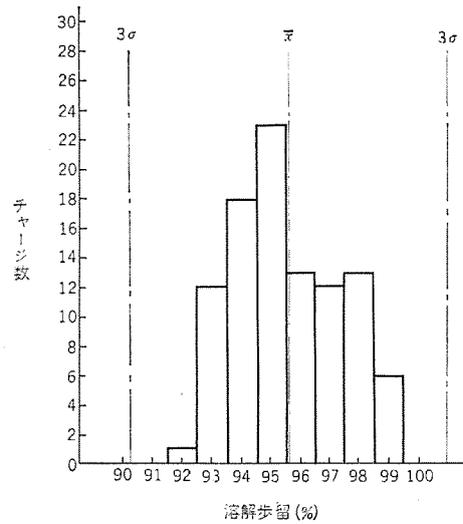


図 5.2 300 kg 低周波誘導溶解における溶解歩留 (98 チャージの結果)  
Fig. 5.2 Melting yields with 300 kg low frequency induction furnace.

くらべ、カフンが大きいために溶解歩留は少し低下することを示している。

### 6. むすび

パネ用洋白材料の溶解においては、主原料の一つである亜鉛が脱酸剤として消費されるほか蒸発したり、高温で沸騰させるために余分の酸化亜鉛の粉末として飛散し去っていく。これらの亜鉛の損失量は高周波誘導溶解で 115 kg 溶解した 6 チャージの結果では添加量に対して約 6.7% であったが、300 kg の 98 チャージの量産溶解でみると約 5.1% であった。この結果は溶解量が増加すると溶湯の量に対して溶湯表面の広さが減じるので亜鉛の損失が少なくなったものと思われる。つぎに、300 kg の低周波誘導溶解で 76 チャージの結果から約 5.5% の数値が得られた。この損失の増加は低周波誘導溶解においては高周波誘導溶解に比し、カフンが大きいことによるものと思われる。同様な結果は亜鉛以外の元素においてもみられる。これは溶解作業中の溶湯の蒸発・酸化・除滓等による減耗をみた溶解歩留によって説明できる。すなわち、原料そう入量と、銻塊の量に余った溶湯の量を加えた量との差から求めた溶解歩留を 300 kg の高周波誘導溶解におけるものと 300 kg の低周波誘導溶解におけるものとどちらも 98 チャージの平均でみると、前者の 96.9% に対し、後者は 95.6% という数値が得られた。この相違は低周波誘導溶解のカフンがすぐれていて均一な成分のものが得られる長所とともに共存するカフンによる原料の酸化損失の大きい欠点の現われである。

おわりに、この実験にご指導を賜った東京大学教授梶山正孝博士、東京大学講師牧野昇博士に深甚なる謝意を表する次第である。また、協力をいただいた当世田谷製作所合金工作課畔川技師に感謝の意を表する。

## 高周波誘導加熱装置 (V)

— 高周波用整合変圧器, コンデンサ, 溶解炉 —

伊丹製作所 中村幸雄\*・荻野 脩\*\*・南角英男\*\*\*

誘導加熱装置の MG 電源からの出力を、有効に加熱コイルに供給するために、出力整合用変圧器や力率改善用コンデンサが用いられる。これらは商用周波数のものと異なり特殊な部品であるためとくにここにとりあげ述べることにする。さらに高周波溶解炉についても今回は合わせて述べることにする。

### 1. 高周波整合変圧器

#### 1.1 概説

高周波溶解または焼入のばあい発電機の容量を最大に利用するために、負荷インピーダンスに応じてコンデンサおよび整合用変圧器が使用される。整合用変圧器は使用される周波数と容量により油入自冷式または乾式水冷構造が採用される。いずれも単相器で内鉄形構造とし一次電圧は 800 V または 400 V が標準となっている。

#### 1.2 960/1,000 c/s のばあい

960/1,000 c/s は一般に溶解用として採用されている。当社の溶解用として製作している変圧器の標準容量、定格は表 1.1 のとお

表 1.1 960/1,000 c/s 溶解用高周波変圧器標準

単相 960/1,000 c/s 油入自冷式 連続定格  
 屋内用 内鉄形  
 一次電圧 800 V  
 二次電圧 F 800 V—R 750 V—F 700 V—F 700 V—F 650 V—F 600 V

容量 kVA	重量(油 なし) kg	油量 l	外形寸法 mm		
			A	B	C
60	350	200	800	600	1,600
100	350	200	800	600	1,600
150	400	200	800	600	1,700
300	450	240	900	600	1,700
600	700	400	1,000	800	1,800

(図 1.1 参照)

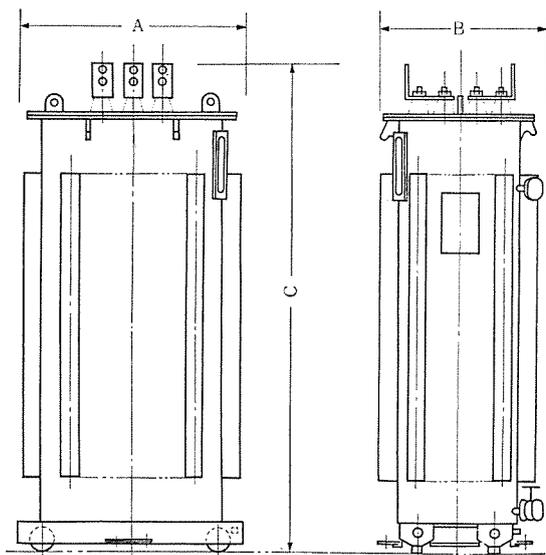


図 1.1 960/1,000 c/s 溶解用変圧器外形

りである。変圧比が小であるのでいずれも単巻変圧器としている。周波数が高いので導体内のウズ電流損を減少させるために導体サイズにはとくべつの考慮をほらい、並列導体を使用して転位を十分行なっている。また変圧器のリアクタンスは回路全体のリアクタンスを減小させるため小さく押えている。このため 1 巻当たりの電圧はやや大で、コイル配置にもそのための考慮が十分はらわれている。リード線、プッシング取付部なども周波数が高いのでリアクタンスおよびウズ電流損が増加しがちであるが、リード配置の適正と非磁性材料の使用によって極力減ずるようにしている。その他一般的構造は電力用内鉄形変圧器と大差ない。二次のタップはいずれも箱外に引き出され電磁接触器などによって切換えられるよう接続される。

#### 1.3 2,000~10,000 c/s のばあい

これらの周波数は溶解および焼入のいずれにも一般に広く使用されている。溶解用の変圧器は一般に二次タップ数が多く一次、二次の電圧比が小さいので単巻構造で製作し、焼入用は 2 巻線構造で製作している。いずれも乾式水冷式を標準としている。

溶解用単巻構造のものは図 1.2 に示すような構造で、コイル導体には銅パイプを使用し、高周波に起因する表皮作用に対処するとともに、内部に冷却水を通して冷却効果を増大している。このためコイル導体は冷却のための空隙を必要としないので密接して巻くことができ、変圧器のリアクタンスを小さく押えるのに役だっ

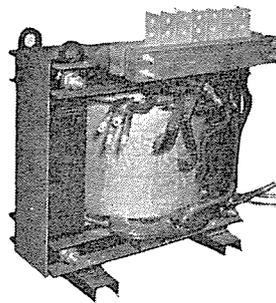


図 1.2 単相 2,500 c/s 150 kVA 400 V/250-225-200-175-150 V 乾式水冷変圧器

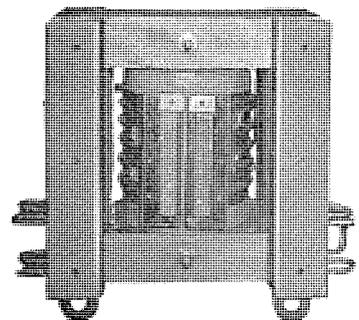


図 1.3 単相 10,000 c/s 300 kVA 400 V/50 V 乾式水冷式変圧器

表 1.2 10,000 c/s 焼入用高周波変圧器標準

単相 10,000 c/s 乾式水冷式 連続定格  
 一次電圧 400 V または 800 V

定量 kVA	巻数比	重量 kg	外形寸法 mm			冷却水量 l/min
			A	B	C	
300	6:1 12:1 固定	120	500	400	550	30
300	4, 5, 6:1 可変	130	500	400	550	30
600	4~11:1 可変	150	500	450	750	40

(図 1.4 参照)

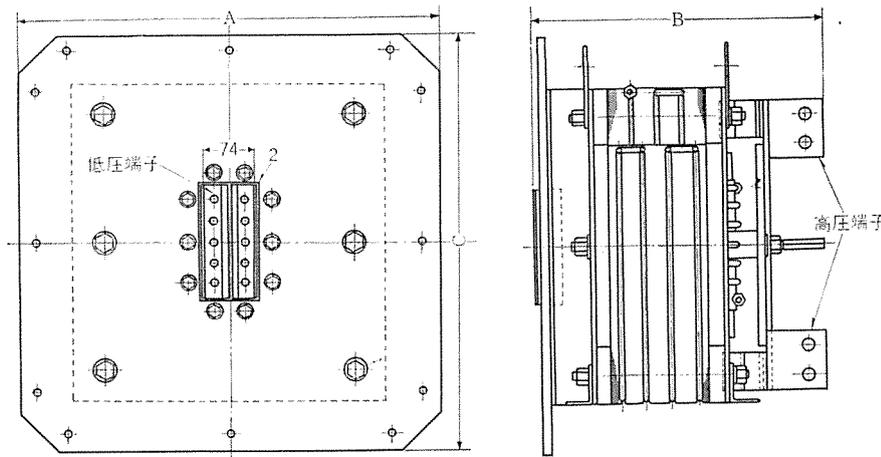


図 1.4 10,000 c/s 焼入用変圧器外形

いる。標準として二次側には5個の全容量タップを備えている。焼入用の変圧器は一次、二次巻線比の固定比のものと同変比のものを製作している。いずれも二巻線構造で可変比のものは一次コイル側に二次電圧を可変できるタップを設けている。これは二次電流は数百～数千アンペアに及びまた巻数も1巻または2巻からなっていて二次側にタップを出すことができないからである。一次コイル導体は先に述べた溶解用と同様に銅パイプを使用し冷却水を通して、二次コイルは大電流であるので薄銅板を使用し水冷蛇管を溶接して冷却している。二次コイル端子部は焼入コイルの接続が容易にできる構造となっており、焼入コイルとの接続部の加熱を防ぐために水冷ジャケットを設けている。

10,000 c/s 用の鉄心はケイ素鋼板積層間に適宜冷却板をそう入し、冷却している。

## 2. 高周波コンデンサ

### 2.1 概説

誘導加熱装置に使用するコンデンサには、共振回路用コンデンサと、高周波発電機用の直列コンデンサとがある。前者は高周波変流器に並列に接続して、並列共振を利用して、被加熱物に近い位置で、高周波大電流を供給するものであり、後者は発電機に直列に接続され、高周波発電機の大きな漏れリアクタンスを補償するものである。いずれもコンデンサとしてはまったく同一構造の単位コンデンサを必要個数、直並列に接続して用い、また単位コンデンサも容量調節用のタップを有している。

当社の高周波コンデンサは油入絶縁紙コンデンサであり、2,000 c/s 以上は水冷式を採用している。

コンデンサに生ずる損失は大半が誘電体損失であり、その他ごく少量の抵抗損と渦流損がある。商用周波では、コンデンサの損失は非常に少ないが、誘電体損失は次式により周波数に比例するので、数千サイクル以上の高周波ではぼう大な値となり、高周波コンデンサでは発生熱量の処理が最大問題となる。

$$\text{発生損失} = 2\pi f C E^2 \times \tan \delta \quad (\text{W})$$

ここに  $f$ : 周波数  $C$ : 静電容量 (F)

$E$ : 印加電圧  $\tan \delta$ : 誘電体力率

当社ではこれを水冷式を採用することで解決している。

### 2.2 構造

図 2.1 は三菱高周波コンデンサの中身を示す。コンデンサ素体は良質のクラフト薄紙を誘電体とし、電層箔を電極としているが図 2.2 の

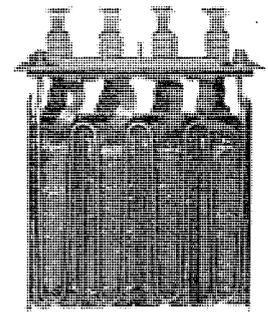


図 2.1 高周波水冷式コンデンサユニット中身 (KUW 形) 440 V 24  $\mu$ F 10,000 c/s

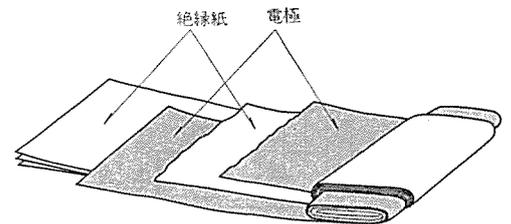


図 2.2 コンデンサ素子詳細 (無誘導巻)

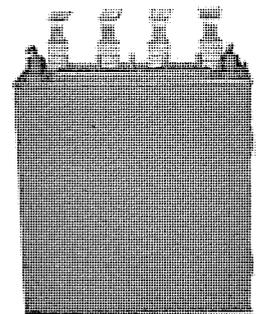


図 2.3 高周波水冷式コンデンサユニット外観 (KUW 形) 440 V 24  $\mu$ F 10,000 c/s

ように箔を左右にずらせ両端に露出して巻き上げている。この巻き方はコンデンサの自己インダクタンスを減少するとともにまた、高周波大電流を流すのにも便利である。水冷管はこのコンデンサの接地端子側に直接ハンダ付されているので、冷却管と接地電極は熱的にも電気的にも接続され、コンデンサは直接冷却管から電極を介して効果的に冷却され、また電流も水冷管を通して流れる。現在一般にあるような油を水冷管で冷却することにより、間接的にコンデンサを冷却するものに比べ、はるかに効果的であり、かつ局部過熱もないのでこの方式を採用することにより、コンデンサは非常に小形化される。

図 2.3 は高周波コンデンサの外観である。コンデンサ素体は外箱に収納後、真空中で加熱乾燥され脱ガス脱水した絶縁油を含浸後密封されるので使用中の吸湿などによる劣化はまったく防止される。なお外箱は薄い黄銅板を用いているので、器壁の変形により油の膨張収縮に応じることができ、また発錆のおそれもない。カバーはまたとくに銅板を用いているので、ウズ流による温度上昇も少ない。またラッシング、水冷管出口などもすべてハンダ付され、パッキングなどはまったく用いてないので密封は完全である。コンデンサは通常横倒しにして用いられるが、これは絶縁上の都合のほか冷却水停止時コンデンサ内部の冷却管内に冷却水が内部に残らないように考慮したものである。

### 2.3 使用法

これらの単位コンデンサは単器で使用されることが少なく、負荷

表 2.1 高周波水冷式 (KUW 形) コンデンサ 一覧表

電圧 (V)	周波数 (c/s)	全静電容量 (μF)	各端子静電容量 (μF)						寸法 (mm)		図番
			1	2	3	4	5	6	A	B	
300	2,000~3,000	100	25	25	25	25	—	—	460	380	5
300	2,000~3,000	87.5	25	25	12.5	12.5	6.25	6.25	460	380	6
400	2,000~3,000	80	20	20	20	20	—	—	555	475	5
400	2,000~3,000	70	20	20	10	10	5	5	555	475	6
500	2,000~3,000	40	10	10	10	10	—	—	460	380	5
500	2,000~3,000	40	10	10	5	5	5	5	460	380	6
440	10,000	24	6	6	6	6	—	—	460	380	5
440	10,000	22	6	6	4	3	2	1	460	380	6
880	10,000	6	1.5	1.5	1.5	1.5	—	—	460	380	5
880	10,000	5.5	1.5	1.5	1	0.75	0.5	0.25	460	380	6

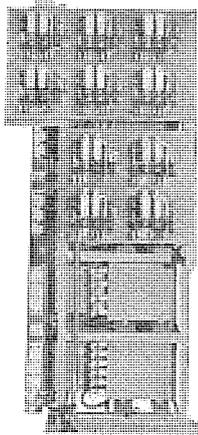


図 2.4 高周波水冷式 コンデンサバンク

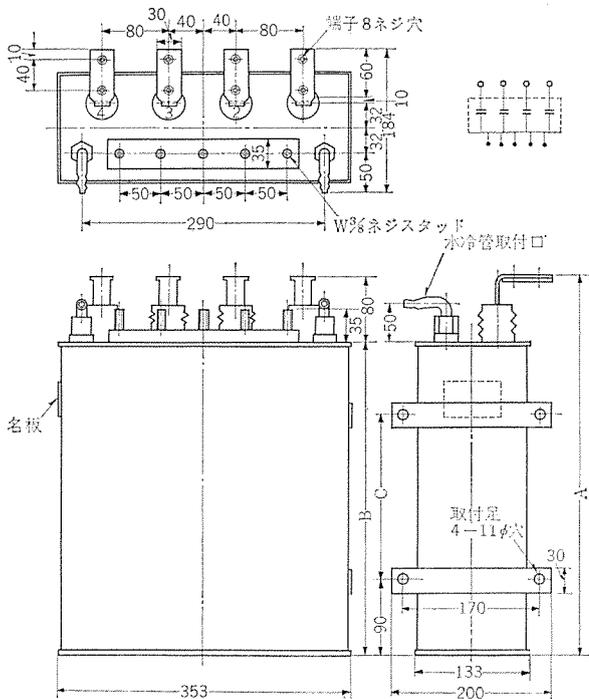


図 2.5 油入水冷式 KUW 形高周波 コンデンサ (4 端子式)

に応じて一般に数個から数十個づつ組して使用される。また負荷力率に応じて容量が自由に調節できるよう、開閉器もしくは電磁接触器を取付けることが多い。図 2.4 はその一例である。使用周波数が高いので、導体配置は極力自己インダクタンスを減少するようくふうされ、必要なばあいには導体にも水冷管を取付けて冷却して寸法の縮小化をはかっている。水冷管の接続には絶縁管を用いて漏れ電流を制御し、必要に応じて弁を取付けている。

表 2.1 は三菱高周波水冷式コンデンサ (KUW 形) の単位ユニットの一覧表である。標準として 4 端子式と 6 端子式とがあり、仕様に応じてこれらを必要個数づつ組を行なっている。当社では 2,000 c/s 以上はすべて水冷式となっており、一方の電極は共通端子となっており、外箱に直接接続されている。

高周波回路では装置全体の配線に注意しないとコンデンサに過電圧がかかるが、三菱高周波コンデンサは定格電圧の 120% までは連続使用可能であるが、これ以上にはならないよう注意を要する。またこの種のコンデンサは発熱体の近くで使用されることが多いが、冷却水の出口温度が 30°C 以下にならないように、また名板に記載してある冷却水流量を下らないようにしていただく必要がある。

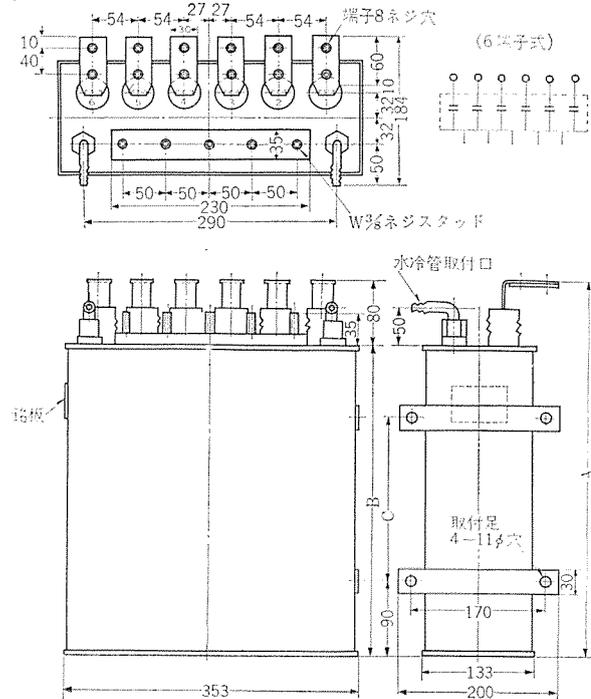


図 2.6 油入水冷式 KUW 形高周波 コンデンサ (6 端子式)

冷却水の許容最大圧力は 5 kg/cm<sup>2</sup> である。単位コンデンサ間を接続してある絶縁管の長さは、冷却水の固有抵抗に応じて漏れ電流を制御し、また平衡するように選定してあるので、取換えのときにはとくに注意していただきたい。また単位コンデンサの外箱は架台上に絶縁して置かれており、電位を有しているので、外箱に直接ふれないようにしていただくことも必要な注意の一つである。

### 3. 高周波溶解炉

高周波炉が、燃料炉にくらべてすぐれている点は、周知のことであるので、商用周波数の無鉄心式ルツボ式低周波炉 (以下低周波炉と呼ぶ) と比較しつつ、その長短を述べてみる。

(1) 高周波炉は、低周波炉よりも、浸透厚さが薄く、しかも同じ溶解容量のばあい、高周波炉のほうが大きい電力を投入できるので、高周波炉のほうが高温が得やすく、低周波炉は、銅および銅合金の溶解に多く使用されるにたいし、高周波炉は特殊鋼鋳鋼に多く使用される。表 3.1 に、当社の高周波炉の標準を示し、参考までに表 3.2 に低周波炉の標準を示す。

(2) 高周波炉は冷材からのスタートが容易で、必ずしも大きいブロックを必要としない。低周波炉のばあいは、材料が小さいとな

表 3.1 高周波炉および電動発電機の標準容量表

標準炉の大きさ (kg)	標準発電機容量 (kW)	電動機出力 (四極)	
		kW	HP
50	60	90	120
100	100	150	200
150	100	150	200
150	150	210	280
300	150	210	280
300	300	410	550
500	150	210	280
500	300	410	550
1,000	300	410	550
1,000	600	825	1,100
2,000	600	825	1,100
2,000	900	1,200	1,600
4,000	1,200	1,500	2,000
5,000	1,500	1,800	2,400

表 3.2 低周波誘導炉標準容量表

最大溶解量 (kg) (比重 7.5 において)	電気容量 (50 c/s および 60 c/s) kW	
	低温用(銅合金用)	高温用(鉄合金用)
200	100	150
300	150	200
500	200	250
750	250	300
1,000	350	400
1,500	400	500
2,000	500	600
3,000	—	700
4,000	—	800
5,000	—	1,000

かなか溶けにくく、初めは大きいブロックを準備しておく必要がある。したがって、高周波炉は異種の金属でも、間欠的に容易に溶解することができ低周波炉は、同種の金属を残し湯をしながら連続溶解すれば、非常に有効に使用できる。したがって低周波炉は、残し湯の分だけ(約 20~30%)高周波炉より炉室が大きくなる。低周波炉を、このような方法で連続溶解に使用すれば、鋳鋼、特殊鋼、ステンレスなどでも溶解することができる。

(3) 高周波炉は、発電機損失が比較的大きいため、低周波炉より、総合効率は劣る。たとえば 250kW 500kg 低周波炉でステンレスを溶解したばあい、1 回目は溶解時間 2 時間 30 分であるが、2 回目からは残し湯をして 1 時間 20 分、所要電力量 650kWh/t で、300kW 500kg 高周波系で溶解するばあい所要時間は低周波炉と同じく 1 時間 20 分で所要電力量は 800kWh/t である。

(4) カクハシ作用は、低周波炉のほうが大きく、大気中のガスを吸収しやすい傾向は、高周波炉より大きい。したがって、銅合金でも、大気中のガスの吸収をきらいものは、カクハシ作用の少ない高周波炉で短時間に溶解するほうが有利である。

(5) 高周波炉は、発電機が高価なので、設備品は低周波炉より高くなる。低周波炉では、単相負荷であるため、三相電源よりとるばあいは、三相をバランスさせるためのリアクトルとコンデンサを必要とするばあが多い。

### 3.2 構造

炉体の構造は図 3.1 のように、水冷された中空銅管がコイルを作り、その内側に耐火材で炉室を形成する。炉体の傾動方式は、ホイスト式、電動式、油圧式などがある。

炉体コイルと電源側の接続は、炉底スイッチによるものと、フレキ

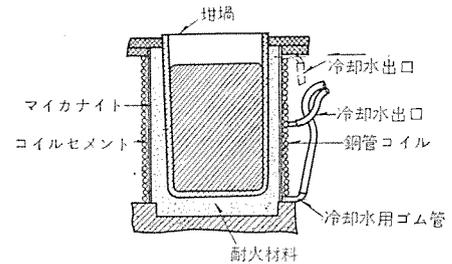


図 3.1 高周波誘導炉断面図

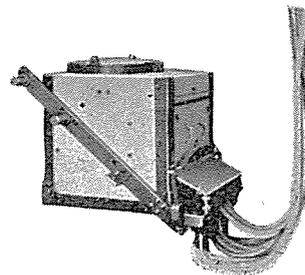


図 3.2 水冷ケーブルつき高周波誘導炉

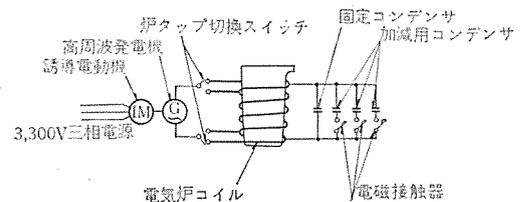


図 3.3 高周波誘導炉接続図

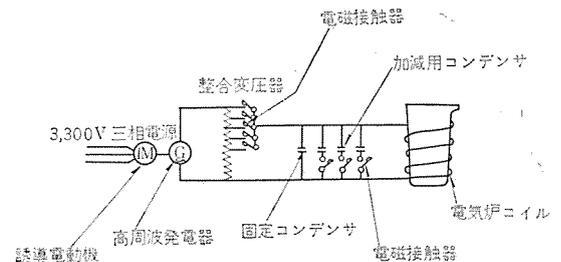


図 3.4 高周波誘導炉接続図

シブルの水冷ケーブルによるものとある。炉底スイッチは、傾動するたびにスイッチが切れ、ほこりにより接触不良などをおこすことがあり、当社ではもっぱら水冷ケーブルを使用している。これはゴムホースの中に、裸ケーブルを通し、ホースの中に水を通して冷却したもので、接点がなく、傾動中でも電力がかけられる。高周波炉でも 1,000 c/s 程度のもは、炉底スイッチまたは、フレキブルケーブルでさしつかえないが 2,000 c/s 程度になるとリアクタンスが大きくなるので、同軸ケーブルを使用する必要がある。

図 3.2 は水冷ケーブルを使用した炉体を示す。

### 3.3 接続

図 3.3 は従来用いられている接続図で、出力の調節は発電機電圧の調節のほか、コイルにタップを設け、これを操業中に切換えて、つねに最大出力が出るようにしている。最近多く用いられている方法は、図 3.4 のように、コイルにタップを設けるかわりに、変圧器を使用して、発電機の出力を最大限に負荷できるようにしている。これにより、コイルの構造は簡単となり、フレキブルケーブルの数も減少する。また運転中の発電機電圧の変動にそなえて定電圧装置をもっている。

## 高効率、変換器回路中のモータ電流でトランジスタを開閉する新方式

T. M. Corry: Motor Current Drives Switching Transistors in High-efficiency Power Converter (ELECTRONIC DESIGN, Dec. 6, 1961, pp. 48~51.)

本文は単相交流モータを高効率、低力率で運転するインバータ回路方式の技術革新についての報告である。直流を交流電力に変換するインバータ回路では交流モータの高リアクタンスはインバータとモータ間のインピーダンスマッチングがうまく行かず両者の効率を低下させている。ここに提示する新方式は単相交流モータの高速度運転

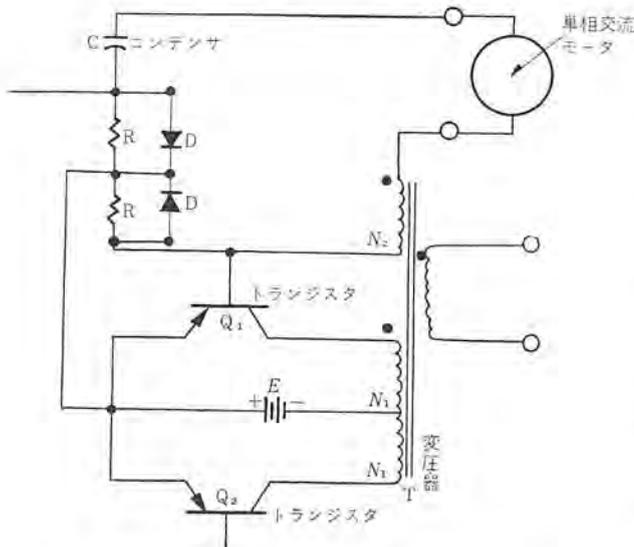


図1 交流単相モータをインバータ回路の一部にそう入した新回路方式

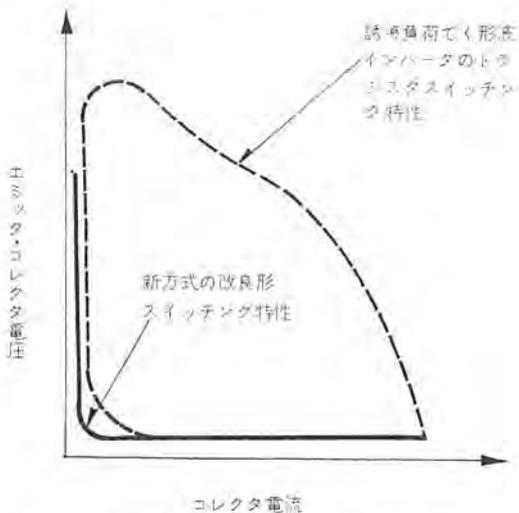


図2 在来の形波インバータと新形インバータのスイッチング特性の比較図

か可変速度駆動の場合にモータ自体をインバータ回路の一部にそう入してモータ電流の変化でトランジスタの開閉を司るものである。図1はその主回路方式を示したものであり、実例としては115V 60 c/sの交流単相モータ付送風機を熱発電素子のついたガスバー湯わかし器で低直流電圧を出して駆動させている。この回路はモータと直列にそう入された蓄電器(C)とトランジスタ(Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>)がCの充電、放電を反覆することによりQ<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>がμsの時間で開閉を行なうことが特長でモータ電流が低いときのみトランジスタは開閉しそのため電力消費は少なくてすむ。在来の形波インバータの特性と比較すると新方式は図2のようなスイッチング特性をもっている点が特色である。図1中の変圧器Tの一次、二次の巻線比(N<sub>2</sub>/N<sub>1</sub>)とトランジスタのゲイナル電流利得βとの間には一定の制限があり、またモータに印加されるピーク電圧はピーク蓄電器電圧が重畳されるため変圧器二次電圧より高いなどの条件がある。この方式はインバータ技術上の一つの進歩であり将来応用されることが多いであろう。(伊丹製作所 加藤又彦訳)

## 宇宙飛しよう体用電力系統

N. W. Bucci & R. W. Briggs: Electromagnetic Power Systems for Space vehicles (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 6, Nov. 1961, p. 182)

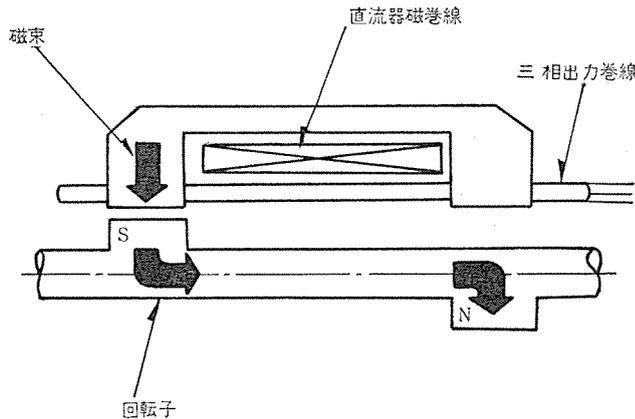
飛しよう体用電力系統の開発研究が航空機における経験に基づいて進められてきたが、軽量小形化および高性能化の基本的な問題の外に航空機にはない問題がある。航空機用発電機がエンジン動力の一部で駆動され、その出力が誘導装置、通信機器およびその他の電気部品に利用されるのに対して、電気推進(イオンまたはプラズマジェット)飛しよう体では蒸気タービンで駆動される発電機の出力の80~90%が電気推進エンジンの動力として費される。したがって大形の飛しよう体では1~2 MWの電力容量の発電機が必要である。

飛しよう体用発電機は真空に近い大気圏外で使用されるのでブラシおよび整流子を使用することは不可能である。また小形軽量で大出力を供給するため高速回転数で運転し、高温に耐えることが要求されるので、回転子に巻線を持つことは不利になる。回転子に巻線を持つことは導体および絶縁物中に大きなストレスを与え、軸受に大きな不平衡力を作る原因になるからである。以上の理由から図のようなソリッドロータ形のインダクタ発電機が選ばれた。回転子の磁極は固定子に固定されたトロイダル状の直流励磁巻線で励磁される。その一例として、出力423 kVA、回転数24,000 rpmの定格の発電機は、温度約540°Cで使用でき、その重量は約160 kgである。

このインダクタ発電機の励磁機として回転形と静止形の二つの方式がある。もう1台のインダクタ発電機を励磁機として用いる回転形ではその励磁機を制御する励磁電力が小さい利点があるが、重量が重くなり、励磁機出力用整流器があるため回路が複雑になり、

励磁機を支えるために必要な軸長が増加する欠点がある。これに対して大電力用整流器を用いた静止形励磁機は軽量で、インダクタ発電機に適している。

一般に周波数として航空機では 400 c/s、飛しょう体では 3,200 c/s が採用されてきたが、この電気推進用飛しょう体ではエンジンに使用される電力は直流であるので、発電機、変圧器、給電系統、



インダクタ 発電機の構造図

整流器および電力制御系統の重量が最小になるような周波数が選ばれるべきである。線路インピーダンスは周波数が高くなるほど増加するが、これは発電機の寸法および供給電力の特性に影響を与える。飛しょう体用給電線路の导体には銅よりもアルミニウム系の材料が適している。

電気推進エンジンには 5,000~50,000V の直流高電圧を必要とし、一方発電機発生電圧は運転条件で制限されるので、昇圧変圧器と整流器が使用される。発電機出力の大部分は電気推進エンジン用に費されるため、他の電力利用部は系統の運転特性を検討するとき第2の考察点として取扱われる。

宇宙飛行用の大電力系統を小形軽量にするためには系統の各要素の特性を十分検討するとともに、基材の利用方法と製作技術を広く研究することが必要である。(名古屋製作所 諸住康平訳)

## 内部冷却式電力用変圧器

—この新しい設計の考え方により電力用変圧器はより小さくより軽くなって、なお一層の進歩を約束している—

Harold R. Moore: Inner Cooled Power Transformers (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 6, Nov. 1961, p. 191)

図 1 (b) に示す従来形絶縁は油浸プレスボード板と油隙が直列に構成され後者の分担電圧が高くこれによって強度が定まり、プレスボードの高い絶縁耐力を有効に活用していなかった。内部冷却式

設計ではコイル縁その他の高電界部位の油隙を代って油浸プレスボードで充填し、冷却の手段として並列導体を 2 セクションに巻きその間に油隙を設ける(図 1(a)). 巻線を冷却する絶縁耐力の低い油は電界の低いセクション間にあり、クリープよりも貫通に強いプレスボードでコイル縁を包んで、その高い絶縁耐力を利用し絶縁寸法を縮小しうる。特別に製作されテープ接合されるプレスボードにより高電界のコイル縁その他に油のボイドがないように密接され、コイル接続部の不連続はプレスボードと同性質の特殊なコンパウンドで詰盛りする。

絶縁物は熱の絶縁体でもあり、固体絶縁の電圧と厚さが限度を越えると放散よりも発生熱が大となり温度が上がり、また発生熱量が増大して累積的に温度が上昇し絶縁の破壊を来す。“充填絶縁”は誘電体熱を除くために制約を受け、コイル縁から離れると電界は均一になるからそこに薄いので高い耐力がありインパルスが加圧されてもイオン化しないように考慮された制御小油隙を配する。

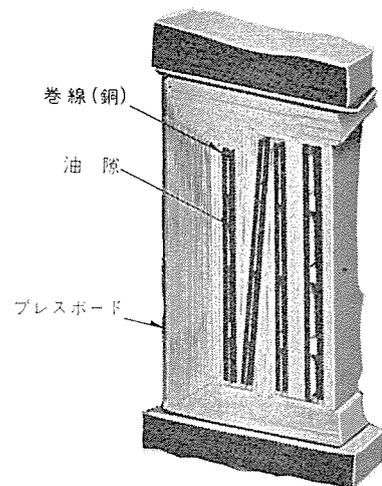


図 1 (a) 内部冷却式コイルの断面

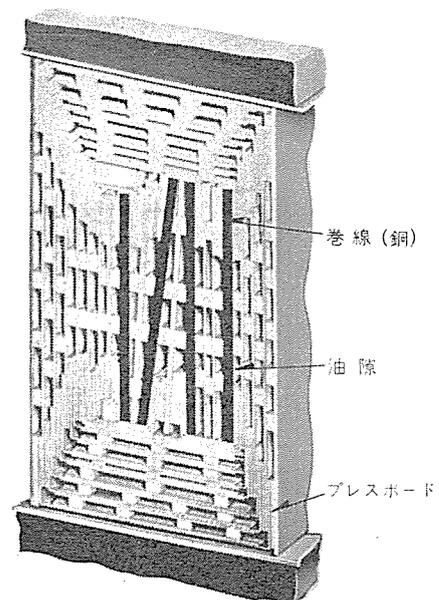


図 1 (b) 標準外鉄形巻線の断面

内部冷却式设计では電極形態の改善——コイル縁、特殊静電板、鉄心や支持機の鋭角をシールドして、コロナおよびイオン化の特性を向上する。

各コイルの2面が油流に接し冷却の問題は同然で、コイル縁をふさぐ溝形絶縁などがなくかえって最高点温度を下げ、油はすべてコイル面と鉄心を通り冷却効果はよくなって、大きな面の垂直配置コイルでもあり、自冷式送油式いずれもすぐれた冷却特性をうる。

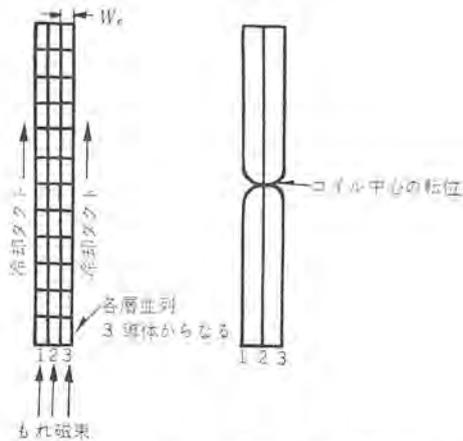


図 2 (a) 3 導体の従来形外鉄形コイルの断面

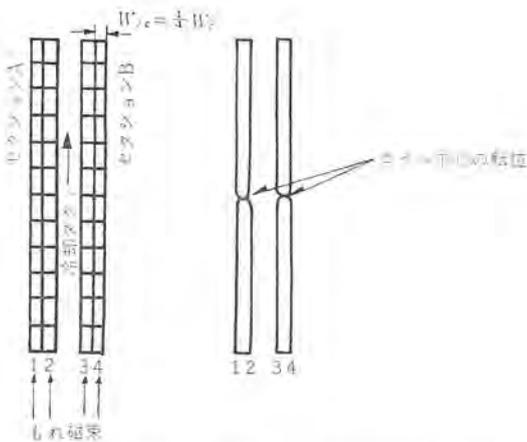


図 2 (b) 各セクション 2 導体の 2 セクション 内部冷却式コイルの断面

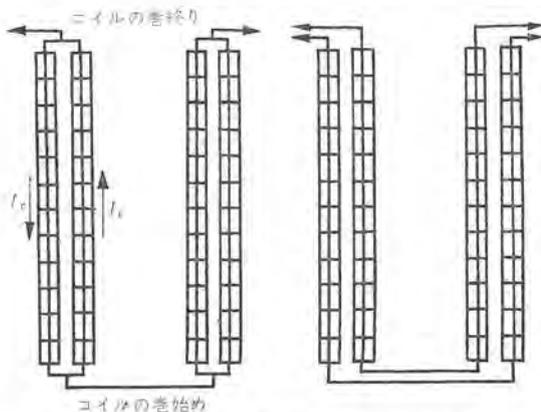


図 3 適正設計により右図の如く内部冷却式コイルのセクション間循環電流は消去できる

図 2 (a) のように 3 本の並列導体を用いるときは、完全に転位しない。図 2 (b) の 2 セクション 内部冷却コイルでは各セクションは完全に転位され、コイル厚さが同じなら素線の幅は 3/4 であるからうず電流損は 56% に減ずる。各セクションは図 3 のように分離して全巻線ルーチで合成電圧が 0 になるように接続され、しかも循環全回路の直列抵抗が高いから、うず電流と循環電流損が大幅に減少する。

内部冷却式设计ではインピーダンスも減少する。

1958 年来製品は出荷されているが、基礎的な内部冷却式设计の改善は今なお進められている。ストレスを減ずる新しい原理が採入れられ、静電シヤヘイの改良によって全体の耐力は向上し、製造技術の開発によって高電界部分の絶縁の装着がよくなり、絶縁寸法の縮小を可能にした。最新の設計による 1175BIL の試作品が、1961 年の初頭に完成し、従前の内部冷却式に比し約 10% 絶縁距離を縮小したが、これで十分の安全率があることが験定され、一段重要な超高压絶縁構造の開発がなされた。

内部冷却式设计によって大容量さらに高电压の変圧器が製作可能になり、超高压送電を経済的に実現する。Apple Grove の 750 kV 変圧器は内部冷却構造である。現行電圧では同じ寸法で 35% 大容量の変圧器が製作でき、また特別地域向けの小中形器の輸送問題が輸送重量寸法の縮小により解決される。

この設計はコイルの回りに高耐力の絶縁物を密着することが主眼である。現在では油浸セルローズが電気的にも経済的にも大形変圧器には最も実用的とされているが、新しい高耐力の絶縁材が開発されると直接装着を採用して絶縁強度は改良される。静電シヤヘイの面でも多くの改善が可能であり、ストレスを減じてさらに寸法の節減が期待される。冷却媒体は電界の小さい道を通るから新しい冷却液の開発が考えられ熱特性を向上しうる。またうず電流、循環電流損をさらに減少する研究が進んでいる。

(伊丹製作所 田村良平訳)

## 立坑巻上機の自動制御

Applications of Power: Automatic Control for Mine Hoist (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 1, Jan. 1962, p. 15)

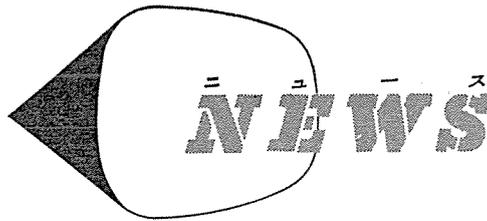
W 社はアリサのインスピレーション コンソリテッド 銅会社の立坑巻上機に搬送波を使ってケージ内から操作する自動巻上機を納入した。

この巻上機は人員昇降用の 700 HP レオード式のもので、起動、停止や行先指定等の運転信号はケージ内の制御押しボタンからロープを通じて搬送波で送り、坑口でロープからアンテナを介して巻上の制御装置に伝えるものである。この方式によって従来困難であったケージ内から操作することが容易になった。

また、この巻上機の制御方式には W 社独特のプログラム運転装置を用い、起動および所望のレベルへの減速および着床を自動的に行なっているのが特長である。

なお、この立坑には前記 700 HP 人員昇降用のほかに 2×700 HP 出鉱用レオード巻上機も設備されている。

(長崎製作所 武田英夫訳)



フ ラ ッ シ ュ  
**FLASH!**

## ■ 八幡製鉄戸畑製造所納め第4冷間圧延機稼働開始

八幡製鉄戸畑製造所に納入した第4冷間圧延機が4月26日より稼働を開始した。

この設備はわが国最初の6スタンド冷間圧延機であり、最高圧延速度 2,200 rpm という世界でも有数の設備である。

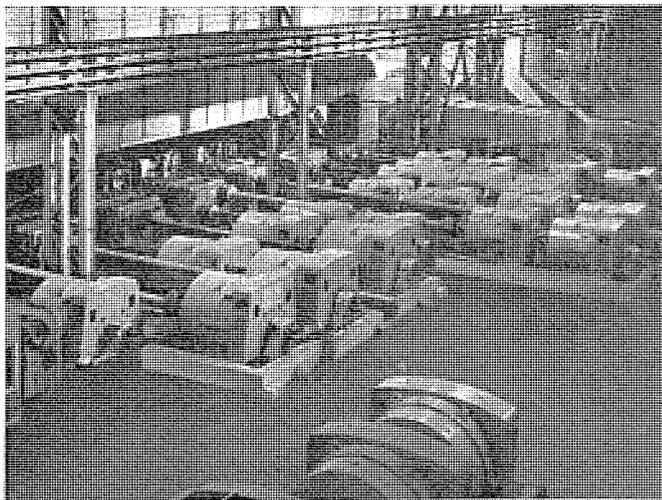
この設備に使用されている主要回転機は下記のとおりである。

No. 1 スタンド	2台	1,100 kW	750 V	125/375 rpm	単電機子
No. 2 スタンド	2台	1,900 kW	750 V	212/520 rpm	単電機子
No. 3 スタンド	2台	1,900 kW	750 V	212/520 rpm	単電機子
No. 4 スタンド	2台	2×1,100 kW	750V	255/637rpm	二重電機子
No. 5 スタンド	2台	2×1,100 kW	750V	225/637rpm	二重電機子
No. 6 スタンド	2台	3× 950 kW	750V	300/635rpm	三重電機子
巻取機	2台	2× 450 kW	750V	200/1000rpm	二重電機子

### 発電機セット

No. 1 スタンド	1台	2,400 kW	750 V	514 rpm
No. 2 スタンド	2台	2,000 kW	750 V	514 rpm
巻取機	1台	2,000 kW	750 V	514 rpm
同期電動機	1台	9,500 kW	11 kV	514 rpm
No. 3 スタンド	2台	2,000 kW	750 V	514 rpm
No. 4 スタンド	2台	2,400 kW	750 V	514 rpm
同期電動機	1台	9,500 kW	11 kV	514 rpm
No. 5 スタンド	2台	2,400 kW	750 V	514 rpm
No. 6 スタンド	3台	2,000 kW	750 V	514 rpm
同期電動機	1台	11,500 kW	11 kV	514 rpm

従来制御装置は回転機を使用していたが、この設備ではすべて磁気増幅器を使用し、応動性の早い制御方式としている。また、一定厚みの製品が自動的に圧延されるように自動板厚制御装置を設けてある。



世界最大最高6スタンドタンデムコールドミル 電気室概景

さらにデータロガー装置を備え、圧延状況、製品の板厚所定厚みの製品の長さ、不良品の長さ、品質その他必要事項が、コイルごとに自動的にタイプライタで記録され、作業管理ならびに品質管理の自動化が行なわれるようになっている。

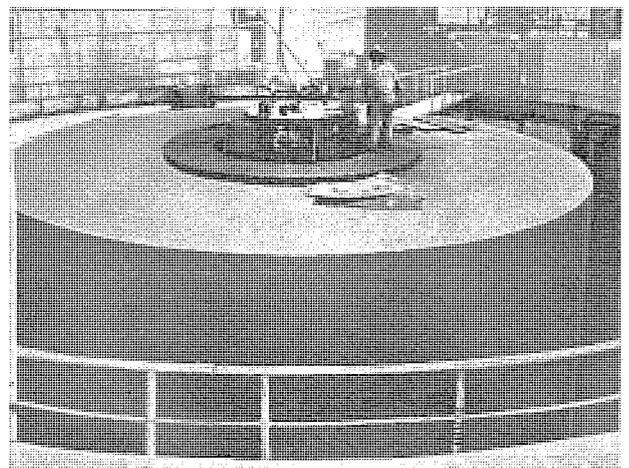
## ■ 台湾 石門発電所納め 57,500/50,000 kVA 水車発電機

一昨年台湾石門水庫委員会から石門発電所向けとして受注した57,500/50,000 kVA 水車発電機は、好成績で工場試験を無事完了した。すでに台湾向けとしては天輪発電所 28,500 kVA、滝澗発電所 62,000/54,000 kVA、谷関発電所 57,500/50,000 kVA 等を納入し、そのすぐれた性能は好評を得ているが本機はとくに台湾初のカサ形機として注目を集めている。

その主な特長は、固定子コイルはダイレジン絶縁の1ターン、ハーフコイルでローベル転位を施し、波形改善のため1スロットスキューを行なっている。スパイダボスは全溶接構造を採用し、リムとの締付には当社独特のパネキーを使用している。推力軸受はオイルリフト付で起動時摩擦の減少をはかり、また推力軸受昇降装置を設けて分解、点検の便をはかった。励磁方式は副励磁機なしのマグアンプ式である。

主機の仕様は下記のとおりである。

立軸、カサ形、回転界磁閉鎖風道循環形	2台
57,500/50,000 kVA	13.8 kV
60 c/s PF 90% 200 rpm	36 極
(固定子コイル温度上昇値 60/80°C)	
励磁機	240 kW 250 V



台湾 石門発電所納め 57,500/50,000 kVA 13.8 kV 3φ  
60 c/s 200 rpm 36 P 水車発電機

## ■ 若松築港納め 2,250 kW 500 rpm スペリ電磁カップリング完成

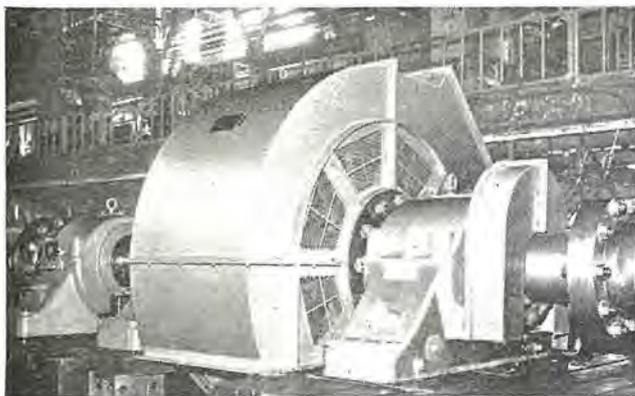
株式会社若松築港のディーゼルポンプ渡漕船“大洋丸”向けとして 2,250 kW 500 rpm のスペリ電磁カップリング1台をこのほど製作し好成績をもって無事納入した。この形式の電磁カップリングとしてはわが国における最大級のものであり当社における記録品である。

その主な仕様をあげると次のとおりである。

形式	開放管自己通風形
定格出力	2,250 kW
定格回転数	493 rpm
エンジン 回転数	500~360 rpm
定格	連続
定格回転力	4,450 kg-m
最大回転力	4,900 kg-m
絶縁種別	B 種
適用規格	JEC-114
ワッ 番	18-73-18
励磁方式	静止励磁方式
励磁容量	25 kW
励磁電圧	125 V
励磁電流	200 A

このスペリ電磁カップリングは渡漕船のサンドポンプとディーゼルエンジンとの間に配置されるものでその使用目的は次のとおりである。

(1) エンジンとポンプとの間のネジリ緩衝体となり、エンジンまたはポンプよりくる衝撃、振動の伝達を制限する。



2,250 kW 500 rpm スペリ電磁カップリング



工場試験中の 2,250 kW スペリ電磁カップリング

(2) 電氣的に操作を行なうことができ、保守が容易であるとともに、ポンプの始動時間が短縮され、またエンジンの起動回数が減少されるので総合稼働率が向上する。

なおこのスペリ電磁カップリングは、本機のように渡漕船サンドポンプ用としての用途のほか、船のエンジンと推進機との間に配置される船舶推進用としての用途があり、本機ではこの用途にもそのまま使用できるよう設計を行なっている。

## ■ 1,500 kW レクチフロードライブ

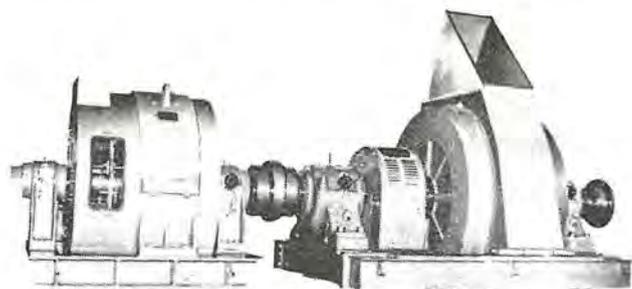
当社レクチフロードライブの好成績が高く評価され、最近急速にその受注が増加しているが、今回若松築港向けドレジャー主砂ポンプ用として、下記仕様のレクチフロードライブを完成納入した。

出力	1,500 kW (全速度範囲にわたり一定)
電圧	3,000/3,300 V 周波数 50/60 c/s
回転数	50 c/s 時 340~270 rpm 60 c/s 時 350~300 rpm

写真は、このセットの外観を示すが、本機はこの種製品としては記録品である。

なお、ドレジャーの主砂ポンプを、全速度範囲にわたり定出力で運転する例は珍らしく、本機の実績により、将来ドレジャー用としてレクチフロードライブが広く使用されるものと期待される。

なお、本船はスイングウインチにもレクチフロードライブを採用し、カタおおよび主砂ポンプ負荷の自動的な調整がなされるものである。



1,500 kW レクチフロードライブセット

## ■ 電子軌道追跡記録装置完成

大阪大学工学部菅田研究室のご指導により研究所および無線機製作所において鋭意製作中の電子軌道追跡記録装置 (MELCOM EA-9102 形) が完成し、大阪府立大学工学部に納入された。この装置は空間電荷の存在する電界中での電子軌道を求めるための専用のアナログ計算機であって、抵抗回路網アナログ、電子軌道計算機、および X-Y 記録器などからなり、主として電子管において電界を形成するための電極形状と各電極の電位およびこの電界中に入射する電子の初期条件が既知のときにその軌道を求めることができるように設計されている。

抵抗回路網アナログには、軸対称形と平面形とがあり、いずれもポアソンの偏微分方程式を、与えられた境界条件のもとで解くことができる。すなわち、境界条件として電極の形状とその電位を

与えると、網目状に接続された抵抗回路網により、電極間の空間電位はポアソンの式の階差法による近似解として各メッシュ点の電位として与えられる。空間電荷の模擬は逐次近似法により、各メッシュに電流を注入して行なう。

電子軌道計算機は各メッシュについてこの電位から電界の強さを求め、電子の運動方程式を解く低速度形アナログ計算機で、その解が、電子の位置を与えるから、X-Y 記録器にこの解を描かせば、電子の運動軌跡が求まることになる。

この装置の主な特長を列挙すると、つぎのとおり。

(1) 電子軌道 計算機には、当社標準の精密級低速度形アナログ計算機の技術を全面的に採り入れており、高精度、高安定度である。

(2) 電子軌道が対称軸と鎖交したときは、簡単な操作により電界を反転して続けて計算でき、何回繰返して軸鎖交しても支障がない。

(3) 電子が各メッシュにつきどの境界線に達しても自動的に計算は中断され、次に計算すべき、メッシュが指示される。

(4) 電極構成、電流注入などに便なるよう特殊な接続用具を付属している。

主な性能はつぎのとおり

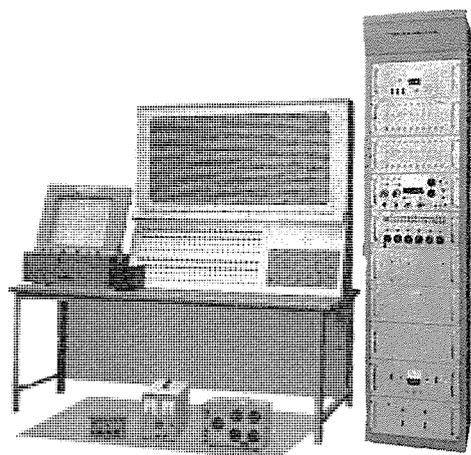
1. 抵抗回路網 アナログ

メッシュ数	1560 (軸方向 60 半径方向 26)
電流注入機構	100 個
電位分布模擬精度	±0.5 %

2. 電子軌道計算機

演算電圧	±100 V
演算精度	±0.1 %

この装置は電子管電極形状の設計、電子レンズの計算など電子の運動軌跡のみに限らず、一般荷電粒子の運動解析や、その他、ポアソンの式で与えられる問題にも応用できるので、今後理工学の各分野で広く利用されることが期待される。



電子軌道追跡記録装置

■ 新形交流ウインチの完成

HSK 形 ポールチェンジウインチは数年来多数製作納入し好評裏に稼働しているが、高・中速巻線を備えた電動機と低速巻線をもった

電動機とを同一軸上にワンデムに配列した形式であり回転系の大きな慣性モーメントによる起動損失のため著しく苛酷な荷役においては相当温度が上昇する欠点があった。

今回開発した HDK 形ウインチはまったく新しい構想にもとづくもので、低速電動機を差動歯車のそう入により高・中速電動機と切離し高速軽量化してウインチとしての性能を著しく改善することに成功した。

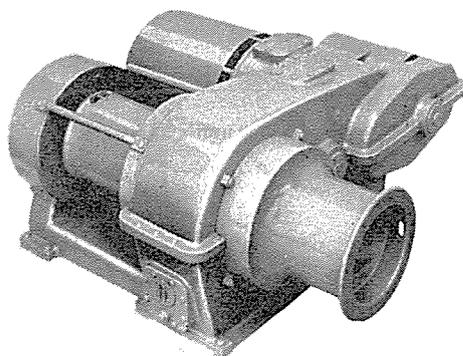
特長

1. HSK 形 ポールチェンジウインチに比べ慣性モーメントが約  $1/3$  に減少したので起動停止の発生損失が減り、いかに苛酷な荷役にも安全な運転ができる。
2. 起動加減速時間が短縮されたので荷役能率が向上し、開閉制御装置の接点容量も低減できた。
3. 製品重量とともに価格も低減された。

開発機の要目は次のとおり

ウインチ 定格	3 t × 41 m/min
主巻胴径	400 mm
ロー径	20 mm
高速側電動機	17/17 kW 4/8 極 1,680/820 rpm 全閉強制冷却 B 種絶縁 円盤形 ブレーキ付
低速電動機	5.8 kW 6 極 1,170 rpm 全閉外扇 B 種絶縁 円盤形 ブレーキ付
制御装置	電磁極数変換式
電源	AC 440 V 60 c/s

また 3 t ウインチの試作結果より 5 t × 39 m ウインチも容易に製作できることが確認された。



3 t HDK 形ウインチ

■ 高性能の高速中性子チョップ  
——原子力平和利用補助金により完成——

この装置は、当社がすでに原子力研究所に納入したパイルオシレータ、中性子モノクロメータ、中性子デイフラクトメータなどとともに、研究用原子炉に設置される中性子実験装置の一連をなすもので、昭和 35 年度原子力平和利用補助金の交付をうけ、2 年間で費やして完成したわが国最初のものである。

この装置は、原子炉から取り出した強い中性子線を用いて中性子スペクトルや吸収断面積の測定を行なうことができる。チョップの

原理は、原子炉から放出される中性子線の前に据付けられたロータを高速回転し、スリットで中性子の流れを数マイクロ秒の間通してチョップし、中性子エネルギーの差による飛行速度の違いを利用して、エネルギーの選別を行ない種々の実験に用いようとするものである。とくに 1~10 KeV という高いエネルギーの速中性子に対して有効なものは大形で高速回転するロータを必要とし、高速中性子チョップと呼ばれている。



高速中性子チョップ

チョップの主体をなすものは、写真に示すようなコマ形をしたロータで、中央に円板の直径に平行なスリットを切っている。ロータの材料は、中性子を吸収する能力が大きく、またγ線のシールドをかかえて比重の大きいものが望ましいが、高速回転による遠心力に耐えるためには材料の引張り強さと機械的性質のすぐれたものが必要である。これらの点を考え、ニッケル銅合金で比重 8.5 の K モデルを選んだ。

高速回転体の破壊限度は、ほぼ平均応力説で求められることが判明しているが、繰返し回転停止を行なう場合の寿命については明らかでない。この点についても多くの実験を行なって、10,000 回の繰返しに耐える極限設計を行なった。

ロータは高速回転のために、大気中では膨大な馬力を必要とするので、 $10^{-2}$  mmHg の真空容器中で回転した。また振動に対しては細い軸で吊下げて、セルフバランスにより回転させ、歳差運動を防ぐため、減衰機構をもうけるなどして、安定な回転を行なわせた。回転数の検出は、ホトパルスを用いてデジタルに行ない、回転数の制御は、基準パルスとの比較による差を電動機入力に戻す方式を用いて 0.1 rps の制御を可能にした。したがって、回転数の安定度は 10,000 rpm で約 0.06% となる。

仕様

ロータ	直径	500 mmφ、コマ形円板
	重量	150 kg
回転装置	材料	K モデル
	スリット	1 mm×25 mm, 20 本
	許容回転数	15,000 rpm
	電動機	5 HP, DC, 分巻形, 立形 最高回転数 15,000 rpm スラスト荷重 160 kg
速度制御	回転容器	25 mm 銅板
	真空系	ロータポンプ 150 l/min, 2 台
	検出部 制御部	ホトパルス, 30 パルス/回転 デジタル制御 精度 ±0.1 rps
入力	磁気増幅器によるリアクタ制御	

■ セレン化カドミウム光導電セル PZE-3103

可視光線にすぐれた光導電特性を有する磁化カドミウム (CdS) セル

は現在光電効果を用いたあらゆる分野に光電管あるいはセレン光電池に代って利用されつつある。しかし時定数が大きい (10~100 m sec 程度)、自動制御系の光学スイッチ素子および時定数が小さいことを必要とする用途などにはあまり有効ではなかった。

当社では、焼結形セレン化カドミウム (Ca Se) セルを研究して来たが、7,300 Å 付近の赤外線にすぐれた光導電特性を示すとともに時定数が比較的小さく (数百 μ sec~2 m sec) という値を得た。温度特性が悪いという欠点はあるが CdS セルと同様光照射による抵抗変化現象を利用するために寿命は半永久的である。このため光学スイッチ素子、光点の追跡用などへの利用が今後急速にのびて行くと思われる。

光学スイッチ素子用として開発した PZE-3103 セルの外観を写真に、その特性を表にそれぞれ示した。



PZE-3103 セル

PZE-3103 セル 特性表

形式記号	PZE-3103
寸法 (mm <sup>2</sup> )	15 φ×3
受光面積 (mm <sup>2</sup> )	10 φ
最適使用電圧 (V)	10
最大使用電圧 (V)	100
最大許容電源周波数 (kc)	1
最適負荷抵抗 (kΩ)	5 (10 V, 100 lx 時)
感光度 (mA)	10~5.0 (10 V, 100 lx 時)
瞬間最大許容光電源 (mA)	10
連続最大許容光電流 (mA)	2
暗電流 (μA)	0.1 以下 (10 V, 30°C)
有効波長域 (Å)	6,500~8,500
応動および遅延時間 (m sec)	2 以内 (100 lx)
最大許容温度 (°C)	40
瞬間消費電力 (W)	0.1
連続消費電力 (W)	0.02

■ AS ブレーキ

最近巻上機は速度制御の方法として、巻線形誘導電動機と、ウズ電流ブレーキ (AS ブレーキ) を併用する方式が広く使用されるようになった。

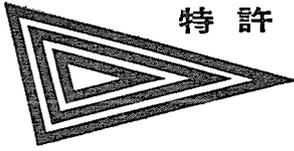
この方法は、誘導電動機と AS ブレーキのトルクを合成することによって、手軽に安定した低速度をうることに特長である。

このような目的に使用する AS ブレーキの標準シリーズを整備完了した。標準として 100, 65, 26, 13 kg-m の制動トルクをもつ AS ブレーキが準備され、60 kW 10 極以下の電動機を使用する巻上機に対し適用される。

写真は AS ブレーキの外観を示す。電磁気的特性のすぐれた鋼板溶接構造を採用しているのでトルク特性がすぐれ、また慣性モーメントも小さい。



AS ブレーキ



高速度シヤ断器

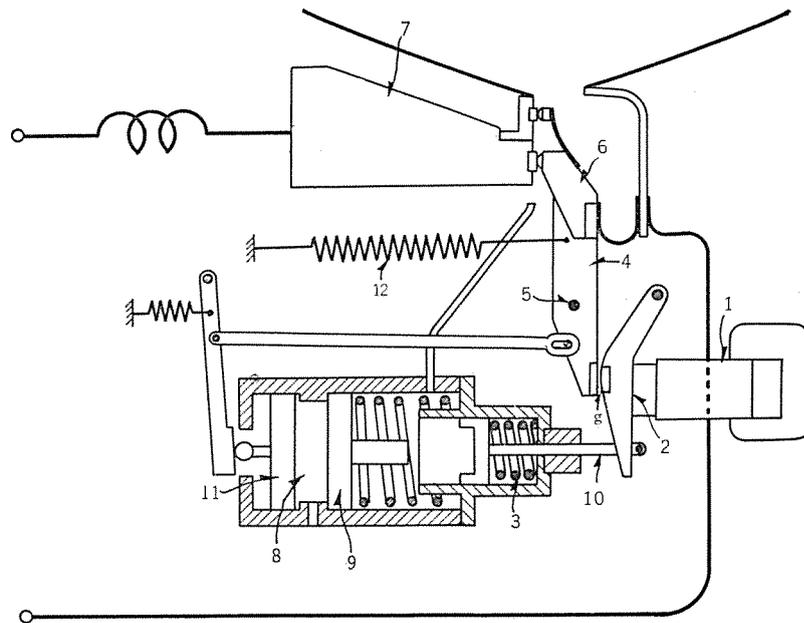
発明者 岩垂邦昭・渡辺陸夫

この発明は、直流高速度シヤ断器に関するもので、保持電磁石(1)に保持され異常電流に応じて解放される接極子(2)と、この接極子(2)の作動により開放され接極子(2)の保持電磁石(1)への再整定後に投入される可動接触子(6)とを機械的に分離し、接極子(2)の作動時に可動接触子(6)を衝動開放するよう接触子閉合時において所定の間隙を介し互に対向させたことを特長とする。この発明の装置では、可動接触子(6)を投入したときの接触子相互間の衝撃や閉合した瞬間に流れる電流による接触子間の反発作用は接極子(2)に伝達されないから、接極子(2)は可動接触子(6)の投入時にもその保護特性を変化することがない。また、可動接触子(6)は接極子(2)による衝動開放によってその開離初速度をあげることができる。

図に示す接触子の閉合状態で、回路に異常電流が生ずると保持電磁石(1)の保持磁束は打消され、接極子(2)は引外しバネ

(3)の付勢力で解放される。接極子(2)は間隙(g)を移動したのち可動接触子腕(4)の下端に衝合しこれを軸(5)を中心として時計式に回転して接触子(6)を固定接触子(7)から開放する。再整定動作はシリンダ(8)に圧縮空気を供給することで行なわれる。ピストン(9)は引外しバネ(3)に抗してロッド(10)を右に移動させ、接極子(2)を図示位置まで復帰させて保持電磁石(1)に吸着させる。このあいだ可動接触子腕(4)はピストン(11)により閉合バネ(12)に抗して開放位置に保たれる。接極子(2)の再整定ののちシリンダ(8)の圧縮空気は排出され、可動接触子腕(4)は閉合バネ(12)により反時計式に回転されて接触子(6)は投入される。このとき接極子(2)は可動接触子(6)となにも機械的に関連がないから、回路の閉成と同時に規定の特性で保護動作を行なうことになる。

(特許第 271666 号) (竹中記)



本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本社	東京都千代田区丸の内2丁目3番地(東京ビル内) (電) 東京 (201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電) 東京 (211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電) 東京 (211) 代表 1261・1271・1281
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル3階) (電) 東京 (211) 代表 2511
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電)大阪(34)代表 5251
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電)大阪(34)代表 5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り2の4(電)本局(23)代表 6231
福岡営業所	福岡市天神町58番地(天神ビル内) (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通り西1丁目13番地 (電) 札幌 (3) 代表 9151
仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電) 仙台 (2) 代表 6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電)富山(2)0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電)広島(2)4411~8
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル内) (電) 高松 (2) 代表 5021(ビル) 4416(直通)
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電)小倉(52)8234
静岡出張所	静岡市七間町9番地10(電)静岡(2)2595(3)2962
金沢出張所	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3)6213
長崎出張所	長崎市江戸町30(電)(2)8266
岡山出張所	岡山市上石井174番地(岡山会館4階) (電) 岡山 (3) 2948(2) 2564
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
商品研究所	神奈川県鎌倉市大船782番地(電)大船代表 3131
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目(電)兵庫(6)代表 5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地(電)長崎(3)代表 3101
無名線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73)1531
静岡製作所	静岡市小鹿110番地(電)静岡(3)0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場(電)中津川 2121~8
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3)代表 1275
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)福岡(82)代表 1568
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)姫路代表 6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船800番地(電)大船代表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町437(電)東京(414)代表 8111
郡山製作所	福島県郡山市字境橋町1番地(電)郡山 1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地(電)伊丹大代表 5131
鎌倉製作所	神奈川県鎌倉市上町屋325番地(電)大船 4141
無名線機製作所	東京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所1
東京工場	東京都世田谷区池尻町305(電)東京(414)代表 8111
札幌修理工場	札幌市北二条東12丁目98番地(電)札幌(2)3976

次号予定

三菱電機 Vol. 36 No. 7

研究特集

- 研究の現況
- 直流試験による発電機巻線の破壊電圧の予知
- シリコン 制御整流素子の応用
- 高速度 フェライト・スイッチ を用いた送受共用回路
- パラメトリック 増幅器の位相特性
- 300 keV 中性子発生装置
- ヘリウム 液化装置
- 高周波 コッククロフト・ワルトン 形加速器 (CW-50I)
- CdS・CdSe 固溶体焼結膜の光導電特性
- シリコン 制御整流素子
- 橋かけ高分子の粘弾性と ガラス 転移
- 注型用樹脂の熱衝撃試験
- 塩基性酸 マグネシウム ケイ 光体における マンガン の挙動
- マンガン・マグネシウムフェライト の生成に及ぼす焼成ふん囲気の影響
- 電機回転子の繰返し回転停止による破壊
- プラスチック の応力 クレイジング
- 暖房器とその問題点
- 暖房器用赤外線 インスタントヒーター の効果
- 電気冷蔵庫内における殺菌灯の効果

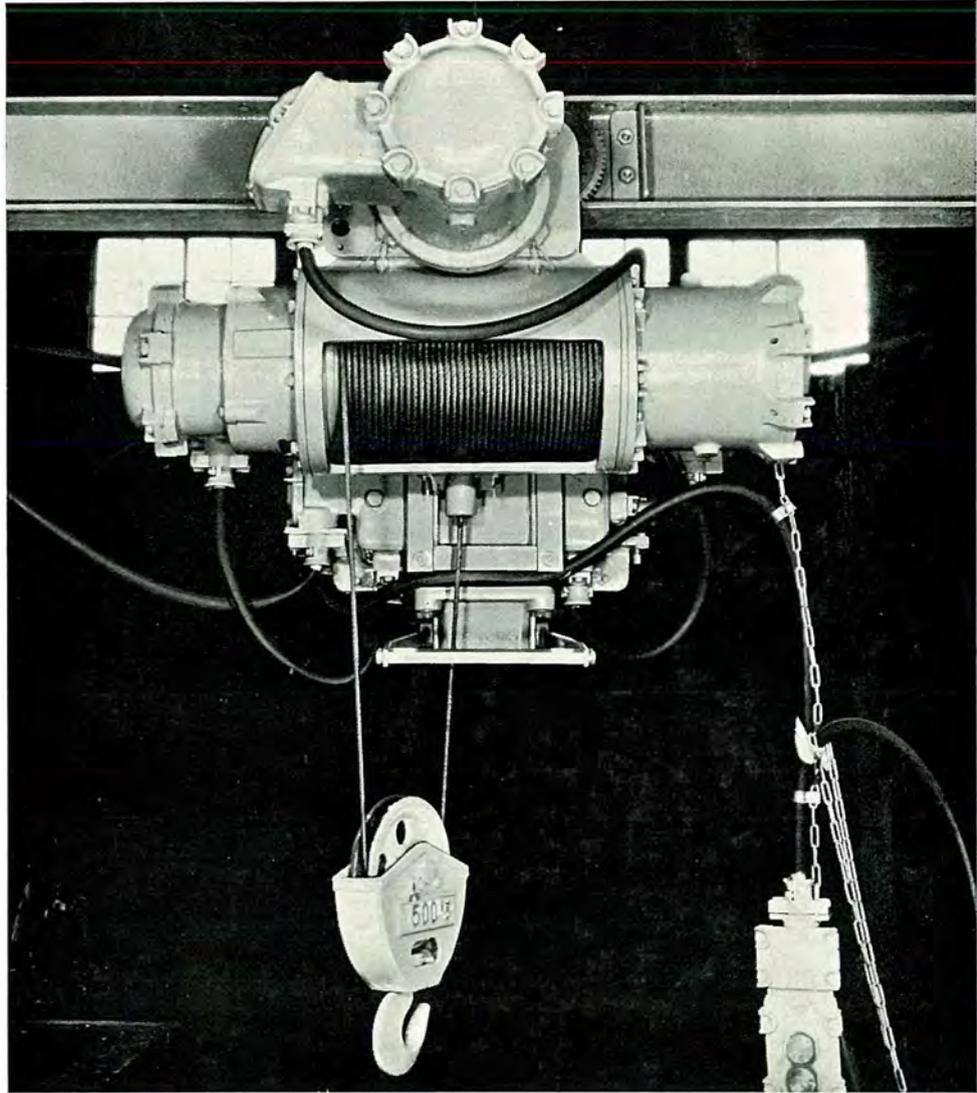
雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	小倉弘毅	委員	岩原二郎
副委員長	宗村平		片岡高示
常任委員	浅井徳次郎		樺本俊弥
	安藤安二		篠崎善助
	小堀富次雄		堀真祐
	高井得一郎		前田幸雄
	中野光雄		山田祐三
	馬場文夫		(以上50名順)
	山田栄一		

昭和37年6月23日印刷 昭和37年6月25日発行  
「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人  
東京都千代田区丸の内2丁目3番地 小倉弘毅  
印刷所  
東京都新宿区市谷扇町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」編集部  
東京都千代田区丸の内2丁目3番地 電話東京(201)1611  
発売元  
東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店  
電話(291)0915・0916 振替東京 20018

# 防爆形電気ホイスト



HN 形高揚程電動走行形防爆ホイスト

形名	HN・HB 形	走行速度	標準のほか微速・高速・2段速度など
容量	1.4～15t	走行レール	標準に同じ、ただしできるだけ直線
揚程	低揚程、高揚程、超高揚程	集電装置	3種4心クロロレンキ+ブタイヤケーブル
形状	普通形、ローヘッド形、ダブルレール形	電源	三相交流、標準は、200,220V 50,60c/s
走行方式	懸垂形、手押し・鎖動・電動走行形など	定格	JIS C 9620 による 30分定格
操作方式	床上押しボタン、遠方操作、自動、半自動など	応用品	ケージ付、テルハ、ホイスト付天井クレンなど
保護構造	JIS C 0903 による耐圧防爆形 d2G3 ただし屋外形や防食形もある。		注：詳細は本文をごらんねが います。
巻上速度	標準のほか微速・高速・2段速度など		

## ● 八幡製鉄新洞岡発電所納め 43,750kVA水素冷却タービン発電機

本機は八幡製鉄新洞岡発電所に納入された 43,750 kVA の水素冷却タービン発電機で、自家用火力発電機としてはわが国の記録品である。自家用火力発電機の容量も最近急速に増加しており、この情勢に対応するため本機は水素冷却で計画された。八幡製鉄納めとして当社ではさらに大容量の 62,500 kVA 水素冷却タービン発電機 2 台を据付ならびに製作中であるが、工場試験ではいずれも非常に優秀な成績を取っている。今後の自家用発電機の先駆としての意義は大きい。なおタービンは三菱造船製である。主要定格はつぎのとおり。

43,750 kVA	35,000 kW	力率 0.8	水素圧力 1 kg/cm <sup>2</sup>
11,000 V	三相	60 c/s	3,600 rpm 二極

