

MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

北海道夕張川二股水力発電所



5

VOL.35 1961

# ＊ 新しい電鉄変電所完成

本年2月開通した帝都高速度交通営団地下鉄荻窪線用変電所として 新宿変電所が完成した。

特長は イグナイトロン整流器用変圧器にH種絶縁乾式変圧器を採用したことである。このH種絶縁乾式変圧器は不燃性、安全性、小形軽量、保守の簡単などの特長を生かすよう設計され、外観は美しいキュービクルタイプになっている。

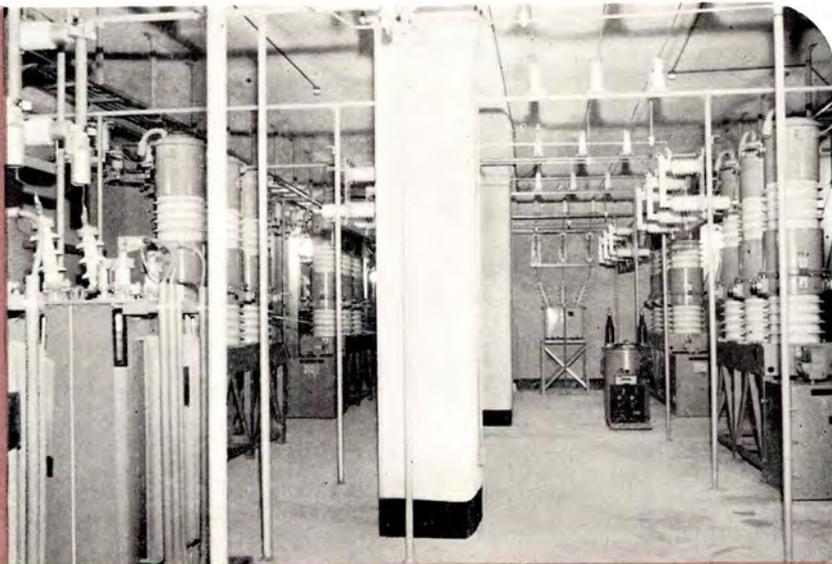
## 仕様

### 風冷式封じ切りイグナイトロン整流器 2台

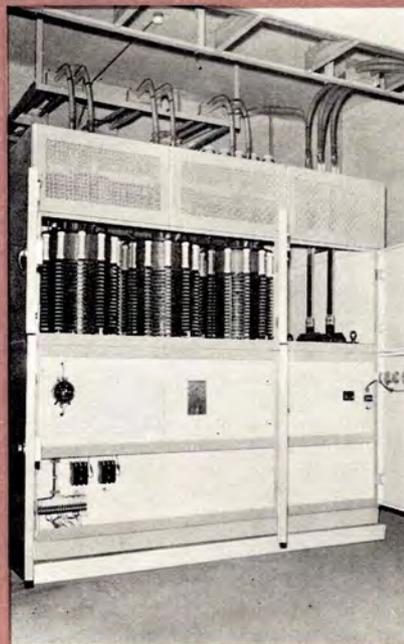
出力	1,500 kW
直流電圧	600 V
直流電流	2,500 A
相数	6 相
タンク数	6 タンク
周波数	50 サイクル
形名	GZ-46C 形
定格	D 種、全負荷連続 150%負荷 2時間 300%負荷 1分間

### イグナイトロン整流器用変圧器 2台

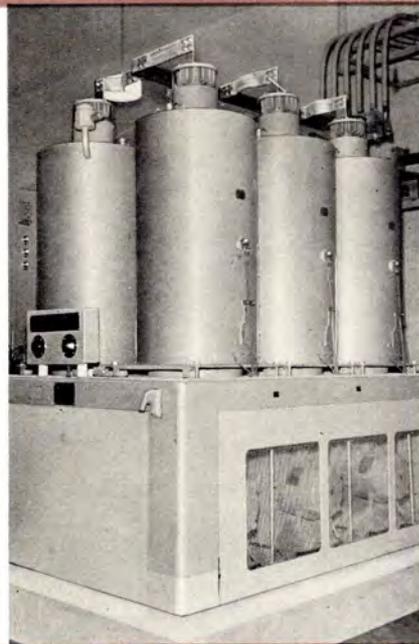
形式	H種絶縁、乾式、風冷式
相数	3/6 相
周波数	50 サイクル
容量	1,730/2,450 kVA
定格	D 種
形名	AV-B 形
交流側電圧	22-21-20 kV
直流側電圧	565 V



特高設備



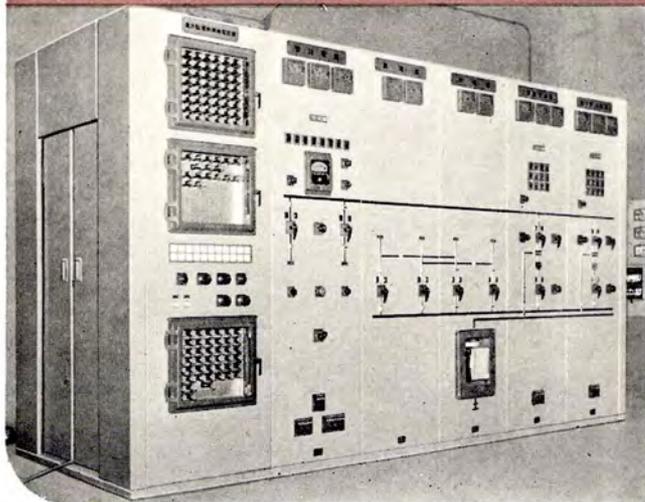
イグナイトロン整流器用乾式変圧器



密封形風冷式イグナイトロン整流器

主配電盤

正性および逆性高速度遮断器





# 三菱電機

昭和36年第35巻第5号

## 表紙説明

北海道夕張川総合開発事業として開発された二股発電所である。

この発電所は容量は 16,000 kW であるが、わが国では数少ない高落差カララン水車発電所で、ランナは 8 枚の可動羽根をもち最高 55 m、最低 31.5 m の落差変動に対し、各落差においても良好な効率を得るよう自動的に制御される装置が付属されている。

水車 16,000 kW 333 rpm  
発電機 16,500 kVA 11,000 V  
50 c/s

## 目次

関西電力読書第二発電所 78,000 kW 立軸軸フランシス水車	佐藤 博・安藤錠治	2
関西電力読書第二発電所 80,000 kVA 水車発電機、運転制御装置および配電盤設備	三浦 宏・梅名茂男	11
スーパーミラー (ジェット機用ナライケタフライス盤) (1)	杉崎卓夫・三浦鎌市・本間吉夫・和田義彦・蟹江邦雄・伊藤史郎・武藤 哲	22
模擬送電線設備	北浦孝一・三上一郎・関 晃	31
最近の送電線保護継電器 (1)	北浦孝一・古谷昭雄	40
JRR-2 ハンドリングキヤスク	水野 茂・阿部康宏・渡辺 聡	48
7.2/3.6 kV, 150 MVA, 新形磁気シヤ断器	五十嵐芳雄・富永正太郎・桜井武芳	53
オートカット付三相誘導電動機	横井 繁・三上邦夫	61
分解排気工程の酸化物陰極におよぼす影響	立原芳彦・秦 卓也・小坂橋正康	67
ステンレス鋼のロウ付	石原克巳	72
最近の同期電動機 (2)	松村敏三	81
直列インバータ総論 (4)	河合 正	89
《技術解説》		
最近の距離継電器 (2)	北浦孝一・古谷昭雄	97
火力発電シリーズ続編 (1): ボイラの重油専焼		104
《文献抄訳》		
電力系統計画のためのシステム・シミュレーション・航空機用電気系統の熱保護装置・スイッチギヤ・“巨人”を試験するための“巨人”		107
《ニュース・フラッシュ》		
5,800 kW 二極誘導電動機完成・充填絶縁内部冷却変圧器完成・国鉄北九州交流電化キ電線保護用 KZC 形距離継電器・NFM 形 225A フレーム D 形電動操作式ノーヒューズシヤ断器の完成・オートカット付スーパーライン A モートルの生産開始・小形化された SF-A 形 750 W 四極スーパーライン A モートル・各種トランジスタ VHF/FM 無線機型式検定に合格・ベース拡散形トランジスタ・インドネシア PTT 納め 400 Mc 帯トランジスタ多重・変圧器新乾燥設備		109
《特許と新案》		
(特)酸化金属皮膜のガラス管内面塗装法・(新)接続端子箱		113
《最近における当社の社外寄稿一覧》		52
《最近における当社の社外講演一覧》		66
《表紙》		
2. 新しい電鉄変電所完成		
3. 電源開発滝発電所向け 50,000 kVA 水車発電機完成		
4. 三菱ヒータ付遠心脱水機 MD-100 形		

# 関西電力読書第二発電所 78,000 kW 立テ軸 フランス ス水車

新三菱重工業株式会社神戸造船所 佐藤 博\*・安藤 錠治\*

## 78,000 kW Vertical Francis Water Wheel for Yomikaki Power Station No. 2 of Kansai Electric Power

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited, Kobe Shipyard and Engin Works  
Hiroshi SATO・Zyōji ANDŌ

A vertical Francis water wheel delivered to Yomikaki power station No. 2 of Kansai Electric Power is a product of Mitsubishi Heavy Industry Reorganized, being rated 78,000 kW, and the next largest to the 108,000 kW machine built at the same factory. Many novel features involved in the design and manufacture of this huge water wheel are the outcome of long and profound experience added to the painstaking effort on the part of the engineers. Satisfying operation since the installation at the site is an unquestionable proof of the achievement. The writers give as full account of this unit.

### 1. まえがき

関西電力株式会社が木曾川水系（長野県西筑摩郡読書村）に地下式発電所として建設中の読書第二発電所に据付けられた 78,000 kW 立テ軸 フランス ス水車 1 台は、新三菱重工業神戸造船所において製作されたもので、現在好調に運転をつづけている。

この水車は当社が先に製作した電源開発株式会社田子倉発電所 108,000 kW 水車に次ぐ大容量のものであり、形式も田子倉発電所水車とほとんど同形であるが、その設計、製作に当たっては当社多年の豊富な製作経験と、実績とを生かしさらに各部の構造、材質などに綿密な検

討を加え各種の実験、研究を重ね、すぐれた性能と高い信頼度を得ることに万全を期したものである。

### 2. 水車仕様

形 式	立テ軸 単輪単流うず巻 フランス ス水車			1 台
設計要項	最大	基準	最低	
有効落差	117	112	104	m
最大出力	78,000	75,700	67,500	kW
流 量	73.9	75.0	72.3	m <sup>3</sup> /s
回 転 数		200		rpm
周 波 数		60		c/s
特有速度		151.2		m-kW

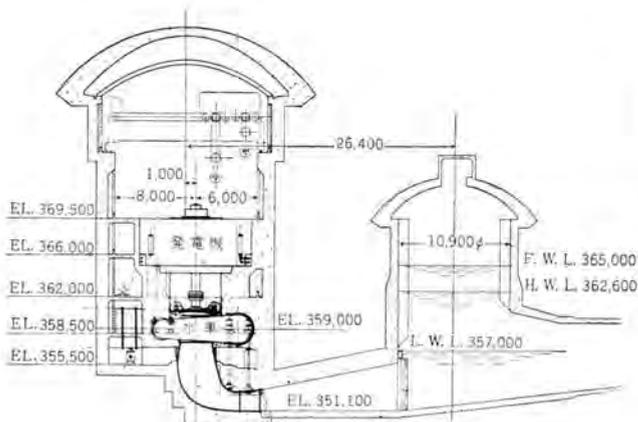


図 2.1 発電所配置断面図

Fig. 2.1 Vertical crosssectional drawing of power station.

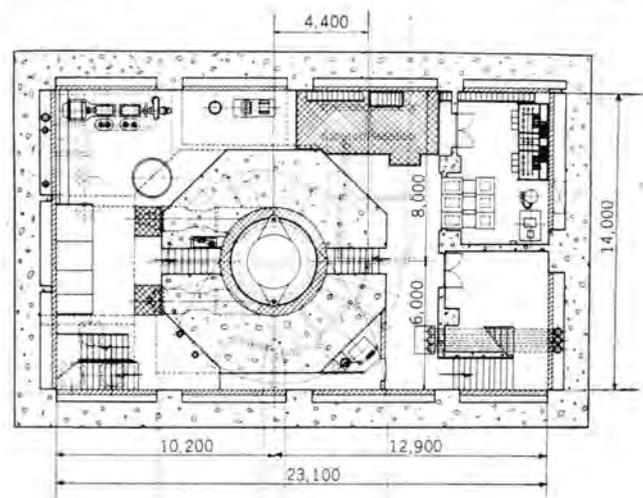


図 2.2 発電所配置平面図

Fig. 2.2 Plan of power station layout.

回転方向	発電機より見て時計方向	
据付方式	単床式 コンクリートパレル	
無拘束速度	370	rpm
最大水圧上昇値	146 m (裕度+4 m)	
速度変動率	30 % (裕度+3 %)	
発電機回転部 $GD^2$	7,000	t-m <sup>2</sup>
調速機閉鎖時間	6.04	sec
調速機不動時間	0.2	sec

### 3. 模型試験

実物水車においてはその性能、キャビテーション特性その他あらゆる特性がすぐれていることを要求される。そこで実物水車の製作にさきだって数種の模型水車を作成し、効率試験、キャビテーション試験、ガイドベーン 自己閉鎖力測定試験、無拘束速度および水圧推力測定試験、吸出管高さ

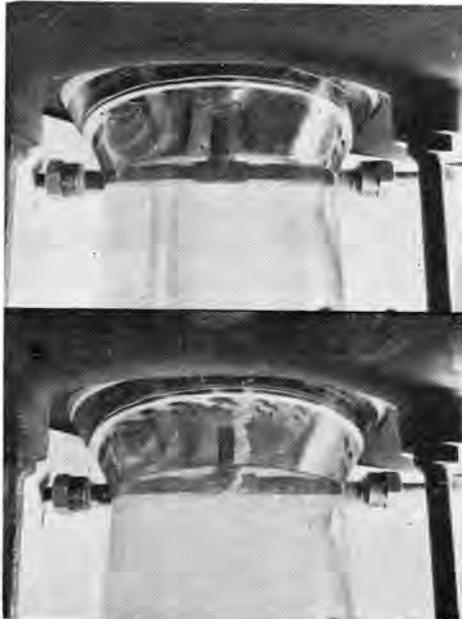


図 3.2 キャビテーション試験  
Fig. 3.2 Cavitation test.

比較試験など行ない、それぞれの特性を確認したが、各性能にわたりいずれもきわめて好性能を有することが確認され、実物水車の適用に対してはなんら支障なく好性能運転に十分確信が持てたわけである。

図 3.1 は模型ランナ、図 3.2 はキャビテーション試験、図 3.3 は水車推定効率曲線、図 3.4 はキャビテーション特性曲線、図 3.5 はガイドベーン 自己閉鎖特性曲線を示す。



図 3.1 模型ランナ  
Fig. 3.1 Model runners.

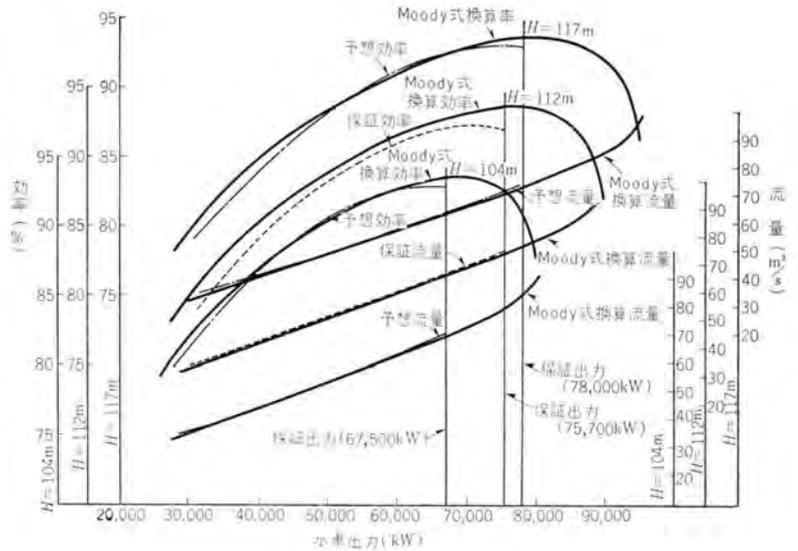


図 3.3 水車推定効率曲線  
Fig. 3.3 Estimated efficiency curves of water wheel.

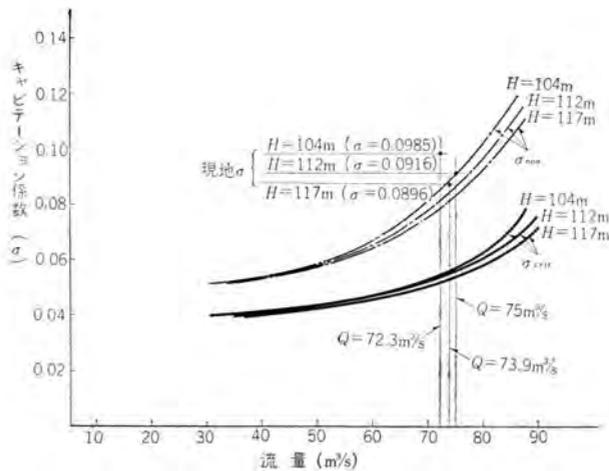


図 3.4 キャビテーション特性曲線  
Fig. 3.4 Cavitation characteristic curves.

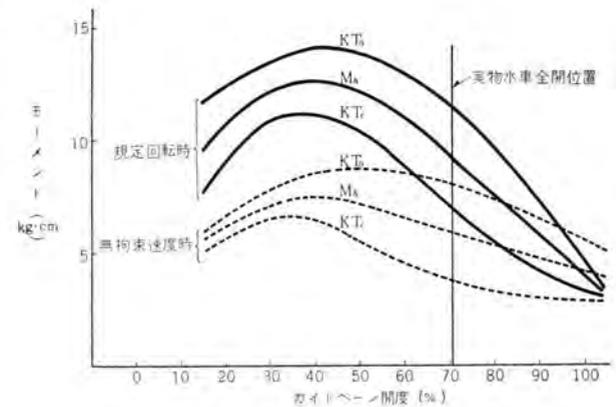


図 3.5 ガイドベーン 自己閉鎖特性曲線 (模型水車)  
Fig. 3.5 Guide vane self-closing characteristic curves.

#### 4. 水車本体

図4.1は水車本体構造断面図を示し、図4.2は工場組立中の本体、図4.3は現地据付中の本体を示す。この水車の特長としては有効落差100m以上を有し、しかも大容量フランシス水車として入口弁を持たないこと、(必要に応じ将来設置可能な状態にある。)ランナが溶接構造であること(実用新案出願中)、またガイドベーンは自己閉鎖形にてその合せ面に特殊構造の漏水防止ゴムパッキン(実案-476881)を装着していること、およびガイドベーン上下間隙調整にはきわめて微調整の可能な装置(実用新案出願中)を装備していることなどであろう。

##### 4.1 ランナ

溶接構造ランナは当社が先に製作した電源開発株式会社十津川第一発電所(43,000kW水車2台)に次ぐ3台目のものであり、その製作に当たっては当社が誇る溶接技術と十津川第一発電所の製作実績とを生かし、綿密な検討を加え慎重に製作したものである<sup>(1)</sup>。まず羽根、クラウン、シュラウドリングをそれぞれ別個に鋳造し(いずれもクロムステンレス鋼鋳鋼品第1種(SCS1製)、羽根はナライ加工、クラウンおよびシュラウドリングはターニング加工とし、いずれも正寸法に仕上げ羽根を規定位置に仮組立後本溶接したものであるが、溶接に際しては母材が特殊鋼(13cr鋳鋼)であるため、その溶接性を考慮して羽根、クラウン、シュラウドリングともあらかじめ溶接部分に溶接棒と同材の肉盛溶接(実用新案出願中)を行ない、熱処理、機械加工後本溶接したが、大した支障もなく溶接による羽根の変形も最小限に食い止め、羽根のプロファイル、クラウン、シュラウドリング流水面の寸法ならびに表面粗度の正確度など従来の一体鋳造ランナにおいては望むべくもない優秀なランナを完成することができた。ランナ羽根の入口直径3,220mm、入口高さ824mm、羽根数17枚である。最大外径は3,480mmで輸送には特別貨車(シキ90)を使用した。重量は約22t、上下カバーと接する部分にはクロム

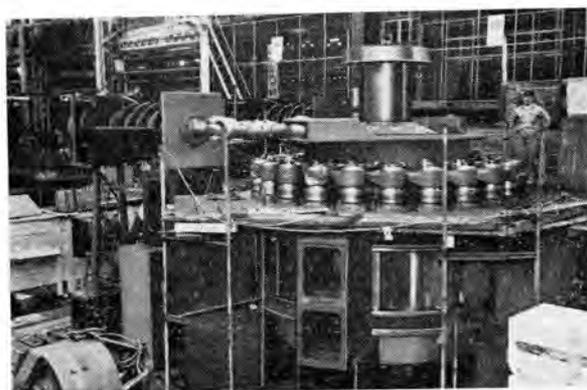


図 4.2 工場組立中の本体  
Fig. 4.2 Water wheel under assembling at the factory.

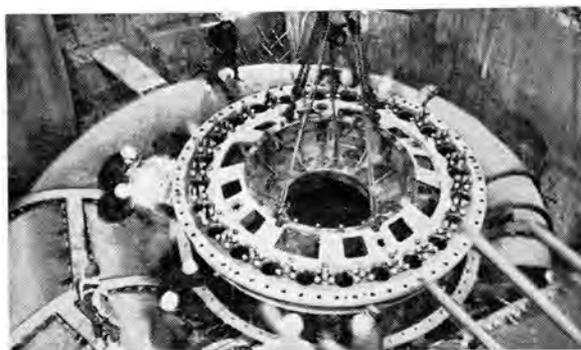


図 4.3 現地据付中の本体  
Fig. 4.3 Water wheel under erection at the site.



図 4.4 溶接組立中のランナ  
Fig. 4.4 Runner under assembly by welding.



図 4.5 完成したランナ  
Fig. 4.5 Completed runner.

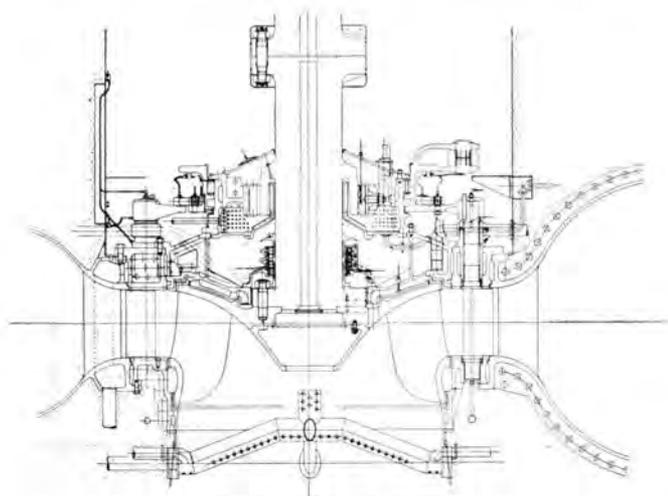


図 4.1 本体構造断面図  
Fig. 4.1 Vertical cross section of main assembly.



図 4.6 貨車に積込んだランナ  
Fig. 4.6 Runner loaded in a wagon.

ステンレス鋼鋳鋼品第1種 (SCS1) 製のライナをハメテあるが、この接触部は漏水量とランナ背圧を減少させるためラピリス形状とした。

図 4.4 は溶接組立中のランナ、図 4.5 は完成したランナ、図 4.6 は特殊貨車に積込んだランナを示す。

#### 4.2 主軸

主軸は鍛鋼品第5種 (SF 55) 製で、直径 860 mm、長さ 3,050 mm、重量約 18 t である。軸受部は一体鍛造の削り出しスカートを有し、油そう内の軸受油が油ぜきを越えて下方に吸込まれないように小穴をあけたが、運転の結果により通気するようプラグをねじ込んである。下端のランナに接するフランジは2本のキーとスタッドによる結合であるが、発電機軸との結合は着脱に便なるようボルトの外周にテーパライナを嵌装した特殊リマボルトを使用している。

図 4.7 は発電機軸と結合された主軸を示す。

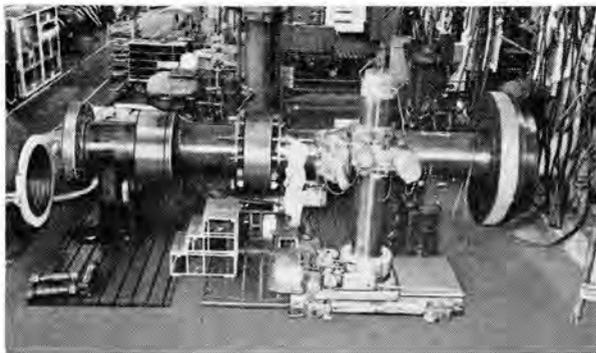


図 4.7 発電機軸と結合した主軸  
Fig. 4.7 Water wheel shaft connected with a generator shaft.

#### 4.3 ケーシングおよびスピードリング

スピードリングは炭素鋼鋳鋼品第3種 (SC 46) 製、ケーシングは溶接構造用圧延鋼板 (SM 41 A) 製で全体を溶接構造としたが、発電所現地組立はフランジ継手を採用した。ケーシングは入口直径 3,800 mm、板厚最大 40 mm、重量はスピードリングと合わせて約 135 t で、当社が先に製作した電源開発株式会社田子倉発電所に次ぐ大形のもの

であり、田子倉発電所の実績からケーシング現地組立は当然溶接継手を採用すべきであったが、この発電所は地下式という特殊条件のため現地における場所の制約を受けたこと、水車据付工程の短縮を計ったことなどからフランジ継手を採用したものである。フランジは円周継手だけでは輸送不可能なためケーシングのほとんど半分まで縦継手を採用した。したがってスピードリングと合わせて全体が16分割となった。円周継手と縦継手とが交錯するT形継手部分のボルトの配置、漏水防止については設計工作ともに苦心を払ったが水圧試験時 (最大試験圧力 21.9 kg/cm<sup>2</sup>) において若干の漏水が認められた。発電所現地組立の際は縦継手のゴムパッキンを1 mm 大きいものとし、かつ溝にゴムパッキンのスベリ止めを施し万全を期したが万一のことを考慮してゴムパッキンの外側に排水用の溝を作りT継手部分から外部に導き排水管を埋設した。

フランジ用ボルトは油中において暖めた後締付けたが、加熱温度は締付け終了までの温度低下を考慮して 100°C とした。

図 4.8 は工場にて組立を終わったケーシング、図 4.9 は現地据付中のケーシングを示す。

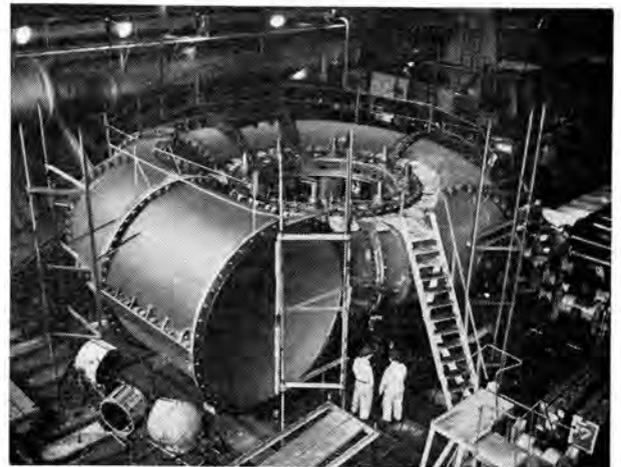


図 4.8 工場で組立を終ったケーシング  
Fig. 4.8 Casing assembled at the factory

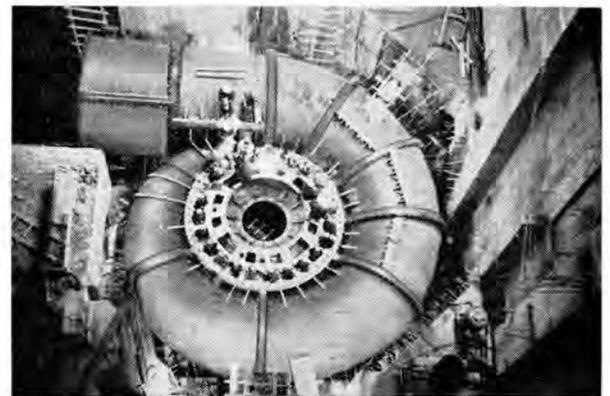


図 4.9 現地据付中のケーシング  
Fig. 4.9 Casing under erection at the site.

#### 4.4 吸出管

吸出管は当社が従来から製作して来た形状のものであって、入口直径3,300 mm、出口高さ1,095 mm、幅11,560 mm、垂直高さ6,600 mm、水平長さ6,460 mm、であり、板厚は垂直部19 mm、屈曲部12 mm、重量約30tという大形のものである。全体を14分割として輸送し発電所現地組立はフランジによるボルト締めである。ライニングの剥脱防止についてはとくに意を注ぎ、スチフ、アンカなどで十分補強を施したがもっとも剥離を起こしやすい屈曲部底部に重点をおいて約1,000本のアンカを取付け、コンクリート打設後のグラウトも入念に施行した。

図4.10は完成した吸出管ライニングを示す。



図 4.10 完成した吸出管 ライニング  
Fig. 4.10 Completed draft tube lining.

#### 4.5 ガイドベーン および水量調整機構

ガイドベーンは炭素鋼鋳鋼品第3種 (SC 46) 製であるが、摩耗を考慮して上下面および出口先端部にはステンレス (18-8) の肉盛溶接を施してある。この水車は前述のとおり将来設置できるよう計画されているが、入口弁がないのでガイドベーンは危急の場合の自己閉鎖力および全閉時の漏水防止に対しては十分に検討を加え、慎重な考慮が払われている。すなわち自己閉鎖については模型水車において実物とまったく相似のガイドベーンを作成し、試験した結果自己閉鎖力には十分余裕のあることが確認されている。また漏水防止対策についてはその合せ面に特殊構造のゴムパッキン (実案-476881) を嵌装し、上下間隙はガイドベーンが全閉したときだけ小さくなるような構造とし、その間隙の数値は上下カバーライナとのカミリの点も十分考慮し、大形水車としては限界と思われる片側0.25 mmを採用した。なおこの上下間隙を均等にし、かつ調整可能のように間隙調整装置 (実用新案出願中) を設けてあるが、この調整装置はきわめて微調整のできるネジ山数の異なる二重ネジを備えた装置である。

図4.11は完成したガイドベーン、図4.12は漏水防止パッキン構造図、図4.13は間隙調整装置構造図を示す。

水量調整装置はガイドリングを軸受支持台の外側に配置した内側伝達式であるが、ガイドベーンを分解することなくランナを取り出しうる構造となっている。またガイドリングと軸受支持台との間に78個からなるローバリアリングを設け摩擦力を低減するよう考慮した。



図 4.11 完成した  
ガイドベーン

Fig. 4.11 Completed guide vane.

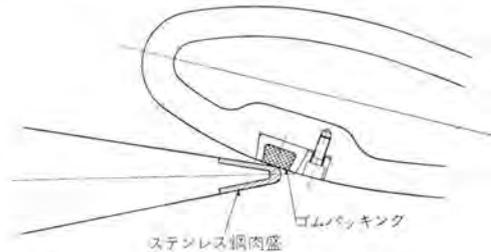


図 4.12 ガイドベーン 合せ目漏水防止 パッキング  
Fig. 4.12 Water seal packing at the contact of.

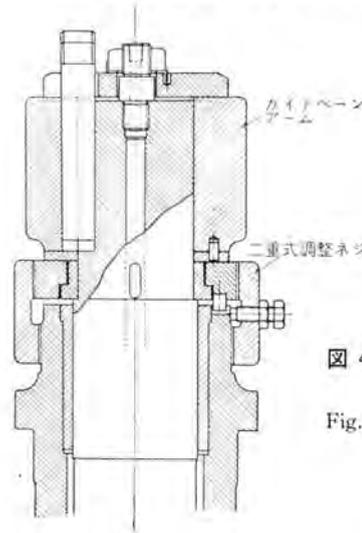


図 4.13 ガイドベーン 上下間隙  
調整装置

Fig. 4.13 Adjusting device for gap between the upper and the lower guide vanes.

ガイドベーンリンクはターンパツクル式とし、弱点部はリンクとアームを連結するピンに装備し、ガイドベーンに異物をかんだ場合ピンがせん断力により切断され、他の部分に無理を起ささないよう考慮されている。

#### 4.6 軸受および主軸 パッキン

軸受と主軸パッキンとは水車運転上非常に重要な部分の一つであるが、軸受は当社の過去の実績からもっとも安定性のあるセグメンタル式を採用した。パットの個数は12個である。

主軸パッキンは当社が永年の経験を有するカーボンを使用し、3段設けてあるが耐摩耗性を考慮して合成樹脂含浸の特殊カーボンを使用している。カーボンパッキンの下側にはオイルレス製の封水パッキンを装備し清水を注入して下方からの汚水の浸入を防止する構造とした。主軸パッキンからの漏水はスティベーンの中空穴を通して所内排水ピットに自然流下せしめている。

なお主軸パッキン取換えの際軸受を分解することなく作業できるように可能な限り軸受油さうの底部を上げ最小限のスペースを確保してある。

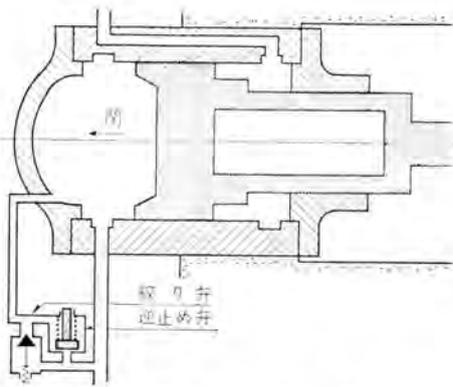


図 4.14 ガイドベーンサーボモータ 構造図  
Fig. 4.14 Diagram of guide vane servomotor.

#### 4.7 ガイドベーンサーボモータ

ガイドベーンは、前述のように、自己閉鎖形であるので、サーボモータは、図 4.14 のように閉側 シリンダ を小にし閉鎖時に開側 シリンダ に生ずる背圧を低減せしめ、鎮錠装置は設けてない。なお無負荷開度以下からは、開側 シリンダ の排油を絞り弁を通して行なうようにし、全閉した瞬間の衝撃を緩衝する構造となっている。ただしこの絞り弁と並列に逆止め弁をつけ、水車起動時には、不必要な緩衝を行なわないよう考慮してある。

### 5. 調 速 機

この発電所には、三菱神戸 キャビネット 形電気式調速機が採用された。図 5.1 はこの調速機の構成を示すもので、主要部分は、水車発電機軸に直結された永久磁石発電機 PMG、電子管調整器を収めた調速機制御盤、アクチュエータ、および主 サーボモータ より成っている。

この電気式調速機は、当社において 7 台目のものであり、絶対的な自信をもって製作した標準形である。ここで、設計工作試験などについて二、三その要点を述べる。

#### 5.1 速 応 性

最近、調速機の性能を判定する手段として、系統内の

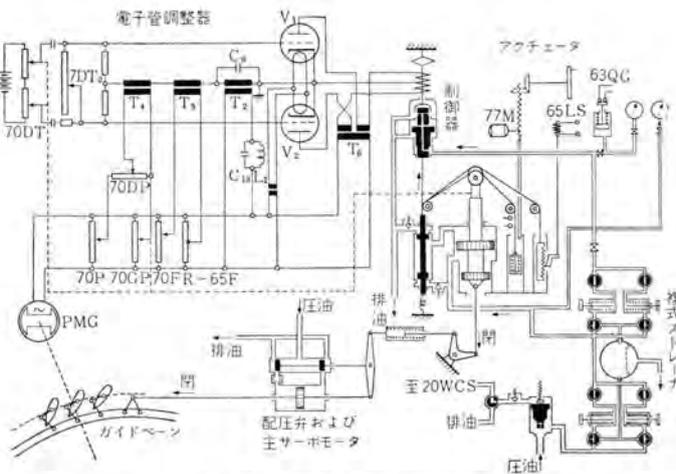


図 5.1 電気式調速機構成図  
Fig. 5.1 Constitutional diagrams of electro hydraulic governor.

一発電所を負荷 遮断 し、それによって生ずる図 5.5 (a) のような周波数変化に対し、各発電所の調速機がどのように応動するか、同時記録にて比較する方法がしばしば行なわれている。一般に アクチュエータサーボモータ のある調速機の動作は、弾性復原なしとし簡略化すると、図 5.4 のブロック線図にて示される。

$\Delta f$  : 周波数変化

$\Delta S$  : 主 サーボモータ の動き

$T_A$  : アクチュエータ までの時定数

$T_G$  : 配圧弁および主 サーボモータ 間の時定数

$D_i$  : インクレメンタル 速度垂下率

これを演算するには、アナログコンピュータを用いて、入力として、図 5.5 (a) のような  $\Delta f$  を加えてやると、 $T_A$ 、 $T_G$  の大小による影響が、図 5.5 (b)~(d) の出力  $\Delta S$  に

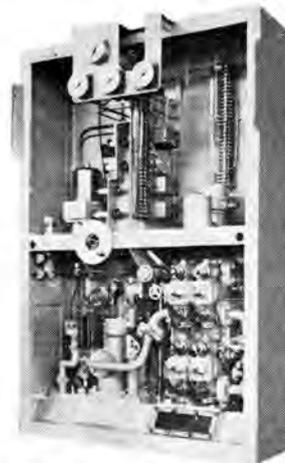


図 5.2 EA-1 形アクチュエータ  
Fig. 5.2 Type EA-1 actuator.



図 5.3 調速機制御盤  
Fig. 5.3 Governor control panel.

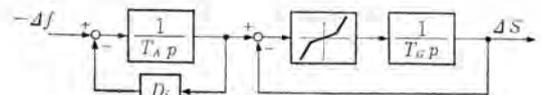


図 5.4 調速機 ブロック線図  
Fig. 5.4 Block diagram of governor.

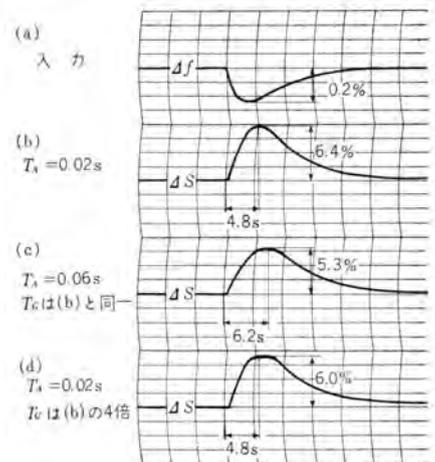


図 5.5 アナコムによる演算結果  
Fig. 5.5 Computed results for governing.

明瞭に現われてくる。すなわち、 $T_d$  はあまり問題ではなく、 $T_A$  がキーポイントとなっている。この  $T_A$  は、電子管の増幅率や アクチュエータ 配圧弁の加工精度によって定められるものであるので、三菱神戸電気式調速機は、この点をとくに注意して設計し、工作検査を厳重に行ない、上記系統試験において他の調速機より断然優秀な特性を示している。

なお、 $T_d$  に関しても、配圧弁のラップの影響や、クリティカルな応答をせしめるための解析をアナコムにて実施し、配圧弁操作のリンク機構に可変部分を設け、最適調整を行なうようになっている。

## 5.2 試験および調整

当社においては、ASEA 社製のものも含めて12台の調速機を取扱ってきており、したがって、工場と現地における試験および調整方法の標準化が確立されている。前記速応性検査の一部として行なう周波数応答試験は、 $F = F_0 + \Delta F \sin \omega t$  の出力を出す低周波発振器を用いており、図 5.6 はこの発電所用調速機の工場試験で求めたボード線図である。その他試験項目については、本誌田子倉特集号<sup>(2)</sup>で詳細に報告したのでここでは省略するが、調速機感度測定に今回より 0.002 c/s おきに周波数を変えられる特殊な発振器を用い、オシログラフなど使用せずに簡単に感度が測定できるようになった。結果は アクチュ-

エーターまで 0.002 c/s 前後で非常に優秀である。

水車無負荷運転時のレーシングについては、アクチュエータからガイドベーンまでの不感帯の量と、前記アクチュエータまでの時定数  $T_d$  が非常に関係し、この問題に対しても、アナコムによる解析で、速度垂下率および無負荷ダンピングをとともかなり小にしても、レーシングが発生しないよう設計してある。したがって、無負荷ダンピングの最適値決定には、レーシングからの制約は受けず、基準速度調整抵抗器 70 F で過渡応答試験を行なってクリティカルな点を求め、また負荷シヤ断試験の復帰安定度とを照会して決定することができる。

## 5.3 その他特筆すべき点

アクチュエータ内で電子管調整器から送られてくる信号を機械的な動きに変換する制御器には、小さな圧油の噴射穴があるが、他の同種の調速機では、しばしば圧油内に混入しているジヤイが、この穴つまり問題となっている。

この調速機は、図 5.1 と図 5.2 でわかるように、アクチュエータ内の圧油入口に、200 メッシュのオートクリーンフィルタと金網フィルタが2段複式に配列されており、ろ過は完全に行なわれている。このストレーナの定期的清掃は、ろ体に油を逆流させて行なうが、とくに金網フィルタのほうは、この逆流の流速を正規使用状態の透過流速より早くする特殊な構造となっており、完全な清掃が行なわれている。この清掃作業は、ロータリ弁を回すだけで分解などを必要とせず簡単であり、またろ過によって集められたジヤイを集油そうに戻すことなく除去できるので、使用者側から非常に好評を得ているものである。なおこの発電所では、電磁弁アンローダなどにもこの形式のストレーナを使用している。

電気部分については、電子管のエミッション低下を調べるチェックメータ、電子管の交換時期を決めるための積算時間計、制御器可動コイル支持点調整用パーナなどが付属しており、使いやすい調速機ということを目指して作られている。

## 6. 圧油装置

この発電所は、油圧 23 kg/cm<sup>2</sup> で、出力 75 kW の電

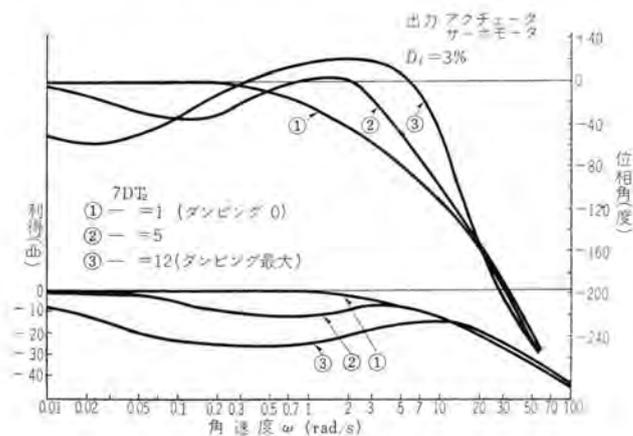


図 5.6 調速機 ボード線図

Fig. 5.6 Bode diagram of electro hydraulic governor.



図 5.7 工場試験中の調速機

Fig. 5.7 Governor under factory test.

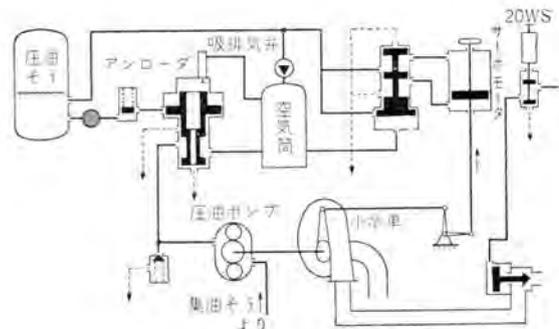


図 6.1 小水車速度調整装置説明図

Fig. 6.1 Diagram of speed control device of turbine for pumping plant.

動機および小水車によって、それぞれスクルーポンプを駆動する方式になっている。

小水車の速度調整には、落差の変動が少ないので、デローディング時に空気筒が無圧になることを利用して、ガイドベーンを開閉するだけの方式を採用し、調速機は使用していない。図 6.1 はその動作説明図である。

### 7. 運転制御装置

制御方式は一人制御方式で、地下発電所から約 300 m 離れた地上の配電盤より操作される。この水車のガイドベーンは自己閉鎖形であるので、入口弁は設けず、自動操作系統には特別な考慮が払われている。

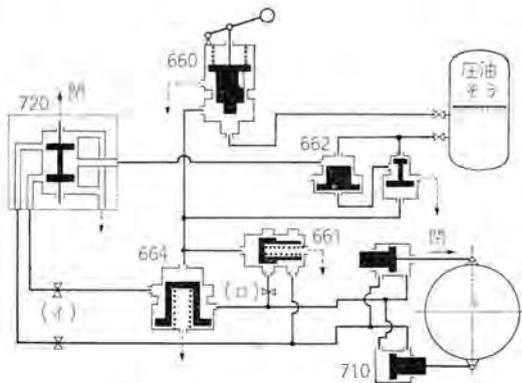


図 7.1 自己閉鎖機構系統図  
Fig. 7.1 Diagram of self-closing system of guide vane.

図 7.1 はこの部分の系統図である。正規の運転状態では、自己閉鎖弁 661 が閉じ、阻止弁 662 および 664 は開いて、配圧弁 720 によりサーボモータ 710 が制御されているが、手動操作でパイロット弁 660 のレバーを押し下げると、または油圧が規定値以下になると、弁体が下降して、両阻止弁は閉じ、自己閉鎖弁 661 が開いて、ガイドベーンサーボモータ 710 の開閉シリンダが結ばれ、自己閉鎖する。なお、サーボモータの開閉時間は、通常絞り弁 (イ) で調節するが、自己閉鎖時には、油圧による閉鎖力が加わらないので、別に設けた絞り弁 (ロ) によって調節する。パイロット弁 660 はツレノイド盤内に収められている。

### 8. サージタンク 特性の解析

最近、調速機の感度速応性の向上に伴い、水路系にサージタンクがある場合に、これのサージングによって生ずる水車の運転条件の制約がしばしば問題になっている。

当社は、33 年四国電力加枝発電所に電気式調速機を納入した際、このサージングについて現地試験ならびに解析を行ない、調速機の使用条件を導出したが、<sup>(4)</sup>このたび、この発電所の水路系に対しても詳細な解析を行なったので、ここにその概要を述べる。

この発電所は、全地下式であり、図 8.1 のように水車吸出管出口にサージタンクを設け、それから放水路までを圧力水路で結ぶダブルサージタンクとなっている。したがって加枝発電所の解析では、系の入力の水車の流量変化で

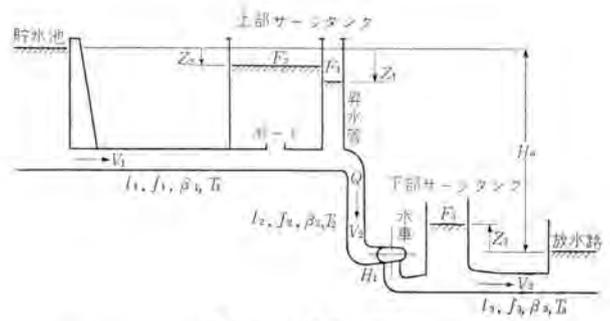


図 8.1 水路系の構成  
Fig. 8.1 Pipeline profile with double surge-tank.

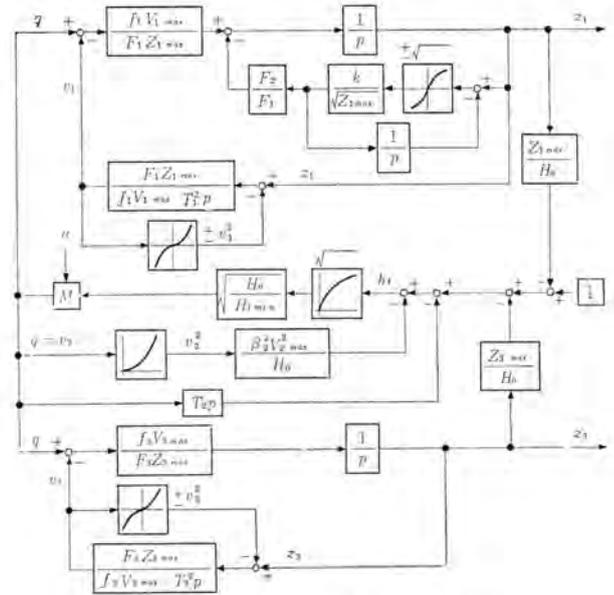


図 8.2 ダブルサージタンク系のブロック線図  
Fig. 8.2 Block diagram of double surge-tank system.

与えたが、ここでは入力をガイドベーン開度で与え、有効落差は、上下各サージタンクの水位関数で表示し、両者の干渉も調べるようにした。

図 8.2 は、この全体の系のブロック線図である。

記号の説明

- $q$ : 水車に流入する水量
- $a$ : ガイドベーン開度
- $z_1$ : 上部タンクの昇水管水位 (貯水池に対する差)
- $z_2$ : 上部タンクのタンク水位 (貯水池に対する差)
- $z_3$ : 下部タンクの水位 (放水路に対する差)
- $v$ : 各水路内の流速
- $h_t$ : 水車の有効落差で静落差に対する比

以上変数で、これは皆最大値に対する比で表わし、無次元化されたもので、小文字を用い、実数の大文字と区別する。

- $F$ : 各タンクの断面積
- $f$ : 各水路の断面積
- $l$ : 各水路の長さ
- $\beta$ : 各水路の摩擦係数
- $T$ : 各水路内の水の時定数
- $H_0$ : 静落差

$k$ : 上部 タンク の ポート 流出係数

演算は、アナログコンピュータを用い、入力  $a$  に正弦波とランプステップの2種類のものを加えて、上下両タンクの相互の干渉や、ダウンサージの最大値を検討した。結果は次のとおりである。

(1) 上部の共振点が  $0.013 \text{ rad/s}$  に対し、下部が  $0.14 \text{ rad/s}$  とかなり大きいので、両者の干渉はなく安定であり、両者の接続を切り離して演算した結果と同一であった。図 8.3 は ランプステップ 入力を加えた場合の演算例である。

(2) したがって、ダウンサージの大きさなどは、上下

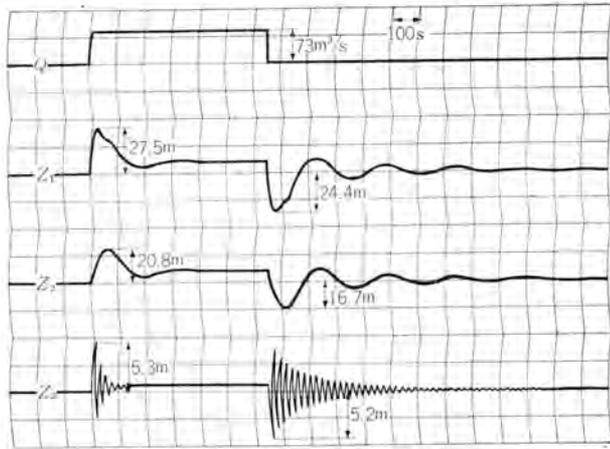


図 8.3 サージングの演算例  
Fig. 8.3 Computed results for surging.

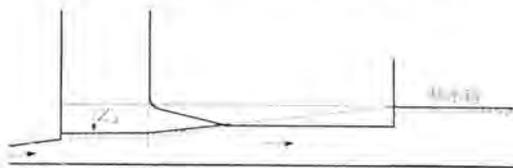


図 8.4 下部サージタンクの水面変化  
Fig. 8.4 Water surface of tailrace surge-tank.

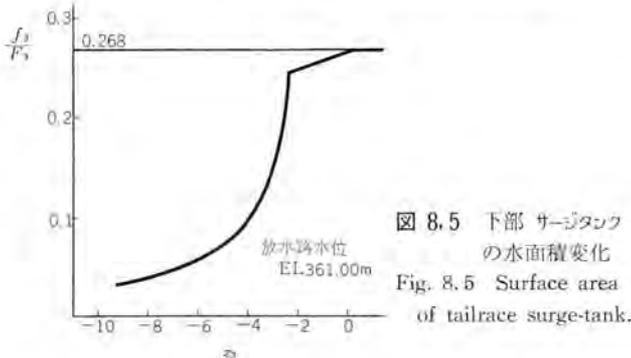


図 8.5 下部サージタンクの  
水面積変化  
Fig. 8.5 Surface area  
of tailrace surge-tank.

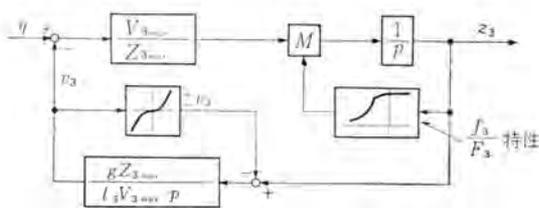


図 8.6 下部サージタンクのブロック線図  
Fig. 8.6 Block diagram of tailrace surge-tank.

別個に検討すればよく、上部サージタンクは、無次元化した特性方程式の各係数が加枝発電所の場合とほぼ同一であるので、水車運転上の安全限界などは、そのまま適用できる。この場合、加枝発電所と同様、負荷急増によるダウンサージが大きいため、その防止対策として、負荷制限位置がつねに設定出力の10%上に自動的になる特殊な装置を调速機に付加した。

(3) 下部サージタンクについては、断面積  $F_s$  を一定と仮定して演算すると、水車を負荷シャ断した場合に、吸出管の一部が空になるという結果が出てしまうので、この問題をさらに詳細に解析した。まず林の公式<sup>(4)</sup>の導出と同一の考えで、ダウンサージのときに水面が図 8.4 のように変化すると仮定し、図 8.5 の曲線のように  $F_s$  を  $Z_s$  の関数で表示して、図 8.6 のブロック線図で入力を  $q$  として演算した。結果は、 $-dZ_s/\max$  が、 $F_s$  一定とすると  $5.2 \text{ m}$  であるが、この厳密解析によると  $3.3 \text{ m}$  で、ダウンサージの最下降水位は吸出管まで達しないと判定できた。

以上、演算の詳細については、関西電力小川、和泉両氏より「電力」<sup>(5)</sup>に発表されているから、そのほうをご参照されたい。

なお、発電所完成後、このサージングについて現地試験を実施する予定であるが、水車の调速方程式として、 $\eta QH$  を一定とするいわゆるトルクの安定条件の適用に疑問があるので、水車無負荷運転時および単独小系統軽負荷運転時の安定判別の研究を進めてゆきたいと考えている。

## 9. む す び

以上読書第二発電所水車の各機器にわたって概略を述べたが、われわれ生産にたずさわるものは設計に製作におのおのその分野においてつねに最善の努力を払い、品質向上に日夜健闘している。この発電所現地における据付工事も順調に進行し、昨年11月末、好調に営業運転を開始して、ピーク負荷発電所として  $80,000 \text{ kW}$  の威力を遺憾なく発揮している。

終わりに臨みこの発電所の開発を企画され、水車の設計製作ならびに各種の試験についてご指導、ご鞭撻を賜わった関西電力株式会社の関係者の皆様に対して厚く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 氷室：電気公論，第34号，第10号（昭33-10）。
- (2) 安藤・渋谷・梅名：调速機の試験，「三菱電機」，33，No. 9（昭34）。
- (3) 安藤：水力発電所サージタンク特性の研究，「新三菱重工技報」，1，No. 2（昭34）。
- (4) 石原：応用水理学 1. 丸善，p. 229（昭33）。
- (5) 小川・和泉：読書第二発電所放水路サージタンクのアナログ解析について，電力，44，No. 4（昭35）。

# 関西電力読書第二発電所 80,000 kVA 水車発電機、 運転制御装置および配電盤設備

神戸製作所 三浦 宏\*・梅名 茂 男\*

## 80,000 kVA Water Wheel Generator and Control Switchgear for Kansai Electric Power Co. Yomikaki Power Station

Kobe Works Hiroshi MIURA・Shigeo UMENA

Mitsubishi has supplied a giant water wheel generator to Kansai Electric Power Co. Yomikaki No. 2 power plant. The machine is insulated with Dialastic resin and equipped with a Kingsbury type thrust bearing having an inner oil guard seal. The excitation system has the maximum response ratio of above 3.0. Paralleling of the machines is made by an automatic operation of disconnecting switches. A part of the main switch-board is graphically indicated with an illuminative mimic diagram. The water level of a reservoir nine kilometers distant from the station is watched with a digital record. Further, a fault typewriter and a transistorized master clock are among the features.

### 1. ま え が き

去年11月末営業運転にはいった読書第二発電所は関西電力によって建設されたもので既設の読書発電所の近くに位置している。水車発電機は地下に設置され、形式はカサ形で当社としては田子倉発電所につぐ大容量機である。

配電盤室は既設発電所に隣接して建設され、新発電所との距離は約300m、一人制御方式で常時の制御および監視は配電盤室からだけ行なわれる。

水力発電所においては主発電機を含めすべての機器がその動作の確実さ、長時間の寿命保持を強く要望されるものであるが、最近の自動化の進歩はさらに保守点検の容易さ、あるいはその労力の減少をうながす方向に進んでおり、われわれもとくにこの点に留意し、従来の経験を十分にいかし、使いやすく信頼できる機器の製作につとめた。

工場試験あるいは現地試験の結果すべての面で予期どおりの好結果をうることができたのであるが、とくに磁気増幅器を用いた自動電圧調整器は励磁系の総合速応比3.0以上という顧客要求を十分満足するすぐれた特性を発揮することができた。

受注以来の努力が実を結び好評のうちに営業運転を開始したわけであるが、ここにその内容を紹介し参考にする次第である。

### 2. 発電機の仕様

発電機 カサ形 回転界磁閉鎖風道循環形（空気冷却器付）  
定格 出力 80,000 kVA

使用電圧	12,600~13,800 V (基準電圧 13,200 V)
使用電流	3,670~3,350 A (基準電流 3,500 A)
力率	90 %
周波数	50 c/s
回転速度	200 rpm
極数	36
ハズミ車 効果	7,000 t·m <sup>2</sup> (保証値)
無拘束速度	370 rpm (保証値)
短絡比	1.0 以上 (保証値)
重量 固定子	118 t
回転子	315 t
発電機総重量 (空気冷却器を含む)	558 t
主励磁機 立 $\pi$ 軸 開放形 特殊巻	AI-VJ 形
400 kW 330 V 1,213 A	10 極
副励磁機 立 $\pi$ 軸 開放形 分巻	



図 2.1 80,000 kVA カサ形 水車発電機  
Fig. 2.1 80,000 kVA Umbrella type water wheel generator.

10 kW 110 V 91A 10 極 AI-VJ 形  
 電気 ガバナ 電源用永久磁石発電機 SEP 形  
 0.5 kVA 110 V 2.62 A 60 c/s 36 極

励磁機上部には起動停止確認装置、運転表示灯を設けてある。自動電圧調整器には磁気増幅器を使用したが発電源は 420 c/s の高周波発電機で、誘導電動機駆動である。図 2.1 は現地で運転中の発電機の外観であるが、風道がコンクリート のため外部には励磁機だけが出ている。

### 3. 発電機の構造

当社はさきに<sup>1)</sup>田子倉発電所用 105,000 kVA 水車発電機をカ形構造として完成したが、本機の製作にあたってはその経験を十分にいかし、細部にいたるまで検討を加えて性能の向上につとめた。図 3.1 に発電機構造断面を示す。地下発電所に設置されるためり上げ高さが低く、この点当社のカ形機は本質的に最適のものではあるが、固定子の組立にはとくに入念に計画を行なった。以下各部の構造につき大略を述べる。

#### 3.1 固定子

固定子ワックは鋼材溶接組立式で輸送の都合で 6 個に分割した。鉄心は T 級の最高級品を使用し、外径、溝などを打抜いてのち焼なまし、絶縁処理を行ない、適当な通風ダクトを設けつつ固定子ワック内面に積重ね、両端に非

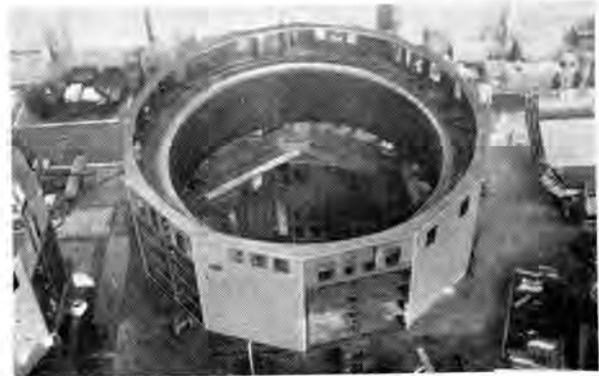


図 3.2 鉄心と積み終わった固定子  
 Fig. 3.2 Stator frame with core laminated.



図 3.3 固定子コイル  
 Fig. 3.3 Stator coils.

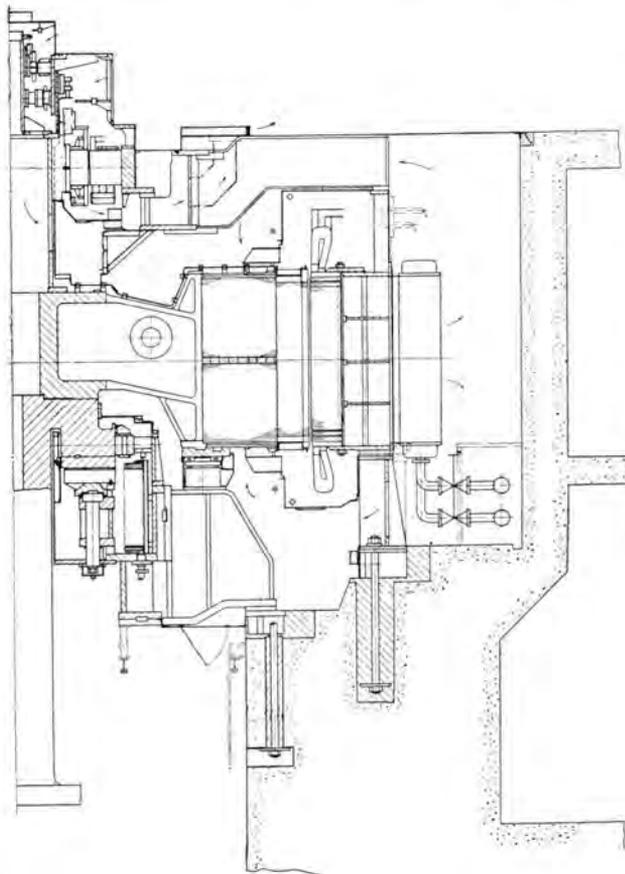


図 3.1 発電機の断面図

Fig. 3.1 Sectional view of the generator.

磁性金具をあて十分に締付けている。鉄心締付けや分割固定子相互間の締付けは長年月にわたり十分確保される必要があり、鉄心積みの方法、端部押え金具の材質、形状にはとくに注意を払い、また分割固定子相互間の締付方法には鉄心がつねに円周方向に締代を有するように考慮をほどこしている。図 3.2 は鉄心を積み終えた固定子を示す。

固定子コイルは 1 ターン、ハーフコイルで 2 並列重ね巻を採用し、導体を形成する多くの素線は二重ガラス巻平角銅線で溝内で完全な転位を行ない漂遊損の減少をはかっている。コイル絶縁はマイカテープを主体とした完全 B 種絶縁でダイアレジオンを絶縁材とした当社独特のダイラスチック絶縁である。合成樹脂を主体とした絶縁方式の発達はめざましく、アスファルト系コンパウンド絶縁は姿を消し新材料、およびこれを用いた工作技術の進歩はコイル性能の向上となり、さらに新しい現象の解明に努力が続けられている現状である。当社は業界に先がけてダイラスチック絶縁の名において新絶縁方式を発表し、今日まで多くの回転機に適用して顧客の好評を博してきた。その後も絶えざる研究を進め、ダイアレジオン本来の特性をより改善する一方、工作技術、作業管理および検査技術の確立による製品性能の安定化につとめるとともに、コロナ発生の問題、 $\tan \delta$  の電圧温度に対する影響などの研究、あるいは実大物のモデルを使用しコイルの受ける熱的電氣的影響の

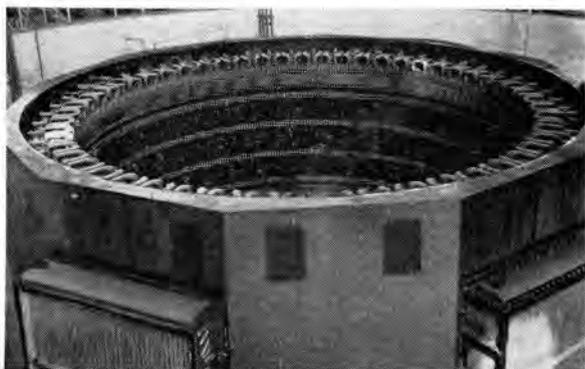


図 3.4 コイルを納めた固定子  
Fig. 3.4 Stator assembly with coils completely connected.

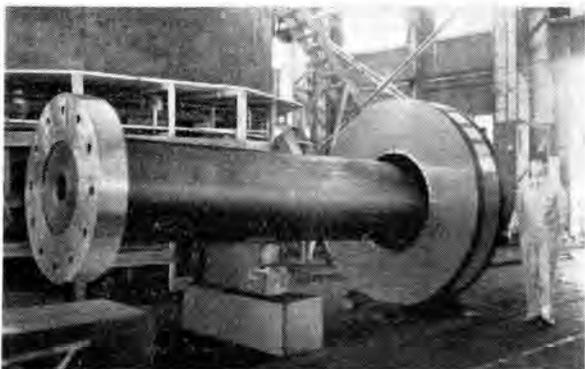


図 3.5 主軸  
Fig. 3.5 Shaft.



図 3.6 スパイダボス  
Fig. 3.6 Spider spoke.

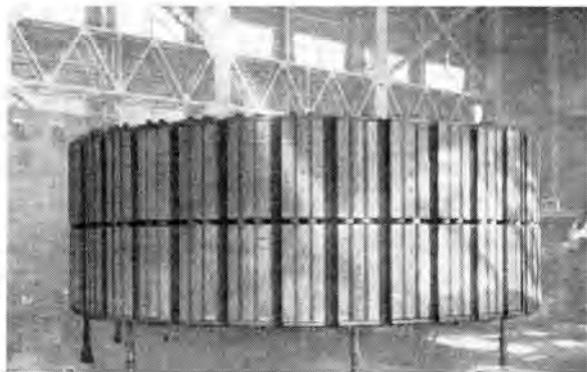


図 3.7 スパイダリム  
Fig. 3.7 Spider rim.

研究など不断の努力を傾けている。本機の コイル はこの  
ような背景のもとに製作されたもので、絶縁耐力、機械  
的性質はもちろんのこと コロナ 発生に関しても優秀な性  
能を発揮することができた。

図 3.3 はでき上がった固定子 コイル を示し、図 3.4 は  
コイル 接続を終えた固定子を示す。固定子の支持には鋼  
板製の ベースリング を使用して下部通風路を形成し、発電  
機基礎を強固にするようにした。

### 3.2 回 転 子

主軸は鍛鋼製で上下に フラッジ を有し、上部は推力軸  
受の受金を兼ね、その側面は案内軸受のしゅう動面とな  
っている。主軸長さは水車つり上げ高さを考慮して決定  
したもので図 3.5 はその外観を示す。

スパイダボス は鋳鋼製で 8 本の足を有し、うち 2 本は継足  
である。カリ形 で上部に案内軸受がなく、振れ見に際し  
ては主軸だけで行なえるので、スパイダの継ぎ足は輸送制  
限だけを考慮している。発電所クレーンは タウルック で回  
転子つり上げの際はこの足を利用するので写真に示すよ  
うに必要な加工をほどこしている。図 3.6 は スパイダボス  
である。

スパイダリム は薄鋼板積層形で厚さ 3.2 mm 一円周 6 セグ  
メントの扇形片を 1 極ずつずらせながら ボス のまわりに  
積上げた。

この部分は水車無拘束速度 370 rpm でもっとも大きい  
機械的荷重を受ける所であり材料の選定はもちろん、工  
作にあたって扇形片打抜き積重ねともに慎重に行ない、  
積み上げ後の仕上工作が不要なほどにでき上がった。最  
後に加熱し所定の キー を打ち込んで スパイダボス に結合す  
るわけであるが、無拘束速度ではリムは フロート する設  
計である。図 3.7 は リム積 みを終えた回転子を示す。冷  
却効果向上のため中央に 1 箇所通風 ダクト を設けている。

磁極鉄心は 1.6 mm の薄鋼板を使用し、両端に鋳鋼製  
の端板をあてボルトで一体とした後、ダブテルによりリム  
に取付ける。磁極頭部には制動棒を備え、両端の短絡片  
は Z 形断面で下端は端板にはいりこみ熱的にも機械的  
にも安定した構造である。各短絡片は互いに連結されて連  
続形の制動巻線となっている。図 3.8 は磁極鉄心を示す。  
界磁 コイル は裸平角銅線を エッジワイス に曲げたもので

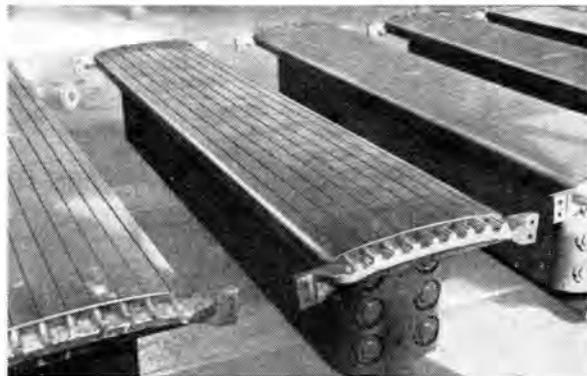


図 3.8 磁極鉄心および制動巻線  
Fig. 3.8 Pole core and damper winding.



図 3.9 界磁 コイル  
Fig. 3.9 Field coils.

層間絶縁にはアスベスト紙を、また対地絶縁には可撓マイカおよびアスベスト布を使用している。コイル端部はジグザグにし、冷却面積の拡大をはかっている。上下にワッシャをはさみリムに取付けるわけであるが、下面にはスプリングを使用し、またコイル間にはコイル締金を用い、コイルやワッシャのはみ出しを防いでいる。図 3.9 は界磁コイルを示す。

図 3.10 は完成した回転子を、図 3.11 はつり込み中の回転子を示す。上下には鋼板製のファッスを有し、下面にはセクタ形のブレーキリングを備えている。

### 3.3 その他

上下ブラケットはいずれも鋼板溶接製である。上ブラケットは励磁機固定部を支持するだけであるが、下ブラケットは発電機、水車の回転部重量および水圧推力など全荷重をうける所であり、一方では中央部に油そうを形成して推力軸受、案内軸受を設置しなければならない。またカサ形機においては軸受位置が必然的に決定されるため構造にはとくに慎重な考慮を払い、各部の強度、たわみを検討しつつ、全体としてできるだけ剛性を高くすることにつとめた。中央の油そうは厚鋼板リングを使用し、下ブラケットの構成部品として荷重を支持するとともに、内部に推力軸受、案内軸受、冷却水管を納めている。この油そうに 8 本の足をつけて下ブラケットとなるわけであるが、輸送の関係でこれらはすべて継ぎ足である。

推力軸受はキングスベリ形で田子倉発電所用のものに比べるとひとまわり小さく、大体同様の構造であるが、細部にわたってはその経験を生かし、綿密な検討を加えた。回転盤は二つ割で主軸上端のフランジ下面に結合されている。扇形スベリ金の支持は当社独特の 4 線ビームで行ない、荷重分布の平坦化をはかるとともに、定常運転はもちろん起動、低速回転においても、機械的、熱的のスベリ金変形を小にし、油膜の確保をはかって運転の確実を期している。

工場において詳細な研究試験を行ない性能のすぐれていることを確認した。また荷重調整装置を備え、各扇形スベリ金にかかる荷重を外部より簡単に測定し、荷重分担を均等にすることができる。すなわち、支持部分に圧縮管を備え、そのたわみ量をダイヤルゲージで読みとり、調

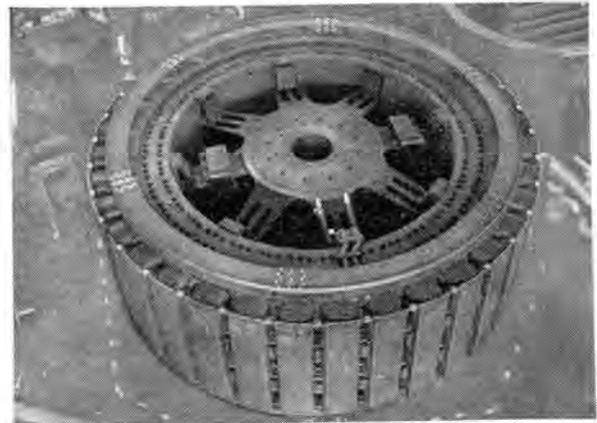


図 3.10 完成した回転子  
Fig. 3.10 Completely assembled rotor.

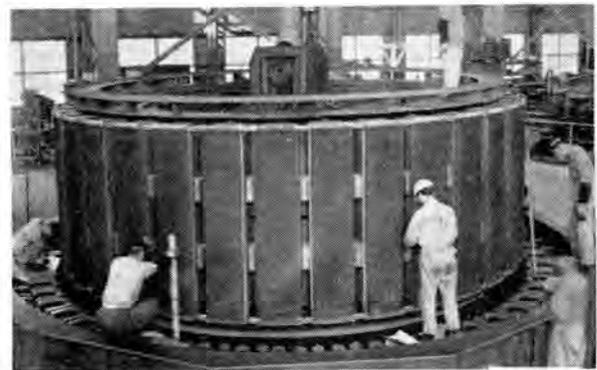


図 3.11 つり込み中の回転子  
Fig. 3.11 Rotor being lowered into position at the site.



図 3.12 推力軸受  
Fig. 3.12 Thrust bearing.

整を行なうもので当社大形推力軸受には標準的に採用しており、顧客の好評をばくしているものである。図 3.12 は推力軸受を示す。

案内軸受はセグメント形で、主軸上部フランジ側面で荷重をささえている。油そう内には両軸受共用の冷却水管を設けているが、これにはいわゆるハイフィンチューブ（アライトロン）を使用し、冷却効果の増大をはかっている。

さらに本機では軸受のより確実な運転を確保するため油そうには<sup>(2)</sup>油泡防止装置を設けた。一般に油そう内の油は回転によって外壁では油面が高くなる傾向にある。低速のものではこの状態が続くわけであるが、推力軸受

が大形、高速になると周速が高くなり、油そう内壁すなわち油せきと推力軸受回転盤との間、あるいは案内軸受部において、油の流れは乱流状態となり油を飛び散らせ、ひどいときには油全体に過度の空気を混じり、油面には泡の厚い層を生じるとともに油は体積を増し黄色の乳濁液となる傾向にある。従来高速機においてよくみられた油せきからの油の溢流はこの現象のあらわれである。油の状態がこのようになっても推力軸受の運転は継続されるもので当社では従来主として油の溢流防止や油霧漏洩防止に主眼をおいて種々方策をこうじてきた。しかし推力軸受しゅう動面に油泡がかみこまれることは油膜が薄くなるのと同等あるいはそれ以上に悪影響があるものと考えられ、とくに起動回数の多いピーク負荷発電所におけるように、運転条件の苛酷なばあいはとくに油泡のないことが望ましい。本機は軸受寸法もかなり大きいほうに属し、使用の苛酷なことも予想されるので油泡を完全に防止し、運転の万全を期することとしたわけで構造の概要は図3.13に示すとおりである。油そう内側においては油堰にシールリングを設け回転盤とのすきまは周速と粘度によって定まる境界値以下にし、この部分の油を層流状態に保っている。油そう外側は鉄板でカバーし、案内軸受部では上部にシールリングを設けて軸受を加圧された油で囲むようにしている。この圧力は案内軸受下面に設けたビスコシティポンプによって得られ、油は上部シールリングのすきまを層流状態を保ったまま通過し、外部に流出し、パイプによりふたたび油そう内に帰ってくるわけで、工場試験においても油泡の発生はほとんどみられず予期したとおりの効果をあげることができた。

油そうからの油霧漏洩は普通それが回転子ファンの吸入側にあるためとかく問題となりがちであった。当社で

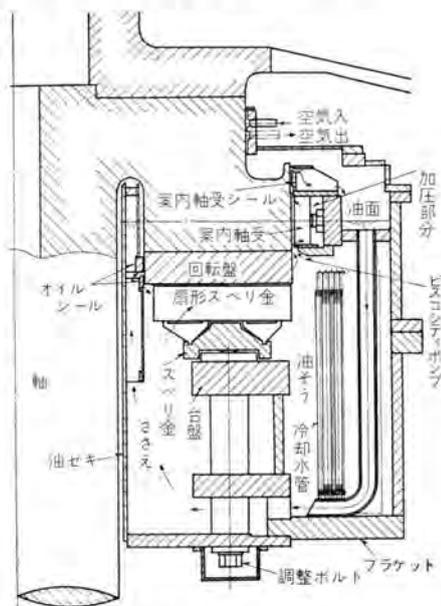


図 3.13 油泡防止装置

Fig. 3.13 Thrust bearing with an inner oil guard seal and pressurized guide bearing with fluid seal.

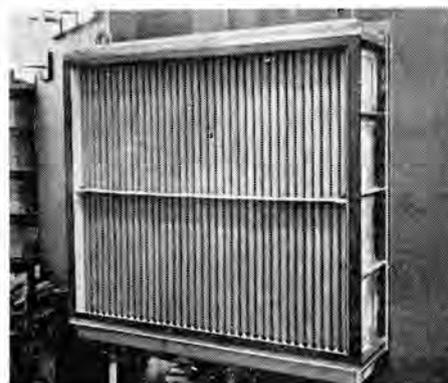


図 3.14 空気冷却器

Fig. 3.14 Air cooler.

はすでに数年前よりファンを利用した空気パッキングを設け好成績をあげている。すなわち上下二段の空気室を有するラピリスを設け、上段にファン圧を押し込み、下段より外部にとり出すもので、とくに本機のばあいは前述の油泡防止装置によって発生油霧も少なく完全な防止に成功している。

下ラケット各足には空気式制動器および回転子支持用ジャッキを設けている。空気冷却器は当社標準のUファン管を用いた表面冷却形で固定子ワックに直接取付け、消火装置としては炭酸ガスと水を設け、また湿気防止にはスペースヒータを設置している。温度測定、油面監視などの制御線は端子板を設けてすべて一個所にまとめ、風道内にはケイ光灯を、また固定子まわりには通路を置き、配管のバルブ類は操作が楽に行なわれるよう配置するなど保守点検の便を十分考慮して計画した。図3.14は空気冷却器を示す。

#### 4. 励磁機

励磁機は主発電機の励磁電源として直結されるものであるが、自動電圧調整装置の一要素としての性能を持たなければならない。主励磁機は分巻界磁のほかに副励磁機からの安定界磁を有し、さらに自動電圧調整器の磁気増幅器出力を受ける増磁、減磁用の各界磁を備えている。

構造は主励磁機、集電環を外輪とし、副励磁機、永久磁石発電機、起動停止確認装置を内輪とした配列で全高を低くするとともにラシ装置はできるだけまとめて配置し、また励磁機まわりは一段低くして保守点検の便をはかっている。使用材料は鋼板を主体とした溶接構造で磁気回路には薄鋼板積層形を採用し渦流による電圧おくれを減らし特性の向上をはかった。自動電圧調整器と組合せて詳細な試験を行ない、励磁系の総合速応比

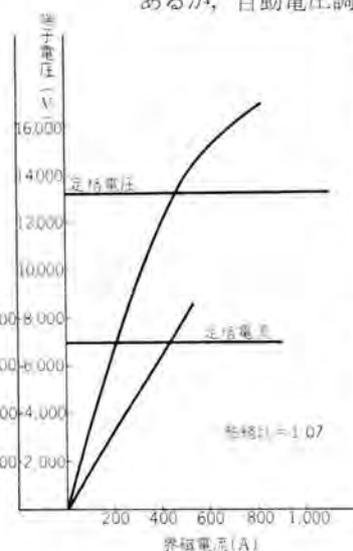


図 5.1 無負荷飽和曲線および短絡曲線  
Fig. 5.1 No load saturation and short circuit curves.

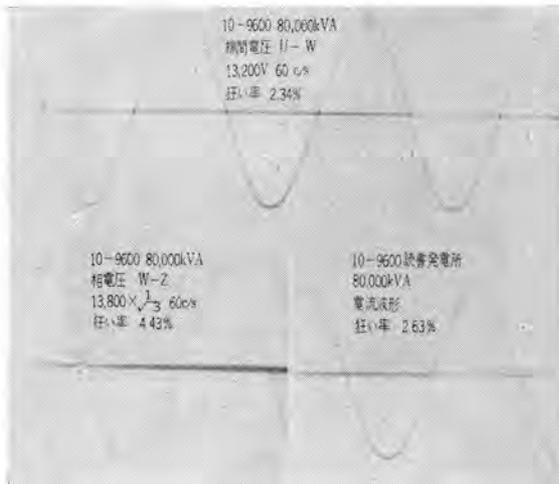


図 5.2 電圧および電流波形  
Fig. 5.2 Wave forms of voltage and current.

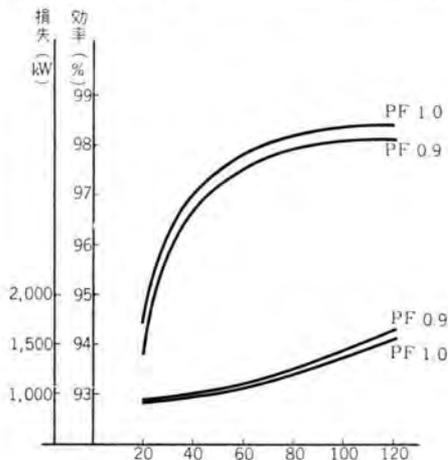


図 5.3 効率および損失曲線  
Fig. 5.3 Loss and efficiency curves.

3.0 以上という 客先要求を 十分満足するきわめてすぐれた成績をうる事ができた。

## 5. 試験成績

工場において詳細な試験を実施し、特性を確認した。

図 5.1 は無負荷飽和曲線および短絡曲線を示し、図 5.2 は無負荷における線間および相間の電圧波形および電流波形を示す、短絡比は 1.07、電圧変動率は PF 0.9 で 27.3%、PF 1.0 で 17.8% である。効率および損失曲線は図 5.3 に示すとおりであるが、全負荷効率は定格率率で 98.1%、100% 率率で 98.3% となり、それぞれ保証値を大幅に上回った。各種リアクタンスおよび時定数は表 5.1 に示す。

JEC-114 に基づき等価温度上昇試験を行なったが、固定子、回転子とも温度上昇は低く、55 c/s 運転においてもなら問題のないことを確認できた。推力軸受に関してはとくに詳細な試験を行ない、定格回転における試験のほか、10 rpm 30 分、および 100 rpm 連続の低速試験や、220 rpm 1 時間の高速試験を行ないさらに再起動試験およびこれに引続いて高温低速試験を実施し、最後には断水試験を行なって、あらゆる運転状態におけるすぐれた性能を確認した。

表 5.1 リアクタンス および時定数

	実測値(%)	試験法
直軸同期リアクタンス $x_d$	110.0	A. I. E. E.
直軸過渡リアクタンス $x'_d$	35.9 (不飽和直)	突発短絡
直軸次過渡リアクタンス $x''_d$	23.9	Da-Ca 法
逆相リアクタンス $x_2$	24.8	"
零相リアクタンス $x_0$	10.5	単相短絡
直軸次過渡時定数 $T'_{d0}$	0.02 秒	突発短絡
直軸短絡過渡時定数 $T''_{d0}$	2.9	"
直軸開路過渡時定数 $T'_{d0}$	9.1	界磁減衰

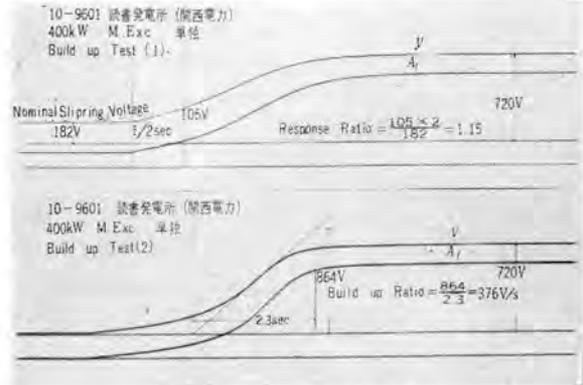


図 5.4 励磁機電圧上昇曲線  
Fig. 5.4 Oscillogram of build up rate of the main exciter.

固定子 コイル は個々の コイル の試験はもちろん組立後も  $\tan\delta$ 、直流吸取、絶縁耐力などの試験を行ない、衝撃電圧試験および回転子巻線誘起電圧の測定をも実施した。

励磁機単独の電圧上昇曲線は図 5.4 に示すとおりで、電圧上昇率 376 V/s 頂上電圧 720 V、速度比 1.15 とそれぞれ予期どおりの数値をうる事ができた。

その他  $GD^2$  風量、サージインピーダンスなどの測定を行ないさらに現地においても無負荷飽和曲線、短絡曲線、負荷試験を実施し、十分な特性の確認を行なった。

## 6. 回路方式

図 6.1 はこの発電所の単線接続図である。発電機主回路は離相母線で地下発電所内の同期投入器に接続された後、約 200 m の隧道を通して屋外の主変圧器に接続され、154 kV に昇圧されて約 100 m の送電線で旧発電所構内の屋外開閉所に至り、旧発電所の送電線母線に連絡されている。図 6.2 は隧道内の離相母線、図 6.3 は 80,000 kVA 主変圧器である。一方、所内の動力源となる 3.3 kV 回路は主変圧器低圧側より分岐し、屋外 キュービクル に収納された断路器を経て、500 kVA ヌップチェンジャ 付配電用



図 6.2 発電機回路離相母線  
Fig. 6.2 Isolated phase buses.

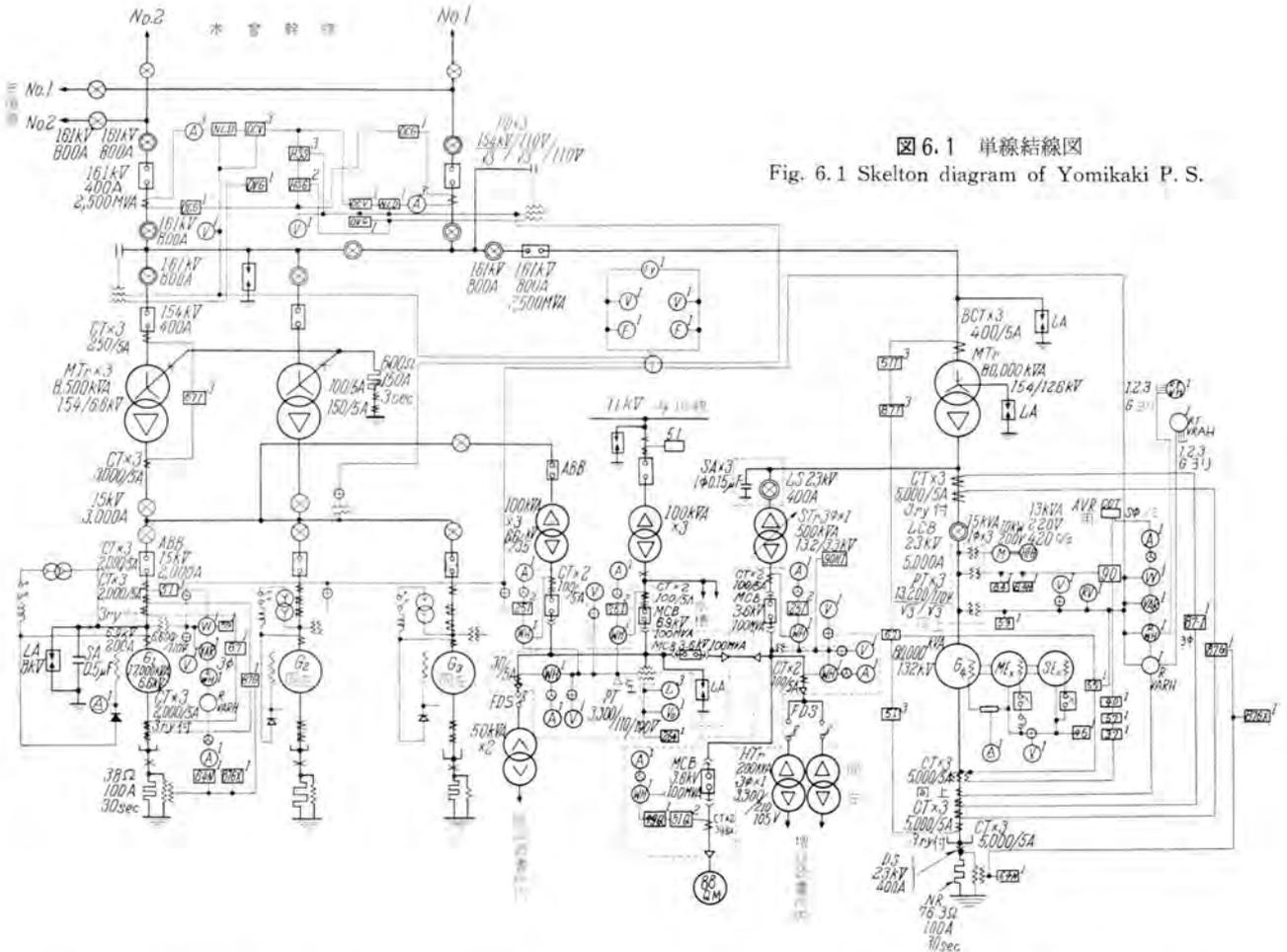


図 6.1 単線結線図  
Fig. 6.1 Skelton diagram of Yomikaki P. S.



図 6.3 80,000 kVA 主変圧器  
Fig. 6.3 80,000 kVA main transformer.

変圧器に至り 3.3 kV に降圧された後、密閉母線でメタルクラッド形配電盤に接続されている。この 3.3 kV 母線はケーブルで旧発電所の所内回路とも結ばれ、試送電、その他必要な場合に旧発電所の発電機から所内電力の供給を受けることができるようになっている。所内低圧動力は、発電所内に 200 kVA 所内変圧器 2 台を設置し、屋外メタルクラッド内の 3.3 kV 母線とはケーブルで連絡し、図 6.4 の低圧盤により供給している。直流制御電源は、新、旧両発電所間に新設された配電盤室の 200 Ah 蓄電池で、旧発電所、屋外開閉所の制御電源ともなっている。

## 7. 運転制御装置

運転制御方式は通常の半自動一人制御式で、保護方式は非常停止、急停止、軽故障警報の 3 種とし、無負荷無励磁運転は設けられていない。

### 7.1 補機関係

圧油ポンプは電動機駆動、小水車駆動各 1 組の組合せとなっている。駆動電動機の容量は 75 kW であるので 3.0 kV 電動機を使用し、屋外メタルクラッドに 3-DH-20 A 形シ断器を収納して圧油ポンプ制御盤とした。配電盤室から電動、小水車ポンプのいずれをも常用機として制御できるほか、メタルクラッドおよび現場においても電動ポンプの起動停止ができるようになっている。冷却水は発電所内に設けられた減圧水そうから供給されるが、地下発電所であって冬期においても結氷の恐れがないため、



図 6.4 低圧盤  
Fig. 6.4 Low voltage distribution board.

冷却水の通断を水車発電機の自動制御段階に組み込み、主幹スイッチの準備位置で冷却水を流し、主幹スイッチが停止位置にあって水車発電機が完全に停止すれば冷却水をとめるようにした。

### 7.2 调速機

调速機は新三菱重工と協同して電子管式電気ガバナを製作、納入した。この调速機については、別稿「78,000 kW フランス水車」に詳しく紹介されているので詳述することはさけるが、高感度で速応性の高い、しかも安定な動作性能をもったものである。図7.1にみられるように機械部分をひとまとめにして调速機盤とし、電子管増幅器、制御、保護継電器など電気部分をまとめて调速機制御盤としてある。

図7.2は、右より電磁弁を収納した水車制御盤、電気ガバナ、および水車補機類の制御継電器を取付けた補機制御盤で、キュービクル内を通行して保守検点ができるようになっている。

### 7.3 自動電圧調整器

自動電圧調整器は420 c/sの高周波発電機を電源とする磁気増幅器形で高周波発電機は主発電機に直結された変圧器を電源として誘導電動機で駆動されるものである。図7.3はこの自動電圧調整系の単線接続図で、発電機端子電圧は電圧調整用単巻変圧器を経て3相全波整流され、



図 7.1 ガバナ・キャビネット  
Fig. 7.1 Governor cabinet.



図 7.2 水車制御 キュービクル  
Fig. 7.2 Turbine control cubicle.

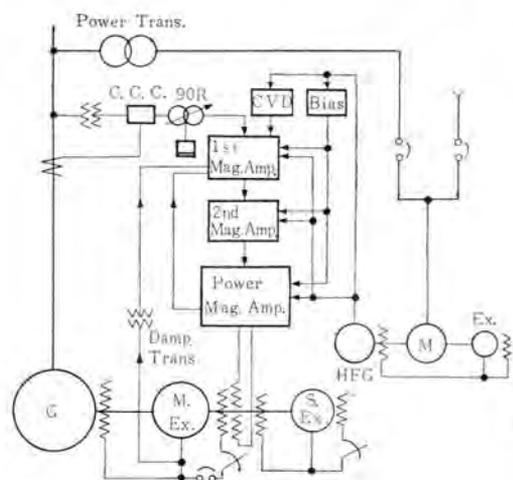


図 7.3 励磁系単線接続図  
Fig. 7.3 Skelton diagram of excitation system.

定電圧装置の出力と初段増幅器において比較されて電圧偏差だけが増幅され、2段目、および出力増幅器を制御し、主励磁機電圧を調整するようになっている。また、出力増幅器の磁束変化および主励磁機の出力変化を初段増幅器に負帰還して制御系の安定化をはかっている。この自動電圧調整器は試送電のときにも使用されるので、発電機電圧を約3 kVから調整できるような電圧調整範囲をひろげ、高周波発電機は所内動力電源を旧発電所からうけて駆動するようにした。試送電と普通送電とは配電盤の切換スイッチ(43 CH)と主幹スイッチとの操作により、すべて自動的に行なわれるようになっている。電圧調整範囲は、普通送電時、 $-20\% \sim +10\%$ 以上、試送電時、 $-75\% \sim 0\%$ 以上とした。つぎに特筆すべきことは、自動電圧調整器と励磁機とを組合せて、励磁系の総合速応比を最大3.0以上としたことである。励磁系の速応比の定義については従来の界磁調整抵抗を突然短絡したときの励磁機の出力電圧過渡応答により定めることは、連続形自動電圧調整器を使用した励磁系に対しては不相当であることは明らかであって、A.I.E.E.においても一つの提案<sup>(3)</sup>がなされ、また電気学会においても同期機、直流機、電力関係の各専門技術会からなる合同委員会でその定義、試験方法などについて討議されはじめている現状であるが、ここでは励磁機は発電機界磁から切離し、自動電圧調整器と励磁機とは負帰還回路を含めて使用状態と同一に接続し、自動電圧調整器の検出部に変化を与えたときの励磁機出力電圧の過渡応答をもって速応比を定義した。

図7.4はその試験結果で、入力変化量を増加すれば速応比も大きくなり、約23%の変化量で3.0をこえて飽和している。なお、この速応比をどの程度に設計製作することが望ましいかは負荷切断時の機圧上昇、過渡安定度、動態安定度などの見地から種々論議<sup>(4)</sup>されているが、われわれは総合速応比の最大値を1.0~2.0くらいに選ぶのが妥当

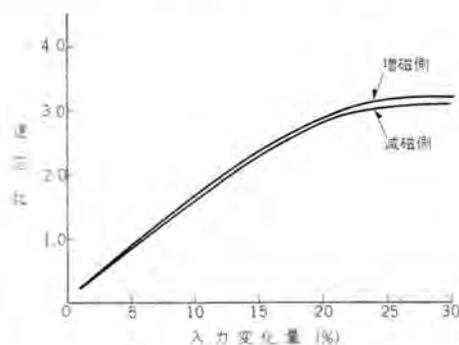


図 7.4 入力-速応比特性  
Fig. 7.4 Voltage variation and response ratio.



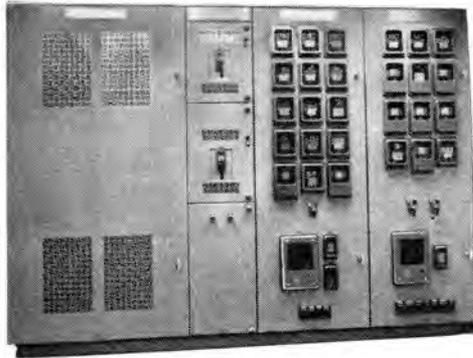


図 7.8 AVR キュービクル  
Fig. 7.8 Excitation cubicle.



図 7.9 同期投入器  
Fig. 7.9 Disconnecting switch to be used for parallel running.

#### 7.4 同期装置

主変圧器低圧側にはシヤ断器は設けず、投入容量をもった断路器、同期投入器を設け自動同期装置により発電機を並列するようになっている。発電機回路の故障電流シヤ断は主変圧器高圧側のシヤ断器に受持たせ、発電機を普通停止させるときには発電機負荷を減少させるととも無効電力を零にし、回路電流の低下をまって同期投入器を開き解列するようになっているので、所内動力は送電線からの逆送により確保することができるし、高価なシヤ断器を1台省略することができて保守しやすい経済的な回路方式である。図7.9はキュービクルに収納した圧縮空気操作の同期投入器である。なお、自動同期装置は調速機特性、 $GD^2$ 、シヤ断器閉合時間の異なる旧発電所の1, 2, 3号機にも共用できるように、自動的にその動作特性が設定変更されるようになっている。

### 8. 配電盤

配電盤は旧発電所の1, 2, 3号機自動化改造工事を極めて新設された。新設配電盤は主盤、補助盤各一群で構成され、主盤はデスク形制御盤を付属する垂直自立形両面盤、補助盤は垂直自立形両面盤で壁埋込式になっている。図8.1は主盤で、前面盤上部には集合表示器と照光形模擬母線とを取付け、計器は運転員が盤に向かって直立したときに読みとりやすい高さとし、集合故障表示器

は監視机に座ったときに見えやすいように取付けた。図8.2は照光形模擬母線で、その詳細についてはすでに本誌<sup>(6)</sup>に紹介されているので省略するが、1本の連続した母線を4種の標準ユニットの組合せて構成することができ、盤前面から電球の取換えができるなど多くの特長を有するものである。点灯方式はいわゆる電圧式(充電された線路部分を点灯する)とし、開閉装置は閉路状態を表示することとした。電源については、電球に直列抵抗を付して直流100Vを使用する、M-Gセットを直流100Vで駆動して使用する、専用蓄電池と充電装置を設けるなどの案について検討した結果、18V、100Ahの蓄電池と40Aの充電装置とを設置した。このほか、特記すべきことは印字式故障記録計を設けたことである。図8.3

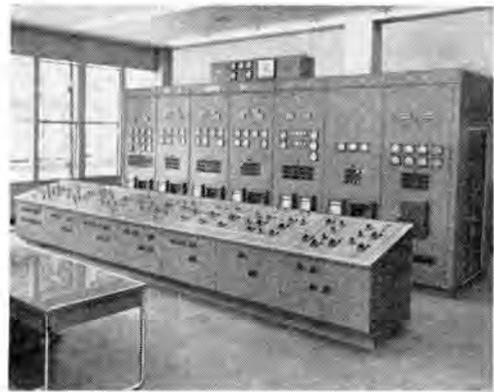


図 8.1 主盤  
Fig. 8.1 Front view of main control panel.

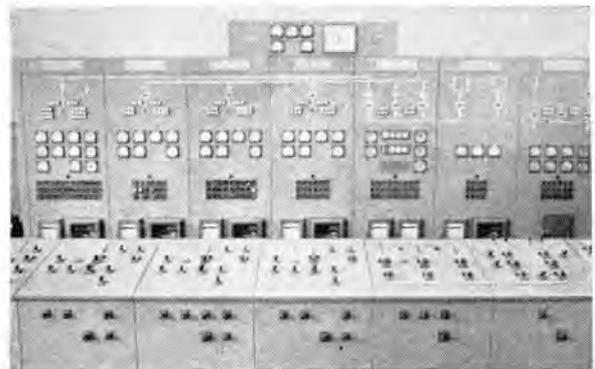


図 8.2 照光式模擬系統  
Fig. 8.2 Illuminative mimic diagram.



図 8.3 故障記録計  
Fig. 8.3 Fault typewriter.

はこの記録計で連続して発生した多重故障であっても、1秒単位にその発生時刻と故障内容を印字するもので、故障項目15要素と、午前、午後、時、分、秒の時刻要素とを備えている。紙送りは印字した直後に行なわれるので、故障が発生しないかぎり紙送りは行なわれず、従来のこの種記録計のように記録紙のむだがなく、紙送り中に発生した故障は記憶要素に蓄積しておいて紙送りが完了すれば印字するようになっているので、記録漏れを生ずることがない。また、必要に応じて記録計のチェックができ、随時紙送りだけを行なうことができるようになっている。主盤の後面盤は照光模擬母線用継電器と、保護継電器とを取付けた継電器盤とした。



図 8.4 補助盤  
Fig. 8.4 Auxiliary panel.

図 8.4 は補助盤で、前面盤には積算計、蓄電池充電用制御装置、自動同期装置などを取付け、後面盤は自動制御盤と記録水位計盤とになっている。旧発電所の発電機を含めた4台の発電機の積算電力量、積算無効電力量は、それぞれ個々のパルス発振装置付積算計器で計量し、パルス化した上で積算量総合継電器<sup>(6)</sup>で加算して記録積算計に印字記録するようにした。また、発電所から約9km離れた貯水池の水位、および旧発電所取水口の水位を1cmの精度で計測するため、水位測定をデジタル化<sup>(7)</sup>し、さらに貯水池水位は1時間ごとに、また随時に、その時刻とともに記録するようになっている。図 8.5 は水位受信継電器と記録水位計である。電気親時計は従来の直流パルス式を採用せず、その出力を交流電圧とし、記録計の紙送り、予時計などには同期電動機を使用する方式を採用した。従来は3kcの水晶発振器の発振周波数を商用周波数にまで低減した上で同期電動機を駆動し、同期電動機軸に設けたカム接点により電話用継電器を動作させてパルスを発生させていたが、この方式によればパルス継電器の動作頻度が高く、寿命の点に問題が残されていた。今回は水晶発振器の3kc出力をトランジスタを使用したフリップ・フロップ回路により商用周波数にまで低減し、フィルタを通してとりだした正弦波の交流電圧を増幅して親時計の出力としたので、時計そのものに可動部分がなくなり、寿命は半永久的にのびている。電源は直流100Vを使用し、出力用増幅器は20W単位としてすべてトランジスタ化した。また、万一、この時計が故障したときには所内交流を時計回路に送り込めるよう自動切換装置を設け、別にCR発振器においてその発振周波数を数えることにより、回線ごとに、お

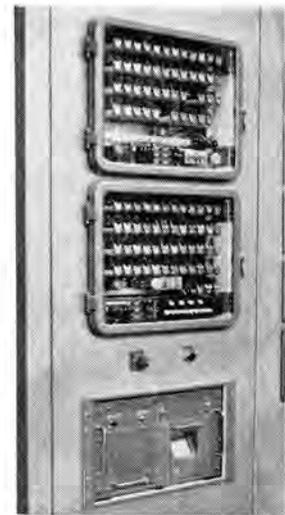


図 8.5 記録水位計と受信継電器  
Fig. 8.5 Water level printer and its receiving relays.

び全回線いっせいに時刻修正ができるようになっている。

## 9. む す び

以上、発電機、運転制御装置、配電盤の概要について記載したが、この発電所の機器に対しては新しい構想をもって設計製作にあたり、とくに励磁系の速応比については十分な検討を加えて業界にその例をみないすぐれた特性をうるることができたもので、今後はこの経験をもとにして一段と品質の向上をはかり顧客の要望にこたえたいと念願している。おわりにのぞみ、いろいろご指導、ご尽力を賜った関西電力の各位および当社の研究所の各位に厚く感謝の意を表する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 井関・三浦・生原・田附・安達： 田子倉発電所 105,000 kV 発電機，「三菱電機」，33, No. 9 (昭 34)。
- (2) R. A. Bandry, G. E. Peterson, G. D. Cooper: Oil Seals to Provide Positive Lubrication on Large or High-Speed Thrust Bearings, Transactions of The ASME, p. 819 (May, 1958)。
- (3) A.I.E.E. Committee Report: Proposed Excitation Systems Definition for Synchronous Machine, A.I.E.E. C.P. 59~179。
- (4) たとえば林重雄： 電力系統と AVR の速応比，電学誌，pp. 74~84 (昭 35-8)。
- (5) 立石： ユニット式照光模擬母線，「三菱電機」，34, No. 8, p. 42~46 (昭 35-8)。
- (6) 武田・林： 最近の記録積算計器，「三菱電機」，33, No. 7, p. 39~49 (昭 34-7)。
- (7) 清水・天藤・梅名： 田子倉発電所運転制御装置と配電盤，「三菱電機」，33, No. 9, p. 66 (昭 34-9)。

# スパミラー (ジェット機用ナライケタフライス盤) (1)

不二越鋼材工業株式会社

杉崎卓夫\*

三菱電機株式会社名古屋製作所

三浦鎌市\*\*・本間吉夫\*\*・和田義彦\*\*

蟹江邦雄\*\*・伊藤史郎\*\*

三菱電機株式会社 神戸製作所

武藤哲\*\*

## Spar Miller for Jet Aeroplane (1)

Fujikoshi Steel Industry Co.

Takuo SUGISAKI

Mitsubishi Electric Mfg. Co., Nagoya Works

Kamaichi MIURA・Yoshio HONMA・Yoshihiko WADA

Kunio KANIE・Shiro ITO

Mitsubishi Electric Mfg. Co., Kobe Works

Satoshi MUTŌ

Machining of jet aeroplane components needs special machine tools. A spar miller is one of them. It is for exclusive use of cutting the spar of the jet plane and its supply mostly used to depend on import to this country. Under the circumstances, a first home produced spar miller has been introduced herein by the writers, joint staff of Fujikoshi Steel Industry and Mitsubishi Electric Manufacturing with many problems to be taken care of in the design. The main point, according to the writers, is perfect coordination between mechanical and electrical devices so as to perform work of high precision at a high speed. As a machine it is a special profile milling machine consisting of numerous components.

### 1. ま え が き

音速にも比ぶべき高速度で高空を航行するジェット機の生産量は近年飛躍的に増大し、その高性能のために、翼、胴体などに要求される複雑な形状の加工を目的としてスパミラー、スキミラーといわれる大形の専用工作機械が出現し、高精度で短時間の工作が可能となって、わが国の航空機工場でも、一、二輸入機械が使用されてきた。

今回、不二越鋼材より最初の国産スパミラーとして富士重工業に納入された機械は航空機翼ケタ材に使用する超硬ジュラルミンの高速度切削加工を目的とする特殊のナライケタフライス盤で、その主要諸元は表1.1に示すように多数の構成部分にわかれる。専用の周波数変換機を電源とする高速度電動機2台を含む4個のカッターヘッドが個々に電動機に直結し、一体となってコンパクトに集約した構造でキャリアッジに取付けられ、キャリアッジ全体が長いベッドに沿って移動する

表1.1 主要諸元

項 目	性 能	記 事
ベッド	全長 12,300 mm 一区画 3,000 mm	切削長さ 10,000
キャリアッジ	全長 3,550 mm 総高さ 2,700 mm 総奥行 2,700 mm	電動機を含む
テーブル	幅 660 mm	
No. 1 カッターヘッド	電動機 45 kW 2 P 前後動-調整 3,000 rpm 上下動-ならい 100 mm 傾斜動-ならい 240~370 mm カッタ調整 上方 6度 下方 10度 カッタ軸径 上方 10度 下方 10度 45φ mm	200 V 50 c/s テーブル面よりスピンドル中心高さ
No. 4 カッターヘッド	電動機 75 kW 2 P 前後動-ならい 3,000 rpm 上下動-調整 100 mm カッタ調整 250~450 mm カッタ軸径 45φ mm	200 V 50 c/s テーブル面よりスピンドル中心高さ
No. 2 No. 3 カッターヘッド (各1個)	電動機 15/11,7.5 kW 前後動-ならい 2 P 9,000/6,000/3,000 rpm 上下動-調整 230 mm カッタ調整 70 mm カッタ軸径 290~510 mm 前方 15度 後方 15度 30度 後方 30度 48φ mm	600/400/200 V 150/100/50 c/s テーブル面よりカッタ取付軸端高さ
カッタ径	No. 1 No. 4 標準 150φ mm No. 2 No. 3 標準 260φ mm 60φ mm	最大 400φ mm
ガイドローフ径	No. 1 150φ mm No. 2 260φ mm No. 3 260φ mm No. 4 60φ mm	
キャリアッジ送り	電動機 1.5 kW 切削送り 200~2,000 mm/min 早送り、早戻し 4,000 mm/min	直流電動機 無段変速 { 寸行、自動送り、可能 一定 }
周波数変換機	出力 30 kW 600/400 V 150/100 c/s 電動機 25/13 kW 4/8 P	No. 2 No. 3 ヘッド用 200 V 50 c/s
切削油	タンク容量 300/3,000 mm ベッドセクション ポンプ容量 170l/min 揚程 8 m	
潤滑方式	強制	
電動機冷却水送り装置	200l/min	
エアコンプレッサ	10 kg/cm <sup>2</sup> 470l/min	電動機 3.7 kW
No. 4 ヘッド前後ならい装置	一式	
テーブルクリーナ、エアジェット装置	一式	
チップコンベヤ	一式	
動力線導入モノレール	一式	
ベッド重量	32 t	テーブルを含む
キャリアッジ重量	10 t	各カッターヘッドを含む

ようになっている。キャリッジの切削速度は電子管制御の直流電動機により連続的に調整可能であり、各制御盤、操作盤、リミットスイッチなどの制御装置と相まって、テーブル上の加工物に対し最適高性能の自動ナライ切削加工を可能にしている。

本文では一応機械関係、電動機、制御装置にわけて順次それぞれの構造、性能、特長を記述し大方の参考に資したいと考える。

## II. 機 械

### 1. 概 要

ナライタフライス盤は、航空機翼ケタの切削加工を目的として、高精度のならい、高出力、高速度切削の能力をコンパクトに収めたものである。

キャリッジのおおのこのカッターヘッドは、キャリッジがベッド上を走行するのに従って、テーブル上にとりつけられたフォームドパーにならって運動し、意図した形式に誘導されつつ加工を行なうものである。

### 2. 構 造

ナライタフライス盤は、ベッド、ベッドに固定されたテーブル

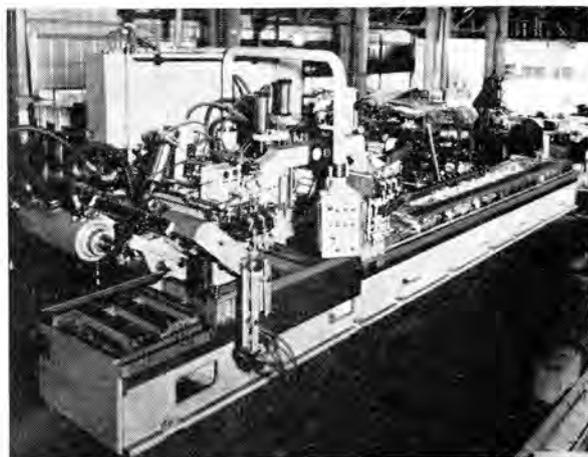


図 II. 2.1 ナライタフライス盤  
Fig. II. 2.1 Spar-miller.

・ベッドに沿って走行するキャリッジ、キャリッジに備えられた4個のカッターヘッド、および各種装置からなっている。その他キャリッジに動力を導くためのモジュール、切くずを排出するチップコンベヤを付属している。

#### 2.1 ベッド

ベッドは治具を取付けるテーブル、キャリッジを走行させるスライド面、およびラックを備えているほか切くずを受け取る目皿、切くずを排出させるためのスクルーコンベヤを備え、ベッド自体クーラントタンクを兼ねている。

ベッド本体は、1区画3,000 mmの長さを持ち、切削長さの必要に応じて、求める長さに組み上げられたものであり、切削長さの変化に応じて、将来継ぎ足すことも可能である。

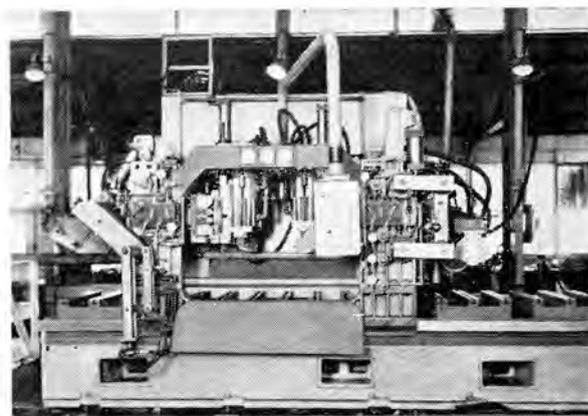


図 II. 2.2 キャリッジ前面  
Fig. II. 2.2 Carriage.

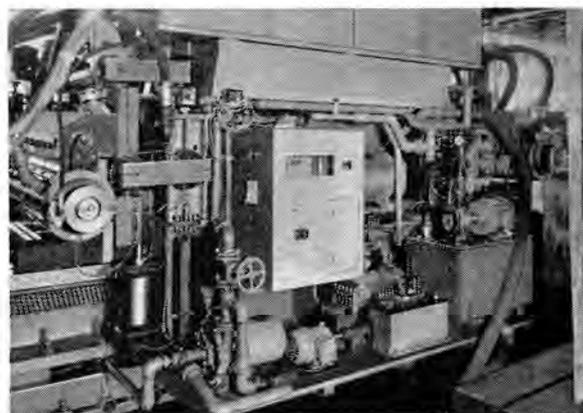


図 II. 2.3 キャリッジ背面  
Fig. II. 2.3 Carriage.

#### 2.2 キャリッジ

キャリッジは、その正面右より、No. 1, No. 2, No. 3, No. 4の各カッターヘッドを備え、またその背部には送り装置、切削油ポンプ、潤滑油ポンプなど各種装置を設備している。

キャリッジの送り装置は、1.5 kW 直流電動機に駆動されるピニオンが、ベッドに固定したラックにかみあって、送りを行なうようになっている。送り速度は、200~2,000 mm/minの切削送りを無段階にえらぶことができ、早送り、早戻しは、4,000 mm/minが可能である。(制御の詳細はV、キャリッジ送り制御装置参照)

#### 2.3 No. 1 カッターヘッド

No. 1カッターヘッドは、横形45 kW 3,000 rpmのカッター電動機を備えている。

No. 1カッターヘッドのならい運動は、上下方向の運動、およびベッド長手方向に対する垂直面内での傾斜(回転)運動、の2種類のならいが可能であり、必要に応じてそれらの複合したならいをさせることもできる。またカッターのセットのときに必要となるヘッドの位置の調整には、手動のネジ送りを用い、前後位置および傾斜角の調整ができるようになっている。

ならいの運動は、ヘッドの前面(作業側)に取付けた2個のローラ、またはその一方のローラをテーブル上に取付けたフォームドパーに沿ってころがらせつつならわせるも

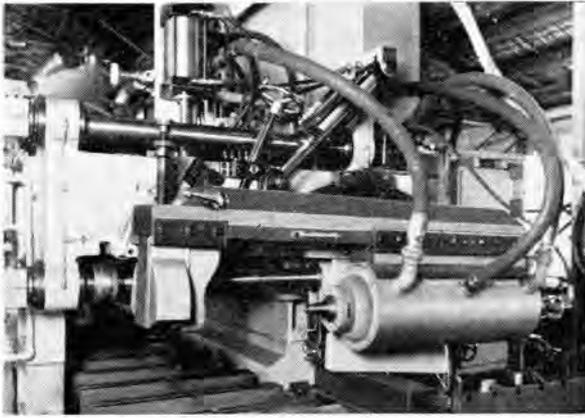


図 II. 2.4 No. 1 カッターヘッド  
Fig. II. 2.4 Cutter head No. 1.

のである。このローラは、ならい精度上の必要から、偏心、および径差を数  $\mu$  以内に押え、材質は強靱鋼を用い、表面硬度も高くしている。また本機では、150  $\phi$ 、260  $\phi$  のローラを準備したが、150  $\phi$  ~ 260  $\phi$  の間の寸法のローラも、必要に応じて取付けることができ、その取換えも容易である。なお、切削時に切込深さを調整する必要に備え、ローラの cutter-アパー に対する心の位置を、ネジ送りによって上へ 25 mm、下へ 11 mm の範囲で調整することができるようにしてある。

No. 1 カッターヘッドに傾斜ならいをさせる場合に、カッタがワークに対し円弧の運動をすることをさせて、図 II. 2.5 上の点「O」は、カッターヘッドの傾斜角のいかんにかかわらず、つねにテーラ中心線より一定の距離の線上にあるように設備したが、この機能によって、被加工物の形状を、相当広い範囲に求めることが可能になっている。

#### 2.4 No. 4 カッターヘッド

No. 4 カッターヘッドには、横形 75 kW 3,000 rpm のカッタ電動機を備えている。

No. 4 カッターヘッドのならい運動は、上下の方向の運動、

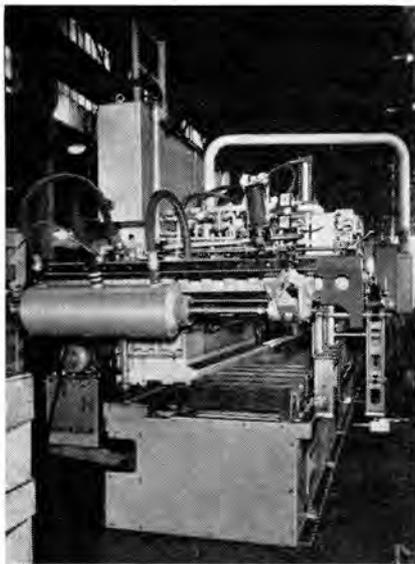


図 II. 2.6 No. 4 カッターヘッド側面  
Fig. II. 2.6 Cutter head No. 4.

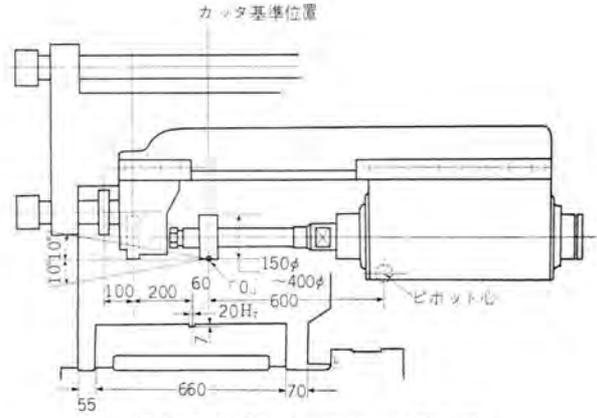


図 II. 2.5 No. 1 カッターヘッド側面図  
Fig. II. 2.5 Cutter head No. 1.

および前後の方向の運動が可能であり、またその複合したならいが可能である。ヘッドの前後位置の調整には、手動ネジ送り装置を設備している。

上下方向のならい運動は、No. 1 カッターヘッドと同様に、ヘッドの前部（作業側）に設備した高精度のナイローラによっており、また切込量の調整には、さらに広い範囲が可能であるような構造としている。

前後方向のならい運動は、カッターヘッドの前部に取付けたパイロットバルブ、および背部の油圧動力装置によって行なうもので、パイロットバルブを支持する腕をリンクにして、ヘッドの上下運動にともなって生ずるキャリッジとカッタースピンドル心との位相の変化に対応して、つねにパイロットバルブのスタイラスの位置を、カッタースピンドル心から一定の距離に保持させるような構造としている。

#### 2.5 No. 2 および No. 3 カッターヘッド

No. 2、および No. 3 カッターヘッドはおのおの、立形形 15 kW 9,000/6,000/3,000 rpm のカッタ電動機を備えている。

カッターヘッドのならい運動は、おのおの、前後方向、および

ヘッド長手方向に垂直な面内での傾斜（回転）運動の一方、またはその複合したならいが可能である。またネジ送りによって、カッタ電動機およびナイローラの前後方向位置の調整も可能である。

ならい運動は、各ヘッドの2個のローラまたはその一方のローラを、水平に置いたフォームバーにならわせるもので、ローラ径の精度、切込量の調整などは、No. 1 カッターヘッドのそれと同様である。

#### 2.6 切削油装置

非常な高速度、高出力で切削を行なう各カッタを十分に冷却するとともに、多量に出る切削くずを切削位置から排出する必要から、高容量の切削油タンクおよびポンプを設備している。

#### 2.7 潤滑装置

キャリッジの背部に潤滑油タンク、ポンプを



図 II. 2.7 No. 2 カッターヘッド  
Fig. II. 2.7 Cutter head No. 2.

設備して、キャリアのしゅう動面、キャリア送り装置をはじめ必要な各部分には強制潤滑を行なっている。

このほか、とくに高速回転をするカッタ電動機の軸受部では、オイルミストによる潤滑を行なっている。

## 2.8 エアユニット

各カッターヘッドのならい運動は、一部を除いて、空気圧を動力としているが、このならい運動を円滑にするための各装置を設備している。ことに、ならい圧力の正確な調整に意を用いている。

## 2.9 切くず排除装置

機械の稼働時に非常に多量に出る切削くずを、作業箇所から外部に排出するために、強力な排出装置を設備している。

## 2.10 動力導入装置

ベッド上を走行するキャリアに多量に送り込まなければならぬ電流、圧縮空気、モータ冷却水のコード、およびチューブは、それらをそこなわないように、モジュールおよび滑車を用いて、伸縮しながらキャリアに追従するような設備をしている。

## 2.11 操作盤

本機の構造上、作業者はつねにキャリアとともに移動しながら機械の操作を行なうことになる。したがって各カッターヘッドおよび各種装置の運転用の押しボタン、およびバルブハンドルは、キャリアの前面に集約して配置した。ことに押しボタン類は、作業者が運転するカッターヘッドの真近に接近し、観察しながら操作をできるように、ペンダントタイプにしている。(詳細はIV制御装置参照)

# 3. 治 具

被削物の翼ケタは、軽合金75Sの、厚みの薄い、長尺のものであって、しかも複雑な形状と高い精度とを要求されているものである。したがって治具は、長尺で複雑な形状をもち、かつ高精度を要求されるばかりでなく、変形しやすい被削物を、正確に、均一の力でクランプし、切削負荷に耐えさせなければならない。

ナライタフライス盤に、最初に準備した治具は、T-1A-国産ジェット機の主ケタ用治具であるが、上記の各難問のほかに、治具設備の経済的な問題、使用上の生産性の問題などもからみ、富士重工の協力を得ながら、長時日の研究によって完成したものである。

## 4. おもな特長

主要諸元の表1.1にも示したように、ナライタフライス盤は非常に高出力を有している。たとえば、No.4カッターヘッドは、1基で75kWの電動機に駆動され、4個のカッターヘッドの合計は、カッタ回転駆動の馬力だけで150kW(200馬力)である。実際の使用におけるデータでは、横形のカッターヘッドは、おのおの1分間に5,000cm<sup>3</sup>程度の体積を削り上げている。

しかも、比較的小容積である。各カッターヘッドおよびそ

他の装置を含めたキャリアの重量は、10t程度に取られている。

すでに構造の説明で述べたように、本機は、各カッターヘッドが、固定されたテーブル上を走行して、ならいつつ切削加工を行なう必要から、キャリアおよび各カッターヘッドは、切削抵抗、ならい圧力、自体の重量、の各力を十分バランスさせて、支持部にかかる抵抗をできるだけ小さくすること、ならい精度を保持させるために十分な剛性をもたせること、および強度を十分にすることの互いに相反する要求をもっている。ナライタフライス盤は以上の各必要を可能な限り集約させたつもりである。

例をあげれば、先に述べた75kWの横形電動機は、三菱電機の技術によるものであるが、不二越の意向を入れて、335φ×1,200のケースに収まっており、No.4カッターヘッド全体の重量は1.7t程度である。なおついでにのべれば、キャリアを走行駆動するのに必要な馬力は、切削時に0.2kW程度しかいらぬように設計されている。

さらに大きい特長として、切削速度の高いことがあげられる。横形カッターヘッドに、標準の260φmmのカッタを取付けた場合、切削時のカッタ周速は2,000m/minをこえる。2,000m/minをこえる切削速度は、フライス切削としては、文献にも例を求めることができず、不二越の超高カッタの技術においても経験がなかった。ことにカッタが大径であり、複雑な形状の上に非常に高精度を要求されている中で解決されなければならぬ。理論上はだいじょうぶとしながらも、実際の切削まで心配を重ねた問題の一つである。

この高速度切削の能力は、上述の高出力と相まって、実際の加工のデータでは、長さ3,000mmの被削物の一加工面を、6分間という短時間でどんどん削り上げている。

この高い切削速度、高い馬力での切削を発揮させるカッタスピンドルは、各カッタ電動機のスピンドルに直結する構造としている。したがってモータスピンドルは、同時に、高速回転をするフライスアパーでもある。これは、不二越の軸受の技術、およびスピンドル製作の技術を動員し、また三菱電機株式会社の協力を得て完成したもので、現在連日フル負荷の稼働に、威力を発揮している。このスピンドルには、構造、音響、潤滑に十分意をはらったが、振動についていえば、数μ以下の振幅に押えることができた。

なおフライスの方向には、ダウンカットを採っている。

本機の特長の今一つは、高精度のならい能力である。現在実際の稼働において、複雑な形状の切削面においても、ならい精度は10~20μの測定誤差内にある。

このならいが高精度であることは、先に述べたところの、力のバランス、十分な剛性、を本機が満足している証拠である。また、各ヘッドは、全体としてリンクの構造となっているが、その支持部一軸受の構造は、その部分

におけるクリアランス、および抵抗の大きさが、剛性とともにならない精度を左右する重要な問題であるので、本機はその軸受の構造にもとくに配慮をしている。

### 5. 稼働の状況

ナライケタフライス盤は、富士重工宇都宮製作所において、現在連日稼働しており、その威力を発揮しているが、その状況の概要を図 II. 5.1 および表 II. 5.1 に示す。

総じて述べれば、正味切削時間が非常に短いこと、わずかな前工程と後工程を残して、ほとんど仕上げられること、ならい精度が高く均一な製品を期待できること、またこれらに付随して、仕上作業、中間のゲキ作業をほとんど不要にすることなどの結果を得ている。

なおセッティングなどの準備作業時間については富士重工工業株式会社と互いに積極的な協力のもとに研究し、その低減にも相当の成果を収めることができた。

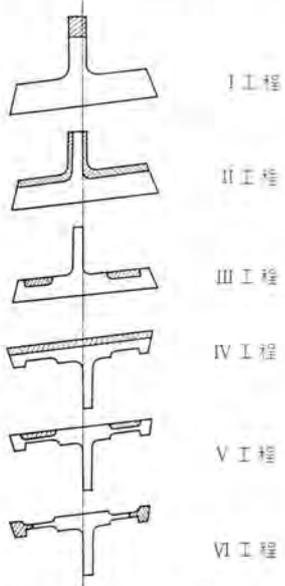


図 II. 5.1 切削の一例  
Fig. II. 5.1 A sample of cutting work.

表 II. 5.1 切削の一例 (図 II. 5.1 参照)

	工 程 番 号				
	I	II <sub>α</sub>	II <sub>β</sub>	III <sub>α</sub>	III <sub>β</sub>
カッターヘッド	No. 1	No. 4	No. 1	No. 4	No. 1
カッター寸法 (mm)	150φ×20	260φ×75×83.5度	260φ×75×96.5度	260φ×27×83.5度	260φ×27×96.5度
送り速度 (mm/min)	700	500	500	500	500
切込量最大 (mm)	12×40	70×25	70×25	27×10	27×10
最大所要出力 (kW)	14	38	38	10	10
切削回数	1	1	1	1	1
	工 程 番 号				
	IV	V <sub>α</sub>	V <sub>β</sub>	VI <sub>α</sub>	VI <sub>β</sub>
カッターヘッド	No. 1	No. 1	No. 1	No. 2	No. 3
カッター寸法 (mm)	150φ×155	150φ×35	150φ×35	60φ×30	60φ×30
送り速度 (mm/min)	500	500	500	300	300
切込量最大 (mm)		35×2	35×2	25×30	25×30
最大所要出力 (kW)		8	8		
切削回数	3	1	1	1	

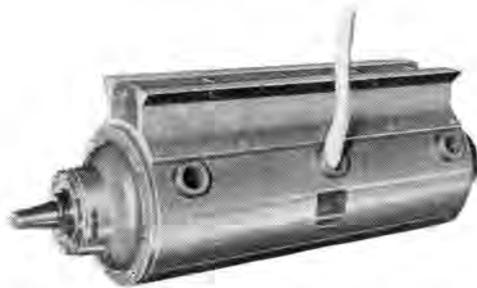


図 III. 2.1 No. 1 横軸カッター用電動機 MK 全閉形 水冷形 カゴ形回転子 100 S フレーム 45 kW 200V 50 c/s 2 極  
Fig. III. 2.1 Cutter head motor No. 1.



図 III. 2.2 No. 2 No. 3 立軸カッター用電動機 MK 全閉形 立形 水冷形 カゴ形回転子 80 S フレーム 15/11/7.5 kW 600/400/200 V 150/100/50 c/s 2 極  
Fig. III. 2.2 Cutter head motor No. 2 and No. 3.

ライス盤である。

カッター用電動機は横形2機種、立形2機種、計4機種が装備され、とくに立形2機種は別に装備された周波数変換装置により3種の周波数で駆動される。

走行するキャリッジに取付けられ、しかもカッターを直結するため、カッター用電動機には外形寸法の制限はもちろん、各部分の寸法精度や軸端の振れ、軸方向の遊び、さらに振動などに対してきわめて高精度のものが要求される。

今回わが国最初のスパミラー用電動機を製作、納入したので以下本論においてそれら各種の交流電動機について構造、性能の解説とその特長の概要を紹介する。

### 2. カッター用電動機

#### 2.1 仕様

##### (1) No. 1 横軸カッター用電動機

MK 全閉形 水冷形 カゴ形回転子 100 S フレーム 45 kW (2×22.5 kW) 200 V 50 c/s 2 極 3,000 rpm 30 分定格 B 種絶縁 温度上昇限度 95°C 振動 V-5 級 冷却水量 57 l/min

##### (2) No. 2 および No. 3 立軸カッター用電動機

MK 全閉形 水冷形 カゴ形回転子 80 S フレーム 15/11/7.5/kW 600/400/200 V 150/100/50 c/s 2 極 9,000/6,000/3,000 rpm 連続定格 温度上昇限度 75°C 振動 V-5 級 冷却水量 45 l/min

##### (3) No. 4 横軸カッター用電動機

MK 全閉形 水冷形 カゴ形回転子 200 S フレーム 75 kW (2×37.5 kW) 200 V 50 c/s 2 極 3,000 rpm 30 分定格 B 種絶縁 温度上昇限度 95°C 振動 V-5 級 冷却水量 94.7 l/min

それぞれの外観写真を図 III. 2.1, III. 2.2 および図 III. 2.3 に、また外形寸法を図 III. 2.4, III. 2.5 および図 III. 2.6 に示す。



図 III. 2.3 No.4 横軸カッタ用電動機  
MK 全閉形 水冷形 カゴ形回転子 200 S フレーム  
75 kW 200 V 50 〇/s 2 極  
Fig. III. 2.3 Cutter head motor No. 4.

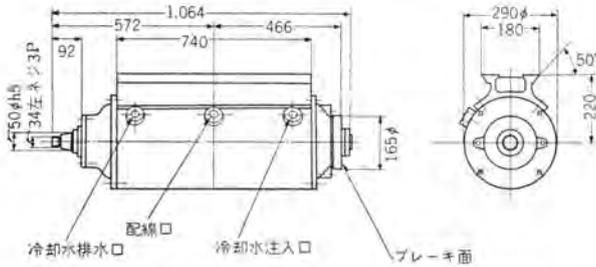


図 III. 2.4 No.1 横軸カッタ用電動機外形寸法図  
Fig. III. 2.4 Cutter motor No. 1.

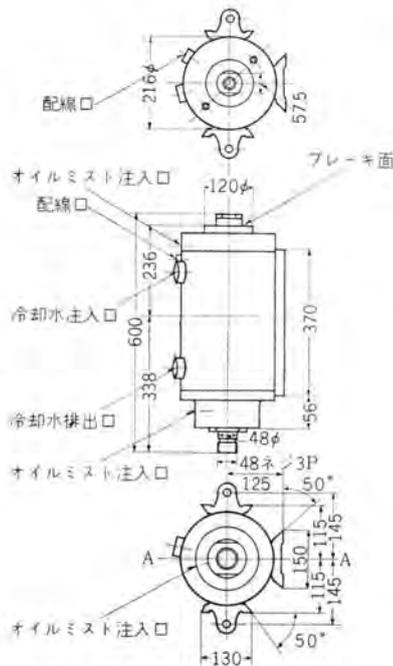


図 III. 2.5 No.2, No.3 立軸カッタ用電動機外形寸法図  
Fig. III. 2.5 Cutter motor No. 2 and No. 3.

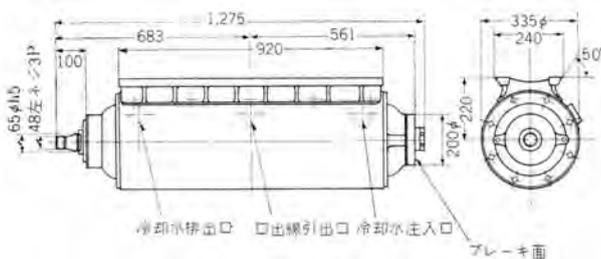


図 III. 2.6 No.4 横軸カッタ用電動機外形寸法図  
Fig. III. 2.6 Cutter motor No. 4.

## 2.2 特長

この電動機はキャリッジに取付ける構造のため、外径をひじょうに制限され、とくに No.1 および No.4 横軸カッタ用電動機は図に示すように細長いフレーム内に称出力の半分の出力の同一仕様の電動機 2 台をダブルに配置した構造を採用している。冷却は全閉の二重になったフレーム内に冷却水を貫流させる強制水冷方式を採用している。これら電動機の特長は下記のとおりである。

- (1) 出力に比較してその外径寸法はひじょうに小さく制限され、したがって軸方向に長くなった構造である。
- (2) 横軸カッタ用電動機は同一出力の電動機を十分な強度の一つのフレーム内にダブルに配置し、したがって回転子も同軸上に 2 個装置されている。
- (3) 適正な軸強度があり、軸たわみは少なく危険速度は十分高くまた動的バランスは完全にとっている。
- (4) 軸受には超精密級ボールベアリングを使用し、とくに負荷側軸受は 2 個のアンギュラコンタクトベアリングをプレロードをかける構造に組立て、軸方向の遊びを完全になくしている。上記のように回転子のバランスは十分とっておるため振動精度はきわめて高い。

(5) また立軸カッタ用電動機は反負荷側(上側)にもアンギュラコンタクトベアリングを使用し、プレロードスプリングによりプレロードを上向きにかけ構造に組立て軸方向の遊びを完全になくしている。なお高速回転のためオイルミストによる噴霧潤滑方式を採用している。

(6) 負荷側軸端のテーパ軸はゲージに合わせて精仕上げを行なっているためカッタ直結が完全に行なわれる。

(7) 各部分は精密機械加工され、きわめて高い寸法精度をもっており、軸心と取付中心とのアライメントは完全である。

(8) 反負荷側にブレーキを取付けることができる構造となっている。(図 III. 2.7)

(9) 冷却水の貫通する通路には特殊な構造を採用し、その冷却は効果的であり、また水密にも完璧を期している。

(10) 冷却水は電動機冷却後は切削剤として使用される。

## 2.3 構造

- (1) 横軸カッタ用電動機



図 III. 2.7 立軸カッタ用電動機ブレーキ座  
Fig. III. 2.7 Brake disc of cutter motor.

75 kW 電動機の組立図を図 III. 2. 8 に示している。

a. フレーム

鋼材を溶接した十分な強度をもった二重構造のもので溶接後焼鈍してヒズミ取りを完全に行なっている。全閉の内設内部に固定子を納め、外周は冷却水通路となっており、冷却水は内設板に溶接した隔壁により固定子外周を回転しながら注水口より排水口へ流通する。(図 III. 2. 9)

巻線および絶縁処理を完了した固定子を圧入後フレームの端面、はめ込部分および固定子内径を精仕上げし軸心および端面の直角度を完全にしている。フレーム端面加工の一例を図 III. 2. 10 に示している。

b. 固定子

固定子巻線は B 種絶縁を採用し絶縁の信頼性を高めている。2 個の固定子は巻線し、ワニス処理後フレームにそれぞれ両側より圧入して組立てる。両固定子の巻線は相回転を同一にするよう注意が払われている。

c. 回転子および軸

回転子は図 III. 2. 11 に示すとおり同一軸に 2 個の回転子を装置している。軸受間隔がきわめて長い構造であるが、軸は十分な強度を持ち、危険速度は運転速度に対して十分高くとっている。負荷側軸端はテーパ軸とし、焼入処理を行なっている。回転子組立後動的バランスを完全にとっているので振動精度はきわめて高い。

d. 軸受および潤滑

軸受は負荷側をガイド軸受、反負荷側をフリー軸受と

している。負荷側は アンギュラコンタクトボールベアリング 2 個を背面組合せとし、中間にスペーサを入れ、それぞれ内外輪を締付けてプレロードをかけ、軸方向の遊びを完全になくする構造としている。反負荷側は ラジアルボールベアリング 1 個を使用しており、いずれのベアリングも超精密級である。潤滑は潤滑性、耐老化性のすぐれた グリス を使用している。

(2) 立軸カッタ用電動機

電動機の組立図を図 III. 2. 12 に示している。立軸カッタ用電動機は横軸カッタ用電動機とフレーム組立構造はタレット形でない以外ほぼ同一であるが、立軸形構造であり、さらに下記が異なっている。

a. 固定子コイル

オイルミスト潤滑による油の付着、水冷却による温度変化で水滴の生ずることがあるなどの点を考慮してコイルエンド被覆を行なって保護し、絶縁ワニス含浸を十分行なってコイル全体の機械的強度を大きくしてある。

b. 軸受および潤滑

最高 9,000 rpm の高速回転でしかもスラスト荷重が大きく、その上軸端径の限定など、軸受設計上の制約があり、形番の選定、潤滑方式の決定については十分な検討を行なっている。ベアリング形番は負荷側 17311 DT SP 1 組 反負荷側 7307 SP 1 個を使用し、反負荷側にプレロードスプリングを入れ図 III. 2. 12 のとおりコンパクトな構造としている。DN 値が約 500,000 となるため潤滑はオイルミスト

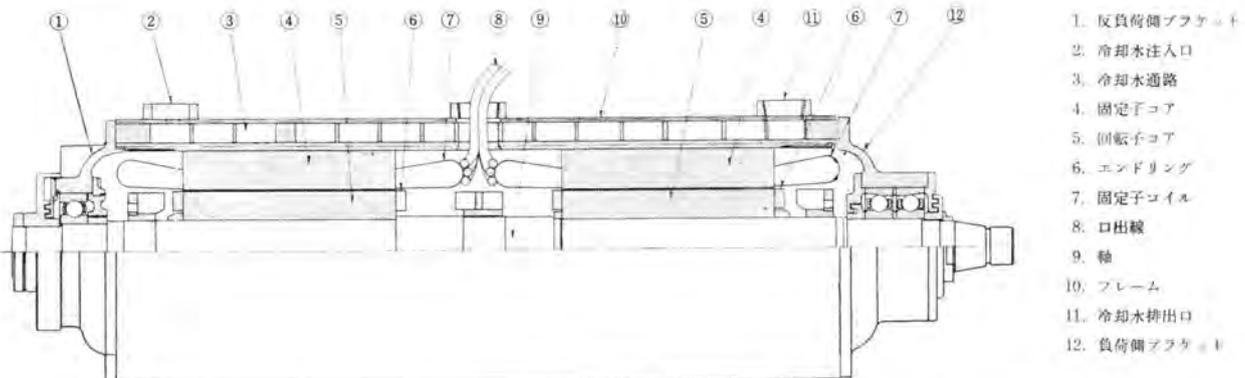


図 III. 2. 8 横軸カッタ用電動機組立図  
Fig. III. 2. 8 Cutter motor No.1 and No.4.



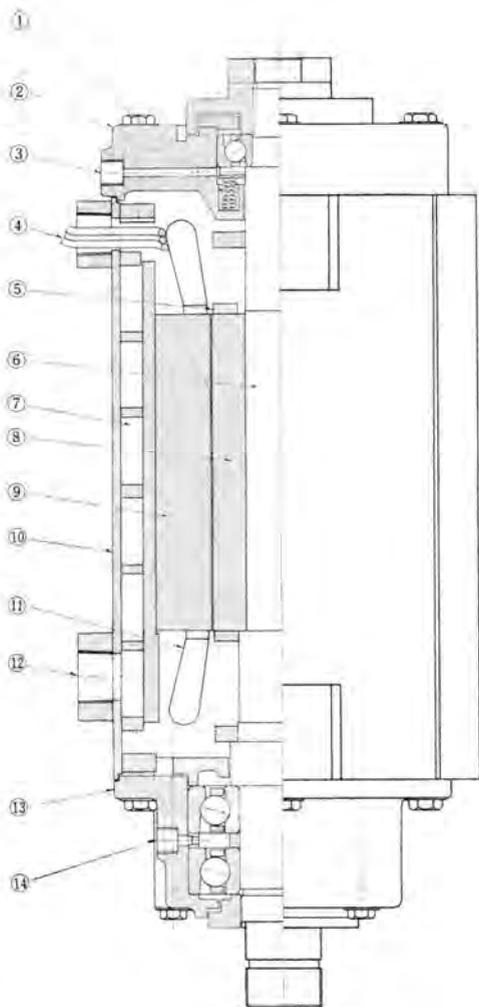
図 III. 2. 10 フレーム加工  
Fig. III. 2. 10 Cutting of cutter motor frame.



図 III. 2. 9 横軸カッタ用電動機冷却水通路  
Fig. III. 2. 9 Coolant way of cutter motor.



図 III. 2. 11 横軸カッタ用電動機回転子  
Fig. III. 2. 11 Rotor of cutter motor.



- 1. プレロードスプリング
- 2. 反負荷側ブラケット
- 3. オイルミスト入口
- 4. 口出機
- 5. エンドリング
- 6. 軸
- 7. 冷却水通路
- 8. 回転子コア
- 9. 固定子コア
- 10. フレーム
- 11. 固定子コイル
- 12. 冷却水排出口
- 13. 負荷側ブラケット
- 14. オイルミスト入口

図 III. 2.12 立軸カッタ用電動機組立図  
Fig. III. 2.12 Cutter motors No. 2 and No. 3.

表 III. 2.1 カッタ用電動機特性表

用途	No. 1 カッタ用	No. 4 カッタ用	No. 3 および No. 4 カッタ用		
出力 (kW)	45	75	15	11	7.5
極数	2	2	2		
電圧 (V)	200	200	600	400	200
周波数 (c/s)	50	50	150	100	50
定格電流 (A)	190	306	22	23.4	30.1
効力率 (%)	85.0	85.8	91.8	91.3	84.8
負力率 (%)	80.5	82.7	71.5	74.5	85.0
スベリ (%)	4.6	5.2	1.6	2.0	7.3
最大出力 (%)	204	177	329	289	176
停止トルク (%)	250	211	370	327	231
特起トルク (%)	140	108	110	110	228
電流 (A)	832	1175	128	128	128
コイル抵抗法 (°C)	81.0	83.5	32.5	29	42
温度上昇					
コイル (°C)	—	6.0	—	—	—
フレーム (°C)	1.0	1.0	0.5	0.5	4.0
負荷側軸受 (°C)	13.5	17.0	18.0	17.5	15.0
反負荷側軸受 (°C)	18.5	17.5	3.0	1.0	2.5
冷却水 (°C)	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
冷却水量 (l/min)	57	94.7	45		
振動測定					
軸と水平方向 μ	0	1.0	4.5	4.0	1.0
反負荷側 μ	0	2.4	3.0	2.0	1.2
軸と直角方向 μ	4.2	3.8	3.5	2.0	2.5
水平方向 μ	4.8	3.9	2.5	2.2	2.5
反負荷側 μ	4.2	3.2	3.0	2.5	3.5
上下方向 μ	4.4	3.8	1.0	2.0	3.0

による噴霧潤滑方式としている。

### c. 回転子

回転数がきわめて大きい軸の固有振動数をとくに大きく設計し、危険速度は約 15,000 rpm で最大回転数の 1.7 倍となっている。振動階級を高くするため動的バランスをとくに入念にとっている。

### 2.4 寸法精度

機械に組立て、カッタを直接取付け、高速度で回転させるために電動機の組立寸法精度は 1/100 mm オーダのきわめて高度のものが要求されている。とくに精密機械により入念な加工を行なって製作しており、精度はきわめて高く所期の要求値を十分満足している。

### 2.5 性能

機械に組立てるための寸法的な制約によって電動機は出力に比較して外形寸法はきわめて小さく、強制水冷による十分な冷却効果を考慮してコアの磁束密度および導体の電流密度は通常の電動機に比較してひじょうに高い値をとっている。

各電動機の試験結果を表 III. 2.1 にまとめている。

## 3. 周波数変換機

### 3.1 仕様

No. 2, No. 3 立軸カッタ用電動機は 50 c/s, 100 c/s および 150 c/s と周波数をかえることにより速度制御される。50 c/s の場合には直接電源より供給されるが、100 c/s と 150 c/s 用としては 30 kW の誘導周波数変換装置を製作した。

この装置は周波数変換機として誘導周波数変換機を、駆動電動機として三相誘導電動機を使用したもので、その仕様は表 III. 3.1 に示されている。

### 3.2 特長

この誘導周波数変換装置は次の特長をもっている。

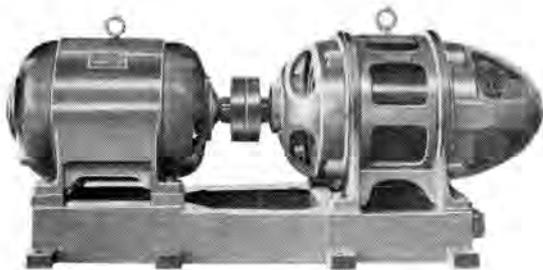
- (1) 周波数の変換は駆動電動機の極数の切換えによって行なわれるから操作が簡単で確実である。
- (2) 電圧変動率は実用状態において 10% 以内であり、周波数変動率は 1.0% 前後できわめてわずかである。したがってカッタ用電動機 の速度変動率を 3% 以内に押えることができた。
- (3) 構造が簡単で堅牢である。

### 3.3 構造

この周波数変換装置を図 III. 3.1 に示す。図で明らか

表 III. 3.1 誘導周波数変換装置仕様

	誘導周波数変換機		駆動電動機
出力 (kW)	30	30	26/13
極数	8	8	4/8
出力周波数 (c/s)	100	150	
駆動回転数 (rpm)	750	1500	
電源電圧 (V)	200	200	200
周波数 (c/s)	50	50	50
電流 (A)	75.8	57.7	89.5/66.5
出力電圧 (V)	400	600	
電流 (A)	50.3	33.6	
力率 (%)	86	86	
型式	MS 0		SB K1
ワケ番号	650 Fr.		2845 Fr.



周波数変換機 MS 開放形 巻線形回転子 650 フレーム 30 kW 8 極  
電源側 200 V 50 c/s 出力側 400/600 V 100/150 c/s  
駆動電動機 SB 閉鎖防錆形 カゴ形回転子 2845 フレーム 26/13 kW 200 V  
50 c/s 4/8 極

図 III. 3.1 30 kW 誘導周波数変換装置  
Fig. III. 3.1 30 kW Cycle changer.

なように周波数変換機と駆動電動機とは共通台床上にて直結されている。両者ともポールパリングを使用している。周波数変換機に使用されているバインド線には非磁性鋼線を使用して二次周波数による損失の増加を防止するよう考慮を払っている。周波数変換機には当社標準の開放形を、駆動電動機は閉鎖自己通風形を採用した。

### 3.4 性能

100 c/s、150 c/s 共用のためには駆動回転数を変化させなければならない。このために駆動電動機には 4/8 極の極数変換電動機を使用し、100 c/s のときは 8 極、すなわち 750 rpm、150 c/s のときは 4 極、すなわち、1,500 rpm にて駆動する方法を採用した。周波数変換機の極数には 8 極が選定してあるから一次側回転磁界と逆方向に上記速度で回転させれば 750 rpm のときスベリは 2 となり、二次周波数は 100 c/s となり、1,500 rpm のときスベリは 3 となり 150 c/s が得られる。100 c/s、150 c/s のときの特性はそれぞれ図 III. 3.2 および 図 III. 3.3 に示される。この装置の総合効率は 100 c/s の場合 88.2%，150 c/s の場合 89.8% で、電圧変動率は 100 c/s のとき 13.5%，150 c/s のとき 9.15% で、100 c/s の場合出力が 22.5 kW としたときの値は 9.82% で、いずれも実用状態においては 10% 以内の良好な値を示した。また周波数変動率は 100 c/s の場合 1%，150 c/s の場合 1.5% でひじょうに良好な値を示している。したがってカッタ用電動機は負荷の変動によっての速度変化はひじょうに少なく、100 c/s、150 c/s とともに 3% 以内に収めることができた。

## 4. 補機電動機

上記以外に使用される補機電動機として油圧機構用の油圧ポンプ駆動用、油移送用ポンプ駆動用、切削粉搬出用などがあり、それぞれの仕様は下記のとおりである。

### (1) クラップ用油圧ポンプ用電動機

SF-A 形 1.5 kW 200 V 50 c/s 6 極 連続 1314 フレーム

### (2) ならい用油圧ポンプ用電動機

SF-A 形 0.4 kW 200 V 50 c/s 6 極 連続 1111 フレーム

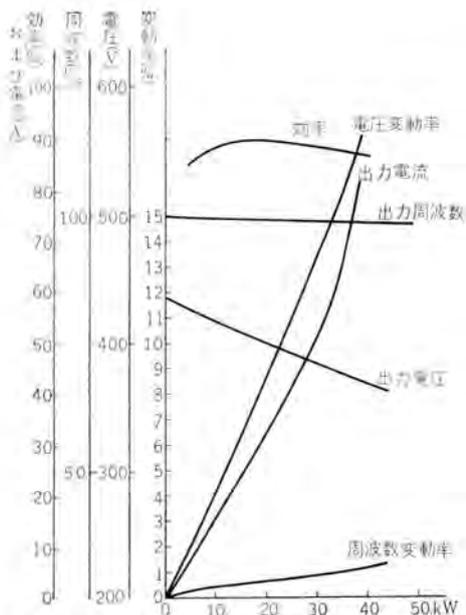


図 III. 3.2 30 kW 誘導周波数変換機特性曲線  
100 c/s のとき 負荷率 86%  
Fig. III. 3.2 Characteristic curve of 30 kW cycle changer. (100 c/s  $\cos \phi = 0.86$ )

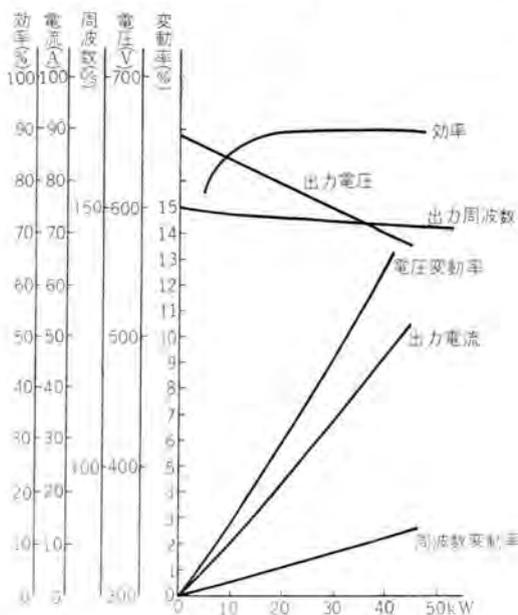


図 III. 3.3 30 kW 誘導周波数変換機特性曲線  
150 c/s のとき 負荷率 86%  
Fig. III. 3.3 Characteristic curve of 30 kW cycle changer. (150 c/s  $\cos \phi = 0.86$ )

### (3) 潤滑油ポンプ用電動機

SF-A 形 0.2 kW 200 V 50 c/s 4 極 連続 910S フレーム

### (4) 切削粉搬出コンパ用電動機

SF-A 形 1.5 kW 200 V 50 c/s 4 極 連続 1114 フレーム

### (5) 切削粉搬出エレベータ用電動機

SF-A 形 0.75 kW 200 V 50 c/s 4 極 連続 1111 フレーム

(6号につづく)

# 模 擬 送 電 線 設 備

神戸製作所 北浦孝一\*・三上一郎\*\*・関 晃\*\*

## Artificial Transmission Line

Kobe Works Koichi KITAURA・Ichirō MIKAMI・Akira SEKI

Expansion of the power system is remarkable nowadays. Its complication harasses the power engineers greatly in operation. They can hardly get along without dependable protective devices and control equipment for use with the transmission lines. Development and study on them individually are no longer satisfying under the circumstances. This makes it necessary to build an artificial transmission line with which analysis on the whole power system is to be made for the determination of all the apparatus. Mitsubishi has strived for years in the study and construction of an artificial line unparalleled in the scale, as well as in the equipment.

### 1. ま え が き

電源開発の進捗にともない、重要送電線の 신설、連けいが増加し、電力系統の保護継電装置・制御装置の使命も一段と重要度を増してきた。したがって、従来のように単に各製品個々の性能を対象に研究開発試験していたのでは不十分で、系統全体の解析を行ない、方式を決定し、その方式を満足するため関係を有する電力系統全体の各端局設備を包括した装置全体の性能が十分その使命を満足するか否かを検討しなければならなくなってきた。三菱電機ではこのすう勢にかんがみ昭和30年ころから模擬送電線設備の必要性を痛感し、約4年間その構想を練り約1年の製作期間を経て、昭和35年8月後述のような、規模においても、内容の充実している点においても他に類を見ない模擬送電線設備 (Artificial Transmission Line 以下略して A. T. L.) の第1期工事を完成した。

A. T. L. は電力系統の諸現象を解析するための一種のアナログコンピュータであるから、同一類系の交流計算盤とその利用価値範囲を混同されがちであるが、交流計算盤は諸現象を計測する目的だけに使用されるため、回路エレメントの小形化を計り、数100サイクルの高周波電源を使用し、容量も小さいものですませている。しかし、電源機数、エレメント数を多数用意しており、系統構成の複雑な多機系統の定常運転特性、故障定態時の現象などを定量的に解析するには便利である。これに対し A. T. L. の電源周波数は実系統と同一であり、かつ三相回路に構成されているので、各種の過渡現象で原因の究明されていないものを定量的に実験したり、実系統にて PT CT 二次回路に設備する保護継電器・制御機器などを実際に駆動してその良否を判定する設備としては、交流計算盤とは別になくはならないものである。

この A. T. L. の新設運用により、従来不可能であった各種開発研究・性能試験が新たに可能となり、当社の技術開発の推進・品質の向上に寄与するところ大なるもの

がある、以下に A. T. L. を用いて新たに行ないうる解析あるいは実験の具体例を列挙する。

- A 系統保護に関する開発研究試験
  - A-1 各種継電器の過渡特性試験ならびに協調試験
  - A-2 系統動揺および脱調現象に関する開発研究試験
  - A-3 多重故障対策ならびに再閉路方式に関する開発研究試験
  - A-4 多端子系保護に関する開発研究試験
  - A-5 その他特殊系統 (直列コンデンサ挿入系、ケーブル系など) 保護に関する開発研究試験
- B 系統異常現象に関する開発研究試験
  - B-1 特殊系統 (消弧リアクトル系、直列コンデンサ挿入系、ケーブル系統など) に発生する異常現象の解析と防止対策の開発研究試験
  - B-2 一般系統に発生する異常現象発生原因とその対策に関する開発研究試験
  - B-3 強制並列に関する開発研究試験
- C 発電機 (発電機、調相機、変圧器、母線など) 保護に関する開発研究試験、各種継電器の過渡特性試験ならびに協調試験
  - (とくに励磁方式に関する開発研究試験・飽和現象に関する開発研究など)
- D 電力制御に関する開発研究試験
  - D-1 各種自動制御装置の過渡特性試験および系統安定度に及ぼす影響の解析、その他
  - D-2 系統安定度に影響を及ぼす諸条件の解析
  - D-3 各種電力制御方式の開発研究試験

### 2. 三菱 A. T. L. の特長

A. T. L. は電力系統の模型であり、PT CT 二次回路に接続される各種保護継電器、制御装置の動作試験用設備であり、各種現象解析の設備であるから、その特性として、

実系統との相似性がまず第1の問題となる。この相似性

を失わず極力小規模に設計製作することが、A.T.L.設備設計の要旨であり、かつ特長ということになるので、本章ではこのA.T.L.がいかなる考えの元に製作されたかを説明する。

### 2.1 使用電圧・電流

まずA.T.L.の使用電圧・電流を実系統の何分の一にするかということとそのA.T.L.の規模はほぼ決定する。小規模にするにはこの縮尺比をできるだけ小とするのにこしたことはないが、あまり小とすると試験設備に供給する電圧電流から、電流コイルインピーダンスが実系統のインピーダンスに直列にはいる計算となり、電圧コイルインピーダンスが実系統において相当大なる負荷をかけた現象となるのでおのずと制限が生ずる。実系統の一般のCT負担40VA、PT負担100VAを考え、直列にはいるインピーダンスがCT比5A/5Aのとき $j1.6\Omega$ 約3.2km分、CT比20/5のとき $j0.1\Omega$ 約200m分となる程度ならさして問題とならず、並列にはいる負担がPT比に関係なく300VA程度ならばよいと考え電圧電流を実系統の1/100と定めた。このことはインピーダンス・アドミタンスとも実系統と同じということになり、かつCT比PT比も実系統の1/100となっているので、CTPT一次電流タップとして実系統の1/100のものを使用して試験した場合は、まったく整定を変更せずそのまま実系統に適用できるという特長をもつことになる。また容量は実系統の1/10,000となり、この程度の機器ならば実系統機器に比し多少抵抗分が増大するだけで、実験の主目的にはずれた特性のものとなる恐れはない。

### 2.2 端子電源総容量と電源機数

三菱A.T.L.は前述のような研究試験を少なくとも今後30年間に発展する系統に対して行ないうよう第1期・第2期・第3期の工事が計画されている。系統総容量は現在の東京系統・関西系統がそれぞれ約250万kVAであるが将来の増加を見越して560万kVAを考慮し、端子電源総容量を560kVAにするよう計画している。これを何機かの電源に分割するわけであるが、多端子継電方式の検討および多機系統の電力協調制御の実験が可能となるよう第1期工事では端子電源として水力50kVA、火力50kVA、火力200kVAのM-G3台を完成した。

### 2.3 端子電源の特長

小形の発電機で大形発電機の諸特性に合ったものを製作することには相当の困難を伴ったが製作された各端子諸定数は大形機のそれと第4章に示すようによく合致している。電機子回路時定数 $T_d$ が小なることはいかんともなしがなく、突発短絡電流の直流分の減衰は早い。界磁回路時定数は後述の制御方式により実用上十分支障ない程度延ばすことができた。

また各発電機には固定子を手動で回転しうるパイロット正弦波発電機をつけて内部相差角測定を可能ならしめ、フライホイールを設けて慣性常数を4段に切換えうるようにするとともに、水力50kVA発電機に対しては特種の構

造を採用し簡単にタップ巻線の着脱を可能にしている。

原動機は現在分巻直流電動機としており実系統の水車またはタービン特性と異なるが、これも第2期工事において定入力制御を行ない、その入力を模擬がナで加減する方法により実系統のそれと合致せしめる計画である。

### 2.4 線路常数が超高压線路に合致していること

線路は $610\text{mm}^2$  A.C.S.R.を275kV2回線標準鉄塔に懸架した超高压送電線の常数と一致せしめている。線路常数はこのような線路は低圧線路よりも $R/X$ が小となるが、このような系統で実験すれば、異常電圧の発生、安定度実験時に故障発生時の発電機速度上昇が大となり、この装置での実験結果は低圧系統模擬の線路で行なった実験結果より苛酷な条件となり、また距離継電器試験のようなものに対しては整定インピーダンス角を変更すればすむし、もし抵抗分の多い線路の模擬が必要なときは抵抗を追加すればよいのでこのようにした。また線路単位の距離は10km $\pi$ 回路としこれを縦続接続したが、この単位の長さは、測定に使用する電磁おシロの周波数範囲3kc程度までなら完全な分布常数と比較して、1%以内の誤差ですむようにしたものである。線路長は現在最長の超高压送電線端子間距離が成出一枚方間230km2回線であるゆえ240km2回線とした。

なお第2期第3期において架空線およびケーブル系統増設の予定である。

### 2.5 系統切換盤とシャ断器多数を設けたこと

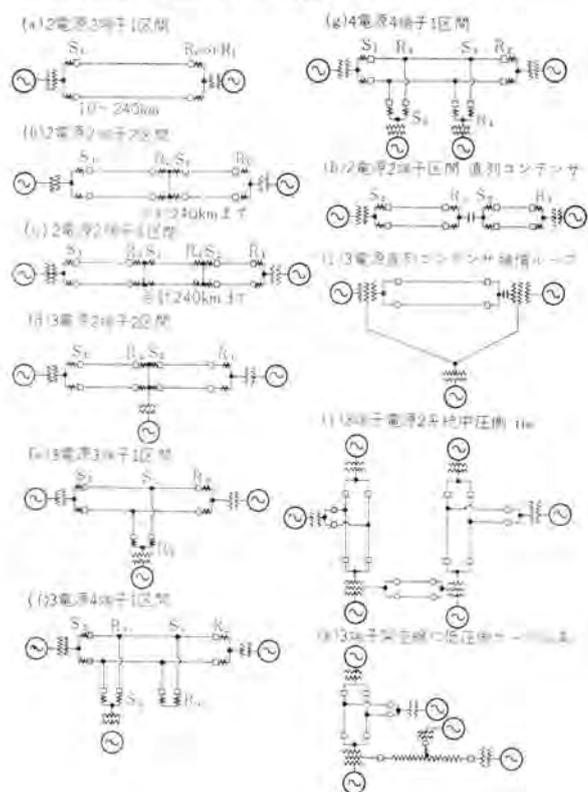


図 2.1 系統切換盤により簡単に構成しうる系統  
Fig. 2.1 Typical power system to be capable of composing by change over.

試験することに試験系統を構成する場合の接続換えがスイッチ操作一つで可能なように系統切換盤をもうけ、各端子各回線にもれなく PT、CT を設置した。この接続図は次章に示すが、この系統切換盤によって図 2.1 のような系統がスイッチ操作一つで簡単確実に構成される。なお図中 (a)~(f) は現在設備でも容易に構成されるもので将来は (g)~(h) も比較的良好に使用される系統である。また PT は各端子 2 個ずつ設け、1 個は母線側へ、1 個は母線側と CT の線路側に切換えうるようにし、至近端故障時の記憶作用動作試験の完璧を期した。またシ断器は平行 2 回線 2 端子多相同時再閉路方式の実験が可能のように 単相シ断器 12 台を設け、また別の端子にはそれぞれの各回線ごとに 三相シ断器 1 台ずつを設けた。

### 2.6 発電機および変圧器内部故障発生端子

送電線だけでなく発電機および変圧器の内部故障時におけるおのおのの保護継電器動作が試験できるように水力 50 kVA 発電機には図 2.2 に示すようなタップを巻線中間から引出しこれにより故障実験ができるようにし、そのとき接続すべき リレー に供給する電圧電流も図 2.2 に示すように PT CT をもうけて取出せるようにした。また変圧器故障試験は火力 200 kVA 用変圧器に図 2.3 のようにタップを出し内部故障試験ができるようにした。この場合の使用 PT CT はそれぞれ一次側および二次側に入れたものを使用するように計画している。

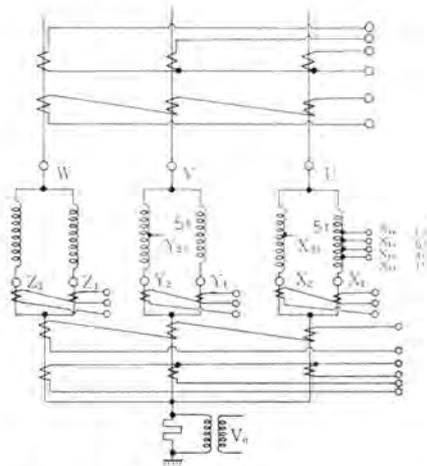


図 2.2 水力 50 kVA 発電機内部故障発生用タップ

Fig. 2.2 Fault taps of the 50 kVA water-wheel generator.

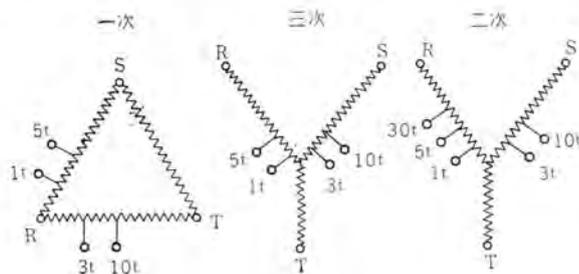


図 2.3 200 kVA 変圧器内部故障発生用タップ

Fig. 2.3 Fault taps of the 200 kVA transformer.

### 2.7 計測盤を設けたこと

各種現象の計測および被試験機器駆動のため、高圧側・低圧側・各変圧器中性点 PT CT の二次回路は計測盤に集め、この端子を前面および背面に共通に出し、背面に被試験機器を接続して試験すると同時に前面の端子で計測できるようにした。このほか計測盤には各シ断器のトリップクローズ端子、測定用 AC および DC 電源端子をもうけて測定が便となるようにした。

以上三菱 A. T. L. の特長をのべたが、このうち電源容量の大きいこと、系統切換盤を設けたことは他に類を見ない特色であり、この容量で高圧側 660 V 端子で三相短絡を行なった電流は 393 A となり被試験機器の駆動力としては十分だけでなく、過電流試験も同時に行なうことができる。

## 3. 模擬送電線の構成

### 3.1 概略構成

現在の三菱模擬送電線の概略構成は次のとおりである。すなわち

- (1) 回転機 6 セット
  - (a) 主電源  
(550 kW 同期電動機) + (250 kW 直流発電機) × 2
  - (b) 励磁機第 1 群  
(37.5 kW 誘導電動機) + (3 kW 直流発電機) + (5 kW 直流発電機) + (10 kW 直流発電機) + (30 kW 直流発電機)
  - (c) 励磁機第 2 群  
(3.75 kW 誘導電動機) + (5 kW 直流発電機) × 3
  - (d) 水力 50 kVA 電動発電機 (図 3.1 参照)  
(50 kW 直流電動機) + (8 極 50 kVA 三相交流発電機) + (500 W 三相交流発電機) × 2
  - (e) 火力 200 kVA 電動発電機  
(180 kW 直流電動機) + (4 極 200 kVA 三相交流発電機) + (500 W 三相交流発電機)
  - (f) 火力 50 kVA 電動発電機  
(50 kW 直流電動機) + (4 極 50 kVA 三相交流)



図 3.1 水力 50 kVA 電動発電機

Fig. 3.1 Side views of the 50 kVA MG set.

流発電機) + (500 W 三相交流発電機)

(2) 電動機操作キュービクル 8 面

- (a) 励磁機操作盤 (A)
- (b) 励磁機操作盤 (B)
- (c) 同期電動機操作盤
- (d) 直流発電機操作盤 (A)
- (e) 直流発電機操作盤 (B)
- (f) 水力 50 kW 直流電動機操作盤
- (g) 火力 180 kW 直流電動機操作盤
- (h) 火力 50 kW 直流電動機操作盤

(3) 発電機用ワック組 および 負荷ワック組 4 面

- (a) 水力 50 kVA 発電機ワック組
- (b) 火力 200 kVA 発電機ワック組
- (c) 火力 50 kVA 発電機ワック組
- (d) 負荷ワック組

(4) 主変圧器 3 バック (図 3.2 参照)

- (a) 水力 50 kVA 用 50 kVA 三相三巻線変圧器
- (b) 火力 200 kVA 用 200 kVA 三相三巻線変圧器
- (c) 火力 50 kVA 用 50 kVA 三相三巻線変圧器

(5) 変圧器操作盤 4 面

- (a) 水力 50 kVA 変圧器タップ切換盤
- (b) 火力 200 kVA 変圧器タップ切換盤
- (c) 火力 50 kVA 変圧器タップ切換盤
- (d) 水力 200 kVA 変圧器タップ切換盤

(6) 発電機操作盤 5 面 (図 3.3 参照)

- (a) 電源監視盤
- (b) ショ断器 および 負荷操作盤
- (c) 水力 50 kVA 発電機操作盤
- (d) 火力 200 kVA 発電機操作盤
- (e) 火力 50 kVA 発電機操作盤

(7) ショ断器ワック組 2 個

この中に 単相ショ断器 12 台  
三相ショ断器 4 台 収納

(8) 模擬送電線ワック組 2 個 (図 3.4 参照)

この中に超高压 2 回線送電線 10 km 単位 24 個接続  
切換スイッチ 8 P 3 T 46 個, 8 P 2 T 46 個収納

(9) 系統切換えおよび PT CT タップ切換盤 19 面

- (a) PT タップ切換盤 6 面
- (b) PT 切統点切換盤 1 面

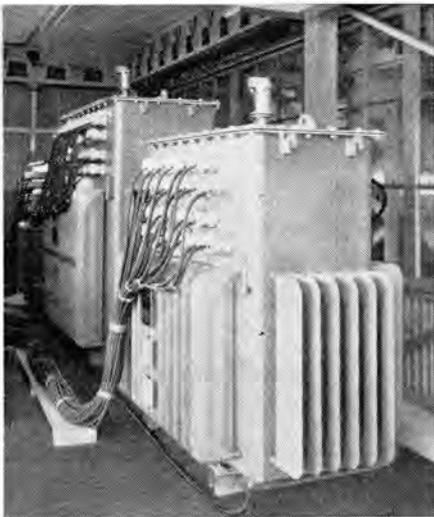


図 3.2 主変圧器 3 バック

Fig. 3.2 The main transformers (3 banks).

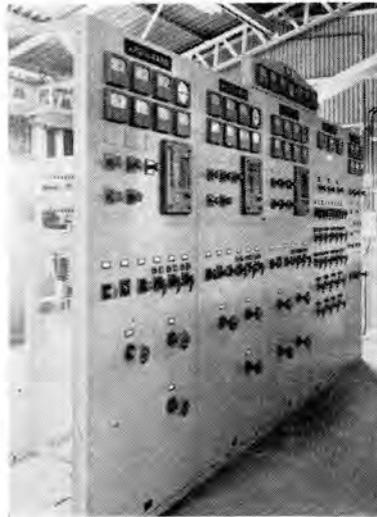


図 3.3 発電機操作盤

Fig. 3.3 Front views of main switchgear boards.



図 3.4 模擬送電線スイッチ盤

Fig. 3.4 Side views of A.T.L. switchgear boards.

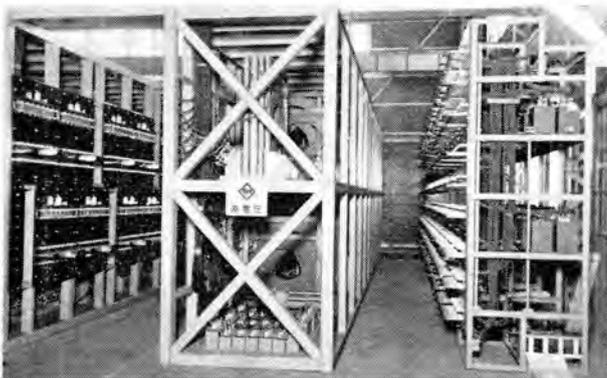


図 3.5 模擬送電線ワック組および系統切換盤

Fig. 3.5 Front views of A.T.L. frames and tap change boards.

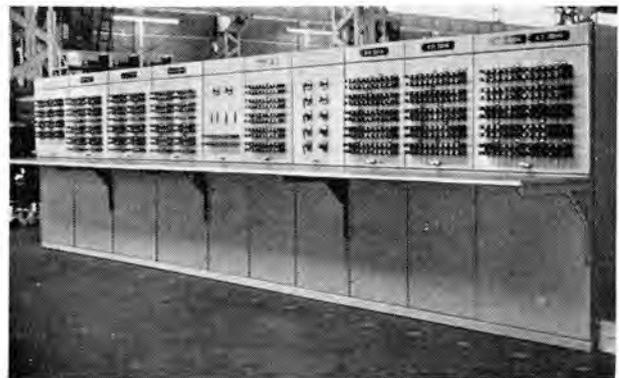


図 3.6 計測盤

Fig. 3.6 Exterior view of measuring boards.

- (c) 線路 CT タップ切換盤 6面
- (d) 変圧器高圧側 CT タップ切換盤 3面
- (e) 系統切換盤 3面
- (10) 計測盤 10面 (図3.6 参照)
  - (a) 系統切換盤用 CT 二次タップ盤 1面
  - (b) 系統切換盤用 PT CT 二次タップ盤 3面
  - (c) 電源盤 1面
  - (d) 変圧器中性点 PT CT 二次タップ盤 1面
  - (e) 変圧器中性抵抗操作盤 1面
  - (f) 水力50kVA用 PT CT 二次タップ盤 1面
  - (g) 水力200kVA用 PT CT 二次タップ盤 1面
  - (h) 火力発電機2台用 PT CT 二次タップ盤 1面

### 3.2 主回路接続

主機器の電気的接続図は図3.7に示すとおりである。すなわち所内3.3kV電源より同期電動機を回して直流発電機2台により直流440Vを発生し、各端子電源駆動用電源とする。これより各端子発電機3台は現在は他励界磁二つで駆動されるが、将来は一つの界磁をrun away防止用の最高速度を与える界磁とし、他の一つの界磁は、定入力制御を行なってその制御電流を交流発電機回転数で制御するいわゆる原動機特性、ガバナ特性を付与するよう計画している。励磁機第1群の3kW直流発電機は主電源直流発電機の励磁用とし各端子電源駆動の電

圧起動を行ない、10kW直流発電機は同期電動機の励磁および励磁機第2群各発電機を他励で用いるときの励磁用に、30kW直流発電機は各端子電源直流電動機の界磁電流供給用に、5kW直流発電機はシタ断器操作用に使用している。励磁機第2群は各端子電源交流発電機の励磁用に使用される。

各端子電源交流発電機出力はノーヒューズシタ断器を通りPT CTを経て、一つは変圧器を励磁する他のノーヒューズシタ断器に接続し、他の一つは低圧同期用コンタクトを通じて他の発電機に接続されている。これは多機系統の実験の際高圧線路の操作を行なうとき、高圧側を無電圧にして操作するがふたたびこれを加圧する際にふたたび

表 3.1 端子電源仕様一覧表

	水力50kVA	火力200kVA	火力50kVA		
交流	用途	端子電源 水力発電機機機	端子電源 火力発電機機機	端子電源 火力発電機機機	
	台数(台)	1	1	1	
	出力(kVA)	50/41.7	200/167	50/41.7	
	定格(分)	30	30	30	
	相数(相)	3	3	3	
	力率	0.8	0.8	0.8	
	発電機	電圧(V)	220/156/110 183.3/129.7/91.6 界磁を調整して電圧を変える	220/156/110 183.3/129.7/91.6 界磁を調整して電圧を変える	220/156/110 183.3/129.7/91.6 界磁を調整して電圧を変える
		回転数(rpm)	900/750	1,800/1,500	1,800/1,500
		極数(極)	8	4	4
		周波数(c/s)	60/50	60/50	60/50
制動巻線		有、滑脱可能のこと	有	有	
過負荷		200% 瞬時	同 左	同 左	
過速度		130% 1分間	同 左	同 左	
定数			各定数は新形水力発電機の代表的数値に合せること、なお時定数はTime Constant Regulatorにより補償する。	各定数は旧形火力発電機の代表的数値に合せること、以下同左	各定数は新形火力発電機の代表的数値に合せること、以下同左
		用途	上記発電機駆動用	同 左	同 左
		台数(台)	1	1	1
直流電動機	出力(kW)	50	180	50	
	定格(分)	30	30	30	
	電圧(V)	440	440	440	
	回転数(rpm)	900/750	1,800/1,500	1,800/1,500	
	界磁制御による速度調節範囲(rpm)	675~1,000	1,350~2,000	1,350~2,000	
	過負荷	200% 瞬時	同 左	同 左	
	過速度	130% 1分間	同 左	同 左	
	構造		同輪に配列された各機の直結をはずすことなく電動発電機の単位慣性定数Hをそれぞれ下記のように変更しうる構造とすること。なお回転子よりフライホイールを全部はずしたときのHを極力小さくすること。		
		数量(組)	1	1	1
	交流発電機	用途	電気油圧式调速機又は模擬调速機駆動用 内部位相角測定用	模擬调速機用 内部位相角測定用	模擬调速機用 内部位相角測定用
台数(台)		2	1	1	
出力(VA)		500	500	500	
定格		連続	連続	連続	
相数(相)		3	3	3	
力率		0.7	0.7	0.7	
電圧(V)		110	110	110	
回転数(rpm)		900/750	1,800/1,500	1,800/1,500	
極数(極)		8	4	4	
励磁電圧(V)		110	110	110	
電機波	電圧調整範囲(V)	60c/sにて80~130の間微細調整可能 130% 1分間	同 左	同 左	
	過速度	同 左	同 左	同 左	
	波形	正弦波 波形状 第3高調波5%以内 その他の高調波の和2%以内 分数調波の和2%以内	同 左	同 左	
	固定子巻線	各相端子6個を外へ出すこと、負荷は2相と1相に分けて与えられる。	同 左	同 左	
固定子回転装置	回転角は電気角で±90度円滑に回転できること	同 左	同 左		

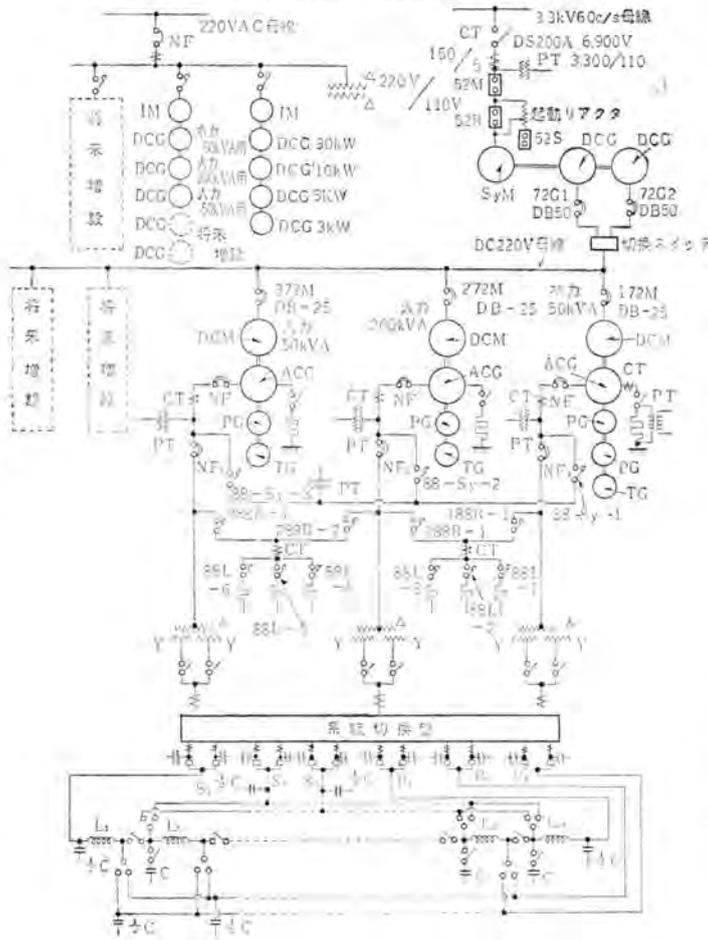


図 3.7 A. T. L. 主回路接続図  
Fig. 3.7 Skelton diagram of A. T. L.

同期をとり直して負荷状態を合わせる手間を省くためのもので、低圧同期して高圧側を操作しふたび高圧を接続して低圧同期をはずせば元の負荷状態で多機発電機が運転するという特長がある。また抵抗負荷は変圧器低圧側にコンタクトを通して接続してあり、50 kW 2バンクで20 kW + 20 kW + 10 kW 単位でコンタクトにより容量をかえることができる。

変圧器高圧側は CT を通り系統切換盤により模擬送電線の任意の送電端および受電端に接続しうる。変圧器出力側と模擬送電線の間には系統切換盤があり、スイッチの横の列は各変圧器高圧側へ接続され縦の列は模擬送電線の端子に接続されており、縦線横線の交点のスイッチを投入すれば縦と横とが接続される。また模擬送電線は同図のようになっており送電端子3個、受電端子3個出ており、そのスイッチ操作で図2.1に示すような各種の系統が構成されるが、図2.1中の  $S_1S_2S_3$ ,  $R_1R_2R_3$  はこの模擬送電線の送端受端の端子番号である。

### 3.3 端子電源仕様の概略

表3.1に第1期工事の端子電源3台の仕様の概略を示す。このほか各発電機は実際の大形機とその諸定数すなわちリアクタンス、時定数、飽和曲線、慣性などを合わせるように設計し、水力発電機については最近当社で製作した電源開発十津川第一43 MVA、火力200 kVAについて

表 3.2 変圧器仕様一覧表

台数	2	1
容量	一次 50 kVA (220V) 二次 50 kVA (3,300V) 三次 50 kVA (1,100V) 電圧タップは低減容量タップとする	一次 200 kVA (220V) 二次 200 kVA (3,300V) 三次 50 kVA (1,100V) 電圧タップは低減容量タップとする
定格(分)	30	30
相数(相)	3	3
周波数(c/s)	50, 60 両用	50, 60 両用
結線	一次 Δ 二次 中性点端子付 三次 同上	一次 Δ 二次 中性点端子付 三次 同上
電圧タップ	一次 二次 三次 220 V 3,800 V 1,540 V 185 3,300 1,100 156 2,750 770 110 2,200 660 注：二次、三次はいずれも線間電圧を示す	一次 二次 三次 220 V 3,800 V 1,540 V 185 3,300 1,100 156 2,750 770 110 2,200 660 注：二次、三次はいずれも線間電圧を示す
インピーダンス	50 c/s にて 一次-二次 (220V/3,300 V) 9~10% 二次-三次 (3,300V/1,100 V) 4~5% 三次-一次 (1,100V/220 V) 9~10%	50 c/s にて 一次-二次 (220V/3,300 V) 9~10% 二次-三次 (3,300V/1,100 V) 4~5% 三次-一次 (1,100V/220 V) 9~10%
抵抗損	鉄損 1%以下 (50 c/s) 銅損 1%以下 タップは上記インピーダンスの項と同じ	鉄損 1%以下 (50 c/s) 銅損 1%以下 タップは上記インピーダンスの項と同じ
励磁電流	7%	7%

表 3.3 シャ断器定格仕様

定格電圧 (V)	660~3,800 (線間電圧)
定格電流 (A)	10 (ブローアウトコイル20 A用)
周波数 (c/s)	50, 60
シャ断容量	最大シャ断電流 300 A 力率0.1 以下 線間電圧 3,800 V にて $300 A \times \frac{3,800 V}{\sqrt{3}} = 660 \text{ kVA/相}$
動作時間	全シャ断時間 3/60 秒以内 電流 10 A 以下のとき 5/60 秒以内 全投入時間 6/60 秒以内 (困難であれば 10/60 秒以内でよい)
動作責務	O-20 c/s-CO
絶縁	10 kV
電気連動子	L1-42

は旧形火力発電機模擬として九州電力相之浦 37.5 MVA、火力 50 kVA については新鋭火力発電機模擬として中国電力新宇部 76.727 MVA 発電機の諸常数を目標に設計製作したところおのおの次章に示すようなほぼ満足すべき結果となった。

また同期電動機直流発電機・励磁機1群2群の仕様については通常の回転機の仕様と大差ないので省略する。

### 3.4 変圧器仕様の概略

表3.2に第1期工事の変圧器3台の仕様の概略を示す。この変圧器の試験結果も次章に示すがほぼ満足な結果である。また各変圧器中性点は直接接地、抵抗接地、消弧リアクトル接地、PT 接地のいずれの接地方式も取りうるようにし、かつ中性点電流および電圧測定用の CT PT も配置した。

変圧器の二次および三次巻線各タップはナイフスイッチによって自由に切換えうるようにし、また中性点の接地方式も自由に切換えうるよう変圧器タップ切換盤をもうけた。

### 3.5 シャ断器の仕様の概略

表3.3に高圧側シャ断器の仕様の概略を示す。

### 3.6 模擬送電線路の仕様の概略

模擬送電線路は610 mm<sup>2</sup> A. C. S. R を275 kV 2回線鉄塔に懸架したものと同一の線路常数を有する10 km 単位を24回縦続接続したものである。図3.8に1単位の接続を示す。

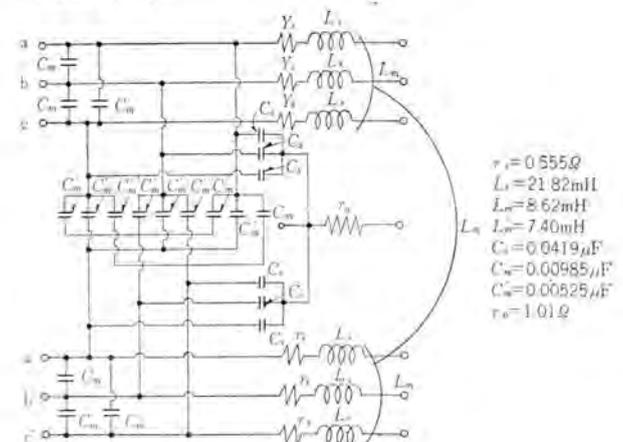


図 3.8 模擬送電線路単位接続図

Fig. 3.8 Connections and constants of the A.T.L. unit.

### 3.7 その他

系統切換用および CT PT タップ切換用として100 A 刃形スイッチを多数設置した。PT タップは主変圧器タップ電圧に合わせて一次タップを8タップもうけ、また CT は線路各回線用は一次切換え20 A, 15 A, 12 A, 10 A, 8 A, 7.5 A, 6 A, 5 A/5 A とし、三次は一次タップ10 A のときの巻数比を3/1とした。また実系統における三次巻線は一次1巻に対し二次巻数に関係なく30ターンの場合がほとんどであるので三次巻線には補助 CT をもうけて一次タップいかにかわらず、三次タップには実系統の1:30の巻数比に等しくなるよう一次タップ切換えと

表 4.1 (a) 水力 50 kVA 発電機定数表

定数	測定および算定法	60 c/s		50 c/s	
		ダンパあり 実測値	ダンパなし 実測値	ダンパあり 実測値	ダンパなし 実測値
短絡比	無負荷飽和・三相短絡試験	1.34	1.34	1.34	1.34
$X_d$	"	89.6	89.6	89.6	89.6
"	スベリ試験	90.0	92.6	91.0	93.2
$X_q$	"	64.7	65.4	64.0	58.2
$X_d'$	突発短絡試験	38.0	39.5	37.6	37.6
$X_d''$	"	24.6	30.5	29.1	32.5
"	Da-Ca 法	27.5	38.5	25.1	37.8
$X_q''$	"				
"	$2X_2 - X_d''$				
$X_2$	単相短絡				
"	Da-Ca 法 $\left(\frac{X_d'' + X_q''}{2}\right)$				
$X_0$	単相短絡	19.4	19.1	20.6	20.2
$T_{d0}'$	界磁減衰試験	0.797	—	—	—
$T_d'$	"	0.302	—	—	—
"	突発短絡試験	0.20	0.285	0.204	0.20
"	$\left(\frac{X_d'}{X_d}\right) T_{d0}'$	0.338			
$T_d''$	"	0.02	0.035	0.024	0.018
$T_a$	"	0.0168	0.023	—	—
"	$\frac{X_2}{2\pi f r_0}$	0.024	0.0347	0.0299	0.0424

$GD^2$ (kg-m <sup>2</sup> )	減速法	フライホイール (全部つけたとき)		備考
		実測値	実測値	
$H$	$H = \frac{10.95GR^2}{kVA} \text{ (rpm/1,000)}^2$	253	100	直結されたすべての機械の $GD^2$ の合計
		10.24	4.06	

表 4.2 時定数調整法

水力 50 kVA 周波数 (c/s)	ダンパ	F, B, F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> 並列	励磁	$X_d'$	$X_d''$	$T_d'$	$T_d''$
参考値				30.7	22.2	0.19	0.02
60	あり	なし	他励	38.0	24.6	0.20	0.02
50	"	"	"	37.5	29.1	0.204	0.024
60	なし	"	"	39.5	30.5	0.285	0.035
50	"	"	"	37.6	32.5	0.20	0.018
50	あり	あり	自励 A, V, R.	42.6	27.1	0.98	0.028
50	"	"	他励	42.6	26.9	1.65	0.03
50	なし	"	"	42.0	33.5	1.05	0.04
60	あり	F <sub>1</sub> 単独	Meg Amp	45.2	25.7	5.52	0.032

火力 200 kVA 周波数 (c/s)	F, B, F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> 並列	励磁	$X_d'$	$X_d''$	$T_d'$	$T_d''$
参考値			23.5	16.2	0.176	0.029
50	なし	他励	20.6	16.4	0.154	0.018
60	"	"	20.8	16.0	0.15	0.02
50	あり	自励 A, V, R.	33.6	18.4	0.80	0.05
50	"	"	33.6	18.2	1.60	0.045

火力 50 kVA 周波数 (c/s)	F, B, F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> 並列	励磁	$X_d'$	$X_d''$	$T_d'$	$T_d''$
参考値			16.63	10.6	0.1043	0.025
50	なし	他励	21.7	15.1	0.14	0.046
60	"	"	21.7	15.5	0.144	0.042
50	あり	自励 A, V, R.	32.1	15.4	0.405	0.07
50	"	"	43.6	15.2	1.45	0.065

同時に補助 CT タップも切換えるようにした。各変圧器出力 CT はやはり一次タップ切換えであるが定格を各線路 CT の 2 倍すなわち 40 A, 30 A, 24 A, 20 A, 16 A, 15 A, 12 A 10 A/5 A とした。

#### 4. A, T, L の性能

この A, T, L 完成後 A, T, L 自身の性能を検討する意味で、各種の試験を行なったが、その試験結果の概要を示して、A, T, L の性能をご賢察いただくこととする。

##### 4.1 各端子発電機常数

水力 50 kVA、火力 50 kVA 各端子発電機の試験結果を表 4.1 (a), (b) に示す。なお表中空欄部は試験検討中であるが総体的に実系統発電機諸定数によく合致している。

また界磁時定数  $T_d'$  が大形機に比していちじるしく

表 4.1 (b) 火力 50 kVA 発電機定数表

定数	測定および算定法	60 c/s	50 c/s
		実測値	実測値
短絡比	無負荷飽和・三相短絡試験	0.775	0.775
$X_d$	"	135	135
"	スベリ試験	124.0	119
$X_q$	"	122.7	113.5
$X_d'$	突発短絡試験	21.7	21.7
$X_d''$	"	15.5	15.1
"	Da-Ca 法	15.8	16.54
$X_q''$	"		
"	$2X_2 - X_d''$		
$X_2$	単相短絡		
"	Da-Ca 法 $\left(\frac{M}{2}\right)$		
$X_0$	単相短絡		
$T_{d0}'$	界磁減衰試験	1.23	—
$T_d'$	"	0.159	—
"	突発短絡試験	0.144	0.14
"	$\left(\frac{X_d'}{X_d}\right) T_{d0}'$	0.197	0.197
$T_d''$	突発短絡試験	0.042	0.046
$T_a$	$\frac{X_2}{2\pi f r_0}$	0.036	0.0372

$GD^2$ (kg-m <sup>2</sup> )	減速法	フライホイール (全部つけたとき)		備考
		実測値	実測値	
$H$	$H = \frac{10.95GR^2}{kVA} \text{ (rpm/1,000)}^2$	112	55	直結されたすべての機械の $GD^2$ の合計
		16.6	8.14	

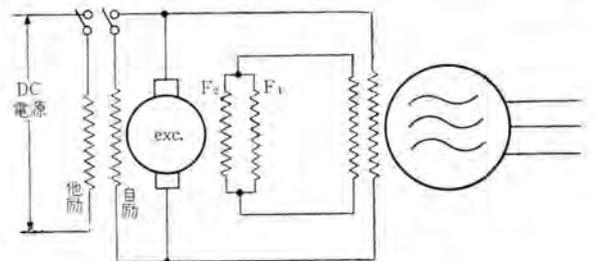


図 4.1 界磁時定数調整法

Fig. 4.1 Connection diagram of time constant regulating circuits.

表 4.3 模擬送電線線路定数測定結果

設計値	$r_s$ (Ω)	$L_A$ (mH)	$L_m$ (mH)	$L_m'$ (mH)	$Z_{11} = Z_{10} = Z_{21} = Z_{20}$ (Ω) (at 60c/s)	$Z_{01}$ (Ω) (at 60c/s)	$Z_{00}$ (Ω) (at 60c/s)	
最大	0.555	21.82	8.62	7.40	0.555 + j 4.98	0.555 + j 6.36	6.635 + j 23.100	
実測値	最大	0.56	22.19	8.80	7.58	0.560 + j 5.120	0.554 + j 6.703	6.789 + j 23.765
最小	0.541	21.10	8.56	7.24	0.541 + j 4.709	0.551 + j 6.228	6.721 + j 22.634	

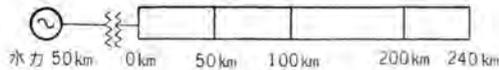
小となるゆえ次に示す方法を用いて修正し表 4.2 に示すようにすることができた。これは図 4.1 に示すように交流発電機界磁として主界磁のほか、突発短絡発生時などの界磁電流の急変を検出するための界磁をもうけ、この出力を励磁機の他の励磁巻線に帰還する方法である。すなわち突発短絡により増加した界磁電流の減衰を遅らせるようにこの検出界磁出力により励磁機の電圧を急増すると界磁電流の減衰は遅れ、見かけ上界磁時定数が伸びた形となる。この効果をさらに示すには検出界磁出力を制限増幅して帰還すればいっそう効果が大きであることが、水力 50 kVA 用発電機の試験で判明したが、励磁機に自動方式をとり直接帰還しても  $T_d'$  が約 1.5 秒程度に延びるので、以後の試験には必要がない限りこの時定数にて試験することになっている。

##### 4.2 模擬送電線路常数

表 4.4 に模擬送電線路各単位の常数測定結果を示す。

##### 4.3 模擬送電線 6 線一括短絡電流計算値

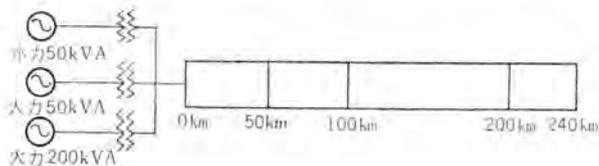
表 4.4 (a) 模擬送電線各系統 6 線一括短絡時の電圧電流計算値 (その 1)



発電機インピーダンスは AVR 付 Feed Back 有突発短絡試験結果より  
 $X_d(3c/s)=0.368\Omega$   $X_d(6c/s)=0.415\Omega$   $X_d(9c/s)=0.432\Omega$  (60 c/s) 故障前の電圧は Ferranti 効果測定より送端 100% のとき  
 50 km 101% 100 km 103% 200 km 105.5% 240 km 106% に上昇している

故障点	Tr タップ	電圧 (V)							
		660V	770V	1,100V	1,540V	2,200V	2,750V	3,300V	3,800V
0 km	3c/s	66.4 A	57.8 A	42.8 A	35.6 A	24.2 A	19.9 A	17.0 A	14.8 A
	6c/s	61.9 A	53.8 A	39.8 A	32.7 A	22.3 A	18.3 A	15.5 A	13.5 A
	9c/s	60.4 A	52.5 A	38.7 A	31.7 A	21.5 A	17.7 A	15.1 A	13.1 A
50 km	3c/s	21.1 A	22.2 A	23.5 A	23.4 A	19.7 A	17.3 A	15.5 A	13.8 A
	6c/s	20.6 A	21.6 A	22.5 A	22.6 A	18.4 A	16.1 A	14.2 A	12.7 A
	9c/s	20.4 A	21.3 A	22.2 A	22.1 A	18.0 A	15.6 A	13.8 A	12.3 A
100 km	3c/s	12.7 A	13.95 A	16.4 A	18.3 A	16.9 A	15.55 A	14.27 A	13.05 A
	6c/s	12.6 A	13.72 A	15.95 A	17.55 A	15.9 A	14.52 A	13.27 A	12.1 A
	9c/s	12.5 A	13.70 A	15.8 A	17.25 A	15.6 A	14.22 A	12.9 A	11.76 A
200 km	3c/s	7.24 A	8.11 A	10.32 A	12.52 A	13.06 A	12.88 A	12.46 A	11.7 A
	6c/s	7.18 A	8.04 A	10.16 A	12.16 A	12.48 A	12.2 A	11.70 A	10.93 A
	9c/s	7.14 A	8.00 A	10.08 A	12.02 A	12.28 A	11.98 A	11.42 A	10.66 A
240 km	3c/s	6.15 A	6.97 A	9.00 A	11.08 A	11.95 A	12.0 A	11.76 A	11.2 A
	6c/s	6.12 A	6.92 A	8.87 A	10.82 A	11.48 A	11.42 A	11.06 A	10.48 A
	9c/s	6.09 A	6.89 A	8.82 A	10.7 A	11.26 A	11.24 A	10.82 A	10.24 A

表 4.4 (b) 模擬送電線各系統 6 線一括短絡時の電圧電流計算値 (その 2)



発電機インピーダンスは (その 1) と同じ  
 故障前電圧は Ferranti 効果により送端 100% としたとき  
 50 km 101% 100 km 103% 200 km 105.5% 240 km 106% とした

故障点	Tr タップ	電圧 (V)							
		660V	770V	1,100V	1,540V	2,200V	2,750V	3,300V	3,800V
0 km	3c/s	393.4 A	342 A	246.1 A	191.7 A	172.6 A	142.7 A	124.5 A	109.6 A
	6c/s	359.5 A	312.5 A	224.8 A	172.9 A	154.1 A	126.1 A	108.5 A	96.4 A
	9c/s	340.8 A	290.8 A	211.4 A	162.4 A	142.7 A	116.1 A	100.1 A	88.5 A
50 km	3c/s	28.5 A	32.5 A	42.5 A	52.5 A	64.6 A	68.8 A	69.2 A	68.3 A
	6c/s	28.3 A	32.2 A	41.9 A	50.8 A	62.0 A	63.9 A	64.0 A	63.0 A
	9c/s	28.1 A	32.0 A	41.4 A	50.0 A	60.0 A	61.4 A	61.2 A	59.4 A
100 km	3c/s	15.1 A	17.35 A	23.7 A	30.8 A	40.5 A	45.4 A	48.7 A	50.1 A
	6c/s	15.1 A	17.26 A	23.5 A	30.4 A	39.4 A	43.7 A	46.2 A	47.3 A
	9c/s	15.1 A	17.19 A	23.3 A	30.1 A	38.6 A	42.4 A	44.7 A	45.3 A
200 km	3c/s	7.88 A	9.1 A	12.7 A	17.1 A	23.3 A	27.5 A	30.9 A	33.0 A
	6c/s	7.84 A	9.08 A	12.65 A	17.06 A	23.0 A	26.8 A	29.9 A	31.7 A
	9c/s	7.86 A	9.07 A	12.62 A	17.03 A	22.8 A	26.4 A	29.3 A	30.8 A
240 km	3c/s	6.64 A	7.63 A	10.75 A	14.55 A	19.9 A	23.8 A	26.9 A	29.0 A
	6c/s	6.62 A	7.61 A	10.70 A	14.4 A	19.7 A	23.3 A	26.3 A	28.1 A
	9c/s	6.61 A	7.60 A	10.67 A	14.35 A	19.5 A	22.9 A	25.7 A	27.4 A

模擬送電線各端子電圧において 0 km, 50 km, 100 km, 200 km, 240 km の点で 6 線一括短絡を行なったときの各相電流値は端子電源によって表 4.4 (a) (b) のようになる。これにより十分の故障電流を供給しうることがわかる。

#### 4.4 模擬送電線 2 電源の定態安定極限電力

このケースは両端電源の選択両端電源慣性常数の選択定電圧点の選択により 16 ケース生ずる。ここではそのうち最大の送電電力を得る送端火力 50 kVA, 水力 50 kVA 並列, 受端火力 200 kVA, 等価慣性常数両端同一, 定電圧点送受端高圧側端子の場合表 4.5 と, 最大電力のもっとも少ない送端火力 50 kVA 受端水力 50 kVA, 慣性常数水力  $H=4$  火力  $H=16$  定電圧点送受端低圧側の場合表 4.6 とを示す。

#### 4.5 脱調現象

水力 50 kVA と火力 200 kVA を 240 km 2 回線送電線で受けし, 定態安定極限電力以上送電したための脱調と, 故障発生 1 回線除去による脱調を発生してスリップサイクル脱調時のインピーダンスを測定した結果の一端を表 4.7 に示す。これによりスリップサイクルの種々異なる実験の可能なことを確認した。

表 4.5 模擬送電線各系統定態安定極限相角における送

受端電圧および電力  
 火力 50 kVA - 水力 50 kVA  $\theta=90$ 度  
 発電機端子定電圧 Flat Regulation

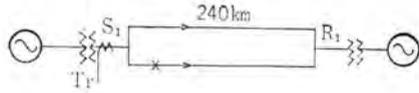
線路延長 (km)	線路電圧 (V)	両端内部電圧 (V)		両端発電機端子電力 (kW)		両端発電機端子電圧 (V)	
		送端	受端	送端	受端	送端	受端
240	660	255.2	248.6	7.48	5.96	220 (78.6°)	220 (8.0°)
	770	255	251	9.2	7.2	" (77.1°)	" (6.0°)
	1,100	271.7	260.7	15.75	12.9	" (69.6°)	" (10.5°)
	1,540	281.6	270.6	23.5	19.8	" (59.5°)	" (15.9°)
	2,200	278.0	269.5	28.1	24.0	" (50.5°)	" (20.5°)
	3,800	272.8	264.0	31.4	25.9	" (46.1°)	" (23.2°)
200	660	253	246.4	8.48	6.57	220 (79.2°)	220 (6.2°)
	770	260	252.3	10.6	8.45	" (75.4°)	" (7.8°)
	1,100	273.9	265.1	17.8	14.8	" (67.5°)	" (12.2°)
	1,540	289.3	276.1	25.4	21.8	" (58.1°)	" (18.2°)
	2,200	277.2	264	29.0	26.8	" (48.9°)	" (21.5°)
	3,800	276.1	271.7	32.8	27.3	" (34.9°)	" (22.6°)
100	660	270.6	262.9	33.0	27.9	" (40.5°)	" (23.7°)
	770	259.6	253	32.2	26.7	" (37.0°)	" (23.0°)
	1,100	271.7	260.7	14.15	11.5	220 (73.0°)	220 (10.9°)
	1,540	277	270	16.9	14.0	" (69.6°)	" (13.3°)
	2,200	291.5	279.4	24.9	21.3	" (60.8°)	" (18.2°)
	3,800	301.4	286	31.3	27.9	" (50.6°)	" (21.5°)

表 4.6 模擬送電線各系統定態安定極限相角における送

受端電圧および電力  
 火力 50 kVA } 一次力 200 kVA (等価 H 同一)  $\theta=90$ 度  
 水力 50 kVA }  
 高圧側定電圧 Flat Regulation

線路延長 (km)	線路電圧 (V)	両端内部電圧 (V)		両端高圧側電力 (kW)		両端高圧側電圧 (V)	
		送端	受端	送端	受端	送端	受端
240	2,750	300	270	67.5	60	2,750 (52.9°)	2,750 (21.8°)
	3,300	303	267	75.5	68.8	3,300 (49.0°)	3,300 (25.4°)
	3,800	294	263	77.5	70.5	3,800 (44.5°)	3,800 (23.3°)
200	2,200	300	272	58.4	51.2	2,200 (58.0°)	2,200 (21.1°)
	2,750	306	276	72.8	65.8	2,750 (50.0°)	2,750 (22.8°)
	3,300	308	270	79	73	3,300 (46.6°)	3,300 (26.4°)
100	3,800	301	269	81	75.3	3,800 (43.2°)	3,800 (26.9°)
	1,540	294	278	55.4	50.4	1,540 (60.5°)	1,540 (24.5°)
	2,200	322	264	76.0	70.5	2,200 (50.6°)	2,200 (27.1°)

表 4.7 脱調時の諸特性



Tr タップ 2,750 V CT 10/5 50 c/sにて

- (A) 定態時脱調
- (B) 3φS (至近端) 除去時脱調

OSC. No.	スリップサイクル	Zmax (Ω)	Zmin (Ω)	条件
2458	16	379	24	(A)脱調時負荷 45 kW 水力 50 kW (フライホイールあり)→火力 200 kW (フライホイールなし)
59	16	757	55.2	(B)故障前 " 40 kW
60	13	292	27.9	(A)脱調時 " 48 kW (フライホイールなし)
61	15	614	58.2	(B)故障前 " 42 kW
62	17	858	53.6	(B) " " 35 kW
63	13	851	30.4	(A)脱調時 " 35 kW 水力 50 kW (→)→火力 50 kW (フライホイール1枚)
64	14	1,440	70	(B)故障時 " 30 kW
65	20	2,050	64.5	(B) " " 20 kW
68	16	600	13	(A)脱調時 " 50 kW 火力 50 kW (フライホイール1枚)→火力 200 kW (フライホイールなし)
71	21	839	88.8	(B)故障時 " 35 kW
72	22	1,075	16.1	(A)脱調時 " 50 kW (フライホイールあり)→ " (フライホイールあり)
73	26	807	42.6	(B)故障時 " 35 kW
75	35	636	42.2	(B) " 26.5 kW (脱調可能最小負荷) "
78	37	782	46.9	(B) " 30 kW + 66 kW (R1 抵抗負荷)

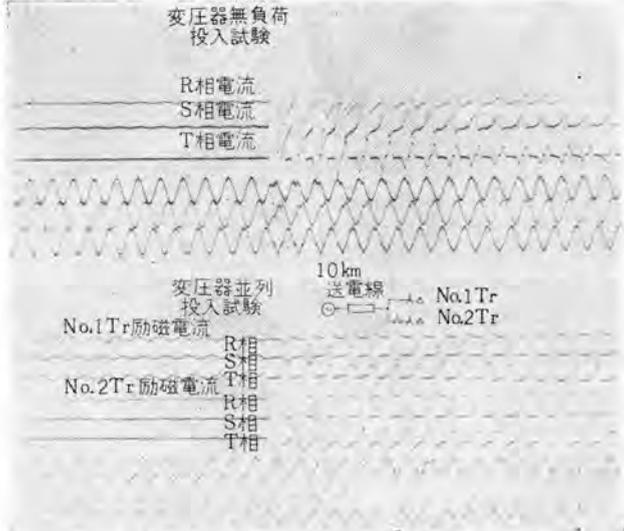
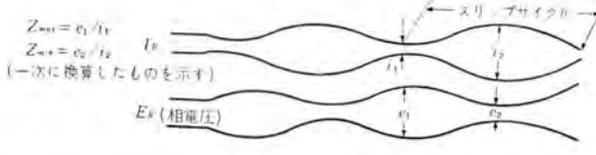
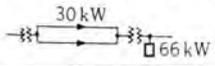


図 4.2 50kVA 変圧器高圧側無負荷投入試験  
Fig. 4.2 Oscillograms of the inrush currents from the high voltage terminal of the 50kVA transformer.

4.6 変圧器励磁突入電流

変圧器励磁突入電流がいかになるかを各変圧器の低圧側および高圧側から規定電圧および 40%過電圧で行ないいずれも相当の励磁突入電流を得られることを確認した。しかし実系統のものよりも R/X が大であるので減衰は早い、図 4.2 にその一例 50 kVA 変圧器高圧側より規定電圧で突入した オシログラフ を示す。

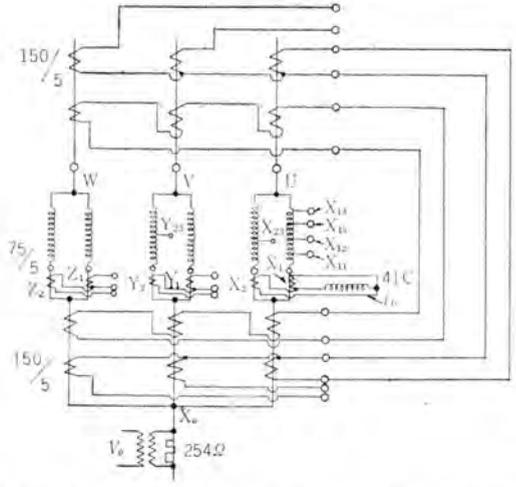
4.7 発電機内部故障時の電圧電流

表 4.8 に発電機内部故障発生時の電圧電流測定結果を示す。なお同表の故障発生端子番号は図 2.2 を参照されたい。

以上のほか変圧器内部故障発生時の電圧電流の測定結

表 4.8 水力 50 kVA 発電機内部故障時の電圧および電流測定結果

故障点	負荷 (kW)	NGR	定態故障電流および電圧					
			V <sub>0</sub> (V)	I <sub>0</sub> 差電流	I <sub>R</sub> 差電流	I <sub>S</sub> 差電流	I <sub>R</sub> 相差電流	I <sub>S</sub> 相差電流
X <sub>0</sub> -X <sub>14</sub>	27				6.5 A		9.8 A	
"-X <sub>13</sub>	"				4.0		6.9	
"-X <sub>12</sub>	"				2.6		4.6	
"-X <sub>11</sub>	"				0.71		1.35	
"-X <sub>23</sub>	"				4.2		7.3	
"-Y <sub>23</sub>	"			0.05		4.2		7.25
X <sub>11</sub> -X <sub>12</sub>	"						0.22	
"-X <sub>13</sub>	"						0.76	
"-X <sub>14</sub>	"						3.2	
X <sub>12</sub> -X <sub>13</sub>	"						0.22	
"-X <sub>14</sub>	"						7.55	
X <sub>13</sub> -X <sub>14</sub>	"						1.63	
E-X <sub>11</sub>	"	DG	0		0.6		1.15	
"	"	127Ω	15					
E-X <sub>12</sub>	"	DG	0		2.1		3.8	
"	"	127	6.3		2.15		3.85	
E-X <sub>13</sub>	"	DG	0.0	0.05	3.4		5.8	
"	"	127	10.9					
E-X <sub>14</sub>	"	DG	0	0.073	5.7		8.5	
"	"	127	21.9					
E-X <sub>23</sub> -X <sub>11</sub>	"	DG	0		2.7		10.2	
"	"	127	5.7				10.8	
E-X <sub>23</sub> -X <sub>12</sub>	"	DG	0	0.05	3.6		7.8	
"	"	127	7.9				7.8	
E-X <sub>23</sub> , X <sub>13</sub>	"	DG	0	0.09	4.5		7.2	
"	"	127	10.4				7.3	
E-X <sub>23</sub> , X <sub>14</sub>	"	DG	0	0.12	6.1		7.6	
"	"	127	15.7				10.9	
E-X <sub>23</sub>	"	DG	0	0.03	3.55		6.2	
"	"	127	11.3					
E-Y <sub>23</sub>	"	DG	0	0.02	3.5		6.0	
"	"	127	11.0					
E-Y <sub>23</sub> , X <sub>11</sub>	"	DG	0		2.75	4.55	4.55	7.6
"	"	127	3.9		3.75	3.7	6.5	6.7
E-Y <sub>23</sub> , X <sub>12</sub>	"	DG	0		4.4	5.1	7.25	8.6
"	"	127	2.2		4.8	4.7	8.05	7.9
E-Y <sub>23</sub> , X <sub>13</sub>	"	DG	0		5.5	5.4	8.85	8.8
"	"	127	2.4		5.4	5.4	8.7	8.85
E-Y <sub>23</sub> , X <sub>14</sub>	"	DG	0	0.04	7.4	5.4	10.35	8.3
"	"	127	6.6		6.8	6.5	9.5	10.35
E-Y <sub>23</sub> , X <sub>23</sub>	"	DG	0	0.01	5.5	5.0	10.3	9.0
"	"	127	60		5.4	5.1	10.1	9.2



果が必要であるが、これは 差動リレー-接続 のための補償 CT を必要とするのでその完成を待って行なうこととしているゆえ、後日報告したいと考えている。

5. む す び

多年の懸案であった三菱 A. T. L. も完成し、その設備、性能ともに本文に示すように満足すべきものであることが確認された。今後は大いにこれを活用して各種保護継電器、制御装置の開発研究に、また品質向上に邁進し、この設備完成にご協力賜った方々のご期待にお答えすることを誓って謝辞とする次第である。

# 最近の送電線保護継電器(1)

——最近開発された距離継電器の現地試験報告——

神戸製作所 北浦孝一\*・古谷昭雄\*

## The Latest Protective Relays for Transmission Lines

Kobe Works Kōichi KITAURA・Akio FURUYA

The completion of a cylinder type induction element for use as a magnetic type phase discrimination element, and utilization of a transistor static circuit are two outstanding features of the latest technique of Mitsubishi transmission line protective relays. The writers deal with reports herein on field tests conducted with great success for artificial faults and also tests with artificial transmission lines set up by Mitsubishi in connection with two representative models of relays-type KZC high speed directional distance relay and type KKS rectangular characteristic distance relay.

### 1. まえがき

さきに、“最近の距離継電器”と題して、位相弁別要素を判定要素とする相別距離継電器、故障種類別距離継電器、および静止形距離継電器の動向ならびに応用例について、主として、継電器自体の問題を対象に記述したのであるが、そのむすびにおいて、それらの適用に関する問題については、後日発表することとした。

最近の送電線保護継電器(その1)は、最近開発された距離継電器のうち、現地試験を行なったものについての概要紹介であり、(その2)は、新形送電線保護継電器全般について、適用上の問題を考察したものである。

電磁形位相弁別要素としてシリンダ形誘導要素(以下、シリンダ要素と略す)の完成、およびトランジスタ静止回路の利用は、最近の当社送電線保護継電技術の大きな特長であるが、今回、九州交流電化 $\pi$ 電線系統において行なわれた現地テストの際、両者の代表的継電器、KZC形距離継電器、およびKKS形矩形特性距離継電器の動作が確認されたので、以下、概要を紹介する。なお、KZC形継電器については当社模擬送電線により厳密な試験を行なったので、その結果も紹介する。

### 2. 現地試験系統の特長

始めに、今回現地試験の行なわれた系統の特長を述べる。試験系統は、九州鹿児島本線、門司—久留米間交流電化 $\pi$ 電線のうち、二日市変電所—久留米変電所間18.87 kmである。

交流電化 $\pi$ 電線は、一般に、 $\pi$ 電線または架線を往路とし、Negative Feeder(以下、NFと略す)を帰路とした単相送電線である。電圧は、試験系統では、22 kVであった。

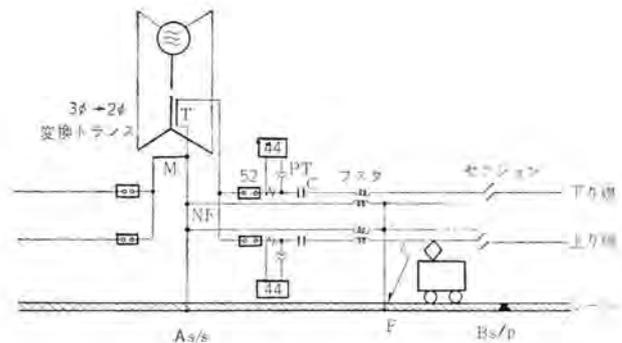


図 2.1 試験系統構成図

Fig. 2.1 Block diagram of AC train feeder for field test.

直流電化の場合の帰路は、レールであるが、交流電化の場合には、4 kmごとに、吸上トランス(フスタ)を置くことによってレールに流れる電流を強制的にNFに流れるようにしている。このフスタは故障時にも同様の働きを持つため、故障電流の帰路はNFということになる。

図2.1に試験系統の構成図を示す。

図2.1で、As/sに設置された距離継電器につき、その動作を考える。いま、保護区間内(たとえばF点)で架線のガイシ閃絡が起きた場合には、距離継電器44は、C、T、PT、二次の電流、電圧によりA-F間の、「 $\pi$ 電線または架線インピーダンス+NFインピーダンス+フスタ短絡インピーダンス+地絡抵抗(またはアーク抵抗)」の値を測定し、それが予定値以下であり、かつ、予定方向を向いていることを判定すれば、直ちに動作して $\pi$ 継電器52により送電を断ち、約30 c/s後に再閉路を行なわせるものである。この継電器は無人変電所に設置されることもあり、その使命はきわめて重く、信頼度の高いものであることを必要とする。今回の被試験継電器に要求された特性、およびKZC形継電器の整定例を図2.2のR-X座標面にて

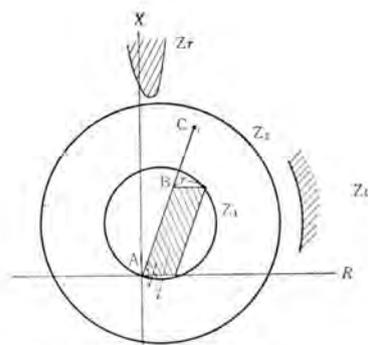


図 2.2 A/s 設置の距離継電器要求特性図  
Fig. 2.2 Desired characteristics of distance relay installed at A substation.

表示する。

図 2.2 において

A-B : 常時の被保護区間

$Z_1$  : 第一段整定図例 (上記の約 30%  
オーバーリチ)

$r$  : 検出する必要がある アーク抵抗 (地絡抵抗)  
範囲

A-C : 延長キ電を行なった場合の被保護区間

$Z_2$  : 第二段整定図例 (上記の約 10%  
オーバーリチ)

点線部分 : 直列コンデンサが挿入されたときのインピーダンス変化範囲,  $Z_2$  はこのことを考慮して後方にも動作域を有した オフセット・モ-特性としている。

$Z_L$  : 常時の 負荷インピーダンス, その最小の場合も円内にはいらないことが必要である。

$Z_T$  : 列車起動時列車内 トランス へ流入する励磁突入電流に対する インピーダンス, その最小の場合でも円内にはいらないことが必要である。

以上, 要求性能を要約すれば, 常時の負荷インピーダンス, およびインラッシュ・インピーダンスに反応することなく, 被保護区間内の故障を高速度で確実に (十分の地絡抵抗検出能力を持って) 検出し, 外部故障では誤動作しないものであること, また, 直列コンデンサ 挿入時も保護能力に支障ないものであることである。

これを満足するものとして, 図 2.2 のような モ-特性, および オフセット・モ-特性 を持った KZC 形継電器, および図 5.3 のような矩形特性を有する KKS 形継電器とを設計し, 現地試験を行なった。

これらの継電器は後述のように, 一般距離継電器に要求される三要素, すなわち, スピード, 選択性, 信頼性をともに満足したものであるが, 被試験系統は, オーバ-リチ 整定が許容される系統であるゆえ, 試験も スピード, 信頼性の検討が主となり, 選択性については従となったゆえ後日, 当社模擬送電線によるこの点についての試験を行ないその 試験データ を補足する次第である。

最近の送電線保護継電器(1)・北浦・古谷

### 3. KZC 形継電器

#### 3.1 仕様および特長

シリンダ要素を使用した モ-特性 および オフセット・モ-特性継電器の動作原理については, 文献 (1) に詳述してあるので省略する。ここでは, 主として, その特長, 定格仕様などを紹介する。その外観写真を, 図 3.1, 3.2, 3.3 に示す。

KZC 形継電器は, KZC-FT 形継電器 1 個, 同補助箱 1 個および TC-F 形限時継電器 1 個より成り, おもな仕様は下記のとおりである。

AC	110 V	5 A	60 c/s
第一段	整定範囲	0.75-20 $\Omega$	ツマミ間隔 3%
	整定角	60 度 70 度 80 度	
第二段	整定範囲	前方 1-30 $\Omega$	
		後方 0-5 $\Omega$	
	整定角	60 度 70 度 80 度	
時限要素	整定範囲	20-180 c/s	

KZC 形継電器の長所としては,

- (1) 方向要素と距離測定要素との接点協調の心配がない。(モ-特性)
- (2) 復帰特性がよい。(3.2 章参照)
- (3) 動作スピードが早い。(5 章 6 章参照)
- (4) 距離測定精度が高い。(3.2 章および 6 章参照)



図 3.1 KZC-FT 形短絡方向距離継電器  
Fig. 3.1 Front view of type KZC-FT distance relay.

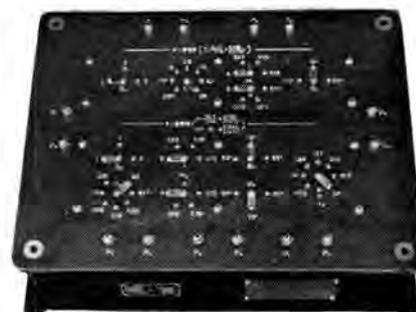


図 3.2 KZC-FT 形継電器用補助箱  
Fig. 3.2 Exterior view of auxiliary box for type KZC-FT relay.



図 3.3 TC-F 形限時継電器  
Fig. 3.3 Exterior view of type TC-F time relay.



(2) 負荷インピーダンスには、変圧器励磁電流突入時のインピーダンスを考慮し

(3) 故障インピーダンスには、かなり大なる地絡抵抗を考慮する必要がある場合には

四辺形特性の優位性が顕著となる。

また被試験系統では、相手端背後の電源は存在しないゆえ、原点を動作域内に十分包含してさしつかえない。

以上の諸条件を考慮して、図5.3のような整定としたKKS形継電器は、継電器設置点の電圧  $E$  のベクトル先端が、継電器設置点の電流  $I$  を相似インピーダンス装置に流して得られる整定電圧四辺形内にある場合、最終判定要素(有極継電器)が、DC電源より一定の入力を得て高速度動作するものであるから、被保護区間故障であれば、故障点位置に関係なく、一定高速度動作を確保しうる。(動作速度は5.3の例参照)

また、弁別方式は

$$\begin{cases} V_1 = IR - E \\ V_2 = I(R + jX) - E \\ V_3 = I(jX) - E \\ V_4 = -E \end{cases} \quad \text{または} \quad \begin{cases} V_1' = -V_1 \\ V_2' = -V_2 \\ V_3' = -V_3 \\ V_4' = -V_4 \end{cases}$$

なる  $V_1, V_2, V_3, V_4$  のいずれかが正極性の期間  $T_1$  なるトランジスタが不導通性となり  $V_1', V_2', V_3', V_4'$  のいずれかが正極性の期間  $T_2$  なるトランジスタが不導通性となる。それ以外の期間は  $T_1, T_2$  が導通性となり  $T_3$  なるトランジスタを導通性とし、判定要素の抑制コイルだけを励磁している。

電圧  $E$  のベクトル先端が整定図形内にはいれれば、 $T_1, T_2$  とも連続的に不導通性となり、 $T_3$  も連続的に不導通性となって、抑制コイル電流が0となると同時に  $T_1$  なるトランジスタが導通性となり、動作コイルだけに電流が流れ、高速度動作する方式である。

したがって、雑音があっても誤



図 4.1 KKS 形矩形特性距離継電器外観  
Fig. 4.1 Exterior view of type KKS polygon-characteristic distance relay.

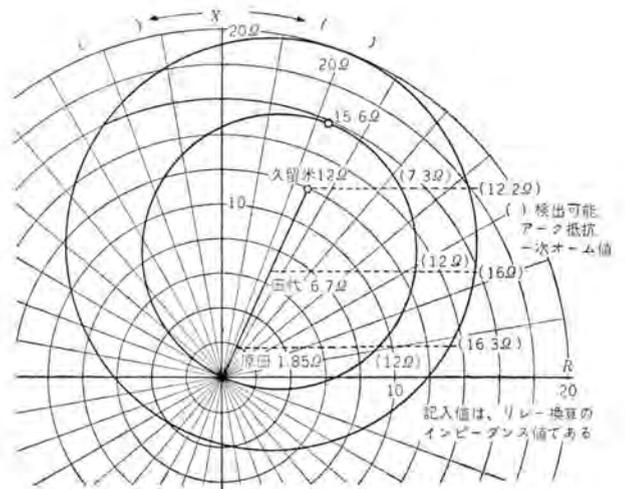


図 5.2 KZC 形継電器人工故障テスト時整定例  
Fig. 5.2 Type KZC relay setting diagrams at field test for artificial fault.

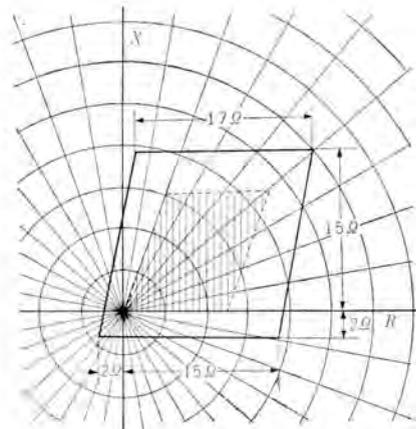


図 5.3 KKS 形継電器人工故障テスト時整定例  
Fig. 5.3 Type KKS setting diagrams at field test for artificial fault.

動作する心配がなく、現地テストにおいても全故障を通じ、外部故障であれば、正不動作、内部故障では正動作し、しかも動作速度は前記のように高速度であった。図4.1はKKS形継電器の外観図である。

## 5. 現地人工故障試験

### 5.1 概要

鹿児島本線交流電化に先だち、日本国有鉄道技術研究所が中心となられて、昭和35年秋、二日市-久留米間において交流電化総合試験が行なわれ、当社も立会させていただいた。本章は、11月8日~11月15日にわたって同地で行なわれた人工故障試験の際の前記KZC形およびKKS形継電器、動作状況の記録である。

#### (1) 故障点および系統構成

図5.1に示すように故障点は原田(H)、田代(T)、久留米(K)の3地点で、電源は二日市だけにあり、久留米方面に上り線、下り線2本で給電している。通常は、上り、下りのタイは開かされているが、テストの中には、ここ

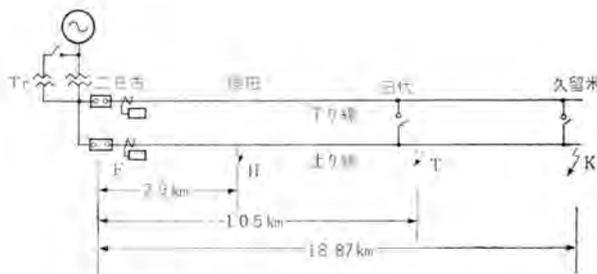


図 5.1 現地人工故障試験故障点説明図  
Fig. 5.1 Simplified circuit diagram for artificial fault test in the field.

を結びループとしたものもある。

(2) 故障種類

故障点において架線よりの引出し線を、投入器によって直接レール、NFへ落したものを、また、ガイシアークを経てレール、NF、接地線等へ落したものと各種の試験が行なわれた。

(3) 試験継電器整定例

KZC形継電器の整定例を図5.2に、また、KKS形継電器の整定例を図5.3に示す。

5.2 試験記録

各故障の場合の電磁オシロによる観測結果を、表5.1、5.2、5.3に示す。

なお、表中の電圧電流値は一次側に換算し、電流値は故障発生後1c/s目のピーク値を実効値に換算したものである。また、位相角はオシロより換算した電流の遅れ角である。

(1) 原田故障の実測記録(表5.1)

代表的なオシロ測定例をAT-14の場合につき図5.4に示す。

(2) 田代故障の実測記録(表5.2)

(3) 久留米故障の実測記録

(表5.3)

代表的なオシロ測定例をC-1の場合につき図5.5に示す。

なお、前記試験記録表は、KZC形についてまとめたものである。KKS形の動作スピードについては、オシロに記してある。

5.3 試験結果および考察

(1) 人工故障時のKZC形継電器一段動作時間

a. 原田故障の場合 ( $Z_1$  整定値の12%相当)

5.8A~14.5Aの故障電流に対し、 $Z_1$ の動作速度は0.9~1.3c/s

b. 田代故障の場合 ( $Z_1$  整定値の43%相当)

表 5.1 人工故障試験実測記録 (原田故障の場合)

試番	帰路	電圧			電流					動作時間 (c/s)			備考
		試前	試時	試時	$Z_1$	$Z_2$	T.C助磁	開極	再閉路	位相角(度)			
Ar-9	金属アースレール	22kV	2.6kV	1,280A	1.18	1.0	2.43	5.47	—	51.3	ループなし		
Af-10	金属アースN.F	22	2.6	1,440	1.14	0.97	2.52	5.32	—	60	ループなし		
AT-11	金属アースレール	22.4	2.8	1,360	1.25	1.05	2.55	5.35	29.3	40	田代ループ		
-12	金属アースN.F	22.2	2.6	880	1.3	1.1	2.46	4.77	28.4	70	田代ループ		
-13	金属アースレール	22	2.6	1,210	1.23	1.07	2.5	5.02	—	53	田代留米ループ		
-14	金属アースN.F	22.2	2.6	880	1.3	1.09	2.54	5.02	—	54	田代留米ループ		
AFG-5	gap→N.F ガイシアーク	22.2	2.6	1,360	1.19	1.0	2.52	5.13	—	33	ループなし		
-6	ガイシアーク 接地線	22.4	2.6	986	1.24	1.08	2.56	5.16	—	52	ループなし		
AG-3	"	"	2.8	1,350	1.1	1.0	2.36	5.05	—	48	ループなし		
AG-4	"	22.6	3.6	1,170	1.25	1.12	2.5	5.4	—	42.5	ループなし		
RA-7	ガイシアークレール	22.2	4.6	2,160	0.94	0.85	2.21	4.9	—	48.5	Tr台使用		
-8	"	22	4.6	1,770	0.89	0.84	2.12	5.0	—	48.5	ループなし		
AF-1-1	ガイシアーク gap→N.F	22.2	2.8	1,360	1.15	1.0	2.42	5.1	—	31.8	ループなし		
-1-2	"	22.3	2.6	1,360	1.1	0.97	2.32	4.94	—	65	ループなし		
-1-3	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—	ループなし		
-1-4	"	22.4	3.0	1,440	1.11	0.99	2.37	5.15	—	36	ループなし		
-1-5	"	22.5	2.8	1,360	1.11	1.03	2.4	5.1	—	56.5	ループなし		
AF-2-1	ガイシアーク gap→N.F	22.5	2.8	1,360	1.12	0.97	2.37	4.95	—	38	ループなし		
-2	"	"	3.2	1,125	1.18	1.07	2.44	4.95	—	52.2	ループなし		
-3	"	"	3.0	965	1.23	1.13	2.52	5.07	—	52.5	ループなし		
-4	"	"	—	—	—	—	—	—	—	—	ループなし		
-5	"	"	—	—	—	—	—	—	—	—	ループなし		
-4'	"	"	2.8	1,360	1.1	1.0	2.37	5.0	—	30.8	ループなし		
-5'	"	"	3.2	1,200	1.1	1.04	2.37	5.08	—	46.2	ループなし		

表 5.2 人工故障試験実測記録 (田代故障の場合)

試番	条件	帰路	電圧 (kV)			電流 (A)			動作時間 (c/s)			備考
			試前	試時	試時	$Z_1$	$Z_2$	T.C助磁	開極	再閉路	位相角(度)	
B-1	金属→N.F	22.2	7.5	880	1.41	1.24	2.63	5.0	—	54.4	上り線	
B-2	" "	24	6.8	800	1.49	1.28	2.42	5.65	—	80	下り線	
B-3	" レール	22.6	7.55	800	1.4	1.26	2.6	4.9	—	71	下り線	
B-4	" "	23.9	8.8	1,040	1.26	1.2	2.44	4.86	—	67	下り線	
B-5	" N.F	22.6	4.27	640	2.05	1.65	3.3	6.0	—	54.5	上下線 田代ループ	
B-6	" レール	22.6	6.3	560	2.15	1.7	3.4	5.95	—	59	上下線 田代ループ	
B-7	" N.F	23.2	5.5	880	1.54	1.32	2.73	5.45	—	59	上下線 田代久留米ループ	
B-8	" レール	22.6	6.3	800	1.59	1.34	2.85	5.6	—	60	上下線 田代久留米ループ	

表 5.3 人工故障試験実測記録 (久留米故障の場合)

試番	条件	帰路	電圧 (kV)			電流 (A)			動作時間 (c/s)			備考
			試前	試時	試時	$Z_1$	$Z_2$	T.C助磁	開極	再閉路	位相角(度)	
C-1	金属→レール	22.6	11.3	590	2.13	1.6	3.38	5.95	—	70.5	上り線	
C-2	" "	22.5	11.3	670	2.12	1.79	3.31	5.71	—	70	上り線	
C-3	ガイシアーク →N.F	22.6	11.3	720	2.06	1.75	3.26	5.9	—	80.5	下り線	
C-4	" "	22.6	11.3	640	2.35	1.73	3.25	5.8	—	70	下り線	
C-5	金属→レール	22.3	8.8	400	不	3.1	17.0	19.4	26.7	61.2	上下線 田代ループ	
C-6	金属→N.F	22.3	8.8	400	#1 不 #2 2.2	#1 3.22 #2 1.81	#1 19.8 #2 19.8	#1 22.1 #2 3.46	31.0	68.5	上下線 田代ループ	
C-7	ガイシアーク →レール	22.4	8.05	400	3.2	2.5	4.9	7.4	31.5	80.5	上下線 田代久留米ループ	
C-8	ガイシアーク →N.F	22.4	7.6	480	3.91	2.38	5.18	7.82	33.3	64.5	上下線 田代久留米ループ	

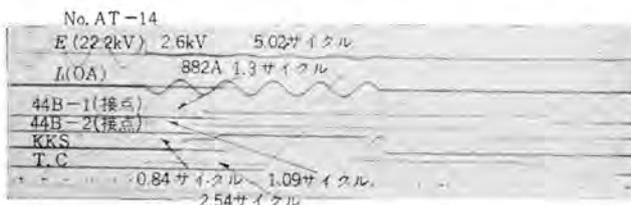


図 5.4 人工故障試験観測 オシロ例 (原田故障AT-14の場合)  
Fig. 5.4 Field test oscillograms for artificial fault at F (Fault location, H).

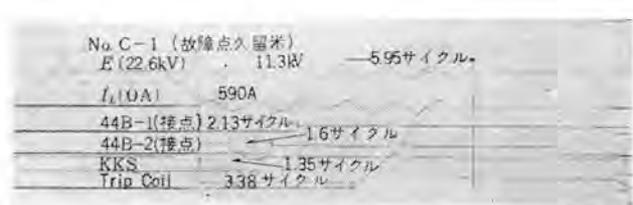


図 5.5 人工故障試験観測 オシロ例 (久留米故障C-1の場合)  
Fig. 5.5 Field test oscillograms for artificial fault at F (Fault location, K).

3.8A~7.0Aの故障電流に対し、 $Z_1$ の動作速度は1.26~2.15c/s

c. 久留米故障の場合 ( $Z_1$  整定値の77%相当)  
2.7A~4.0Aの故障電流に対し、 $Z_1$ の動作速度は2.0~3.9c/s

(2) KZC 形継電器動作状況

41回の人工故障テストに、きわめて安定した動作状況を示し、距離測定精度正しく、また、外部故障にはすべて正不動作であった。

(3) KKS 形継電器動作状況

全故障を通じて、動作範囲内の故障に対して、すべて1~2c/s (ほぼ1.5c/s一定)で動作し、限界点付近の故障でも2.35c/s以下であった。なお、外部故障時はすべて正不動作であった。

(4) 試番C-5, C-6 動作吟味

表5.3. 試験記録中、試番C-5, C-6の $Z_1$ 不動作の場合を吟味する。

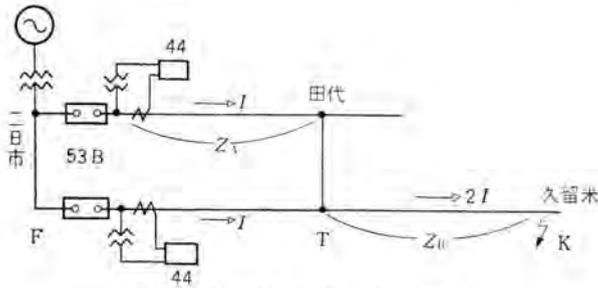


図 5.6 試番C-5, C-6 系統構成図  
Fig. 5.6 System composition diagram for test number C-5, C-6.

この場合の系統構成は、図5.6のようであった。すなわち、田代でループを構成する場合、久留米の故障に対し継電器の測定インピーダンスは、二日市-田代間を $Z_A$ 、田代-久留米間を $Z_B$ とすれば

$$Z_{R0} = \frac{Z_A I + 2Z_B I}{I} = Z_A + 2Z_B \dots \dots \dots (5.1)$$

となる。ゆえに、図5.2より、 $Z_A = 6.7\Omega$ 、 $Z_B = 12 - 6.7 = 5.3\Omega$ 、 $Z_{R0} = 6.7 + 2 \times 5.3 = 17.3\Omega$ となり、 $Z_1$ 不動作は正しい距離測定を行なった結果であることがわかる。

なお試番C-6の場合は、始め(#1)  $Z_1$ 不動作、 $Z_2$ 動作して片回線がバックアップ継電器によりシャ断して後、残り回線は、 $Z_A + Z_B = 12\Omega$ の故障とみて $Z_1$ 動作(#2)したものである。

6. 模擬送電線による試験

6.1 概要

人工故障試験の結果、きわめて好成績を納めた次第であるが、それはあくまで一つの整定値における動作例にすぎず、それだけをもって継電器の性能を完全に知ることは困難である。このような意味から、KZC 形継電器に関し、三菱模擬送電線 (以下ATLと略す)によって、厳密な試験を行なったので概要報告する。

最近の送電線保護継電器(1)・北浦・古谷

表 6.1 KZC 形継電器 ATL テスト時 整定表

整定	リレー換算 $Z(\Omega)$	$\theta$ (度)	
A	$Z_1$	14.7	60
	$Z_2$	17	60
B	$Z_1$	4.0	60
	$Z_2$	4.6	70
C	$Z_1$	8.6	60
	$Z_2$	22	70

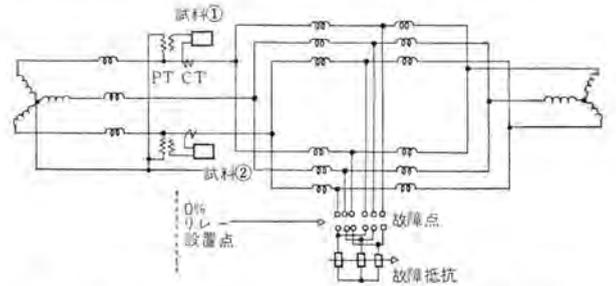


図 6.1 ATL による KZC 形継電器試験系統構成図  
Fig. 6.1 Test circuit of type KZC relay by Mitsubishi artificial transmission line.

ATL 試験により確認した事項は

- (1) 距離測定精度
- (2) 動作スピード・カーブ
- (3) 地絡抵抗検出能力
- (4) 列車内トランス励磁ラッシュおよび過渡入力に対する不感動作性
- (5) 人工故障テスト結果とATLテスト結果との相似性などである。資料は同一製品2台、同時試験とし、整定は  
A:人工故障区間 (二日市→久留米 18.9 km)  
B:最小区間 (門司→門司港 5.6 km)  
C:一般区間 (古賀→箱崎 11.0 km)

の想定のもとに表6.1 整定表のように決めた。

試験系統を組むに当たっては、現地テストの故障電流実測値より、ケース1……通常キ電 (4.5~25 A)

ケース2……並列キ電 (2.7~12.5 A) の場合を想定して、図6.1のような系統構成とした。すなわち、故障は3φSとし100%故障の系統インピーダンスが整定値となり、至近端故障時の継電器入力電流が上記の最大故障電流値に、また、限界点付近故障時の継電器入力電流が上記の最小故障電流値になるように系統を構成し (すなわち、両端電源の大きさ、PT比、CT比を決定し)かつ、故障点を10%間隔に取れるようにATLの巨長を決定した。

6.2 試験結果

(1) 距離測定精度

2台につき全20回の動作テストの結果、故障電流の多いところでは動作、不動作の限界幅が整定値の±5%以内であり、きわめて良好な選択能力を有していることが確認された。

特筆すべきは、故障電流中にかなりのDC分が重畳されてもその影響をほとんどうけないというこの継電器の特長が実証された点と、モ-特性継電器における動特性

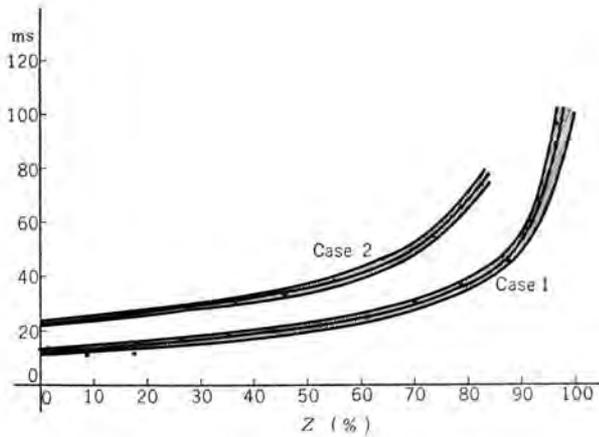


図 6.2 KZC 継電器動作速度曲線  
 整定 A,  $Z_1$  試料①の場合

Fig. 6.2 Operational speed curves of KZC relay by ATL.  
 (Setting A,  $Z_1$ , sample ①)

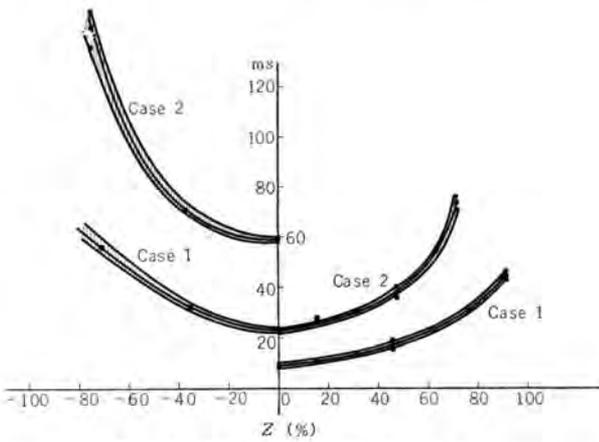


図 6.3 KZC 継電器動作速度曲線  
 整定 A,  $Z_2$  試料①の場合

Fig. 6.3 Operational speed curves of type KZC relay by ATL.  
 (Setting A,  $Z_2$ , sample ①)

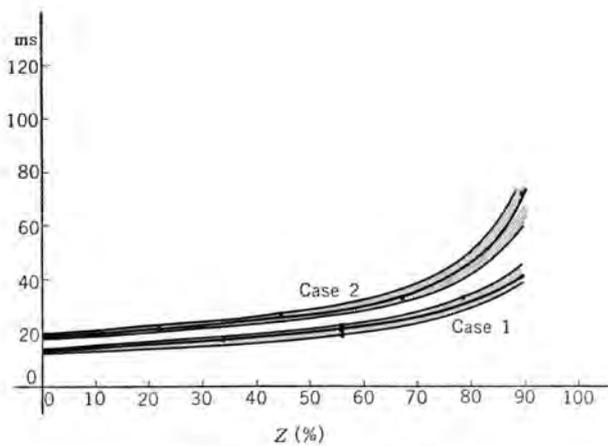


図 6.4 KZC 継電器動作速度曲線  
 整定 B,  $Z_1$  試料②の場合

Fig. 6.4 Operational speed curves type KZC relay by ATL.  
 (Setting B,  $Z_1$ , sample ②)

は静特性で求めたものよりはるかにすぐれたものとなる  
 ことが明らかとされた点とにある。すなわち、整定 B、  
 ケース 2 の場合、動作限界点付近の電流は 2.9 A であるゆ  
 え、図 3.4 の  $E-I$  特性で考えれば 50 % 以下でやっと動作  
 することになるが、試験結果では、101 % 不動作、89.6  
 % 動作という良好なものとなる。このことは図 3.4 で  $E-I$   
 特性の動特性が鎖線のように延びることを示している。

(2) 動作スピード・カーブ

整定 A  $Z_1$  の場合を図 6.2 に

同  $Z_2$  の場合を図 6.3 に

整定 B  $Z_1$  の場合を図 6.4 に示す。

図中斜線の部分は、同一条件で 10 回故障を発生させた  
 ときの動作時間のバラツキ範囲を示す。(測定はミリコンドメ  
 ータによる。) この図より、いずれの整定においても至近  
 端故障で 1 c/s 内外、限界点付近で 3~4 c/s、動作時間の  
 バラツキ 5 ms 以下という結果を得ている。

整定 A, Case 1, 90 % の場合の オシロ観測結果を図 6.5  
 に示す。

(3) 地絡抵抗検出能力

地絡抵抗ある場合の検出能力は位相特性で判定できる。  
 しかし、これは静的なものである。動的検出能力を AT  
 L により、整定点の 78 %, 52 %, 0 % において求めた結

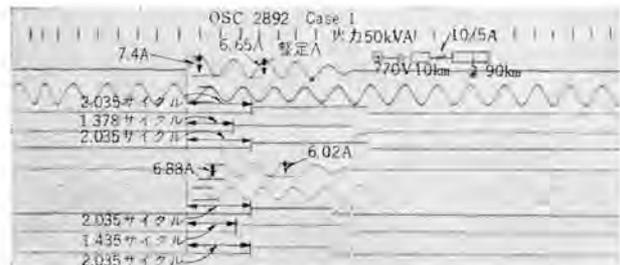


図 6.5 KZC 形継電器動作 スピードオシロ  
 (ATL による試験結果)

Fig. 6.5 Operational speed oscillograms tested by ATL.

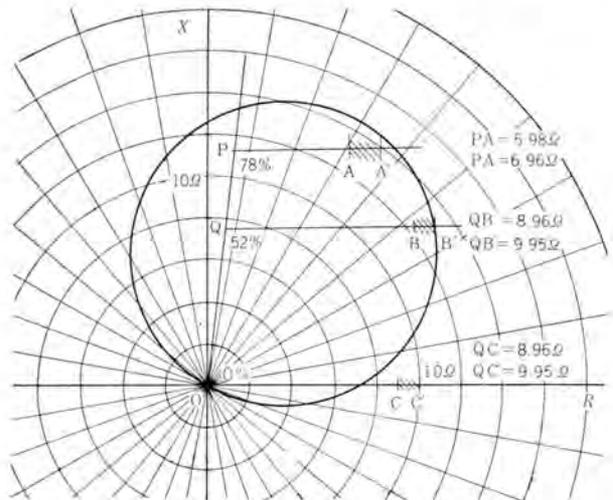


図 6.6 KZC 形継電器地絡抵抗検出特性実測例  
 整定 A, 継電器  $Z_1$

Fig. 6.6 Ground resistance detective character of type KZC relay.

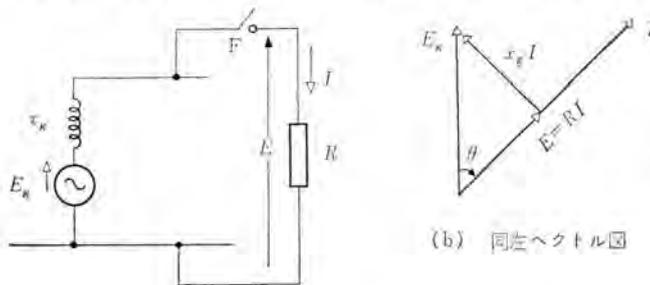
果, 限界値はそれぞれ AA', BB', CC' を示した。

試験は図 6.1 の故障抵抗を任意に変え, 継電器側に換算して行ない, オシロ の  $E, I$  の読みから位相チェックを行なったものである。ただし, 故障発生前の潮流は与えていない。図 6.6 で至近端の検出能力が, CC' と若干増加している点につき吟味してみる。

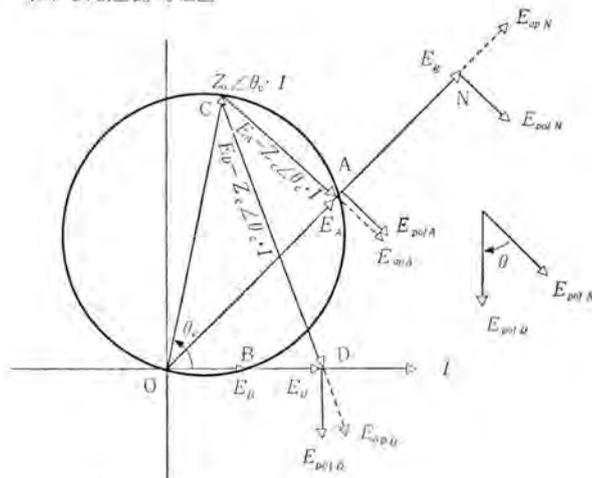
これは モー 継電器の メモリ効果 に起因するものである。

図 6.7 につき吟味してみる。

KZC 形継電器第一段, モー特性継電器の位相特性については, 先に「最近の距離継電器」に発表しているので詳細は省略するが,  $I$  を一定として  $E$  を変えたときの動作限界は,  $E$  より 90 度遅れた  $E_{pol}$  と  $E - Z_c \angle \theta_c \cdot I$  と同相の  $E_{op}$  とが同相となる点の軌跡として図 6.7 (c) のように原点を通る円特性 (C, A, B, O) で表わされる。(ここで,  $Z_c$ …整定値,  $\theta_c$ …整定角) しかるに試験結果図 6.6 では, A 点については問題ないが, B 点では動作域となり, 限界点は D 点に移動している。すなわち,  $E_{opD}$  が  $E_{polD}$  より進んだ状態でも動作することを示している。(静特性では  $E_{op}$  が  $E_{pol}$  より遅れたとき動作力となるものである。) このことは「始め N にあった状態から, D の状態に移るとき,  $E_{op}$  の位相は瞬時に変化するが  $E_{pol}$  は, メモリ効果を持っているためその位相変化は遅くある時間の間, D 点でも  $E_{op}$  が  $E_{pol}$  より遅れている状態が続くためである。この動作力となりうる期間中



(a) 試験回路等価図



(c) 位相特性図

図 6.7 KZC 形継電器地絡抵抗検出能力説明図  
Fig. 6.7 Explanation diagrams of Fig. 6.6.

表 6.2 KZC 形継電器現地試験結果および人工故障試験結果比較表

故障点	故障%	試 番	故障電流	人工故障時実測値(%)	ATL テスト時実測値 (c/s)
原 田	12%	AR-7	14.5	0.94	0.85(約 20A)
		AT-14	5.8	1.3	1.35
田 代	43%	B-4	7.0	1.26	1.20
		B-6	3.8	2.15	2.00
久留米	77%	C-1	4.0	2.13	2.10
		C-7	2.7	3.2	3.50

のトルクが一定値以上あれば動作するもので, 最終的には抑制力となる位相関係におちつく。

なお故障前の電圧が N 点にあると考える理由は図 6.7 (a), (b) に示すように, 継電器の電圧入力健全時には, 発電機の誘起電圧  $E_g$  を受けていたものが, 故障と同時に,  $\theta$  だけ遅れた  $E=RI$  を受けることを考慮したものである。

(4) 列車内トランス励磁ラッシュおよび過渡入力に対する不感動性

図 2.2 で継電器の整定にあたって, 列車内トランス励磁インピーダンスの最小値の場合も円内にはいらないことが必要である旨述べたが, このような場合の電流波形は高調波成分を含む過渡波形である。ATL によってこれを模擬するのにトランスの励磁電流により CT 二次で波高値 11.5 A のものまで加え,  $Z_1, Z_0$  とも応動しないことを確認した。

また, 反跳, 外部故障除去時等過渡時の応動について, かなり苛酷の試験を行なったが, いずれも良好な結果を得た。

(5) 人工故障テスト結果と ATL テスト結果との相似性

比較例として動作スピードを比較したものでは表 6.2 のようにきわめて相似している。

実系統……………線路インピーダンス角 70 度

ATL ……………線路インピーダンス角 83 度

の差は故障時の動作を見る上にはほとんど問題とならない。

## 7. む す び

以上, 鹿児島本線, 交流電化人工故障試験において, KZC 形高速度方向距離継電器, KKS 形矩形特性距離継電器はきわめて良好な成績をおさめた。

この試験に関し, 日本国有鉄道, 技術研究所, 林技師はじめ, 関係各位に種々ご指導, ご助力賜わったことを深謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 北浦・古谷: 最近の距離継電器 (1), 「三菱電機」, 35, No. 4 (昭 36)。

# JRR-2 ハンドリングキャスク

伊丹製作所 水野 茂\*・阿部康宏\*\*・渡辺 聡\*\*

## JRR-2 Handling Cask

Itami Works Shigeru MIZUNO・Yasuhiro ABE・Satoshi WATANABE

A variety of handling machines are needed for the satisfactory operation of a nuclear research reactor. The JRR-2 handling cask described herein is a submachine designed for safety handling of beam tubes for JRR-2 reactor. It involves two major parts of a vertical handling cask and a horizontal handling cask to manipulate eight vertical beam tubes and eleven horizontal ones respectively. Substances to be handled having strong radioactivity, the cask is provided with heavy shield wall, the weight of which reaching eighty tons. This apparatus is an outcome of our laborious efforts in overcoming limitations such as permissible radiation dose rate, size and weight and undergoing many severe tests.

### 1. ま え が き

JRR-2は出力10,000 kWの研究用原子炉で、昭和35年10月に臨界に達した。ここに述べるJRR-2ハンドリングキャスクは、この原子炉の実験孔の取扱い、ならびにコントロールロッドの交換を行なうことを目的とした機械で、垂直形のパーティカルハンドリングキャスクと、水平形のホリゾンタルハンドリングキャスクからなり、いずれも当社独自の設計、製作によるものである。

パーティカルハンドリングキャスクは、原子炉上部より挿入されている8本の垂直実験孔 (Vertical beam tube) と、1本の中央実験孔 (Central thimble) の取扱いのほか、6本のコントロールロッドの交換を行なうもので、ホリゾンタルハンドリングキャスクは、原子炉の側面より挿入されている4種11本の水平実験孔 (Horizontal beam tube)、および2本の貫通実験孔 (Grazing tube) の取扱いを行なうものである。

実験孔の取扱いとは、研究試料を実験孔を通して炉心まで挿入し、一定の放射線照射後取出して、シヤハイ容器の中に納め、研究室に運搬すること、ならびに実験用プラグの交換格納などを行なうことであるが、この操作中炉心、照射試料およびプラグなどから出る強烈な放射線に対して、十分なシヤハイを施さなければならない。ハンドリングキャスクはいずれも厚い鉛のシヤハイ壁を有し、運転者を十分保護するよう作られている。

## 2. パーティカルハンドリングキャスク

### 2.1 キャスクの仕様

- (1) 形式 ウィンチタイプ3ヘッド交換式
- (2) 構成機器
  - a. キャスク本体…………… 1基
  - b. キャスクステーション…………… 1基

- c. 位置決め台…………… 2個
- d. カプセル…………… 50個
- e. カプセルホルダ…………… 10個
- f. カプセルホルダコンテナ…………… 3個
- g. ペデスタル および新コントロール  
ロッドローディングシヤブル…………… 1組

### (3) 設計要項

CO<sup>60</sup> 1,000 キュリ 相当の試料、ならびに原子炉定格出力運転後におけるコントロールロッドおよびプラグの誘導放射能に対する取扱中の、キャスク外面の放射線漏洩率

- a. 運転者方向 10ミリレントゲン/h 以下
- b. その他の方向 100ミリレントゲン/h 以下

### 2.2 キャスク本体

キャスク本体はパーティカルハンドリングキャスクの主要部をなすもので、最高270 mmの厚さの鉛のシヤハイ壁を有する胴部と、3個のグラブを有し、交互に作動する3頭巻上機構、頭部回転機構、ペリスコープおよびコントロールパネルなどからなり、図2.1にその断面図を示す。

胴部の鉛シヤハイ体は、五つに分割され、各合せ面には段をつけて放射線の直接の漏洩を防ぎ、またこの面にはOリングが入れられて、キャスクは気密構造となっている。キャスク内面は、全面ステンレス鋼板で内張りされ、汚染や発錆を防いでいる。

胴部にはペリスコープが貫通しており、キャスク内部に引上げられた物体を、観察することができる。このペリスコープには耐放射線性ガラス (Nou browning glass) が用いられている。

巻上機構は、上部シヤハイ体上に取付けられた3台のウィンチと、そのおのおのからつり下げられた電磁式グラブ、およびグラブの案内を行なうガイドチューブなどからなり、3台のウィンチは2台の直流電動機におのおの電磁クラッチを介して接続され、これによりウィンチを1台ずつ

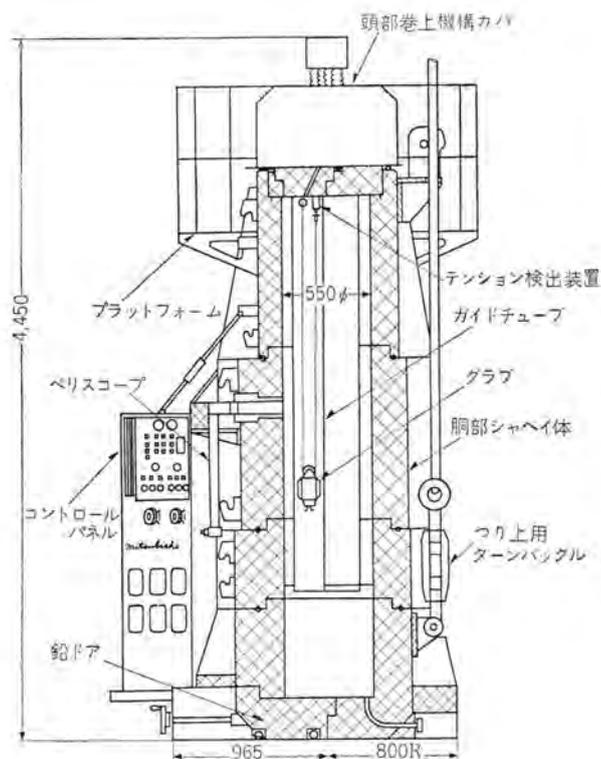


図 2.1 バーチカルハンドリングキャスク

Fig. 2.1 Sectional view of vertical handling cask.

つ順々に切り替え運転をして、目的の操作を完了することができる。3台のウインチのうち1台 (No. 1) は、自己のまわりに回転することができて、コントロールロッドや実験試料などの挿入の際の角度調整を行なうことができる。

グラブは実験孔のプラグまたは制御棒などをつかむ機能のもので、マグネットによりツメを開閉する構造である。これは炉心内部に挿入されて、強い放射線を受けるため、材料ならびに構造ともに、とくに耐放射線に注意して設計された。ツメの側面には、2個のミネアチュアマイクロスイッチが取り付けられ、テンション指示装置とともに、グラブとそれにつかまえられている物体の、相互関係を標示できるようにになっている。

3個のグラブは、相互の干渉、振動およびワイヤのよりのによる偏心などを避けるため、おのおのキャスク内部では、ガイドチューブに案内されている。このガイドチューブの外壁とキャスク内壁とに囲まれた3個の扇形の空間には、グラブへの給電線の巻取装置が納められており、したがって、給電線もまた強い放射線照射を受けるため特別に設計された、鉄心入り四心耐放射性ケーブルが使用されている。

これらの3頭巻上機構を取付けた上部シャヘイ体は、特別に設計された、径 890 mm の極薄形スラストボールベアリング上に乗せられ、キャスク胸部の上に取付けられていて、これ全体を回転することにより、三つのグラブを順々に交換して、①プラグの抜取り、②照射済カプセルホルダまたは使用済コントロールロッドの引上げ、③新しく挿入す

るカプセルホルダまたはコントロールロッドの挿入、④プラグの挿入、という一連の操作を連続的に行なえるものである。

キャスク本体には、このほかコントロールパネルがあり、電動操作、安全処置、グラブの位置および状態の標示などを行なう。3個のグラブの位置はセルシオンによりパネル上に指示される。

キャスク本体の主要目を下に示す。

全高	4,450 mm
最大径 (底面径)	1,600 mm
内室高さ	3,140 mm
内室径	550 mm
鉛壁の厚さ	
運転方向最大	270 mm
運転外方向最大	250 mm

グラブ下降長さ	
ウインチ No. 1 (挿入用)	6,750 mm
ウインチ No. 2 (引上用)	6,750 mm
ウインチ No. 3 (プラグ用)	3,400 mm

巻上安全荷重	
ウインチ No. 1 および No. 2	最高 3 m/min (変速比無段 1:4)
ウインチ No. 3	最高 1 m/min (変速比無段 1:4)

巻上用 モータ DC 150 W 2台

キャスク全重量 25 t

安全処置

- (1) 鉛ドアが開いたままキャスクを移動する場合、ラザーによる警報。
- (2) グラブが物体をつかんでいるとき、ベルによる指示。
- (3) 引上げ荷重が異常に大きくなったとき、モータ停止。
- (4) グラブ荷重がワイヤにかからなくなった場合、モータ停止。

### 2.3 キャスクステーション

キャスクステーションは、原子炉で照射され、キャスク内に引上げられた放射能を有する照射試料を、その収納容器であるカプセルホルダコンテナに納めるときに使用されるものである。

これは、鋼板製容器の中に重コンクリートを打ち込んだシャヘイ体と、この一部を切り開いて、カプセルホルダコンテナを中心に運び込むための台車、およびこの駆動装置からなり、このシャヘイ体上にキャスクを乗せて、下のカプセルホルダコンテナとキャスク間で、カプセルホルダの受渡しを行なう。

### 2.4 カプセル

カプセルは照射試料を入れるアルミ製の容器で、マニュアルによる取扱いに便利な構造となっている。フタはネジ込み式である。

## 2.5 カプセルホルダ

カプセルホルダはカプセルを数個まとめて入れる容器であって、アルミで作られ、キャスクのグラブおよびマニプレータでの取扱いが簡便なように作られている。

## 2.6 カプセルホルダコンテナ

カプセルホルダコンテナは放射能を有するカプセルホルダを収納する容器で、厚さ250mmの鉛のシヤハイ壁を有するものである。

## 2.7 位置決め台

位置決め台はコントロールロッド交換用、および垂直実験孔取扱い用の二つあって、キャスク本体を原子炉上、またはコントロールロッド交換時のプール上に、正確に位置決めするためのものである。これはキャスク本体を導くガイドのついた受皿と、その下に取付けられた2本のピンからなり、原子炉上または、プール上に置かれたペDESTAL上にあけられたピン穴にこのピンを差し込んで位置決めする。受皿の上下両面には特別に設計されたOリングがはめ込まれ、原子炉およびキャスク内のガスの漏洩を防止できる構造となっている。

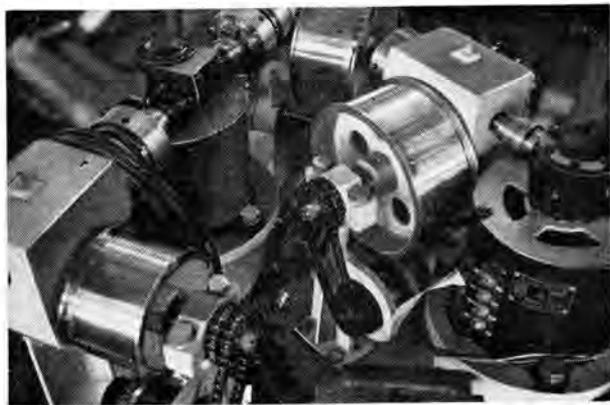


図 2.2 組立中の頭部機構

Fig. 2.2 Head mechanism under assembling.

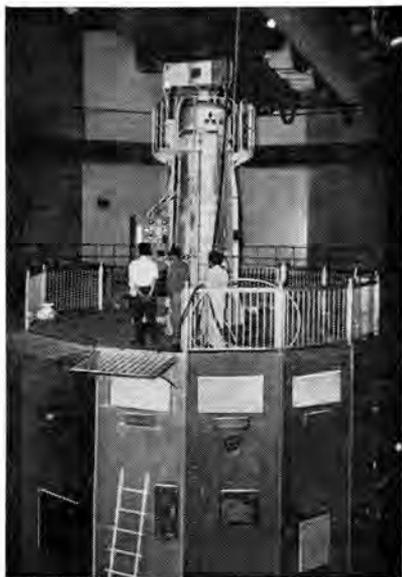


図 2.3 原子炉上総合試験

Fig. 2.3 Operational test on the reactor

## 2.8 ペDESTALおよびニューコントロールロッドローディングシムブル

ペDESTALはコントロールロッドの交換の際に、キャスク本体をプール上に位置決めするときの台となるもので、200mm厚さの鋼板製円板で、位置決めの際のキーや位置決め台用ピン穴が取付けられている。

ニューコントロールロッドローディングシムブルは新しいコントロールロッドを、キャスク本体内に挿入するとき、新しいコントロールロッドを入れてプール内に沈めるもので、アルミで作られている。

## 2.9 組立および試験運転

本機は危険な放射性物質を取扱うため、組立ならびに試験には細心の注意が払われた。図2.2は組立中の頭部機構、図2.3は原子炉上における総合試験である。

## 3. ホリゾンタルハンドリングキャスク

### 3.1 キャスクの仕様

- (1) 形式 分割形 自在調整 ラック 駆動式
- (2) 構成機器

a. キャスク本体	1 基
b. キャスク調整台およびプラグ操作台	1 式
c. 水平台	1 式
d. カプセルホルダおよび受皿	1 式
e. カプセルホルダコンテナ	2 個
f. グレージングチューブ操作補助具	1 式
g. プラグ格納具	1 式

- (3) 設計要領

照射試料として  $\text{Co}^{60}$  1,000 キュリーを取扱う場合のキャスク外面における放射線漏洩率

a. 操作面	10 ミリレントゲン/h 以下
b. a 以外の面	100 ミリレントゲン/h 以下

### 3.2 キャスク 主要部

キャスク 主要部はキャスク本体、キャスク調整台、およびプラグ操作台からなり、照射試料を入れたカプセルホルダを原子炉とキャスク、またはカプセルホルダコンテナとキャスクの間でやりとりする操作を行なう主要部をなすものである。図3.1にこれを示す。

キャスク本体は、鉛のシヤハイ体とプラグをのせてシヤハイ体内を往復する台車“ドーリ”とからなり、シヤハイ体は、キャスク前部、キャスク後部、鉛ドアおよび、後部シヤハイ体の四つに分割され、おのおの鋼板製容器の中に鉛を鑄込んだものである。キャスク内面は汚染をさけるためステンレス鋼板が使用されている。これにはドア開閉装置、プラグ固定装置および、位置決め用測定器類が取付けられている。ドーリは台車およびプラグ受台からなり、操作軸によってキャスク内のレール上を移動し、原子炉のビームチューブドアボックス内に押込まれる。プラグ受台はプラグの寸法に合わせて3個ありキャスク底部に設けられたレールにより、上下に移動され、プラグの受渡しを円滑に行なうことができる。

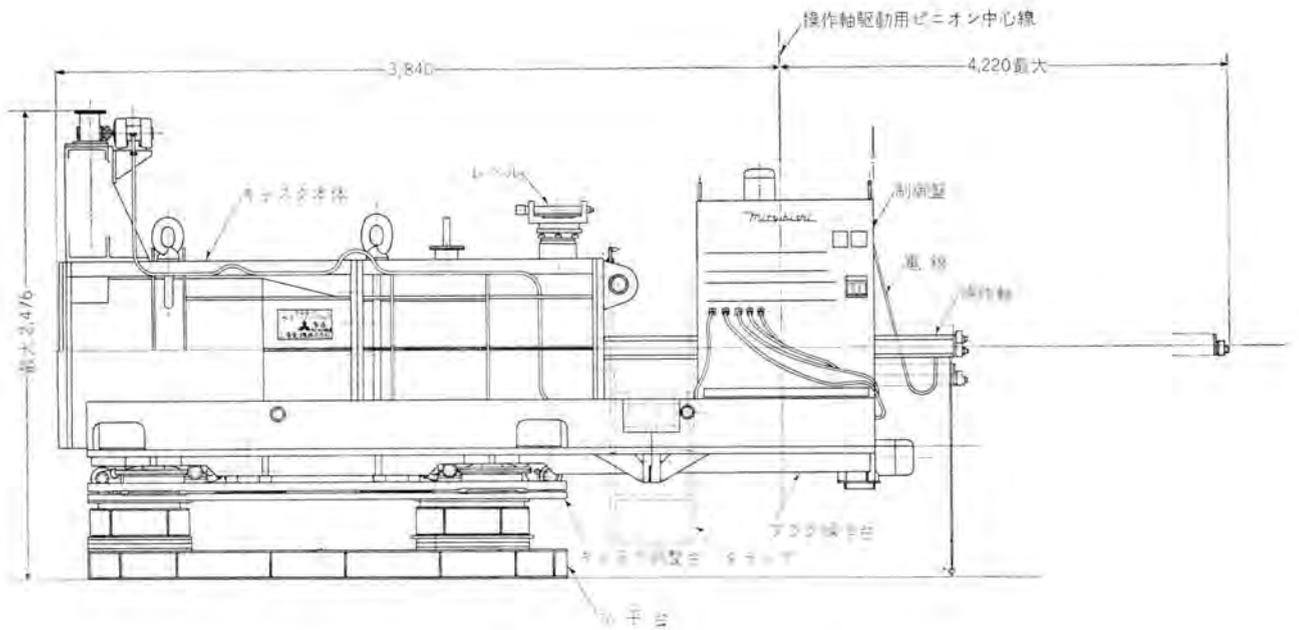


図 3.1 ホリゾンタルハンドリングキャスク  
Fig. 3.1 Horizontal handling cask.

キャスク調整台はキャスク本体およびプラグ操作台の方向および、位置をビームチューブに合わせるもので上下駆動および横振り機構からなり、この上のにせられたキャスク本体およびプラグ操作台を3次元空間において自由に動かすことができるものである。上下駆動機構は、独立に駆動される4個のウォームギヤックで、横振り機構は、2枚の鋼板の間に鋼球を敷いて行なうこととした。これらはいずれも電動駆動される。

キャスク調整には、キャスクに取付けられた光学レベル、水泡レベルおよび操作軸端の重錘などを用いて行なわれる。

プラグ操作台には操作軸、操作軸駆動機構およびキャスク前後進駆動機構が取付けられている。操作軸は8角のステンレス角棒で、一面にラックが切っており、先端にはプラググリップが取付けられている。

操作軸駆動は電動でモータよりベルトおよび歯車減速を行なって、操作軸のラックにかみ合い、軸は8個の球面ローラによりささえられている。なお、軸は前後進のほか、上下の高さも電動で調整される。キャスク前後進駆動機構はこの台の下に取付けられたスクリーを回転して行なわれ、電動駆動である。

コントロールパネルは、これらの電動制御を行なう。

キャスク主要部の要目を下に示す。

全長	4,350 mm
全高	2,100 mm
全幅	1,200 mm
キャスク本体重量	15 t
全重量	21 t
鉛壁の厚さ(最下)	250 mm
操作軸全長	4,750 mm

操作軸送り速度	1.5 m/min
上下調整 ストローク	35 mm
左右調整 ストローク	±50 mm
角度調整	
垂直面内 前後方向	1 度
垂直面内 左右方向	1.5 度
水平面内	10 度
キャスク 前後 ストローク	550 mm

### 3.3 カプセルホルダ 受皿

水平実験孔においては、カプセルホルダはプラグ先端に取付けられた受皿の上に乗せられて、実験孔内に挿入される。受皿はアルミ製で、プラグの先端に溶接された受皿取付台にはめ込まれ固定される。寸法法のプラグに対しては、プラグの他端にバランスウェイトを取付け、重い試料を乗せようになっている。

### 3.4 カプセルホルダ

パチカルハンドリングキャスクの場合と同様に、ホリゾンタルハンドリングキャスクの場合もカプセルホルダを使用する。材質はアルミで実験孔寸法に合わせて4種類作られている。

### 3.5 カプセルホルダコンテナ

パチカルハンドリングキャスクと同様の役目をするものであるが、これは横形で、プラグ先端の受皿よりカプセルホルダを取出すためのチャックが取付けられている。

### 3.6 プラグ 格納補助具

水平実験孔のプラグは炉室外に運び出され、格納室の床に垂直にあけられた穴の中に格納される。プラグは原子炉からキャスク本体内に引抜かれ、キャスク本体は16トントレーラに乗せられて、エアロックを通り格納室に運搬される。ここでキャスク本体はクレードルに乗せかえられ、垂直にたてられてクレーンで格納穴上に運ばれる。ここで



図 3.2 クレードル および キャスク 本体  
Fig. 3.2 Cradle and cask body.

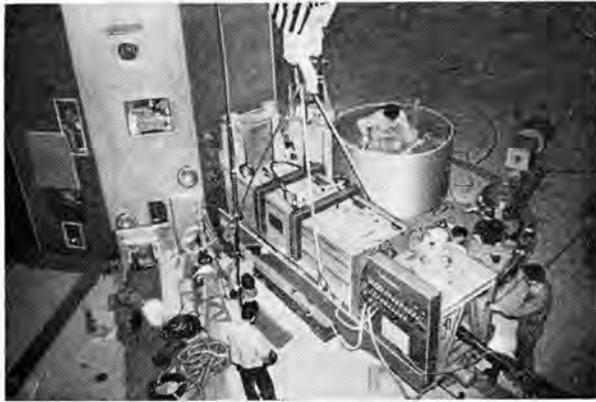


図 3.3 原子炉面の運転試験  
Fig. 3.3 Operational test at the reactor face.

プラグはチェーンブロックにつり下げられ、穴の中に格納される。図3.2はクレードルによるキャスクの取扱い状況を示している。

### 3.7 水平台およびグレージング補助具

水平台は前に述べたキャスク主要部の高さの粗調整をするため数個あり、各実験孔に合わせて選び出し、重ね合わせてキャスク調整台の下に置かれる。

グレージング補助具は実験孔の構造、および炉壁面の異なるグレージングチューブを取扱う場合に用いられるもので、補助シャフト体、補助台、グリップなどからなる。

### 3.8 組立および試験運転

本機もまた、パチカルハンドリングキャスクと同様、組立ならびに試験には細心の注意が払われた。図3.3は原子炉面での試験運転を示す。

## 4. む す び

以上今回完成したパチカルおよびホリゾンタルハンドリングキャスクの概要を述べた。ハンドリングキャスクは大形の研究用原子炉には不可欠のものであるが、炉の形式や使用目的により、キャスクに要求される機能は異なる。ここに述べたハンドリングキャスクは、JRR-2を種々の面より検討し、これにもっとも適したものとして設計されたものであるが、実験孔の取扱いにも、設計時考慮された以外のバリエーションがあり、機械としての特性は、なお今後数年の使用状況より判定しなければならない。いずれにせよわが国最初のもので、諸外国にも類例のないこの機械の、今後の成果を期待するものである。終わりに設計製作に際し、種々ご指導いただいた日本原子力研究所の各位、ならびに三菱原子力工業会社の各位に深く感謝する次第である。

### 最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
36-1-21	電気公論社	7.2KVおよび12KV新形磁気シヤ断器	新井正元・五十嵐芳雄 富永正太郎	伊丹
〃-1-23	エレクトロニクスダイジェスト	列車無線電話	北垣成一	無線機
〃-1-25	日本熱処理技術協会	高周波誘導加熱装置(製品紹介)	馬場文夫・東田孝彦	無線機
〃	東北電力	「屋外の照明」テキスト	小堀富次雄	本社
〃-1-27	電気学会雑誌	トランジスタを用いた自己平衡形磁気増幅器	浜岡文夫・山崎英蔵	研究所
〃-1-30	東京日刊工業新聞社	工業用半導体整流装置	加藤又彦	伊丹
〃	オーム社	高周波発電機とはどんなものか	生駒銻郎	神戸

# 7.2/3.6 kV, 150 MVA, 新形磁気シャ断器

伊丹製作所 五十嵐 芳雄\*・富永正太郎\*\*・桜井 武 芳\*\*

## 7.2/3.6 kV, 150 MVA New Magnetic Air Circuit Breakers

Itami Works Yoshio IGARASHI・Shōtarō TOMINAGA・Takeyoshi SAKURAI

New 3.6 kV magnetic breakers with a center blow-out type interrupting chamber different from old construction was developed a few years ago. Since then exhaustive tests have been conducted to verify their excellent performance and 7.2 kV/3.6 kV 150 MVA 600 A breakers have been completed recently. The center blow-out method makes the magnetic flux stronger and more uniform, resulting in far greater interrupting ability. Simultaneously, voltage distribution across the open contacts is so improved as to maintain impulse level across the contacts with shorter distance than the old design, and higher interrupting capacity has been obtained with smaller size.

### 1. ま え が き

最近従来の磁気シャ断器<sup>(1)(2)</sup>とまったく構造を異にするいわゆる センタ・ブローアウト式消弧室をもつ3.6 kV用磁気シャ断器が開発され、その優秀性が確認されて以来<sup>(4)(5)</sup>この方式による磁気シャ断器の高圧大容量化および小形化について種々の検討が重ねられていたが、このたび7.2 kV, 3.6 kV 共用150 MVA 600 Aのものが完成し東京電力に標準メタルクラッド用として多数納入した。このシャ断器は、容量からいってもこの種のシャ断器でもっとも需要の多い中堅の機種であり設計はもちろん生産という見地からも各方面より検討を加えたので、以下これらについて紹介する。

### 2. 定 格

このシャ断器の定格は次のとおりである。

定格電圧	7.2/3.6 kV
定格電流	600 A
定格シャ断容量	150 MVA

定格投入電流	65.5 kA
定格短時間電流	24.1 kA
定格シャ断時間	5サイクル(過電流引はずし装置のあるばあいは8サイクル)
定格開極時間	0.06秒(過電流引はずし装置のあるばあいは0.08秒)
絶縁階級	6号
定格再起電圧	20 kv
標準動作責務	甲号または乙号
定格投入操作電圧	DC 100 V
定格引はずし電圧	DC 100 V

### 3. 構 造

この形式のシャ断器は図3.1, 3.2に示されるようにアークを上方に吹き上げる消弧室と、水平のラッキングを備え、水平引出し式のメタルクラッドに適するよう設計されているが、単独に据付けて簡単なカバーをつけることもできる。このような水平引出し式は、メタルクラッドの出し入れに際して垂直昇降式のもののように重力に対して仕事をする必要がないので、出し入れが軽快にでき、上方にアークを吹き上げる消弧室構造は、上昇

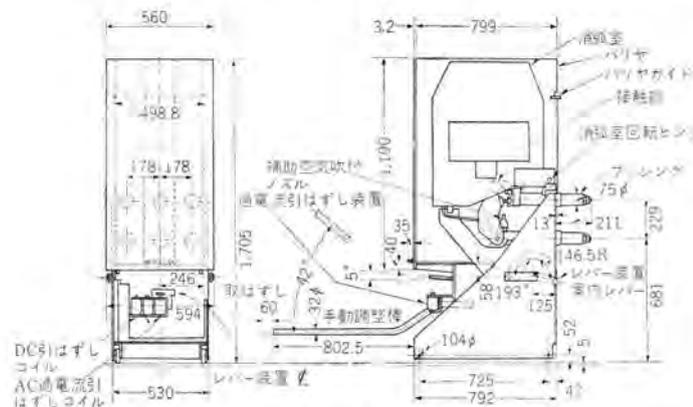


図 3.1 6-DHM-15 600 A 磁気シャ断器 外形図

Fig. 3.1 Outline dimensions of type 6-DHM-15 magnetic air circuit breaker.



図 3.2 正面バリヤを取はずした 6-DHM-15 形磁気シャ断器

Fig. 3.2 Type 6-DHM-15 magnetic air circuit breaker with the front barrier removed.

気流を利用でき、消弧能率がきわめて高い。

### 3.1 消弧室

一般に磁気シヤ断器の消弧室の磁界は吹消コイルの近くではもっとも強くコイルより遠ざかるにつれて弱くなり、コイル近くの消弧板は消弧能率が高いが遠い部分は能率が低いという欠点があり、昔から磁界を均一かつ強力にする手段には各メカともいろいろ苦心し、2個あるいはそれ以上の吹消コイルを使用したり、磁極の形状や積層の方法をくふうしたりして種々の形式の消弧室が考案されたが、構造が複雑で高価になるものや、絶縁に難点のあるものなどが多く、なかなか実用的なものが得られなかった。

このセンタ・ラウアウト式消弧室は、図3.3、3.4に示すようにH形磁極を使用し消弧板を2群に分けたので、図3.5に見られるように従来のU形磁極の場合より各消弧板がコイルに近くなり、はるかに強力かつ均一な磁界が得られるので消弧室の全部にわたって消弧板の消弧能率がきわめてよく、大容量のものまで比較的小形に設計できるようになった。

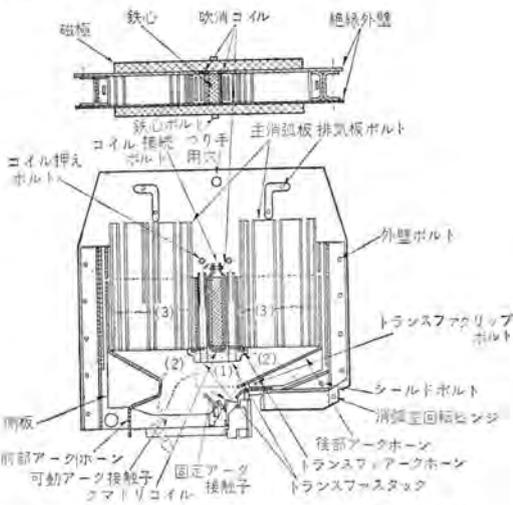


図 3.3 6-DHM-15 形シヤ断器消弧室説明図  
Fig. 3.3 Interrupting chamber of type 6-DHM-15.

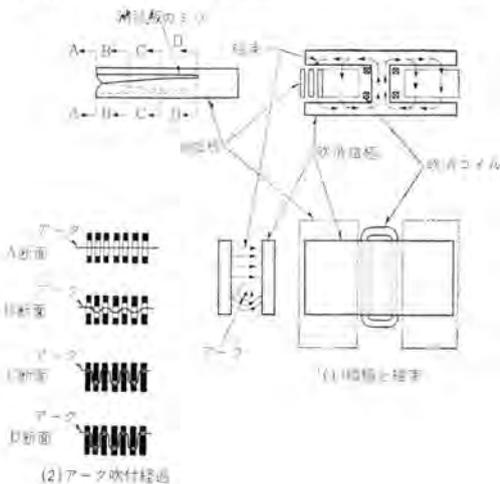


図 3.4 磁気シヤ断器消弧原理説明図  
Fig. 3.4 Diagram showing the arc extinguishing mechanism of H type core.

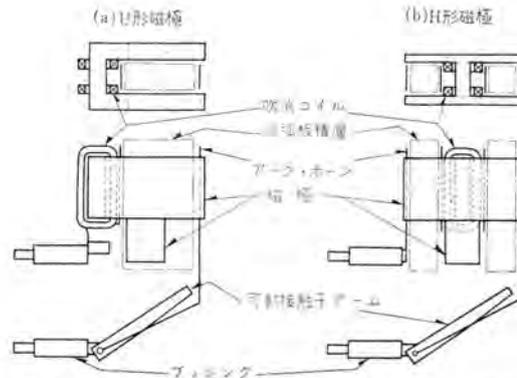
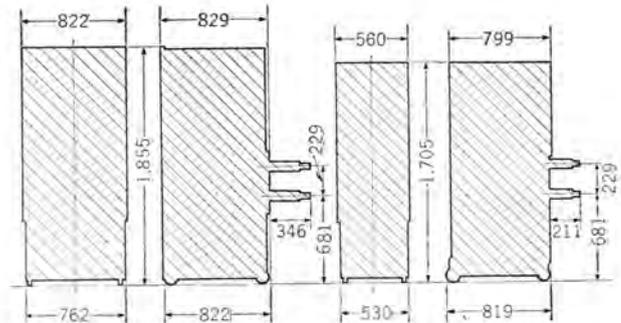


図 3.5 H形磁極とU形磁極との構造比較図  
Fig. 3.5 Geometrical configurations of H type core and U type core.



6-DH-15 形磁気シヤ断器  
7.2 kV 150 MVA 1,200 A  
旧形 U形磁極使用

6-DHM-15 形磁気シヤ断器  
7.2 kV, 3.6 kV 150 MVA 1,200 A  
新形 H形磁極使用

図 3.6 7.2 kV 150 MVA 新旧両シヤ断器外形寸法比較  
Fig. 3.6 Outline dimensions of old and new 7.2 kV 150 MVA breaker.

この H 形磁極使用によるもう一つの大きい特長は極間衝撃電圧レベルに対する設計の問題である。従来のたとえば U 形磁極では、図 3.5 でも明らかのように、開極極間の磁極および吹消コイルの配置が非常に非対称的であるから、その電位分布が悪く、したがって開極極間の衝撃電圧レベルは、開極距離をのばしてもそれにしたがって直線的には上昇せず、目的のレベルを得るには鉄心の電位を人為的にコンデンサなどで調整するなどいろいろ苦心が必要であったが、H 形磁極では、極間において磁極やコイルの配置が吹消コイルを中心にして幾何学的に対称となるので電位分布がきわめて良く、比較的短い距離で容易に目的のレベルが設計できるのである。

このような大きい特長のある構造を使用することにより、シヤ断器の外形は従来のものより格段に小さくすることができた。図 3.6 に従来の U 形磁極を用いた 7.2 kV 150 MVA 600 A シヤ断器とこの新形 7.2/3.6 kV 150 MVA 600 A シヤ断器の比較図を示すが幅は 30%、奥行は 15% 程度小さくなっている。

消弧板は従来の磁気シヤ断器とほぼ同じ耐熱性磁器板<sup>(3)</sup>で図 3.4 に見られるように V 形ミツを備えこれを交互に積層することによってミツの上部でアークがわん曲し引きのぼされるようになっている。

吹消コイル付近には、コイルに並列にはいるアークを消

弧して、電流をすみやかに吹消コイルに移すため、トランスファ・スタックとよぶ小形の消弧板積層を備えている。また、吹消コイルに近接してクアドリ・コイルがあり、吹消磁束の位相を電流の位相より適当におくらせるようにしてある。これは消弧にもっとも重要な電流零値においても、磁束が存在し残留イオンを吹き消すようにすれば、シ断容量も増加することが実験的に判明しているため、これを実際に適用したものである。

消弧室の動作順序を説明すると、図3.3において可動接触子アームが開けばアークは(1)のように発生する。このアークは後述する補助空気吹付作用、ループ回路による電磁力、上昇気流などの作用により上昇し、トランスファ・スタックによって吹消コイルに並列の部分はずみやかに消弧され、吹消コイルの両側に(2)(2')に分けられ、吹消コイルがアークに直列にそう入される。ここでアークはシ断電流の磁界によりさらに上方へ駆動されて主消弧板のV形のミゾの中に押しこまれ、従来の磁気シ断器と同じ原理で(3)(3')において消弧される。このようにアークが磁束により上方へ吹き上げられ引き伸ばされる状況は図3.4(2)A, B, C, D断面に示す。

消弧室は図3.7, 3.8に示されるようにメタルクラッドそう入用レバー装置を利用して容易に上方へ持ち上げるこ

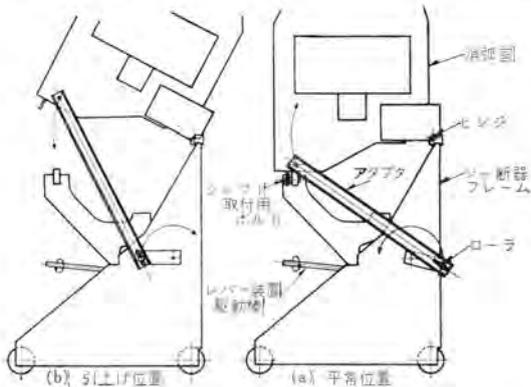


図 3.7 消弧室引上げ装置動作説明図  
Fig. 3.7 Simplified diagrams showing the operation of arc chute lifter.



図 3.8 レバー装置を用いて消弧室を引上げたところ  
Fig. 3.8 Arc chute lifter in operation.

とができるので、接触部の点検はきわめて簡単である。

### 3.2 接触部

接触部は構造を簡単にし重量を軽減するため図3.9に示されるような2枚の黄銅板で可動アークおよび主接触子をはさみ、下部ラッシングにヒンジ・ボルトで取付けるような構造を採用した。可動接触子アームと下部ラッシングとの間の電氣的接続は、従来はタワミ線により行なっていたが、この構造ではヒンジ・ボルトとカップ・ワッシャを用い上記2枚の黄銅板をおさえ、その圧力で通電されるようになっており、くりかえしの運動に対してもタワミ線のように切断するような懸念は全然なく、摩擦損失もタワミ線より少なくてすむ。アークおよび主接触子には、いずれも耐弧性の銀タングステン合金を使用している。

### 3.3 操作機構

このシ断器の操作機構の構造は、すでに発表された3.6 kVシ断器<sup>(5)</sup>のものとはほぼ同じで、各部のピン類はすべて特殊鋼を使用し、くりかえしの動作に対して十分

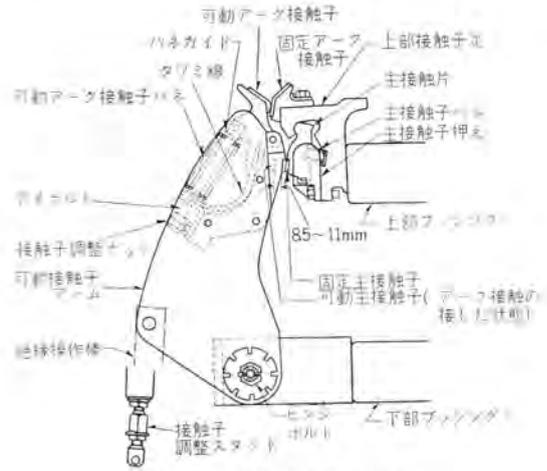


図 3.9 接触部構造説明図  
Fig. 3.9 Diagram showing the arrangement of contacts

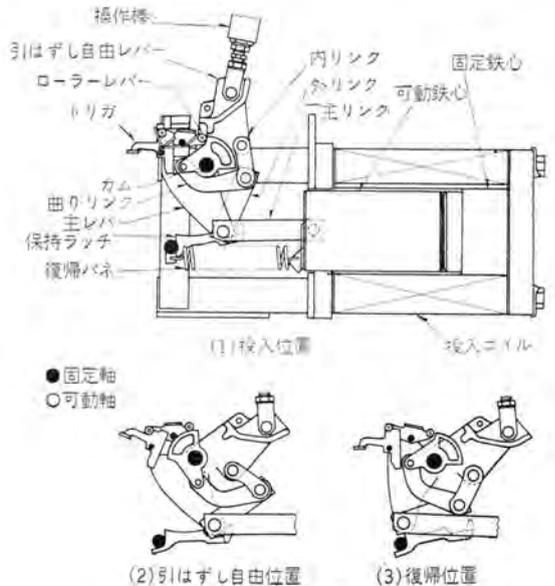


図 3.10 操作機構説明図  
Fig. 3.10 Operating mechanism.

な機械的強度をもたせると同時に、短絡電流による大きい電磁力に対しても十分な投入力を得るため、接触位置に近づくほどレバー比による能率がよくなるように設計されている。構造の概略および引はずし自由動作の説明図を図3.10に示す。

### 3.4 補助空気吹付機構

磁気シヤ断器では、小電流シヤ断時に自己の生成する吹消磁束が小さく駆動する電流も小さいのでアーク時間がのびるため、これを防ぐ目的で補助空気吹付機構を備えるのが最近の常識になっているが、このシヤ断器には図3.11に示すような強じんな合成ゴム膜を使用する吹付機構を採用した。

パツファ操作棒は図3.10の操作機構引はずし自由レバーに連結され、接触子アームが引はずし動作を行なうとき、パツファ操作棒によりゴム膜を駆動して接触部へ空気吹付を行なうものである。摩擦損失がすくない上、ゴム膜は三相共通で容積が従来のものに比較してきわめて大きくとれるため、吹付効果は非常に大きく電流アーク時間特性は従来のものよりはるかに平坦になる。ゴム膜の耐候性についてはJIS-K-6301 加圧酸素加熱老化試験によって少なくとも20~30年程度ははなはだしい劣化がないことを確認しており、機械的にはシヤ断器につけて20,000回以上の繰り返し動作を行ない異常を認めていない。

### 3.5 断路操作レバー装置

この装置はシヤ断器本体をメタルクラッド内部にそう入して短絡電流の大きい電磁力に対してもシヤ断器が移動

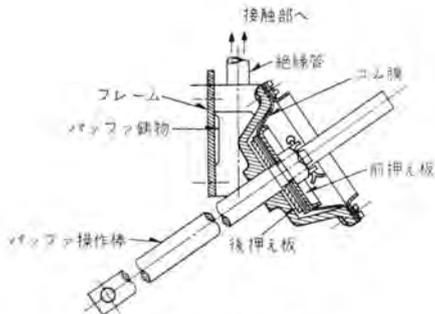


図 3.11 補助空気吹付機構

Fig. 3.11 Auxiliary air puffer mechanism.

しないように固定し、またシヤ断動作後本体をメタルクラッドより引出して断路する目的のために設けられたもので、図3.12にその構造を図3.13にシヤ断器とメタルクラッドとの関係位置を示す。

シヤ断器そう入動作は図3.13(a)のように案内レバーをシヤ断器引出し位置におき、ローラがメタルクラッドの相手側ミジへはいるような位置へシヤ断器本体をもってゆき、ローラが完全にミジへはいったことを確かめた後、駆動棒にハンドルを差込み前方へ押し表示器が前パネルの名板「シヤ断器操作可能」の位置より「シヤ断器鎖錠」の位置に上がった状態でハンドルを時計方向にまわす。「シヤ

断器鎖錠」の位置に表示器が上がると図3.12のカプリングがウォームと結合され、同時にカムレバーが鎖錠用ピンを上方へ押し上げる。ここでハンドルが少しまわされると、カムレバーはバネで引張られている補助カムおよび主カムの上により、駆動棒を押す力をなくしてもカプリングははずれることなく回転でき、表示器は「シヤ断器鎖錠」の位置に上がったままになる。この状態でハンドルを回転しつづけると、ウォームが回転しウォーム歯車を通して案内レバーはシヤ断器引出し位置より反時計方向に駆動され、図3.13のメタルクラッド側案内レバーミジ内をローラが移動してシヤ断器本体はメタルクラッド内にそう入され、案内レバーがシヤ断器そう入位置までまわると、シヤ断器は図3.13(b)にきて主回路用一次コネクタ、制御回路用二次コネクタ、接地接触子などが自動的にメタルクラッドの相手側に接続される。このときカムレバーは補助カムからはずれて駆動棒はバネの力で手前に押しもどされ、カムレバーは反時計方向に回転し、カプリングがはずれて表示器が「シヤ断器鎖錠」の位置より「シヤ断器操作可能」の位置へさがり、そう入動作が完了する。シヤ断器引出し操作も上記そう入操作とほぼ同様で駆動棒を前方へ押し、表示器が「シヤ断器鎖錠」の位置になったことを確認してから、ハンドルを反時計方向にまわせばよい。

もしシヤ断器が閉路しているばあいには、図3.12の操作機構ピンが点線で示した閉位置にくるので駆動棒を押しても鎖錠用ピンがあがらず、したがってカプリングが結合しないので、シヤ断器をそう入することも引はずすこともできない。このカプリングが結合しないばあいは駆

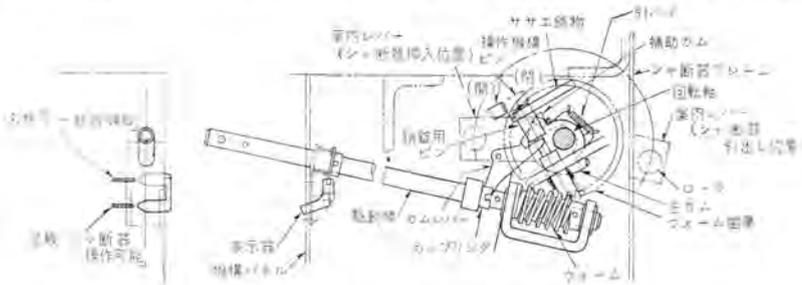


図 3.12 レバー装置構造説明図

Fig. 3.12 Diagram showing the operation of levering in device.

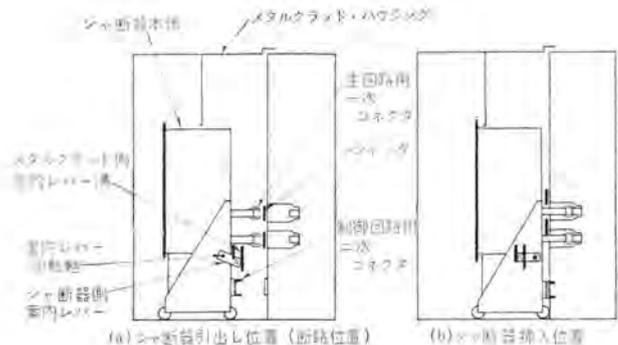


図 3.13 シヤ断器とメタルクラッドとの関係説明図

Fig. 3.13 Diagram showing the relation between breaker and metal-clad housing.

動棒を前方へ押ししても表示器が「シ断器鎖錠」のところにこないでレバー装置の操作できないことがすぐわかる。

### 3.6 消弧室引あげ装置

3.5のレバー装置を利用して、これに簡単なアダプタをつけ消弧室を図3.7のようにヒンジのまわりに回転させると接触部は露出され容易に点検を行なうことができる。図3.8にこの装置を用いて消弧室を引き上げている写真を示す。

### 3.7 制御回路用二次コネクタ操作装置

二次コネクタはシ断器がメタルクラッドにそう入されたとき、制御回路を自動的にメタルクラッド側と接続する接続装置であるが、レバー装置でシ断器を引出して図3.13(a)のような断路位置にあるときにも、制御回路だけは接続してシ断器の操作試験を行なう必要がしばしばあるので、図3.14のように接触部の手動調整棒を利用して二次コネクタを前方へ押し出すことができるようにしてある。

すなわち手動調整棒を図3.14のように駆動板の穴にさしこむと二次コネクタ取付板を鎖錠していた掛金が棒の先でけられてはずれ、棒を図示のように上方に立てると、二次コネクタは前方へ押し出されて制御回路はメタルクラッド側に接続される。図3.15にに実際の操作状況の写真を示す。

### 3.8 過電流引はずし装置

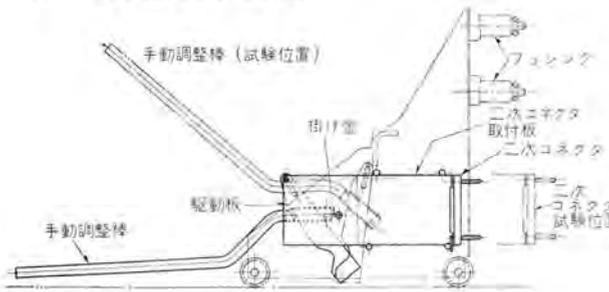


図 3.14 二次コネクタ操作説明図

Fig. 3.14 Diagram showing the operation of 2 ry connector.

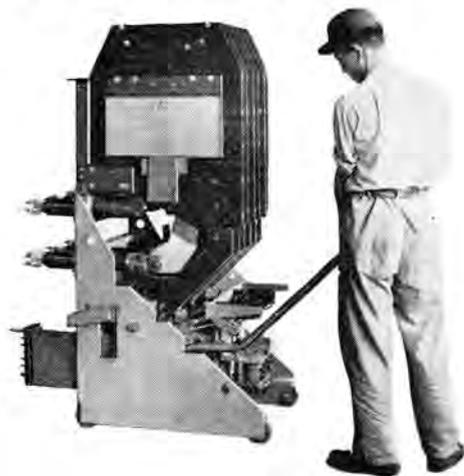


図 3.15 制御回路用二次コネクタを押し出したところ

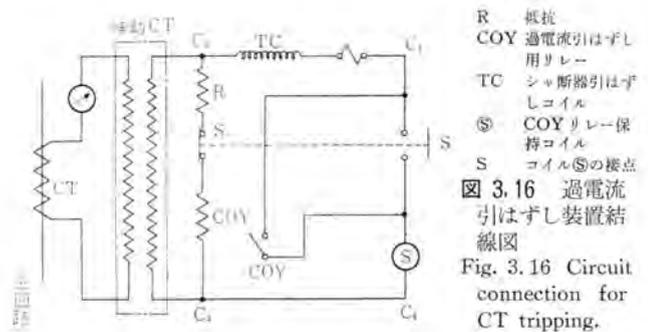
Fig. 3.15 Pushing out the secondary connector.

7.2/3.6 kV, 150 MVA, 新形磁気シ断器・五十嵐・富永・桜井

最近の変電所設備ではシ断器の操作電源として蓄電池による直流電源を使用せず投入には AC 電源をセレクト整流器により整流したもの、引はずしには CT を使用した過電流引はずし方式を採用されるものが多く、当社でもこのシ断器の引はずし装置として標準の直流電圧引はずしとは別に図3.17に示されるような過電流引はずし装置を開発した。

この引はずし装置は、電源が CT であるため、できるだけ小さいエネルギーで確実な引はずし動作を行なわせる必要上、投入時にそのエネルギーの一部をバネに蓄積し、引はずしのときこれを利用するような方式を採用しており、感度がきわめて高く、しかも誤動作のない安定した特性が得られるよう十分注意して設計されている。

図3.16はこの装置の結線を示し、図3.17はシ断器投入状態における各部関係位置を示す。図3.16の主回路に過電流が流れるとリレー COY が働いて接点 COY が閉じ回路  $C_2 C_1 C_4 C_3$  は回路  $C_2 C_3$  と並列にそう入される。この動作によりコイル S が励磁されるから接点  $\text{---}S$  は開き、接点  $\text{---}S$  は閉じて回路  $C_2 C_3$  は開路され CT の電流は完全に回路  $C_2 C_3$  より回路  $C_2 C_1 C_4 C_3$  に移り引はずしコイル TC は励磁される。これによって図3.17のプランジャは上部に吸上げられ A リック、B リックは死点をこえて上方へくずれれてローラは左へひかれ、圧縮バネによって上方へ押されていた引はずしロッドはバネで加速されて上方へ動き、シ断器のトリガをたたきシ断器は引はずされる。引はずし動作によってバネ蓄



- R 抵抗
- COY 過電流引はずし用リレー
- TC シ断器引はずしコイル
- S COY リレー保持コイル
- S コイル S の接点

図 3.16 過電流引はずし装置結線図  
Fig. 3.16 Circuit connection for CT tripping.

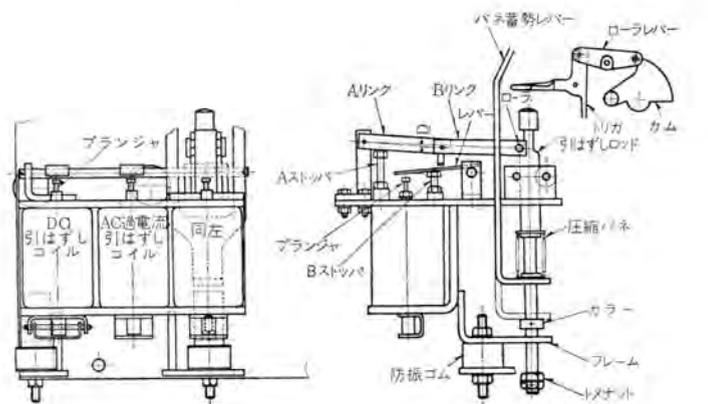


図 3.17 過電流引はずし装置説明図 (シ断器投入位置)

Fig. 3.17 CT tripping device. (Breaker closed position)

勢レバーはふたたび下方へ押し下げられ、引はずしロッドはカラーの部分で押えられて下方へ引き上げられて、AリンクBリンクは重力で下方へ復帰し、ローは右へ押されて引はずしロッドの肩にかかる。つぎにシ断器が投入されると、バネ蓄勢レバーは図示の位置まで上方へ押しあげられ、引はずしロッドはローによって上方へ移動することができないので、図示の位置で圧縮バネが蓄勢されて、つぎの引はずし動作に対する準備が完了する。上記の説明でわかるように、この装置はシ断器投入時の力の一部でバネを蓄勢しておき、CTの過電流で働く電磁石のわずかな力でリンクの死点を越させるだけで十分引はずし動作が行なえるように工夫されたものであるから、きわめて小さいエネルギーでも引はずし可能で、しかも140%以上の高い操作電圧で投入動作を行なってもその衝撃で誤動作を行なって引はずししないことはまったく安定した特性を持っている。

この装置の電流-時間特性は図3.19に見られるとおりで、原理的にも明らかなように、電流値が減ると引はずし電磁石の力が減少するので開極時間は伸びる。最小動作電流値の調整は図3.17寸法Dによってきまり、通常は3.5A程度にしているから普通のCTの二次定格電流5Aではもちろん確実に動作する。

図3.17に見られるように引はずしコイルとしてはこのAC過電流引はずしコイル(普通2個)のほかによりては直流操作用のコイルなども並べて取付けられ、いずれが働いても動作するようにできる。図3.18にこの装置が実際にシ断器前面パネルに取付けられた写真を示す。

#### 4. 製作

このシ断器は、その定格より見てこの種のシ断器で、もっとも需要の多い機種であるから、品質の均一、安定化と

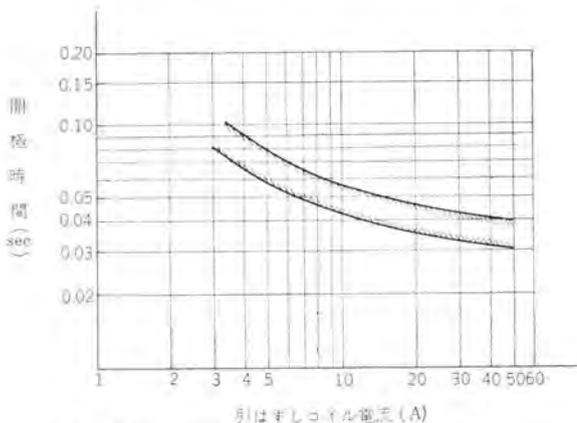


図3.19 過電流引はずし装置電流-時間特性  
Fig. 3.19 Figure showing the relation between opening time and interrupting current of CT tripping device.

原価低減をはかるため十分な量産体制を整えた、すなわち溶接取付具、機械加工用治具、検査工具、組立工具、などは生産工程をもっとも合理的にし、品質のパラツクをもっとも少なくするように十分検討された。図4.1にシ断器フレームがレールの上を移動し、組立工具により順次組立てられていく状況を、図4.2にメタルクラッド・ハウジングの互換性を検査するためのシ断器モデルを示す。

#### 5. 試験結果

当社 H. P. L.において種々の試験を行ない、このセンタ・ローアウト式シ断器の性能を徹底的に検討したがそ



図4.1 シ断器フレームがレールの上を移動し組立工具により組立てられて行く状況  
Fig. 4.1 Assembly of breakers on assembling line.

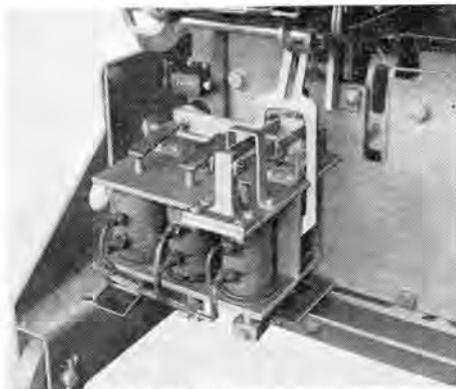


図3.18 6-DHM-15シ断器に取付けられた過電流引はずし装置  
Fig. 3.18 C.T. tripping device attached to type 6-DHM-15 breaker.

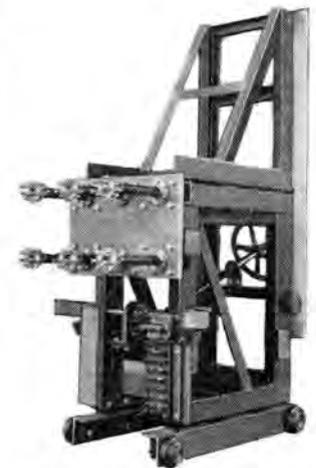


図4.2 6-DHM-15メタルクラッドハウジング用モデル  
Fig. 4.2 Model for metal-clad housing of 6-DHM-15 magnetic air circuit breaker.

のおもな結果を以下にのべる。

##### 5.1 短絡電流シ断試験

シ断試験はすべてメタル・クラッドハウジングの中にそう入し、実際の使用状態とまったく同じ条件で実施した

表5.1に7.2 kV, 3.6 kVにおける短絡電流シ断試験の一例を記し、図5.1に表5.1のうちの7.2 kV 150 MVA CO動作、図5.2に3.6 kV 150 MVA CO動作のオシログラムを示した。これら試験には、3.8でのべた過電流引はずし装置を用いているので開極時間がやや伸びており、標準の直流100V引はずしを用いれば定格シ断容量シ断時の全シ断時間はほぼ3サイクル程度と

なる。

### 5.2 投入試験

JEC 145 では定格投入電流を定格投入操作電圧の 85%以上 110%以下において支障なく投入できることが規定されており、このシ断器の投入容量も 85%以下の操作電圧で実負荷の投入試験をくりかえし行ない、トラブル・レコーダによってそのときのシ断器の動作を詳細に検討し投入力を検証した。試験結果によれば、80%の操作電圧でも十分投入容量のあることが検証できた。

### 5.3 充電電流シ断試験

三相回路充電電流シ断時の第一シ断相の電圧条件については種々の見解があるが、このシ断器の充電電流シ断試験は、普通単相回路で三相充電電流シ断を模擬するときよく用いられる相電圧の 1.25 倍の電圧、すなわち 5.2 kV を単極に印加して行なった。設備の関係で電流 400 A までしかおこなわな

表 5.1 6-DHM-15 短絡電流シ断試験結果

試験番号	動作相	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シ断電流			シ断時間 (サイクル)			相	シ断容量 (MVA)	投入電流 (A)
				AC 分 (A)	DC 分 (%)	r.m.s (A)	開極	アーク	全			
OMO83-10	O	6.25	96	1,200	26	1,280	3.50	2.00	5.30	単		
				1,250	25	1,340	3.20	1.90	5.10	単		
				4,200	20	4,400	3.30	1.20	4.50	単		
11	O	6.25	96	4,300	49	5,250	3.20	0.70	3.90	単		
				7,800	40	9,000	3.20	0.80	4.00	A	97	21,500
				7,700	10	7,900	3.20	0.80	4.00	B		14,000
12	O	6.25	96	7,800	50	9,600	3.20	0.65	3.85	C		21,900
				7,900	48	9,600	3.20	0.60	3.80	A	98	23,600
				7,900	22	8,300	3.20	0.75	3.95	B		17,800
13	O	6.25	96	7,800	26	8,300	3.20	0.75	3.95	C		17,500
				13,400	0	13,400	3.20	0.75	3.95	A	168	27,000
				13,800	18	14,300	3.20	0.75	3.95	B		48,000
14	CO	7.2	91	13,400	18	13,800	3.20	0.60	3.80	C		48,500
				13,600	19	14,100	3.20	0.65	3.85	A	170	50,000
				13,900	14	14,200	3.20	0.85	4.05	B		37,000
15	CO	7.2	91	13,500	5	13,500	3.20	0.85	4.05	C		29,500
				26,500	8	26,800	3.10	0.60	3.70	A	167	62,000
				27,000	14	27,500	3.10	0.60	3.70	B		37,000
16	CO	3.6	97	26,400	6	26,400	3.10	0.60	3.70	C		77,000
				26,500	3	26,500	3.10	0.55	3.65	A	167	52,000
				27,000	15	27,500	3.10	0.70	3.80	B		62,000
17	CO	3.6	97	26,400	18	27,200	3.10	0.70	3.80	C		71,000
				26,400	18	27,200	3.10	0.70	3.80	A	167	52,000
				26,400	18	27,200	3.10	0.70	3.80	B		62,000

注 (1) \* これら試験のオシログラムを図 5.1 および図 5.2 に示す。

(2) 周波数は 50 c/s したがってシ断時間は 50 c/s ベース。

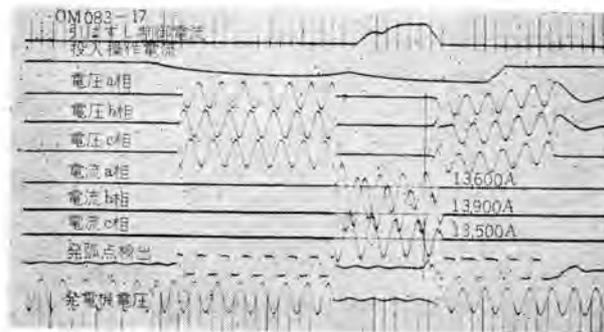


図 5.1 7.2 kV 150 MVA CO 動作オシログラム (試験番号#OMO 83-17)  
Fig. 5.1 Oscillograms of 7.2 kV 150 MVA CO duty. (Test#OMO 83-17)

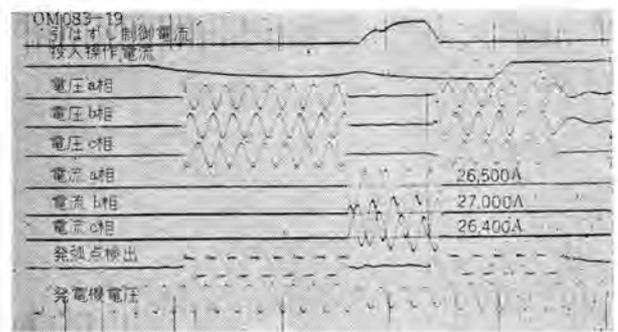


図 5.2 3.6 kV 150 MVA CO 動作オシログラム (試験番号#OMO 83-19)  
Fig. 5.2 Oscillograms of 3.6 kV 150 MVA CO duty. (Test#OMO 83-19)

かったが、アーク時間は 3~4 サイクル程度でいずれも無再点弧であった。表 5.2 にこれら試験結果の一部を、図 5.3 に 100 A および 400 A の充電電流シ断のオシログラムを示した。

### 5.4 その他の試験

以上のべたほか、励磁電流シ断試験、温度上昇試験、25.7 kA 2.12 秒(定格は 24.1 kA 2 秒)の短時間電流試験、絶縁耐力試験、10,000 回以上の寿命試験などを行なっていずれも異常なく、その優秀な実用性能を確認した。表 5.3 に温度上昇試験結果を示すが最高温度上昇は主接触部の 21°C (規格 55°C) で十分余裕のあることがわかる。

## 6. むすび

以上へのてきたこの新形磁気シ断器の特長をまとめると

- (1) 消弧室は H 形磁極をもち、吹消コ

7.2/3.6 kV, 150 MVA, 新形磁気シ断器・五十嵐・富永・桜井

表 5.2 6-DHM-15 充電電流シ断試験結果

試験番号	試験相	動作相	給与電圧 (kV)	シ断電流 (A)	再点弧回数		シ断時間 (サイクル)			過渡電圧 (%)		コンデンサバンク三相等価容量 (kVar)
					発弧	点弧	開極	アーク	全	極間	C側	
OMO81-1	C相	0	5.2	23	0	0	3.35	0.20	3.55	200	100	285
					0	0	3.30	0.20	3.50	200	100	
					0	0	3.30	0.10	3.40	200	100	
					0	0	3.35	0.20	3.55	200	100	
					0	0	3.35	0.10	3.45	200	100	
2	C相	0	5.2	9	0	0	3.30	0.50	3.80	200	100	112
					0	0	3.35	0.40	3.70	200	100	
					0	0	3.35	0.40	3.75	200	100	
					0	0	3.35	0.30	3.65	200	100	
					0	0	3.35	0.30	3.65	200	100	
3	C相	0	5.2	4.5	0	0	3.70	0.50	4.20	200	100	56
					0	0	3.75	0.30	4.05	200	100	
					0	0	3.75	0.15	3.90	200	100	
					0	0	3.75	0.45	4.20	200	100	
					0	0	3.75	0.45	4.20	200	100	
4	A相	0	5.2	50	0	0	3.70	0.50	4.20	200	100	620
					0	0	3.75	0.30	4.05	200	100	
					0	0	3.75	0.15	3.90	200	100	
					0	0	3.75	0.45	4.20	200	100	
					0	0	3.75	0.45	4.20	200	100	
5	A相	0	5.2	100	0	0	3.75	0.35	4.10	200	100	1240
					0	0	3.70	0.15	3.85	200	100	
					0	0	3.75	0.35	4.10	200	100	
					0	0	3.70	0.15	3.85	200	100	
					0	0	3.70	0.15	3.85	200	100	
6	A相	0	5.2	400	0	0	3.65	0.20	3.85	200	100	4960
					0	0	3.70	2.70	6.40	195	95	
					0	0	3.70	0.35	4.05	200	100	
					0	0	3.70	0.35	4.05	200	100	
					0	0	3.70	0.35	4.05	200	100	

注 (1) # これら試験のオシログラムを図 5.3 および図 5.4 に示す。

(2) 試験周波数 OMO81-1~9 は 50 c/s, OMO-21-41~60 は 60 c/s, シ断時間は試験周波数のベース。

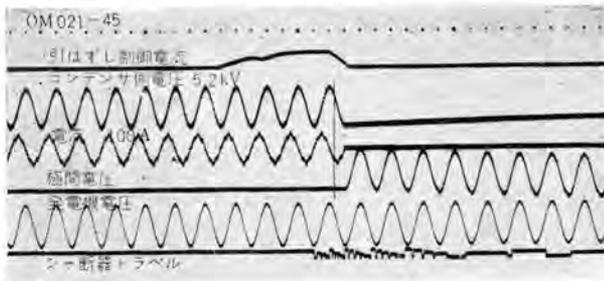


図 5.3 単相 5.2 kV 100 A 充電電流シヤ断  
 オシログラム (試験番号#OMO 21-45)  
 Fig. 5.3 Oscillograms of single phase 5.2 kV 100 A  
 charging current interruption. (test#OMO 21-45)

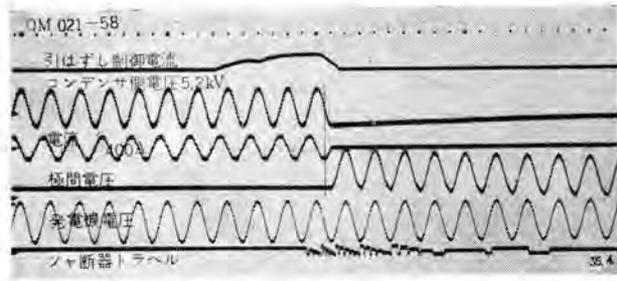
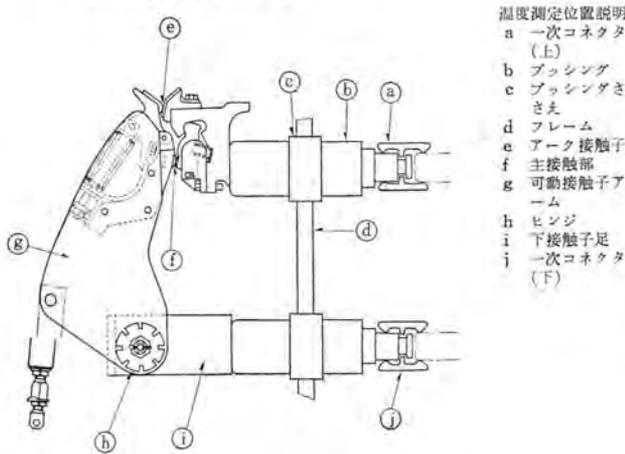


図 5.4 5.2 kV 400 A 充電電流シヤ断試験  
 オシログラム (試験番号#OMO 21-58)  
 Fig. 5.4 Oscillograms of single phase 5.2 kV 400 A  
 charging current interruption. (Test#OMO 21-58)

表 5.3 6-DHM-15 600 A 温度上昇試験結果

測定位置	相	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
温度上昇 (°C)	A	14.0	6.0	4.0	4.0	14.3	15.0	13.0	10.0	11.0	16.5
	B	15.5	5.0	3.0	4.0	17.0	16.0	14.5	9.0	12.0	18.5
	C	18.0	7.0	4.0	5.0	20.5	21.0	16.5	11.5	12.5	18.5

(注) (1) 試験周波数 60 c/s (2) 周囲温度 29°C (3) 単相電源を用いて各相を直列に同一電流を流した。



温度測定位置説明  
 a 一次コネクタ (上)  
 b ブッシング  
 c ブッシング高さ  
 d フレーム  
 e アーク接触子  
 f 主接触部  
 g 可動接触子アーム  
 h ヒンジ  
 i 下接触子足  
 j 一次コネクタ (下)

イルを消弧室の中心においたいわゆる センタ・ブローアウト式であるため、磁束分布がより強力かつ均一になり、シヤ断性能が向上し小形軽量化された。

(2) H形磁極の使用により消弧室まわりの形状が対称的になったので開極極間の電位分布が良好になり比較的短い距離でも十分極間の衝撃電圧レベルを得ることができるようになった。

(3) 従来のラッシングが水平でアークは上方へ吹き上げられる構造をそのまま踏襲したがこの方式によればメタルクラッドの出し入れに際し、重力に対して仕事をしないでよく軽快に移動でき、また消弧室はアークによる上昇気流を利用できるので能率がよい。

(4) 上記のように高性能化された構造により従来の同定格のものより幅 30%、奥行 15%程度も小形化され据付け面積が大幅に節約されるようになった。

(5) 消弧室はヒンジのまわりに回転できる構造であ

るから接触部や消弧室の点検がきわめて容易となった。

(6) 投入時にその力の一部をバネにたくわえて、これを引はずしするとき、トリガをはずすのに利用できる装置が開発されたので、所要エネルギーがきわめて少なくしかも信頼性の高い過電流引はずし装置が完成した。

(7) 消弧室まわりには難燃性絶縁物を使用したもので、火災の危険がますます減少した。

(8) 強じんな合成ゴム膜を使用した能率のよい空気吹付装置が開発され、小電流のシヤ断も迅速に行なえるので負荷電流、励磁電流コデンサバンクなどのひんぱんな開閉にも最適である。

などがあげられる。

当社では従来の U 形磁極の磁気シヤ断器を将来はすべてこの センタ・ブローアウト式消弧室のものにすることを考えており、すでに従来の定格の大半は新形にきりかえられているが、今後さらにこれらの経験に基づき、これまで磁気シヤ断器では製作不可能と考えられていた高圧大容量のもの、あるいは従来と同定格のもの小形化、高性能化を計画している。

末筆ながらこのシヤ断器開発にあたって絶大なご尽力をたまわった新井技術部長をはじめ、関係方面の方々へ心からお礼を申し上げる所である。

#### 参考文献

- (1) 新井正元・五十嵐芳雄・志賀貞雄・富永正太郎：DH 形磁気シヤ断器、「三菱電機」, 27, No. 6 (昭 28)。
- (2) 五十嵐芳雄・志賀貞雄・富永正太郎：6.9 kV, 500 MVA および 11.5 kV, 500 MVA DH 形磁気シヤ断器、「三菱電機」, 28, No. 12, pp. 609~612 (昭 29)。
- (3) 新井正元・富永正太郎・瀬波卓三：磁気シヤ断器耐熱磁器板の試験、三学会連合大会予稿, No. 363 (昭 32)。
- (4) 五十嵐芳雄・富永正太郎・桜井武芳：3.6 kV, 75 MVA 新形磁気シヤ断器、「三菱電機」, 33, No. 6, pp. 702~707 (昭 34)。
- (5) 五十嵐芳雄・田中静一郎・富永正太郎・桜井武芳：3.6 kV, 300 MVA, 3000 A 新形磁気シヤ断器、「三菱電機」, 33, No. 11, pp. 1616~1623 (昭 34)。

# オートカット付三相誘導電動機

名古屋製作所 横井 繁\*・三上邦夫\*\*

## Three Phase Induction Motors with Autocuts

Nagoya Works Shigeru YOKOI・Kunio MIKAMI

In the light of public demands for motors with no fear of burning, autocuts to protect them from this anxiety have been developed by Mitsubishi. Those produced are for use with drip-proof (SB-AT), totally enclosed (SE-AT) and totally enclosed and fan cooled (SF-AT) motors of below frame 1318—3.7 kW 4 poles and 2.2 kW 6 poles. Those applicable to larger and special motors are now in the course of study. Thus the users of motors can be relieved of burning troubles with devices of inexpensive casts, small sized and free from maintenance.

### 1. ま え が き

モートルの事故のうち、焼損事故がもっとも致命的である。一般的風潮として、顧客はいわゆる手でさわって熱くないモートルを要求する場合が多い。この傾向はとくに小形汎用モートルにおいていちじるしい。これは使用者が焼損事故を何より恐れているからにはかならない。

われわれは焼けないモートルをという顧客の要求にこたえるため、安価、小形、かつ保守の手間を要しない保護装置付三相誘導電動機の研究を続けてきたが、このたび完成、市販されることになったので、ここにオートカット付三相モートルについて紹介したい。

### 2. オートカット

#### 2.1 定格および仕様

現在三相用オートカットとして、TI 5形、TI 6形の2種類が開発されており、いずれも拘束、過負荷などによりモートルが異状に加熱された場合、すみやかにモートルを電源から切りはなし焼損を防止する役目を持った熱動安全器で、その外観と仕様を図2.1、表2.1に示す。こ



図 2.1 オートカットの外観

Fig. 2.1 Appearance of autocut.

表 2.1 TI形熱動安全器の定格および仕様

形名	定格電流 (A)	定格容量 (kW)		シャ断電流容量 (A)		リセット方式	接点の接触方式
		100 V	200 V	100 V	200 V		
TI-5	10	1.1	2.2	50	50	自動	常時閉
TI-6	16	1.9	3.7	80	80	自動	常時閉

のオートカットは三相誘導電動機 Y 結線の中性点に接続して使用する。

#### 2.2 構造

三相用オートカットは図2.2、4.2に示すとおり、3対の接触子、1個のバイメタル、3個の加熱子および端子を耐熱性フェノール樹脂成形品に組立てたものである。

##### (1) バイメタル

三相用オートカットはとくに円板形バイメタルを使用しているため、接点の接触圧力が高く、モートルの拘束電流を確実にシャ断する。また動作が確実に耐震、耐衝撃性が大きく、モートルの振動その他外部からの衝撃で誤動作することがない。この円板形バイメタルは適用電動機の熱特性に適合した種々の動作特性を持ったオートカットを設計するため、各種のバイメタルが使用されている。

##### (2) 接触子

接触子は銀を用いているので、接触抵抗は非常に低く、寿命試験による消耗はきわめてわずかである。

また可動接点は銅板を接着した特殊接点を使用しているためバイメタルの接着が良好で、1万回以上寿命試験しても接着部分が過熱して動作特性が変化するようなこと

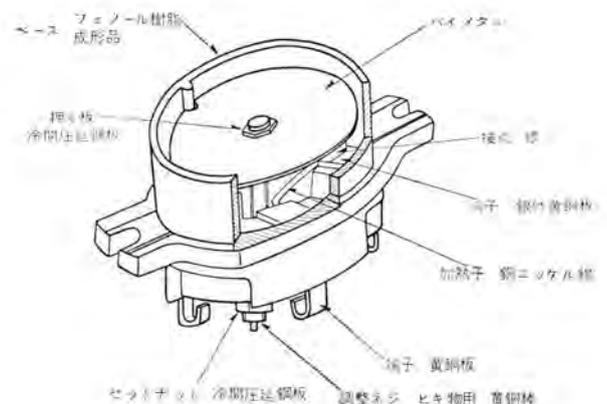


図 2.2 TI-5、TI-6形熱動安全器

Fig. 2.2 Type TI-5 and TI-6 thermal cutout.

はない。

### (3) 加熱子

加熱子は適用電動機の拘束電流が繰り返し流れても溶断しないよう、十分な断面積を持ち、かつ所要の動作特性が得られるように設計された耐熱温度の高い抵抗線が使用されている。

### (4) 端子

標準のオートカットは3個の端子を持っているが、とくに要求された場合はさらに3個の端子を付けることができる。通常は端子1～3を使用するが、温度継電器または温度ヒューズの代用として使用する場合は端子4～6を使用する。

### (5) ベース

高い温度で長期間使用しても動作が変化しないよう、とくに耐熱性の高いフェノール樹脂成形品を使用している。

## 2.3 動作原理

図2.3に示すとおり、モータの過負荷電流は加熱子、接触子およびバイメタルを通過するので円板形バイメタルは拘束電流、または過負荷電流による加熱子からの加熱および巻線や鉄心の温度上昇による加熱によって規定の動作温度に達すると急激に反転して接点を開き電流を遮断する。モータの巻線および鉄心の温度がバイメタルの低

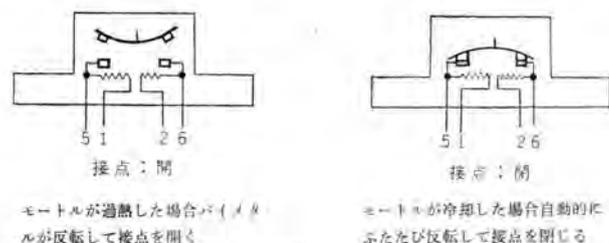


図 2.3 動作原理  
Fig. 2.3 Operating principle.

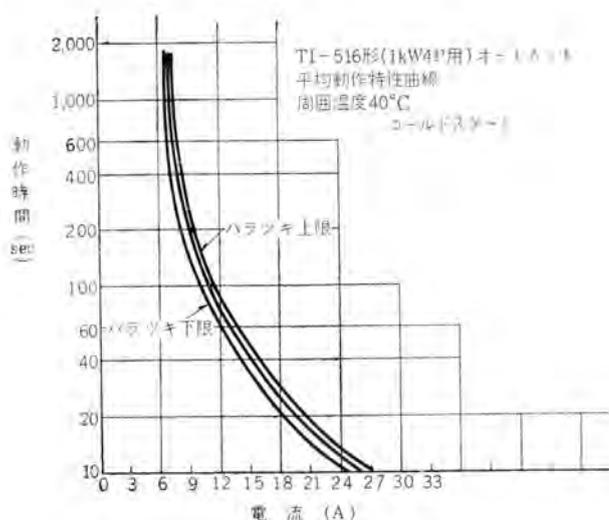


図 2.4 オートカット動作特性  
Fig. 2.4 Operating characteristic of autotcut.

反転温度以下に降下すると自動的にふたたび反転して接点を閉じる。

## 2.4 動作特性

オートカットの動作特性は保護するモータの熱特性によって決定されるが、現在オートカットに関する国内規格がないのでUL規格\*を参考に設定した基準によりオートカットを設計している。

なおこの基準についてあとで述べる。

代表的なTI-5形オートカットの動作特性を図2.4に示す。

## 2.5 耐久性

オートカットは適切な保護特性のほかに優秀な耐久性を要求されているが、TI-5形オートカット付SB-AT 2.2kW 4P三相誘導電動機について15日間連続拘束試験をした結果、表2.2、2.3に示すとおりバイメタルの動作温度、加熱子の抵抗および動作特性は耐久試験前後で大きな変化なく、電氣的、機械的になんら異状を認めなかった。

表 2.2 耐久試験前後における温度および抵抗の変化

	動作温度(°C)		バイメタルの抵抗	加熱子の抵抗
	切温度	入温度	(mΩ) 22°C	(mΩ) 22°C
耐久試験前	128	74	2.80~2.85	5.97~6.53
72時間耐久試験後	132	73	2.87~2.88	6.18~6.53
15日間耐久試験後	133	69	2.94~2.96	6.44~7.01

表 2.3 耐久試験前後における動作時間の変化

	入、切の別	電 流 (A)					
		14	15	20	25	30	45
耐久試験前	入時間	15m 19s	7m 21s	1m 49s	51s	29s	10.5s
	切時間	4m 00s	3m 28s	2m 08s	1m 12s	54s	47s
72時間耐久試験後	入時間	11m 05s	6m 48s	1m 44s	46s	26s	10s
	切時間	4m 07s	4m 01s	2m 23s	1m 15s	59s	54s
15日間耐久試験後	入時間	11m 34s	7m 05s	1m 46s	44s	26s	10s
	切時間	4m 48s	4m 36s	2m 44s	1m 30s	1m 12s	1m 03s

注 試験条件 周囲温度 40°C コールドスタート

表中 m:分 s:秒

## 3. オートカットの保護特性

拘束試験における巻線最高温度はある機種では125°C、またある機種では135°Cというように機種によって少しずつ異なる。電動機を焼損より確実に防止するためにはオートカットの保護特性にある制限をもうける必要がある。この制限値をいくらにとるべきかについて以下検討してみよう。

### 3.1 拘束時温度上昇

#### (1) 三相拘束

電動機に停動トルクをこえる負荷トルクを加えると、もっとも苛酷な拘束状態となり、温度は急速に上昇し、

\* Standard for Industrial Control Equipment Appendix. Requirement for Industrial Overheating Protective Device for Motors.

短時間で焼損する。

図3.1は当社SB-A(防滴保護形)2.2kW4Pを拘束したとき各部の温度上昇のグラフを示すものであり、温度上昇がいかに急激であるかがわかるであろう。

つぎにこのモートルにオートカットをつけた場合を考えてみよう。最初巻線の温度は急速に上昇するが、危険温度に達する前にオートカットが動作して電流を断ち、モートルは冷却し始める。巻線が十分安全温度になればオートカットは自動的にリセットされ、ふたたび同じ過程をくりかえし、図3.2に示すようなノコリ波状になる。最高温度は約1時間半～2時間で飽和し一定値に達する。この飽和した後の、寒暖計によって測定したコイルエンドの最高温度が150°C以内になるようオートカットを設計すれば焼損事故に対して安全である。

A種絶縁のJIS許容温度(温度上昇+周囲温度)は90°Cでありわれわれの許容値150°CはJISに比して60°Cも高い。JISの制限温度は連続使用の場合であり、

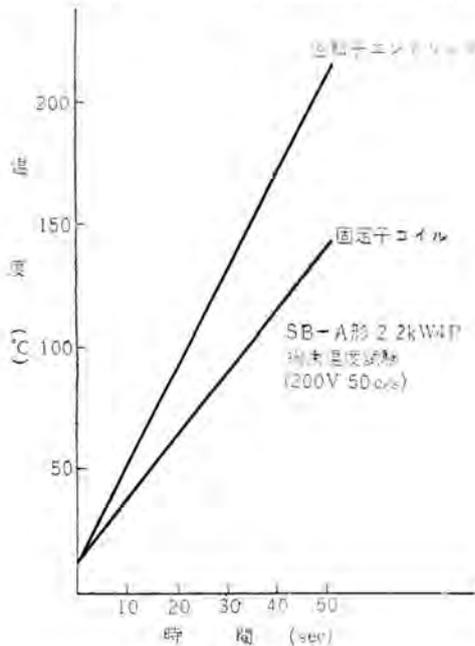


図3.1 拘束温度上昇

Fig. 3.1 Locked state temperature rise.

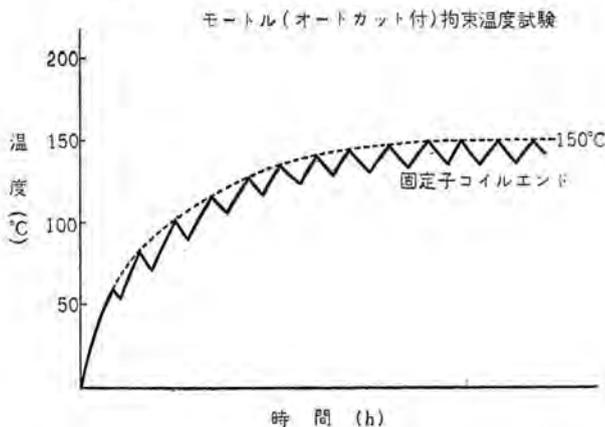


図3.2 拘束温度上昇

Fig. 3.2 Locked state temperature rise.

拘束事故は時間的にきわめて短いため、絶縁寿命にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。しかしこのような拘束事故は当然早期に発見して処置されなければならないものであって、不慮の場合オートカットによって焼損より保護されるとはいえ、巻線寿命をいちじるしく短縮することになるゆえ、とくに注意しなければならない。

## (2) 単相拘束

運転中、配電線の故障(たとえばヒューズの断線)などにより1相断線するとモートルは過負荷となり場合によっては停止することがある。このような場合は単相拘束となりこの場合には、発生する熱損失は三相拘束より少ないが、巻線の温度は逆に5~10°C程度高くなる。三相電動機の焼損はこのような場合が案外多い。単相拘束の場合も三相と同様、最高温度を150°Cとする必要がある。

## 3.2 過負荷温度上昇

モートルに過大な負荷がかかると温度上昇がいちじるしく、ときには焼損温度に達する危険もある。過負荷温度上昇は拘束温度上昇に比べて低いが時間的に長く続くので考えようによってはむしろ危険である。したがって過負荷の場合の巻線端最高温度がその巻線の絶縁寿命をいちじるしく短縮しない程度の温度によって作動するように設計するのが妥当である。また使用上、オートカットが敏感すぎても困るので、常温で125%以下の過負荷電流で動作しないようにする必要がある。

## 3.3 耐久性

オートカットが数回の動作で使用不能になるようでは実際上使いものにならない。72時間連続的にモートルを拘束してもモートルおよびオートカットに異状を生じないこと、15日間連続的に拘束してもモートルに異状を生じない程度の耐久性があれば実用上さしつかえない。以上の点を目標として設計製作されている。

## 3.4 動作時間

拘束の場合、オートカットが敏感すぎてあまり早く働きすぎるとき、たとえば負荷の慣性が大きすぎるようなときは、起動完了しないうちにオートカットが動作して運転不能になる恐れがある。こうしたことが起こらないよう、第1回オートカット動作時間が10秒以上あることが望ましい。10秒あれば特別の場合を除いて、起動に失敗することはないと思われる。

## 4. オートカット取付および選定

### 4.1 オートカットの取付

オートカットは端子箱内で電動機に埋めこんであるため、パイタル、発熱子による自身の発熱のほかにもフレーム、鉄心、巻線の熱を拾いその保護動作をより確実なものにしている。図4.1でその取付状態を示す。

### 4.2 オートカットの接続

TI-5形およびTI-6形はY結線モートル用に設計されたものである。Y結線モートルの中性線を3本出しオ

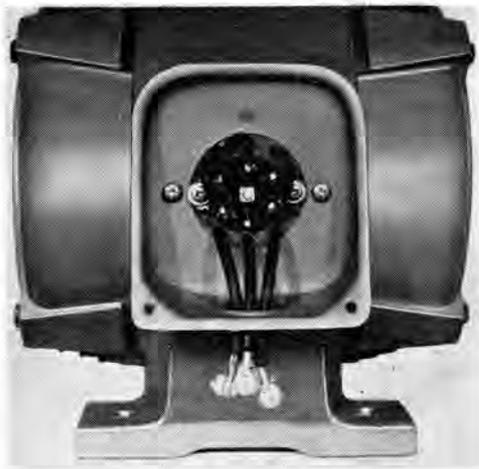


図 4.1 オートカット取付状態  
Fig. 4.1 Mounting of autotrip.

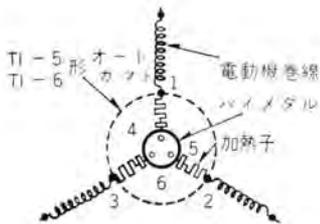


図 4.2 TI-5、TI-6 形オートカット接続図  
Fig. 4.2 Connection diagram of TI-5 and TI-6 autotrips.

オートカットの端子1, 2, 3に接続する。モートルは図4.2に示すとおり加熱子、パイメタルを介して Y 形回路を形成している。この場合パイメタルが中性点になるわけであり、加熱されてパイメタルが反転すれば中性点が切り離されてモートルは停止する。

#### 4.3 オートカットの選定

電動機用保護継電器は一応電動機とは独立に選定されるが、オートカットは保護される電動機の特性—拘束温度上昇、過負荷耐量、起動電流、各部温度上昇—を基礎に設計したその電動機専用のものである。

したがって同一出力の特性の異なる他の電動機に取付けても理想的な保護特性を得ることは困難である。

### 5. オートカット付電動機の特性

種々の容量についてオートカット付電動機の特性を調べたが一例として SB-AT (防滴保護形) 400 W 4 P についてその試験結果を以下に述べる。

#### 5.1 試験方法

##### (1) 温度測定

温度測定は寒暖計法、抵抗法、熱電対—自動温度記録計 (横河電機製 EI-122 形) 法によった。

温度測定箇所はフレームは上部中心 (アイボルト穴、またはその相当部分) で寒暖計を用い、また自動記録計で記録した。鉄心についてはアイボルト直下の部分 (またはその相当箇所) に熱電対を挿入し自動記録計によっ

た、オートカットの温度はパイメタル直下に熱電対をとりつけ自動記録計により測定した。

巻線の温度は測定箇所によりいちじるしい差を示す。たとえば 750 W 4 P の例をとれば上部巻線と下部巻線 (取付足側) とでは相当の温度差がありしたがって測定箇所としては温度が最高と考えられる上部コイルエンドとし熱電対をコイルの中に埋めこんで測定した。

##### (2) 拘束試験

拘束時オートカットのトリップ—リセット、リセット—トリップの時間および電流はストップウォッチ、電流計による方法とペンシロによる方法を併用して測定した。

### 5.2 拘束試験

#### (1) オートカット動作時間および電流

回転子を拘束して定格電圧を加え放置しておく、トリップ—リセット、リセット—トリップをくりかえす。この場合の電流値、トリップ—リセット、リセット—トリップ時間の測定結果はつぎのとおりある。拘束状態にはいってから最初オートカットが動作するまでの時間は 20 秒もかかり、かなり苛酷な起動条件にも十分耐えることができる。

a. 三相拘束 図 5.1, 表 5.1 に示す。

b. 单相拘束 図 5.2, 表 5.2 に示す。

#### (2) 電動機各部の温度上昇

a. 三相拘束

図 5.3 に拘束時のオートカット、鉄心、フレーム、巻線の温度を自動記録計によって測定した結果を示す。オートカット

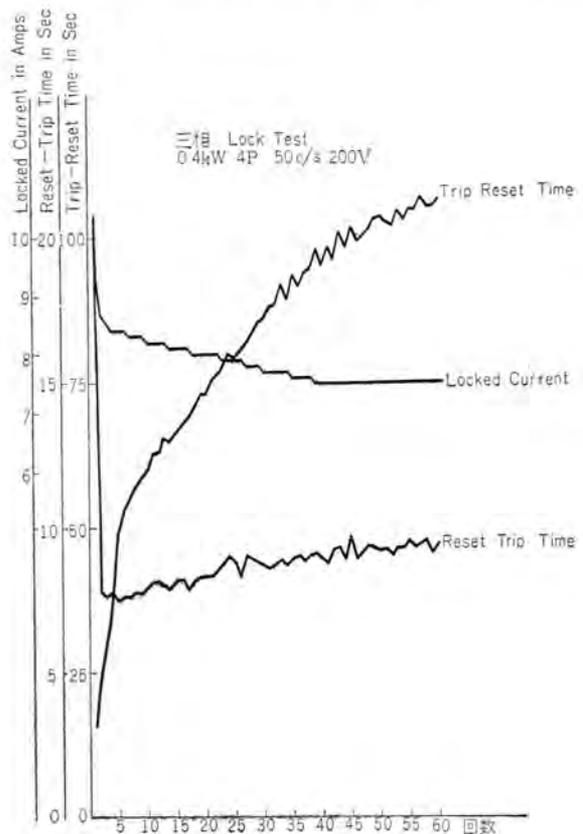


図 5.1 三相拘束試験グラフ  
Fig. 5.1 Lock test graph.

表 5.1 拘束試験データ

三相拘束 400 W 4P 連続 1 時間 30 分

No.	Locked Current (A)	Reset-Trip Time (sec)	Trip-Reset Time (sec)	No.	Locked Current (A)	Reset-Trip Time (sec)	Trip-Reset Time (sec)
1	9.5	20.8	15.4	31	7.7	8.6	88.2
2	8.7	7.7	24.7	32	"	8.7	88.4
3	8.5	7.6	35.4	33	"	8.8	92.1
4	8.4	7.7	43.3	34	"	8.7	89.0
5	"	7.5	48.6	35	7.6	8.9	93.5
6	"	7.6	53.0	36	"	9.0	91.8
7	8.3	7.6	55.3	37	"	8.8	93.9
8	"	7.7	57.5	38	"	9.0	94.7
9	"	7.7	58.5	39	7.5	9.1	98.3
10	8.2	7.9	50	40	"	8.9	95.3
11	"	8.1	62.7	41	"	8.8	98.2
12	"	8.1	63.1	42	"	9.2	96.3
13	"	8.0	65.6	43	"	9.3	101.3
14	8.1	7.9	65.1	44	"	8.9	98.3
15	"	8.2	66.4	45	"	9.7	101.8
16	"	8.2	67.9	46	"	8.9	99.3
17	"	7.9	68.9	47	"	9.1	100.5
18	8.0	8.2	70.8	48	"	9.3	101.3
19	"	8.3	72.6	49	"	9.3	103.2
20	"	8.3	73.0	50	"	9.2	103.4
21	"	8.3	75.3	51	"	9.2	102.7
22	"	8.5	76.6	52	"	9.0	102.1
23	7.9	8.7	78.4	53	"	9.3	104.8
24	"	9.0	80.1	54	"	9.3	103.1
25	"	8.8	79.6	55	"	9.5	105.1
26	"	8.3	80.8	56	"	9.3	105.0
27	7.8	9.0	82.0	57	"	9.4	107.2
28	"	8.9	84.0	58	"	9.5	105.5
29	"	8.8	85.7	59	"	9.4	105.7
30	7.7	8.7	86.4	60	"	9.1	106.8

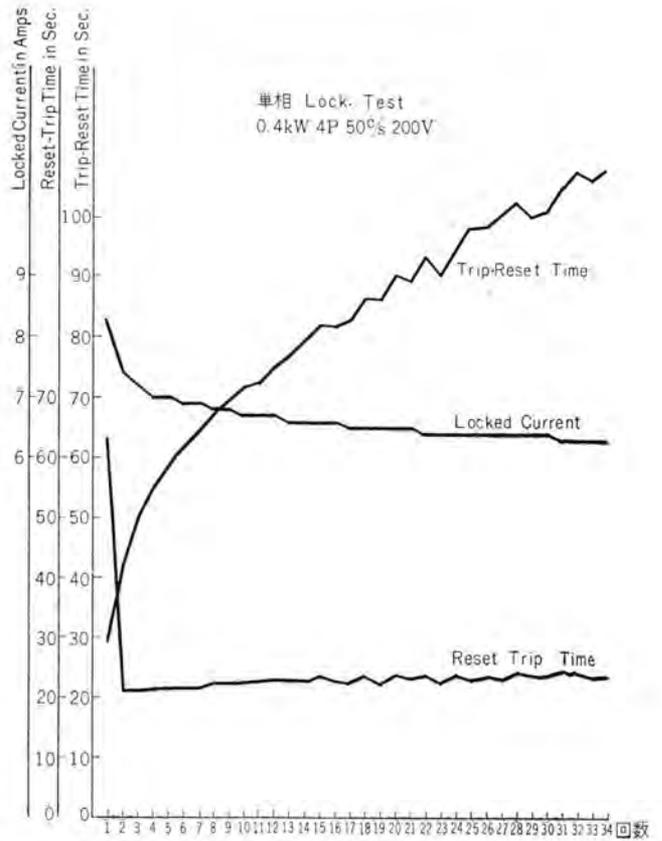


図 5.2 単相拘束試験グラフ

Fig. 5.2 Single phase lock test graph.

表 5.2 単相拘束試験データ

単相拘束 400 W 4P 連続 1 時間

No.	Locked Current (A)	Reset-Trip Time (sec)	Trip-Reset Time (sec)
1	8.2~7.6	63.5	29.2
2	7.4	21.1	41.0
3	7.2	21.0	50.0
4	7.0	21.3	55.0
5	"	21.4	58.8
6	6.9	21.5	61.7
7	"	21.4	64.0
8	6.8	22.1	67.2
9	"	22.0	69.2
10	6.7	22.2	71.8
11	"	22.5	72.3
12	"	22.8	75.0
13	6.6	22.8	77.2
14	"	22.6	79.2
15	"	23.5	82.0
16	"	22.7	81.8
17	6.5	22.3	82.9
18	"	23.6	86.6
19	"	22.0	86.3
20	"	23.9	90.6
21	"	23.3	89.5
22	6.4	23.8	93.5
23	"	22.7	90.4
24	"	23.8	94.9
25	"	23.2	98.3
26	"	22.6	98.5
27	"	23.2	100.4
28	"	24.1	102.5
29	"	22.8	100.3
30	"	22.8	101.4
31	6.3	24.4	105.3
32	"	24.1	107.9
33	"	23.6	106.7
34	"	23.7	108.0

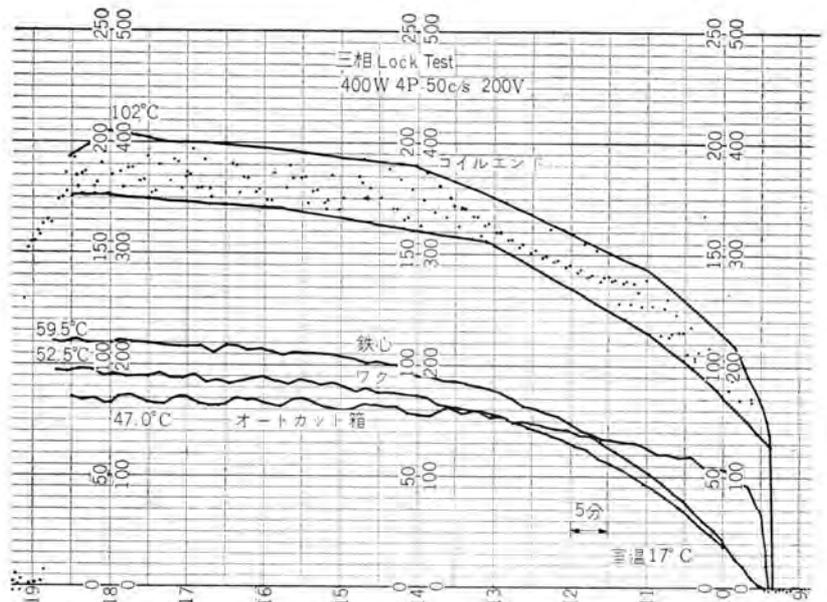


図 5.3 三相拘束温度上昇

Fig. 5.3 Three phase locked state temperature rise.

の動作により巻線は加熱、冷却をくりかえすため巻線温度はある幅をもっているがこの幅の飽和最高温度上昇をもって試験温度上昇とする。この場合 102°C である。また抵抗法による測定結果は 97°C である。

b. 単相拘束

図 5.4 は単相拘束時の温度の測定結果を示すグラフで

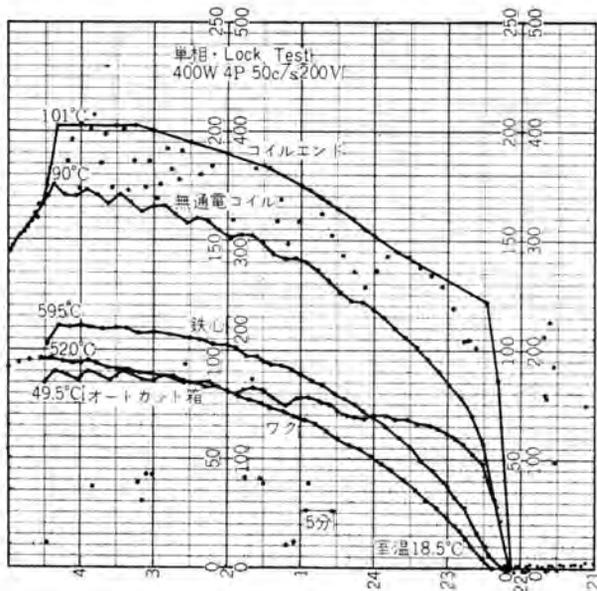


図 5.4 単相拘束温度上昇

Fig. 5.4 Single phase locked state temperature rise.

ある。

(3) 過負荷試験

電動機に定格電圧を加え、200%の過負荷電流を連続的に加えたときのオートカット動作時の各部の温度は下記のとおりである。

巻線	(抵抗法)	69.0°C
巻線	(記録計法)	68.0°C
鉄心	(記録計法)	45.0°C
フレーム	(記録計法)	39.5°C

オートカット	(記録計法)	47.5°C
室温	(寒暖計)	19.0°C
オートカット動作時間		22分30秒

6. オートカット使用上の注意

使用中、オートカットがひんぱんに動作し始めれば、何か事故が発生しているはずである。モートルはオートカットにより安全に保護されていると考え、そのまま放置しておく、モートルは焼損よりまぬかれるかも知れないが負荷機械に致命的な事故が発生する恐れがある。したがってオートカットが動作し始めれば直ちに機械をとめ、原因を調査する必要がある。

またオートカットを信頼して意識的にモートルを連続して過負荷状態で酷使することは避けなければならない。モートル巻線は焼損こそしないが、巻線寿命をいちじるしく短縮するからである。

7. むすび

以上述べたように、安価でかつ確実にモートルを焼損より防止するオートカットが開発され、その試験成績も満足すべきものであって十分その実用性を保証することができる。

今回開発されたものは防滴形(SB-AT)全閉形(SE-AT)全閉外扇形(SF-AT)1318フレーム(3.7kW 4P、2.2kW 6P)以下のものであるが、さらに大形のモートルや特殊な特性のモートルに対しても、その研究を進めていくつもりである。

最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
36-1-18	信学会通信方式研究専門委員会	磁気ドラム形遅延正掃還方式	小林 信三	無線機
"-1-20	日刊工業新聞社	図面管理の実際	松尾 準一	本 社
"	京都 マツダ	マツダ 電装品技術講習会	市村 武	姫 路
"-1-24	日本電気計測器工業会	OP ゴム 磁石について	吉岡 博	大 船
"-1-24,31	NHK 教育 テレビ	これからの工場	前田 幸夫	本 社
"-1-25	能率協会(東京)	簡略図法による製図の標準化	松尾 準一	本 社
"	京都 マツダ	マツダ 電装品技術講習会	市村 武	姫 路
"-1-25~28	九州電力	TS-35 タイムスイッチ 製品・取扱	神本 明輝	福 山
"-1-26	関西造船協会	ロケットとエレクトロニクス	小田 達太郎	無線機
"	京大、不均磁場研究会	イグナイトロンを用いた高温プラズマ発生装置電源	河合 正	研究所
"	電波技術協会	カラー受像管金属部品材料の温度による特性	小倉 忠利	世田谷
"-1-27	岐阜県経営者協会	CCS 経営講座	前田 幸夫	本 社
"	電気学会九州支部長崎講演会	大形並びに特殊誘導電動機について	{片山仁八郎・伊佐山好延 伊藤昭八郎	長 崎
"	"	回転電機の絶縁と絶縁劣化測定について	{片山仁八郎・伊佐山好延 伊藤昭八郎	長 崎
"-1-30	中部電力	中部電力照明指導員講習会—商店照明の指導要領・住宅・旅館・工場・道路・学校・水銀灯—	小堀 富次雄	本 社

# 分解排気工程の酸化物陰極におよぼす影響

研究所 立原芳彦\*・秦 卓也\*\*・小坂橋正康\*\*\*

## Effect of an Exhaustion Process on Oxide Cathodes

Research Laboratory Yoshihiko TACHIHARA・Takuya HATA・Masayasu KOITABASHI

Effect of the exhaustion process on properties of oxide coated cathodes was studied by the use of a servo controller. This arrangement made capable of automatically maintaining, by the heater power, the rate of gas evolution from the cathode, i.e., the thermal decomposition rate of the coating, at a preset gas pressure. It was revealed through gas analysis of core nickel that the quicker the decomposition of the coating, the less the oxidation contamination of the nickel surface. Thus higher active oxide cathode were made available in spite of higher gas pressure in decomposition. The oxidation contamination of the nickel surface seems to depend not so much on the inside gas pressure as the exposure time to gas evolved. However, a longer time is desired in degassing of the anode by heating, which fact is also to be taken into account.

### 1. ま え が き

酸化物被覆陰極をもった管球の製造工程中、もっともその陰極の特性に大きな影響をあたえる工程の一つとして加熱分解排気がある。この工程中には、基体ニッケル上でアルカリ土金属炭酸塩からその酸化物への分解が行なわれるため、炭酸ガス、水蒸気を主成分としたガスが多量に陰極より発生する。これらの発生ガスは分解排気中の高温度の陰極基体ニッケルや陽極金属などを酸化汚染し、酸化物陰極の低活性度および短寿命の原因となる。また加熱温度、加熱時間、および陰極物質分解発生ガス管内圧力の三つの因子によってきまる炭酸塩の酸化物への分解速度は陰極の酸化物結晶の大きさ、酸化物結晶同志間や酸化物結晶と陰極基体間の接着性、および酸化物被覆層の気孔率などの酸化物陰極の電子放射特性と重要な関係のある因子に大きな影響をあたえる。とくに酸化物陰極の基体ニッケルの酸化汚染は基体ニッケルのもつ化学的還元能力を減少させ、化学的還元による酸化物陰極の活性化を不能にさせてしまう。これは基体ニッケル中に微量に含まれているマグネシウム、シリコン、アルミニウムなどの化学的還元性物質が基体ニッケル表面の酸化汚染層のため基体ニッケル表面まで拡散する速度が低下し、基体ニッケル表面と接している酸化バリウムの化学的還元による遊離バリウム原子生成速度を低下するためである。<sup>(1)</sup>

この実験では、分解排気中に陰極基体ニッケルの受ける変化とその陰極の活性度との関係をしらべるために、被排気球の陰極加熱電力(分解温度)が発生ガス管内圧力に応じて自動的にコントロールできるサーボコントローラを使い分解排気を行なった。試験球として6×5 GT 双二極管を使い分解排気中の発生ガス管内圧力を $5 \times 10^{-3}$ 、 $1 \times 10^{-2}$ 、および $3 \times 10^{-3}$  mmHgの一定値に設定して分解排

気した。この分解排気所要時間はおのおの30、10、および1分であった。分解排気直後の試験球について、その陰極加熱だけによる活性化、すなわち陰極基体ニッケルのもつ化学的還元作用による活性化中のエミッション上昇を測定した。また陰極基体ニッケルの酸化汚染度を測定するため、真空溶解抽出ガス分析を行なった。さらに陽極に電圧を加え陰極よりエミッションを取り出した寿命試験(ASTMによる)を行ない、その活性度および空間電荷域でのエミッション変化を測定した。

分解排気は陰極からのバリウムなどの蒸発および酸化物多結晶の焼結を起こさないで、また一方陰極の炭酸塩を十分に分解するのに必要な分解加熱温度の範囲内で行なったことはいうまでもない。

### 2. 実験装置および実験方法

#### 2.1 試験球

6×5 GT 双二極管であり、Ca, Sr, Baの三元炭酸塩を陰極基体ニッケルスリーブの中央12 mmの長さにコーティングした。陰極基体ニッケルとしてはMg, Si, Alなどの還元性物質を約0.2重量%以下を含むnormal形を使用した。陽極としては、外面アルミ、内面ニッケルのクラッド鉄板を使用した。またチップ管は内径3 mm、長さ75 mmのものを使った。

#### 2.2 排気装置

油回転ポンプ(300 l/min)→油拡散ポンプ(60 l/sec)→トラップ(ドライアイス+アルコール)という組合せであり、被排気球(6×5 GT)管内で排気速度は $4 \times 10^{-1}$  mmHgにおいて40 cc/sec、到達真空度は $1 \times 10^{-5}$  mmHgである。

#### 2.3 分解排気法

分解排気スケジュールとしては

Bake (30 min, 450°C)→Bomb. Plate (20 sec, 850°C)

→サーボコントローラによる分解→Bomb. Plate (20 sec, 850°C)→Flash Getter→Tip offの順で排気した。

初めの Bake にはいる前の管内圧力を  $1 \times 10^{-3}$  mmHg に、Flash Getter 直前のそれを  $5 \times 10^{-4}$  mmHg にきめておのおの試験球を分解排気した。このスケジュール中、第3の過程、サーボコントローラによる分解における発生ガス管内圧力だけをサーボコントローラによりコントロールした。ほかはおのおの試験球とも同一である。

#### 2.4 サーボコントローラ<sup>(2)</sup>

サーボコントローラは陰極上で炭酸塩から酸化物への加熱分解をコントロールするものである。このサーボコントローラは被排気球の発生ガス管内圧力に応じて自動的に陰極加熱電力(陰極分解温度)がコントロールされるものであり、これにより分解排気中の発生ガス管内圧力および分解時間が一定に保てる。図2.1にサーボコントローラのブロックダイアグラムを示す。被排気球内の発生ガス圧力の検出に電離真空計を使い、そのコレクタ電流を増幅してサチュラブルリアクタコントロール回路に加え、陰極加熱電力をコントロールしている。図2.2はサチュラブルリアクタコントロール回路図を示す、この回路の特長はサチュラブルリアクタを使用していることである、このサチュラブルリアクタは微小な直流電流の変化を大きな交流電流の変化に変える一種の増幅器である。電離真空計からの増幅されたコレクタ電流を6AG7の第一グリッドに加え、そのプレート電流をこのリアクタのDCコイルに通す。陰極の分解発生ガスにより被排気球内のガス圧力が高くなるにつれ電離真空計のコレクタ電流が増加する。このコレクタ電流の増加は6AG7の第一グリッド電圧を増加させ、6AG7のプレート電流すなわちリアクタのDCコイルに流れる直流電流は減少する。この結果、リアクタのACコイルの交流電流も減少し、このACコイルと直列のヒートトランスの入力電圧も減少し、ヒータ出力電

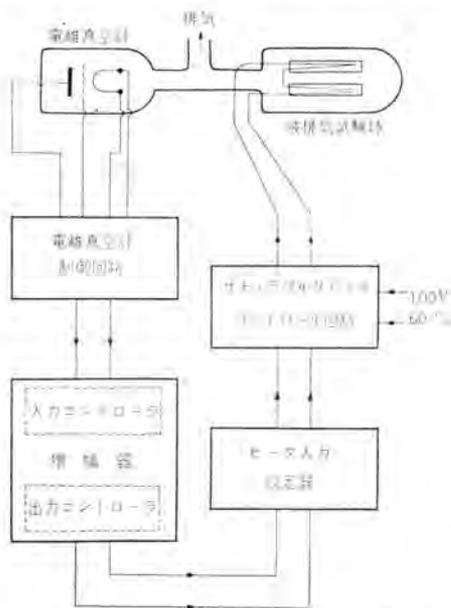


図 2.1 サーボコントローラのブロックダイアグラム  
Fig. 2.1 Block diagram of servo controller.

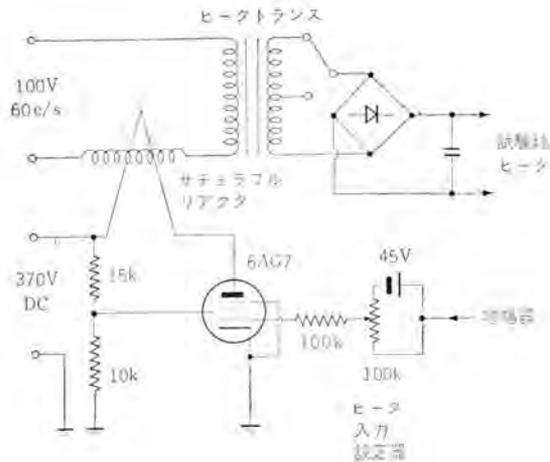


図 2.2 サチュラブルリアクタコントロール回路  
Fig. 2.2 Saturable reactor control circuit.

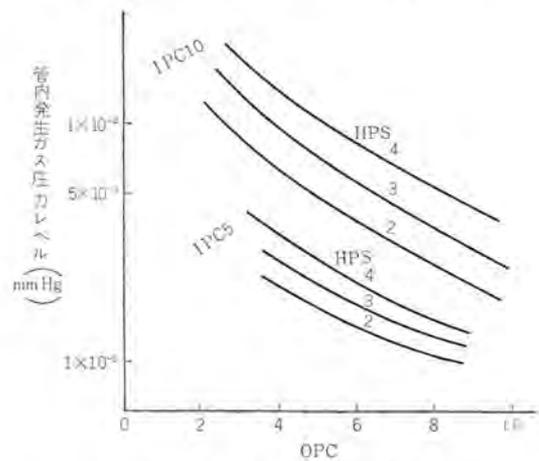


図 2.3 サーボシステムの特性曲線  
IPC, HPS, OPC はおのおの増幅器入力コントローラ、ヒータ入力設定器、増幅器出力コントローラの日盛を示す  
Fig. 2.3 Characteristic curves of servo system, where IPC, HPS, and OPC are the scale of amplifier input controller, heater power setting, and amplifier output controller, respectively.

圧も減少する。反対に分解発生ガスが減少するとこのコントローラはその逆の働きをする。したがってこのコントローラにより分解排気中の発生ガス管内圧力は一定のレベルに保てる。図2.3はこのコントローラと前記の排気装置および試験球とを組合せた場合の分解排気中の管内発生ガス圧力レベルとこのコントローラの制御素子との関係を示す。ここでIPC, HPS, およびOPCはおのおの増幅器への入力大きさ、6AG7のグリッドバイアスの大きさ、および増幅器の出力の大きさの日盛を示す。この図2.3を使用することにより希望する発生ガス管内圧力レベルで分解排気が行なわれるように上記の3素子を設定できる。たとえば管内発生ガス圧力を  $5 \times 10^{-3}$  mmHg のレベルに保って分解排気をしようとする場合、IPC, HPS, および OPC の日盛をおのおの 10, 4 および 5, または 10, 3, および 6.5, または 10, 2 および 4.5 などのうちいずれかに設定すればよい。図2.4はこれらの装置を使って管内発生ガス圧力レベルを (A)  $5 \times 10^{-3}$ , (B)  $1 \times 10^{-2}$ ,

(C)  $3 \times 10^{-2}$  mmHg に設定し分解排気した場合の管内発生ガス圧力、陰極加熱電力と時間との関係である。コントロールを通して被排気球の陰極加熱用ヒータに電圧を加えると、管内ガス圧力が低いと高い電圧がヒータにかかり、陰極上で急激に分解が始まり多量のガスが発生するが、瞬間的にヒータ電圧は降下し、数秒後には管内発生ガス圧力は設定レベルにもどされる。分解が進みガス発生が少なくなるにつれヒータ電圧は上昇する。分解が終わってガス発生がなくなり管内圧力が低くなると、ヒータ電圧は 13 V を示す。この 13 V は陰極が完全に分解し、しかも陰極を過熱しない程度の温度を得るヒータ電圧である。この電圧に 15 秒間たもち分解を終わる。つぎの過程 Bomb Plate および Getter Flash 中は 8.0 V にヒータ電圧をたもった。なおここでは陰極加熱電力を便宜的に陰極加熱ヒータ電圧であらわした。

### 2.5 陰極基体ニッケルの化学的還元による陰極の活性化

試験球として分解排気直後の球を使い、陰極を 1,115 K に加熱しその活性化上昇を測定した。活性化は陰極加熱ヒータ電圧 1.75 V DC 陽極電圧 4.0 V DC のエミッションであらわした。

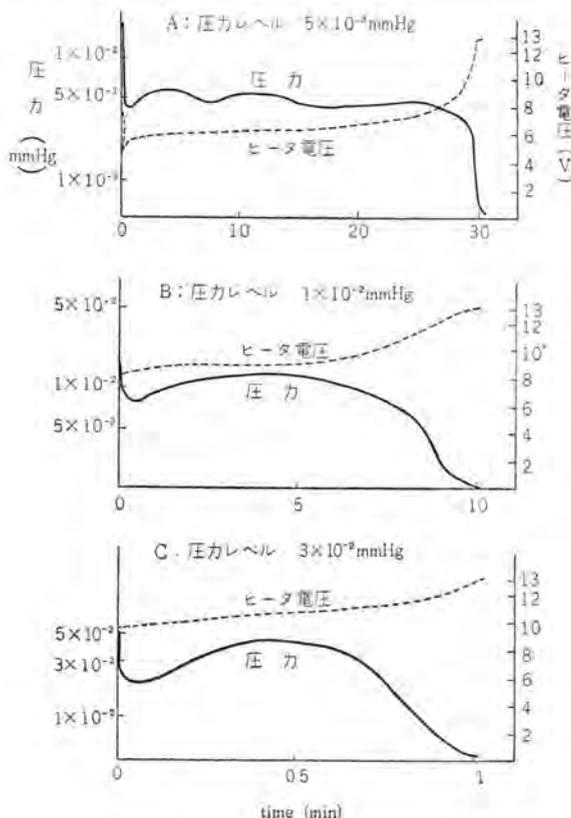


図 2.4 サーボシステムによる陰極分解中の試験球内の圧力とヒータ入力。A, B, C はそれぞれ  $5 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-2}$ ,  $3 \times 10^{-2}$  mmHg の圧力レベルで行なったものを示す。

Fig. 2.4 Pressure and heater input powers of the test tubes when the decompositions of the cathodes were carried out at the pressure level of  $5 \times 10^{-3}$  mmHg (A),  $1 \times 10^{-2}$  mmHg (B), and  $3 \times 10^{-2}$  mmHg (C), respectively by the servo system.

この活性化中には、このほかに酸化バリウム単熱分解による活性化も起こるであろうが、その程度は基体ニッケルの化学的還元によるものと比較し非常に小さいと思われるので、活性度の差は還元によるものと考えられる。なおこれらの活性度測定はおおのこのロットごとに 5 本の試験球を使い、その平均値をおおのこのロットの活性度とした。

### 2.6 陰極基体ニッケル中の含有ガスの定量

真空溶解抽出法<sup>(4)</sup>により、基体ニッケル中の  $O_2$ ,  $N_2$ , および  $H_2$  ガスの定量を行なった。抽出温度は  $1,700^\circ\text{C}$  で黒鉛のルツボを使用した。試料としては酸化物コーティングを醋酸ナトリウムおよび希醋酸で除き、よく水洗、乾燥させた基体ニッケルを用いた。おおのこのロットごとに 3 本の試験球を使った。

### 2.7 寿命試験中の活性度と空間電荷域のエミッション

寿命試験はヒータ電圧 6.5 V AC, 陽極電圧 100 V DC, 負荷抵抗  $1\text{ k}\Omega$  であり、ASTM<sup>(4)</sup> に準じたものである。活性度は前記 2.5 での方法を用い、空間電荷域でのエミッションはヒータ電圧 6.5 V DC, 陽極電圧 40 V DC で測定した。この寿命試験中には、陰極よりエミッションを取り出しているため、酸化バリウムの電解が起こり陰極の活性化速度は増加するであろう。この寿命試験にはおおのこのロットごとに 5 本の試験球を使った。

## 3. 実験結果およびその考察

ペークを含めた分解排気にはいる前の管内圧力が酸化物質陰極の活性度に影響するという報告<sup>(6)</sup>があったので、それを  $1 \times 10^{-3}$  mmHg にして分解排気をはじめた。しかしこの圧力が  $5 \times 10^{-3}$  から  $1 \times 10^{-4}$  mmHg の範囲で変動しても、その活性度、エミッションには有意な差はみられなかった。

陰極基体ニッケルの化学的還元作用だけによる陰極の活性化速度を図 3.1 に、またおおのこの工程後の陰極基体ニッケル中の含有ガス量を表 3.1 に示す。これらの値は平均値で示されているが、同一ロット内でもおおのこの測定値はかなり大きなバラツキをしている。しかし図 3.1 の 20 分付近に示されるような差が平均値にあれば統計的に検討してその活性度にかんがりの差があることがわかる。また含有ガス量に関しては、分解排気直後の酸素について大きな差があった。

図 3.1 および表 3.1 より次のことがわかった。陰極基体ニッケルの化学的還元による陰極活性化は、活性化時間が約 10 分間まではおおのこのレベル（分解排気法）とも分解排気直後の陰極の活性度とほとんど変わりなく、分解排気法による差はみられないが、この期間を過ぎると高圧力、短時間で分解排気したものほどその活性度が高くなる。また陰極基体ニッケル中の酸素含有量も高圧力、短時間分解排気のもののが少なく、とくに分解排気直後のものにその差がいちじるしい。表 3.1 にみられるように、

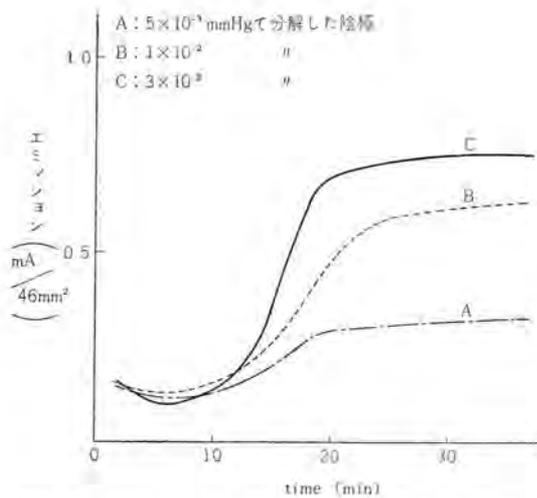


図 3.1 基体ニッケルの化学的還元による陰極の活性化, 陰極加熱温度 1,150°K

Fig. 3.1 Cathode activation by chemical reduction of the core nickels at 1,150°K

表 3.1 真空溶解法による基体ニッケル中の数種のガスの定量

過 程	分 解 条 件		含有量 (cc/100 g NTP)		
	圧力レベル (mmHg)	分解時間 (min)	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
分解排気前			18.7	8.6	0.7
分解排気直後	5×10 <sup>-3</sup>	30	26.1	11.4	0.5
	3×10 <sup>-2</sup>	1	22.8	7.1	0.6
100時間寿命試験後	5×10 <sup>-3</sup>	30	31.6	13.0	0.7
	3×10 <sup>-2</sup>	1	27.3	10.3	0.9

陰極基体ニッケル中の酸素、水素の含有量はおのおのの工程をへるにしたがって増加していく、これらの増加量は分解排気中に大きく、とくに低圧力、長時間分解排気したものがその増加量がいちじるしい、この分解排気法による酸素、水素の含有量の差は寿命中でもつねになくならず分解排気工程の陰極基体ニッケルへの影響の大きいことを示している。ここで陰極基体ニッケルの酸化汚染について考えてみると、われわれの予備実験より陰極基体ニッケルの酸化汚染はその表面のごく薄い層で行なわれていることがわかった。またここで使用した真空溶解抽出ガス分析法では、高真空、高温度で黒鉛ルツボを使用しているため、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiOなどの化合物状態の酸素も還元され一酸化炭素としてほとんど抽出される<sup>(9)</sup>。したがってこの分析法で定量される酸素の量は陰極基体ニッケル中に化学的および物理的に結合しているほとんど全部のものと考えられ、この酸素量の大きさにより陰極基体ニッケルの酸化汚染度を推測することができる。水素についても同様に化学的、物理的に結合されている大部分が抽出されるであろうが、窒素については前者のものと比較しその抽出量にはかなりの誤差をとまなうであろう。これらのことより、表 3.1 について考察すれば、この表の基体ニッケルの酸素含有量の値は基体ニッケルの全体が分解排気以前の加工や処理中などに全ロットが同じに受けた酸化汚染を含み、また分解排気中の酸化汚染は

非常に薄い基体ニッケル表面層で行なわれているので、基体ニッケル表面部分での酸素濃度の差は実際には上記測定値で見られる差よりも非常に大きなものとなると考えられる。この酸化汚染は基体ニッケル表面に酸化汚染層を生成し基体ニッケル内部よりの活性還元性物質の表面への拡散をさまたげ、基体ニッケルのもつ化学的還元速度を減少させる。このことは図 3.1 に示される基体ニッケルの化学的還元による陰極の活性度を比較すれば明らかである。

図 3.2 と図 3.3 はおのおの寿命中の活性度と空間電荷域でのエミッションを示す。この寿命試験は陽極電圧により陰極より平均 0.2 A/cm<sup>2</sup> のエミッション電流を取り出し、ヒータ電圧を 6.5 V に保って行なった。それゆえ、この試験中には電解活性化が陰極で起こる。図 3.2 にみられるように、高圧力、短時間分解排気のものの方がより高い活性度を示している。しかし図 3.3 にみられるように、空間電荷域(陰極加熱ヒータ電圧 6.5 V)でのエミッションは分解排気法によるいちじるしい差はないが、わずかに高

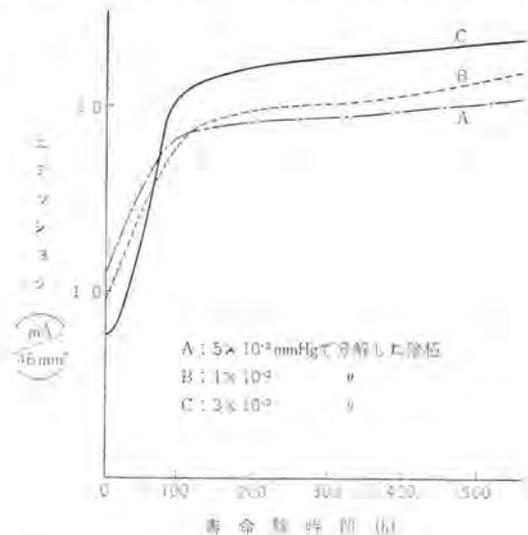


図 3.2 寿命試験中の陰極の活性度

Fig. 3.2 Activities of the cathodes in life test.

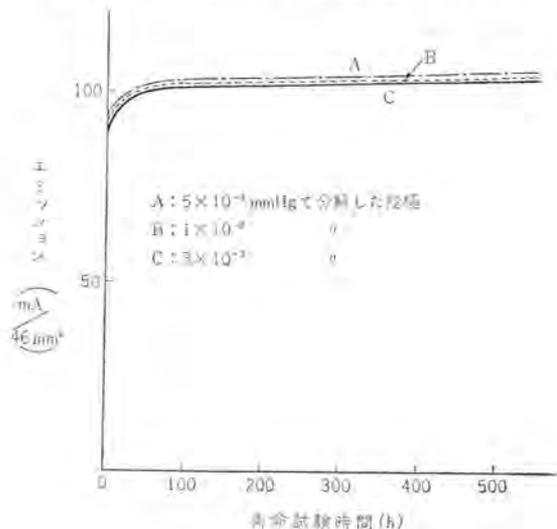


図 3.3 寿命試験中の陰極の空間電荷域エミッション  
Fig. 3.3 Space charge limited emission of the cathodes in life test.

圧力、短時間排気のもの低い、すなわち前とは逆の傾向を示している。

酸化物陰極からの電子放射の大小は陰極基体ニッケルのもつ化学的還元作用、酸化物コーティングの電解作用などにより酸化バリウムから生成される遊離バリウムの多少によるのであり<sup>(7)</sup>。一方それ自身の蒸発および残留ガスや部品からの放出ガスによる毒作用などによりつねに失われて行く。一定の状態の陰極のもとでは、これら生成と損失がつり合った一種の平衡状態のバリウム濃度に達するであろう。そしてこのような遊離バリウム濃度のもとに電子放射が行なわれるのである。また高温における酸化物陰極は低温のそれとは異なった機構で電子放射が行なわれる。すなわち高温では酸化物層の Pore 中の Electron gas によりその電導が行なわれるが、低温では酸化物結晶の Semiconduction におもによるとされている<sup>(8)</sup>。以上のような種々の電子放射機構要因を考慮して、**図 3.3** について考察すれば、高温の陰極においてかなり空間電荷にかかった領域で直流測定したエミッションは酸化物陰極そのものより、むしろ管球全体すなわち陰極、陽極、グッタなどの部品の管内のでき上がり品質特性、とくに陽極吸蔵ガスの電子によるたたき出しによって支配され、その結果が**図 3.3**に示すようになったのであろう。事実、**表 3.2**に示すように、陽極金属中の酸素、水素の含有量は非常に大きい。したがって、これら

表 3.2 真空溶解法による陽極金属中の数種のガスの定量

過 程	分 解 条 件		含有量 (cc/100 g NTP)		
	圧力レベル (mmHg)	分解時間 (min)	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
分解排気前			89.6	40.7	6.3
分解排気直後	5×10 <sup>-3</sup>	30	119.9	34.4	9.2
	3×10 <sup>-2</sup>	1	104.1	30.8	7.7
100 時間寿命試験後	5×10 <sup>-3</sup>	30	129.5	50.2	10.3
	3×10 <sup>-2</sup>	1	130.1	46.1	9.0

の吸着ガスが電子衝撃によりたたき出され、陰極に毒作用をあたえることは十分考えられる。またわれわれは酸化物層や基体ニッケルの組織、構造を調べるため、顕微鏡による観察を行なったが、分解排気法による差は見られなかった。これは多分、顕微鏡の倍率が低いためであり、微細部の観察が可能であれば分解排気法による差は明ら

かになるであろう<sup>(9)</sup>。

#### 4. む す び

酸化物熱陰極からの熱電子放射は遊離バリウムで活性化されたアルカリ土金属酸化物の複雑な多結晶体から行なわれるので、その機構は非常に複雑である。ここで行なった陰極基体ニッケルをおもにした実験ではその一部にふれたにすぎない。しかしこの実験から加熱分解排気条件の酸化物陰極への影響がいくらかわかった。すなわち、 $3 \times 10^{-2}$  から  $5 \times 10^{-3}$  mmHg の管内発生ガス圧力のもとでは、この管内発生ガス圧力よりむしろ分解排気の時間の長さに依存し、この時間が長いほど陰極基体ニッケルの酸化汚染度は増加する。その結果、陰極基体ニッケルの化学的還元能力は減少し、陰極の活性度も低下する。したがって、高い管内発生ガス圧力のもとでも、短時間に分解排気するほうがより高い活性度の酸化物陰極が得られる。しかし真空管排気中には陽極の加熱脱ガス時間が長いほうが望ましいことも排気スケジュール決定にあたって考慮すべきである。

終わりに、サーボコントローラを設計、製作くださった当所浅見副課長に深く感謝いたします。

(昭36-2-10 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) R. W. Peterson, D. E. Anderson, and W. G. Shepherd: J. Appl. Phys., 28, 23 (1957).
- (2) R. P. Misra: Proceedings of the Fourth National Conference on Tube Techniques, 145, Oct. (1954).
- (3) R. F. Bunshah: Vacuum Metallurgy, 407, Reinhold Publishing Co. (1957).
- (4) ASTM Specification, F270-52T.
- (5) F. T. Hill: Proceedings of the Fourth National Conference on Tube Techniques, 174, Sep. (1958).
- (6) 襄輪 晋: 窯業協会誌, 68, 20 (1960).
- (7) C. H. Prescott: J. Am. Chem. Soc., 60, 3047 (1938). P. V. Kobtynenko and B. M. Tsarev: Radiotekhnika i Elektronika, 4, 866 (1959).
- (8) R. Loosjes and H. J. Vink: Philips Reserch Repts., 4, 449 (1949).
- (9) 菅田栄治・中村勝吾: 電気学会雑誌, 80, 47 (昭 35).

# ステンレス鋼のろう付

研究所 石原克巳\*

## Brazing of Stainless Steel

Research Laboratory Katsumi ISHIHARA

Brazing of stainless steel has been studied relative to the diffusion phenomena between brazing alloy and base metal, and also on the corrosion resistance of brazed portions. The brazing was made in a furnace filled with hydrogen on six kinds of nickel-base alloys selected for the purpose. These alloys contain such an element as Si or B acting to lower the melting point, showing microstructure with brittle intermetallic compounds or eutectic phase affected by these elements. In brazing with such micro-structure feature, the element Si or B precedently diffuses from the brazed point into the base material so as to transform the part to ductile state of solid solution during the brazing. This improves the corrosion resistance. When brazing was done with alloy containing boron, small particles of chromium carbides were formed along with the grain boundary of the base material. They seem to be the cause of severe intergranular attacks when boiled in 5% sulphuric acid solution.

### 1. ま え が き

ステンレス鋼のろう付は、原子炉やジェット機の開発に伴い、最近きわめて重要視されるようになった。もちろん、一概にステンレス鋼のろう付といっても、応用分野の相違により、ろう付部に要求される性質はかなり異なってくる。たとえばジェット機関係の分野では、高温における強度や耐酸化性などが主として問題になるが、PWR形原子炉の場合には、高温水に対する耐食性、放射損傷あるいは中性子の吸収断面積などが重要な問題となる。しかし、一般的にみて、ステンレス鋼のろう付において必要と考えられる第一の点は、ろう付部の諸性質がステンレス鋼自体の性質に十分近いことである。第二はろう合金の融点である。ろう合金の融点は、耐熱性の点から考慮すると高いほうがよいが、ろう付作業の点や、ステンレス鋼に対する熱影響を押える意味では低いほうが望ましい。第三に、ろう合金はながれが良好でなじみ性がすぐれていなければならない。

このような諸性質を比較的良好に満足する合金としては、Ni系合金、Pd系合金、Au系合金、Ag系合金などが従来開発されている。Ni、Pd、Au、Agなどは、特定の元素と共晶を形成させて、適当に融点を下げることができる。一方、その耐食性、耐熱性、機械的性質は、さらにCr、Fe、Mo、Mnなどを添加すると改良されることが報告されている。すでに米国においては、Ni-Si-B系合金、Ni-Cr-Si-B系合金の数種類が、耐熱、耐食ろう合金として市販されており、AMS規格にも取り入れられている。しかし、全般的にみて、特殊用途に対するろう合金の開発、あるいは、ろう付機構の基礎的な研究と相まって、ろう付部の諸性質を改良して行く余地は大きいと考えられる。このような観点から、この報告では、数種類の既知のNi系合金を選んで、18-8ステンレス鋼に対す

るろう付性ならびにろう付時における拡散現象を顕微鏡組織的に検討した。

### 2. 供試材料

試験に用いたろう合金は、Ni系合金6種類で、母材ステンレス鋼には低炭素18-8ステンレス鋼を使用した。

供試ろう合金ならびにステンレス鋼の分析値は表2.1、2.2に示す。

表 2.1 供試ろう合金分析値

ろう合金	分 析 値 (%)						融点 (°C)	備 考
	Ni	Cr	Mn	Si	B	P		
Ni-Si 合金	86.4	—	—	13.6	—	—	約1,170	試 作
Ni-Si-B 合金	93.3	—	—	3.5	1.9	—	1,054	Handy-Harman 社製, Hi-Temp 93
Ni-Cr-Si 合金	73.6	15.2	—	8.1	—	—	約1,140	試 作
Ni-Cr-Si-B 合金	72.5	16.0	—	5.6	3.5	—	1,004	Handy-Harman 社製, Hi-Temp 72
Ni-Mn-Si 合金	75.0	—	15.4	8.7	—	—	約1,100	試 作
Ni-P 合金	93	—	—	—	—	7	約1,000	日本カミゼン KK 製

表 2.2 供試ステンレス鋼分析値

材 料	分 析 値 (%)							備 考
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	
AISI タイプ 304L	0.021	0.88	1.75	0.027	0.005	18.85	10.56	日本ステンレス社製 板厚 1.5 mm

### 3. ろ う 付

ステンレス鋼のろう付法には、真空ろう付、水素ろう付、あるいは、フラックスを用いる方法などがあるが、この試験では、水素ろう付、すなわち、水素ふんい気による炉中ろう付法によった。炉体には内径42mm、長さ1,000mmの高アルミナNC質燃焼管を用いた。

水素ふんい気中のろう付では、水素は溶融ろう合金ならびにステンレス鋼表面を還元するに十分な高純度でなければならない。したがって、使用水素は濃硫酸、シリカゲルで脱水し、白金アスパスト触媒で脱酸素、さらに濃硫酸、シリカゲル、5酸化リンで脱水した。このようにして得た水

素は、露点約 $-60^{\circ}\text{C}$ で、良好なろう付結果を得ることができた。

試験片は、図 3.1 に示すように  $15\text{ mm} \times 20\text{ mm}$  の重ね継手とし、炉に入れた後、約 5 分間常温で水素を通し、 $500^{\circ}\text{C}/\text{h}$  の速度で温度を上げ、ろう合金の融点より  $50\sim 100^{\circ}\text{C}$  高い温度でろう付した。ろう付温度に達してからの保持時間は、5 分間、30 分、1 時間および 3 時間の 4 種類とし、冷却は炉冷とした。

なお、試験片表面は、400 番のエメリーペーパーで仕上げ、水洗後アセトンで脱脂し、乾燥後ろう付した。

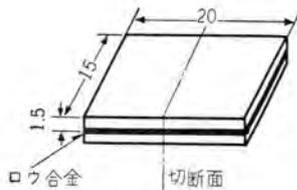


図 3.1 ろう付試験片  
Fig. 3.1 Brazed specimen.

#### 4. 試験結果およびその検討

##### 4.1 Ni-Si 合金によるろう付部断面の顕微鏡組織

Ni-Si 合金には、図 4.1 の状態図に示すように、いく

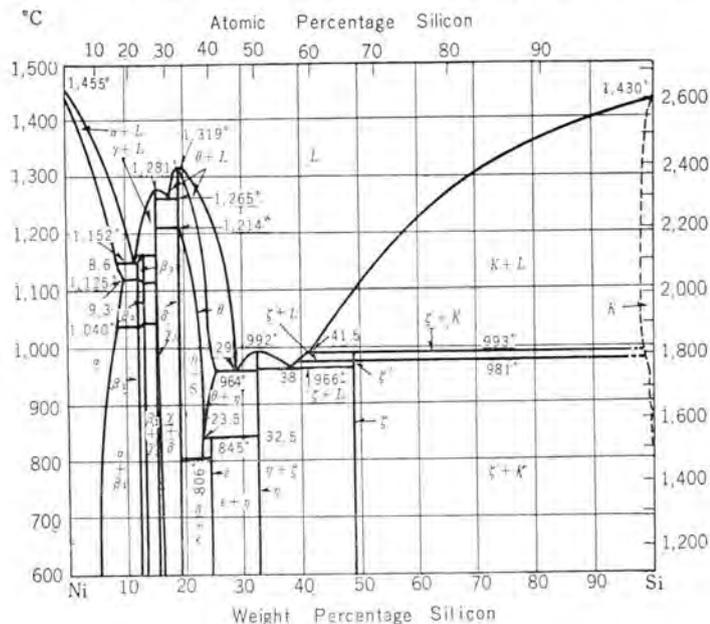


図 4.1 Ni-Si 状態図

Fig. 4.1 Ni-Si equilibrium phase diagram.

つかの低融点の共晶組成がある。試験に供した Ni-Si 合金は、Ni; 86.4%, Si; 13.6% で、図 4.2 はこの合金を鑄造後、 $1,140^{\circ}\text{C}$  で 1 時間焼鈍したときの顕微鏡組織である。白地は Hv (20 g) 1200 程度の硬さを示し、黒く島状に見える組織は 500 程度である。

図 4.3 は、この Ni-Si 合金を用いて低炭素 18-8 ステンレス鋼をろう付したときの断面の顕微鏡組織で、ろう付温度は  $1,200^{\circ}\text{C}$ 、ろう付温度に達してからの保持時間は、(a) は 5 分間、(b) は 1 時間、(c) は 3 時間である。図 4.3 (a) の試験片では、ろう合金と母材ステンレス鋼の境界が明白に認められ、ろう合金は母材ステンレス鋼に十分拡散していないようである。ろう合金層中央の共晶組織は、Hv (20g) 800~900 の硬さを示した。この相と母材の間の黒色の相は、Hv (20g) 300 程度で、共晶相に比べると硬度が低下している。これは、Si が Ni よりステンレス鋼の中に拡散しやすいため、ろう付中に Si がより多く拡散して、ろう合金の Si が減少し、ろう合金層は共晶組織から Ni-Si の  $\alpha$  相に変化したことを示している。

ろう付時間が長くなると、図 4.3 (b), (c) にみられるように、断面の顕微鏡組織は次第に変化して、中央部の共晶組織が減少し、拡散層と母材ステンレス鋼の境界が不明瞭になっている。

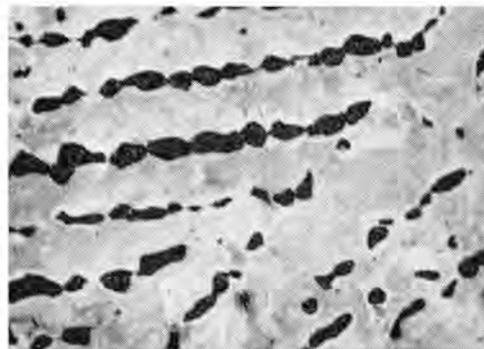
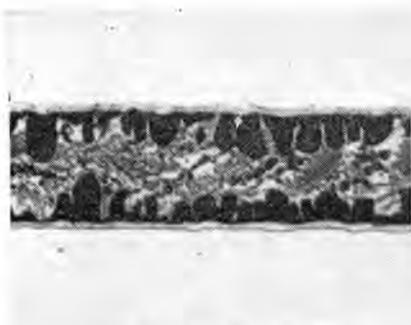
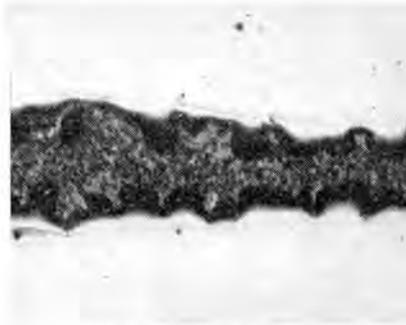


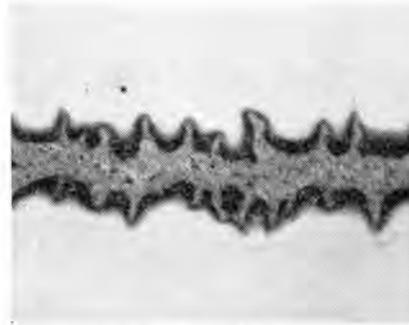
図 4.2 Ni-Si 合金の顕微鏡組織 (Ni 86.4%, Si 13.6%) 硝酸-醋酸液エッチ  $\times 100$   
Fig. 4.2 Micro-structure of Ni-Si alloy. (Ni 86.4, Si 13.6%) Etched with mixture of nitric acid and acetic acid.  $\times 100$



(a)  $1,200^{\circ}\text{C}$  5 min



(b)  $1,200^{\circ}\text{C}$  1 h



(c)  $1,200^{\circ}\text{C}$  3 h

図 4.3 ろう付部断面の顕微鏡組織に及ぼすろう付時間の影響 (Ni-Si 合金) 10% 修酸電解エッチ  $\times 100$

Fig. 4.3 Effect of brazing time on microstructure of brazed joint. (Ni-Si alloy) Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 100$

#### 4.2 Ni-Si-B 合金によるろう付部断面の顕微鏡組織

Ni は図 4.4 の Ni-B 状態図に示すように、B を加えても共晶合金を形成して融点が低下する。試験に供した合金は、Ni 93.3%，Si 3.5%，B 1.9% (Hi-Temp 93, Handy-Harman 社製、粉末) で、融点は 1,054°C である。図 4.5 はこの粉末合金を再溶解して、1,000°C で 1 時間焼鈍したときの顕微鏡組織である。白地は Hv(20g) 150~170 程度の硬さを示し、図 4.1 および図 4.4 の状態図

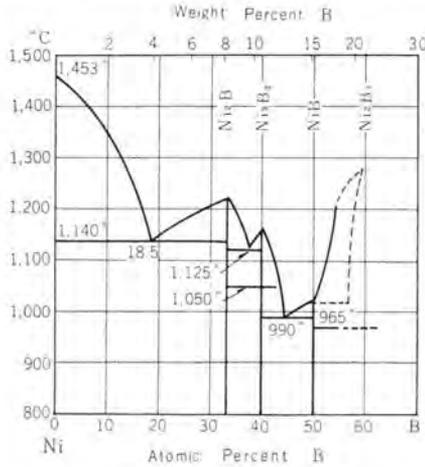


図 4.4 Ni-B 状態図

Fig. 4.4 Ni-B equilibrium phase diagram.

から判断して、Si だけを固溶した Ni の  $\alpha$  相と考えられる。黒地は Hv(20g) 700~900 の硬さを示し、Ni と Si、B の金属間化合物と、 $\alpha$ -Ni 地の共晶組織であろう。

図 4.6 (a), (b), (c) はこの合金を用いて低炭素 18-8 ステンレス鋼をろう付したときの断面の顕微鏡組織で、1,150°C のろう付温度で、保持時間が 5 分間、1 時間、3 時間と変化したとき、断面の組織が変化して行く状況を示したものである。ろう付時間 5 分間(図 4.6 (a)) および 1 時間(図 4.6 (b)) の試験片には、ろう合金層の中央に黒い相が認められる。この相は Hv(20g) 800 程度の硬さを示し、ろう合金 自体の共晶相によるものである。図 4.7 は断面の 500 倍の顕微鏡組織で、圧痕は硬さ試験のあとを示す。

ろう合金層中央部の共晶組織は、ろう付時間が長くなるに従って次第に減少し、保持時間 3 時間(図 4.6 (c)) では完全に消えている。これは、ろう付中、Si、B などが、比較的短時間のうちに母材 ステンレス鋼 の中に拡散して行き、ろう合金層 の組織が  $\alpha$ -Ni 地に変化して行く過程を示している。

つぎに、図 4.6 の顕微鏡組織に共通している点は、ろう合金 の層と接した母材 ステンレス 側に多量の析出物が認められることである。このような析出物は、母材の低炭素 18-8 ステンレス鋼 の組織の中にはまったく存在せず、

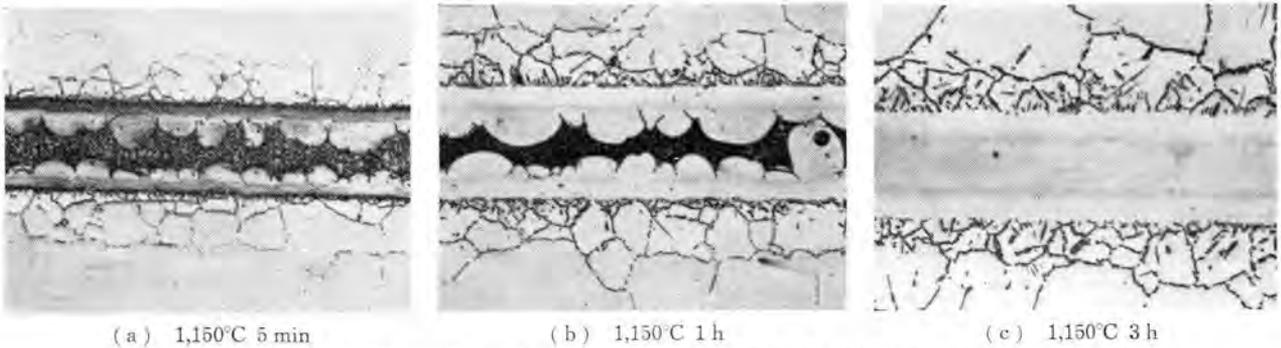


図 4.6 ろう付 断面の顕微鏡組織に及ぼす ろう付時間の影響 (Ni-Si-B 合金) 10% 修酸電解エッチ  $\times 100$

Fig. 4.6 Effect of brazing time on microstructure of brazed joint. (Ni-Si-B alloy) Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 100$

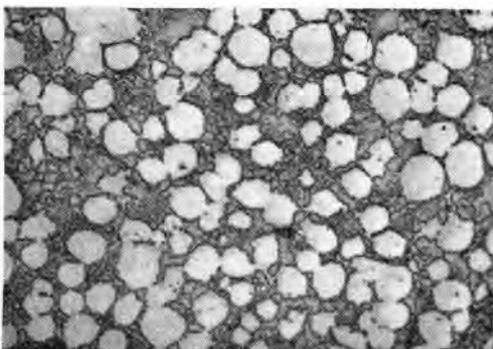


図 4.5 Ni-Si-B 合金の顕微鏡組織 (Ni 93.3%, Si 3.5%, B 1.9%) 10% 修酸電解エッチ  $\times 100$

Fig. 4.5 Micro-structure of Ni-Si-B alloy. (Ni 93.3%, Si 3.5%, B 1.9%)

Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 100$

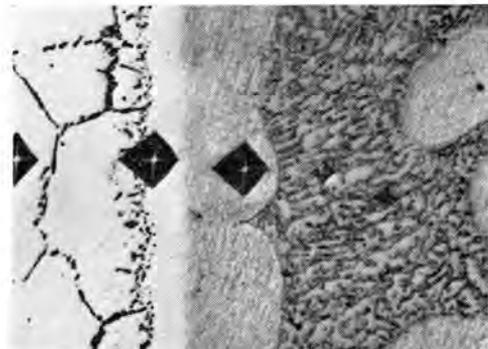


図 4.7 ろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-Si-B 合金) 1,150°C 5 分間 10% 修酸電解エッチ  $\times 500$

Fig. 4.7 Micro-structure of brazed joint. (Ni-Si-B alloy) 1,150°C 5 min.

Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 500$

ウ合金の成分がステンレス鋼に拡散して生じたことは明らかである。

析出物の分散状態をみると、図4.6(a)のロウ付時間5分間の試験片では、ロウ合金と母材の境界部に密集しているが、ロウ付保持時間が長くなるに従って、析出範囲が広がり、量も増加している。また、境界線から遠ざかるに従って、析出物はステンレス鋼の粒内より粒界のほうに多くできているようである。

ステンレス鋼にロウ合金成分が拡散してできたと考えられる析出物は、図4.8に示すように特異な形状を呈しており、析出物そのものの硬さは不明であるが、析出物を含む拡散層の平均硬度はHv(20g)150~180で母材ステンレス鋼と変わらない。なお、この析出物は、ロウ付後、1,050°C水冷の、いわゆる18-8ステンレス鋼の溶体化熱処理を行なっても、図4.9に示すように熱処理前と変わらない。このロウ合金には、炭素もいくらか含まれているので、析出物がもしクロム炭化物であれば、溶体化熱処理により大部分がオーステナイト相に固溶するはずである。しかし、熱処理後も同様に析出物が残っていることは、この析出物がクロム炭化物でなく、1,050°Cではオーステナイト相に固溶しないことを示している。



図 4.8 母材拡散層における析出物 (Ni-Si-B 合金) 1,150°C 3時間 10% 修酸電解エッチ ×500

Fig. 4.8 Precipitates in diffusion zone of base metal. (Ni-Si-B alloy) 1,150°C 3 hrs Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×500

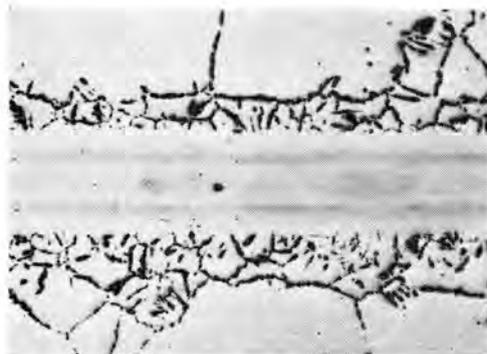


図 4.9 ロウ付後溶体化熱処理をしたときの断面の顕微鏡組織 (Ni-Si-B 合金) 1,150°C 3時間 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.9 Micro-structure of brazed joint after solution heat-treating. (Ni-Si-B alloy) 1,150°C 3 hrs. Electrolytically etched with 10% oxalic acid ×100



図 4.10 Ni-Cr-Si 合金の顕微鏡組織 (Ni 73.6%, Cr 15.2%, Si 8.1%) 5% 硫酸電解エッチ ×250

Fig. 4.10 Micro-structure of Ni-Cr-Si alloy. (Ni 73.6%, Cr 15.2%, Si 8.1%) Electrolytically etched with 5% sulphuric acid. ×250

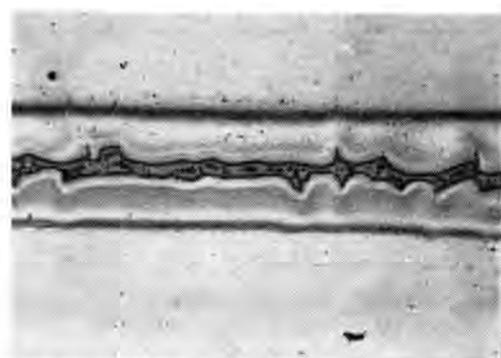


図 4.11 ロウ付断面の顕微鏡組織 (Ni-Cr-Si 合金) 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.11 Micro-structure of brazed joint. (Ni-Cr-Si alloy) Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×100

#### 4.3 Ni-Cr-Si 合金によるロウ付部断面の顕微鏡組織

前記2種のロウ合金は、NiにSi、Bを加えて融点を下げたが、ロウ合金の耐食性、耐熱性を考慮すると、このような合金にCrを添加すると有効であることが報告されている。試験に供したNi-Cr-Si合金は、Ni 73.6%、Cr 15.2%、Si 8.1%で、鑄造後1,100°Cで1時間焼鈍したときの顕微鏡組織を図4.10に示す。この顕微鏡組織をみると2相からなっており、白地はHv(20g)1200程度で非常に硬く、黒地はHv(20g)500程度の硬さを示している。

この合金は融点約1,140°Cで、図4.11は1,200°Cでロウ付したときの断面の顕微鏡組織である。この顕微鏡写真をみると、ロウ合金の層は2相からなり、中央の黒地はHv(20g)500~600でロウ合金の黒地とほぼ同程度の硬さを示している。ロウ合金層の白地はHv(20g)200程度の硬さで、ロウ付中Siがステンレス鋼に拡散して、ロウ合金の組織がSiを含むNi-Crのα相に変化したものである。なお、この合金ではステンレス側の拡散層に析出物は認められない。

#### 4.4 Ni-Cr-Si-B 合金によるロウ付部断面の顕微鏡組織

試験に供した Ni-Cr-Si-B 合金は、Ni 72.5%、Cr 16.0%、Si 5.6%、B 3.5%で、Handy-Harman 社が Hi-Temp 72の商品名で市販している粉末状の耐熱ろう合金である。図 4.12 はこの粉末合金を再溶解後、900°C で 1 時間焼鈍

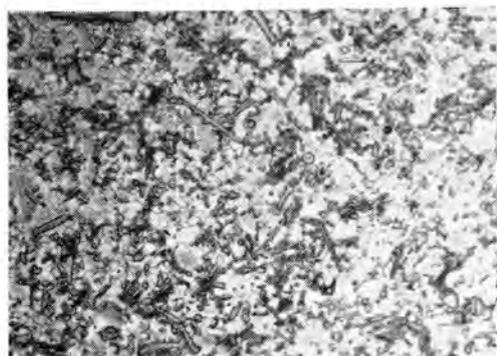


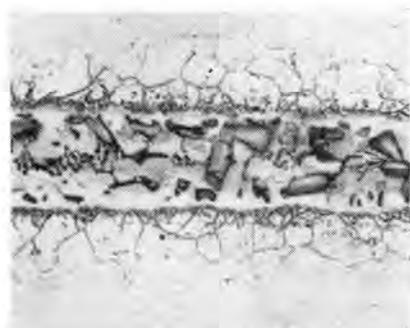
図 4.12 Ni-Cr-Si-B 合金の顕微鏡組織 (Ni 72.5%、Cr 16.0%、Si 5.6%、B 3.5%) 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.12 Micro-structure of Ni-Cr-Si-B alloy. (Ni 72.5%, Cr 16.0%, Si 5.6%, B 3.5%) Electrolytically etched with 10% oxalic acid, ×100

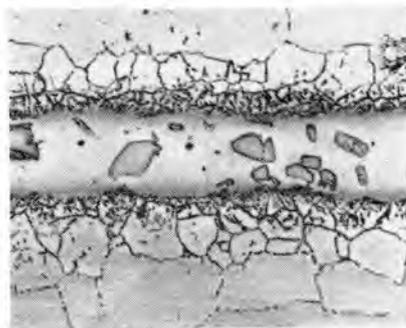
したときの顕微鏡組織で、Hv (20g) 1200~1500 という非常に硬い共晶組織である。

この合金は融点 1,004°C で、1,050~1,100°C でながれ性、なじみ性ともにすぐれ、良好なろう付を行なうことができた。図 4.13 (a), (b), (c) は、1,150°C のろう付温度で、それぞれ 5 分間、1 時間、3 時間保持したときのろう付部断面の顕微鏡組織である。これらの顕微鏡組織をみると、ろう合金の層に島状の組織が認められる。この相の硬さは Hv (20g) 1200~1500 でろう合金自体の硬さと一致している。断面の顕微鏡組織の変化をみると、保持時間 5 分間 (図 4.13. (a)) では、高硬度の金属間化合物の組織が密集しているが、ろう付時間が長くなると、島状の金属間化合物の組織はまばらになっている (図 4.13. (b), (c))。ろう合金層の均一な固溶相は、Hv (20g) 180~200 の硬さを示しており、Si、B の拡散が早いいため、ろう合金の組織が Ni-Cr の  $\alpha$  相に変わったものと思われる。

Ni-Cr-Si-B 合金の場合にも、ステンレス鋼の拡散層に析出物が認められる。析出物の形状、分散状態および析



(a) 1,150°C 5 min



(b) 1,150°C 1 h



(c) 1,150°C 3 h

図 4.13 ろう付断面の顕微鏡組織に及ぼす ろう付時間の影響 (Ni-Cr-Si-B 合金) 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.13 Effect of brazing time on micro-structure of brazed joint. (Ni-Cr-Si-B alloy) Electrolytically etched with 10% oxalic acid, ×100

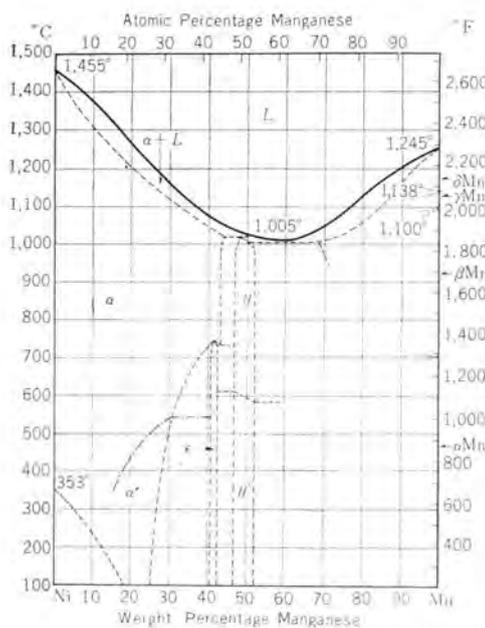


図 4.14 Ni-Mn 状態図

Fig. 4.14 Ni-Mn equilibrium phase diagram.

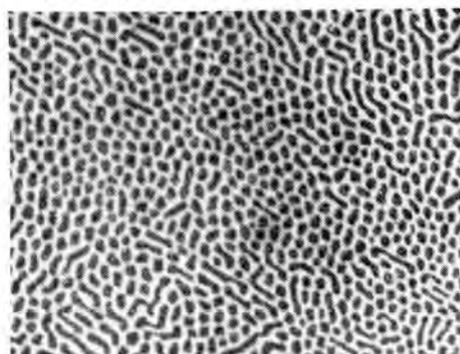


図 4.15 Ni-Mn-Si 合金の顕微鏡組織 (Ni 75%、Mn 15.4%、Si 8.7%) 硝酸-醋酸液エッチ ×500

Fig. 4.15 Micro-structure of Ni-Mn-Si alloy. (Ni 75%, Mn 15.4%, Si 8.7%) Etched with mixture of nitric acid and acetic acid, ×500



図 4.16 ろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-Mn-Si 合金) 1,150°C 30分 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.16 Micro-structure of brazed joint. (Ni-Mn-Si alloy) 1,150°C 30 min Electrolytically etched with 10% oxalic acid, ×100

出物を含む拡散層の平均硬度は、前記の Ni-Si-B 合金の場合とまったく変わらず、両者は同一のものと考えられる。

#### 4.5 Ni-Mn-Si 合金によるろう付部断面の顕微鏡組織

Ni に Mn を加えると、図 4.14 の Mn-Ni 状態図に示すように融点が低下する。試験に供した合金は Ni-Mn に Si を加えたもので、Ni 75.0%、Mn 15.4%、Si 8.7% の組成をもち、融点は約 1,100°C である。図 4.15 は、この合金を鑄造後 1,000°C で 1 時間焼鈍したときの顕微鏡組織で、一様に Hv (20g) 500~600 の硬さを有する共晶組織である。図 4.16 は ろう付部断面の顕微鏡組織で、中央の黒地は Hv (20g) 500 程度の硬さを示しており、ろう合金自体の共晶組織であると思われる。ろう合金層の白地は、Hv (20g) 170~190 で、ろう合金の Si がステンレス鋼に拡散したため、共晶組織が固溶組織に変化したものと考えられる。

#### 4.6 Ni-P 合金によるろう付部断面の顕微鏡組織

Ni 系合金で、融点を下げるための有効な添加元素としては、前記の Si、B のほかに P がある。図 4.17 の Ni-P 状態図によると、P 11% で Ni と Ni<sub>3</sub>P の共晶組成が得られ、融点は 880°C になる。この試験に用いた Ni-P 合金は、P 7~8% で、Kanizen Plating 法によって作った粉末合金で、融点は約 1,000°C である。図 4.18 はこの合金を再溶解後、800°C で焼鈍したときの顕微鏡組織である。白地は Hv (20g) 160~180 の硬度を示し、図 4.17 の状態図から判断して Ni 地である。黒地は共晶組織で縞様模を呈しており、硬度は Hv (20g) 800 程度である。

図 4.19 は、この合金を用いて 1,050°C でろう付したときの断面の顕微鏡組織で、中央の黒地は Hv (20g) 800 程度の硬度を有しており、ろう合金の共晶組織である。母材と接したろう合金層の白地は Hv (20g) 180~200 で、合金自体の白地に比べるとやや硬いが、ろう合金の Ni 地であると思われる。なお 1,050°C、30 分保持の断面の顕微鏡組織から判断すると Ni-P 合金は Si、B を含む合金に比べて、拡散が遅いようである。

Ni-P 合金の大きな特長は、ステンレス鋼表面に化学メッキできる点にある。図 4.20 は、18-8 ステンレス鋼管 (外径 8mm、内厚 0.5mm) に Kanizen Plating 法によって、Ni-P 合金を 0.1mm の厚さにメッキして、メッキしていない管とともに針金で縛って、1,050°C の水素ふんい気中で加熱し、ろう付したものの断面である。このように、Ni-P 合金は、ステンレス鋼表面にメッキすることにより、複雑な構造物のろう付に応用できる可能性があり興味深い。

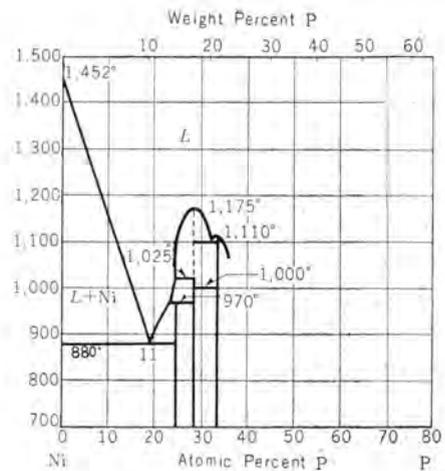


図 4.17 Ni-P 状態図

Fig. 4.17 Ni-P equilibrium phase diagram.



図 4.18 Ni-P 合金の顕微鏡組織 (Ni 93%, P 7%)

10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.18 Micro-structure of Ni-P alloy. (Ni 93%, P 7%) Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×100.

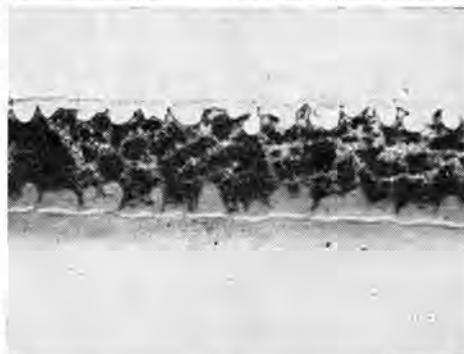


図 4.19 ろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-P 合金) 1,050°C 30 分 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.19 Micro-structure of brazed joint of (Ni-P alloy) 1,050°C, 30 min. Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×100



図 4.20 カニゼンメッキした 18-8 ステンレス鋼管のろう付断面の顕微鏡組織 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.20 Micro-structure of brazed joint of Kanizen plated 18-8 stainless steel pipe. Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×100

以上、6 種類の Ni 系合金について、拡散によるろう付部断面の顕微鏡組織の変化をみると、供試 ろう合金のうち、拡散がもっとも早いとみられるのは、Ni 93.3%-Si 3.5%-B 1.9% 合金で、図 4.6 (c) に示したように、1,150°C で 3 時間保持すると、ろう合金層の共晶組織は完全に消滅し、均一な固溶組織になっている。

Ni 72.5%-Cr 15.2%-Si 5.6%-B 3.5% 合金も、図 4.13

の顕微鏡組織の変化からみて、含有 Si, B は単時間のうちに多量に拡散しているようであるが、1,150°C で3時間保持しても、ろう合金の層に金属間化合物の組織が島状に点在しており、均一な固溶組織になっていない。これは、Si, B の含有量が、前記 Ni-Si-B 合金に比して多いためか、あるいは、添加 Cr の影響によるものかと思われるが、この点は明確でない。

Ni 86.4% - Si 13.6% 合金の場合は、図 4.3 に示したように、ろう付時間が長くなるに従って、ろう合金層の共晶組織は減少する傾向にあるが、1,200°C で3時間保持しても共晶組織は多量に残っている。Si, B を含む供試合金の中では、この合金がもっとも拡散が遅いが、これは、Si 量が他の合金に比して高いためであると思われる。

Ni 73.6% - Cr 15.2% - Si 8.1% 合金および Ni 75.0% - Mn 15.4% - Si 8.7% 合金については、ろう付保持時間を長くしたときの検討をしなかったが、1,150°C、30分保持の顕微鏡組織からみて、拡散の早さは Ni-Si-B 合金に近しいし、Ni-Cr-Si-B 合金に近いのではないかと判断している。

このように、Si, B を含むろう合金では、一般に Si, B のステンレス鋼に対する拡散速度が Ni, Cr より大きく、優先的に拡散するようである。そのため、ろう付保持時間が短いと、ろう合金層に共晶組織が多量に残っているが、保持時間が長くなると、共晶組織は次第に減少し、ろう合金層は固溶組織に変化している。

なお、Ni-P 合金は、図 4.19 の 1,050°C、30分保持の顕微鏡組織からみて、ろう合金層の共晶組織の量が多く、Si, B を含む合金に比べると拡散はいちじるしく遅いようである。

#### 4.7 B を含む合金でろう付したとき、ステンレス鋼の拡散層に生ずる析出物の検討

18-8 ステンレス鋼を Ni-Si-B 合金および Ni-Cr-Si-B 合金でろう付したとき、ステンレス鋼の拡散層に多量の析出物を生じた。このような析出物は B を含まない合金でろう付したときにはまったく認められないので、ろう合金の B がステンレス鋼に拡散したために生じたことは明らかである。そこでこの析出物が何であるかを確かめるため、母材を純ニッケル、純鉄、13-Cr 鋼に変えて、B を含む合金でろう付し、それぞれの母材拡散層に析出物ができかどうか試験した。

図 4.21 は純ニッケルの板を Ni-Si-B 合金でろう付した場合の断面の顕微鏡組織で、図 4.22、4.23 はそれぞれ純鉄、13-Cr 鋼の場合で、ろう付条件はいずれも 1,150°C、5 分間保持のものである。これらの結果をみると、純ニ

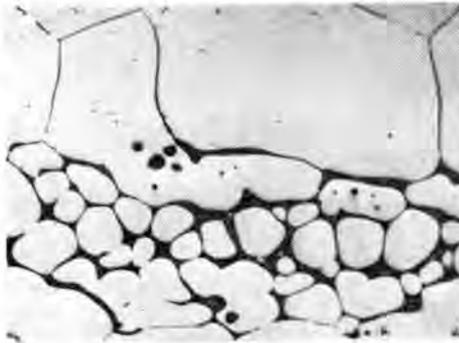


図 4.21 ニッケル板を Ni-Si-B 合金でろう付したときの断面の顕微鏡組織 1,150°C 5 分間 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.21 Micro-structure of nickel plate brazed with Ni-Si-B alloy, 1,150°C 5 min Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×100

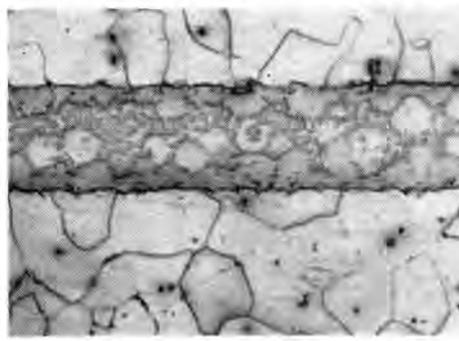


図 4.22 純鉄を Ni-Si-B 合金でろう付したときの断面の顕微鏡組織 1,150°C 5 分間 0.5% 硝酸エッチ ×100

Fig. 4.22 Micro-structure of pure iron brazed with Ni-Si-B alloy, 1,150°C 5 min Etched with 0.5% nitric acid. ×100

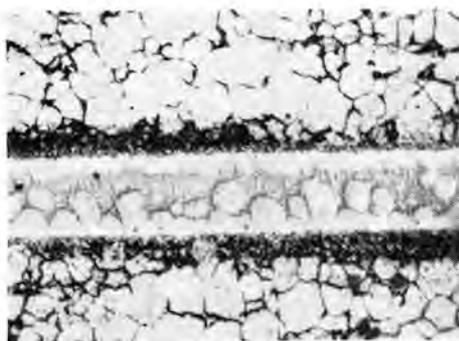


図 4.23 13-Cr 鋼を Ni-Si-B 合金でろう付したときの断面の顕微鏡組織 1,150°C 5 分間 Vilellás acid 液エッチ ×100

Fig. 4.23 Micro-structure of 13-Cr-steel brazed with Ni-Si-B alloy, 1,150°C 5 min Etched with Vilellás acid reagent. ×100

ケル、純鉄の場合は母材に析出物は認められないが、13-Cr 鋼では、母材の拡散層に多量の析出物ができている。したがって、18-8 ステンレス鋼を B を含む Ni 系合金でろう付したとき、母材拡散層に生ずる析出物は、ろう合金の B とステンレス鋼の Cr が結合してできたクロムボライドであると考えてさしつかえないようである。

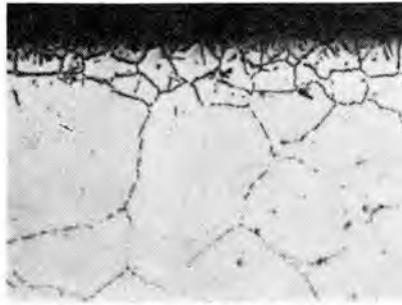
#### 4.8 40%硝酸および5%硫酸腐食試験によるろう付部の検討

ステンレス鋼のろう付は、一般に 1,000°C 以上の高い温度で行なうため、ろう合金と母材の拡散がいちじるしく、ろう付条件によって、ろう付部の顕微鏡組織にかなりの変化が生ずることが認められた。そこで、拡散による顕微鏡組織の変化と耐食性の関係を検討するため、Ni-Si-B 合金および Ni-Cr-Si-B 合金でろう付した試験片について、40%沸騰硝酸および5%沸騰硫酸による腐食試験を行なった。

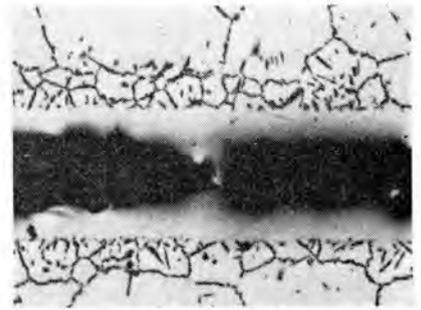
図 4.24 (a), (b), (c) は Ni-Si-B 合金でろう付した試験片を 40%沸騰硝酸で 4 時間腐食した後の断面の顕微鏡組織で、ろう付条件は 1,150°C、5 分間、1 時間、3 時間である。ろう付保持時間、5 分間、1 時間のものは、図 4.24 (a), (b) に示すように、4 時間の煮沸でろう合金の層は溶けてしまい、試験片は 2 枚に剥離した。保持時間



(a) 1,150°C 5 min



(b) 1,150°C 1 h

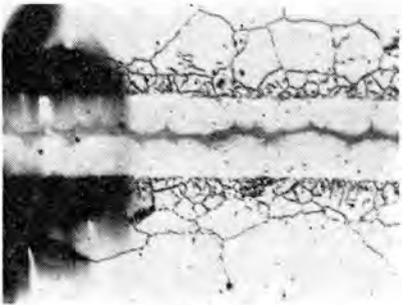


(c) 1,150°C 3 h

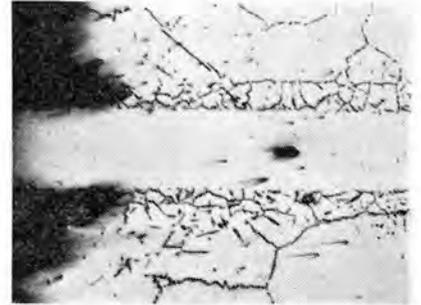
図 4.24 40%  $\text{HNO}_3$  で4時間煮沸後のろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-Si-B 合金) 10% 修酸電解エッチ  $\times 100$   
 Fig. 4.24 Micro-structure of brazed joint after boiling in 40%  $\text{HNO}_3$  solution for 4 hrs. (Ni-Si-B alloy)  
 Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 100$



(a) 1,150°C 5 min



(b) 1,150°C 1 h



(c) 1,150°C 3 h

図 4.25 5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  で4時間煮沸後のろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-Si-B 合金) 10% 修酸電解エッチ  $\times 100$   
 Fig. 4.25 Micro-structure of brazed joint after boiling in 5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  solution for 4 hrs. (Ni-Si-B alloy)  
 Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 100$

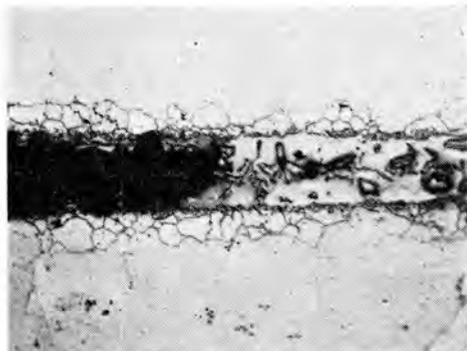
が3時間になると図 4.24 (c) に示すように、ろう合金層の中央部が侵食されて、母材に近い部分は残っている。このように、ろう合金の層が40%硝酸に対して、ある程度耐食性を示すことは、ろう合金層の成分が、Ni系からNi-Cr系に変化したことに基づくと推定され、ろう付時間を十分長くすると、母材ステンレス鋼の成分元素が、ろう合金にもある程度拡散してくることを示していると思われる。

析出物のできている母材ステンレス鋼の拡散層は、40%沸騰硝酸による4時間の試験では侵食されている様子は認められない。

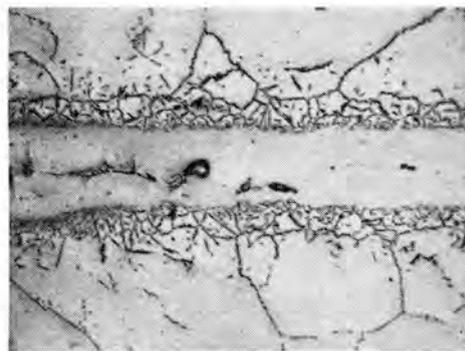
図 4.25(a), (b), (c) は、同じ条件でろう付した試験片を、5%硫酸で4時間煮沸試験した後の断面の顕微鏡

組織である。これらの写真から明らかなように、5%硫酸では、析出物の生じている母材の拡散層がいちじるしく侵食され、ろう合金の層は共晶相も固溶相も侵されていない。母材拡散層の侵食状況は、クロム炭化物の析出に基づくところの、18-8ステンレス鋼の粒界腐食の形態に類似している。したがって、ろう合金のBがステンレス鋼に拡散して、粒界にクロムボライドが析出する場合にも、炭化物の場合とまったく同様に、粒界におけるクロム量が低下し、受働態膜が弱くなり、また粒内と粒界でCrイオン濃度に差が生じ、局部電池を形成して粒界腐食を起こすものと考えられる。

Ni-Cr-Si-B合金についても同様の腐食試験を行なった。図 4.26 はろう付時間5分間、3時間の試験片を40%

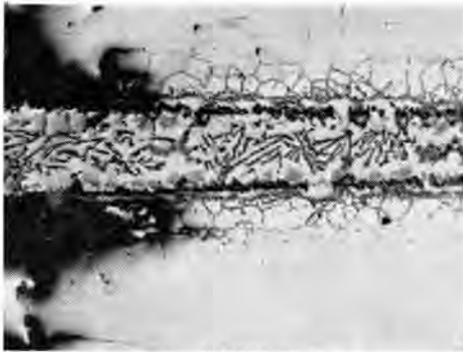


(a) 1,150°C 5 min



(b) 1,150°C 3 h

図 4.26 40%  $\text{HNO}_3$  で4時間煮沸後のろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-Cr-Si-B 合金) 10% 修酸電解エッチ  $\times 100$   
 Fig. 4.26 Micro-structure of brazed joint after boiling in 40%  $\text{HNO}_3$  solution for 4 hrs. (Ni-Cr-Si-B alloy)  
 Electrolytically etched with 10% oxalic acid.  $\times 100$



(a) 1,150°C 5 min



(b) 1,150°C 3 h

図 4.27 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> で4時間煮沸後のろう付断面の顕微鏡組織 (Ni-Cr-Si-B 合金) 10% 修酸電解エッチ ×100

Fig. 4.27 Micro-structure of brazed joint after boiling in 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution for 4 hrs. Electrolytically etched with 10% oxalic acid. ×100

沸騰硝酸で4時間試験した後の断面の顕微鏡組織で、図4.27は同様に5%沸騰硫酸で4時間試験した後の断面の腐食状況を示す。

40%硝酸に対しては、析出物の生じている母材拡散層は安定である。ろう合金層は、図4.26(a)に示すように、ろう付保持時間が短いと中央に金属間化合物の組織が密集していて、その部分がいちじるしく浸食されている。ろう付時間が長くなり、ろう合金のSi、Bが母材に十分拡散して、ろう合金層がNi-Crの固溶相になると、図4.26(b)に示すようにろう合金層は腐食されていない。Crは、Ni系ろう合金の耐食性を増すために添加されたものであるが、このように、ろう付保持時間が短いと、ろう合金層に金属間化合物の相が多く残っていて、耐食性はあまり改良されないようである。ろう付部の耐食性を良くするには、ろう付保持時間をある程度長くして、Si、Bを母材に十分拡散させなければならないと思われる。

5%硫酸に対しては、Ni-Si-B合金の場合と同様、母材の拡散層がいちじるしい粒間腐食を受けた。このようにBを含む合金でろう付するときは、母材ステンレス鋼の拡散層にクロムボライドが析出し、粒界腐食が起こる危険性がある。

## 5. 試験結果の要約

### (1) ろう付時における拡散現象

試験に用いたNi系ろう合金は、いずれも硬い共晶組織をしているが、ろう合金の融点を下げるために添加したSi、Bなどの元素は、ろう付時における拡散速度がNi、Crに比して大きいので、母材ステンレス鋼に優先的に拡散浸透し、ろう付時間を十分長くすると、ろう合金層は共晶組織から均一な固溶組織に変化する。

供試ろう合金の中で、拡散のもっとも早かったのはNi 93.3%-Si 3.5%-B 1.9%合金で、これについてNi 72.5%-Cr 16.0%-Si 5.6%-B 3.5%合金、Ni 73.6%-Cr 15.2%-Si 8.1%合金、Ni 75%-Mn 15.4%-Si 8.7%合金がほぼ同程度と考えられ、拡散がもっとも遅いと思われるのはNi 86.4%-Si 13.6%合金およびNi 83%-P 7%合金であった。

一方、合金成分の拡散により、母材ステンレス鋼の顕微鏡組織も変化を受ける場合がある。Bを含む合金でろう付すると、ろう合金と接した母材拡散層の粒界に多量の

クロムボライド析出することがわかった。

### (2) ろう付部の耐食性

Ni-Si-B合金およびNi-Cr-Si-B合金によるろう付部を、40%沸騰硝酸と5%沸騰硫酸で腐食試験した結果によると、40%硝酸に対しては、Ni-Si-B合金は、ろう付時間が短いと耐食性を示さないが、ろう付時間を長くすると(3時間)、ステンレス鋼のCrがろう合金層に拡散して、わずかに耐食性を示すようになる。Crを加えたNi-Cr-Si-B合金では、ろう付時間が短いと(5分間)ろう合金層に多量の金属間化合物があり、その部分が侵されるが、ろう付時間を長くして、ろう合金層を均一な固溶組織にすると、腐食されないことがわかった。

5%硫酸に対しては、Ni-Si-B合金、Ni-Cr-Si-B合金とも、ろう合金層は侵されていないが、クロムボライドの析出しているステンレス鋼の拡散層がいちじるしい粒間腐食を受けた。

## 6. むすび

この報告では、各種Ni系合金で、18-8ステンレス鋼をろう付し、単にろう付部を顕微鏡組織的に検討することどめたが、ひきつづき、高温水による腐食試験および高温における強度試験を行なって検討している。

終わりに、この研究を行なうにあたり、終始ご指導を賜った山森材料研究室長ならびにご協力していただいた各位に謝意を表す。(昭36-2-22受付)

### 参考文献

- (1) Max Hansen: "Constitution of Binary Alloys" (1958).
- (2) F. M. Miller, et.: "Development of Brazing Alloys for Joining Heat Resistant Alloys." Bulletin Series of The Welding Research Council (1956).
- (3) G. M. Slaughter, et.: "Sodium Corrosion and Oxidation Resistance of High-Temperature Brazing Alloys." Welding Journal 217-S~225-S (May, 1957).
- (4) W. H. Chang: "Basic Characteristics of Some Heat-Resisting Brazing Filler Materials." Welding Journal, 431-S~443-S (Sep., 1956).
- (5) P. P. King, et.: "Braze Bonding Stainless-Steel Fuel Elements for Nuclear Reactors." Welding Journal, 241-S~246-S (June, 1959).

# 最近の同期電動機 (2)

神戸製作所 松 村 敏 三\*

## The Latest Synchronous Motors (Part 2)

Kobe Works Toshiyō MATSUMURA

### 5. 同期電動機の応用

#### (1) 選定に当たって注意する事項

実際の使用に当たって最適の形式の同期電動機を選定する場合、起動特性だけを考慮して決めることはできない。明らかに同期運転時の特性も重要であり、また信頼性、保守、機械的特性、経済的な見地など広い観点にわたって考慮しなければならない。実際の使用状態において、すべての点でもっとも役にたつように選定することが必要である。

同期電動機を個々に適用する場合、考慮すべき点のおもなものは次のようである。<sup>(1)</sup>

- a. 負荷の性質：自乗平均負荷、ピーク負荷、Duty Cycle 負荷の変動（とくに周期的のとき）、起動特性（起動時の負荷の大きさ、 $GD^2$  など）
- b. 電源の状態：系統遮断容量、電源電圧とその変動状況、許容起動電流、この電動機と同一給電線に接続されている他のプラント
- c. 据付場所の状態：ふんい気、導電性または腐食性のシヤイの有無、温度湿度の変動状況

以上の諸点を考慮して、負荷にもっとも適した特性、使用場所の環境に応じた保護方式、使用目的にかなった機械的形式冷却方式をもち、保守点検が容易で信頼度の高い電動機を選定すべきである。しかしながら起動特性がもっとも重要な要素であることは論をまたない。同期電動機はいろいろの分野に用いられ、したがってその負荷の種類は多く、要求される起動特性もまたいろいろ異なったものがある。これらの値についてわが国でも非常によく使用されているのが、ASA 規格に記載されている推奨値である。そのうちの代表的なものを表 5.1 に示す<sup>(7)</sup>。ポンプ、送風機のようなものは 引入トルク に注意を要し、圧延機、鉋削機（チップ）などでは 脱出トルク が問題となる。セメント工場の粉砕機や火力発電所の石炭粉砕機などに用いられる ホールミル、チューラミルなどは、起動トルク引入トルクとも大きく、また パンパリミキサ、ゴムロール機、破砕機（クラッシュ）などは 起動トルク引入トルク脱出トルク すべて大きく必要であって、いずれもいわゆる重負荷起動用電動機を用いなければならない。

表 5.1 各種負荷に対する同期電動機の起動・引入・脱出トルク

適用する負荷の種類	所要トルク (%)		
	起動トルク	引入トルク	脱出トルク
Ball Mills—rock and coal	150	110	150
Ball Mills—ore	175	110	175
Banbury Mixers	125	100	250
Beaters—standard	125	100	150
Blowers, Centrifugal			
(1) Inlet or discharge valve closed	40	60	150
(2) Inlet or discharge valve open	40	100	150
Chippers, Empty	60	50	250
Compressors, Centrifugal			
(1) Valve closed	40	60	150
(2) Valve open	40	100	150
Compressors, Reciprocating			
(1) Air and gas, starting unloaded	40	30	150
(2) Ammonia (discharge pressure—100—250 psi), starting unloaded	40	30	150
(3) Freon, starting unloaded	40	50	150
Crushers, unloaded	100	100	250
Fans, Centrifugal (except sintering fans)			
(1) Inlet or discharge valve closed	40	60	150
(2) Inlet or discharge valve open	40	100	150
Fans, Centrifugal Sintering—inlet gates either open or closed	60	100	150
Fans, Propeller Type—discharge open	40	100	150
Grinders, Pulp, Magazine Type—starting unloaded	50	50	150
Grinders, 3 or 4 Pocket Type—starting unloaded	40	30	150
Pumps, Centrifugal—horizontal			
(1) Discharge valve closed	40	60	150
(2) Discharge valve open	40	100	150
Pumps, Centrifugal—vertical			
(1) Discharge valve closed	50	60	150
(2) Discharge valve open	50	100	150
Pumps, Adjustable Blade, Vertical, Unloaded	50	40	150
Pumps, Reciprocating			
(1) Positive displacement, started dry	40	30	150
(2) By-passed	40	40	150
(3) Not by-passed (three cylinder)	150	100	150
Rolling Mills			
(1) Structural and rail roughing mills	40	30	300
(2) Structural and rail finishing mills	40	30	250
(3) Plate mills	40	30	300
(4) Merchant mill trains	60	40	250
(5) Billet, skelp, and sheet bar mills, Continuous with lay-shaft drive	60	40	250
(6) Rod mills, continuous with lay-shaft drive	100	60	250
(7) Hot strip mill, continuous individual drive—roughing stands	50	40	250
(8) Tube piercing and expanding mill	60	40	300
(9) Tube rolling (plug) mill	60	40	250
(10) Tube rolling mills	60	40	250
(11) Sheet and tin mills (cold rolled)	200	150	250
(12) Brass and copper roughing mills	50	40	250
(13) Brass and copper finishing mills	150	125	250
Rubber Mills—individual drive	125	100	250

表 5.2 脱出トルクと機械寸法との関係

脱出トルク (%)	等 価 出 力		
	PF 1.0	PF 0.9	PF 0.8
150	1.0	—	—
175	1.18	—	—
200	1.37	1.37	—
225	1.56	1.54	1.56
250	1.8	1.69	1.69
275	2.02	1.85	1.8
300	2.25	2.05	1.91
325	2.51	2.22	2.02
350	2.79	2.4	2.16

誘導電動機では重負荷のときはスベリを増して自然に順応するが、同期電動機ではこのような性質をもつ

\*技術部

ていないから、あらかじめこれに応ずる励磁を与えておかなければならない。大きな 脱出トルク を要求される場合、電動機はかなり標準より大形に製作しておかなければならない。表 5.2 に 450 rpm までの電動機について、脱出トルク 150 % (PF 1.0) を基準として、要求される 脱出トルク がこれより大きくなったとき、電動機の大きさがどうなるか等価出力によりあらわしている。(5)

起動方式の選定は次の三つの条件により決められるべきである。

- a. 許容起動電流
- b. 使用される電動機の起動特性
- c. 負荷の要求する 起動トルク、引入トルク

これらの各項目についてはすでにくわしく述べてきたので、ここでは省略することとするが、これらを十分に考慮して最適の方式を選定すべきである。

同期電動機は各種工業に使用される関係上、その据付けられる環境も異なり、なかには電動機に有害なガス、爆発性ガス その他 湿気、油、鉄じん、じんアイなどが冷却空気中に含まれることがある。このようなときには、それぞれに応じて構造、形式、冷却方式、巻線絶縁方式などについて、十分にこれらに対する考慮が必要である。電動機に障害を与える有害物とその作用の一例を表 5.3 に示す(12)。

(2) 当社の代表的製品

同期電動機が現在多く用いられている分野のうち、代表的なものについて述べよう。

a. 圧縮機用電動機

戦後食糧問題より肥料の増産が強く叫ばれ、硫安工業に対し設備の復旧や増設のため、大形の アンモニア合成用混合ガス圧縮機をはじめ窒素分離装置用などの圧縮機が多数製作され、さらにまた酸素発生装置用の圧縮機も製鋼やその他一般産業の需要増加に伴い相当数製作された。最近に至っては、上述のほか石油化学工業の急速な発展に伴い、炭化水素系ガス圧縮機 がこれまた多数製作されている。これら圧縮機はほとんど往復動形であるが、なかには遠心形圧縮機もあり、大容量高速の電動機も必要となってくる。当社ではこれらの情勢に応じて、多数の圧縮機用同期電動機を製作納入しあるいは現在製作中である。最近におけるおもなものを表 5.4 に示す。

(a) 往復動形圧縮機用電動機

圧縮機には用途により次の三つに分けられる。

- 空気圧縮機
- 冷凍用圧縮機
- 化学ガス圧縮機

いずれの場合も圧縮機の アンローダ を操作して、起動時の負荷を軽減させて電動機を起動させている。通常要求されるトルクは 起動トルク 40~50 %、引入トルク 30~40 %、脱出トルク 150 % である。電動機としては 普通カゴ形起動巻線付電動機で十分であって、ほとんどの場合全電圧起動方式を採用しており、この場合起動電流は 350~400%

表 5.3 電動機に障害を与える有害物とその作用

電動機に障害を与える有害物	その作用
酸・アルカリの液または蒸気	腐食・絶縁の劣化
湿気・水津・水滴	絶縁の劣化
爆発性または可燃性の液または蒸気	爆発・火災
ツブテ、岩石、金属片などの固形物	絶縁をいためる、電動機内部をいためる
泥土(非導電性・吸湿性に富む) 存粉(水分を含むと吸着性が強い) 繊維類(非導電性・付着力強く) 金属粉(多くは導電性) 炭素粉(導電性) 炭じんその他爆発性の粉じん	1 放熱または通風の障害 2 水分の吸収——絶縁の低下 3 絶縁距離の短縮(導電性じんアイによる) 4 サンドブラスト作用 (冷却空気の風速が大なるとき) 5 爆発 (炭じんその他爆発性粉じんによる)

表 5.4 最近製作した圧縮機用同期電動機一覧表

納入先	出力 (kW) (HP)	電圧 (V)	周波数 (c/s)	力率	回転数 (rpm)	台数	製作年
三菱油化(四日市)	3,300	3,300	60	1.0	240	2	製作中
神戸製鋼(東北肥料)	2,700(3,600)	3,000	50	0.9	250	1	昭 31
三菱油化(四日市)	2,450	3,300	60	1.0	300	3	製作中
神戸製鋼(大阪酸素)	1,800	3,300	60	0.95	327	1	#
東亜硫安	1,800	"	"	1.0	257	1	#
三菱鉱業(大夕張)	1,790	3,000	50	"	273	1	昭 33
三菱化成(黒崎)	1,690(2,300 Ps)	3,300	60	"	257	2	昭 31
"	"	"	"	"	"	"	昭 32
"	"	"	"	"	"	1	昭 35
東亜硫安	1,420(1,900HP)	"	"	1.0	180	2	昭 30
三菱化成(黒崎)	1,400(1,900 Ps)	"	"	"	128.6	2	昭 32
三菱油化(四日市)	880(1,200)	"	"	"	327	3	昭 33
三菱化成(黒崎)	740(1,000 Ps)	"	"	"	257	1	昭 32

となっているが、とくに起動電流を少なくすることを要求される場合には、起動補償器を用いて 150 %、リアクトルによって 250 % 程度に押えている。

冷凍機用圧縮機では、ときにガス漏洩防止の密封装置部分の摩擦により起動が困難となることもあり、また停止後温度が上昇してシリンダ内に残っているガスの圧力が上昇し、吐出弁を閉じて起動する場合やバイパスによるアンロードが不十分な場合には、予想外にトルクを要し、起動あるいは同期引入が困難となることがあるから、製作にあたって十分注意が肝要である。

化学ガス圧縮機の場合にはいろいろと問題があるが、爆発災害の問題がもっとも重要である。これについては昭和 30 年 10 月「工場電気設備の防爆指針」が制定され、電気機器防爆構造および電気工事の防爆に対し詳細に定められており、一般産業工場における電気設備の防爆に関する指針として現在大いに利用されている。当社ももちろんこれに準拠して製作している。実際に機器を設置する場所の爆発性ガスに対する状況より、防爆構造も異なってくるが、圧縮機用電動機としては通常ほとんど電動機本体は安全増防爆構造とし、集電環部分だけ内圧防爆構造とし、清浄な空気を送りこんで外部より爆発性ガスの侵入しないようにしている。しかしさらにこれより高度の防爆構造を要求されるようなときには内圧防爆構造を採用している。ただ単なる全閉形では内圧を加えないかぎり、内外の空気がわずかな気圧の差でどうしても混入するため使用してはならない。

往復動形圧縮機では 1 回転に要するトルクが一様でない。誘導電動機の場合はトルクの変化に従ってスベリが増減し、すなわちトルクが急に増加すると自然に回転数が低下し、その際回転子が保有している回転エネルギーを放出して、電流が急増するのを防ぐので電流脈動を抑制するが、同期電動機の場合には、トルクの変動に対し相

差角が変化する、このことは瞬間的には速度が変化したことではあるが、電流の値は相差角によってきまるので、トルク変動は直接電流変化となってあらわれてくる。すなわち同一の電流脈動にした場合、同期電動機のほうがその回転子の脈動の振幅はきわめてわずかを要するため、大なる  $GD^2$  を必要とするわけである。電流脈動率は JEC 規格では 70% すなわち平均電流に対して  $\pm 35\%$  に押えられているが、実際の許容値はその電動機が接続されている系統の性質によって定まる。もし電動機が全体の負荷のごく小部分でしかないときは、大きな電流脈動を許容することができるが、同一系統から電灯負荷をとっており電源インピーダンスが大きいときは、許容値は小さくしなければならない。電流脈動は電動機がつながられる変圧器・電線などのインピーダンスにより電圧脈動をひきおこし、これによりさらに電流脈動が増加し、したがって銅損がふえることになる。この関係を図 5.1 に示す<sup>(17)</sup>。また照明電源とくに白熱灯に対しては照度が低下するとともに電灯のフラツキを生じ不快感を与える。この周期は 2~16 c/s 程度（圧縮機の回転速度による）で、電圧変動が 1~2.5% 程度以上あれば不快を

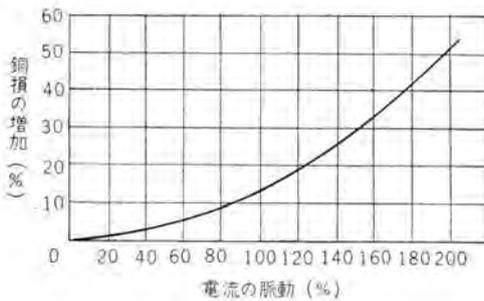


図 5.1 電流脈動と銅損の関係

Fig. 5.1 Relation between current pulsation and copper loss.

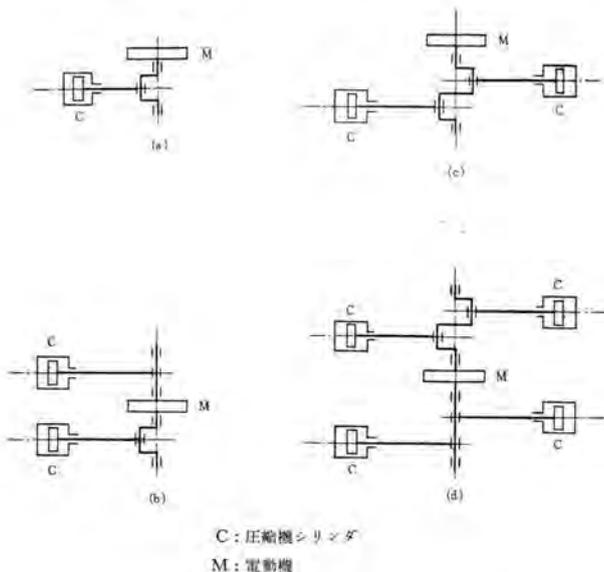


図 5.2 往復動形圧縮機の各種形式

Fig. 5.2 Reciprocating compressor.

感ずるといわれ、とくに 5~10 c/s の変動が人間の目にもっとも鋭敏であるといわれている<sup>(1)</sup>。通常電流脈動率は 40% すなわち  $\pm 20\%$  前後に押えられていることが多いが、時としては 20% すなわち  $\pm 10\%$  程度に要求されることもある。

$GD^2$  を決定するには圧縮機のクラックエフォート線図をフーリエ解析し、各高調波に分ける。これは全負荷だけでなく、部分負荷についても行なう必要がある。この高調波に対する圧縮機—電動機系の電流脈動を  $GD^2$  を決定して求め、その成分を合成して適当な  $GD^2$  を求める。この計算は相当やっかいであるので、ASA 規格では標準形の圧縮機を約 300 種選定して、おのおの Application No. を与えて電流脈動率 66%, 40%, 20% に対する「Compressor factor」 $C$  を定め、ハズミ車効果  $Wk^2 = C \cdot F_c$  なる簡単な式で  $GD^2 = (\frac{1}{6} Wk^2)$  を定められるようにしている。ここに  $F_c$  は次式によりあらわされる<sup>(7)</sup>。

$$F_c = \frac{P_r \cdot f \cdot 10^8}{0.746 (\text{rpm})^4}$$

ただし  $P_r$  = 同期化力 (kW/radian)

$f$  = 電源周波数

上式を変形して

$$F_c = \frac{1.34 \text{ kW} \times \frac{f}{10} \times R \times 10^8}{\left(\frac{\text{rpm}}{100}\right)^4}$$

ただし kW = 定格出力

$R$  = 電圧・力率による定数

とすれば、 $R$  は概略次のような値を与えることができるのでさらに計算は容易になる。

$R$	PF	電圧
1.85	1.0	3,300 V
1.90	1.0	6,600 V
2.20	0.9	3,300 V
2.30	0.9	6,600 V
2.40	0.8	3,300 V
2.50	0.8	6,600 V

この方法によると、簡単に所要の  $GD^2$  が求められるから、わが国ではあまりこの方法の利用がなかったが、今後この活用をせつにのぞむ次第である。この表に記載されていない特殊形はやはりフーリエ解析による方法を用いなければならない。また負荷変動トルクによるねじり振動も検討しておく必要がある。

往復動形圧縮機では、従来図 5.2 (a) (b) のようにクラック軸の片側だけに配置していたのに対し、図 5.2 (c) のようにクラック軸の軸心を対称軸として圧縮機フレームの左右にシリンダを配置した対向釣合形が最近生まれた。この形式の圧縮機は軸の左右にある往復動部分の慣性力を平衡させ、またシリンダ数を適宜増加することによって往復動部分の重量をいちじるしく軽くすることができ、したがって従来の形式のものより高速にすることができる。また高速となったこと、シリンダ数の増加により

トルク変動が少なくなったことより、電動機に要求される  $GD^2$  もいちじるしく少なくなり、電動機は小形軽量になり、価格も安くすることができるので、現在大形機ではすべてこの形式が採用されている。

一般に圧縮機と直結されており、小形の場合にはベルト掛で高速度電動機で運転される。直結の場合には据付面積を節約するため、電動機にはとくに軸受を設けず電動機回転子を直接クランク軸に嵌入したものが多く、クランクの中間に電動機が設置されるときは回転子を2分割構造とし、組立分解に便なるよう考慮されている。しかしクランクの片側にある場合は、別に回転子を2分割できる構造にする必要はない。最近立形圧縮機や対向鉤合形圧縮機でシリンダを密接して配置し、クランク軸を延長して電動機をとりつけることがある。この場合電動機軸とクランク軸を分離し継手で直結してもよいわけで、このほうが電動機も普通形のものが使用でき、また製作時の打合せも簡単であるなどの利点があり、最近当社ではこの形式の電動機を三菱油化(四日市)納め3,300 kW 2,450 kW, 880 kW (1,200 HP)、三菱化成(黒崎)納め1,690 kW, 740 kW (1,000 PS) など多数製作している。この継手で直結する形式のものには、片軸受形と両軸受形とがある。片軸受形は軸長が短くなりねじり振動に対し剛性が大きく、床面積も小でよいが、圧縮機の軸受は電動機回転子重量を一部負担しなければならない。

図 5.3 に三菱油化(四日市)納め880 kW (1,200 HP)、

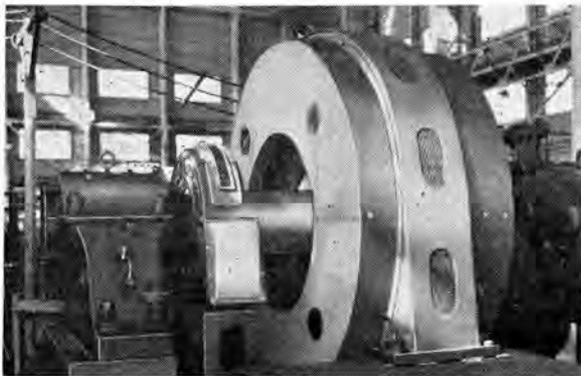


図 5.3 三菱油化(四日市)納め880 kW 同期電動機  
Fig. 5.3 880 kW (1,200 HP) Synchronous motor for Mitsubishi Petro chemical. (Yokkaichi)



図 5.4 三菱化成(黒崎)納め1,690 kW 同期電動機  
Fig. 5.4 1,690 kW Synchronous motor for Mitsubishi Chemical Industry Limited.

図 5.4 に三菱化成(黒崎)納め1,690 kW を示す。図 5.5 に三菱鉱業(大夕張)納め1,790 kW (2,400 HP)、図 5.6 に東海硫安(四日市)納め1,420 kW (1,900 HP) を示しているが、これらは電動機回転子を圧縮機クランク軸に直接とりつけた構造のものである。いずれも電動機本体は安全増防爆形、集電環は内圧防爆形となっている。

電動機回転子を直接圧縮機クランク軸にとりつけた電動機では普通の形式のものとは異なって、つぎの点に特に注意する必要がある。それは軸電流の問題である。回転電気機械の軸電流については古くから知られており、これが原因と推察される軸受焼損の事故は往々にして経験されることである。軸電流についてはすでに内外の文献に発表されておりとくに最近一、二の文献<sup>(13)(14)</sup>に詳細に発表されているので、詳細はここでは省略するが、一般の機械ではたとえ軸電圧が発生しても、その回路の一部に絶縁を施して電流の流れるのを防止することができ、しかも従来ほとんどすべて軸電圧の発生原因は軸に錯交する交番磁界によるものである。これにて十分防止効果があるわけである。しかし前述のような形式の電動機ではこの軸電流防止絶縁を施すことができない。したがって軸電流による障害を防止するためには、軸電圧を障害のない程度に小さくする必要がある。最近の文献<sup>(13)</sup>によると、軸に錯交する交番磁界による軸電圧に



図 5.5 三菱鉱業(大夕張)納め1,790 kW 同期電動機  
Fig. 5.5 1,790 kW Synchronous motor for Mitsubishi Mining Company.

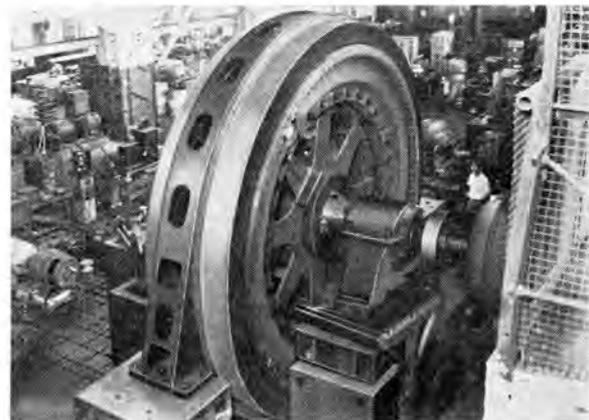


図 5.6 東海硫安納め1,420 kW 同期電動機  
Fig. 5.6 1,420 kW Synchronous motor for Tokai Ammonium Sulphate Industry Company Limited.

つについては、軸の両端間電圧が 300 mV 以下であれば問題ないとされている。しかしながら軸受における諸条件、たとえば油膜の状態とか、使用される潤滑油などにより、その許容値にははっきりとした基準を与えることはむづかしい。ただ一つの目安としてこの値を用いることはさしつかえないと考えるが、実際問題としてその発生の有無は予知できても、その大きさを予知することははなはだむづかしい。しかし軸に錯交する交番磁界を生ずる原因は、ほとんどすべてその電動機の電機子磁束通路の不均衡によるものであるから、この不均衡をできるだけなくするように考えて製作すればまず問題はない。当社ではこの点に十分注意して需要家の各位に何のご懸念もなくお使いねがえる電動機を製作している。

#### (b) 遠心形圧縮機用電動機

この圧縮機は普通数千回転の高速で運転されるが、電動機とは減速歯車を介して直結される。したがって電動機はそれ自身のもっとも経済的な回転数で製作することができる。電動機としては 3,600 rpm として円筒形磁形電動機を用いても、圧縮機はそれより速い回転数で運転されるときはやはり減速歯車を必要とするので、高価な円筒形電動機を用いるよりは、回転数を 1,800~900 rpm 程度として突極形を採用するほうが有利である。起動は吸入弁を閉じて行なうが、通常この弁には漏洩があるので引込トルクはその漏洩量により大きくなる。また冷凍機に用いられる場合には往復動形の場合と同様に注意を要する。

この形式の圧縮機駆動用にはソリッドポール形電動機が適している。この形の電動機は 4・6 極機でも相当大容量のものを製作することができ、構造もがんじょうで信頼度も高い。

この圧縮機は一般に  $GD^2$  が大きいので同期引込には注意を要し、また起動時加速のため回転子に発生する熱量も大きい。普通形電動機の場合この熱量はすべて起動巻線に発生するが、ソリッドポール形では熱容量が大きいため、局部加熱することがないため理想的である。カゴ形起動巻線付電動機では、起動時における温度上昇や高速に耐える起動巻線の製作にかなり問題があって、この用途についてはとくに大容量機ではソリッドポール形のほうが有利と考えられる。

#### b. 電磁クラッチ付同期電動機

古くから電磁クラッチ付同期電動機（以下クラッチモータと称す）を製作していたが、昭和 30 年いろいろな点において改良を行ない、とくに電磁クラッチについてはいちじるしい改良を加えて「CM-B 形電磁クラッチ」とし、同期電動機と組合せて構造簡単、取扱容易かつ信頼度の高い重負荷起動用同期電動機としてもっとも適したものととして、新形クラッチモータを製作した。その詳細についてはさきに本誌上<sup>(16)</sup>に発表した。主としてセメント工場の粉砕機用として使用され、表 5.5 に示すように多数製作納入され、いずれも好成績で運転されている。この電動機

表 5.5 クラッチモータ製作一覧表

納入先	出力(kW) (HP)	電圧(V)	同期周波数(c/s)	力率	回転数(rpm)	台数	電磁クラッチ	製作年
三菱セメント(黒崎)	750 (1,000)	3,300	60	0.9	180	2	CM-B 1752形	昭30
富士セメント(宝塚)	750 (1,000)	"	50	1.0	187.5	1	"	"
"	600 (800)	"	"	"	200	1	CM-B 1502形	"
三菱セメント(黒崎)	750 (1,000)	"	60	0.9	180	2	CM-B 1752形	"
富士セメント(宝塚)	750 (1,000)	"	50	1.0	187.5	1	"	"
"	630 (850)	"	"	"	200	1	CM-B 1502形	"
"	600 (800)	"	"	"	200	1	"	"
三菱セメント(黒崎)	750 (1,000)	"	60	0.9	180	1	CM-B 1752形	昭31
"	750 (1,000)	"	"	"	"	1	"	"
神戸製鋼 (嘉新セメント)	750	"	"	0.8	200	2	CM-C 1006形	昭35

は起動トルク・引込トルクとも全負荷トルク以上を必要とするような負荷の運転に適している。

大形電磁クラッチの一般的な問題点として、クラッチの主動側と従動側とが結合する際、両者の心出しが十分でない場合や結合が全摩擦面で同時に行なわれない場合に、負荷によって偏心した状態で結合されてふれ回りを生ずる問題があり、軸や軸受にとって有害である。この対策としてクラッチの主動側と従動側との間にコロ軸受を挿入し、偏心荷重をこの軸受で負担させるが、CM-B 形ではコロ軸受が比較的大きな円周上に配置されているので相対スベリ速度が大きく、軸受の使用条件が苛酷となる。また CM-B 形は二面式クラッチであって同じ制動トルクに対し多板式と比較すると外径・重量および  $GD^2$  が大きく、したがって主従動軸間のスベリの期間には摩擦面の相対速度が大きくなる欠点があった。

昨年神戸製鋼所ご注文で台湾嘉新セメント向け 750 kW クラッチモータを製作するのを機会に、前述の諸点を改良した CM-C 形電磁クラッチを製作し工場試験も好成績で終わり現在据付中である。これは 750 kW 3,300 V 200 rpm 力率 0.8 進みの同期電動機と組合せて、セメント原料粉砕用ボールミルを駆動するもので、クラッチのおもな仕様は次のとおりである。

形名	CM-C 1006
最大摩擦トルク	12,200 kg-m
所要電力	DC 870 W
重量	3,500 kg

工場試験の結果では、トルクは上記値を上回り、動作時間も CM-B 形より短かった。

前述のとおり今回クラッチモータのうち、電磁クラッチについてふたたび改良が加えられて、CM-C 形になったわけであるので、電磁クラッチについてだけここにその構造と機能につきこの機会に述べることにしたい。クラッチモータとしての動作その他については、とくに変わったこともないので説明は省略することとし、詳細については先に発表した論文<sup>(15)</sup>をご参照ねがいたい。

#### (a) 構造

主従動軸間のコロ軸受を軸心に近い部分に設け、多板式構造の採用により外径、重量とも同じ摩擦トルクの CM-B 形の約 65% に減少している。また駆動ハブを 2 部分に分け分解や組立を容易にしてある。図 5.7 に構造を示す。①は主動軸端、②は①にはめこまれた鍛鋼製駆動ハブ、で外面にラッシング③を介して鍛鋼製のフィールド④が

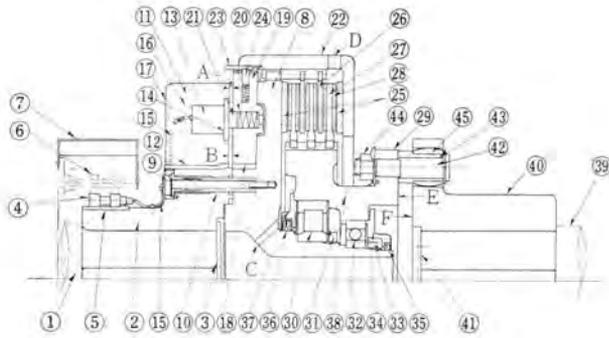


図 5.7 CM-C 形電磁クラッチ構造図  
Fig. 5.7 Type CM-C magnetic clutch.

嵌着しており、励磁コイル⑬を保持している。⑧はボルト⑩によって②に強固に締付けられ、従動ハブ⑳との間に半径方向の衝撃荷重を負担するコロ軸受㉑および軸方向の相対運動を制限する玉軸受㉒が取り付けられている。これらの軸受はシール㉓および㉔でかこまれてグリス潤滑される。⑲はアーマチュアでコイルが励磁されると電磁力により左に、また無励磁のときはバネ⑳の力で右に、軸受⑱上を移動する。㉒はクラッチケーシングでその内歯がハブ⑧およびドライバリング㉑にかみ合っている。㉒は摩擦ライニング㉓を両面にはり付けたフリクションリングで、その内歯が従動ハブ⑳の外歯と契合している。㉔は継手で負荷側の軸㉕にはめ込まれている。

なお A、B は磁気回路の中の空隙、C は⑧に設けた放射状の穴で、クラッチケーシングの穴 D や摩擦板㉓の半径方向溝とともに、主動軸回転中の空気通路を形成し摩擦粉の排除および摩擦面の放熱作用を営むものである。図 5.8、5.9 は工場試験中のクラッチおよび 750 kW 電動機の外観をそれぞれ示す。

(b) 機能

ブラキ保持器⑥、集電環④を通してクラッチ励磁コイル⑬に直流電流を送ると、フィールド⑪、空隙 A、アーマチュア⑲、空隙 B を通る磁気回路が構成される。したがってアーマチュア⑲は空隙 A、B に生ずる磁気吸引力によってバネ⑳の力に抗してフィールド側に吸引されるが、⑲はクラッチケーシング㉒とネジ結合されているのでケーシングも左に移動し、摩擦板㉓の間にドライバリング㉑およびフリクションリング㉒をはさみこむこととなる。この際各リングはクラッチケーシングの内歯および従動ハブ外面の歯にそれぞれ案内されて軸方向の移動は自由である。結局トルクは主動軸①→駆動ハブ②→ノックピン⑩→ハブ⑧の外歯→クラッチケーシング㉒の内歯→ドライバリング㉑→フリクションリング㉒→従動ハブ⑳→ピン⑭→継手⑯→従動軸㉕の順に伝達される。これらの歯はそれぞれ適当な硬度に表面焼入を施してある。

励磁電流を切るとバネ⑳によりアーマチュアおよびケーシングはおしもどされ、㉓㉔とライニング㉓の間にすきまができるのでトルクの伝達は中断される。

ボルト⑩および継手ピン⑭をはずせば、クラッチは左、中および右の 3 部分に分割でき、輸送、組立、分解あるいは

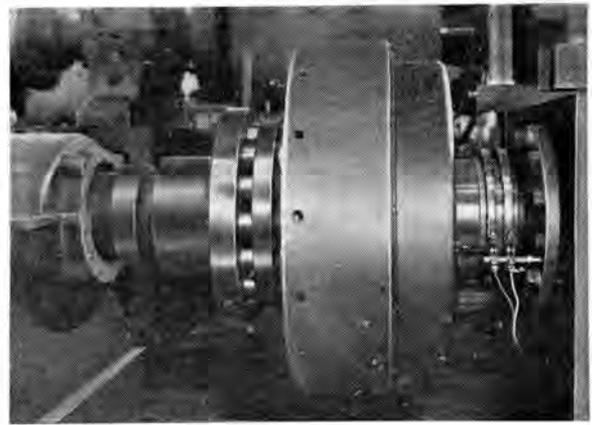


図 5.8 CM-C 1006 形電磁クラッチ  
Fig. 5.8 Type CM-C 1006 Magnetic clutch.



図 5.9 神戸製鋼 (台湾嘉新セメント) 納め  
750 kW クラッチモータ  
Fig. 5.9 750 kW Clutch motor for Kobe Steel Works.  
(Chiaksin Cement, Taiwan, China)

コイルの修理に便利である。

ライニングが摩耗してくるとクラッチを閉じたときの空隙 A および B の値が次第に減少してくる。この値があまり小さくなると励磁を開いても残留磁気のためトルクの中断が遅延することになる。この場合はアーマチュアとクラッチケーシングとのネジ結合部のキー㉓をはずしてアーマチュア⑲を特殊工具により右に回すことにより空隙を調整できる。

ライニング取換の際は逆にアーマチュアを左に回してクラッチケーシング㉒とのネジ結合を解き、ケーシングを継手の上までとりはずし、継手ピン⑭をとりはずすと、フリクションリング㉒およびドライバリング㉑を順次従動ハブと継手との間のすきまからとり出すことができる。

クラッチの強め励磁やインチャングの際の制御回路については CM-B 形の場合<sup>(1)</sup>と同様である。

(c) 特長

電磁クラッチ全般としての特長は CM-B 形<sup>(1)</sup>につきすでに記述されているので省略するが、CM-B 形と比較しての改良点および特長はつぎのようである。

(i) 偏心かみ合の防止 クラッチかみ合時の衝撃を軸心の近くの主従動軸間に配設したコロ軸受で受け、負荷容量に十分な余裕をもたせているので軸受損傷の懸念は

なく、また主従動軸間の偏心かみ合が防止される。

(ii) 多板式構造の採用により同一伝達トルクの場合二面式の CM-B 形より外径および重量が小さく、したがって慣性も小さい。ただ軸方向長は当然 CM-B 形より長くなる。

(iii) ライニング摩耗時の空隙の調整およびライニングの取換えが容易で、クラッチを全体として分解する必要がない。

(iv) 多板式ではあるが、駆動ハウを2部分に分けてボルトで一体に締付ける構造としているので励磁コイルの修理や圧縮バネの点検が容易である。

(v) クラッチ全体を3部分に分割できるので、取扱、輸送、分解、組立に便利である。

### c. 直流発電機駆動用電動機

製鉄関係の各種圧延設備がここ数年来各方面で多数新設されたが、これら圧延用電動機はいずれも直流電動機である関係上、これらの直流電源として多くの電動発電機が製作された。分塊ミル、厚板ミルなどについては巻線形誘導電動機と直流発電機とを直結し、さらにその軸に大きなハズミ車を設けた「イルダ装置」が使用されており、また熱間連続鋼帯圧延設備とか線材圧延設備には水銀整流器が使用されているが、冷間連続鋼帯圧延設備とか調質圧延設備をはじめ各種の補助設備用の直流電源として、大容量の同期電動機駆動直流発電機が使用されている。表 5.6 は最近製作された代表的製品を示している。これらの電動機の特長としては 200~300% 程度の大きい脱出トルクを要求されることが多く、また工場全体の力率改善のためにほとんどが進み力率をとっていることである。最近では高速化され、これは発電機が各圧延機用電動機別に設けられる個別運転方式が採用され、1台の発電機容量が小さくなったことにもよるが、電動発電機の回転数は一般に高くなり、7,500~10,000 kW の電動機で 500 rpm、3,700 kW 電動機に至っては 720 rpm が採用されている。起動トルク、引入トルクはいずれも問題にならないが、発電機の  $GD^2$  はかなり大きく、加えて前述のように高速のため起動時電動機の起動巻線の温

度上昇に十分注意を要することがある。使用場所の環境が悪くシナイなどが多い関係から、開放管通風形あるいは全閉管通風形とし、他力通風方式が採用されることが多い。図 5.10 に八幡製鉄(戸畑)納め 5,600 kW (7,500 HP) 図 5.11 に同じく 6,900 kW (9,200 HP) 図 5.12 に富士製鉄(室蘭)納め 6,000 kW (8,000 HP) 電動機の

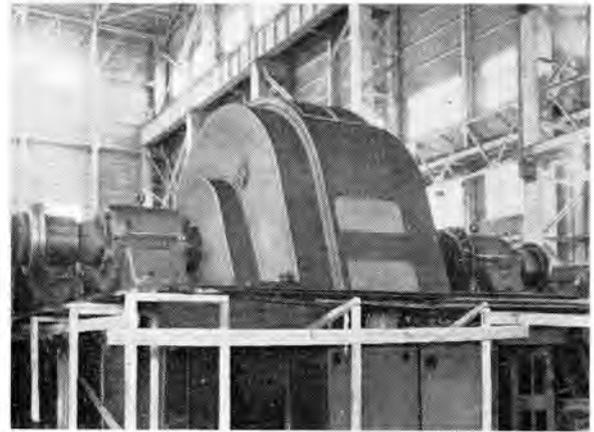


図 5.10 八幡製鉄(戸畑)納め 5,600 kW 同期電動機  
Fig. 5.10 5,600 kW Synchronous motor for Yawata Iron and Steel. (Tobata)

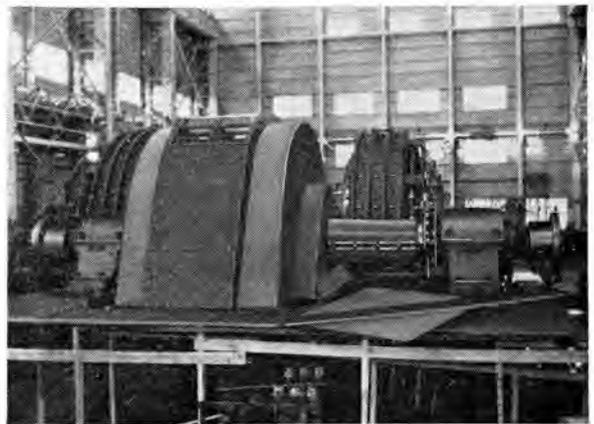


図 5.11 八幡製鉄(戸畑)納め 6,900 kW 同期電動機  
Fig. 5.11 6,900 kW Synchronous motor for Yawata Iron and Steel. (Tobata)

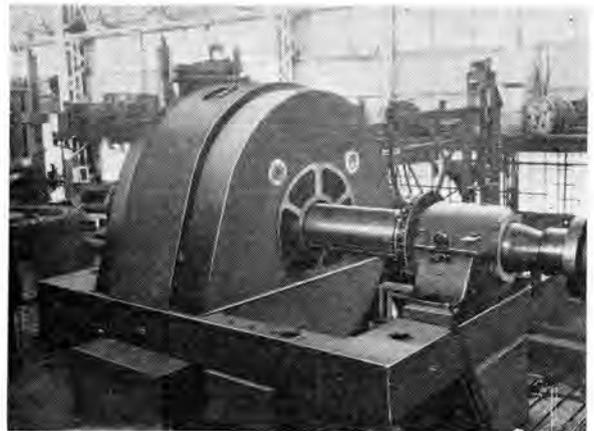


図 5.12 富士製鉄(室蘭)納め 6,000 kW 同期電動機  
Fig. 5.12 6,000 kW Synchronous motor for Fuji Iron and Steel. (Muroran)

表 5.6 最近製作した発電機駆動用同期電動機一覧表

納入先	出力 (kW) (HP)	電圧 (V)	周波数 (c/s)	力率	回転数 (rpm)	台数	製作年
八幡製鉄(戸畑)	11,500	11,000	60	0.8	514	1	製作中
"	9,500	"	"	"	"	2	"
川崎製鉄(千葉)	7,800(10,400)	6,600	50	1.0	428	1	昭 33
八幡製鉄(戸畑)	6,900 (9,200)	11,000	60	0.8	514	1	"
川崎製鉄(千葉)	"	6,600	50	1.0	428	1	昭 32
富士製鉄(室蘭)	6,000 (8,000)	6,000	"	0.9	600	1	"
八幡製鉄(戸畑)	5,600 (7,500)	11,000	60	0.8	514	1	昭 33
"	5,200 (7,000)	"	"	"	"	1	"
"	5,000	6,600	"	"	"	1	昭 35
川崎製鉄(千葉)	4,400	"	50	1.0	428	1	"
東洋鋼板	3,700	11,000	60	0.8	720	1	製作中
八幡製鉄(戸畑)	"	"	"	"	"	1	"
川崎製鉄(釜合)	2,200	2,200	"	"	514	1	"
当社神戸製作所	1,680 (2,250)	3,300	"	0.9	600	2	昭 33
八幡製鉄(戸畑)	1,500 (2,000)	"	"	0.8	900	1	"
"	"	"	"	1.0	"	1	"
富士製鉄(広畑)	1,500	"	"	0.8	"	1	製作中
八幡製鉄(戸畑)	1,200 (1,600)	"	"	1.0	"	1	昭 32
"	"	"	"	0.8	"	1	昭 33
東洋鋼板	1,120	3,300	60	1.0	900	1	昭 33
川崎製鉄(千葉)	1,000	3,300	50	1.0	1,000	1	昭 35
淀川製鋼	1,000	3,300	60	1.0	900	1	製作中

外觀を示す。

d. 製鉄用圧延機駆動用電動機<sup>(16)</sup>

同期電動機は一定速度であるから、可逆運転を行わず、またその製品の寸法、形状が大体決まっている圧延機の運転に用いられる。1台の電動機で数スタンドを運転する連続式中小形ミル、線材ミルのような圧延時間が相当長く、ピーク負荷のあまり大きくないもの、またはハズミ車で補償できない程度の長いピーク負荷のあるものにもっとも適しているが、最近では熱間連続鋼帯圧延設備の粗仕上圧延機のように、間欠的に大きな負荷のかかるような圧延機の運転にも用いられている。粗圧延機は空転している時間が長く、空転損失を少なくする意味で同期電動機を用いることがのぞましいわけである。

圧延機の要求するトルクについては表5.2に示されているが、二、三のものを除いては起動トルクは40~60% 引入トルクは40~50%、脱出トルクは250~300%である。起動トルク・引入トルクについてはこの程度の値であれば、同期電動機としては普通の数値であって特別の考慮を払う必要もないが、誘導電動機のようにハズミ車をつけてピーク負荷に対しエネルギーを吐出させることは不可能なので、圧延のピーク負荷はそのまま電動機にかかるため、脱出トルクについては使用する圧延機により適当な値に決定しなければならない。一般に脱出トルクについては他の用途のものに比して相当大きく、したがってこの点を考えて機械寸法も普通のものよりも大きく、いわゆる over size machine となっている。起動電流は圧延機用として比較的多い400~500 rpm 程度の電動機について考えると、起動トルク40%程度のものでリアクタ起動にて350~400%、起動補償器起動にて175~200%程度となる。出力、回転数などにより異なるので、この数値は一応概略値と考えていただきたい。

圧延機用電動機は直流発電機用と同じく使用環境の悪いことが多く、開放管通風形あるいは全閉管通風形であって、また他力通風方式が採用されている。また定格力率も脱出トルクを大きくとる関係から進み力率を採用している。

## 6. む す び

以上、同期電動機についてその種類、起動方式の概要を述べ、さらに起動時その他において生ずる二、三の問題点について説明するとともに、おもな用途に対する最近における当社の同期電動機の製作状況をのべてきたが、本文はもちろんのこと、従来よりもしばしば指摘してきたように同期電動機はいろいろとすぐれた特長をもって

おり、使用される負荷の性質を十分認識して起動、同期引入について十分注意を払って最適の特性をもつ電動機を製作すれば、遺憾なくその真価を発揮するものである。当社もこれに対応して各種の負荷に応じてそれぞれ最適の特性、形式をもった電動機を製作してきたが、今後もしろいろな面において研究改良を行ない、需要家の皆様のご期待にそうべき努力したいと考えている。なおこの拙文が同期電動機の特性の理解や機種選定の一助となれば幸いである。

最後に「電磁クラッチ」の項については機械設計課、田附係長に原稿をわずらわしたことを記し、ここに謝意を表したい。

## 参 考 文 献

- (1) D. D. Stephen: Synchronous Motors and Condensers (1958).
- (2) 佐野一雄・江森三郎: 同期電動機の起動特性, 東芝レビュー, 9, 1177 (昭29-12).
- (3) M. M. Liwshitz-Garik: Harmonics of the Salient Pole Synchronous Machine and their Effects, Part III A.I.E.E. Tech. Paper 58-148 (1958).
- (4) W. Schuisky: Über die Stromverteilung im Anlaufkäfig eines Synchronmotors, E. u. M. 58, 93 (1940-3).
- (5) D. W. McInegan, A. G. Ferriss; Synchronous Motors-Design and Application to meet Special Requirements, T. A. I. E. E. 50, 607 (1931).
- (6) 大山松次郎: 産業電動機工学 (訳), 147 (昭25).
- (7) Synchronous Generators, Synchronous Motors, and Synchronous Machines in General, ASA, C. 50. 1 (1955)
- (8) D. R. Shoults, S. B. Crary, A. H. Lauder: Pull-in Characteristics of Synchronous Motors, Electrical Engineering, 54, 1385 (1935-12).
- (9) 大富 真: 同期機の同期引入に関する近似解法, 電学誌論文集, 1, 231 (昭15-8).
- (10) C. C. Shutt: Some Considerations in the Design of Damper Windings for Synchronous Motors, T. A. I. E. E. 51, 424 (1932).
- (11) W. A. Thomas, O. D. Whitwell: Selection of Field Circuit Resistance for Synchronous Motors, Electrical Engineering, 71, 83 (1952-1).
- (12) OHM Technical Data, オーム 42, 付録 (昭30-10).
- (13) 志岐守哉・甲斐 高: 最近の自家用タービン発電機, 「三菱電機」, 34, 54 (昭35-4).
- (14) 潮 恒郎: 軸電流の発生とその防止法, オーム臨時増刊「現場保守試験法号」44, 53 (昭33).
- (15) 斎藤 寛・松村敏三: 電磁クラッチ付同期電動機, 「三菱電機」, 30, 25 (昭31-6).
- (16) 片山仁八郎・松村敏三: 最近の圧延機用誘導電動機と同期電動機, 「三菱電機」, 27, 45 (昭28-11).
- (17) 電力機器便覧, 814 (昭34).

# 直列インバータ総論 (4)

— 基本形の誘導負荷時の特性 —

研 究 所 河 合 正\*

## General Aspect of Series Inverters (Part 4)

— Operating Characteristics of Prototype with Inductive Load —

Research Laboratory Tadashi KAWAI

Following the previous issue describing captioned article, theoretical discussion on the prototype of series inverters with inductive load is made in reference to the operating characteristics with special emphasis laid on steady state traits. Various fundamental items involving output voltage, peak voltages of condenser and discharge tubes and margine angles calculated in detail by the aid of analytical results on the behavior with resistive load previously are given herein as the principal items. The results of analysis and numerical calculations are described in nondimensional forms.

### 5. 基本形の誘導負荷時の定常特性

抵抗負荷時の特性については、本誌誌上<sup>(10)(12)(14)</sup>や電気学会誌誌上<sup>(16)</sup>ですでに論じつくしたから、今回はひきつづき同じ基本形回路の誘導負荷時の特性について報告する。このインバータのばあい、誘導負荷時の動作は抵抗負荷時のそれと共通点が多いので、上記報告の結果を流用しながらもっぱら計算によってその内容を明らかにしておくこととしよう。

#### 5.1 抵抗負荷のばあいとの関係

誘導負荷のばあいの回路として図5.1を考えることとする。ここでは、負荷はインダクタ成分  $L_2$  と抵抗成分  $R$  とが直列接続されたものとして示されている。

したがって、一方の放電管だけが流通している回路状態は、抵抗負荷のばあいのそれと本質的には同じ状態であって、回路常数が振動条件を満たすとき放電管は自然

消弧する可能性を持っている。一方の放電管が、他方の放電管の自然消弧位相でちょうど点弧するとき——すなわち臨界域に属する動作状態のばあい——には、図5.2に示す二つの動作状態が交互にくりかえされる。自然消弧位相よりも遅れて点弧する自然転流域のばあいには、この両状態の間に両放電管がどちらも休止している期間がはいるが、これは回路の完全な休止期間に相当するから回路方程式をたてる上ではこの期間を考慮しなくてもよい。このような動作は図5.3の抵抗負荷時の回路の動作が図2.1の二つの動作状態に分解されたのと同様であって、両回路の常数の間に次の関係

$$L = L_1 + L_2 \dots\dots\dots (5.1)$$

があるとき、両者の回路方程式は完全に一致することはいうまでもない。

ただし、一方の放電管が自然消弧しないうちに他方が点弧したばあい、抵抗負荷時の回路では瞬間的な強制転

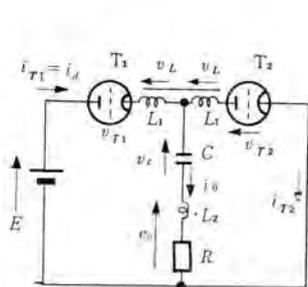
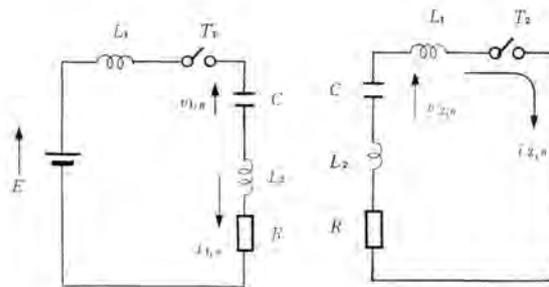


図 5.1 誘導負荷時の回路図  
Fig. 5.1 Circuit diagram of series inverter with inductive load.



( a ) 起動後第  $n$  サイクル 第 1 状態  
( b ) 同第 2 状態

図 5.2 図 5.1 の回路の動作状態  
Fig. 5.2 Operating states of the inverter shown in Fig. 5.1

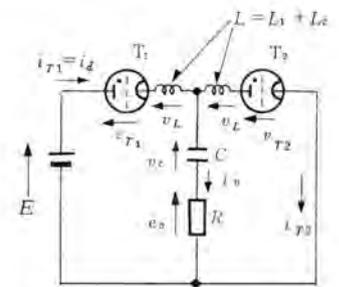


図 5.3 図 5.1 の回路に対応する抵抗負荷時の回路  
Fig. 5.3 Circuit with resistive load corresponding to the circuit shown in Fig. 5.1.

\* 電気第一研究室

流が行なわれるため両放電管が同時に通電することはないが、誘導負荷時には負荷中のインダクタンス成分  $L_2$  が電流極性の瞬間的な反転を許さないから両放電管が同時に通電する期間（重複期間）が必ず生じることになる。この重複期間のあるばあいでも、転流リアクトルが転流を早く完了させようと働いていることは事実であるから、抵抗負荷時の理想的な強制転流のばあいと同様にこの動作領域も強制転流域と呼ぶこととしよう。この領域の動作も、決して解析不可能ではない<sup>(16)</sup>、しかし、重複期間があればその分だけ放電管の余裕角が減るので、実際問題としては負荷と並列にコンデンサを入れてこの期間をなくすか、あるいは余裕角の大きい自然転流域でつねに動作するように回路常数を選ぶことが望まれる。したがって、めんどろな強制転流域の計算には実用的意義を認めにくいから、この論文ではこれを割愛し以下もっぱら自然転流域および臨界域について論じることとする。

負荷電流は一般に正弦波ではないが、誘導性負荷を表示するものとして、インピーダンスおよび力率を便宜上

$$Z \equiv \sqrt{(\omega_0 L_2)^2 + R^2} \quad (5.2)$$

$$PF \equiv R/Z \quad (5.3)$$

で定義する。  $f_0 \equiv \omega_0/\pi$  は前報告同様出力周波数を示している。PF と次の量

$$\mu' \equiv \omega_0 \sqrt{L_1 C} \quad (5.4)$$

$$\lambda' \equiv Z/2\sqrt{L_1/C} \quad (5.5)$$

は、誘導負荷時の動作を規定する無次元パラメータとして使用される。この誘導負荷時の回路(図5.1)に対応する抵抗負荷時の回路(図5.3)の回路パラメータ  $\mu, \lambda$  は上記3パラメータによって次式

$$\mu \equiv \omega_0 \sqrt{LC} = \sqrt{(\mu')^2 + 2\lambda'\mu' \sqrt{1 - (PF)^2}} \quad (5.6)$$

$$\lambda \equiv R/2\sqrt{L/C} \equiv (PF)\lambda'/\mu \quad (5.7)$$

で表わされる。

抵抗負荷、誘導負荷いずれのばあいでも、起動後第  $n$  サイクル目の第1状態、第2状態の回路方程式はそれぞれ

$$(Ld^2/dt^2 + Rd/dt + 1/C)q_{1,n} = E \quad (5.8)$$

$$(Ld^2/dt^2 + Rd/dt + 1/C)q_{2,n} = 0 \quad (5.9)$$

である。ここで、 $q_{1,n}, q_{2,n}$  (一般的に  $q_{r,n}$  で示す) はそれぞれの回路状態の始まる時間を時間原点にとって示したコンデンサ電荷で、その向きは次式

$$q_{r,n} = v_{r,n} \quad (5.10)$$

$v_{r,n}$ : 図2.1, 5.2 参照

で定義されている。強制転流域を除外して考えているから、放電管の通流時間  $\tau_c$  ないしこれを出力周波数1周期  $2\tau_0 \equiv 1/f_0$  について無次元化した値  $z_c$  は、式(3.16)により経過サイクル数  $n$  のいかににかかわらず

$$z_c \equiv \tau_c/2\tau_0 = \mu/2\sqrt{1 - \lambda^2} \quad (5.11)$$

で与えられる。したがって、各回路状態の初期条件は

$$(q_{1,n})_{t=0} = (q_{2,n-1})_{t=\tau_c} \quad (5.12)$$

$$(q_{2,n})_{t=0} = (q_{1,n})_{t=\tau_c} \quad (5.13)$$

となる。

いま、つぎのような無次元量

$$z \equiv t/2\tau_0 \quad (5.14)$$

$$x_{r,n} \equiv q_{r,n}/CE \quad (5.15)$$

を採用すると、式(5.8), (5.9), (5.12), (5.13)は次の無次元表示

$$\left(\frac{\mu^2}{4\pi^2} \frac{d^2}{dz^2} + \frac{\mu\lambda}{\pi} \frac{d}{dz} + 1\right)x_{1,n} = 1 \quad (5.16)$$

$$\left(\frac{\mu^2}{4\pi^2} \frac{d^2}{dz^2} + \frac{\mu\lambda}{\pi} \frac{d}{dz} + 1\right)x_{2,n} = 0 \quad (5.17)$$

$$(x_{1,n})_{z=0} = (x_{2,n-1})_{z=z_c} \quad (5.18)$$

$$(x_{2,n})_{z=0} = (x_{1,n})_{z=z_c} \quad (5.19)$$

でおきかえられる<sup>(16)</sup>。これらの式は、抵抗負荷時の式として使用されそれからこのときの特性が詳細に計算されている。誘導負荷のばあい、与えられたパラメータ  $\mu', \lambda', PF$  に対し式(5.6), (5.7)からこれに対応する抵抗負荷状態の  $\mu, \lambda$  を算出すれば、以下同様な特性計算が行なえるわけであるが、この際表5.1に示すような差異があることには注意する必要がある。ただし、この式中

表 5.1 誘導負荷時の回路と、これに対応する抵抗負荷時の回路の無次元表式の差異 [ $r=1, 2$ ]

	抵抗負荷時	誘導負荷時
リアクトル電圧	$\frac{L}{E} \frac{d^2 i_r}{dt^2} = \frac{\mu^2}{4\pi^2} \frac{d^2}{dz^2} (x_r)$	$\frac{L_1}{E} \frac{d^2 i_r}{dt^2} = l_1 \frac{\mu^2}{4\pi^2} \frac{d^2}{dz^2} (x_r)$
負荷電圧	$\frac{e_0}{E} = (-1)^{r+1} \frac{\mu\lambda}{\pi} \frac{d}{dz} (x_r)$	$\frac{e_0}{E} = (-1)^{r+1} \left[ \frac{\mu\lambda}{\pi} \frac{d}{dz} + (1-l_1) \frac{\mu^2}{4\pi^2} \frac{d^2}{dz^2} \right] (x_r)$

の  $l_1$  は次式

$$l_1 \equiv L_1/L = 1 - \frac{\sqrt{1 - (PF)^2}}{PF} \frac{2\lambda}{\mu} \quad (5.20)$$

で定義されている。

なお、上記の議論は自然転流域、臨界域にだけ限定されているから、式(5.6), (5.7)から計算された  $\mu, \lambda$  は次の条件

$$1 - \lambda^2 \geq \mu^2, \lambda < 1 \quad (5.21)$$

を満たしていなければならないことはいうまでもない。

## 5.2 定常状態についての解析

今まで、諸量 (一般的に  $y_{r,n}$  と記す) の定常状態における記号は  $y_{r,\infty}$  と記して来たが、以後簡単化のため次の記号

$$y_r \equiv y_{r,\infty} (\equiv \lim_{n \rightarrow \infty} y_{r,n}) \quad (5.22)$$

を採用する。したがって、たとえば初期条件式(5.18), (5.19)は定常状態においては

$$(x_1)_{z=0} = (x_2)_{z=z_c} \quad (5.23)$$

$$(x_2)_{z=0} = (x_1)_{z=z_c} \quad (5.24)$$

となる。この条件を使って解を求めると、つぎのように抵抗負荷時とまったく同一の定常解<sup>(16)</sup>がえられる。

すなわちコンデンサ電圧の初期値は

$$\frac{v_{2,0}}{E} = 1/(1 - \varepsilon \sqrt{1 - \lambda^2}) \quad (5.25)$$

$$\frac{v_1^{-0}}{E} = 1 - \left( \frac{v_2^{-0}}{E} \right) \dots\dots\dots (5.26)$$

また、負荷電流は休止期間 ( $z_c \leq z \leq 1/2$ ) では零で、 $0 \leq z \leq z_c$  では  $r=1, 2$  に対しいずれも

$$\frac{i_r}{I} = \frac{2(v_2^{-0}/E)}{\sqrt{1-\lambda^2}} \varepsilon^{-\frac{2\lambda\pi}{\mu}z} \sin\left(\frac{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu}z\right) \dots\dots\dots (5.27)$$

コンデンサ電圧の第1状態における表式は、 $0 \leq z \leq z_c$  では

$$\frac{v_1}{E} = 1 - \frac{v_2^{-0}}{E} \varepsilon^{-\frac{2\lambda\pi}{\mu}z} \left\{ \cos\left(\frac{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu}z\right) + \frac{\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}} \sin\left(\frac{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu}z\right) \right\} \dots\dots\dots (5.28)$$

であって、休止期間では

$$\frac{v_1}{E} = \frac{v_2^{-0}}{E} \dots\dots\dots (5.29)$$

となる。また同電圧の第2状態における表式は、 $0 \leq z \leq z_c$  では

$$\frac{v_2}{E} = 1 - \left( \frac{v_1}{E} \text{ の } 0 \leq z \leq z_c \text{ での表式} \right) \dots\dots\dots (5.30)$$

となり、休止期間では

$$\frac{v_2}{E} = \frac{v_1^{-0}}{E} \dots\dots\dots (5.31)$$

となる。ただし、式(5.28)と式(5.29)とは時間の原点が違っていることに注意されたい。

また直流電流の平均値は

$$\frac{I_a}{I} = \frac{\mu}{\pi} \left[ 1 - 2 \left( \frac{v_1^{-0}}{E} \right) \right] \dots\dots\dots (5.32)$$

さらに出力電流の実効値は

$$\frac{I_0}{I} = \sqrt{\frac{1}{\lambda} \left( \frac{I_a}{I} \right)} \dots\dots\dots (5.33)$$

で与えられる。ここで

$$I = E/2\sqrt{L/C} \dots\dots\dots (5.34)$$

上記のように抵抗負荷時と同一表式で与えられないものとしては次のような諸量がある。まず、放電管の余裕角  $\theta_a \equiv 360z_a$  [電気角] は、図5.4に示すように二つの成

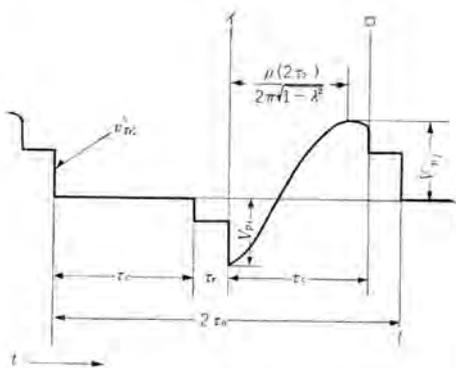


図 5.4 放電管電圧  $v_{TF}$  [ $r=1, 2$ ] における各期間 [秒] および電圧の記号

Fig. 5.4 Denotation of various time intervals (in second) and peak values of tube voltage  $v_{TF}$  [ $r=1, 2$ ].

分から成り立ち、

$$z_a = z_a' + z_r \dots\dots\dots (5.35)$$

で表わされるが、この式中の  $z_a'$  は次式

$$2I_1 \left( \frac{v_2^{-0}}{E} \right) \frac{1}{\sqrt{1-\lambda^2}} \varepsilon^{-\frac{2\lambda\pi}{\mu}z} \cos\left(\frac{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu}z + \phi\right) = 1 \dots\dots\dots (5.36)$$

ここで  $\phi \equiv \sin^{-1}\lambda$

の根として与えられる。 $z_a, z_a', z_r$  は図5.4中に記入された時間  $\tau_a, \tau_a', \tau_r$  を1周期  $2\tau_0$  で割った無次元量である。式(5.36)は、図のイ0間では放電管電圧が  $(1-2v_1)$  で表わされることから導き出される。

放電管の逆電圧セン頭値  $V_{pi}$  は図のイの位相の電圧値であって

$$V_{pi}/E = 1 - 2I_1(v_2^{-0}/E) \dots\dots\dots (5.37)$$

また順電圧セン頭値  $V_{pf}$  は

$$\frac{V_{pf}}{E} = 1 + 2I_1 \left( \frac{v_2^{-0}}{E} \right) \varepsilon^{-\frac{\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}}(\pi-2\phi)} \dots\dots\dots (5.38)$$

さらに  $V_{pf}$  の位相は

$$\tau_r/2\tau_0 = \frac{\mu}{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}(\pi-2\phi) \dots\dots\dots (5.39)$$

で与えられる。

最後に出力電圧は

$$\frac{e_0}{E} = \frac{(R+L\frac{d}{dt})i_r}{E} = \frac{2\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}} \left( \frac{v_2^{-0}}{E} \right) \varepsilon^{-\frac{2\lambda\pi}{\mu}z} \left\{ \sin\left(\frac{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu}z\right) + \frac{1}{\mu} \frac{\sqrt{1-(PF)^2}}{PF} \cos\left(\frac{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu}z + \phi\right) \right\} \dots\dots\dots (5.40)$$

### 5.3 定常状態の特性

前章で、必要な解析結果がすべて与えられているので、この章では電子計算機 (Bendix G-15D) により文字どおり機械的に次々と計算を行なうこととする。

実際の運転状態では、 $L, C, f_0$  は一定に保たれ負荷だけが変るのが通常であるが、無次元的表现を用いればこれは  $\mu'$  が一定で  $\lambda'$  と PF とが変わることに相当する。したがって、以下の計算では、 $\mu'$  と PF とをパラメータとして  $\lambda'$  に対する諸量の変化を求めることとする。

まず、与えられた上記3量に対し、式(5.6)、(5.7)から  $\mu, \lambda$  を求めると図5.5のようになる。PF=1、すなわち抵抗負荷のとき  $\mu', \lambda'$  はそれぞれ  $\mu, \lambda$  と一致することはいうまでもないが、力率が悪くなるほど  $\mu'$  は  $\mu$  より大きく、 $\lambda'$  は  $\lambda$  より小さくなる。図の丸印は臨界域に相当する点であって、この点より右は強制転流域に属するため本文の計算の範囲外に属する。このことは図5.6に与えた放電管の通流期間  $\tau_c$  ないし休止期間  $\tau_r$  (電気角で示して  $\theta_c, \theta_r$ ) の曲線によっても明らかである。 $\mu'$  が一定のとき、 $\lambda'=0$  では、 $\theta_r$  は PF に無関係なある一定の値を持っているが、 $\lambda'$  が増すにつれ  $\theta_r$  は次第に減少し臨界域で零となる。この減少の割合は PF が小さいほど大きい。同一の PF では、 $\mu'$  が大きいほど、臨界域

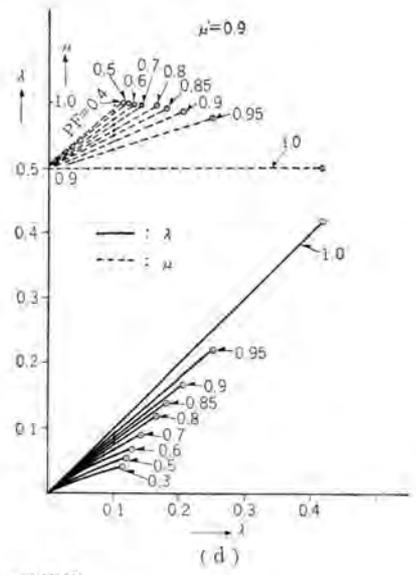
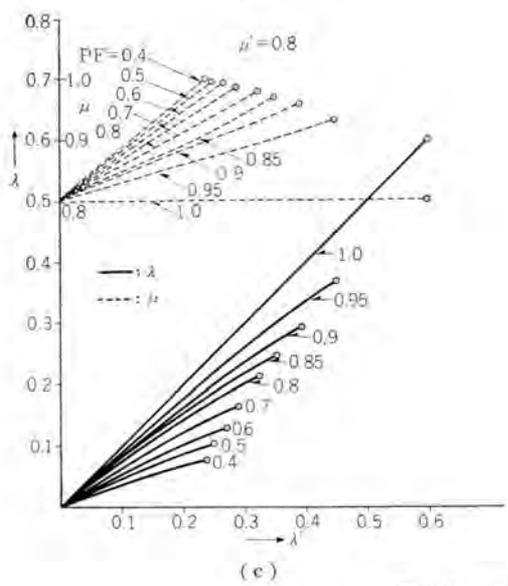
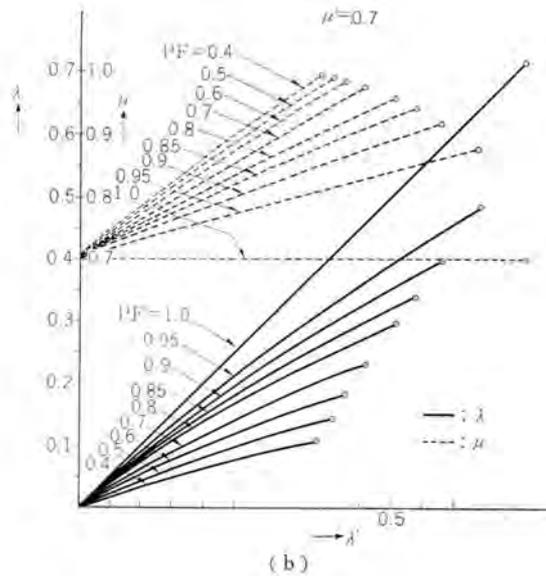
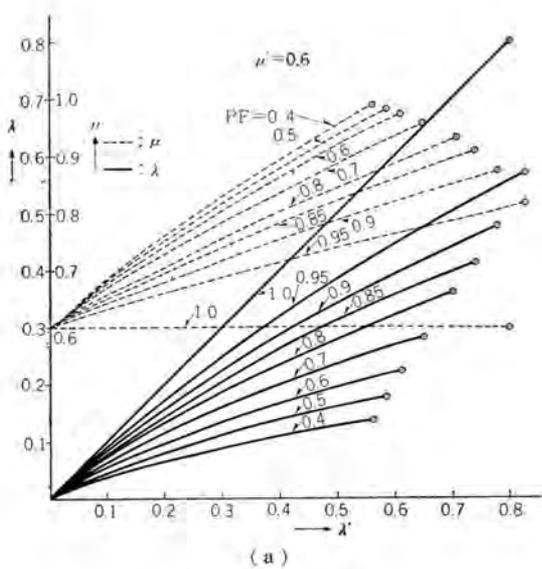


図 5.5  $\mu, \lambda$  [式 (5.6), (5.7)] の計算値  
 Fig. 5.5 Calculated values of  $\mu, \lambda$  defined by equation (5.6), (5.7).

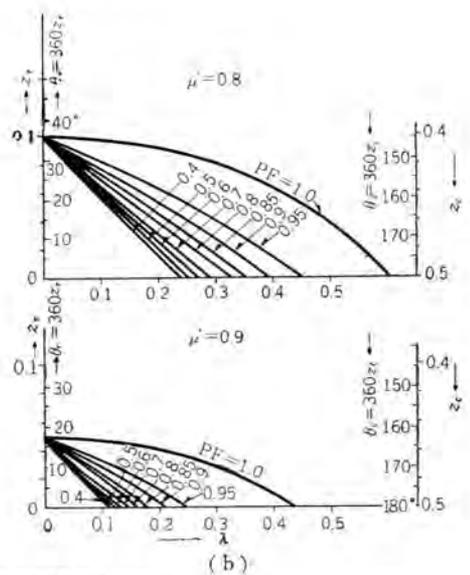
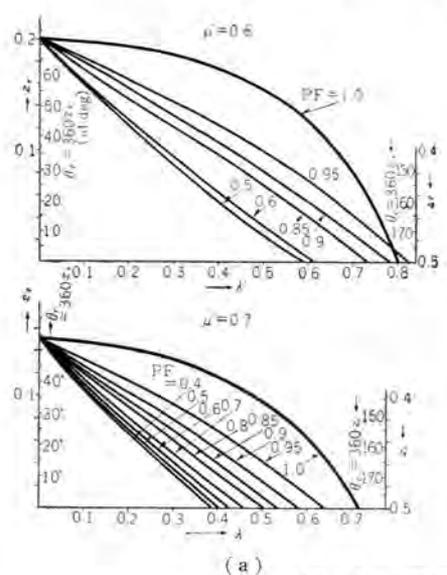


図 5.6 通電期間  $z_c \equiv \tau_c / (2\tau_0)$  および休止期間  $z_r \equiv \tau_r / (2\tau_0)$   
 Fig. 5.6 Conduction period  $z_c = \tau_c / (2\tau_0)$ , period of pause  $z_r = \tau_r / (2\tau_0)$  [calculated].

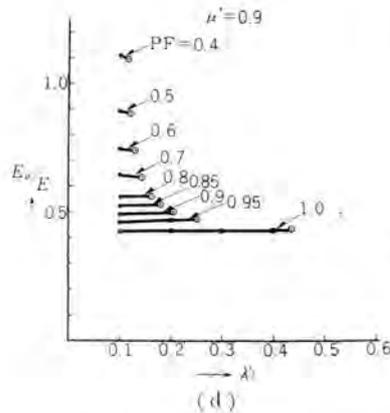
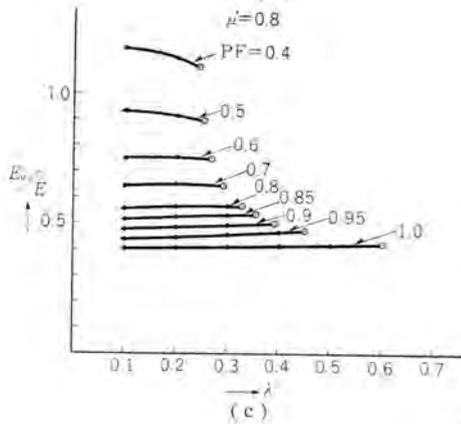
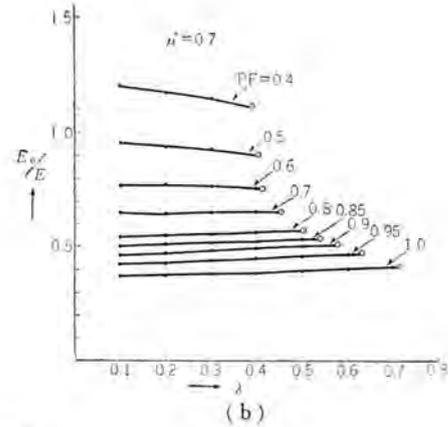
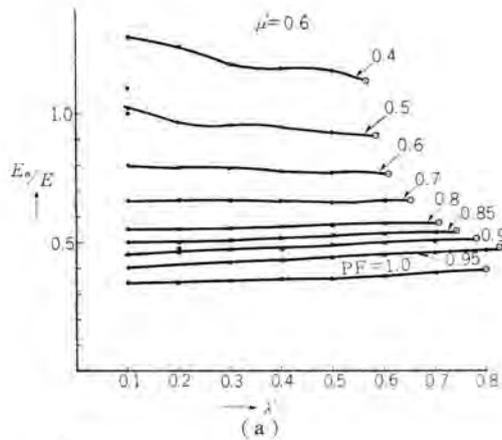


図 5.7 出力電圧実効値  $E_0/E$  の計算値  
Fig. 5.7 Effective value of output voltage  $E_0/E$  [calculated].

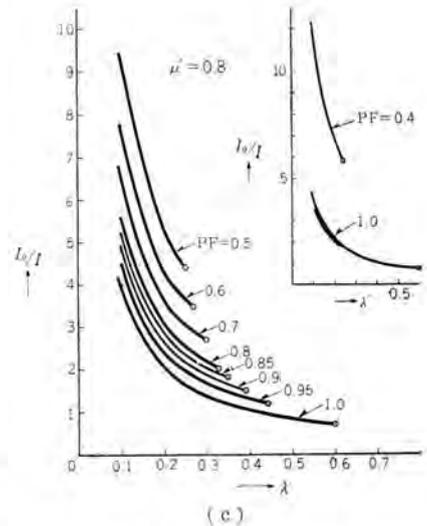
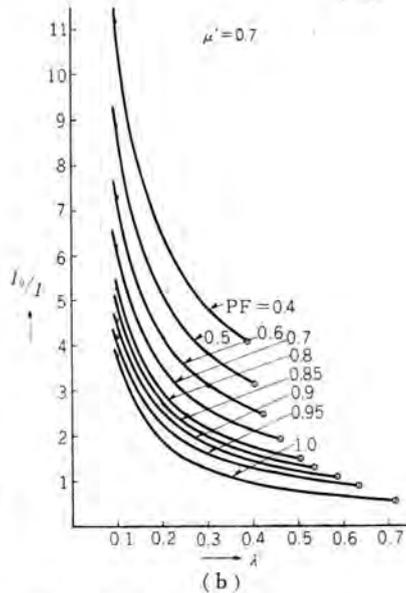
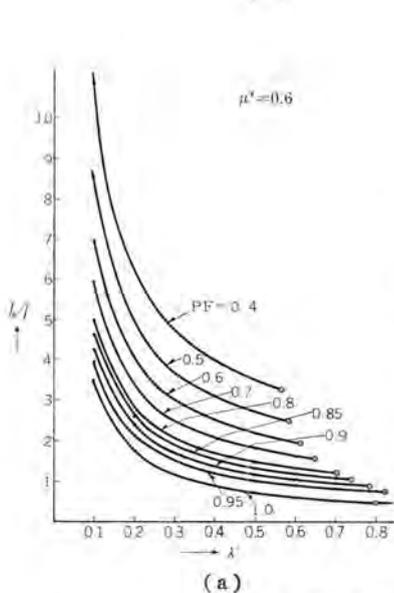


図 5.8 出力電流実効値  $I_0/I$  の計算値

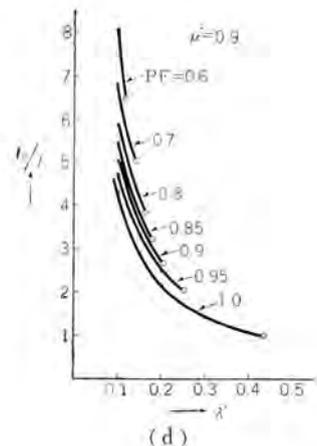
Fig. 5.8 Effective value of output current  $I_0/I$  [calculated].

の  $\lambda'$  は小さい。

出力電圧の実効値  $E_0$  は次式

$$\frac{E_0}{E} = \sqrt{2 \int_0^{\frac{\mu}{2\sqrt{1-\lambda^2}}} \left(\frac{e_0}{E}\right)^2 dz} \dots \dots \dots (5.41)$$

の中の積分項がいちじるしく長い表式となるため計算機で直接数値積分を行なって求めた。この結果は図 5.7 に示してある。  $\mu'$ , PF 一定のとき,  $E_0/E$  は  $\lambda'$  によってあまり変化せず, 抵抗負荷の際に示されたこのインパタの



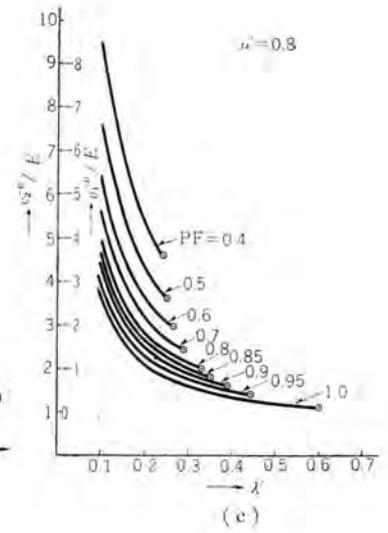
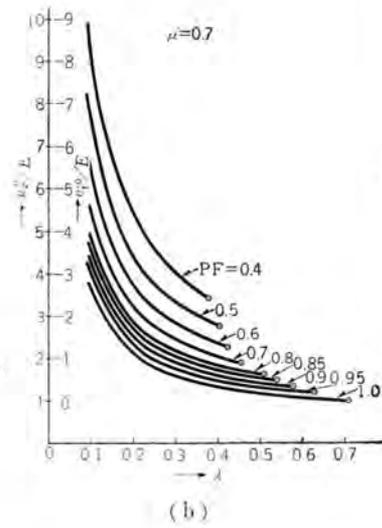
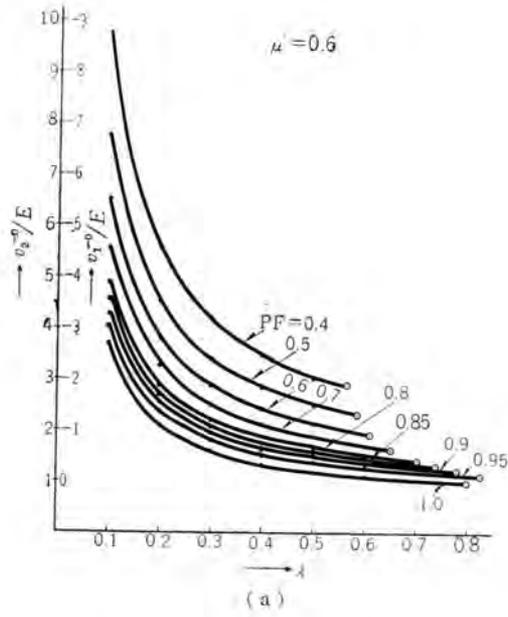


図 5.9 コンデンサ電圧初期値  $v_1^{-0}/E, v_2^{-0}/E$  の計算値  
Fig. 5.9 Initial values of condense voltage  $v_1^{-0}/E, v_2^{-0}/E$  [calculated].

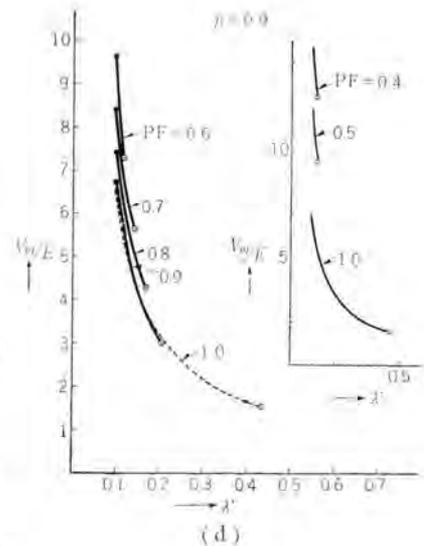
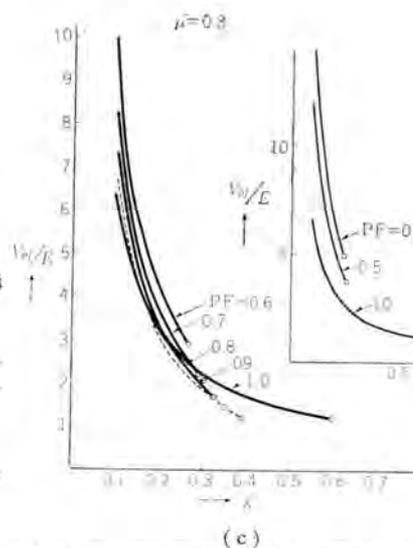
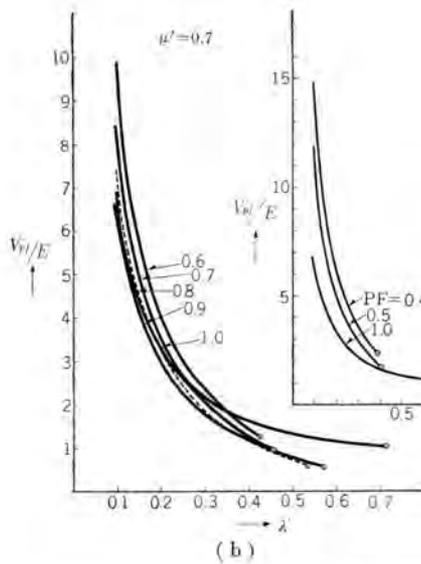
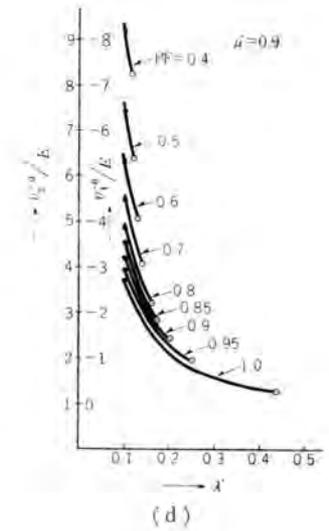
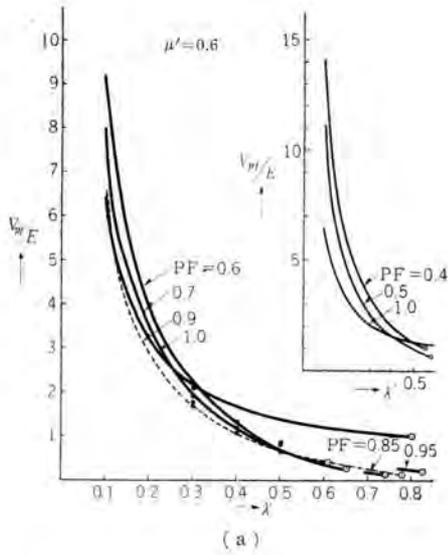


図 5.10 放電管順電圧  $V_{pf}/E$  の計算値  
Fig. 5.10 Peak forward voltage of tube  $V_{pf}/E$  [calculated].

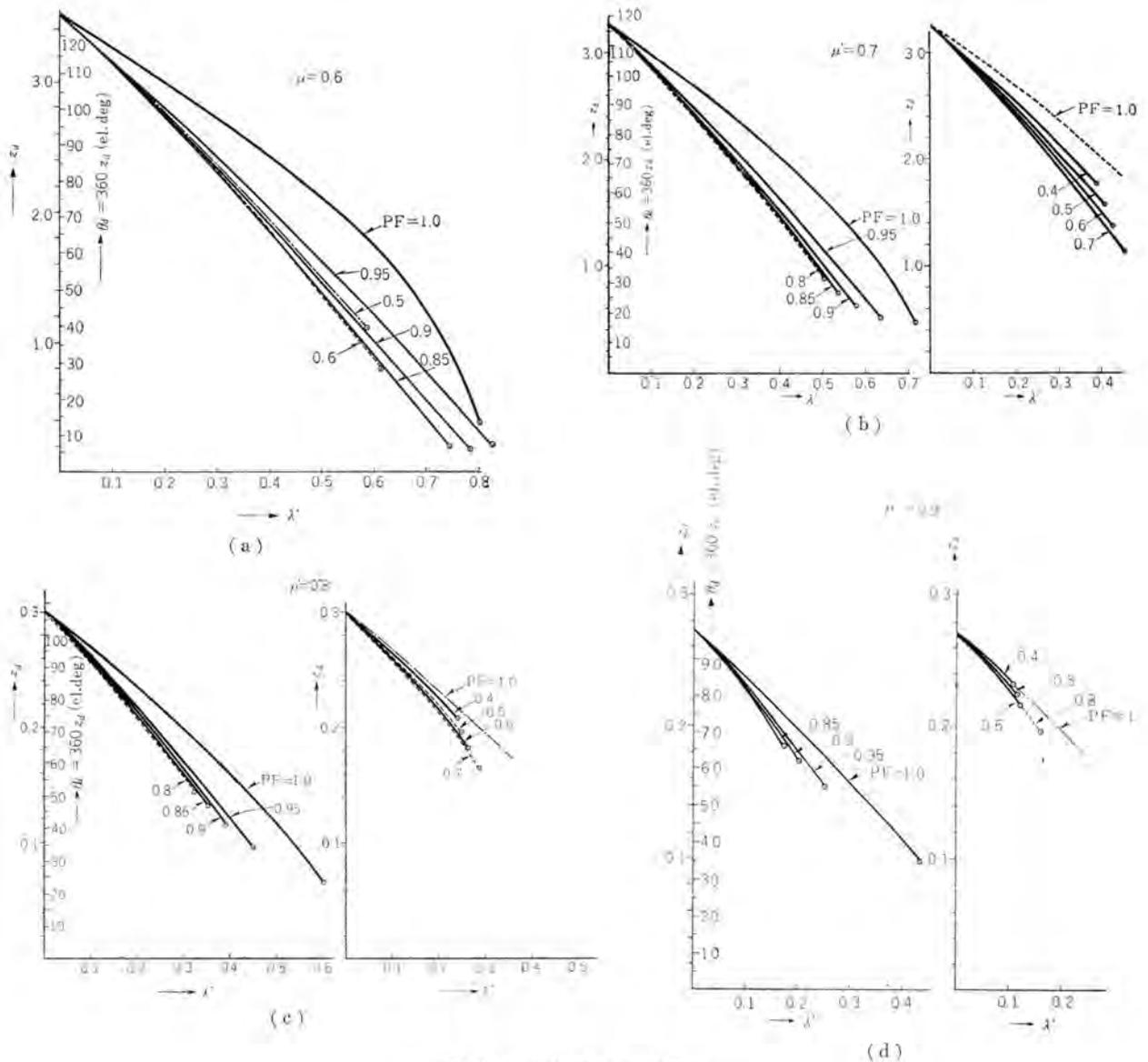


図 5.11 余裕角  $\theta_d$  の計算値  
 Fig. 5.11 Margin angle  $\theta_d$  [calculated].

良好な出力電圧の負荷特性は一般の負荷力率のばあいにも大体保存されているとみなせる。ただし、力率が悪くなるほど電圧は増し、また極端に悪い力率では負荷が減るとかえって電圧が下がるような傾向もみられる。 $\mu'$ の増加は電圧の上昇をもたらす。

出力電圧の実効値  $I_0$  は図 5.8、コンデンサ電圧初期値すなわち同電圧最低および最高値  $v_1^{-0}$ 、 $v_2^{-0}$  は図 5.9、放電管順電圧セン頭値  $V_{pf}$  は図 5.10 に示してある。これらはいずれも  $\lambda' \rightarrow 0$  のとき無限大となる。

転流の安定度を示す余裕角  $\theta_d$  は図 5.11 に与えてある。負荷が減るほど、また  $\mu'$  が増すほど  $\theta_d$  は小さくなる。力率が 100% のときの曲線はもっとも大きい  $\theta_d$  の値を有しており、力率が悪くなるにつれ  $\theta_d$  はいったん減るが、60~50% 以下では  $\theta_d$  はふたたび増しはじめる。なお図 5.12 は  $t_1$  およびセン頭順電圧の位相 (図 5.4 参照) を示す。

これらの基本特性曲線から、回路の設計や実際運転特性の推定を行うことができるが、これは第 2 報告に記された抵抗負荷のばあいの論議と似た事のくりかえしとなるので紙面のつごう上割愛する。

#### 5.4 過渡特性

5.1 で示したとおり、誘導負荷時と抵抗負荷時とは過渡動作の諸問題についても共通点が多い。

たとえば、前報告図 4.1 に示された時定数は今のばあいにもあてはまり、また図 4.7~4.9 の直流母線からインバータをながめた等価回路もそのままこの報告に流用できる。自動制御の問題についても、もし出力電圧の整流平均値の定値制御を対象とするならば、先のばあいの解析を今のばあいにも直接適用することは許される。これは、負荷中のインダクタンス成分  $L_0$  にかかる電圧の整流平均値が必ず零となるためである。

しかしながら、たとえば放電管の余裕角の過渡的な推

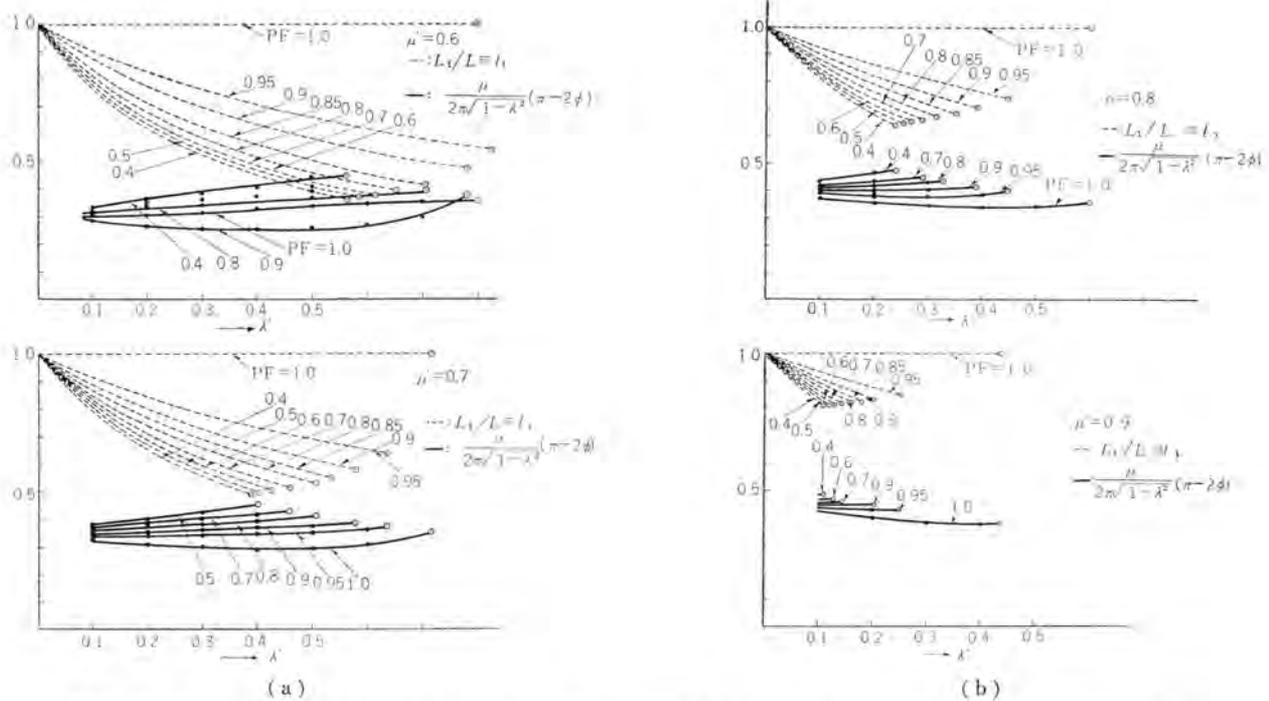


図 5.12  $l_1 \equiv L_1/L$ , センズ順電圧の位相  $\frac{\mu}{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}(\pi-2\phi)$  [図 5.4 参照, 1 周期について無次元化して示す] の計算値

Fig. 5.12  $l_1 \equiv L_1/L$ , phase of peak forward voltage  $\frac{\mu(\pi-2\phi)}{2\pi\sqrt{1-\lambda^2}}$  [normalized in reference to period  $2\tau_0$ ].

移は、抵抗負荷のばあいとは当然ことなる。また、放電管の通弧時の強制転流現象についても両者のばあいの間には相当な差がある。第 3 報告ですでに論じたように、このような強制転流を確実にするためには負荷のインディシャルアドミタンスはできるだけ大きくなければならないが、いまの誘導負荷のばあいはまったくこれに反している。このような重複期間の存在する特殊なばあいを除けば、抵抗負荷時の結果がそのまま適用できない問題について解析を行なうことはそれほどやっかいではないが、抵抗負荷時の動作から大体推察のつく問題でもあるのでここでは深く立ち入らないこととする。

以上、数式や曲線図の羅列に終わっていきさか無味乾燥のきらいはあるが、誘導負荷時の特性の詳細はほぼ示しつくしたことができたものと思う。

このインバータが誘導負荷に対してもかなりよい動作特性を示すことは事実であるが、たとえば放電管の余裕角の問題などで抵抗負荷のばあいよりも設計に困難を感じ

ることは否めない。軽負荷時に転流安定度が少なくなるという欠点は、誘導負荷にかぎらず抵抗負荷のばあいにも存していることであって、その意味で負荷と並列にコンデンサを有するばあいの特性が実用上もっとも重要な意義をもっている。そこで、次号では、このように複雑な回路構成のばあいについてよい見通しを与える理論を紹介することとしよう。なお、この第 4 報告の計算や記録の整理についてご尽力をわずらわした本研究所吉江技師、佐久間嬢、松本嬢に謝辞をささげる。

(昭 36-3-6 受付)

#### 参 考 文 献

- (10) 河合：直列インバータ総論  
(1)、「三菱電機」, 34, No. 8, p. 104 (昭 35).
- (12) 同上 (2)、「三菱電機」, 34, No. 10, p. 96 (昭 35)
- (14) 同上 (3)、「三菱電機」, 34, No. 11, p. 92 (昭 35).
- (15) 河合：「電学誌」, 81, 23 (昭 36).
- (16) 林・吉住：支部連大予, 308 (昭 28).

## 最近の距離継電器 (2)

神戸製作所 北浦孝一\*・古谷昭雄\*

### 5. 故障種類別距離継電器の例

従来の短絡保護用距離継電器は、各種故障を相単位に検出していたが、今回、故障種類別に検出するものが考案されたのでその二、三の例を説明する。

この方式によると、従来3段階距離継電方式において、判定要素を、 $3 \times 3 = 9$ 個必要としたものが、2相故障保護用、3相故障保護用計  $2 \times 3 = 6$ 個で済む。

とくに、脱調保護においてはきわめて有利な方式である。図5.1は、その一例を示すKDA形継電器の外観である。

#### 5.1 3相故障検出要素の構造と動作

系統に3相短絡故障が発生すると、対称座標法によって解かれた対称分回路、および電圧分布は、正相分だけであり、図5.2のように表わせる。



図5.1 KDA形三相短絡距離継電器外観(M形ケース)

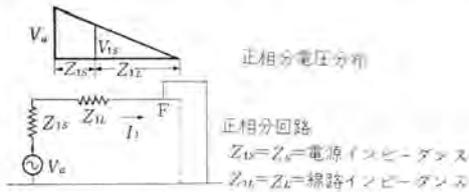


図5.2 3相短絡時対称分回路

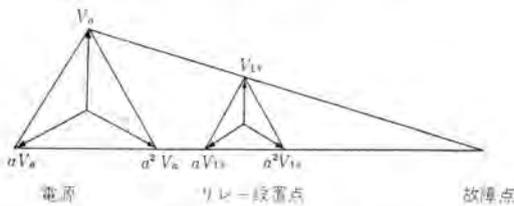


図5.3 3相故障時各点における電圧三角形

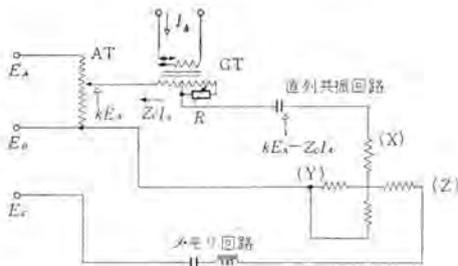


図5.4 3相故障検出要素回路例

このときの継電器設置点の電圧、電流は

$$\left. \begin{aligned} E_A &= V_{1s} = V_a - I_1 Z_s = I_1 Z_L, & E_B &= a^2 V_{1s} \\ E_C &= a V_{1s} \text{ (ただし } a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \text{)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

$$I_A = I_1 = \frac{V_a}{Z_s + Z_L}, \quad I_B = I_C = 0 \dots\dots\dots (5.2)$$

となる。

なお、この場合の各点電圧三角形を描いてみると、図5.3のように表わされる。

すなわち、故障点では、電圧三角形は0となり、故障点からの距離に応じて徐々に大きくなり、継電器設置点では、故障点と電源との距離に応じた、健全時より小さい正三角形として与えられる。ゆえに、あらかじめ故障点を仮想した電圧三角形を作って置き、実際の故障の際、継電器設置点にて得られる電圧三角形が、その仮想値と比較して大きい小さいかを弁別すれば、故障を検出しうることとなる。この考えを具体化した一例が、図5.4である。その回路構成は、オートトランス、空隙付変成器、メモリ回路、直列共振回路およびシリンダ要素より成り立っている。いま、図5.4の入力として式(5.1)、(5.2)が与えられたとすると、シリンダ要素の各端子 X, Y, Z の電圧は

$$\left. \begin{aligned} V_X &= E_a - Z_c I_A \\ V_Y &= E_b \\ V_Z &= E_c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.3)$$

となる。

ここで、3.1章、3.2章記載のような、シリンダ要素の位相弁別特性を考えると、 $V_{XY}$ 、 $V_{YZ}$  の2ベクトル間の位相関係が動作を決定することとなるゆえ、 $V_{YZ}$  を基準(メモリを持たせる)として、 $V_a - Z_c I_A$  の大小関係を比較すればよいことがわかる。図5.4

による各故障時のベクトル三角形は、図5.5のように表わされる。

すなわち、(d) 内部故障の場合だけ、ベクトル三角形は反転し、位相弁別要素に動作トルクを与える。また、(e) 後方故障の場合には、電圧三角形は反転しないゆえ、方向性を兼備していることがわかる。なお、 $Z_c$  は、継電器換算の予定保護線路インピーダンス  $Z_L$  の、1.5倍とする必要がある。すなわち、図5.5(c)の整定点故障の場合、 $Z_c = Z_L$  とすれば、 $V_X = 0$  となるが、X点は  $\bar{YZ}$  上には達せずまだ抑制力の存在する状態である。しかし、このとき、リレーとしてクリティカル状態となる必要があるゆえ X点を  $\bar{YZ}$  に達するようにするには、図5.6より、 $Z_c$  は

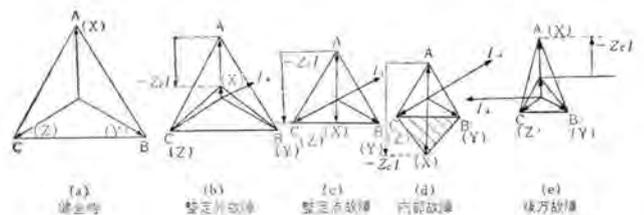


図5.5 3相故障検出要素動作ベクトル図

$$Z_c I_A = 1.5 Z_L I_A$$

$$\therefore Z_c = 1.5 Z_L$$

$$\dots\dots\dots (5.4)$$

とする必要がある。

### 5.2 3相故障検出要素位相特性

図5.5の動作ベクトル図により、3相故障検出要素の位相特性が、 $\epsilon$ -特性となるであろうことは容易に想像される。このことを証明する方法としては、つぎの3通りの方法が考えられる。

- (a) 距離継電器動作基準式に適合させる方法
- (b) 対称分弁別回路として解く方法
- (c) 位相弁別回路として解く方法

それぞれの方法の特長は

- (a)……位相弁別要素を最終手段とした距離継電器としての普遍性を有し外部回路との関係が明らかとなる。
- (b)……この方式によるときわめて式が簡単となる。
- (c)……位相弁別回路の解法として正攻法であり、継電器単独として位相特性をとるときに便利である。

(a)の方法は、図5.2と式(5.3)を関係づけ、最終的に式(3.11)に持って行こうとするものである。

(b)の方法は、シリコ要素を対称分弁別回路として

$$\left. \begin{aligned} V_{X1} &= \frac{1}{3} (V_X + aV_Y + a^2V_Z) \\ V_{X2} &= \frac{1}{3} (V_X + a^2V_Y + aV_Z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.5)$$

で表わす正相対称分電圧  $V_{X1}$  と逆相対称分電圧  $V_{X2}$  とを比較し、 $V_{X1}$  は抑制方向の回転磁界を、 $V_{X2}$  は動作方向の回転磁界を生じ、その動作は逆相分電圧が優るとき生ずることを利用したものである。この方法によると、故障計算に使用する正相、逆相の関係がそのまま利用できて便利である。特性式はリレー平衡点において求めたものであるから、この場合には  $V_{X1}$  と  $V_{X2}$  は等しくなる。しかもこの関係は任意の位相角  $\varphi$  において成立しうる。

すなわち

$$\frac{V_{X1}}{V_{X2}} = 1 \angle \varphi = \epsilon^{j\varphi} \dots\dots\dots (5.6)$$

の関係を利用し、ここで  $\varphi = 0 \sim 360$  度とすれば

$$Z_L = \frac{1}{2} (Z_c - Z_c \angle \varphi) \dots\dots\dots (5.7)$$

として  $\epsilon$ -特性の式が得られる。

詳細は文献(3)に述べられているので、本文では省略し、(c)の方法による算出例を示すこととする。いま、継電器換算の予定保護線路インピーダンスを式(5.4)より、 $1.5Z_c \angle \theta_c$  とし、 $k=1$  の場合、一般の位相角  $\varphi$  についての式(5.3)を立てると

$$\left. \begin{aligned} V_X &= E_a - 1.5Z_c \epsilon^{-j\theta_c} I_a \epsilon^{j\varphi} \\ V_Y &= a^2 E_a \\ V_Z &= a E_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.8)$$

となる。

ここで  $XY$ ,  $ZY$  を求めると

$$\left. \begin{aligned} Z_{XR} &= (1-a^2) E_a - 1.5Z_c I_a \epsilon^{j(\varphi-\theta_c)} \\ V_{ZR} &= (a-a^2) E_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.9)$$

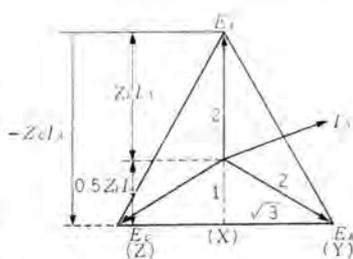


図5.6  $Z_c = 1.5 Z_L$  とする理由説明図

すなわち

$$\left. \begin{aligned} V_{XR} &= [1.5E_a - 1.5Z_c I_a \cos(\varphi - \theta_c)] \\ &+ j \left[ \frac{\sqrt{3}}{2} E_a - 1.5Z_c I_a \sin(\varphi - \theta_c) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.10)$$

$$V_{ZR} = j\sqrt{3} E_a$$

式(5.10)より、3.1章の  $a, b, c, d$  を求めると、

$$\left. \begin{aligned} a &= 1.5E_a - 1.5Z_c I_a \cos(\varphi - \theta_c) \\ b &= \frac{\sqrt{3}}{2} E_a - 1.5Z_c I_a \sin(\varphi - \theta_c) \\ c &= 0 \\ d &= \sqrt{3} E_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.11)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{式(5.11)の条件を、式(3.9) } bc - ad \geq 0 \text{ に代入すると、} \\ \sqrt{3} E_a \{ 1.5E_a - 1.5Z_c I_a \cos(\varphi - \theta_c) \} \leq 0 \\ E_a > 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.12)$$

を得る。

式(5.12)を解くと、

$$\frac{I_a}{E_a} \cos(\varphi - \theta_c) \geq \frac{1}{Z_c} \dots\dots\dots (5.13)$$

となり、アドミタンス一定の特性式となる。

式(5.13)で表わす電流軌跡を、 $R-X$  面に写像すれば、

$$Z \leq Z_c \cos(\varphi - \theta_c) \dots\dots\dots (5.14)$$

を得る。

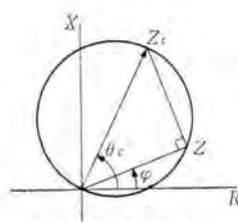
すなわち、3相故障検出要素の位相特性は、図5.7のように、 $R-X$  座標で描くとき、 $\epsilon$ -特性となる。

### 5.3 2相故障検出要素の構造と動作

系統に、2相短絡故障が発生すると、対称座標法によって解かれた対称分回路および電圧分布は、正相分、逆相分として図5.8のように表わせる。

bc 相短絡時の継電器設置点の電圧電流は

$$\left. \begin{aligned} E_a &= V_a \\ E_b &= V_{bS} = a^2 V_{1S} + a V_{2S} = a^2 V_a + j\sqrt{3} Z_S I_1 \\ E_c &= V_{cS} = a V_{1S} + a^2 V_{2S} = a V_a - j\sqrt{3} Z_S I_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.15)$$



$$\left. \begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= a^2 I_1 + a I_2 = -j\sqrt{3} I_1 \\ I_c &= a I_1 + a^2 I_2 = j\sqrt{3} I_1 \\ I_1 &= \frac{V_a}{2(Z_S + Z_L)} = -I_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.16)$$

この場合の各点における電圧三角形

図5.7 3相故障検出要素位相特性

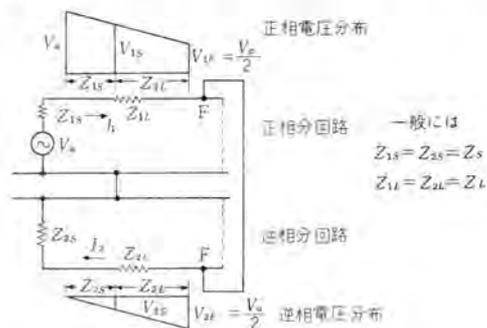


図5.8 BC相短絡時の対称分回路

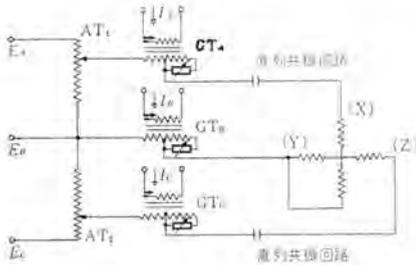


図 5.9 2相故障検出要素回路例

なく BC 相電圧だけ、故障点ではゼロとなり、故障点からの距離に応じて徐々に大きくなり、継電器設置点では、故障点と電源との距離に応じた健全時より小さくなった電圧三角形として与えられる。ゆえに 3 相検出要素とどうよう、仮想電圧三角形と故障時電圧三角形との比較によって、故障を検出しよう。この考えを具体化したものの一例が、図 5.9 である。

その回路構成は、オートトランス (2 個)、各相ごとの電流により付勢される空路付変成器 (3 個)、直列共振回路およびシリンダ要素より成立っている。

BC 相短絡時の、動作ベクトルは図 5.10 に示される、ここに式 (5.15)、(5.16) で表わす電流、電圧の関係も同時に描いてある。

すなわち、3 相故障検出要素とどうようのシリンダ要素を位相弁別要素として使用することにより、(d) 内部故障の場合だけ、ベクトル三角形は反転し、動作トルクを与えること、また、(e) 後方故障の場合には、ベクトル三角形は反転することなく、方向性を有していることがわかる。なお、図 5.10 は BC 相故障の場合であるが AB 相、CA 相故障の場合もどうようである。なお、2 相要素の位相特性は、継電器単体としての入力を与えて求めれば 3 相要素とどうようのモーター特性となるが、5.2: (a) および (b) の手法により求めたものでは<sup>(9)</sup>

$$Z_L = \frac{1}{2}(-Z_s + Z_r) + \frac{1}{2}(Z_s + Z_r) \angle \theta \dots \dots (5.17)$$

として

図 5.11 のように オフセット  $\frac{1}{2}(-Z_s + Z_r)$   
半径  $\frac{1}{2}(Z_s + Z_r)$

とした円特性であらわされる。しかしこのままでは、図 5.10 (e) の後方故障時抑制力となることと矛盾する。これは、式 (5.17) が故障電流を供給する電源インピーダンス (継電器後方の電源インピーダンス) と、整定値とにおいて求めたものであるから、後方故障の場合は、意味を失い、今度は、保護方向すなわち相手端背後の電源によって反対方向による鎖線のような円でカットされることとなる。ゆえに、実故障検出範囲は、図 5.11 の斜線部と考える。

5.4 脱調検出要素の構造と動作

系統に脱調現象が発生すると、距離継電器では 3 相短絡が発生したときと同じ入力を受ける。一般に、系統の安定度を確保する上に、このような脱調による見かけの 3 相短絡と実際の 3 相短絡故障とを区別し、しかるべき処置をとる必要がある。区別の方法として、継電器のみるインピーダンスが実故障の場合には瞬間的に保護区間に飛びこんでくるのに対し、脱調時には遠方より徐々に近づいてくることに着目して、図 5.12 のように、

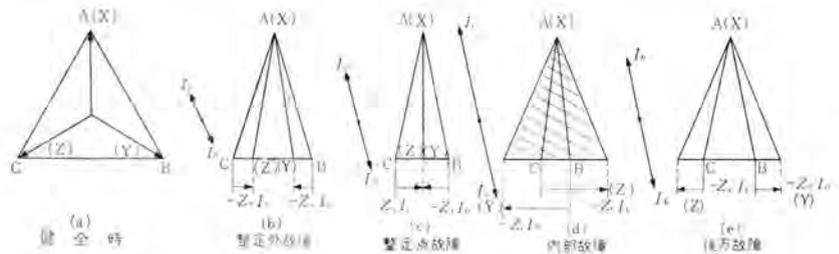


図 5.10 BC 相故障時、2相故障検出要素動作ベクトル図

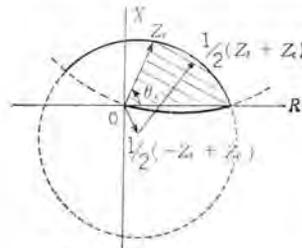


図 5.11 2相故障検出要素動作特性

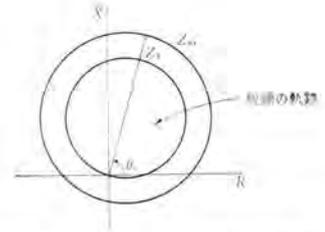


図 5.12 脱調検出動作原理図

3 相故障検出要素を一定のインピーダンス間隔を置いた  $Z_{0s}$  要素で包含し、 $Z_{0s}$  動作と  $Z_1$  動作との間に一定値以上 (通常 4~6 c/s 程度) の時間差があるとき、脱調とみなす方式がとられている。

従来の相単位の距離継電器において、完全な脱調保護を行なうためには、各相ごとに設置することが必要であったが、故障種類別方式では、先に説明した 3 相要素のほかに任意のオフセット・モーター特性をもった脱調検出要素を設置するだけで、3 相に各 1 個で十分目的を達しようの長所がある。脱調検出要素に与えられる入力は、3 相故障の場合と同じと考えられるゆえ、詳細説明は省略し、その回路構成と動作原理につき説明する。

その回路構成は図 5.13 のように、2 相故障検出要素とほとんど同じで、ただ  $GT_B$  だけ極性が反転したものである。

図 5.13 の回路による動作特性を、5.2(a)、(b)、(c) の方法で解くと、いずれも、前方リーチは、 $GT_A$ 、 $GT_C$  の整定値  $Z_0$  に、また、後方リーチは、 $GT_B$  の整定値を  $Z_0'$  とすると、 $-1/3 Z_0 + 2/3 Z_0'$  で表わされた図 5.14 のようなオフセット・モーター特性となる。(証明省略)

つぎに、 $Z_0 = Z_0'$  とした場合の各故障時のベクトル三角形を求めると図 5.15 のように表わされる。(ここでは、故障電流は 90 度遅れとしている。)

ここで  $\delta$  は、 $XY$  が  $ZY$  より進み角を正とした位相角を表わし、(a)、(b) の前方内部故障; (d)、(e) の後方内部故障

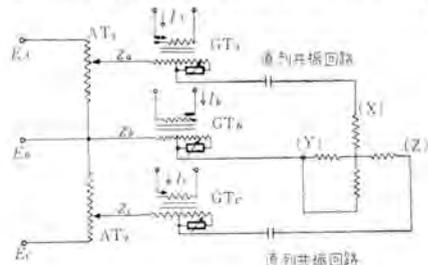


図 5.13 脱調検出要素回路例

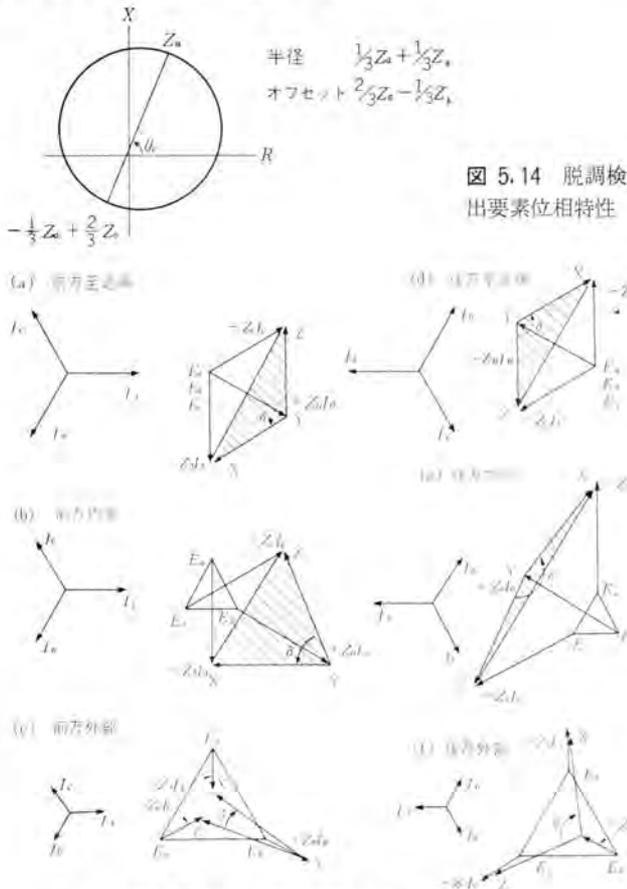


図 5.14 脱調検出要素位相特性

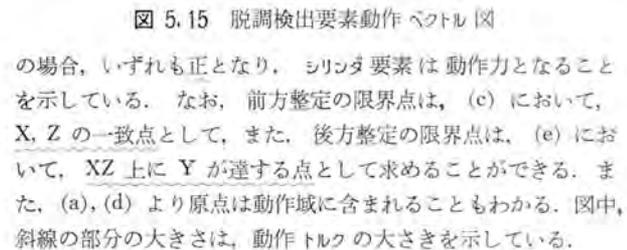


図 5.15 脱調検出要素動作ベクトル図

の場合、いずれも正となり、シリンダ要素は動作力となることを示している。なお、前方整定の限界点は、(c)において、 $X, Z$ の一致点として、また、後方整定の限界点は、(e)において、 $XZ$ 上に $Y$ が達する点として求めることができる。また、(a), (d)より原点は動作域に含まれることもわかる。図中、斜線の部分の大きさは、動作トルクの大きさを示している。

以上、故障種類別距離継電器の例として、3相故障検出要素、3相故障検出要素および脱調検出要素について主として、動作原理を説明した。適用上の問題、主として他故障時の応動特性などについては、別の機会に解説する予定である。

### 6. 距離継電器として要求される事項

送電線保護用距離継電器に要求される性能は、信頼性 選択性にすぐれ、しかも動作スピードが早いことである。それらの良否を具体的に判定する資料として、以下の諸特性があげられる。

- (1)  $E-I$  特性 (動作値および復帰値)  
(相手端近傍の選択性評価の対象となる)
- (2) 位相特性 (同上)
- (3) 動作スピード、復帰スピード
- (4) 接点状況 (動作時、復帰時の)
- (5) メモリ限界特性 (整定値と最小動作電流との関係) (自端近傍の選択性評価の対象となる)
- (6) タップ特性
- (7) 自己復帰特性

- (8) 過渡特性 (DC 分および高調波分、分数調波分に対する特性)
- (9) 消費 VA (CT, PT および DC 回路)
- (10) 温度上昇 (連続および過大入力時)
- (11) 絶縁耐力および耐サージ特性
- (12) 耐振動、耐衝撃性
- (13) 経時、経年変化特性

また別の評価資料として

- (14) 容積、占有盤面積の大小
- (15) 保守点検の難易
- (16) 価格

が問題とされる。

2~5章で説明した各継電器が、以上の諸特性をどの程度満足したものであるかについては、別の機会に発表することにして、本章では、一般的に、距離継電器では、これらの諸特性が、どのような形で表現されているかについて述べてみる。またその理論的算出方法および製作可能限界との関係につき、7章、8章で考察してみる。

#### 6.1 動作と復帰

一般に、整定角の位相関係に電圧、電流を与え、両者を変化させたときの、動作値および復帰値の関係を求めている。表示方法として、図 6.1 の (a) または (b) のような  $E-I$  特性曲線とする場合と、(c) のように  $E-Z$  (または  $I-Z$ ) 特性曲線とする場合とがある。図 6.1 の  $Z_1$  はモ-特性、 $Z_2$  はオフセット・モ-特性のものである。斜線部は動作域を示す。良否判定の表現として、たとえば

「 $E = \underline{20}$  V 以上にて、距離測定誤差  $\pm \underline{5}$  % 以内とする。また、復帰値は  $E = \underline{10}$  V 以上で、動作電流値の  $\underline{95}$  % 以下とする。」

という形で表わされる。

なお、図 6.1 は一般に、静的な特性として求めてあるがモ-特性の場合のように、至近端故障をメモリに依存しているものでは、動的な特性 (電圧を 110 V から動作電圧とする) をとることもある。この場合には、 $E-I$  特性は図 6.1 よりはよく見える。

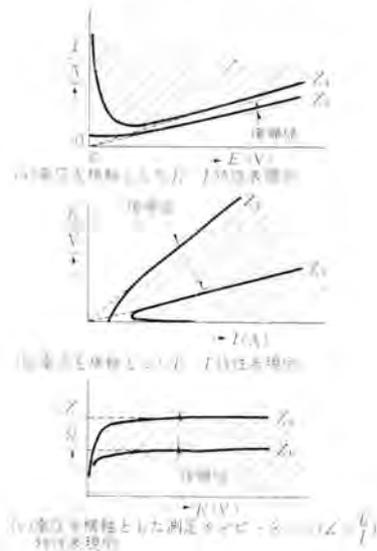


図 6.1 距離継電器の  $E-I$  特性表現法

6.2 位相関係の影響

6.1 における動作と復帰は、整定角位相関係の電圧、電流のところで求めたものであるが、これを任意の位相角において求め、極座標に表現したものが位相特性曲線となる。測定法として、図 4.6、4.10 のように、電流を一定として  $E$  を変えて求める場合もあるが、一般には図 6.1 (c) において十分距離測定精度が得られているような電圧 (たとえば 50 V) を与え、電流の位相を変えて動作値を求めている。その結果を、動作インピーダンス表現とし、同相の所を  $R$  軸、90 度遅れの所を  $X$  軸として同じく極座標に描けば、 $R-X$  座標における動作特性としての表現となる。この結果による良否判定の例としては、たとえば

「位相特性円は、整定円の  $\pm 5\%$  以内、角度は整定角の  $\pm 2$  度以内とする。」

という形で表わせる。

6.3 動作スピードおよび接点状況

通常、動作スピードと接点状況の判定は、電磁オシロによる観測写真により行なわれる。接点状況を決定するものは、継電要

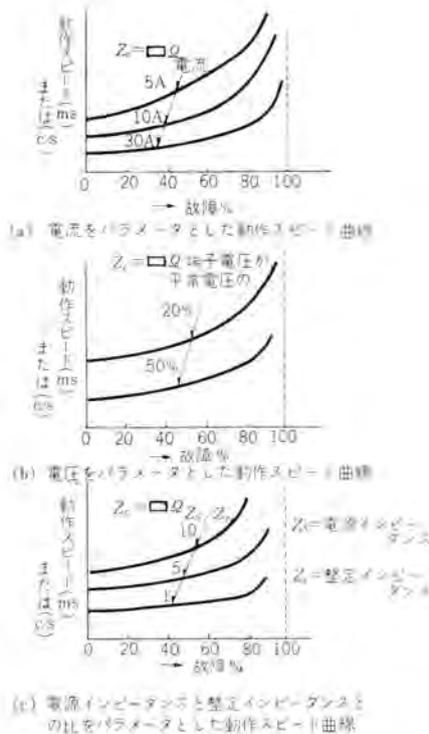


図 6.2 距離継電器のスピード特性表現法

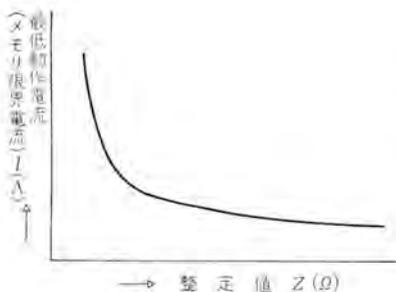


図 6.3 メモリ限界特性表現法

素自身の接点状況となる。動作スピード曲線は、整定値  $Z_0(\Omega)$  および電流  $I(A)$  をパラメータとし故障%に応じた動作スピードを求めたもので表わす場合が多い。(図 6.2 (a)) 相単位の距離継電器では、ほとんど、この表現によっている。故障種類別距離継電器では三相電圧の微細変化をきらって、電圧をパラメータとしたものがとられることがある。(図 6.2 (b)) しかし、実際の故障時を考えると、故障点の位置が変われば必ず継電器の入力電流、電圧は変わるのであるから、(a)、(b) いずれの方法も最良の表現法とはいえない。とくに故障種類別距離継電器においてその隔たりは大きい。最近故障電流を決定するものは電源のインピーダンス  $Z_s$  と、故障点までのインピーダンスとであることに着目して、 $Z_s/Z_0$  をパラメータとして動作スピードを求めた方法がとられている。(図 6.2 (c))

6.4 メモリ限界

モ-特性継電器の、最低動作値に当たるものが、メモリ限界である。すなわち、電圧  $110V \rightarrow 0V$ ,  $0 \rightarrow IA$  とするとき、整定値  $Z_0$  と  $I$  との積で決まる動作入力値が、一定値以上ないと Pol 回路の電圧メモリが消失するまでに接点動作し得ず補助接触器による自己保持が不能となってしまう。この限界を、通常メモリ限界という。この表現法として、整定値 ( $\Omega$ ) と、メモリ限界電流値との関係を曲線で表わす方法がとられている。(図 6.3)

7. 要求性能と製作可能限界との関係

6 章で、距離継電器として要求される各種特性をあげこれらがすべて、同時にすぐれていることが望ましい旨、説明したが、実際、設計製作されたものは、それらの理想像を完全に満足しているものではない。それは、これら諸特性が、相互にきわめて深い因果関係にあることによる。(一つを良くしようとすれば他の特性は犠牲となる)。また、極端に高価なものとなるという点より、おのずと製作可能の限界を生じてくるのである。

このことを定性的に解説するため、4.1 章に述べた、モ-特性継電器の等価回路、動作式の求め方、動作スピード、 $E-I$  特性の算出法にふれ、終わりに、「特性向上の結果が、どういう形で、他の特性に影響をおよぼすか」について考察する。

7.1 モ-特性継電器の等価回路と動作式

図 4.3 モ-特性継電器回路例を、等価回路で表わすと図 7.1 のようになる。

等価回路作成に当たって以下のことを仮定している。

(1) シリスタ要素は電流だけを問題とする零インピーダンス回路とする。(後述  $R_{op}$  に包含)

(2)  $n_{op}$  回路には、入力電圧と同相の電流が 1:1 理想 CT により導入される。

(3)  $n_{pol}$  回路には、入力電圧より 90 度遅れた電流が 1:a、理想 CT および 90 度フェースシフトを介して導入される。

(4)  $op$  回路、 $pol$  回路とも直列共振状態にあるゆえ入力側に換算した各回路のインピーダンスは純抵抗分、 $R_{op}$ ,  $R_{pol}$  に換算される。

(5)  $GT$  は、誘導係数  $Z_0$  を

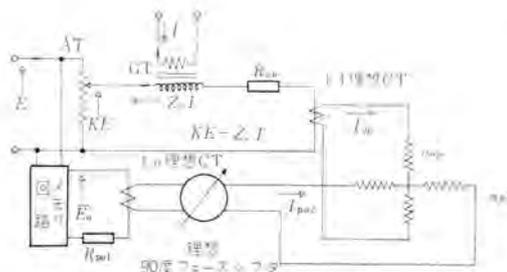


図 7.1 モ-特性継電器等価回路

有し、一次電流  $I$  が流れるとき、 $kE$  に対して減極性に二次に  $Z_c I$  を導出する。  $E$  に対する  $I$  の遅れ角は、整定角と同じにとる。

(6) AT は、op 回路にかかる入力電圧を  $k$  倍にするものである。

(7) シリンド要素の巻数を  $n_{op}^{s \rightarrow s}$ 、 $n_{pol}^{s \rightarrow s}$  とする。また、 $I_{op}$  電流は  $I_{pol}$  電流より 90 度進んでいるゆえ、式 (3.13) より、スプリング反抗力を  $T_0 [AT_0^2]$  とすれば、シリンド要素の受けるトルクの式は

$$T = n_{op} n_{pol} I_{op} I_{pol} - T_0 \quad (7.1)$$

となる。

(8) pol 回路には、メモリ回路があるため、入力電圧が急激に零となっても、暫時の間は故障前の電流が流れるものとする。

図 7.1 によって、モ-特性継電器の動作トルクの式を求める。故障前電圧  $E_0$  V、電流 0 A のものが、故障発生と同時に電圧  $E$  V、電流  $I$  A ( $E$  より  $Z_c$  整定角だけ遅れる) になったとすると、

$$I_{op} = \frac{kE - Z_c I}{R_{op}} \quad (7.2)$$

$$I_{pol} = -a \frac{\bar{E}_0}{R_{pol}} \quad (7.3)$$

ただし、 $\bar{E}_0$  はメモリ効果を考慮に入れた pol 電圧とする。

式 (7.2)、(7.3) を式 (7.1) に代入して

$$T = \frac{a n_{op} n_{pol}}{R_{op} R_{pol}} E_0 (Z_c I - kE) - T_0$$

$$= \boxed{K E_0 (Z_c I - kE) - T_0} \quad (7.4)$$

$$\text{ただし } K = \frac{a n_{op} n_{pol}}{R_{op} R_{pol}}$$

こうして求めた式 (7.4) は、位相特性より求めた式 (4.9) において  $\varphi = \theta_c$  としたものと同じになる。

## 7.2 動作スピード算出の手順

式 (7.4) を使って、図 6.2 (a) の動作スピード曲線を算出する手順について述べてみる。

(1) 故障 $\%$ を  $p$  とすると、故障電圧  $E$  は、式 (7.5) で算出される。

$$E = \frac{p}{100} Z_c I \quad (7.5)$$

ただし、 $E_0$  (通常 110 V) をこすことはない。

(2) op 回路電圧算出

$$E_{op} = Z_c I - kE \quad (7.6)$$

ただし、動作時には負となることはない。

(3) pol 回路電圧算出

入力電圧がいちじるしく小さいときは、メモリ効果を考慮する必要がある。数 c/s で働く高速度継電器においては、最初の 1 c/s が大きくきいてくるゆえ、1 c/s 後の電圧値を考えれば十分である。すなわち、メモリ回路の減衰時定数を  $T$  c/s とすると、

$$\bar{E}_0 = E_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad (7.7)$$

で与えられる。

ただし、 $E$  が上式の  $\bar{E}_0$  より大きいときは、もちろん  $E_0$  の代わりに  $E$  とする。

(4) シリンド要素印加入力は、最低動作スプリングの倍数として、式 (7.8) で表わされる。ただし、いずれも  $[AT_0]^2$  を単位としている。

$$\tau = \frac{K E_0 [Z_c I - kE]}{T_0} \quad (7.8)$$

(5) 式 (7.8) の結果により図 3.6 より、動作スピードが求まる。また

$$s = \frac{K_s}{\log_a(\tau)} \quad (7.9)$$

すなわち、式 (3.14) に  $\frac{T}{T_0} = \tau$  を代入して得られる式

(7.9) により算出することもできる。

## 7.3 E-I 特性式

モ-継電器の  $E-I$  特性の式は、式 (7.4) において  $T=0$ 、 $\bar{E}_0 = E$  として、式 (7.10) で与えられる。

$$E = \frac{Z_c I - \frac{T_0}{kKE}}{k} \quad (7.10)$$

式 (7.10) を  $I-E$  のカーブで描くと図 7.2 のようになる。

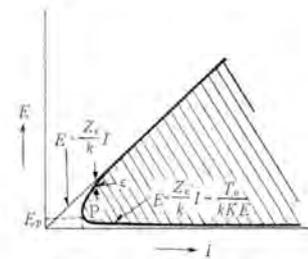


図 7.2 より、距離測定の誤差  $\varepsilon\%$  ( $E = \frac{Z_c}{k} I$  直線よりの偏移している程度) は

$$\varepsilon = \frac{\left| \frac{T_0}{kKE} \right|}{\frac{Z_c I}{k}} \times 100 (\%) \quad (7.11)$$

図 7.2 E-I 特性曲線で表わされる。

また、 $E=0$  の点での動作電流  $I$  は、理論上は無窮大となり、図 7.2 のようになる。ここで変曲点 P のところの電圧  $E_p$  は、式 (7.10) より

$$\frac{\partial}{\partial E} E = 1 = \frac{Z_c}{k} \frac{\partial I}{\partial E} + 2 \frac{T_0}{kKE^2}$$

$$\frac{\partial I}{\partial E} = \left( 1 - 2 \frac{T_0}{kKE^2} \right) \frac{k}{Z_c} = 0 \quad (7.12)$$

$$E_p = \sqrt{\frac{2T_0}{kK}} \quad (7.13)$$

として、求められる。

## 7.4 E-I 特性向上と自己復帰特性 (耐振性劣化) との関係

式 (7.11) より、距離測定の誤差を小さくするためには  $T_0$  を小さく……(スプリング復帰力を弱く)

$K$  を大きく……(シリンド要素のターン数を増加し、回路抵抗を減らす)

すればよい。このことは、式 (7.13) の  $E_p \rightarrow 0$  とする条件とも一致する。すなわち、 $E-I$  特性を、 $E = \frac{Z_c}{k} I$  直線に近づける手段として、上記のような二つの方法が考えられるが、後者については、7.5 で吟味するように、VA、容積上の制約によって、おおよそ決まってしまう、けっきょくスプリングをどこまで弱くしうかが距離測定精度をどこまでよくしうかの決め手となる。通常、4 章、5 章に述べたような距離継電器の電圧回路は、

健全電圧により付勢され、十分な抑制力を受けており、故障検出後も、ただちに母線電圧による電圧抑制がかかるため、スプリングがきわめて弱くても実際上問題となるケースは少ない。しかし場合によっては、(たとえば、無人変電所の遠方操作の場合などには)線路側のPTより電圧をとることがある。かかる場合、故障除去時、 $E, I$ ともに零となり、継電器の復帰はスプリングの復帰力だけにたよることとなる。このとき、もし自己復帰し得ないときには、再投入時の不要動作現象を引き起こす。また常時の耐振性向上のためからも、ある程度スプリングは必要となる。

以上のように、誘導回転要素を用いた距離継電器においては、ある程度の自己復帰特性(耐振性)を必要とするため、入力電圧の低いところでの距離測定精度を極端によくし得ない。とくに、モー特性継電器の場合はこの影響は大きいものとなる。

7.5 特性向上と消費 VA 増加との関係

継電器の動作入力は、PT 二次および CT 二次より供給される。一般に PT 側の VA は AC 110 V 印加時のボルト×アンペアで、また、CT 側の VA は、AC 5 A または  $\sqrt{3} \times 5$  A 印加時のボルト×アンペアで表わされ、それぞれ、許容限界を持っている。誘導回転要素を最終要素とした距離継電器は、上記の入力エネルギー (VA) の大小によって、動作スピードが決定される。たとえば、4 章、5 章記載の継電器では、整定値  $Z_0$  と故障電流  $I$  との積が支配的となる。設計上、回路全体のエネルギー利用率をよくすること(最終要素に入力が達するまでの回路内損失を減らすこと)に多大の努力をはらうとしても、一定値以上の損失はどうしても必要となる。いま整定値が低く、故障電流が少ない場合の対策として、CTVA, PTVA を増加させる方法によった例を示すと、同一条件で、動作スピードを 1/1.5 にしようとする、PTVA は約 2 倍、CTVA は約 4 倍必要となってくる。要するに VA 増加によって改善される特性は、

- (1) E-I 特性
- (2) 自己復帰特性
- (3) 動作スピード
- (4) メモリ限界

である。

一方、その場合、以下の許容値を考慮しなくてはならない。

- (5) CT, PT の許容負担をこえないか、
- (6) 温度上昇限界値をこえないか、
- (7) 巻 つかスペース、ケース または 盤面収容容量に問題ないか、

以下を要約し、それぞれの関係を考察する。

(1) 消費 VA 増加と E-I 特性向上との関係

E-I 特性式

$$E = \frac{Z_c I}{k} - \frac{T_0}{kKE} \quad \dots\dots\dots (7.10)$$

距離測定誤差

$$\varepsilon = \frac{\left| \frac{T_0}{kKE} \right|}{\frac{Z_c I}{k}} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (7.11)$$

において

回路インピーダンスを減少したことにより VA が増加した場合は、

$$K = \frac{a n_{op} n_{pol}}{R_{op} R_{pol}} \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

にて与えられる  $K$  は増加し、誤差  $\varepsilon$  は減少する。また  $k$  を大きくしようとすれば、たとえ回路定数不変 ( $K$  一定) としても、 $k$  の増加という形で誤差  $\varepsilon$  は減少する。この場合、 $\frac{Z_c}{k}$  を同じくするため  $Z_c$  も同じ倍率で大きくすることを要す。これが CT VA の増加となる。

(2) 消費 VA 増加と自己復帰特性向上との関係

同一の距離測定誤差が許されるならば、(1) 項のことにより、 $T_0$  は増加することができる。すなわち、スプリングの復帰力の増加により自己復帰特性は改善される。

(3) 消費 VA 増加と動作スピード向上との関係

消費 VA の増加は、シリスタ要素の動作トルク入力倍数の式

$$\tau = \frac{KE_0(Z_c I - kE)}{T_0} \quad \dots\dots\dots (7.8)$$

において

$K$  を増加するか、または  $(Z_c I - kE)$  を増加すれば、 $\tau$  は増加し、動作スピードは向上される。(7.2 参照)

(4) 消費 VA 増加とメモリ限界向上との関係

メモリ限界を定める式は、式 (7.8) のトルクの式において、 $E=0$  とした式 (7.14) で表わされる。

$$\tau = \frac{KE_0 Z_c I}{T_0} \quad \dots\dots\dots (7.14)$$

すなわち、メモリ限界 ( $Z_c I$  との関係) は、回路定数  $K$ 、メモリ特性 ( $E_0$  の減衰度合)、スプリングの強さ ( $T_0$ ) および接点間隙によって決まるものであり、メモリ回路の抵抗分  $R_{pol}$  を小さくすることにより、VA が増加するが、 $K$  の増加と  $E_0$  の減衰率の増加となり、メモリ限界は大きく改善される。

8. む す び

以上、距離継電器の歴史、位相弁別のか考え方、距離継電器の代表例、将来の動向、および、距離継電器として要求される性能と製作可能限界の吟味など、要するに距離継電器自体の問題について解説したのであるが、継電器自体に関する考察は、継電器適用の基礎をなすものである。保護すべき系統の解析を行ない、継電方式を決定し適用すべき継電器の仕様を決定される技術者にとって、この技術解説がご参考となるところがあれば幸甚である。なお、継電器適用に関する考え方にも統制された思想が必要となるものである。この問題については、最近の送電線保護継電器(その1)にて、最近開発された距離継電器の現地試験例を紹介し、(その2)において新形送電線保護継電器シリーズの適用基準に関する考察を発表する予定である。

参 考 文 献

- (1) 北浦孝一：距離継電器と将来の動向、「三菱電機」, 33, No. 3 (昭 33)。
- (2) Colin Adamson and L. M. Wedepohl: Power system protection, with particular reference to the application of junction transistors to distance relay. Proceeding of I. E. E. Part A, p. 379~388 (August 1956)。
- (3) W. K. Sonnemann and H. W. Lensner: Compensator distance relaying. AIEE TP 58-26。

# ボイラの重油専焼

## 1. まえがき

戦後、電力再編成により火力発電の増強を行ってきた各電力会社が、ボイラの重油専焼の方針に強い関心をもってきたのは、表1.1にみられるように、重油の石炭に対する経済的競争力が上まわってきたのが主原因である。

表 1.1 地域別発電用燃料価格 (単位 円/kcal)

		北海道	東京	中部	関西	中国	四国	九州
昭和32年度	石炭	8.4	11.4	11.5	10.1	9.0	10.5	8.4
	重油	13.6	11.4	11.4	11.3	11.8	10.8	13.9
昭和33年度上期	石炭	7.6	10.4	10.2	9.3	7.5	9.7	7.5
	重油	11.7	8.8	8.0	8.8	7.8	8.8	9.9

最近、この傾向はますます助長され、電力需要のいちじるしい増大およびラント熱効率の上昇にともなって、小中容量はいうに及ばず、高温高压大容量ボイラも、従来の石炭重油混焼方式に代わって、重油専焼方式が採用され、とくに最近建設を開始した東京電力の五井発電所には、蒸気タービン定格出力265 MW、ボイラ最大連続蒸発量900 t/h、設計圧力200 kg/cm<sup>2</sup>というわが国はいうに及ばず、世界においても例をみない高温高压大容量の重油専焼ボイラが設置されて、わが国も重油専焼火力への一歩をふみ出した。

表1.2に、アメリカのCE社製大形重油専焼ボイラの一例をまとめたが、本来重油専焼ラントは欧米においてもその例が少なく、たとえば、アメリカでは、電力会社の一般方針として重油を燃料のベースとしてもガスも燃焼させる方針としており、しかもその大部分は、将来石炭に改造されるように計画されているのが普通である。

表 1.2 CE社製大形重油専焼ボイラの一例

会社名	プラント名	タービン 定格出力(MW)	蒸発量 (t/h)	設計圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	蒸気温度 (°C)
Florida Power & Light Co.	Port Everglades	240	725	172	541/541
Philadelphia Electric Co.	Schuylkill	175	530	193	565/539
Pacific Gas & Electric Co.	Morrow Bay	150	530	144	539/539
Florida Power & Light Co.	Cutler	145	453	120	541/541

燃料として重油だけを使用する重油専焼ボイラは、今までの形式に対して、メカ側ばかりでなく、使用者側もかなりその観念を再検討するところがあり、石炭を使用することによる種々のトラブルがなくなる一方、重油専焼によって今まであまり問題とならなかった事項が大きくクローズアップされ、技術的再検討が行なわれているので、経済性および使用上設計の問題点を中心に総括し、ボイラ重油専焼の意義を明らかにしたい。

## 2. 重油専焼の経済性

各電力会社がボイラの重油専焼の採用に強い関心をもつにいたった原因は種々考えられるが、主として、つぎの五つに要約できよう。

- (1) 将来の燃料経済への見通し
- (2) 資金的問題

- (3) タンカー大形化による重油供給量の増大と輸送コストの低下
  - (4) 最近の中近東を主とする油田の開発
  - (5) 電力需要の増大に対する大容量高温高压設備への要望
- このうち、とくに電力需要の急激な増大に対する大容量火力への要望に対応して、重油専焼の経済的有利性が大きく作用している点はみのがすことができない。

重油専焼の経済的有利性は主として次の四つに集約されるとみてよい。

- (1) 重油価格の低下による運転費の減少
- (2) ボイラ設備自体の縮小によるボイラ設備費、据付面積の減少
- (3) 石炭および灰処理関係補機類の不要による設備費および据付面積の縮小
- (4) 上記補機類関係の人員減少による人件費の減少

## 3. 使用重油の選定

ボイラ設備の設計に使用される重油の性状を検討しなければならないことは石炭の場合となら変わりはないが、とくに日本で使用されるボイラ用重油は、主として中近東産となるため、ナジウム分およびイオウ分がかなり多く、欧米の設計をそのままもってくることはできず、使用上および設計上注意して考える必要がある。

いま、日本で決められている重油成分および性状に関する工業規定と比較のためアメリカにおける重油規格の一例を表3.1に載せたが、日本で実際に入手される重油はかなり粗悪油が多く、含有イオウ分についてはある電力会社の調査結果を表3.2に示されるように、かなり高いことがわかる。

表 3.1 重油規定比較

種類	引火点	動粘度 cst (50°C)	粘度 (50°C) (レッドウッド) 205~612	水分 (%)	灰分 (%)	イオウ分 (%)
JIS K2205 3種 2号	>70	50~150	(フロール) <40	<0.5	<0.1	<3.5
ASTM D-396 No. 5	>54.4	<81	(フロール) 45~300	<1.0	<0.1	制限なし
ASTM D-396 No. 6	>65.6	92~638		<2.0	<0.1	制限なし

表 3.2 ボイラ用重油イオウ分 (昭和33年調査例)

イオウ分 (%)	<2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5<
総受入量に対する割合 (%)	10	45	21	22	1

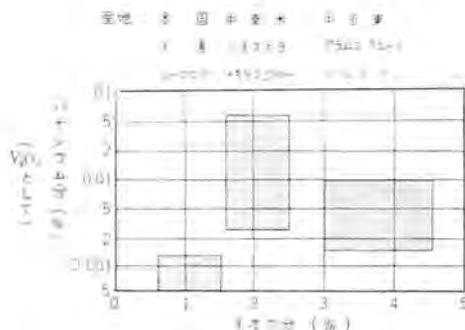


図 3.1 重油の産地とナジウム分、イオウ分との関係

また、イオウ分およびバナジウム分について、産地別にその概要を示せば図3.1のようになっており、わが国にはいる重油の多くが中近東産である点を考えると、前述のとおり、ボイラ自体の設計も種々の技術的検討が必要であることがわかるであろう。

4. 重油専焼ボイラ基本計画上の考慮点

ボイラ基本計画上の諸点のうち、従来考えられてきたボイラ自体については、すでに周知されていることと思われるので、ここでは重油専焼という燃焼方式の採用により従来の石炭重油混焼方式に比較して、とくに大きく変わる基本計画上の主要点につき解説して認識の一助としたい。

重油専焼によって考慮しなければならない基本計画上の主要点は次の五点と考えることができる。

- (1) 高温腐食とその対策
- (2) 閉塞現象とその対策
- (3) 低温腐食とその対策
- (4) 振動現象とそれに対する考慮
- (5) 空気汚染に対する考慮

5. 高温腐食

重油専焼ボイラでは、その設計のいかんにより、過熱器管、再熱器管などボイラの高温伝熱面にスラッグが付着してボイラ稼働率の低下、通風動力の増加をひき起こすと同時に、伝熱面が腐食され、はなはだしい場合には管の破裂事故を発生せしめるに至る。

重油燃焼生成物が高温伝熱面に付着し、かつ金属を侵食する機構については種々の実験研究が行なわれており、実際のボイラにおいても経験され、その内容が次第に解明されつつあるが、重油中にごく微量含まれるバナジウム ( $V_2O_5$ ) と硫酸ナトリウム ( $Na_2SO_4$ ) がその主役を演じていることにはまちがいない。

重油中にごく微量含まれるバナジウム ( $V_2O_5$ ) は、その融点が他種化合物に比較してはるかに低く  $670\sim 680^\circ C$  の領域にあり、さらにナトリウムと結びついたバナジウムは融点がさらに下がり、時とすると  $600^\circ C$  以下にまでなり、高温高圧ボイラの最高メタル温度がそれ以上となる場合には、高温ガス中で液状となったこれら化合物がその伝熱面をぬらし、保護作用をする酸化被膜を融解し、酸化、硫化をともなった激しい腐食を起こすこととなる。

表5.1は、アメリカのEdger発電所(81,250MW 1,000/1,000°F)重油焚ボイラの実際の腐食例で、51ヵ月運転後の高温腐食による管肉厚の減少量を計測した結果である。このボイラでは、ベ

表 5.1 EDGAR 発電所過熱器および再熱器管肉厚減少量(運転51ヵ月)

	平均減少量	最大減少量
再熱器	1.6~3.2 mm	4 mm
過熱器	0.8~2.4 mm	2.4 mm

表 5.2 重油焚ボイラ高温部付着物分析例

				分析値 (%)
シ	リ	カ	$SiO_2$	2.8
ア	ル	ミ	$Al_2O_3$	2.1
酸	化	鉄	$Fe_2O_3$	4.8
酸	化	カルシウム	$CaO$	7.8
酸	化	マグネシウム	$MgO$	1.8
五	酸	化バナジウム	$V_2O_5$	8.6
ア	ル	カリ	$Na_2O$	24.3
硫	酸	塩	$SO_3$	43.8

ネズエラ重油(バナジウム 332 ppm)を使用している。

また、表5.2は重油焚ボイラ高温伝熱面付着物の分析例を示す。

6. 高温腐食防止対策

高温腐食障害の主役をなすバナジウム、硫酸ナトリウム、また後述の低温腐食の主役をなすイオウ分についても、燃料油中から直接除去するところみが、今まで種々行なわれてきたが、いずれも経済的に成り立たず、特別な例外を除いては現在では行なわれていない。

したがって、現在実際のボイラでは次の二つの方法のうち、どちらかまたはともに併用されている場合が多い。

- (1) 伝熱面の金属表面温度を安全温度以下に保持する方法
- (2) 添加剤を使用して、高温腐食因子を化学的に処理する方法

(1)はボイラの設計に関した問題であり、(2)はボイラの運転に関係した問題である。

6.1 伝熱面表面温度の抑制対策

重油専焼として計画されたボイラでは、伝熱面表面温度の抑制に対しては十分の対策がたてられているが、実際には下記の諸点が考慮されている。

- (1) 過熱器管、再熱器管の金属表面温度をできるだけ抑え、しかも性能に支障のないよう、蒸気温度とにらみ合わせ配置、寸法、構造について計画する。
- (2) 蒸気およびガスの偏流が起らないよう、管内流速、ヘッドおよび配管を計画する。
- (3) スペーサ、乱れ止め金具など高温ガスにさらされる部分ではできるだけ水冷式とし、過熱を起こさないようにする。なお蒸気条件自体の選定についても使用重油に応じて慎重に検討の要がある。

6.2 添加剤による腐食抑制対策

金属表面温度が高温になっても、高温ガス中に含まれる腐食性物質を変え、不活性またはそれに近くして実際上害のないようにすれば高温腐食を防止することが可能である。このため、添加剤を燃焼ガス中に吹き込み反応を行なわせることが行なわれる。

添加剤としては種々あり、入手の便利さや価格その他の関係からアメリカでは各発電所によりまちまちであるが、フロマイトや水酸化マグネシウムなどが多く用いられている。フロマイトとはカルシウムとマグネシウムの天然化合物で、その組成は概略  $MgCO_3$  が40%、 $CaCO_3$  が60%である。低温腐食にも関係するが、それは別項目としてのべたい。

図6.1は、添加剤注入装置の極要を示すが、このように比較的簡単な装置により注入することができる。もちろん、アメリカ

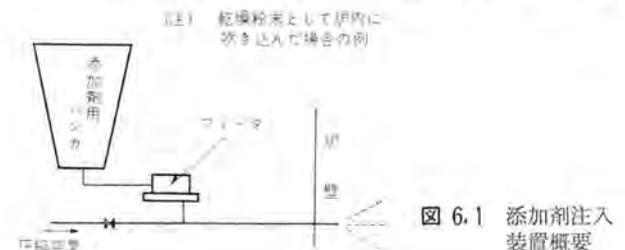


図 6.1 添加剤注入装置概要

の Linden 発電所のように大規模な装置を持ったものもあるが、特別な場合以外このようなことは必要ないし、日本の国情にも適さないであろう。

添加剤は、この国で示されるように、乾燥粉末として空気とともに炉内に吹きこまれるか、重油と混入せしめてパナより噴射させる方法が採られる。アメリカの Linden 発電所、Edger 発電所は前者の例であり、Marion 発電所は後者の例である。

## 7. 閉塞現象とその対策

前述のとおり、燃焼によりスラッグの形成は避けられないが、低溶融点のアルカリ硫化物が付着してこれが媒体となって順次付着し、しかも石炭燃の場合に比して除去困難な悪質なものであり、ボイラ稼働率の低下、通風動力の増加、過熱による障害を惹起する。

これに対する対策としては、つぎの諸点が考慮される。

- (1) ストブローを適切な位置に必要な数配置する。
- (2) 添加剤を使用して、スラッグの性質を除去しやすいものとする。
- (3) 性能に悪影響を及ぼさない範囲で管ピッチを広げる。
- (4) 水洗の効果があるので、停炉時水洗可能なように水洗装置を設備する。

とくに低温部の空気予熱器には必ず水洗装置を設備し、運転中水洗可能なようにしておくことが必要であろう。

## 8. 低温腐食

最近の高性能ボイラは、ボイラの効率を上げるために排ガス温度をできるだけ低く設計するので、空気予熱器の低温部でその金属温度が排ガスの露点以下に下がり、腐食および通路閉塞を起こす。この場合には熱効率の低下を招来することはもちろん、場合によると運転を中止することにもなる。

低温伝熱面の腐食の原因は、燃焼ガス中の $SO_2$ の一部が酸化して $SO_3$ となり、さらに燃焼ガス中の水分と化合して硫酸となって凝縮し腐食を起こす。

燃焼ガス中の $SO_2$ は重油中に含まれるイオウにより燃焼時生成されたもので、このうち3~14%が $SO_3$ となるが、この転化割合は空気過剰率によって、また触媒作用をもつバナジウム含有イオウ分によってもことなる。

## 9. 低温腐食防止対策

低温腐食を防止する対策としては一般に次のような方法が考えられている。

- (1) 低温部の金属表面温度を安全温度に保持する。
- (2) 添加剤を使用する。
- (3) 耐食性材料を使用する。
- (4)  $SO_2$ の生成を抑制するように運転する。
- (5) 伝熱面を水洗する。

実際には、(1)に対しては空気予熱器入口の蒸気式空気予熱器の設置、熱空気再循環、バイパス法などの方法が採られ、(2)に対しては前記のフロイトや水酸化マグネシウム、低温用としてのアンモニアの使用が行なわれているが、詳細は紙数の関係で略したい。

## 10. 振動現象とそれに対する考慮

わが国においても、すでに経験されているように、重油専焼では炉幅がある程度以上になれば、とくにボイラ後部の対流伝熱面に振動が発生し、つぎのようなトラブルが発生するのでこれ

に対する対策を考慮しておくことが必要である。

- (1) 通風動力の増加
- (2) ボイラ回りのパネル、機械類に及ぼす振動
- (3) 騒音による各種補機の運転監視不可能
- (4) 炉壁その他の機械的疲労

この原因についてはすでに検討されているとおり、管の下部に発生するカルマン渦の発生周期とガス通路幅方向の長さと共に鳴る音波の周期とが合致したとき、ガス通路全体が振動箱となって振動するもので、配管の口径、形状、ガス温度、ガス流速およびまわりの構造などが影響する。

これに対する対策は、通常適所にパッフルを置いて、共振点を取除く方法が採用されている。

## 11. 空気汚染に対する考慮

重油専焼ボイラが多数建設されるにつれ、今後都市における空気汚染の問題が重大化することが予想され、これに対する研究も行なわれはじめているが、主として次の三つの対策がたてられている。

### 11.1 酸化窒素軽減対策

従来、空気汚染の主因子は $SO_2$ またはダストと考えられていたが、戦後アメリカにおいて研究調査が行なわれ、酸化窒素も大きい役割を果たしていることが判明した。

$NO$ の発生は燃焼の際必然的に付随するものであるが、ボイラの運転法によってもある程度軽減することができる。

アメリカのSchuylkill発電所でテストした結果によれば、表11.1のように、燃焼ガス中の $O_2$ を4%より2%に減ずれば、 $NO$ は270 ppmより180 ppmに減ずる結果となり空気過剰率を極力押えることが要点となる。

表 11.1 ボイラ運転方法による $NO$ の変化 (SCHUYLKILL 発電所)

運 転 方 法	$NO$ 量 (ppm)
空気過剰率 $O_2$ を4%より2%に下げる	270より180に減少
ガス再循環型 15%より0%に下げる	200より250に増加
重油温度 138°Cより93°Cに下げる	250より280に増加

### 11.2 亜硫酸ガス軽減対策

ボイラ排ガス中には $SO_2$ を0.3~0.5%含み、回収困難な場合が多いが、農作物に対する煙害対策などで、その除去が検討され、このうち、アンモニア法がもっとも有望な方法との結論を得ている。

- (1) 水洗法 (水に吸収させた後、酸化中和処理)
- (2) 石灰法 (中和吸収)
- (3) アンモニア法 (中和吸収)
- (4) サルフィジシ法 (吸収させて後水で吸収)
- (5) 酸化亜鉛法 (中和吸収)

### 11.3 煙突に対する考慮

重油燃による煙害防止の一手段として、煙突からのガス速度と煙突高さが煙突から出される有害成分の分布にどのように影響するかの検討が行なわれているが、気象条件その他不確定要素が介入するため一般的な結論を得るには至っていない。

## 12. む す び

重油燃ボイラは今後ますます建設されることが予想され、その問題点については詳細に紹介したかったが紙数の関係で割愛した。とくに添加剤の性能および経済的効果、腐食に対する具体的対策、空気汚染対策など、重要な問題を割愛せざるを得なかったことをお詫し願いたい。(三菱長崎造船所 木岡 昇)

## 電力系統計画のためのシステム・シミュレーション

System Simulation For Aiding Utility Planning and Operation (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 4, Sept., 1960, p. 130)

電力系統を経済的に拡張しようとするとき、負荷の増加、運転事故、保有容量の推移など、将来のでき事をどうすれば予測することができるかが、電力系統計画者の直面する問題であり、拡張計画は、これを決定する以前に解決しなければならない上記のような複雑な多くの関連事項があるので非常にむずかしいことである。

新しいテクニックであるシステム・シミュレーションは変数が多過ぎて直接解を求めることができないような問題を解くには非常に有効な武器である。

まず、数式と法則とによって電力系統を表現する数学的モデルが作られる。実際の系統が、種々の外部条件に対して示す応動は、モデルの中に数式化された形ですべて組み込まれ、このモデルによって電力系統の日常の運用状況は完全にシミュレートされる。

電力系統運用の実時間を短縮するために、数学的モデルはデジタル・コンピュータにより解析される。たとえば12年後の運用状況は、一つの系統について約6分間でシミュレートされる。取扱われるモデルは、負荷のシミュレート、供給力のシミュレート、供給予備力の考え方、設備投資のモデルなどいくつかのサブモデルからなり、これらを組合せて計画全体の大きなモデルとしてシミュレートし、電力系統の総合的計画を行なう。

### 負荷のシミュレート

計画の基礎となる将来の年、月および日の想定負荷は、まず過去の実績を延長して年最大負荷電力の傾向を想定し、つぎにこの傾向値に対して実際に起こりうる偏差状況は過去の実績値の偏差状況からマルコフ鎖とモンテカルロ法により求める。各月の最大負荷電力は、年間の成長曲線に季節特性係数を乗じて得られ、1日の最大負荷電力は、他のモンテカルロ法によって月間平均から得ることができる。

### 供給力のシミュレート

供給力としては全発電設備から事故や保守のために停止しているものを除いた設備が当たることになる。

事故の発生は偶発的現象であり、これはモンテカルロ法によりシミュレートできる。

このほかに、事故が起きても全出力を停止しないで部分負荷運転を行なう場合とか定期点検など、偶発的だけでなく人間の判断、決定に基づく要素も考慮しなければならないが、これらもルール化して供給力モデルに導入できる。

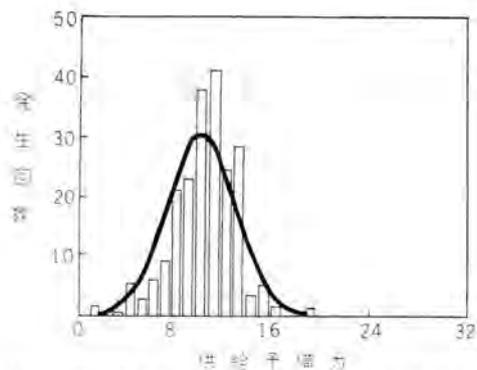
### 供給予備力の考え方

以上のような、各月の日の負荷と供給力のシミュレーションから各月の日供給予備力の状況が求められる

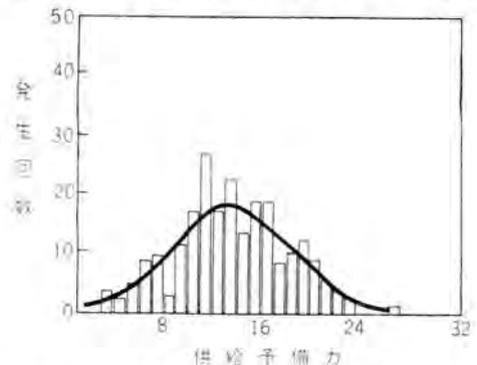
図(a)、(b)はそれぞれ10回のシミュレーション結果による210の平日予備力のヒストグラムである。

### 経済評価のモデル

長期拡張計画の経済比較は、発電所資本費、発電費および送



(a) 1961年1月 平均値=10.14%  $\sigma=2.79\%$



(b) 1961年6月 平均値=12.6%  $\sigma=4.7\%$

10回のシミュレーションによる平日の供給予備力の分布状況電線建設費の三つの費用により決定される。そうして種々の異なる計画について求めた発電費、資本費などを合わせた毎年のコストを現在価値に換算して比較することにより計画の経済評価を行なう。

以上述べたような、複雑な計算は電子計算機の活用により計画の策定あるいは比較検討を高速度で行なうことが可能となった。ある系統について、20ヵ年の計画の計算をIBM-704により1~2時間で行なうことができる。(本社 迎久雄訳)

## 航空機用電気系統の熱保護装置

Thermal Protection for Airborne Electric System (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 6, Nov., 1960 p. 166)

航空用電装品で消費される電力はたいてい最終的に熱に変換されるため、この熱は困難な状況のもとで処理しなければならない。さらに悪いことには電装品はある基準温度で熱に敏感なので希望する運転期間中構成素子を満足に動作させるような低温保護装置が要求される。したがって現在次の三つの耐熱対策が電気設計者によって提案されている。

1. 装置の熱損失の低減
2. 耐熱材料の発達
3. 熱の排除方法

最近のレーダ系統を例にあげると各種の広範囲な要求により発熱負荷は増大し最少発熱量の電気材料の使用が必要となっている。電子管の代わりにトランジスタを使うと発熱負荷は確かに減少するが小形化によって逆に熱密度 ( $W/in^2$ ) は増大し装置

を破壊してしまうような欠陥も生ずる。そこで電装品は予備設計で電気と熱の合成問題をよく考慮して温度破壊効果を最少にするよう設計すべきである。温度上昇はまた電装品材料の強度をそこなったり、その他電気特性にも悪影響を及ぼしたりする。一つの保護方法としては発熱材料と非発熱材料を個々に絶縁し温度感知装置を用意することである。低熱伝導率、低熱密度、高比熱を有する材料を使用すると高速度飛行中流体力学的発熱効果はオフセットできる。技術と材料によってある限度まで発熱負荷を減少し耐熱臨界温度を増加できるがこれ以上の熱に対しては積極的に排除しなければならない。そこで次に述べる熱排除方法が必要となってくる。

- a. 空気-空気式
- b. 空気循環冷却式
- c. 液体冷却式
- d. 気化冷却式
- e. 気化-空気循環式

しかし一般には上述の熱交換機基本方法単独ではなくその組合せが適用されている。レーダ系統を例にとっても送信機の発熱素子、電源、変調機およびクライストロンはおのおの sulfur hexafluoride gas-空気式、空気-空気式、液体冷却式で冷却、受信機は直接ラムエア冷却という四つの異なる冷却方式の組合せである。固体装置による電気素子と回路の小形化は発熱保護に対する次の段階を暗示しているが熱電子装置は電流が2個の異種金属の接合点を通ると冷却が生ずるという原理で動作し冷却可能量は印加電流の関数となる。この種の冷却の問題点は低熱伝導率、高熱起電力、と低電気抵抗を持つ材料の開発である。各種の冷却技術はおのおの特別な応用に利用され、二、三の系統の組合せが熱問題の解決にしばしば必要である。

(名古屋製作所 篠原宇一氏)

## スイッチギヤ

Switchgear (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 1, 1961, p. 9)

### ガスシャ断器

46 kV から 230 kV までの 75 台以上の SF<sub>6</sub> シャ断器を製作中で、その内容はつぎのようである。

最初の 230 kV シャ断器は 1960 年 10 月 Pennsylvania Power & Light Co. の Brunner Island 発電所にすえ付けられた。定格は 15,000 MVA 1,600 A である。他の 1 台は Southern California Edison Co. の Laguna Bell 変電所で現地試験を行なった。

161 kV では TVA に 15,000 MVA 3,000 A が製作中である。

138 kV 10,000 MVA は 1960 年に Consolidated Edison Co. の Hell Gate 発電所にすえ付けられた。

69 kV 5,000 MVA シャ断器は Cincinnati Gas & Electric Co. 向けに製作中である。

34.5 kV から 69 kV までは、パツファ形の SF<sub>6</sub> シャ断器を開発中である。これは各極が水平に置かれ機械的につながれ、空気投入パネリははずしである。「接地タンク」構造で両端にガイシの端子がつき、全体が 3.1 kg/cm<sup>2</sup> のガスで満たされパツファがガスをオリフィスから流出させて消弧する。46 kV の試作品で 500 MVA までの試験が行なわれ最大シャ断時間 3.5 サイクルであった。最初の 46 kV 500 MVA シャ断器は本年中ごろ Georgia Power Co. にすえ付けられる予定である。

### 負荷開閉器

LCB 形負荷開閉器は短絡に投入できるよう改良された。これは 5, 7.2, 14.4 kV で 600 A の負荷開閉に使用されるものであるが、使用者より保守員が接地をはずし忘れているような事故のさい、短絡電流を投入できることが要求されていた。改良された LCB-2 形は接触子パネ機構を変え高速投入し、40,000 A が投入できるようになった。

### 低圧配電

15 kV の リクローザを含むキ電線器具がパッケージ化された。これはアルミニウムフレーム、引出形断路器付 PR 形リクローザ、バイパス装置、避雷器、計器用変成器、プラスチック被覆母線、キ電線出口などからできており、リクローザ操作用 240 V 電源として 5 kVA 配電用変圧器も取付けられる。工場組立され小形で経済的なすえ付けができる。

LV 形配電用避雷器は避雷器故障のばあい爆発しないようドロップアウトするようになった。発電機用と同じ Mobilare Gap と新しい弁要素をもち、従来のものより小形で軽い。3 kV から 27 kV の定格である。

新しい LBU 形負荷シャ断開放形カットアウトはヒューズリンクを破壊せずに繰り返し手動負荷シャ断できるようになった。従来のものは手動でヒューズリンクを切ることによってシャ断したが、新形はアークシュート狭いミジの内部をヒューズブレードが通ることによってシャ断する。定格はヒューズ付で 15 kV 100 A、断路器は 200 A である。(伊丹製作所 永田秀次氏)

## “巨人”を試験するための“巨人”

Transformers (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 1 January, 1961, p. 6)

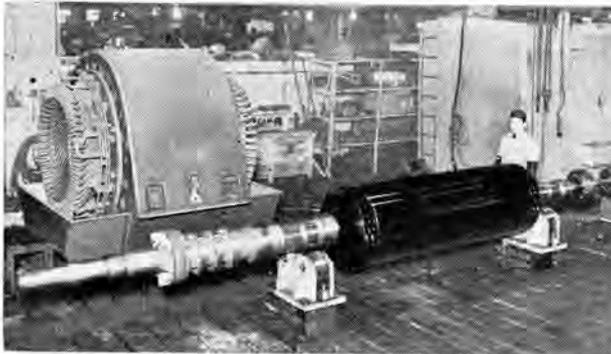
電力用変圧器が急速に大形化するにつれて、その性能をたしかめるための試験設備も、大容量の、しかも複雑なものが要求されるようになった。現在 W 社がインディアナ州マンシーに建設中の電力用変圧器工場で用いられる試験用変圧器も、その一例である。この変圧器は三巻線形で、それぞれ 13.8 kV 20,000 kVA、24 kV 125,000 kVA、249 kV 125,000 kVA の定格を有している。13.8 kV 巻線は発電機から励磁され、34 ターンから 68 ターンまで 1 ターンとびに巻数を変えられるので、結局他巻線の電圧を 1:2 の範囲に変えることができる。24 kV 巻線はコンデンサバンクに接続され、試験中に進相容量を供給するために用いられる。この巻線は一人切替スイッチを有し、単相で 6,490~42,210 V、三相人結線では 5,620~36,560 V の電圧が得られる。この電圧は、13.8 kV 巻線のタップと 33 点の URT 形負荷時タップ切替器、さらに 5 点の無負荷タップ切替器を使用することにより、5,775 種類に変化できる。249 kV 巻線は負荷すなわち試験すべき変圧器に接続される。スイッチ類、タップ切替器はすべて電動式であり、これらの器具を収納したため、この変圧器は寸法的に、かつて作られた変圧器の中で最大級のものになった。変圧器の鉄心、コイルを収納する下部タンクはシュナーベル形貨車で、スイッチ類を収納する上部タンクは低床形貨車で、それぞれ輸送される。完全に組み上がったときの寸法は、幅 5 m、長さ 10 m、高さ 13 m で、重量は約 440 t に過する。電力用変圧器の試験には、実に膨大な設備が必要なのである。(伊丹製作所 菅 寿郎氏)

## ■ 5,800 kW 二極誘導電動機完成

富士製鉄広畑納め 5,800 kW 二極三相誘導電動機は、本年2月に完成し、3月末より順調に営業運転にはいっている。この電動機のおもな仕様はつぎのとおりである。

出力	5,800 kW
電圧	11,000 V
周波数	60 c/s
極数	2
同期速度	3,600 rpm
形式	全閉内冷形両軸端出
回転子形式	巻線形
用途	コンプレッサ

この電動機は、巻線形二極誘導電動機としては、わが国最大のものである。回転数が速いため、遠心力による大きな応力に耐える構造とするとともに、局部的な過熱がないように、回転子は単層巻線とし、コイルエンド部はバインド線の代わりに非磁性の保持環を用いるなど、構造通風方式にとくに留意して設計してある。



5,800 kW 二極誘導電動機

## ■ 充填絶縁内部冷却変圧器完成

新絶縁方式と新冷却構造からなる充填絶縁内部冷却変圧器第1号器が完成し当社伊丹製作所の新設変電所に据付、運転開始された。仕様はつぎのとおりである。

三相	12,000/15,000 kVA	60 c/s	
外鉄形	フォーム・フィット式	油入風冷式	
一次	80.5-77-73.5-70 kV	◀	15 (12) MVA
二次	3.3-6.6 kV	人	10 MVA
三次	3.3-(6.6) kV	人	7.5 (5) MVA

カッコ内 は自冷時の出力

従来の電力用変圧器の絶縁は油隙と油浸プレス・ボードの組合せにより構成されていた。しかしこの組合せ方式は、コイルの冷却のためやむをえない構造であるが、プレス・ボードを絶縁物



充填絶縁内部冷却変圧器

として最大に活用していない。充填絶縁内部冷却構造は、従来形と同様のコイルが並列回路のまま2分割され、その等電圧コイル・セクション間に油隙を介し、主絶縁および直列コイル間はプレス・ボードをもって充填しており画期的な変圧器である。

内部冷却充填絶縁構造では小さい油隙(ポイド)の介在を許さないで、従来形のようにプレス・ボードの接合に重ね継ぎを採用できず、すべてテープ接合になる。とくにコイルの近傍にはポイドが存在しないように、また電位傾度が高くなるので課電音で先端がないよう特別の考慮が払われている。

充填絶縁内部冷却変圧器はウエスチングハウス社で多年の基礎研究を経て、製品化に成功したもので、変圧器製作上の第三の革命と称されている。当社もこの技術を習得し、工場設備をととのえて高電圧大容量器への採用を準備中である。この方式は外鉄形変圧器に有効に適用できるのであり、これにより変圧器重量寸法を10~20%縮小することが可能で、組立輸送可能な容量限界を大幅に増大することができる。

写真は15 MVA 内部冷却充填絶縁変圧器第1号の外観を示す。

## ■ 国鉄北九州交流電化キ電線保護用 KZC 形距離継電器

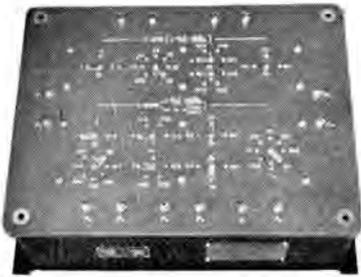
国鉄北九州地区交流電化にともない、そのキ電線保護のため、新しい高性能継電要素(シリンダ要素)を主要素とした新形距離継電器(KZC形)を30台製作納入した。

昨年11月現地において行なわれた人工故障試験の結果、41回に及ぶ試験にいずれも満足すべき成果を収めた。とくに動作スピードの早いことと、接点状況の良好なこととで好評を得た。その後、当社模擬送電線により形式試験を行ない、この継電器の種々性能を明らかにした。

おもな特長は、つぎのようである。

1. 第一段、第二段より成り、第一段はモ-特性、第二段はオフセット・モ-特性となっている。

2. 復帰値は、動作値の95%以上である。
3. 今回納入の最小保護区間（亘長 5.6 km, 整定 4 Ω）でも、動作スピード3サイクル以下である。
4. 距離測定精度は、整定値の±5%以内である。とくに、DC分、過渡分の影響を受けにくい。
5. 動作時間のバラッキ少なく、接点状況良好で、その動作に十分な信頼性が置ける。



KZC-FT 形 継電器用  
補助整定箱



KZC-FT 形 短絡方向  
距離継電器

### ■ NFM 形 225 A フレーム D 形電動操作式 ノーヒューズシャ断器の完成

NF 形 225 A フレーム D 形 ノーヒューズシャ断器に電動操作機構をとりつけ、シャ断器の“入”“切”および“リセット”を電氣的に遠方から制御できるもので、従来の NFM 形 225 A フレーム H 形ノーヒューズシャ断器に比べ、取付面積は、65%に小形化された。

仕様

表面接続形 裏面接続形 サシ込接続形  
シャ断器の定格電圧 AC 600 V DC 250 V  
シャ断器の定格電流 70~225 A  
定格シャ断容量



NFM形 225A フレームD形  
ノーヒューズシャ断器  
(裏面接続形)

AC 600 V	10,000 A	(JIS 規格)
AC 600 V	20,000 A	(NEMA 規格)
AC 250 V	30,000 A	(NEMA 規格)
AC 500 V	20,000 A	(NK 規格)
DC 250 V	10,000 A	(JIS 規格)
DC 250 V	40,000 A	(NK 規格)

引はずし装置：非取換形、熱動-可調整電磁形。

付属装置：補助スイッチ、信号スイッチ、低電圧引はずし装置、分路引はずし装置などが取付けできる。

操作電動機の定格

AC 100/110 V	50/60 c/s	9 A	DC 100 V	5 A
AC 178 V		5 A	DC 200 V	2.5 A
AC 200/220 V	50/60 c/s	約 4.5 A	DC 230 V	2.2 A

### ■ オートカット付スーパーライン A モートル の生産開始

モートルを絶対に焼損から防止するために安価でかつ確実な三菱熱動安全器（オートカット）を取付けた三相モートルをこのほど量産することになった。

オートカットはその保護特性、耐久性などいずれも満足のゆくものであって、モートル本体に取付けられ、過電流が流れた場合、オートカット中のヒータ元素の加熱とモートル各部の発熱とによってバイメタルを反転し電流をシャ断する機構のものである。オートカットはまた小形軽量で、あらかじめモートル端子箱内で結線されており、したがって保守、点検は非常に簡単である。

今回、量産を開始する機種は防滴保護形（SB-A 形）、全閉外扇形（SF-A 形）いずれも四極 3.7 kW 以下のものである。

### ■ 小形化された SF-A 形 750 W 四極 スーパーライン A モートル

電動機の小形軽量化ということは国の内外を問わず、今日の大きな課題となっている。当社ではさきに防滴保護形 SB-A 形 750 W 四極の小形化に成功したが、ひきつづいて今回さらに全閉外扇形 750 W 四極の小形化を完成した。全重量は従来品に比べ 75% 程度に軽減した。しかも構造部分の機械的強度は従来品とまったく同程度であり、電氣的特性、すなわちトルク



旧形



新形

特性、効率、力率なども従来品に遜色なく、さらに通風冷却効果の合理化によって温度上昇も JIS 規格に対して十分余裕をもたせることができた。なお取付関係の寸法は従来品とまったく同一である。



FM-10 形 (25 W) 移動局交流電源付 1 式  
(左端の交流電源を取はずすと直流専用になり、さらに左から 2 番目の 25 W 電力増幅部を取ると FM-9 形移動 (10W/5 W) になる)

## ■ 各種トランジスタ VHF/FM 無線機 型式検定に合格

かねてから鋭意開発中であった トランジスタ無線機 は次の 9 機種が、昭和 36 年 2 月 28 日付で、郵政省より正式に型式検定合格通知を受けた。

機種	社内形名	型式名称	送信出力(W)	使用電源
150 Mc 移動	FM-9 A 1	MB150 LC 10AD 2-1	10	AC 100 V DC 6 V 12 V
" "	FM-9 A 2	MB150 LC 5AD 2-1	5	"
" "	FM-10 A 1	MB150 LC 25AD 4-1	25	"
" 固定	FS-10 A 1	MB150 LF 50 A 3-1	50	AC 100 V
" "	FS-10 A 2	MB150 LF 25 A 3-1	25	"
60 Mc "	FS-10 C 1	MB 60 LF 50 A 3-1	50	"
" "	FS-10 C 2	MB 60 LF 25 A 3-1	25	"
" "	FS-10 C 3	MB 60 LF 10 A 3-1	10	"
" "	FS-10 C 4	MB 60 LF 5 A 3-1	5	"

これらは従来の真空管式とまったく同じ環境条件において型式検定試験に合格したものである。上記原検定合格機種から FS-10 形の 5 W、10 W さらに卓上形の FS-9 形各機種が変更承認される予定である。

### 性能

1. 使用周囲温度 -10°C ~ +50°C
2. 電源電圧 DC 6 V, 12 V  
または AC 100 V  
(電池の接地極性は任意)
3. 主要性能 電波法による設備規則と型式検定規則に規定された全項目に合格する。
4. スケルチ制御範囲 0 dB ( $\mu$ V) ~ 20 dB ( $\mu$ V) まで調整可能

### 特長

1. 受信部・直流電源は全トランジスタ、送信部は出力部分を除きトランジスタ化し、消費電力の減少と小形化に役だっている。
2. 各部にプリント配線を採用している。
3. 温度補償回路を使用しているため真空管式と同一周囲条件で使用できる。
4. 移動用はトランジスタ DC-DC コンバータを使用しているため、機械的回転・振動部分がなく日常の保守が容易である。
5. 受信部に使用した新しいスケルチ回路は従来のトランジスタ回路のものに比し、動作が非常に鋭敏で、動作限界点での音量の低下がなく動作入力レベル範囲も真空管式とまったく同じである。



FS-9 形  
(10/5 W) 固定局

FS-10 形  
(50/25/10/5 W) 固定局

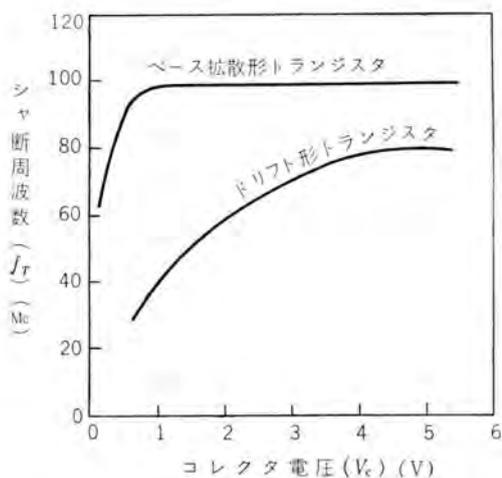
## ■ ベース拡散形トランジスタ

このほど低電圧用として開発を完了した ベース拡散形トランジスタは、約 100 Mc のシャ断周波数を有し、3 V のポータブル・ラジオ用のトランジスタとして最適のもので、目下量産準備中である。性能的には RCA のドリフト形トランジスタと TEXAS その他のメサ・トランジスタの中間に属するが、これら 2 種のトランジスタにくらべて歩留りが高く、特性の制御が容易であり、安価に量産できる特長をもっている。したがって、近い将来現在のドリフト・トランジスタはこのベース拡散形トランジスタにとって代えられるかも知れない。たとえば、最近ポータブル・ラジオは 9 V の電源から 3 V 電源に移行しつつあり、トランジスタとしては電池電圧が 1 V まで低下しても動作するものが必要である。低電圧特性は、図に示すようにドリフト形では電圧が 3 V から 1 V 以下になるとシャ断周波数がかなり低下するが、ベース拡散形では 1 V までほとんど変化しない特長をもっている。したがって 7 石ポータブル・ラジオでは高周波部分の 3 石ないしは 4 石がこのトランジスタを必要とし、またテレビ用としてもかなりの部分に使用することが可能で、24 石中 10 石がおきかえられる。いずれにしてもこれらゲルマニウム・トランジスタを使用する娯楽用商品の約半数のトランジスタはこの形のもので占められる可能性があるから、今後需要がかなり増えるものと考えられる。

製作法は約  $1 \Omega \text{ cm}$  の P 形ゲルマニウムにアンチモンを拡散して数  $\mu$  の N 形層をつくり、その上に直径約 0.1 mm のインジウム

と鉛の小球を約 50  $\mu$  はなして合金したもので、メサ形トランジスタと同じような構造を持っている。

電気的特性は、コレクタ耐圧 ( $V_{c \max}$ ) 20 V、コレクタ最大電流 ( $I_{c \max}$ ) 10 mA、コレクタ損失 ( $P_c$ ) 50 mW、 $\beta$  断周波数 ( $f_T$ ) 100 Mc、ベース抵抗 ( $r_{bb'}$ ) 70  $\Omega$ 、コレクタ容量 ( $C_c$ ) 2 pF である。ケーシングはドリフト・トランジスタの 2SA 148 と同じものを使用している。



## ■ インドネシア PTT 納め 400 Mc 帯トランジスタ多重

このほどインドネシア PTT (郵政省) から、400 Mc 帯トランジスタ化多重通信装置 2 式を受注した。この装置は、バンドンで電信局と送、受信所間の中継回線に使用される。

無線機は送信機の終段通倍、増幅部に真空管を使用するだけで、他はすべて半導体化され、従来のこの種の機器に比較して小形、高信頼度、低消費電力になっている。

写真はその外観である。端局装置は全トランジスタ化で CCITT 規格に準拠し、新しく開発した小形実装である。



400 Mc 帯トランジスタ多重

受注内容はつぎのとおりで、6 月末ごろ船積みの予定。

400 Mc 帯トランジスタ化多重無線機	4 台
24 Ch 実装 SSB 搬送端局装置	4 台
4 素子および 8 素子空中線	各 4 台
付属品、予備品、その他	各 3 式

## ■ 変圧器新乾燥設備

最近変圧器の高電圧、大容量化の傾向はとくにいちじるしく、乾燥の問題はますます重要度を加えつつある。

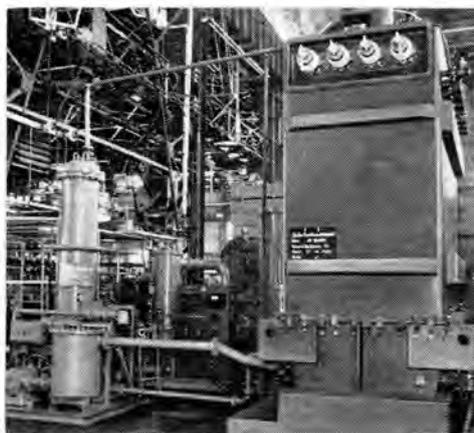
当社で高電圧、大容量のものに採用している外鉄形の変圧器の乾燥に、従来の方式と根本的に異なる新方式を採用する計画を進めてきたが、いよいよ最初の設備が完成し、実際に変圧器の乾燥に適用し、好成績を得た。

従来、変圧器の乾燥は、まず熱風乾燥を行なって中身を加熱し、ついで真空を引いて第二段の真空乾燥を行なう方式である。

これに対し、今回の新しい方式は熱油噴霧乾燥法と呼ばれ、変圧器のタンクに入れた少量の油を特殊なポンプを用いて循環し、熱交換器を通して加熱した熱油をノズルから中身に噴霧して、中身を加熱する。他方変圧器のタンクは排気装置で真空に引き続ける。したがって中身の加熱と真空排気の二つの工程が同時に実施されることになり、加熱媒体の変更と相まって、乾燥期間を従来の 1/3 ないし 1/2 に大幅に短縮することができる。

従来も一部には熱油乾燥法が行なわれていた。この熱油乾燥法は変圧器タンク内に油を満ちし、循環電流もしくは加熱器などの手段を用いて大量の油を中身とともに加熱するもので、加熱に要する熱量が大きい。また絶縁物中の水分はいったん油に溶解し、油面上からの放散や汚紙への吸収により除去するが、油の水分溶解能があまり大きくないため、乾燥の効率はあまり良くない。これに対し今回の熱油噴霧乾燥法では油は、もっぱら加熱媒体として用いられ、絶縁物中の水分は直接絶縁物の表面より真空ふんい気中へ除去されるので乾燥効率が格段に良くなるのである。

なおこの方式については、日本特許 (昭和 29-8139) として登録されている。



変圧器新乾燥設備



### 酸化金属皮膜のガラス管内面塗装法

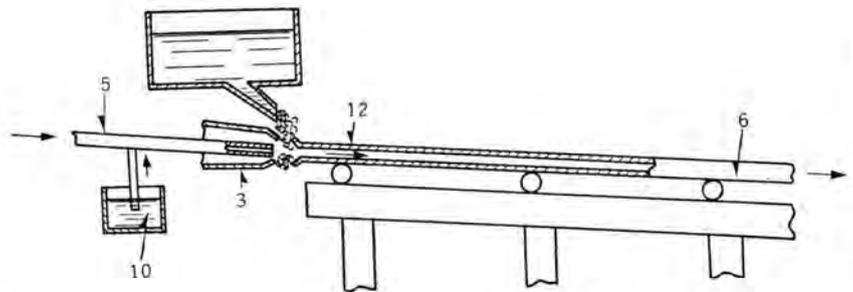
発明者 立原 芳彦・林 次郎

ロビッドスタート形ケイ光ランプ球の内面に透明導電性皮膜を焼付けるには、従来一定の長さに切断したガラス管を600°C以上の温度に均一に加熱する加熱炉と、この炉内において上記ガラス管を均一に回転する装置および上記ガラス管内面に、上記皮膜を構成する塩化金属の溶液ならびにこれを噴射させるスプレー装置などを必要とし、またその皮膜の焼付を連続的に行なうことも困難であった。

この発明はこの点を改良したもので、周知のターナーマシンの吹口(3)の圧縮空気パイプ(5)より吹出される圧縮空気を利用して、上記吹口(3)より連続的に引出される高温のガラス管(6)の引出端(12)より、塩化第二スズを主体とする噴霧液(10)を上記ガラス管(6)内に供給し、この管壁温度を

利用してその内壁面上に上記噴霧液(10)中の金属の酸化物よりなる透明導電性皮膜を直接焼付けるようにしたもので、上記のようにターナーマシンを活用することによって内面塗装に要する各設備を省略してその生産費をいちじるしく軽減できる特長を有するものである。

(特許第252396号)(長谷川記)



### 接続端子箱

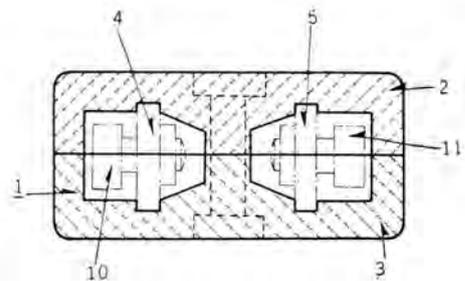
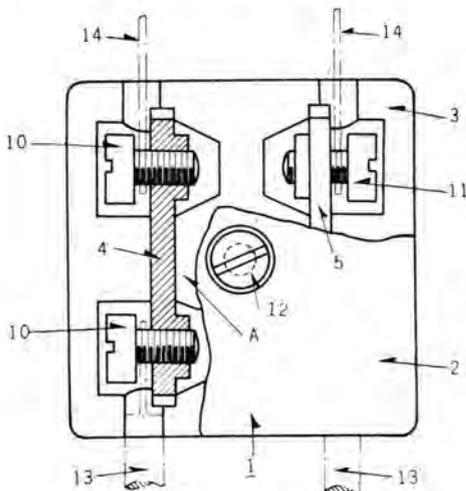
考案者 千賀 辰二

この考案はたとえば家庭用小形電熱器に使用するに便利なるようにその電線接続用端子箱を小形に改良したものである。

すなわち、端部にリード線(13)と電熱線の端を各一对のネジ(10)(11)で取付けた2枚の端子板金具(4)(5)を、上

記ネジ(10)(11)がそれぞれ互いに同一軸線上になるように、二つ割りの磁器製箱体素子(2)(3)間に対向状態に挟持して、上記4本のネジの先端部に空所(A)を作り、この空所(A)に上記両素子(2)(3)の緊締用ネジ(12)を設けたもので、とくに上記端子箱(1)の中央部に上記ネジ(12)を植立するための空所を作るように、上記両端子板金具(4)(5)を上記のように特定の状態で設け、かつ単一のネジ(12)で両箱体素子(2)(3)を一体に締付けるところに特長を有するものである。

(実用新案登録第496033号)(長谷川記)



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)和田倉(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(312) 代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り2の4(電)本局(23) 代表 6231
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)中(2) 2211
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(5) 8234
静岡出張所	静岡市呉服町2丁目1番地(電)静岡(2) 2595(3) 2962
金沢駐在員	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3) 6213
岡山駐在員	岡山市内山下30番地(佐々木ビル)(電)岡山(3) 2948
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	静岡市小島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
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町305(電)東京(414) 代表 8111
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. 35 No. 5 臨時増刊

研究所創立25周年記念特集

- 巻頭言
- 研究所の過去現在および将来
- 研究所の概況
- 水銀整流器の逆弧と責務
- シ断器の残留電流とアーク動特性
- 航空機用 VHF 無指向性埋込み形アンテナ
- パラメトリック増幅器の広帯域化
- 超高温 プラズマ研究の現況
- 中性子スペクトロメータ
- 磁気増幅器の制御機構
- 自動最適化制御装置
- 赤外線ガス分析計
- 計数形電子計算機 MELCOM-LD 1
- 数値計算の誤差
- 高出力シリコン・トランジスタ
- CdS の光起電力効果
- 電子衝撃陰極の特性
- 巻胴の強度
- 冷媒液中のエナメル線の耐摩耗性
- 酸化物被覆陰極用 ニッケル金属組織とグリッドエミッション
- 磁器と金属の封着
- 液状陰イオン交換体の分析への応用
- 方向性50% Ni-Fe合金の再結晶
- 金属黒鉛質ブラシの特性とその摩耗損傷

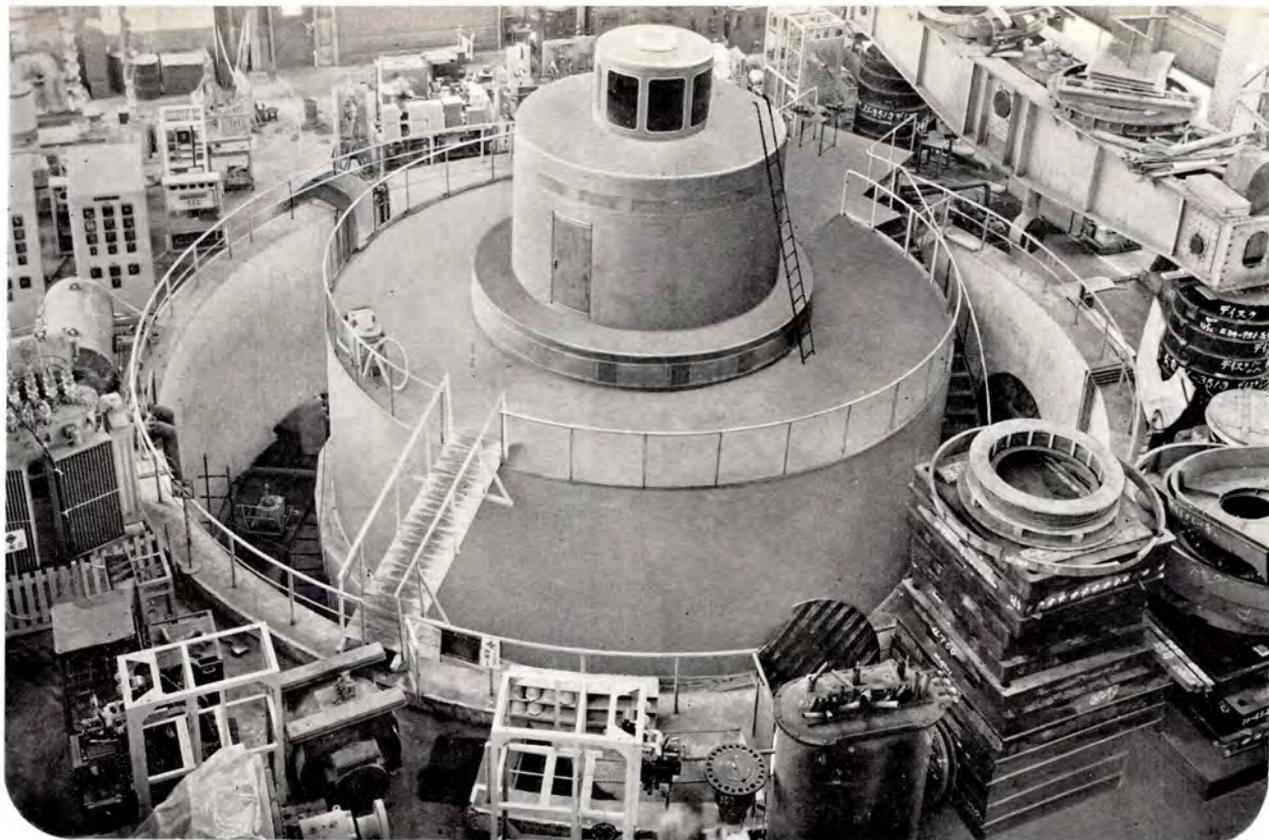
雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村誠一郎	常任委員	宗村平一
常任委員	浅井徳次郎	委員	山田栄高
委員	荒井深二	委員	片岡高俊
委員	安藤清一	委員	榎窪野
委員	小堀富次郎	委員	関野祐八
委員	高井得一郎	委員	前田雄彦
委員	中野光雄	委員	米野俊八
委員	馬場文夫	幹事	井上
委員	船橋正信	幹事	(以上50音順)

昭和36年5月13日印刷 昭和36年5月15日発行  
「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人 吉村誠一郎  
印刷所 大日本印刷株式会社  
印刷者 高橋武夫  
発行所 三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部  
電話 和田倉(201) 1611  
発売元 株式会社オーム社書店

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



滝発電所 50,000 kVA 水車発電機



## 電源開発滝発電所向け 50,000kVA 水車発電機完成

滝発電所は さきに当社が発電機器を納入した田子倉発電所の下流に位置するピークロードステーションで容量は特筆に値するものではないがカプラン水車としてわが国最大の記録品である 50,100kW カプラン水車が2台設置される。

### 特異点

1. カプラン水車の特長として無拘束速度が高くなる。
2. 水車翼による水圧推力がきわめて大きくなる。
3. 推力軸受に加わる最大荷重は 1,150 t に達する。  
(これは田子倉発電所納め 105,000 kVA の軸受荷重より大きい)
4. 発電機の構造は半カサ形構造を採用している。
5. 推力軸受にはオイル・リフトを装置している。

滝発電所 50,100 kW 立テ軸カプラン水車 (新三菱重工業製)



カプラン水車としてわが国最大で出力 50,100 kW 立テ軸単輪単流水車が新三菱重工業神戸造船所で完成した。水車ランナは7枚羽根で有効落差 37.3 m、流量 150 m<sup>3</sup>/s、回転数 150 rpm である。