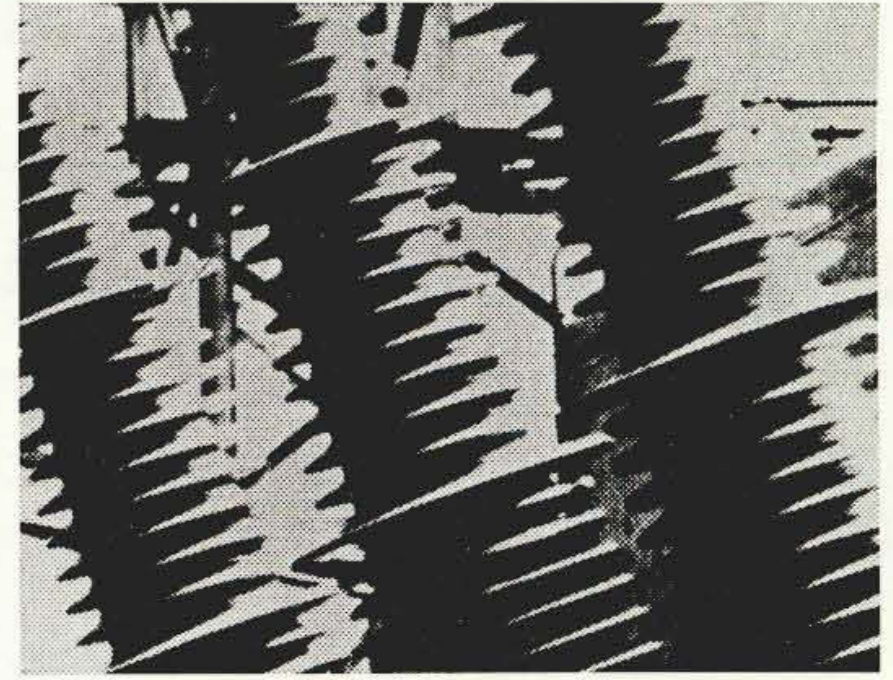


2 電力 原子力

Electric and Atomic Powers



総説

昭和42年度中に工場出荷をした発電用機器は原動機で約1,915 MW、発電機で約1,385 MVA、ボイラ総蒸発量約4,900 t/hである。このうち、水力は水車(ポンプ水車を含む)約997 MW、同用発電機(発電電動機を含む)約687 MVAであり、火力では、タービン918 MW、同用発電機約698 MVAの内訳となっている。

特筆すべきものに、水力では電源開発株式会社長野発電所向け113/120 MW フランス形ポンプ水車および同用発電電動機2台、四国電力株式会社蔭平発電所向け47.7/47 MW 斜流形ポンプ水車および同用発電電動機などがあり、火力では東京電力株式会社五井火力発電所向け350 MW ユニットの納入や、建設中の東京電力株式会社姉ヶ崎火力発電所向け600 MW タービン用1,950 t/hの超臨界圧UPボイラなどが目だっている。

送変電用機器としては、420 MVA 275 kV 三相変圧器を始めとする数多くの大形変圧器の完成および300 kV 25 GVA級の大容量空気遮断器の完成をみた。また国内における500 kV送電計画の進ちょくに呼応して、500 kV用機器の試作・検討を行なうとともに生産態勢を着々と整えている。近年脚光を浴びつつある都市配電近代化機器についても、わが国の特殊事情を考慮した低圧ネットワークプロテクタ、配電線の監視制御、保護方式、コンパクト変電所などの研究・開発に力を注いでおり、その成果にみるべきものが多い。

給電関係としては、関西電力株式会社納の自動給電システムの完成をみているが、これは電気事業における電子計算機によるトータルシステムの一翼をになうものであって、時代の先端をいくものである。また電気試験所納の10 kV 800 kWのサイリスタ利用の交流変換装置は、将来の直流送配電用の高電圧直流変換装置の技術的基礎を確立したものとしてその発展が期待されるものである。

原子力応用の面では、わが国の原子力開発利用長期計画は諸情勢を考慮して昭和42年4月に改定されたが、これによると電力需要の急速な伸展に応ずるために、昭和60年度に3,000~4,000万kWの原子力発電設備の必要性を予測し、国産技術の育成・国産化の促進をベースとした開発の方向と、それに必要な開発計画を定めている。

日立製作所は沸騰水形原子力発電所の国産化のために、各種の構成機器の試作開発を行なうとともに日本原子力発電株式会社敦賀発電所(322 MWe)、東京電力株式会社福島発電所(400 MWe)の建設をアメリカ・GE社に協力して行ない技術の習熟に努めている。また中国電力株式会社1号炉は、わが国初の国産動力炉としてその建設計画を日立製作所と共同研究により促進している。研究面においても、原子炉の固有の安全性を実験的に確認するためのわが国最初のパルス実験を研究炉で実施し大きな成果を得た。国のプロジェクトとして進められている高速増殖炉、新形転換炉の開発研究にも積極的に協力している。

発電設備

大容量ポンプ水車 続々完成

電源開発株式会社	長野発電所納	113 MW	2台
中国電力株式会社	新成羽川発電所納	78 MW	3台
四国電力株式会社	蔭平発電所納	47.7 MW	1台

揚水発電用としてわが国最大容量を誇る長野発電所納 113,000 kW フランス形ポンプ水車 2台は工場完成し、現地据付中である。

本機は先に納入した同社池原発電所納 110,000 kW ポンプ水車を上回る大容量機で、設計製作に当たっては畑薙第一、三尾、池原発電所などの数多くのフランス形ポンプ水車の製作経験と運転実績に加え、さらに各部の詳細な解析計算を行なうとともに、世界的にも類例のない複雑な調圧水室を有する長放水路に対して、模型実験により運転特性を確認するなど慎重な検討が行なわれた。

本発電所は福井県大野市の東方 30 km の九頭竜川上流に新設され、本機完成後この地域の総合開発の主体をなすものであって、上部貯水池長野ダムと、下部の鷺ダムによって貯わえられた鷺調整池との間で揚水および発電を行なうものである。

図1は工場組立の状況を示す。

新成羽川発電所納最大出力 78,000 kW、最高有効落差 94.7 m、最高揚程 96.4 m、最大揚水量 106.3 m³/s、回転数 144 rpm フランス形ポンプ水車 3台も工場組立を完成し現地据付中である。本機は、中国地方、ことに瀬戸内沿岸のめざましい工業発展に伴う電力需要の動向に対処して、工業用水の確保と河川の有効利用ならびに水・火力発電所の総合効率を高めるため計画された揚水発電所用であり、完成後は同所内の 78,500 kW フランス形水車 1台とともに最大 303,000 kW を発電する。

本機の設計製作に当たっては中国電力株式会社と共同研究を重ね、数次にわたる基本特性試験ならびに特殊試験により運転性能の改善と基礎的研究結果が折り込まれた。主軸受には負荷容量の増大と摩擦損失の減少を図る目的で、新たに開発された多円弧複合形円筒軸受 (MAC 形円筒軸受) を採用している。図2は MAC 形円筒軸受を示す。

また現在製作中のものでは、世界的にも記録品である関西電力株式会社喜撰山発電所納 240,000 kW ポンプ水車が精密な検討・模型試験などの研究段階を終え、製作着手された。

蔭平発電所納最大出力 47,700 kW、最高落差 89.7 m、最高揚程 94 m、最大揚水量 40 m³/s、回転数 240 rpm 斜流ポンプ水車は、穴内川発電所 13,500 kW 斜流ポンプ水車に引き続き納入される国内 3台目の斜流ポンプ水車で、容量、寸法は国内の記録品であり、揚程は 94 m と製作完了した斜流ポンプ水車としては世界最高となっている。昭和 42 年 7 月に工場完成し、昭和 43 年 6 月運転開始を目標に据付中である。従来の上下動式ランナ操作機構に代わって、回転式ランナサーボモータおよび回転式ランナ操作機構が採用されている。回転式ランナサーボモータは水車主軸と発電機主軸の間に設けられている。500φ 模型回転式サーボモータにて、種々の性能試験や耐久試験を行なって、実機のしゅう動部の材質、構造を決定し、実機回転式サーボモータについても、3,000 回の耐久試験を行なってその安全性を確認した。蔭平発電所の属する電力系統の構成上、ポンプ起動時の電圧降下を極力少なくすることが望まれ、ランナブレードを全閉した状態で、圧縮空気により吸出管内の水面を押し下げ、ポンプ起動する方式が採用されている。水面押し下げが斜流ポンプ水車に採用されるのは本発電所が最初となるので、模型

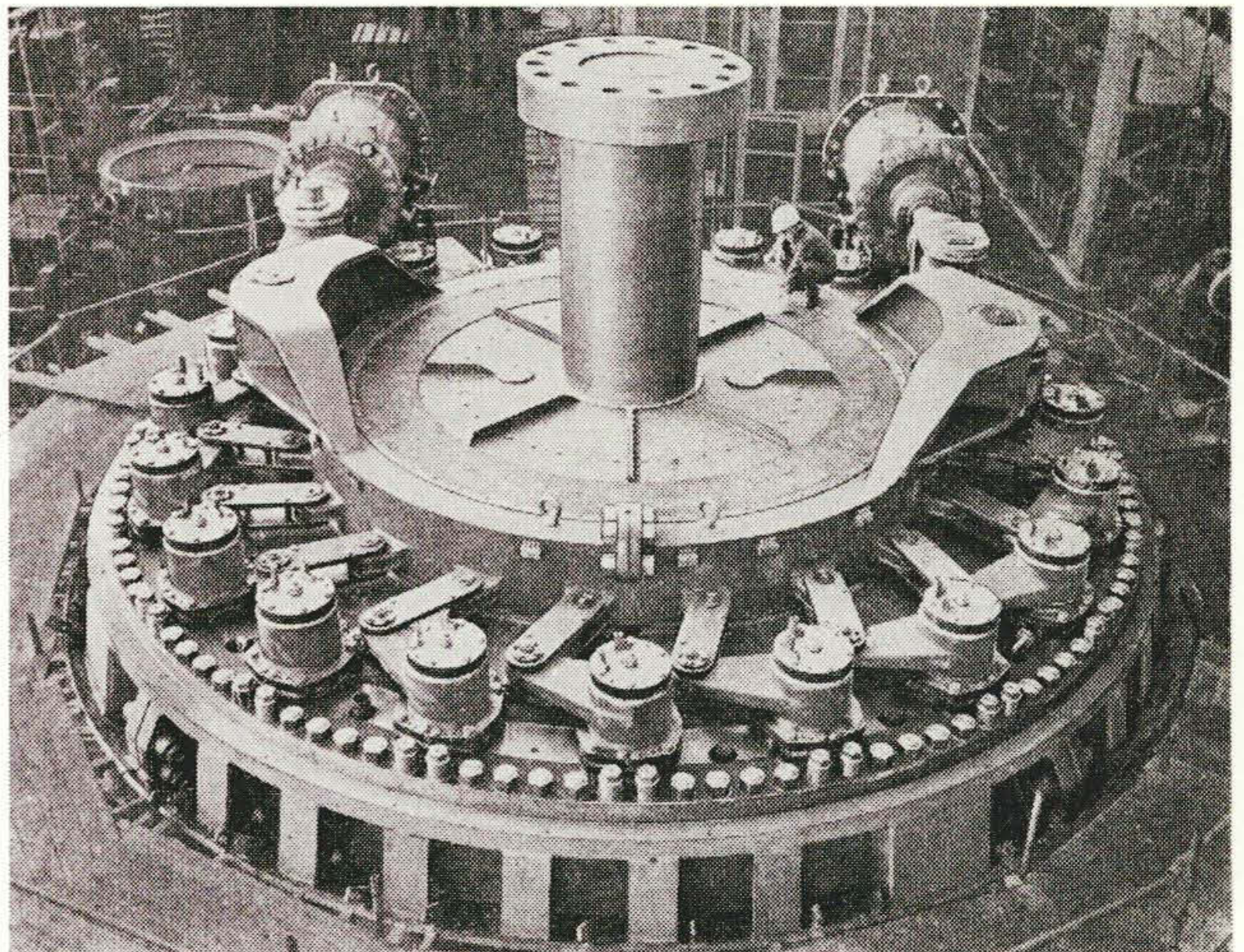


図1 電源開発株式会社長野発電所納 113,000 kW ポンプ水車 (工場組立中)

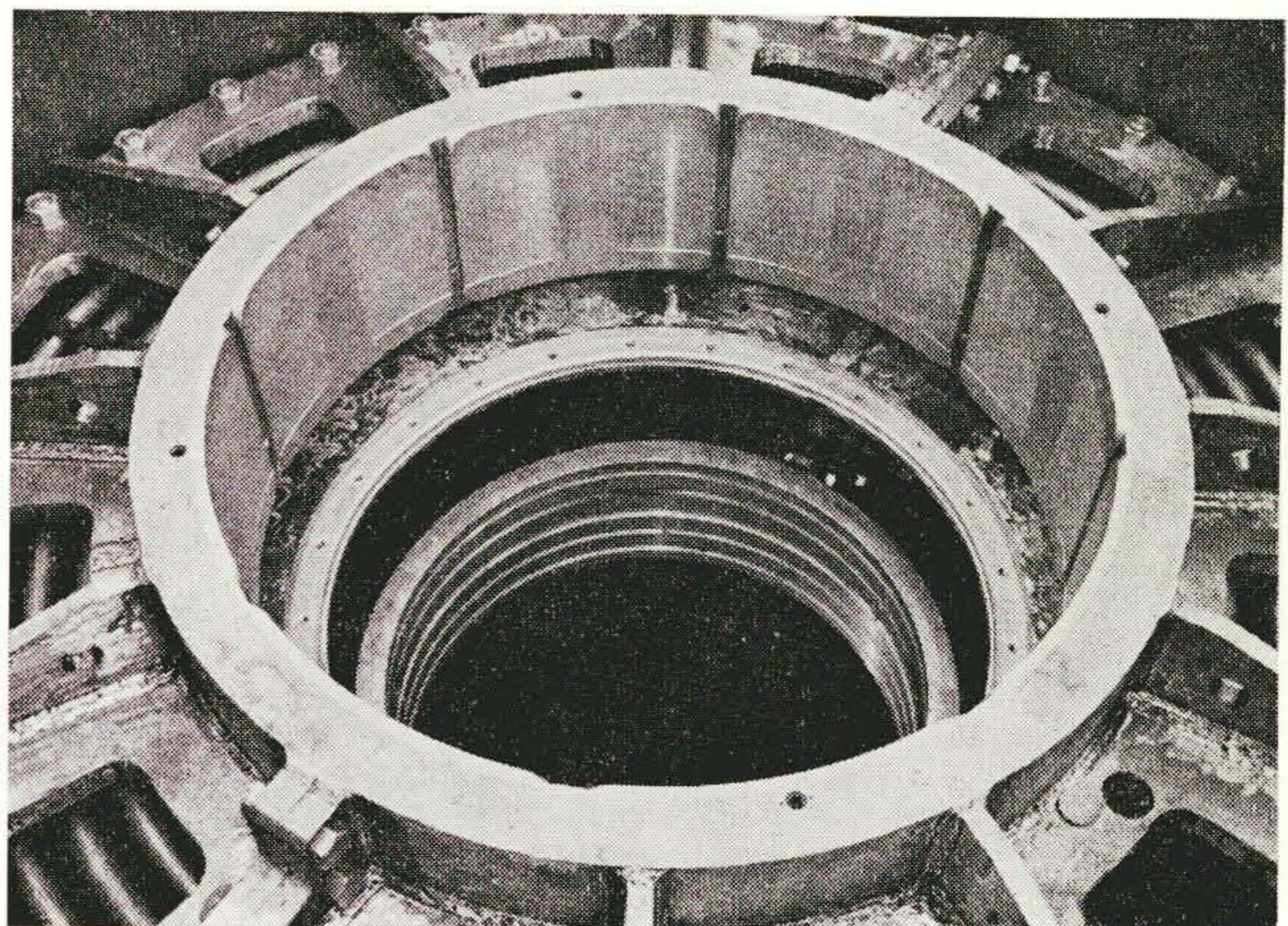


図2 MAC 形円筒軸受

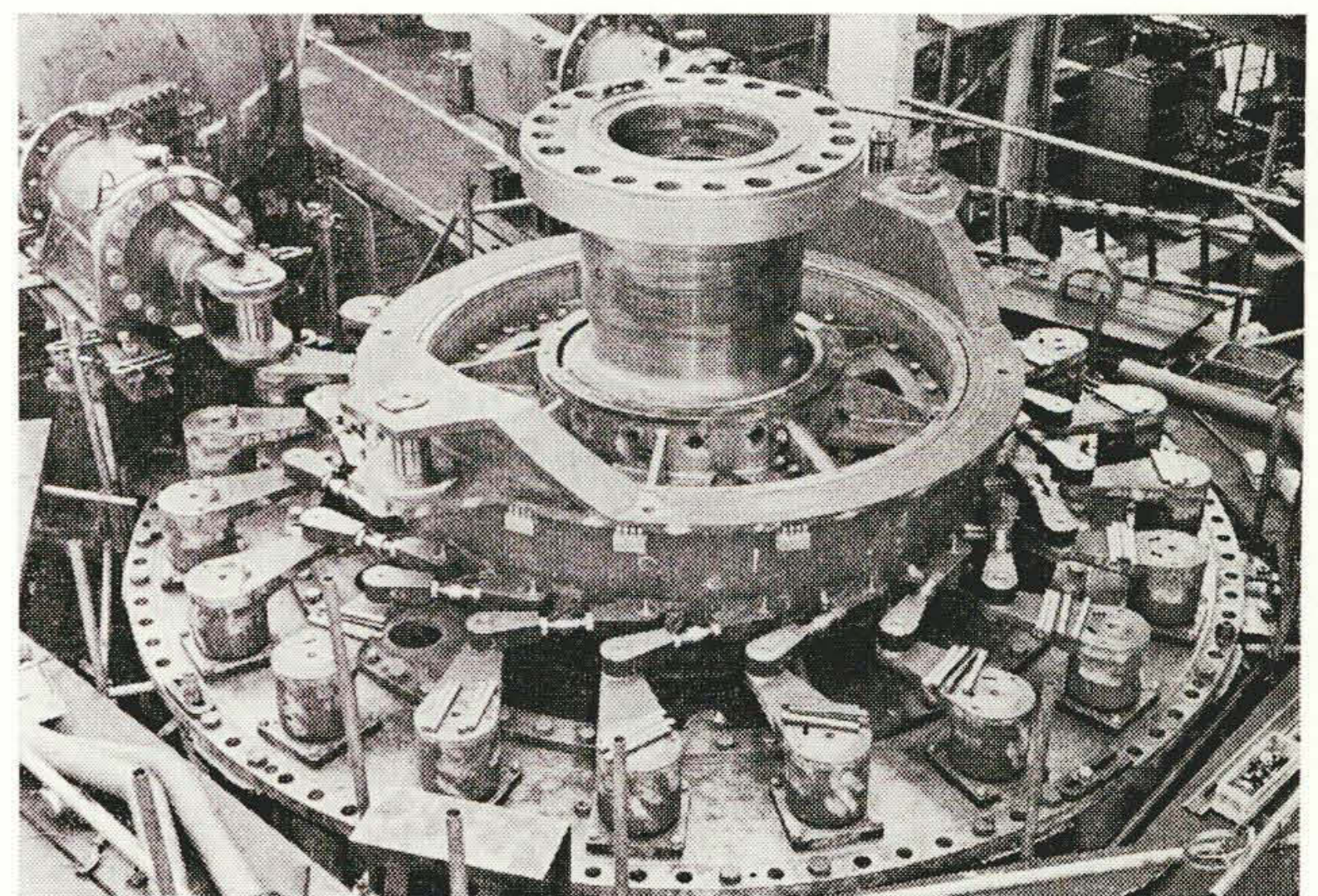


図3 四国電力株式会社蔭平発電所納 47,700 kW 斜流ポンプ水車

ポンプ水車にてこの方式を確認した。図3に現地組立状況を示す。引き続き中部電力株式会社高根第1発電所 88,000 kW、揚程 137.4 m 斜流ポンプ水車も製作中である。

発電電動機

(1) 大容量発電電動機完成

電源開発株式会社	長野発電所納	120 MVA/120 MW	2台
----------	--------	----------------	----

中国電力株式会社 新成羽川発電所納 79 MVA/73 MW 1台
 四国電力株式会社 蔭平発電所納 51 MVA/47 MW 1台
 が完成した。長野発電所納発電電動機は半電圧自己始動方式が採用されており、本邦で最大の発電電動機である。新成羽川発電所納発電電動機は、系統安定度を十分検討し、短絡比 0.8 が採用されまた進相機運転のための考慮も払われている。蔭平発電所納発電電動機は、斜流ポンプ水車に直結されるため、軸受構造、水圧変動による主軸変位、ランナサーボ用圧油導入構造に特に留意が払われた。

長野発電所納 120 MVA/120 MW 発電電動機の工場組立試験中を図 4 に示す。

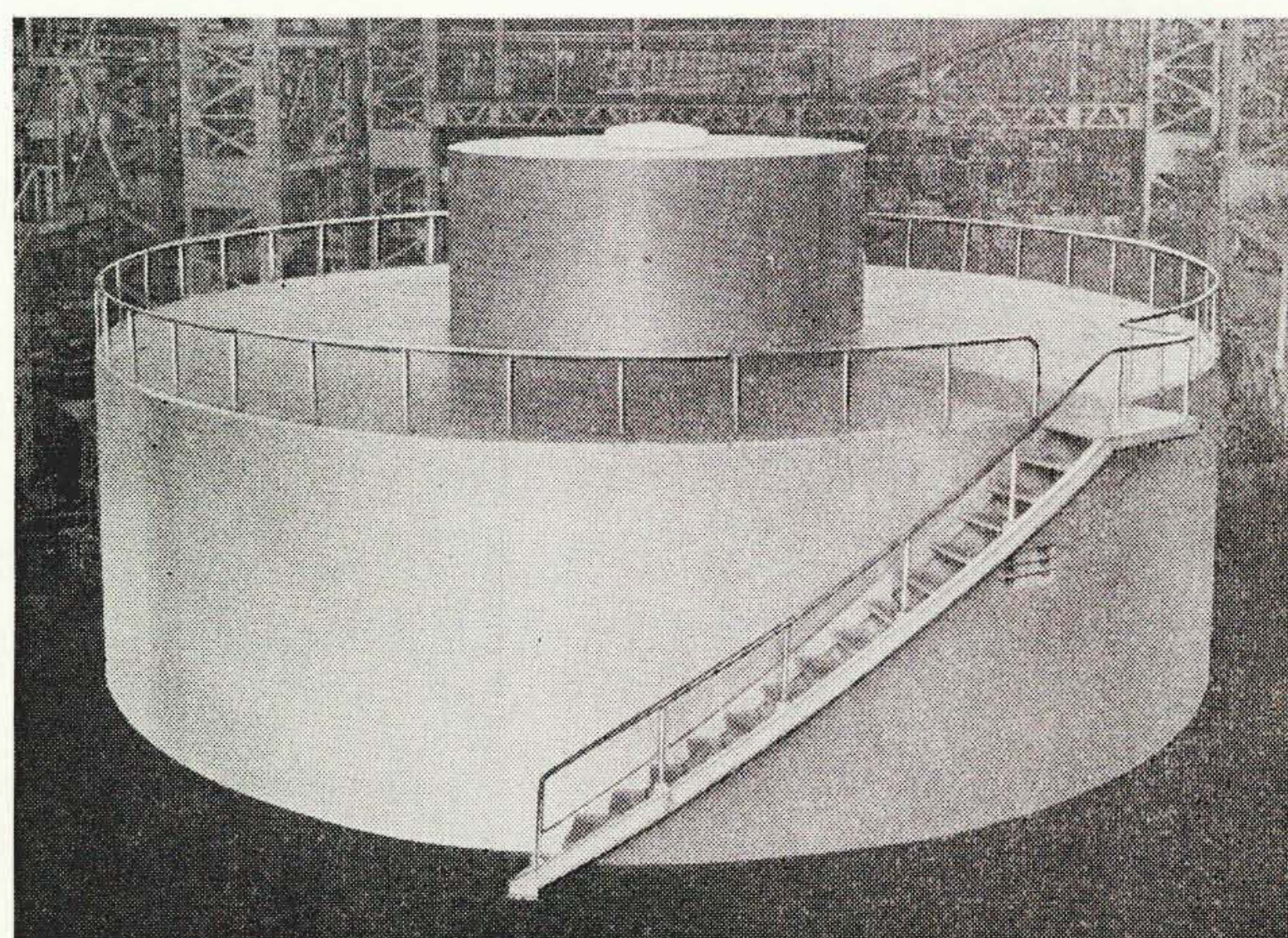


図 4 電源開発株式会社長野発電所納 120 MVA/120 MW 発電電動機 (工場組立中)

(2) 独立ダンパー巻線の開発

水車発電機では一般に完全ダンパー巻線を設け、 x_d''/x_d' をできるだけ小さくしている。独立ダンパー巻線で完全ダンパーに近い特性が得られれば、構造簡単で磁極分解容易になるなど利点がある。理論的な解析と実験により、独立ダンパー巻線でも制動巻線の構造に工夫をこらせば x_d''/x_d' を 1.1~1.35 程度にすることが可能であることを確認し、43,000 kVA の水車発電機に実用した結果、 $x_d''/x_d' = 1.27$ を得た。その構造を図 5 に示す。

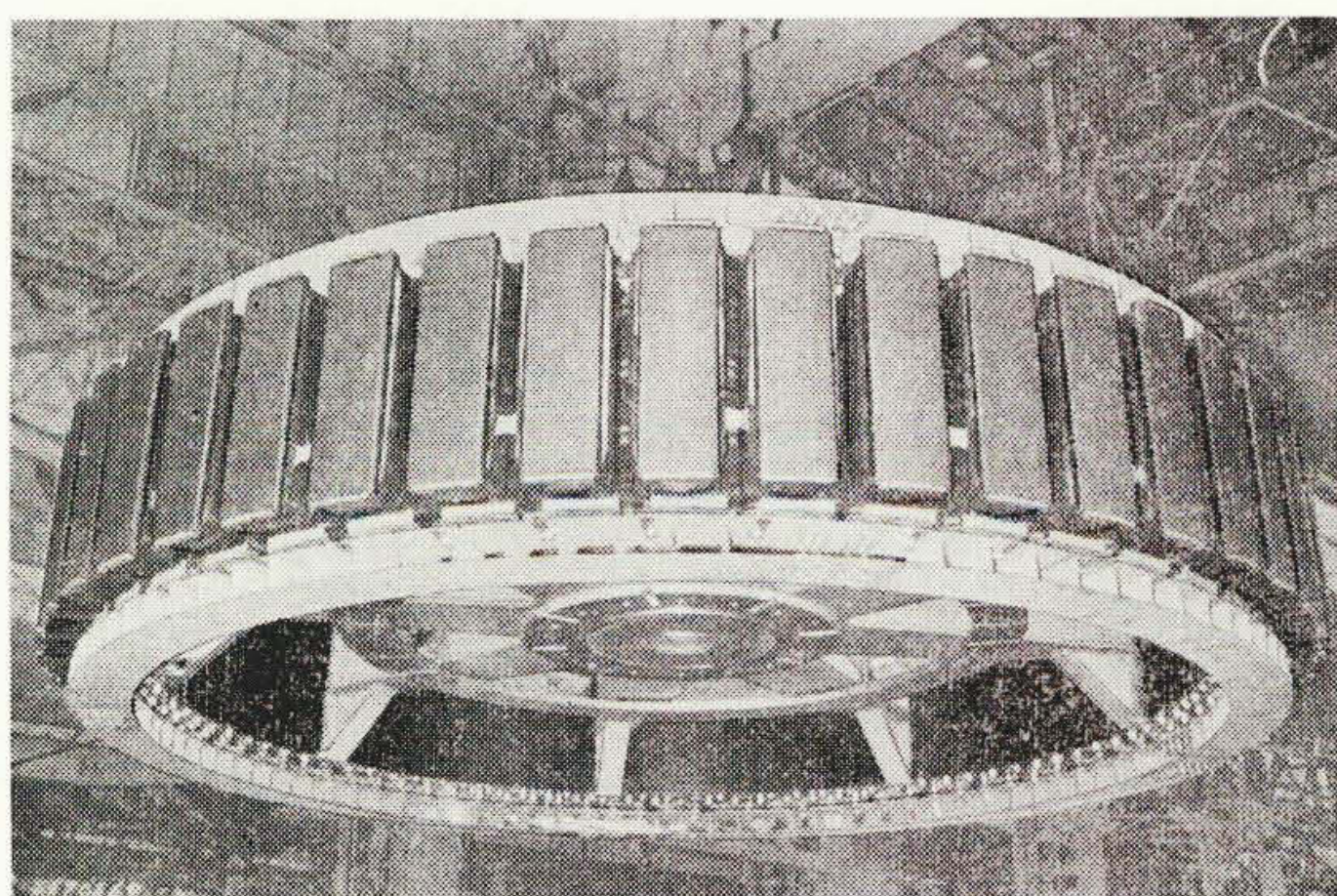


図 5 独立ダンパー形回転子

(3) 発電電動機始動の問題

発電電動機を半電圧で始動し、同期引入後、電圧切換を行なうが電圧切換時の電力動揺は、比較的大きい。この現象を理論的に解明し、位相が合っていることを条件とすると、反抗トルクの大きさにより決まることが明らかとなった。代表的な電気的特性定数の発電電動機につき計算した結果を図 6 に示す。85,000 kVA/85,000 kW 発電電動機につき現地実測し満足すべき結果を得た。

(4) 高面圧推力軸受の開発

軸受性能研究装置により、推力軸受の油膜圧力分布、損失、温度

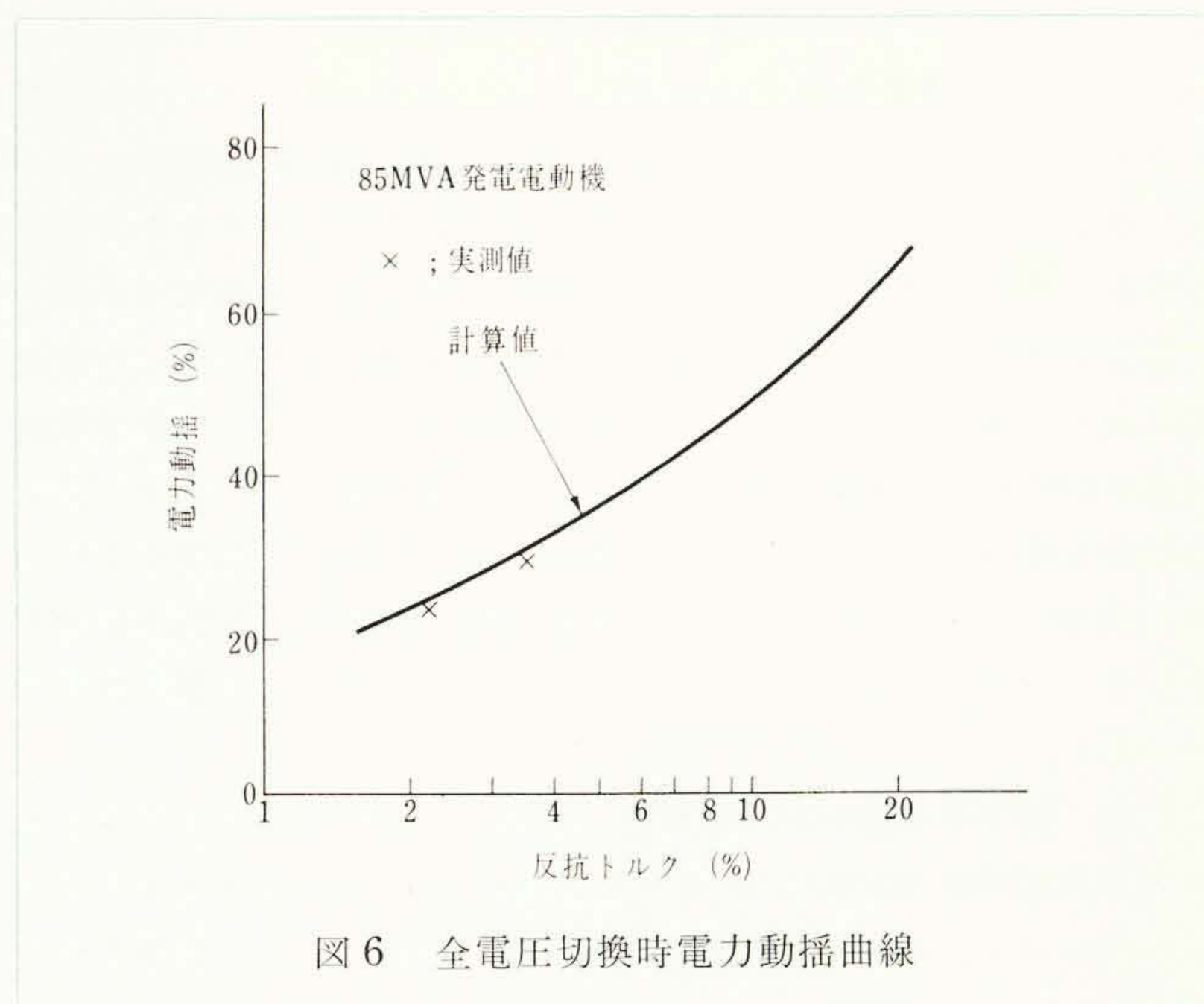


図 6 全電圧切換時電力動揺曲線

分布などの研究を進めてきたが、これら一連の研究結果推力軸受の改良形として Non Flat Type Thrust Bearing (NF 形推力軸受という) を開発した。NF 形推力軸受の構造上の特長は次のとおりである。

- (A) 運転時推力軸受潤滑面が、円弧状になるよう考慮されている。
- (B) サポートを角形にし、半径方向の変形を減少させた。
- (C) 整流効果を増し、潤滑面に気泡が混入しにくいよう考慮した。

試験結果、当初の予想どおり、平均面圧 60 kg/cm² の高面圧で十分運転できることが確認された。

海外で活躍する 日立水車およびポンプ水車

日立製作所は古くから水車の海外市場開拓に力を注いでおり、昭和42年8月までに受注した輸出向け水車およびポンプ水車の出力累計は、約 6,600 MW 166 台であり、日立製作所生産の累計 13,600 MW の約 50% に達している。

この1年間の海外で運転を開始したものは、アメリカ内務省開拓局ブルーメサ発電所納出力 43,200 kW、落差 110 m フランス水車

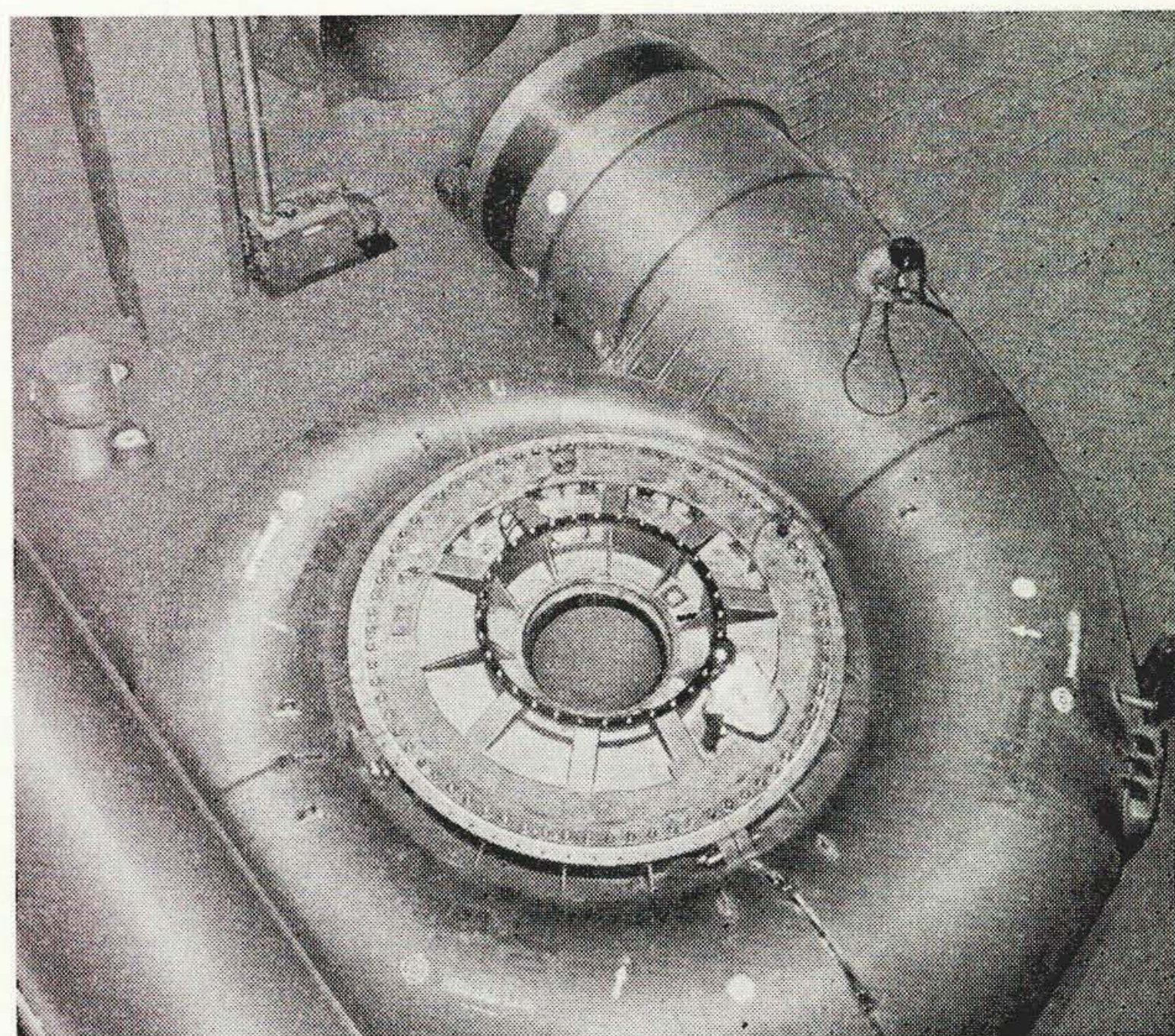


図 7 アメリカ・ブルーメサ発電所納 41,500 HP フランス水車

2台、タイ国バミホール発電所納出力84,700 kW、落差123 m フランス水車2台(増設機)などがあり、このほかアメリカ・サンフランシスコ市カークウッド発電所納出力43,500 kW、落差406 m ペルトン水車2台も運転を始め、好評を博している。このペルトン水車は6本ノズル立軸構造であり、ペルトン水車として初めてセグメント軸受を採用し、ペルトン水車としては従来例をみない無こう東速度試験が実施された。アメリカ内務省開拓局サン・ルイス発電所納51,000 kW ポンプ水車8台(うち3台まで運転中)は、ポンプ運転に重点を置いた固定ガイドベーン構造であり、揚程、落差が100 m から30 m と大きく変動するため150回転、120回転の二速度運転を行なう方式をとっている。ランナは18:8 ステンレス鋼一体製品である。

現在、製作中の輸出向け水車としては、ブラジル国コアラシ・ヌーネス発電所納20,000 kW カプラン水車2台、アメリカ・サクラメント市ルーンレイク発電所納85,700 kW 立軸ペルトン水車1台などがある。

このほか、目下、据付中の水車としてはベネゼラ・グリ発電所、オーストラリア・マレー第2発電所、チリー・ラペル発電所、アメリカ・モカシン発電所、インド・コン発電所などがある。

また、わが国初めてのアメリカ輸出水車として注目を集めていたアメリカ内務省開拓局クリア・クリーク発電所水車は、昭和41年末に納入先の手で現地水車効率試験が行なわれ、基準落差時93.7%の高い効率が得られた。

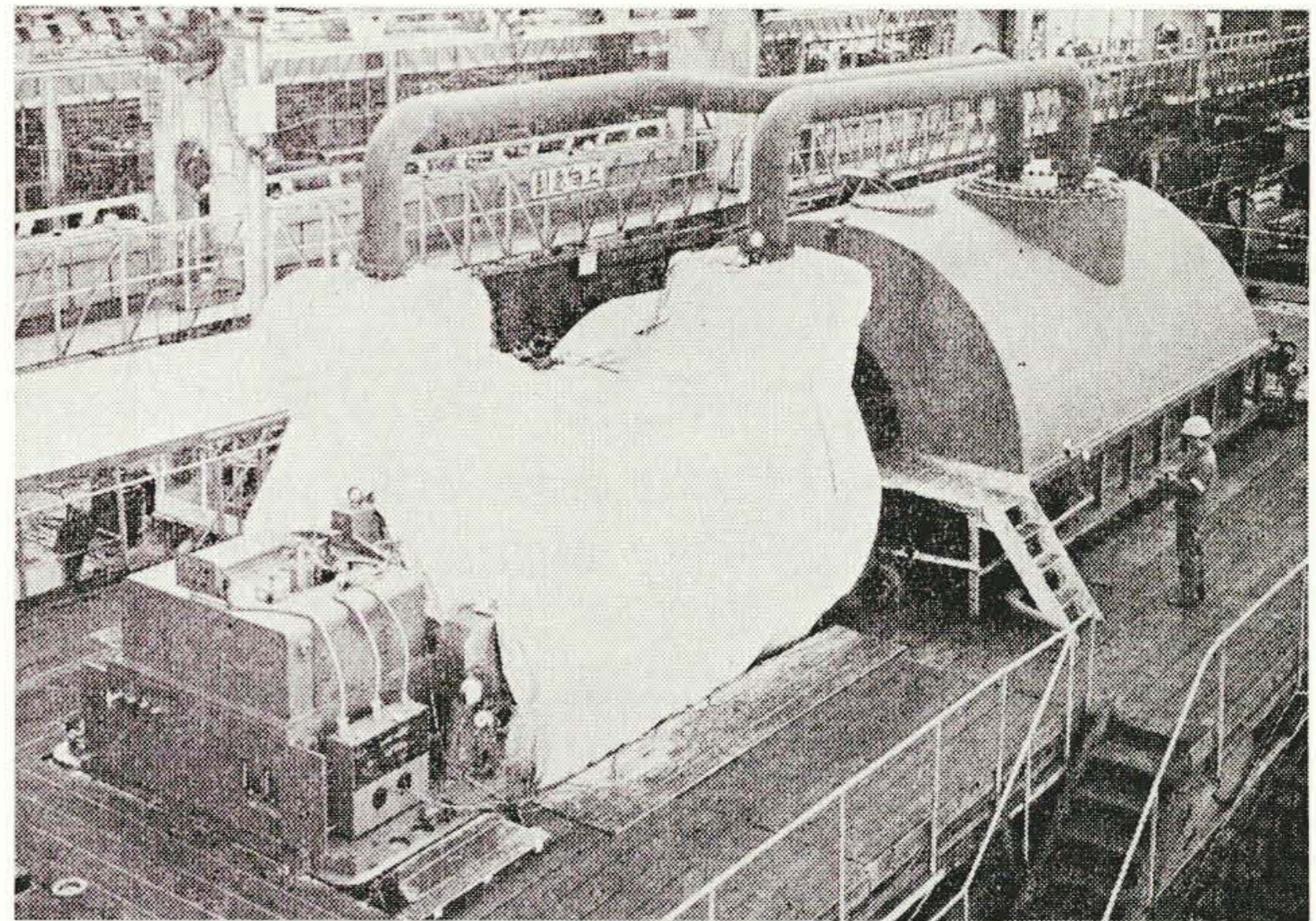


図9 工場試験中の350,000 kW CC 4F-26 二次タービン

本タービンは各所に最新の構造を採用しているが、特に大容量機としての特長は次のとおりである。

- (1) インサート形高圧初段翼 従来のテノン鉸め形に変わって、強度、振動上最も安定したインサート形の翼頂鉸め方式をとった。
- (2) 加減弁加速リレー 全負荷遮断時にタービンの速度上昇を抑えるために加減弁の閉鎖を急速にする加減弁加速リレーを付加した。
- (3) クロスオーバーアドミッション弁 緊急時に、背圧式給水ポンプ駆動用タービンの抽気が主タービンを過速したり、過熱したりしないように、系統にクロスオーバーアドミッション弁を付加した。

日立製作所はさらに、クロスコンパウンド形タービンの製作、運転実績を基礎として、タンデムコンパウンド、3車室形、TC4F-26、350,000 kW タービンの設計も完了した。

350,000 kW クロスコンパウンドタービン

大容量再熱タービンでは、すでに良好な運転実績が認められた東京電力株式会社五井火力発電所納265,000 kW タービン2台に次いで同発電所納6号機350,000 kW タービンが完成した。本タービンはGE社が、横須賀火力発電所3号機および4号機に納入したものと同一機種であり豊富な運転実績をもつ、50 c/s、350,000 kW クラスの標準種となる安定したタービンである。日立製作所はこのような導入した技術による大容量再熱タービンの実績を重ね、これらを基盤として、設計面をも含めた機器の国産化を進めてきた。

図8および図9に工場試験中の本タービンを示す。本タービンのおもな特長は、再熱温度を主蒸気温度と同じ566°Cまで上げ熱効率の向上を図っていること、車室配置をクロスコンパウンド形として2軸に分け、タービン軸長を短くすることによって運転中の起動、停止、負荷変化の操作をきわめて容易にしたことである。

ガスタービンの大量製造

ガスタービンはアメリカ・GE社との共同製作協定により生産しているが、昭和41年末から42年前半にかけて受注した14台分のガスタービンユニットで、量産態勢を確立した。各ユニットの納入先などを表1に示す。これらは最近の国際分業の一翼としてGE社経由アメリカの一流会社向けのものを含んでいる。表中PPPはパッケ

表1 ガスタービン納入先一覧

納入先	据付地	形式	出力(NEM)(kW)	タービン入口温度(°C)	燃料	運転形態
1 GE/アメリカンインデントオイル会社	クウェート	FS-5屋内式	14,000(16,250)	871(941)	ガス	ベース(ピーク)
2 GE/エッソパキスタン肥料会社	西パキスタン	FS-5PPP	10,750	832	ガス	ベース
3 GE/エッソパキスタン肥料会社	西パキスタン	FS-5PPP	10,750	832	ガス	ベース
4 GE/コモンウェルスエジソン会社	アメリカイリノイ州	FS-5PPP パワーブロック	65,000	941	ガス	ピーク
5 GE/コモンウェルスエジソン会社	アメリカイリノイ州					
6 GE/コモンウェルスエジソン会社	アメリカイリノイ州					
7 GE/コモンウェルスエジソン会社	アメリカイリノイ州	FS-5PPP	13,750	871	ガス	ベース
8 GE/ケミカルコンストラクション会社	サウジアラビア	FS-5PPP	13,750	871	ガス	ベース
9 GE/ケミカルコンストラクション会社	サウジアラビア	FS-5PPP	14,750	899	軽油	ベース
10 昭和電工株式会社鶴崎工場	大分県	FS-5PPP	14,750	899	軽油	ベース
11 GE/アメリカ某社	アメリカ	FS-5PPP パワーブロック	68,300	966	ガス 軽油	ピーク
12 GE/アメリカ某社	アメリカ					
13 GE/アメリカ某社	アメリカ					
14 GE/アメリカ某社	アメリカ					

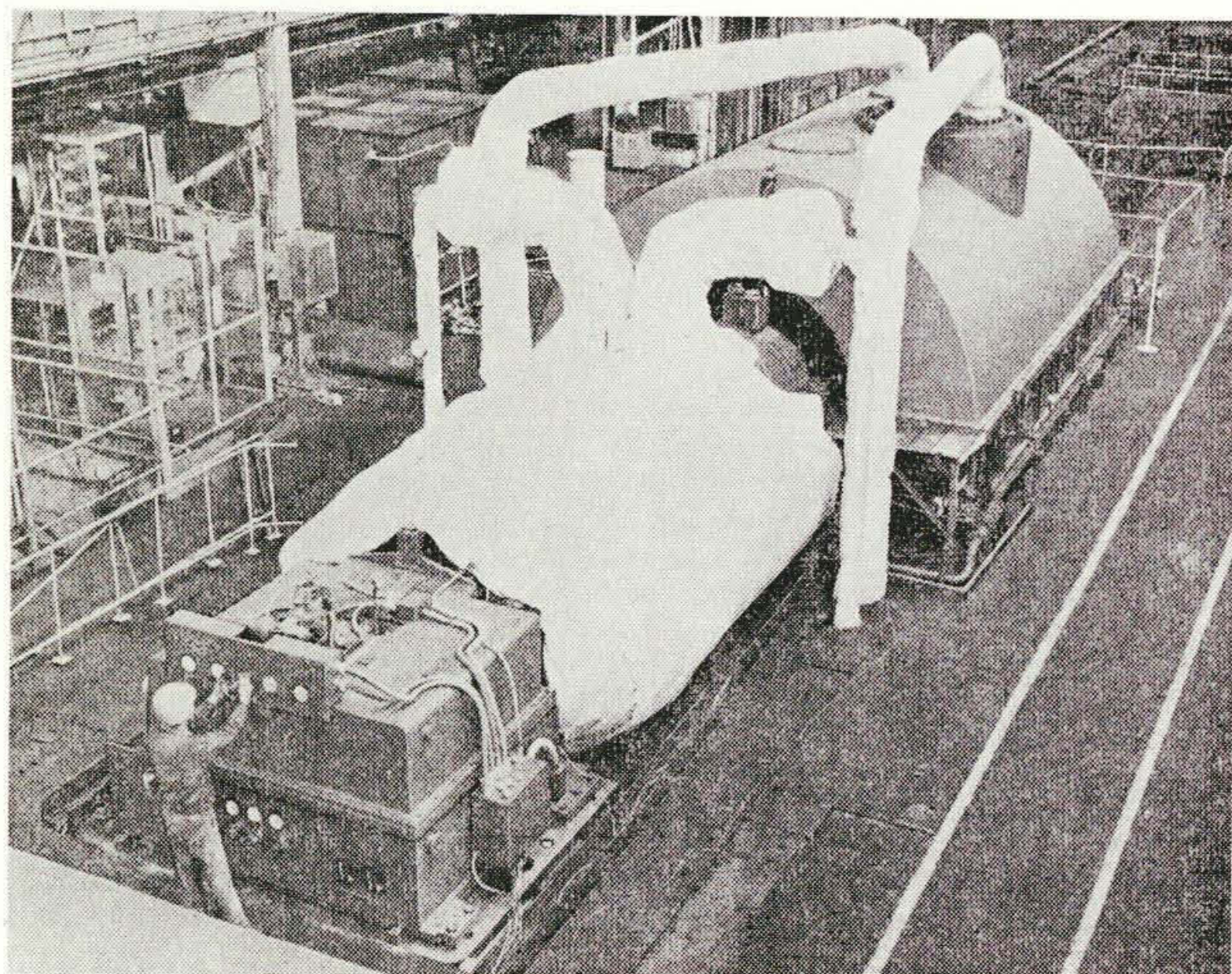


図8 工場試験中の350,000 kW CC 4F-26 一次タービン

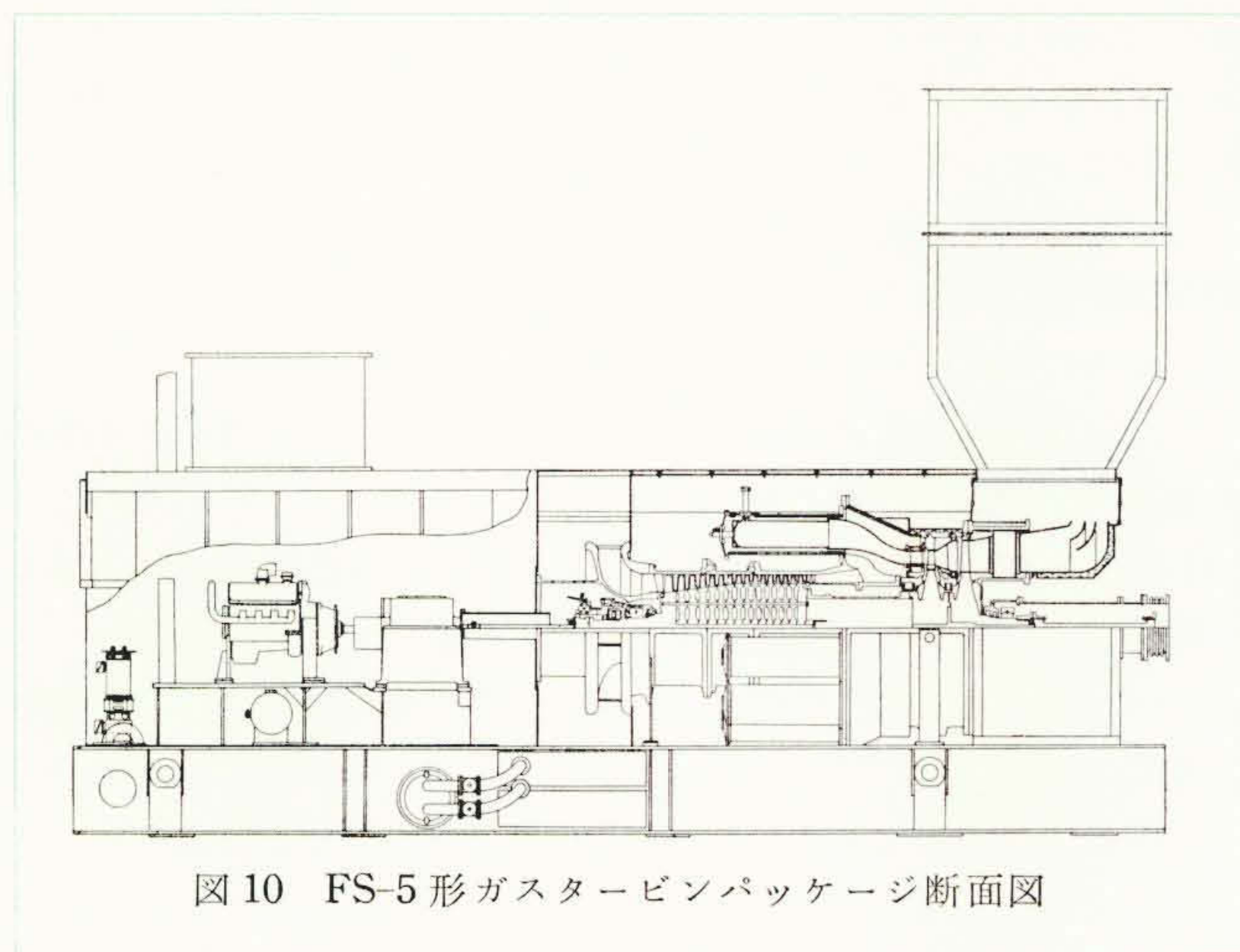


図10 FS-5形ガスタービンパッケージ断面図

ージ形を意味し、パワーブロックは数台のパッケージ形ガスタービンが1個所の制御パッケージによって、あたかも1台であるかのように運転される形式である。ガスおよび液体燃料によって運転されるガスタービンの燃料系統は、いずれの燃料でも燃焼できるようになっており、負荷運転中に約1分間で切り換えることができる。(1)(2)(3)(8)および(9)のユニットは砂じんの多い地域に据え付けられるので、建屋あるいはパッケージ内を加圧し、砂じんの侵入を防止している。また、空気中の腐食性ガスから機器を守るために、ガスが通過する部分はコーティングなどによって腐食防止策を施してある。図10は代表的なFS-5 PPPの断面を示したものである。これらのガスタービンは昭和42年末から1台～2台/月の割合で工場出荷される。

■ 大容量タービン発電機と励磁方式の進歩

近年タービン発電機の単機容量の急激な増大に伴い、固定子巻線は長大となり、かつ高電圧が採用される傾向にあり、これに対処す

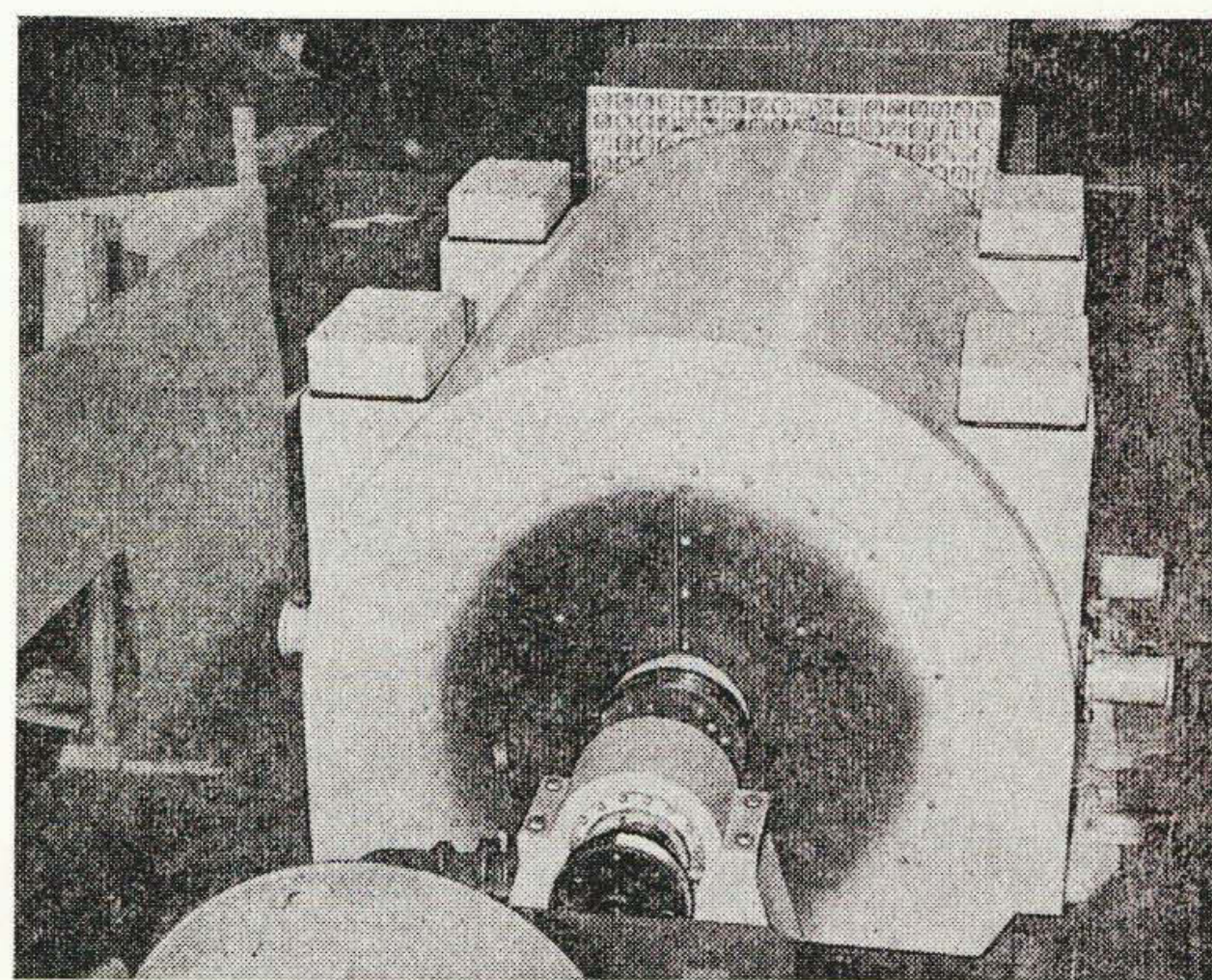


図11 日本レイヨン株式会社宇治工場納 14,000 kVA ブラシレスタービン発電機

表2 タービン発電機の整流器励磁方式の製作実績

納入先	発電所	台数	発電機定格		納入年月	原 動 機	摘 要
			kVA	rpm			
製鉄化学 株社 日本レイ ヨ ン株式 社 昭和電 工株式 社 昭和電 工株式 社 西パキ スタ ン 試 作	姫路	1	1,350	1,200	昭42-6	蒸気タービン	ブラシレス
	宇治	1	14,000	3,600	昭42-11	蒸気タービン	ブラシレス
	鶴崎	1	35,000	3,600	製作中	蒸気タービン	ブラシレス
	鶴崎	1	18,824	3,600	製作中	ガスタービン	ブラシレス
	コンラギ	1	160,000	3,000	製作中	蒸気タービン	コンミュ テータレス
	—	1	(250,000)	3,600	昭41-6		ブラシレス

るため、大容量発電機用高電圧大形コイルの開発を進め、すでに28 kV級コイルまで製作可能となった。また大容量化とともに進相運転の要求が強くなり、このため進相運転時の固定子鉄心端部の温度上昇が問題となるが、日立製作所では複雑な境界条件を有する方程式を解くことにより、渦電流を含む磁界の場の精度の高い解析を完成して、この問題を解明した。今後さらに大容量機に対する進相運転の要求が多くなることが予想されるが万全の体制を整えた。

また、励磁装置についても従来の直流励磁機に代わるものとして発電機直結の交流励磁機とシリコン整流器の組合せによる方式が開発された。表2はその製作実績を示す。ブラシレス方式では整流器として発電機軸と一体となって回転する回転整流器を用い、励磁機および発電機のブラシを不要なものとした。また、コンミュテータレス方式では静止形整流器を用いたもので、ともに整流子やブラシの保守が不要なこと。据付寸法、重量の低減、発電機界磁時定数の減少などの利点があり、今後ますます大容量化するタービン発電機に最適の励磁方式と考えられる。図11は回転整流装置の一例を示す。

■ わが国最大の 超臨界圧ボイラ運転にはいる

東京電力株式会社姉ヶ崎火力1号ユニットはわが国における大容量超臨界圧ボイラとして第1号缶で、アメリカB&W社の設計製作によるものであるが非圧部の設計・製作ならびに据付はパブコック日立株式会社が実施した。すでに本体、制御装置、燃焼器などの調整試運転も順調に終え、昭和42年12月1日より営業運転を開始している。なお、1号缶に引き続いて2号缶はパブコック日立株式会社が鋭意製作中である。ボイラの概略仕様を表3に示すが、超臨界圧ボイラの特長はおもに火炉構造にあり、他社の同種ボイラと比べてもすぐれた性能を有する。すなわち火炉流体回路はB&W社独自のメンブレン使用によるonce up構造で、混合管部による流体温度の均一化を図っている。その結果火炉管材質は特に高級なものを必要とせず、低合金鋼で十分安全な設計がなされている。燃焼装置には対向に配置された16基のセルバーナが採用され、重原油専焼で自動バーナ装置を備えていることも本ボイラの特長の一つである。

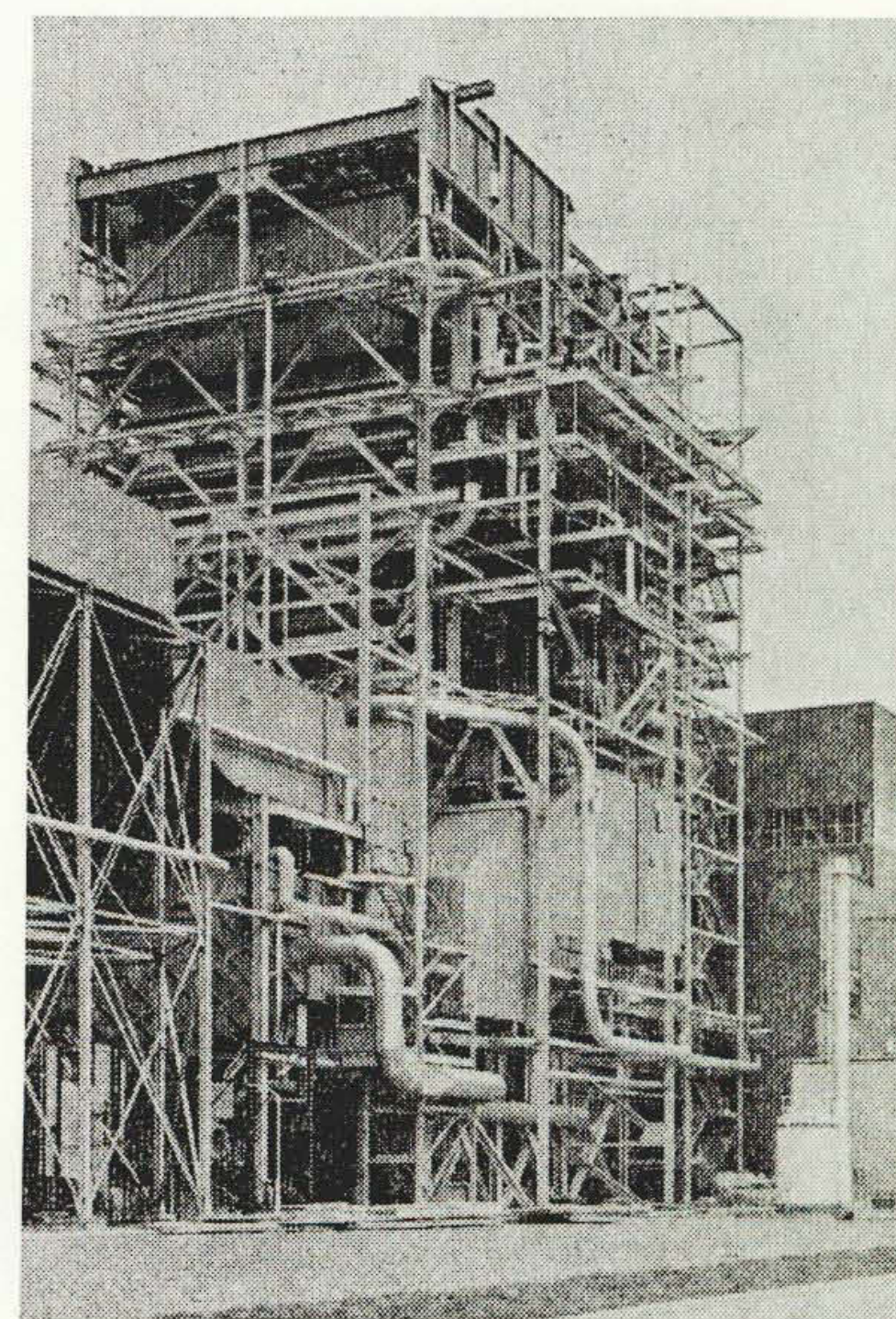


図12 東京電力姉ヶ崎火力発電所納 1,950 t/h OPボイラ

表3 ボイラ仕様

形 式	超臨界圧 B & W UP ボイラ (屋外式)
蒸 発 量 (最大連続)	1950 t/h (5% 過負荷運転可能)
過熱器出口蒸気圧力	255 kg/cm ² g
過熱器出口蒸気温度	543°C
再熱器出口蒸気温度	568°C
通 風 方 式	圧力通風方式
燃 焼 方 式	重油、原油両用燃焼
火 炉 構 造	分割壁付 B & W メンブレン壁構造
連 続 最 低 負 荷	最大連続蒸発量の 1/4

蒸気タービン駆動ボイラ給水ポンプ

関西電力株式会社堺港火力第5号機向け 450 t/h × 199.45 kg/cm² × 3,500 kW, 電源開発株式会社竹原火力第1号機向け 425 t/h × 198 kg/cm² × 3,290 kW, 東京電力株式会社五井火力第6号機向け 596 t/h × 219 kg/cm² × 4,850 kW の各給水ポンプおよび駆動タービンが完成し好調に運転に

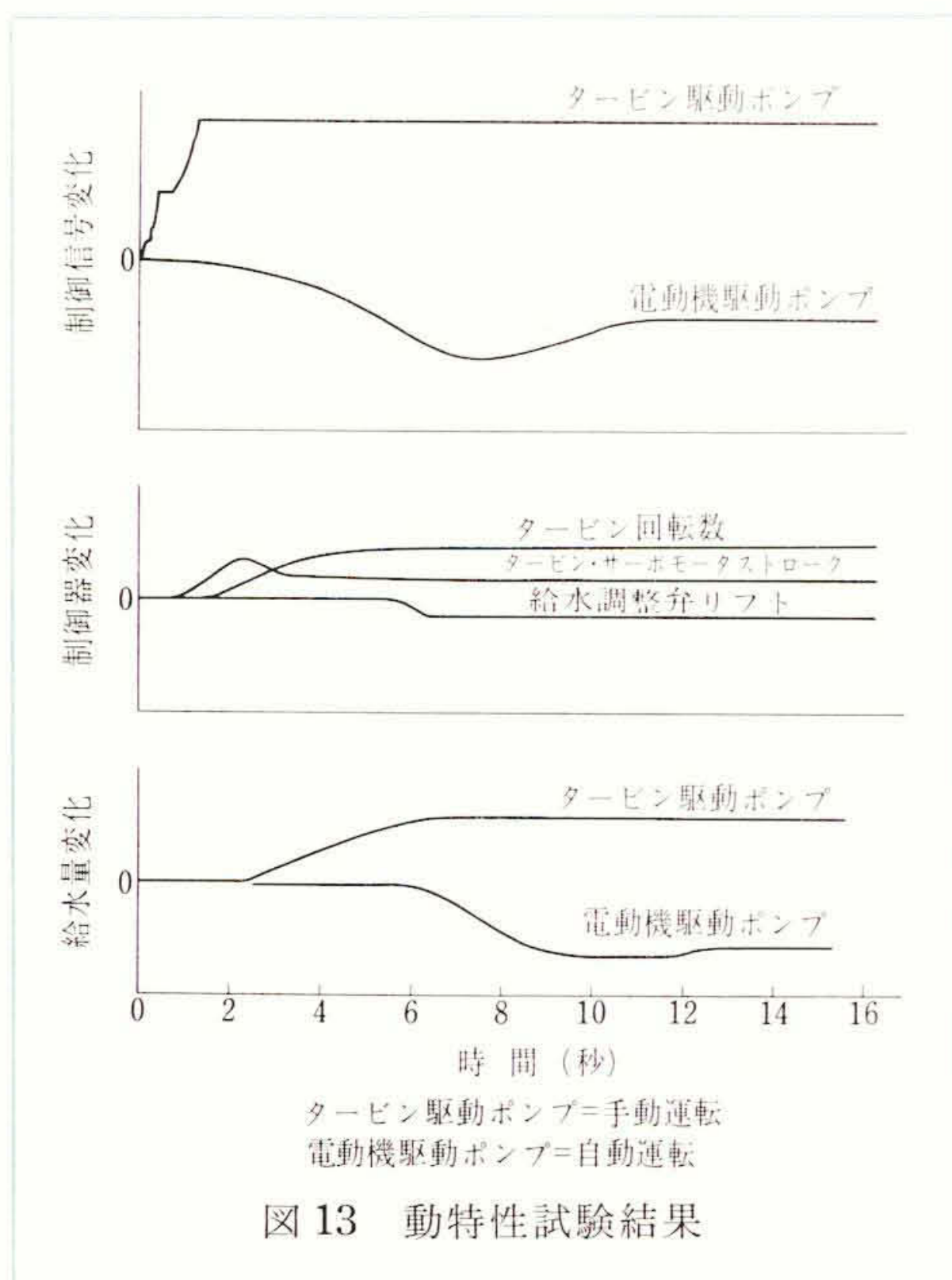


図13 動特性試験結果

はいった。特に前二者は国内で最初に給水ポンプを復水式蒸気タービンで駆動する方式を採用したプラントであり、火力界の注目を集めていたものである。このタービンの駆動蒸気には主タービンの抽気を使用されているが、これによる発電所熱効率の向上がプラント性能試験によって確認され、また運転特性も電動機駆動の場合と差がないことが実証された。図13はタービン駆動ポンプと電動機駆動ポンプとの2台並列運転における動特性試験結果の一例である。タービン駆動ポンプはステップ変化に対しても、その給水流量が良好な追随性と安定性をもっていることがわかる。

電子式ボイラ自動制御装置の開発

東海製鉄株式会社東海火力発電所納 50 MW 3号発電用電子式ボイラ自動制御装置を完成した。制御装置を図14に示す。

本制御装置は大容量火力プラントにおける国産記録品であり、種

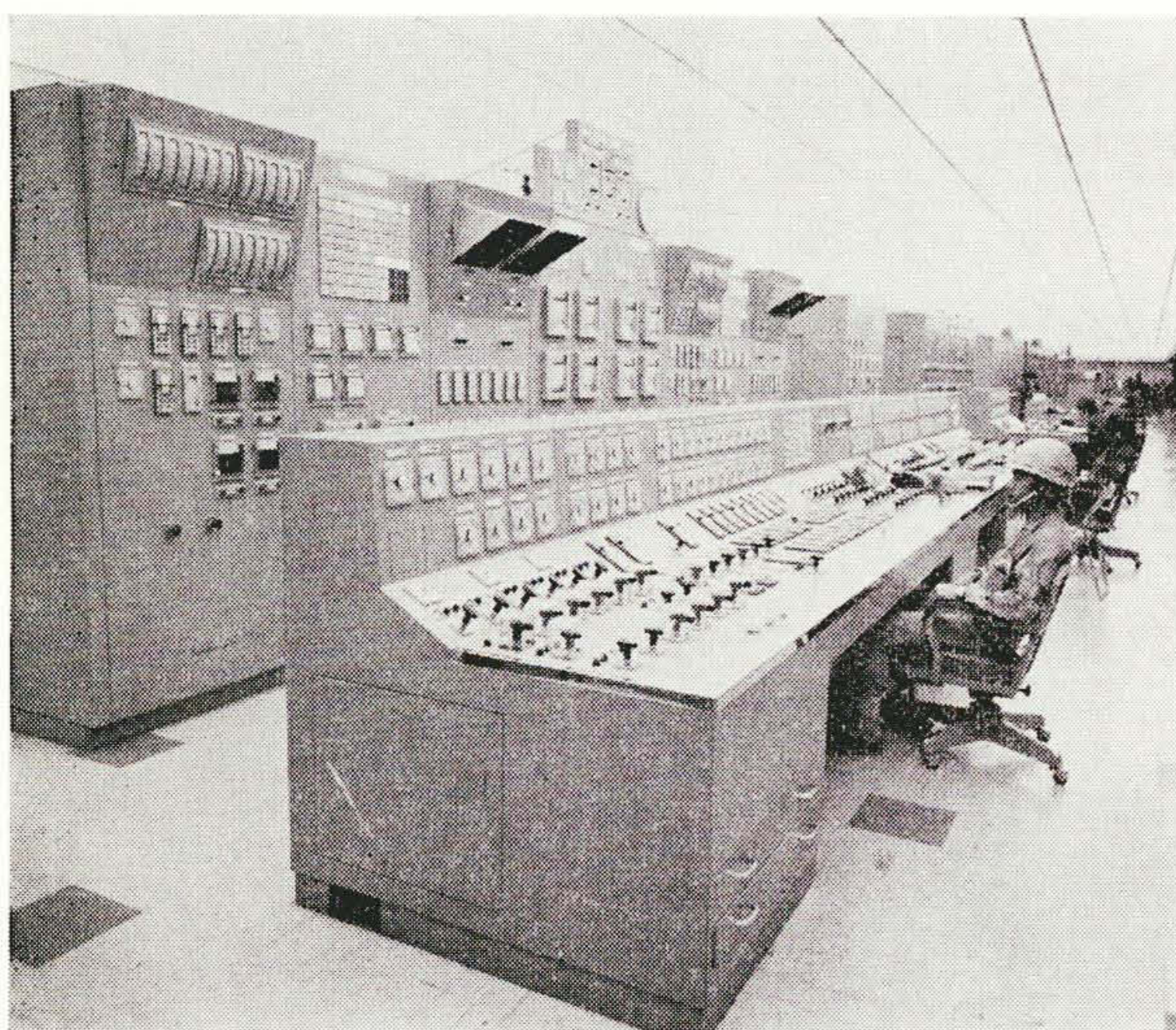


図14 電子式ボイラ自動制御装置

々の改良および新機種の開発を行ない、信頼性の高い新しい日立ユニットロール適用の電子式ボイラ自動制御装置とした。現在好調な運転を行なっている。

この装置の開発により事業用級の火力プラントへ国産のボイラ自動制御装置を採用する基礎が確立された。

おもな特長は次のとおりである。

- (1) 世界的にも例を見ないペンソンボイラと自然循環ボイラの並列運転制御を可能とした。
- (2) 重油、タール、BFG、COG よりなる多燃料のプログラム制御および最適空燃比制御を可能とした。
- (3) 重油バーナは自動バーナで、負荷に応じたバーナの自動抜き差し、自動着火、消火を可能とした。
- (4) 次のような開発および改良を行なった新しい日立ユニットロールを採用した。

(A) 新機種としてリセット・バイアス付自動手動切換器、燃料順序制御器、高一低入力選択リレー、リミッタ、5入力加算器、低差圧発信器を開発した。

(B) コントローラは調節部と自動手動切換部を分けることにより演算器はすべてラック取付形に体質改善し、キャビネットに収納し保守点検が容易な構造とした。

(C) 信頼性の向上のために部品の使用基準および規格を電力用に統一し、製品に対してはエージング試験を十分行なった。

火力発電所用集じん装置

- (1) サイクロンファーンボイラ用集じん装置

サイクロンファーン(CF)ボイラは、従来のボイラと異なり石炭中の灰分の大半をスラッグとして炉内で取り除くため、ボイラから出る煤じんの量は、一般の微粉炭ボイラに比べてかなり少ないが、その粒度は細かい。したがってCFボイラ用集じん装置では、あらかじめこれらの点を十分に注意する必要がある。九州電力株式会社新港発電所2号缶にCFボイラ用集じん装置として、高性能マルチサイクロン(MC)と電気集じん装置(EP)を組み合わせたMC-EP形集じん装置を納入し、現在好調に運転している。本装置の特長はMCをすべてブロック構成とし、またEPき電室にはカバータイプを採用し小形化するとともに、EPの集じん極槌打には、シリコン整流器制御による電磁ハンマを採用している。また本装置は加圧運転であるため、ガスリークのないように各部のシールには特に留意している。図15に本装置を示す。

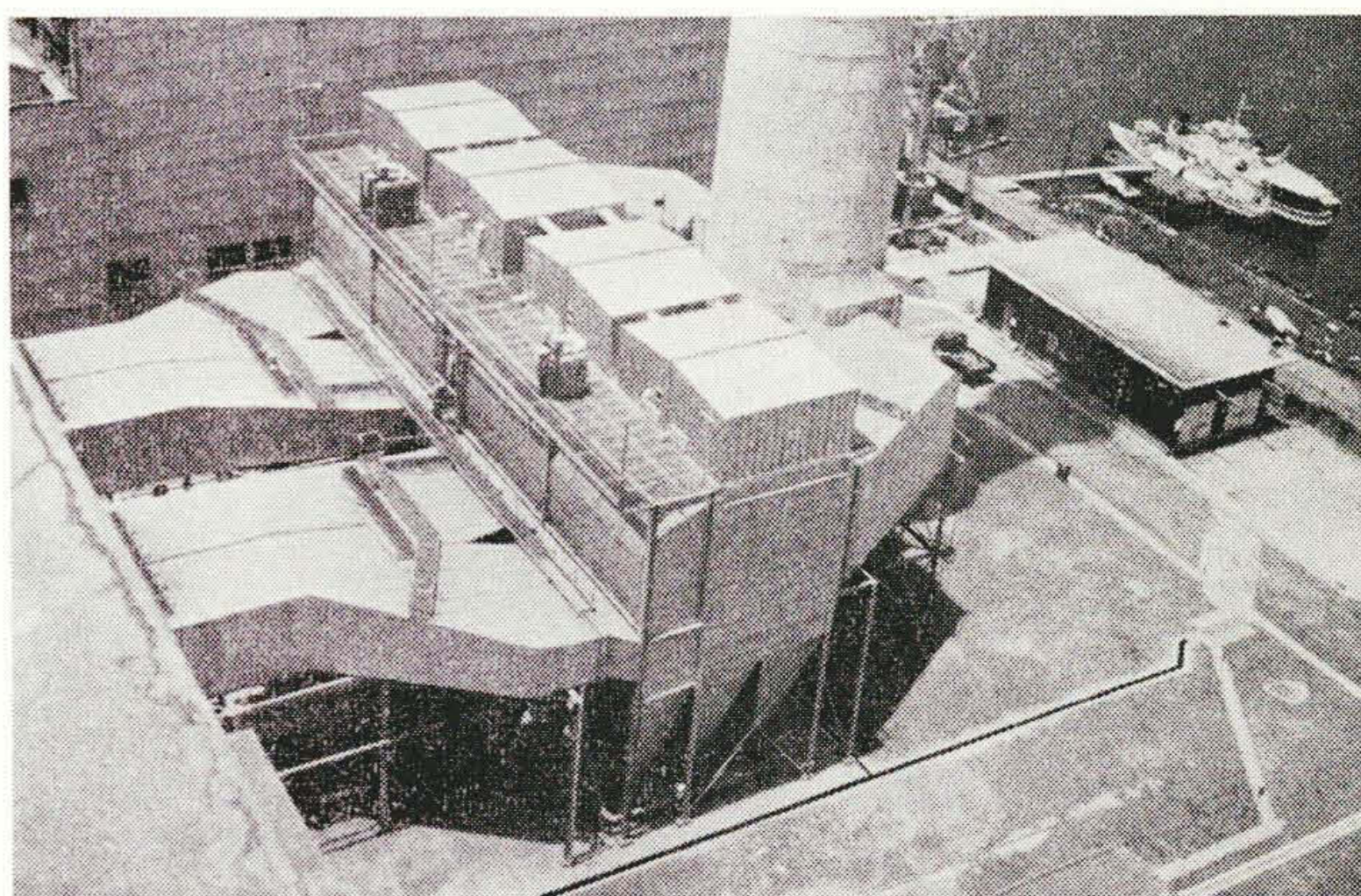


図15 サイクロンファーンボイラ用集じん装置

(2) 重油専焼ボイラ用集じん装置

重油専焼ボイラでは排ガス中の硫酸分と煤じんが、煙道の比較的低温部で結合し生成されるアシッド・スマットによる公害が問題となっている。これを防止するためのマルチサイクロン(MC)形集じん装置を関西電力株式会社堺港発電所5号缶用に納入した。本装置では機器の腐食と灰づまり防止に特に留意し、機器には耐食性の材料を採用した。特にMCペーンの表面には合成樹脂塗装を行ない、比較的、温度の下りやすいホップ部分には蒸気加熱装置を設けた。さらに常時、装置内部を監視できるように特殊照明装置をつけたのぞき窓を取り付けた。一方、閉塞などの問題が起こった場合には内部水洗が外部操作によりできるよう考慮した。なお本装置は将来公害問題がいつそきびしくなってきた場合、重油専焼ボイラ用集じん装置として開発した静電凝集器(PC)をマルチサイクロンに前置したPC-MC形集じん装置に改造可能な構造として、公害問題に充分対処できるようになっている。

変電設備

LR-B形負荷時タップ切換器の開発

電力の質の向上および系統運営の円滑化を目的に、発電所用、変電所用変圧器として負荷時タップ切換変圧器を指定されることが多い。

日立製作所では、はやくから研究・試作を積み重ね、変圧器本体に蔵の回転形抵抗式を基本方針として回路電圧275kV、容量750MVAまで適用できるLR-K形シリーズと、回路電圧154kV、容量60MVAまで適用できるLR-N形を完成し、他社にさきがけて使用者の厳重な共同立会試験に合格した。これら送電用日立抵抗式負荷時タップ切換変圧器の納入実績は30台、変圧器容量約5,000MVAに達した。

送電用抵抗式負荷時タップ切換器シリーズの完成に伴い、これらの開発による豊富な経験と技術を生かして容量20MVA以下の配電用負荷時タップ切換変圧器を対象とした2抵抗式の小形なLR-B形負荷時タップ切換器を開発した。小形軽量であり、切換開閉器の点検には特殊工具を必要とせず、簡単に手できり出せる重量・寸法である。一段上のLR-N形と比較すると高さは75%、重量は40%、容積では50%である。LR-B形負荷時タップ切換器は輸出変圧器を主としてすでに40台の製作実績をもっており、特長は次のとおりである。

- (1) 変圧器内蔵形であるからそのまま組立輸送ができるので信頼度が高い。カバー上に充電部分が露出しないので、変圧器の所要スペースが小さくて経済的である。
- (2) 駆動機構と遮断部とを分離して構成する回転機構の採用により小形化され変圧器内蔵に最適である。
- (3) 遮断部は早切り駆動軸の周囲に各相に対応して配置した3個の扇形可動子が、絶縁筒内に沿っ

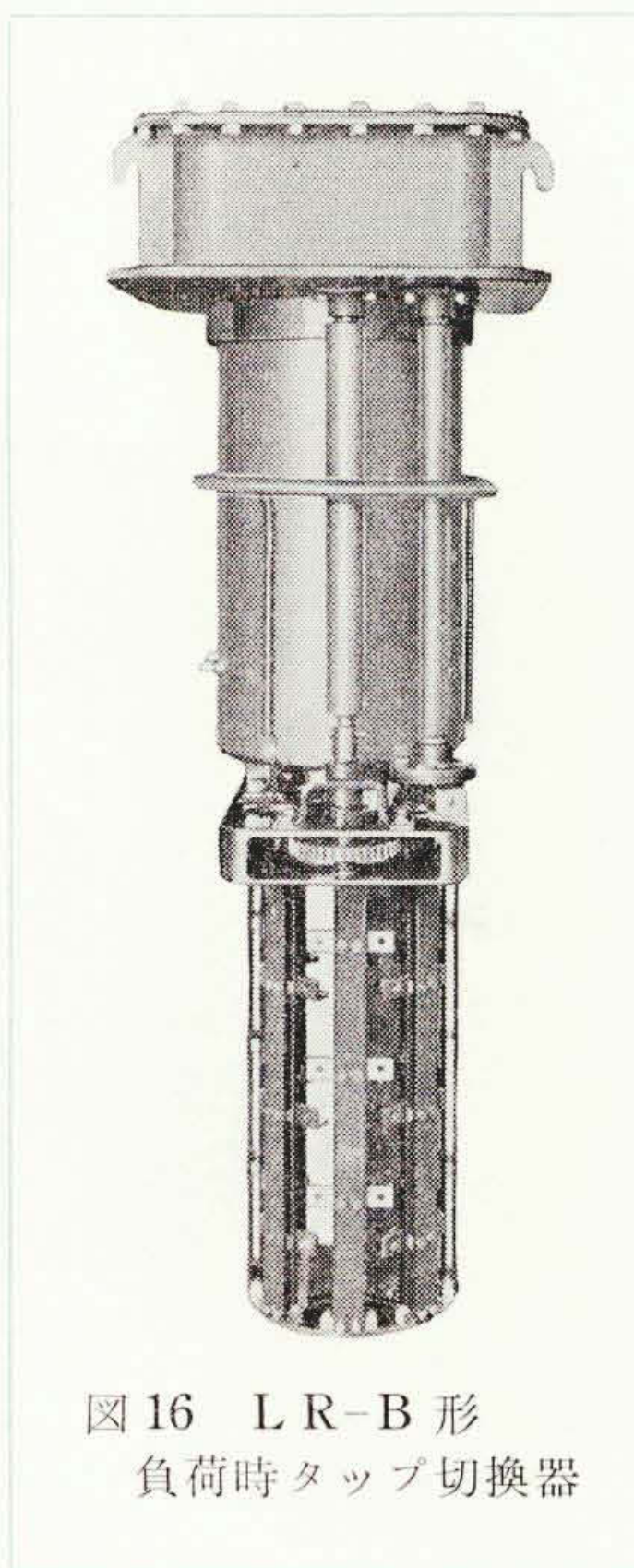


図16 LR-B形負荷時タップ切換器

表4 日立抵抗式負荷時タップ切換器

形式	通過電流(A)	適用	仕様
LR-B	200	回路電圧 77 kV 容量 20 MVA以下	回転形2抵抗式切換
LR-N	350	回路電圧 154 kV 容量 60 MVA以下	回転形4抵抗式切換
LR-K	600	回路電圧 275 kV 容量 250 MVA以下	回転形6抵抗式切換
LR-2K	1,200	回路電圧 275 kV 容量 490 MVA以下	回転形6抵抗式切換
LR-3K	1,800	回路電圧 275 kV 容量 750 MVA以下	回転形6抵抗式切換

て取り付けられた固定接触子群の上を転動する往復偏心回転機構であるから切換が円滑・軽快である。

(4) 早切り駆動機構のばね蓄勢力の積放は掛金をはずす機構として、切換初期の回転駆動力を大きくして電流遮断を急速に行なっている。

(5) 切換開閉器は変圧器本体の油密を破ることなく簡単につり出せる。早切り駆動機構と遮断部は軽量・小形化されているので、特につり上げ装置を必要とせず1人で簡単に取り出せる。

(6) 一般に回転式切換機構の点検には特殊な熟練者を必要とするが、日立抵抗式負荷時タップ切換器は絶縁筒内面に配置された固定側接触子と抵抗器が絶縁筒を三分割して、三相分をそれぞれ別に構成しているため、各相ごとに簡単に取りはずすことができ、接触子、抵抗器の点検がきわめて容易である。

(7) 構造の単純化と、部品の標準化とを設計目標とし、かつわが国での使用条件を十分に考慮して開発したもので、電動操作機構をも含めて装置は高い信頼度を有している。

電力用SF₆絶縁変圧器

不燃性を要求される屋内用、特にビル用変圧器としては現在不燃性油入変圧器、またはH種絶縁乾式変圧器が使用されている。不燃性油入は高価、かつ重量が重く、使用する油の有害性から取り扱いに若干難点があり、一方、H種乾式は空気に絶縁を期待するため、特に電圧が高い場合、寸法が増大する欠点があり、高価な材料を使うためコスト高になる。

SF₆ガスは比較的低い圧力でも絶縁油と同程度の絶縁耐力を有し、しかも不燃性で熱容量が大きく、これを利用して上記の欠点をカバーした小形軽量、かつ安価な不燃性変圧器を開発した。図17は2,000kVA、SF₆絶縁変圧器を示したものである。

(1) 仕様 工場内の試験電源に用いるため、次のような多

- 種類の電圧を組み合わせた特殊仕様とした。
- 2,000 kVA,
- 单相, 50c/s,
- 送気風冷完全密封形
- 21-10.5 kV / 3.3-2.8-
- 1.65-1.4kV (A) 絶縁内部絶縁は21 kVにもかわらず30号/3号A (BIL 200 kV/45kV)

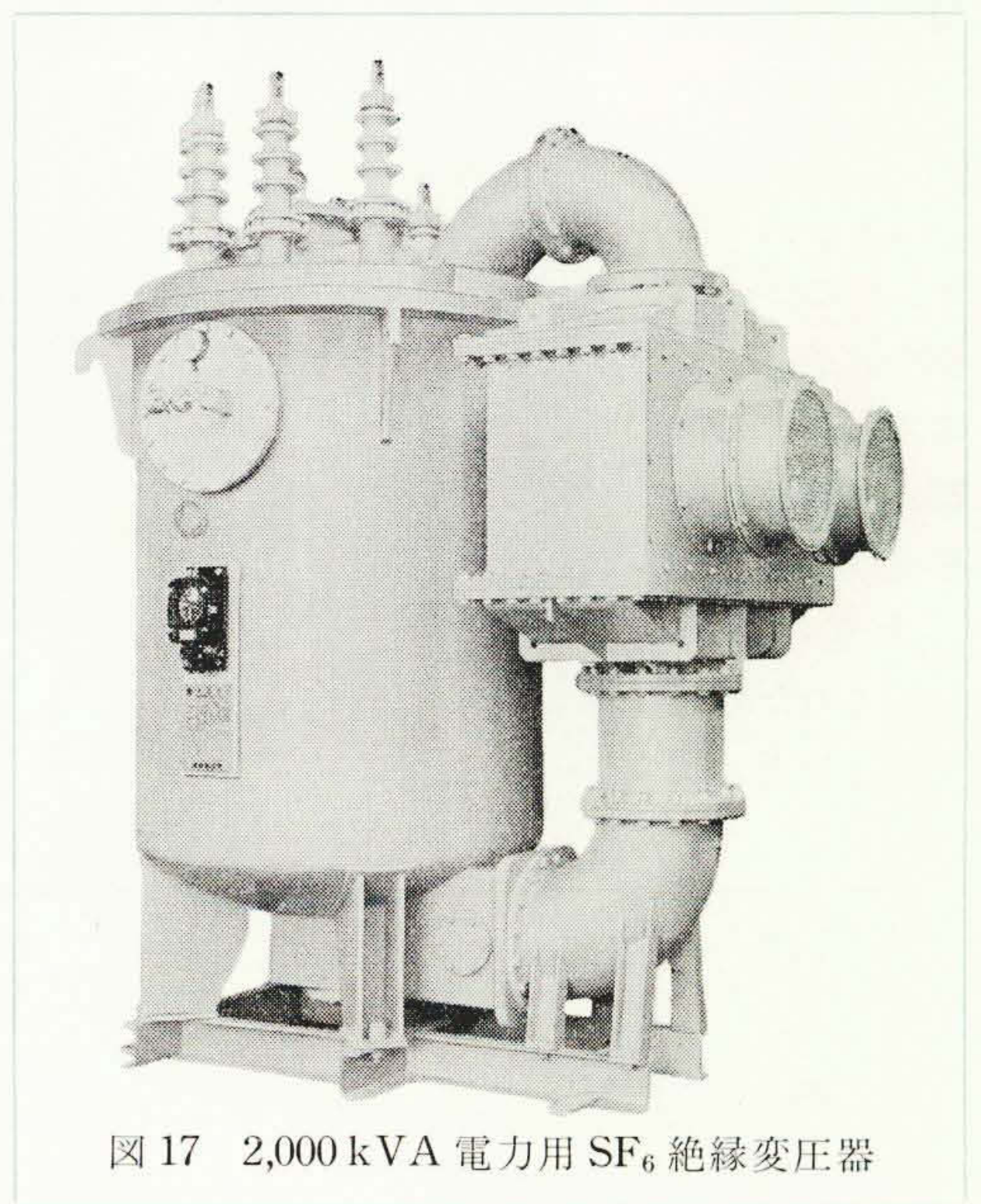


図17 2,000 kVA 電力用 SF₆ 絶縁変圧器

表5 従来品との寸法比較

機種	高さ (%)	床面積 (%)
SF ₆ 変圧器	100	100
鉱油入変圧器	90	130
不燃性油入変圧器	90	130
H種乾式変圧器	105	110

を採用してビル用として一般的な30号絶縁方式である。

(B) 冷却巻線はガスを強制循環させて冷却し、ガスはユニットクーラで強制冷却する方式にしている。

(C) 外部構造 図17のようにタンクは内圧容器のため円筒形にしてあり、電圧切換はカバー上のブッシングで切り換える構造となっている。

(2) 従来品との比較 性能は従来品と変わりなく、寸法は表5に示すように不燃性油入、H種乾式変圧に比べて小形軽量になっている。

OPH形空気遮断器

電力系統の大形化に伴い超高压遮断器の遮断容量もこれまでの300 kV、15,000 MVA から20,000 MVA さらに25,000 MVAへと増大しつつある。300 kV以上の超大容量空気遮断器として開発したOPH形新シリーズは300 kV用各定格品の生産態勢を整え、関西電力株式会社宝塚開閉所をはじめとして運転開始のものを含めて15台余を受注し、目下量産にはいっている。

OPH形空気遮断器は操作圧力が従来のOPF、OPG形に比べて15 kg/cm²から30 kg/cm²に昇圧されたため、大容量形であるにもかかわらず遮断点数が半減されて小形になっている。また遮断性能のすぐれた常時空気式遮断部を採用しているため、接点の損傷が少なく遮断点数が少ないこととあいまって点検・補修の手数が著しく低減されている。

300 kV用の各定格品は表6に示すとおりで、寸法的にはすべて同一で外見上の差異はない。特に20,000 MVA用に抵抗および抵抗接点を付加するのみで外形寸法の増大、あるいは特別な改造をほどこさずに容易に25,000 MVAに格上げできる点が大きな特長で、このため将来の容量増大が

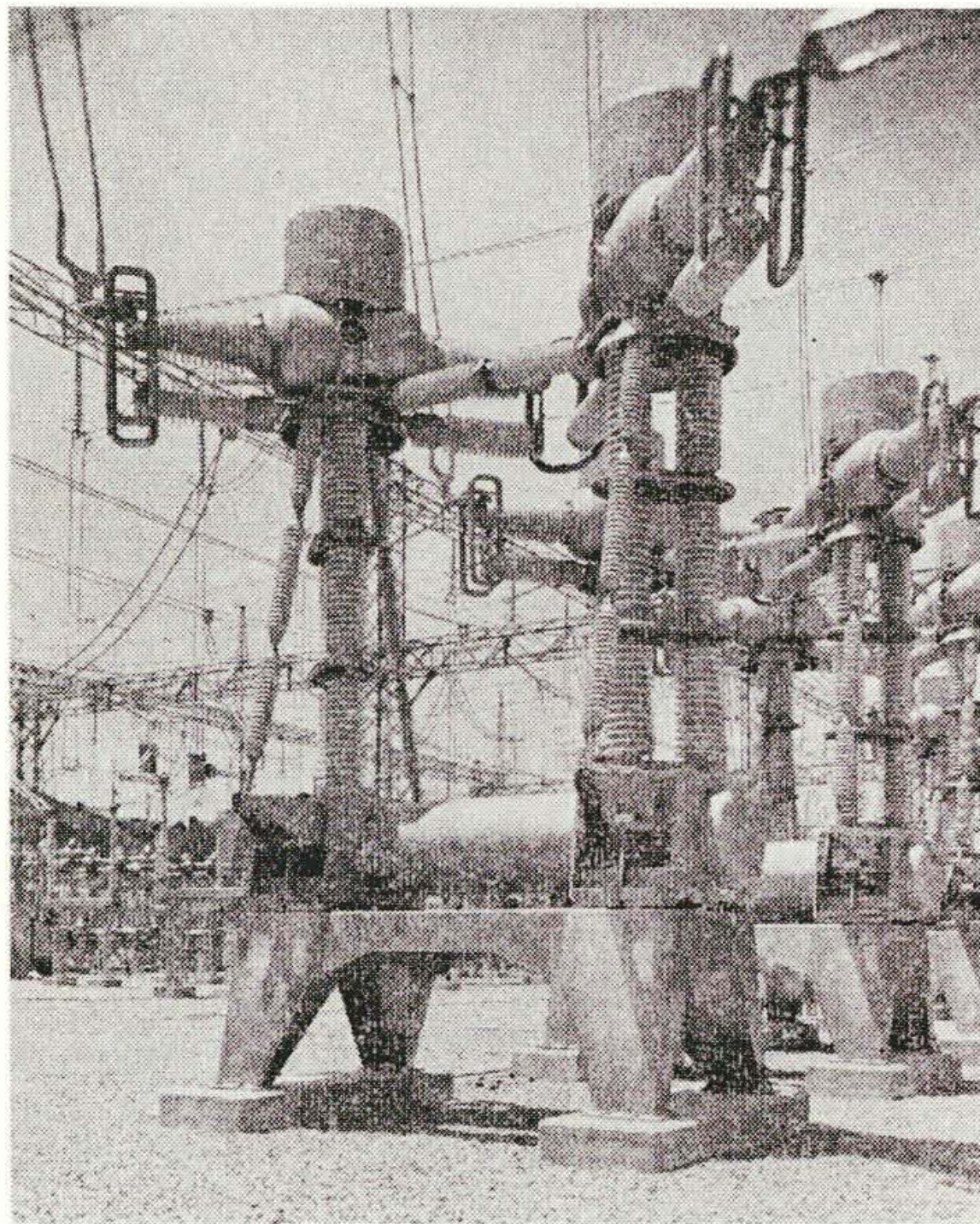


図18 300 kV、4,000 A、25,000 MVA OPH形空気遮断器

表6 OPH形空気遮断器定格

定格電圧 (kV)	定格遮断容量 (MVA)	定格電流 (A)	遮断点並列抵抗
300	20,000	2,000	なし
	20,000	4,000	なし
	25,000	2,000	あり
	25,000	4,000	あり

考えられる場所に対して、経済的な遮断器を適用させることが可能である。また同形の遮断部ユニットを用いて現在、計画が進められている500 kV級系統用の遮断器を構成することができる。

配電近代化の関連機器

近年、配電近代化の一環として供給信頼度の向上および都市配電の美化が強く要望されているが、これに関連した地中配電用機器として、低圧ネットワークプロテクタ、住宅地区配電方式(URD)用変圧器および地中配電線試験車などを開発し、さらに配電線事故時の停電時間を極力短縮するため、高速度再閉路形柱上真空遮断器を完成した。

(1) 低圧ネットワークプロテクタ

低圧ネットワークプロテクタは、低圧ネットワーク配電系統の保護機器でレギュラー用とスポット用とがある。前者は都心の需要家密集地区に設置されるもので、図19は東京電力株式会社に納入したものを示す。また後者は超高層ビルや工場内に設置されるもので、図20は今回、日本鋼管株式会社に納入したものを示す。

(2) パッドマウント変圧器

住宅地区配電方式(URD)用変圧器であるパッドマウント変圧

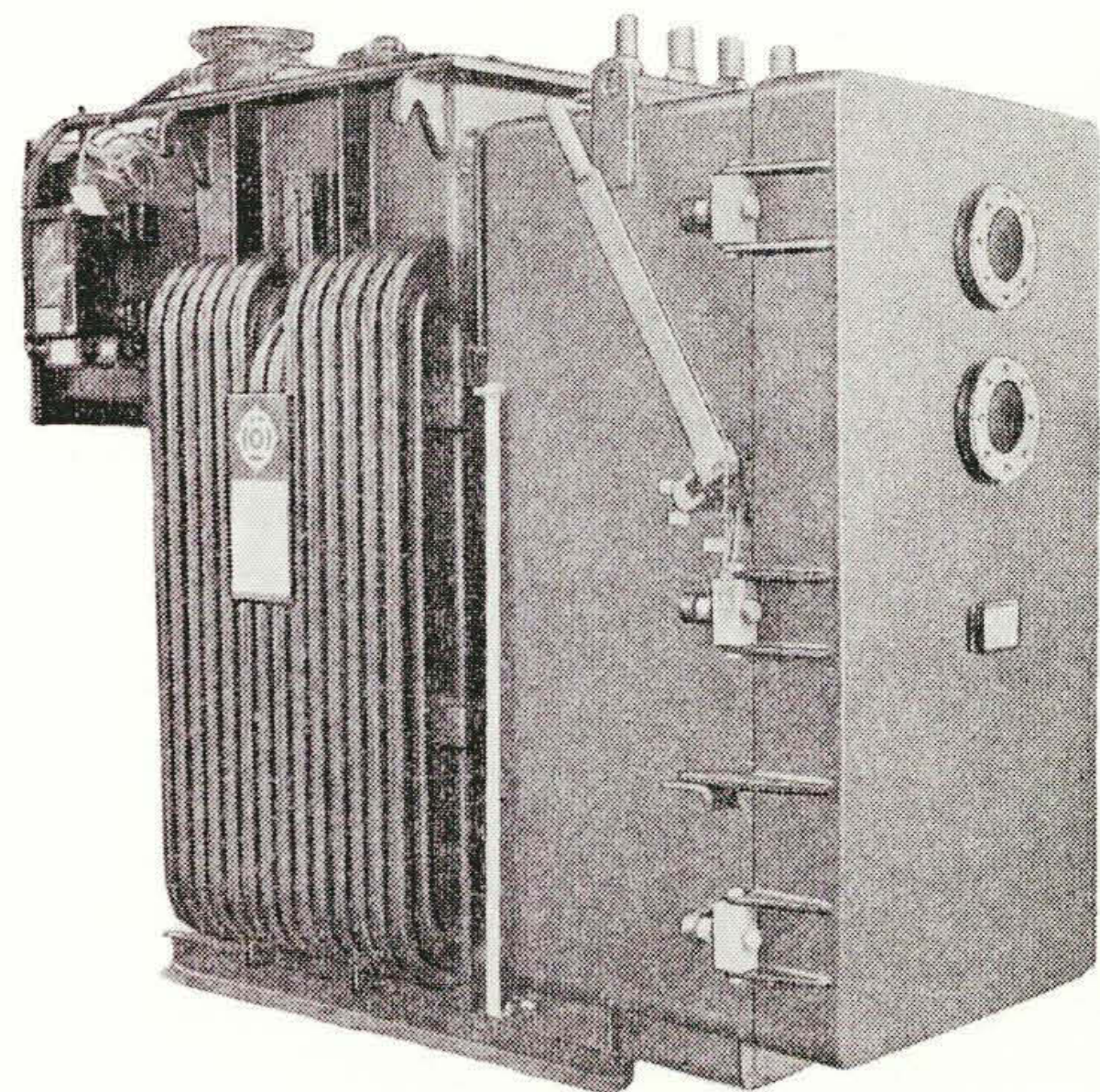


図19 東京電力株式会社納 250V、1,600A、(50+150) kVA レギュラーネットワークプロテクタ

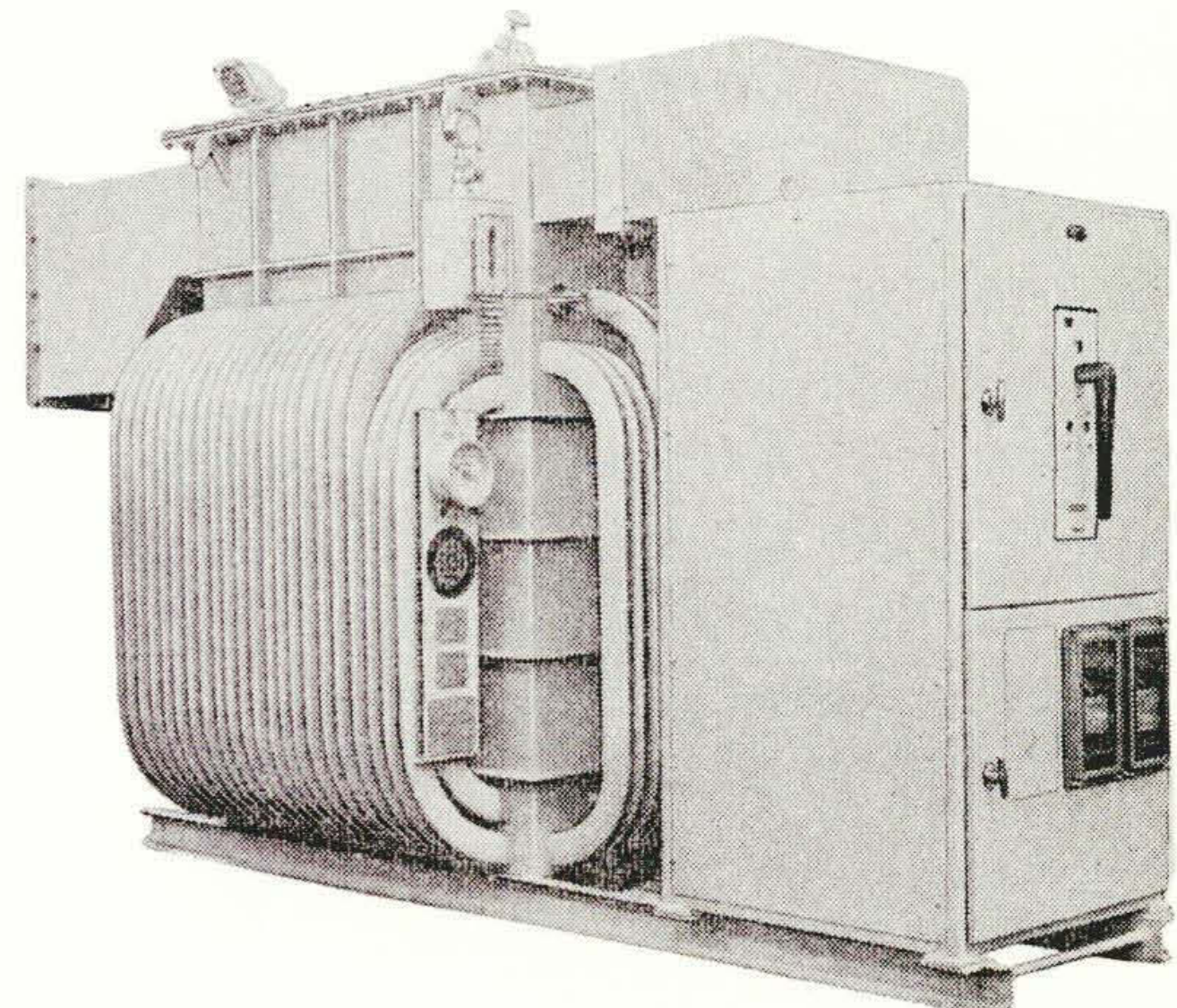


図20 日本鋼管株式会社鶴見造船所納 250V、1,600A、500 kVA スポットネットワークプロテクタ

器を完成した。URD方式は住宅地区の外観美化を目的とし、しかも地上に設置されるため外観の改良および安全性に特に留意した設計となっている。

(3) 地中配電線試験車

地中配電用機器がつつぎと開発され使用されるに従って、地中線の新設、保守点検の迅速化が要求されるが今回保安機器として直流耐圧試験器、ケーブル、発電機、諸測定器などをとう載した地中配電線試験車を完成した。本試験車は都市で使用されるため小形軽量化を図り、特に機動性に留意した設計となっている。

(4) 高速度再閉路形真空遮断器

本器は常開ループ配電線に高速度再閉路形区分開閉器とともに使用され、常時は開路して1回線事故時に高速投入して健全回線から電力を逆送するものであり、配電サービス改善に寄与するものである。

関西電力株式会社納 自動給電システム

本システムは全社の業務の総合機械化、いわゆるトータルシステムの一環として中央給電指令所に設置され、日常の給電業務、特にAFCと協調して刻々変わる電力需用に追従して、一日の総発電コストが最小になるように、各火力発電所の出力をオンライン制御するわが国初の計算制御システムである。図21に制御システムのブロック図を示す。今回納入の自動給電システムは計算センターの

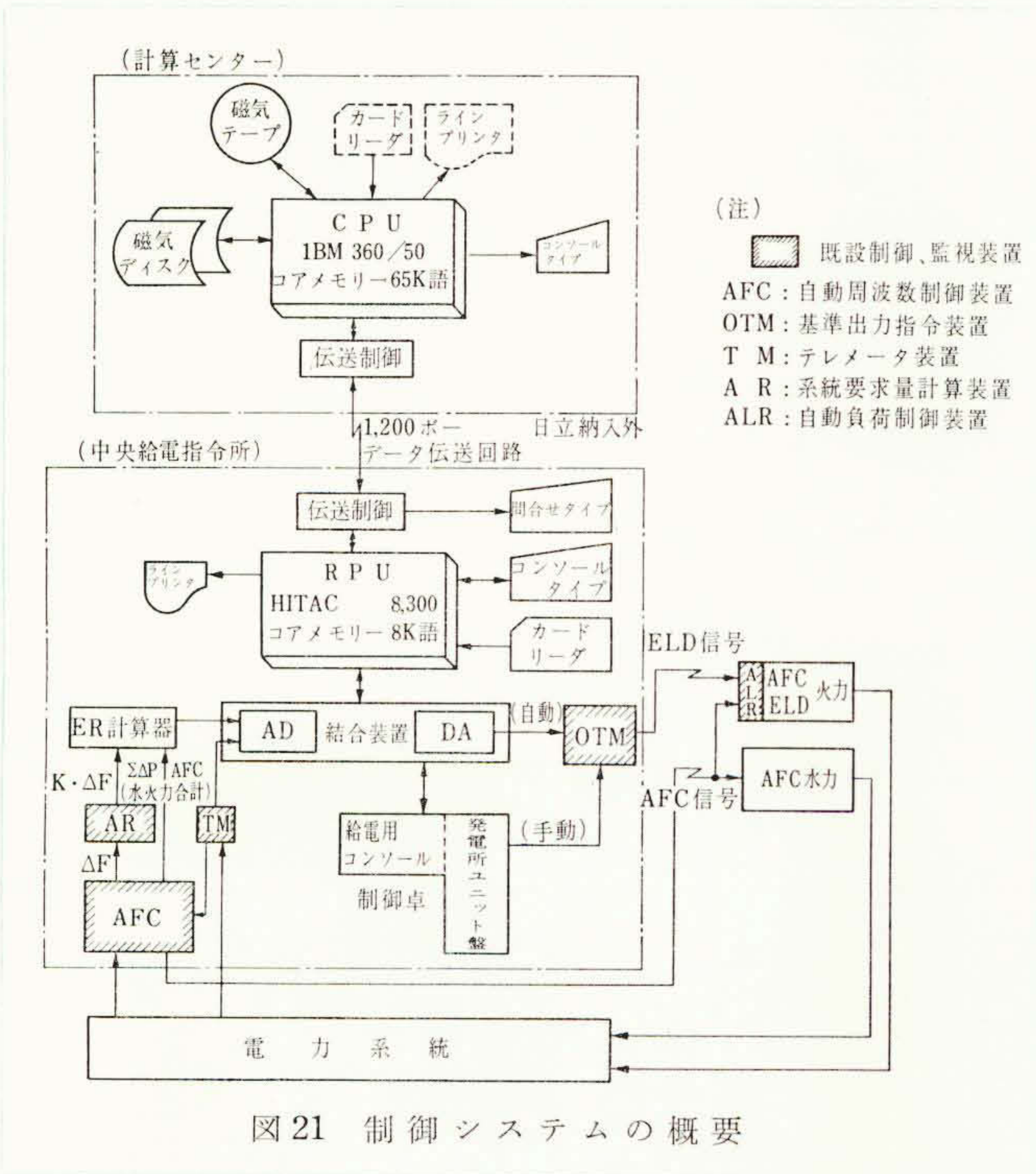


図21 制御システムの概要

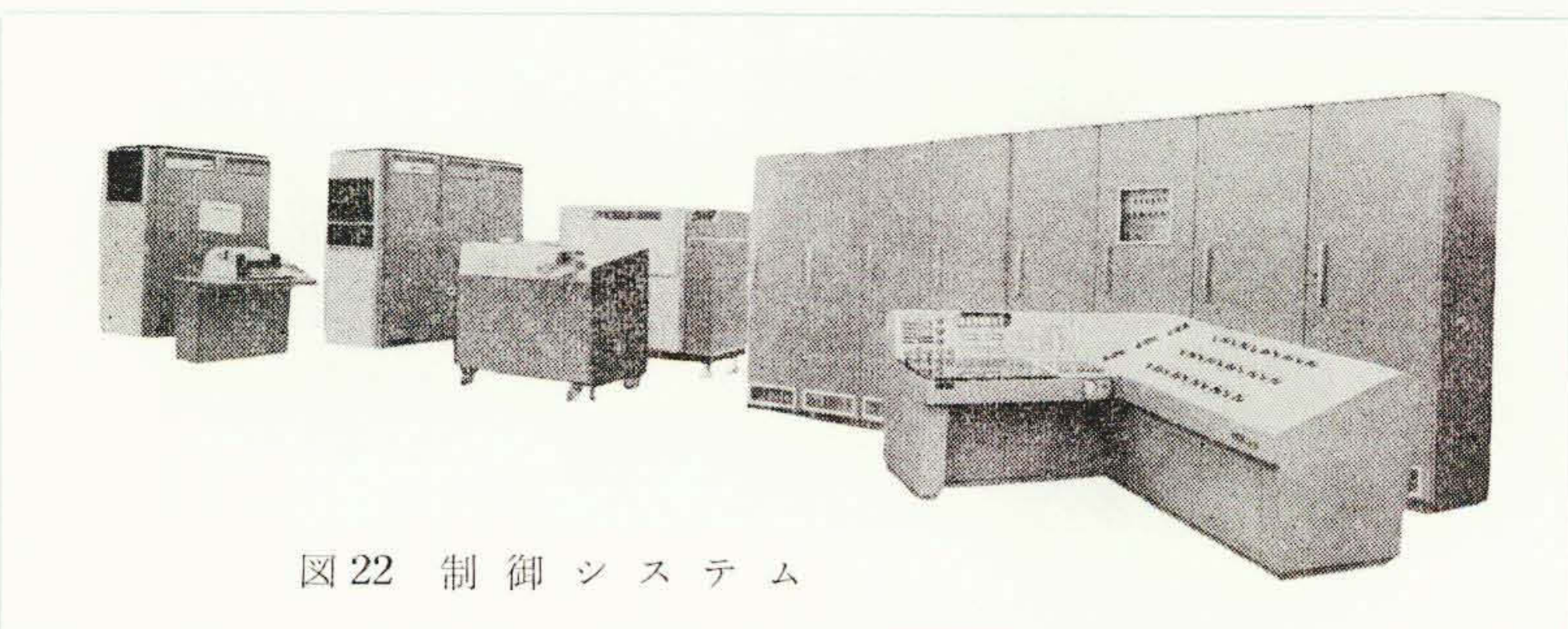


図22 制御システム

CPU (Central Processing Unit) に対し、RPU (Remote Processing Unit) と呼ばれ、CPU とは 1,200 ボー高速データ伝送回線で結ばれている。電力系統からの入力データは、RPU にはいり、ここで必要なチェックを行なったのちに CPU に伝送され、経済配分計算を行ない、その結果を RPU が受け、ここから各発電所に制御指令を送る制御ループになっている。RPU の構成は次のとおりである。

処理装置	HITAC 8300	コア 32K B	1
カードリーダー(C/R)		H-8233-10	1
ラインプリンタ(L/P)		H-8245-12	1
問合せタイプライタ(I/T)		HD-3008	1
多重通信制御装置(CCM)		H-8668-11	1
コンソールタイプライタ(C/T)		H-8098-2	1
データ入出力装置(P I/O)			1
給電用コンソール			1

図22にシステムの外観を示す。システム的には、AFCとELDの協調方式、負荷急変時の制御方式、異常時のチェックおよび処理方式など、オンライン制御システムに対する新方式が考案・適用されている。またハードウェアとしてはH-8300, CCM, PI/Oなどに集積回路をはじめ最新の技術がとり入れられており、日立製作所の電子技術と制御技術の一大結集である。

零相循環電流の影響を受けない共架多 回線送電線用地絡電力平衡リレー装置

いわゆる共架多回線送電線では、常時零相循環電流が流れるので抵抗接地系の地絡保護が問題である。今回、零相循環電流の影響を受けない共架多回線用地絡電力平衡リレー装置を開発した。

従来の地絡電力平衡リレー装置は零相電流の大きさに応動するので、事故電流がなくても零相循環電流によって誤動作し適用困難であった。本装置では事故発生時の零相電流の変化分、すなわち事故電流のみに応動させ、正しい選択保護を行なうようにしてある。

地絡電力平衡リレー装置は回線選択のために零相電圧を基準とした方向特性を持たせる必要があり、さらに零相電流の変化分を検出せねばならないので従来の技術では困難であった。本装置では電流の変化分の大きさを時間に変換する独自の回路を開発することにより、実現することができた。

図23は本装置の原理説明図である。(a)において基準線からの方向リレー感度電流 I_b は一定速度で増減する。この感度の増減は方向リレー出力をフィードバックさせて制御する。最初、循環電流 I_{co} が流れている間は I_b は $I_{co} +$ 基準量 I_b の大きさに制御されているの

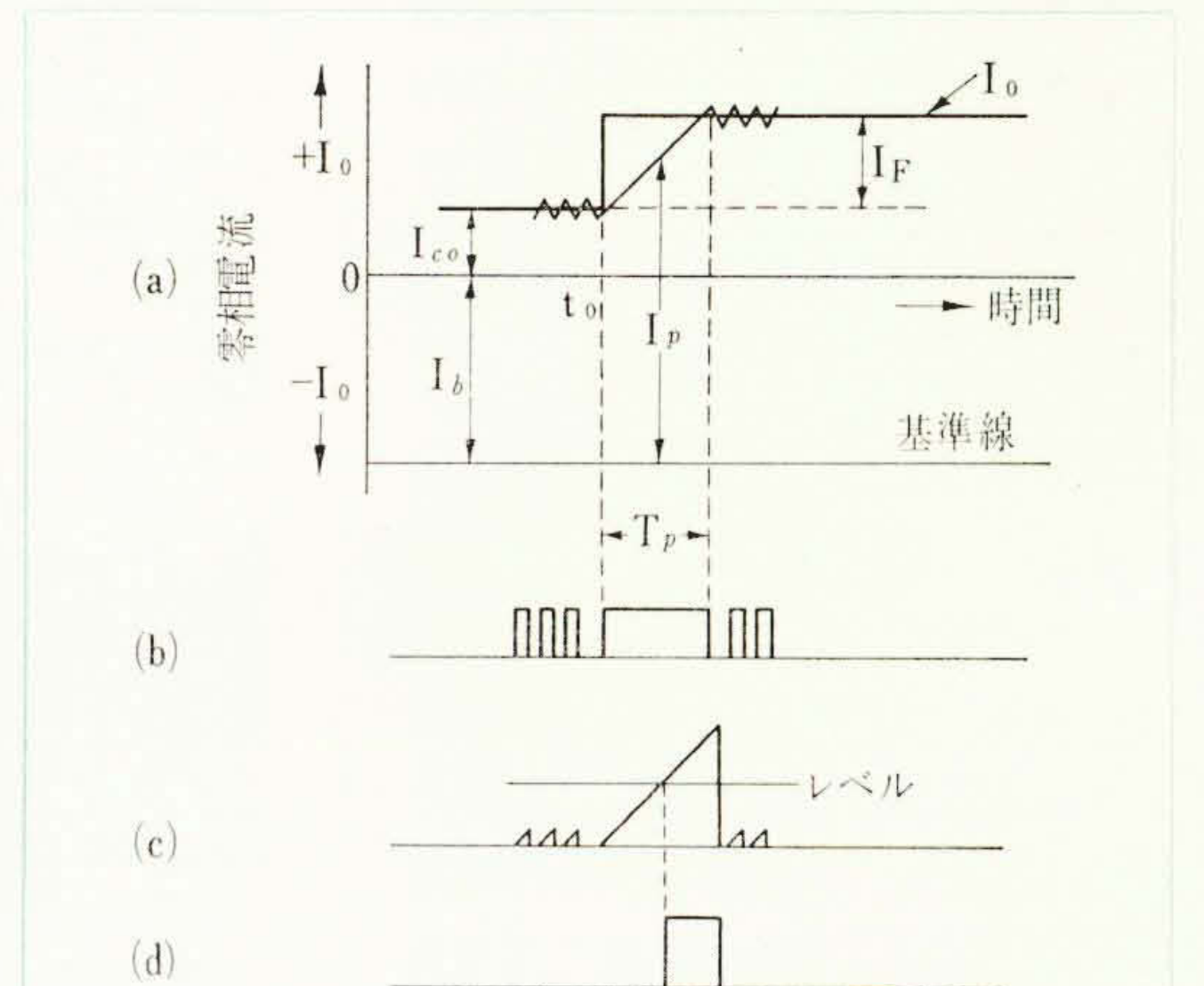


図23 共架多回線用地絡電力平衡リレーの原理

で方向リレー出力は短パルスであるが、時刻 t_0 で零相電流 I_0 が I_F だけ増加すると、 I_p が $I_{c0} + I_F + I_b$ に追いつくまで、 $I_{c0} + I_F + I_b > I_p$ となり、方向リレー出力が (b) のように長パルスとなる。この長パルスの長さ T_p は I_F の大きさに比例するので、パルス長が一定値以上であることを (c)(d) のように検出することにより I_F に応動させることができる。

本装置は、パイロットワイヤ、キャリアセットなどを必要とせず構成が比較的簡単であること、適用が容易であることなどの特長を持っている。

図24に本装置の外観を示す。

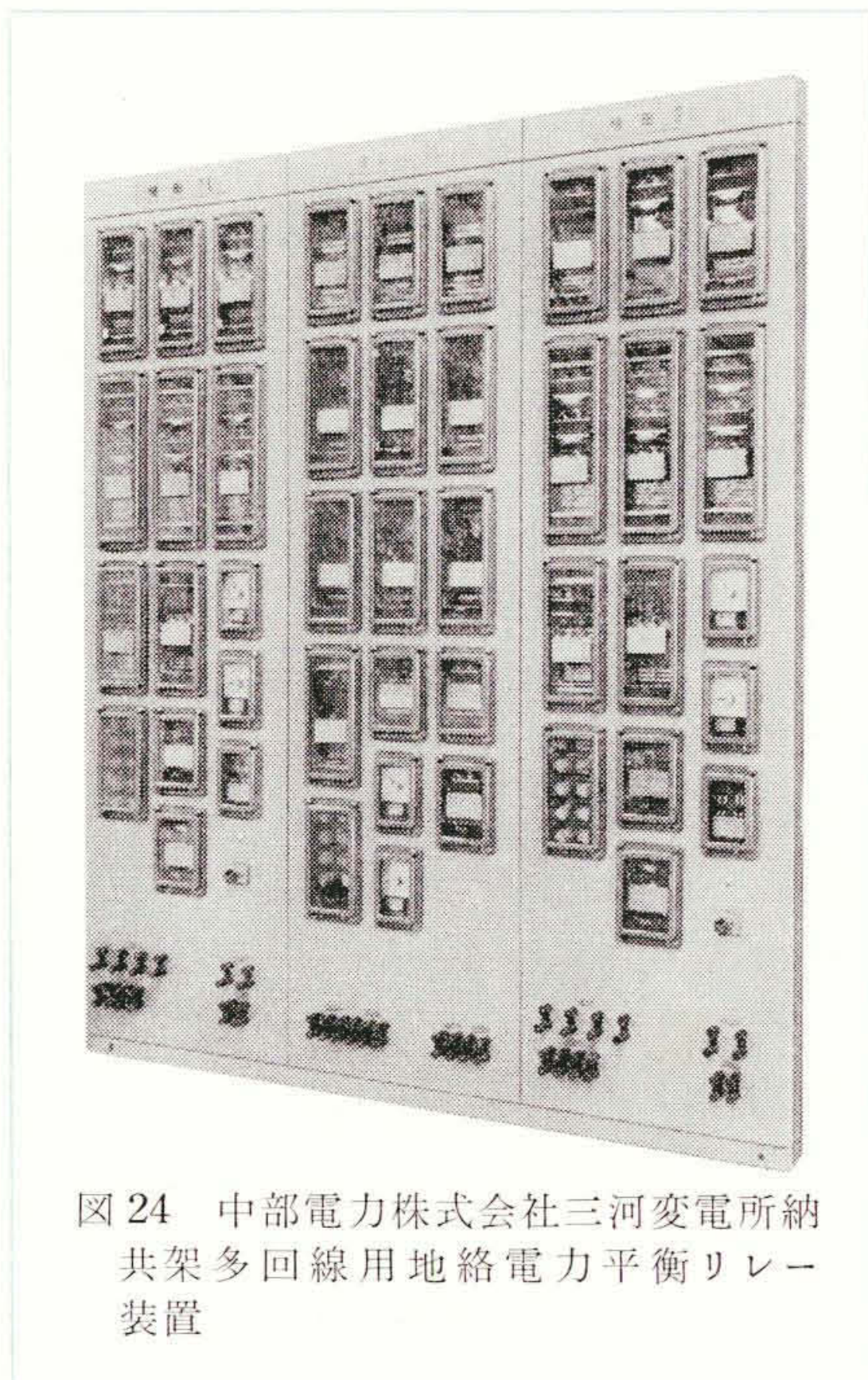


図24 中部電力株式会社三河変電所納 共架多回線用地絡電力平衡リレー装置

成されており、小形で取り扱いも容易である。図26に本装置の外観を示す。

CT誤差対策を行なったケーブル系地絡保護用パイロットワイヤリレー装置

近年、都市地域のケーブル送電線が増加しているが、その保護リレー装置としてはいわゆるパイロットワイヤリレーが最適である。今回、抵抗接地系ケーブル送電線の地絡保護用としてCT誤差の影響を受けにくいパイロットワイヤリレーを開発した。

ケーブル送電線用地絡パイロットワイヤリレーの問題点は、内部対地充電電流と、CT誤差による差動電流が発生することであり、いずれも外部事故時に動作力となり得る。そのうち前者に対しては零相電圧を導入し、方向特性をもたせることにより対策されている。本装置は後者の対策を行なったもので、特にその影響の大きい3端子系統にも適用可能となった。

本パイロットワイヤリレーは、各端電流のベクトル和すなわち差動電流が流入方向であれば動作するので、外部事故時の差動電流がCT誤差により流入方向にならないよう考慮する必要がある。そこで本装置では、外部事故時の差動電流が必ず逆な流出方向となるように、流入端電流は飽和しやすく、流出端電流は飽和しにくいような方向性リミッタを開発して適用した。

系統位相角測定装置

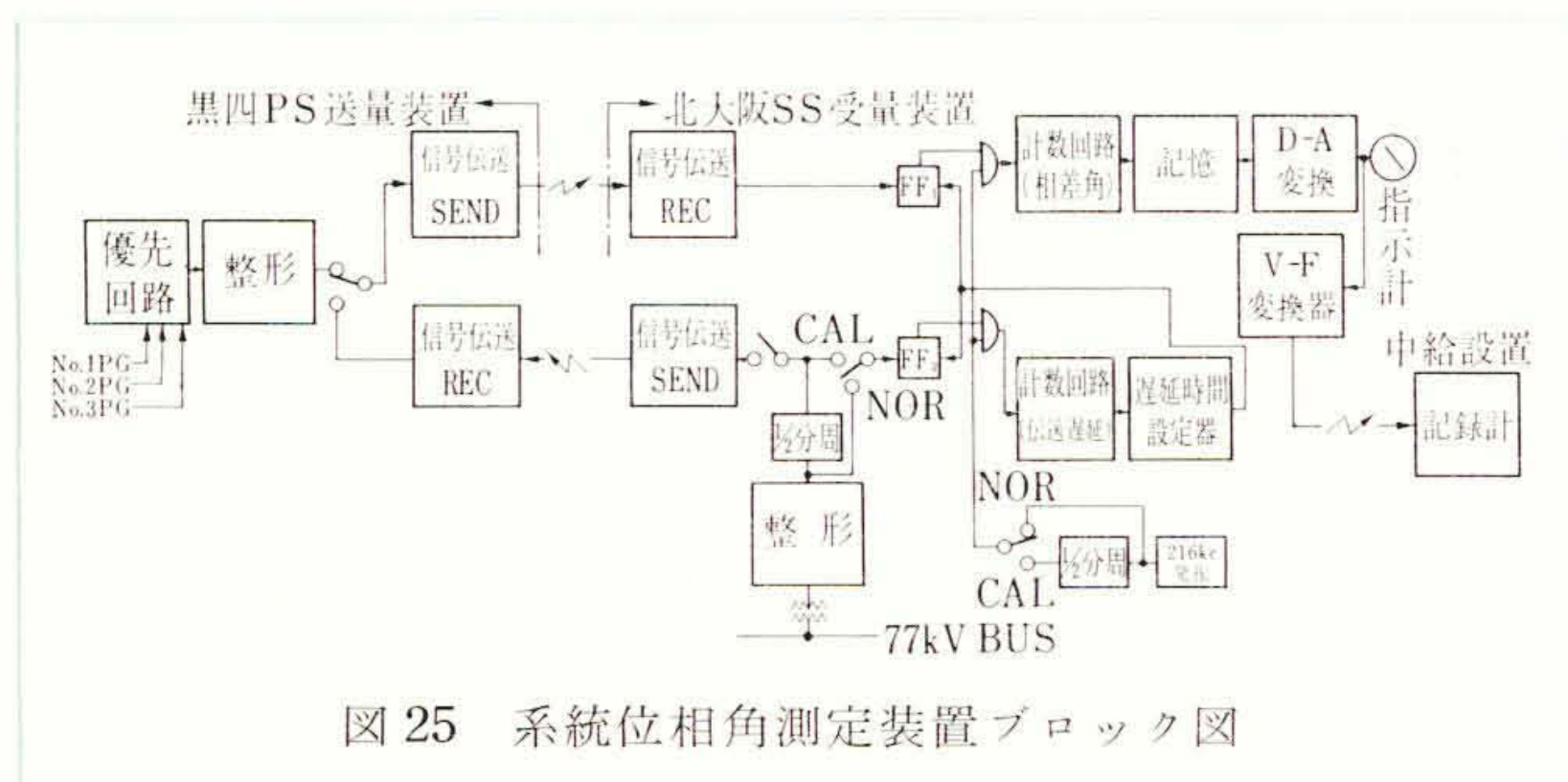


図25 系統位相角測定装置ブロック図

従来、電力システムの安定度監視のため発電端と受電端の電圧位相の相差角を測定する方式が考えられていたが、伝送遅れによる誤差のため実用化されなかった。今回、この問題を解決した伝送遅れ補償方式の位相角テレメータを開発し、関西電力株式会社黒部川第四発電所、北大阪変電所に納入した。

図25は測定原理を示すブロックダイアグラムである。本装置では黒四発電所の電圧波形を伝送速度600ボアの信号回線により、北大阪変電所に送り、受量側であらかじめ測定してある伝送遅れ時間で電圧波形の位相を補正し、大阪変電所の母線電圧と比較して±5%の精度で相差角を測定することができる。本装置の主要回路はマイクロモジュールで構

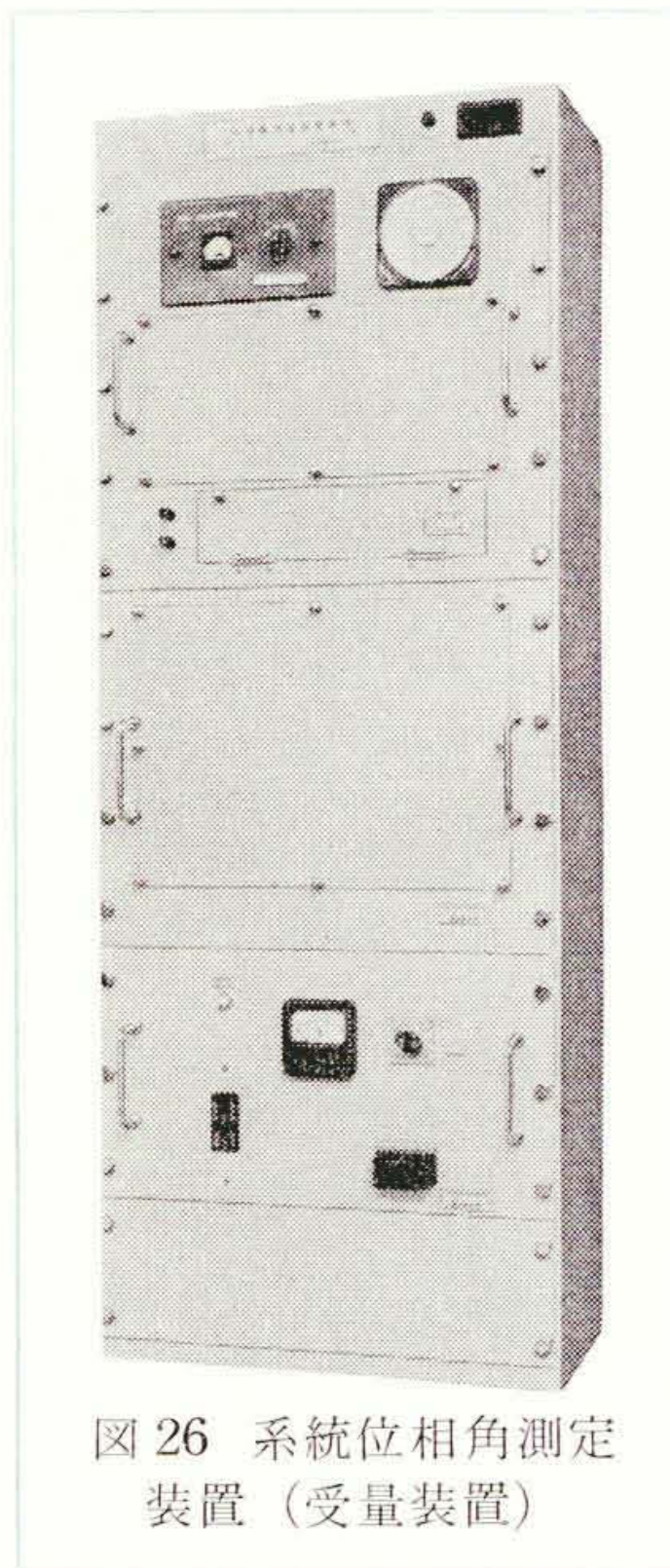


図26 系統位相角測定装置 (受量装置)

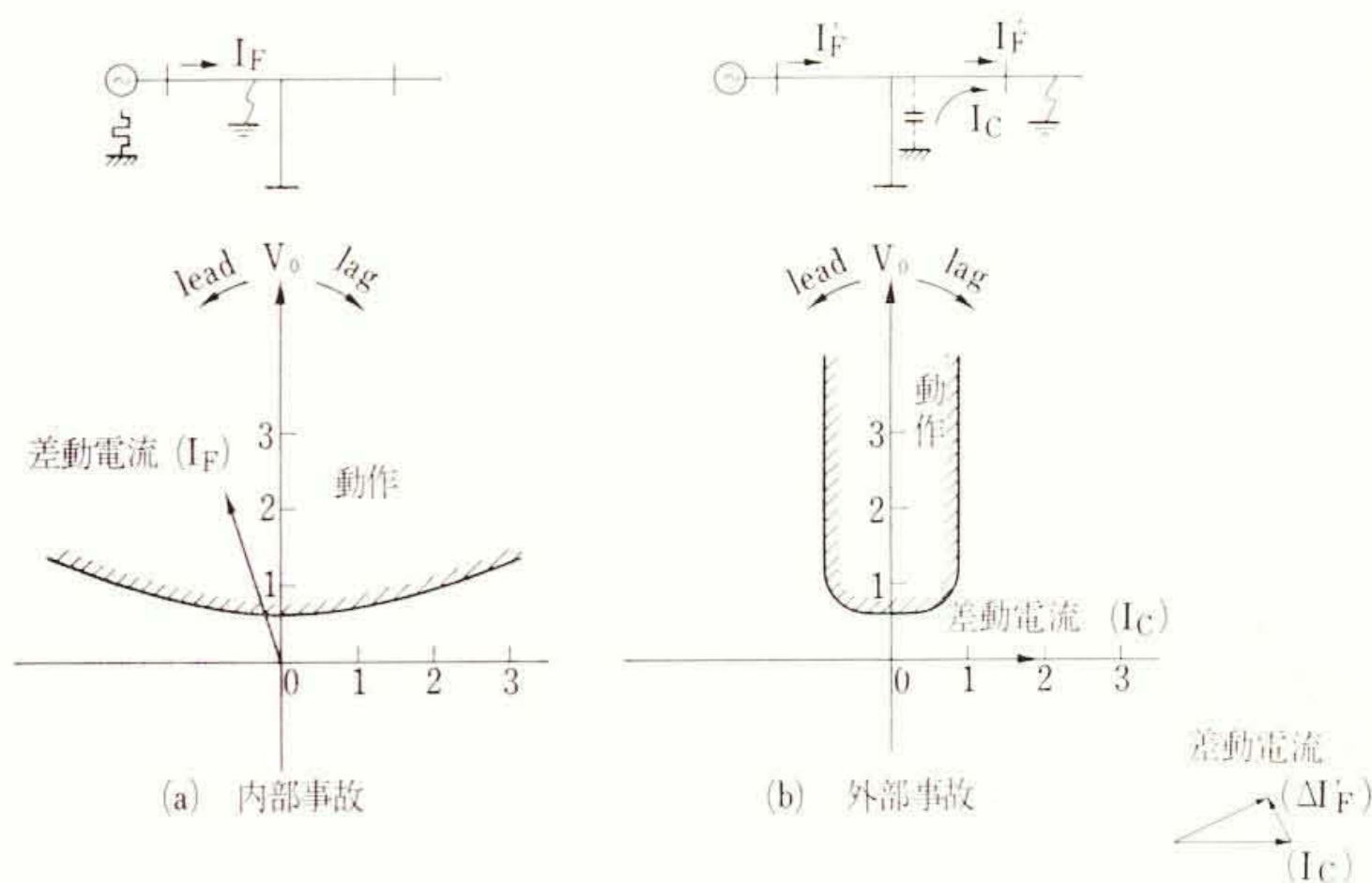


図27 SHD形リレーの位相特性

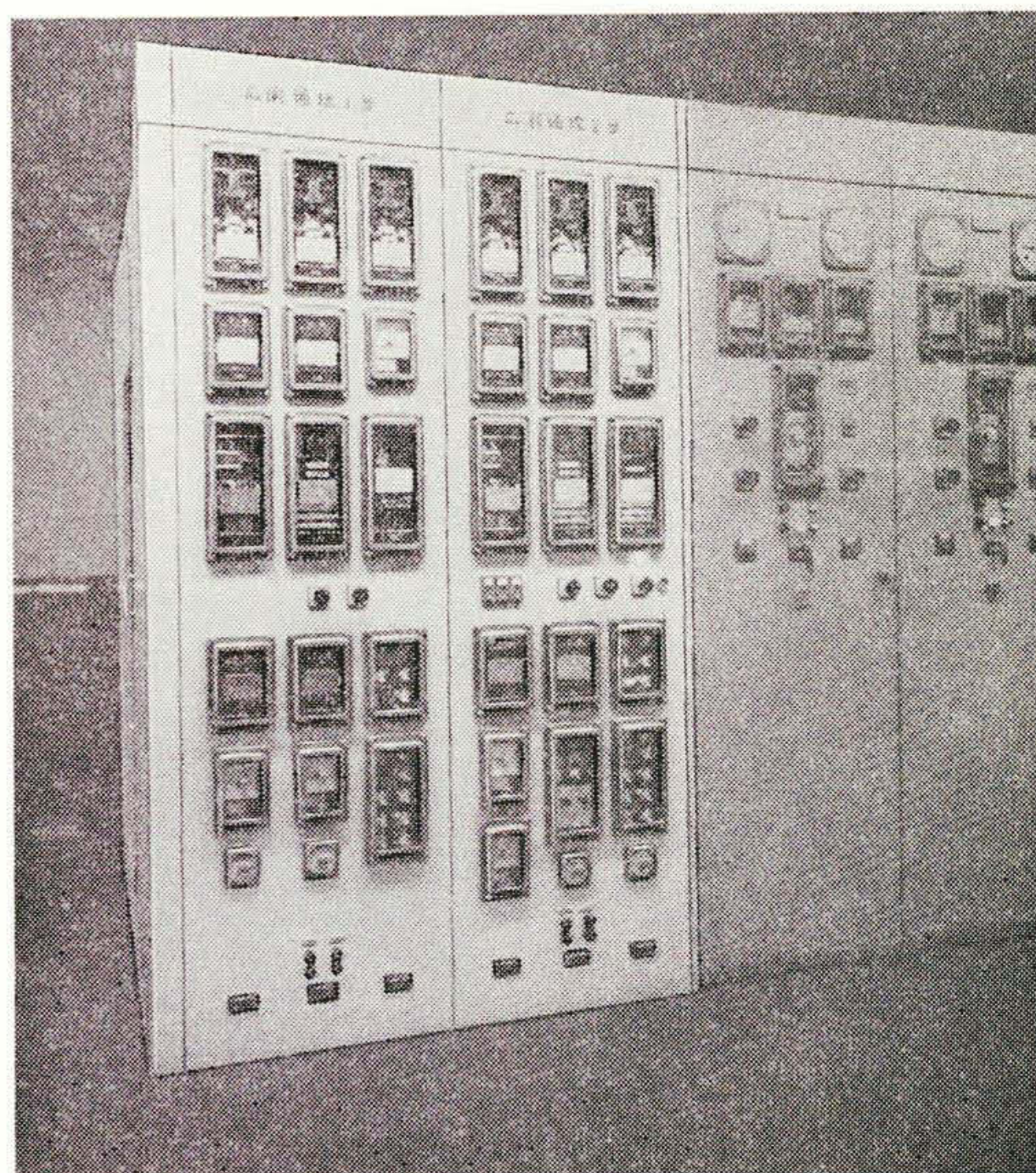


図28 東北電力株式会社広瀬通り変電所納 ケーブル送電線用パイロットワイヤリレー装置

方向性リミッタを導入した結果、差動特性が飽和形となりCT誤差の影響を受けにくくなったが、特にその効果は位相特性に現われている。図27は本原理によるSHD形リレーの位相特性である。

図27の(a)は内部事故時の位相特性であり、差動電流は事故電流 I_F となり零位電圧 V_0 と同相側であるから保護できる。外部事故時の位相特性は内部事故時と異なり(b)のように動作範囲が著しく狭くなるので、内部充電電流およびCT誤差電流に対して確実に不動作とすることができる。

また本装置は、検出回路がトランジスタ回路であるためCT回路が低負担であること、フィルタ回路を設けているので過渡サージ電流に対して動作安定であるなどの特長をもつ。図28に本装置の外観を示す。

直 流 変 換

■ 直流送電用 10 kV サイリスタ 変換装置の完成

異周波数系統の連系、安定度問題、大容量化する系統の短絡電流の抑制、大都市集中負荷への直流ケーブル送電などに対する技術上、経済上の有利性のため、直流送電が諸外国において計画あるいは実施され、わが国においても改めて見直されつつあるがこれに用いられる変換器は従来もっぱら水銀整流器であった。しかし最近のサイリスタの高耐圧、大容量化、スイッチング特性の改良、直・並列接続技術および点弧制御用電子制御回路などのめざましい進歩により、直流送電への適用の可能性が大きくなってきた。今回、工業技術院電

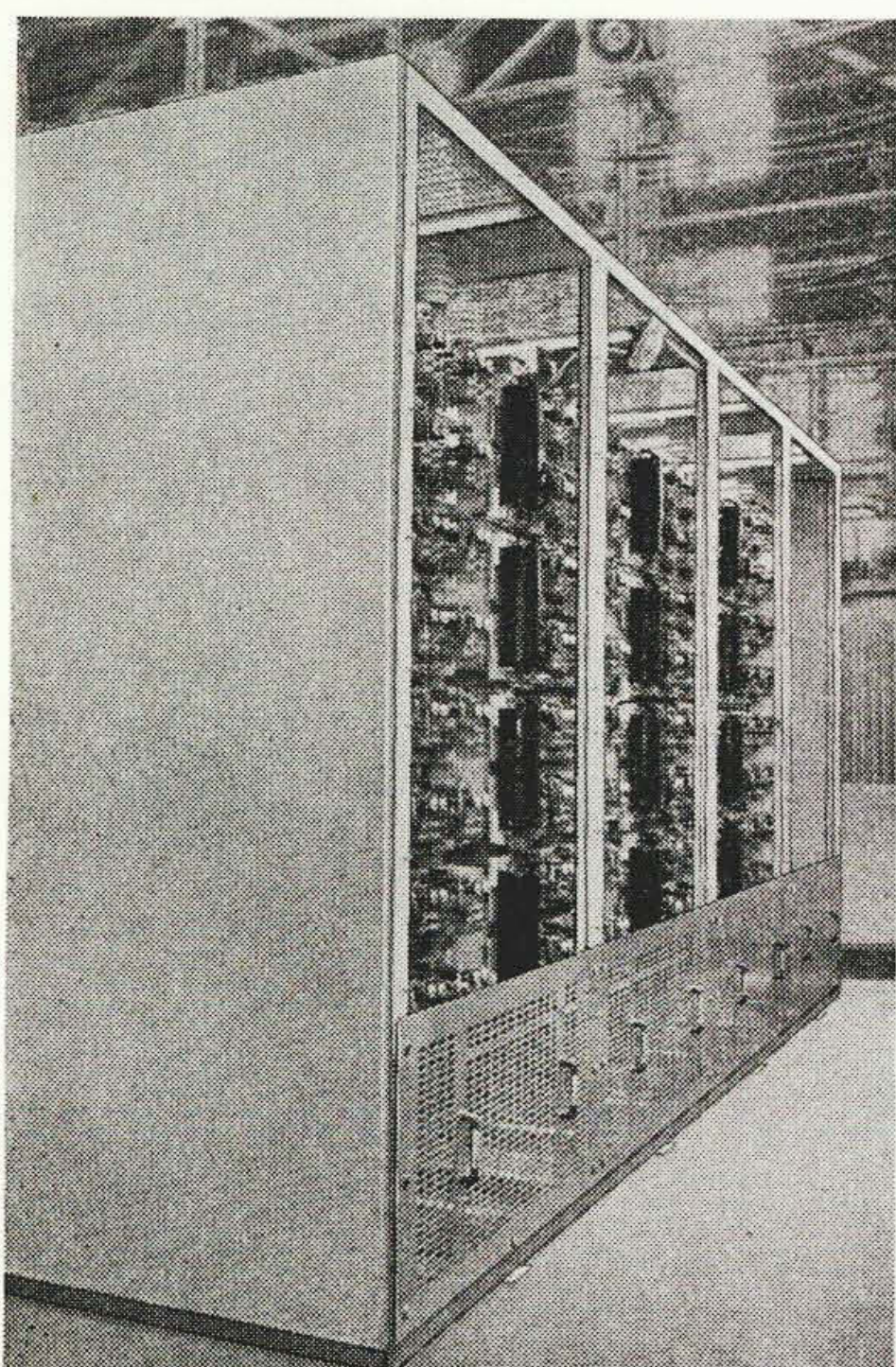


図29 10 kV サイリスタキュービクル

気試験所向け研究実験用 10 kV, 800 kW サイリスタ変換設備一式を試作開発し納入した。本器は研究を目的とするため種々の斬新な試みを各所に採用した。サイリスタ本体は素子の点弧特性のバラツキと転流時の残留蓄積キャリアのバラツキおよび構造より決まる漂遊容量などに十分協調のとれた分圧回路を構成し、転流時点弧時の電圧分担の均等化を図った。直列接続された各素子へのゲートパルスの分配に対しては特殊遊星配置構造の10 kV パルストランスを開発し、全素子いっせいパルス供給方式とした。位相制御には電気パルス制御のほかに将来の超高压装置に備えて光パルス制御方式をも併用している。過電圧保護用としてサイリスタの交流・直流側にサージアブソーバを設け、外雷および転流時の振動電圧を十分抑制した。交流・直流側に過電流継電器を設けたことはもとより、そのほか転流失敗、ゲートパルス喪失、素子劣化に対しそれぞれの検出装置を設けている。特に後者は、絶縁上検出電圧を光に変換して低圧側に

導き継電器を動作させる方式とした。工場試験において二、三の問題点も生じたが解決し、現在電気試験所側で、将来の超高压変換装置の可能性を究明すべく長期にわたり研究が行なわれている。なお本器を基としてさらに大容量超高压化の研究開発が進められている。

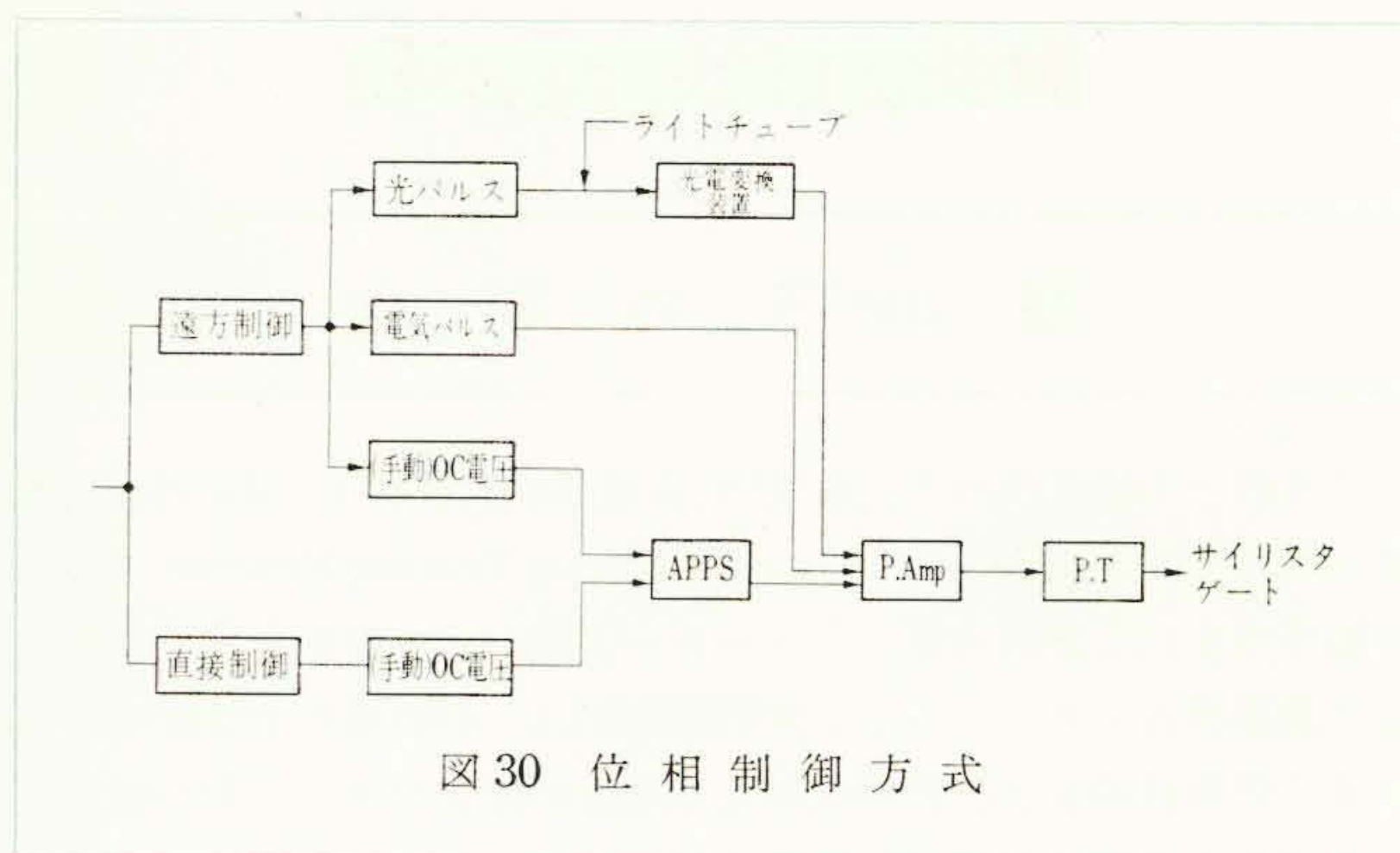


図30 位相制御方式

導き継電器を動作させる方式とした。工場試験において二、三の問題点も生じたが解決し、現在電気試験所側で、将来の超高压変換装置の可能性を究明すべく長期にわたり研究が行なわれている。なお本器を基としてさらに大容量超高压化の研究開発が進められている。

■ 昭和電工株式会社千葉工場納 400 V, 105 kA 直流電源設備

昭和電工株式会社千葉工場にアルミ電解用 400 V, 105 kA 直流電源設備を製作納入した。

本設備は 400 V, 17.5 kA シリコン整流器 8 ユニット (変圧器 4 台) よりなり総合出力 105 kA であるが、将来 2 ユニットづつを直列化することにより、730 V 運転ができるよう考慮されている。

制御は各ユニットごとに可飽和リアクトルによる定電流制御を行なっているほか、同一の運転指令により運転台数に関係なく一括自動制御できるようになっている。直流計測はアルミ電解用電源としては生産管理上特に高精度を要求され、この設備では 10 kA の分流器 16 台を用いた精密加算式大電流測定を行ない、高精度に校正された直流電流、電圧、積算電流、積算電力などの測定を行なっている。

図31は 14 MW, 400 V, 35 kA 整流器ユニットで左よりシリコン整流器キュービクル、可飽和リアクトル、整流器用変圧器を示す。

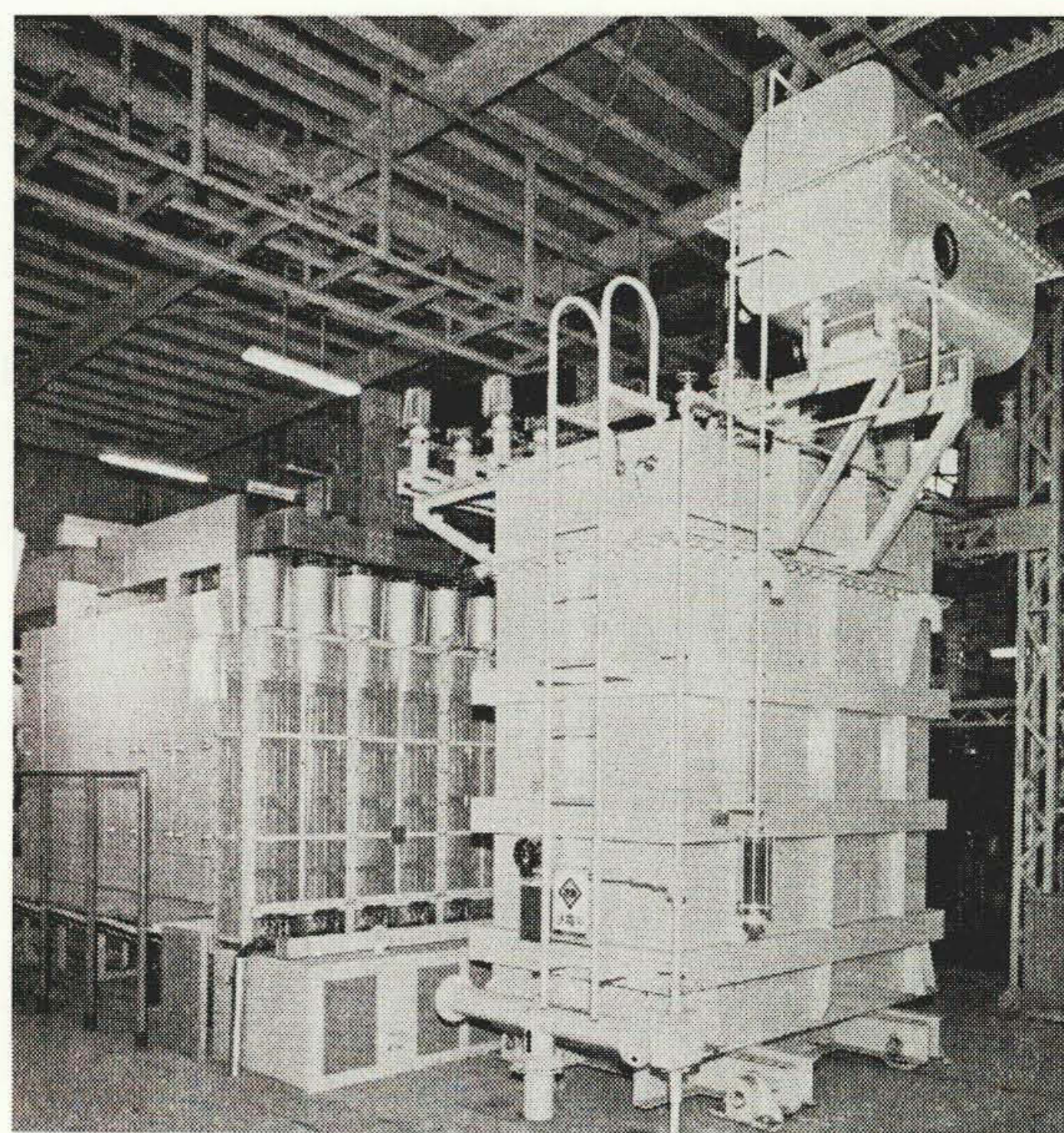


図31 昭和電工株式会社千葉工場納直流電源設備

原子力

JMTR の製作

日本原子力研究所が大洗研究所(茨城県東茨城郡大洗町)内に設置する材料試験炉(JMTR: Japan Materials Testing Reactor)は、日立製作所をはじめ国内原子力メーカー5社が各設備を分担し、協力して鋭意建設を進めている。材料試験炉は、その名のように主として原子炉用材料および燃料に与える照射の影響を調べ、その結果を発電用などの原子炉設計に反映することを主目的としており、各種仕様、運転条件の厳しい原子炉であるが、各社とも今までの実績、経験をもとに持てる力を十分に発揮して計画に参加している。原子炉の構成は炉心、圧力容器、照射実験設備、冷却設備、計測制御設備、モックアップ試験装置、そのほかの諸設備などより成るが、日立製作所は次の原子炉主要部分を担当し、着々と成果をあげている。

- (1) 炉心設計*
- (2) 炉心要素*
- (3) 炉心構造物
- (4) 流動試験装置
- (5) キャスク台車
- (6) モックアップ試験装置*
- (7) プロセス計装
- (8) データ処理装置
- (9) 制御棒および駆動装置
- (10) バックアップスクラム装置

(*は日立製作所がその大部分あるいは一部分を担当したものを示す。)

なおJMTRの日本原子力研究所への完成引渡は、昭和43年9月が予定され、完成後の実験の成果が期待されている。

(1) 炉心構造物

JMTR炉心構造物は、ベリリウムわく、アルミニウムわく、格子板、格子板支持体、制御棒案内管、案内管おさえ、ガンマ線遮へい板から構成され、高出力密度炉心の支持ならびに炉心構成要素のきわめて正確な位置ぎめの役目を果たしている。

JMTR炉心部は、材料試験炉の目的から中性子束が非常に高いことが要求されるために出力密度が著しく高いとともに、炉心部に数多くの照射設備がそう入されている。このために炉心構造物はベリリウム・ジルカロイなどの特殊な材料を要求されること、きわめて高精度の加工を要求されること、高いガンマ線の加熱の冷却が十分に行なわれることを特色としている。図32は炉心構造物の全景である。

(2) 格子板

炉心部の燃料要素などの炉心要素を支持する格子板はステンレス鋼鍛鋼品(SUS27相当)で作られているが、その素材は直径1,730

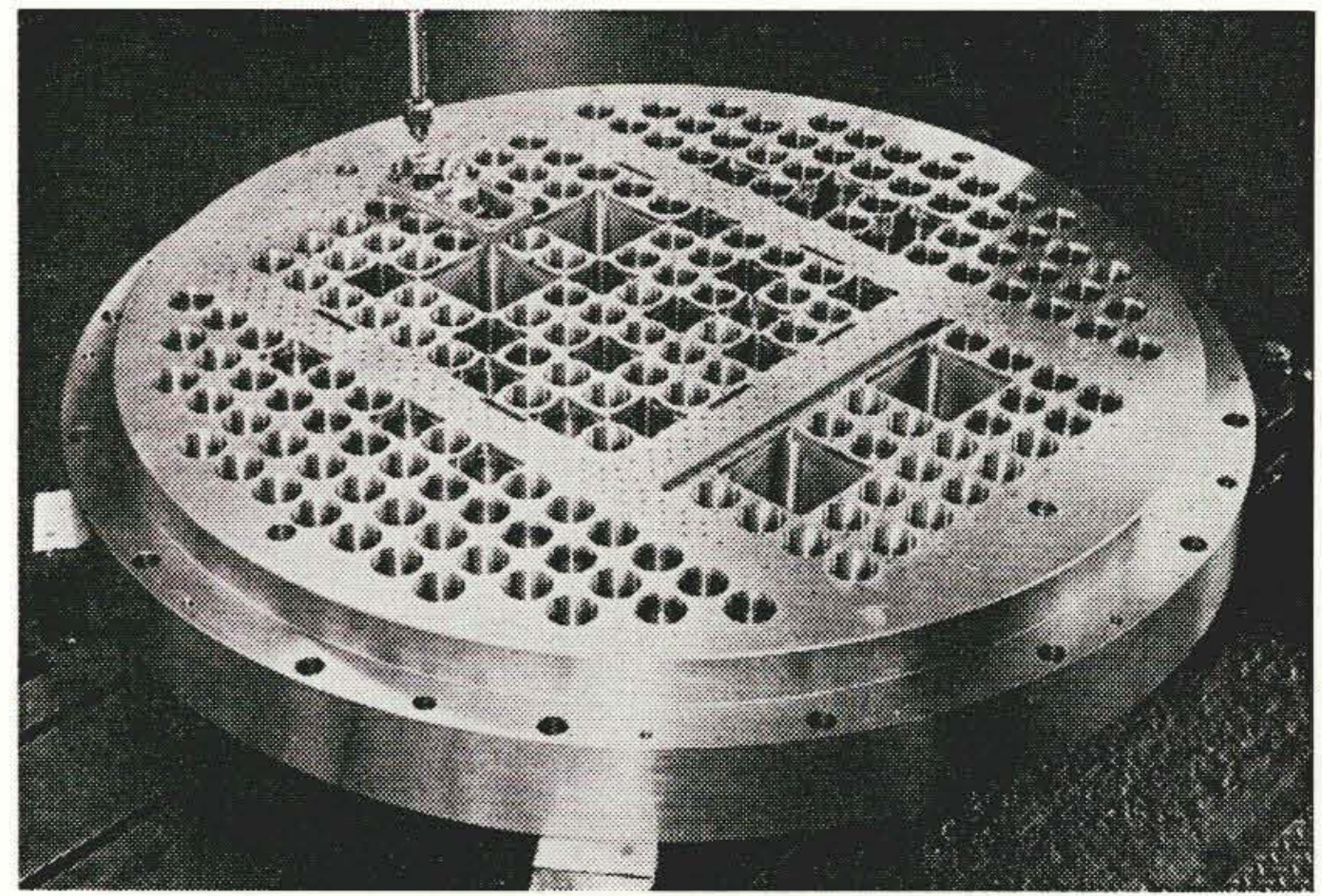


図33 JMTR 格子板

mm、厚さ230mm、重量4.3tで、用途上腐食生成物を極力少なくするとともに、内部の健全性および寸法精度上残留応力の軽減が要求される。このためにNb添加と熱処理技術の改善により耐食性の向上を図り、溶解法、造塊法および鍛造法の改善により素材内部の健全性を向上させるとともに、結晶粒度の微細化を図って超音波探傷において超音波の透過度が大幅に改善し、その健全性を十分に証明することができた。また荒削り後、ひずみ取り焼鈍を行ない素材の残留応力を軽減し寸法精度の向上を図った。

(3) 制御棒駆動装置

JMTR制御棒駆動装置は原子炉圧力容器の下部に設置され、吸収体、燃料およびベリリウムフロロワからなる制御要素を炉心中で上下に駆動する。本装置はキャンドリラクタンスモータと水中ボールねじを用いて新たに開発した密封形で、一次冷却水の漏れが全くないことを特長としている。密封形のため装置内部の動きは、差動トランスにより相対位置を保つように動作している外部追従系により検出し、1mm以内の精度が得られる。また速度制御の方法はキャンドリラクタンスモータに供給する低周波電源の周波数を変えて行ない、低周波電源は正弦波状関数巻しゅう動抵抗器を二相サーボモータでしゅう動して得られる。駆動装置は全体で9基製作しそのうち3基が微調整安全棒用(駆動速度:0~2,000mm/min 可変, ストローク:100~250mm 可変)6基が粗調整安全棒用(駆動速度:200mm/min 40mm/min 2速度, ストローク:

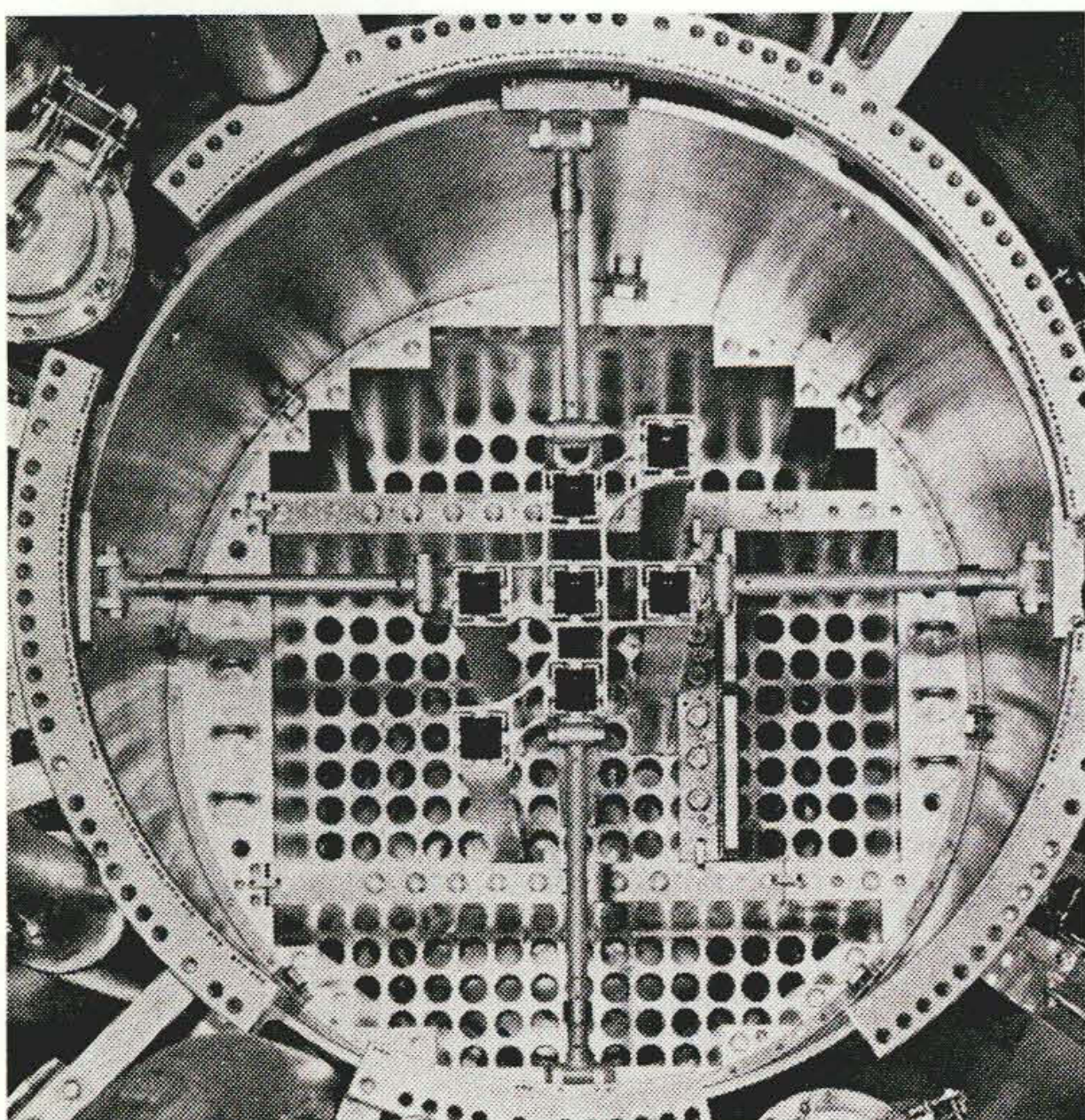


図32 JMTR 炉心構造物

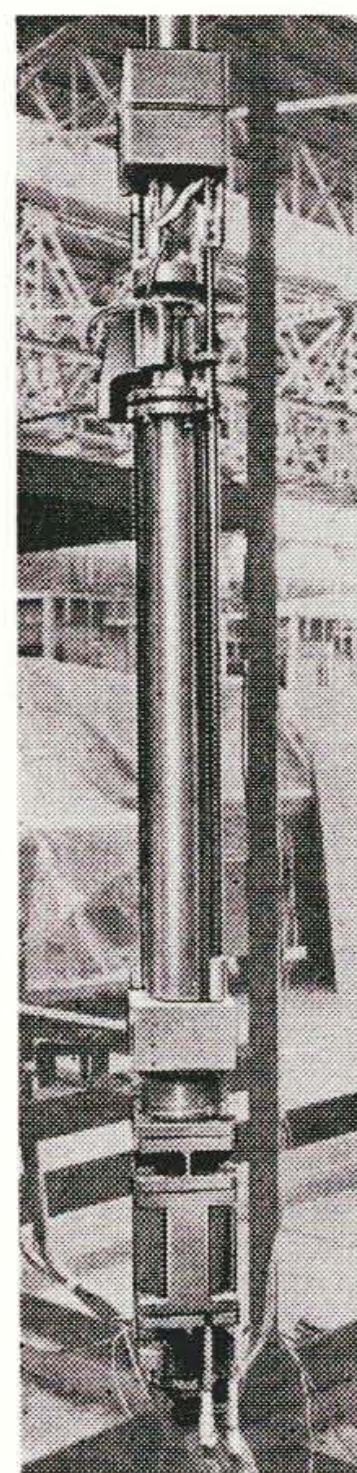


図34 制御棒 駆動装置

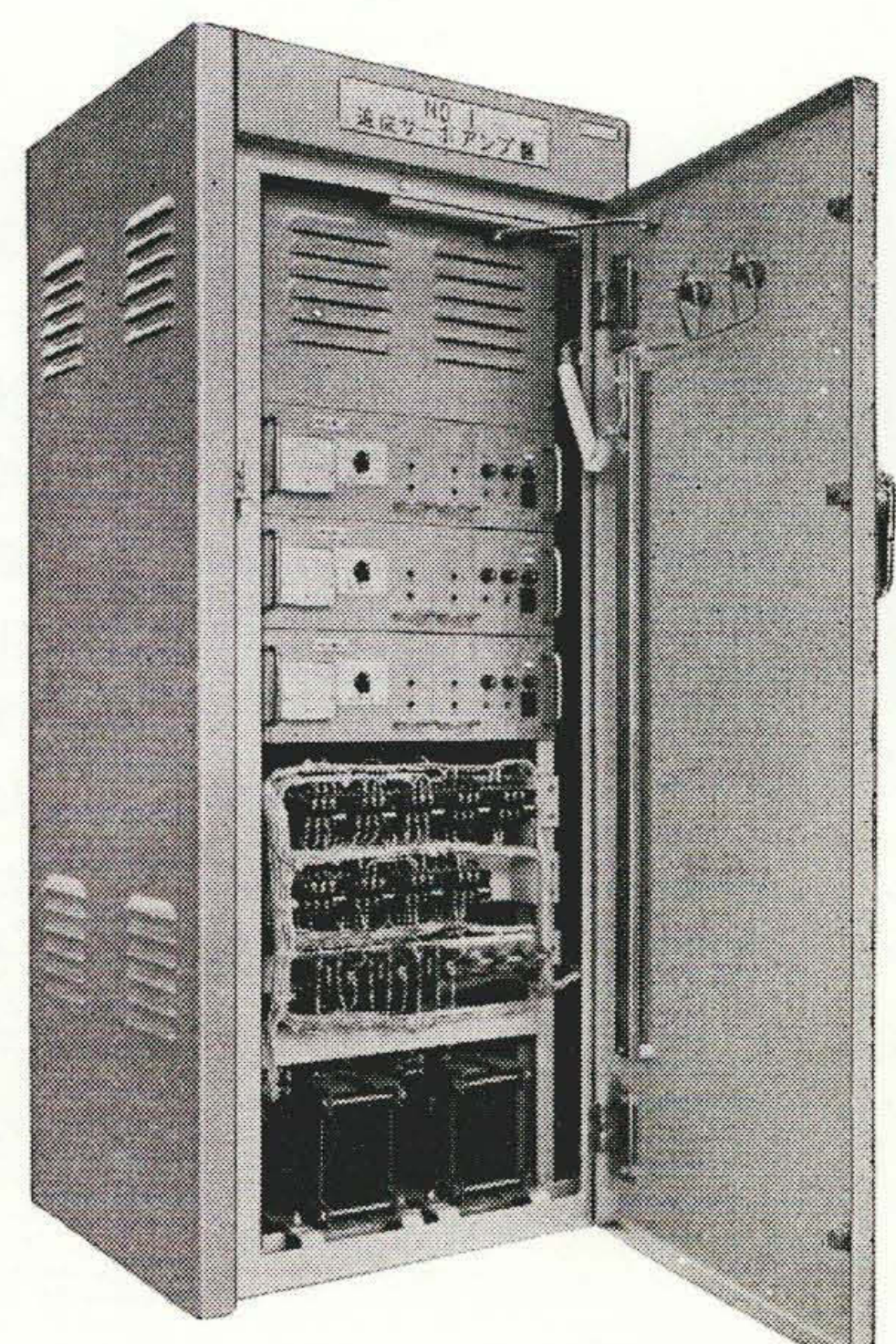


図35 制御棒駆動装置 追従サーボアンプ盤

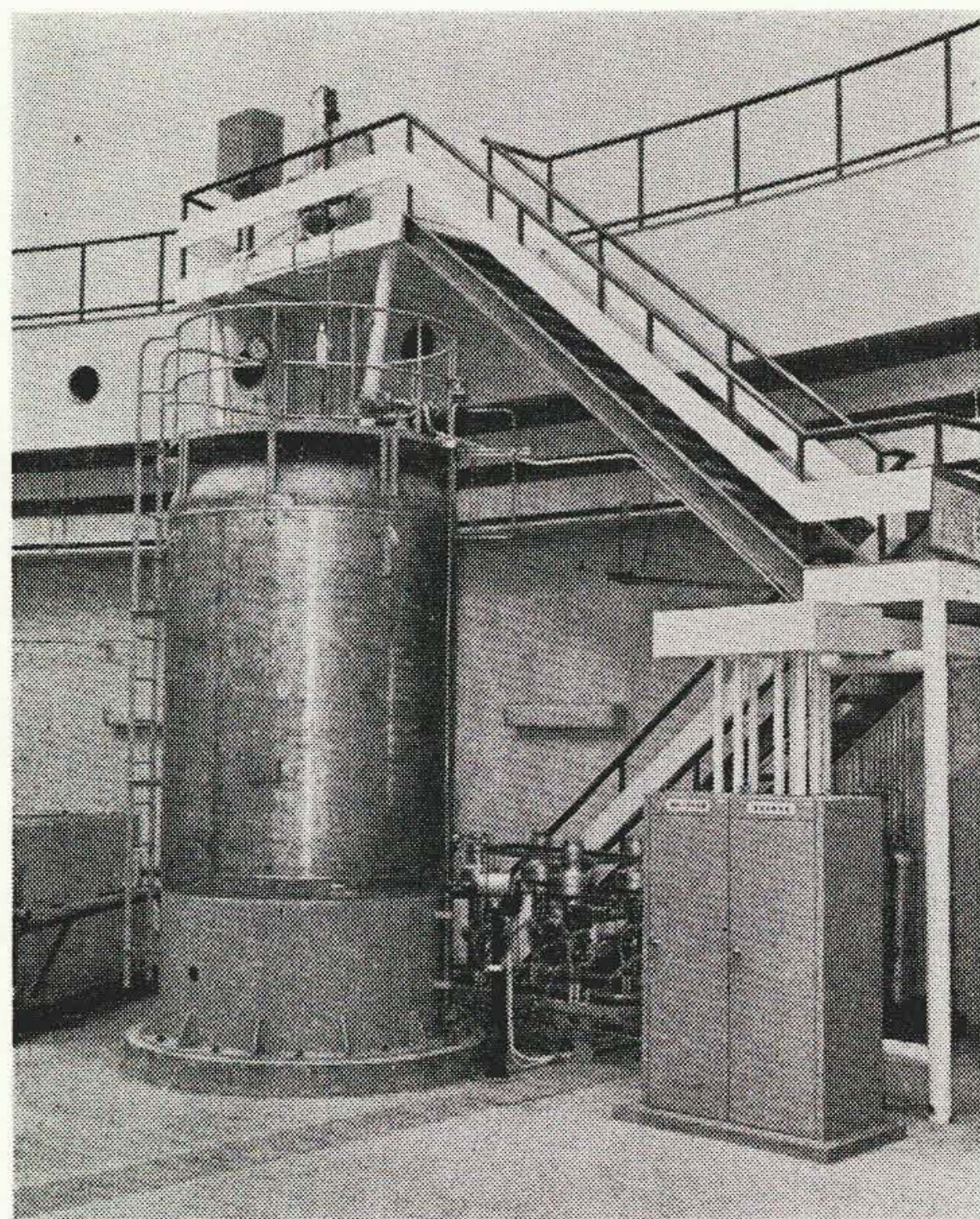


図 36 J M T R バックアップスクラム装置

800 mm) である。図 34 および図 35 は制御棒駆動装置および同用追従サーボアンプ盤を示す。

(4) バックアップスクラム装置

バックアップスクラム装置は万一制御棒がなんらかの事故によりその機能を失ない、原子炉を停止することがむずかしくなった場合に作動させ、原子炉にポイズン溶液を注入して原子炉を停止させる安全装置である。ポイズン溶液は五硼酸ソーダの水溶液でポイズンタンクの中に貯蔵され、同タンクは常時窒素ガスで 25 kg/cm²g に加圧されている。運転員の判断で本装置作動スイッチが中央制御室で投入されると、ポイズンタンク出口配管のピストン弁が開き、ポイズンタンク内の窒素ガスの圧力によりポイズン溶液が原子炉内に注入される。所要ポイズン溶液量が注入されるとポイズンタンク内圧力は原子炉内圧力と釣り合って注入が止まり窒素ガスが原子炉にはいらないよう設計されている。本装置はポイズンタンク、注入配管弁、ポイズン調合タンク、注入弁操作盤およびプロセス計装から成り、特に信頼性に重点をおいて設計製作された。図 36 に本装置の外観を示す。

(5) プロセス計装

プロセス計装装置は、原子炉に直接関係する主循環系統、精製系統、バックアップスクラム装置などを集中制御する主制御盤と、二次冷却系統、雑冷却水系統、空気系統などを集中制御する機械室制御盤および各現場盤、検出器などから構成されており、検出器、記録計などを合わせて約 200 台の工業計器を使用している。特に一次冷却水に接する検出器は、放射線損傷を考慮して使用材料

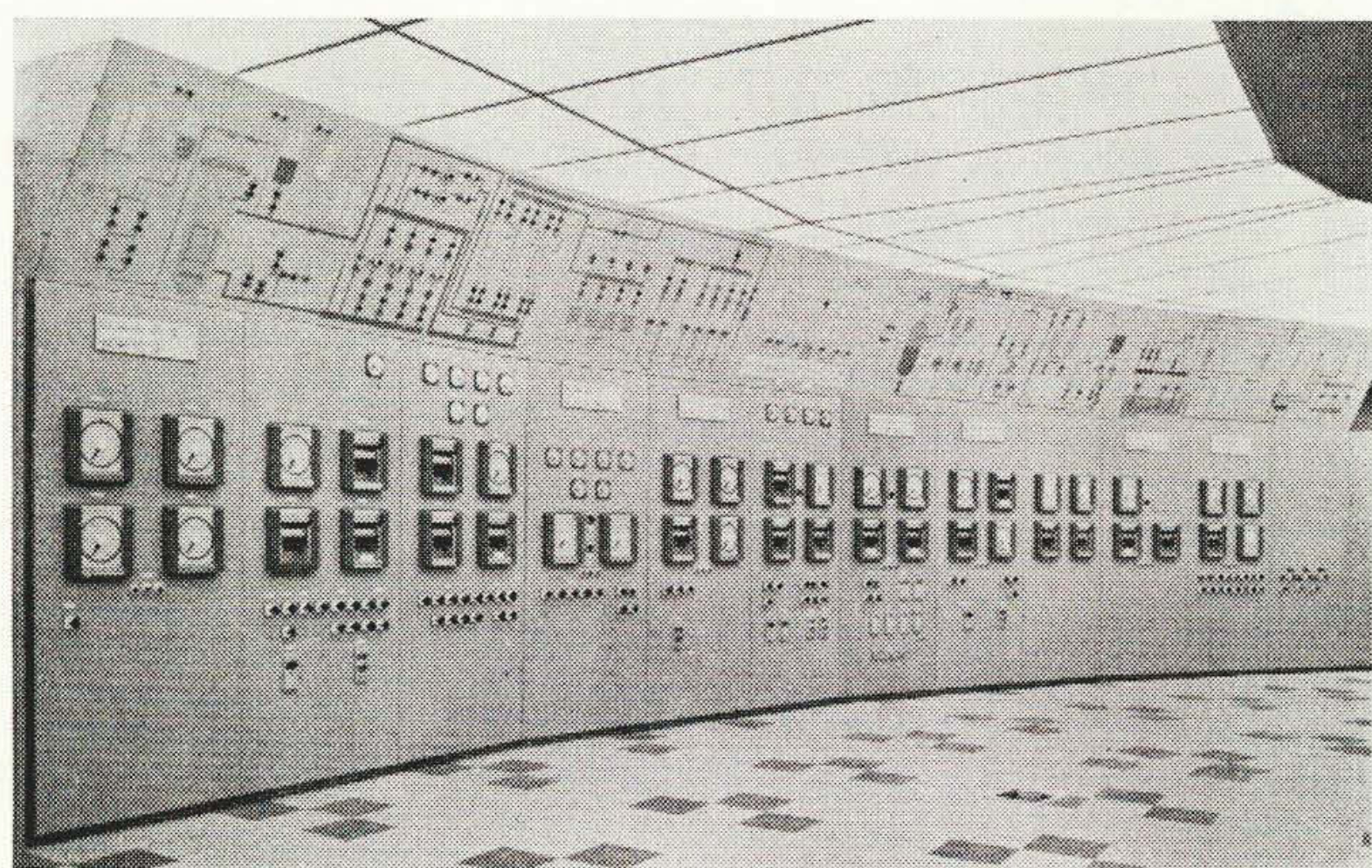


図 37 J M T R プロセス主制御盤

と構造を改良するとともに、日立製作所中央研究所の Co⁶⁰ 照射室において、照射試験を実施して性能の確認を行なった。保守点検を必要とする検出器は、すべて遮へい壁の外側に配置し取り扱いの容易さを図った。工業計器にはすべて 0~16 mA の電流信号形のユニトリールを使用しており、このため 200 m 以上の伝送にも雑音などの問題は全く生じなかった。計算機能をもったデータ処理装置を導入し、中性子計装、プロセス計装、照射実験設備のデータの整理と異常の発見などの目的に使用している。

■ H T R の パ ル ス 運 転

日立教育訓練用原子炉(HTR)は、昭和36年12月に臨界に達し、その後、原子力平和利用研究のため定格 100 kW の運転を続けている。その間、軽水形原子炉安全性の実験的研究を目的とするパルス化計画を進めていたが、昭和41年度の原子力平和利用研究委託費の受託から炉心構成の一部を改造し(HTR-P と名づける) 42年4月にパルス運転を開始した。HTR は、建設当初から UO₂ ペレット棒状燃料体を使用しており、当時、スイミングプール形原子炉が、金属ウラン板状燃料体を使用している中で特長的な存在であった。UO₂ 棒状燃料体は、燃料時定数が大きく(〜数秒)、かつ負の即発温度係数が大きい(〜10⁻⁵ ΔK/K/°C) ので、特にパルス運転に適していた。このような原子炉に、1ドル以上の大きな正の反応度を、急激に投入すれば、炉出力は急速に増大し、同時に燃料温度も上昇するが、負の温度係数のために、投入反応度が相殺され、その差し引きがゼロになった瞬間から炉の出力は下降し始める。ところが、UO₂ 燃料体は温度時定数が大きく、炉出力がピークに達したのちも出力エネルギーが燃料体内に蓄積されるので、燃料温度はさらに上昇し、全体の反応度は負の方向にオーバーシュートし、そのため炉出力は急速に下降して、結局炉出力は鋭いピークをもったパルス状の波形を形成する。図 38 は、パルス運転特性の計算例を示したものである。

HTR-P のおもな炉心構造を次に示す。

定常運転出力: 100 kW

燃 料: UO₂ ペレット、濃縮度10%、被覆0.3mm厚(SUS)

燃 料 棒: 径7 mmφ、燃料部長さ40 cm

燃料集合体当たりの燃料棒本数: 9 本

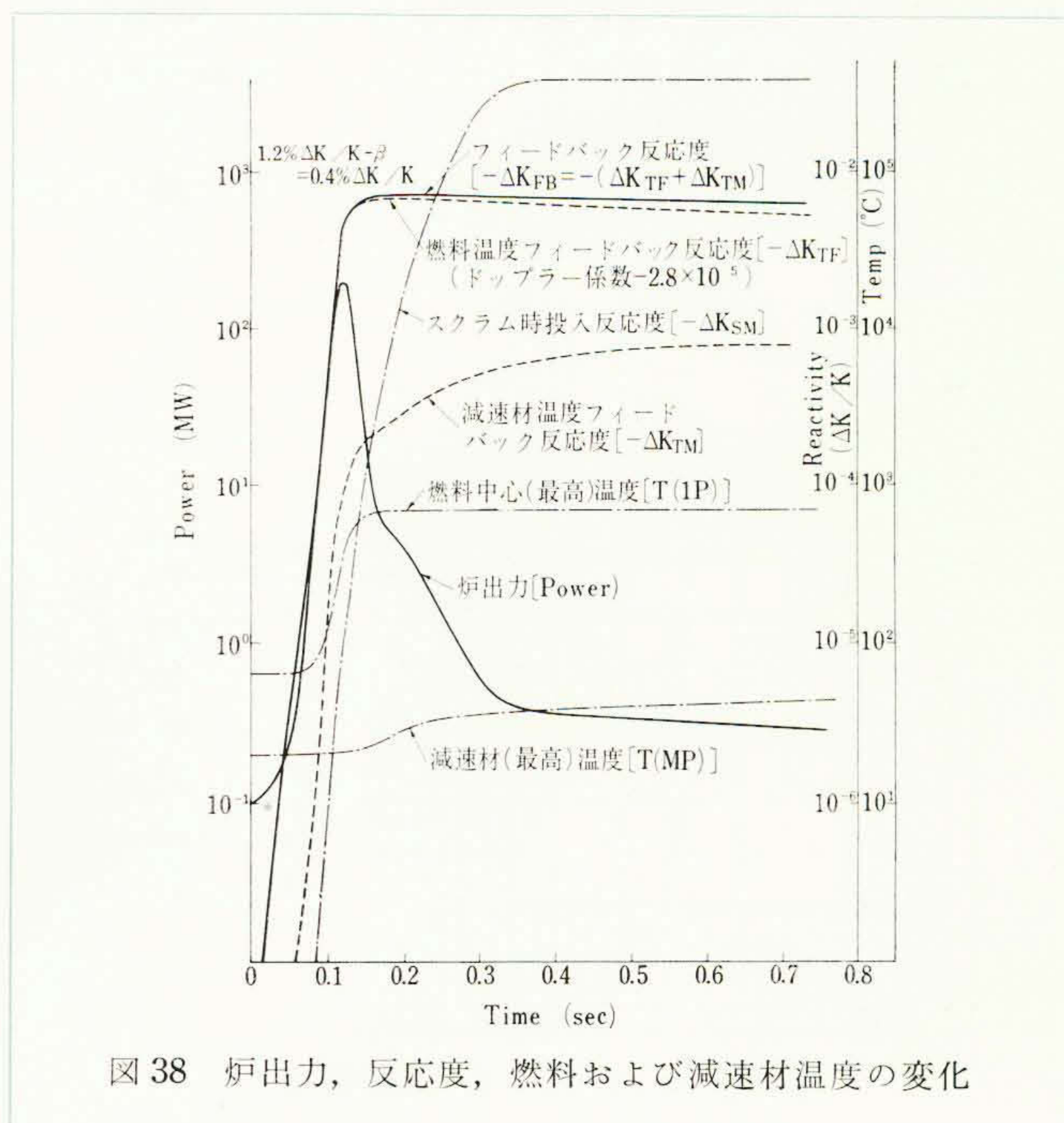


図 38 炉出力、反応度、燃料および減速材温度の変化

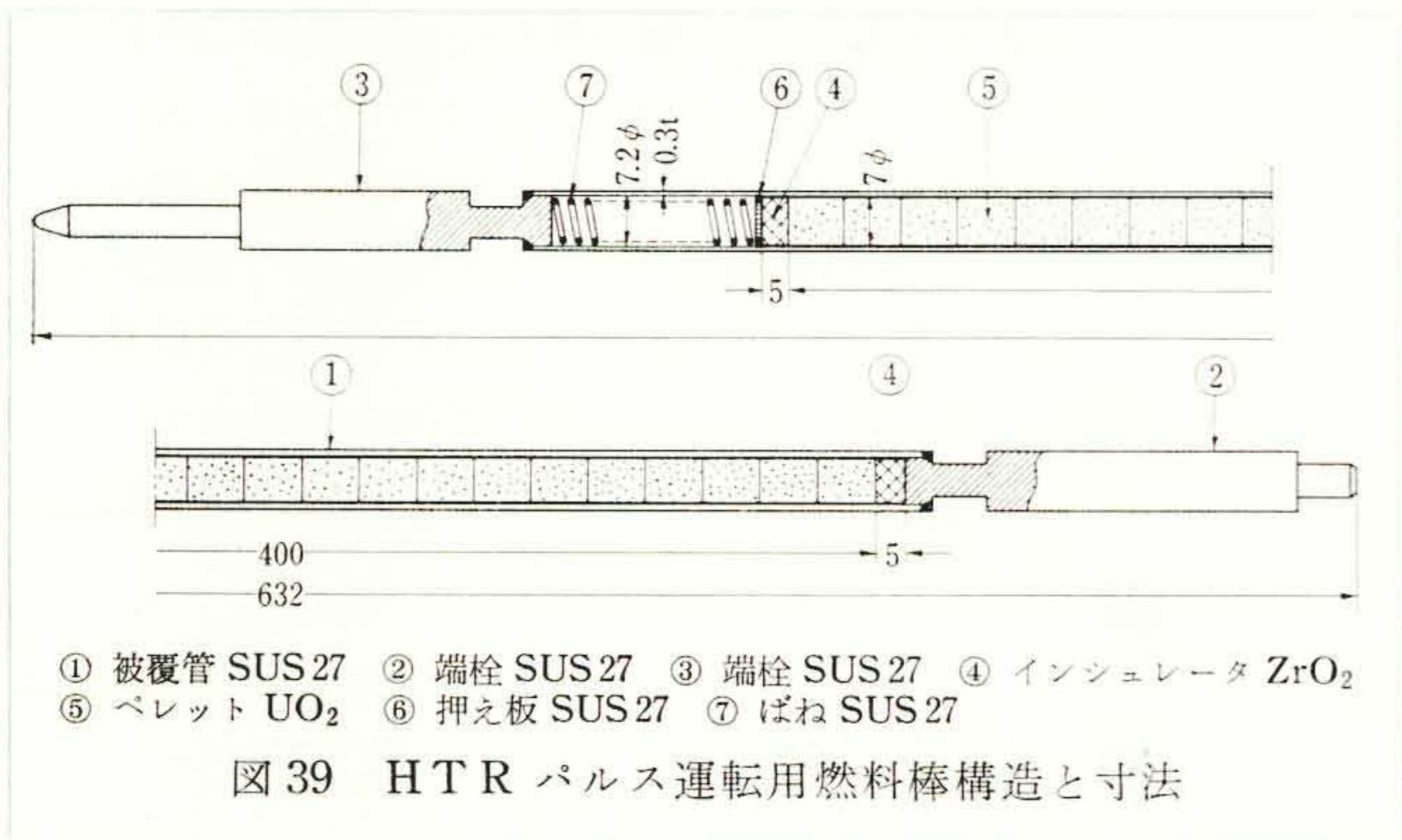


図39 HTR パルス運転用燃料棒構造と寸法

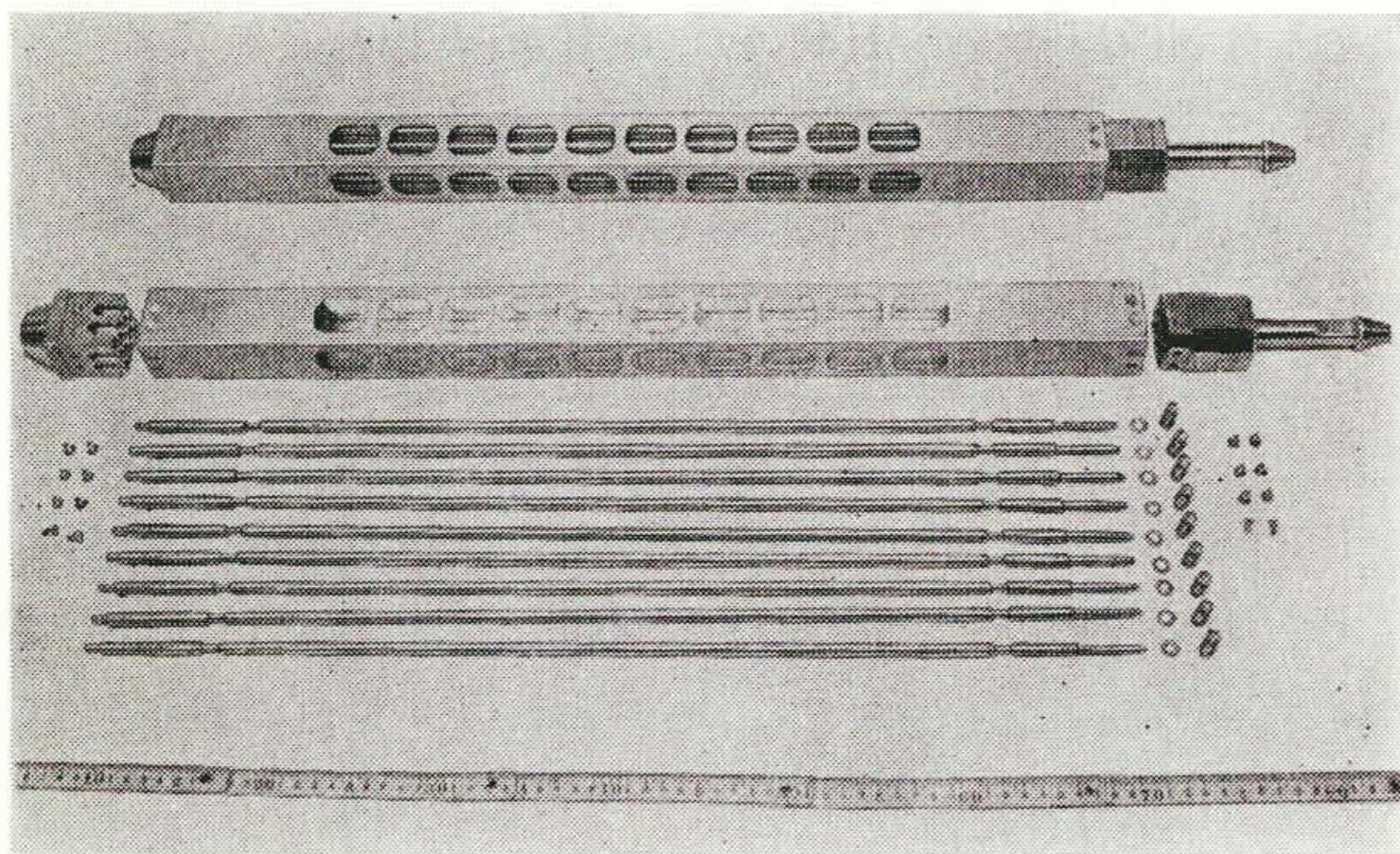


図40 HTR パルス運転用燃料アセンブリ完成品および構成部品

制御棒： シム棒1本，安全棒2本，調整棒1本
 パルス制御棒： ボロンステンレス鋼，引抜速度4 m/秒，空気作動
 後備停止装置： ボロンステンレス鋼球，球径4.5 mmφ，自然落下
 燃料： 本燃料に用いた10%濃縮UO₂ペレットは，直径7 mm，長さ8 mm以上と，細径でしかも寸法精度をきびしくし，被覆にはステンレス鋼を使用して機械的強度ならびに耐食性を大とした。また，パルス運転の際，誤って燃料温度が異常上昇しても内圧の上昇が少ないように，ペレット内の蒸発性不純物の量を規定し，かつ燃料棒内のプレナムの容量を大きくとった。0.3 mmという薄肉管の封かん溶接部に関しては，厳重な非破壊検査と溶接試験片による確認試験から，溶接部の健全性が確認された。燃料アセンブリは，燃料棒9本ずつを一体にまとめたもので，上下ノズルはSUS27ステンレス鋼，ケースはA2S5アルミニウムである。図40に燃料アセンブリの完成品と構成部品を示す。

パルス制御棒： 空気作動によって，ボロンステンレス鋼の円筒状

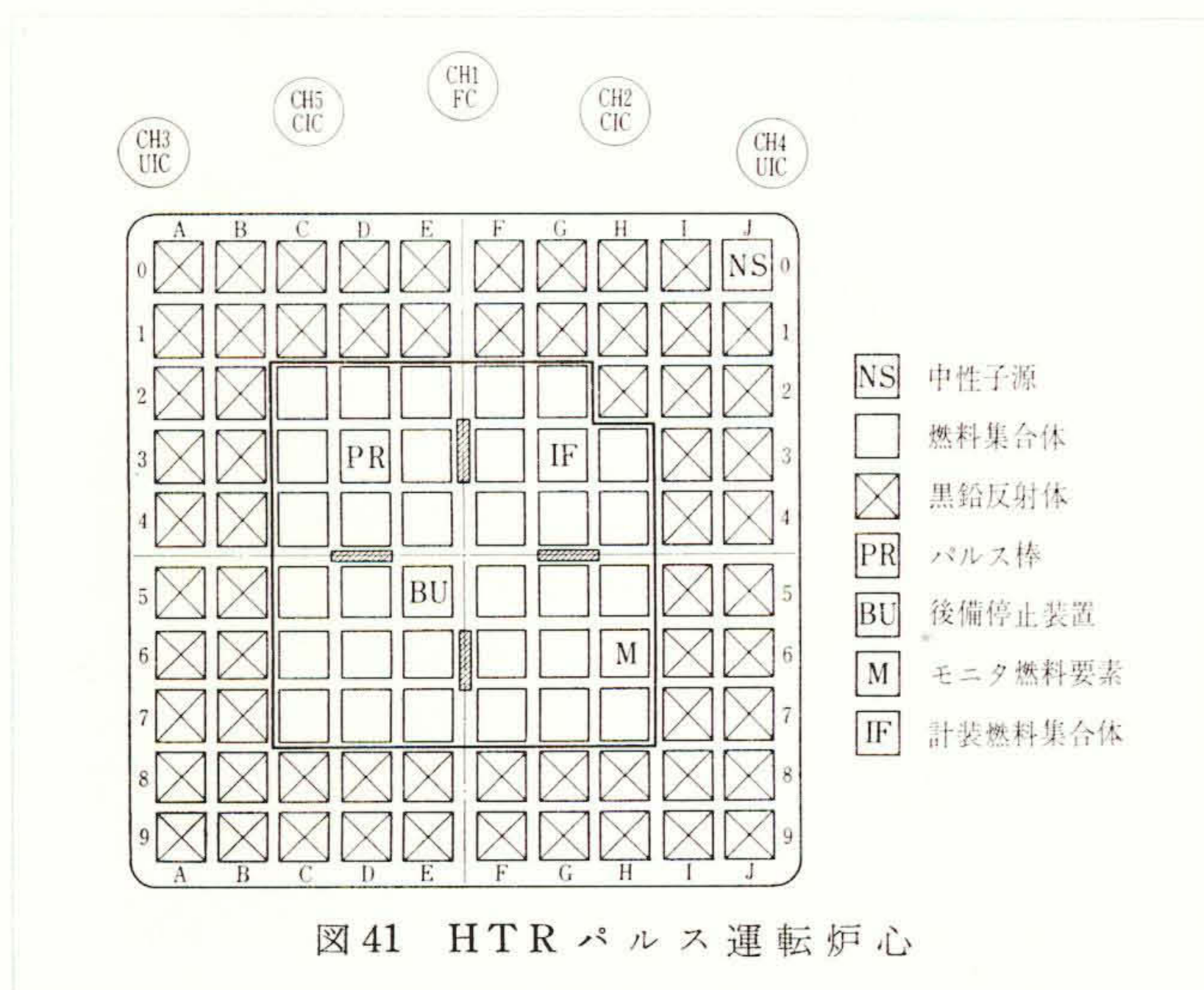


図41 HTR パルス運転炉心

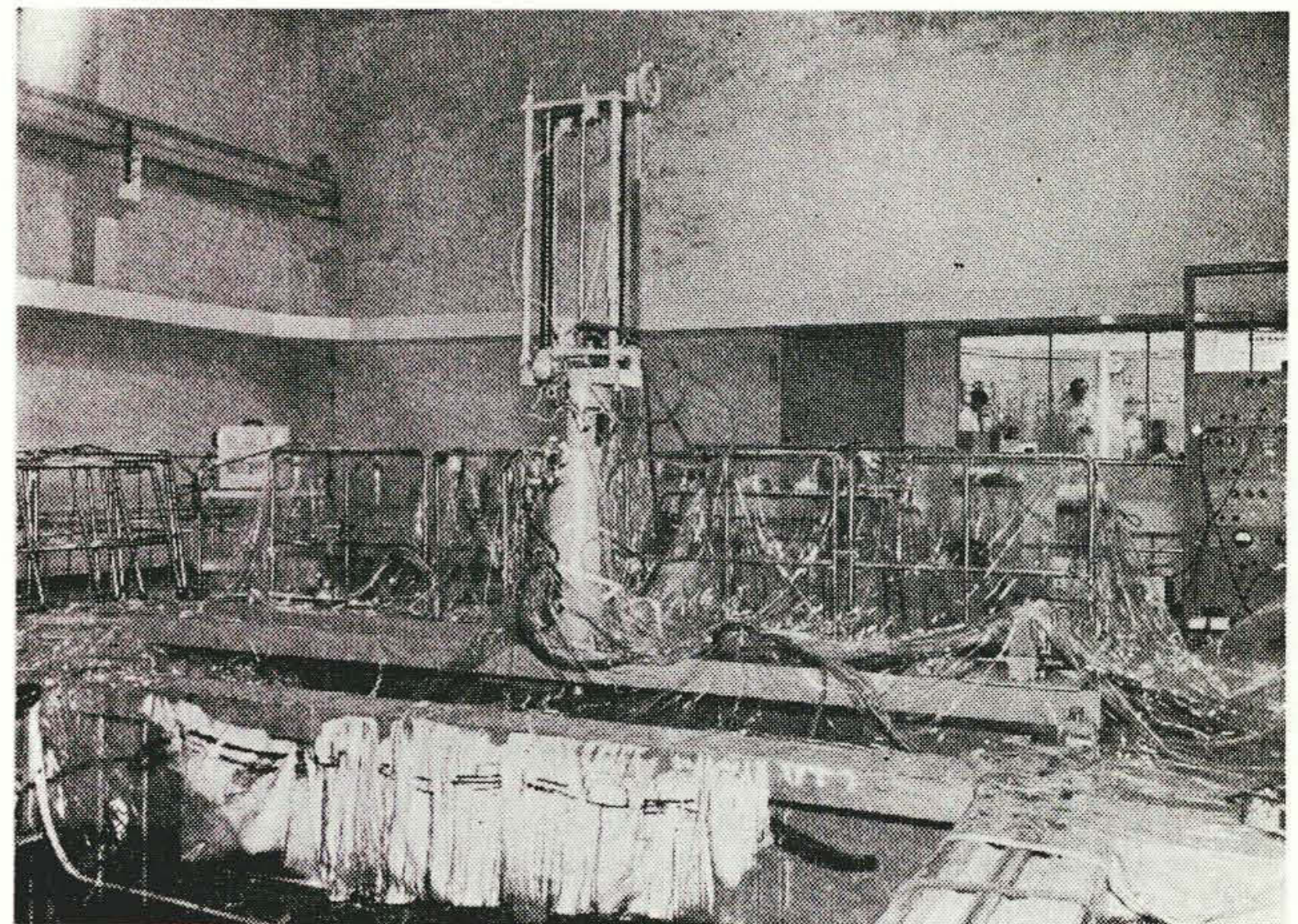


図42 HTR 炉頂および制御室 (中央の円筒はパルス制御棒)

制御棒を炉心から急激に引き抜く構造になっており，全ストローク40 cmを約100 msで引き抜かれる。引き抜かれた制御棒は，自動的に再び炉心にそう入されて炉を停止する役目も果たす。また，投入反応度は，始動位置をずらせてストロークを加減することにより，自由に選択可能である。

後備停止装置： ボロンステンレス鋼球を磁石によって保持しておき，非常の場合に制御室に設けられた手動操作により磁石を消磁して，ボロンステンレス鋼球を炉心内に落下させる構造となっている。球は簡単な操作で再収集され元の位置に保持されるので，毎回テストが可能である。

計測用燃料： 形状寸法は本燃料アセンブリと同じであるが，中央の1本の燃料棒に熱電対を装着して，燃料中心温度，被覆管温度，冷却水温度を測定できるようにした。プラチナロジウムおよびアルメルクロメル熱電対を使用した。

モニタ燃料： 炉心のホットスポットの位置に特殊な燃料アセンブリを装てんして，ほかの燃料体よりも過酷な条件とし，ほかに先行して温度ひずみなどの変化，核分裂生成物放出の有無を知るために設けた。

計装および計測装置： 炉計装は，定常モードとパルスモードに分け，安全上のインタロックを明確にしてある。たとえば，パルスモードでは，パルス制御棒以外の制御棒は駆動できない(スクラムは可能)こと，炉周期スクラムバイパスはできるが，必ず余分に出力スクラム系が1系統そう入されることなどである。

パルス運転時に測定される項目は，対数出力，線形出力，チェレンコフ光強度，出力積分値，燃料中心および被覆の温度，減速材温度，燃料被覆ひずみ，パルス制御棒位置などですべて同時に記録される。

図41はパルス運転炉心の構造配置を示し，図42は炉頂および制御室を示したものである。

(付記) 本研究は，昭和41，42年度科学技術庁原子力平和利用研究委託費によって行なわれた。

■ 新形転換炉の概念設計

原子力委員会では国で開発する新形転換炉(ATR)として沸騰軽水冷却重水減速炉を採用し，昭和49年度に原形炉を完成する計画であり，その一環として概念設計を原子力5グループに発注された。

日立製作所は総力を結集し，これまでの研究成果を活用しながら

独創的概念設計を行ない提案した。この原子炉の概要を図43に示したが、圧力管式縦形、熱出力600 MW、電気出力196 MW、蒸気条件は66 kg/cm²g、飽和であり、初期燃料には微濃縮ウラン(0.8~1.4% 3種)を用いるが、補給燃料にはこの炉で生産されるプルトニウムと天然ウランの混合燃料(等価1.1%濃縮)を用い、濃縮ウランを補給せずに運転維持が可能であるプルトニウム自立燃料方式をとっている。

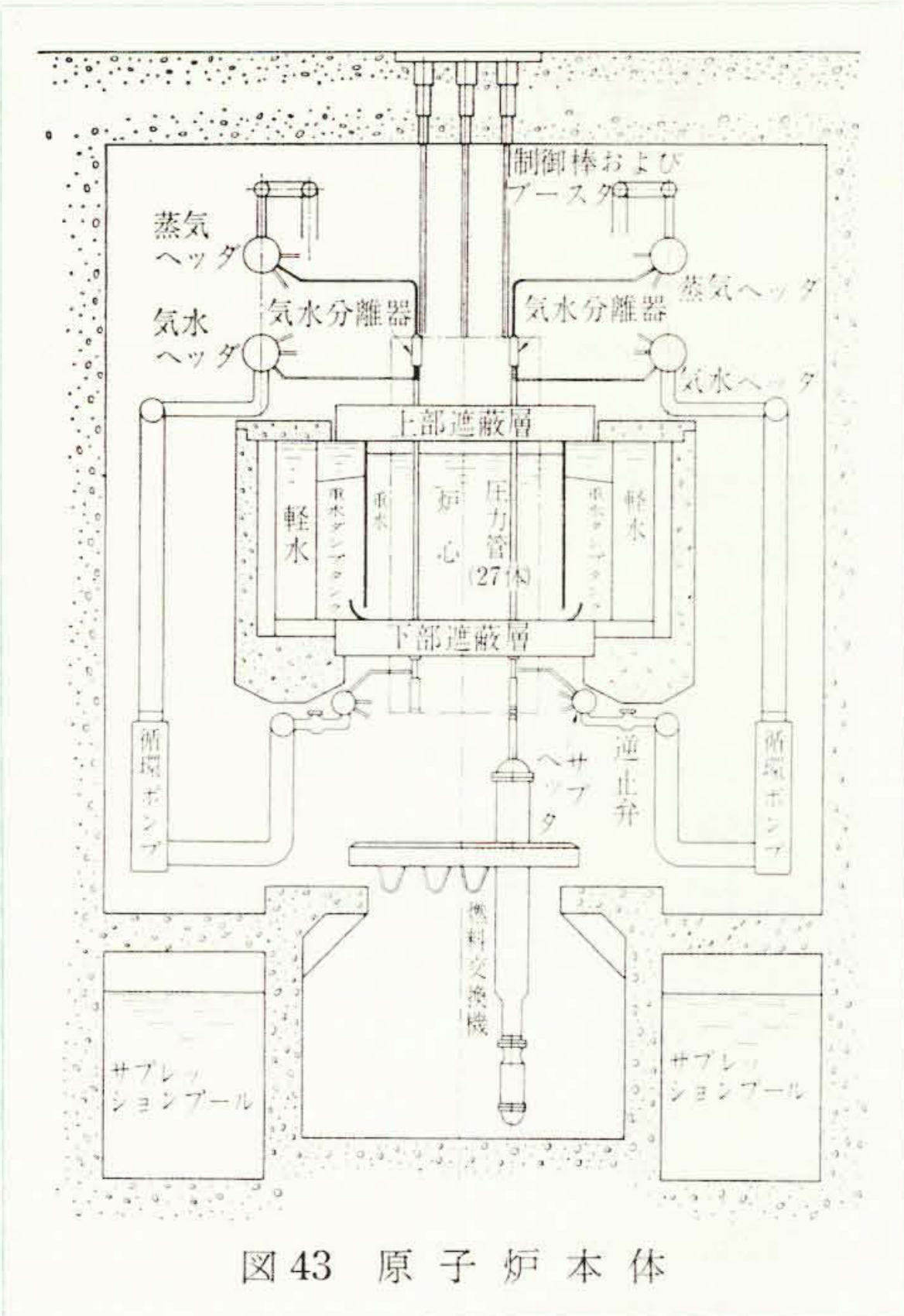


図43 原子炉本体

燃料棒は直径14.8 mmのBWR形で、28本をたばねてクラスタとし、Zr-Nb圧力管に納め、これを225 mm間隔で減速材である重水タンクの中に272本配列して炉心を構成する。冷却水は循環ポンプにより原子炉下方より給水ヘッド、圧力管、気水分離器、気水ヘッドを循環し、蒸気は気水分離器、蒸気ヘッドを経て直接タービンへ送られる。

炉心の基本的仕様を決めるためには、設計に関する多くの組合せを考え、その中で安全性とプルトニウム自立の条件を満たし、かつ最も経済性の高い炉心を選定した。図44はその一例を示したもので代表的な燃料直径、クラスタ内燃料直径の場合に、燃料濃縮度、クラスタ間隔に対して上記の条件を図示したものであり、この組合せに対してまず最適炉心が選ばれる。次に同様な手順を種々の燃料直径、クラスタ内燃料直径に対して行ないこれより最終的に炉心が選ばれている。

燃料要素はプラントの負荷率や燃料の燃焼度を向上するため、運転中随時交換ができる。この燃料交換機は炉心下方に配置してあるが、このため炉心上面の空間が有効に利用できることとなった。たとえば制御棒駆動方式として従来最も実績の多いワイヤ・ドラム方式が採用でき、また各圧力管出口にBWRで開発の進んだ気水分離器を設け、この炉形で通常採用されている高圧大容量の気水分離ドラムを省くことが可能となった。

燃料要素はプラントの負荷率や燃料の燃焼度を向上するため、運転中随時交換ができる。この燃料交換機は炉心下方に配置してあるが、このため炉心上面の空間が有効に利用できることとなった。たとえば制御棒駆動方式として従来最も実績の多いワイヤ・ドラム方式が採用でき、また各圧力管出口にBWRで開発の進んだ気水分離器を設け、この炉形で通常採用されている高圧大容量の気水分離ドラムを省くことが可能となった。

安全性に対しても十分な考慮を払い、たとえば炉の停止には制御棒でも十分である。特に原形炉であることから応答速度の速い重水の急速除去系を設けてバックアップとし、また最大想定事故である一次冷却管破断時に対しては、給水ヘッドと圧力管の間に設けたサ

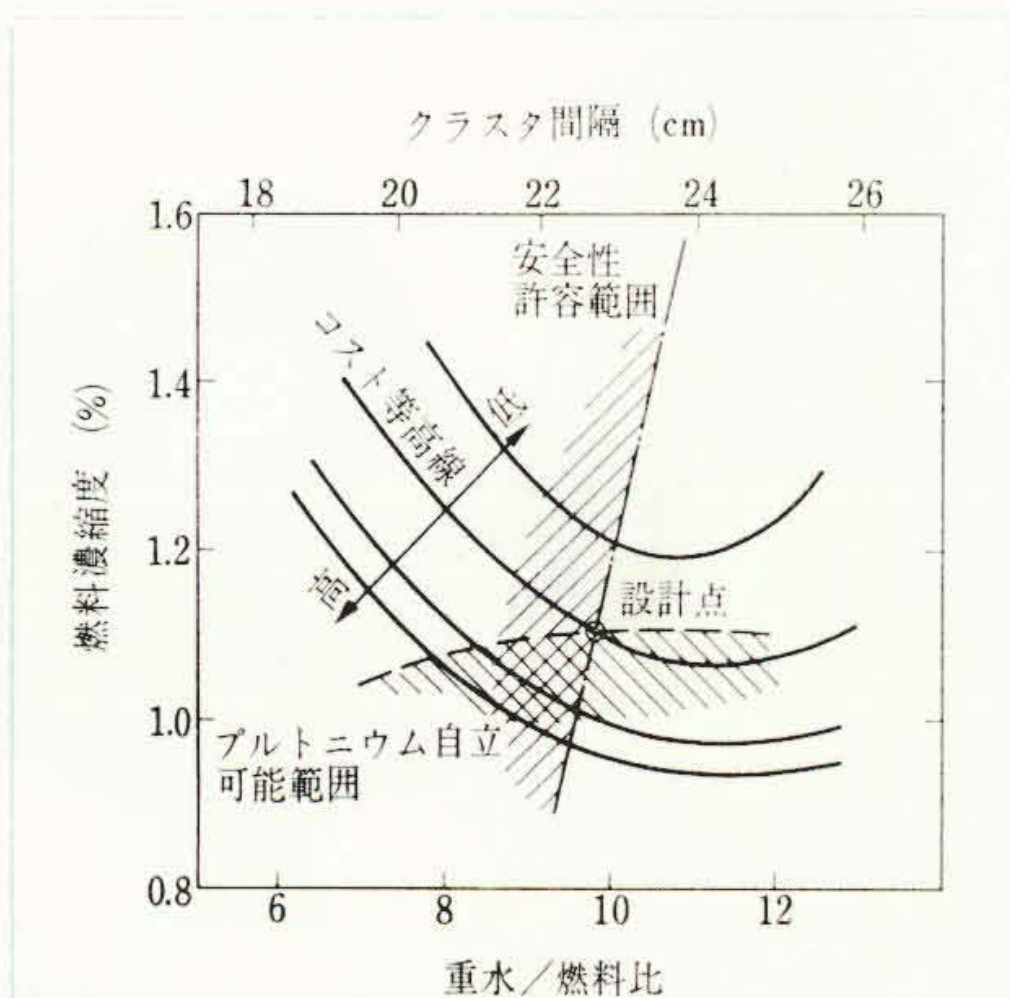


図44 最適炉心の選定

ブヘッドに非常注水を行なって、どの位置において破断を起こしても確実に炉心の冷却が行なえるようにした。

このほか炉心性能解析に当たっては、クラスタ形に対する核計算、燃料交換計画、炉心動特性、熱計算など、従来主としてBWRに関して蓄積してきた解析能力を、また炉計装や計算機制御に関する研究成果を活用して設計した。

■ 高速増殖炉の研究

エネルギー問題の解決は原子力発電の発展にかけられている。それは、さらに核燃料資源の有効利用という面から高速増殖炉の開発へと指向されている。高速増殖炉の開発はビッグビジネスの典型というべきもので、今回設立された動力炉・核燃料開発事業団により、ナショナルプロジェクトとして推進されようとしている理由もそこにある。日立製作所もこれに全面的な協力をすべく、鋭意関連する各種の研究を進めている。以下その二、三について述べる。

(1) 高速指数炉の設置

経済性、安全性を確保しながら高速増殖炉の利点を最大限に発揮するためには、高速炉炉物理の面で解明すべき問題が多い。現在、原形炉や実用炉を対象に各国において概念設計がくり返し実施されているが、たとえば核断面積および中性子スペクトルの不



図45 高速指数炉 FREE

確定性など、裏付けの実験データの少ないことが痛感されている。

この事情を考えて、株式会社東京原子力産業(TAIC)研究所に高速指数炉FREE(Fast Reactor Exponential Equipment)が建設された。同所のHTR(日立教育訓練用原子炉)の熱中性子柱からの熱中性子を濃縮ウランのコンバータによって高速中性子に変換し、それを中性子源としている。従来の指数炉および臨界実験装置のほとんどが金属燃料を用いているのに対し、将来の高速増殖炉にはほぼ確定的に採用される酸化物燃料を使用しているのが特長である。外観を図45に示す。本装置は日立製作所中央研究所で、(a)核分裂箔(はく)および共鳴箔の放射化法によるスペクトルの測定、(b)高速中性子スペクトル・インデックス(反応率比)の測定と燃料体積率などに対する依存性の研究、(c)水素反跳計数管の開発と微分スペクトルの測定などの諸研究に使用されている。

(2) 機械式ナトリウムポンプの試作

高速増殖炉の冷却体として液体金属ナトリウムが有望視されており、それを取り扱う技術および機器の開発が非常に重視されている。その一つとして機械式ナトリウムポンプの試作を行なった。図46にポンプおよびその試験回路を示す。ポンプは自由液面形ガスシール方式の立形単段タービンポンプで、吐出量1 m³/min、全揚程40 m、最高使用温度450℃、流量制御は電磁カップリングによる回転数制御(240~2,400 rpm)を用い、30 kWの誘導電動機により駆動される。ポンプ構成上の要点は、高温機器であることで、主要部には耐熱、耐食性の点から18-8ステンレス鋼が用いられるが、細部にわたって熱ひずみを避ける工夫がたいせつと

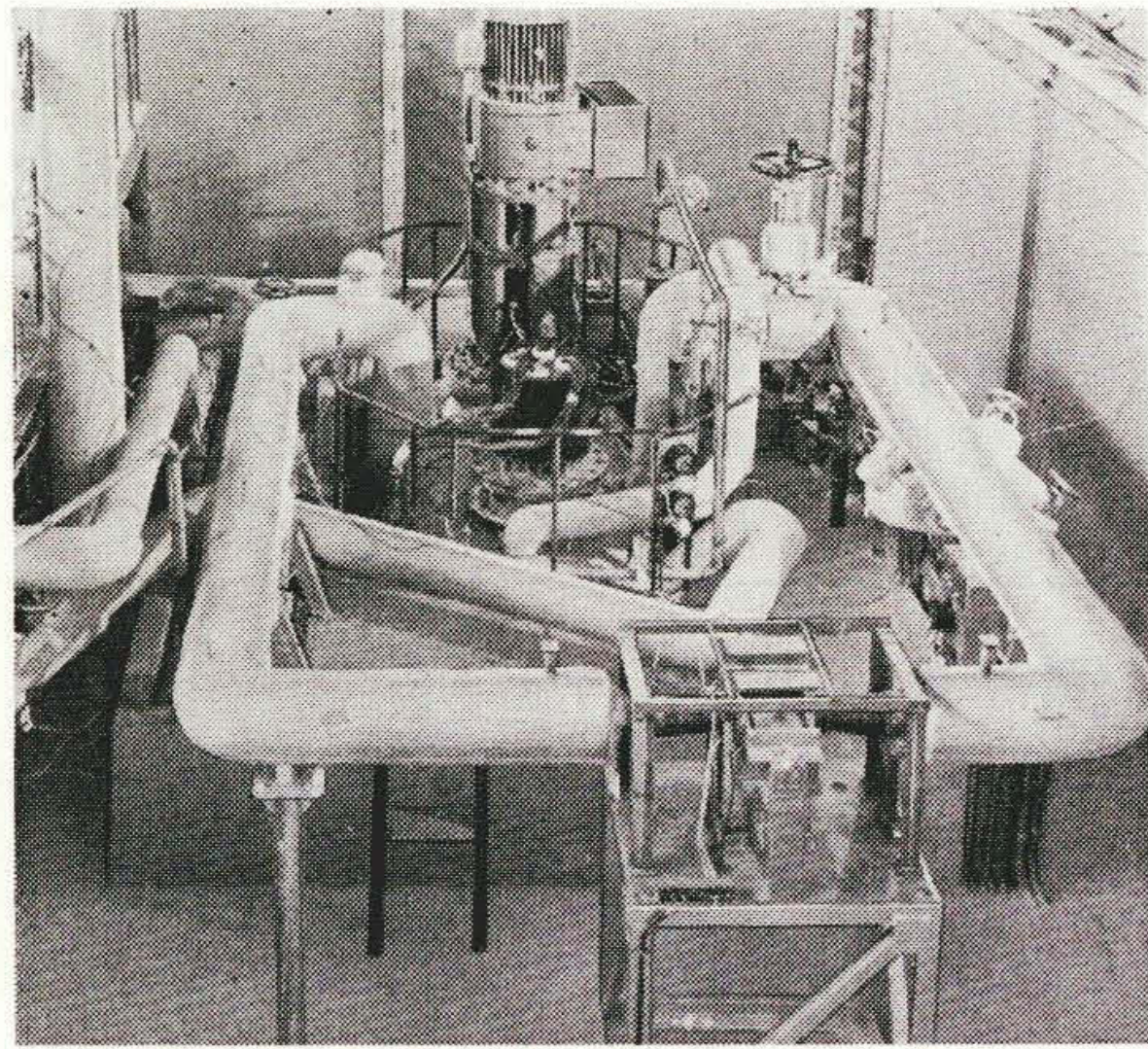


図46 機械式ナトリウムポンプおよび試験回路

なる。そのほか、冷却系配置の関係から長軸となることに対する配慮、ナトリウム自身を潤滑材とする軸受およびナトリウムの酸化を防ぐためのカバー（アルゴン）ガスをシールする軸封部の構造と材料の組合せ、ならびに全体として保守点検が容易な構造とすることなどもあげられる。

試験回路は4B配管で、絞り弁、流量計などの部品も特に高温ナトリウム用として開発したものを用いた。本ポンプは400℃、1,000時間の耐用試験運転中特に異常もなく、450℃までの各種特性試験においても予想どおりの性能が確認された。なお、本研究は40～41年度の原子力平和利用委託研究によるものである。

(3) 高速実験炉冷却系の概念設計

日本原子力研究所から発注された100 MWt高速実験炉冷却系の主要部の概念設計を行なった。この冷却系は、いわゆる Dry Type で一次系は2回路並列である。図47にその一回路を示す。中間熱交換器、主循環ポンプなどの機器設計と制御特性および配管系の応力解析などに工夫をこらしてあるが、レイアウト上の特色をあげると次のとおりである。(a) ポンプは前記の試作の経験を生かし、ナトリウムの自由液面が吐出側にある形式とし、中間熱交換器を含む吸込側の抵抗を大きくとれるようにした。(b) ポンプハウジングのオーバーフローノズルを停止時、ナトリウム液面の位置に設け、シール部からのもれを中間熱交換器へ戻すようにした。これにより Wet Type の場合と同様に、運転中にナトリウム液面が変動するのは中間熱交換器内だけという利点を得られる。(c) 原子炉容器のナトリウム入口ノズルおよびサイフォンブレイカノズルの位置を高くし、仮に冷却材喪失事故が生じても燃料の露出は避けられる。

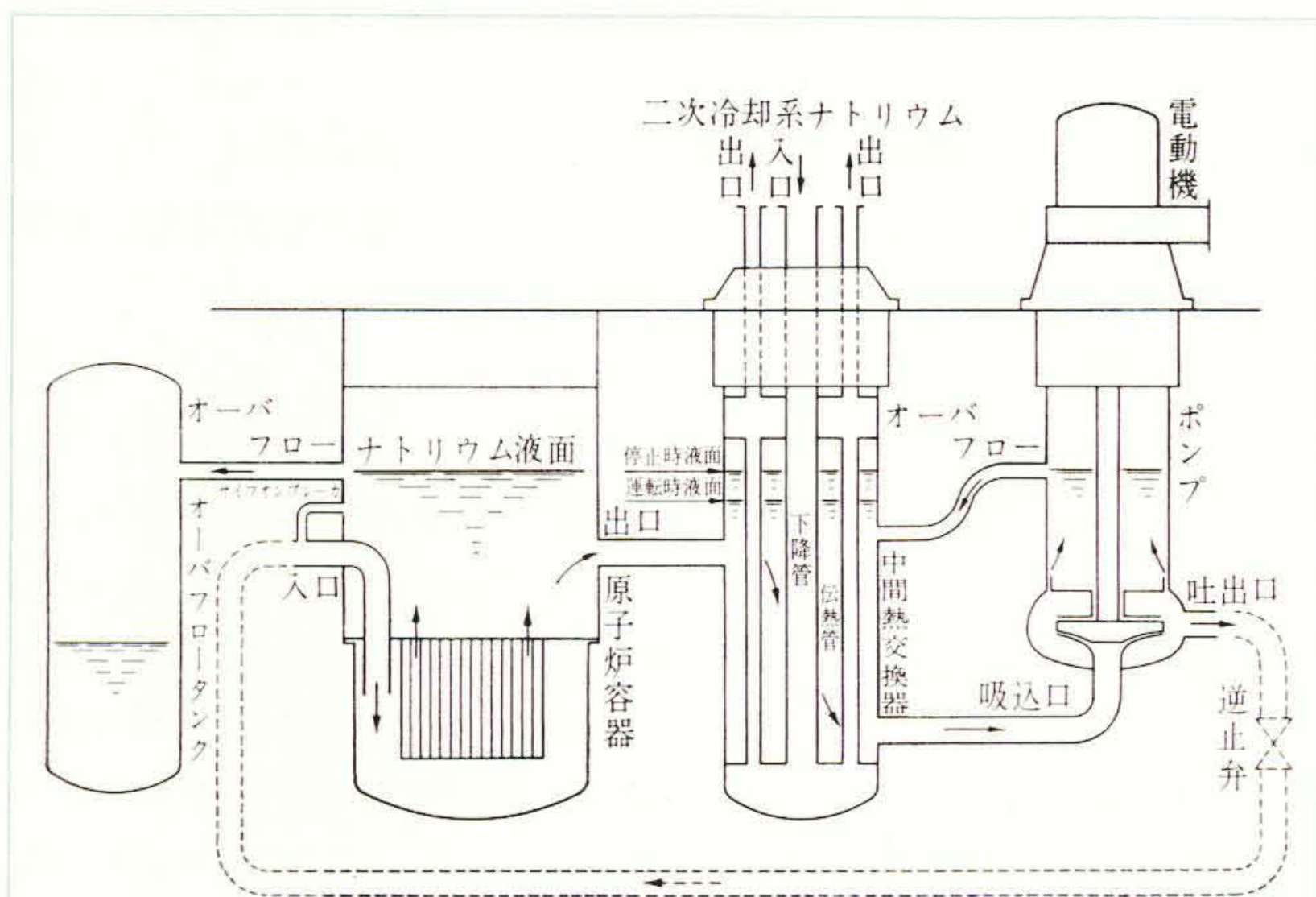


図47 高速実験炉一次冷却系のフロー線図 (高さ方向の相対位置を示す)

■ 原子力タービン用気水分離器の開発

原子力タービンで非常に重要な問題の一つに、湿り蒸気内の水滴によるタービン翼の侵食がある。これを解決するには、タービンの高低圧連絡管中で、水滴の分離を行なって翼の侵食を防止する気水分離器の開発が不可欠である。

日立製作所では、今日の原子力発電プラントの急速な発展を予想し、早くから種々の形式の気水分離器について検討を進めてきた。そのうちの最もすぐれた形式である波形の板を互に接近させ、多数ならべた波板式気水分離器（図48）について実物大装置による長時間蒸気実験を行ない、分離性能、圧力損失、耐久力などの点からみて十分信頼性のある実用的気水分離器の開発に成功した。

分離性能については、実機と同じ性状の湿り蒸気を用いた実物大波板の実験装置によって実機内の現象を実現し、信頼度の高い多くのデータを蓄積する一方、湿り度の正確な測定法、湿り蒸気内の水滴径の測定、水滴の運動の理論解析など、基礎的な問題にもさかのぼって徹底的な研究が行なわれた。これらの結果を基に、波板の形状、ピッチ、作動条件などの最適値が決定された。

振動、強度については、各種の構造について長時間の振動試験、耐久力試験の繰り返しと、実験的理論的な応力解析を行ない、安全性を確認し十分余裕のある構造を決定した。

そのほか、気水分離器流入部の流路形状、水滴成長の助長法など多岐にわたる検討が完了し、各種設計条件に対して分離効率が約80%に及ぶ性能をもつ気水分離器が直ちに設計製作できる体制ができあがった。

図49は、これらの結果をもとに設計されたパキスタン納138,600 kW原子力タービン用の気水分離器である。気水分離器入口部には実験的に求められた最適な形状の案内板、穴板などが取り付けられ、分離効率の向上が図られている。

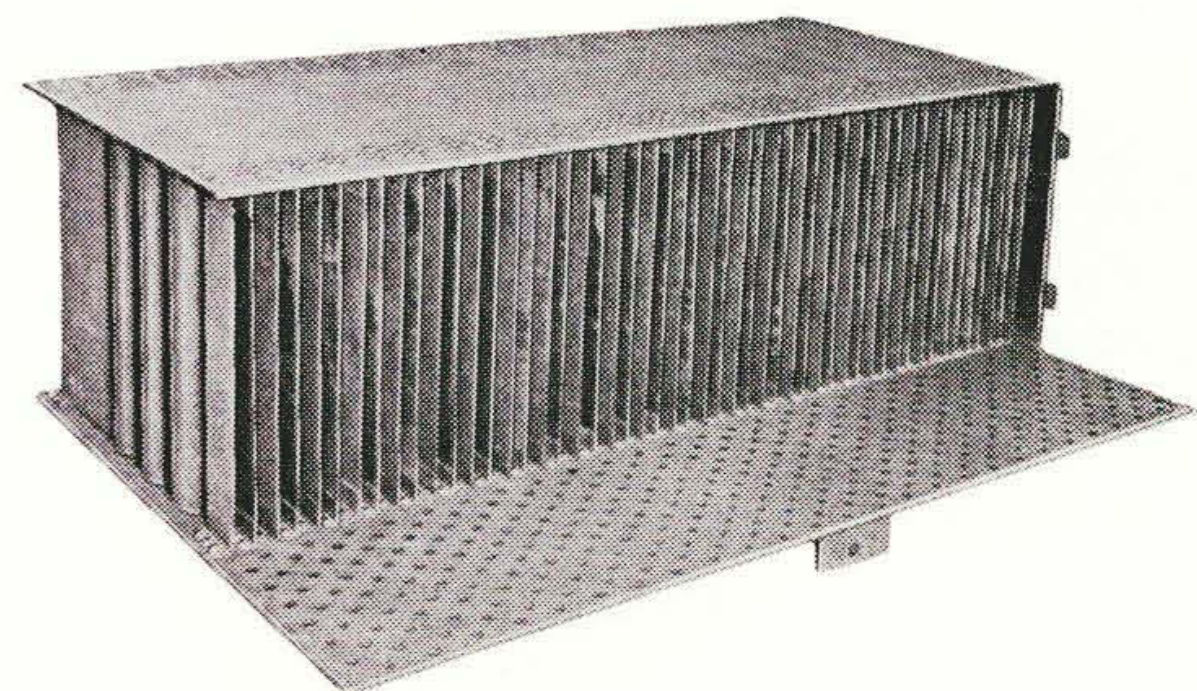


図48 波板式気水分離器セグメント例

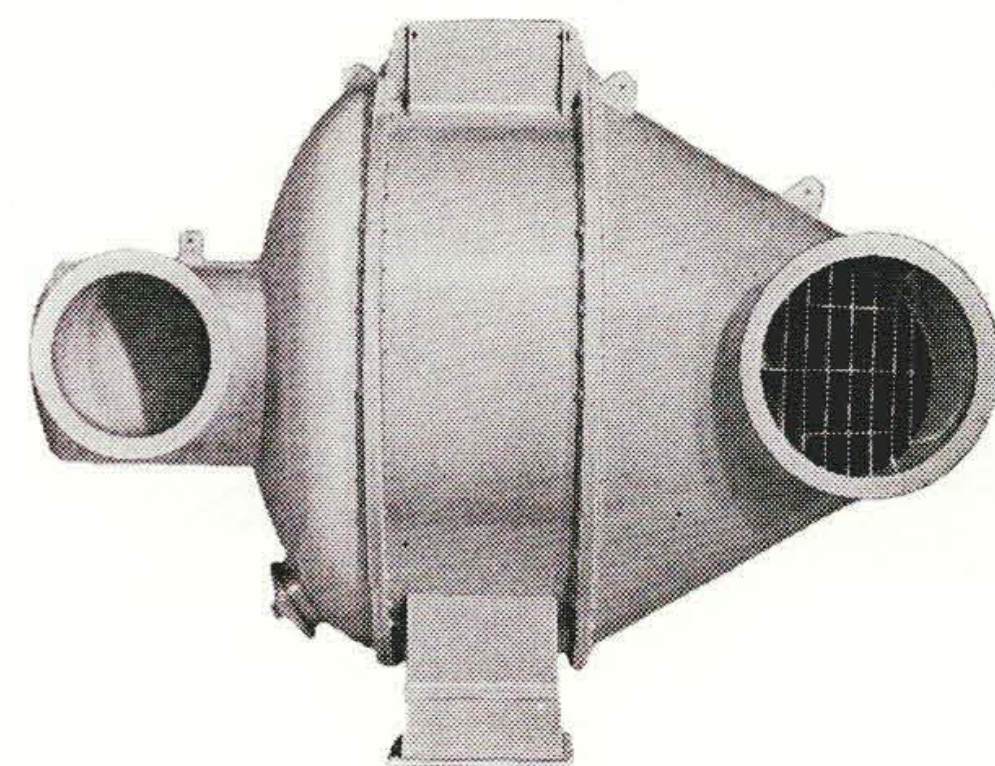


図49 パキスタン納138,600 kW 原子力タービン用気水分離器