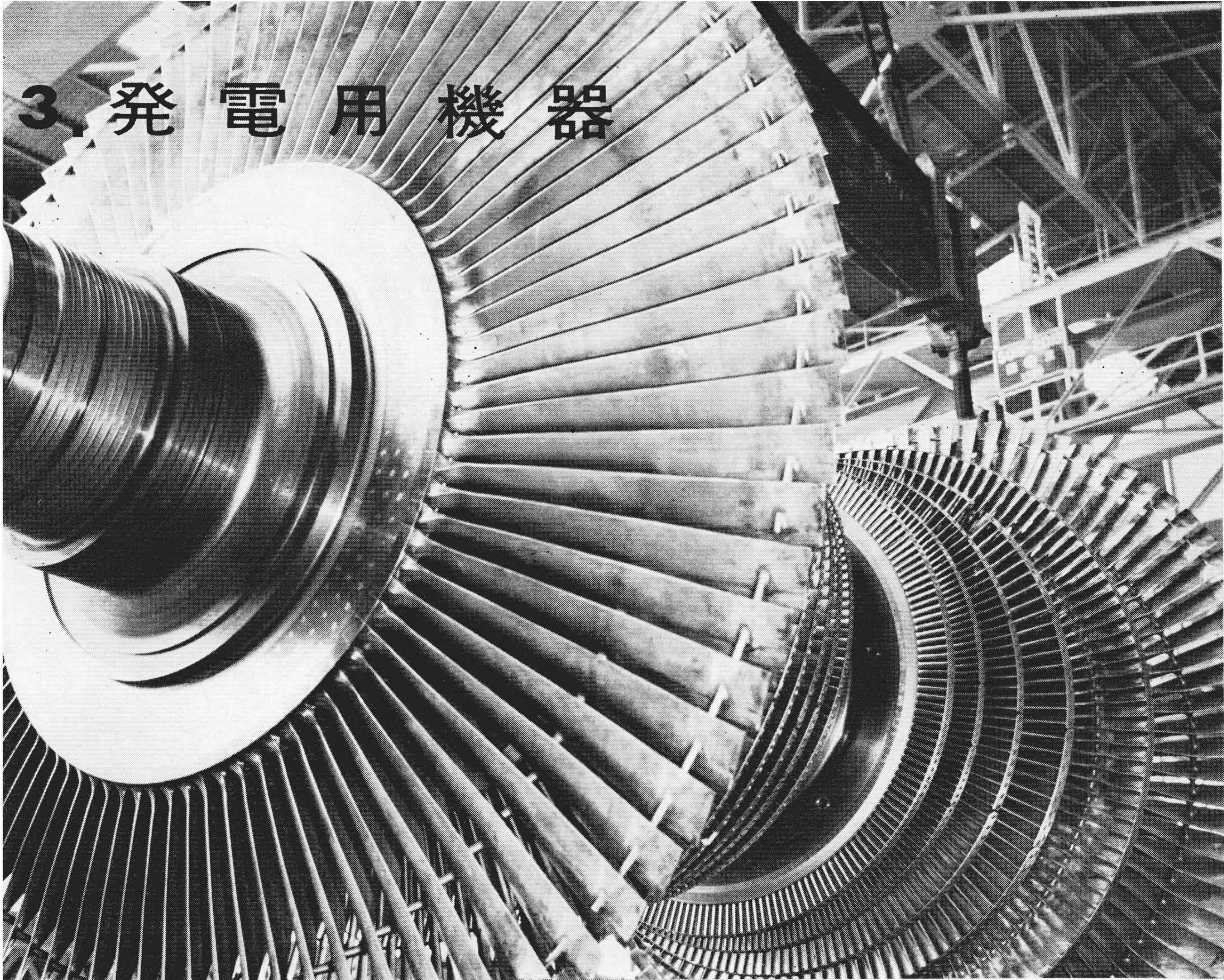




3. 発電用機器

昭和40年度中に工場出荷をした発電用機器は、出力の総合計で約1,900 MWであった。このうち水力が国内向200 MWと輸出1,000 MWで、火力は国内向500 MWと輸出200 MWの内訳となっている。

国内では水力の開発地点が少なくなるのに比べて世界の各地点においては開発が進み、これに対する日立製作所の在外関係者の努力の結果が実ってきたものとみられる。火力は国内向に比べて輸出向がまだ水力ほどの比率に達するのはほど遠いようにみられるが、国内の新設火力の計画が順調にのびていることと、火力輸出に対する積極度が水力に対するものより何年か遅れていたことが原因である。

表1と表2は昭和40年度の工場出荷の実績をおもな機器のみについて示している。

国内水力で特筆すべきものは、池原の2号機でわが国の揚水発電所の記録品であり、前年度出荷したものと同一仕様である。輸出水車のうちアメリカのサンルイス発電所のものは、揚水形水車としてわが国で初めてアメリカに輸出されたものとして意味深いものであり、ベネズエラのグリ発電所用219 MW×2水車と西パキスタンのマンガラ発電所用144 MVA×2発電機は大形機として世界有数の記録品で、前者はアメリカのWH社の発電機と組み合わせられる。

火力機器で特筆すべきことは、新港発電所のボイラと勿来発電所のボイラのいずれもがサイクロンファネスを採用していることで、新港は粘結炭が使用されること、勿来は低品位炭が混用されることによる。輸出火力のシンガポールのパシルパンジャ60 MWは昨年までに納入した2機につづく第3号機で、イギリス製のボイラと組み合わせられている。

表1 40年度中に工場出荷した水車と発電機

納入先	発電所名	形式	水車×台数 (kW)	発電機×台数 (kVA)
和歌山県	岩倉	VF	6,010×2	6,700×2
東京電力	矢木沢	VFR	87,000×1	85,000×1
電源開発	池原Ⅱ	VFR	110,000×1	110,000×1
日本軽金	富士川	—	—	18,000×1
インド	コルン	HKT	5,600×4	5,647×4
アメリカ	ブルーメサ	VF	45,000×2	
アメリカ	キャニオン	VP	39,500×1	
チリ	ラベル	VF	73,600×1	88,160×1
アメリカ	サンルイス	VFR	51,000×5	
コロンビア	グアダルーペ	VP	52,700×1	
ベネズエラ	グ	VF	218,500×2	
西パキスタン	マンガラ	—	—	143,750×2

表2 40年度中に工場出荷したボイラとタービン

納入先	発電所名	ボイラ 蒸発量 蒸気圧力 温度 (T/h)(kg/cm ²)(°C)			タービン 出力 形式 (kW)
中部電力	武豊	700	175	571/541	220,000 再熱復水
常磐共同	勿来(6)	570	174	571/543	175,000 再熱復水
九州電力	新港(2)	510	173	569/541	
関西電力	尼東二(2)	510	174	571/543	
天塩川製作	名寄	83	68	443	8,200 抽気背圧
十條製紙	釧路				6,500 抽気背圧
ブリヂストンタイヤ	東京	90	85	390	5,000 背圧
インド	コタクデム(1)				60,000 復水
インド	コタクデム(2)				60,000 復水
シンガポール	パシルパンジャ				60,000 復水

発電用機器の主機器が工場から出荷されてから、現地で据付されて営業運転にはいるまでには水力機器で8月から20ヶ月くらいかかるし、火力機器の場合でもほぼ同じ期間を要する。表3は前年度あるいは前々年度に工場出荷され、昭和40年度中に運転にはいった発電所の地点と出力を示したものである。水力で約1,200 MW、火力で約900 MWの発電所が日本国内と国外において発電を開始したことになる。

水力も火力も年とともに単機の容量はますます大きくなり、技術上の進歩の結果として水力ではポンプ水車が多く採用されるようになり、火力では超臨界圧または亜臨界圧ボイラとタービンが多く採用される傾向が増してきている。昭和40年度に受注したもののうちで特記すべきは水力機器ではわが国の新記録品である長野発電所（電源開発株式会社）の113,000 kW ポンプ水車2台があり、火力機器では五井発電所6号（東京電力）の350 MW 亜臨界機器がある。この発電所のボイラにはUPボイラが採用されている。

表3 40年度中に運転にはいった発電所

	発 電 所 名	水 車×台 数 (kW)	発 電 機×台 数 (kVA)	
水 力	池 原 I (電 発)	80,000×1	78,000×1	
	城 山 (神 奈 川 県)	65,000×2	70,000×2	
	玖 珠 (九 電)	5,000×1	5,000×1	
	富 士 川 (日 軽 金)		18,000×1	
	アコソンボ (ガ ー ナ)	158,000×2		
	トロネラス (コロンビア)	21,200×2	21,200×2	
	グアダルベ (コロンビア)	52,700×2		
	カ リ マ (コロンビア)	38,800×2		
	ラ ベ ン タ (メ キ シ コ)		8,625×5	
	マ タ チ ラ (イ ン ド)	12,600×3	12,000×3	
	発 電 所 名	タ ー ビ ン		ボイラ T/h
		(kW)	入口蒸気 (kg/cm ²) (°C)	
火 力	新 江 別・3 (北 電)	125,000	127・538/538	420
	五 井・4 (東 電)	265,000	169・566/566	900
	新 潟・3 (東 北 電)	250,000	169・566/566	840
	尼 東 二・1 (関 電)			510
	川 崎 (昭 電)	16,000	72・535	150
	ネ ロ ー ル (イ ン ド)	30,000	60・483	91
	パシルパンジャ・1 (シンガポール)	60,000	88・510	
	パシルパンジャ・2 (シンガポール)	60,000	88・510	
	テ ー ゲ ン・1 (マニラ)	100,000	127・538	327

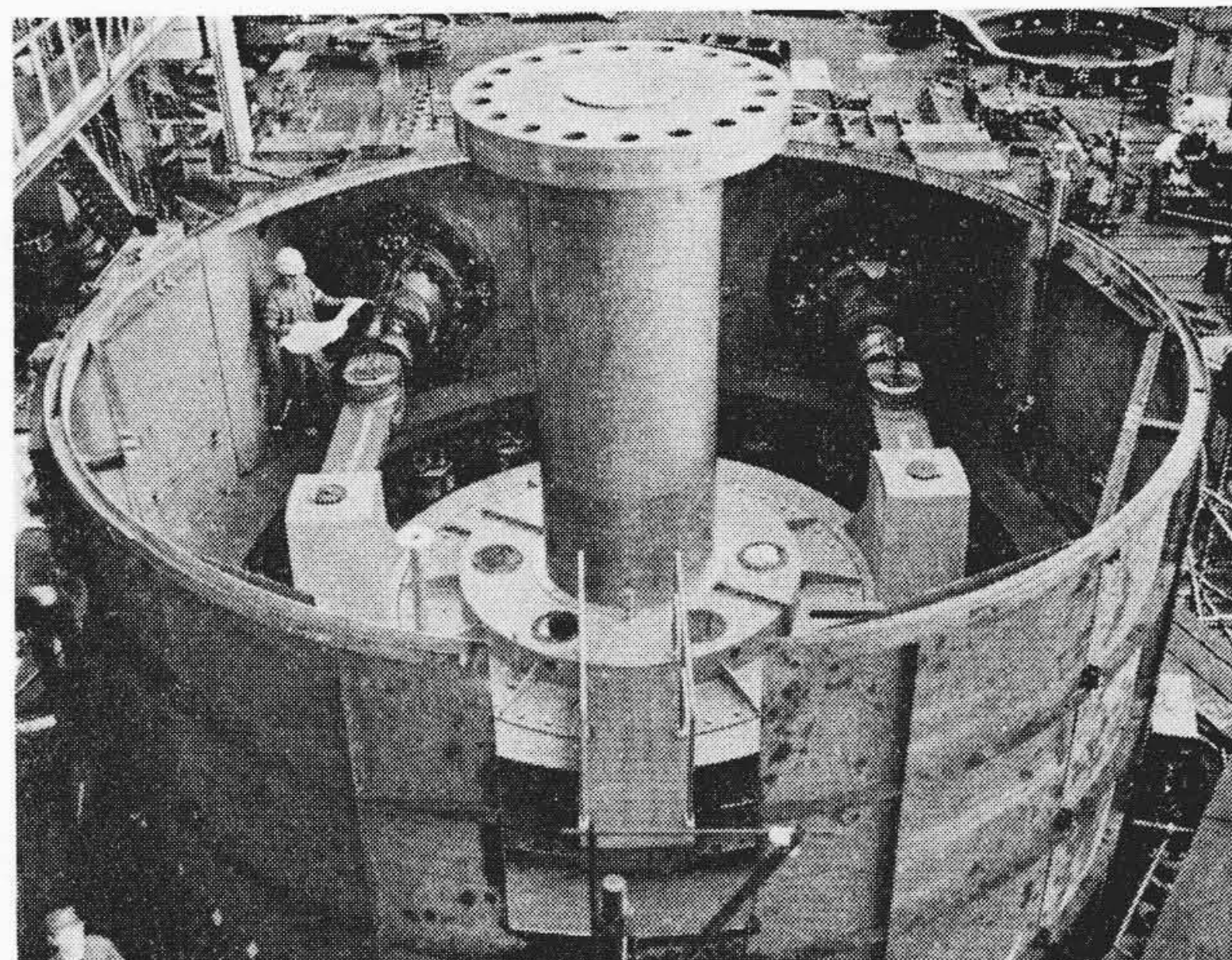


図1 ベネズエラ グリ発電所大容量水車の組立

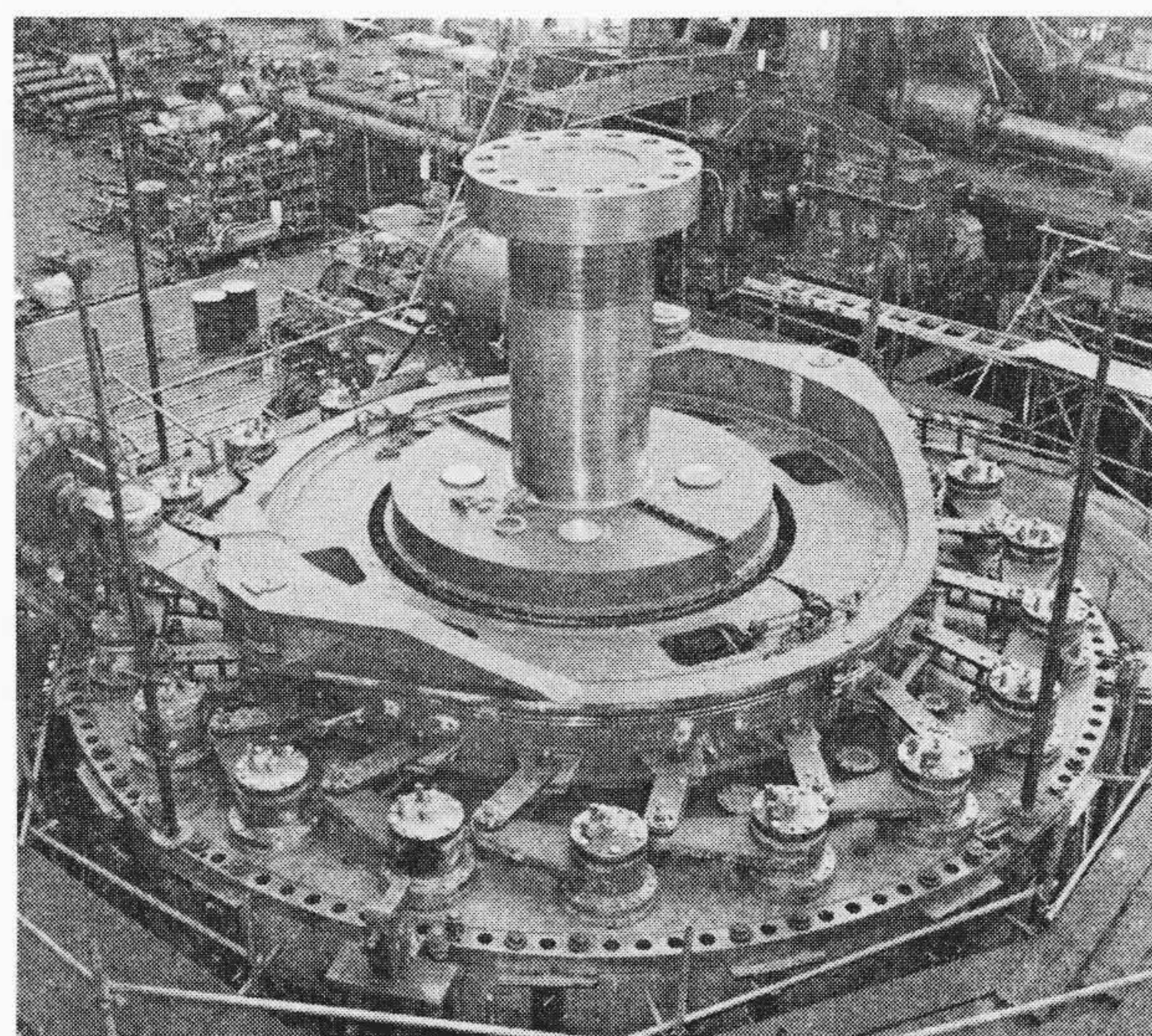


図2 電源開発株式会社池原発電所 II 期

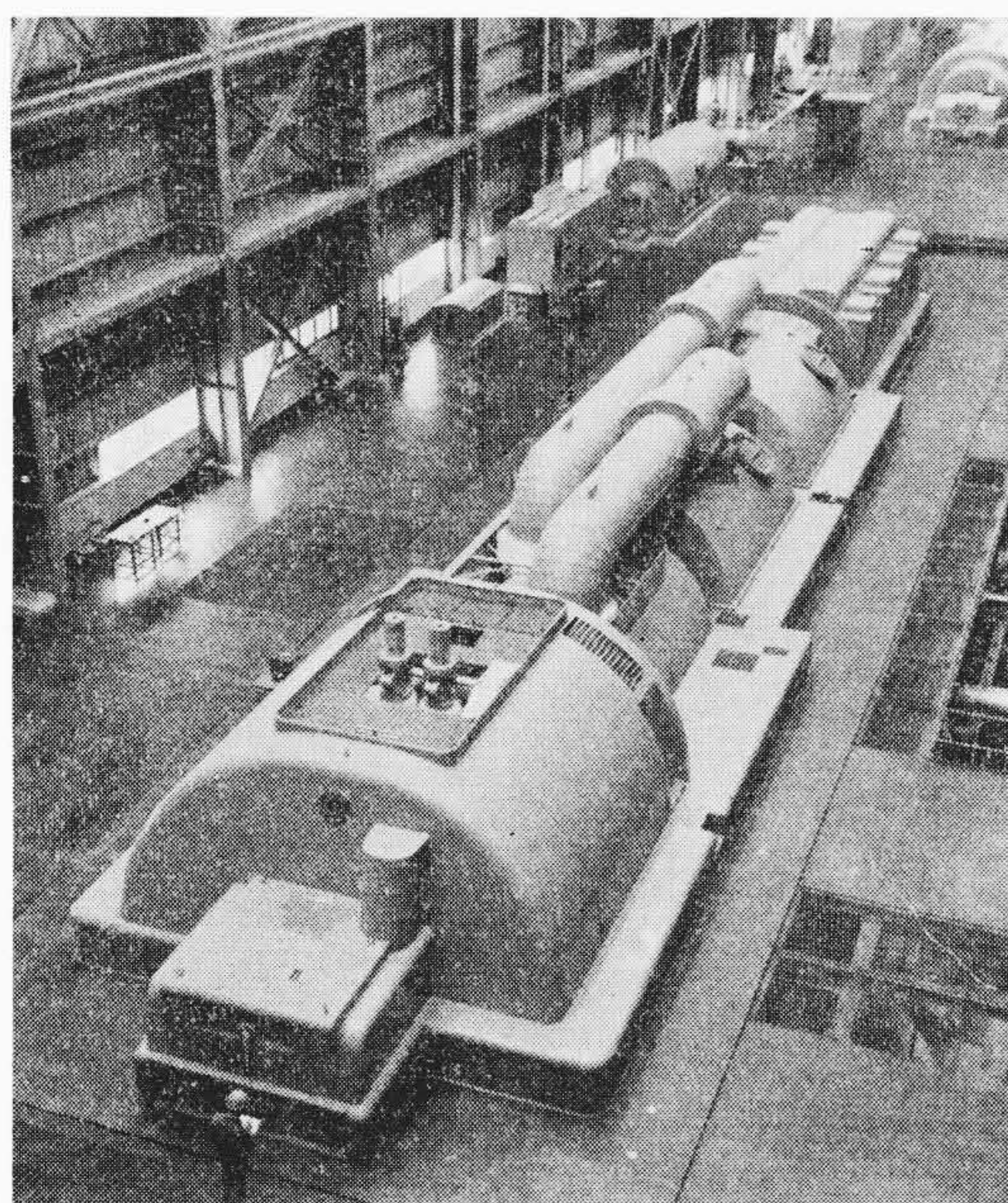


図3 東北電力株式会社新潟火力発電所
250,000 kW タービン発電機

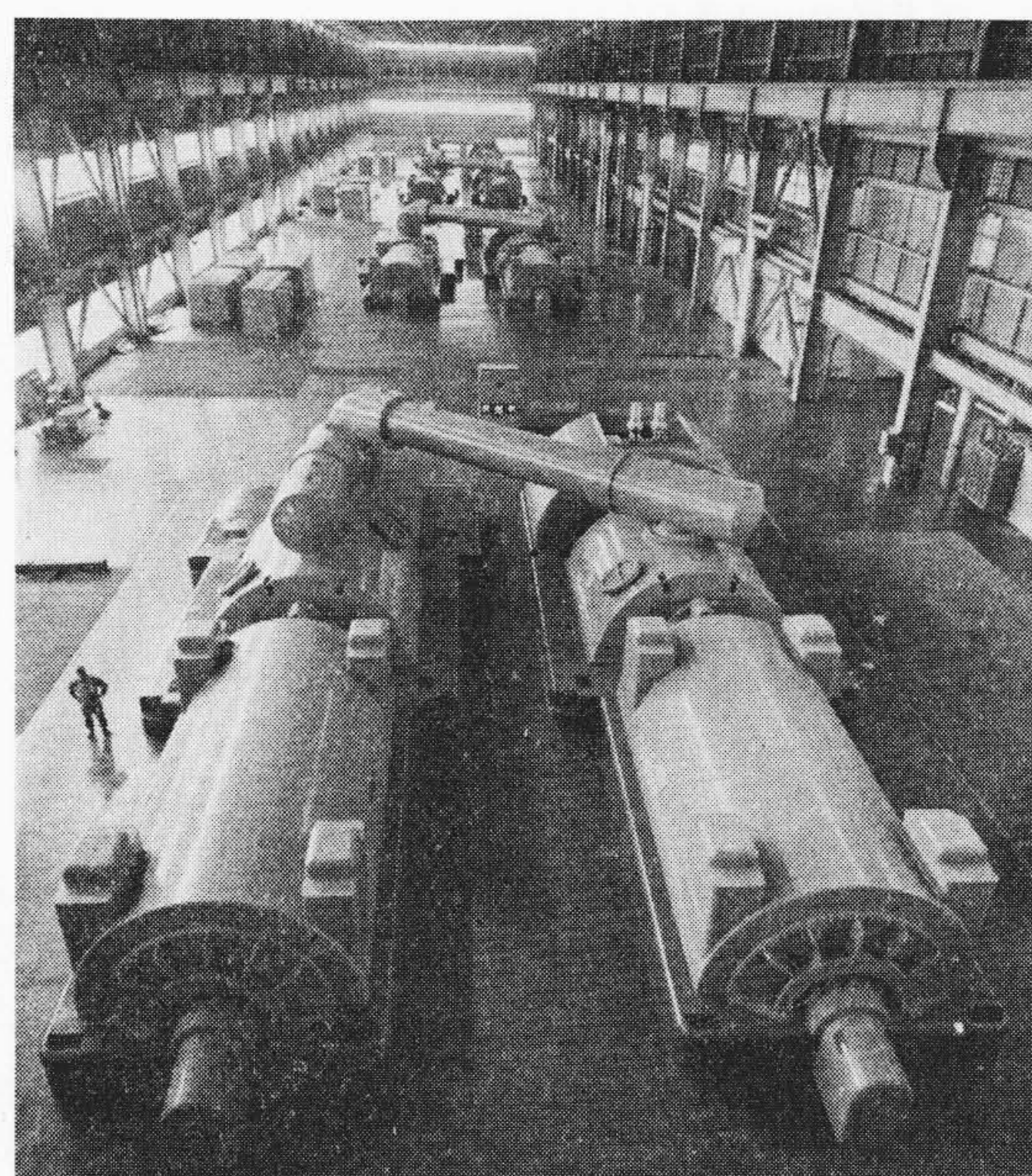


図4 東京電力株式会社五井火力発電所
265,000 kW タービン発電機

■ 海外に進出する大容量水車

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40年8月までに受注した輸出向水車の出力累計は、約6,000 MW 160台であり、生産の累計12,000 MWの50%にも達している。

輸出向水車は、国内の水力開発計画ではほとんど実現できないような、大きな単機容量を有するものが多く、これら水車の製作経験は大容量機の設計、製作、据付の技術の向上に、大きく貢献している。現在製作中のおもな大容量機としては、ベネズエラ向のグリ発電所用218,500 kW、落差136 mのフランスス水車3台、オーストラリア向マレー第2発電所用161,000 kW、落差290 mのフランスス水車4台などがあげられる。グリ発電用水車は、ソ連を除き世界最大容量を持つもので、ランナ径は5.2 mに及ぶ。ドラフトチューブ、ケーシングは現地溶接構造を採用している。

マレー第2発電用水車は高落差用フランスス水車として、記録的大容量のものであり、水車ケーシングの工場水圧試験圧力は70 kg/cm²に達している。

インド・コシ発電所向の5,600 kW 筒形水車4台は、すでに工場

製作も終わり、現在据付にはいつている。この水車は筒形水車としては大容量であり、6.1 mという低落差のため寸法も大きく、ランナ径は4.5 mとなっている。水車は同期発電機に直結する方式が採用され、増速形の欠点を除くとともに、高性能を発揮するよう設計されている。

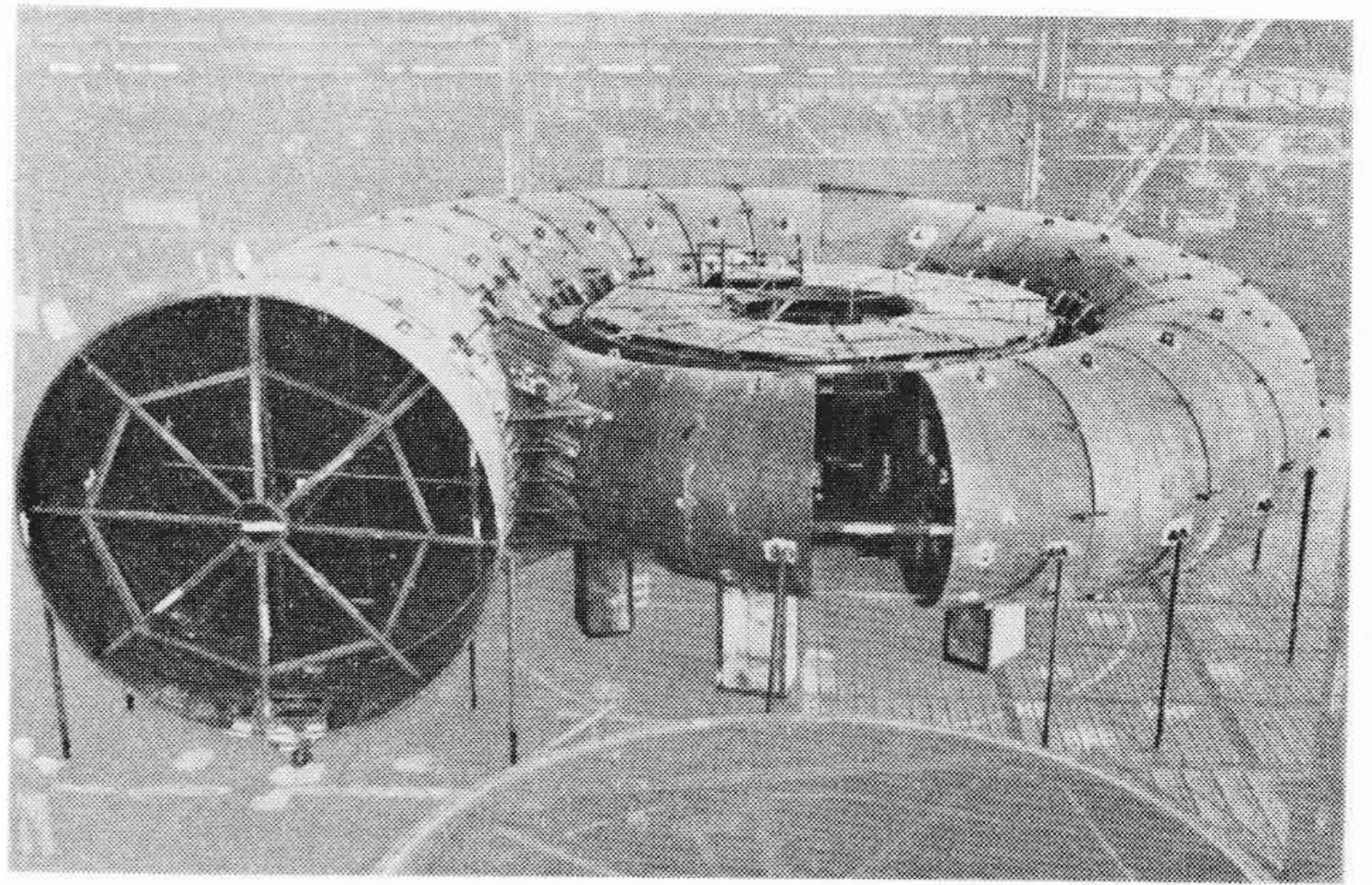


図1 ベネズエラ グリ発電所フランスス水車

■ フランス形ポンプ水車の大容量化

揚水式発電設備の形式がポンプ直結形より可逆形に移るにしたがって、その内容は著しく改善され、単位容量の増大および適用範囲の拡大をみるに至った。日立製作所はこのような揚水式設備の製作分野において、独自の技術により、常に業界の先頭になって、機器の性能向上と、信頼性の高揚に努力を重ねている。

フランス形ポンプ水車は昭和34年大森川発電所以降、畑薙第一、三尾発電所などで運転成果を得ていたが、さらに9月記録的容量をもつ池原Ⅰ期80,000 kW ポンプ水車2台が39年9月から運転に、城山65,000 kW 2台が40年8月から試運転に入った。池原Ⅰ期のポンプ水車は直径5,100 mmの二つ割りランナを有し、100 mに及ぶ長い放水路を有している。城山のポンプ水車は180 m余の高落差ポンプ水車で、従来の例より一段早い300 rpmが採用されている。これらの運転成果は、大容量化あるいは高落差、高速機に対する貴重な実績を与えている。

目下建設中の矢木沢発電所および池原発電所Ⅱ期のポンプ水車は

それぞれランナ外径約5,800 mm、6,100 mmの大きさを有し、それぞれ40年7月ないし9月に工場完成し、目下現地において据付中である。これらポンプ水車の製作に当たっては、数多くの模型試験研究による特性の向上がおり込まれ、かつポンプ水車の過渡現象に対する研究成果にもとづいた設計がなされている。

さらに、40年初め、電源開発株式会社 長野発電所用113,000 kW ポンプ水車2台の受注をみ、現在製作中である。

大容量ポンプ水車の単機容量は、発電所建設の経済的見地より、急速に大容量化されつつあるが、これは機器に対する信頼性と製作技術の進歩によるものである。フランス形ポンプ水車の特長は、通常の水車に比べ、ランナ直径が30~40%大きくなることであり、容量が大きくなるにしたがい、輸送上ランナを分割する必要がある。畑薙第一発電所に初めて分割構造のランナが採用されて以来、大容量ポンプ水車の製作限界も大幅に拡大され、単機容量200~300 MWのポンプ水車の実現も予想される。

また揚水発電所の性格上、今後はますます高落差の領域に進むものと考えられるので、この方面にも研究の歩を進めている。

■ 斜流ポンプ水車の高落差化・大容量化

新大倉発電所(96.9 m)、新日向川発電所(113.4 m)用斜流水車、および穴内川発電所(75 m)用斜流ポンプ水車に引続いて、昭和39年以降、蔭平発電所用47,700 kW 斜流ポンプ水車に関して、四国電力株式会社と共同研究を行なって来た。落差89.7 m、揚程93.5 mと穴内川発電所より約20 m高くなっている。半地下式発電所であるため、掘削を増すごとに、土木工事費が著しく増加することになるので、斜流ポンプ水車の可動翼の特長を利用して、水車最大水量60 m³/sに対し、揚水量を約半分に制限して、吸出高を極力浅くす

ることになった。そのため、穴内川発電所よりいくぶん比速度の低い、ポンプQ-H曲線に不安定特性のない、ポンプキャビテーション特性の良好なランナを開発することが要望されていた。今度、その条件を満足するすぐれた特性を有するランナが開発され、実機に採用されることになった。その採用ランナの特性をもとに、運転特性、建設費の両面より経済比較を行なって、吸出高、ランナ直径、ポンプ運転範囲が決定された。運転開始は昭和43年4月の予定である。

一方、中部電力株式会社高根第1発電所用88,000 kW 斜流ポンプ水車2台の受注が決定した。落差136.2~79.6 m、揚程137.9~80.8 mとなっている。

■ トランジスタ式 (ED 形, EE 形) 電気調速機の開発

水車用電気調速機は、従来電子管増幅器、磁気増幅器を有していたが、最近世界的にトランジスタ増幅器を持つものが製作される傾向にある。日立製作所においても調整、保守の容易な多目的電気調速機として、ED 形と EE 形の開発を行ない、それぞれ東北電力株式会社豊実発電所、東京電力株式会社日橋川発電所にその第 1 号機を納入した。ED 形調速機は、電気制御部を内蔵するレギュレータキュービクル (図 1) と、機械部分を内蔵するアクチュエータキャビネット (図 2) に大別される。当調速機は、新設発電所用または中容量以上の既設機械式調速機の取換え用であり、両キュービクルとも非常に小形である。日立製作所製の従来の磁気増幅器形 E 形調速機と異なり、ED 形では補助サーボモータをもたない。特長として (1) 感度は 0.02% 以下、不動時間は全負荷遮断時 0.25 秒以下である。(2) 速度垂下率は 0~10% の間で任意に可調整。(3) 無負荷時ダンピング強さは 0~50%, 時定数は 0~10 秒、負荷時ダンピング

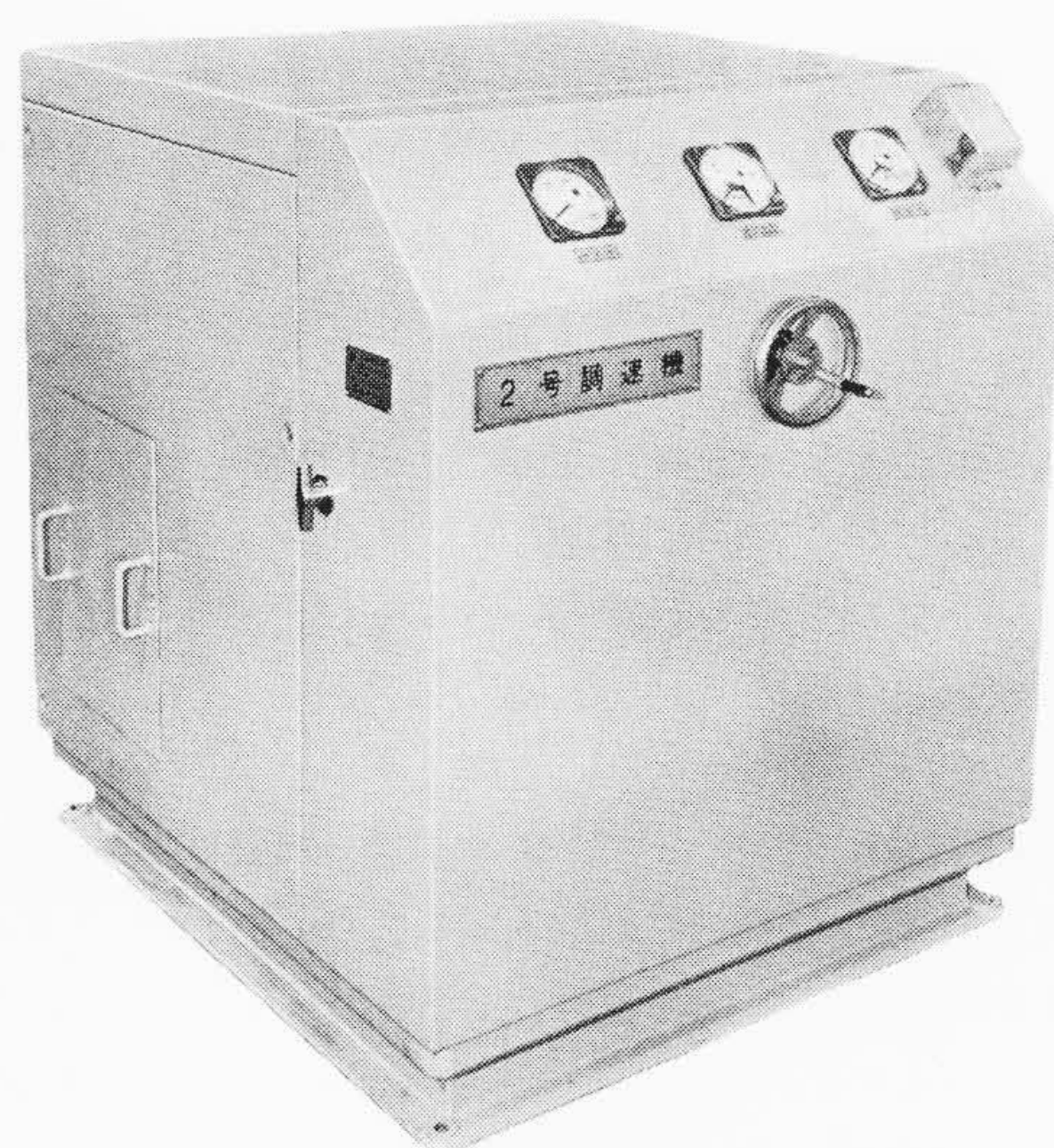


図 2 ED 形アクチュエータ

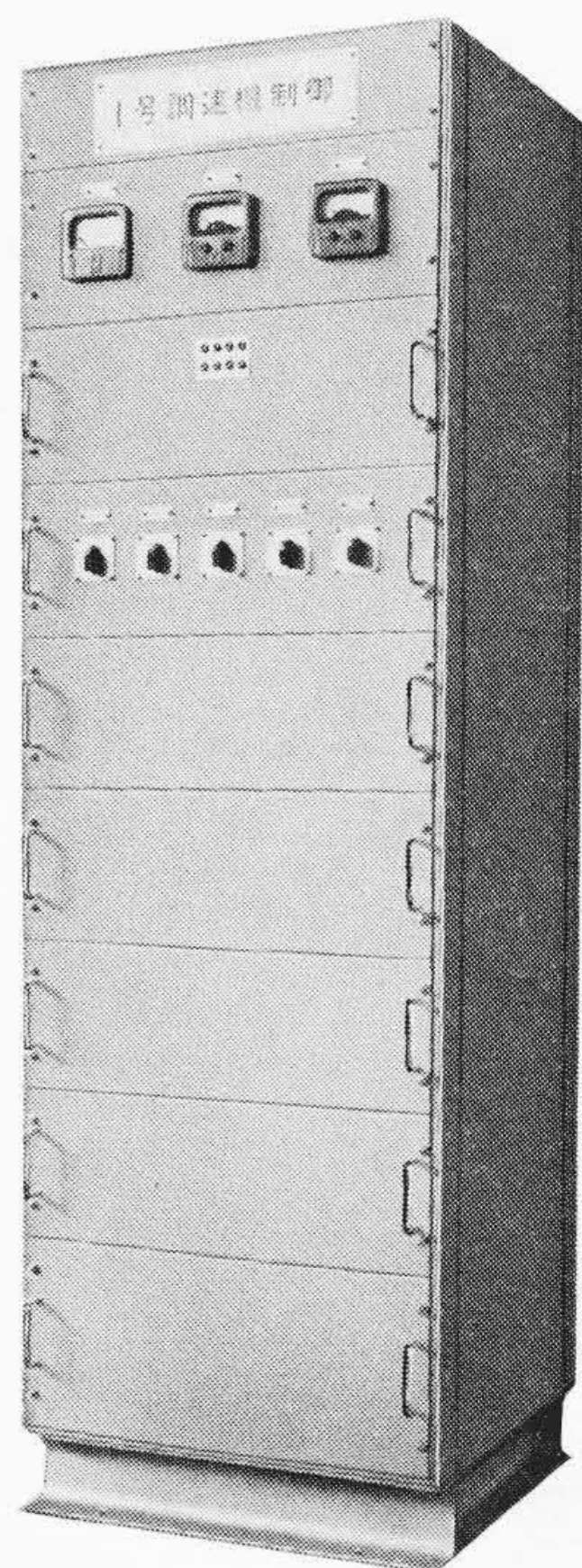


図 1 レギュレータキュービクル

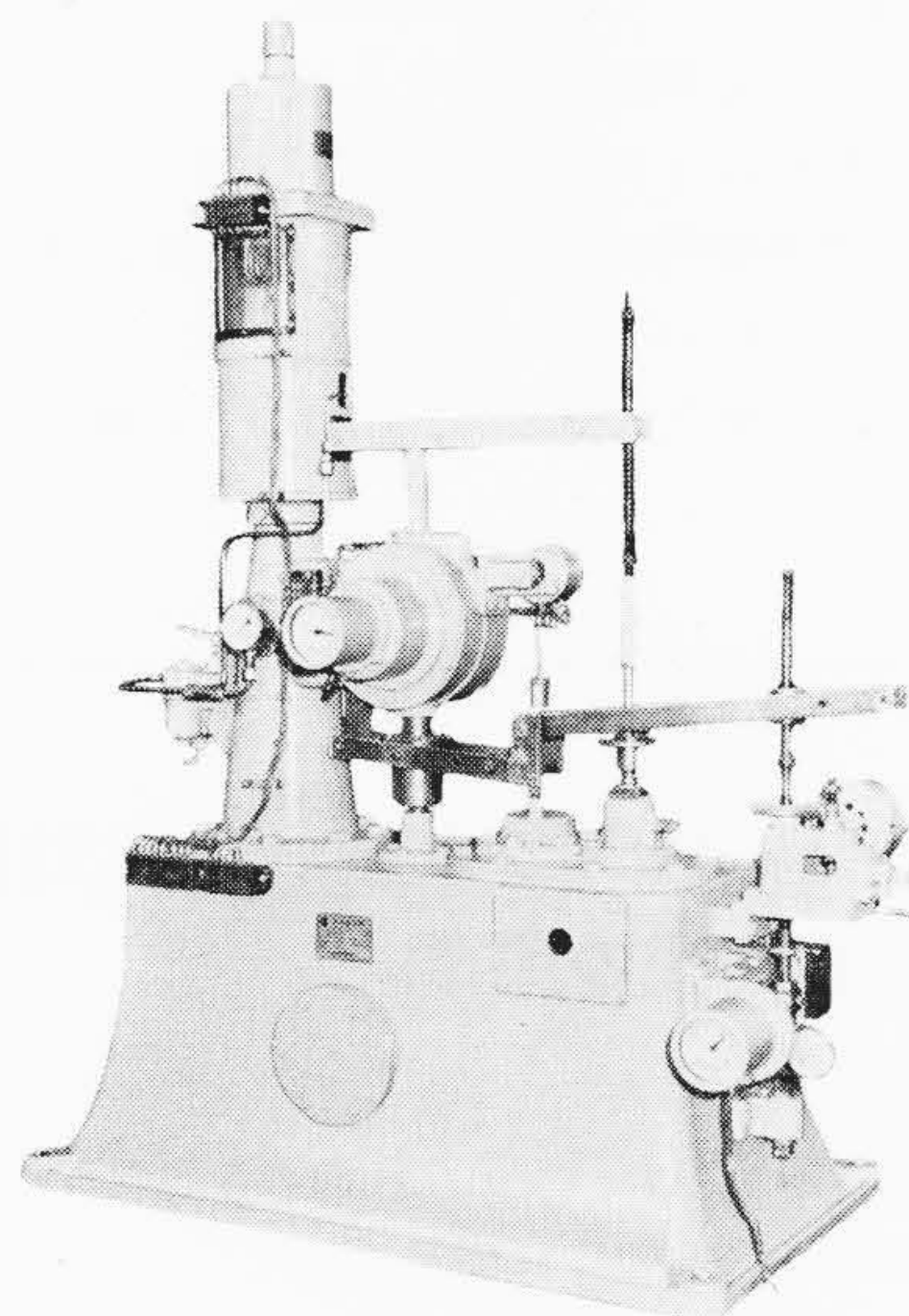


図 3 EEA 形アクチュエータ

強さはこれと同等または任意の小さい値に可調整である。無負荷と負荷ダンピングの切換点は任意に設定できる。(4) 電氣的増幅部には日立トランジスタ 8 個を使用し、過電圧耐量に十分余裕をとり、電気回路異常時に出力回路のメータリレー動作で急停止する保護リレーを持つ。(5) 入力信号の合成が容易なので、水位調整回路、結合運転回路、入力不動帯調整回路、加速度検出回路、およびその他を追加できる。(6) 2 次配圧弁利得は 5~30 倍に可調整。(7) サー

ボモータの開閉時間は外部から可調整である。

既設機械式調速機がサーボモータ内蔵形式のような場合には、従来の機械部分を流用するほうが得策である。この改造方式が EE 形であり、開放形機械調速機改造 (EEA 形) (図 3) と密閉形機械調速機改造 (EEB 形) に分けられる。トランジスタ電気調速機は今後の新設発電所用のみならず、既設発電所の改造用としてその用途はますます拡大するものと思う。

■ 記録的大容量水車発電機の輸出

はやくから輸出機の増大を図っていた日立製作所では、西パキスタン・マンガラ発電所に143,750 kVA 166.7 rpm 発電機（わが国最大容量）を3台納入し、現在据付中である。

本機は、準かさ形構造で、顧客要求により、推力軸受および磁極の分解、点検、再組立には、発電機回転子を分解することなく作業が行なわれる構造をもっており、スラストランナは2分割りである。また、すべての材料、特性はBS規格に基づいている。

インド・コシ発電所納の6,200 kVA 筒形水車発電機4台は、これまたわが国最大の筒形機で、交流同期発電機式を採用し、水車直結方式のため、64極93.8 rpmの低速機である。通風を円滑に行なうため外気と遮断し、クーラ、別置ファンを備えた循環方式とし、推力軸受は両方向に対し、ミッチェル形の特殊スラストメタルを採用した。別置励磁機を使用し初励磁はバッテリーによっている。

現在製作中のものに、アメリカ・ホワイトロック発電所納115,000 kVA 277 rpm 発電機2台、同じくアメリカ・ニッカジャック発電所納31,050 kVA 75 rpm 発電機2台、ブラジル・コアランヌーネス発電所納34,500 kVA 150 rpm 2台がある。

ホワイトロック発電所納115,000 kVA 発電機は、アメリカ向輸出機の最大容量機で、発電機回転子を分解することなく、磁極を抜き出しできる構造である。また直結励磁機を分解することなく、推力軸受およびランナの分解組立ができるようになっている。軸受には、起動を平滑に行なうため、圧油装置を備えている。

ニッカジャック発電所納31,050 kVA 発電機は、96極75 rpmの低速機で、風胴外径14 mにも及ぶものである。

いずれも記録的な製品であり、各部に新しい構造が採用されている。

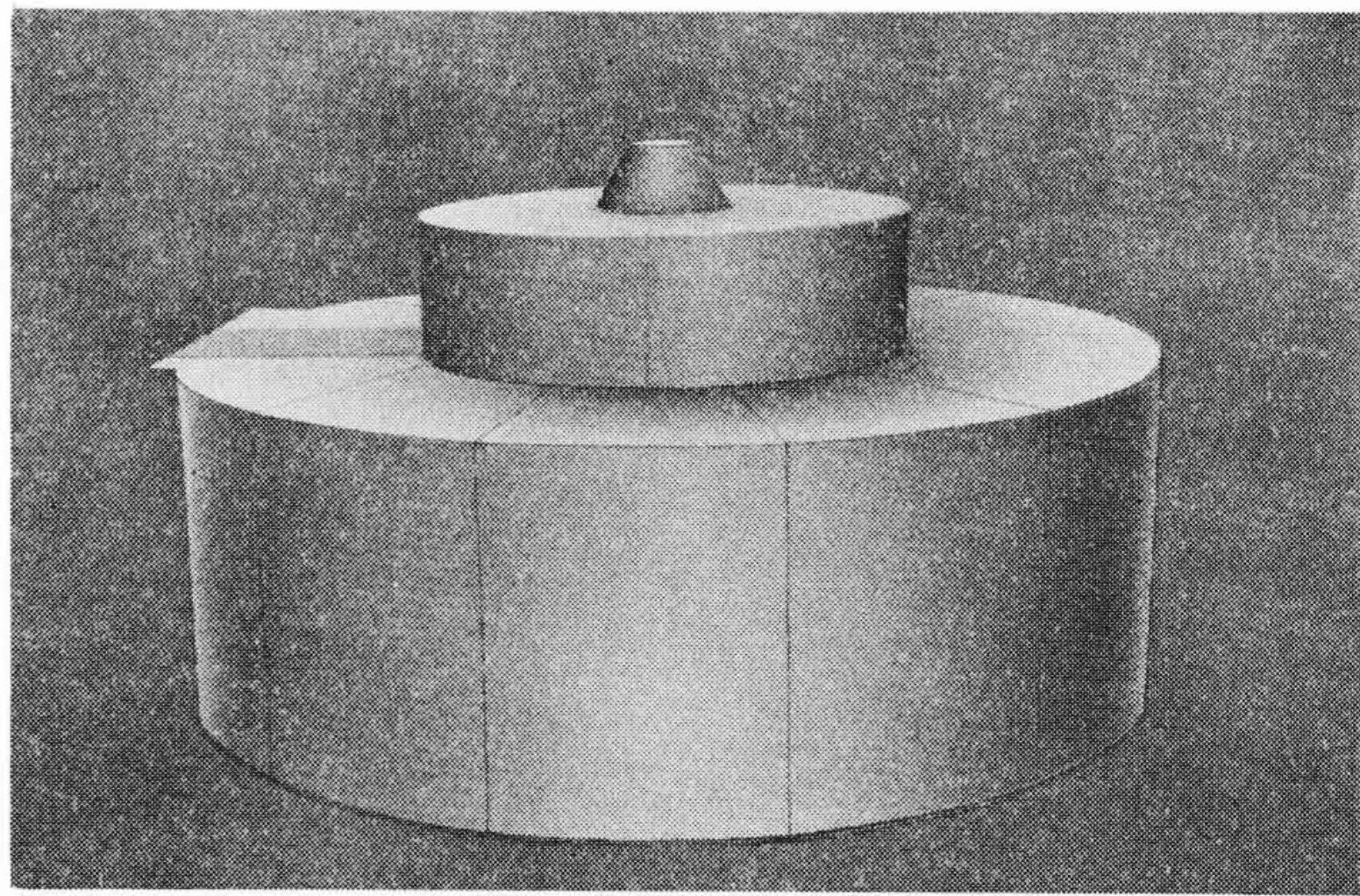


図1 西パキスタン・マンガラ発電所納143,750kVA水車発電機

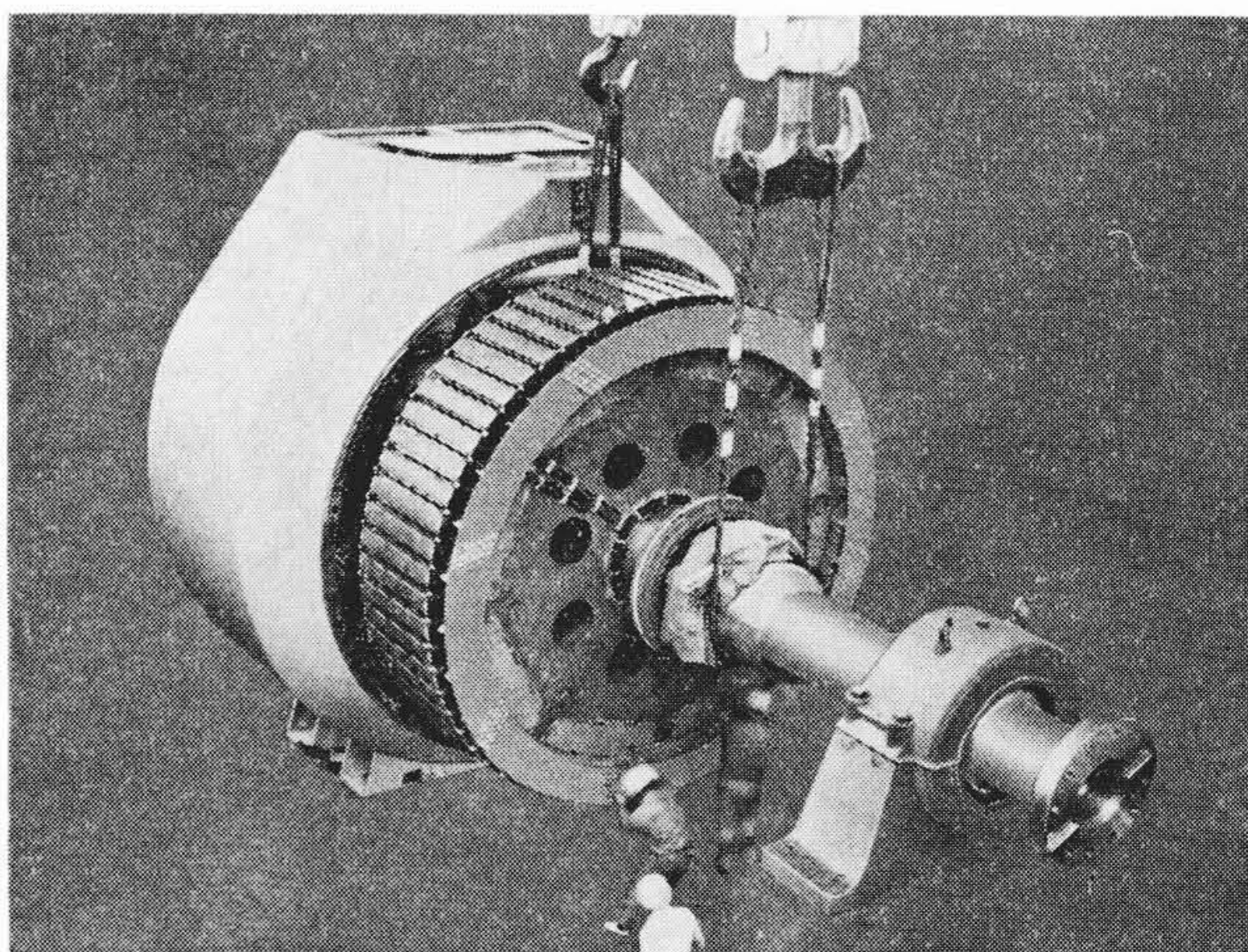


図2 インド・コシ発電所納6,200 kVA 筒形発電機

■ 世界最大の制動巻線起動発電電動機の完成

ポンプ水車の需要の増大に伴い、単機容量は増大し、わが国でも単機200 MWの出現は近い将来と思われる。このような大容量機にあっては、制動巻線起動では電源系統に与えるじょう乱が大きなことおよび制動巻線が過酷な使用条件となるため、同期起動あるいは直結電動機起動が採用される場合が多い。しかし、これらの場合には、発電専用機あるいは誘導電動機が駆動機として必要であり、機器の制約または建設費がかさむことから、普通には制動巻線起動が最も多く用いられてきている。

日立製作所は、昭和34年に、四国電力株式会社大森川発電所に、14,000 kVA/15,000 kW 400 rpm 発電電動機を納入以来、常に業界の先頭になって、年々、国内の記録を更新し、39年に電源開発株式会社池原発電所1期78,000 kVA/80,500 kW 180 rpm 発電電動機を完成し、さらに昭和40年には、東京電力株式会社矢木沢発電所85,000 kVA/85,000 kW 150 rpm、電源開発株式会社池原発電所Ⅱ期110,000 kVA/110,000 kW 150 rpm 発電電動機を次々と工場完成した。いずれも制動巻線起動機としては記録的製品である。

これらの設計に当っては、制動巻線構造および材質選定に特に考慮をはらうとともに、起動特性の解析にも電子計算機を用いて、精密計算を可能ならしめた。

これらの完成機を合わせると、可逆運転揚水発電所納入の発電電動機は12台766,500 kVA/767,000 kWにも及んでいる。

現在製作中のものには、電源開発株式会社長野発電所120,000 kVA

/120,000 kW 150 rpm、中国電力株式会社新成羽川発電所79,000 kVA/73,000 kW 144 rpm、中部電力株式会社高根発電所100,000 kVA/97,700 kW 300 rpm 発電電動機がある。

このように、単機容量の増大に加えて、高速大容量ポンプ水車が実現してきており、これに見合った発電電動機の研究が進められ、新たな分野が開発されつつある。

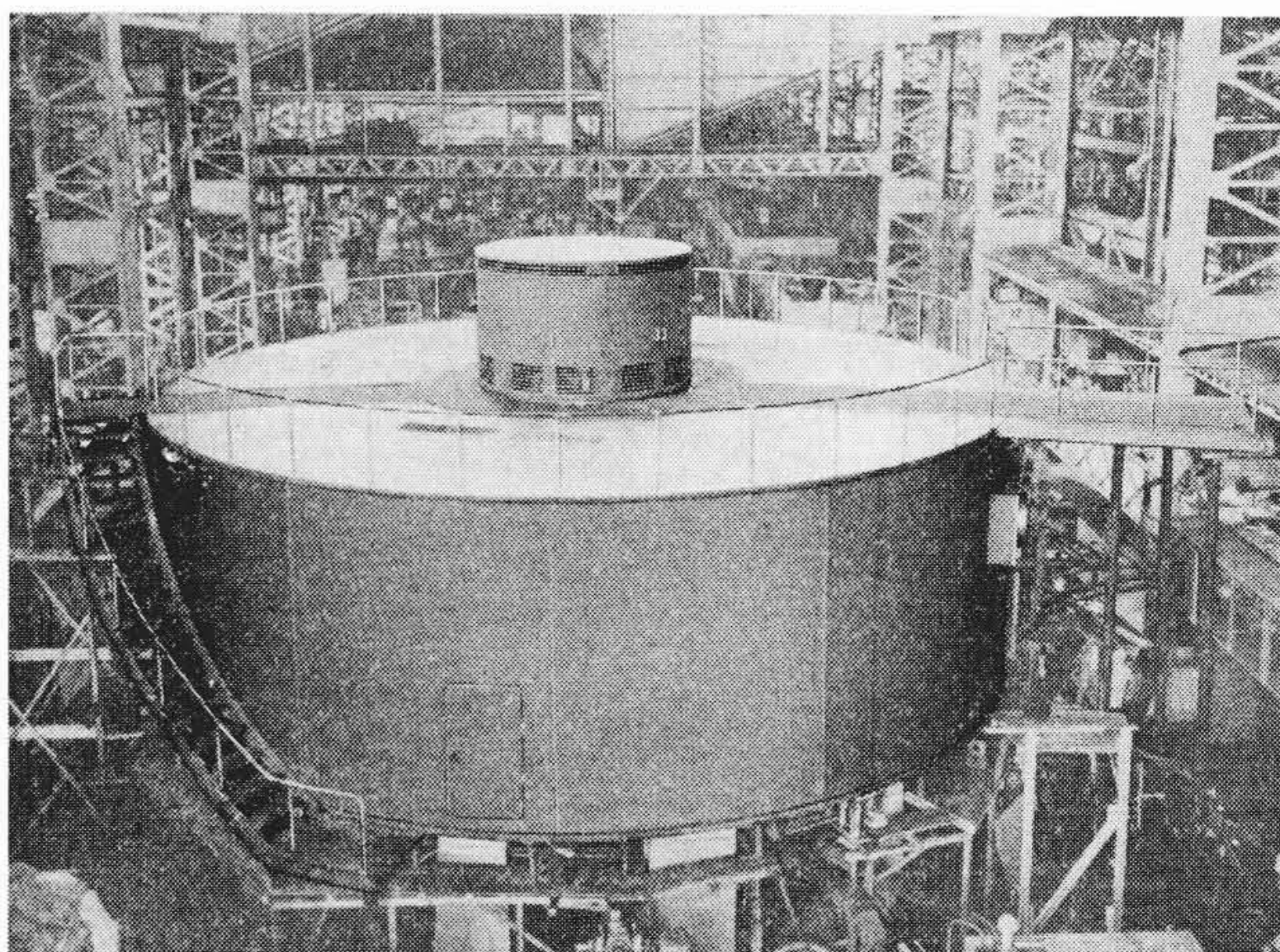


図1 東京電力株式会社矢木沢発電所納85,000 kVA/85,000 kW 発電電動機

■ 発電機構造および絶縁材料の進歩

揚水発電用発電電動機の単機容量の増大は、機械が大きくなるためのむずかしさのほかに、電動機として起動する場合考慮すべき点が多い。制動巻線で自己起動を行なう発電電動機では、制動巻線の機械的、熱的、電氣的考察が必要で、絶えざる研究の成果として記録の大容量機が出現するものである。

絶縁材料としてエポキシ樹脂の採用は、すでに標準化され、ワン

ターンコイルには、全面的に採用されている。

大容量高速機では、ヨークセグメントに特殊形を用い、積層効率を高めた構造を採用している。

低速かさ形機では、軸受の点検が容易なように、平行ビーム構造を採用したものもある。

このほか、細部に種々の改良が加えられ、多年の技術の蓄積から新たな技術が開発されてきている。

■ 最近の揚水発電所制御方式の傾向

最近の揚水発電所はますます大容量化する傾向にあるが、容量増大に伴う起動方式、新機種の開発に伴う特殊制御装置、運転制御方式の合理化などあらゆる面から検討されている。

(1) ポンプ起動方式

これまでは大部分が減電圧起動方式であったが、単機容量が増大するに伴い、起動時系統および主機に与える影響が問題となり、最近では低周波同期起動方式、直結電動機起動方式が検討、採用されつつある。

低周波同期起動方式では系統に与えるじょう乱はまったくないが近くに起動用発電機があることが必要である。起動用発電機と電動機とが安定に同期しながら加速するために発電機駆動用水車の案内羽根開度の整定、および十分な同期トルクを有し、円滑に低速度より同期化起動をするために発電機と電動機の励磁相互関係を最適とする必要がある。また主回路機器の切換え、起動時の同期化、および制御保護装置には十分な考慮が必要である。

直結電動機起動方式では起動用電動機が必要で、これを主機と直結し所内電源によって起動して、起動抗抗器を制御して主機の円滑な起動を行なうものである。起動kVAを小さくすることができるので系統、主機に与える影響は少ない。なお起動抗抗器は十分な微調整ができること、温度影響、経年変化などについて十分な検討を必要とする。また起動電動機の計測、制御および保護装置が必要となる。

(2) 特殊制御装置

斜流ポンプ水車は可動翼ランナであるからランナ羽根を全閉しておけば、起動時の反抗トルクが小さく水面押下げを行なわなくとも起動可能である。また発電運転時のみならず揚水運転時でも

案内羽根、開度、ランナ羽根角度を制御することによって広範囲にわたり高効率で流量を制御することができる。揚水発電所では上下貯水池の水位変動が大きいので、ポンプ水車の効率を高めるためと、発電時における円滑な起動、または出力制限を行なうため水位差応動案内羽根開度調整装置を設けている。これには機械と電気装置のたぐみな組合せが必要でこれによって、従来より小勢力高感度で簡易確実な方式が考慮されている。

(3) そ の 他

揚水発電所は揚水一発電と2種の運転を行なうため設備機器がある程度複雑化することは避けられないが、機動性を発揮させるために補機類はむしろ主機の制御も極力自動化している。また地形の関係で主配電盤室と主機室とが離れている場合には直接式遠方制御方式を盛り込み制御ケーブルを減少させるとか、主機の動作状態を照光表示板によって表示して、保守運転を容易としている。さらに高性能のHTD形自動電圧調整装置、電気式調速機、データ処理装置、デジタル水位計など最新の計測、制御装置が採用され合理的な経済運用が検討され実施されつつある。

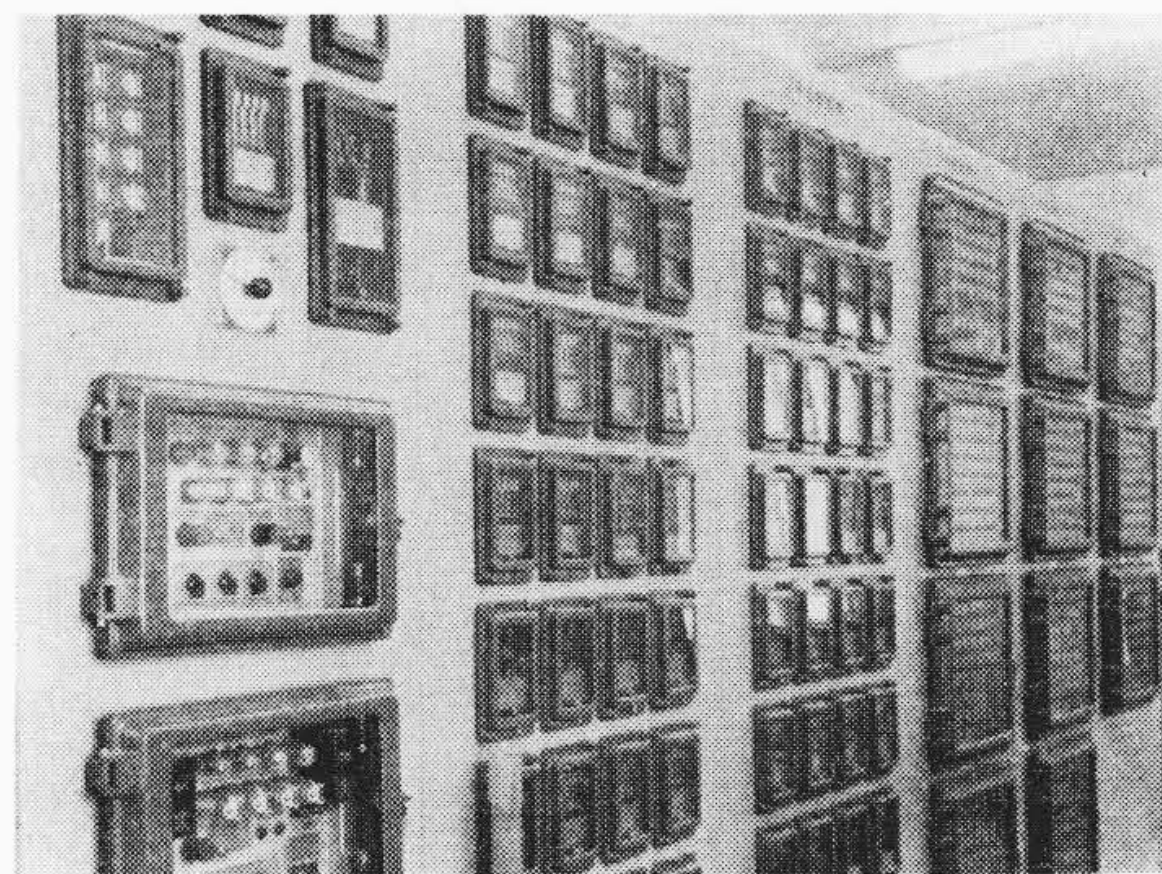


図1 神奈川県城山発電所主配電盤

■ 躍進するUPボイラ

UPボイラはわが国においてもすでに5缶据え付けられ、急速起動停止の容易さ、負荷追従の敏速性とあらゆる面でその優秀性を遺憾なく発揮しているが、さらに東京電力株式会社姉崎発電所納1号600MW用超臨界圧UPボイラ（ボイラ本体はアメリカB&Wより輸入）と五井発電所納6号350MW用UPボイラとが現在日立製作所において製作中である。超臨界圧UPボイラの受注は亜臨界圧UPボイラのすぐれた運転実績に負うところが大きく、日立製作所のみならず、わが国火力発電史上の特記事項である。

姉崎1号缶、五井6号缶ともに火炉水壁構造は中部電力株式会社武豊発電所納220MWUPボイラと同じく最新のワンスアップ方式で、途中に混合管寄を設置しているが、従来後壁に設けてあったいわゆるノーズのない新しい設計である。ノーズを取り去ることによ

り設計、製作、据付が簡略化できる。バーナは対向配列で最近開発されたセルバーナである。セルバーナとは2ないし3本のバーナを上下方向にまとめて1ユニット(1セル)としたもので、1ユニットとしては火焰幅を狭くし、単位容量の大きいバーナを限られた炉幅に有効に配列しようとするものである。

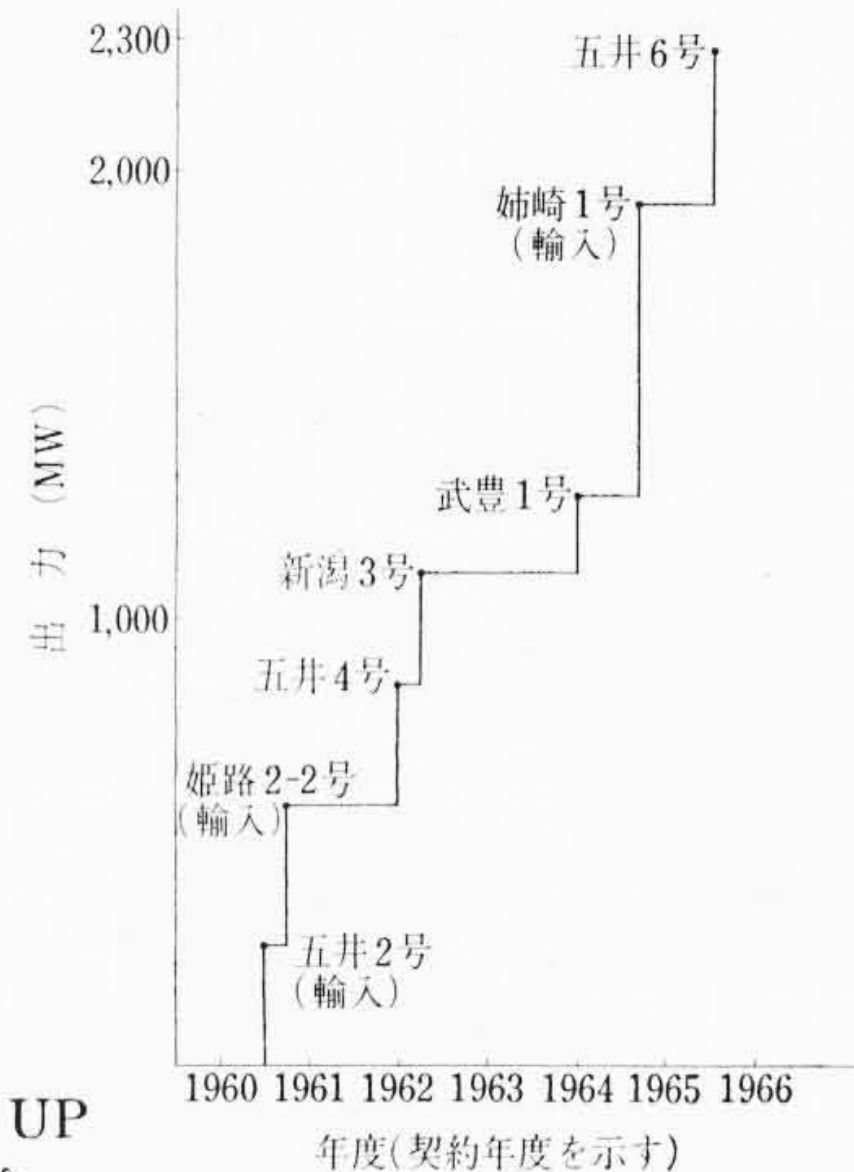


図1 国内におけるUPボイラ出力増加割合

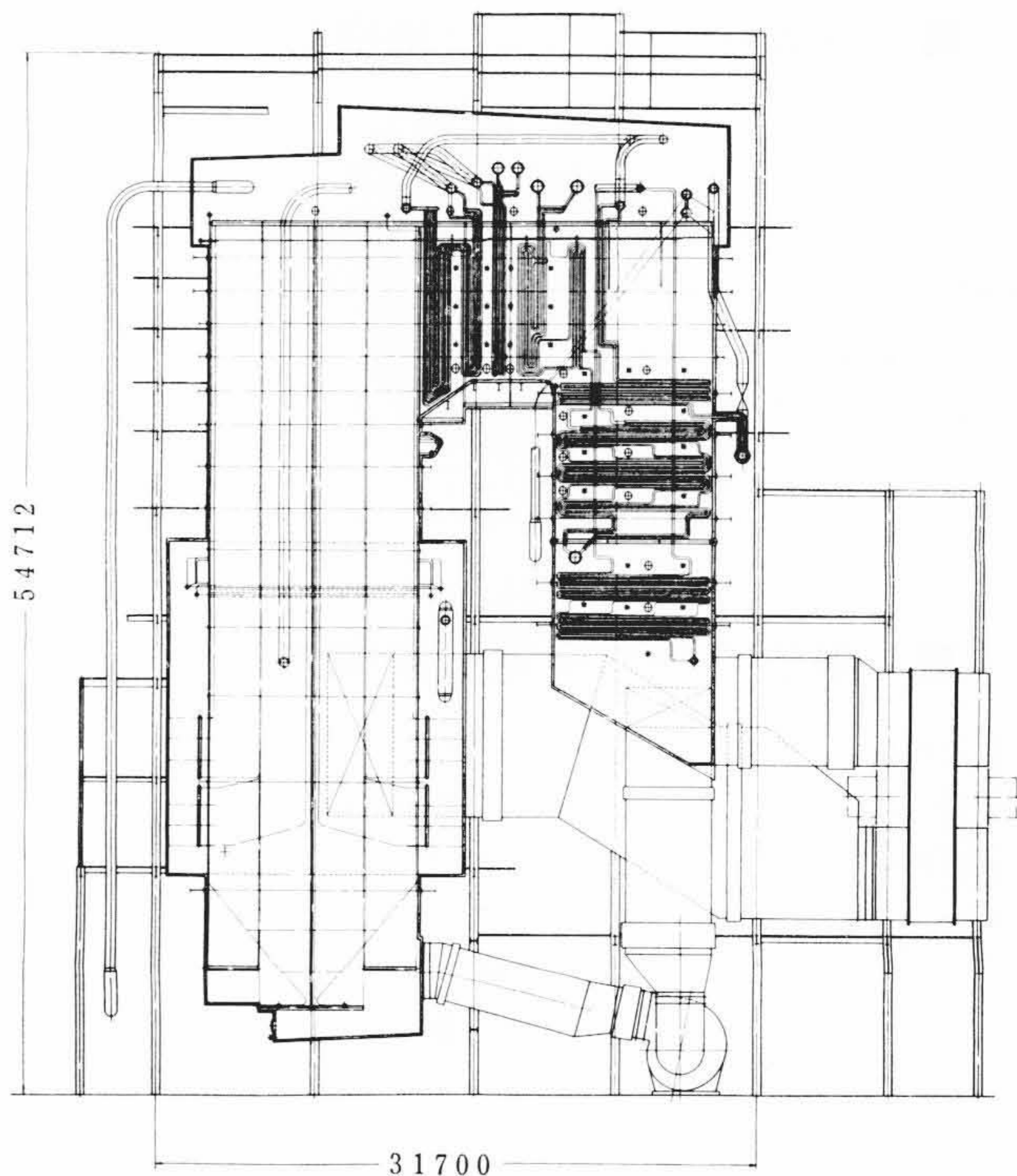
過熱器、再熱器の配列は火炉出口より二次過熱器(懸吊形)、再熱器(懸吊形)、一次過熱器(水平形)、再熱器(水平形)の順に直列に並べ、特に再熱器の一部を一次過熱器のうしろに持ってくることでより低負荷時ガス再循環による再熱蒸気温度調整を効果あらしめている。

一次過熱器のような水平管群は従来ラグを介してケーシング壁で支持されていたが、今回はスリングチューブ(節炭器出口管)で支持しケーシング壁に過大な荷重のかからないように、また腐食のおそれのあるラグを少なくするよう考慮してある。

UP ボイラでは最低安定負荷を設計上、超臨界圧に対しては最大蒸発量の1/4、亜臨界圧に対しては1/3としているが、最近の電力の需要は夜間いちじるしく減少するので、五井6号缶では起動バイパス装置を使って最大蒸発量の1/4に見合うタービン負荷をとれるよう計画している。

以上述べたように最近のUP ボイラには細かい配慮が加えられているので、運転の暁にはこれまで以上にすぐれた結果が得られるものと確信する。

図2 東京電力株式会社姉崎発電所納 → 600 MW 用超臨界圧 UP ボイラ



■ 自然循環ボイラの大形化

貫流ボイラの発達によって亜臨界域における貫流ボイラの採用が多くなりつつあるが、一方自然循環ボイラも多年にわたる安定した運転実績によりますます大形化しつつある。最近受注した電源開発株式会社竹原発電所納1号ボイラおよび関西電力株式会社堺港発電所納5号ボイラはともに250 MW 用自然循環ボイラであり、過熱器、再熱器、節炭器などの伝熱面配置は従来の175 MW 級用ボイラと類似しているが、細部構造についてはアメリカB&Wの標準設計に基づいている。今後ますます大形化する傾向に対し、500 MW 級自然循環ボイラ的设计製作にも即応し得る態勢をとっている。

竹原1号缶、堺港5号缶が従来のものと違っている点は熱吸収の均一化をはかるために対向バーナ配列を採用していることと、飽和蒸気壁の構成の仕方で後者を詳述すると、ドラムを出た飽和蒸気管はまず火炉天井を構成し、しかるのち一次過熱器と再熱器入口部のエンクロージャいわゆるケーシング壁と、一次過熱器のスリングチューブを一度に下降し一次過熱器に至る方法で、これに伴い再熱器出口部側壁は水壁管の一部で形成し、このために空けきのできた部分の側壁は前寄りの水壁管を曲げ、かつ二つに分岐して補充する構造としている点である。

竹原1号缶は微粉炭専焼平衡通風方式、堺港5号缶は重油専焼(将来微粉炭)押込通風方式のために同じ250 MW 用で構造上若干の相異点はあるが、ともに最適な設計がなされている。すなわち前者では灰の熔融点の低い炭でもトラブルなく運転できるように火炉出口

でガステレパリングを行なうことにより火炉出口ガス温度を低くしたもち、また火炉に分割壁をそう入することにより火炉高さを押えらるとともに火炉出口ガス温度の均一化をはかり過熱器のよごれと焼損を防止した。後者では大容量自然循環ボイラとしてははじめて水壁に外径63.5 mm、ピッチ76.2 mmのメンブレンウォールを採用することにより構造を簡潔にすると同時に、完全な気密構造にすることができるので、低 O_2 運転と相まってすぐれた性能を発揮することを確信する。

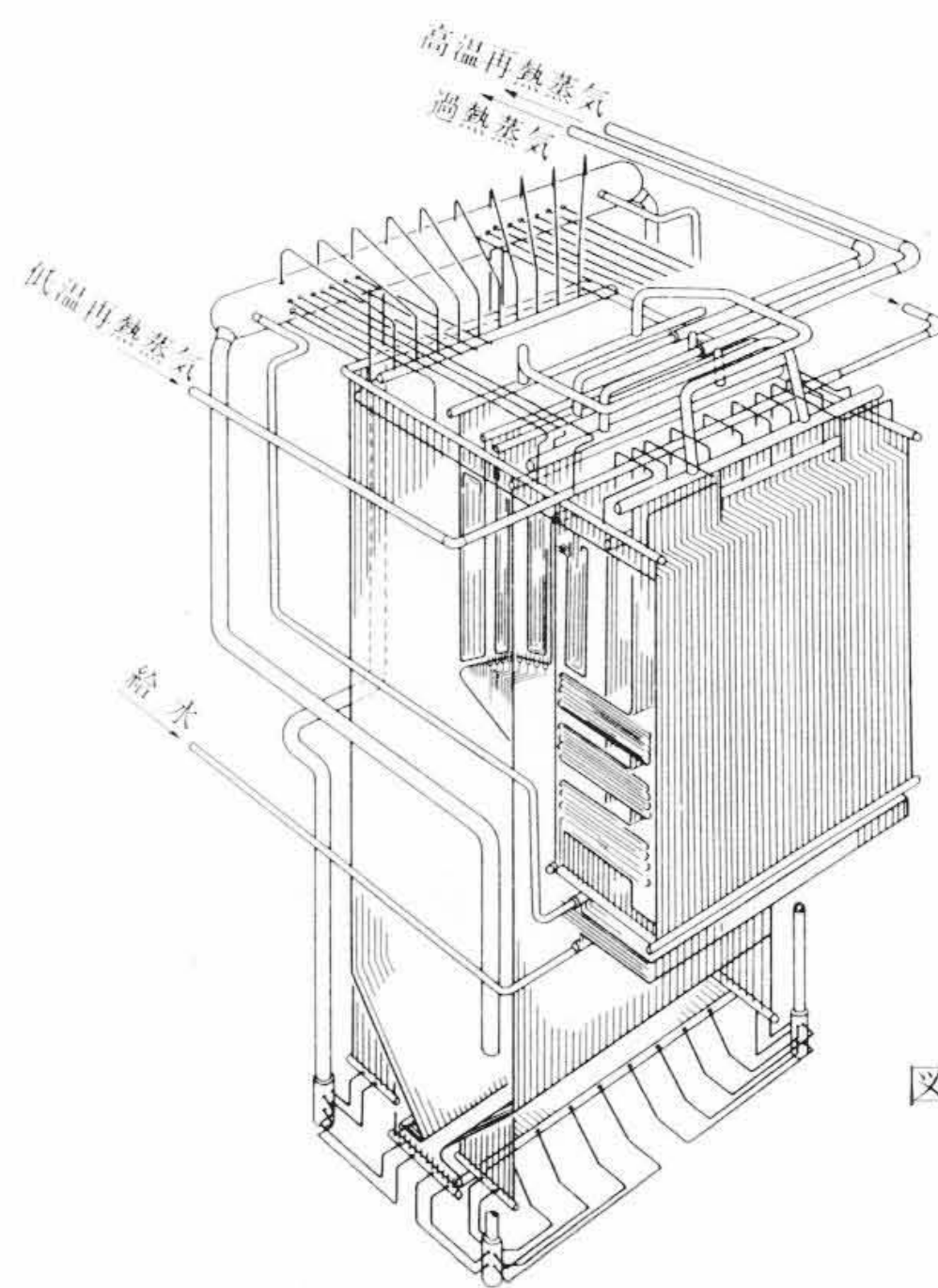


図1 大形自然循環ボイラ

■ 重油専焼ボイラの低過剰空気燃焼

建設費、運転経費、燃料費などを考慮した経済的な火力発電所の建設にあたり、ボイラはますます重油専焼のものが多く計画されるすう勢にある。この主燃料の重油はわが国では中近東産のものが多

く、イオウ分は2.5~3.5%程度でかなり高い値であるためこの影響による低温部金属の腐食および煙害の問題が近年非常に重要な問題となっている。この対策としては重油中よりイオウ分を除くいわゆる「脱硫」が行なわれれば問題はないが、実際はこの精製工程は非常にむずかしくまだ実用の段階にいたっていない。したがって現状

では燃焼により生成する SO_2 の SO_3 への転化を抑制することが低温部障害対策の要点となる。また発生した SO_3 を中性塩類に化合させるために NH_3 とかドロマイトのようなものをガス中に噴射させる方法もあるが、添加物による閉塞の問題とか経済的の面もあり完全な対策とはいえない。

最近欧米をはじめ、わが国でも非常に注目されてきたのは低過剰空気による運転であって、この方式によって低温部腐食とかスノーヒュームの問題が解決に向かっている。われわれも新清水火力発電所、尼崎第三火力発電所、水島火力発電所などのボイラにおけるこれらの現地テストを通じて、大いに効果のあることを確認した。

(1) 低温腐食と低過剰空気燃焼の関係

テスト結果によれば、燃焼ガス中の $\text{O}_2\%$ と SO_2 の酸化率はほぼ比例した関係にあり、 O_2 の減少により露点は急激に低下する傾向にある。このため低過剰空気燃焼は低温部の硫酸腐食に効果があるばかりでなく、再生式空気予熱器の水洗のひん度も減少し間隔も大幅にのばすことができるようになった。図1はアメリカバブコック社におけるテストデータであり、これよりみてもいかに低過剰空気運転が有意義であるかがわかる。すなわちイオウ分4%の重油でも1.5%の低過剰空気運転させた場合には、0.4%のイオウ分の重油を10%の過剰空気運転したときとほぼ腐食率は同じとなり、低温部障害はほとんどない。

(2) 設計上の問題

$\text{O}_2=2\sim3\%$ で設計された既設ボイラで $\text{O}_2=0.4\sim0.5\%$ の運転は一般に困難で、われわれの経験では0.8~1.0% くらいが運転技術の変更、バーナチップの取換え、場合によってはレジスタの改良など比較的簡単な改善で可能であるが、さらに低 O_2 燃焼を目ざすときは、ボイラ計画時につぎに列挙するような問題を考えねばならない。すなわち燃焼関係としては、バーナ形式、インペラ形状、スロート形状、レジスタ構造、ウインドボックス構造、油配管などの問題や、ほかに制御関係、通風方式などの問題がある。すなわちその要領はいかにして各バーナごとに適当均一な燃料と空気を供給して十分これらを混合して完全燃焼させるかというところに帰着する。

(i) バーナ形式

大容量ボイラ用重油バーナとしては一般にリタンフローバーナとYジェットバーナが用いられるが、低過剰空気燃焼用としてはYジェットのほうがよい。これは噴射粒径や噴射孔数からみても空気との接触がよい構造になっている(表1参照)。ただ、従来のYジェットの場合は噴霧用の蒸気または空気の使用量が若干多かった。すなわち従来のバーナチップは三つの部分

よりなり各部分の精度および組立技術いかににより、容量の不均一、蒸気の漏えいなどを生ずることがあった。そこでこれらを改善したレーサ形の新しい形のチップが開発され、噴射媒体も従来の半分以下になるよう計画中である。

(ii) インペラおよびエアレジスタ構造

インペラの形状、エアレジスタの構造はこれらを通じて流れる空気による火災の着火、長さまた重油との噴霧混合に大きな影響を与える。レジスタも従来の単なる羽根形のものより、さらに改善されたスリーブ方式のものを計画中で、空気の各バーナの均等なる配分、また休止バーナよりのエアリーク防止にも大いに効果がある。

(iii) 制 御 関 係

低過剰空気運転では各バーナに対して決められた燃料、空気比率を保つ必要があり、負荷変動の際も燃料と空気量の比率をよく保ち黒煙を発生しないようにするため Lead-Lag Controller を設けることが望ましい。

(iv) 通風方式その他

通風方式としては燃焼にあずからない空気の漏れ込みをなくするため、強圧通風方式が最適である。

また酸素分析計などの測定計器も操作簡単で精度のよいものが望まれる。

表1 バーナの特長比較

	リタンフローバーナ	Y ジェットバーナ
噴霧方式	油 圧 式	蒸気式または空気式
供給油圧	42 kg/cm ² G または 70 kg/cm ² G	13 kg/cm ² G
油 粒 径	100~300 μ	50~100 μ
噴 射 角	65~70°	70~110° (噴射孔の位置で変えられる)
油噴射孔数	1 個	5~15 個

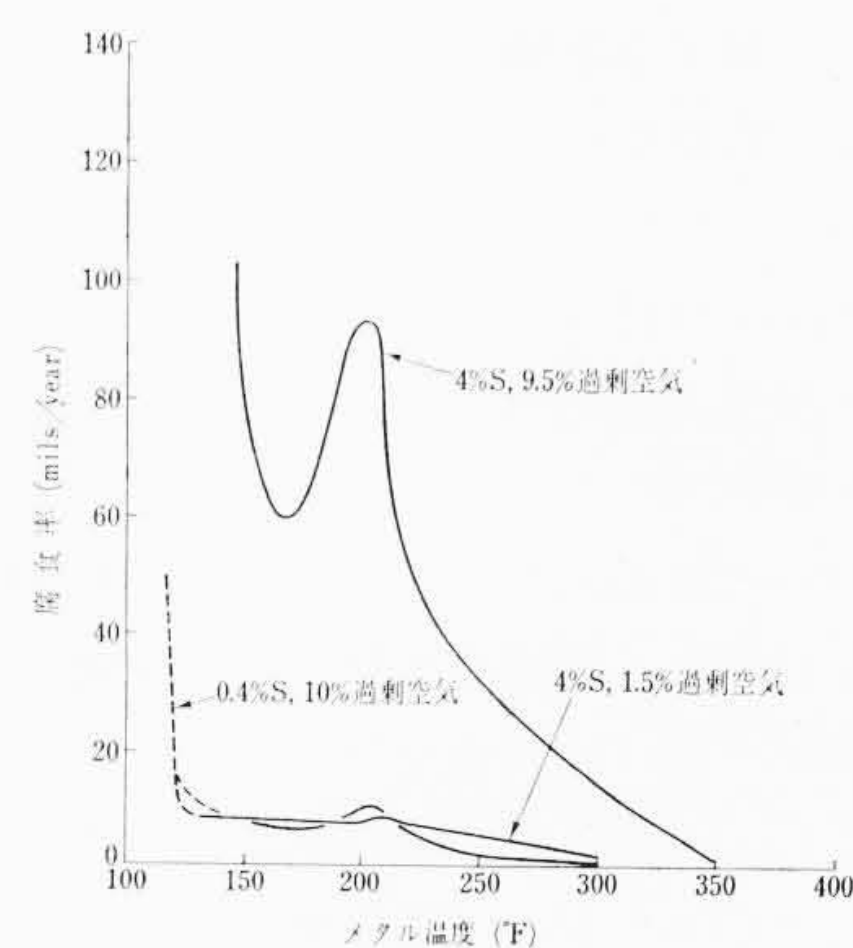


図1 過剰空気率とイオウの炭素鋼の腐食におよぼす影響

■ ボイラ火炉の熱吸収分布

ボイラの基本計画に際しては、火炉壁における熱吸収分布を明らかにしておくことが、必要不可欠である。従来から、この問題については、多数の理論的解明が試みられてきたが、実際のボイラ火炉においては、燃焼およびふく射伝熱の機構が複雑なために、いずれも現象を完全には握することはできず、結局は、実缶による試験データと組み合わせて、係数を定めなければならない。一方、試験の結果も、種々報告されているが、火炉の構造、寸法、運転条件などが変化しているので、最近の大形ボイラに適用するには無理を生じ、実缶試験を行なうことが必要になってくる。

175,000 kW 級ボイラの一例として、東北電力仙台火力1号缶をとりあげ、火炉水壁の、とくに熱吸収の多いバーナゾーンを中心と

して、熱吸収量の分布を求めた。水壁管壁温度と管内流体温度の差は、主として熱吸収量、管寸法および材質によって定まることを利用し、管壁温度とドラム内圧力の実測値から、その点における熱吸収量を算定した。管壁温度は、管頂部にクロメル、アルメル熱電対を“かしめ”によって装着して測定した。同一構造の火炉においても、運転条件に変化があれば、熱吸収の分布形は、かなり大幅に変化する。そこで、蒸発量、使用燃料の種類、バーナ配置およびドラム内圧力を種々に変化して測定した。その結果判明したおもな点

(1) 左右壁での熱吸収のアンバランスは少ない。

(2) 分布形は負荷によって変化する。高負荷時のほうが、前後左右各壁での熱吸収のアンバランスは少ない。

(3) 火炉における総熱吸収量は、重油専焼のとき大きく、微粉

炭専焼、重油と微粉炭の混焼のときは小さい。

(4) 高さ方向では、バーナゾーンにおける熱吸収が大きい。この傾向は重油専焼のときに著しい。微粉炭専焼または重油と微粉炭の混焼のときは比較的均一な分布になる。

(5) 低負荷時には、バーナ使用本数が少ないため、炉幅方向のどの位置にあるバーナを使用するかを選択することができるが、使用バーナ配置が管壁温度に及ぼす影響は小さい。

図1は発電機出力175 MW、重油専焼時のバーナゾーンの熱吸収分布を示す一例で、右上の略図の斜線部分を展開し、高さ方向に単位投影面積あたりの熱吸収量をとって、立体的に表わしてある。この部分では熱吸収は $1 \sim 2 \times 10^5$ kcal/m²h程度であり、水壁全体での平均値に対しては約2.3倍に達するものもある。しかし、この程度の熱吸収では、管壁温度の極端な上昇は起こらない。

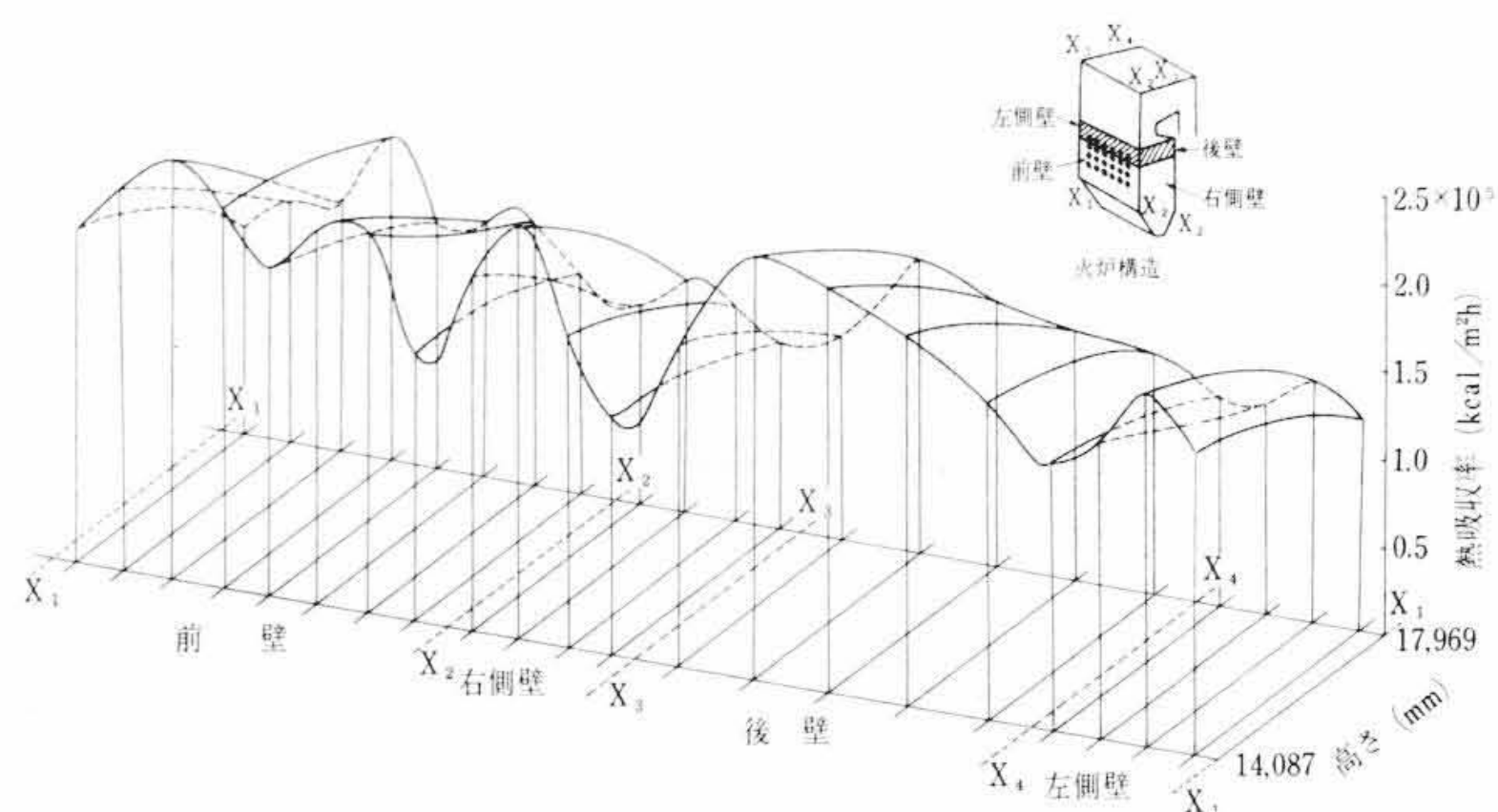


図1 バーナゾーンにおける熱吸収分布

■ 産業用ボイラ

(1) 無煙炭のバーチカル燃焼

揮発分の少ない無煙炭をボイラで問題なく燃焼するためには、従来の微粉炭ボイラと異なった設計上の考慮を要する。すなわち (i) 大炉内でのフレームのトラベルをできるだけ長くして燃焼時間を長くする、(ii) 火炉の温度をできるだけ高く保つ、(iii) 燃焼空気をフレームのパスに沿って徐々に与える、(iv) 微粉のメッシュを細かくする、(v) 燃焼空気をできるだけ高くする、などである。韓国電力三陟火力発電所向 150 t/h 無煙炭専焼ボイラは、上記の条件を考慮のうえ設計されたもので昭和39年初頭より運転を開始40年初めには第1回の定期検査を終っている。運転の結果は予想以上に好調で、韓国電力関係者の非常な満足を得ており、韓国におけるパブコック日立株式会社に対する評価も大いに高まったものと思われる。このボイラの特長は火炉をいわゆるトックリ形のウイングファーンネス (Wing Furnace) としたことでその両肩に当たる所に設けられたバーナより垂直方向に燃焼させるものである。フレームはいったん火炉底近くまで下がり、再び上昇していくので、ちょうどW字形のフレーム形状となり火炉内にたまっている時間を長くすることができる。フレームのパスに沿った火炉は裸管にP.C.O. (プラスチック・クロム・オア) を打ち込んだ構造で熱吸収を制限しているので、フレームの温度は下がらない。燃焼空気はバーナにおける一次および二次空気を少なくし、大部分は火炉の前後壁にあけた多数の空気孔より三次空気として与えられる。微粉装置はチューブミルを主体とした半貯蔵式 (Semi-Bin System) を採用した。貯炭場からの石炭はミルに入る前にフラッシュドライヤに入り、ここで乾燥、分離され、ミルにかかる負担を低減する。バーナよりの微粉の粒度は200メッシュ通過85%を目標としたが、運転実績からは90%を越している。図1はボイラの断面図を示したものである。

(2) スチームベンチュリエバポレータ (V/E) 付トムリンソン回収ボイラ

製紙工場の回収ボイラなどより飛散するSO₂、H₂S、その他の有害物質は近年公害問題として重大な問題となっている。パブコック日立のスチームV/Eはそれ自体は回収ボイラでの薬品回収と黒液の濃縮作用を兼ねたものであるが、薬品回収の際、煙道ガス中のSO₂、H₂Sの100%を取り除くので、公害問題解決のうえでも脚光を浴びてきている。すなわちV/Eでは回収ボイラからのダストを含んだガスはベンチュリのスロート部で加速され、そこにガス流に直角方

向に黒液を吹き込んでダストを黒液中に捕集させ、ベンチュリ出口のサイクロン分離器で清浄ガスに分離する方式になっている。ダストの捕集効率に黒液の濃度、スプレーの粒度、ベンチュリでのガスの圧力降下によって定まるが、今回開発されたスチームV/Eは、濃黒液を蒸気噴霧によっていっそう細分化してスプレーし、さらにメークアップの淡い濃度の黒液をも、ここにスプレーするようにしたもので、同じ回収効率をうるのにガスの圧力降下を小さくできる。逆にいえば同じ圧力降下を許すとすれば回収効率が增大する。

(3) CBボイラ

前年紹介したCB形パッケージボイラは斬新な構造と画期的な二重循環式、サイクロン燃焼方式を特色とした、しかも重油認可を必要としないボイラである。すなわち、ビル暖房用には、49 m²、5 t/hまでのものが、また工場用には、新たに開発された99 m²、10 t/hのものが適しており、現在ビル暖房用その他に30数台の実績を有するに至っている。最近のパッケージボイラに対する高効率の要望に対し燃焼時間、温度、空気量を考慮した高速旋回によるサイクロン燃焼方式は、その効果を十二分に発揮するとともに工業試験所で行なった、効率試験においては91.6%という高値を示し、従来の小形ボイラの効率85~87%を大幅に上まわっている。さらにオリフィスによる火炉管エレメントのアンバランスフローの是正、循環ポンプ直結駆動の改善などによりますます好評を得ている。工場における量産体制も着々と確立し原価低減と短納期を可能にし需要にそなえている。図3は工場内仕込ボイラの組立状況を示したものである。

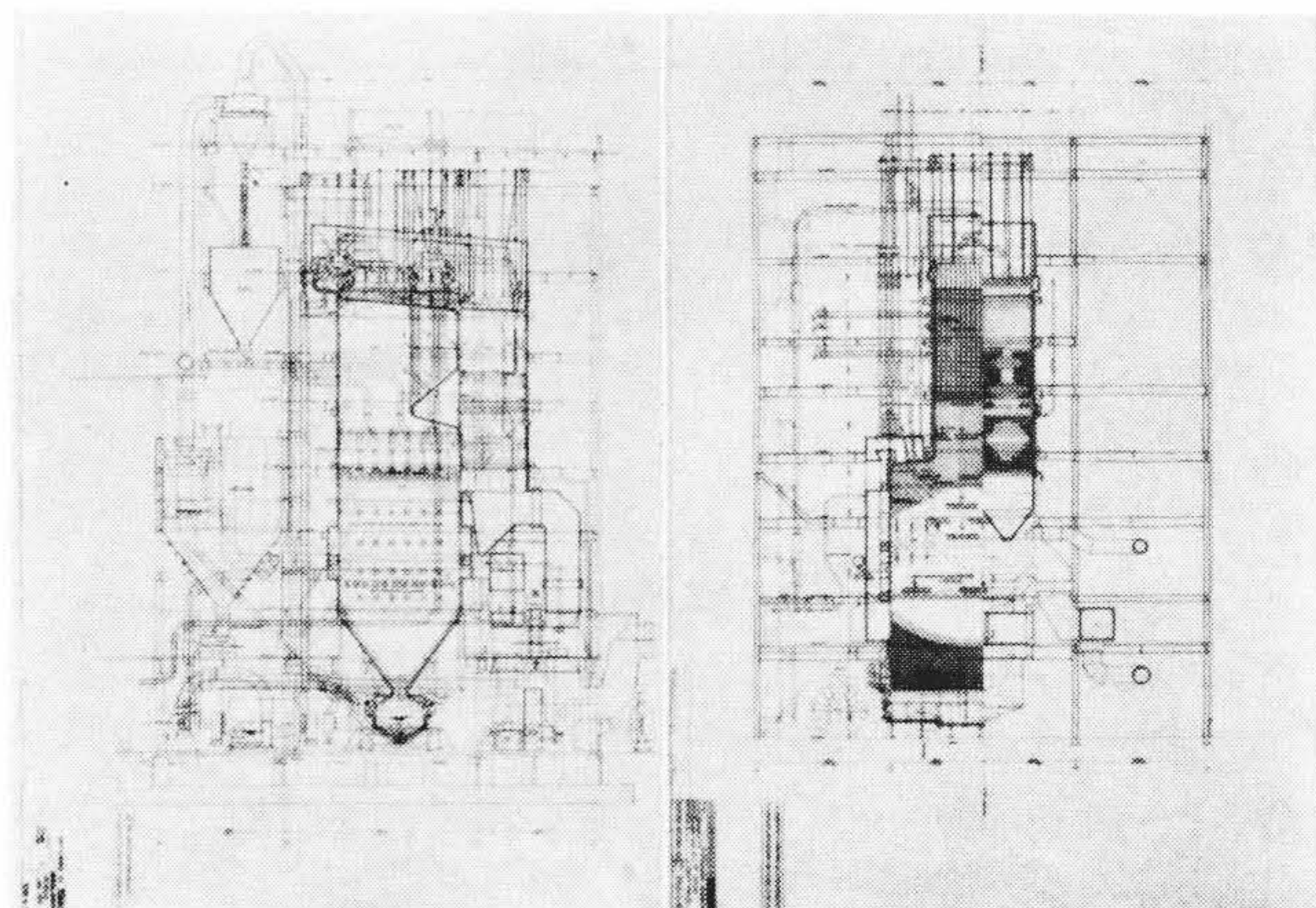


図1 ボイラ断面図

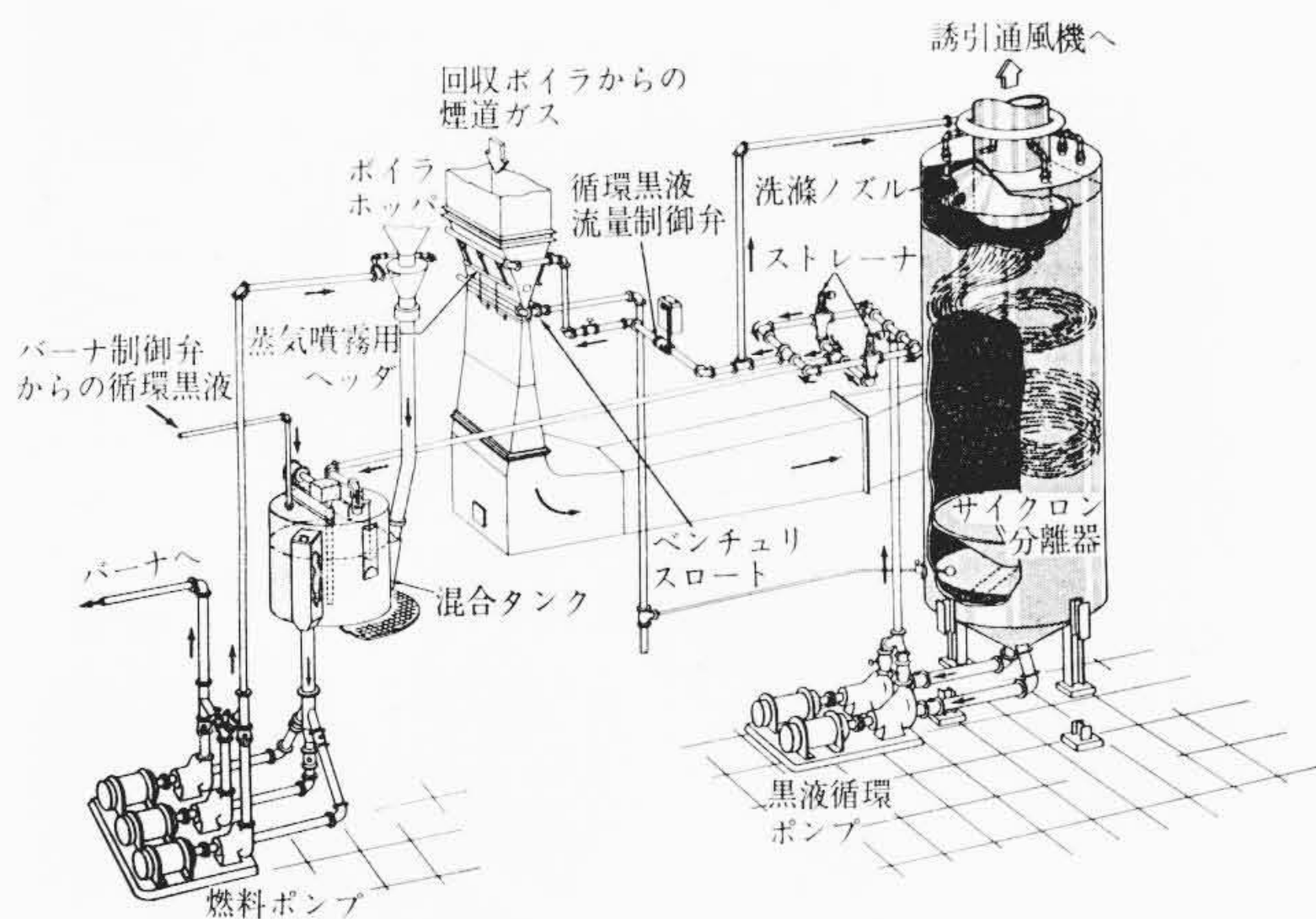


図2 スチームアトマイジングベンチュリエバポレータ

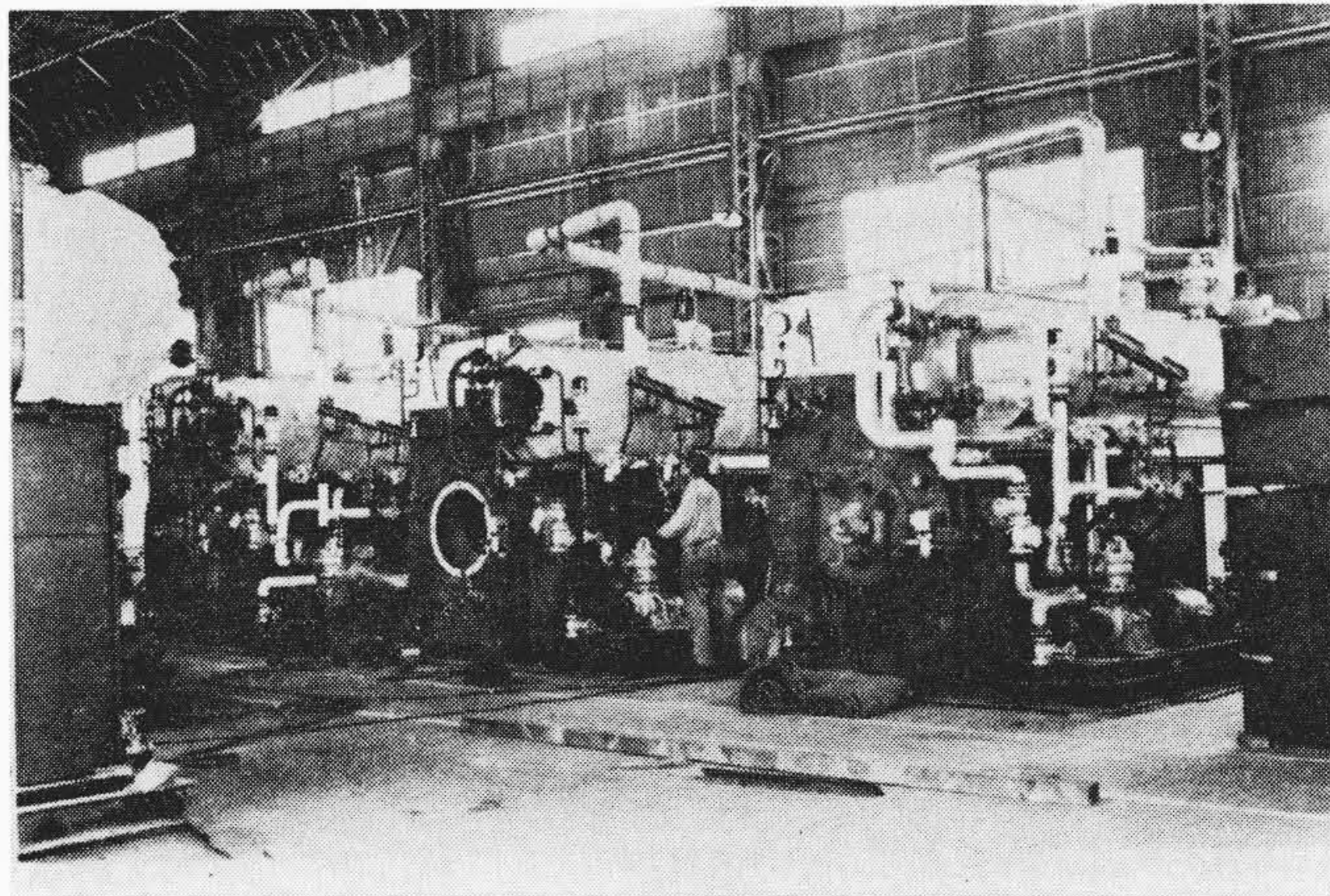


図3 工場内仕込ボイラの組立状況

■ 国産大容量タンデムコンパウンド形タービンの運転開始

わが国の大容量火力発電用機器は外国技術の導入により急速に進歩したが、一方その吸収した技術を基盤とし、国内の実状に沿った経済的な機器の、設計面をも含んだ国産化を実現するため、多年努力を傾注してきた。今回運転を開始した関西電力株式会社堺港火力発電所納1号機および東北電力株式会社新潟火力発電所納3号機はいずれもタンデム 250,000 kW タービンで、その第一歩を踏みだしたものである。前者は昭和39年12月官庁試験、昭和40年3月効率試験をそれぞれ優秀な成績で終了し、現在好調な運転を続けている。後者は昭和40年9月通気し、順調にその試運転を完了し、官庁試験を待つ状態となっている。図1は堺港火力1号機、図2は新潟火力3号機の現地据付写真である。

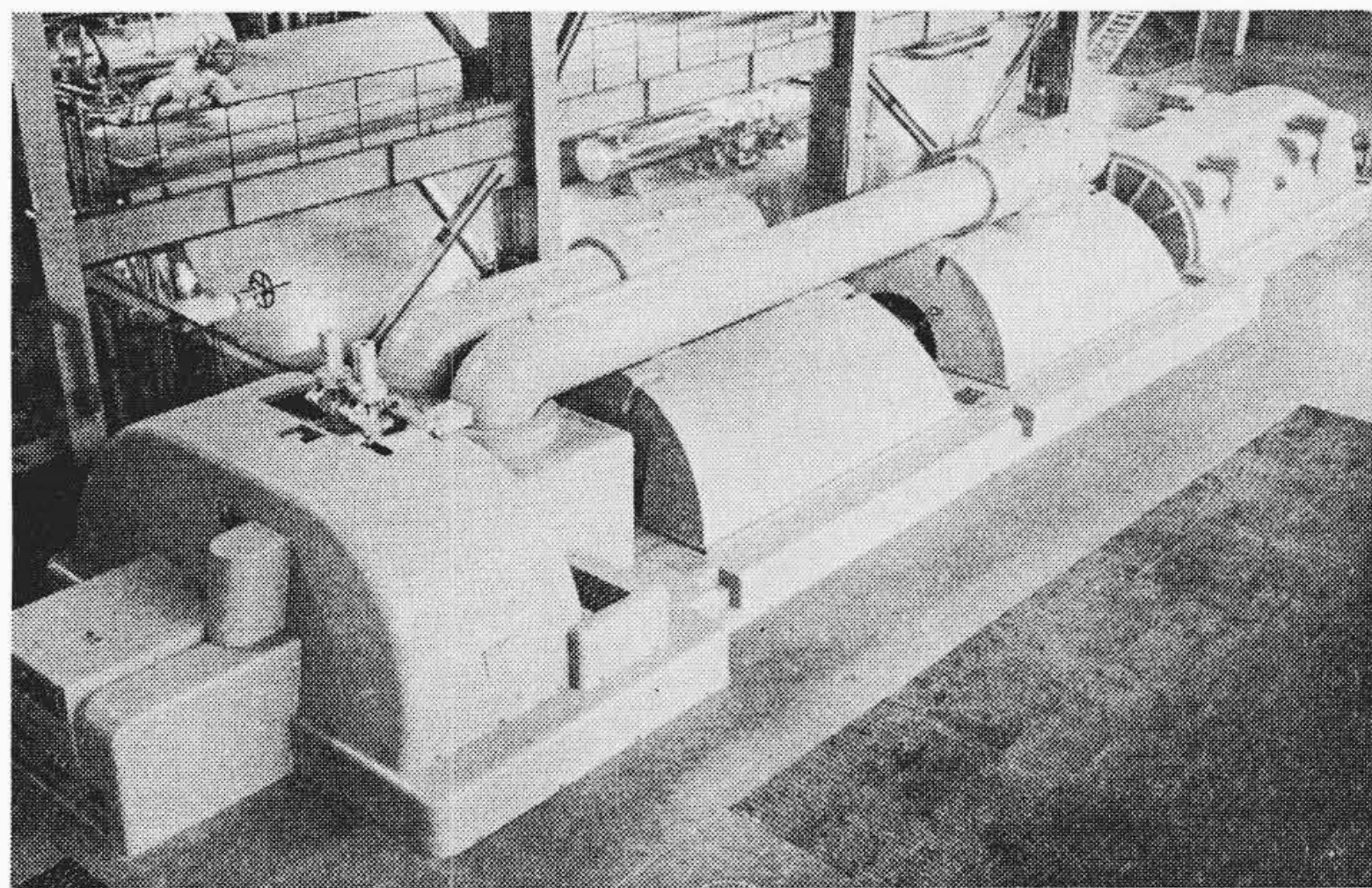


図1 関西電力株式会社堺港火力発電所納1号機 250,000 kW タービン

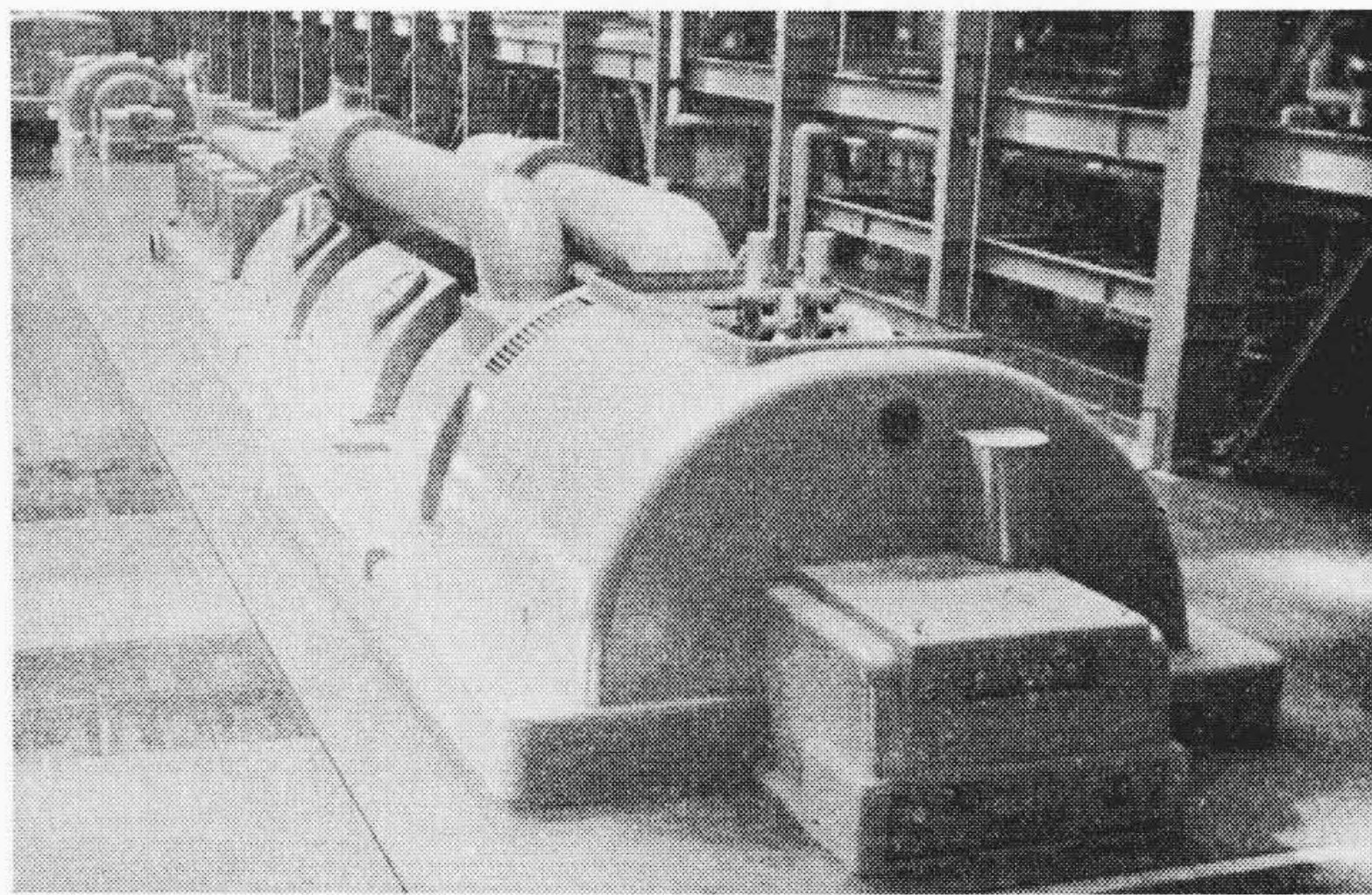


図2 東北電力株式会社新潟火力発電所納3号機 250,000 kW タービン

■ 大容量クロスコンパウンドタービンの実績

東京電力株式会社五井火力発電所2号機の265,000 kW タービンは、すでに昨年より好調に営業運転中であり、同形の4号機も現地据付完了し、近く営業運転にはいる予定である。

本タービンの特長は、初めてのクロスコンパウンド形で、主蒸気

これら国産タンデム機の技術的特色は、起動時のメタルマッチングの容易な全周噴射起動装置の使用、写像理論に基づいて設計された効率の良いSCHLICHT 翼の採用、低圧段落の3次元設計提携技術の消化適用のほかに、タンデム機設計に不可欠な最終段長翼の開発、特に国内の電力事情に即した低サイクル運転の可能な翼の振動設計、さらには国内の軟弱地盤により生ずるタービンアライメントの変化に柔軟に対応できる車軸およびアライメントの設計などの日立技術が随所に適用されている点にある。

これら2台の大容量タービンに引き続き、すでに工場試運転を完了し、現在鋭意据付中の TCDF-30 形 220,000 kW タービンは、国産設計製作技術の成果を着々と上げつつあり、来たるべき超臨界圧力発電所あるいは原子力発電所タービンの需要にも十分応じ得るものとして努力を積み重ねている。

条件は 169 atg 566°C であり、再熱蒸気温度には 566°C を採用し熱効率の向上を図っている。高圧タービンは単流形であるが、中圧タービンは復流形で翼ロータに生ずる応力を低くして、再熱温度に 566°C を採用したにもかかわらず強度的に十分安全なものとした。最終段に 23 インチ長翼を使用した低圧タービンは、高圧タービン、中圧タービンにそれぞれ一車室ずつ結合して、クロスコンパウンド形を形成している。クロスコンパウンド形は、タンデムコンパウン

ド形に比較して、一軸の長さが短く、軸受数も少ないため、タービンのアライメントが容易となり、伸び差が少ないため軸方向間げきを小さくすることができるので、効率を高くすることができる。五井火力2号機の運転結果は、振動は小さく、熱消費率も計画値を上回る良好な結果を得た。近く運転にはいる4号機も2号機同様の好成績を納めるものと期待されている。

今回新しく受注が決定し、鋭意製作中の五井火力発電所6号機用350,000 kW タービンは、形式蒸気条件は265,000 kW タービンと同じであるが、排気損失を少なくするために最終段に26インチ長翼を使用し、かつSHLICT翼の採用により熱効率の向上が図られている。また、第1,第2調整弁を同時開にして、低負荷時に初段翼に発生する応力を低減せしめ、かつ、負荷遮断時の調整弁の閉鎖動作を早めるために、第1,第2弁に加速度検出装置を設けるなどの大容量タービンとしての最新の設計が採用されている。本タービンは昭和42年末に営業運転にはいる予定である。

現在、日立製作所は超臨界圧600,000 kW クロスコンパウンド形タービンの設計計画を鋭意進めており、将来の高効率大容量機器の製作に今後いっそうの努力を傾注し、電力業界の要望にこたえたいと願っている。

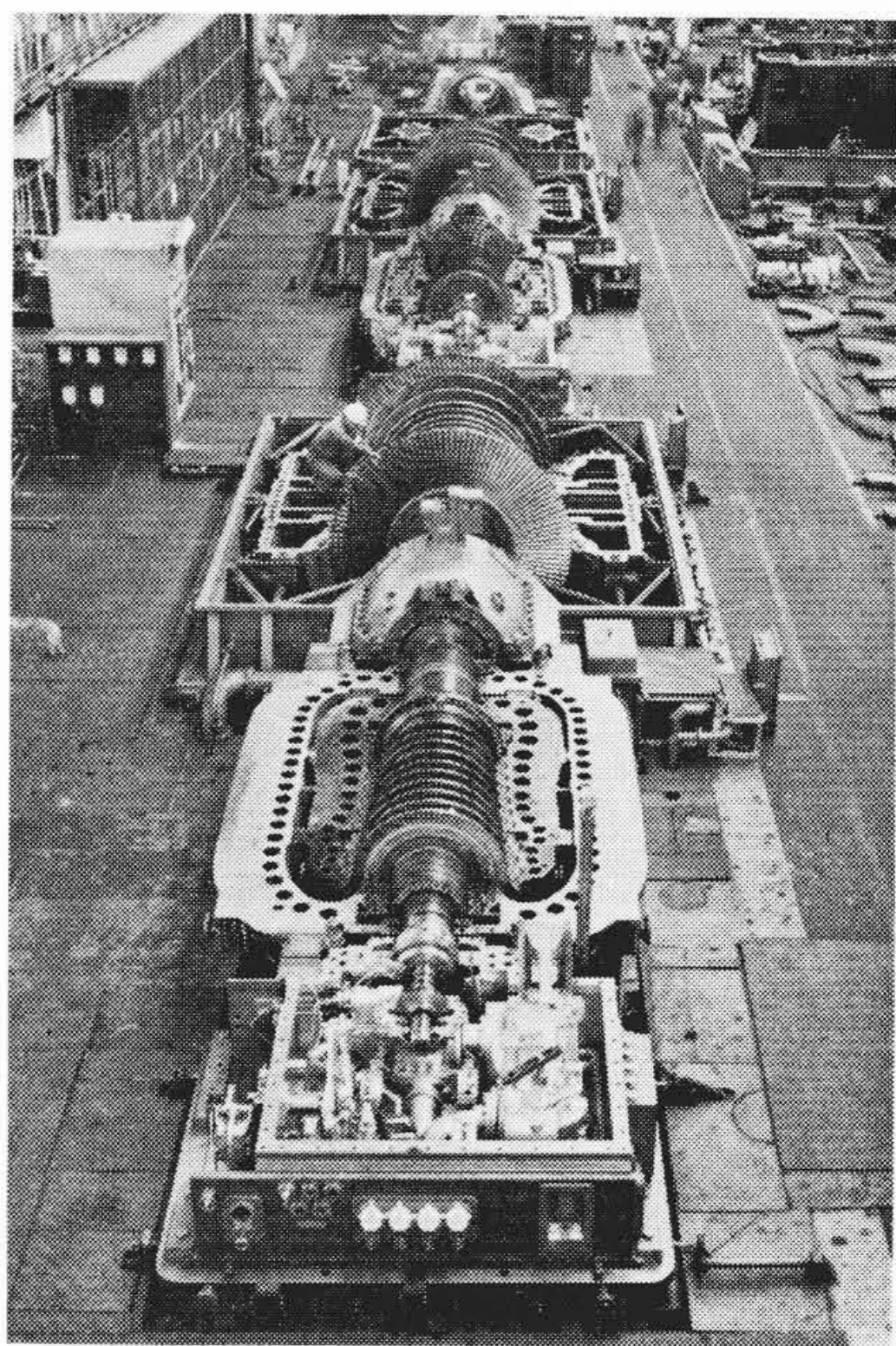


図1 大容量クロスコンパウンドタービン

■ 海外に進出する大形蒸気タービン

最近の海外市場における火力発電機器は、しだいに大形化の傾向を示し、東南アジア、アフリカにおいても、すでに単機容量60,000 kWから100,000 kW級のタービンが主力となり、さらに200,000 kWから300,000 kW級の火力発電計画が行なわれている状況である。

このような状況に対し、日立製作所は長翼の開発を中心とした、構造、材料など多方面にわたる研究、現在までの多数の製作実績の解析を基礎として、高性能、高信頼度の大型タービンの開発への努力を行なっている。

以下、最近良好な成績で、営業運転にはいったタービンを中心に、その特長を述べる。

(1) シンガポール、パシールパンジャ“B”発電所、60,000 kW タービン

本タービンは最終段に26インチ翼を用いた、単気筒式のタービンである。この種容量のタービンでは従来タンデムコンパウンド複流排気形が採用されていたが、26インチ翼の採用によりこれを単気筒とすることにより、タービンの性能を同一水準に保つとともに、その全長を約20%短くすることができた。

図1に本タービンの外観を示す。

(2) フィリピン、マニラ電力テーゲン発電所100,000 kW 再熱タービン

本タービンは輸出用タービンとして、最大の容量であり、また初めての再熱タービンである。形式として、今まで十分実績のあるタンデムコンパウンド、複流排気形を採用した。

図2に本タービンの外観を示す。

なお現在、インド、コタクデム発電所60,000 kW タービンが現地において据付中である。

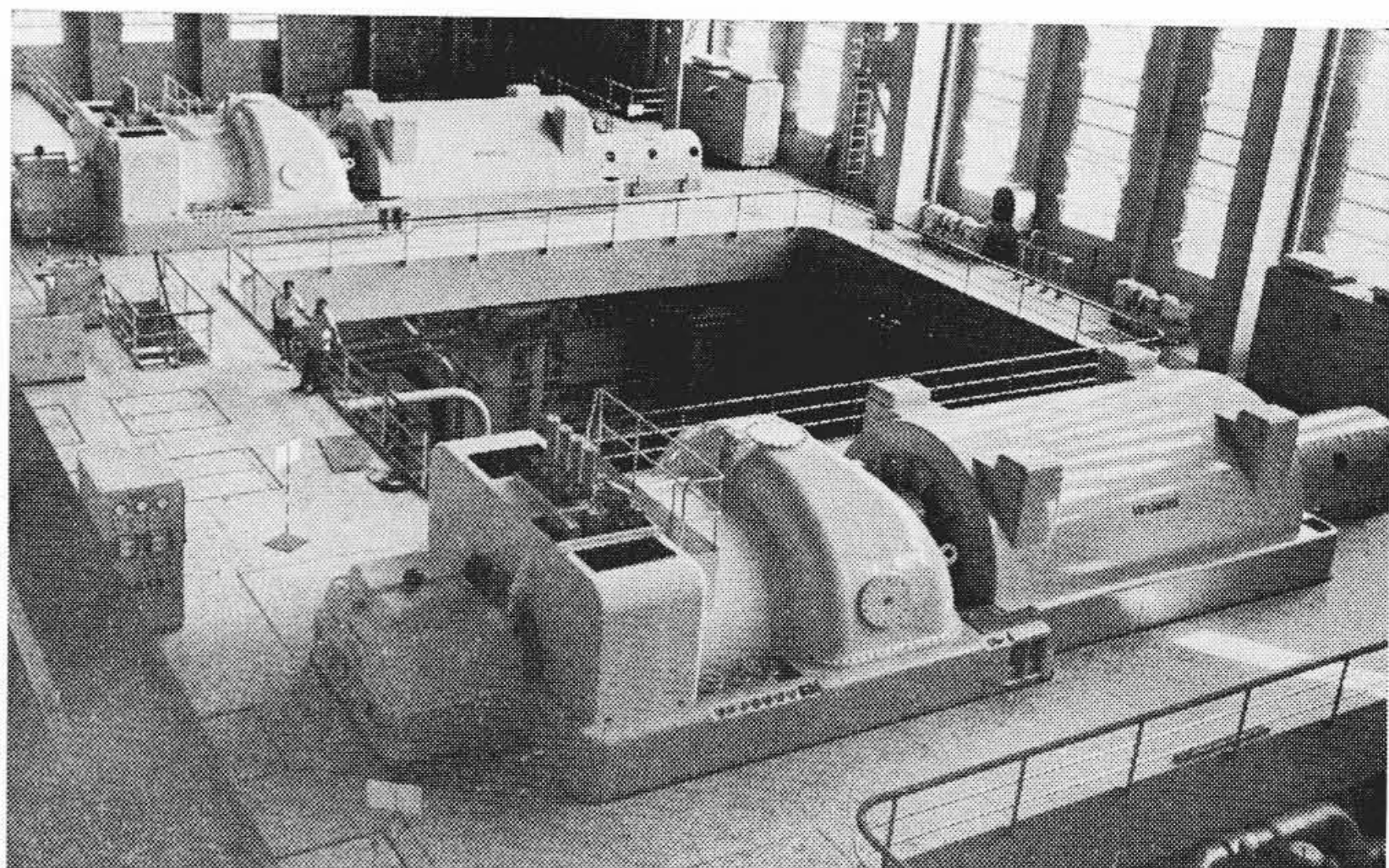


図1 シンガポール、パシールパンジャ“B”発電所60,000 kW, 3,000 rpm 蒸気タービン

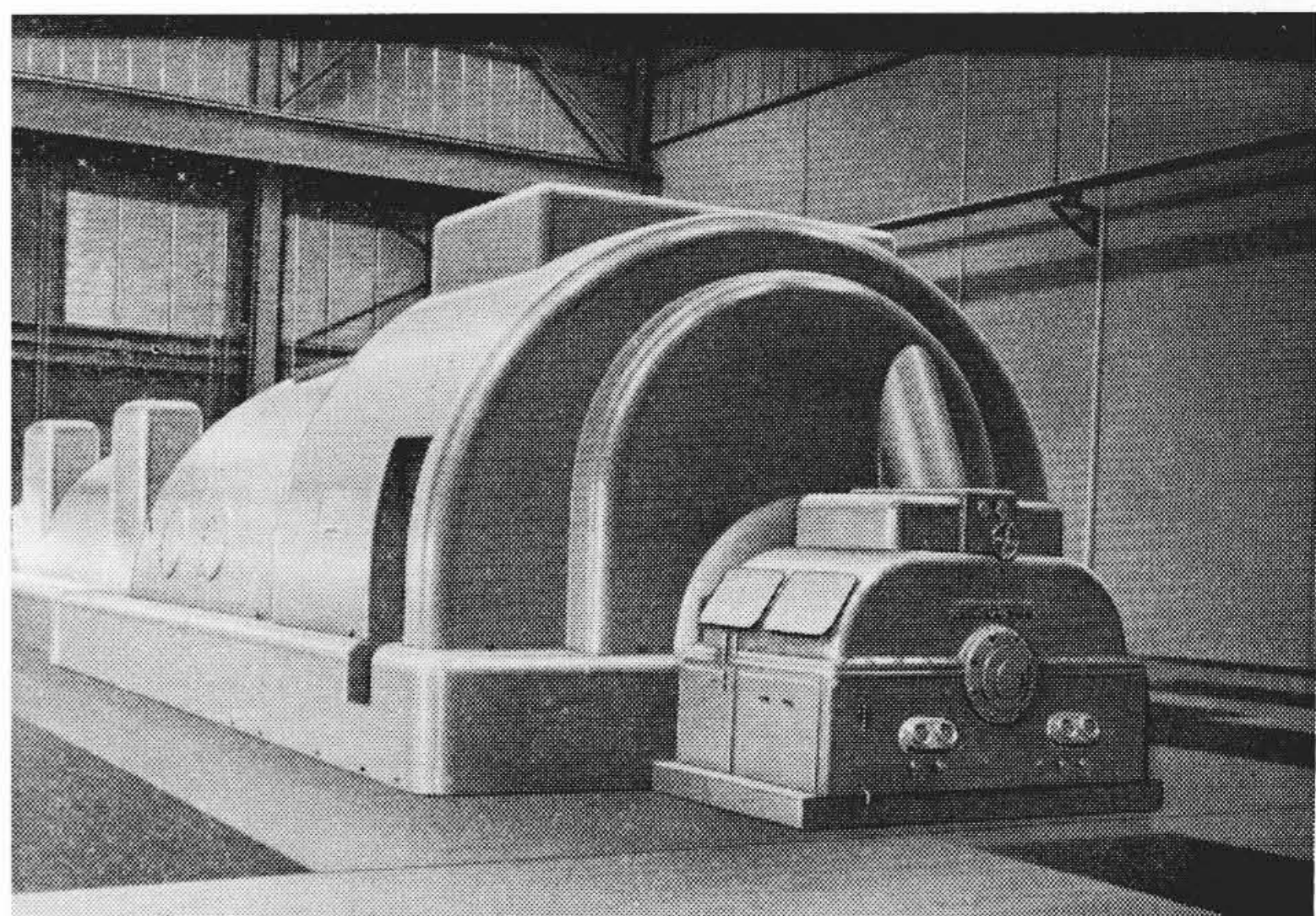


図2 フィリピン、マニラ電力テーゲン発電所100,000 kW, 3,600 rpm 再熱蒸気タービン

■ パッケージ形ガスタービンの製作

最近わが国においてもガスタービンに対する関心が高まり、事業用としてはピークロード用あるいは蒸気タービンとの併用プラントとして、また一般産業用としてはベースロード用、非常電力設備あるいはポンプ、圧縮機などの駆動機としてガスタービンの特性を生かした計画が進められている。パッケージ形ガスタービンは開放形ガスタービンの特長を最大限に発揮させるために開発されたもので、アメリカ GE 社との共同製作協定により製作している。これは運転に必要な制御機器を納めた制御パッケージ、ガスタービンおよびその付属品を納めたパワーパッケージ、発電機およびその付属品を納めた発電機パッケージより構成されており、発電に必要なすべての機器が屋外形のこの三つのパッケージにコンパクトに収納されている。そのおもな特長は運転が容易で、遠隔無人運転も可能であること、起動が急速に行なわれること、据付面積が小さくてすみかつ据付が敏速にできること、冷却水、補機用電源などの外部からの供給がまったく不要であることおよび適度の消音装置を設けていることなどである。GE 社はこのパッケージ形ガスタービンを開発してより飛躍的に製造台数が増大しており、現在すでに 400 台を越える製造実績を有している。これらはいずれも非常に高い信頼度を示している。

ガスタービンをベースロード用として使用する場合は廃熱を有効に利用することが望まれるが、電力と同時にプロセス蒸気が必要と

なる場合は廃熱ボイラと組み合わせることによりきわめて経済性の高いプラントとすることができる。ガスタービンの排気は 400~450℃ の高温であり、これを廃熱ボイラにより熱回収を行なうと、たとえば 10 MW 級のガスタービンでは 30~35 t/h の蒸気を発生させることができ、熱効率は約 60% になる。またガスタービンの排気には燃焼に必要な酸素が十分残存しており電熱ボイラで助燃することによりさらに多くの蒸気を発生させることも可能である。

現在製作中の日本石油化学工業株式会社川崎工場納の 6,000 kW パッケージ形ガスタービンは電力需要量の多い昼間の 14 時間運転されるものであるが、廃熱ボイラにより熱回収を行ない、18 t/h の蒸気を発生する。また本設備は助燃設備を有し、助燃した場合は最大 20 t/h の蒸気を発生できるよう計画されている。この設備のガスタービンは単サイクル 2 軸形を用いているが、これは圧縮機および圧縮機駆動用タービンの回転数を負荷に応じて調整することによりガス流量を加減し排ガス温度をほぼ一定に保つことができるため廃熱ボイラ付のガスタービンに適している。図 1 にこのガスタービンの断面図を示す。

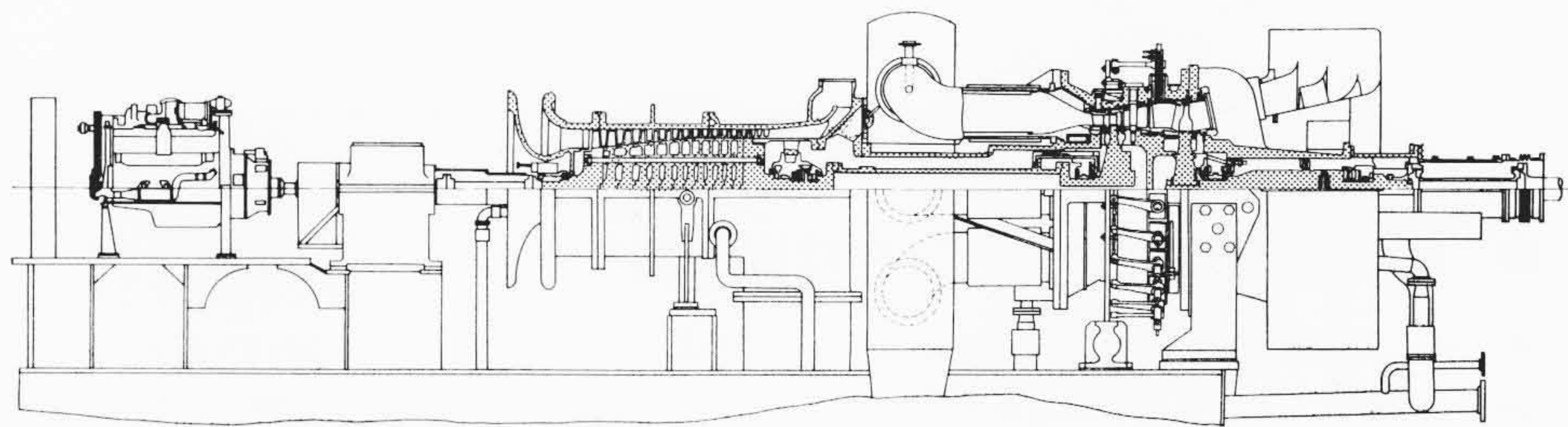


図 1 パッケージ形ガスタービン断面図

■ タービン長翼の研究

低圧最終段長翼に関して、図 1 のごとき実物大低圧タービン試験装置による種々な研究の結果、33.5 インチ長翼の開発に成功した。この長翼によれば、タンデムコンパウンド 4 流排気 (TC 4 F) で 500~750 MW タービンの製作が可能であり、大容量プラントの利点を十分に発揮できるものである。

長翼の開発には溶接法や製作法などに高度の技術と設備が要求されることはもちろんのことであるが、最も大きな問題点は三次元流動理論と振動、強度に関する対策および信頼度の確認である。これらは基礎研究のみでは解明できず、現段階ではどうしても実物大試験装置によらねばならない。

翼断面形状が著しく変化し、捩れを有し、しかも数枚の翼がつづり合わされている翼群の固有振動数を解析的に求めることは、かなり困難なことであるが、境界条件の仮定が適当であれば 10% 以内の精度で算出できる。回転中の遠心応力、振動応力および振動数などは実物と同一条件で運転される実物大試験装置を用い、翼やバインド線にひずみゲージを取りつけ、回転軸の中空部を通し、スリップリングを介して測定され、十分な資料を得ることができた。

また低圧段落では流路が著しく拡がるので、半径方向に大きな速度成分をもち、これ

を無視した設計法では翼配列の設計に誤差を生ずることになり、最高効率を期待し得ない。種々な形状の流路壁の場合について三次元流の測定 (図 2) と新しい理論解析を試み、高い精度の解析結果の得られることが確認できた。

以上のごとき応用研究と併行して翼列性能の向上をめざした翼形の研究、排気損失の解明などの基礎研究を着々と推進し、これらを総合した結果、性能の高い長翼の開発に成功したものである。

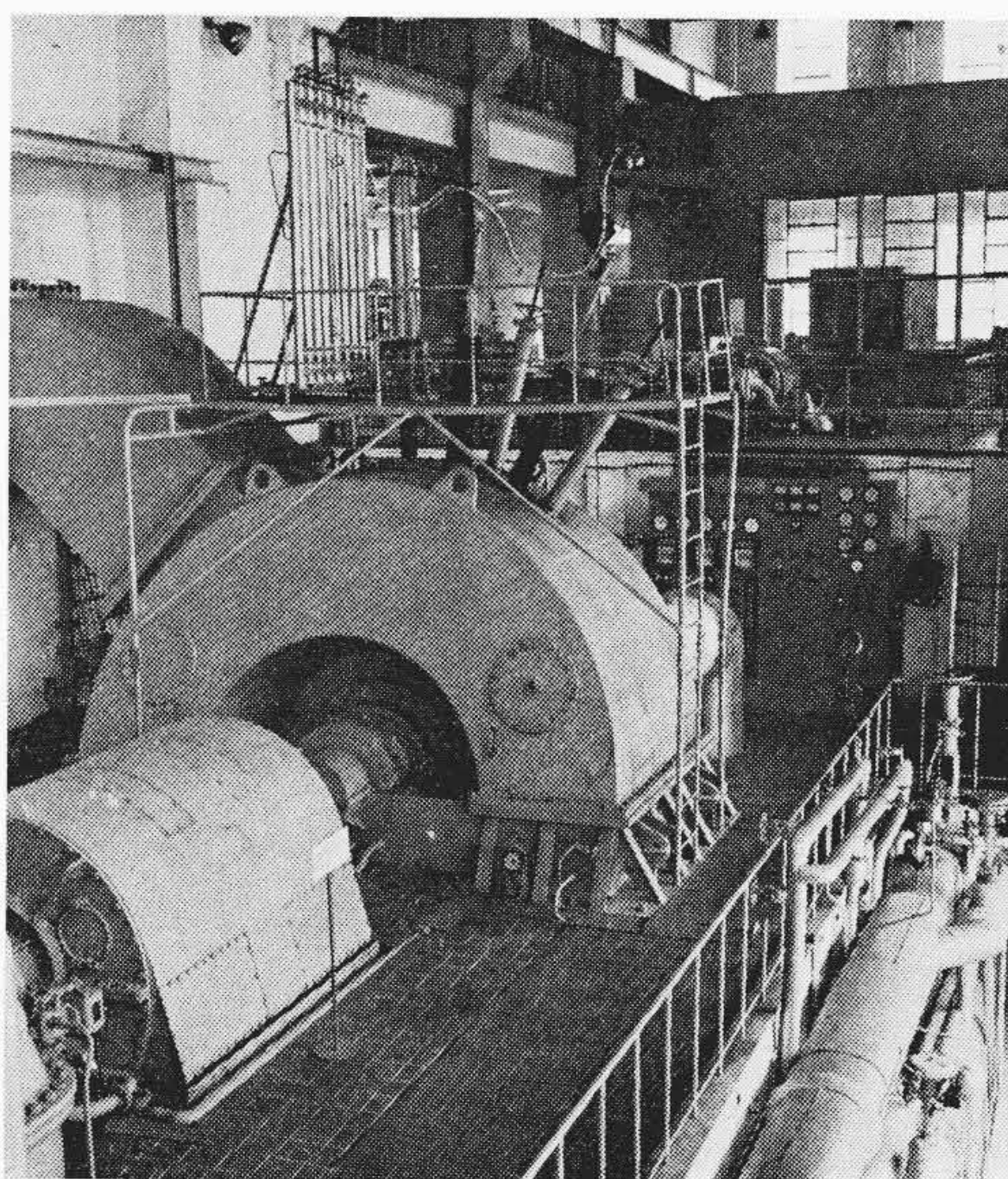


図 1 長翼研究用実物大試験装置

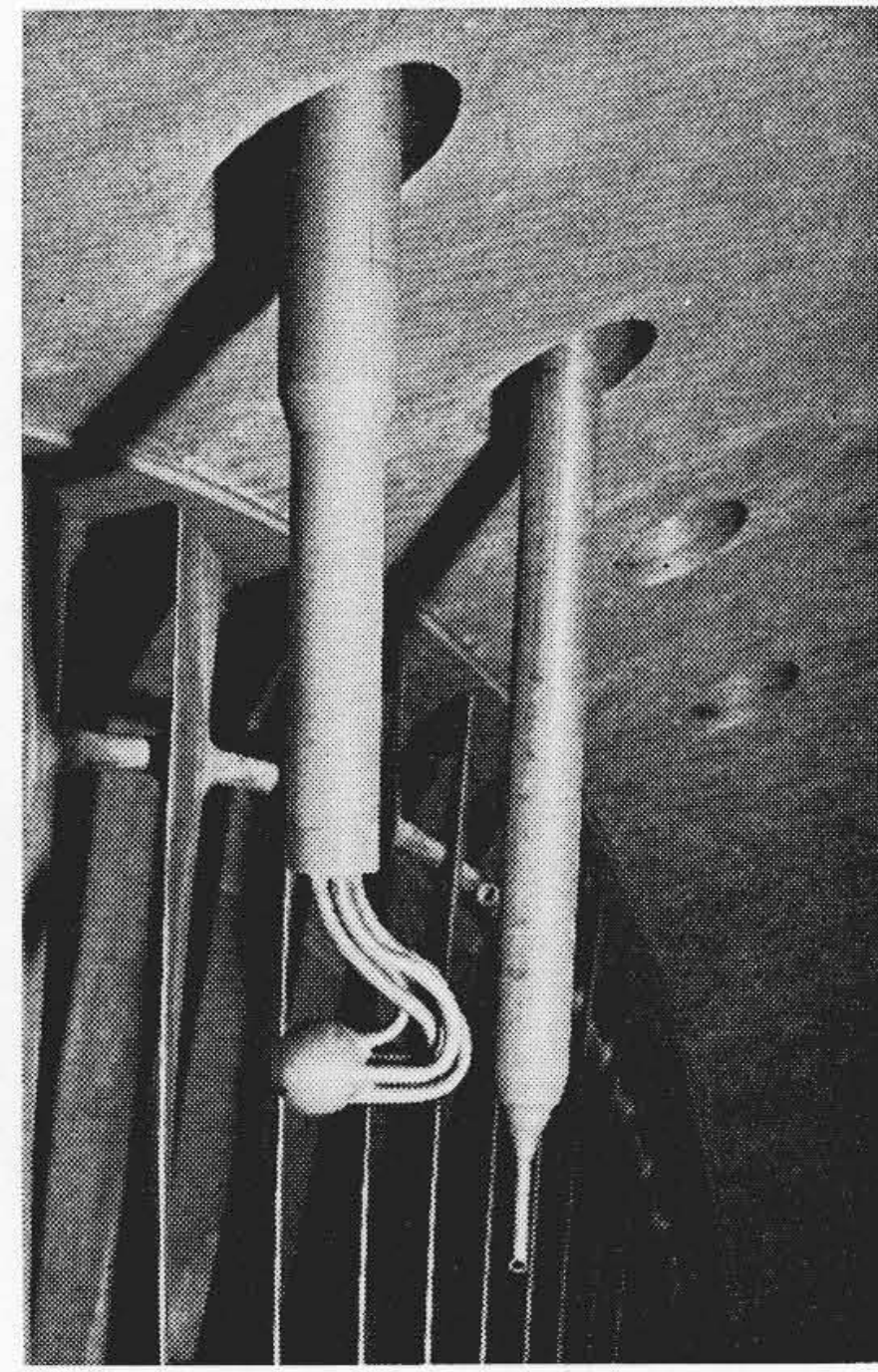


図 2 ピート管、温度計の挿入状況

■ 高圧給水加熱器の改良

高圧給水加熱器の水室は厚肉の鍛鋼品であるうえ、複雑な構造を有しているので熱変形などに対する拘束性も大きい。したがってプラントの起動停止の際の給水の温度変化による熱応力のため、き裂が発生した例も一、二報じられている。

これに対処するため日立製作所においては従来から

- (1) 使用材料の品質を厳選すること
- (2) 加工、特に溶接などによる残留応力が極力小さくなるような施工法をとること
- (3) 応力集中を極力避けるような形状にすること

などの方法がとられてきたが、最近日立独自の考案による水室構造の高圧給水加熱器を開発した。

図1に中部電力株式会社武豊火力発電所納高圧給水加熱器の水室を示す。

この水室構造の特長は給水の入口側と出口側を仕切る隔壁を半円筒形にして水室の内壁から完全に切り放し自由にしたもので、このようにすることにより従来最も大きな熱応力の原因となっていた管板部、水室内壁部、隔壁の三者によって構成される三次元的な拘束

性が解消されたことである。

最近貫流ボイラの採用に伴って急速起動停止の要求はますます強くなりつつあるが、この改良された高圧給水加熱器の実現はプラントの急速起動停止についての対応性を一歩前進させるものである。

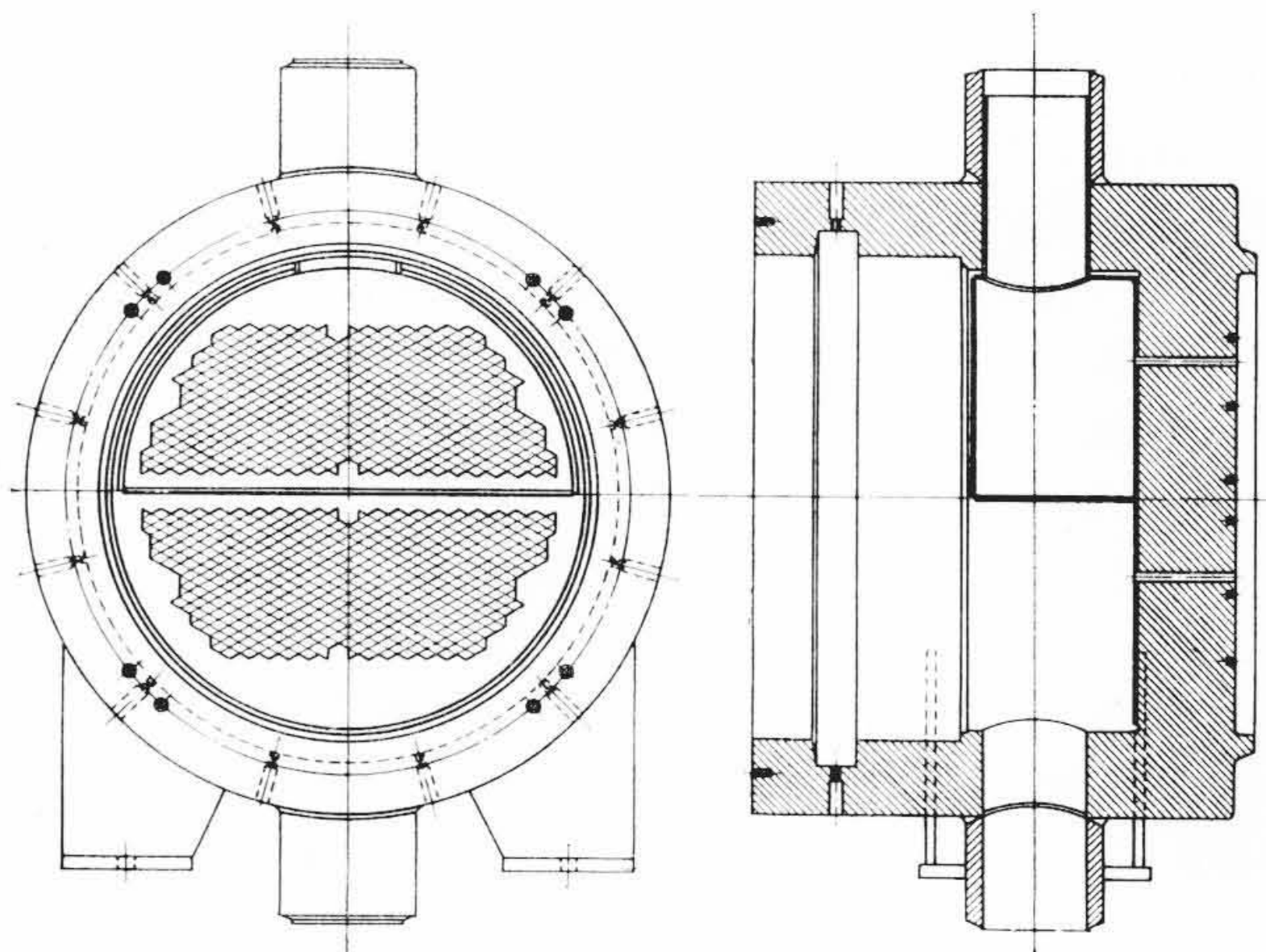


図1 高圧給水加熱器水室構造

■ 直接水素冷却タービン発電機回転子

回転子コイル導体内に直接冷却ガスを通して、コイル導体に発生する銅損を冷却すると、従来の普通水素冷却回転子に比べて回転子容量を著しく増大することができる。

図1は日立製作所で採用しているラジアル-アキシャルフロー形ギャップピックアップ式直接水素冷却回転子コイルスロットの断面を示し、図2は同じくダイアゴナルフロー形のものを示す。いずれも回転子全長にわたって吸入孔と排出孔を有し、回転子の回転により空気のガスは吸入孔から押し込まれる。両者の導体内の通風路はかなり異なり、図1では半径方向きり欠きと軸方向に水平に設けられた通風路より構成されているのに対し、図2では軸方向斜めに通風路が設けられている。日立製作所ではラジアル-アキシャルフロー形について多数の実績を有し、優秀な成績を得ている。ダイアゴナルフロー形はラジアル-アキシャルフロー形に比べ

- (1) 導体内通風路を短くすることができるので通風摩擦損が減少し通風量が増大する。
- (2) スロット内の銅占積率が増大し、銅損が減少する。
- (3) 導体の通風孔加工には、パンチングまたはミーリングによる高速度繰返し加工を採用することができるので製作費が安価となる。

などの特長を有し、ラジアル-アキシャルフロー形が普通水素冷却に比べて回転子容量を約2倍に増大し得るのに対し、ダイアゴナル

フロー形ではさらに15%増大できるため、今後の直接冷却回転子には本方式を採用する傾向にある。中部電力株式会社武豊火力発電所納262,388 kVAタービン発電機回転子には本方式が採用され、優秀な成績を得ている。

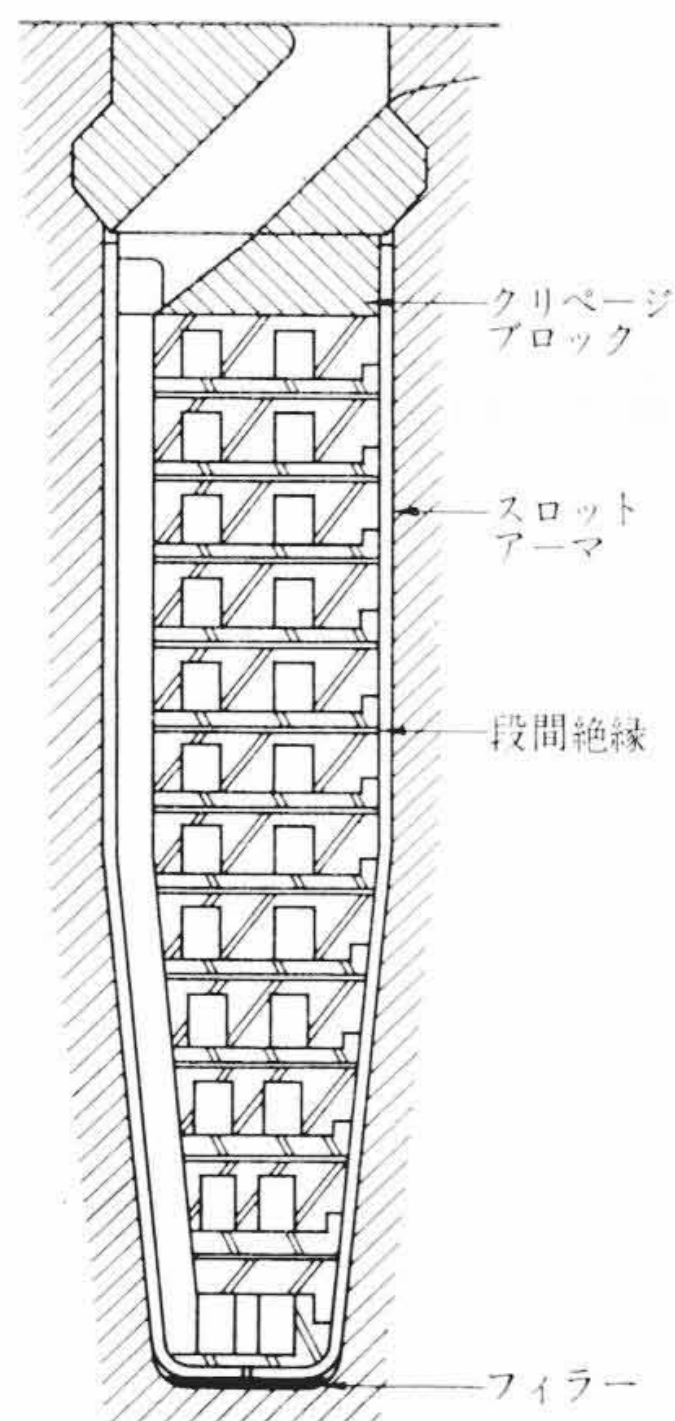


図1 ラジアル-アキシャルフロー形

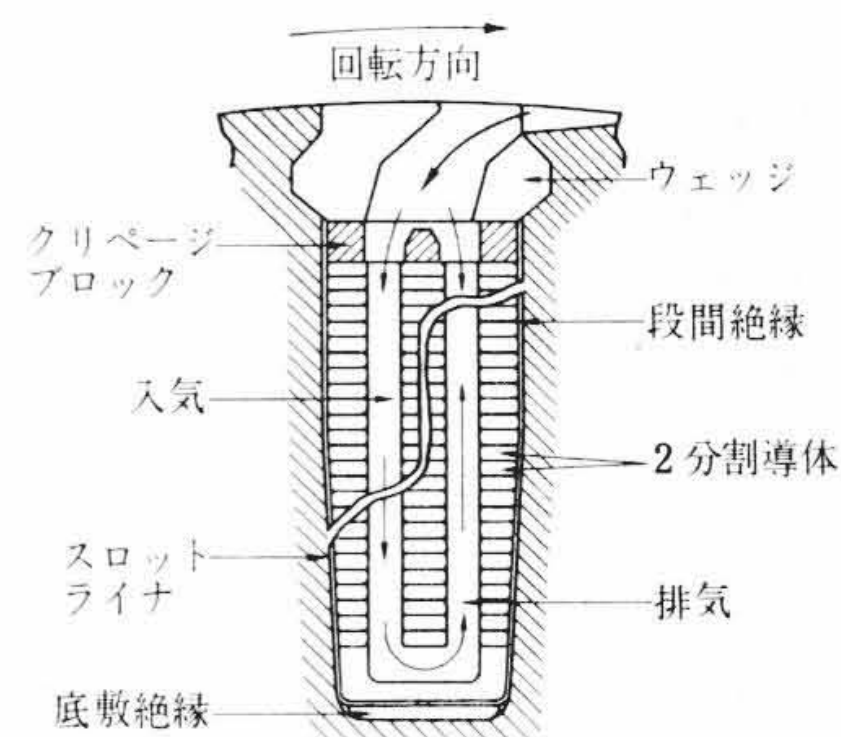


図2 ダイアゴナルフロー形

■ 直接液体冷却タービン発電機固定子

タービン発電機の単機容量の増大に伴い、油、水による固定子の直接液体冷却の必要性が生じ、日立製作所ではすでに国産初の油冷却固定子を有する関西電力堺港火力1号機300,000 kVA機を完成し、現在好評裡に運転中である。

液体冷却を行なう場合の問題としてとくに

- (1) 冷却媒体の漏えいのないこと。

(2) 外部供給系統が信頼性の高いものであること。
があるが、(1)については関係各部品たとえば(固定子巻線端部構造を図1に示す)ごとの十分な漏えい、導通、耐圧試験および組立完成後の厳重な試験を行ない、問題のないことを確認した。(2)については、系統が図1に示されるように、油の劣化防止などのために系統内に発生するガスを処理する真空処理の部分、発電機の入口・出口の油温を常におのおの45、85℃に自動制御する部分とに大別できるが、個々の部品はいずれも厳重な検査に合格したものであり、組合

せ後の動作特性についてもアナログ計算機による解析および工場試験による確認を経て現地においてなんらトラブルを生じていない。

この液体直接冷却固定子の採用により、水素ガス冷却固定子を有する場合と比較して固定子巻線を十分に小さくでき、したがってその分絶縁を強化できたこと、特別なファンを必要とせず風損が増加することもなく良好な効率を保ちえたこと、外部供給系統に要する

動力もわずかであること、巻線端に導体露出部がなく絶縁上問題が少ないこと、冷却媒体の温度を常に一定に保つことにより固定子絶縁物の寿命ひいては発電機の寿命にいい影響を及ぼすことなどの多くの利点を有し、日立製作所では現在2台目の油冷却発電機を製作中であるが、今後とも数多くの液体直接冷却固定子を有するタービン発電機を製作するため万全の体制を整えている。

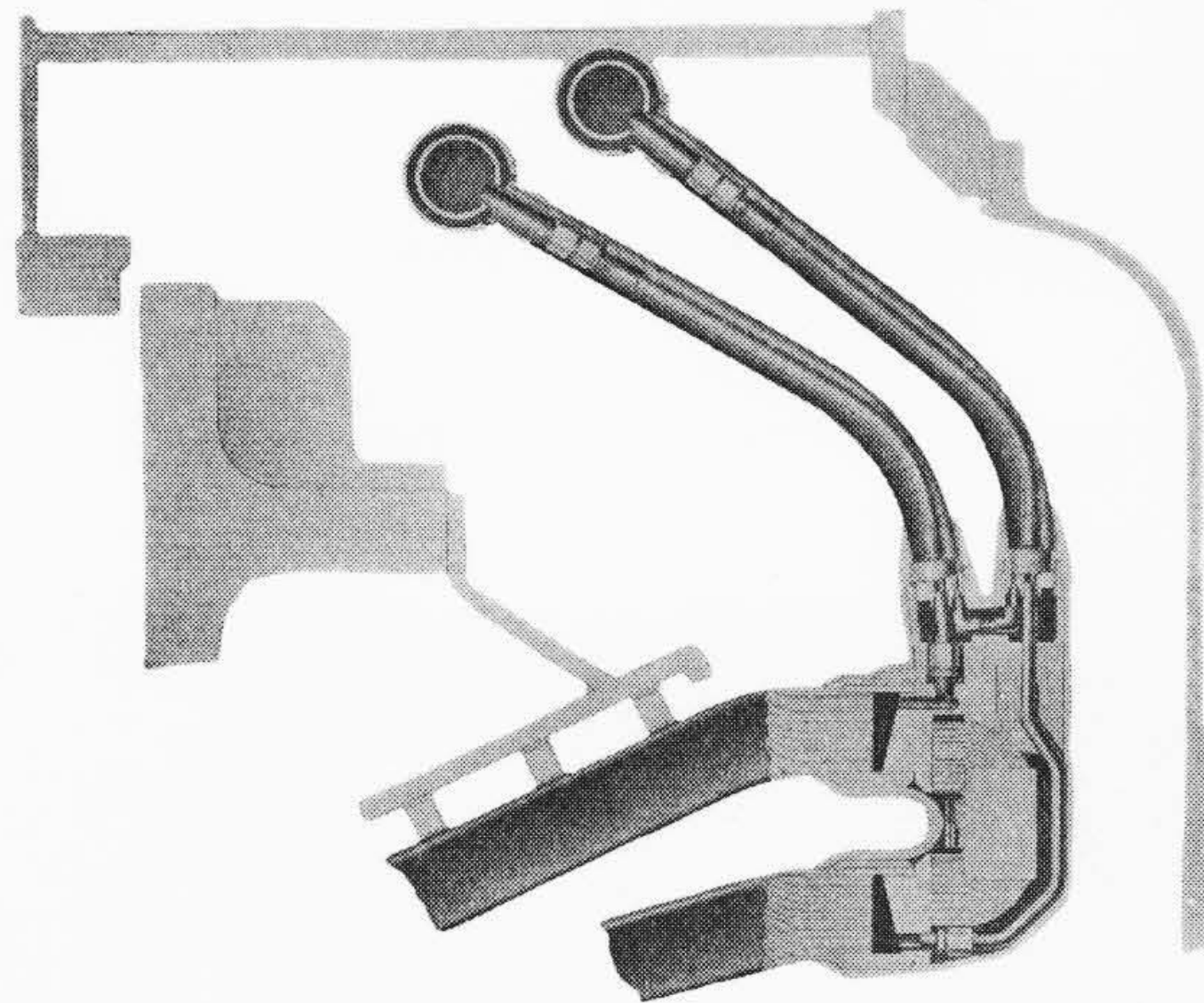


図1 固定子巻線端部構造図

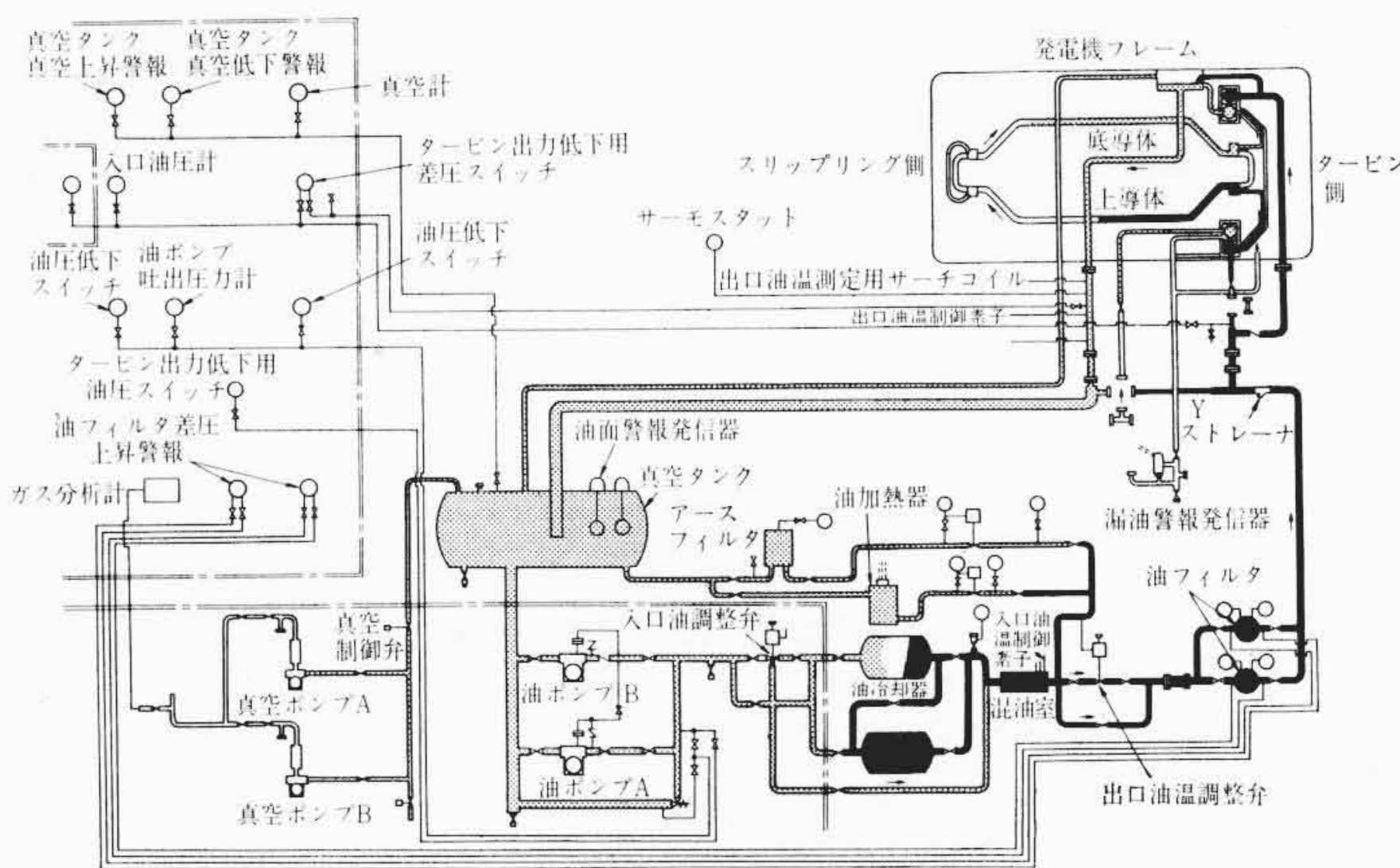


図2 固定子線輪油冷却系統図

■ 海外に進出する大形タービン発電機

昨年来海外向の水素冷却タービン発電機が相ついで完成した。昭和40年度にも、シンガポール向75,000 kVA機の3, 4号機および、フィリピン向128,000 kVA機の2号機が完成した。またインド、コタグデム発電所向66,666 kVA機4台も好調のうちに工場試験を終了し現地据付中である。

従来輸出向タービン発電機は比較的小容量の空気冷却機が多数をしめていたが、最近は単機容量が大きくなり大部分が水素冷却機となってきた。

輸出機で第一に問題になるのは適用規格であるが、インド、南アフリカ連邦、シンガポールなどの50～地区はBS規格、60～地区はASA規格が普通である。われわれは性能に関してはこれら規格に準拠したものとし十分信頼性のあるものを作っている。次に火力発電所設置位置が国内と異なり港湾より離れた内陸にあることが多く、現地の輸送制限がしばしば問題になる。一例としてコタグデム発電所向66,666 kVA機の場合は寸法制限から固定子フレーム外径を縮小して一体輸送するため、固定子鉄心、フレームの固有振動数、変形、応力および通風などを綿密に解析して設計を行なった。最近通常なら普通水素冷却の領域となるが、寸法制限の問題から液体冷却固定子構造を採用して計画したものもある。

輸出先は熱帯または亜熱帯に属する所が多く、そのため冷却水ためが高くクーラが大形になるのみならず、基準ガス温度が高くなるものもある。さらに高温多湿に耐えるよう、コイルは十分な耐湿処理が施されると同時に熱帯性気候に耐えられるよう各所に慎重な考慮がはらわれている。

次にイギリス系コンサルタントが技術的な取まとめをする場合、発電機の工場試験時に定格端子電圧からの突発短絡試験を行ない、突発短絡事故時においても固定子コイルを含むすべての部分に損傷

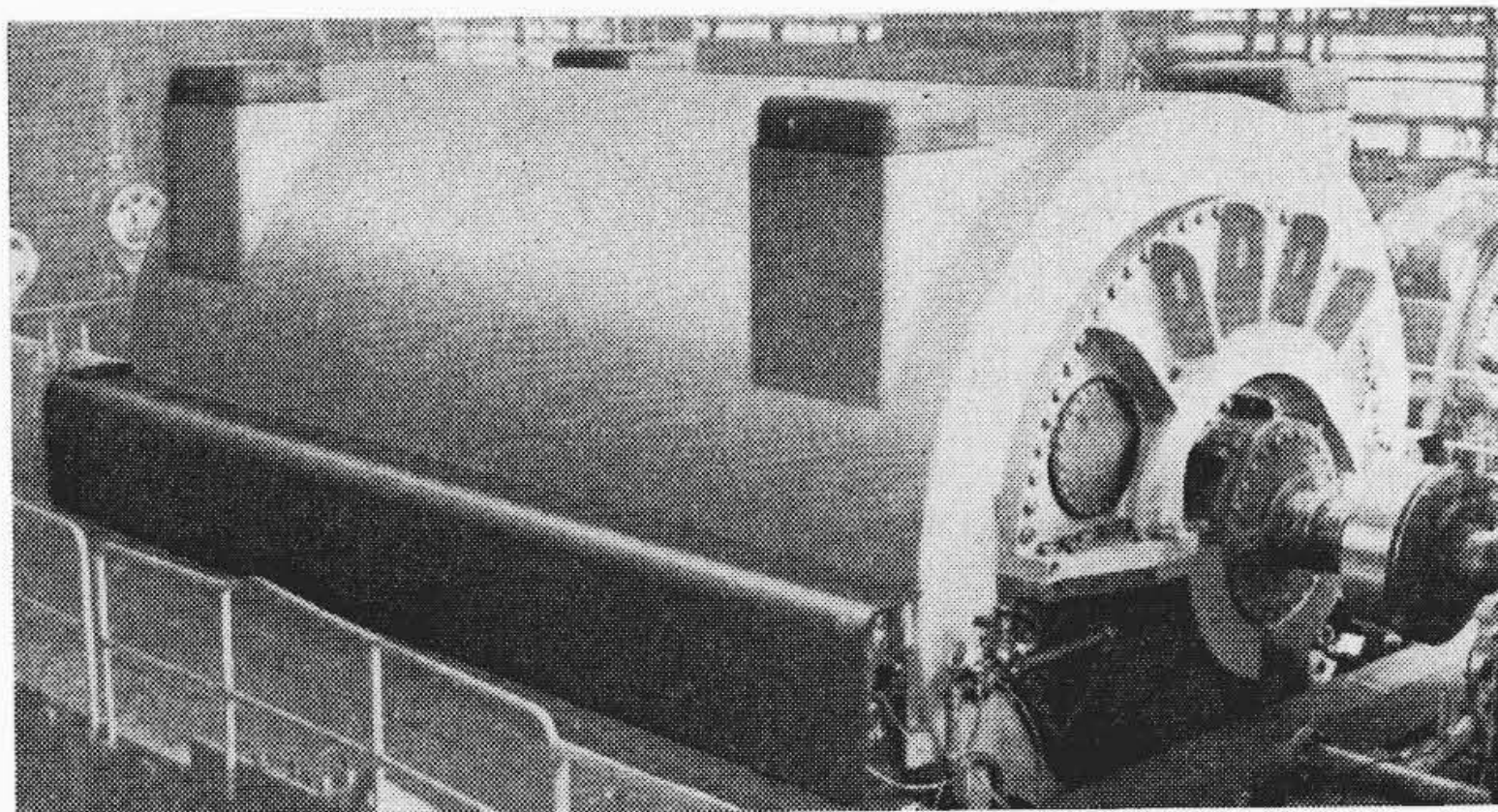


図1 シンガポール向75,000 kVAタービン発電機

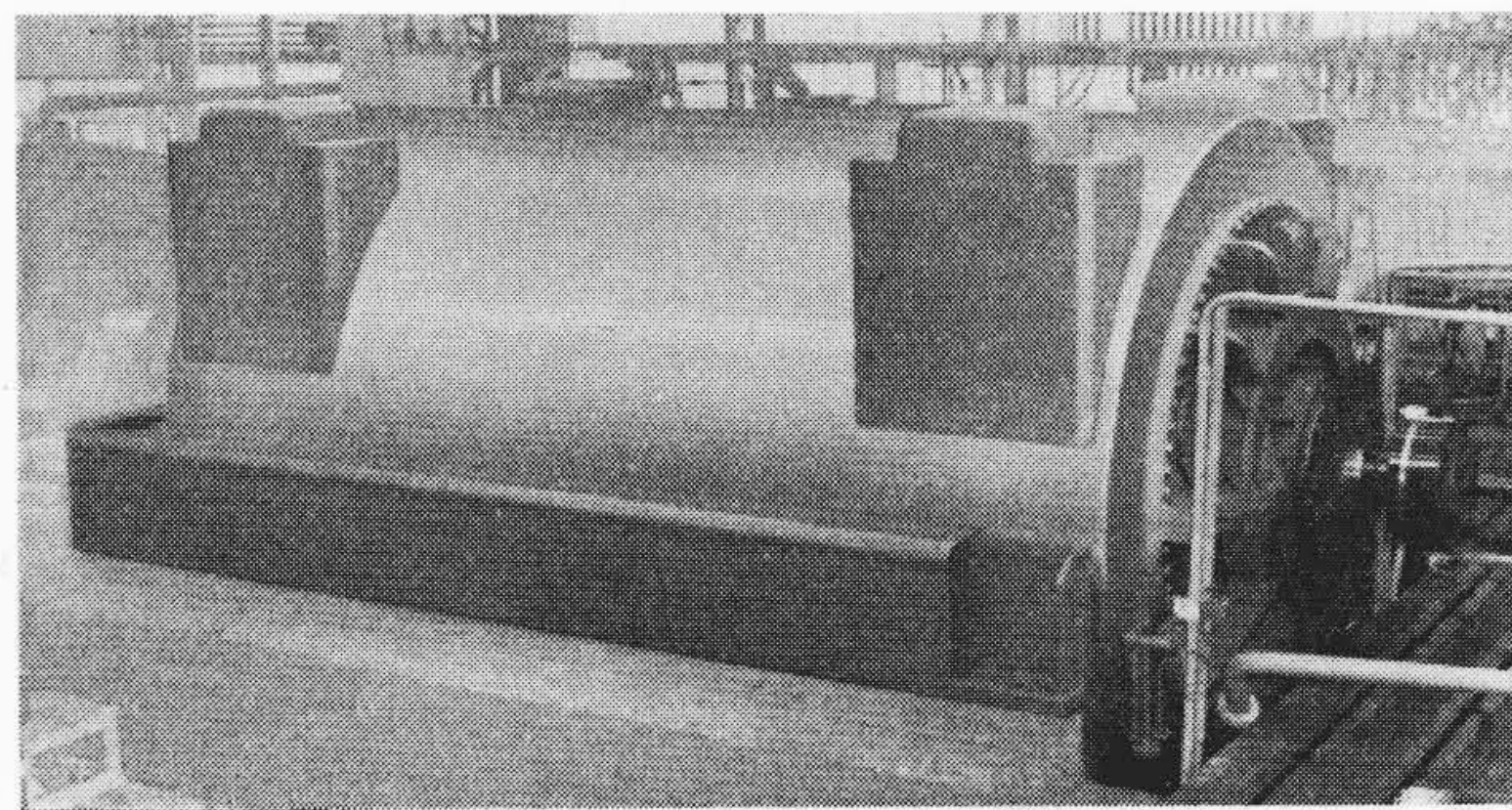


図2 フィリピン向128,000 kVAタービン発電機

のないことを確認するよう要求されることがあるが、理論解析およびモデルによる試験結果をもとにしてこれらに十分耐えられる構造となっている。実際にシンガポール向75,000 kVA機、コタグデム向66,666 kVA機にてこの短絡試験を顧客立会のうえ行なったが、なんら異常は認められなかった。

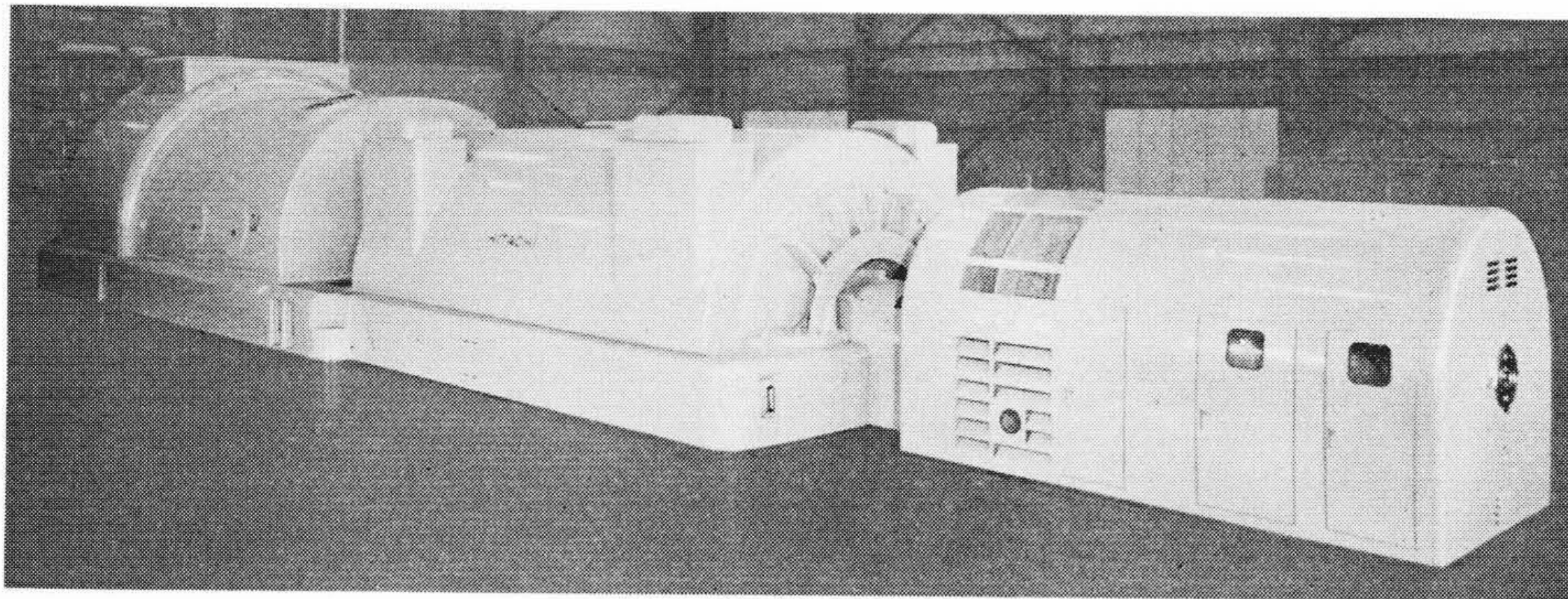


図3 マニラターゲン発電所
100,000 kW タービン発電機

■ 横浜市水道局納 2,500 kVA ディーゼル交流発電機

横浜市水道局小雀浄水場納非常用電源設備 2,500 kVA ディーゼル発電機がこのほど現地試験を好成績で完了した。

本機は構造上特に回転子のヨークを中空軸に兼用したスキンスレス構造としてあるので軽量である。励磁装置には新しい励磁方式すなわち小形軽量高性能の SCR 形 AVR 励磁装置を使用している。その特長は下記のとおりである。

- (1) 負荷変動による整定電圧変動率は $\pm 1\%$ 以内で従来の 3% より精度が高い。
- (2) 回路構成が速応性要素からなっているので励磁応答速度が早い。負荷投入後の 0.3 秒程度で回復する。
- (3) 従来のものより簡素化され、使用部品も小形軽量のものが多いので励磁装置全体として小さくなる。

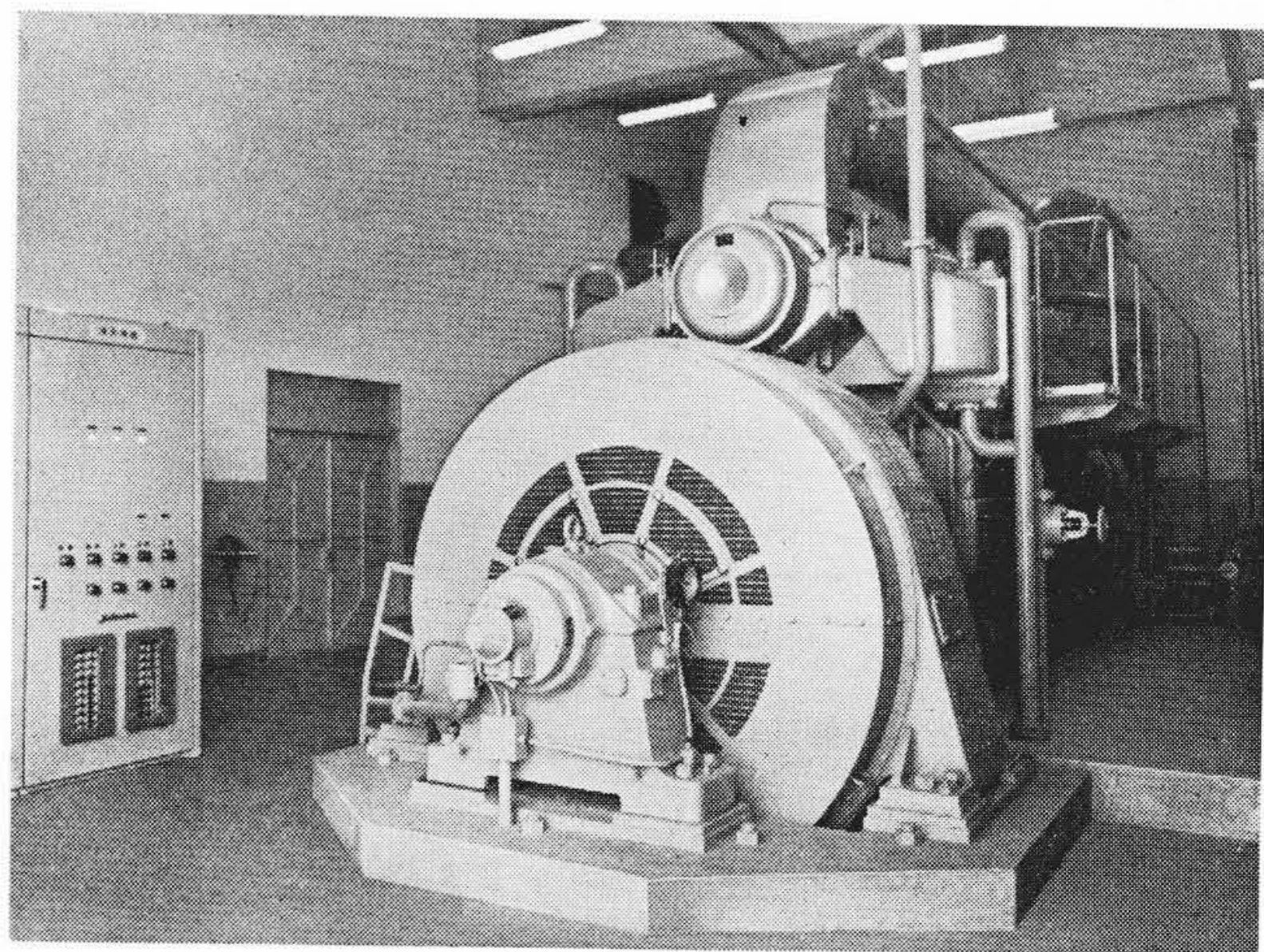


図1 横浜市水道局納 2,500 kVA ディーゼル発電機

■ SCR を用いた自励式交流発電機

界磁入力を発電機端子からとり、SCR (Silicon Controlled Rectifier) を用いてその点弧位相を調整し、発電機電圧を制御する自励式交流発電機は励磁装置が簡単になり、容積、据付面積が著しく縮小化される。図1は本装置の回路構成図、図2は移相装置およびゲート信号発生装置の外観を示したものである。

現在主としてビルディング、ポンプ所などの非常電源用のディーゼル発電機に適用され、横浜市水道局小雀ポンプ所納 2,500 kVA をはじめ数十機が順調に営業運転にはいっている。

近端における短絡故障などにより発電機電圧を失った場合に界磁入力がなくなってしまうこの励磁方式の欠点を補うため、本装置では発電機電圧がきわめて低い間は SCR のゲートに直流信号が印加される。したがって故障を切りはなせば残留磁気によって自動的に電圧を確立する。

本装置は負荷変動による電圧変動が小さく、周波数、周囲温度などによる電圧変動もほとんど現われない。また電圧変動過渡時の応答が速く、電圧変動時の過渡振動はほとんど発電機界磁の時定数で決定され、ダンピング回路なしで安定な運転ができる。また界磁入力には十分余裕をとってあり、速い界磁応答と相まって誘導電動機起動時のような大きな誘導負荷投入時にも通常考えられている負荷

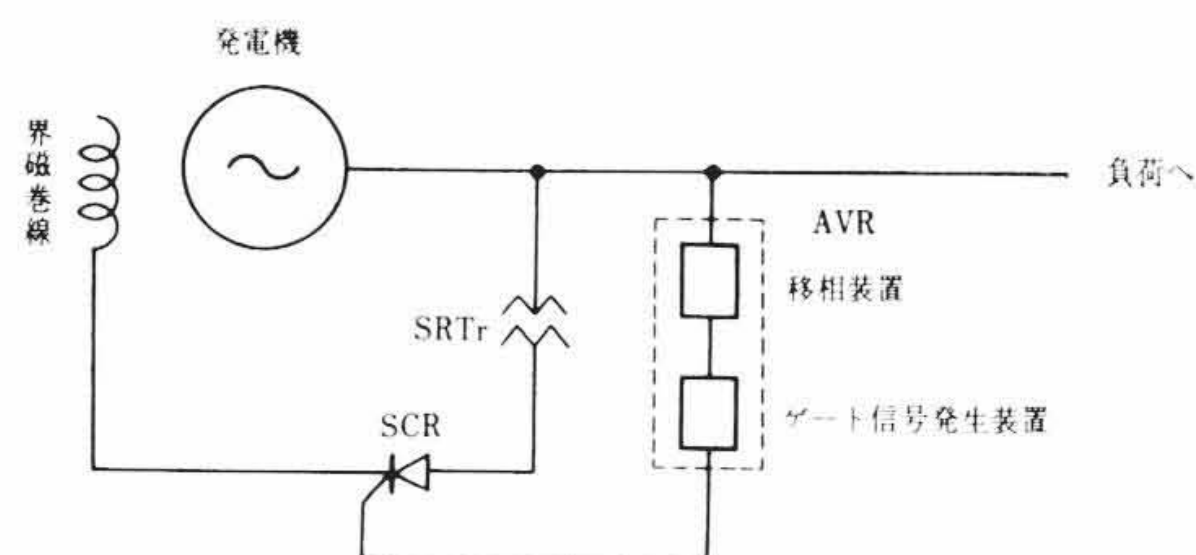


図1 励自装置回路構成図

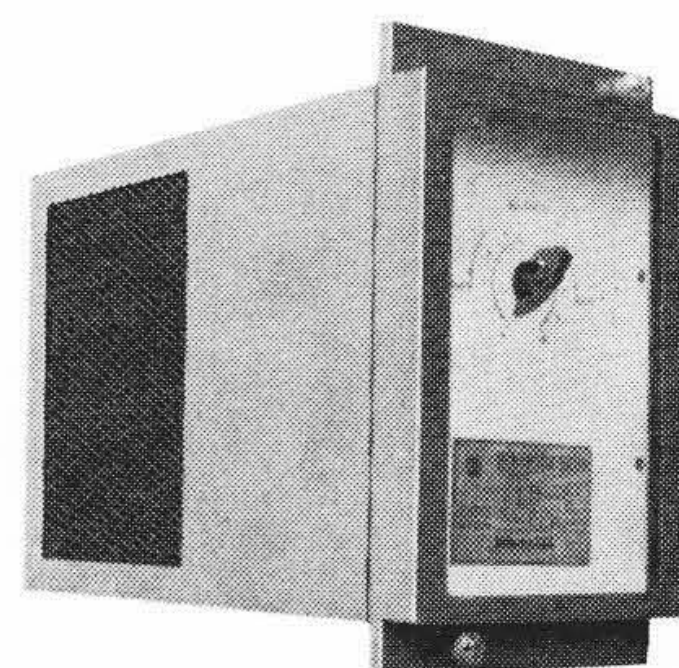


図2 AVR

範囲ではなんら問題ない。

非常用電源のほか今後の用途として自家用発電設備、特殊周波数電源などの需要が期待され、さらに SCR の大容量化、界磁入力への発電機電流の導入などにより広範囲にわたる適用が可能である。

■ 大容量火力制御盤の最近の傾向

東北電力株式会社新潟火力3号250 MW, 東京電力株式会社五井4号265 MW, 中部電力株式会社武豊火力1号250 MW とUPボイラプラント用中央制御盤が相次いで完成納入されたが, 最近の特長としては次の点があげられる。

(1) 起動の自動化

計算機制御に前進する一段階として広範囲速度制御装置, 自動プラント起動装置, 自動バーナ制御装置などのサブループの開発による自動化が行なわれた。これらの運転実績をもとにして火力の自動化がさらに前進するものと期待される。

(2) 負 荷 応 答 性

最近の火力はAFC, ELD運転に入れる要求が強いので, 繰返し負荷変動にも十分応答できるように主機動特性の解明と制御装置の計画が行なわれている。

(3) 電子式制御器具の採用

将来の計算機導入に備え, 結合が容易で盤占有面積の小さい電子式制御装置が, 武豊火力, 関西電力株式会社尼東火力に採用された。

(4) 制御盤の縮小化

中央制御室の建屋の節約, 運転員の操作監視項目の減少のためにデーターガー, 多点記録計, 小形盤上器具の採用が試みられた。図1は新潟火力3号の中央盤で全幅3 mにま

大容量中央制御盤として最初の輸出品であるフィリピンマニラ

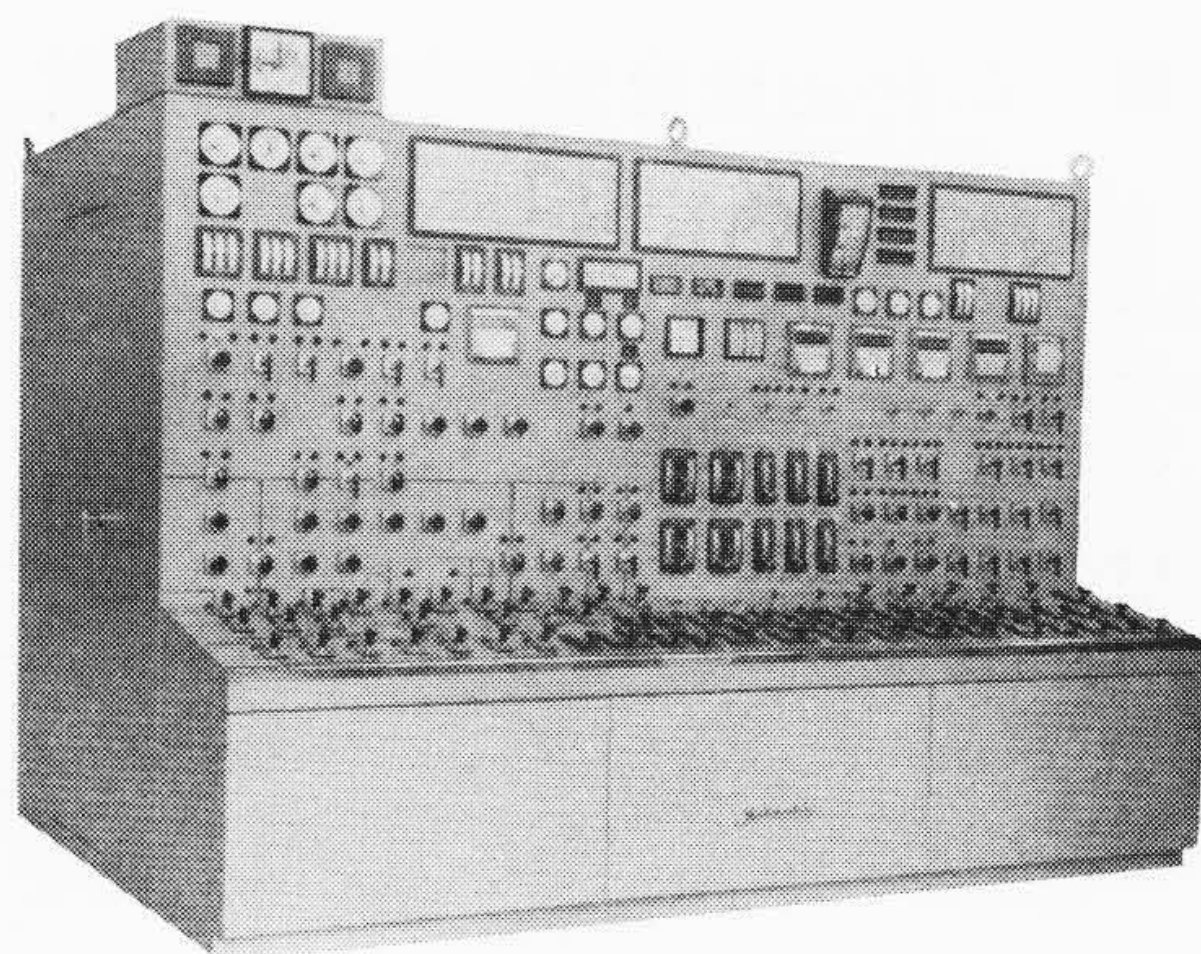


図1 東北電力新潟火力発電所中央盤

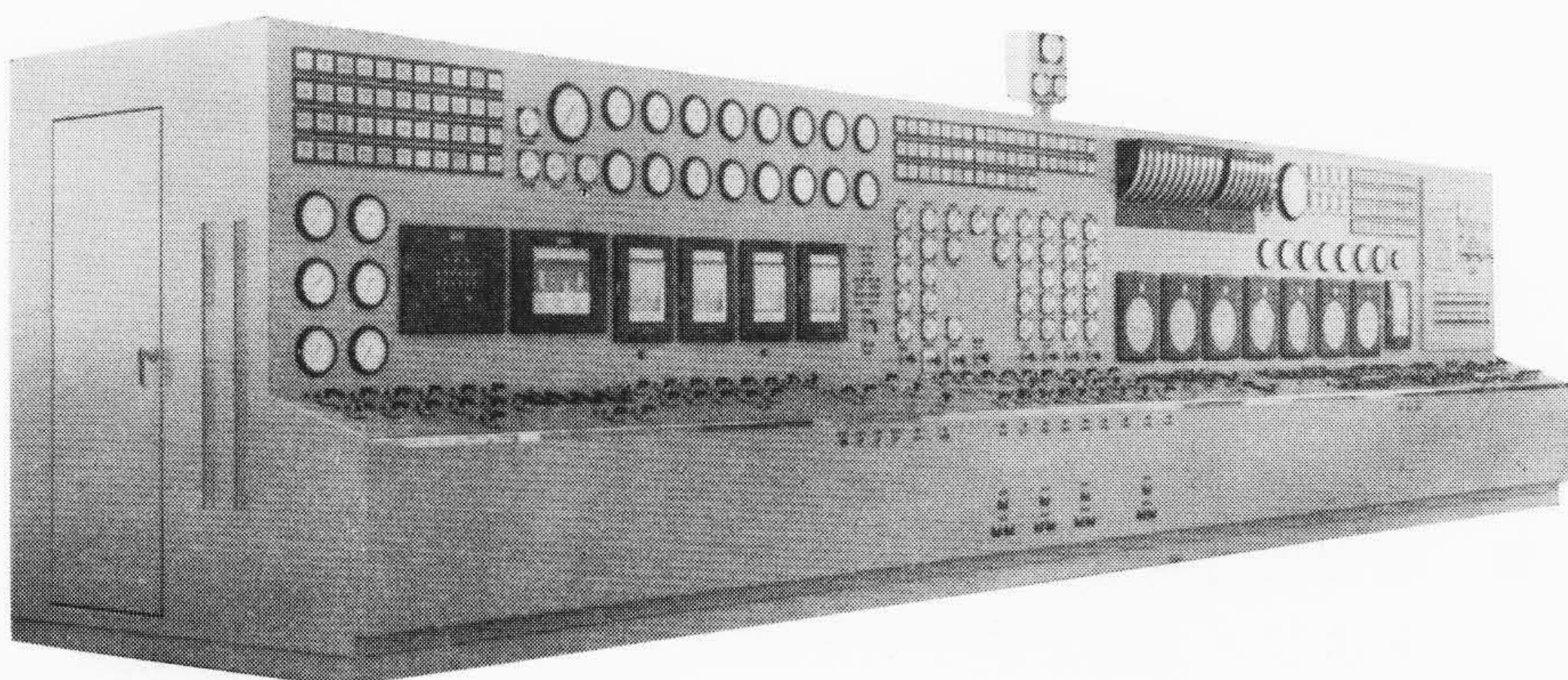


図2 フィリピン マニラ電力テーゲン発電所中央盤

電力会社テーゲン火力1号用中央盤は現地納入され良好に運転している。全幅10 mの記録品で引続き2号機用を製作中である。図2はその外観である。

■ UPボイラプラントの自動起動装置の開発

貫流ボイラプラントは起動時間が短く, 自動運転にはいつてからの負荷応答性が高いという利点があるが, 起動時の操作を自動化することによりその特長をいっそう発揮することができる。東北電力株式会社新潟火力3号機250 MW UPボイラプラント用として開発納入した自動プラント起動装置(APS)はタービン通気後同期投入より所定負荷までの起動操作を自動的にシーケンシャル制御するもので, 運転員の負担を軽減し安定で迅速な起動が可能となった。APSの機能は自動同期, 主蒸気圧力制御, 負荷制御, タービンバイパス制御, 燃料制御よりなり, 図1はその外観を示す。

新潟火力3号機用として納められた自動バーナ制御盤は点火, 重油, ガスバーナ各16本, 起動バーナ4本に対し中央盤より8個のマスタースイッチでそう入, 点火, 引抜, パージをシーケンシャルに自動操作可能としたもので, これによって起動時, 負荷時のバーナ操作はすべて中央室から行なわれる。

APS, 自動バーナ制御装置はともに火力の自動化を一步前進させるものと期待される。

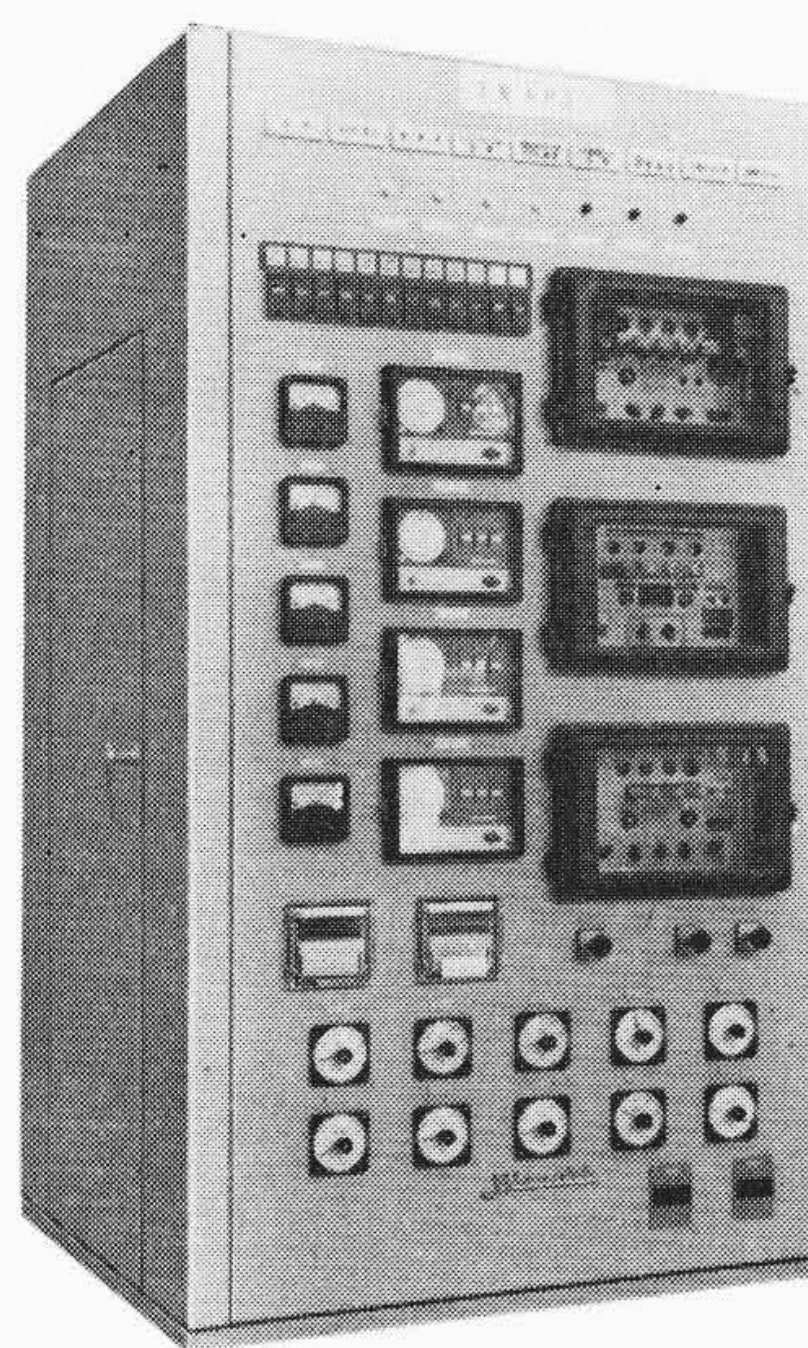


図1 自動プラント起動装置(APS)盤

■ 広範囲速度制御装置の開発

タービン制御自動化の一環として、ターニング速度から定格回転数まで自動的にタービン速度を昇速する広範囲速度制御装置を開発し、175 MW のタービンとの組合せ試験において優秀な結果を得たので、これを日本国有鉄道川崎火力 3 号 75 MW、電源開発竹原火力 1 号 250 MW 用として製作中である。従来、タービン昇速は调速機の作動範囲外であるため、運転員の遠隔手動操作に頼っていたが、タービン起動を自動化する場合には、この装置は必要不可欠のもの

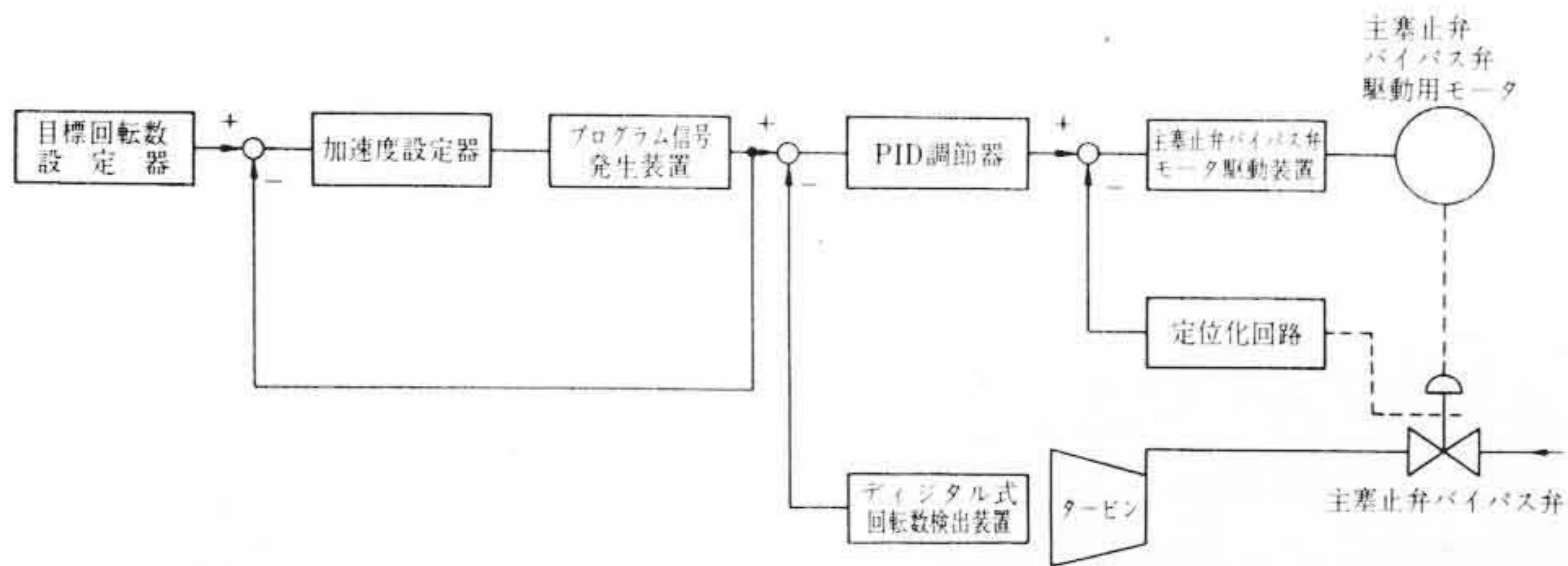


図1 広範囲速度制御装置制御方式

となる。本装置の制御方式は図1に示すように、設定器により目標回転数と加速度を与える、これら2種の指令を受け、目標回転数プログラム信号を発生し、この信号に追従してタービン回転数を昇速する。

タービン回転数はデジタル式回転数検出器により磁氣的に繰返し方形波として検出されるので、従来の回転発電機方式では得られなかった回低転数の検出および制御が可能となる。また主塞止弁バイパス弁駆動用モータは定位化しPID制御方式を採用することにより追従性の向上を図っている。175 MW タービンとの組合せ試験の結果、ターニング速度より定格回転数までの昇速の追従試験においてすぐれた結果を得た。図2は装置の外観である。磁気演算増幅器、SCR 駆動装置などにより信頼性の高い機器としている。

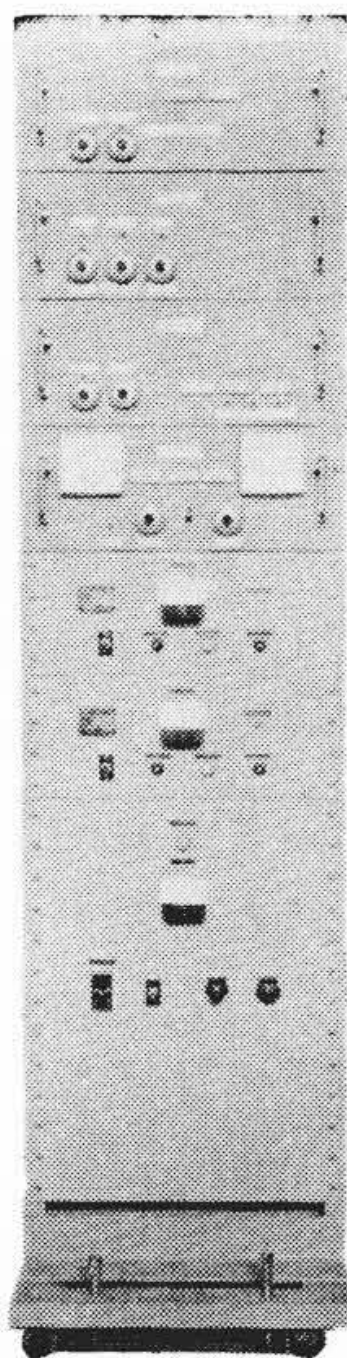


図2 広範囲速度制御装置

■ 輸出火力発電所用相分離形密閉母線およびメタルクラッド配電盤

インド・コタクデム発電所1,2号発電機用として納入した相分離形密閉母線およびメタルクラッド配電盤は、BS規格により製作したもので高度の信頼性、保守点検の容易さのほか、特殊な設置環境および安全性を考慮したもので、おもな特長は次のとおりである。

(1) 13,800 V 相分離形密閉母線

66 MVA 発電機の主回路(3,000 A)および所内回路用で、多雨多湿を考慮し絶縁抵抗の低下防止および回復をはかるため熱風乾燥式除湿装置を備えている。

(2) 3,300 V 高圧補機用メタルクラッド配電盤

水平引出形磁気遮断器を収納したもので、保守点検が安全に行なえるよう断路部のシャッタに鎖錠装置が設けてあり、また遮断器を通して電力ケーブルを接地するケーブル接地装置を備えている。一方、虫や小動物の侵入による事故を防止するため完全な防虫構造になっている。また誤操作防止のため操作開閉器、切換開閉器および保護継電器には鎖錠または封印が設けてある。

(3) 400 V 低圧補機用メタルクラッド配電盤

水平引出形気中遮断器を収納したもので、断路部にシャッタを備えている。気中遮断器は過電流引きはずし装置を内蔵しており、別に保護継電器を用意する必要がない。なお高圧補機用メタルクラッド配電盤と同様防虫構造になっている。

なおマニラ電力テーゲン発電所にも1号発電機用として15,000

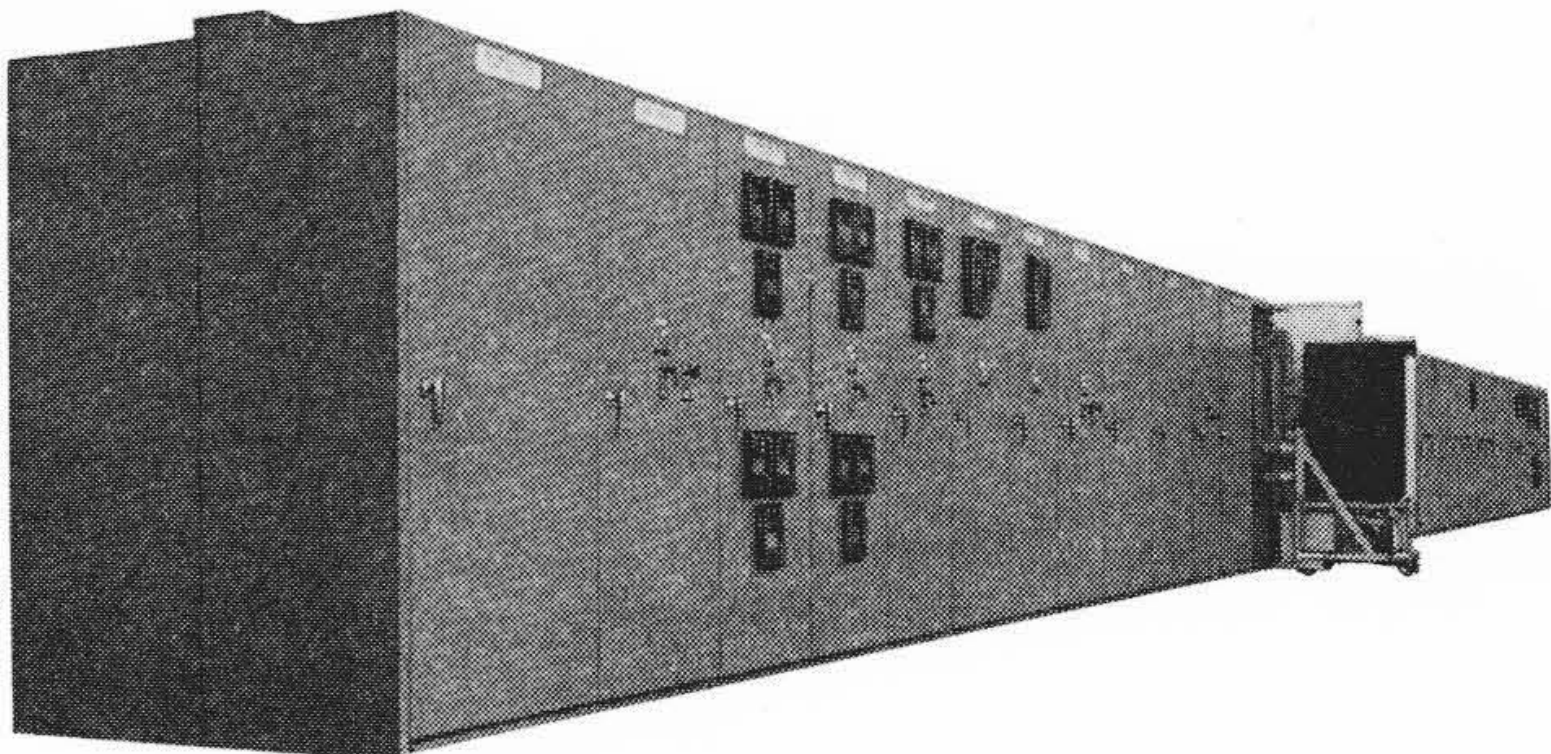


図1 メタルクラッド配電盤

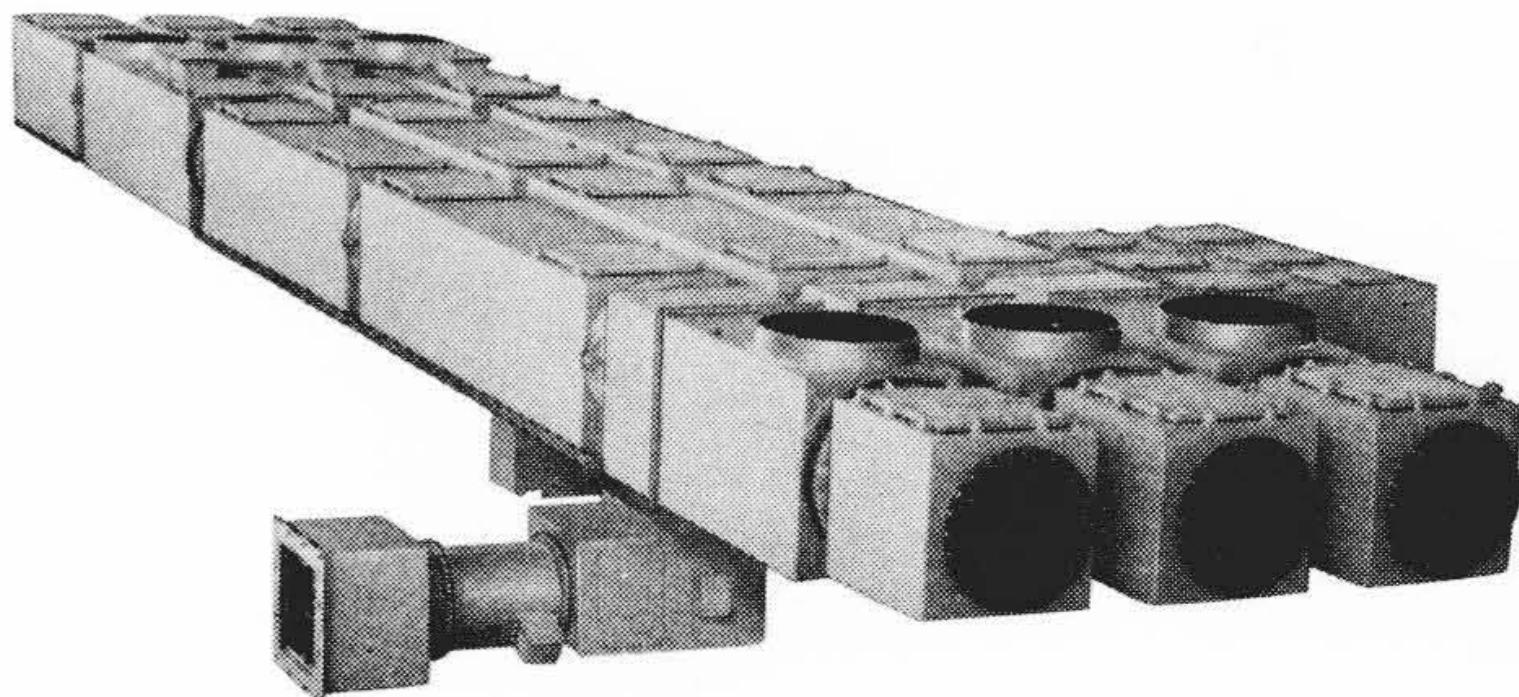


図2 相分離形密閉母線

V・5,500 A 相分離形密閉母線、4,160 V 垂直引出形磁気遮断器および600 V 水平引出形気中遮断器を収納したメタルクラッド配電盤を納入したが、NEMA規格を満足するものである。