

インド・コタクデム発電所納
60,000 kW 火力発電設備
 60,000 kW Thermal Power Plant for Kothagudem Power Station in India

谷 岡 啓 次 郎* 西 村 正 臣**
 Keijirō Tanioka Masaomi Nishimura
 湯 川 貞 雄** 岸 野 竜 夫**
 Sadao Yukawa Tatsuo Kishino

要 旨

インド・コタクデム発電所納 60,000 kW 火力発電設備は、中容量タービンとして種々の特長を有しており、日立としては製作実績も多く非常に信頼性の高いプラントである。
 本発電設備は 4 台とも工場製作を終わり、現在現地において据付中で 1966 年初めに運転開始の予定である。
 本稿においては、この 60,000 kW タービンプラントの概要およびその特長を紹介する。

1. 緒 言

インド・アンドラ州電気局コタクデム納タービン発電機および付属装置 4 台は工場製作を終わり、現地据付中である。1966 年初めには 1 号機が運転開始の予定で、1967 年初めまでには 4 号機まで完成し、合計出力 240,000 kW の発電所となる。

本プラントはイギリスにおけるもっとも大きな技術コンサルタントの一つである Ewbank and Partners の審査する国際入札において 1963 年欧米各社との激しい技術競争の結果 1 号機から 4 号機まで合計 4 台の受注に成功したものである。

さきに受注したシンガポール納 60,000 kW 4 台と同様、イギリスのコンサルタントから、日本、アメリカとは異なった種々の特殊仕様を要求されたが、これらを完全に満足して設計、製作されている。

なお、本発電所は、タービン発電機、ボイラ、純水装置、スクリーンプラントなど、すべての機器が日本製でその完成が、今後さらに増加が予想される火力プラントの海外輸出への大きな足がかりとなるものである。以下本プラントの概要について述べる。

2. プラント概要および全体配置

2.1 プラント概要

本タービンプラントは高温多湿の気象条件下にあっても十分な安全性が得られるよう十分な考慮が払われている。タービン発電機の計画仕様は次のとおりである。

形 式	くし形衝動式 2 車室 2 流排気形
定 格 出 力	60,000 kW
回 転 数	3,000 rpm
主蒸気圧力(主塞止弁前)	87.9 kg/cm ² g
主蒸気温度(主塞止弁前)	510°C
排 気 圧 力	696.5 mmHg
抽 気 段 数	5 段
給水温度(定格出力時)	212.8°C
タービン段落数	22 段
最 終 段 翼 長	508 mm
発 電 機 容 量	66,666 kVA
水 素 圧 力	15 psig
力 率	0.9 (遅れ)
電 圧	13,800 V

* 日立製作所電機事業部

** 日立製作所日立工場

短 絡 比	0.8 以上
中 性 点	変圧器接地
励 磁 電 圧	375 V
直結励磁機容量	240 kW

図 1 に示すとおり給水加熱装置は、高低圧各 2 段および脱気器 1 段の合計 5 段抽となっている。

復水器および脱気器の水位制御方式としては空気作動式調節弁が使用されているが、給水加熱器水位制御にはオリフィス制御方式が採用されている⁽¹⁾。ただし第 4 高圧給水加熱器はドレンのフラッシングを考慮して給水加熱器内部にドレン冷却部を設けて空気作動式調節弁を用いている。

ボイラ給水ポンプは 100% 容量 2 台であるが、そのうち 1 台はタービン駆動で回転数制御を行なっている。この給水ポンプ駆動用タービンは高温高圧の背圧式で、駆動蒸気には主蒸気を使用し、タービン排気は脱気器に回収しており、電動給水ポンプからタービン駆動へ切り換える場合に急速起動が可能ないように特別な考慮が払われている。

2.2 全 体 配 置

本プラントの配置的特長は図 2 および図 3 に示すとおり、タービン室を地面より 3,000 mm 掘り下げ -3,000 mm, 0.0 mm, 3,500 mm および運転床面 6,000 mm の床面にそれぞれの機器を配置していることである。図 2, 図 3 は 1, 2 号機であるが、3, 4 号機はこれとまったく対称の配置となっている。

本プラントは屋内式でタービン軸心がボイラ軸心と直角になる T 形配置を採用しており、給水加熱器は立形で高低圧それぞれ 2 本ずつまとめてタービン横に配置されている。脱気器は、タービン室とボイラ室の間の 21,000 mm の高さに据え付けられており、給水ポンプに十分な押込圧力が得られるように計画されている。

給水ポンプは 1, 2 号機用としてタービン駆動、電動駆動各 2 台を 1, 2 号機の間 0.0 mm 床面に配置している。空気抽出器 3 台、グランドコンデンサ 1 台はいずれも 3,500 mm の 2 階に配置している。復水ポンプは -3,000 床面にピットを掘り、立形ポンプを据え付けているので、十分な NPSH が確保されている。

3. タ ー ビ ン

3.1 構造上の特長

本タービンの断面を図 4, 工場組立中の写真を図 5 に示す。本タービンは国内において、すでに 14 台が同一仕様のタービンで運転されており、その安全性、強度、運転性能については十分の実績がある。ここにその構造上の特長を説明する。

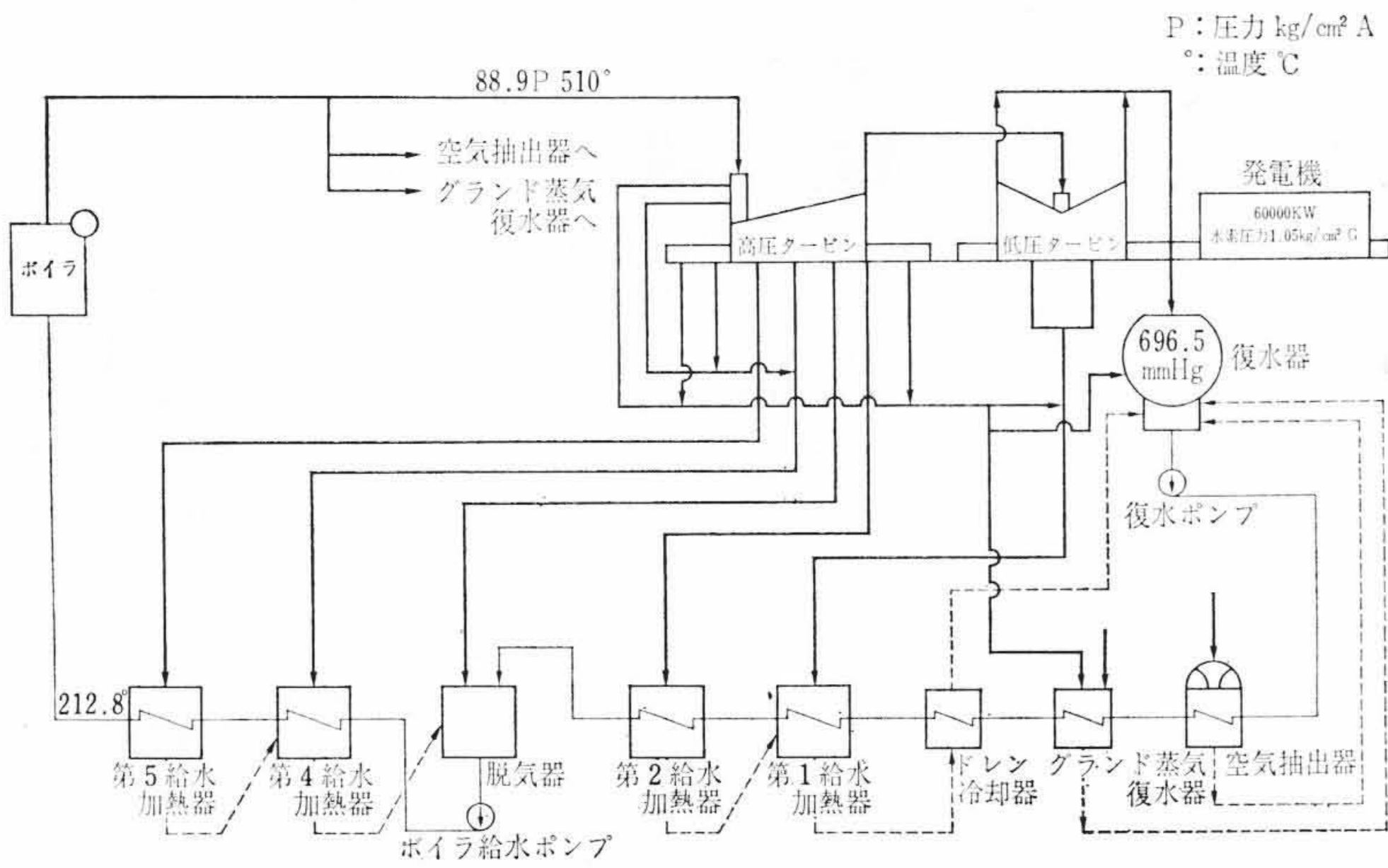


図1 配管系統図

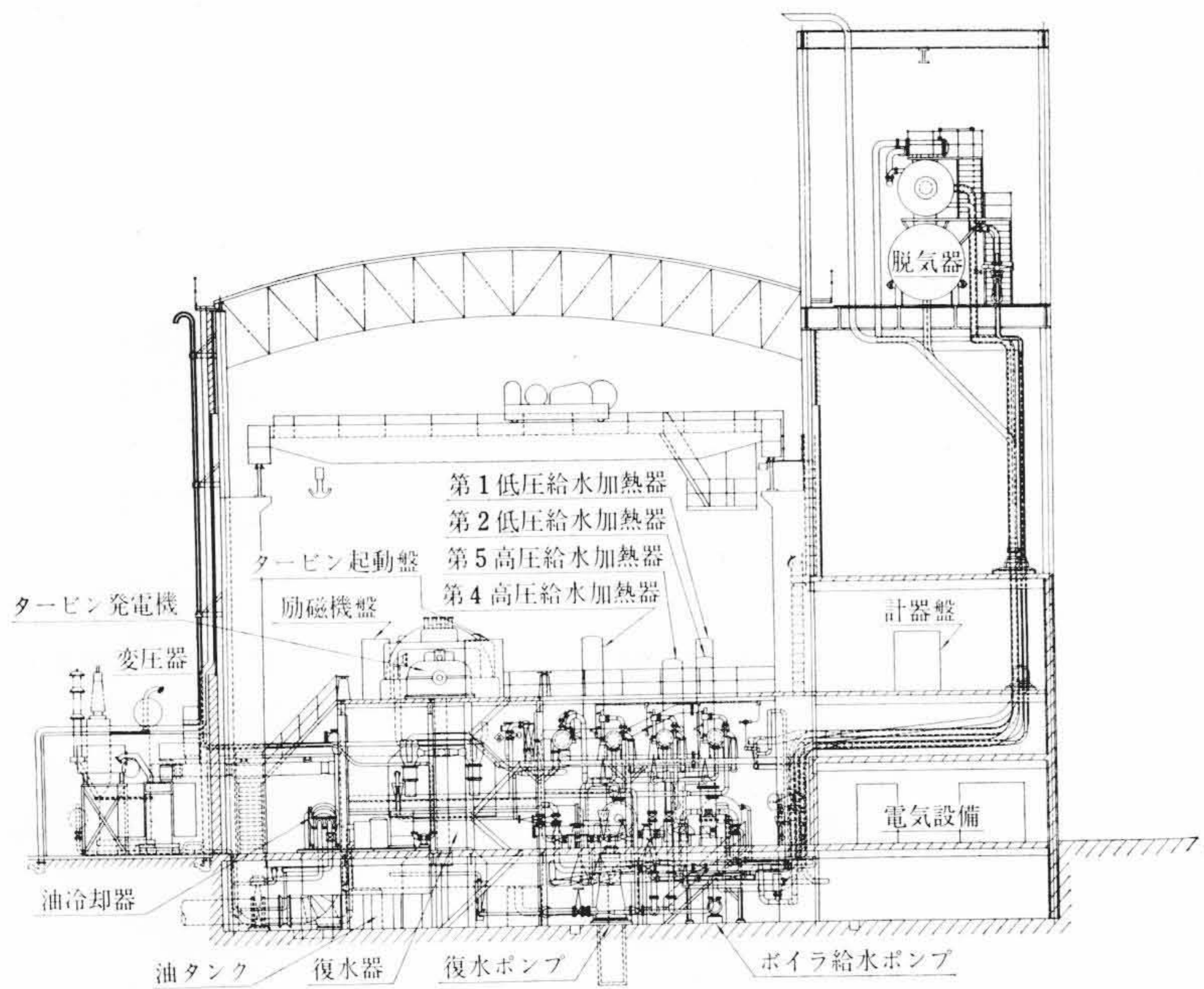


図2 タービン室配置側面

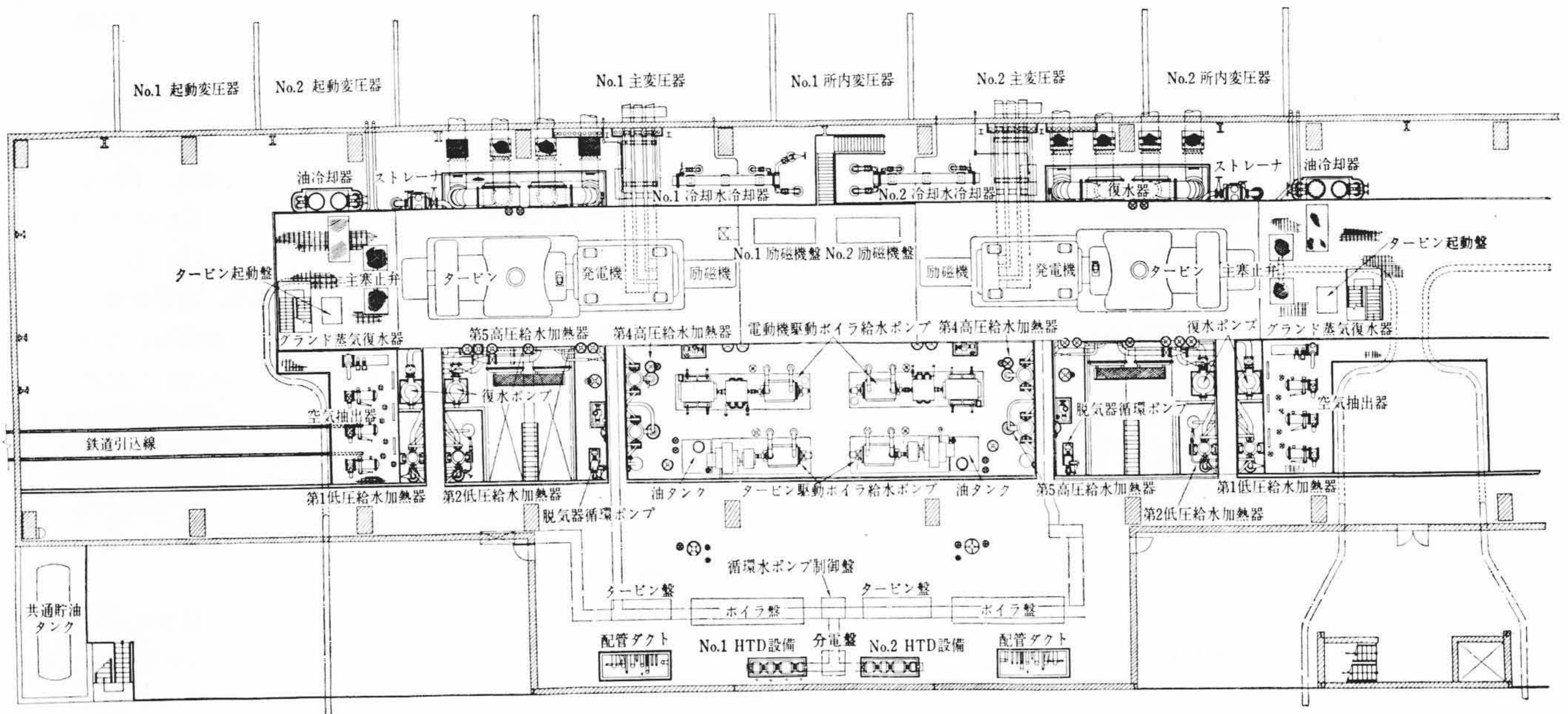


図3 タービン室配置平面

本タービンは非再熱タービンであるため低圧段落では蒸気中の水滴による侵食が問題になるが、低圧側の各段落の動翼出口において遠心力によって汽水分離された水滴がダイヤフラムに設けられた室内へ導かれ、水滴による動翼の侵食を防いでいる。

また、動翼のうち最終段翼はもっとも周速が大きく、また湿度も高いので水滴による侵食が問題になるが、動翼の蒸気入口側にステライトの板を銀ろう付けし、その侵食を皆無にしている。なお動翼は13Crステンレス鋼であり、その耐食性は非常にすぐれている。

ロータは高圧および低圧の2本からなり、剛体カップリングで連結されている。このロータ系は三つの軸受でささえられる構造で軸受荷重が安定している。

3.2 ロータおよび翼列

ロータ径のもっとも細い部分に生ずるねじり応力は、定格出力に対してはもちろん十分であるが、発電機が運転中短絡する場合、あるいは非同期併入といった場合に発生する最大のトルクに対しても、そのねじり応力が十分安全であるように、またカップリングは最大トルク発生時、カップリング面がすべらないように設計されている。

運転中の遠心応力に耐えるため、高圧ロータには高温においてクリープ強度の高いCr-Mo-V鋼の1体削出し品を用いている。また、低圧ロータに対しては中心孔部の高応力に対して十分な強度とじん性を有するNi-Mo-V鋼の1体削出し品を用いている。

3.3 蒸気シール機構

本タービンにおいては、タービンの起動停止および負荷変動時のグラントシステムの調整の取扱いの不便をいっさいなくした完全な蒸気シール機構を採用している。すなわち本タービンではすべてのグラントに完全な蒸気シールを採用し、精度の高い衛帯蒸気調整機およびグラントエキゾーストシステムの採用と相まってグラント蒸気調整の完全な自動化が行なわれている。

3.4 車室

低圧車室は鋼板製で運転中の車室内外の圧力差に対し

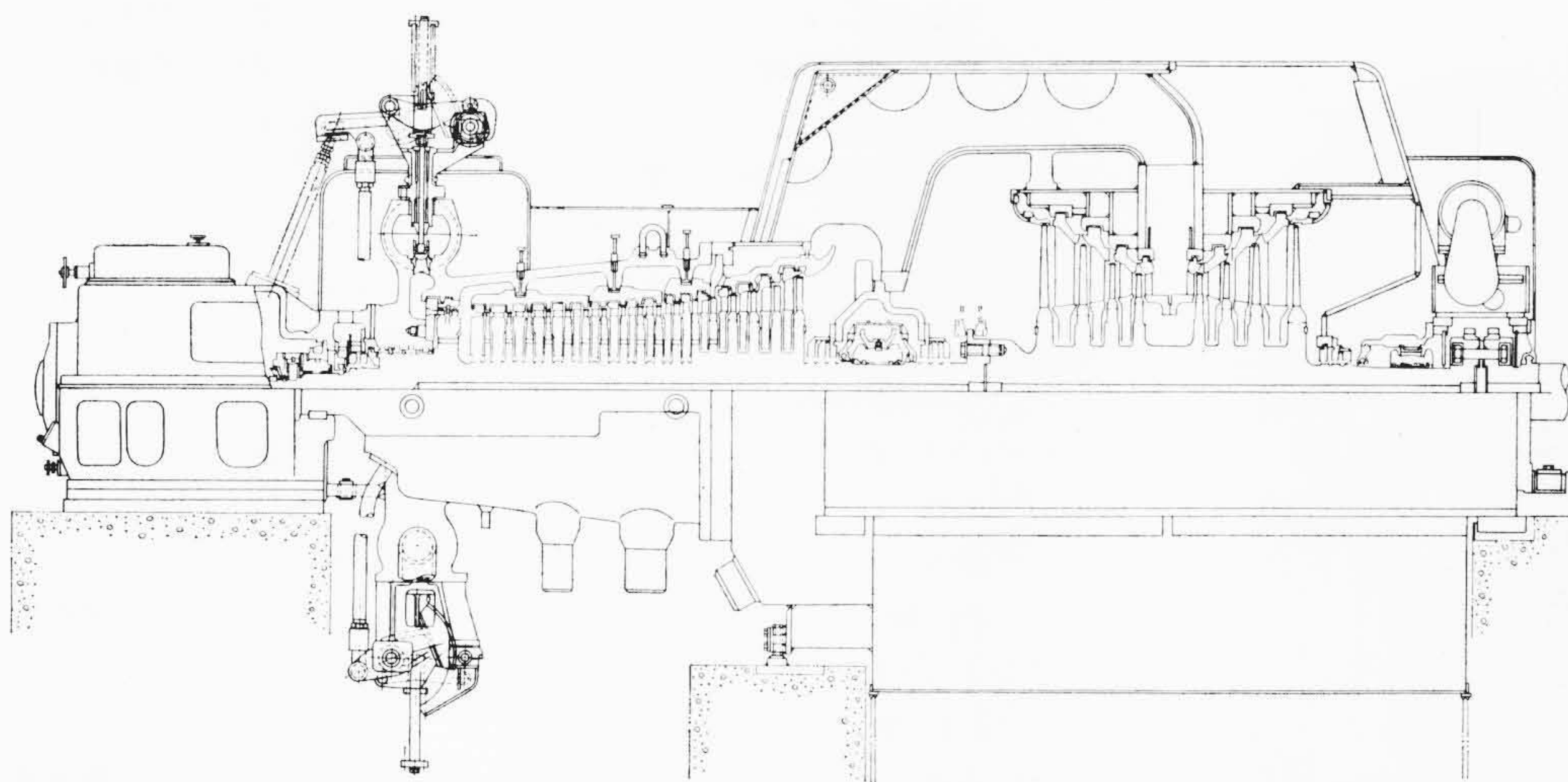


図4 60,000 kW TCDF-20 形タービン断面図

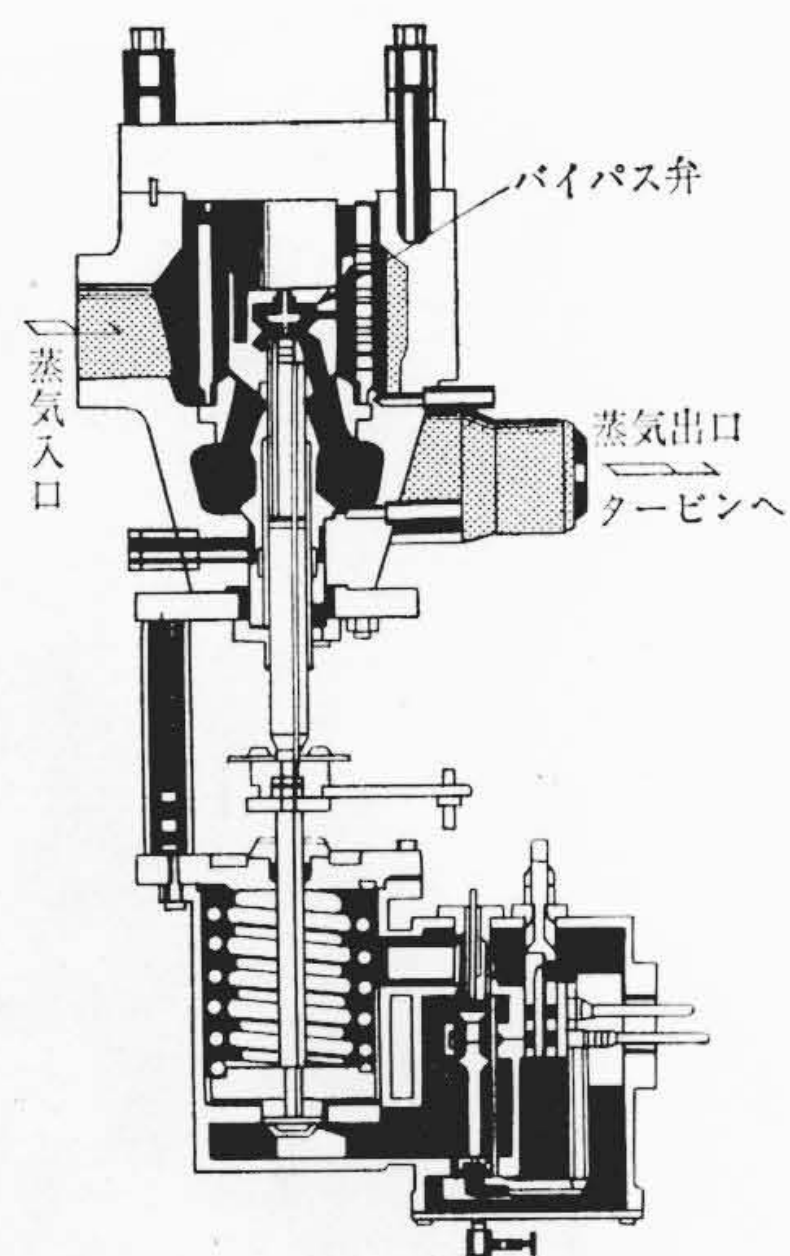


図6 主塞止弁バイパス装置

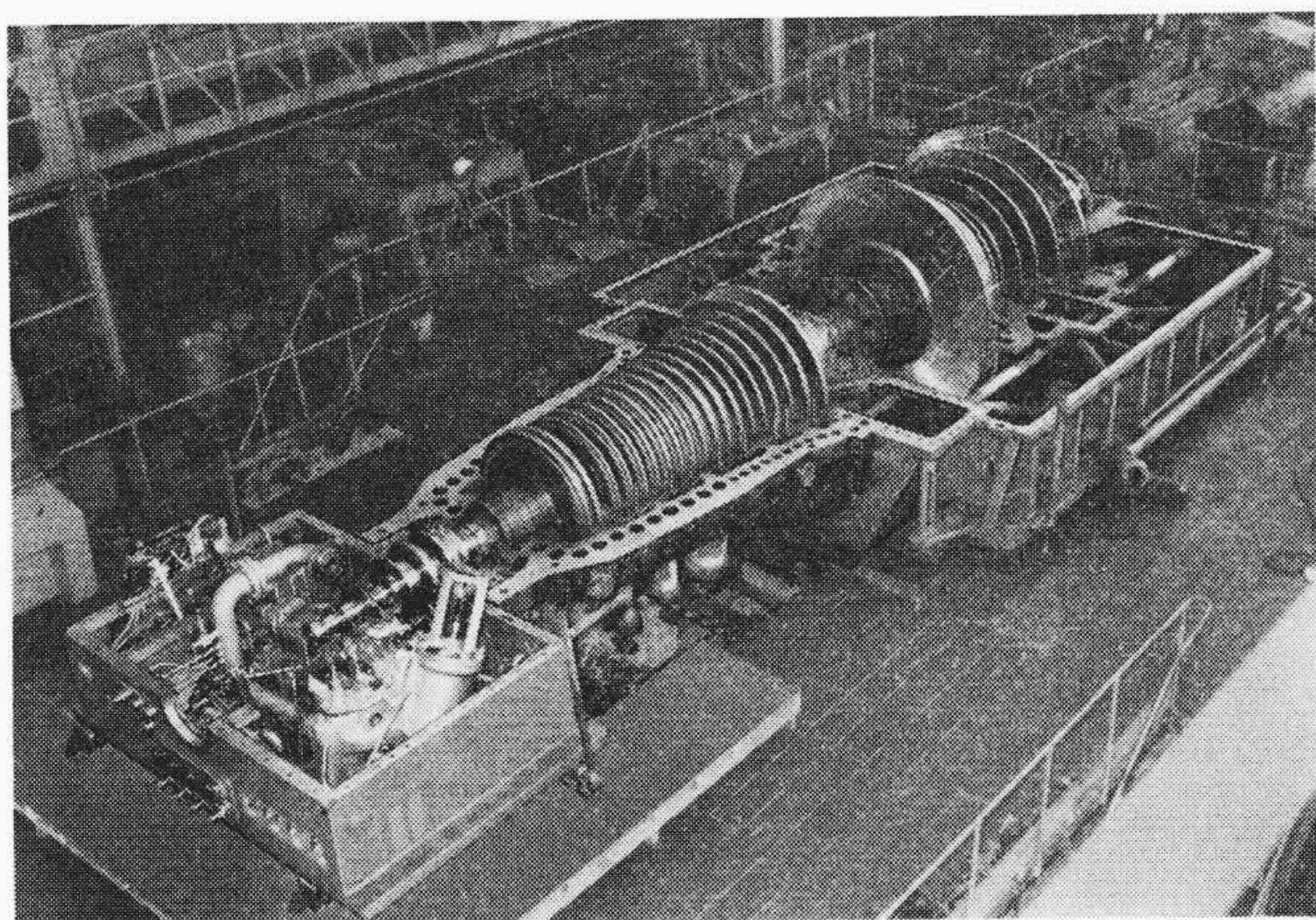


図5 工場組立時の 60,000 kW タービン

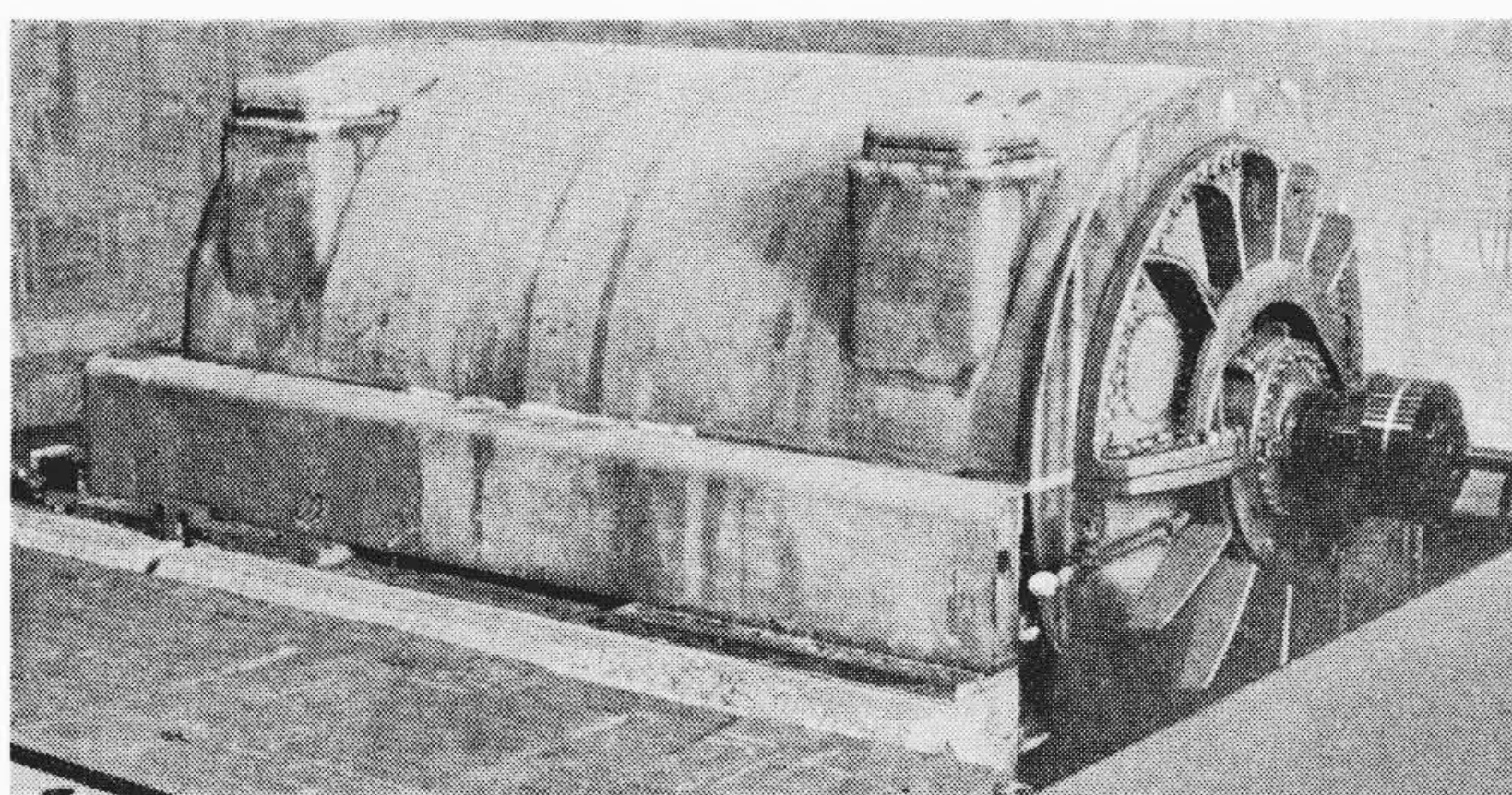


図7 工場試験中の 66,666 kVA 発電機

て十分な剛性をもつように設計されている。また低圧車室は中央部において、タービン軸と直角方向にキーにて基礎に固定されており、このキーはタービンと基礎との唯一の固定点であり、運転時において、車室はこのキーを中心として前後へ伸びる。高圧車室は2重構造で内部車室の熱変形を防止することにより運転操作の安全性を高めている。また外部車室には高温クリープ強度の高いCr-Mo 鋳鋼を用いている。

3.5 運転制御

本タービンの制御系統において運転の合理化と安全性を高めるため最近の大容量再熱タービンに適用されている主塞止弁バイパス起動装置が用意されている点が特長である。回転数および負荷上昇に

あたって、従来は主塞止弁を全開して加減弁を第1弁、第2弁……と順次開いていく方法であったが、この方法では急速起動時などにあるノズル群のみ加熱されることになり、第1段落の高温高圧部車室に過大な熱応力を発生する恐れがあった。しかし本タービンに用いた主塞止弁バイパス起動装置においては起動時に加減弁をすべて全開しておき主塞止弁内に内蔵されたバイパス弁の開度を制御することによって蒸気流量を調節するので、蒸気は全周に様に流入し、高温高圧部のケーシングの均一な加熱暖機が可能となる。このバイパス弁によって定格負荷の20%まで負荷上昇でき、その後主塞止弁を全開して加減弁による调速運転にはいる。図6は主塞止弁バイパス装置断面図である。

4. 発電機

4.1 発電機の構造

本器は、日立製作所としてインド国初の水素冷却発電機であり、またインドの国情に起因する仕様上の特異性があった。国内電力会社用として、容量320,000 kVA、50 c/s、回転子直接水素冷却形タービン発電機、あるいは300,000 kVA、60 c/s、固定子油冷却タービン発電機の製作実績を有する日立製作所としては、容量的に特筆すべきものではないが、仕様上の特異性を満足させるために十分な検討を経て設計製作されたものである。図7は工場試験中の本機の外観である。以下本機の構造について説明する。

4.1.1 固定子

水素冷却発電機の基本的形式のもので、がん強な鋼板の溶接構造からなる固定子わくの両端部に4本の水素冷却器が装置されている。固定子わくの両端の端板はブラケットとなっており軸受および軸密封装置を備えており、ブラケット自身がまた気密外わくの一部を形成している。固定子外径寸法についてはマドラス港より鉄道輸送によらねばならなかったため、輸送制限がきびしく、特に小さくすることが要求された。固定子鉄心、固定子の固有振動数、変形、応力および通風などを綿密に解析することにより固定子外形を小さくするとともに、水素冷却器の高さを低く設計することによって輸送制限寸法内に入れることに成功した。

固定子鉄心は軸方向に取り付けられたスプリングバーによって支持されており、鉄心の2倍周波数の振動が外部に伝わらないようになっている。固定子鉄心には方向性ケイ素鋼板を使用し、鉄心重量、寸法を大幅に軽減した。

4.1.2 固定子巻線

固定子線輪に1ターンコイルを採用し、線輪の絶縁には日立製

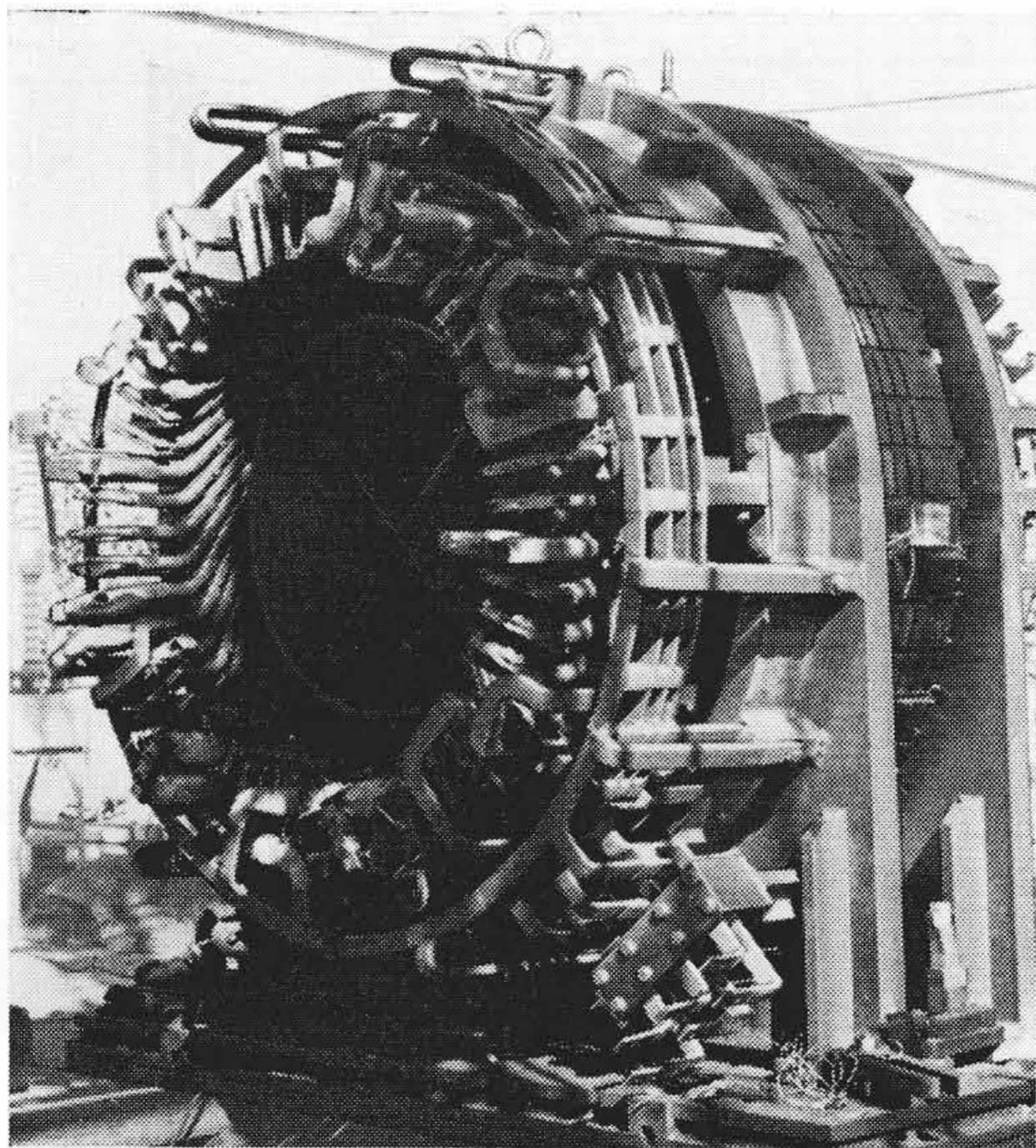


図8 短絡試験用実物大モデルステータコイル

作所で開発されたSLSワニスを使用している。

本機は、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巻線を含むすべての部分に損傷のないことという仕様を確認することができた。

日立製作所ではすでに実物大モデルコイル(図8)を使用して、全電圧短絡時の固定子コイル端部の支持方法、各部の強度などを十分に検討してきた。本機は、この結果に基づいて設計製作されたので、突発短絡試験においてもなんらの損傷もなく、優秀な成績を収めることができた。

4.1.3 回転子

回転子軸材には高抗張力の磁気特性にすぐれたNi-Mo-V鋼の単一鋼塊のものを使用している。本鋼材は超音波探傷試験、深部コアドリル試験にも余裕をもって合格している。回転子はこの単一鋼塊からけずり出したもので、線輪みぞの底の通風みぞおよび歯間の通風みぞを加工して、両者を横穴で連結して、回転子両端より吹き込まれた冷却水素がこれらのみぞを通過して界磁を有効に冷却するようになっている。

界磁線輪には、少量の銀を添加した硬銅線を使用し、クリープ

強度の高いものとしている。界磁線輪絶縁物は機械的耐圧力の大きい、固く圧縮したマイカを主体とするもので運転中絶縁物に加わる以上の温度圧力で焼き付けた信頼度の高いものである。

4.1.4 軸密封装置

軸密封部は図9に示すように、軸ジャーナル部にシールリングを設けてある。リングは特殊合金製のセグメントを組み合わせたものでそれがさらに軸方向に二つに分離されたものがシールケーシング内に収められ、上下二つのコイルスプリングによって締めつけられている。これらのリングはジャーナル軸径に対してわずかの間げきをもっており、細げき部に油膜が形成されて密封の機能をもつものである。リングは半径方向には自由に膨張できるが、軸とともに回転できないようシールケーシングからの突起によって保持されている。

4.2 水素冷却方式

水素冷却には連続掃気式を採用している。これは密封油に無処理の軸受油を使用するもので、装置が簡単化され、保守が容易である。

シールリング(図9)の水素側に流出した密封排油中に溶解されている空気が、機内に放出されて水素ガス純度を低下させる原因になるので、純度の低下したガスを連続的に掃気する。一方水素ガスを常時補給することにより、新陳代謝で機内ガス全体の純度を規定値に保つようにしてある。水素ガスは水素ガスボンベから一次、二次減圧弁を経て自動的に機内圧が一定になるように供給される。また水素制御盤が備えられており、これにより常時機内ガス純度、ガス圧力、掃気純度などを監視できるようになっている。

5. 復水装置および給水加熱装置

5.1 復水器

図10は工場組立中の復水器の外観である。本復水器は角形放射状管配列をもつもので多数の実績に基づいて設計されたものである。

(1) 冷却管束は左右上下4管束に分かれ、各管束は放射部、密集部、空気冷却部からなっている。これらの管の配列については蒸気の流れが一様でかつ各部の圧力損失を可能な限り少なくするよう考慮されており、また再熱脱気方式によって復水の過冷却防止、および溶存酸素量の低減がはかられている。

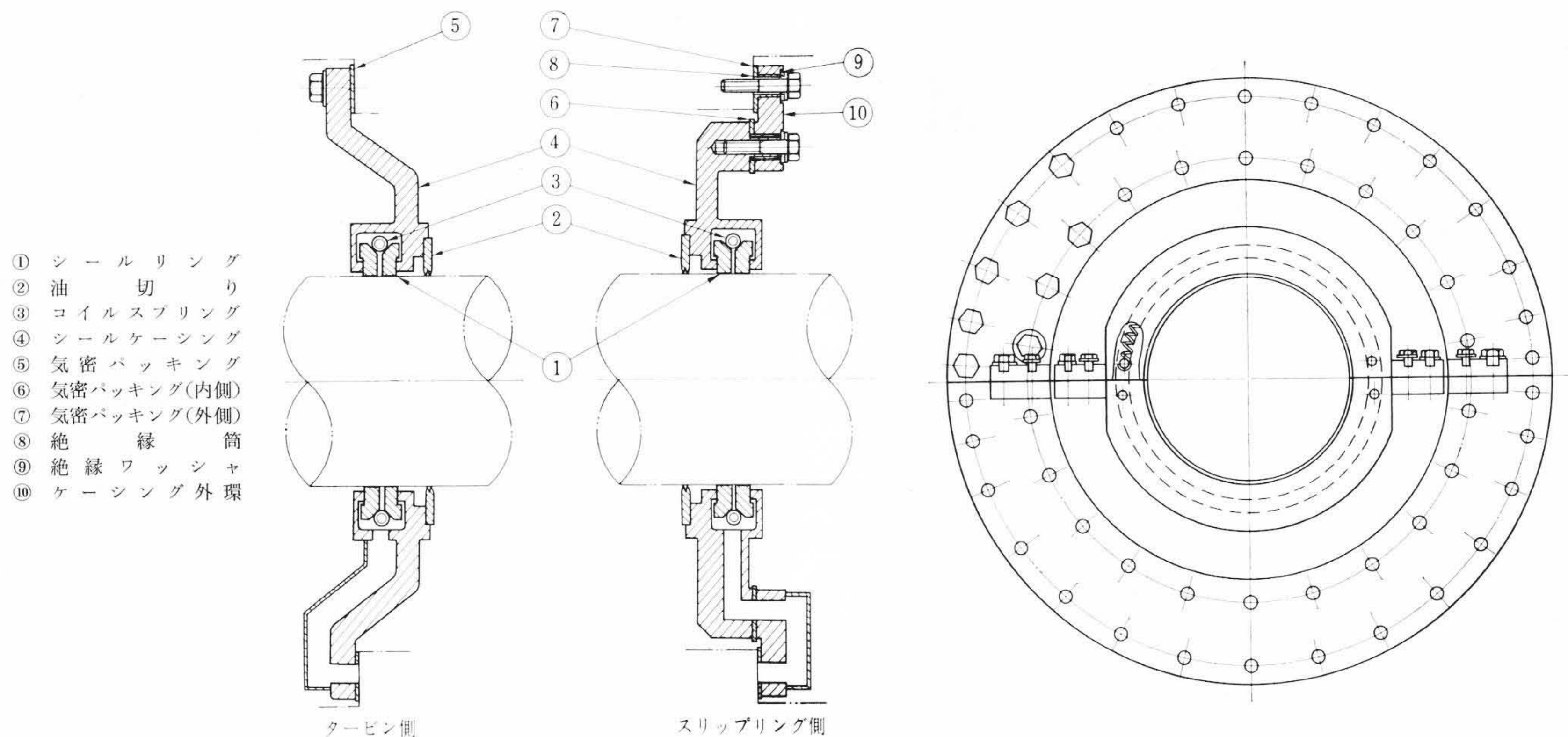


図9 軸密封部

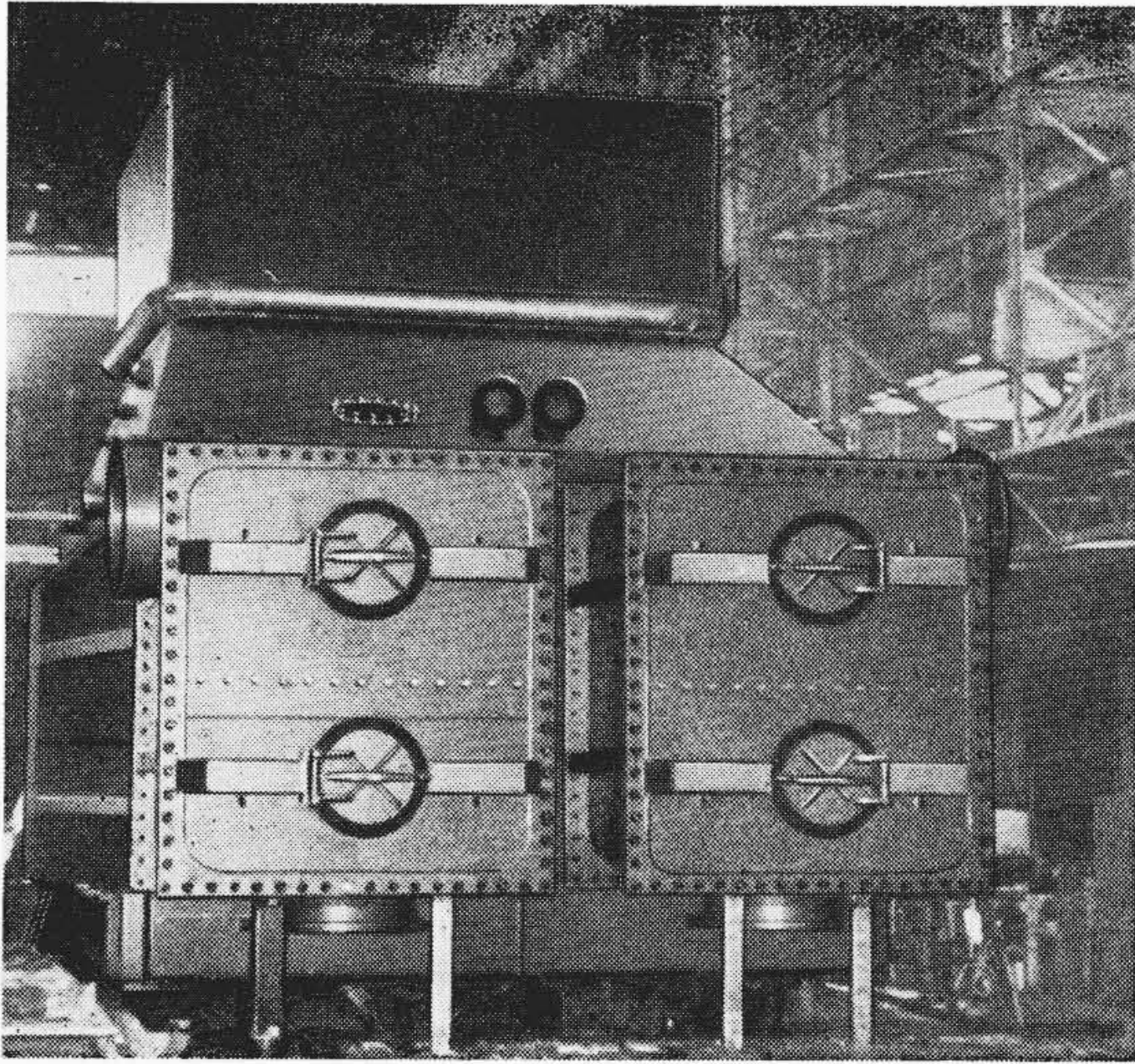


図10 工場組立中の復水器

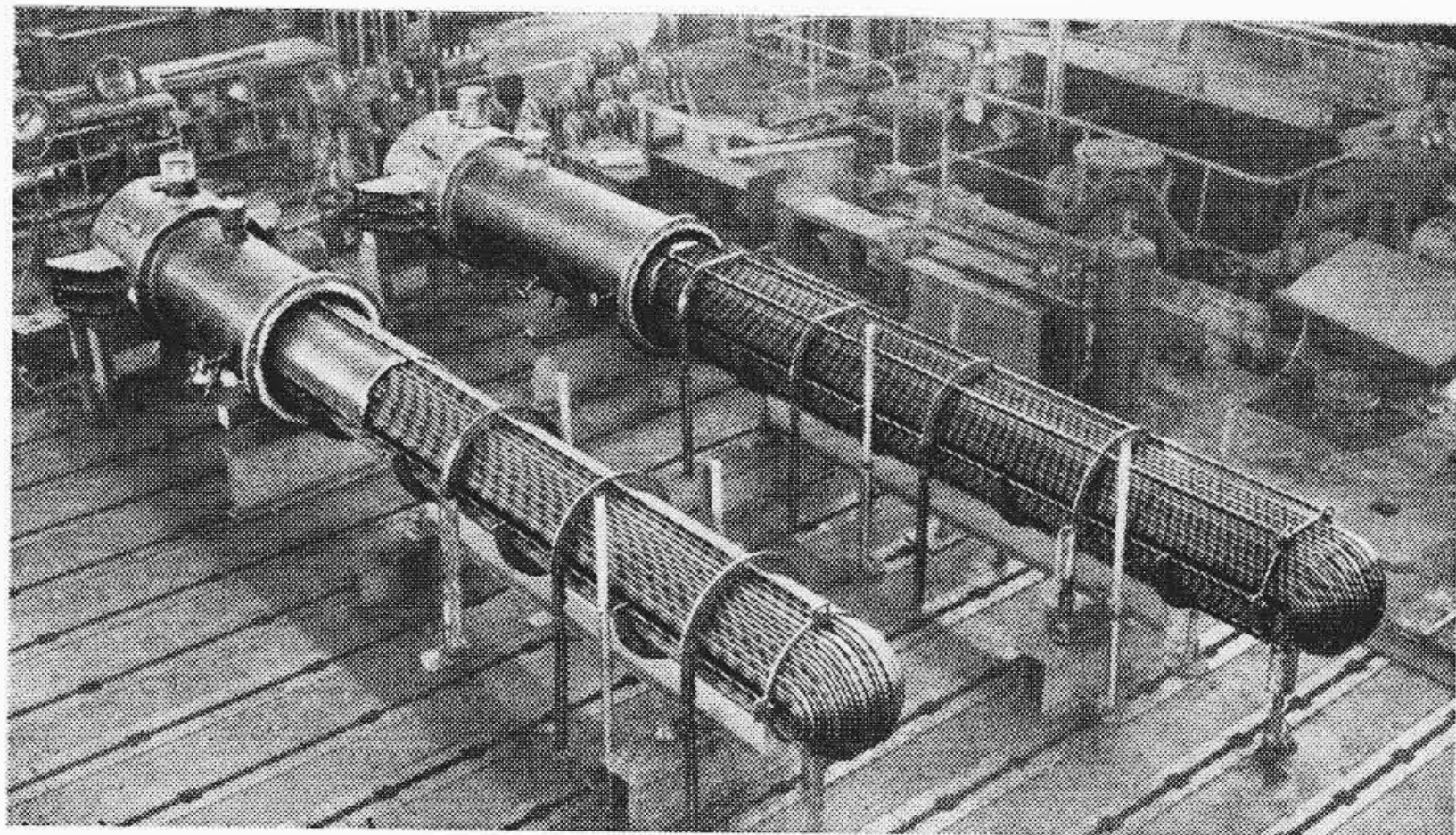


図11 工場組立中の高圧給水加熱器

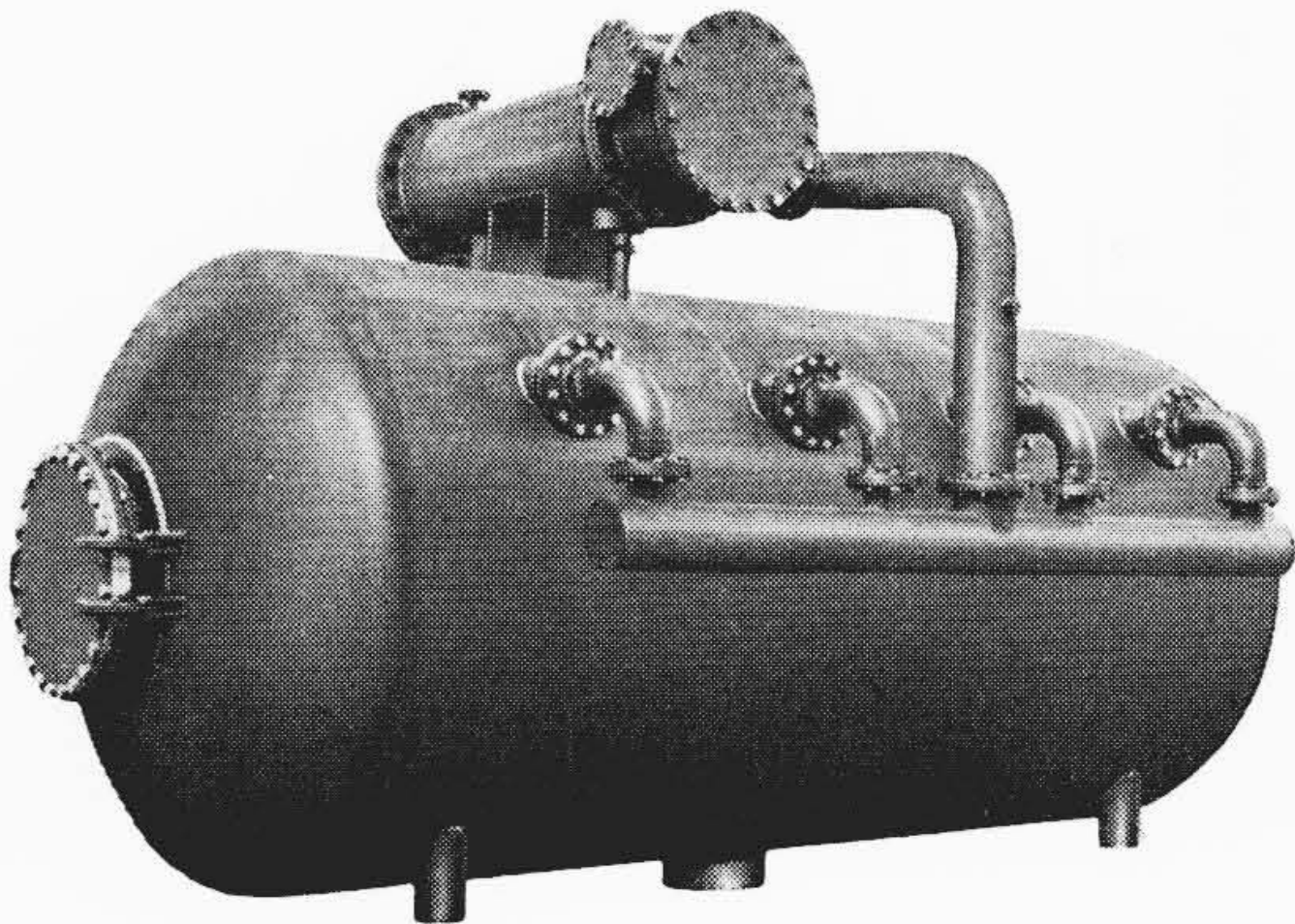


図12 工場組立中の脱気器

- (2) 冷却水は上半部をとおり、ついで下半部を冷却しているが、この方法は蒸気の流動抵抗の少ない上半部に多くの冷却能力をもたせたことおよびサイホン損失の減少などの利点がある。
- (3) 復水器の上部胴体にはステンレス鋼製の膨張継手が設けられ、タービンと復水器間の熱膨張を吸収するようになっている。したがって復水器は基礎上に強固に支持されている。

5.2 高圧給水加熱器

図11は工場組立中の高圧給水加熱器である。高圧給水加熱器には次のような特長がある。

- (1) Indian Boiler Act の規定に基づき Indian Boiler Regula-

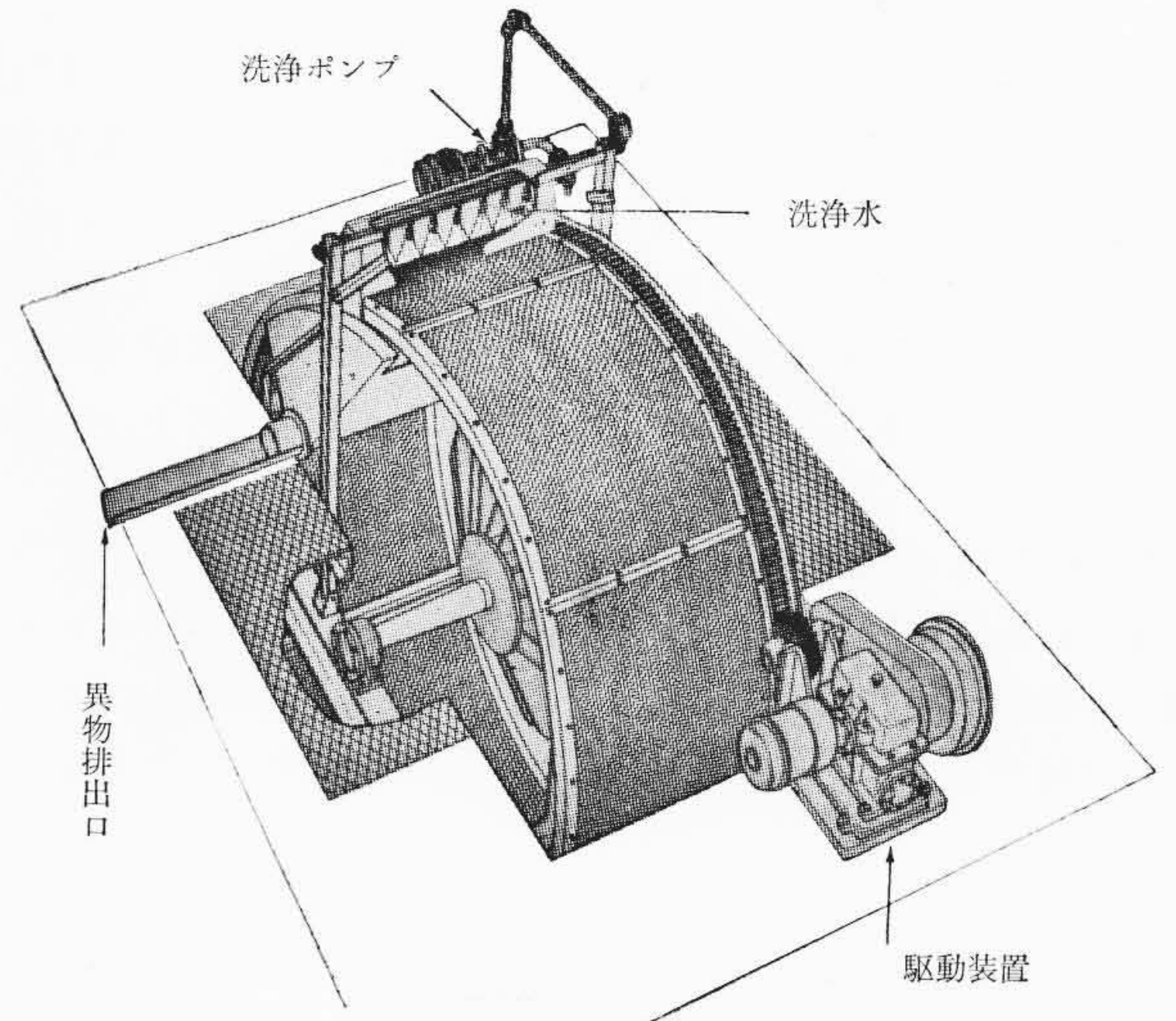


図13 カップ形スクリーンプラント構造説明図

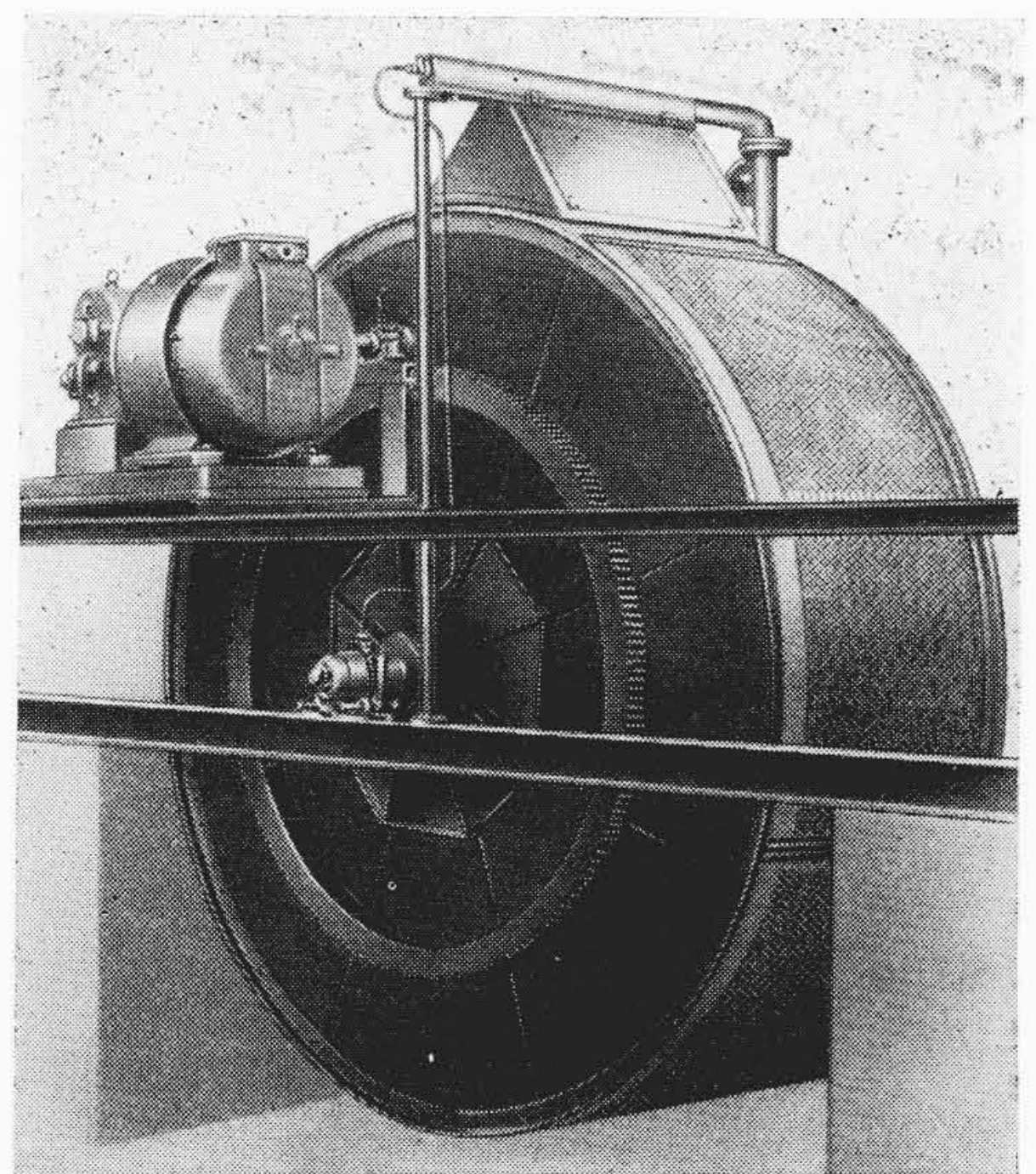


図14 カップ形スクリーンの組立

tion (I. B. R) に準拠し、特にかんじょうな設計が行なわれている。

- (2) 加熱管に鋼管のUチューブを使用し、その両管端を拡管によって取り付けている。
- (3) 水室は高圧に耐える構造とするため鍛造品で一体に作られており、水室ふた部は、解放組立の容易なロックヘッド形が採用されている。

5.3 脱気器

プラントの蒸気条件が高温高圧であることのほか給水加熱系統に鋼管式給水加熱器を使用している関係上、給水の脱気には特に考慮が払われている。本脱気器においてはタンク内に十分な容量の電熱加熱器を設け、タービンの停止中の加熱蒸気がまったく得られない場合にも給水の加熱脱気が行なえるようになっている。また起動時の対策としては主蒸気より脱気器への減圧減温装置を設け脱気器循環ポンプを使用して完全な脱気をはかるよう計画されている。図12は工場において組立中の脱気器を示したものである。

5.4 冷却水除じん用スクリーンプラント

本プラントの冷却水には冷却塔を使用しており、その補給水は構造簡単で取扱いの容易なカップ形スクリーンプラントを通して川から取水している。カップ形スクリーンプラントの構造説明図を図13、

図14に示す。図13において冷却水はカップの左側より流入し、スクリーンを通過して円周方向に流出する。カップは駆動装置によって回転しており、金網にかかったゴミ、異物は洗浄水で洗い落とされて異物排出口から外部に取り出される。

このカップ形スクリーンは水位の変動が少なく直径が7,500 mm以下の比較的小容量のものに適しており、国内で一般に使用されているペルト形に比較してカップと水路とのしゅう動部のシールが容易である。

5.5 その他の機器

以上のほか低圧給水加熱器、空気抽出器、グランドコンデンサなど種々の機器が設置されているが、いずれも多年の実績に基づいて、特に輸出先の使用条件に合致するように設計製作されたものである。

6. 結 言

以上、インド・コタクデム発電所納60,000 kWタービンプラントの概要について述べたが、日立製作所では、このほかフィリピン・ターゲン発電所納100,000 kW再熱ボイラ、タービンプラント2台、シンガポール納60,000 kWタービンプラント4台をはじめ合計20台、約1,000,000 kWのタービンプラントを輸出しており、世界各国の顧客の要求する特殊仕様に応ずる態勢を確立している。

本プラントがインドの電力事情の改善と日本の火力発電プラントの輸出拡大に貢献することを期待する。

参 考 文 献

- (1) 谷岡, 田内, 佐藤: 日立評論 47, 1641 (昭40-10)
- (2) 中崎, 谷岡, 植西: 日立評論 44, 835 (昭37-6)



特 許 の 紹 介



特許第450189号(特公昭39-27199)

及川 充

電 気 発 光 素 子

従来の電気発光素子は電気発光体層と導電層との間に二酸化チタンからなる反射性中間層をもうけて、電気発光体層よりの放射のうち観示面と反対方向の放射光を反射せしめ発光効率の向上をはかったものであるが、二酸化チタンを用いるため、この部分の電圧降下分が大きく印加電圧の有効分が小さい。したがって比較的高い印加電圧を必要とする。

この発明はこれらの欠点を改善するもので、中間層として酸化亜鉛または適当な有機色素によって増感された酸化亜鉛を用いたもので、酸化亜鉛は光反射性のかなり大きい物質であるため、電気発光体層の発光波を有効に観示面に反射放射させることができ、増感剤を加えた場合はその種類によって異なった範囲の光に対して光導電

性を示すので、電気発光体層の発光波長成分の一部の光を吸収して光導電特性によって電気抵抗を低下させることができる。特に反射効果を高めるためには中間層の光導電波長のピーク域(図2曲線1)と発光体層の発光波長のピーク域(曲線2)との相互関係を調整することによって、中間層による電圧降下分を小さくして電気発光体層に十分高い電圧変化分を伝達することができる。(米田)

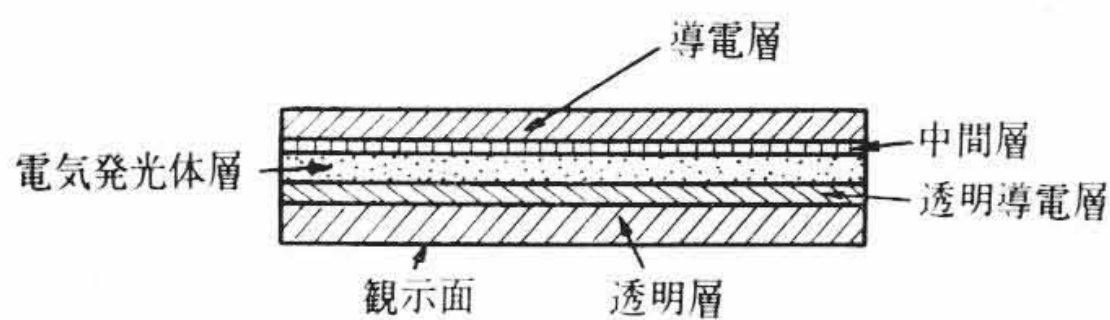


図 1

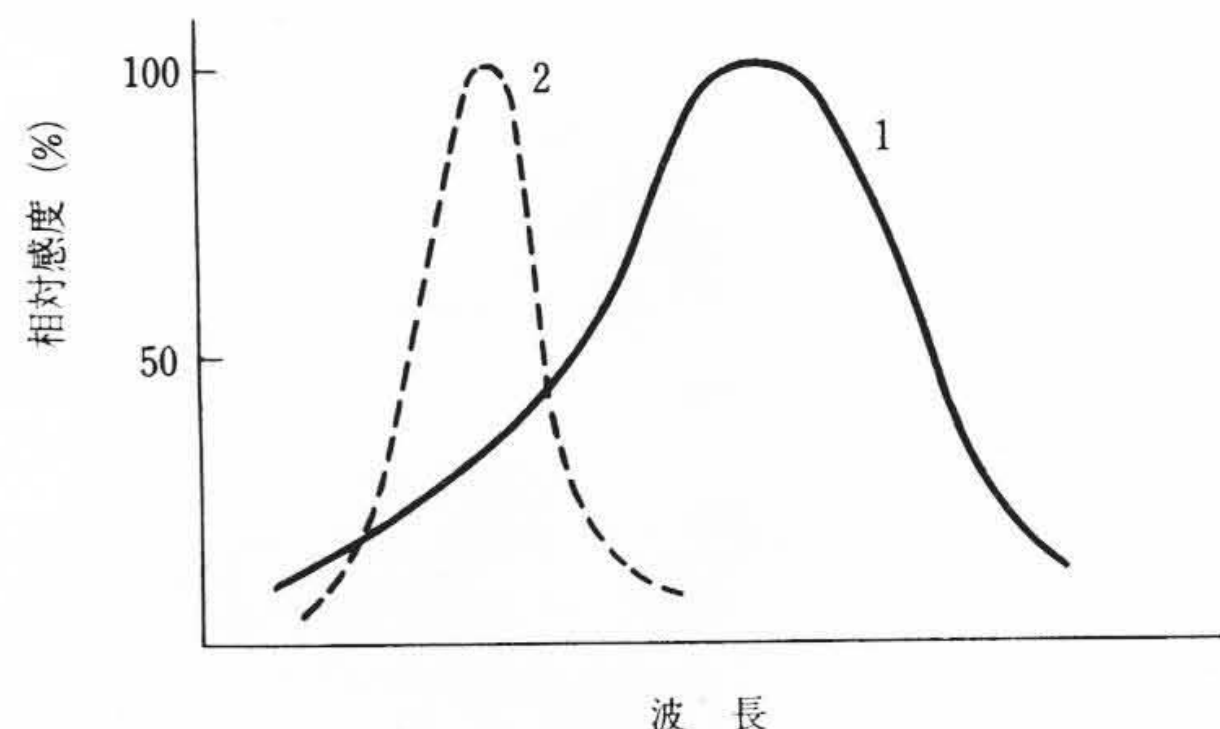


図 2