

フィリピン・マニラ電力納

100,000 kW 蒸気タービンプラント

100,000 kW Steam Turbine Plant for Manila Electric Co., Tegen Station, Philippine

谷岡啓次郎* 二宮敏*
Keijirō Tanioka Satoshi Ninomiya

内 容 梗 概

輸出用として国産初の再熱タービンプラントである題記製品の主要部が今回好調のうちに工場試運転を完了し、船積された。本文では国産火力技術の成果であるこのプラントのサイクル構成、タービンおよびプラント機器の特長について報告する。

1. 緒 言

フィリピン・テゲン火力発電所納の 100MW タービンプラントの主要製品が好調に工場試運転を完了した。このプラントは輸出品としては国産最大容量、国産初の再熱タービンプラントであってボイラ、タービン、発電機、プラント機器その他一式を日立製作所が納入するものである。今後ますます要求の高くなる重電機器の海外市場への進出にとってまさに一里塚を築くものである。

本報告では日立製作所の納入する製品中その基本的要素となるタービン、プラント機器および全体のサイクル構成について報告する。

2. 熱サイクルおよび全体配置

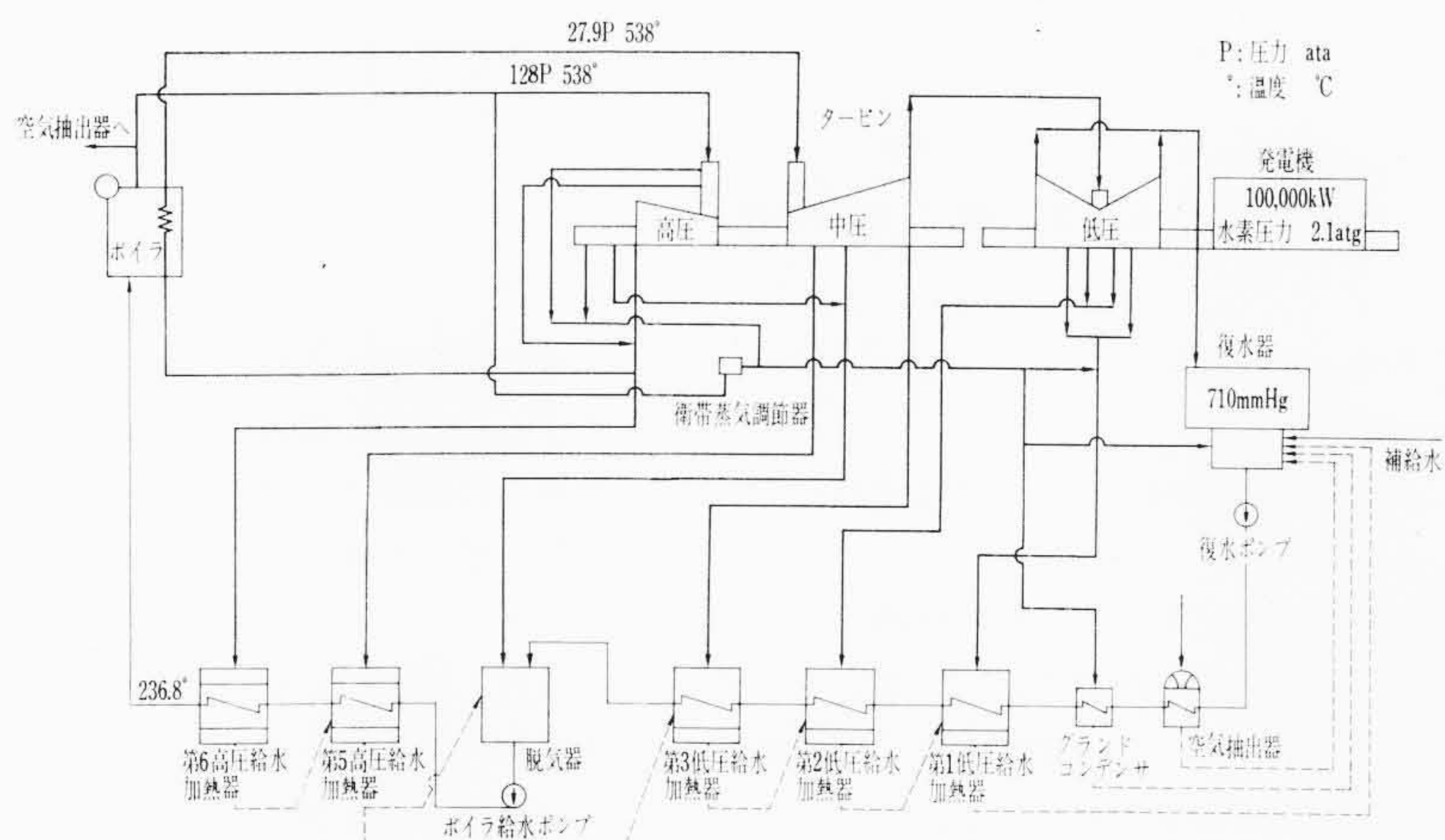
本プラントの熱サイクルおよび全体配置はアメリカの engineering consultant である Gilbert Associates Inc. で計画したものであるが、その概要は次のとおりである。

2.1 熱サイクルおよび主配管系統

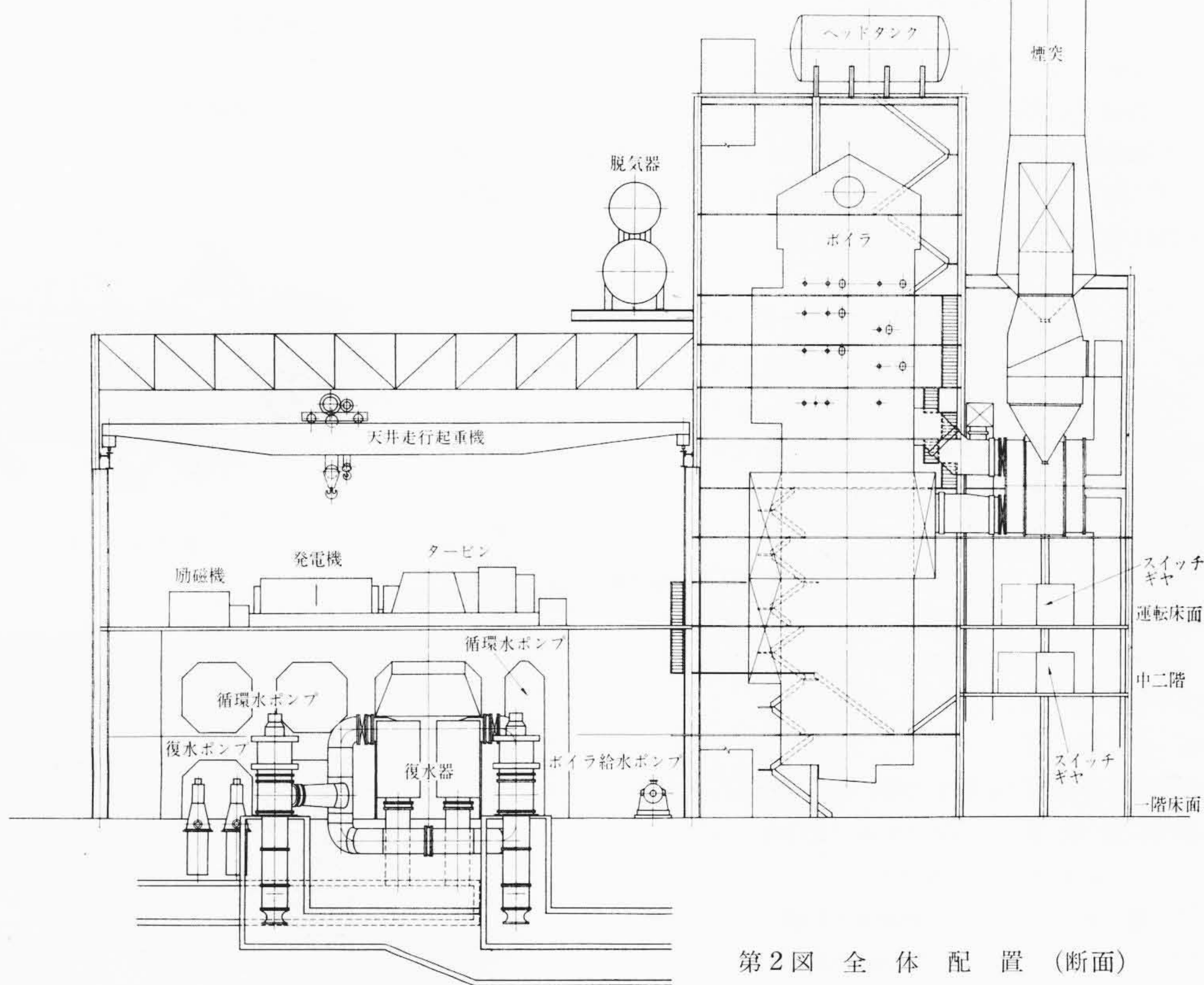
本プラントの主蒸気条件は高圧タービン入口で $128 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{abs}$, 538°C 、再熱タービン入口で $27.9 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{abs}$, 538°C となっており、復水器真空は $2.0 \text{ in Hg} \cdot \text{abs}$ である。タービンの最大連続負荷は、100,000 kW であるが、短時間定格として 108,140 kW の発電が可能である。本プラントの熱平衡線図を第1図に示す。

給水加熱用抽気段数は、高圧2段、脱気器1段、低圧給水加熱器

* 日立製作所日立工場



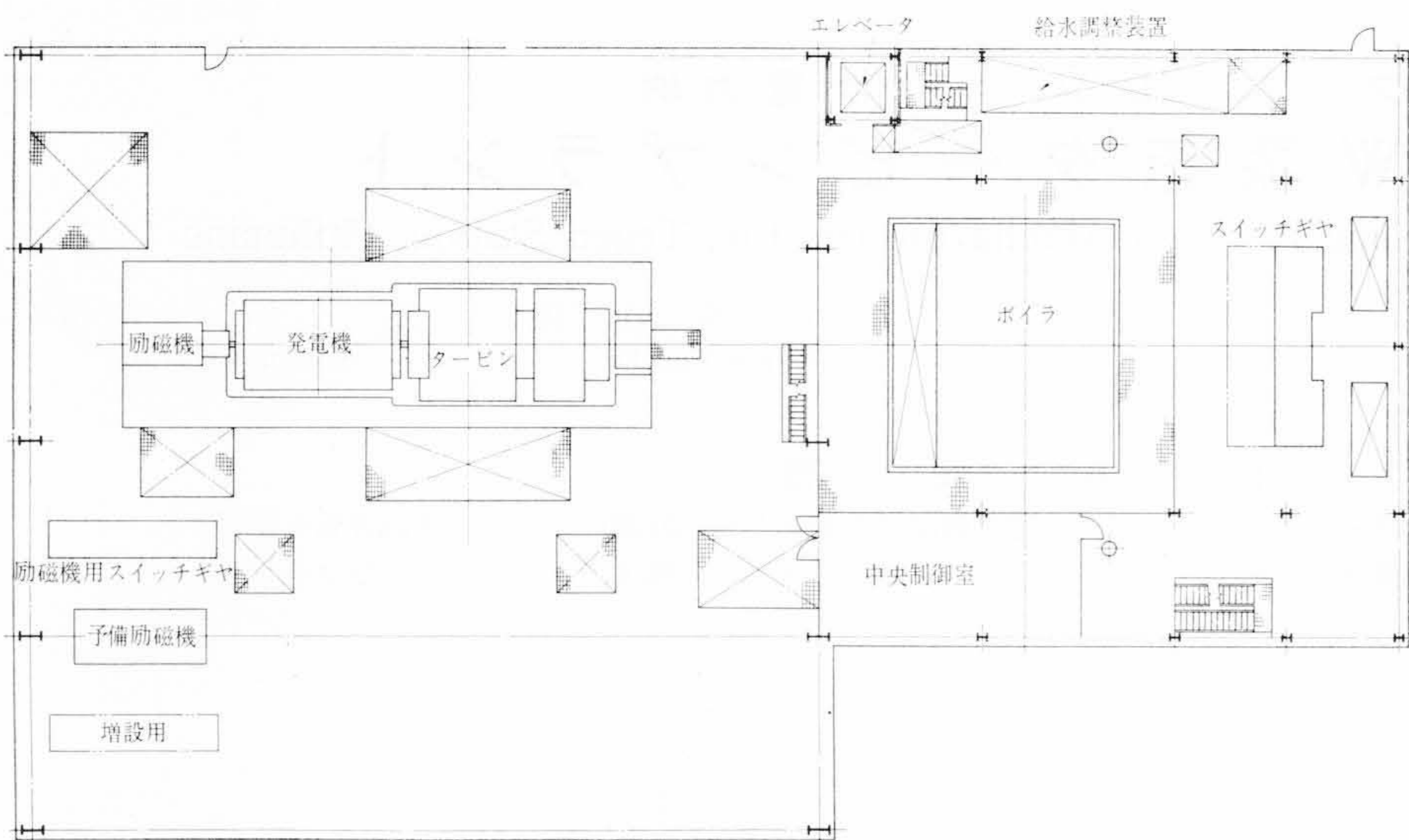
第1図 熱平衡線図



第2図 全体配置 (断面)

3段の合計6段抽気で、給水加熱器ドレンは脱気器および復水器へそれぞれ制御弁を通して連絡されている。

このプラントの系統上の特長は低圧段にフラッシュエバポレータを有することで、復水器冷却水と同一水質の海水または河川水から



第3図 全体配置 (運転床平面)

補給水を得ることが可能である。

2.2 全体配置

第2,3図に示すとおり、タービンは屋内式、ボイラは屋外式でI形の細長い配置となっている。

励磁機はタービン発電機に直結されており、予備励磁機および励磁用電気装置がタービン後部の運転床面に配置されている。タービン室1階床面にはボイラ給水ポンプ、タービン潤滑油タンク、油清浄機、循環水ポンプ、純水装置などが配置されている。

ボイラ室後部の一階床面には押込通風機、ガス再循環通風機、空気圧縮機などが置かれており、中二階および運転床面には電気品が置かれている。

中央制御室はボイラ横の運転床面にあり、ボイラ、タービンを一括して制御する方式が採用されている。

給水加熱器は横形で、2台の高圧給水加熱器は運転床面より一階および二階上のボイラ横にそれぞれ置かれており、3台の低圧給水加熱器は発電機横の中二階に置かれている。

3. 仕様タービン

形式 くし形衝動再熱式2車室2流排気形 (タンデムコムパウンド) TCDF

定格出力(発電機端) 100,000 kW

回転数 3,600 rpm

蒸気条件

主蒸気圧力(主塞止弁前) 127 kg/cm²g

主蒸気温度(主塞止弁前) 538°C

再熱蒸気温度(再熱塞止弁前) 538°C

排気圧力 710 mmHg abs

抽気段数 6

最終給水温度(定格出力時) 236.8°C

最終段翼長 584.2 mm (23 in)

タービン全長 9764.5 mm

主塞止弁 254 mmφ×1個

加減弁 76.2 mmφ×8個

再熱塞止弁 356 mmφ×2個

中間阻止弁 356 mmφ×2個

主塞止弁には全周噴射起動用バイパス弁 90 mmφ が内蔵されている。

3.1 タービン全体構造

第4図はタービン断面図、第5図は工場試運転のために組立中の本タービンの概観写真である。

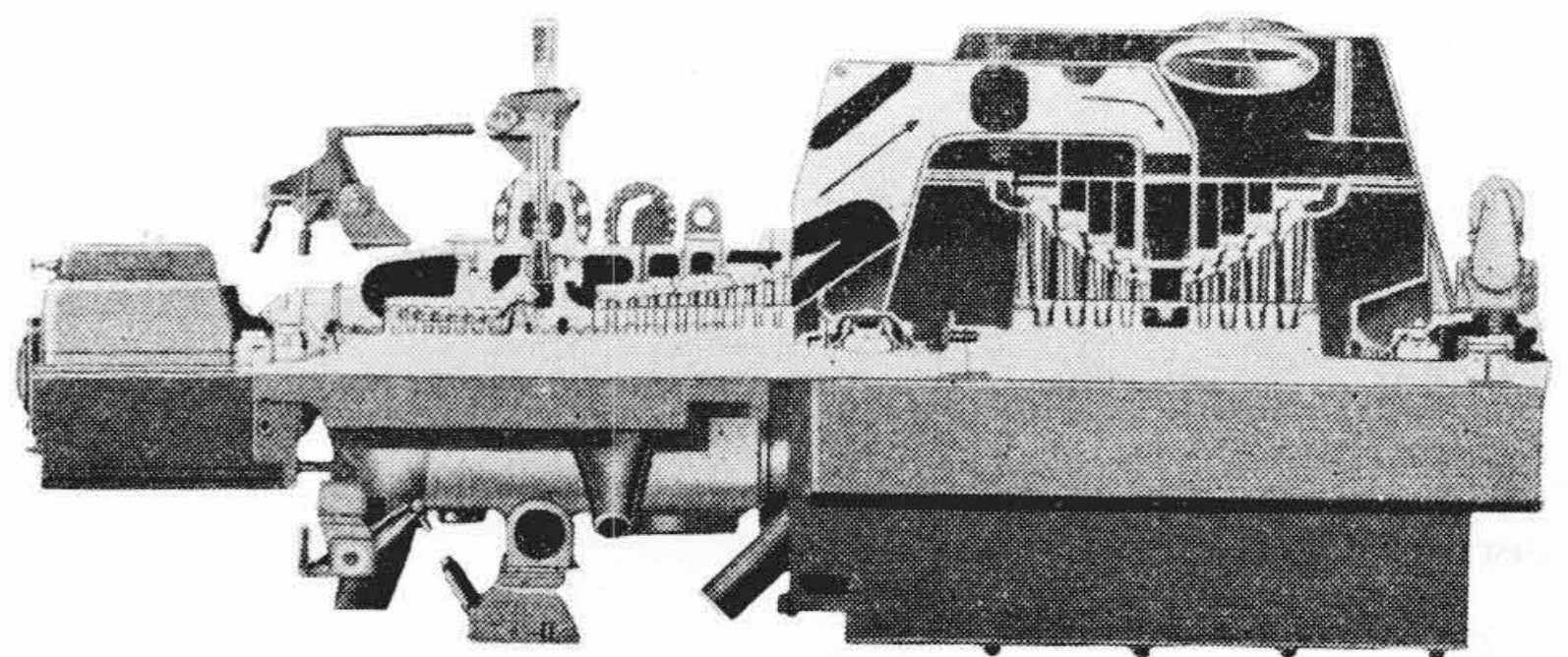
タービンはこの級の容量のタービンとして最も実績の多い、経済性、信頼性ともに十分なものである。すなわち、この形のタービンは従来 75,000 kW, 125,000 kW タービンとして日立製作所では約20台製作している。その特長は、高中圧を同一車室反対流とし、高中圧タービンをコンパクトにまとめ、中圧タービンからの蒸気をインターナルクロスオーバーにより、低圧タービンに導き中低圧間の長さを極力縮めた構造になっている。ロータは3個の軸受でささえられている。

3.2 高中圧車室

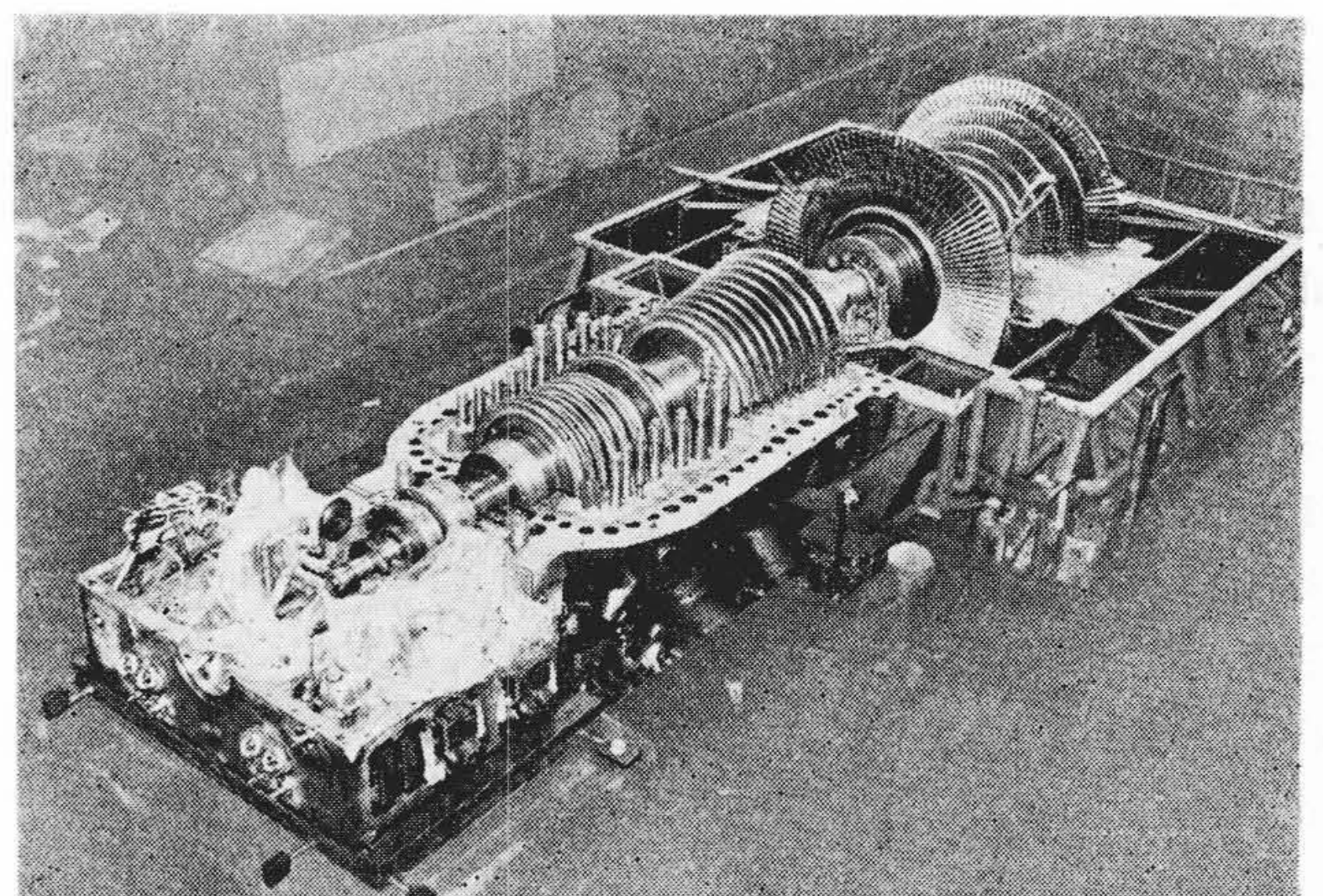
高中圧車室は主蒸気および再熱蒸気入口を中央にまとめ、車室に生ずる熱応力を軽減するとともに内部車室をも含めて、できる限り単純な円筒形に設計することにより運転中のロータと静止体の相対位置を正しく保ち、運転中の振動その他の安定性を増す構造となっている。

また、高中圧を反対流とすることにより推力をバランスさせ、高圧車室内の温度分布を左右対称としている。

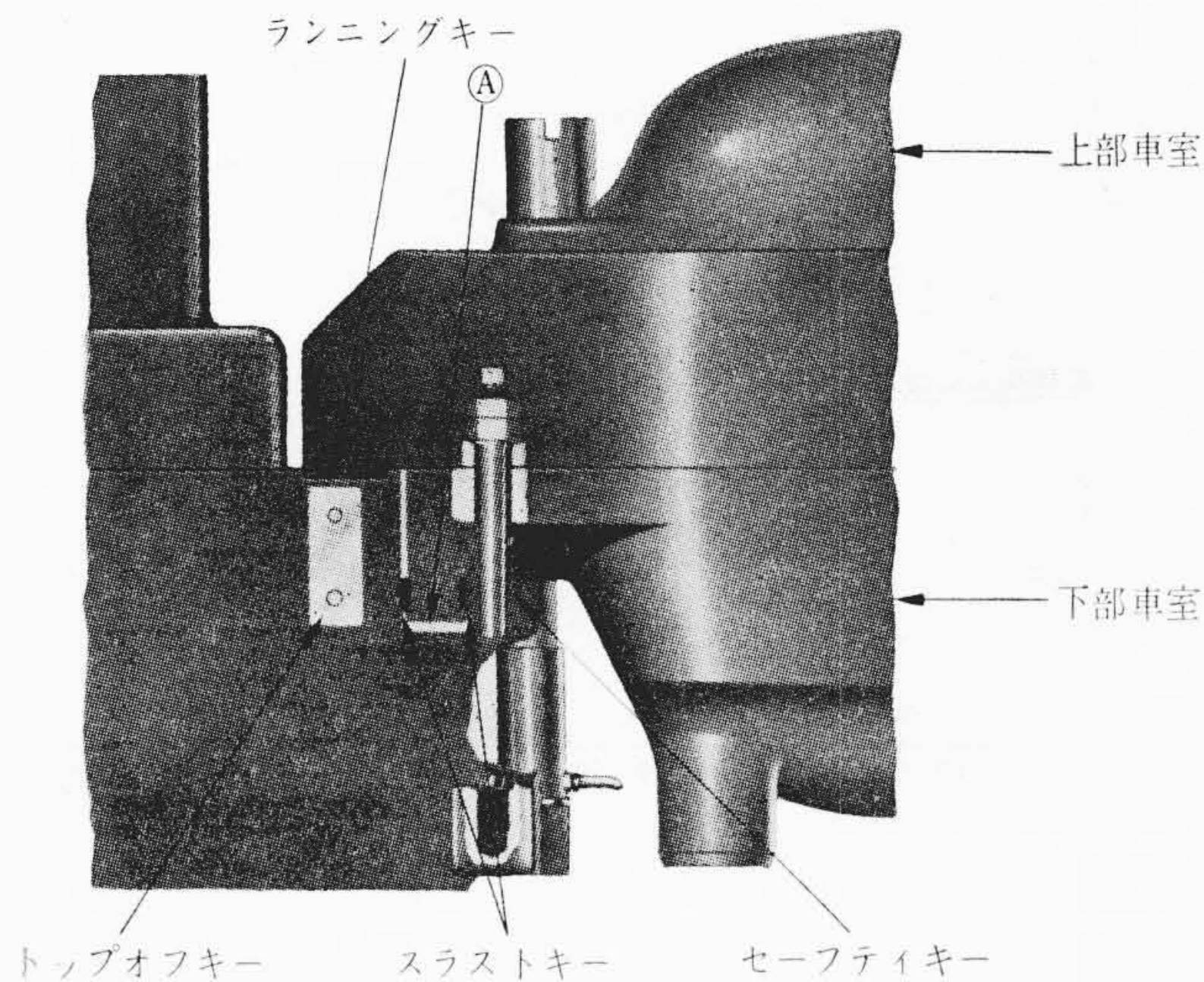
運転中の静止体と回転体の相対位置を正しく保つための処置としては上記のほかに、センターラインサポート方式を高圧車室前側に採用している。すなわち、高圧車室の発電機側端部は第4図に示すように軸受部との熱膨張差の少ない低圧車室に垂直フランジで支持されているために問題はないが調速機側端部は高圧排気温度の影響を受けるため普通用いられるような下部車室のフランジの下側を支



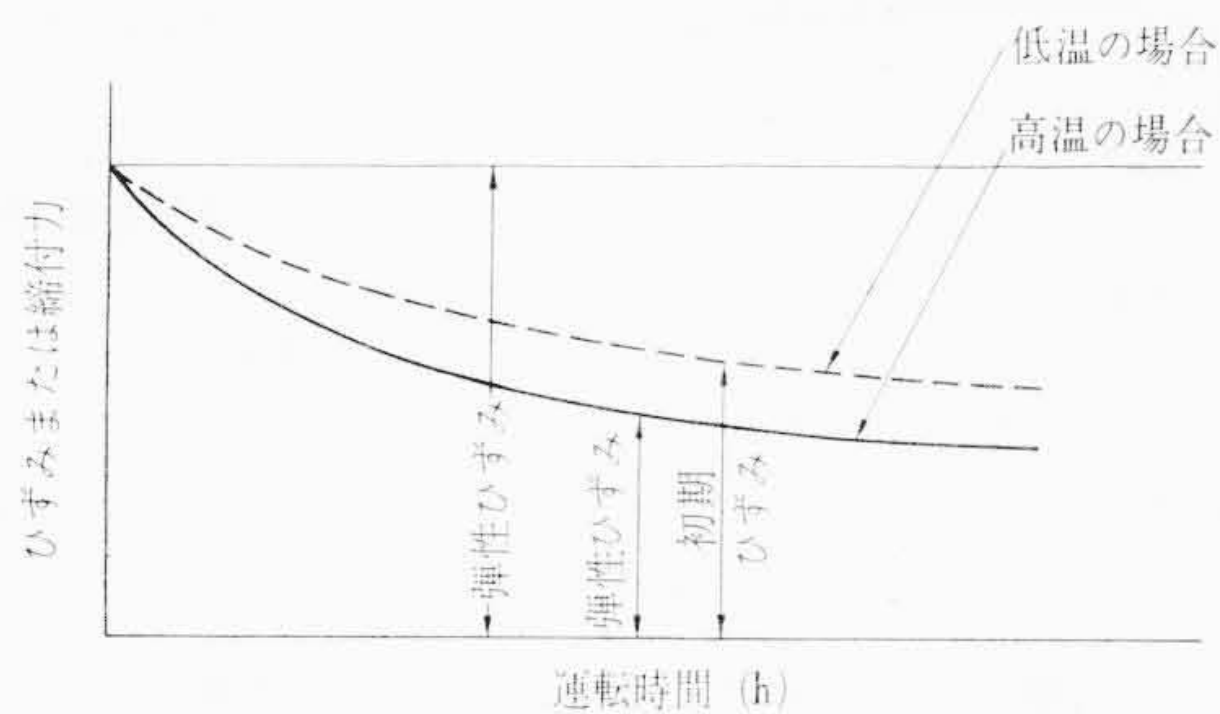
第4図 100,000 kW タービン断面図



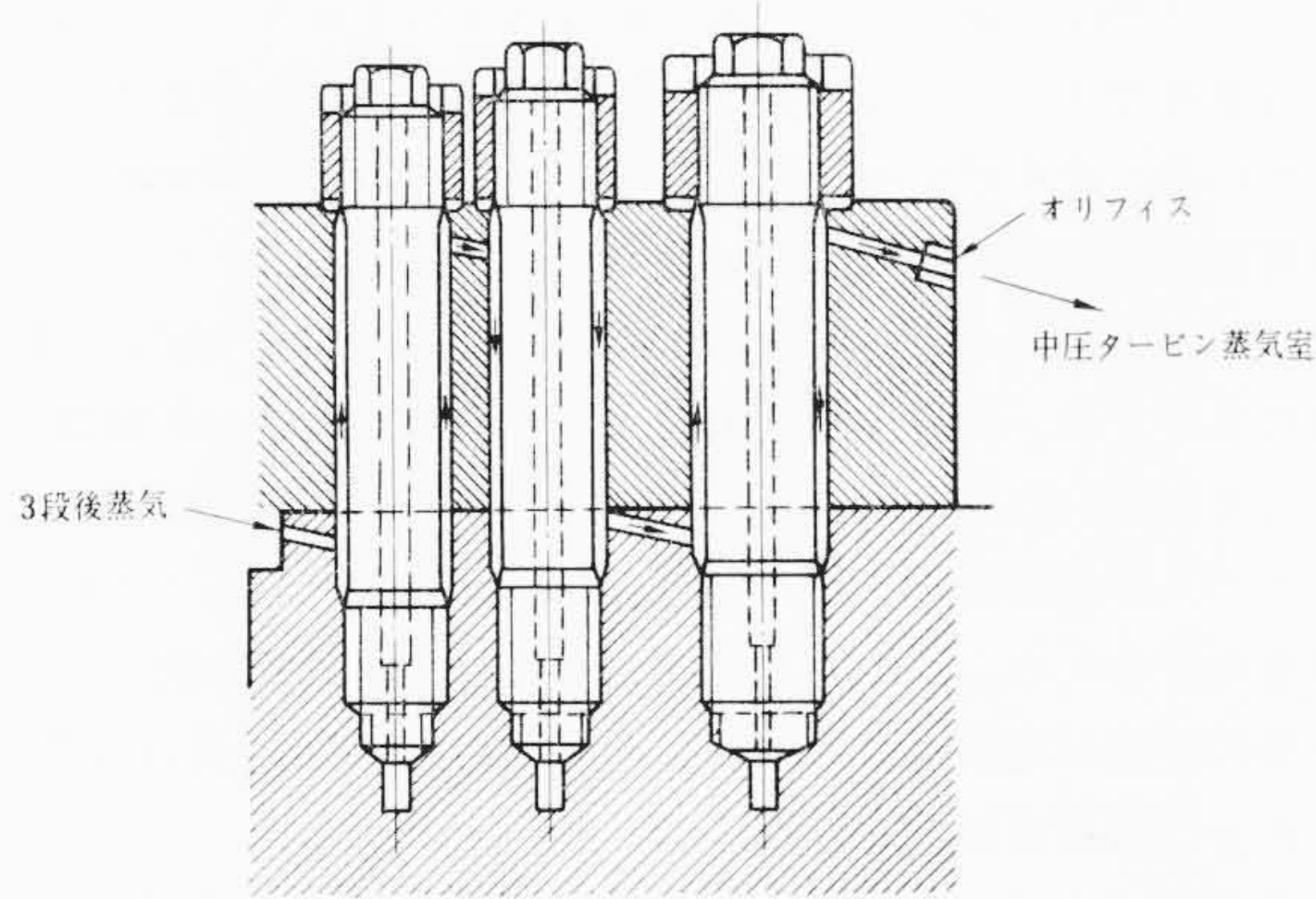
第5図 工場試験のため組立中の 100,000 kW タービン



第6図 センタラインサポート構造図



第7図 ボルトの応力緩和現象



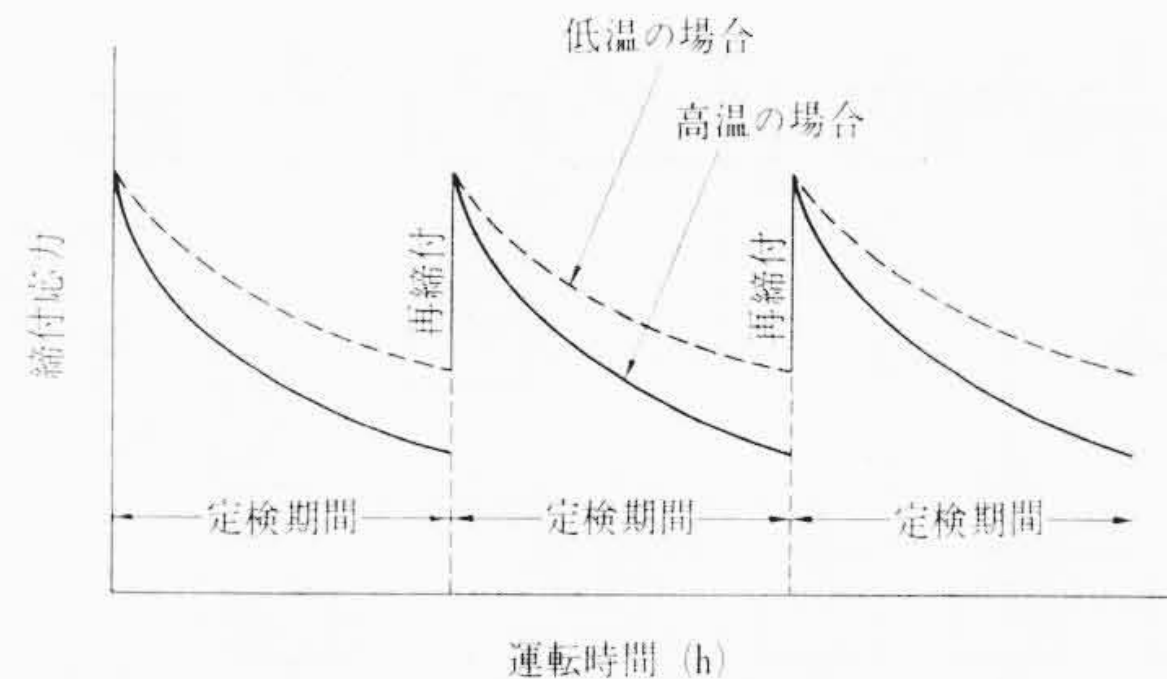
第8図 ボルトクーリング構造図

持するような方式では正しい相対位置を保つことがむずかしい。そのため、第6図に示すように、運転中はランニングキーにより上部車室フランジ下面をささえることにより、運転温度の変化を受けやすい高圧排気蒸気に近接している調速機端の車室と回転体の同心を保っている。また、これを分解するときは下部車室が下に落ちないように図に示すトップオフキーを④部にそう入して分解する構造となっている。

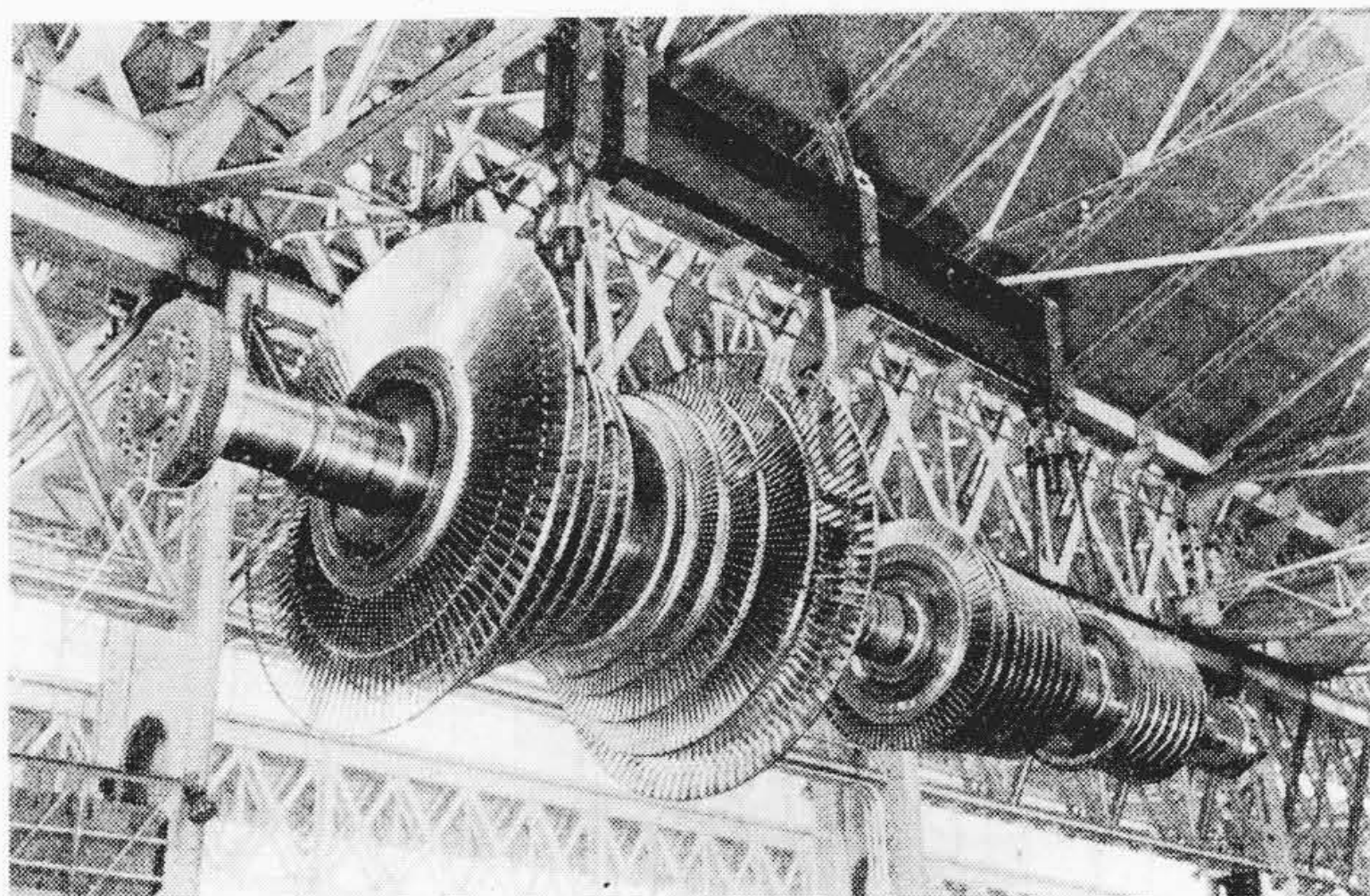
高圧内外車室はそれぞれ Cr-Mo-V および CrMo 鋼フランジボルトは高温部には 12 Cr-Mo-W-V、低温部には 1 Cr-Mo-V 材という十分な実績と信頼性を持った材料を使用している。さらに、水平フランジ締付ボルトの蒸気漏れを防ぐため次に述べるボルトクーリングを採用している。

3.3 ボルトクーリング

高温部のボルトは使用中に、その高温のためにクリープ伸びを生



第9図 ボルト締付応力の経年変化



第10図 ロータ

じて初期締付時に与えた弾性変形の一部が塑性変形に変わり、締付力の低下をきたすという応力緩和現象を発生する。すなわち、初期締付時に与えた弾性変形は第7図に示すように時間とともに塑性変形部が増してくる。これを第8図に示すようにボルトとフランジの間に蒸気通路を設けて低温蒸気を通すことにより応力緩和の程度を軽減し、定期開放検査までの期間蒸気の漏えいを絶対になくすることができる。定期検査時には再度増締を行なうので再び次の定期検査までの締付力が確保されるのである。すなわち、第9図に示したような状況が繰り返されるわけである。

本タービンの場合、3段後の蒸気を内部車室高温部のボルトに導きその出口を中圧タービンに排出するように設計しており、そこに設置されたオリフィスによりクーリング用蒸気の量を制御している。

3.4 ロータおよび翼列

高中圧ロータにはクリープ抵抗の高い Cr-Mo-V 一体鍛造削り出しロータを使用している。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じん性を有する Ni-Mo-V 一体鍛造削り出しロータを使用している。

翼列には最新設計の効率のよいフリーボルテックス式設計あるいはラミナ^①設計翼を使用するとともにそのノズルによる励振力に対しても共振しないような振動設計を行ない十分な信頼性を与えている。

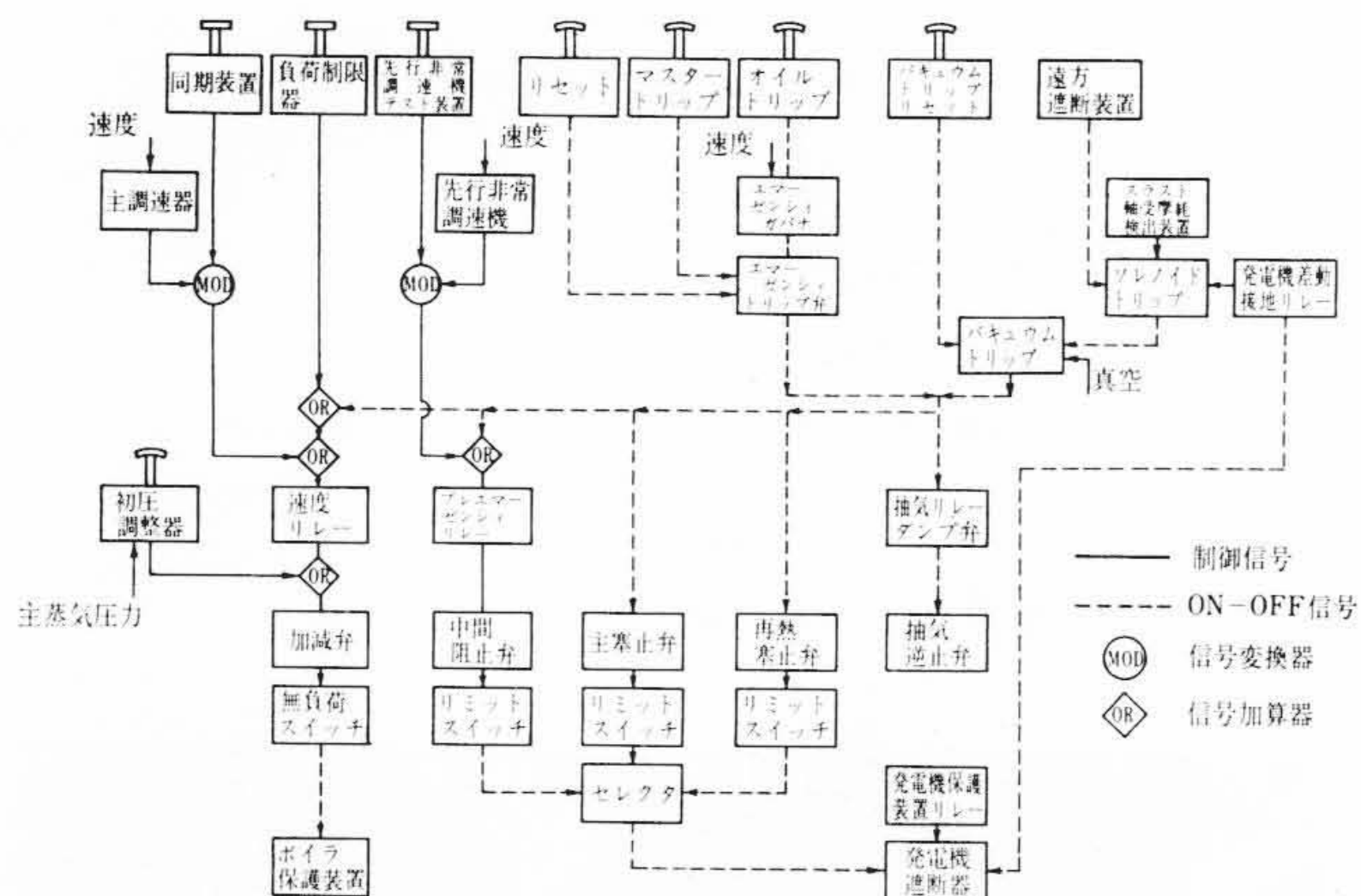
第10図はこれらの翼およびロータの外観を示す写真である。

3.5 運転制御

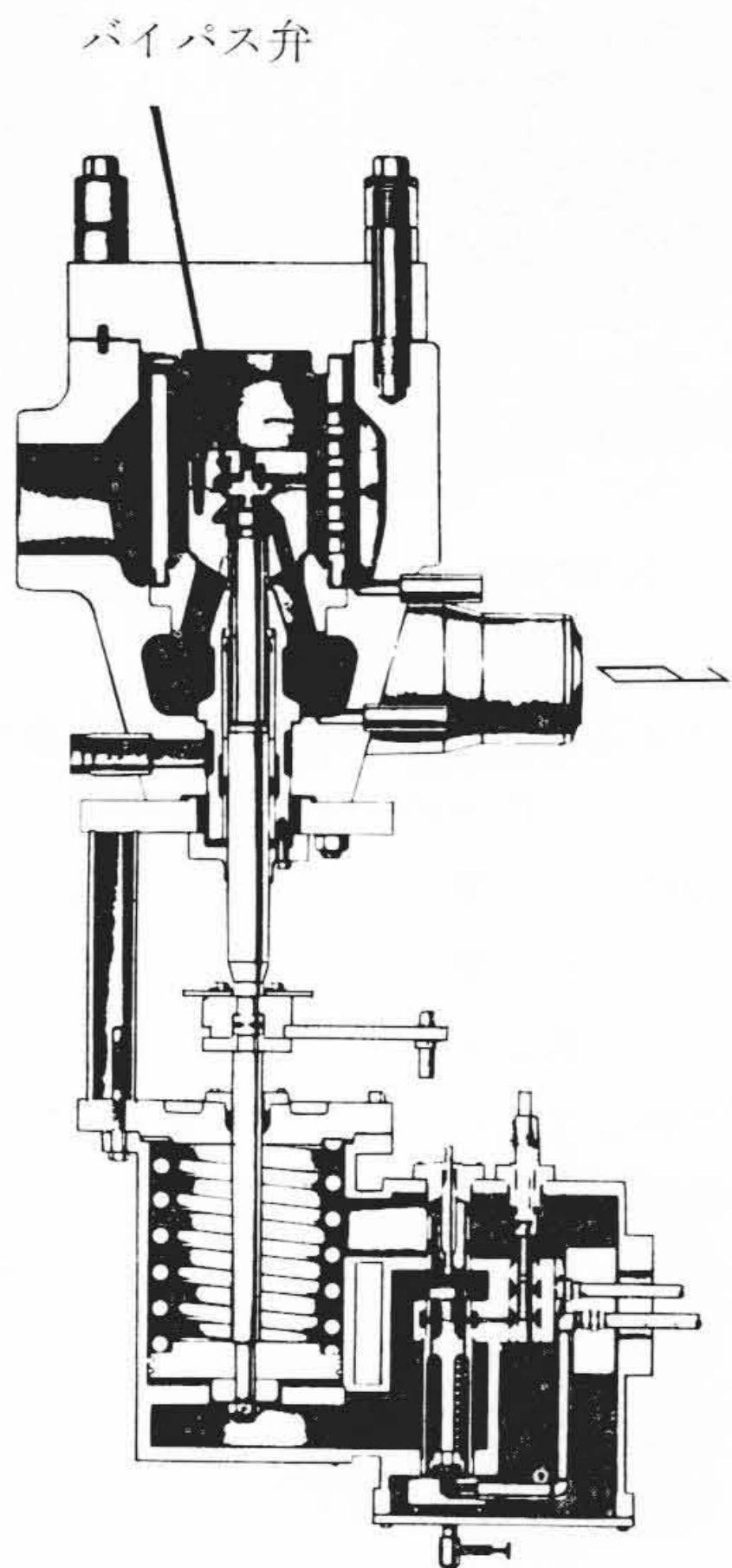
第11図は本タービンの制御系統のブロック線図である。

タービンの運転制御を容易にするため次のような考慮が払われている。

- (1) 主塞止弁バイパスによる全周噴射起動装置を採用し、特にタービン起動時の運転を容易にし、信頼性を高めた。
- (2) 操作用ハンドルをタービン前側軸受台前面に設置し、起動停止ならびに各種作動試験操作の集中化を図った
- (3) 非常調速機の作動試験をタービン負荷運転中に行なえるよ



第11図 制御系統ブロック線図



第12図 超動用バイパス弁付主塞止弁

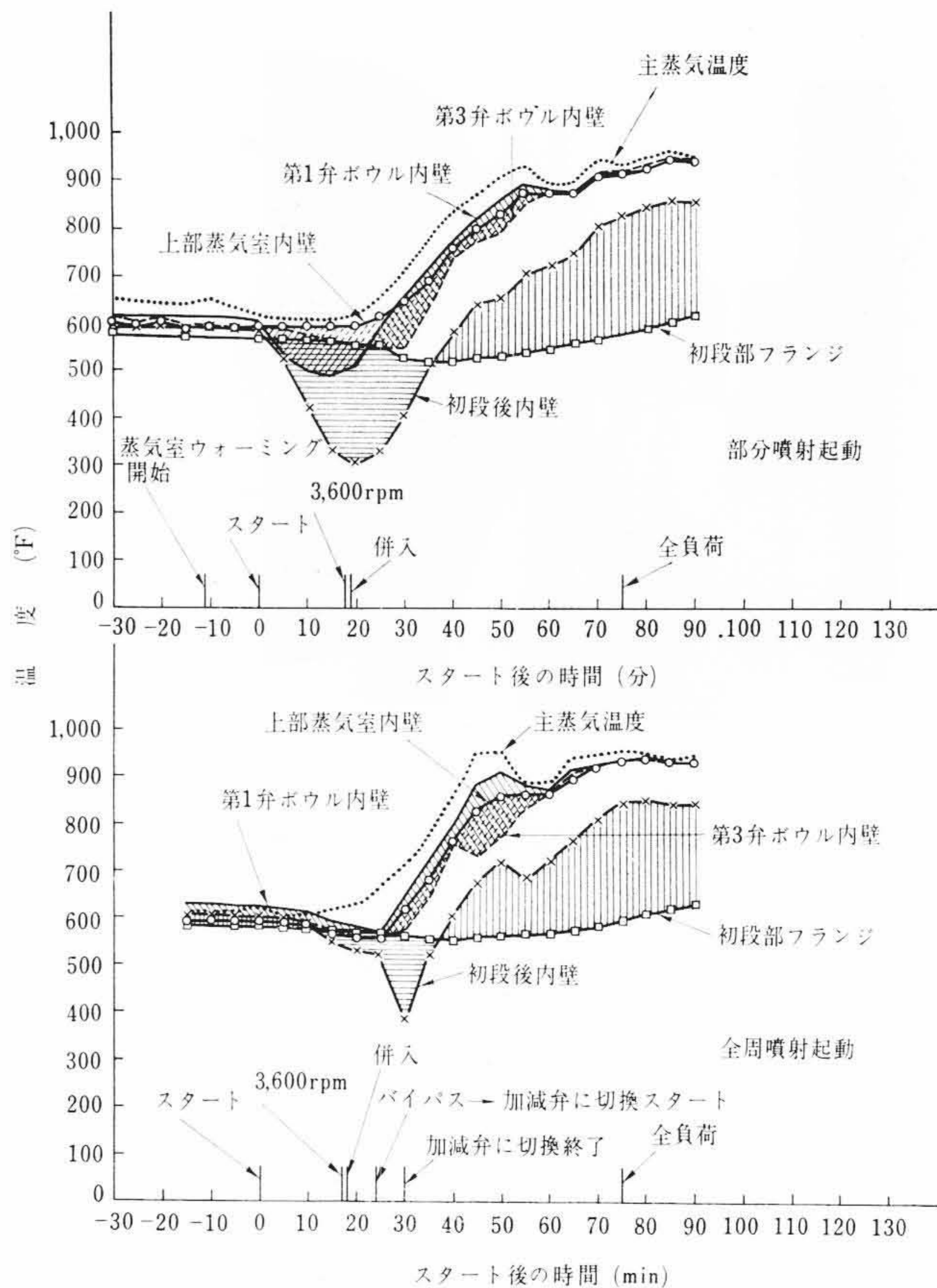
うに、一時的に応急遮断装置の作動を除外するロックアウト弁を設けた。

- (4) 先行非常調速機を設けてタービンの過速時に中間阻止弁を早く閉じることによりタービンの過速を最小限に押えた。

3.6 全周噴射起動装置

全周噴射起動の目的はタービン起動時の高温部の熱応力を軽減し、過渡状態のタービン各部の熱応力発生を防ぐことにある。第12図に全周噴射起動用バイパス弁付主塞止弁を示す。

タービンの起動時に最もきびしい条件にさらされているのは加減弁のボウル（蒸気通路）から初段後の内部車室壁面に至る部分である。この部分の熱応力を軽減するためには起動時および低負荷時に加減弁を全開して、全周噴射運転を行なうことが有効である。このことは第13図の部分噴射起動と全周噴射起動の例を見ても明らかである。このような運転を行なえばタービン内部は均一な蒸気流で一様に加熱され、また蒸気は圧力が低く、低速になるため熱伝達率が小さくなり金属部の温度上昇率も小さくなる。さらに起動中タービン初段出口の温度が部分噴射の場合に比べて高くなるので特にホットスタートのときにその効果が顕著になる。



第13図 全周噴射と部分噴射の比較⁽²⁾
(タービン停止後の起動)

バイパス弁は主塞止弁の内部に組み込まれており、その容量は定格蒸気条件でタービン最大蒸気量の約20%を流し得るように設計されている。タービンを起動するときは、最初にガバナモータにより速度調整装置を高速限にし加減弁を全開とする。バイパス弁制御モータによってバイパス弁を徐々に開いていけばタービン回転数は次第に上昇する。発電機の同期投入時の操作もバイパス制御モータによって行なわれる。同期後さらにバイパス弁の開度を増していけばバイパス弁全開位置で約20%負荷までかけられる。これ以上の負荷をかけるためには主塞止弁を開くため、加減弁を絞って主塞止弁前後の差圧が定格圧力の10~15%になれば主塞止弁は全開でき、ここからは普通の加減弁運転にはいる。

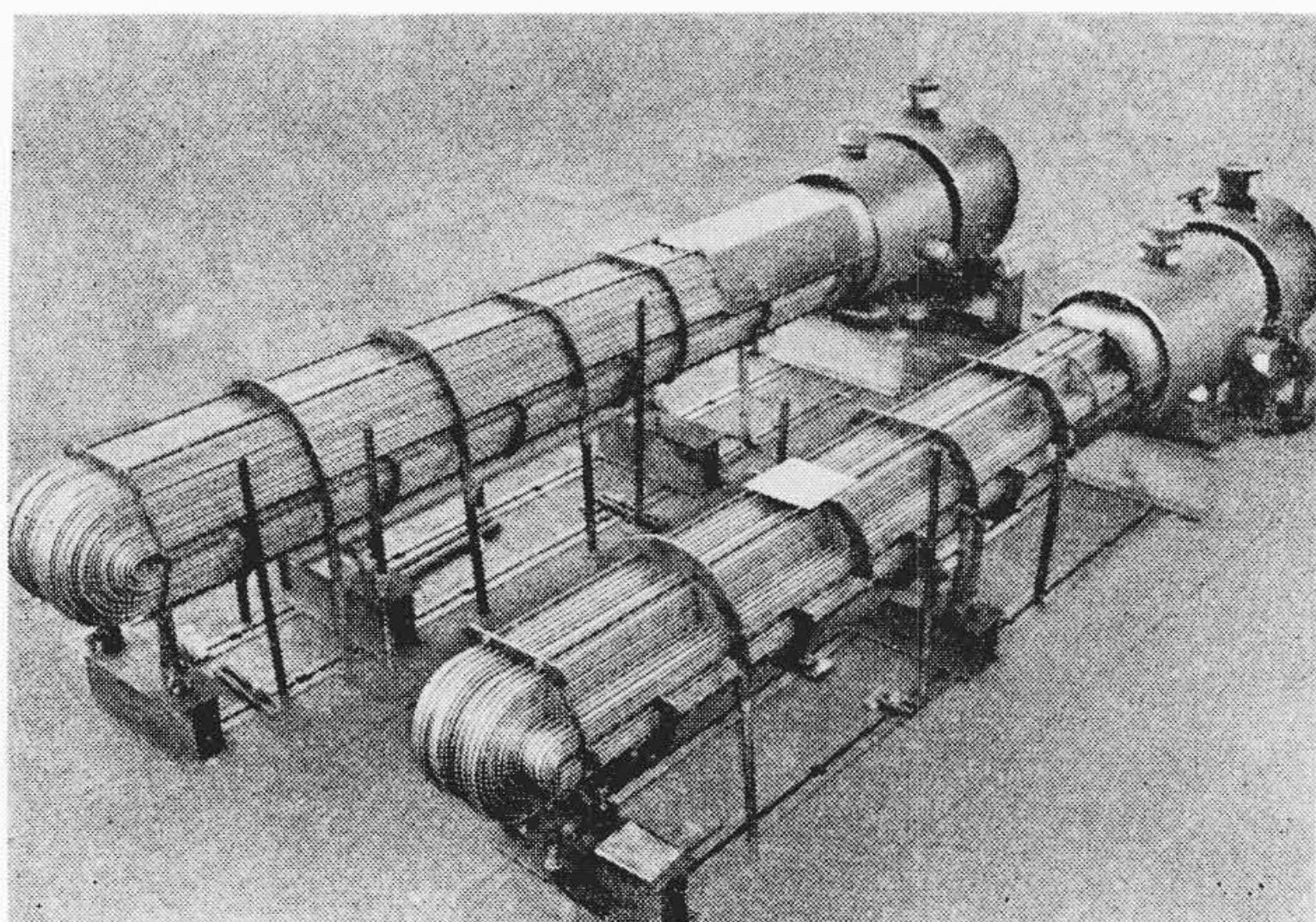
主塞止弁バイパスは主として起動時に使用されるが、20%以下の低負荷で長時間運転する場合にも使用することが非常に有効である。ただし通常のタービン停止の場合には主塞止弁を使う必要はない。

4. 復水装置および給水加熱装置

4.1 復水器

復水器はタービンプラント補機の中でも最も重要なものの一つでプラントの性能に大きく影響を与えるものである。日立式復水器は与えられた冷却水によって最大の真空が得られるように、タービン排気室および冷却管路内における圧力損失を可能な限り少なくするような注意が払われている。同時に復水の過冷却によるプラント効率の低下および復水中の溶存酸素の増加を防ぐために角形復水器を採用し、復水の再熱脱気を図っている。

冷却水側には内蔵形逆洗弁を設けており、タービン運転中に、ほとんど負荷を減ずることなしに冷却水の逆洗を行ない、復水器の洗浄を行なうことが可能である。また内蔵形逆洗弁は非常にコンパクト



第 14 図 製作中の高圧給水加熱器

トに配置することができる。

水室は銅板溶接製であるが、海水の使用にも耐えるように、冷却水にふれる部分にはゴムライニングを施している。

4.2 給水加熱装置

高圧給水加熱器は高圧給水および加熱蒸気の漏えいを完全に防止するために全溶接構造としてある。すなわち水室を管板と一体鍛造とし、加熱管をこの管板に溶接によって取り付けられている。加熱管材質は高温強度が比較的高く、熱伝達率の良好な 70:30 キュプロニッケルを使用している。

胴体側も、フランジを使用しない全溶接構造となっており、負荷変動時などにおいても蒸気漏えいが絶対に起こらない構造となっている。第 14 図に工場製作中の高圧給水加熱器を示す。

低圧給水加熱器については特に著しい特長はないが、信頼性が高く、保守点検が簡単な設計となっている。

4.3 脱気器およびその他の機器

火力発電プラントにおける使用蒸気条件が高温、高圧になるにしたがって、ボイラ、タービン、給水加熱装置などにおける腐食防止の問題は、ますますその重要性を増している。本プラントの脱気器は、日立多年の経験に加えて、日立研究所における実験結果をもとにしてそのトレイ段数など内部構造を決定しており、十分な性能を期待することができる。

以上のほかに復水器の空気を除去し、高真空を維持するための空気抽出器、タービンのグラウンド蒸気処理するためのグラウンドコンデンサ、発電機冷却用水素を冷却するための冷却水冷却器、潤滑油冷却用の油冷却器などの各機器はいずれも日立の多年の実績に基づいて設計されたもので、信頼性のきわめて高い機器である。またこれらの機器を結ぶ配管は Gilbert Associates Inc の計画に基づいて日立製作所で製作されたものである。

5. 結 言

以上このプラントの概要を説明した。本機器が日本の重電機器の輸出伸長に貢献するとともにフィリピンの電力事情の改善に一大勢力となることを期待する。

参 考 文 献

- (1) H. Kraft: "The Development of a Wing Type Turbine Bucket" ZAMP Vol. Ixb. (1958) p. 404~420
- (2) E. F. Walsh, R. L. Tackson: "The New England Electric System Tests Effectiveness of Stop-Valve Bypass in Reducing Thermal-Stress Gradients in Steam Turbines" ASME Paper No. 61-WA-121

第 27 卷

日

立

第 2 号

目

次

- ・純国産 1 号機快調に動く堺港火力発電所
- ・タンゴの国に行くレッキングクレーン
- ・人工リンクは花ざかり
- ・一夜明ければスキー場が
——人工降雪装置の偉力——
- ・大形球形光束計
- ・最高級回路を取り入れたコールトキー

- ・ヒタゾルの新製品
——コロイド二硫化モリブデン——
- ・明日への道標「レッキングクレーン」
- ・日立ハイライト「自動販売機」
- ・電線百話 第 49 話「4 万 6 千回もおどろかず」
- ・日立だよ
- ・読者の声

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地

取次店 株式会社 オーム社書店

振替口座 東京 71824 番

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地

振替口座 東京 20018 番