

最近の高温高压ボイラ給水ポンプ

Recent High-temperature High-pressure Boiler Feed Pumps

田 原 晴 男*
Haruo Tahara

内 容 梗 概

最近では、大容量火力発電所のボイラ給水ポンプは、国産品が使用されるようになったが、東京電力品川火力発電所の 1,600 kW ボイラ給水ポンプは、その最高水準を示すものである。この報告は、このポンプを例として、高温高压用として最も適しているバーレル形多段タービンポンプについて、構造、性能、取扱いについてくわしく説明したものである。このポンプは、堅ろうな円筒形外ケーシングとケーシングに遊動自在に支持されている輪切形内ケーシングとからなっていて、一方向に配列された羽根車による軸推力をバランスジスクにより平衡させる多段タービンポンプである。また、ボイラ給水ポンプの事故は、そのまま発電所の事故につながるので、ポンプの付属機器の完全な計画は特に必要で、ポンプとともにその保守に万全を期さねばならない。

1. 緒 言

大容量火力発電所の高温高压ボイラ給水ポンプは、数年前までは主として輸入品が使用されてきたが、国内のポンプメーカーの態勢も急速にととのってきて、国産品が信頼をもって採用されるようになってきた。東京電力株式会社品川火力発電所は、出力 125 MW の近代的大容量火力発電所であって、日立製作所において完成したそのボイラ給水ポンプもまた、最近の技術の進歩を結集したものである。日立製作所では、高温高压用ボイラ給水ポンプとして、バーレル形多段タービンポンプを選んでおり、その製作実績はすでに40台に及んでいるが、この機会にその性能と構造について詳しく説明したいと思う。バーレル形ボイラ給水ポンプは、高温高压の仕様に対して国内でも国外でも最も多く採用されていて、従来輪切形ケーシングのみで押通してきた海外の有名ポンプメーカーでも、高温高压化が進むにつれて、ついにバーレル形を採用せざるをえないようになった例もあり、高温高压用としてのバーレル形ボイラ給水ポンプの優秀性は決定的といえる。

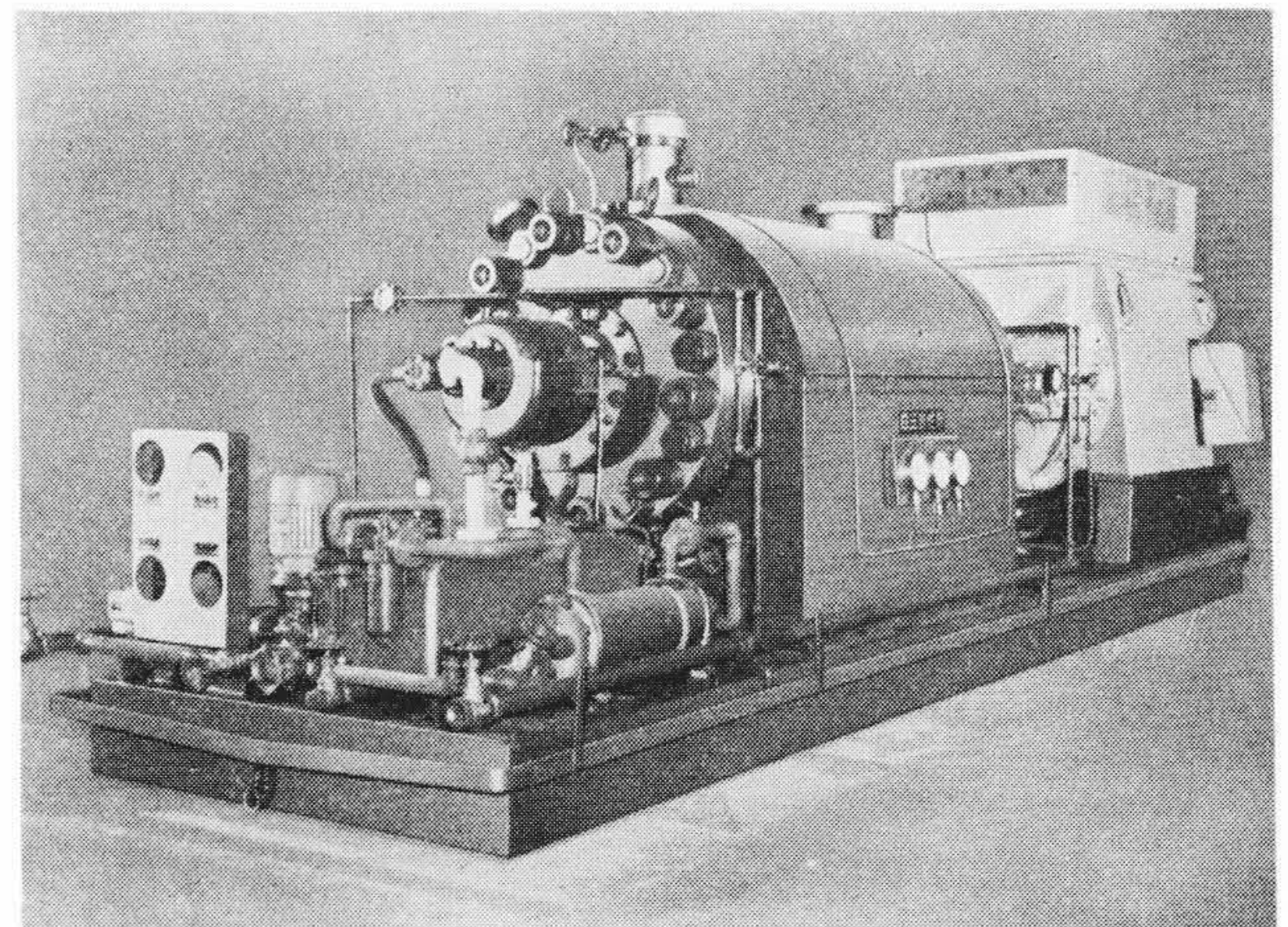
プラント出力が 125 MW をこえて、さらに大容量となると、ポンプの吐出圧力がさらに大となり、このときは、ポンプの回転数を高速化しなければならないので、125 MW プラント用のこのボイラ給水ポンプが電動機直結のボイラ給水ポンプとして、おそらく最大のものとなるであろう。

2. 仕様と性能

東京電力株式会社品川火力発電所 (125 MW) に納入したボイラ給水ポンプの仕様は、次のとおりである。

台 数	3 台
形 式	バーレル形両吸込多段タービンポンプ
吸込口径	250 mm
吐出口径	160 mm
段 数	11
給 水 量	228 t/h
全 揚 程	158 kg/cm ²
押込圧力	5.8 kg/cm ² g
吐出圧力	163.8 kg/cm ² g
回 転 数	2,980 rpm
給水温度	154°C (比重 0.913)
電 動 機	1,600 kW 2 p

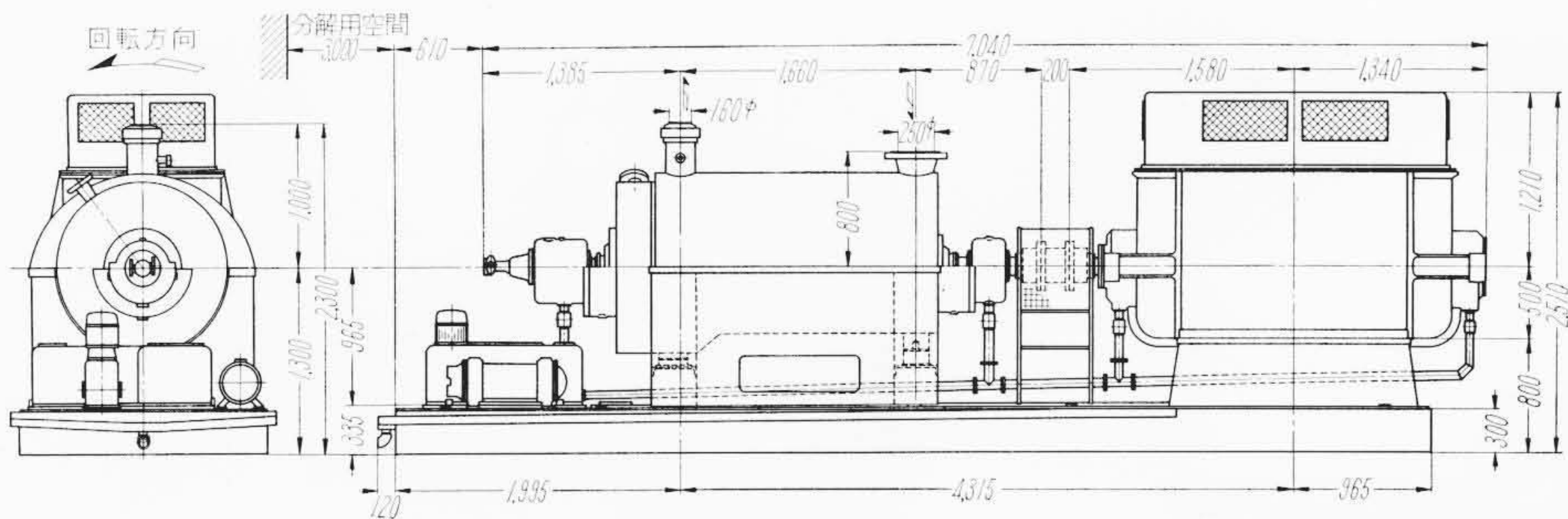
* 日立製作所亀有工場



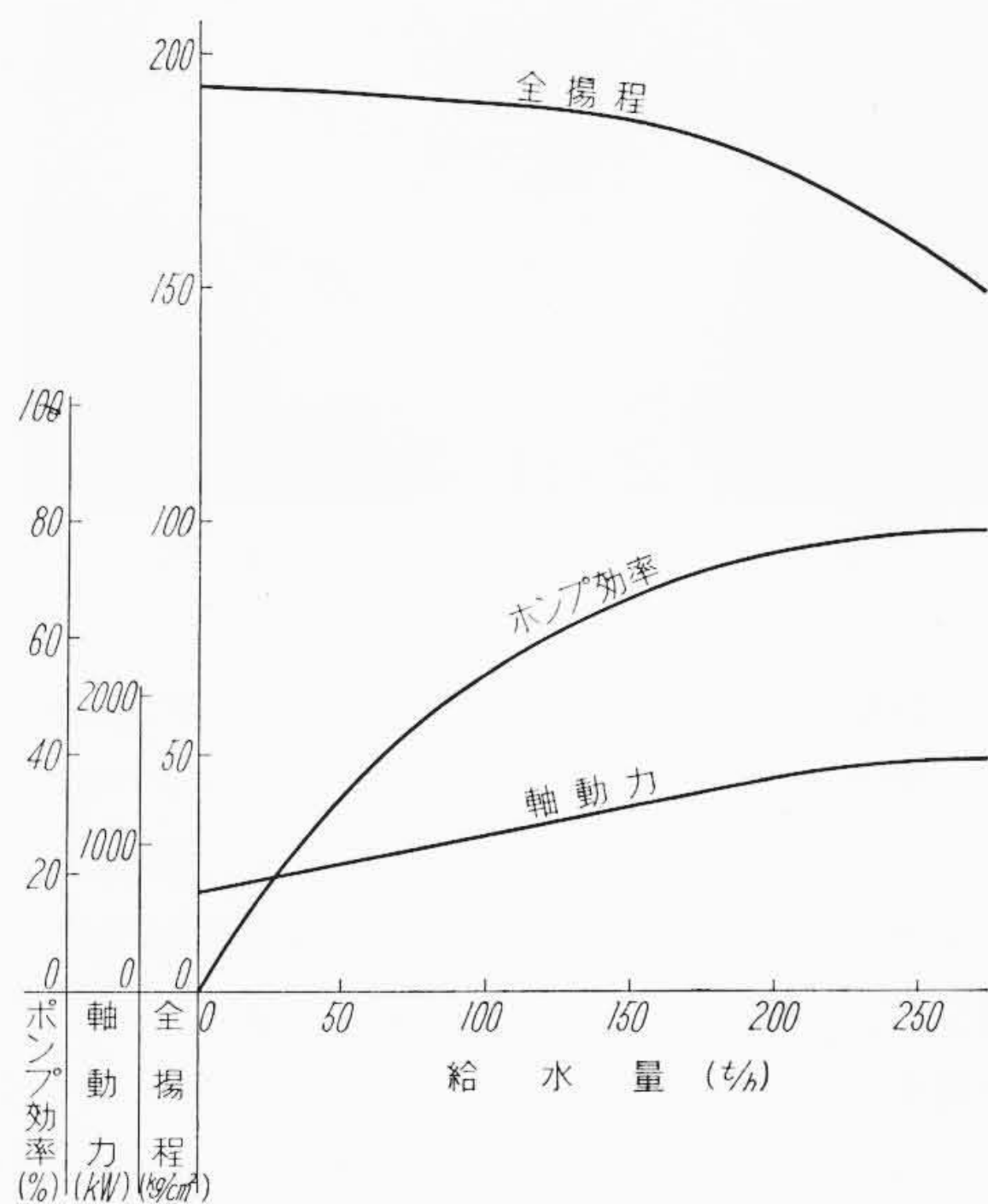
第 1 図 1,600 kW ボイラ給水ポンプ

本機の外観を第 1 図に示す。このポンプは、円筒形(バーレル形)の外ケーシングと輪切形内ケーシングとからなるバーレル形多段タービンポンプであって、1 段目のみ両吸込羽根車を採用している。給水温度 154°C における飽和蒸気圧力は 4.4 kg/cm²g であって、利用できる NPSH は 15.3 m となる。ポンプの所要 NPSH は 10.4 m である。この発電所では、脱気器の高さを十分高くとることができなかったため、1 段目の羽根車を両吸込としてキャビテーションの発生を防止した。ポンプの回転数は、電動機直結の回転数 2,980 rpm を選んだ。全揚程が高くなると、段数が多くなり軸受間距離が長くなるので、高速化しなければならないが、一方高速化は、増速機の必要など、いろいろやっかいな問題を生むので、必要以上の高速化はさけるべきである。この場合は、電動機直結の回転数 2,980 rpm で、段数 11、比較回転度 137 の設計がえられた。11 段の設計ならば長すぎるということはないし、軸径をあまり太くしないですますことができる。本機の外形状法図を第 2 図に示す。ベースのポンプ側の端にあるのは軸受の強制潤滑装置であって、ポンプ軸端の主油ポンプの補助として、1.5 kW の電動補助油ポンプを準備した。

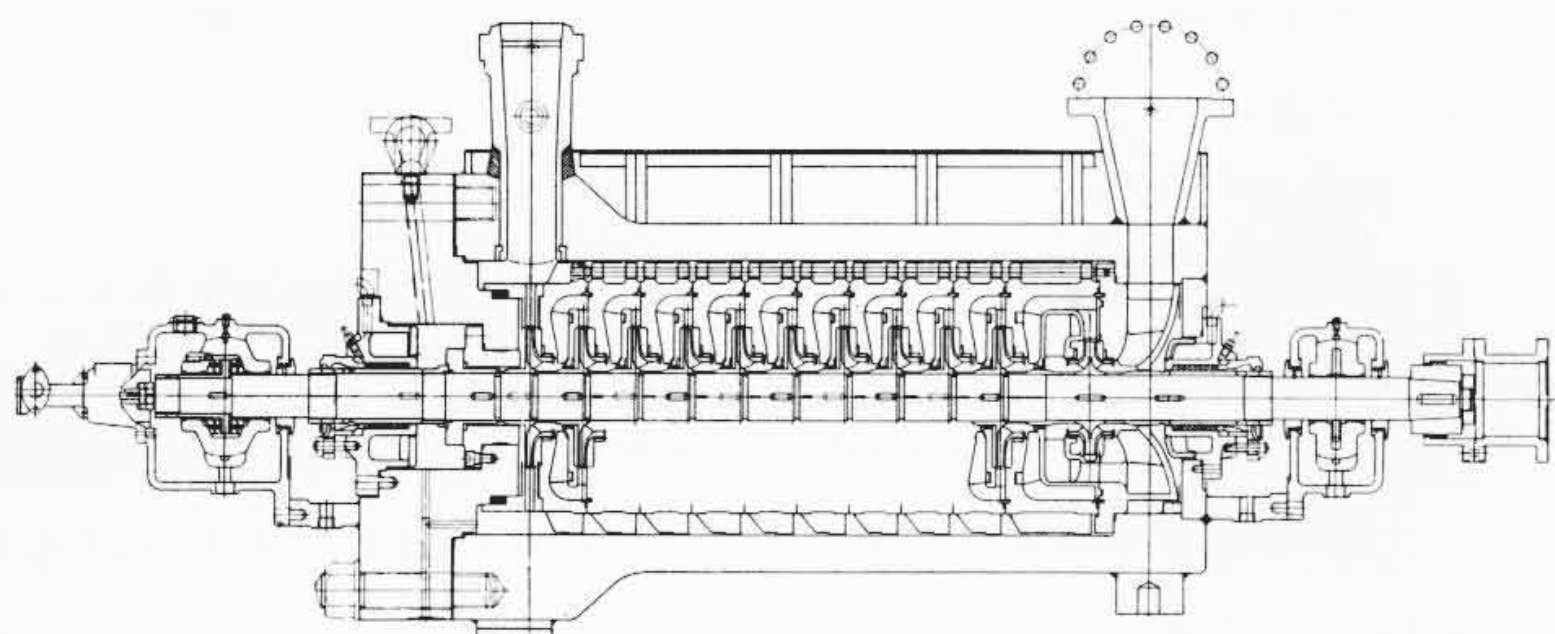
第 3 図は、このポンプの工場における試験の成績を示す。高い効率とみごとな安定性能がえられている。ボイラ給水ポンプは、使用範囲が閉切点より仕様給水量までほとんど全給水量にわたり、しかも 2 台以上の並列運転をするので、全領域にわたる右下りの安定性能が必要である。最高効率点は、仕様給水量よりやや給水量の多い点に置いてあるが、これは、ポンプの所要 NPSH を大きくしないことと、最高圧力を過大にしないために、とられている方法でボイラ



第2図 外形寸法図



第3図 特性曲線



第4図 構造断面図

給水ポンプの設計の要点の一つである。

3. バレル形ボイラ給水ポンプの構造と材質

前節において述べた東京電力株式会社納入のバレル形ボイラ給水ポンプの構造断面図を第4図に示す。このポンプの構造は、堅ろうなバレル形外ケーシングとこの外ケーシングに遊動自在に支持された輪切形内ケーシングとからなっていて、一方向に配列された羽根車による軸推力をバランスジスクによって平衡させる多段タービンポンプである。

3.1 バレル形2重ケーシング構造

第4図に示すように、このポンプはバレル形の外ケーシングに包まれていて、高温高圧用ボイラ給水ポンプとして最もすぐれた構造をもつものである。外ケーシングとそのカバーは、強力な鍛鋼製でしかも簡単な形状をしているので、高温高圧の使用に対して非常にじょうぶである。吸込み、吐出のフランジ、脚などは外ケーシングを鍛造後溶接によって取付ける。このほかケーシングは高温高圧に

耐える最も重要な部分であるので、X線検査によって内部欠陥を発見し、使用中の事故の絶無を期している。輪切形の内ケーシングは、回転部とともに外部で組立てられて、外ケーシングの中に組込まれるが、組立後はじょうぶな外ケーシングの2点で遊動自在に支持されている。1点は、サクシヨンケーシング部で吐出圧力が吸込側に漏えいするのをエラストリックパッキンで防ぎ、1点は最終段ケーシング部で数枚のエ

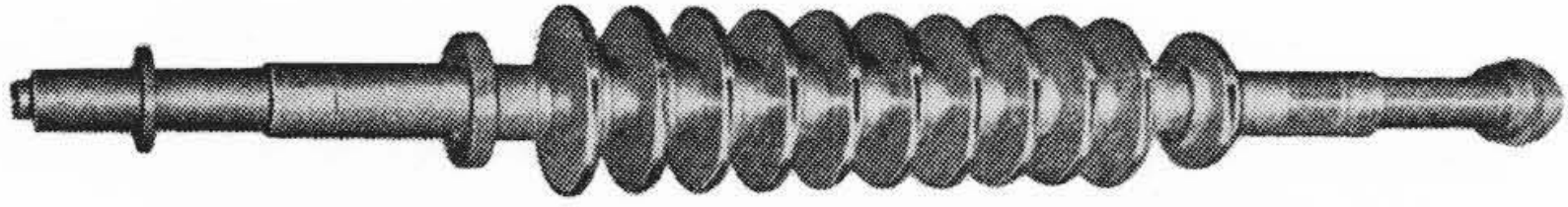
ラस्टリックパッキンによって、外ケーシングと内ケーシングの膨脹収縮の差を吸収している。この外ケーシングが内ケーシングを支持し、接触しゅう動する部分は、特にステンレス鋼で盛金し摩滅を防止している。内外ケーシング間の空間には、吐出圧力水が充満していて、高い内圧はすべてじょうぶな外ケーシングで受持ち、内ケーシングを外側から吐出圧力で締付けているので、内ケーシングの締付ボルトは細いものでよく、ケーシング各部の温度変化は、急速にしかも均一にゆきわたる。

3.2 高温における構造上の問題

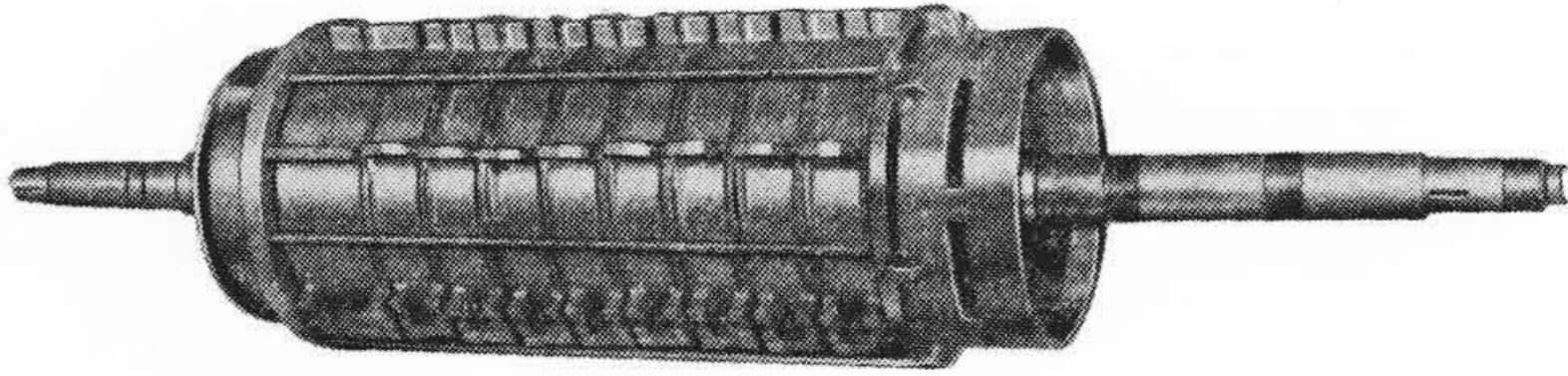
バレル形タービンポンプは、高い給水温度で使用されるボイラ給水ポンプとして非常にすぐれた特色をもっている。ポンプの外ケーシングは、軸心の高さでベースに支持されていて高温時にも軸心の高さが変わることがないから、電動機とポンプの両軸心の高さは常に同一である。また、ポンプケーシングの位置の固定は、ケーシングの下部にあるピンとキーによっていて、外ケーシングの温度変化による膨脹収縮は、このピンを中心として自由に許されている。内ケーシングは、外ケーシングの2点に遊動自在に取付けられていて、内外ケーシングの温度の差異、膨脹係数の相違などによる膨脹収縮は、すべて外ケーシングカバーと内ケーシングの間のエラストリックパッキンによって吸収される。回転軸は、バランスシートとバランスジスクのしゅう動面を中心として接手側に膨脹するが、この膨脹は、ケーシングの膨脹と反対方向で、その量は互に相殺され、ケーシングと回転部との軸方向の位置の狂いがほとんどないばかりでなく電動機方向への軸の伸びは僅少でその値を2 mm以内とすることができる。電動機軸の軸受の遊びきは10 mmあって、この軸の伸びによって電動機の軸受を焼損することがないようにしてある。また、軸に直角な断面について考えてみると、外ケーシング、内ケーシング、回転部はすべて中心に関して対象で、温度上昇によるひずみのおこることが非常に少ない。このことは、全周に対称なガイドホイールをもつタービンポンプの非常によい特長である。

3.3 回転部の構成と推力の平衡

羽根車は、両吸込1段目羽根車を除いて、2段目から最終段の11段目まで片吸込の羽根車を同一方向に配列し、軸に二つ割れ止リングで固定し、羽根車の推力は1個ずつ軸に伝わるようにしてある。羽根車による軸推力は、かなり大きい力になるが、この構造によって推力は均等して軸に伝わり、軸やスリーブに変形をおこすことがない。軸方向の推力は、簡単なバランスジスク構造によって自動的に平衡させている。ポンプの吐出圧力は、バランスジスクで減圧されるので、グランドパッキンにかかる圧力は高圧側といえども低くとることができる。バランスジスクは、起動時または停止時に、ポンプの圧力が十分上っていないときには十分な働きをせず、しゅう動面が摩滅するので、軸端の軸受に推力軸受を置いて保護装置としている。もちろん運転中は、バランスジスクのみが作用して全軸推力を受持ちこの推力軸受は作用しない。



第 5 図 回 転 部



第 6 図 内ケーシングの組立品

軸の材料には、強力耐食性の強いクロームバナジウムモリブデン鋼を使用する。この材料は、羽根車に用いる 13%クローム鋳鋼に比較して熱膨張係数が高いので、羽根車と軸とは、常温では分解組立が容易な範囲でかたくな合しているが、仕様温度でははるかにかたいかん合になって運転される。羽根車の内径と軸の外径の寸法差は 0.02 mm 温度上昇によるすきまの減少は 0.03 mm である。本機の回転部を第 5 図に示す。

3.4 主要部品の材質

ボイラ給水ポンプの材質を決定する要素は、ポンプの高温高圧の使用に対して安全で十分な強度をもつこと、運転に対する信頼性があること、絶対に事故を起さないこと、耐久力があること、長年月の運転に対しても性能の低下や事故の発生を招かないこと、分解組立が容易であることなどである。

せまいすきまを高速の流水に洗われながら高速の円周速度でしゅう動する羽根車とマウスリング、バランスジスクとバランスシート、あるいは、はげしい摩滅の予想される軸スリーブとグランドパッキンなどは特に重要で、前者には、なじみの薄い異種の材料を高い硬度でしかも硬度差のあるように熱処理したものを組み合わせ、後者には、耐食性の強いステンレス鋼にステライトを盛金して摩滅を防いでいる。下表に本機の主要部分の材質を示す。

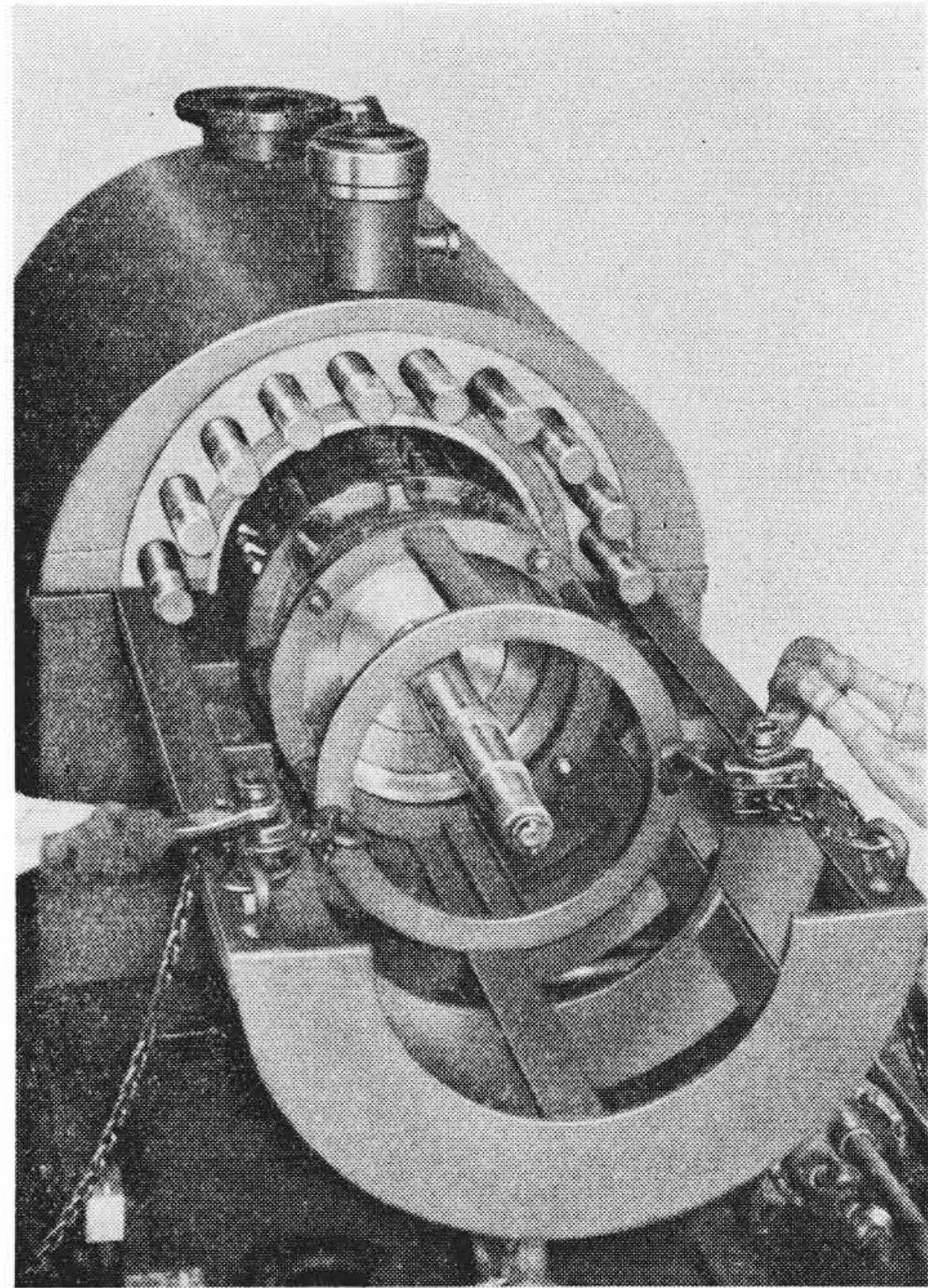
外ケーシング	鍛鋼 (S30C)
外ケーシングカバー	鍛鋼 (S30C)
内ケーシング	5%クロームモリブデン鋳鋼
マウスリング	5%クロームモリブデン鋼
ステージブッシュ	5%クロームモリブデン鋼
羽根車	13%クローム鋳鋼 (SCS2)
軸	クロームバナジウムモリブデン鋼
バランスジスク	13%クローム鋼 (SUS2)
バランスシート	5%クロームモリブデン鋼
軸スリーブ	18-8ステンレス鋼 (SUS7)
	ステライト盛金

4. ボイラ給水ポンプの保守と取扱い

ボイラ給水ポンプの事故は、そのまま発電所の事故ともなるので、ポンプの保守は特に注意を要する問題である。このポンプについては、保守と取扱いが容易であるとともに、事故を招かないよう保守装置の万全を期した。

4.1 分解組立

バーレル形タービンポンプは、分解組立には特に考慮が払われていて、このような大容量のポンプの場合でも専用の工具によって非常に容易である。二重ケーシング構造であるので吸吐配管はいずれも外ケーシングに取付けられていて、この配管を取外すことなく内



第 7 図 内ケーシング引出

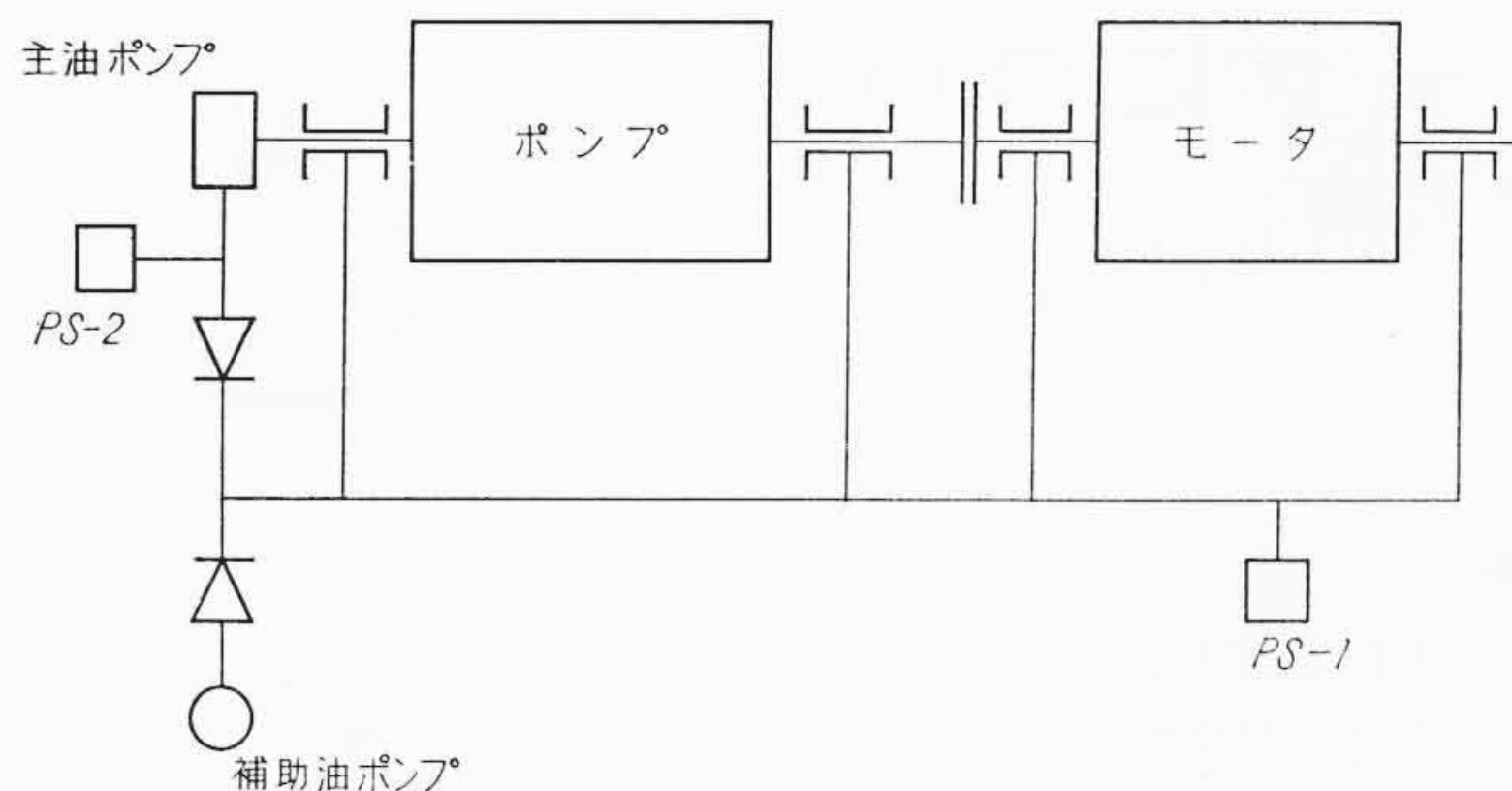
ケーシング、回転部を引出し、自由な場所でさらに細部の分解点検をすることができる。内ケーシングは、外ケーシングに 2 点で支持されているので外ケーシングカバーをはずすと、第 6 図に示すような内ケーシングと回転部の組立品を外部へ容易に引出すことができる。支持部分は、いずれもステンレス鋼で肉盛されていてさび付きによって分解不能になるようなことはない。内ケーシング引出しは、付属の特殊工具によって容易にできる。第 7 図は引出作業中の状況を示している。外部に引出した内ケーシングと回転部の組立品は輪切形ステージケーシングと羽根車とを交互に分解する。羽根車は、常温では軸上を移動しうる程度にかん合しているので、細部の分解も容易にできる。

4.2 押込圧力とサクションストレーナ

正規の押込圧力が維持されないと、キャビテーションをおこしたり蒸気が発生したりして、焼付事故の原因となるので注意を要する。たとえば、吸込側の弁が閉鎖したまま、または半開のまま起動することは、大きな抵抗になってポンプ入口の押込圧力を下げるので、絶対にさけねばならない。また、建設当初のスケールなどが吸込配管からポンプ内部に流入することを防止するために、サクションフランジの前にストレーナを設けているが、ストレーナがつまると、やはり抵抗損失となって押込圧力を低下させるので、このときは、一時ポンプをとめてストレーナを掃除せねばならない。ストレーナの前後には圧力計があって、この圧力差の増加の状況によってストレーナのつまりぐあいを確認することができる。24 時間以上圧力差が増加しないときには、ストレーナを除去してもよい。

4.3 最低給水量と過熱防止装置

ポンプの給水量が減少すると、ポンプの効率が低下して、動力の大部分はポンプ内で熱に変わるので、ボイラの要求いかんにかかわらずポンプの給水量は一定値以下にならないことが必要である。ポンプの過熱防止装置は、この目的に使用されるもので、吐出管の途中に取付けたフローノズルによってボイラへの給水量を測定し、給水量が一定値以下に減少すると吐出管から脱気器へ連絡する管路のコントロールバルブを開いて最低給水量を放流し、ポンプの給水量の低下を防止する。今回の場合の最低給水量は 60t/h である。コントロールバルブは、全開または全閉とし放流水量の制御は、マツフルドオリフィスによっている。



第8図 油配管図

4.4 予備ポンプの暖機

運転中のポンプを切替えて、停止中の予備ポンプを急速に起動するために、停止中のポンプは運転中のポンプの吐出圧力を利用して暖機している。暖機の方法は、吐出側の弁類をバイパスしている配管を通じて、ポンプの吐出口からポンプケーシング内をへて、吸込口へ高温の水を流すもので、暖機水量は、1.5t/hである。水量の制御は、バイパス配管にあるオリフィスによっている。

4.5 バランス配管

このポンプは、バランスジスク構造によって、回転部の軸推力を平衡させているので、バランスジスクから放流される水を低圧の脱気器へもどすバランス配管が必要である。この配管を流れる水は、ポンプの給水量の変化とはあまり関係がなく常に約8t/hであるが、この配管が閉鎖されるとバランスジスクがその機能を失い、回転部の軸推力平衡が破れて重大な事故となるので、絶対に途中の弁などによって、閉鎖してポンプを運転してはならない。逆止弁以外の弁は取付けないのが普通である。

4.6 軸受給油の方式

ポンプおよび電動機の軸受の給油は、ポンプの軸端に取付けてある主油ポンプと、油タンクに取付けた1.5kWの電動補助油ポンプによる強制給油である。給油を完全に行うため、ポンプの起動停止の操作および油圧低下の警報は、つぎの要領によって行う。(第8図)

- 補助油ポンプを手動にて起動
- 油配管の圧力が上って0.7kg/cm²g以上になると、圧力スイッチ PS-1 が動作してランプ点灯する。
- ランプ点灯を確認したら主ポンプを手動で起動する。
- 主ポンプの起動により主油ポンプが運転すると、主油ポンプ吐出側の油圧が上り、1.2kg/cm²g以上になると、圧力スイッチ PS-2 が動作して補助油ポンプは自動停止する。
- 主ポンプの停止は、手動で行う。

- 主ポンプを停止させると、補助油ポンプが自動起動する。
- 主ポンプが完全に停止するのを確認してから、補助油ポンプを手動停止させる。
- 運転中に主油ポンプの油圧が1kg/cm²g以下になると、圧力スイッチ PS-2 が動作して補助油ポンプを自動起動させる。
- 各軸受の排油側におのおの接点付温度計があって、油の温度が75°Cをこえると警報を発する。

4.7 そのほかの運転上の注意

事故をおこすことなく、ポンプを運転するためには、以上述べたことに万全の準備を行う必要があるが、このほかに起動時の予備操作として次のような注意がある。ポンプの据付後始めて起動するときには、

- 吸込側の弁はすべて全開する。
- 空気抜弁を用いてポンプ内の空気を十分に除去する。
- 冷却水管の出入口弁を開いてポンプ内の空気を十分に除去する。(所要水量は1台について300l/min)
- 吐出弁は全閉して起動し、ボイラに水がはってから吐出弁を徐々に開く。

また、発電所運転中は、2台は運転1台は予備になっていて、この場合には、

- 運転中のポンプも待機中のポンプも出入口の弁を全開しておいて、予備ポンプは急速起動に備えて逆止弁のみによって逆流を防止する。
- 予備ポンプは、暖機配管の弁を常時開放して暖機しておく。
- 予備ポンプも冷却水の出入口弁を開いて、冷却水を通していき、急速起動できるようにする。

5. 結 言

最近完成した東京電力株式会社品川火力発電所のボイラ給水ポンプについて、その性能、構造および取扱法についてくわしく説明した。このボイラ給水ポンプは、電動機直結のボイラ給水ポンプとしては、おそらく最高級最大容量となるもので、高温高圧用として最適の構造を有するバーレル形多段タービンポンプの代表的製品である。

さらに発電所の容量が大きくなると、吐出圧力が大となって直結回転数では段数が大になり軸受間距離が長くなるので、高速回転数を採用せざるをえないようになるが、この場合にもバーレル形構造の優秀性はますます発揮され、われわれのこれまでの経験をそのまま基礎とすることができる。

Vol. 42

日 立
目

評 論
次

No. 6

◎火力発電所用高温高圧配管に関する一般的考察
◎復水器冷却水循環系統のサイホン効率
◎日立空気作動式汽罐自動燃焼制御装置
◎固体絶縁材料の耐コロナ性
◎新形配電用メタルクラッド配電盤
◎電動機用グリースの検討(第1報)——一般的性状について——
◎株式会社中山製鋼所納400kW酸素ガス圧縮機

◎仙山線交流電気機関車用シリコン整流器
◎電車用集中式冷房および電源装置について
◎最近のサーボコンピュータについて
◎CT-150形色差方式カラーテレビ受信機
◎モータレット試験による絶縁ワニスの寿命評価
◎超高压ケーブル用絶縁用のV-t特性と吸湿
◎数種のフェライト系耐熱鋼の高温機械的性質

発行所
取次店

日 立 評 論 社
株式会社オーム社書店