

最近の日立船用蒸気タービン

The Latest Hitachi Marine Turbines

久保田 富則*

内容梗概

最近輸出船に搭載する日立船用蒸気タービンの進出が目ざましくなってきた。
 グーランドリス社、33,000 t 油槽船アレキサンドラ1世号に搭載した 15,000 HP タービンが完成され、昭和31年2月21日きわめて好成績で海上試運転は終了し、25日同船は就航した。
 本タービンは蒸気入口、41.1 kg/cm²g、449°C の高温高圧タービンである。本文にて本タービンおよび附属装置の性能および構造を紹介する。

〔I〕 緒 言

日立製作所においてはさきにノミコス社納 6,600 HP タービンおよびグーランドリス社 15,000 HP タービンを製作したが、その後画期的な輸出造船の活況に呼応し 8,200 HP、17,000 HP および 19,500 HP とつぎつぎに大型タービンの製作に着手している。

船用蒸気タービンについて高温高圧化することの利点は早くからわかつていながらも使用材料のクリープ強度、弁、コック、パッキングの耐熱強度、運転保守の安全性など随分永い間討議されてきたが今回 41.1 kg/cm²g 449°C の 15,000 HP タービンを完成することができたことを非常に喜びとするしだいである。

日立船用蒸気タービンは設計製作に対するあらゆる問題について基礎的研究および実物研究を行つて検討しこれらの諸問題はすべて解決され、将来さらに大容量、高温高圧タービンの製作に対して自信を深めることができた。ここにこれらの大型タービンのうち今回完成されたグーランドリス社納め 15,000 HP タービンおよび附属装置の概要を紹介する。

〔II〕 タービンの性能

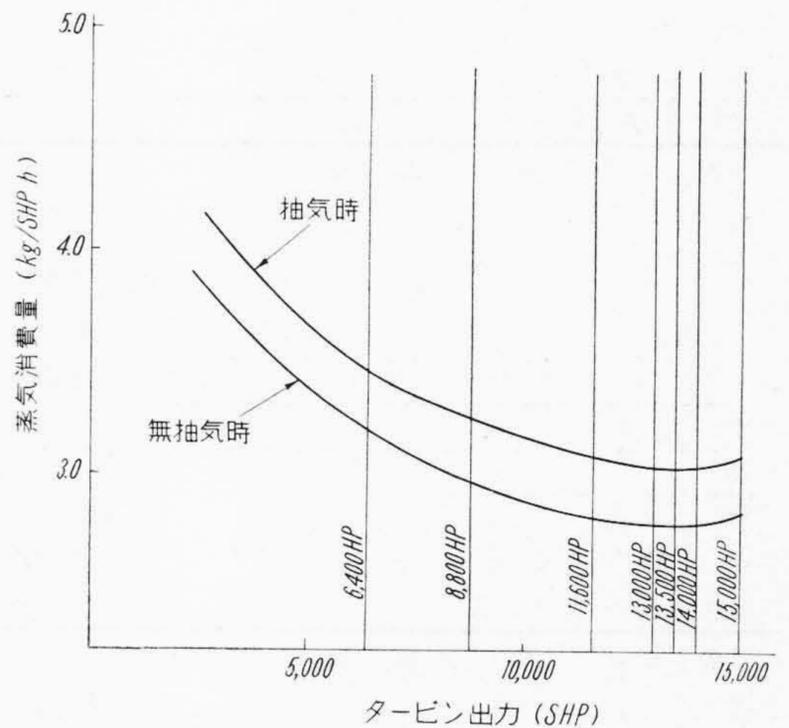
(1) 仕様

本タービンの仕様を第1表（次頁参照）に示す。
 本タービンの蒸気消費量曲線を第1図に示す。

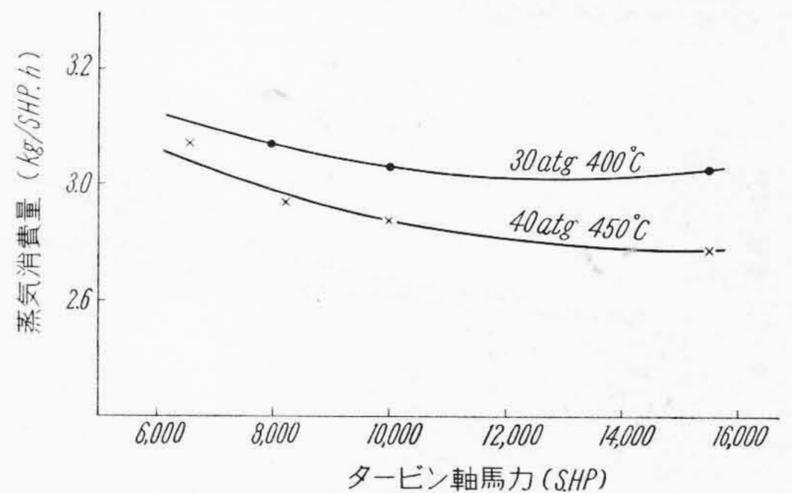
(2) 蒸気状態および重量と長さ

本タービン蒸気圧力および温度は多年の宿望である 40 kg/cm²g、450°C を採用された。第2図～第4図は蒸気状態が 30 kg/cm²g、400°C と 40 kg/cm²g、450°C におけるタービンの蒸気消費量、重量およびタービン全長がどうなるかという比較であるが 40kg/cm²g、450°C の場合は 30 kg/cm²g、400°C の場合に比して 15,000 HP 時において蒸気消費量は約 8% 重量約 12% 全長約 11% 減小することができる。

* 日立製作所日立工場



第1図 蒸気消費量曲線
 Fig. 1. Steam Consumption Curve



第2図 高温高圧蒸気の使用によるタービン蒸気消費量の減少
 Fig. 2. Decrease of Turbine Steam Consumption Due to the Use of High Temperature, High Pressure Steam

(3) タービン内部効率の上昇

タービンの内部効率を向上させるためにつぎのような考慮が払われている。

(A) タービンは高圧8段、低圧8段、後進2段の計18段の多段式とし、各段落の熱落差配分を最適に選びま

第1表 15,000 HP タービン仕様
Table 1. Specification of 15,000 HP Marine Turbine

タービン

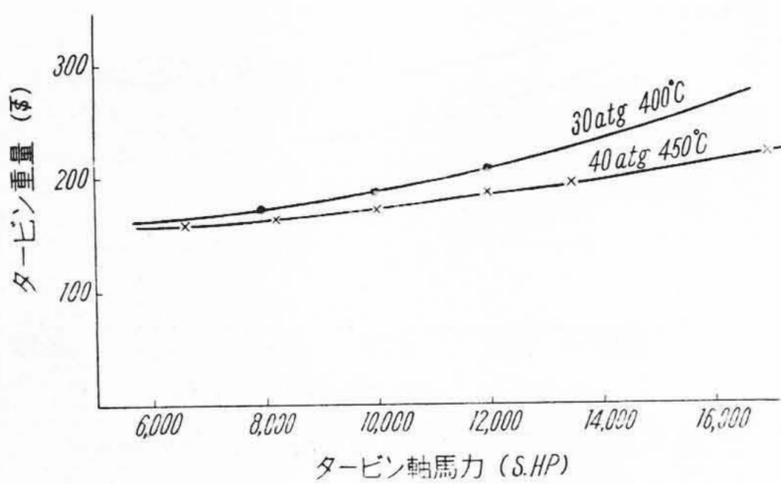
名称	単位	前		進		後
		定	格	最	大	
型式		横置衝動式複気筒クロスコンパウンド型				
初蒸気圧力	kg/cm ² g	41.1		(585 PSig)		
初蒸気温度	°C	449		(840°F)		
復水器真空	mm Hg	722		(28.5 in Hg)		
軸馬力	HP	13,500		15,000		5,400
主軸回転数	rpm	105		108.5		73.5
高圧タービン回転数	rpm	6,265		6,474		
低圧タービン回転数	rpm	4,120		4,257		
タービン高圧		ラトー 8 段				
段落数低圧		ラトー 8 段				
		カーチス トラロー 各1段				

減速装置

名称	単位	計画要目						
		第1段歯車				第2段歯車		
型式		ダブルヘリカル 2段減速歯車						
		高圧子	高圧親	低圧子	低圧親	高圧子	親	低圧子
ピッチ円直径	mm	250.229	2179.771	361.134	2068.866	615.340	4214.660	615.340
歯数		45	392	59	338	73	500	73
歯幅		275×2+70				580×2+80		
減速比		8.7111		5.7288		6.8493		
全減速比		高圧 59.665				低圧 39.238		

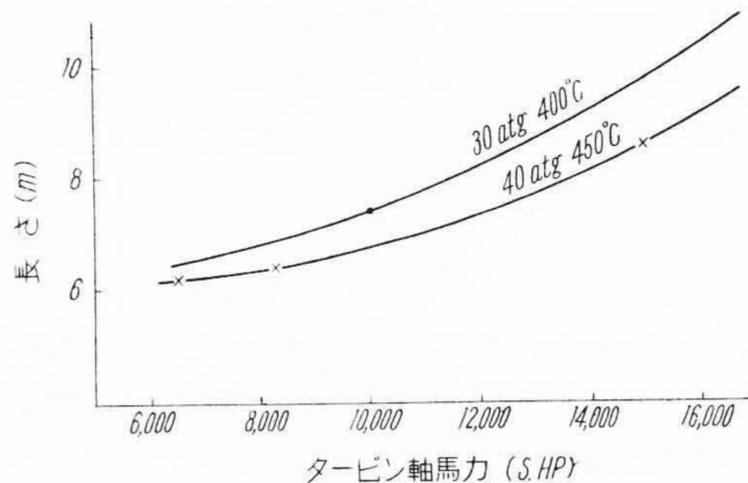
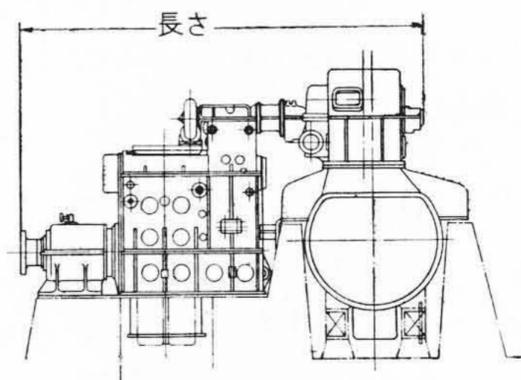
復水器

名称	単位	計画要目
型式		二折流表面復水器
タービン出力	HP	定格 13,500
上部真空	mm Hg	722 (28.5 in Hg) 定格 13,500 HP 時 冷却水 25°C
冷却面積	M ²	1350 (14,500 Ft ²)
冷却管取付方法		水入口側エキスパンダー 水出口側メタリックパッキング



第3図 高温高圧蒸気の使用によるタービン重量の減少

Fig. 3. Decrease of Turbine Weight Due to the Use of High Temperature High Pressure Steam



第4図 高温高圧蒸気の使用によるタービン長さの減少

Fig. 4. Decrease of Turbine Length Due to the Use of High Temperature, High Pressure Steam

た各段のノズルおよび翼の通過面積は実際運転時の抽気の状態で最高の効率を発揮するように設計されている。

(B) ノズルの形状は効率のよいネガティブノズルを採用し高圧部は蒸気漏洩のまつたくない溶接構造とし、また翼形状は流体力学的にもつともよく適合した効率のよい形状とし、一部分に適度の反動度を持たせている。

(C) 調整段にはラトー段を用いて効率の向上を計っている。

(D) ノズルと翼の高さのオーバーラップは従来のものに比していちぢるしく小さくしノズルを出た蒸気が翼に流入する際に渦による損失を生ぜぬよう考慮されている。

(E) 特に高圧部の翼車の直径を小さくし一体鍛造削り出しロータの採用によりダイヤフラムパッキン部の直径を小さくして蒸気の漏洩損失を減少させている。

(F) ダイヤフラムパッキンおよびグラウンドのラビリンスパッキンはスプリングで抑える方式の採用により車軸との間隙を最小にすることができ漏洩損失を最小にしている。

(G) 動翼のシュラウドリングをノズル側に伸ばしてノズルとの間隙を最小にすることによつて動翼側面よりの漏洩蒸気を減少させることができる。

(H) 低圧タービン排気室はもつとも損失の少ない構造と面積が選定されている。

(I) 低圧段落に生ずるドレンは有効な方法でダイヤフラムの間隙から直接復水器に引かれる構造となつているので低圧段落の湿り損失はきわめて少なくなつている。

(J) 低圧後進段落との仕切にそらせ板があるので風損が少なくなつている。

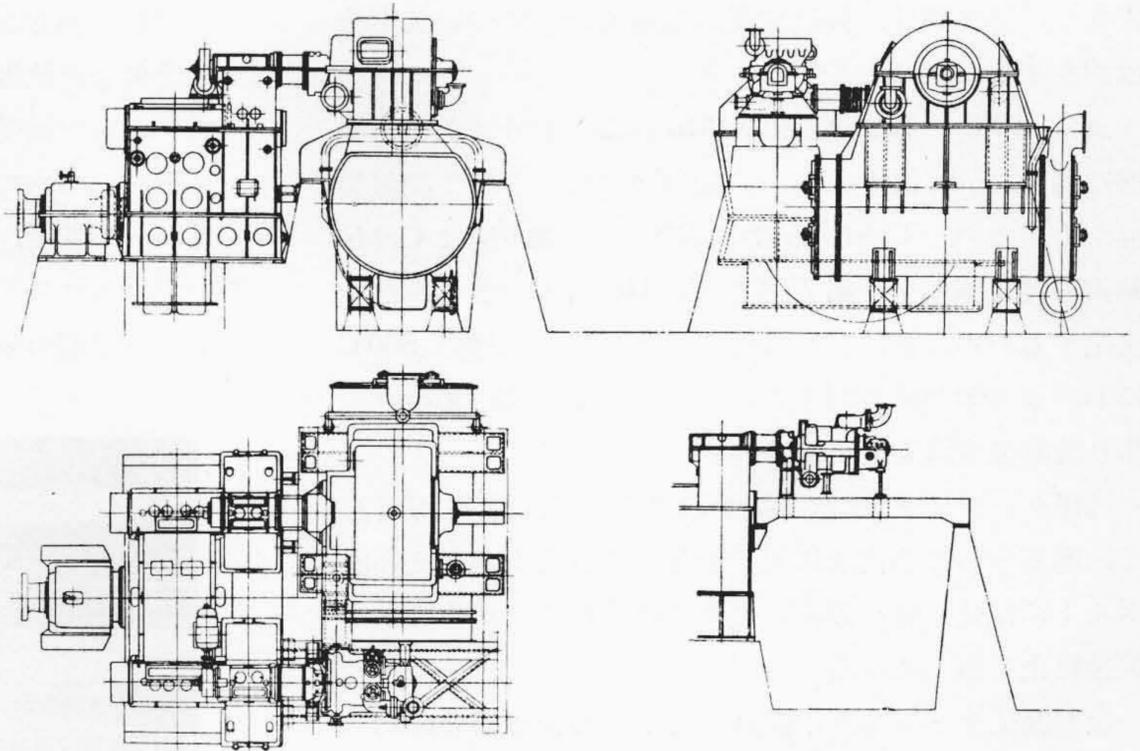
(K) 衝動タービンのため出力の変動に対し効率の変動が小さくなつている。

以上のごとき設計によつて本タービンの内部効率は83%以上になつている。

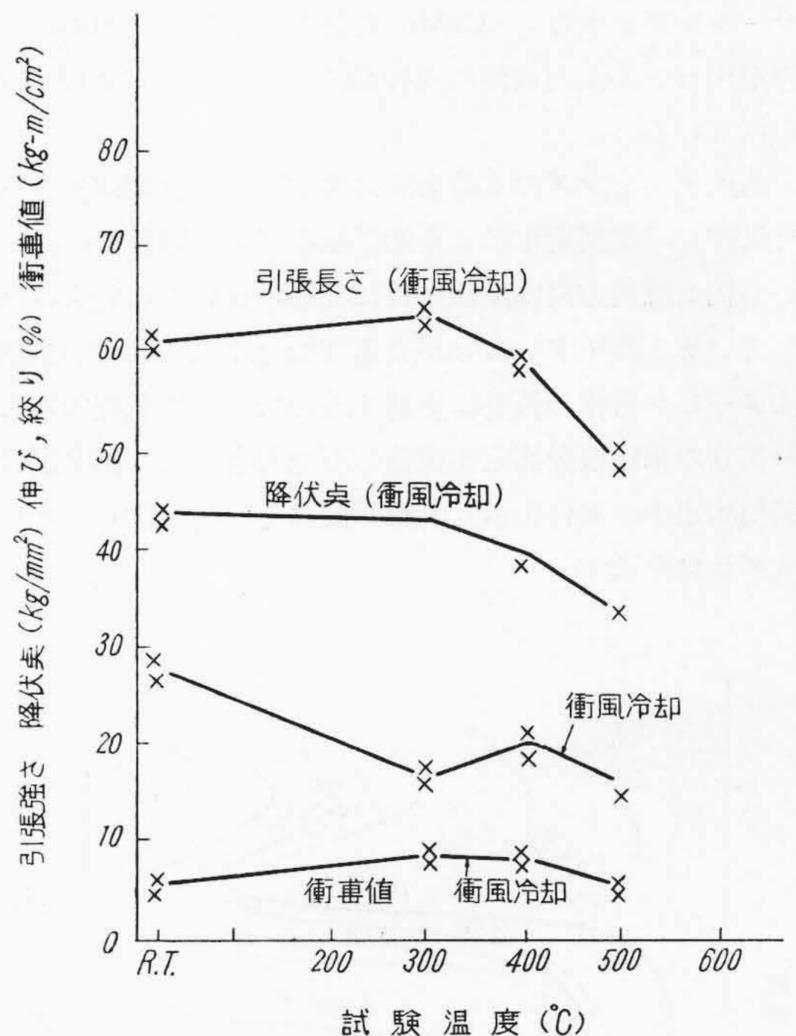
〔III〕 タービンおよび減速歯車の構造および材料

第5図に本機の全体配置図を示す。

タービンは高圧と低圧タービンに別れ、高圧タービンはビーム上に取付け、低圧タービンは復水器で支持される。主推力軸受は減速車室とは別体とし、減速歯車は軸



第5図 15,000 HP タービン全体配置図
Fig. 5. Layout of 15,000 HP Marine Turbine



第6図 CrMo 鋳鋼の高温強度
Fig. 6. Strength of CrMo Cast Steel in High Temperature

間をいちぢるしく短縮し全体配置をコンパクトにしている。

(1) タービン

(A) タービン車室

高圧ケーシングは CrMo 鋳鋼製であり本材料は日立製作所日立研究所および水戸工場において詳細な基礎研

究をし、熱処理性、高温強度、熔接性などについて十分検討を加えた。

通常 450°C の蒸気温度には Mo 鋳鋼で十分であるが本機は容量、圧力、温度において船用タービンとして記録製品でもあるので CrMo 鋳鋼を採用した。第6図は CrMo 鋳鋼の高温強度を、第7図は Cr Mo 鋳鋼の熱処理性を決定するために求めた S 曲線を示す。なお本材の 500°C における 100,000 時間 1% のクリープ限は 12 kg/cm² であり設計強度は安全である。

高圧ケーシングの水平接手のフランジは特に厚くして、熱変形および内圧に対し十分なる強度をあたえ高温ボルトには焼付孔を設け、適度の締代をあたえるほか、焼付防止を施している。

なお高圧ケーシングの鋳造および熔接後は必要に応じて X 線または γ 線検査を行い内部欠陥を完全に除去している。第8図に機械加工中の高圧ケーシングを示す。

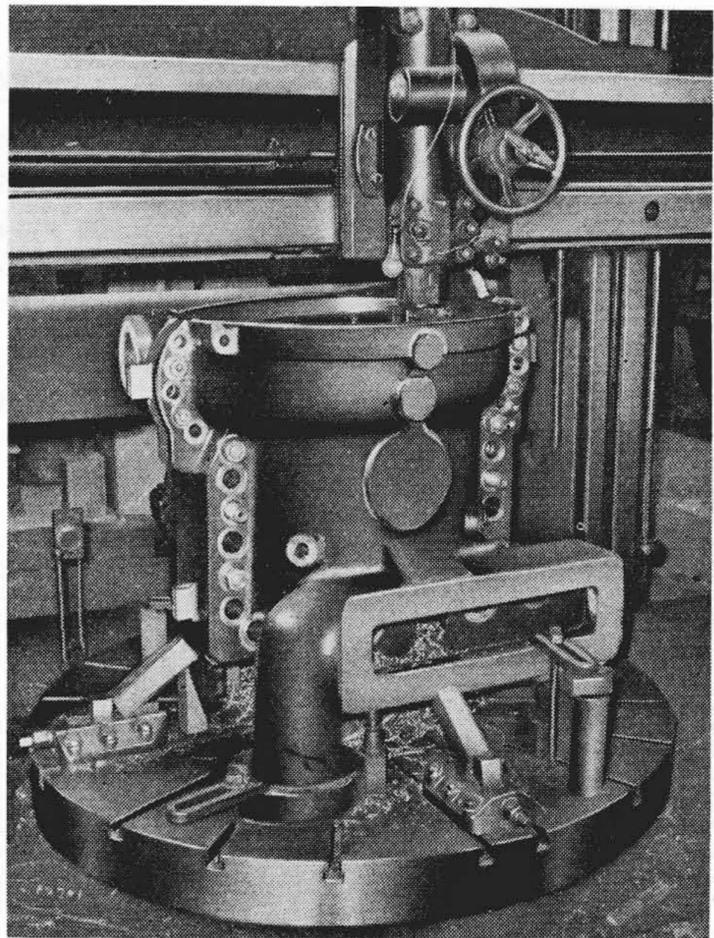
低圧ケーシングは鉄板熔接製とし、後進蒸気室は高圧ケーシングとおなじ CrMo 鋳鋼製とし上下2箇の中心固定用ピンと左右両側の支持脚により低圧車室に取付けられている。

高圧ケーシングの支持方式は架台上に船首側はバネ板で支持し、温度変化による熱膨脹を完全に船首側に逃しかつ軸と直角方向は剛性を持たせ芯の狂いがないようにしている。高圧タービンが高速回転するため架台の振動はタービン自体の振動に影響するので、工場試運転時この部分の単独振動測定を実施し万全をきした。第9図は振動測定中の架台を示し、第10図はその時実測したオシログラフを示す。

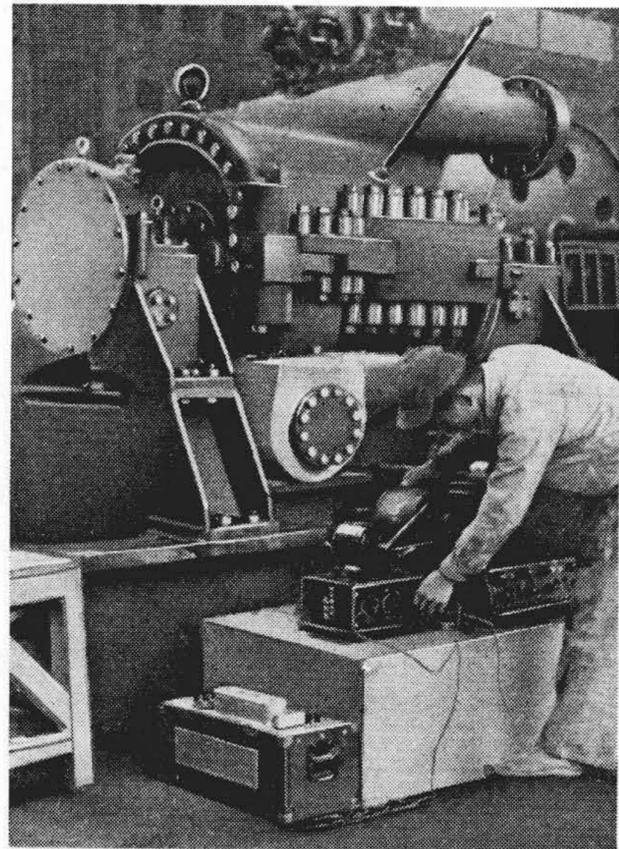
(B) 軸受および推力軸受

軸受裏金は鉄板製のリングにホワイトメタルを鋳込んだブッシュを軸受合金に挿入している。

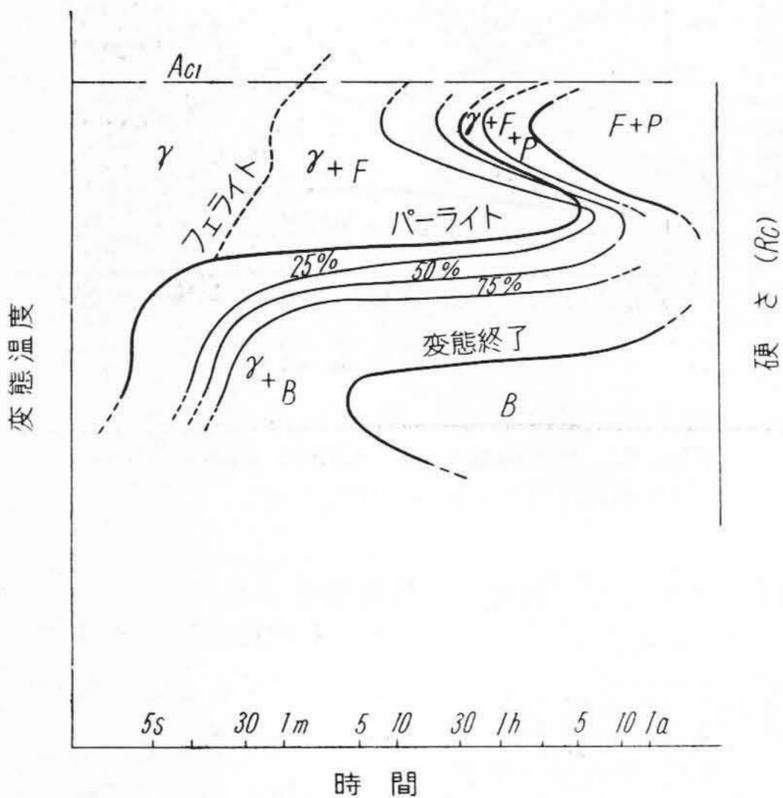
高圧タービンの推力軸受は船首側軸受に2箇のスラストカラーで受け、低圧タービンの推力軸受は船尾側軸受に1箇のスラストカラーで受けている。推力軸受はいずれも上下半割の鋼板に半径方向の分割されたホワイトメ



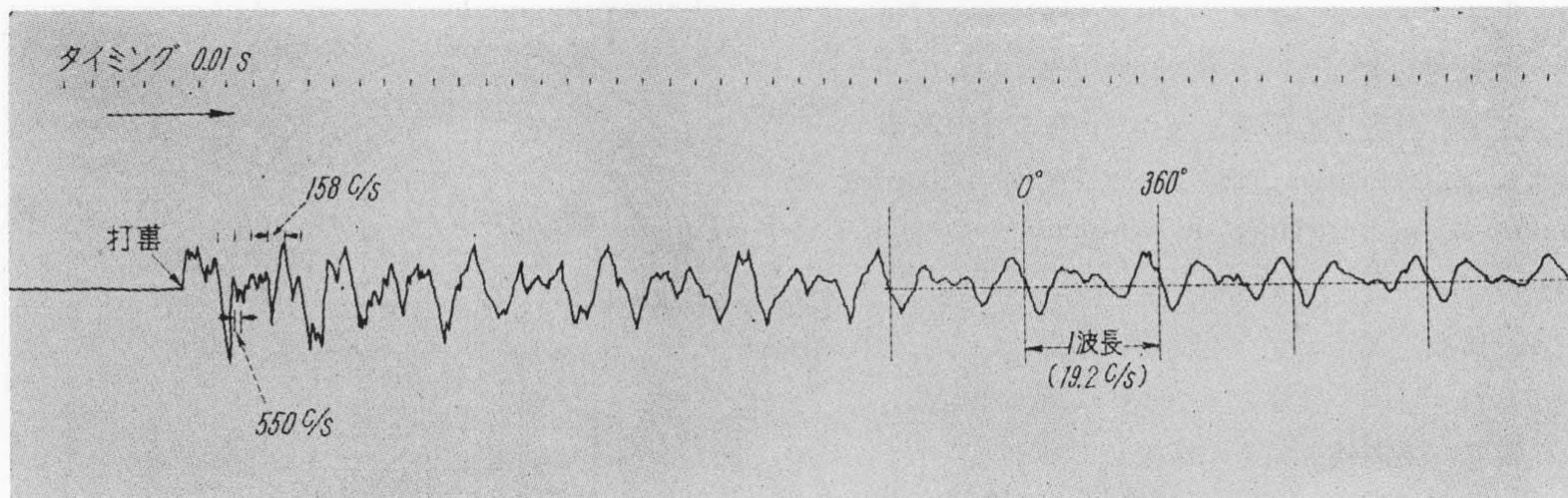
第8図 機械加工中の高圧ケーシング
Fig. 8. H. P. Casing Under Machining



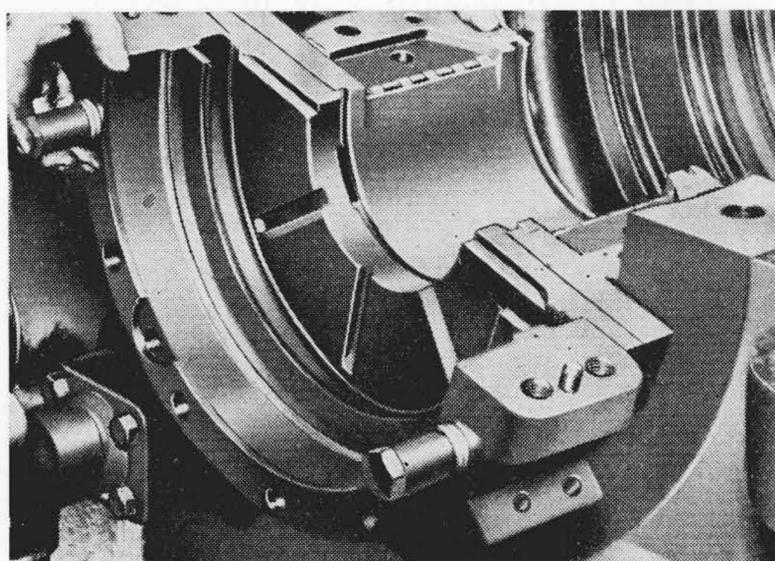
第9図 固有振動測定中の高圧タービン架台
Fig. 9. H. P. Turbine Under Measurement of Proper Vibration on a Frame



第7図 CrMo 鋳鋼の S 曲線
Fig. 7. S Curve of Cr Mo Cast Steel



第10図 タービンと架台の上下方向固有振動波形
Fig. 10. Perpendicular Vibration Wave Form of Turbine and Frame



第11図 テーパーランド型推力軸受
Fig. 11. Thrust Bearing of Taperland Type

タル面に特別のテーパーを附したいわゆるテーパーランド型推力軸受であり従来のミッチェル型推力軸受と比較して、軸受荷重が高くとれてかつ広範囲の運転が可能であるなどの長所をもっている。ホワイトメタルをライニングした時には特別の雇で船内でも修正加工ができるようにされている。第11図はテーパーランド型推力軸受を示す。

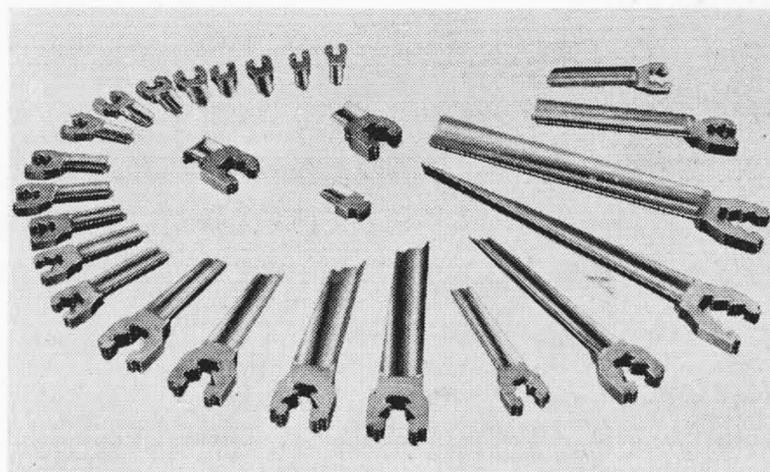
航海中の船の動揺あるいは軸車のおどりに対しては、軸または裏金の外側を球面にしているので常に中心性を失わないで安全な運転ができる。

(C) 翼およびロータ

翼の材料は 13Cr 不銹鋼であり、翼プロフィールは多年の研究と幾多の実績により決定された流体力学的にもつとも効率の良い形状であり、翼の植込部は翼車を外の方から抱く方式であつて下部のインロー部で固定されているため翼根部および翼車に対して遠心力による曲げモーメントが全然加わらない設計的にすぐれた形状となつている。また高圧第1段の翼は蒸気の部分噴射によつて生ずる苛酷な振動および応力に対して十分耐えるような構造になつておりさらに前進から後進への切換えや出力の変動に対しても翼植込部が弛んだりすることがないよう



第12図 タービン翼のマグナフラックス検査
Fig. 12. Magnaflex Examination of Turbine Blades



第13図 出来上つたタービン翼
Fig. 13. Finished Turbine Blades

になつている。

翼は加工後精密なマグナフラックス検査を行い完全なもののみを使用している。第12図は翼の精密検査中を示し、第13図はこうして完成されたタービン翼を示す。

シュラウドリングは各段ともノズル側に伸ばして軸方向の間隙を最小につめ、この部分の蒸気漏洩を防止する構造になつている。タービンロータは高低圧とも一体鍛

造削出しで、バラシングマシンでダイナミックバランスをとり組立てた後にあらゆる回転数でフィールドバランスをとることができる構造となつている。本タービンの船内単独運転時の振動は高圧タービン両振 1/100mm 低圧タービン両振 1.4/100mm 程度の優秀さであつた。

(D) ノズルおよびダイヤフラム

高圧部は熔接式ダイヤフラムが用いられている。角材から削出したノズルを2枚のスペーサに挟んで熔接し、これを内周輪、外周輪と完全に熔接している。

ノズル材は不銹鋼、スペーサーには低炭素鋼板、周輪、外周輪は高圧第1段は Cr Mo 鋳鋼、他の段落は規格鋼板を用いている。この熔接式ダイヤフラムは使用蒸気温度に適応した材料を自由に選択できる点がはなはだ便利であり、従来の組立式のものに比し蒸気漏洩がまったくなくまた強度的にも非常に安全である。第14図は熔接式ダイヤフラムの構造を示し、第15図は熔接中のダイヤフラムを示す。

低圧部は特殊鋳鉄にノズルを鋳込んだものを使っているがすべてに効率のよいネガティブノズルを採用している。

(E) 咬合接手

咬合歯車および中間接手は NiCrMo 鋼、鞘は鍛鋼を使用しており、特殊歯型の歯車接手で歯面は十分クラウニングし、センターリングの狂いを完全に吸収することができ、かつタービンを定置で接手のみをよいに分解点検できる構造となつている。

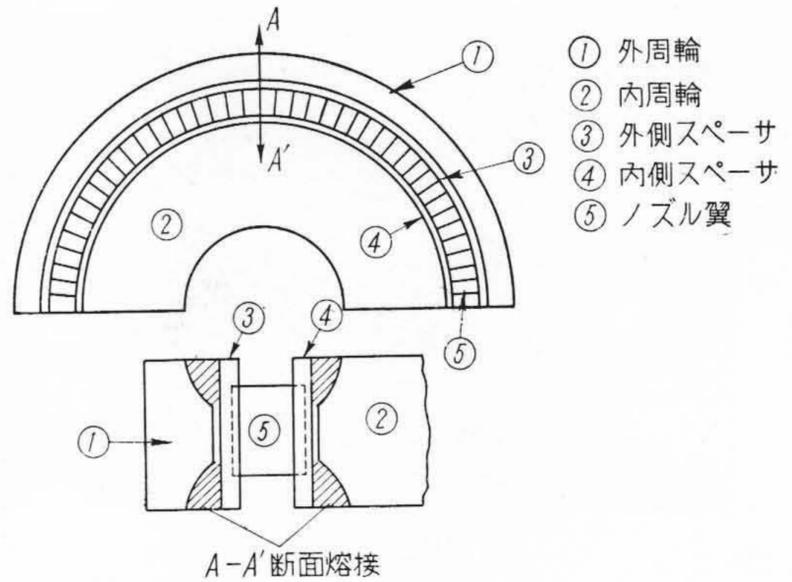
咬合歯車の給油は軸受の一部からノズルにより噴射されている。

(F) シャフトパッキング

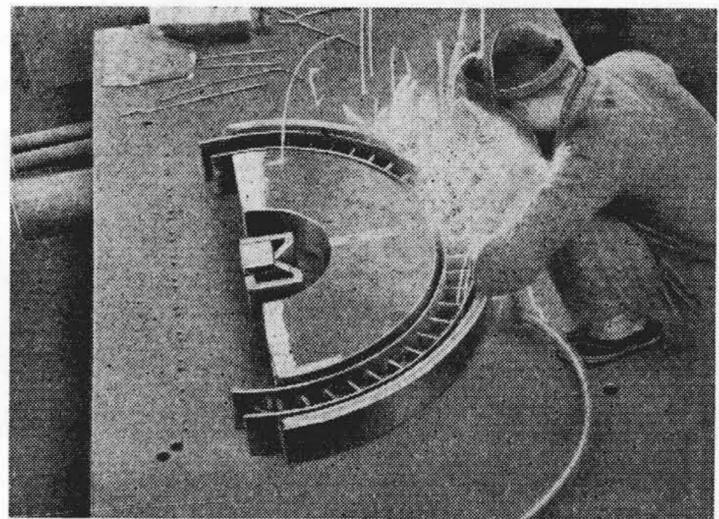
ラビリンスパッキングおよびダイヤフラムパッキングは Ni 真中鋳物であり、数箇のセグメントに押えられセグメントは裏側からスプリングで押える構造になつており、万一軸と接触するような場合でもこのセグメントが軽く逃げ軸車に強い擦熱を生じないようになつている。また軸を定置したまゝでもセグメントおよびスプリングを取換えができるようにリテーナーを取付け分解点検をよいにしている。

(G) 調速装置

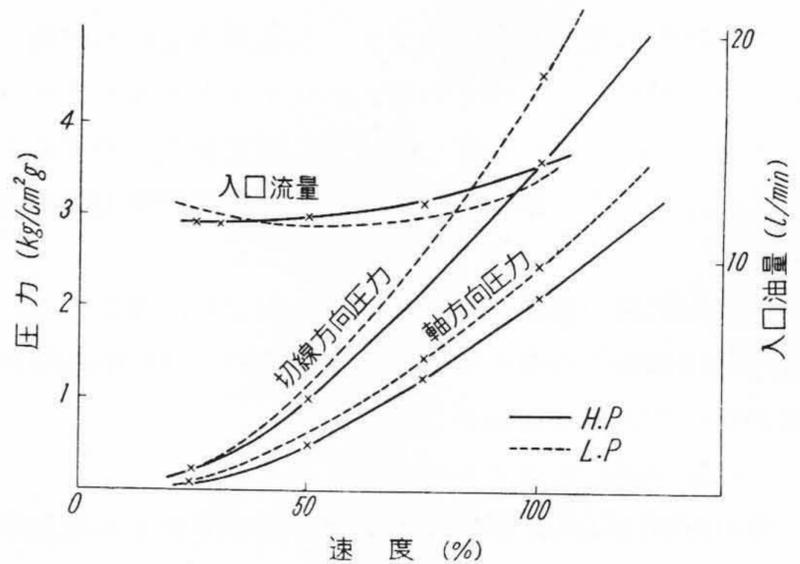
調速装置は高低圧タービンの回転数を自動的に定格速度に保持する装置でタービン船首側に取付けている。ガバナーポンプの吐出油圧を調整することによりタービンが過速して最大回転数の 115% になつた時または油圧が異常低下して 0.42 kg/cm²g 以下になつた場合操縦弁を閉止してタービンを保護するようになつている。第16図はガバナーポンプの特性曲線を示し、第17図は調速装置の系統を示す。



第14図 熔接式ダイヤフラムの構造
Fig. 14. Construction of Weld Type Diaphragm



第15図 熔接中のダイヤフラム
Fig. 15. Diaphragm Under Welding



第16図 ガバナーポンプの特性曲線
Fig. 16. Characteristic Curve of Governor Pump

(2) 減速装置

(A) 車室

車室は鉄板熔接構造で軸受および回転部分の分解点検がよいにできるよう設計されている。特に歯車咬合部の噴射状態が覗けるように適当な窓をつけ、船の動揺に

対しても剛さを保持し、歯車の噛合条件を変えさせぬよう適当な補強をつけている。

(B) 軸受

軸受メタルはいずれもスリーブ軸受で鋳鋼または鉄板製の上下半割のブッシュの内側にホワイトメタルを鋳込んでいる。

温度計および検油計は真上に取り出し、どのメタルについても適正な温度であるかどうかを知ることができる。

(C) 歯車

高低圧第1段および第2段ピニオンは Ni, Cr, Mo 鋼第1段および第2段親歯車縁金は炭素鋼、

同車殻は炭素鋼に鉄板を溶接している。可撓軸は Ni, Cr, Mo 鋼、第2段親歯車心棒は炭素鋼を使用している。低圧第1段ピニオンには可撓軸があるので主軸からくる振動を吸収するようになっている。第1表に示すごとく第2段親歯車の P.C.D は 4,214mm にもなるので歯切りは 20°C の恒温室にて入念な作業を行っている。

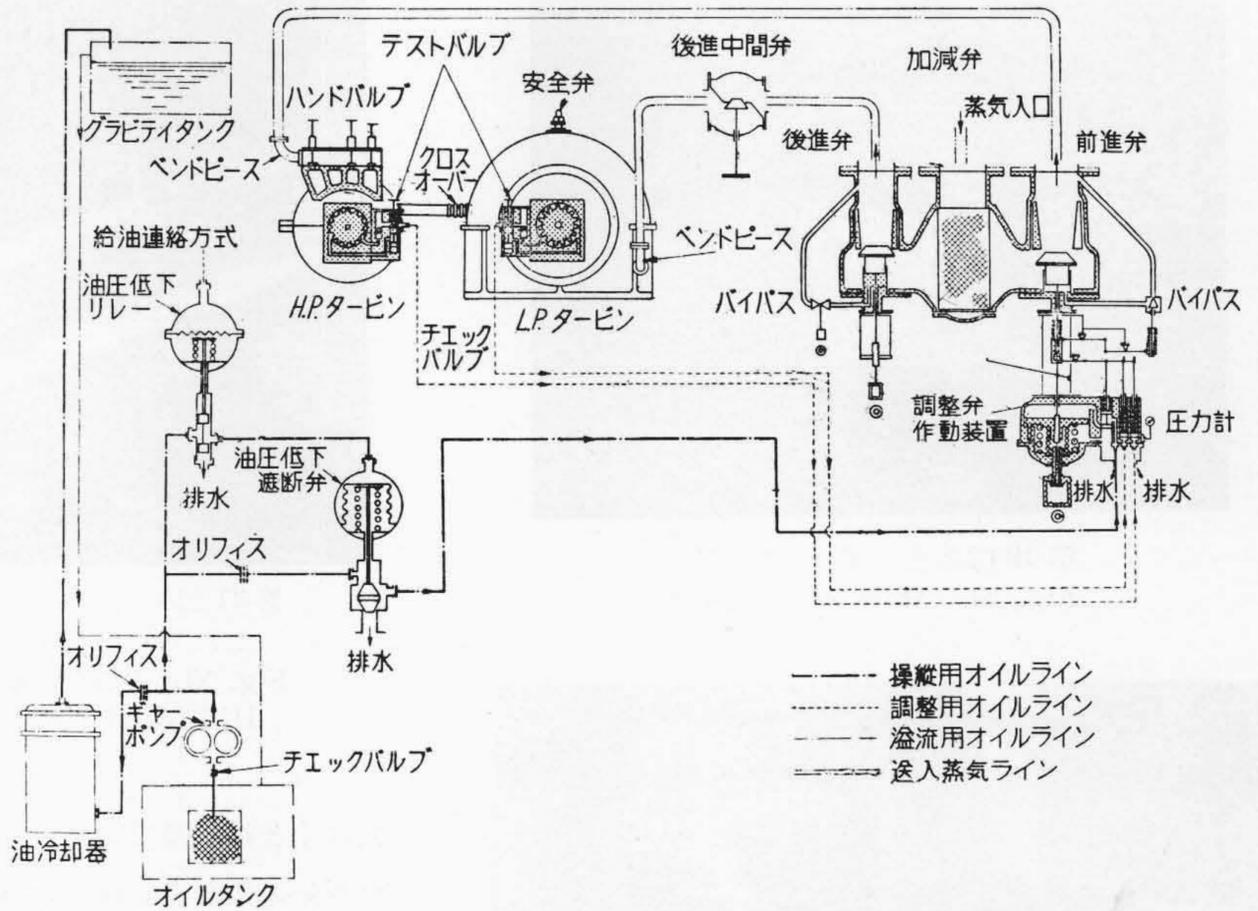
歯切り後はすべてシェービングを行い噛合による騒音および振動にも万全を期している。このように歯車の咬合条件を画期的に向上させることにより歯車の周速を 90 m/s にしても安全である。第18図は第2段親歯車のダイナミックバランス作業中を示す。

(D) 主推力軸受

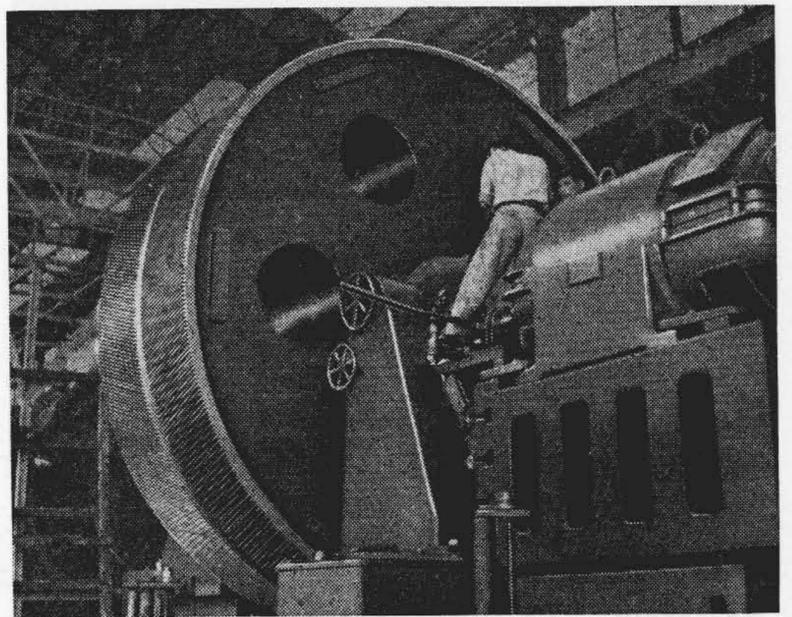
主推力軸受パッドは鋳鋼にホワイトメタルを鋳込んだものを使用している。型式はキングスベリー型で給油は下部から入り上部に提出する構造になっている。

(3) 主復水器

主復水器胴体は鋼板製丸型とし管板はネーバル黄銅板、冷却管はアルミニウムガラス、冷却管の取付方式は片側エキスパンド、片側メタリックパッキン式を採用し漏洩防止には特に注意をしている。冷却管の配列は十分な冷却効果をあげるようにし、タービンの過負荷運転または航海時の冷却水温度の上昇に対しても真室の低下がないよう冷却面積には十分の余裕をとって計画している。水室の仕切りには数箇の空気抜き孔を設け空気による冷却管の腐蝕を防止している。なお復水溜は再熱脱気式の構造になっているので復水の無用な過冷を防止し、



第17図 调速装置系統図
Fig. 17. Diagram of Governing Mechanism

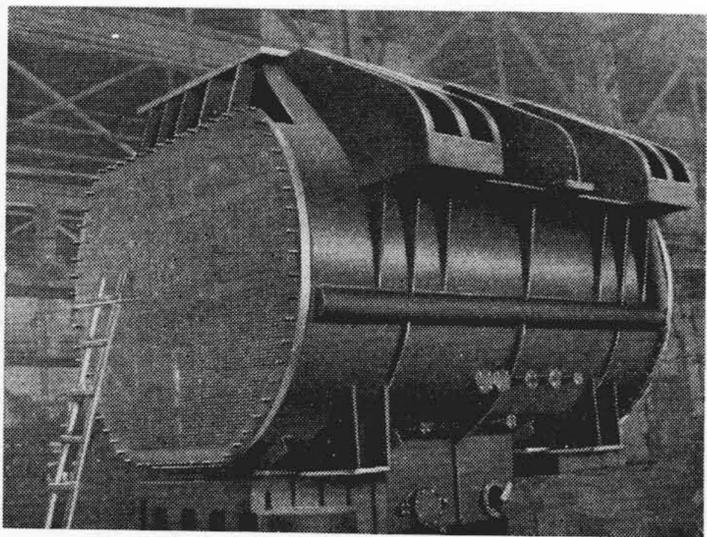


第18図 ダイナミックバランス中の第2段親歯車
Fig. 18. Second Stage Bull Gear Under Dynamic Balancing

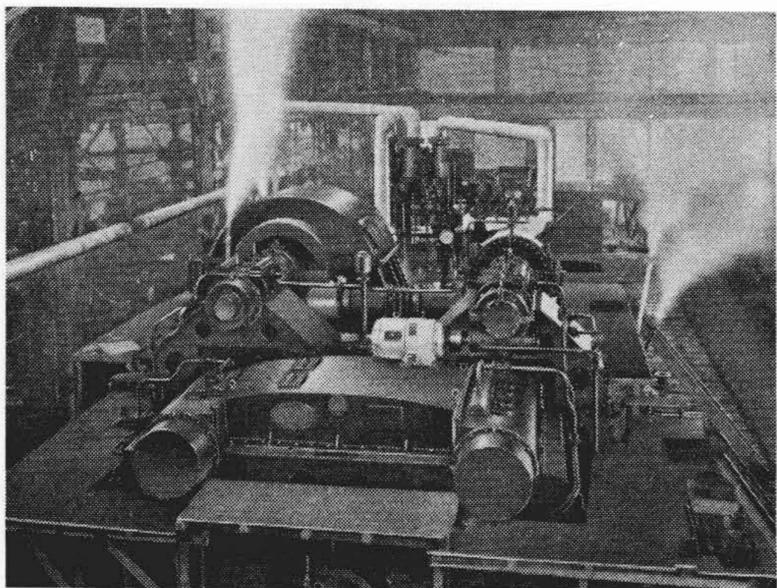
同時に復水中の酸素を脱出して酸素による管壁の腐蝕を防止するようにしている。復水器の支腕は低圧ケーシングおよび冷却水の重量を支える強さをもたせ胴体の下部につけた4箇のバネ支えは復水器自体を支える構造になっている。第19図は主復水器を示す。

[IV] 結 言

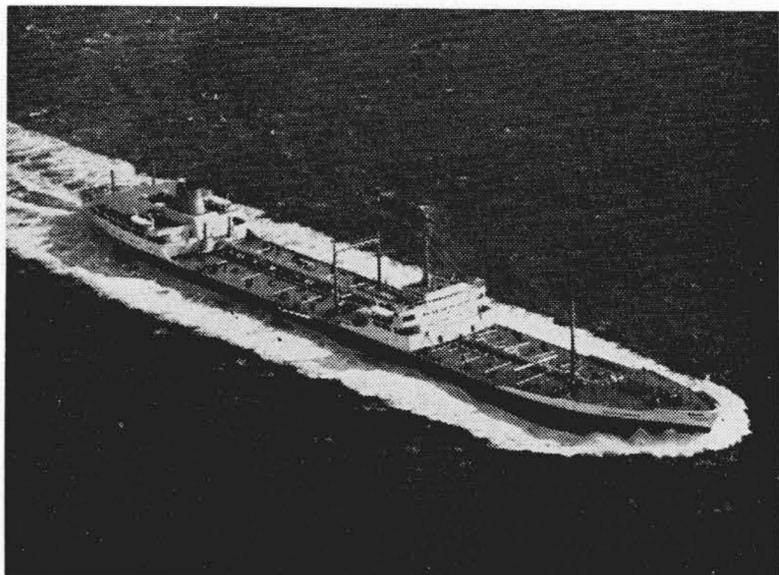
本機はグーランドリス社 33,000 t 油槽船、アレキサンドラ1世号タービン主機として日立造船因島造船所において艤装され昭和30年2月21日船主ならびにロイド検査官立会による海上試運転を終了し、25日処女航海につ



第19図 主復水器
Fig. 19. Main Condenser



第20図 15,000 HP タービン陸上試運転
Fig. 20. Shop Trial Running of 15,000 HP Marine Turbine



第21図 日立 15,000 HP タービンを搭載したアレキサンドラ1世号
Fig. 21. "Alexandra-1" Powered by HITACHI 15,000 HP Turbine

大きくとれるので安全であることなど従来のいかなるタービンよりもすぐれていることが実証された。第20図は陸上試運転中の本タービンを示し、第21図は本機を搭載した 33,000 t アレキサンドラ1世号を示す。

日立製作所では今まで述べてきた 15,000 HP タービンのほかにさらに大容量のタービンを続々と設計製作している。今後さらに高温高圧化し、かつ使用条件が苛酷になるにつれあらゆる条件を考慮に入れたさらに高級な船用蒸気タービンを製作したいと日夜努力を続けている。

終りに本タービンの製作に当り、終始御懇切な御指導と御鞭撻をいただいた日立造船株式会社の関係各位ならびに本文を執筆するに当つて日立研究所および日立原料工場の研究資料を参考とさせて頂いたので関係各位に深甚なる謝意を表するしだいである。

参考文献

- (1) 横田：日立評論 9~17 (昭 31-3)
- (2) 造船協会誌：34~39 (昭 29-310 号)
- (3) The ASTM-ASME JOINT COMMITTEE ON EFFECT OF TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF METALS

いた。

40 kg/cm²g, 450°C の高温高圧大容量タービンとして造船界に新偉力を加えることができたことは製作者にとって真に喜びにたえぬところである。本タービンは海上試運転の結果からタービンの性能が画期的に向上したこと、すべてがコンパクトにできており操縦取扱がよいこと、衝動タービンの特長をよく生かし負荷の変動にも効率の変動が少くかつ回転部と静止部との間隙が

製品紹介

⊗印可鍛鉄製管継手船舶用に進出

Gourd ⊗ Brand Malleable Cast Iron Pipe Fittings Finding New Applications in Marine Service

管用ネジ込型 10 kg/cm² の可鍛鉄製管継手が、昭和30年初めから目立つて船舶用に使用されるようになった。今まで約1箇年の⊗印鉄管継手の実績は品種約150種、箇数約50,000箇で従来フランジ使用のところに代つ

て使用されている。フランジに比較して場所をとらぬ点、AB規格の船舶が増加したことなどが理由と考えられる。

パイプのネジ工作法の進歩とともに、国内優秀継手として⊗印の指定で各造船所よりの引合が増加する傾向にあり、今後もこの方面よりの需要が一層増すものと期待されている。

なお船舶用高圧バルブ(砲金製)の照会も多く、目下16 kg/cm²型を設計中である。