

4. 船 用 機 器

MACHINERY FOR MARINE SERVICE

日本の造船界も世界的な好況によつて輸出船および国内船の建造に活況を呈しているが、主機メーカーもこの影響を受けて繁忙をきわめている。日立製作所においてはタービン、ボイラとも数年さきまでの受注量をもち戦後における記録的な生産をあげている。参考までに日立製作所が昭和13年より昭和32年までに製作したタービンの台数と馬力およびボイラの罐数と蒸発量を年度別にグラフで示すとそれぞれ第1、2図のとおりである。この図によつて明らかなように最近のタービン、ボイラは船の大型化とあいまつてその単機出力が増大しつつあり日立製作所が最近2年間に納入したタービンは商船用として 6,600 S HP 2 台、8,200 S HP 4 台、15,000 S HP

6 台、17,000 S HP 2 台、17,500 S HP 4 台、19,500 S HP 2 台、艦艇用として 17,500 S HP 2 台があり、出力にして 314,000 S HP である。ボイラは36罐の多きに達しておりいずれもそのほとんどが大出力のものである。このほかに現在製作中または設計中のものがタービンは20台で出力にして 350,000 S HP でありボイラは46罐である。特筆すべきものとしては 65,000 DW t マンモスタンカーに搭載される 23,000 S HP タービンおよび 57 t/H ボイラを2隻分受注し設計中である。

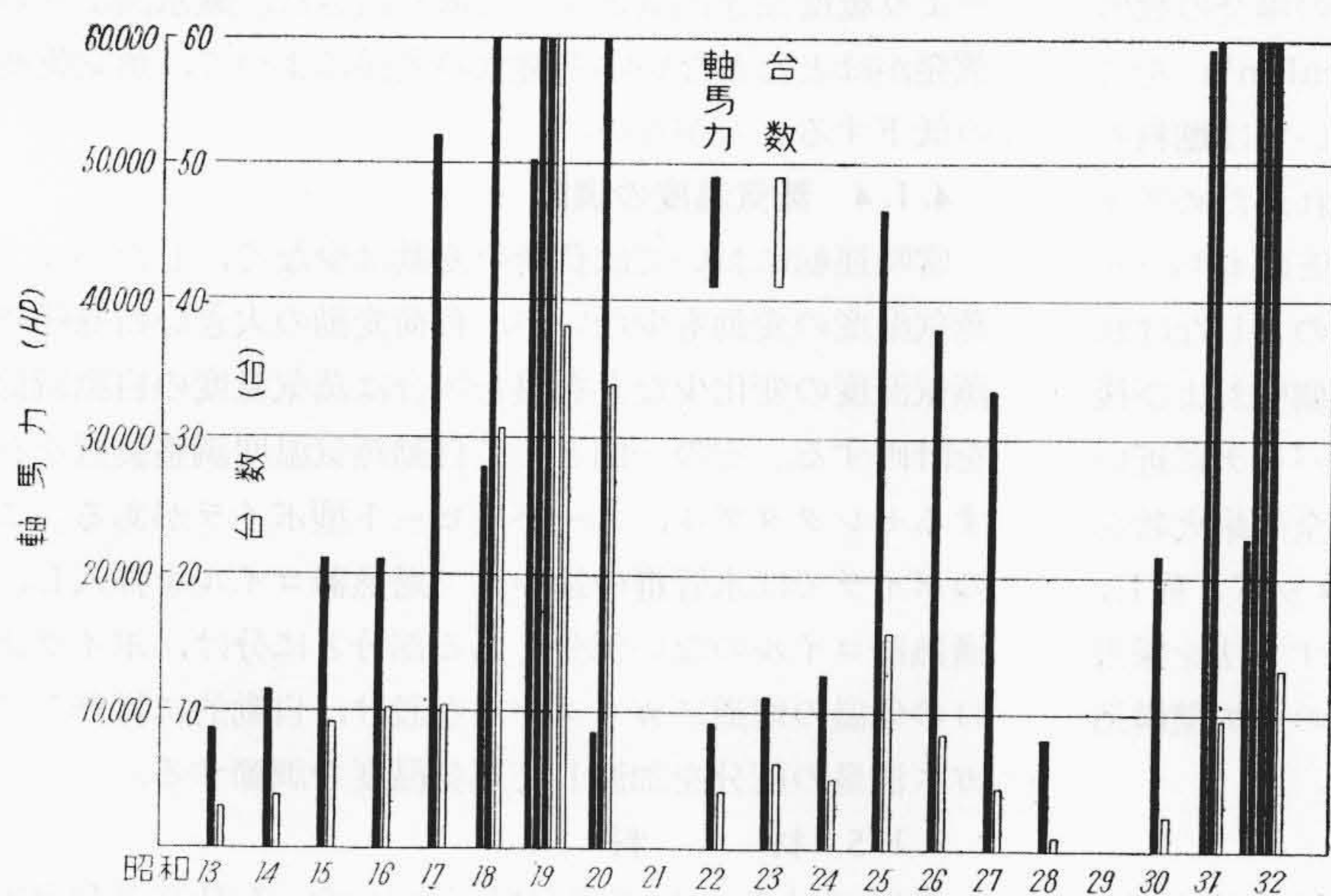
主機以外の補機のうち、発電用タービンはすでに30台を納入し、優秀な実績を得ている。主給水ポンプおよびカーゴオイルポンプなども、船の大型化に伴つてその容量

が増大し、その結果従来のものよりさらに効率信頼度が高く、またより軽量コンパクトなものが要求されているので、日立製作所では従来の輸入品にまさる補機を製作すべく、昨年より鋭意試作研究を行つてきたが、優秀なる成果を得ることができたので、各造船所の需要に応ずべくその生産態勢を整えている。

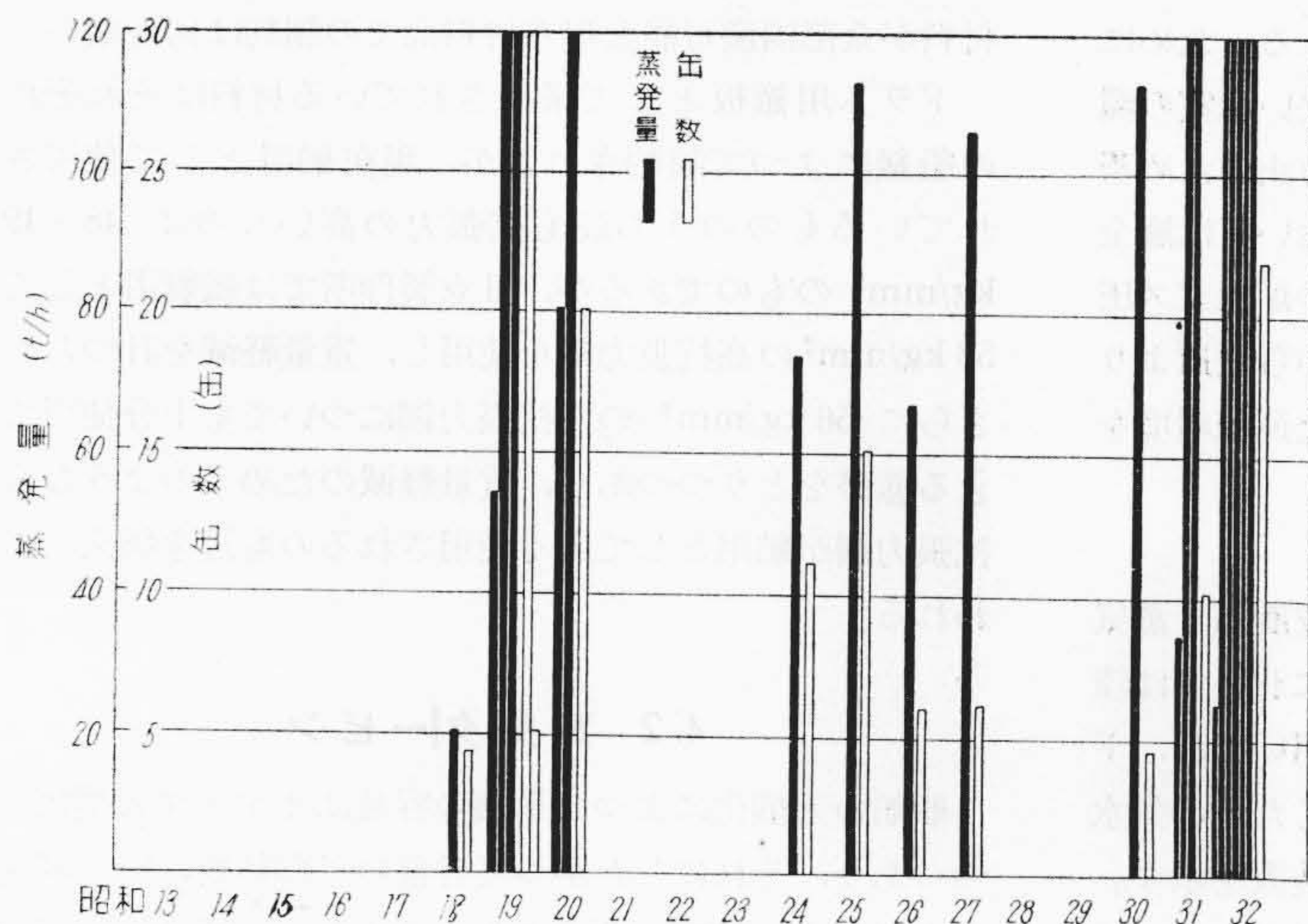
今後さらに船の大型化に伴つて、タービン、ボイラの出力は増大するが、これとともに燃料消費量の減少を図るために使用蒸気の圧力温度を、現在の 600 psig 850°F より高圧高温化する必要がある。日立製作所では船用として現在 850 psig 860°F のものを製作中であるがさらに高圧高温化した場合においても主機および補機はもちろんのことながら、付属品についても絶対信頼度の高いものを製作する自信をもっている。

4.1 船 用 ボ イ ラ

わが国における船用ボイラは輸出船によつて育て上げられたといつても過言ではない。蒸気状態は戦後久しく、30 kg/cm²g 400°C が広く用いられたが、輸出船用としては 42 kg/cm²g 450°C が多く採用され、また60 kg/cm²g 470°C の蒸気も使用されるようになった。ボイラ出力は2罐で 15,000 HP より2罐 23,000 HP のスーパータンカーまで



第1図 日立船用タービン年度別生産統計 (昭13~32年)



第2図 日立船用ボイラ年度別生産統計 (昭和13~32年)

計画され、また艦艇用としては最大出力1艦 17,500 S HP の大容量のものも現われてきた。船用ボイラは一般陸上ボイラと異なり、色々な制限をうける。すなわち最小のスペースに、小型軽量でかつ大容量のボイラを要求し、また絶対的な信頼度のもとに汽缶室における運転環境の快適を望まるなど困難な諸条件を満たすよう計画する必要がある。

最近の船用ボイラとして最も広く採用されている型式は二胴水管式であり、バブコックインテグラルファース型ボイラは多数採用され優秀な成績をおさめている。船用ボイラは船用という特別な条件のもとに、気水分離、火炉の構造、缶囲いの気密などに特別な考慮を払わなければならない。

4.1.1 火炉の計画

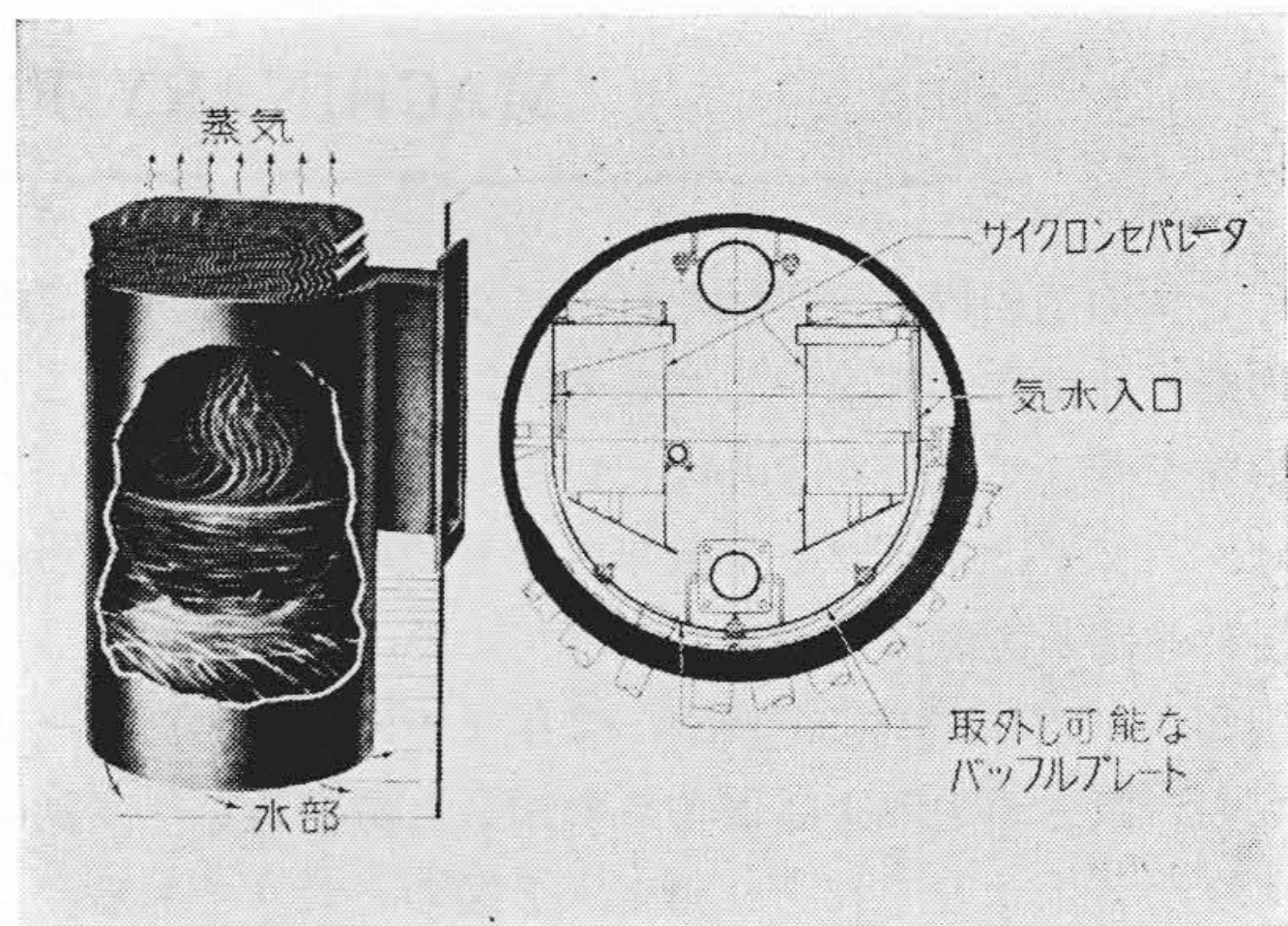
船用ボイラは陸上ボイラに比し、重量当りの出力はきわめて大きく、したがって火炉負荷は陸上の場合の数倍に達し、艦艇用としては実に、 $2,000,000 \text{ kcal/m}^3\text{h}$ をこす場合もある。したがって火炉の計画においては燃料の完全燃焼と炉壁の耐久性が問題となる。これがためアトマイジングのすぐれたバーナを装備することはもちろんであるが、炉壁の構造は高負荷に適するものとしなければならぬ、バブコックの標準構造として、側壁および後壁に水管を配し、側壁および天井の一部のバーナに近い部分は管表面に全面にスタッドを溶接し、全面耐火物を塗布し、そのほかの水壁管はパーシャルスタッドと称し、同様な構造において管の一部を火焰にさらす方法を採用している。この方法は船用のような高負荷の火炉壁構造としては、最も理想的なものとみなされる。

4.1.2 缶囲いの計画

スペースおよび重量軽減のため誘引通風機を設けず、押込送風機による強圧通風方式が一般に採用される。高火炉負荷とともに相当の正圧で燃焼が行われる。ためにわずかなる空隙より有害なるガスが洩れ、狭い缶室の環境を悪くする恐れあるため、ガスもれ絶対防止のため苦心が払われる。バブコック式船用ボイラにおいては缶全体を二重缶囲とし、この間に新鮮にしてかつ炉内ガス圧より高い圧力の空気を常に送り込んでいるから煙道より缶外へのガスもれは皆無となり、常に快適な運転環境を与える。

4.1.3 気水分離装置の計画

ドラム内における気水分離装置の完備は乾度高き蒸気を得るために重要であり、特に船用ボイラにおいては陸上ボイラに比し、径のやや小さいドラムが用いられ、ドラム内の缶水は船の動揺とともに激しく動くため、気水の分離問題は特に大切である。第3図は本装置を示す。水管を上昇した気水混合物はドラム内に設けられた、仕切り板内に集められ、サイクロンセパレータによつて完全



第3図 サイクロン式気水分離装置

に缶水と蒸気に分離し、ドラム内高く開口せるスクラバーより乾度高き蒸気となつて取り出され、缶水面よりの蒸発がほとんどないゆえ缶水の動揺によつて、蒸気乾度の低下することがない。

4.1.4 蒸気温度の調節

常時運転においては負荷の変動は少なく、したがって蒸気温度の変動も少ないが、負荷変動の大きい特殊船や蒸気温度の変化少なきを望む場合は蒸気温度の自動調節を計画する。その一例として自動蒸気温度調整装置を有するセレクトابل、スーパーヒート型ボイラがある。このボイラでは水管群の途中まで過熱器コイルを挿入し、過熱器コイルのない部分とある部分とに分け、ボイラ出口の低温の煙道にガスダンパを設け、自動的に操作してガス流量の配分を加減して蒸気温度を調節する。

4.1.5 材 料

船用ボイラとして現在採用されている最高蒸気温度は、 500°C 以下であり、陸上ボイラの 570°C 級に対する材料が全部国産可能な現在材料面での制約は何もない。

ドラム用缶板として採用されている材料はそれぞれの船級によつて制約されるが、現在船用として使用されているもののうち最も抗張力の高いものは $48\sim 49 \text{ kg/mm}^2$ のものであるが、日立製作所では艦艇用として 53 kg/mm^2 の高抗張力鋼を使用し、重量軽減を計った。さらに 56 kg/mm^2 の高抗張力鋼についても十分使用できる態勢をとりつつあり、重量軽減のためこのような高抗張力鋼が船用として広く使用されるのも近き将来と思われる。

4.2 蒸気タービン

船舶の大型化によつて単機の容量はますます大型化しつつあり、それにしたがって各部の工作精度、特に減速歯車には高い精度が要求され、このため各種の新鋭工作機械と検査設備の拡充を計つてこれに対処せしめてい

る。特筆すべきことは防衛庁昭和30年度甲型警備艦用主機として 17,500 S HP タービン 2 基を完成したことで、本タービンは艦艇用主機として種々のきびしい使用条件に耐えるよう各部に特殊設計が行われており、さらに重量を減ずるためにわが国では初めてのロックドトレン型減速歯車を採用した画期的製品である。

4.2.1 ロックドトレン歯車を採用した初の艦艇用タービン

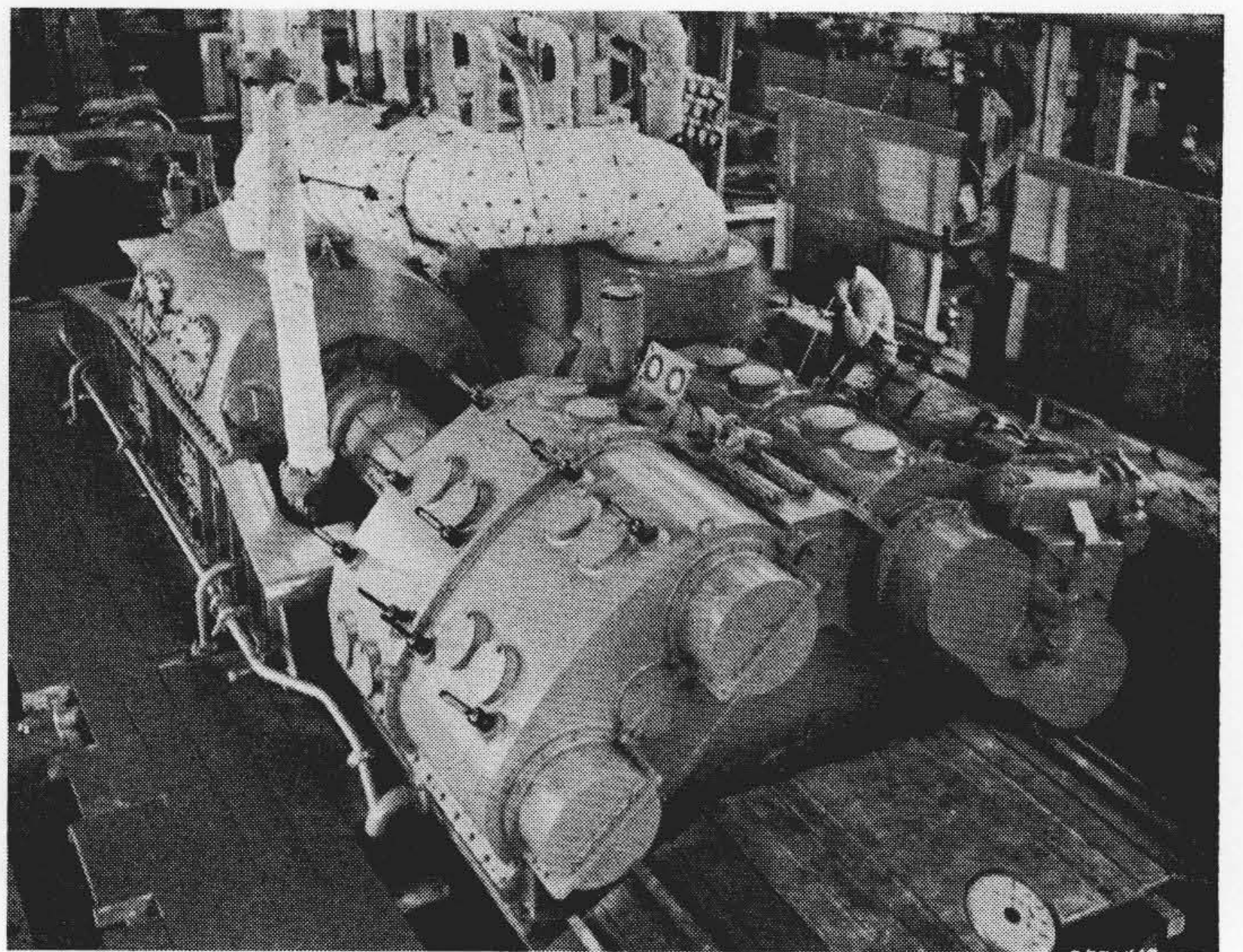
防衛庁昭和30年度甲型警備艦しきなみの主機として 17,500 S HP タービン 2 台 (1 台は右舷機, 1 台は左舷機) を完成し工場立会試験にも優秀な成績をおさめた。このタービンは艦艇用タービンとして従来の船用または発電用タービンにみられなかつた幾多の特長をもっている。

(1) 熱サイクルがきわめて複雑であること。

すなわち警備艦の任務より、タービンの効率は巡航基準出力時と計画全力時においても効率の低下は極力避けなければならぬ。すなわち巡航基準出力 1,925 S HP, 198 rpm と計画全力 17,500 S HP, 400 rpm では出力にて約 9 倍, 主軸回転数にて 約 2 倍になっているわけで、このような広範囲の使用に対しては従来の高低圧タービンのクロス・コンパウンドではまったく不可能で、いわゆる巡航タービンを必要とする。この巡航タービンは高圧タービンに巡航減速装置を介してタンデムに取り付け、巡航全力までは巡航タービンより通気し、さらに出力が増大して巡航最大出力以上になると主タービンに通気、巡航タービンは特殊設計のクロス・オーバー弁にて復水器に結び少量の冷却蒸気を高圧タービンより取り、空転損失を吸収する設計となつている。

(2) 各タービンとも高速軽量化されていること。すなわち巡航タービン、高圧タービンおよび低圧タービンとも従来の船用タービンにはみられないような高速回転を使用し小型軽量化している。このことは材料の信頼性の面よりもまた艦艇の特殊使用条件よりも最も望ましいことであり、同時に効率も一段と改善されている。

(3) 主減速装置がわが国最初のロックド・トレン型である。すなわち主減速装置としては従来は大体において一段減速でこのため回転数も今日に比べればきわめて低速で主タービン、ギヤーともに大型、大重量であつた。終戦後 2 段減速が艦艇用に使われたがそれはアーチキュレート型のものを使用したものであつた。今回使用したロックド・トレン型は 2 段減速である



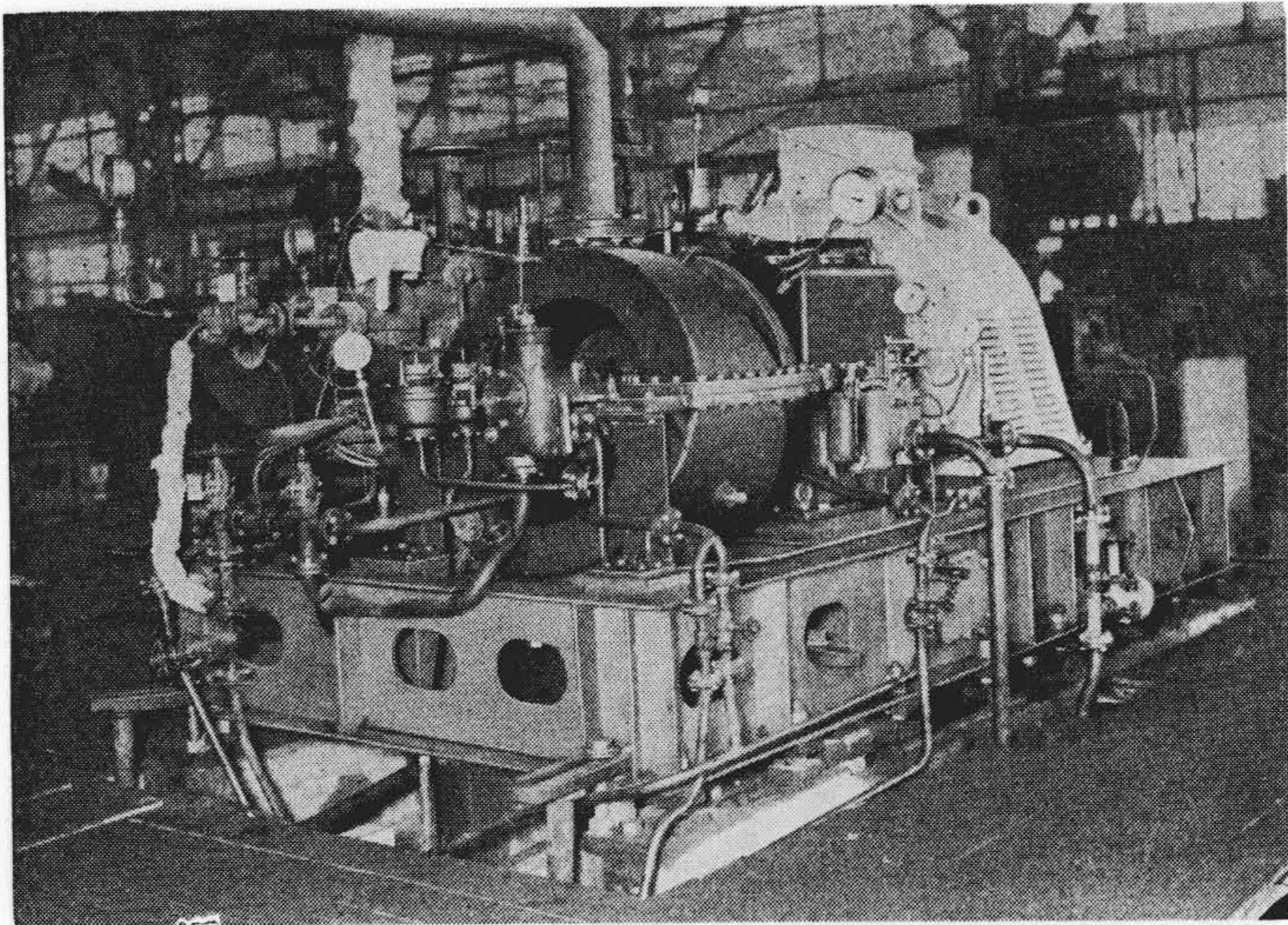
第 4 図 1,600 t 甲型警備艦用 17,500 S HP タービン

ことはもちろんのことであるがアーチキュレート型に比して容積重量が少なく艦艇用として最も適したものである。各歯車の組合せは第 1 減速ピニオン 1 個に 2 個のホイールを噛合せたもので、第 2 段ホイールは 4 個のピニオンにて駆動される。そのために (従来の方式では 2 個) 歯幅を半分にできるので軽量かつ頑丈にできるわけである。

ところがこのような方式を実際に使用するとすると設計上また工作上色々なむづかしい問題が起きてくるが日立製作所では将来警備艦の大型化に伴つて主機械の出力が増大し、ますます容積重量の軽減を図る必要のあることを考えて、艦艇に最も適したロックド・トレン型減速歯車をわが国で初めて完成したのである。しかもこのギヤーは陸上運転において 2 台を特殊な方法にて結合して計画全力時のトルクと回転数をあたえて 24 時間の連続運転を行いその優秀な性能を確認することができた。

(4) きびしい使用条件に対しても十分安全な設計となつている。すなわち艦艇用として普通の商船にはみられないような急速起動、停止または増減速に対しても十分耐えられるように特に注意してあり、また大きな衝撃に対してもタービン、ギヤーが使用不可能とならないように上下方向に 15 g (g は重力の加速度) 船艀方向に 6 g, 左右舷方向に 9 g の衝撃を受けてもなおかつ安全であるように設計してある。

(5) 長時間の全力後進運転に対しても安全である。艦艇の任務上起りうる色々の障害、たとえば暗礁にのりあげた場合、または艦体前半部切断の場合などに大馬力、長時間の後進運転に対しても十分な安全運転が



第5図 日立造船納 640 kW 発電用タービン

可能なように慎重に設計されている。

そのほか色々の画期的の特長を有する本タービン、ギヤーは内外の異常な関心を呼び注目されている。

4.2.2 高性能小型タービンポンプの完成と補機タービン

(1) 高速小型タービンポンプ

かねて運輸省より研究補助金を受け鋭意試作研究中であつたボイラ給水用高速小型タービンポンプが完成し、きわめて好成績をおさめた。本機は在来の給水ポンプに比べて駆動機であるタービンとポンプとを一軸で結合し、かつ一体の車室に収めることによりきわめて軽量小型にまとまつておりさらに高い性能を発揮しうるところに特長を有するものである。試作機の主要要目は次に示すとおりである。

ポンプ	タービン
揚水量 80 m ³ /h	主蒸気圧力 40 kg/cm ² g
吐出圧力 50 kg/cm ² g	主蒸気湿度 460°C
水温(最高) 150°C	排汽圧力 1 kg/cm ² g
回転数 7,200 rpm	軸端出力 350 HP

本機は在来の同等国内品に比べて重量は約1/3に軽減することに成功している。なお、現在蒸気条件 60 kg/cm²g 級のさらに大容量機についての試作研究を続けている。

(2) 補機タービン

船用補機発電用タービンはすでに 480~640 kW のものを多数製作納入し好成績をおさめている。小型で効率良く、取り扱いの容易なこと、信頼度の大きなることを主眼として製作せられたものである。タービン、危急塞止弁および加減弁、減速装置、発電機、および励磁機などを同一のベツトプレート上に取り付け、かつ

油冷却器、油タンクそのほか付属設備一式を最も適切に納めた構造で、据付面積の減少、重量の軽減を計つた点に特長を有する。

640 kW 発電用タービンの主要要目は次に示すとおりである。

型式.....横置単車室衝動式復水タービン

出力.....経 済 520 kW

最大連続 640 kW

最大(2時間定格) 800 kW

蒸気圧力...585 psig (41.1 kg/cm²g)

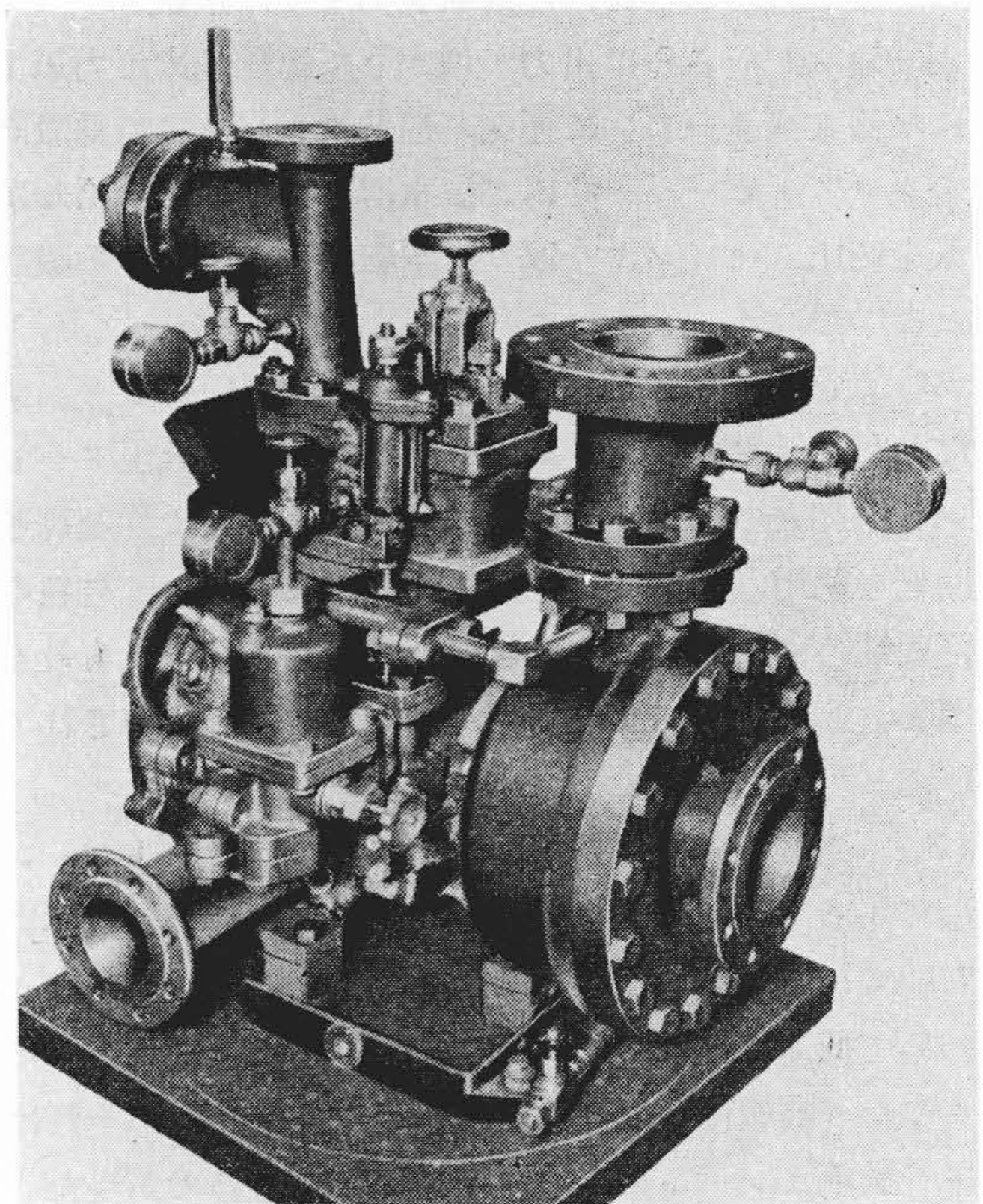
蒸気温度..... 840°F (449°C)

復水器真空...28.5 inHg (722 mmHg)

タービン回転数.....10,010 rpm

発電機回転数..... 1,200 rpm

本タービンの使用蒸気は主タービンと同条件高圧の高温蒸気であり、かつタービンは 10,010 rpm の高速回転であるため、主蒸気にふれる部分およびロータ部の材料選定には特に留意した。すなわち主弁、加減弁および蒸気室ボディーは鋳鋼を用いたタービンロータは Ni-Cr-Mo 鋼の削出しとした。減速装置はシングルヘリカルの1段減速式で、ピニオンクイルシャフトにより駆動され軸心の狂いを吸収している。親歯車と発電機は3軸受で支持する構造としている。現在同型発電用タービンは多数製作中であり、今後も艦船用としてますます需要を増大するものと考え



第6図 試作ボイラ給水用タービンポンプ外観

第1表 日立船用タービンの標準

		8,200HP	13,750HP	15,000HP	17,500HP	19,500HP	23,000HP
主 軸 回 転 数 rpm		105	108.5	108.5	105	108	110
蒸 気 圧 力 psig (kg/cm ²)		427 (30.0)	835 (58.7)	585 (41.1)	585 (41.1)	585 (41.1)	600 (42.2)
蒸 気 温 度 °F (°C)		725 (385)	850 (454)	840 (499)	840 (449)	840 (449)	860 (456)
真 空 mmHg		724	722	722	722	722	722
タービン 落 数	高 圧 側	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段
	低 圧 側	ラトー 7 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段	ラトー 8 段
	後 進 側	カーチス 1 段 ラトー 1 段	カーチス 1 段 ラトー 1 段	カーチス 1 段 ラトー 1 段	カーチス 1 段 ラトー 1 段	カーチス 1 段 ラトー 1 段	カーチス 1 段 ラトー 1 段
タービン 回 数	高 圧 (rpm)	6,495	6,482	6,474	6,427	5,862	5,920
	低 圧 (rpm)	4,348	4,257	4,257	3,322	3,327	3,210

る。

4.2.3 船用タービンの量産化に伴う 工作検査設備の拡充

(1) 量産化による船用タービンと日立標準仕様

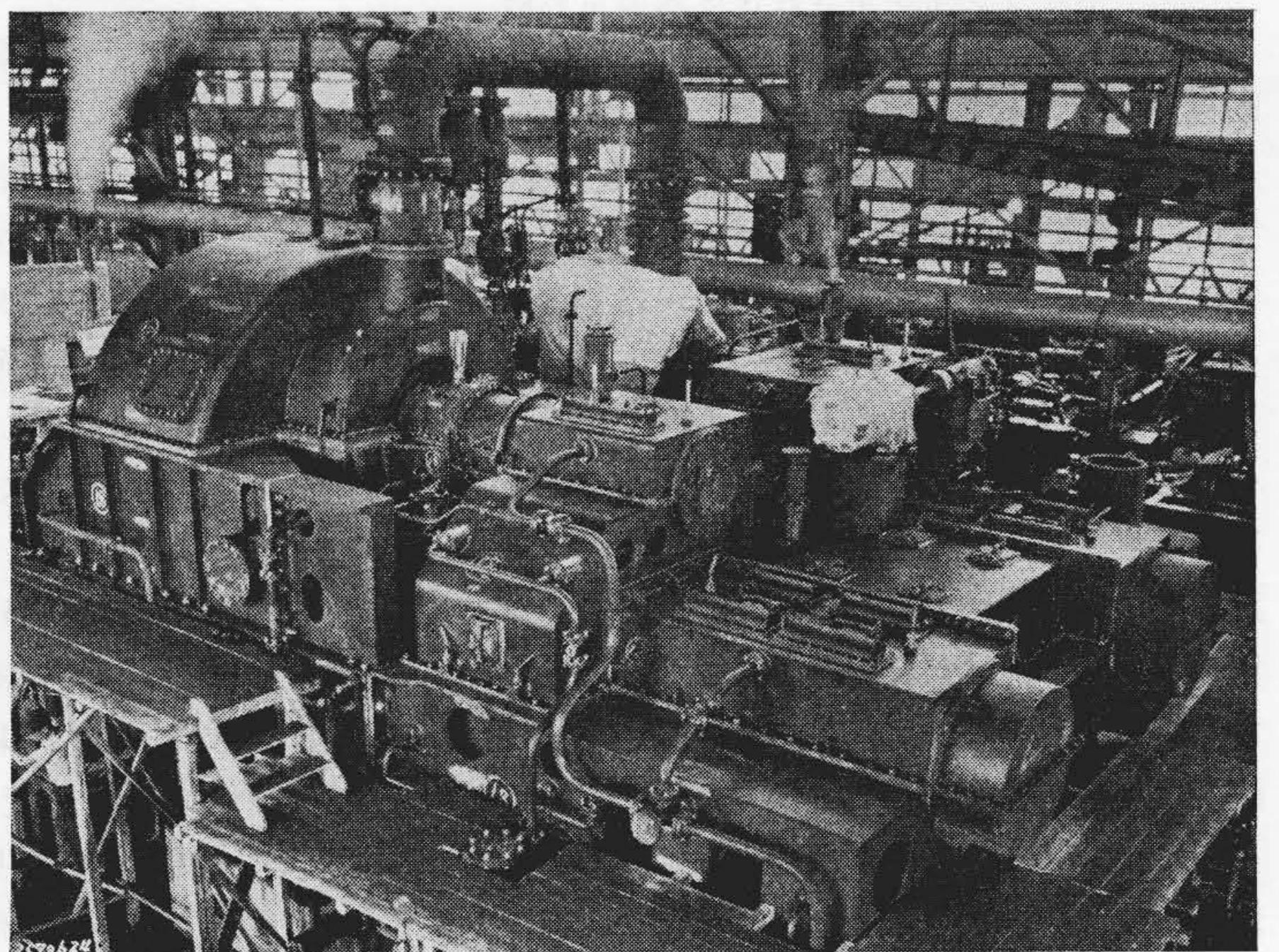
近時わが国造船界は異常な活況を呈し日立においても昭和30年よりグランドリス社納15,000 SHPを初めとして多数のタービンを受注した。また最近の傾向として特筆すべきことは日立造船所納(船主 ESSO 社)に納入される13,750 SHPタービンでこれに使用される蒸気圧力は従来の30~40kg/cm²に比し60 kg/cm²という高圧が使用され熱経済性の向上を計っていることである。また超大型化の現われとして日立造船納(米国 Caltex 社)65,000t

のマンモスタンカー用主機は現在の技術水準では最大と思われる23,000 SHPタービンでありこのタービン主機は日立技術の粋を結集して目下設計中である。

日立船用タービンの標準を第1表に示す。

(2) 精密工作に必要な各種工作機械と検査設備の整備

船用タービンの大型化に伴い製作上問題になるのは減速歯車装置である。最近のタービン回転数は高圧側は約6,500 rpm 低圧は約4,200 rpm と今までに比しかなり高速回転になつたので最近まで歯車の周速は65 m/s 程度とされていたものが一躍90 m/s となりさらに出力の増加により歯面荷重も増加していく傾向にある。これがため、使用材料の機械的強度を増加させるばかりでなく、工作機械ならびに組立時において精度の向上、材料の内部欠陥あるいは各種、高度の精密測定器による検査なくしては無事故で長期間運転に耐え得る信頼度の高い製品を得ることは不可能と考えられる。特に材料内部欠陥を精密なる検査による早期発見



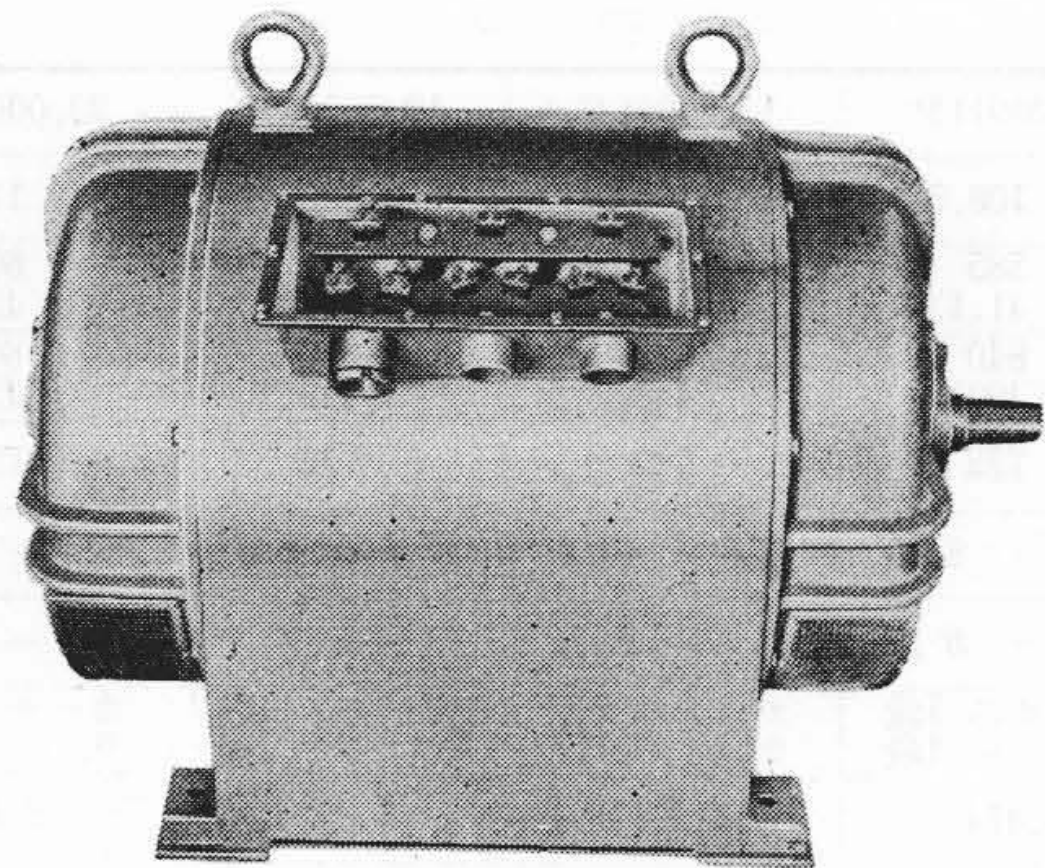
第7図 19,500 HP 船用タービン外観

と、歯切盤のマスターギヤーのピッチ誤差により歯面に現われる undulation (歯面に現われるうねり) の大きなものは音響、振動ともに、大きくこれがため歯を折損することも起り得るので、精密な計測器による精度検査はきわめて重要である。以上の観点より大型船用タービン用として新鋭工作機械および検査設備の拡充を計り製品の信頼度をさらに高めている。

4.3 船用電気品

タンカーを主とする輸出船の建造は前年度に引続き活況を呈し、大容量交流発電機(600~800 kVA)の製作総容量は約14,000 kVA に及んで全体の8割を占め、大容量多速度籠形誘導電動機(100~2,000 HP)の製作総馬力数は約4,500 HP に達した。また、32年度は直流船用電気品2隻分ならびに防衛庁艦艇用特殊電気装置を数種納入した。

今後、40,000 t 級以上のスーパあるいはマンモスタンカーの建造計画がますます多くなる気運にあり、補機電



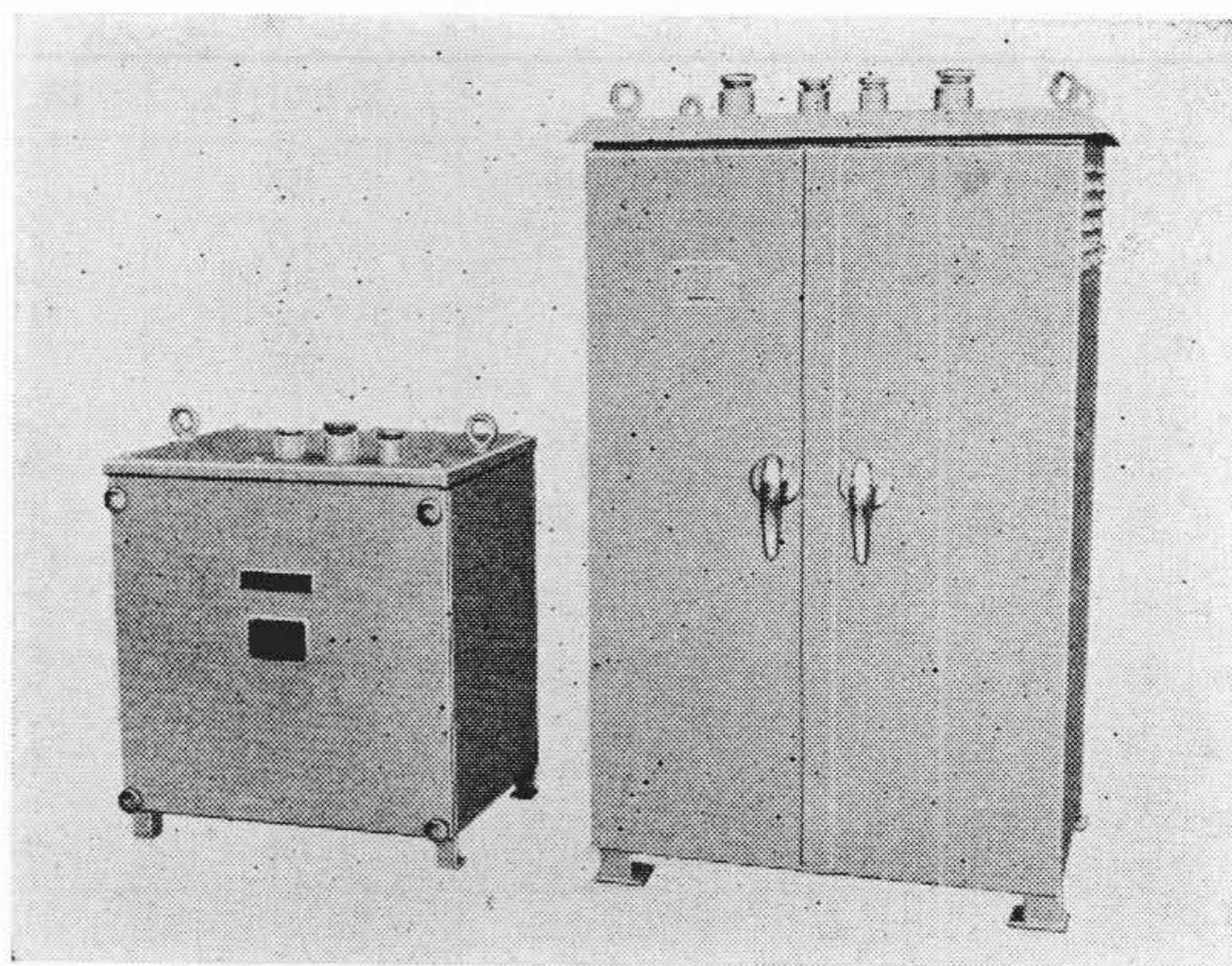
第 8 図 160/90/30 HP 1,170/865/570 rpm
ボイラファン用 3 段速度誘導電動機

動機の容量，発電機の容量が増大する傾向にある。また，新造国内船では貨物船の建造計画が多く交流電動揚貨機の需要の増加が期待され，これらに対する万全の態勢が整えられている。

4.3.1 交流発電機および電動機

32年度には発電機の容量も増大し，40,000 t 級タンカー用として 800 kVA 交流発電機を完成納入した。船用発電機としては信頼度の高いことが要求され，本機的设计も特にこの点に主眼が置かれている。すなわち，構造簡単，取扱保守の容易，騒音の減少などの点で 1,200 rpm を採用し，コイルは全面的に B 種絶縁とし，さらに耐油耐湿ワニス処理を施して絶縁の劣化を防いでいる。コイル端は絶縁せる鋼製のささえに固定してあるので万一の短絡事故の際にもコイルが変形したり破損することはない。集電装置は油気，水蒸気の多いところで使用してもブラシの異常摩耗や集電環の荒損がないよう材質を選定している。これらタンカー用交流発電機は従来の製作実績に基き改良を加えて標準化を完成し短納期で製作できる態勢を整えた。

多段速度籠形電動機は，簡単に効率よく補機の回転数



第 9 図 新旧 AVR 外観比較

がえられるので最近ボイラファンや主循環水ポンプ用として多く採用される傾向にある。これら電動機的设计は各速度における特性を補機の特性に最も適したものとし，かつ振動騒音を発生することのないよう特別の考慮が払われている。

第 8 図は 3 段速度ボイラファン用籠形電動機の外観である。

4.3.2 静止型自動電圧調整器 (AVR)

磁気増幅器を使用した無接点連続制御の船用静止型 AVR は従来から多数納入しており，堅牢かつ長寿命で安定度，静度ともに高いので好評を博していたが，今回主要部に点検用電流計を設け，必要な場合には AVR の動作状態を計器の指示により診断することができるようにして調整取扱上の便を増すとともに，性能を落さずに容積を従来型の 30% にきりつめた新型 AVR を完成し多数納入した。

第 9 図は新型と旧型との大きさを比較する写真である。

Vol. 40

日立 評論

No. 2

- ◎防衛庁納甲型警備艦用主機タービン
- ◎東京電力株式会社高輪変電所 23 kW キュービクル
- ◎トランジスタを用いた定電圧装置
- ◎新型交流電磁接触器
- ◎ベクトル図による整流子電動機の特性解析
- ◎放射性煙霧質の処理装置の研究
- ◎ホ ブ 盤
- ◎ボンベイ電車について

- ◎小容量 PBX クロスバー交換機 (AXC-2 形) の標準化について
- ◎受信用真空管の IHK ハム雑音
- ◎ビニル混和物中の可塑剤の拡散速度の持続性
- ◎鋳造用ヒドロナトリウムに対する満俺クロームの影響
- ◎異方性珪素鋼板の結晶成長について
- ◎高純度ニッケルのクリープ

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内 1 丁目 4 番地 振替口座東京 71824 番
取次店 株式会社オーム社書店 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