

大型油槽船アレキサンドラ号 15,000 HP 用ボイラ

Marine Boiler for 15,000 HP Turbine on Super Tanker "Alexandra"

木 田 実* 和 島 淳*

内 容 梗 概

造船部門の異常な活況により船用ボイラの製作も戦後曾つてない盛況を呈している。しかもこれまでのボイラがもつばら国内船用のものであつたのに比し、現在製作中のものはその殆んどが輸出船用であり、なかんづく題記ボイラはその魁をなしたものである。本ボイラは容量ならびに蒸気状態において我国の船用ボイラの最高水準を行くものであり優秀な性能試験結果を得たので、こゝにその構造および性能試験結果の大略を述べたいと思う。

〔I〕 緒 言

現在船用ボイラにおいても陸用ボイラと同様に汽罐、汽機の総合熱効率を高くしできるだけ燃料を節約するため高圧高温化の傾向にあり、各国共蒸気状態の向上に努力している。我国において現在製作中の陸用ボイラでは圧力 $127 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 、温度 540°C のボイラが最高であるが、船用ではその性質上なお相当の隔りがあるのは止むを得ない所で、圧力 $45 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 温度 460°C 程度が蒸気状態の最高水準であろう。

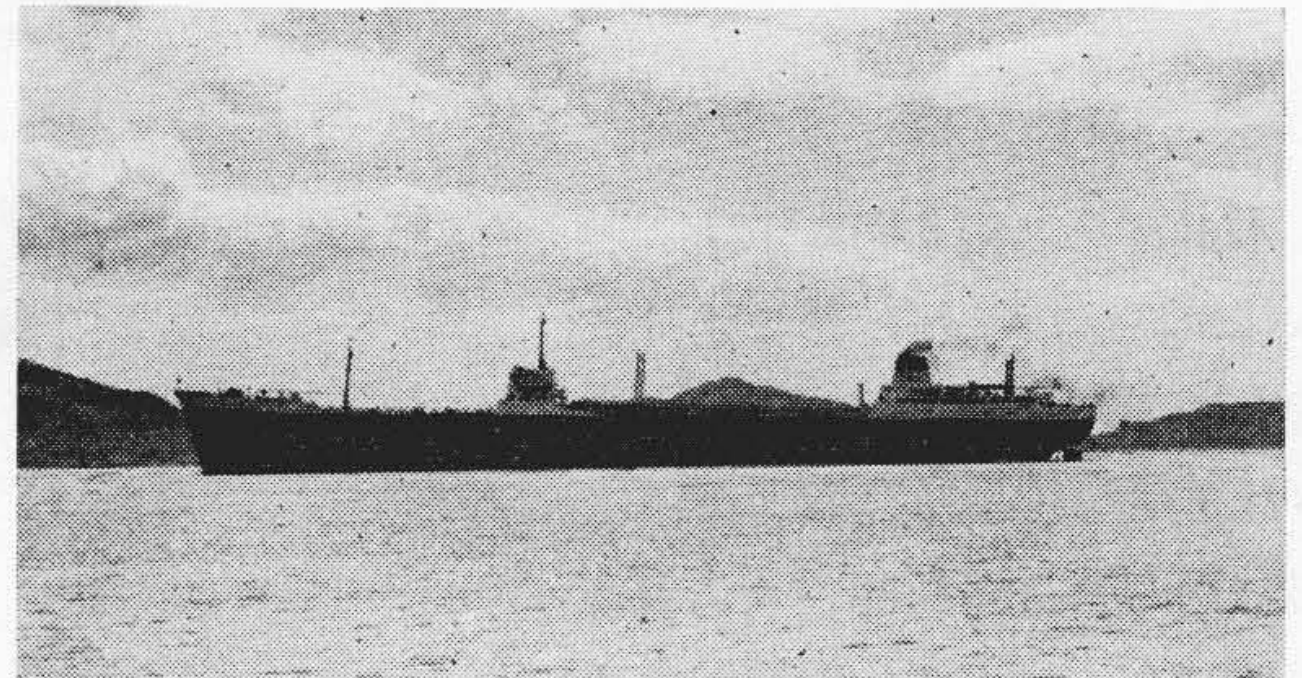
今般日立造船株式会社がカナダのゴーランドリス社に輸出せる $33,000 \text{ t}$ 油槽船に納入した圧力 $42.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 温度 454.4°C の題記ボイラは、蒸気状態においては我国の最高水準を行くものであり、最近の新しい傾向である蒸気式空気予熱器の採用やボイラ自動制御装置を備える等入念な設計をしており、またこの種ボイラは今後の標準として広く海外進出の鍵となりつゝあるので（現に同容量程度のボイラ十数箇の受注量をもつ）、この機会に本ボイラについて記述する次第である。

〔II〕 計 画 要 目

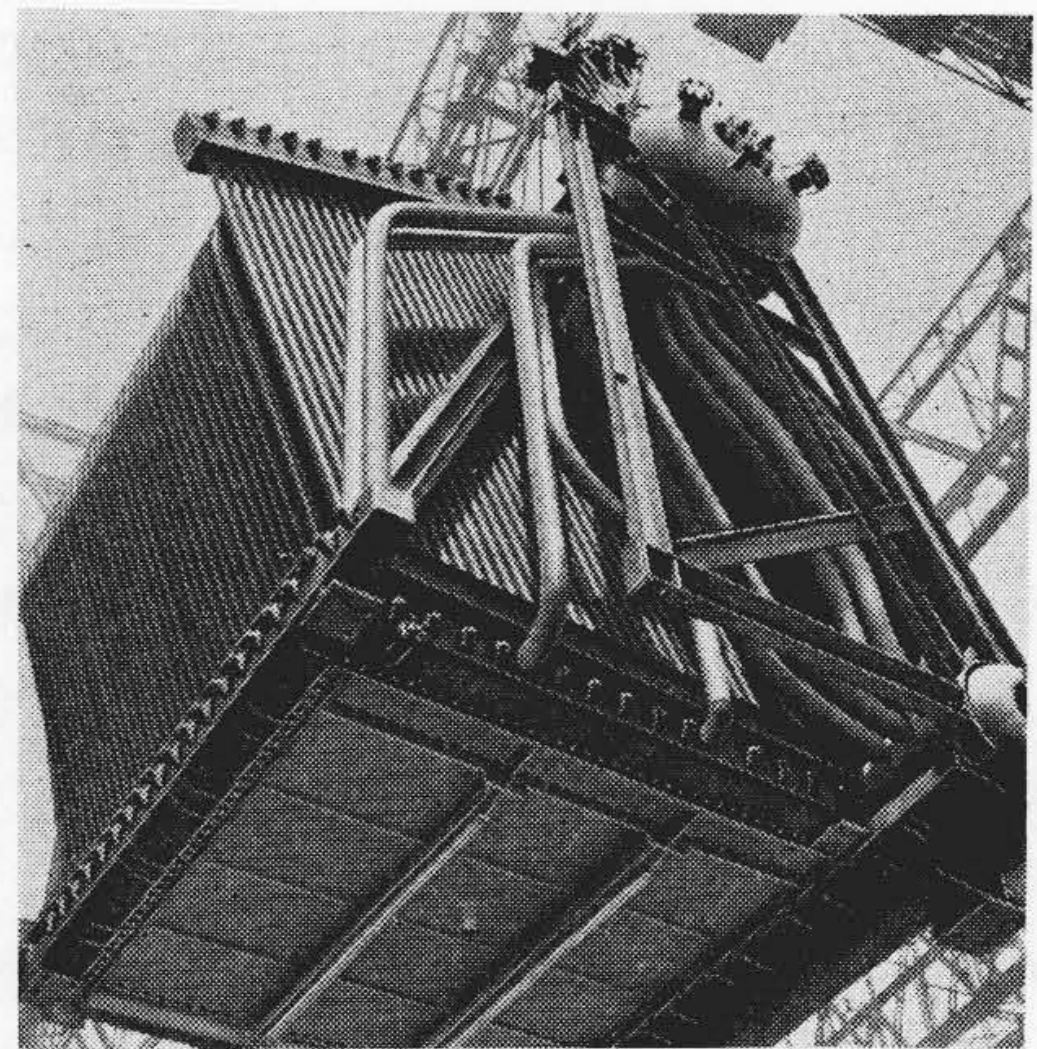
本ボイラの計画仕様はつぎの通りである。

型 式.....	B & W インテグラルファーネス型
数 量.....	2 箇
設計圧力.....	$49.21 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ (700 PSi)
蒸気圧力(於過熱器出口) ...	$42.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ (600 PSi)
蒸気温度(於過熱器出口).....	454.4°C (850°F)
蒸発量(1 箇当り) ... 定格時	25.5 t/h ($56,200 \text{ lbs/h}$)
最大時	37 t/h ($81,500 \text{ lbs/h}$)
発生馬力(2 箇定格時).....	15,000 HP
効 率.....	定格時 88%
	最大時 87.5%
通風方式.....	強圧通風方式
燃 焼 方 式.....	重油専焼
燃料発熱量.....	$9,960 \text{ kcal/kg}$

* 日立製作所日立工場



第1図 アレキサンドラ号
Fig. 1. Super Tanker "Alexandra"



第2図 ボイラ受圧部
Fig. 2. Pressure Part of Marine Boiler

船 級.....ロイド
ボイラの設計に当り特に考慮を払つたところはつぎの諸点である。

- (1) ボイラ室が船体より極端に制限されるので、スペースファクターを良くするよう、小さく纏めたこと。
- (2) 高火炉負荷に適する炉壁構造としたこと。
- (3) 全体的に堅牢な構造とし、蒸発水管、水冷壁管、過熱管等多数の管群は配列が乱れぬような構造としたこと。
- (4) ボイラ全周をダブルケーシングで囲み、炉内および煙道よりのガス漏洩を皆無ならしめ、またボイラの輻射損失を少くしてボイラ室温を運転に快適ならしめた

こと。

(5) 蒸気温度調整装置により蒸気温度を正確に調節できるようにしたこと。

(6) 腐蝕その他の事故を防止するため蒸気式空気予熱器を採用したこと。

(7) 高温および低温部エコノマイザを置き廃ガスの熱を最大限に回収利用したこと。

〔III〕 構造

本ボイラは第3図に示すごとく汽罐本体(汽胴、水胴、蒸発水管群、上昇管および下降管、サイクロンセパレータ、蒸気温度調整装置、減温器)、過熱器、水冷壁、高温部エコノマイザ、低温部エコノマイザ、空気予熱器、ケーシング、汽罐附属品およびボイラ自動制御装置等より構成されている。

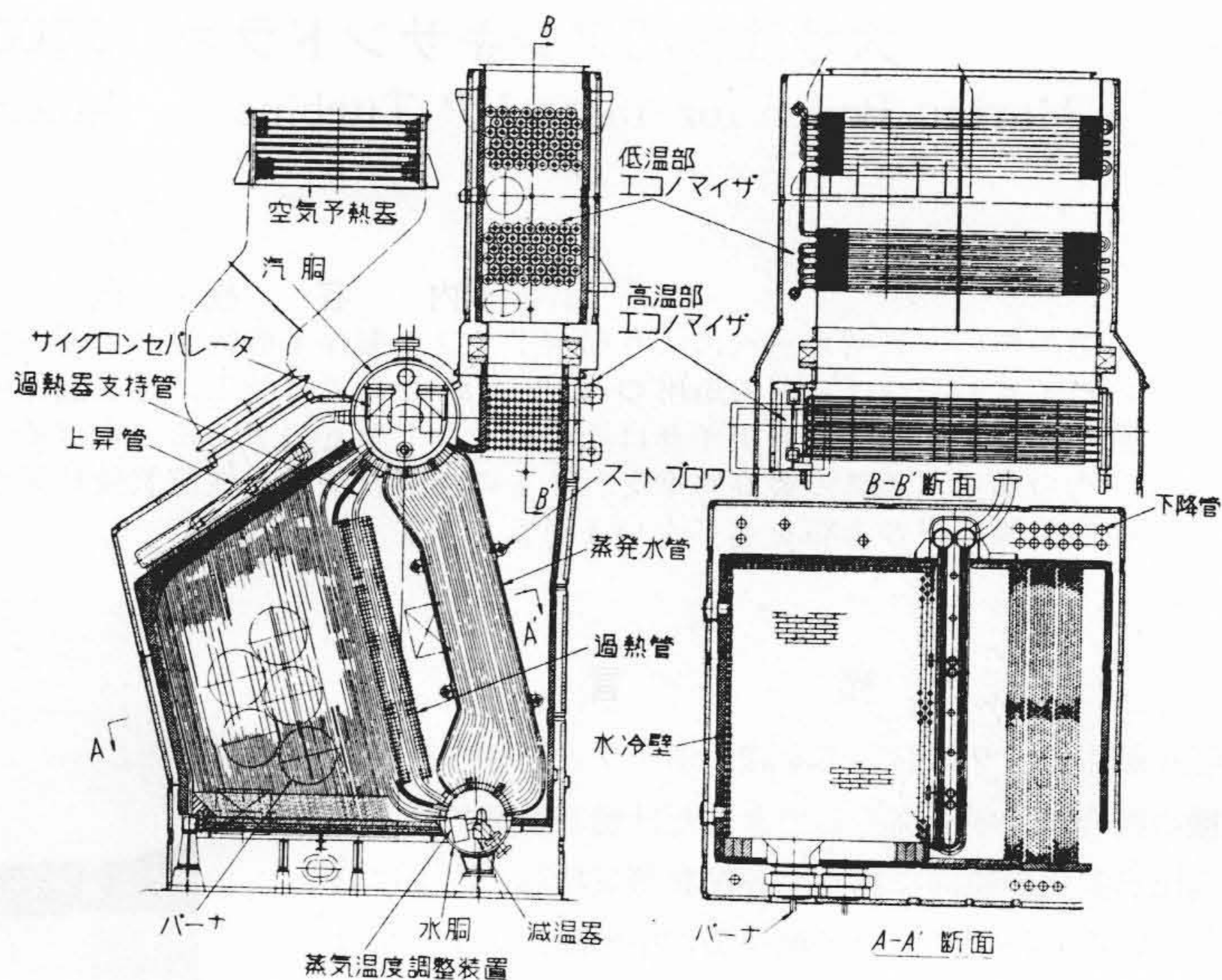
ボイラ支持方法は水胴、炉底ならびに側部水壁管寄に固定した罐脚で船底より支えられており、低温部エコノマイザおよび空気予熱器は船体の梁に支えられている。上下方向の熱膨脹はすべて上方に、前後方向の伸びは汽罐後方にとるようになっており、汽罐前部罐脚は船底罐台に固定され、汽罐後部罐脚は自由に滑りうるようになっている。また低温部エコノマイザおよび空気予熱器の上端、下端には伸縮接手をおき熱膨脹による伸びも吸収している。

(1) 汽罐本体

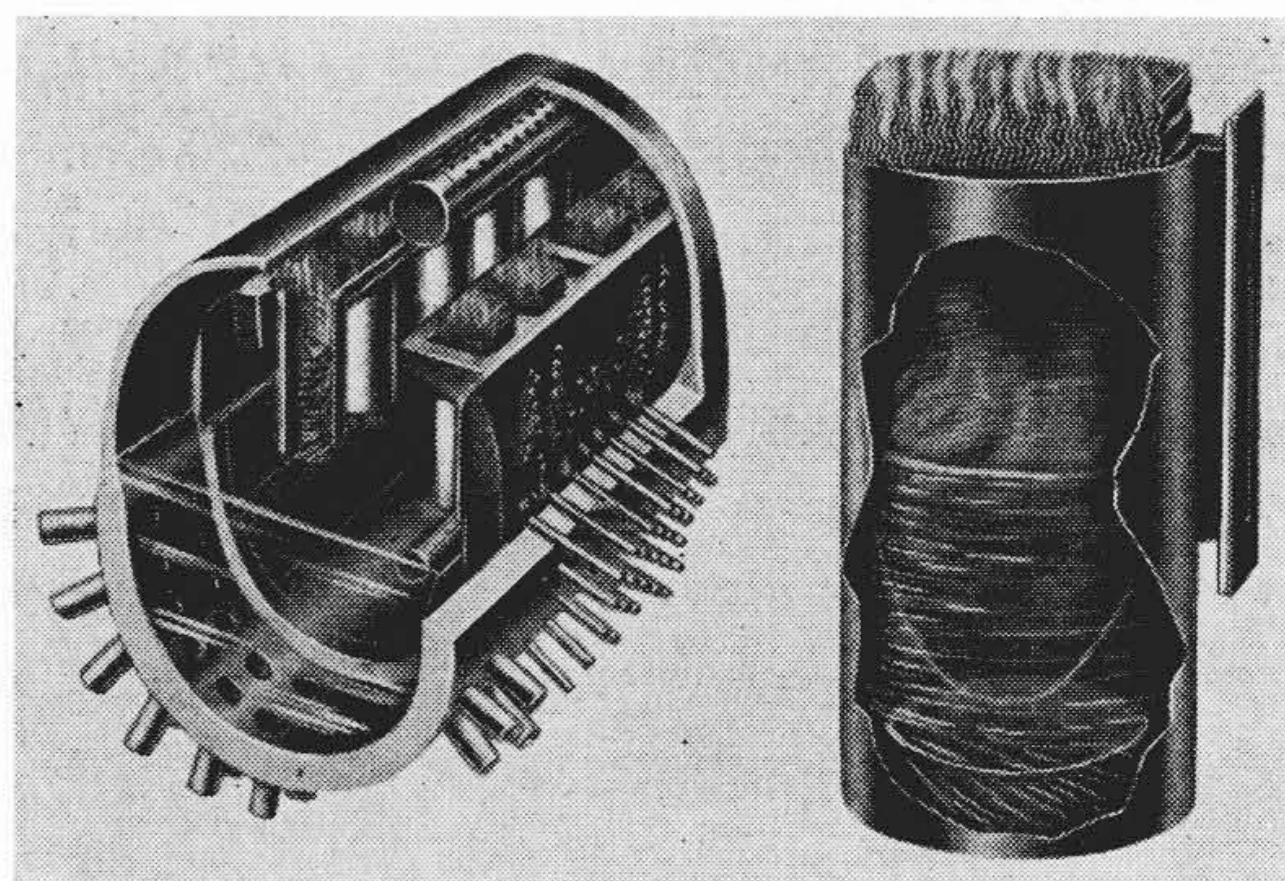
燃焼ガスにさらされる蒸発水管群はすべて上昇管として働き、汽胴より大径の下降管を水胴ならびに水壁管寄にダブルケーシング間を通して下し、罐水循環を整然と行わしめている。

蒸発水管群ならびに水壁管よりの汽水混合物は汽胴内に設けられたパツフルを通つてサイクロンセパレータに切線方向より導入され、遠心力により水滴を分離される。さらに蒸気は中央に集つて上昇しスクラッパーを通つて小さな水滴も取り除かれ、さらに小さな切込を沢山あけたドライパイプを通つて飽和蒸気管に取り出される。

サイクロンセパレータの分離効果は重力加速度による場合の20倍以上で非常に優れたものであり、サイクロンセパレータ、スクラッパーおよびドライパイプを通過した蒸気は実質的に完全に乾燥された固形物のないもので、これら装置により過熱器およびタービン翼の附着物をほとんど皆無ならしめている。



第3図 15,000 HP 用 ボ イ ラ
Fig. 3. Sectional View of Integral Furnace Boiler for 15,000 HP Turbine

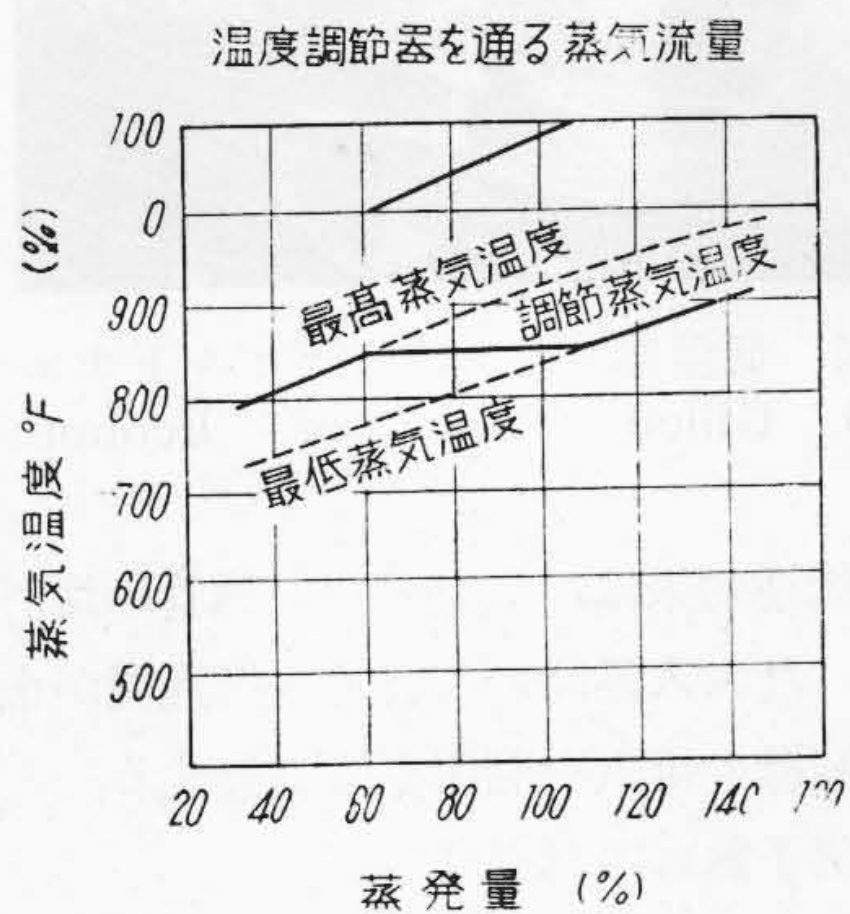
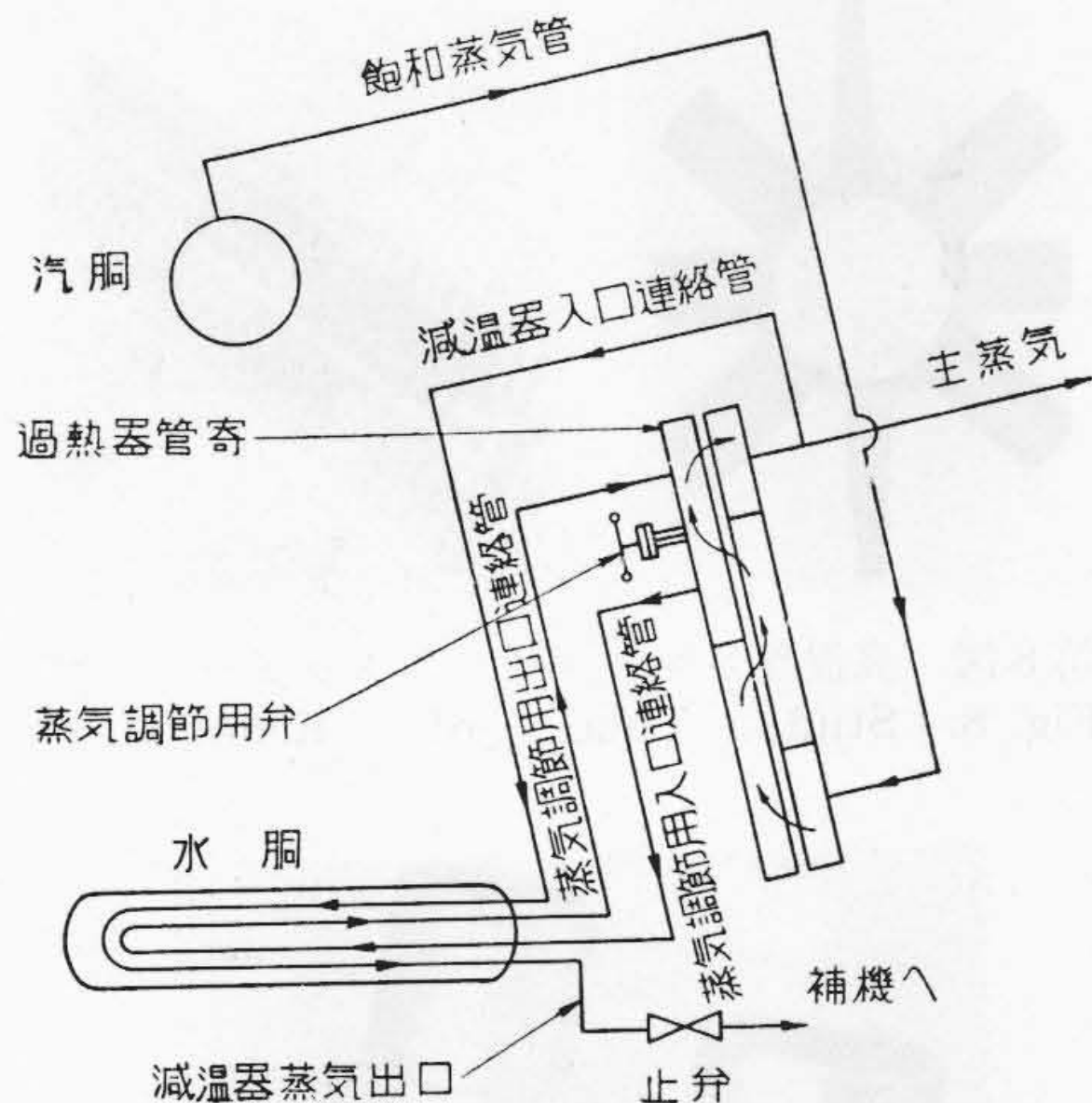


第4図 サイクロン式汽水分離装置
Fig. 4. Cyclone Steam Separator

水胴内部には蒸気温度調整装置と減温器を装備している。

蒸気温度の調節には種々の方法があるが簡単にしてコンパクトな点から内部式コイルによる蒸気温度調整装置を採用した。第5図に示すごとく過熱器管寄に設けられた調整用蝶型弁を全開状態にしておくと最高蒸気温度がえられ、全閉すると最低温度となるので、弁の開度を適当に調節することにより調整装置を通過する蒸気量を変化せしめ、これが水胴のボイラ水と熱交換を行うことによつて温度を調節する。なお低負荷運転で所要の温度がえられない場合には、過熱器管寄と蒸気温度調整装置連絡管とのフランジ接手部に適当な小口径のオリフィスを挿入し、調整装置を通る蒸気量をさらに制限することにより温度上昇をはかることができる。

補機運転用の過熱蒸気は過熱器を出た蒸気の一部を水



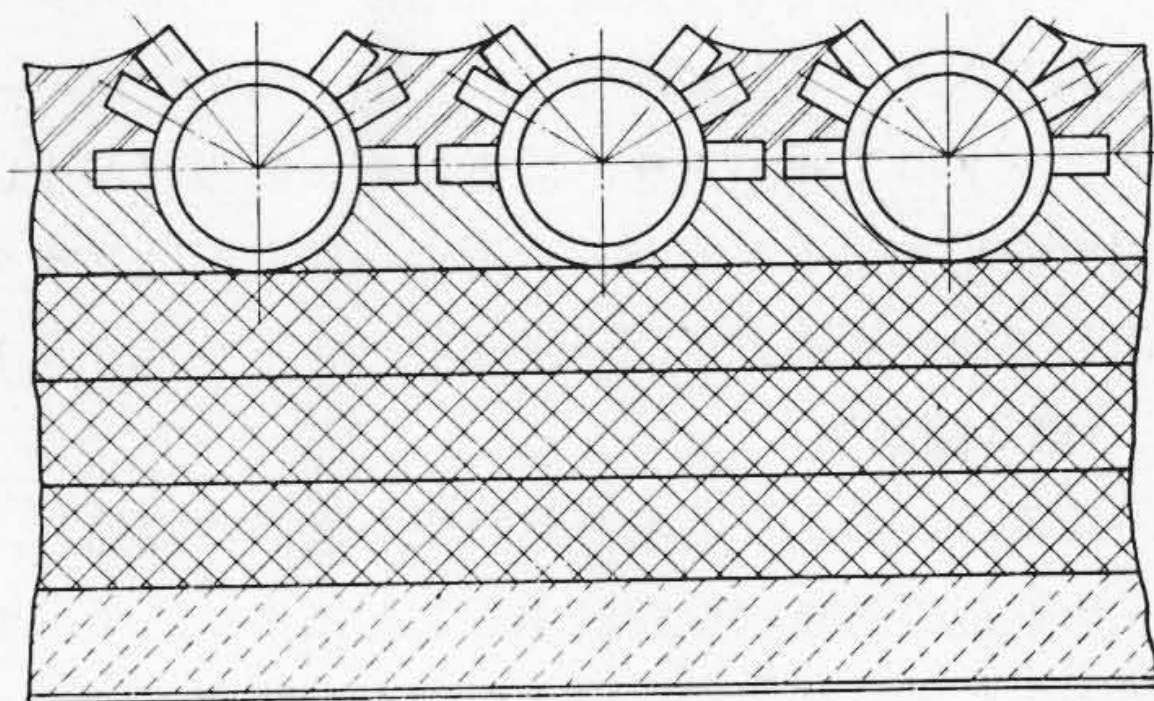
第5図 蒸気温度調整装置による蒸気温度調節
Fig. 5. Steam Temperature Control by Attemperator

胴内に設けた減温器に導き、こゝでボイラ水との熱交換により蒸気温度を 315°C 以下に降下せしめる。

また第3図に示す通り、汽胴、水胴共管板は炉内に配置されており、蒸発水管群が密集して管板と連絡している部分は、煙道ガスの影響はないが、過熱器支持管が、汽胴、水胴管板と連絡する部分は燃焼ガスに曝される部分が多いので耐火材を耐熱合金鋼板で被覆した保護板を取付け、管板内外の温度差による熱応力の発生を防止している。

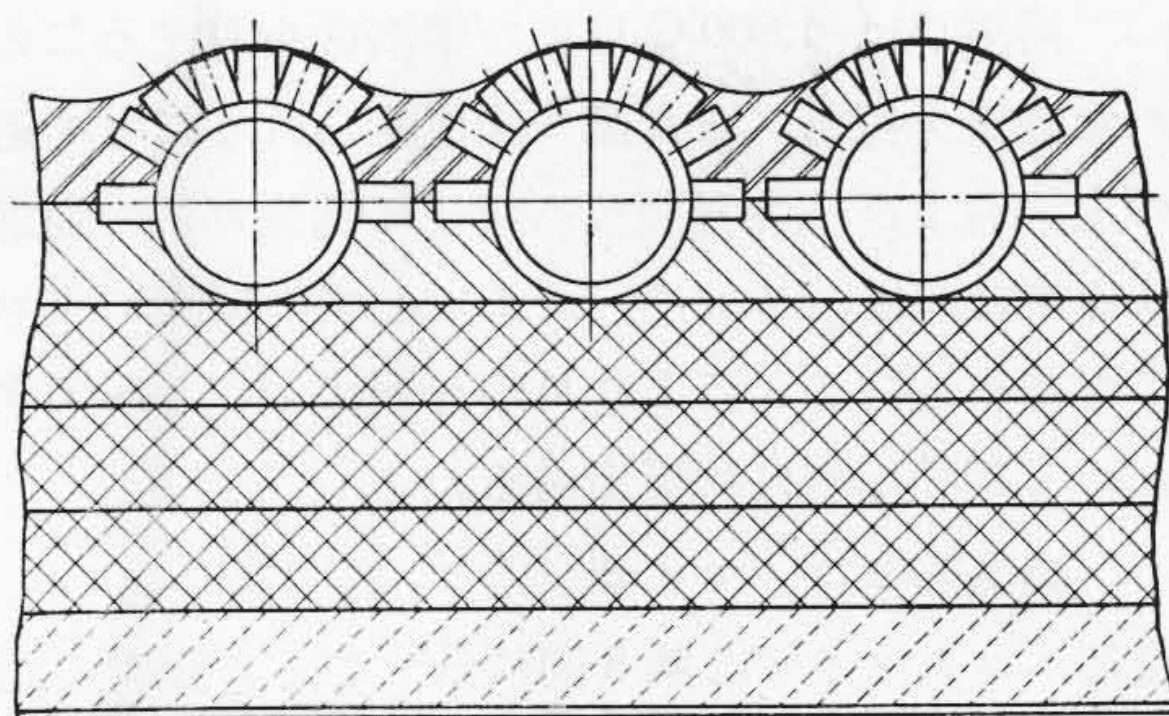
(2) 過熱器

過熱器は多数のU字管を2個の管寄に取付けた横置型で、前部蒸発水管群と後部蒸発水管群との間に置かれ、管は過熱器支持管に取付けられた耐熱鋼止金具により強固に支えられている。過熱器支持管は過熱管を支持するため十分な厚さの管を使用している。また止金具の焼損を防ぐため、これが燃焼ガスに曝されぬよう止金具の前の前部蒸発水管の間隙にクロームオアを塗り込みこれを



第6図 パーシャルスタッドチューブ部炉壁構造図

Fig. 6. Illustration of Furnace Insulation for Partial Studded Tube



第7図 フルスタッドチューブ部炉壁構造図

Fig. 7. Illustration of Furnace Insulation for Full Studded Tube

保護するとともに、過熱器支持管は冷却効果を大きくするために上昇管としてではなく下降管として働くような構造とした。

本過熱器は第3図で明らかな通り、燃焼ガスの通路に設置された接触過熱器であるため、燃焼率の増加（負荷の増加）とともに過熱度が増加するので、前述の蒸気温度調整装置により温度調節を行う。多数の過熱管は管寄により第5図に示すごとく蒸気流が4通路をなすように分けて管焼損を防止するに十分な蒸気速度を与えるように設計されており、第3通路と第4通路目との間に温度調節用の調整弁が取付けてある。

(3) 水冷壁

炉壁構造は火炉負荷が非常に高く陸用ボイラのおよそ数倍にも達するので、炉壁の保護が問題となり、また安定せる燃焼が要求される点からバーナを装備した前壁および炉底以外はクロームオアを塗り込んだスタッドチューブ型水冷壁を採用した。

スタッドチューブは第6、7図に示すように管表面に多数の短いスタッドを熔接したもので、この管を適当の間隔をおいて配列し、これに可塑性耐火物クロームオアを塗り込んで吸熱効果を調節している。

スタッドの配例にも管表面を全部覆つたフルスタッドと部分的にスタッドをつけて管の一部を露出するパースタルスタッドの二種があり、前者の方が熱吸収が少ないので火焰を安定させるためバーナ附近の側壁部はフルスタッドにして他の側壁および後壁はパースタルスタッドにした。(第3図参照)

かくすることにより炉内の熱吸収を適当に調節し、特にバーナ附近の熱吸収を制限することにより、すべての負荷においてまた低質油使用時も完全な燃焼を期待できる。上述のクロームオアは、

(a) 化学的に安定で酸性あるいは塩基性スラッグならびに溶融金属に対しても変化し難きこと。

(b) 耐磨耗性であること。

(c) 溶融点は $1,800^{\circ}\text{C}$ 以上で難溶性を有すること。等優れた性質を持ち、また第3図にみられるごとく過熱管群の上方および下方空間部に対して燃焼ガスの通過を阻止する場合には、スクリーンチューブの間隙にクロームオアを塗り込むことにより目的を達することができる等きわめて有効な耐火物質である。

(4) 高温部エコノマイザ

高温部エコノマイザは第8図に示すごとく鋼管の周りに多数のフィンをつけたスタッドチューブ型エコノマイザで、伝熱面積はスタッドをつけない裸管の場合に比べ、数倍となり、熱伝達率の高いエコノマイザである。管の長手方向にあるフィンが熱伝達を増すのみでなく管に剛性を与えて撓みを最小に押えているので支持装置を簡略化することができる。また風圧損失は比較的少く附着した灰はスートブロワにより除去する。

(5) 低温部エコノマイザ

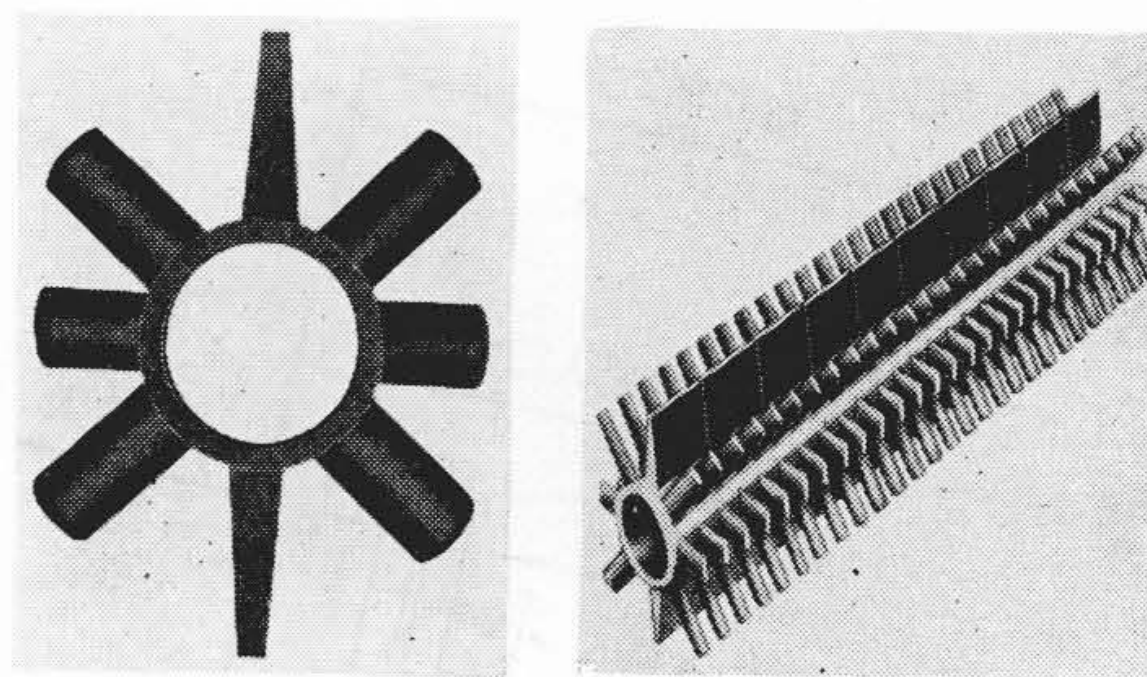
低温部エコノマイザは第9図に示すごとく鋼管にヒレ付铸铁管を焼バメしたもので、スタッドチューブ型エコノマイザにおけると同様このヒレをつけることにより伝熱面積はつけない場合に比し、数倍となり、吸熱効果が増し従つて据付面積も減少する。

また管の強度を増し、特に低温煙道ガスによる鋼管外表面の腐蝕を防ぐに役立つ、なお第3図に示したごとく低温部エコノマイザは二段に分け、その間にスートブロワを置き、附着した灰が除去されやすいようにした。

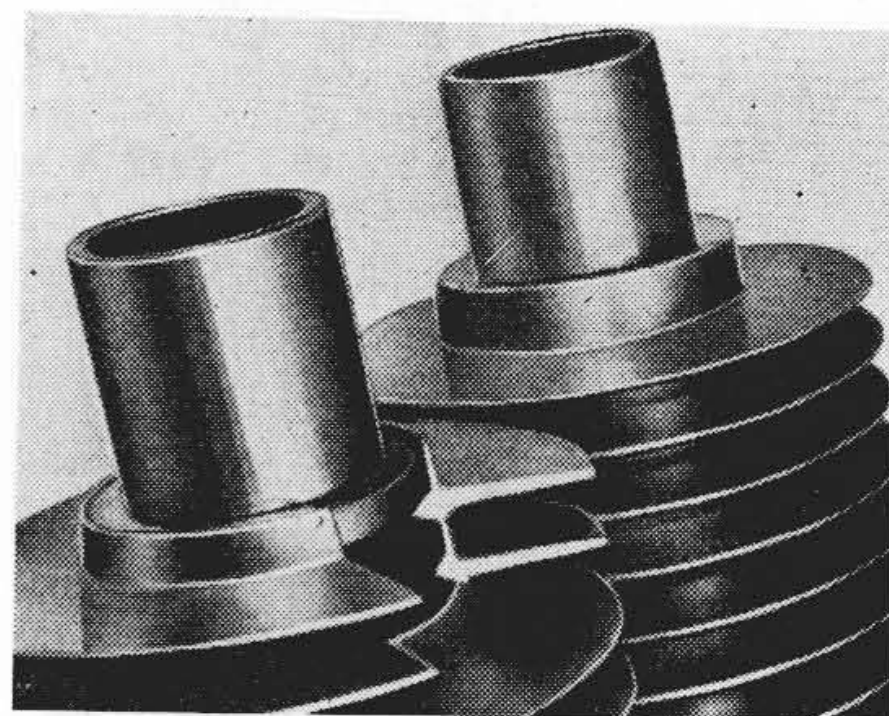
(6) 空気予熱器

空気予熱器の構造は多数のヒレを取付けた鋼管8段を水平におき、この管に主タービンの中央部の一段から抽気した蒸気を通過せしめ、外側を流れる空気は接触により加熱される。

空気予熱器入口の蒸気は圧力 $3.85 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 、温度 207°C の過熱蒸気であるが、主として潜熱との熱交換により空気を加熱するので、出口では復水している。



第8図 高温部エコノマイザスタッドチューブ
Fig. 8. Stud Tube of Economizer



第9図 低温部エコノマイザギルドチューブ
Fig. 9. Gilled Tube of Economizer

ヒレの熱伝達効果は、ヒレのない裸管に比べ、非常に大きくなる。なお入港時のごとく主推進機が止められている場合は補機の排気を利用して加熱する。

蒸気式空気予熱器の利点は

(a) 煙道ガス式空気予熱器に比べ同一性能に対し寸法が小さくてすむこと、したがって重量の軽減がいちじるしいこと。

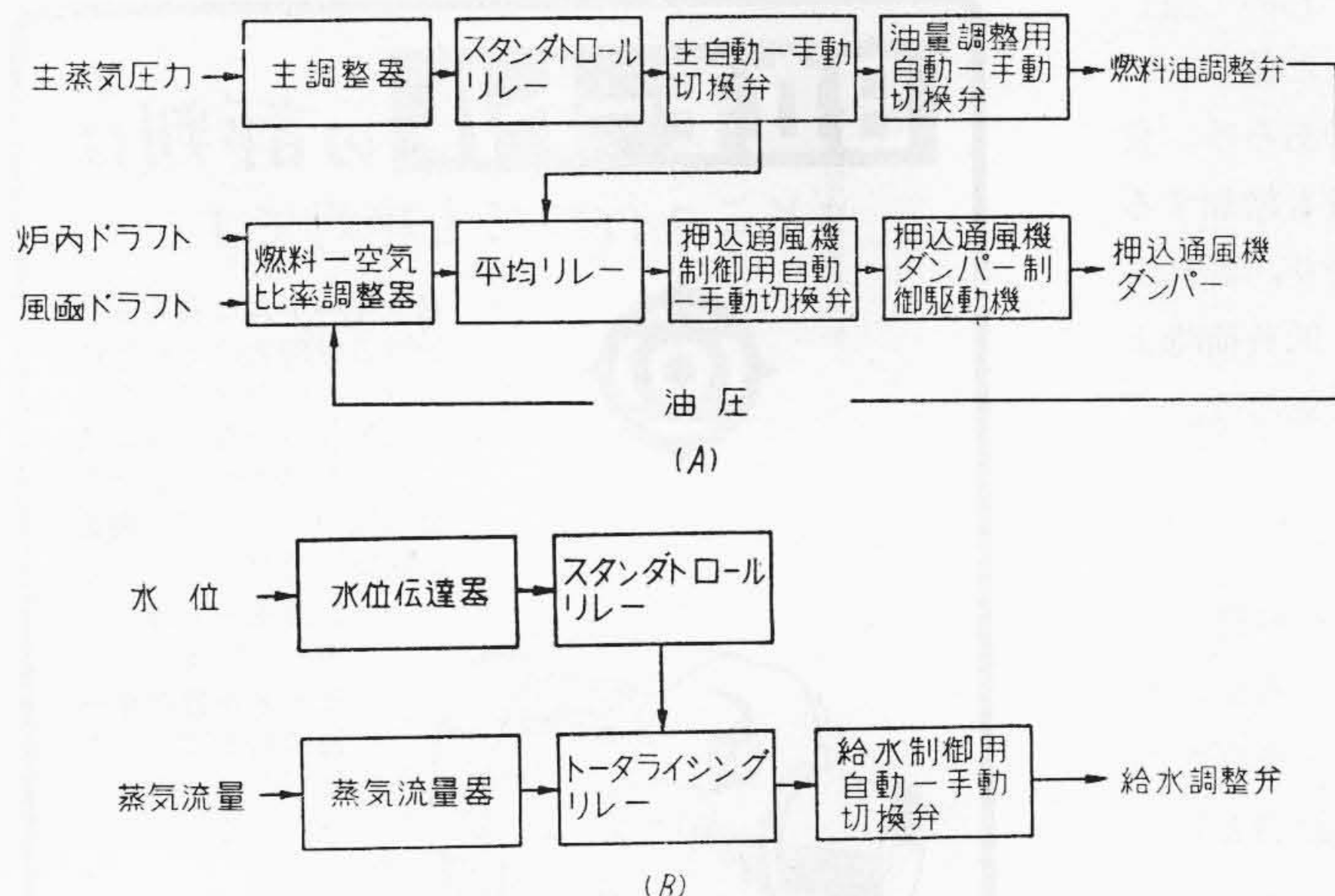
(b) 煙道ガス式空気予熱器が必然的に煙道に設置されねばならぬのに対し、蒸気式はボイラ室のどこでも都合の良い位置に置きうること。

(c) ガス式空気予熱器は一般にガス通路の最後に配置される関係上、不完全燃焼状態のときは特にス、がたまりやすく、取扱いが不良のときは発火する恐れもあり、また燃料中に硫黄分が含まれる時は腐蝕されやすいが、蒸気式空気予熱器ではこれら欠点が全然ないこと、等である。

本ボイラでは空気予熱器を第3図に示すような位置に配置した。なお本来ガス式空気予熱器を置くべき空間に低温部エコノマイザをおき熱吸収を図つた。

(7) ケーシング

艀装を簡単にし重量を軽減するため通例船用ボイラでは誘引通風機を装備せず、押込通風機のみで強圧通風方式でボイラを運転する。したがって炉内各部はすべて大気圧以上となつており燃焼ガスの漏洩を防ぐために、ケーシングは二重ケーシングとし押込通風機を出て、空気



第10図 ボイラ自動制御系統図
 (A) 燃焼自動制御系統図
 (B) 給水自動制御系統図
 Fig. 10. Systematic Drawing of Automatic Boiler Control
 (A) Systematic Drawing of Automatic Combustion Control
 (B) Systematic Drawing of Automatic Feed Water Control

予熱器を通過した燃焼用空気はこのダブルケーシング間を通つてバーナ風函に入るため燃焼ガスの漏洩は全然ない。また二重ケーシングとしたため、ここを通る空気が炉壁からの放散熱を吸収するので断熱煉瓦を減らし全体として重量を軽減するに役立つ。構造としては骨組に薄い鉄板を、熱膨脹部には膨脹代を考慮したボルト締めを行い、過熱管の取出口等は取出に便なるようクランプ止めにしその他は溶接している。

(8) ボイラ附属品

本ボイラは船主指定の英国 BCE 社製の“ユニチップ”圧力噴霧式バーナ5本を装備している。

スートブロワは米国ダイヤモンド社製のもの7個を使用し、10.5 kg/cm² g に減圧された過熱蒸気を噴射、蒸発水管、過熱器管、エコノマイザ管群に附着した煤を落すようになっている。

その他ボイラ附着品として米国クリンガー社製の透視水面計2個、米国リライアンス社製の遠方水面計1個、スモークインデキータ1個、ならびに米国コンソリデーテッド社製の安全弁、汽胴、過熱器用共各2個を取付けた。

(9) ボイラ自動制御装置

ボイラ自動制御装置はベーレ空気作動式を使用し燃焼制御および給水量制御の二つよりなる。これらの制御系統は第10図に示すごとくである。

(A) 燃焼制御

燃焼制御方式は油量調節と燃焼用空気量の調節とから

なる。本装置では負荷変化をタービン入口弁前の蒸気圧力で検出しマスターコントローラ（指令圧力発送器）によつて送出圧力 (Loading Pressure) を発送し、燃料供給量と空気量を各負荷に必ずるように変化させる。次いで最適の過剰空気度で燃焼を行わせんがために、空気流量と燃料油流量の関係を検出し、これを平均リレーで先の送出圧力と合成し、燃料と空気の量的関係を再調整するのである。

(B) 給水制御

給水制御方式は二要素制御で蒸気流量、汽胴水位により給水管に設けた給水調整弁を制御する。蒸気流量は主蒸気管中に設けられたオリフイスで検出され、これがトランスミッタにより合成リレーに送られる。一方汽胴水位の変動はトランスミッタによりスタンダ

トロールをえて合成リレーに送られ、両者の合成値に必ずる制御圧力を発生し、自動手動切換弁をへて給水調整弁を調整する。

[IV] 性能試験結果

(1) 測定値	試験日 1956. 2. 11		
	定格	全力	過負荷
汽 胴 圧 力 (kg/cm ² g)	43	43.6	43.6
過熱器出口蒸気圧力 (kg/cm ² g)	41.5	41.5	41.5
過熱器出口蒸気温度 (°C) ※	464.5	448.5	451.5
重油温度(バーナ入口)(°C)	79.4	85.0	88.3
給 水 温 度 (°C)	119.1	120.5	121.1
給 水 圧 力 (kg/cm ² g)	44.3	45	44.6
送風機出口空気温度 (°C)	36.4	38.6	38.4
バーナ入口空気温度 (°C)	129.2	140.6	141.1
廃ガス出口温度 (°C)	157	160	167.5
熱 効 率 (%)	89.2	88.5	88.3

※負荷の増加に対し蒸気温度が下つているのは、蒸気温度調整装置の操作に未習熟であつたためと考えられる。

(2) 検 討

効率 は 定格時、全力時共それぞれの保証値88%および87.5%を十分に上回る良い数値を示した。

過熱器出口蒸気温度の保証値 454.4°C に対しては、定格時 464.5°C、全力時 448.5°C であり、保証値に対し前者は +2.5%、後者は -1.8% の差を生じたが、調整弁が手動のため運転員が少しく経験をつめば確実に温度をコントロールできるであろう。

運転に立会い感じたことは、ボイラ室がきわめて涼しく快適な運転ができたことで、ボイラというと暑いという先入感を完全に覆したことは大きな収穫であろう。負荷が増大する程、それに伴って燃焼用空気量も増加するのでダブルケーシング内の空気速度が大となり、これが炉壁からの輻射放散熱量をよりよく吸収し、低負荷時よりも却って涼しくなることも特筆に値するであろう。


〔V〕 結 言

以上でアレキサンドラ号 15,000 HP ボイラの構造および性能試験結果の大略について述べたわけであるが、船主の苛酷なまで厳重な検査もつつがなく通り、良好な性能試験結果を納め、目下就航中であるのは設計者として慶びにたえない。

終りに、本ボイラの組立から運転までいろいろと御援助下さった日立造船株式会社関係者各位に厚く御礼申し上げ筆をおく。

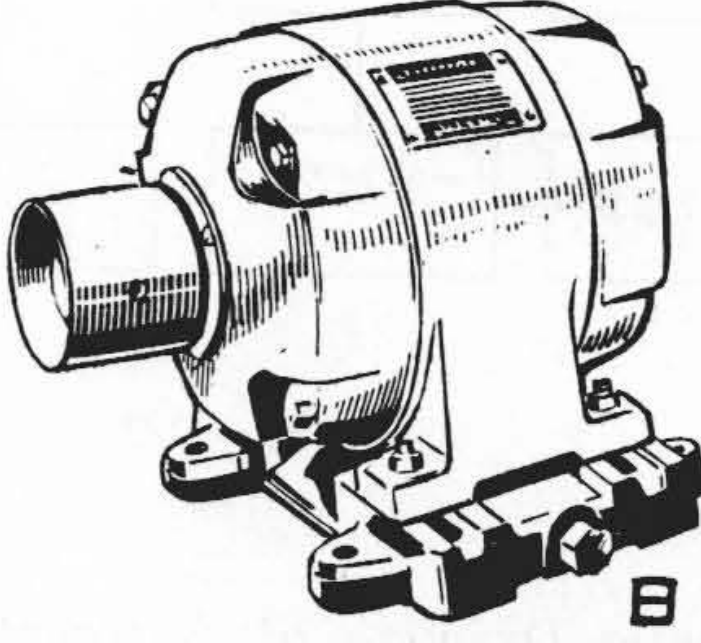
日立モートルの評判は

どこへ行つても絶対です。



日立モートルは各方面に於ける愛用者の方々へのゆきとどいたサービスと共に独特の一貫作業により安心して使つて頂ける力の強いそして寿命の永い優秀品であります

日立モートルの生産高と販売高がモートル界の第一位にある事によつてもその評判はわかりでしょう



日立製佐所

船用ボイラの給水、罐水について

Feed Water and Boiler Water of Marine Boilers

高能率、高蒸発率の船用ボイラでは罐水の処理を完全にする事によつて始めて十分なる機能を発揮することができる。給水には海水系の一部より塩分が浸入して、思わぬ事故を惹起することがあるので給水および罐水の監視は怠つてはならない。

給水および罐水の適正性状は次の値を推奨する。

	給 水	罐 水
硬 度	0	0
アルカリ度	pH 7.5	pH 10~11
塩 分	0	300 p.p.m. 以下
全 固 形 分	0	500 p.p.m. 以下
酸素含有量	0.01 cc/l 以下	0

硬 度

普通第三磷酸ソーダを清罐剤注入弁より汽胴内へ注入し、罐水の磷酸濃度を 25~70 p.p.m. (Na₃PO₄ として) に保つと罐水は硬度 0 を示す。

アルカリ度

給水がアルカリ性の場合には罐水アルカリ度が上り過ぎるので第二磷酸ソーダを用い、給水が酸性の場合には苛性

ソーダを加えアルカリ性を附与して、前記給水および罐水の数値を保つようにする。

酸 素

酸素の含有量 0.01 cc/l 以下とすることが望ましい、しかしなお不完全なるため亜硫酸ソーダを罐水中に 20~30 p.p.m. 含有させて残留酸素を処理するようにする。

塩 分

罐水の塩分は 4 時間毎に測定して 300 p.p.m. 以下におさえ、増加の傾向を認めたときは直ちに原因を調査して適当な処置を構ぜねばならない。

全固形分

罐水の混濁には注意せねばならない。全固形分量は普通密度または比抵抗の測定結果より推定される。

密度との関係は大體下記の通りである。

$$\text{全固形分量 (p.p.m.)} = [(20^\circ\text{C} \text{ における罐水の密度}) - 0.9982] \times 1.1 \times 10^6$$

補正温度係数は 0.0002/°C

海水より採取した蒸溜水のみを補給水としている場合は塩分の 4 倍は大體全固形分量を示す。

油 分

油分の混入を認めたときはサーフェスブローを実施し排除に努める。これには運転中 24 時間毎、水面計 1 吋程度のブローを行うようにすることが望ましい。