

新しい発電所補機(復水、蒸化、加熱装置)に就いて

浦 田 星*

New Design of Auxiliaries for Power Plant Service

— Condensing, Evaporation and Heated Equipment —

By Hoshi Urata

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The auxiliaries for thermal power plant, i.e. condensing, evaporation, and heating equipment, are required to be designed particularly of late for the best possible execution of the following three items:

- (1) Higher plant efficiency.
- (2) Simplified maintenance and operation.
- (3) Higher purity of feed water.

Here in Japan as in many other countries overseas, various contrivances have been made in an effort to attain above purposes. Hitachi, Ltd., combining its long years' experience in this field with many dexterous designs derived from unremitting research works, has completed the auxiliaries whose performance is favourably compared with products of any world's first class makers.

The writer relates the distinctive features of Hitachi's auxiliary equipment the ingenuity of the Company's engineering staff has succeeded to incorporate.

〔I〕 緒 言

新しい火力発電所の建設に当つて、最近特にプラントとして要求されるものは次の三つの点である。即ち

- (1) プラント効率の上昇
- (2) 保守及び運転の簡易化
- (3) 給水純度の上昇

このためにはボイラ、タービン、発電機等の進歩は勿論であるが同時に補機の改良並びに適切な配置によつてプラント全体として上記の三つの目標が達成せられるよう計画することが必要である。

日立製作所の補機は過去 20 数年間に多くの実績を挙げているが特に戦後に於ける補機の計画並びに設計には、上記の三項目を目標として、あらゆる点で最大の努力を払つて来た。その後年々積み重ねられる実績と絶えざる研究によつて、今やその性能は世界一流メーカーに劣らぬ優秀なものとなつた。以下日立製作所の補機の特長とプラント効率に就いて述べる。

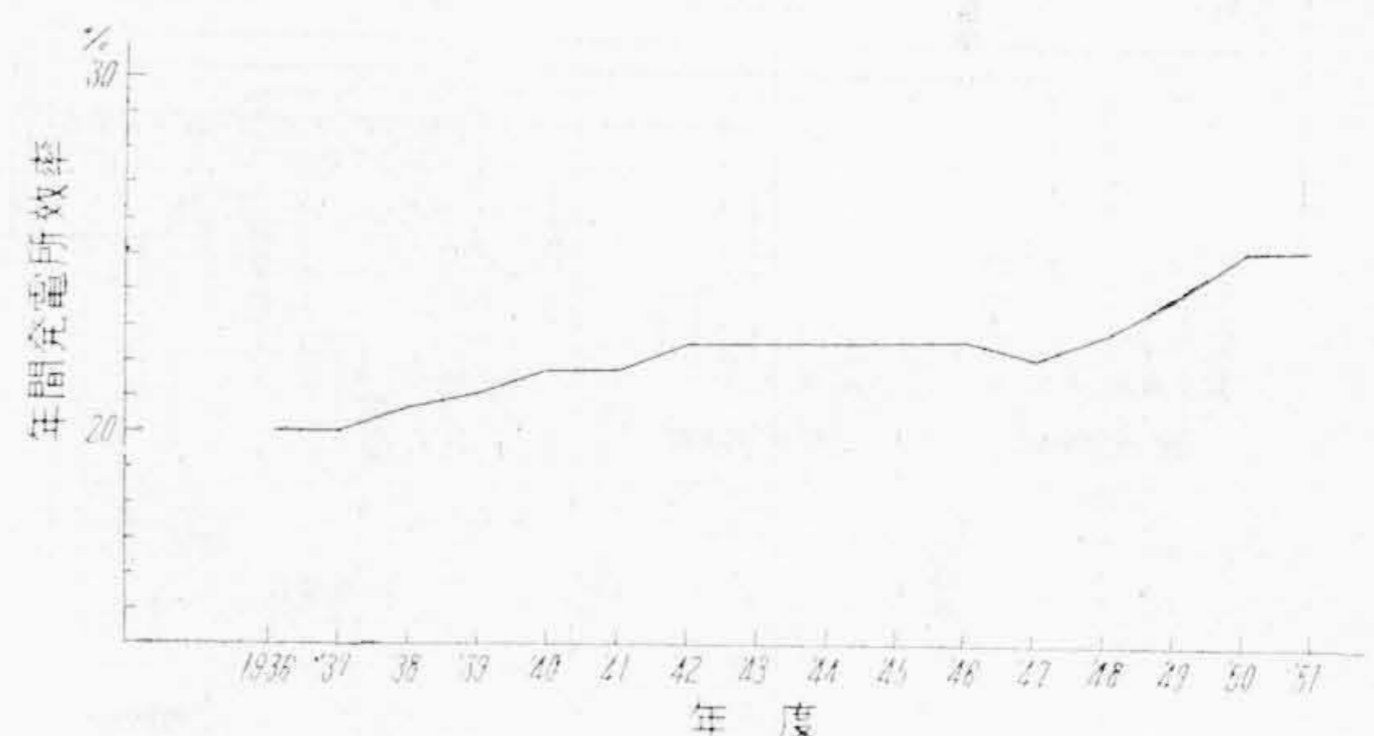
* 日立製作所日立工場

〔II〕 プラント補機に関する一般的傾向

先づ諸外国特に米国に於て前記三つの目標に關しての最近の補機計画の傾向を述べる。

(1) プラント効率の上昇

この数年間に発電所効率は著しく上昇した。米国に於ける例を示せば第1図の通りである。第1図は石炭焼き



第1図 米国に於ける発電所効率の上昇

Fig. 1. Rising of the Overall Efficiency in U.S.A. Power Station

の発電所の年間発電所効率の統計を示したものである。

このように効率が上昇した理由は発電機の出力が大容量となり蒸気が高温高圧になつたためとボイラ、タービン、発電機の効率が上昇したことによる他、補機の構造及び配置の著しい進歩によるプラント効率の上昇を見逃すことは出来ない。このような補機改良の根本的な考え方としては、第一に出気段数を増し、給水温度を上げて出来るだけ理想的な再生サイクルに近づけるといふことである。即ち蒸気が高温、高圧、高真空となりタービンの段数が増すにつれて出気点の数も増し、プラント効率を上昇せしめることが出来るようになった。最近の発電所は7~8段出気のものもある。第二に蒸気の漏洩を極力少くして Make Up の量を減ずるといふことである。このために配管には出来るだけフランジを少くして漏洩を減じ、補機に使用する蒸気を少くするために蒸気駆動の補機(空気ポンプ、補助油ポンプ等)を電動に切り換える等の考慮を払つている。従つて補機動力は極力減ずるように努めている。有名な Sewaren 発電所に於て House Generator を主発電機軸に直結したのも補機動力の節減に効果があつた。第三に補機の冷却水に出来るだけ給水を用いて補機損失を給水に吸収している。以前に

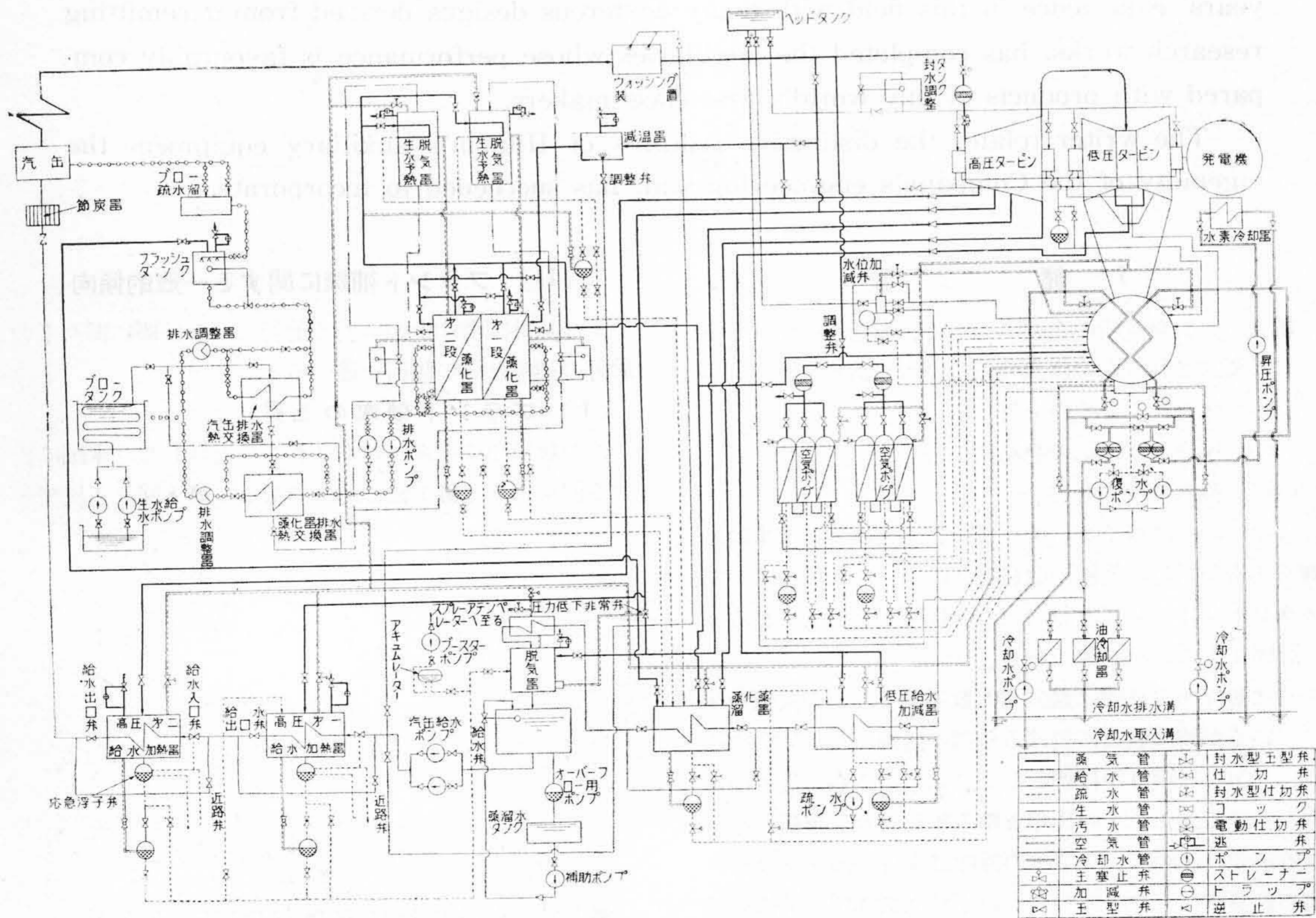
は海水や水道水等を用いて冷却した水素冷却器、油冷却器、各種ポンプの封水等を総べて給水を用いて冷却し、各軸承の損失熱を吸収して給水の温度を上昇せしむるよう計画している。

(2) 保守及び運転の簡易化

最近の発電所の運転監視は総て中央制御方式で、運転操作盤を全部中央制御室に集め、最少の人員で全部の運転が出来るようになっていたため、補機に就いても遠方操作が出来るようにあらゆる所に自動装置、安全装置を使用する。例えば復水器の真空ポンプとして回転式ポンプの使用、給水加熱器の水位上昇に対する自動バイパス弁、各出気弁の自動遮断装置、脱気器や復水器の水位の遠方監視、脱気器或は蒸化器の加熱蒸気の圧力低下切替装置等がこれである。

(3) 給水純度の上昇

ターボ発電機が大容量になるに従つてボイラの圧力、温度、蒸発量が増大したため、ボイラ給水中の固形分、塩分、酸素等を出来るだけ少くして汽機の内壁を保護し、寿命を延長する必要が起つて来た。このために脱気装置、清浄装置、脱塩装置、軟化装置等が著しく発達した。特に脱気装置は最も重要で給水の脱気器の他に生水脱気



第2図A 旧配位置図
Fig. 2.A Old Design Arrangement Diagram

新しい発電所補機(復水、蒸化、加熱装置)に就いて

第 1 表 OCI 勧告書に示された給水純度の標準
Table 1. The Standard of the Feed Water Purity Recommended by O.C.I. Report

	塩素 (ppm)	全固形分 (ppm)	溶解酸素 (cc/l)
蒸化水	1	10	<0.03
復水	1	5	<0.03
給水	1	5	<0.005

器、復水器中の脱気装置等を設け、特に脱気器は圧力型にして空気の混入を防止している。OCI 勧告書に示される給水純度の標準は第 1 表に示す通りである。

〔III〕 日立製作所のプラント効率

現在日立製作所に於て製作されている各補機は前項に述べたように新しい傾向に沿うように計画されているが、それは何れも不断の研究と努力によつて考案された日立製作所独特の方法によつたものである。その結果米国に於ける最新式の発電所に劣らぬプラント効率を出すことが出来た。第 3 図(次頁参照)は日立製作所に於け

る標準のタービンプラント効率を示す。

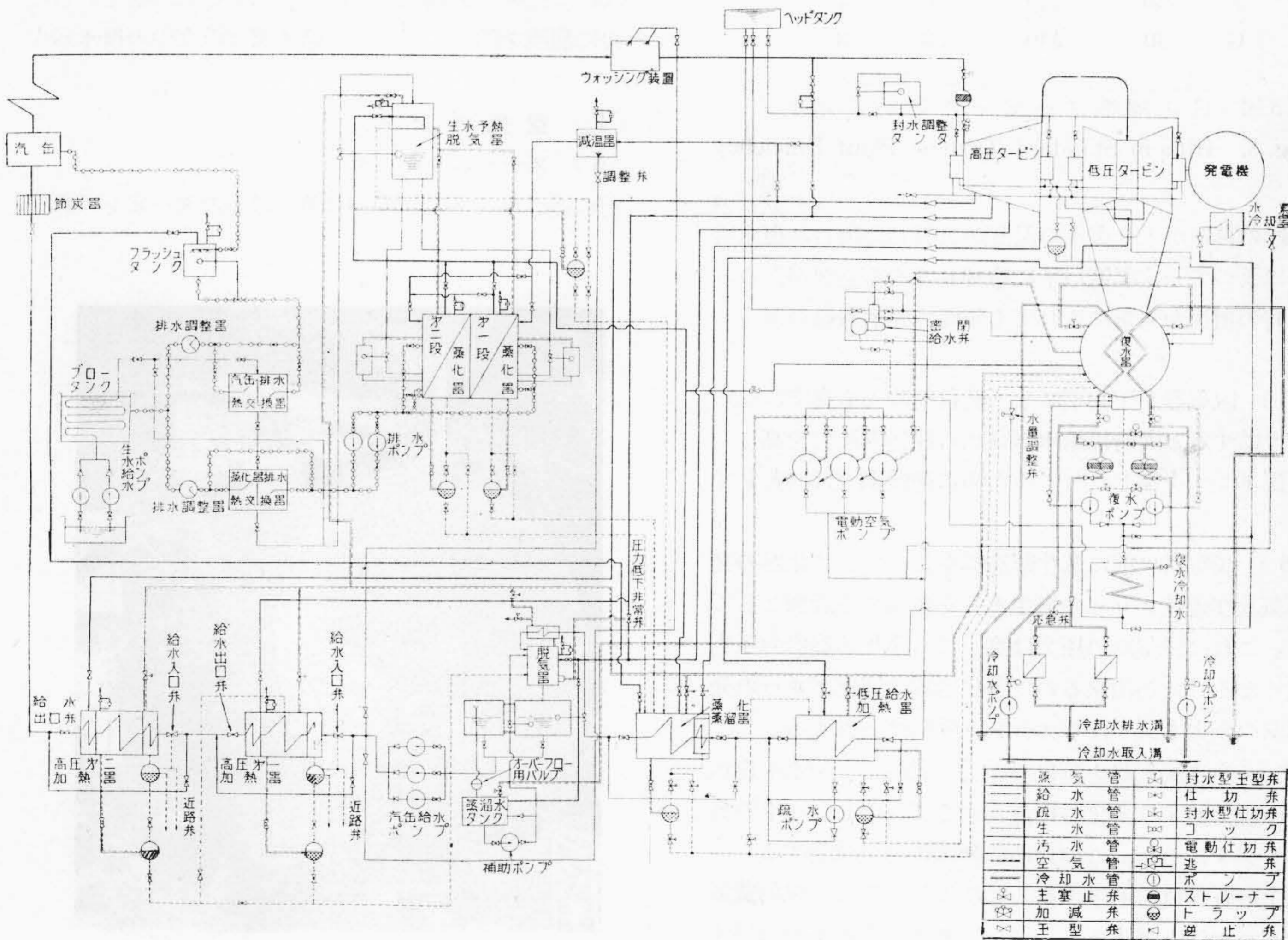
このようにプラント効率を上昇せしめるために補機の配置或は構造上特に考慮した点を列挙すると次の通りである。

(1) タービン高圧部のラビリンスパッキンよりの漏洩蒸気及び調整弁のグランドより漏洩する蒸気を低圧の出気管に導いて漏洩損失を防止している。このためプラント熱消費量は減少する。

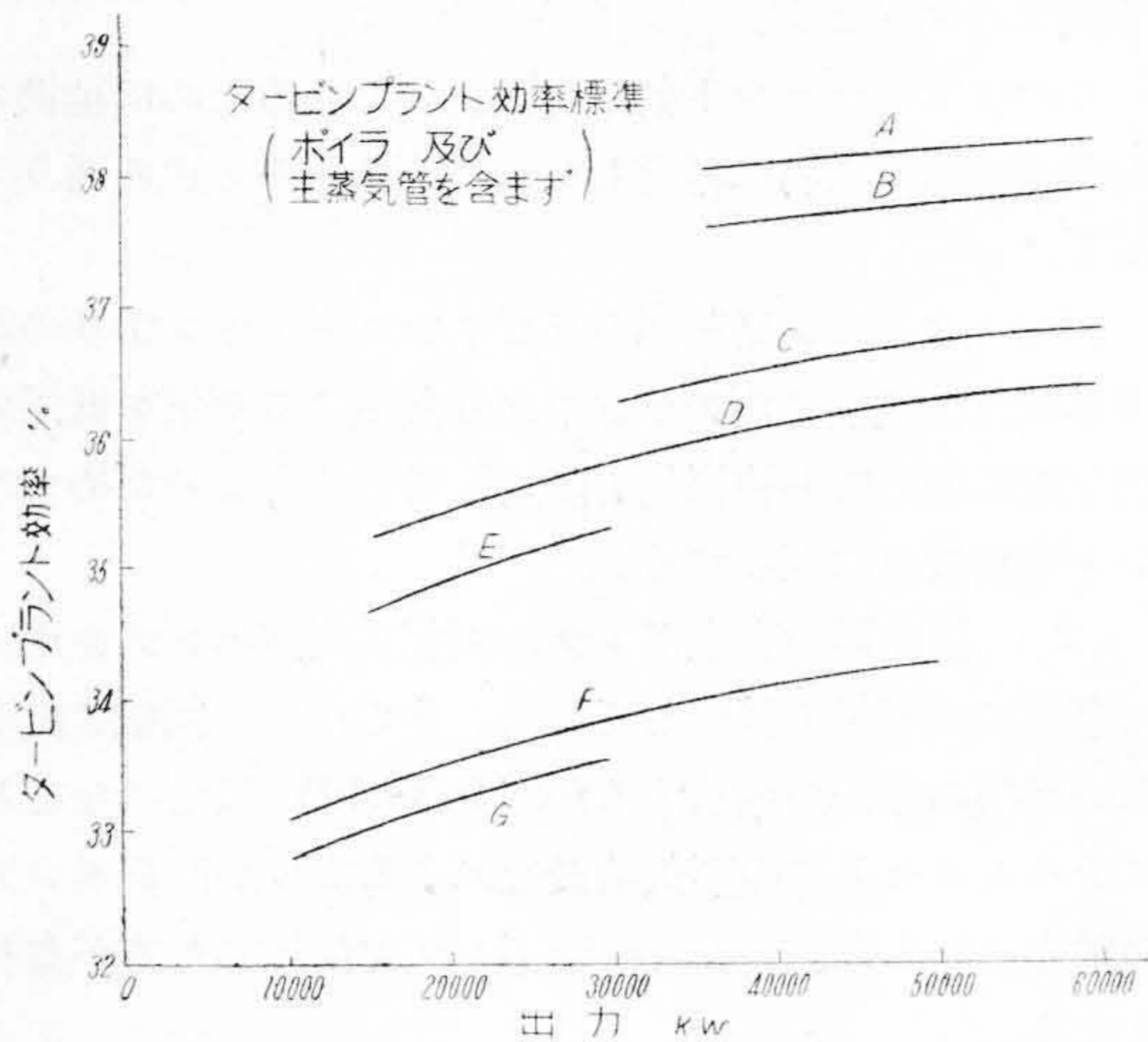
(2) 復水器の真空ポンプに回転式真空ポンプを用いて蒸気の消費量を減少している。その代わりに回転式真空ポンプ用の動力が増加するが 30,000 kW 以上になるとスチームエゼクタの蒸気消費量による損失が回転ポンプの動力よりも大きいので回転ポンプを使用した方が有利となる。

(3) 高圧加熱器はプレヒータ及びトレンクラー付き加熱器を採用して加熱蒸気の減少を計っている。この構造に就いては後で述べるが本加熱器使用によりプラント熱消費量は減少する。

(4) 水素冷却器の冷却水に復水を用いる。この場合水を用水用いるよりも明かに有利である。但し夏期に於て



第 2 図 B 新 配 置 図
Fig. 2. B New Design Arrangement Diagram



	圧力 (atg)	温度 (°C)	真空 (mmHg)	出汽数
A	88	510	730	5
B	88	510	730	4
C	60	485	730	5
D	60	485	730	4
E	60	485	730	3
F	40	440	730	4
G	40	440	730	3

第3図 日立標準タービンプラント効率表
Fig. 3. Hitachi Standard Turbine Plant Efficiency

復水器の真空が下り復水の温度が上昇した場合は復水冷却器によつて一定温度以下に冷却してやる必要がある。この時の損失を考慮に入れても年間で熱消費量の減少となる。

(5) 脱気器を圧力型にして低負荷時でも真空にならぬようにすると同時に給水ポンプの押込み圧力を高くして昇圧ポンプを廃した。このために補機動力は減少する。

(6) 脱気器の前に蒸化蒸溜器を設けて、蒸化器の発生蒸気及び連続ブローの発生蒸気を蒸溜する計画としている。これは脱気器の圧力は高くても蒸化蒸溜器の圧力を低くとることが出来るので蒸化器或は連続ブローの発生蒸気の圧力も低くなりプラント効率は上昇する。

(7) 生水脱気器を蒸化器の上に置いて、生水が自然に生水脱気器より蒸化器に流入するようにし、途中の昇圧ポンプを排した。このために補機動力が減少する。

以上の各項目を考慮することによりプラント熱消費量は数パーセント減少する。従つてプラント効率も上昇する。第2図Aは上記の各項目を考慮に入れる前の配置で、第2図Bは考慮に入れた後の配置を示す。

〔IV〕 各補機の構造及び性能

最初に述べたプラントに対する三つの目標を達成するためには各補機の構造及び性能が優れていなければならぬ。補機には復水器、脱気器等の如く大きなものからトラップ、バルブ等の小さいものまで数多くあり、その総べてを日立製作所で製作しているのであるが、ここには特に代表的な復水器、加熱器、脱気器、蒸化器、真空ポンプに就いて述べ、最後にこれ等の補機を運転するための自動装置に就いて述べる。

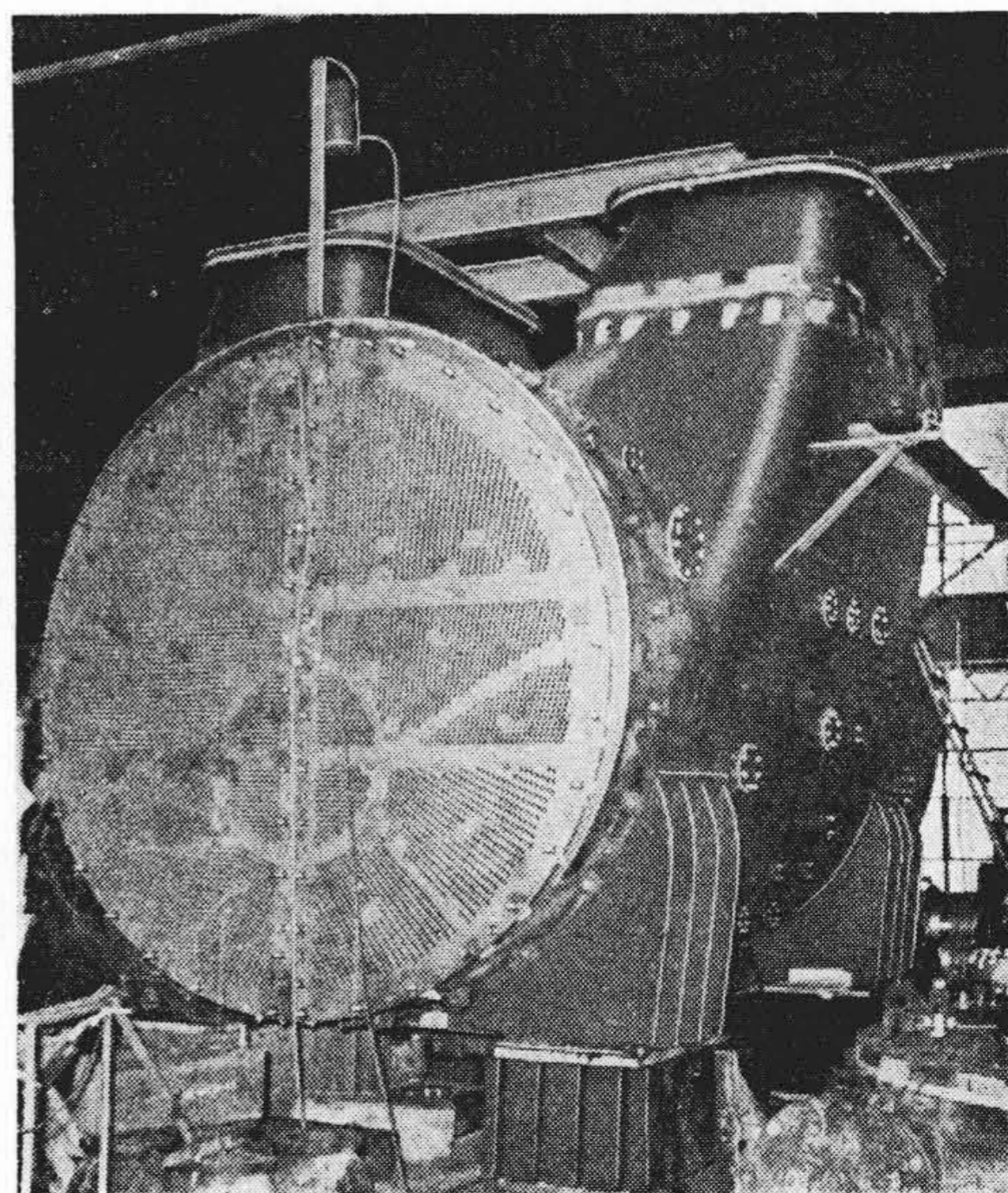
(1) 復水器

日立式復水器は冷却管の配列を日立製作所独特の放射集中方式として性能を向上せしめたもので、冷却管を空気抽出口を中心として、放射状に配列し、蒸気は管列の全周から低圧の空気抽出口に向つて侵入するので、総べての蒸気は同一面積の冷却管を通り而も最短距離を通つて復水となる。従つて蒸気は不必要に過冷されることなく、蒸気通路の抵抗も極めて少く出来るので、従来の復水器より遙かに性能の良いものである。復水溜には再熱脱気装置を設けて復水を脱気する構造とし、冷却管は両端エキスパンダーとしてエキスパンダー部には三条の溝を入れて把握力を増大し、熱膨脹による力に耐えしむると共に漏洩を防止している。第4図は組立中の復水器を示す。

(2) 空気ポンプ

(A) スチームエゼクタ

前に述べたように 30,000 kW 以下のタービンの真空



第4図 復水器
Fig. 4. Condenser

ポンプにはスチームエゼクタを使用する。日立式エゼクタは第5図に示すような構造を有する堅型二段或は三段式で、エゼクタ部分が冷却器の中央にあるため、蒸気及び空気の混合気が一様に中間冷却器内に放射するので冷却器による熱回収が良好であると共に外観を良くしたことが特長である。永年の実績と研究の結果、少い蒸気量で高度の真空を保つことが出来る極めて効率の良いエゼクタである。又大気側のデイフューザに大気放出切換弁を設けて特に起動用のエゼクタを設けなくとも切換弁の操作によつて起動時の真空を上げることが出来るようになってきている。

(B) 回転式真空ポンプ

回転式真空ポンプの特長は次の通りである。

1. 大容量タービンに対して動力の節約が出来プラント効率を上昇する
2. 起動停止に対して遠方操作が出来る
3. 起動時間が早い
4. スチームエゼクタのように蒸気中に空気、炭酸ガス或はアンモニア等の有害ガスの混入がない。

復水器用として用いられる回転式真空ポンプは米国の KINNEY 社或は WORTHINGTON PUMP 社で特別に製作されて現在米国では Sewaren, Essex の両発電所を始めとして盛に使用されている。日立に於ても KINNEY 社製のものを輸入して使用する計画である。

(3) 加熱器

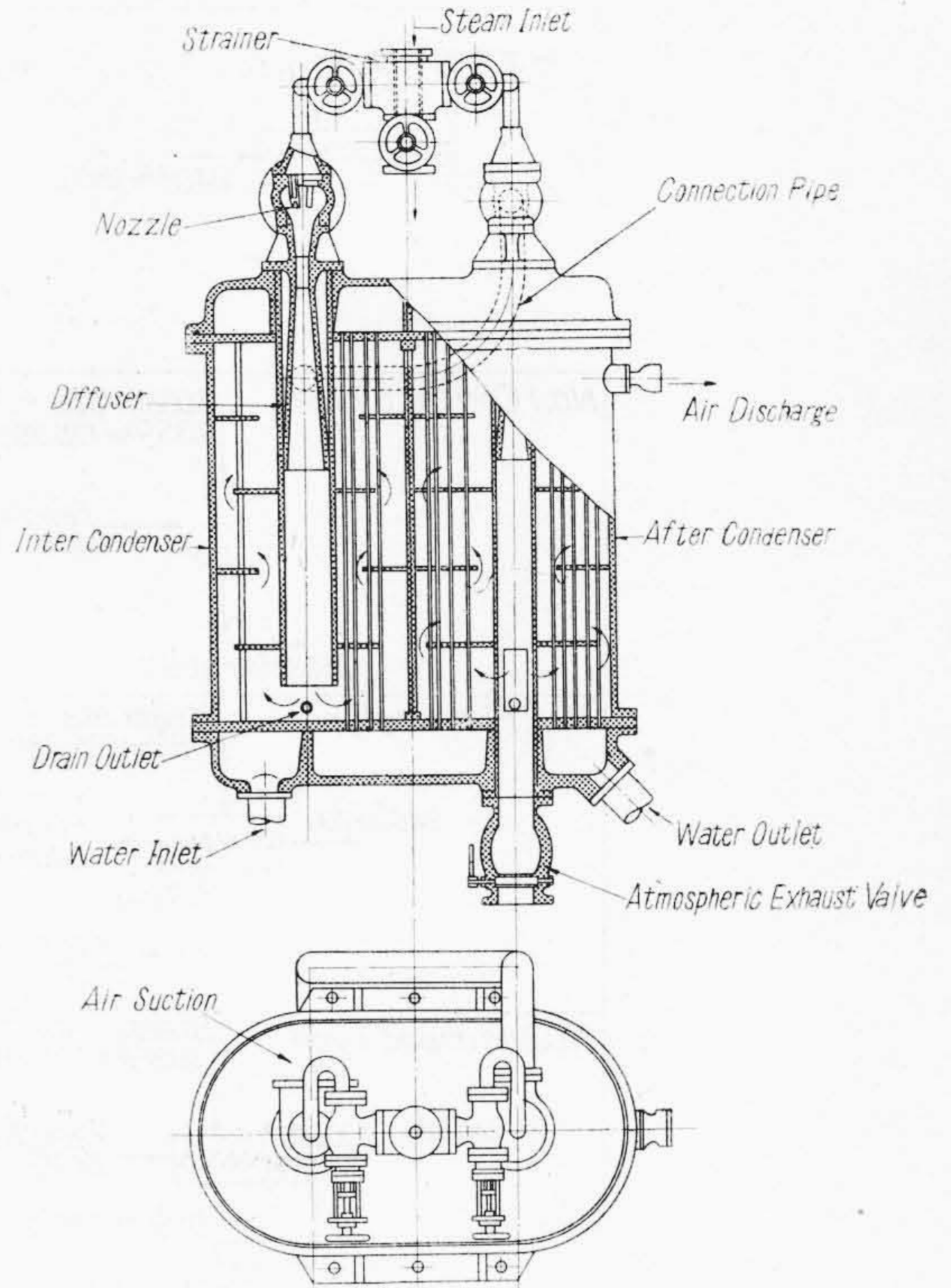
加熱器には色々な種類があつて大別すれば第6図(次頁参照)に示す6つの型に分けることが出来る。これ等の加熱器の性能を比較するために 240 m³/hr の水を 180°C から 200°C まで加熱する場合の熱消費量を比較したが、No. 6 の Preheater 及び Drain Cooler 付加熱器が最も熱消費量が少いことがわかる。但し加熱器の使用条件によつて適当な型が用いられ日立製作所の標準としては脱気器は No. 1 の Contact Type, 蒸化蒸溜器は No. 2 の Flashing Type 又は第6図の Drain Cooler 付き、低圧加熱器は No. 3 の Pumped Type, 高圧加熱器は No. 6 の Preheater 及び Drain Cooler 付きを使用する。

第7図(55頁参照)は組立中の Preheater 及び Drain Cooler 付き高圧加熱器を示す。

Preheater 及び Drain Cooler 共加熱器の内部に設けられて1体となつている。本加熱器を用いると加熱蒸気の出気点を低くとることが出来るのでそれだけタービンで仕事をする事になり有利となる。冷却管にはキユプロニッケルを使用し、水室部は特に高圧に対しても漏洩がないように自緊式構造になつている。

(4) 脱気器

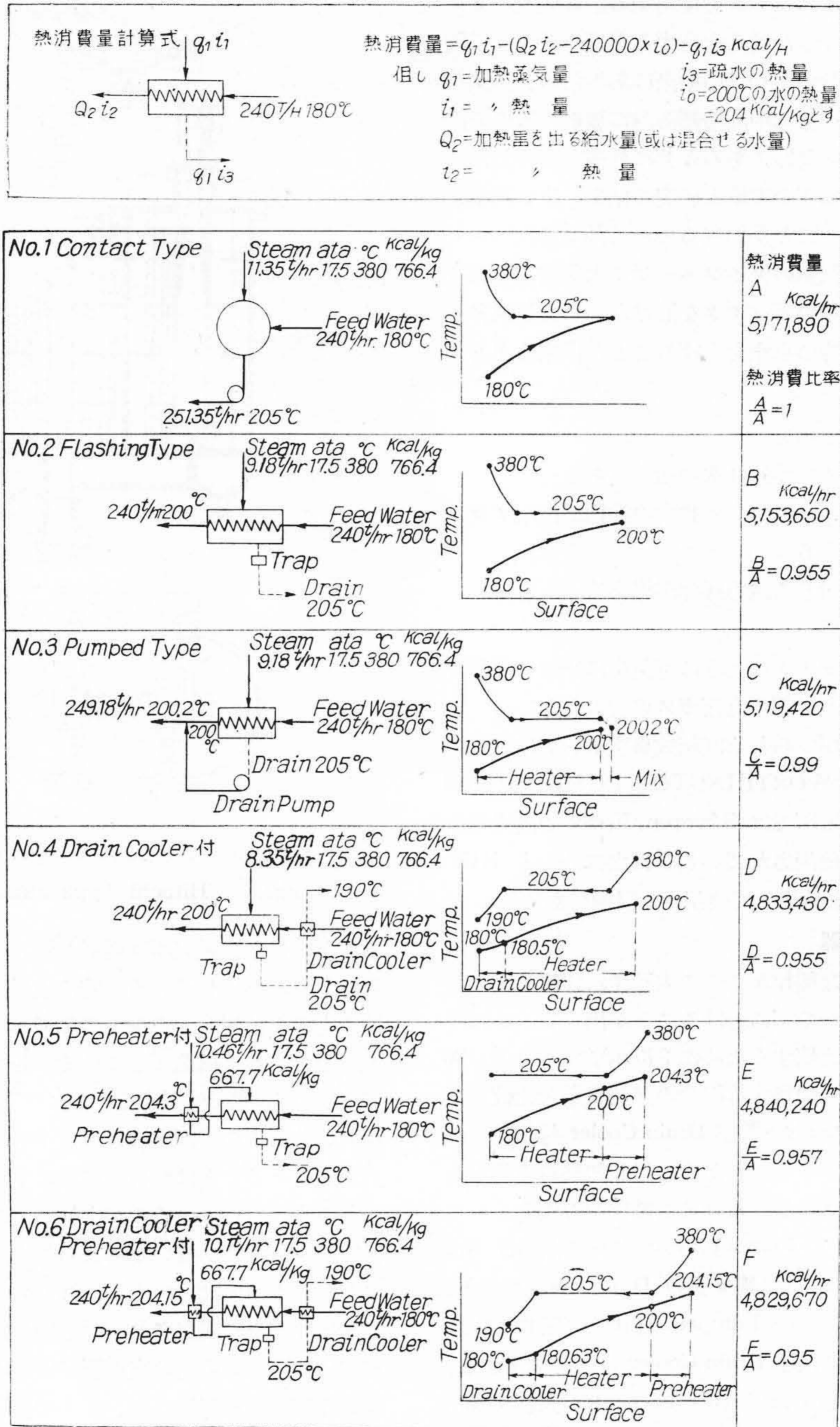
脱気器の構造には噴射式脱気方式と散水式脱気方式が



第5図 日立式スチームエゼクタ
Fig. 5. Hitachi Type Steam Ejector

あるが、日立式脱気器は両者を組合わせてそれぞれの特長を十分に利用している。特に噴射ノズルには独特の構造のものを使用し、負荷の変動があつても常に一定の状態で噴射される構造としている。脱気室内は圧力型として 3 atg 程度で使用する。従つて脱気された水は、約 150°C となるので胴体は保温を十分に作る。脱気器の圧力を高くすることは低負荷に於ても大気圧以上に保つて空気の漏入を防止するのが主目的である。一般に圧力が低い程脱気性能が良いと考えられているがこれは至当ではない。水中ではその圧力に拘わらず飽和温度に達すれば酸素は完全に脱気され、而も脱気性能は圧力が高い程安定する。即ち圧力の高い所では圧力が少々変動しても脱気作用の変動が少いが、圧力の低い所では圧力の僅かな変動によつて脱気作用が大きく変動することが実験によつて確められている。従つて圧力の高い脱気器を使う方が有利である。

脱気器の貯水槽はボイラ給水の変動を調節し、給水ポンプに常に一定の押込ヘッドを与える。従つて貯水量は多い方が良い。通常ボイラ給水量の 20~30 min の保有水を有する構造とするが、その他にボイラの水張り用として別に蒸溜水タンクを設けて脱気器の貯水槽からオーバーフローした水を貯えておく。脱気器の水位の変動が



第6図 加熱器の型と性能

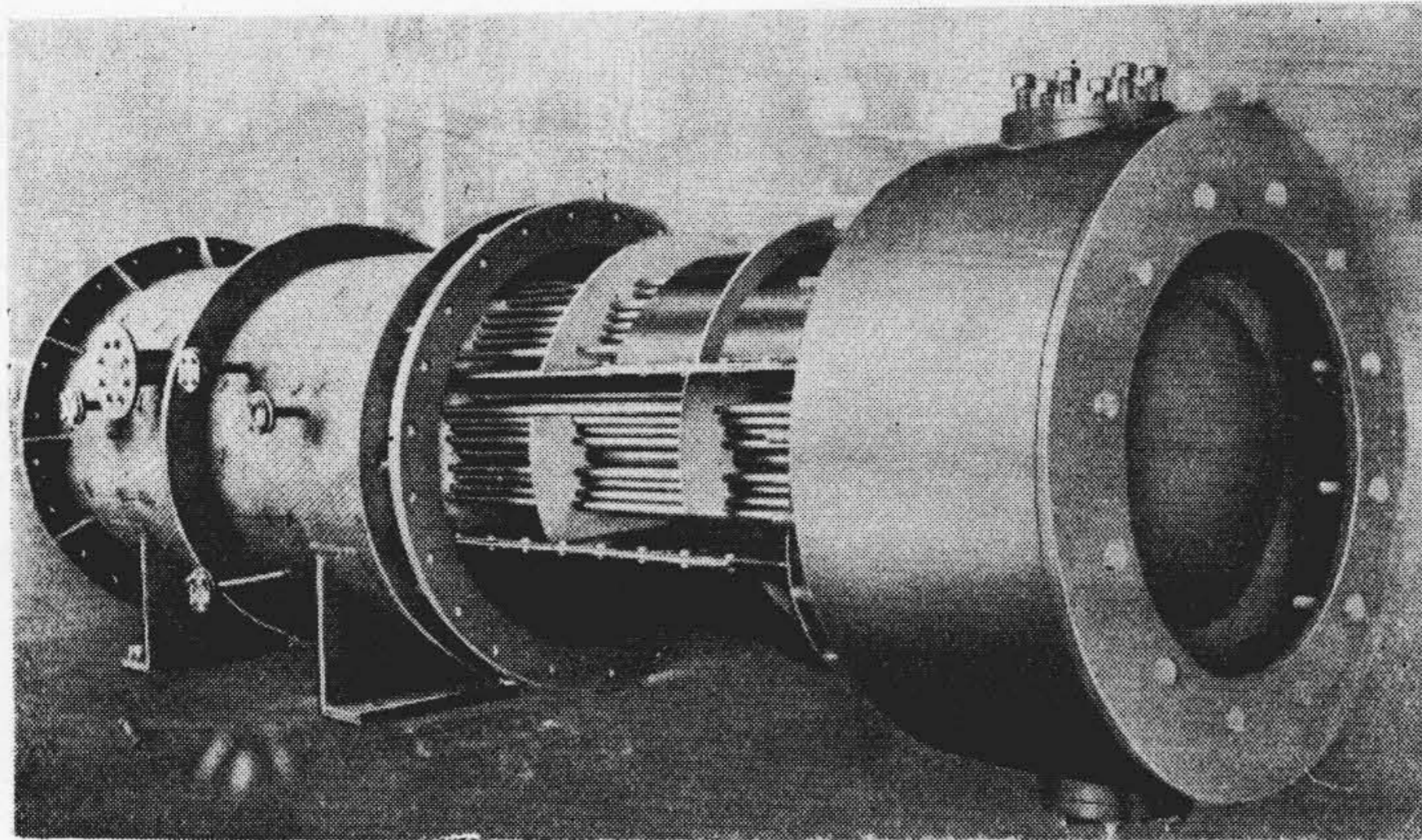
Fig. 6. The Type and Circumstance of Heaters

あつた場合にはポンプで蒸溜水タンクから脱気器内に水を送る。第8図に日立式脱気器の外観を示す。本脱気器は処理水量最大 300 t/hr, 貯水量 80t である。

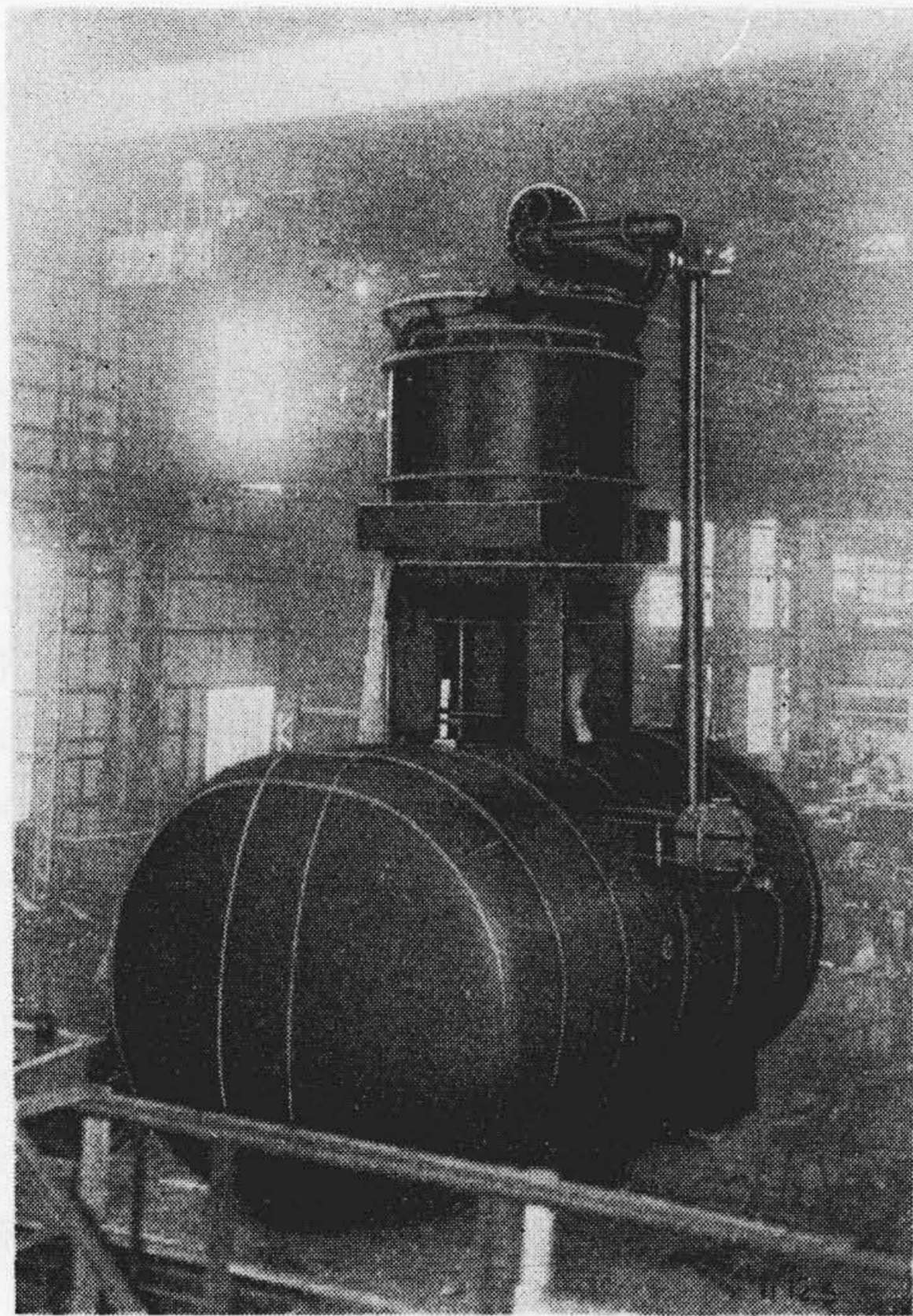
本脱気器の性能は給水中の酸素含有量を 0.005 cc/l 以下に保つことが出来る。このような微量な酸素の測定には日立独特の高周波滴定装置を用いる。

(5) 蒸化器

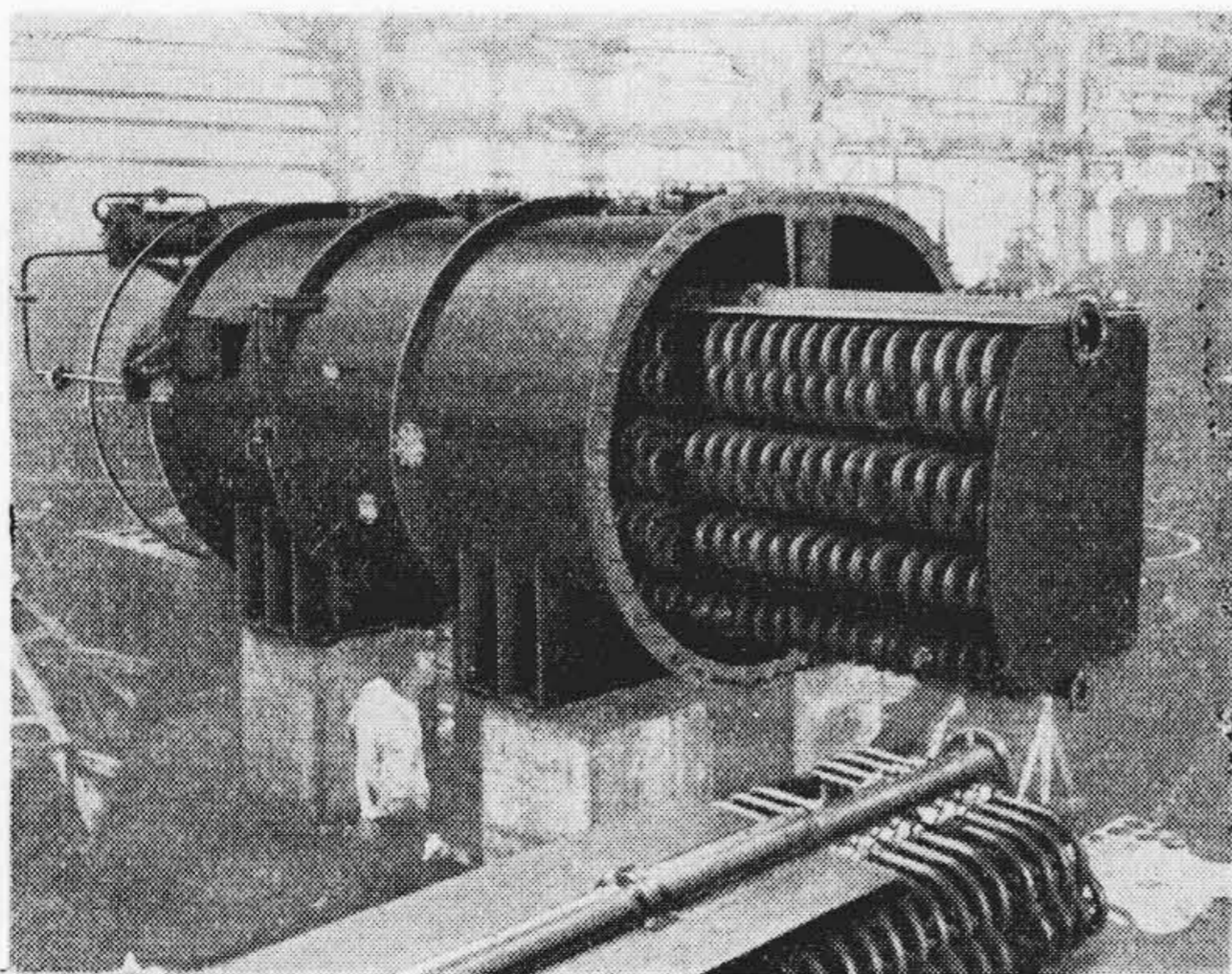
蒸化器は通常二重効果式として用いるので2箇使用するのであるが、蒸化器の容量が大きくなると極めて大きな床面積を要するようになる。日立式蒸化器は第9図に示すように胴体を従来と全く異つた横型楕円形筒とし、この胴体を中央より2つに仕切つて両室で二重効果を行



第7図 日立式高圧加熱器
Fig. 7. Hitachi Type High Pressure Heater



第8図 日立式脱気器
Fig. 8. Hitachi Type Deaerator



第9図 日立式蒸化器
Fig. 9. Hitachi Type Evaporator

うような構造となつている。従つて床面積は遙かに少い。而も両室は二重効果式として用いる他に併列でも単独でも使用することが出来る。生水の入口には脱気装置が設けてあり、発生蒸気の一部で加熱して脱気を行う。脱気された空気と蒸気の混合気はベントコンデンサーに入り蒸気は復水して器内に帰るが空気は器外に排出される。

蒸化器に於て純度の高い蒸発を発生せしむるには Carry Over を防止することが第一の条件である。

Carry Over は蒸化器の表面負荷によつて大きく影響される。表面負荷とは蒸化器内の水面の単位面積当り発生する蒸発量で、この表面負荷が少い程 Carry Over は少い。この点横型蒸化器は表面負荷を十分小さくとることが出来るで、発生蒸気内に含まれる固形分を 1 ppm 以下にするような表面負荷としている。又発生蒸気の出口には特殊な分離装置を設けて通過する蒸気より完全に水分を除去している。

(6) 自動装置

保守及び運転の簡易化を目標として各部に自動装置を設けている。その主なものを列挙すると次の通りである。

(A) 出気弁遮断装置

これはタービンの非常調速機が作動してタービンを停止する場合に同時に各出気弁を遮断して停止時間を短縮する装置である。又高圧加熱器の水位が上昇して自動近路弁装置が作動した場合にとか脱気器や蒸化器の圧力が低下して圧力低下切換弁が作動し一段上の出汽管よりの蒸気を使用する場合に、不要の出汽管を遮断する装置である。

(B) 自動近路弁装置

高圧加熱器の加熱管が破損して加熱器中の水位が異常上昇した場合に自動近路弁装置が作動し、給水は加熱器をバイパスしてボイラに送られる。

(C) 高圧加熱器水位警報装置

高圧加熱器の水位が上昇した時に警報を発する。

(D) 脱気器水位指示器

脱気器は通常高所におかれるので貯水槽の水位を監視するのに不便である。従つて遠方監視の水位指示器をつける。

(E) 応急弁

脱気器の水位が下つて給水ポンプの押込圧力が下つた時に自動的に開いてサーヂタンクの水を直接給水ポンプに送る。

(F) 脱気器圧力低下切換弁

脱気器内の圧力が 0.3 kg/cm^2 以下になつた時に警報を発すると同時に切換弁が働いて一段上の出気管から蒸気を入れる。

(G) 蒸化器圧力低圧切換弁

蒸化器内の圧力が 0.1 kg/cm^2 以下になつた場合に一段上の出気管から蒸気を入れる。同時に警報を発生する。

(H) 水素冷却器冷却水温度制御装置

水素冷却器の冷却水に復水を用いるので夏期になると復水器の冷却水の温度が上るにつれて復水の温度が上る。復水の温度が一定値以上になると自動温度制御装置が作動して復水冷却器に冷却水を送り復水を冷却する。

(I) 復水器の自動水位加減弁

復水器の自動水位加減弁は復水器と復水ポンプ及びサーヂタンクを連結して、復水溜の水位が上昇すれば復水ポンプの水をサーヂタンクに送り、水位が降下すればサーヂタンクの水を復水溜に入れて常に復水溜の水位を一定に保つものである。従来この種の加減弁は各社に於て色々の型が用いられているが、復水溜の水位の変化とフロートの移動に時間遅れを生じこれがボイラ或はタービ

ンの負荷変動と均衡を保つことが出来ない場合にハンチングを起し易い。日立製作所の水位加減弁は上記の欠点を除くために特殊の改良を加えた二重挺子複座式水位加減弁である。即ちパイロット弁と主弁間の復元レバーに二重挺子を用いて復元作用を増大し、同時に主弁を二重弁座にして、主弁の僅かな動きによつても多量の水が流れるよう工夫したものである。かくすることによつて加減弁は動作の時間遅れがあるにも拘らず多量の水の移動と敏速な復元作用によつて水位の制御を安定ならしめることが出来る。

(7) その他

補機運転に必要な機器として、給水弁、トラップ、安全弁、連続ブロー装置、カンバーランド防蝕法、スプレーポンド、自動減圧減温装置等があるが何れも多年の経験と研究によつて優れた性能の製品を製作している。

〔V〕 結 言

上に述べたように日立製作所の補機は効率の上昇と運転、保守の簡易化、給水純度の上昇を目標として独自の構造を有しいづれも優れた性能を持っているが更に一段の進歩を目指して、絶えず研究を行つている。例えば脱気器、蒸化器、一般加熱器、真空ポンプ等はモデルによつて実験を行つている。更に日立製作所の大きな力として、ボイラ、タービン発電機と共に総べての補機、即ち復水、蒸化、加熱装置は勿論、ポンプ、モータ、パネル等及び各種の材料に到るまで全部日立製作所で製作していることで、これは世界にも例のないことである。従つてプラントの計画に当つては各部の構造のみならず配置計画に到るまで総合的に検討することが出来るのでプラントとして優れた性能、効率及び完全な自動運転系統を有することが出来るのである。

