

350 kg/cm²g, 650°C 超臨界圧力テスト・プラント

350 kg/cm²g, 650°C Supercritical Pressure Test Plant

浦田 星* 吉原 茂夫** 前田 繁***
Hoshi Urata Shigeo Yoshihara Shigeru Maeda

内 容 梗 概

電力需要のすう勢にかんがみ、近い将来わが国においても超臨界圧火力発電所が建設されるであろうことは、十分推察しうるところであり、このような情勢下にあつて、このたび日立製作所が、日立研究所内に設置した「超臨界圧力テスト・プラント」について、ここに、その概要、研究目的などを紹介する。

本設備は蒸気条件 350 kg/cm²g, 650°C, 蒸発量 2 t/h のボイラ、これに付属するタービン発電機、その他プラント設備一式および各種の試験装置を備えて、超臨界圧蒸気に関する研究、プラント全体の出力制御、起動停止方法など広範囲の研究を行いうるものであり、その成果には大きな期待が寄せられている。

1. 緒 言

欧米においては最近超臨界圧力発電所が相ついで完成し、きわめて高能率に運転を続けているので、超臨界圧力使用に対する不安の念は薄らぎつつあるが、このボイラあるいはプラントを完成するに至るまでは、各メーカーとも相当な研究設備を設けて十分に基礎研究を行ったうえ、設計に着手している。たとえば American B & W 社の Aliance 研究所、あるいは Foster Wheeler 社の Carteret 研究所、そのほか Eddystone, Hüls などのテスト・プラントなどがそれで、これらにおける研究の成果が着々その実績となって現われてきている。

わが国においても遠からず超臨界圧力発電所が建設されることは疑いないが、われわれ独自の力で設計、製作を行うためには、まだまだ不明な点が多く、これらを解明するために早急に超臨界圧力の研究に着手する必要がある。日立製作所では早くからこの点に着目し、火力に対する長年の経験に加ふるに、総合技術を結集して、従来各メーカーで建設された設備より一段と大規模な、また内容の充実したテスト・プラントを完成した。その蒸気条件は 350 kg/cm²g, 650°C, 蒸発量 2 t/h, これに 200 kW のタービンおよび発電機を備え、さらに各種の試験装置を具備した。

この装置は国内最初のテスト・プラントであり、すでに順調に運転にはいり各種の研究に成果をあげつつあるが、その概要ならびに研究の一端をここに紹介したい。

2. テスト・プラント建設の経緯

日立製作所においては、すでに昭和 32 年春頃より火力発電部門が中心となりその調査を開始したが、昭和 34 年 5 月、試作の方針が決定されると同時に日立研究所をはじめ、日立、呉、国分、那珂各工場の関係者により、6 分科会からなる「超臨界圧力プラント研究会」が結成され、テスト・プラント建設にあつての具体的問題点の検討を開始した。

超高温高压に耐える材料とその熔接の問題、プラント全体の構成など大きな問題も逐次解決され、この間、電力会社、諸大学、研究所との意見交換をも行い、最終的には、以下に詳述するようにタービン、発電機のほか各種の試験装置をも備えた総合的な超臨界圧力テスト・プラントにまとめられた。

かくて昭和 35 年 10 月 22 日にその火入れ式を行い、引き続いて調運転にはいり、研究のスタートを切ったのである。

3. 仕様 の 決 定

本テスト・プラントを計画するにあつては、次の 3 点を基本的な考え方とした。

- (1) これまで外国の各所に建設されたテスト・プラントの欠点を十分調査し、できるだけ完全な設備とすること。
- (2) ボイラのみならずタービン発電機を含めたプラント全体の研究ができるようにすること。
- (3) 研究しうるすべての場合を考慮して、測定器などの取付けが可能ないように計画すること。

この方針に基づき次のような仕様が決めた。

3.1 蒸 気 圧 力

蒸気圧力は、現在運転されているものは 350 kg/cm²g(5,000Psig) が最高であるが、今後の傾向としてはむしろ低下している。それは主として経済上の問題であるが、本テスト・プラントの蒸気圧力は現在の最高である 350 kg/cm²g とした。

3.2 蒸 気 温 度

蒸気温度も 650°C(1,200°F) までは使用されており、製作可能であるが、やはり経済的な理由から 570°C(1,050°F) が最も適当とされている。しかしわれわれはすでに 570°C(1,050°F) に耐えうる材料は十分研究しつくしており、また近い将来には温度もさらに高くな

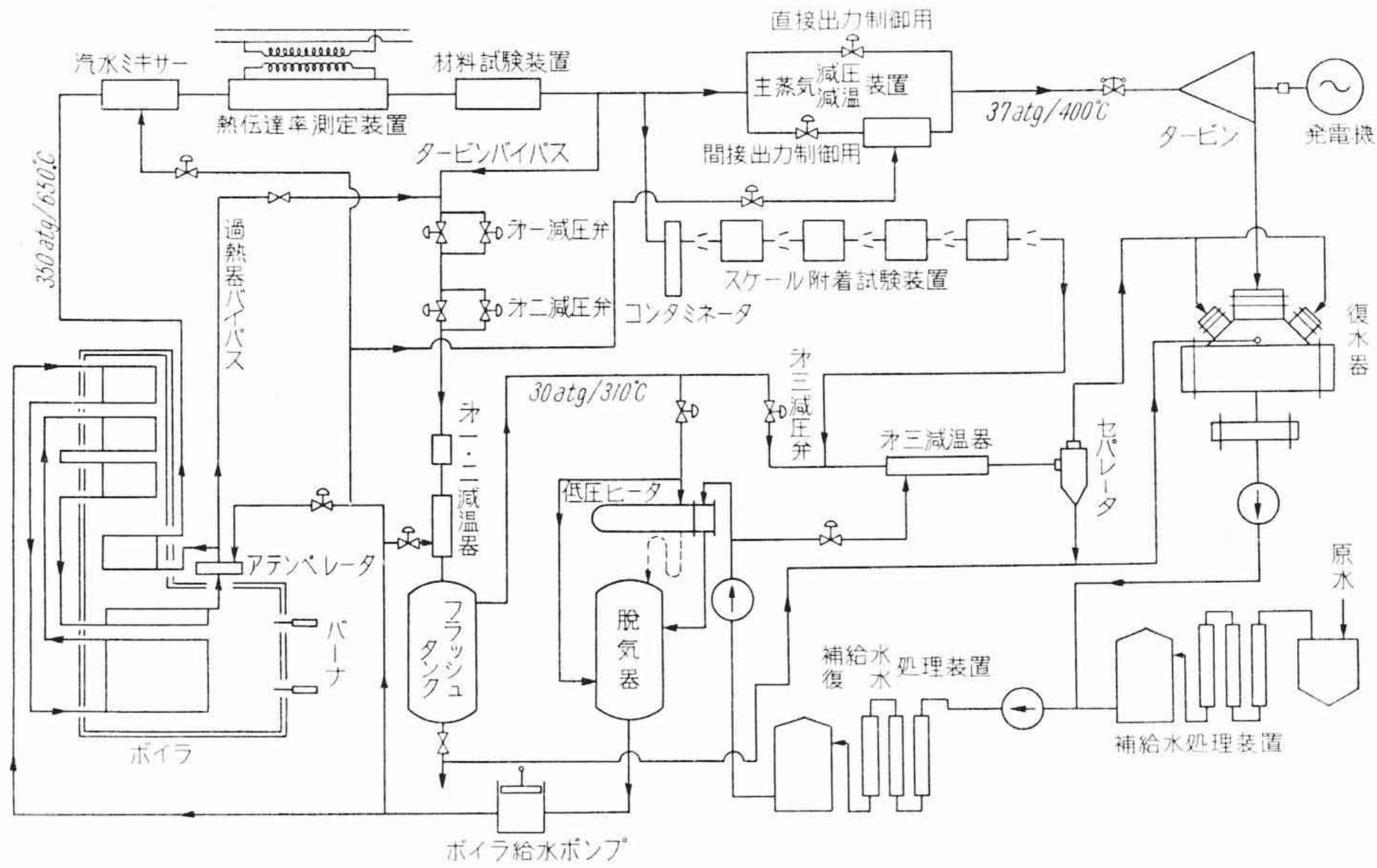
第 1 表 主 要 機 器 仕 様

ボイラ		
形 式		並列ベンソン式
最高蒸気圧力(2次加熱器出口)		350 kg/cm ² g
最高蒸気温度(2次加熱器出口)		650°C
最大蒸発量		2 t/h
給水温度		120°C
燃焼方式		重油専焼
通風方式		強圧通風
ただし蒸気圧力は 150~350 kg/cm ² g の範囲で調整可能		
タービン		
形 式		日立 DR 形 1 段減速小形背圧式
主 蒸 気 圧 力		37 kg/cm ² g
主 蒸 気 温 度		400°C
最大出力		200 kW
回 転 数		5,959/1,500 rpm
発電機		
形 式		S-RD
定 格 出 力		170 kW
定 格 容 量		212.5 kVA
端 子 電 圧		3,300 V
回 転 数 其 他		1,500 rpm/3 φ/50~
減圧減温装置		
	一次圧力	350 kg/cm ² g 温度 650°C
	二次圧力	37 kg/cm ² g 温度 400°C

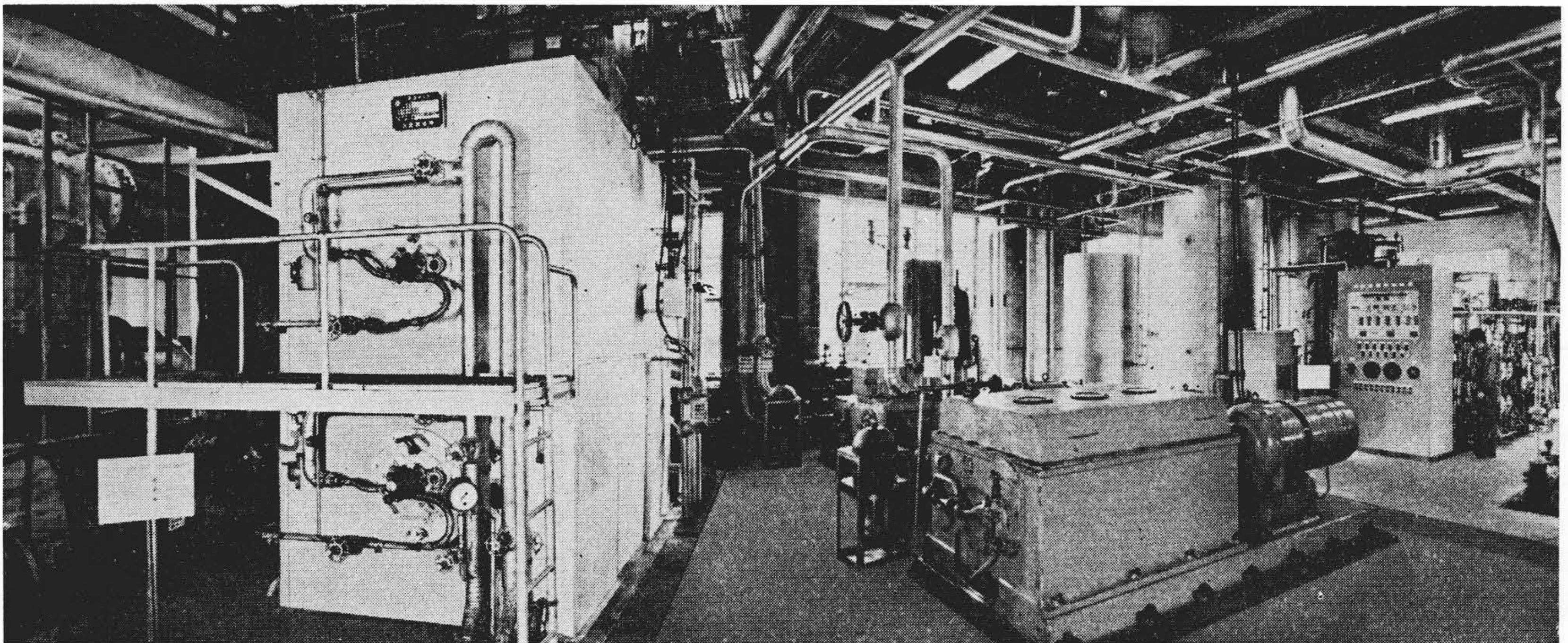
* 日立製作所日立工場

** 日立製作所呉工場

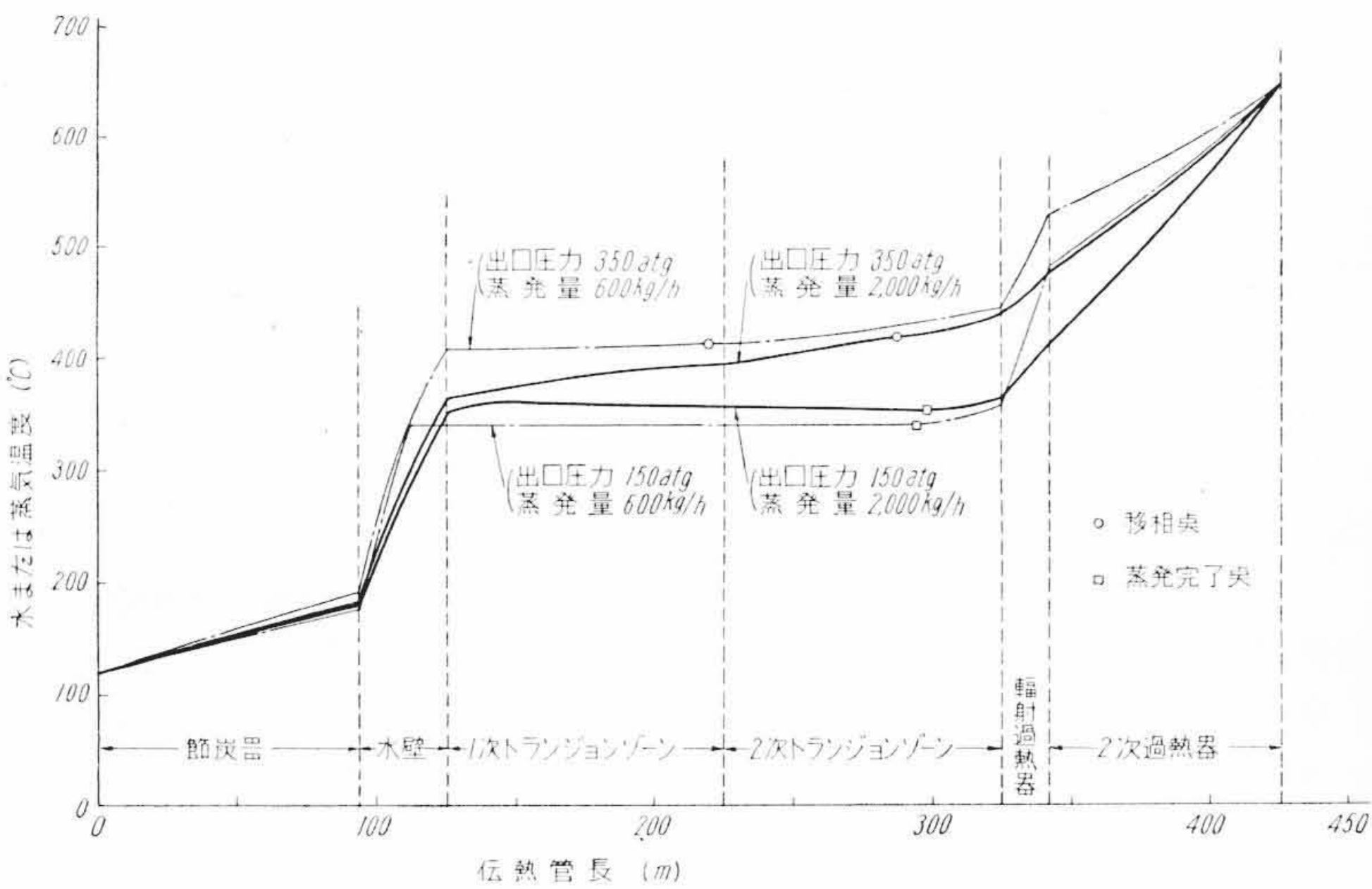
*** 日立製作所日立研究所



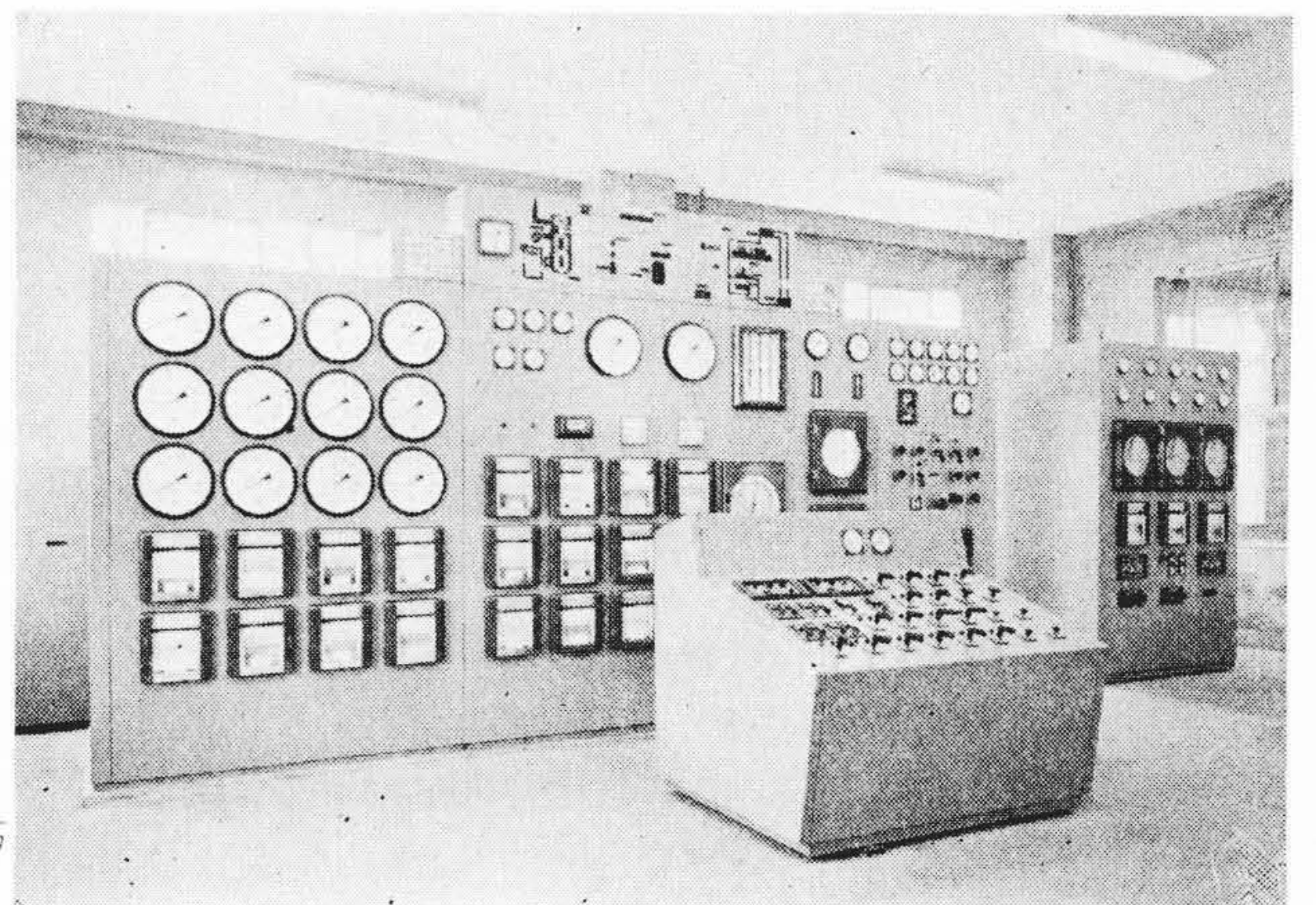
第1図 超臨界圧力テスト・プラントの系統概要



第2図 ボイラ本体および給水ポンプ



第3図 超臨界圧力テスト・ボイラの温度分布



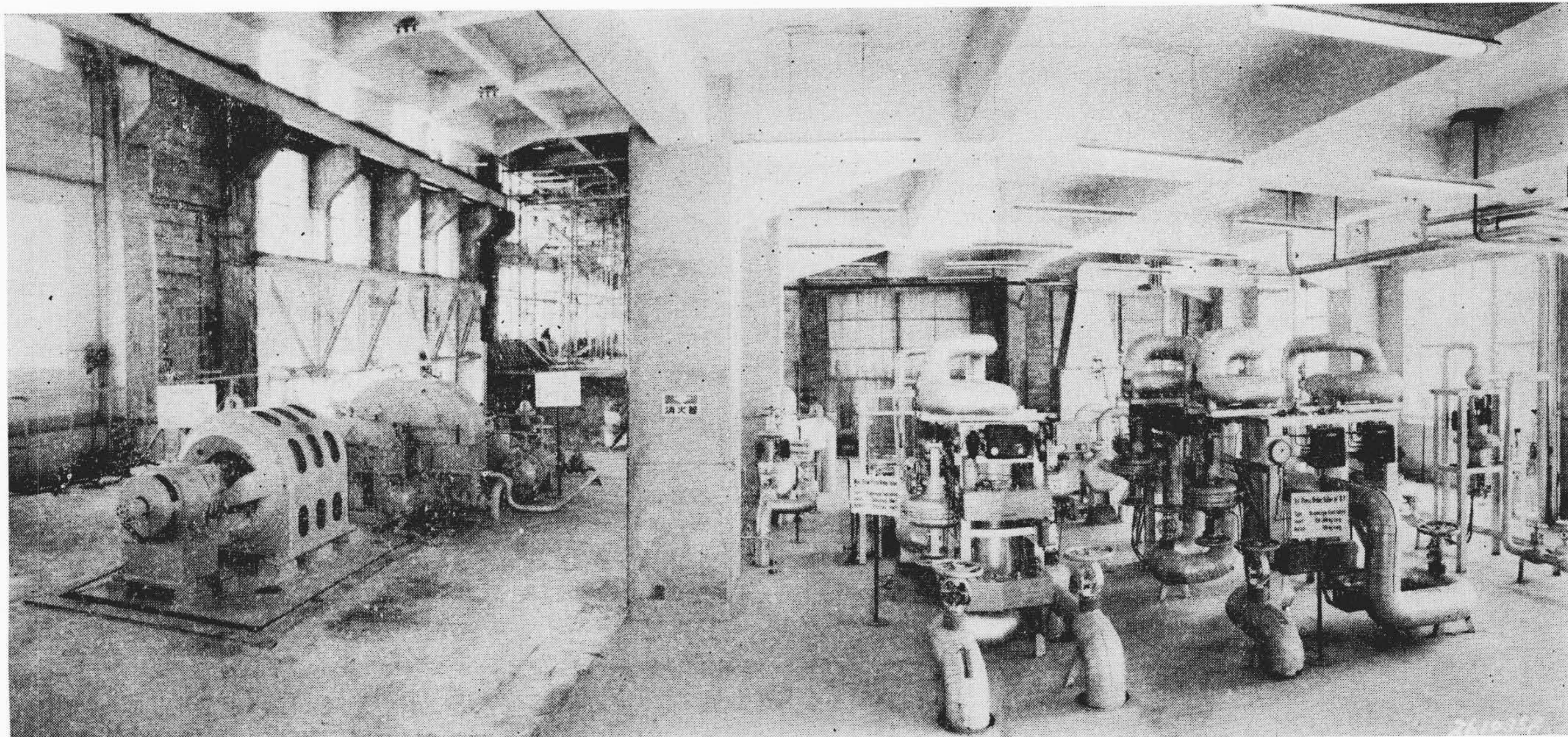
第4図 中央制御盤

ってゆくことが予想されるので、本テスト・プラントの温度としては650°Cを選んだ。

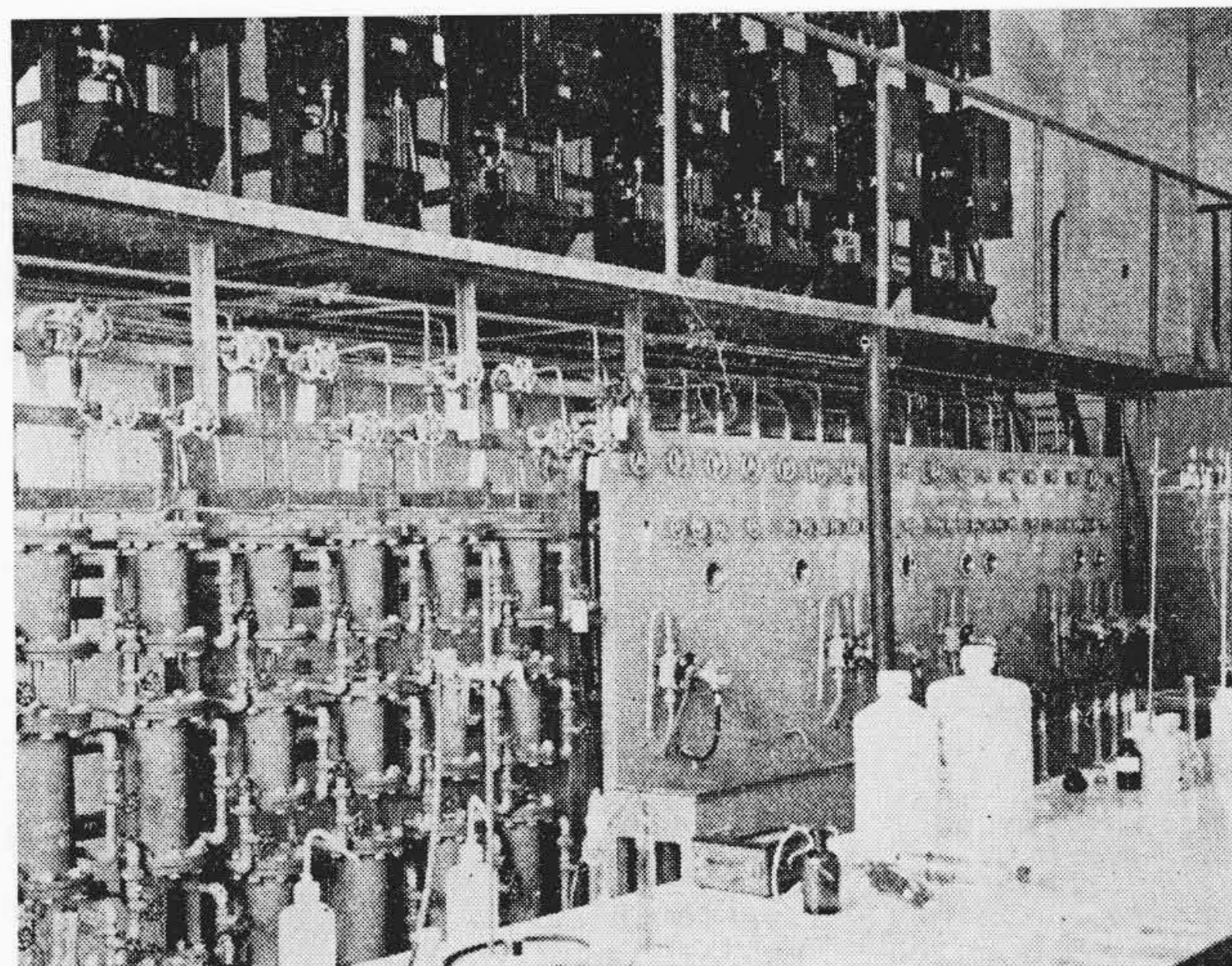
3.3 容量

ボイラの問題点の一つとして、貫流ボイラであるためチューブを

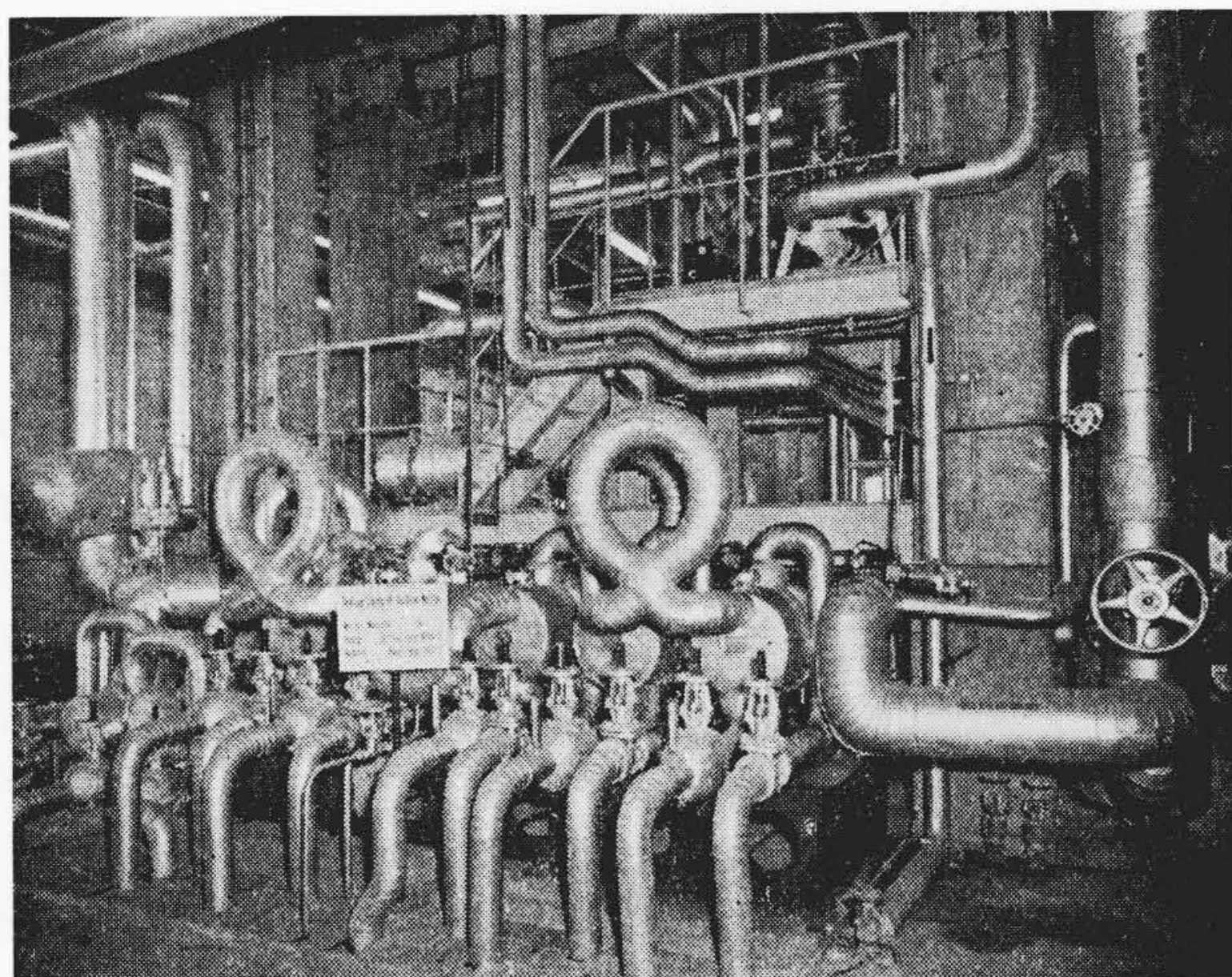
流れる水が均一に分布されるかどうか問題である。したがってこの偏流の状況を調べるのに少なくとも2本以上のチューブを使用する必要がある。このためには1本のチューブの寸法と、通しうる流量を考慮した場合、少なくとも蒸発量を2t/h以上にする必要があ



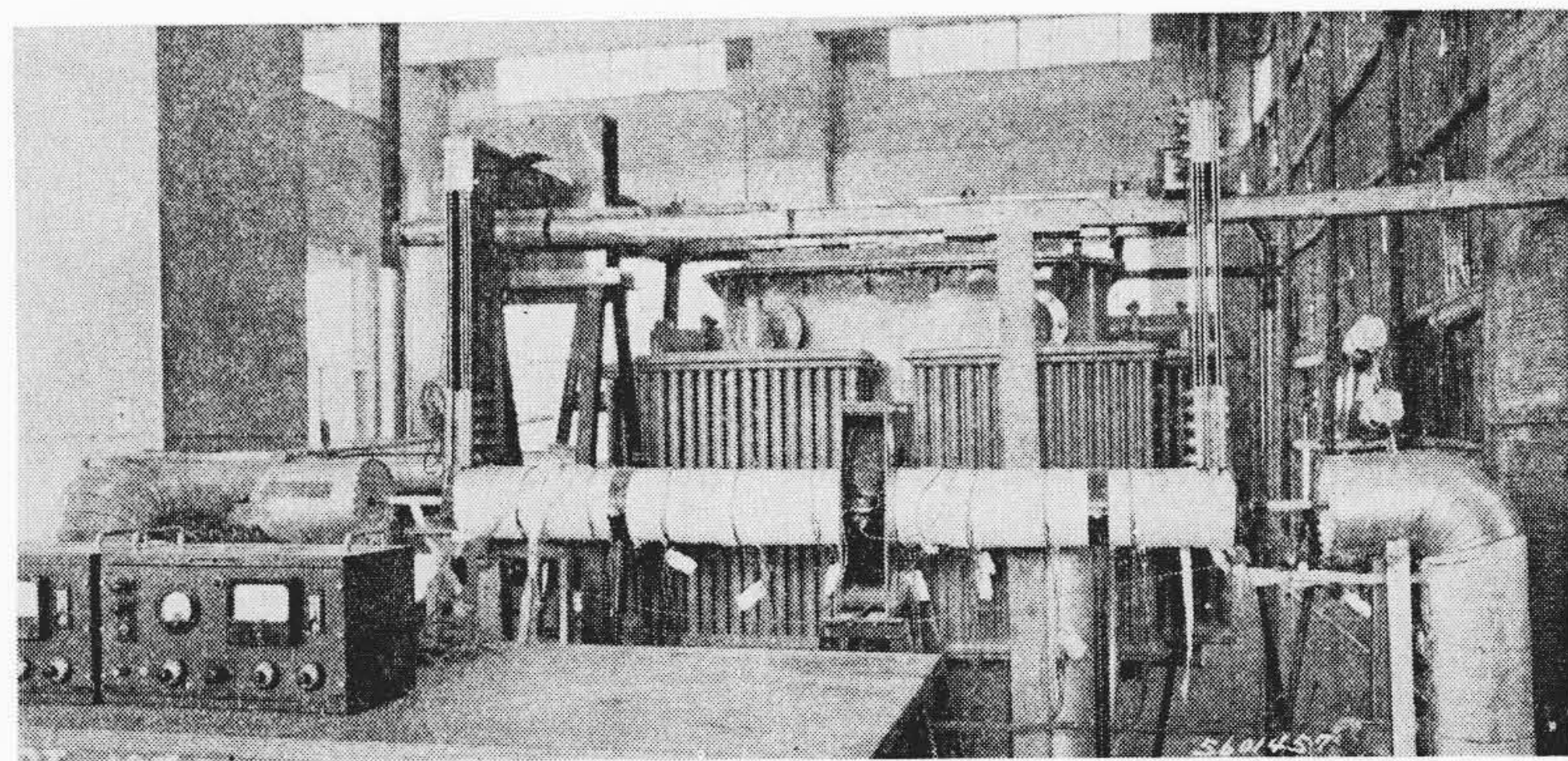
第5図 タービン、発電機およびバイパス減圧減温装置



第6図 サンプルング装置



第8図 スケール付着試験装置



第7図 熱伝達測定装置

る。これまで建設されたテスト・プラントは1t/hが最大で、このような偏流に対する研究はなされていないので、本プラントにおいては蒸発量を2t/hとし、ボイラチューブを2本通すことにした。またこの設備で発生する電力は37 atg 400°Cの蒸気条件において約170kWであり、タービンは200kWのものを準備した。

この場合350 kg/cm²g 650°Cの蒸気を直接通して、170kWのタ

ービンを設計することは不可能であるため、途中で減圧減温装置を設けて圧力と温度をタービン入口の蒸気条件に合わせることにした。

発電機動力は水抵抗によって自由に変えられるようにし、出力制御の研究もできるように考慮した。

以上の3要素が決まると、そのほかの部分はおのずから決定してくる。第1表に主要機器の仕様を示す。

4. テスト・プラントシステムの概要

本プラントの特長の一つは、第1図にも示されているように、タービン、発電機その他プラントとして必要とするおもな装置をすべて備えていることであり、これにより超臨界圧力ボイラのみならず、前述のようにプラント

全体に対する多くの問題の研究を行いうることである。また、上述の研究目的のために、「熱伝達率測定装置」「汽水ミキサ」「耐熱材料試験装置」「スケール付着試験装置」および「復水処理装置」などを設けたこと、プラント制御には直接出力制御、間接出力制御両方式を備えたこと、ならびに溶存酸素、溶存水素、シリカなどの自動微量分析計を設置したことなども特筆すべきものである。

第2表 給水制限値

補給水処理装置	全溶解塩量 (as CaCO ₃) 0.5 ppm以下 残留 SiO ₂ 0.03 ppm以下
補給水復水用超 高純度水処理装 置	全溶解塩量 00.05 ppm以下 電気伝導度 0.2 μΩcm以下 残留 Fe 0.01 ppm以下 残留 SiO ₂ 0.01 ppm以下 残留 Cu 0.005 ppm以下
薬注装置	残留 O ₂ (N ₂ H ₂ による) 0.001 ppm以下 pH (NH ₃ による) 9.0~9.5

第3表 圧力、温度などの検出点数

	ボイラ	試験装置	その他	計
流体温度	28	5	29	62
管壁温度	72	20	1	93
流体圧力	23	12	19	54
流体流量	4	0	6	10
サンプリング	分析計へ接続せるもの： O ₂ , H ₂ , 電導度 ~ 6点 pH ~ 5点 SiO ₂ ~ 4点 手分析用座 ~ 10点(ボイラ内)			

系統としては、ボイラから主蒸気管を経てタービンに流入する主系統のほか、プラントの起動停止用の過熱器バイパス、タービンバイパス系統を備えているが、本プラントは研究目的からボイラのみを単独に運転することも多いため、タービンバイパスは最高 350 kg/cm²g, 650°C, 2 t/h の蒸気を消化しうる容量を有している。

ボイラ本体および給水ポンプなどの外観を第2図に示す。また第3図はボイラ内の温度分布の一例を示したものであるが、管壁温度が640°Cを超過する二次過熱器管の後半には前述の15-15N, G-18 BおよびAN-31を使用している。ボイラとして特に考慮した点は、前述のような広範囲の蒸気条件に対し、常に「蒸発終了点」あるいは「移相点」が煙道の低温部に配置された、いわゆる「トランジションゾーン」からはずれぬよう、この部分の伝熱面を大きくしたこと、偏流問題の考察のために低熱管を2系列としたことなどである。

第4, 5, 6図に「中央制御盤」、タービン、発電機および「バイパス減圧減温装置」および「サンプリング装置」の外観を示す。

本装置は中央制御盤に設置された電子式調節計、比率演算器および精度、感度ともにすぐれた圧力、温度、流量などの検出端、操作端を用い、2名程度の運転監視員により良好な状態で自動運転を行うことができる。負荷の制御は、特設の水抵抗器により瞬時変化、周期的変化を与えるものである。

前述の汽水ミキサは、ボイラから出てきた蒸気に減温用の水を注入し、熱伝達率測定装置(第7図)に流入する蒸気状態を細かく調整するためのものである。

第8図に示すスケール付着試験装置は、米国 Philo 発電所において、タービンプレードにCu系、SiO₂系の不純物が堆積したという事例にかんがみ、いかなる圧力温度の点でどのようなデポジットが生ずるか、を調べようとするものである。

主蒸気およびバイパス減圧弁は、使用条件が過酷であり問題の多いところであるが、流路形式、シート部に関し十分な検討を加えた結果、なんらの問題もなく作動している。

溶存酸素などの分析には、アメリカにおいて、検出の際に高圧の水を絞って取出すため水がO₂とH₂に解離したという現象があったので、コイル状のキャピラリチューブにより減圧減温させる方法を採用した。なお、溶存酸素の除去手段としては、ヒドラジン注入装置を備えているが、原則として脱気器に頼る方針を採っており、脱気器で3 ppbに下げることができる。第6図の上段に並んでいるのが溶存酸素、溶存水素の微量分析計(自動)である。

本プラントに採用した給水制限値を第2表に示す。

この制限値は Philo 発電所などにおける実績その他に基づいて決定されたもので、給水処理装置は常にこの制限値以下となるように全自動運転される。

また第3表は、本プラントに設置した各種の検出点数を示したものである。蒸発終了点あるいは移相点を検知するために、ボイラのトランジションゾーンには特に多数の管壁温度計が取り付けられている。

ボイラ伝熱管は外径25 mm, 内径15 mmであり、標準曲げ半径26 mm, 最小曲げ半径20 mmを採用したが、曲げ部の肉厚の変化、流路断面の偏平度は調査の結果許容範囲にはいっていることが確かめられた。また突合せ溶接部はヘリアーク溶接とアーク溶接の併用によったが、熔着鋼の管内面へのたれこみはごくわずかで満足すべき結果が得られている。

5. 主要研究項目

本プラントは超臨界圧域のみならず、150 kg/cm²g以上の亜臨界圧域に関する研究も目的の一つとしているため、心臓部たる超臨界圧力ボイラは、圧力は150~350 kg/cm²g, 蒸発量は0.6~2.0 t/hの範囲で、蒸気温度は650°C一定あるいは550°Cまで下げて運転できるように計画されている。

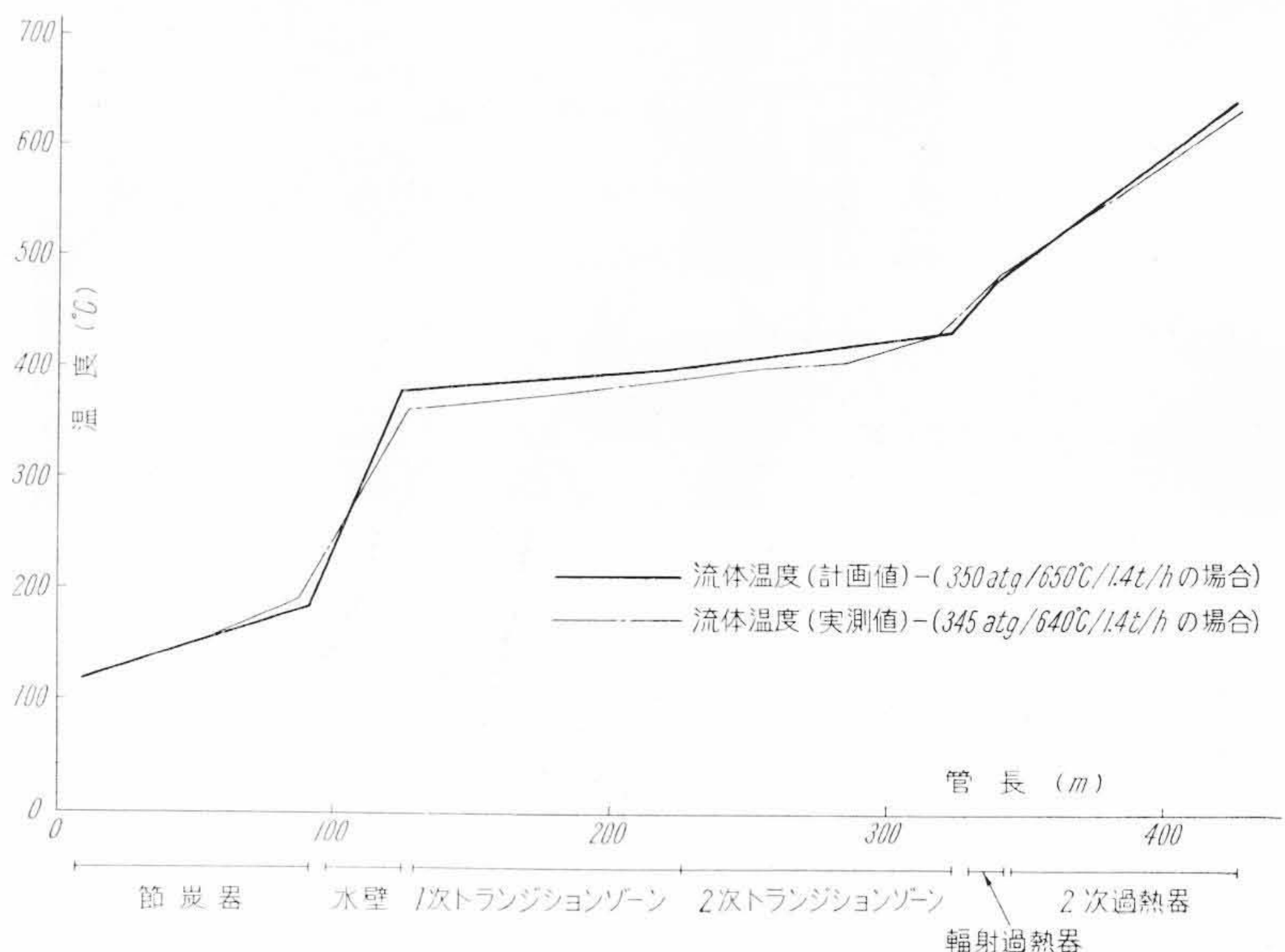
本プラントのおもな研究題目および内容は概略下記のとおりである。

(1) 熱伝達率の測定

最高180 kVA (15.5 × 10⁴ kcal/h)までの電流により直接加熱される「熱伝達率測定装置」により、150~350 kg/cm²g, 最高650°Cまでの水、蒸気および汽水混合物に対する熱伝達率を測定し、あわせて超臨界圧域における移相現象(Transition Phenomenon)解析を行う。

(2) 流動による圧力損失の測定

150~350 kg/cm²g, 最高650°Cまでの水、蒸気および汽水混合



第9図 ボイラ性能の一例

物による管内流動圧力の損失を測定し、流動摩擦損失係数を求める。

(3) 特殊耐熱材料の研究

いわゆる Super Alloy のうち 15-15 N, G-18 B, AN-31 などを対象とし、研究室における研究と並行して実用条件下における経年変化を調べる。このため、系統内には「耐熱材料試験装置」を設置した。

(4) 給水処理ならびに不純物の影響に関する研究

おもな内容としては、給水処理方式および装置の研究、微量分析計の開発、溶存酸素および高温蒸気による腐食の研究、あるいはボイラに多数取り付けられた管壁温度計ならびにタービン模擬ノズルを用いて、ボイラ、タービン内における不純物の堆積状況を調査する。

(5) 貫流ボイラの起動、停止および最低負荷の研究

貫流ボイラを含むプラントの起動、停止方法およびその過程における各部の熱応力の研究、バイパス減圧弁、減温器に関する研究ならびにボイラの最低負荷および偏流に関する研究。

(6) 貫流ボイラを有するプラントの制御方式の研究

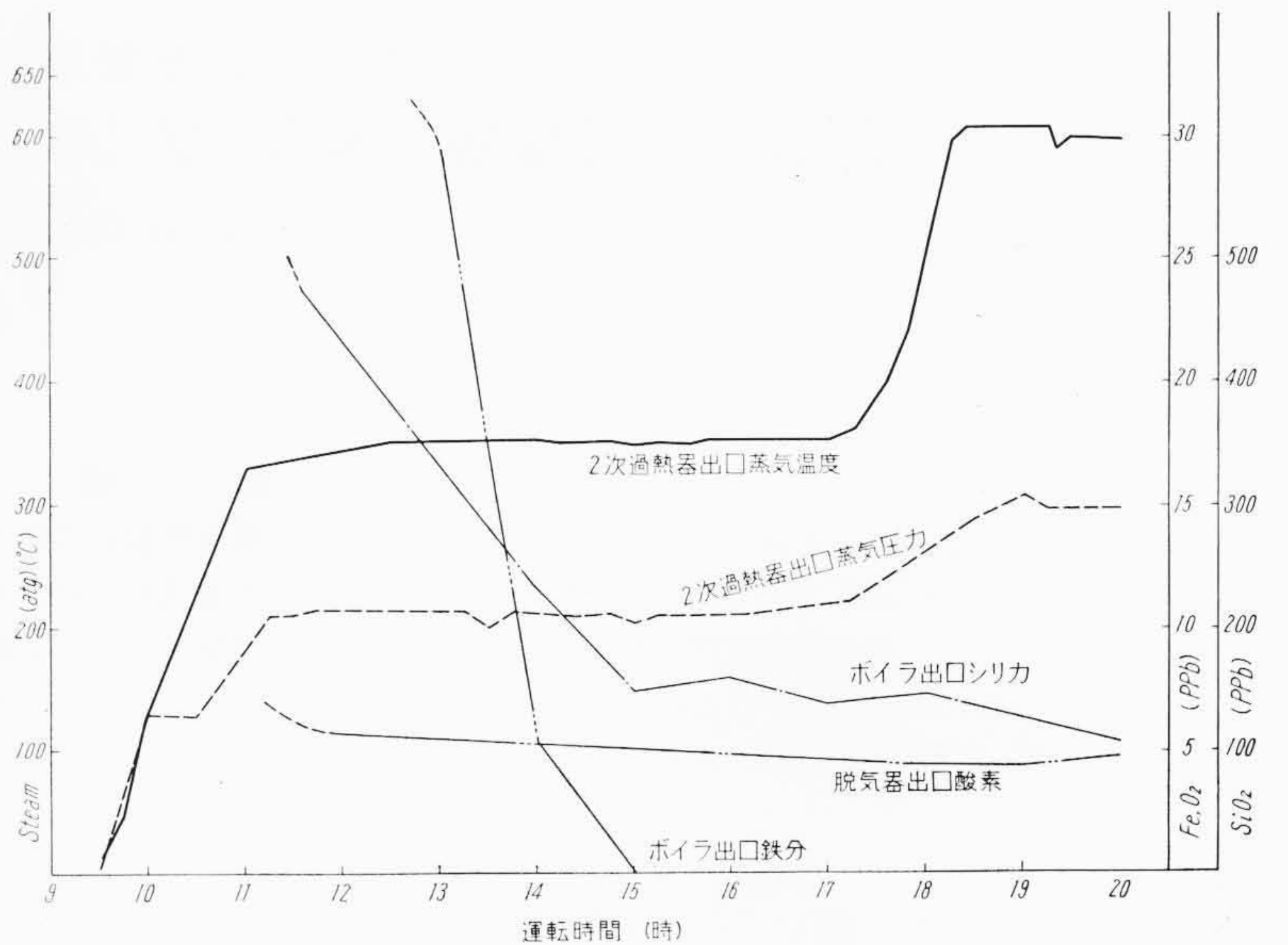
150~350 kg/cm²g の範囲における貫流ボイラの動特性の解析、プラント制御における間接出力制御、直接出力制御両方式の比較検討、制御装置および計測機器に関する研究。

6. 運転結果の一例

350 kg/cm²g, 650°C という蒸気状態を実際に作り出すこと自体が非常に困難なことであるが、本プラントでは初火入れ以後なん度か定常運転を行い、ボイラ性能などを調査した結果、第9図に一例を示すように、ボイラ内の温度分布は、計画値とほぼ一致した傾向を示していることが認められた。

第10図にプラント起動時における水質の浄化の傾向の一例を示す。溶存酸素、鉄分などは比較的容易に規定値に下げることができるが、シリカは連続運転時間が短くボイラおよびプラント・サイクル中の各機器、配管の内面は十分洗浄されていない間は、かなり高い含有量を示す。

問題が多いと思われた減圧弁は、圧力制御応答も非常に良好で、弁の前圧一定の運転あるいは後圧一定の運転の場合ともに給水量に



第10図 水質浄化の一例

変動を与えても、圧力変動はごくわずかである。

7. 結 言

以上、日立研究所に設置された「超臨界圧力テスト・プラントの概要」を紹介したのであるが、プラント全体をまとめ上げるのに日立の総合力を結集したことはもちろん、鋼管、バルブ、給水ポンプ、給水処理装置などの各メーカーの協力によるところ大であったことを特記し、これらメーカーの方々に誌上をかりて謝意を表する次第である。

ほとんどの機器を国産品によりまとめ得たこと、しかもこれらが満足すべき状態で使用されていることは、国産技術の優秀性の一端を示すものとして、前途洋々たるものがある。

われわれは、今後本格的な研究にはいり、各種のデータを得て、火力発電界の発展にいくらかでも貢献できることを念願している。

最後に頭初より試験装置、研究装置に関し種々ご指導いただいた大阪大学石谷教授、運輸技研寺野技師に対し深甚なる謝意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 菅原：火力発電 57 (昭35-5)
- (2) 菅原、吉原：電気計算 29, 6 (昭36-6)
- (3) N. L. Dickinson ほか：ASME PAPER 58-A-267

Vol. 43 日 立 評 論 No. 10
(次号予告)

- ◎産業用火力プラント据付上の諸問題
- ◎シリコン移動変電所
- ◎90 kW キャンドポンプモータ
- ◎熱間可逆圧延機自動プログラム制御
- ◎エレベータ群の自動制御
- ◎TOプラント空気清浄装置の研究
- ◎防衛庁納滑走路掃除車
- ◎日立自動見当装置について

- ◎アルミ鋳込かご形誘導電動機の異状現象(その1)
- ◎スコット結線によるユニオンメルト熔接
- ◎極低温二元冷凍装置
- ◎12GC帯マイクロ回線用多重端局装置
- ◎12GC帯マイクロ無線電話送受信装置
- ◎テレビチューナ用新形受信管
- ◎ゴムの耐油、耐溶剤性
- ◎ゴム磁石の諸性質について

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内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