

超 臨 界 圧 U P ボ イ ラ
Supercritical Pressure UP Boiler

成 田 恒 雄* 黒 田 博*
Tsuneo Narita Hiroshi Kuroda

要 旨

大容量高温高压プラント用として最近特に注目を浴びている超臨界圧UPボイラについて概要を述べ、さらに現在運転にはいっている東京電力株式会社姉崎火力発電所1号缶の構造、系統および運転実績の一端を紹介する。

1. 緒 言

昭和42年12月1日、東京電力株式会社姉崎火力発電所において、わが国最初の600 MW 超臨界圧プラントが営業運転を開始して以来、昭和43年3月に関西電力株式会社姫路第2発電所の450 MW、中部電力株式会社知多火力発電所の500 MW があいついで運転にはいり、また現在建設あるいは設計中のものが7基に及び、わが国にもようやく超臨界圧プラントの時代が到来したかの感がある。

ここに世界において最も豊富な運転実績を誇り斯(し)界の最先端をいく超臨界圧UPボイラの概要を姉崎発電所納ボイラを中心にして述べる。

2. UP ボ イ ラ

ボイラ運転圧力が臨界圧(225.65 at)を越えると蒸発現象がなくなり、汽水分離をつかさどるドラムの消失に伴ってボイラはおのずから貫流形となる。アメリカB&W社は早くよりこの開発に着手し、亜臨界圧、超臨界圧両用の Universal Pressure Boiler (UPボイラ)としてその完成をみている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

貫流ボイラの中でUPボイラの占めるシェアは非常に大きなものであり、アメリカにおける1968年末時点の貫流ボイラの設備容量(設計、製作中のものを含む)の約60%を占めている(図1参照)。

UP Contract No. ではUP-94までが計画されており、この中にはTVA向けの1,300 MW ボイラを含めてボイラ総数104缶うち超臨界圧ボイラが63缶となっている。日立製作所のUPボイラの納入実績は表1に示す。

超臨界圧ボイラのアメリカにおける運転実績に関しては1967年2月に運転されていた17缶のうち13缶がUPボイラで占められており好結果を得ていることは文献⁽⁴⁾にも発表されているところである。なお1968年末時点では31缶の超臨界圧UPボイラがアメリカで運転にはいっている。

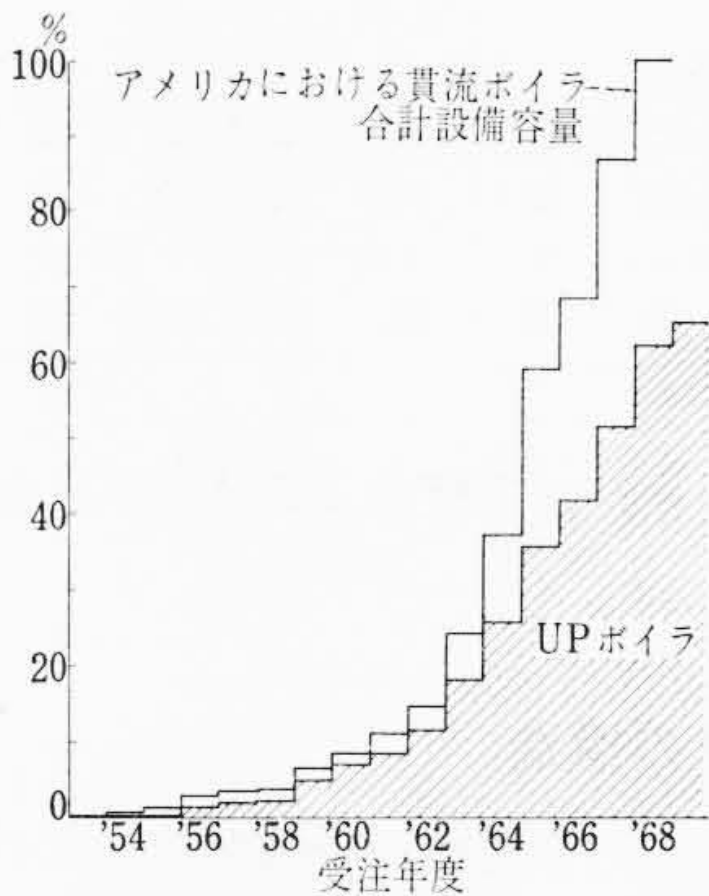


図1 貫流ボイラ年度別
累積出力

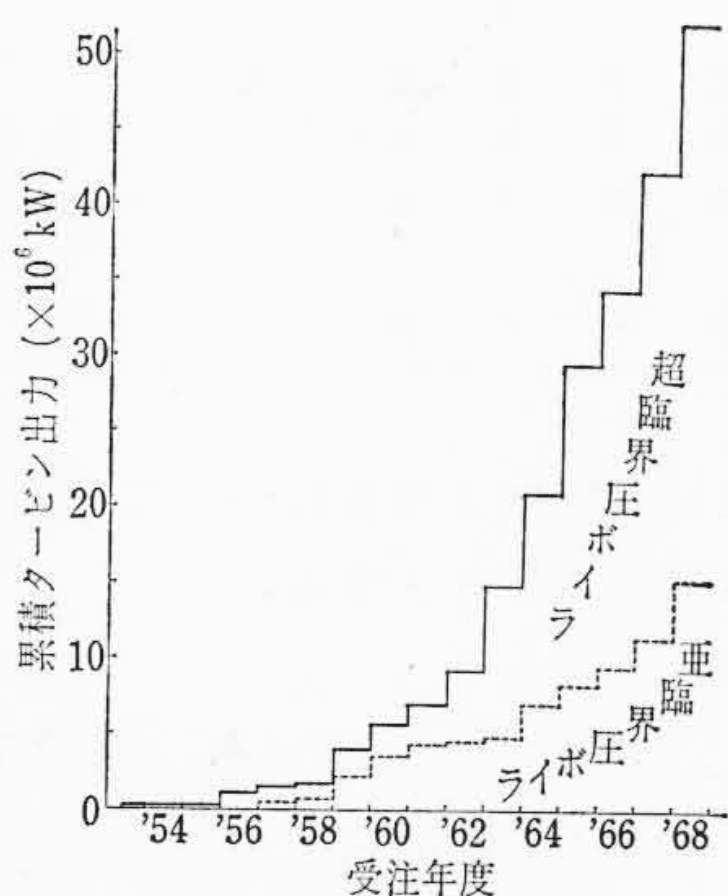


図2 UPボイラの
圧力別累積出力

ここで注目すべきことは年々超臨界圧ボイラの占める割合が増加していることであり、図2がその状況をあらわしている。これは初期に発生した問題を克服し、超臨界圧大容量プラントの有利性が認識され着実にその地歩を築きつつあることを物語っている。

3. わが国における超臨界圧UPボイラ

わが国において最初に超臨界圧の火をともした東京電力株式会社姉崎火力発電所1号缶は600 MW 用一段再熱ボイラで、ボイラ本体はアメリカB&W社よりUP-31として輸入されたものであり、順調に運転を続けているが、国産による同一仕様の2号缶は現在試運転にはいっている。

一方、関西電力株式会社海南火力発電所向けに受注したボイラは450 MW 用二段再熱ボイラで同一仕様の1、2号缶が現在建設中である。

両ボイラの主要仕様を表2に示す。

いずれも代表的なB&W形超臨界圧UPボイラであり、B&W社の多年の研究、実績に基づいたものであるが、既に運転にはいっ

表1 バブコック日立UPボイラ納入実績表 (1968 年末現在)

No.	発 電 所 名	缶 数	タービン 最大出力 (MW)	蒸 発 量 (T/H)	過 熱 器 出 口 蒸 気 圧 力 (kg/cm ² g)	蒸 気 温 度 (°C) SH/RH-1/RH-2	燃 焼 方 式	運 転 開 始 (年月)
1	東京電力株式会社 五井4号缶	1	265	900	176.0	571/569	重(原)油	1966-1
2	東北電力株式会社 新潟3号缶	1	250	840	176.0	571/569	重油, ガス	1966-1
3	中部電力株式会社 武豊1号缶	1	220	700	175.0	571/541	石 炭	1966-8
4	東京電力株式会社 五井6号缶	1	350	1,129	175.5	571/569	重(原)油	1968-3
5	関西電力株式会社 海南1号缶	1	450	1,380	255	543/554/568	重(原)油	1970-4
6	東京電力株式会社 姉崎2号缶	1	600	1,950	255	543/568	重(原)油	1969-12
7	関西電力株式会社 海南2号缶	1	450	1,380	255	543/554/568	重(原)油	1970-8
8	東北電力株式会社 秋田1号缶	1	350	1,152	175.5	571/541	重(原)油	1970-10
9	中国電力株式会社 玉島1号缶	1	350	1,110	175.0	571/541	重(原)油	1971-6
10		1	600	1,950	255	543/568	重(原)油	1971-8

* バブコック日立株式会社呉工場

表2 姉崎，海南1号缶のボイラ主要仕様（MCR時）

		姉崎	海南
ボイラ形式		B&W形 一段再熱UPボイラ	B&W形 二段再熱UPボイラ
主蒸気流量	T/H	1,950	1,380
再熱蒸気流量	T/H	1,558	{一段 1,221.1 二段 1,059.5
過熱器出口圧力	kg/cm ² g	255	255
再熱器出口圧力	kg/cm ² g	46	{一段 70 二段 22.1
再熱器入口圧力	kg/cm ² g	48	{一段 73.3 二段 23.4
過熱器出口蒸気温度	℃	543	541
再熱器出口蒸気温度	℃	568	{一段 554 二段 568
再熱器入口蒸気温度	℃	304	{一段 360 二段 400
給水温度	℃	282	287
使用燃料		重油または原油	重油または原油
燃焼方式		対向燃焼	対向燃焼
通風方式		リターンフローバーナ 強圧通風	リターンフローバーナ 強圧通風

ている姉崎1号缶についてその特長を構造，系統および運転にわたり述べることとする。

4. 姉崎ボイラの構造

姉崎1号缶のボイラ断面図を図3に，内部流体の系路を示したボイラの流路系統を図4に示す。

本ボイラの特長的な部分は次のようなものである。

(1) 水壁サーキット

超臨界圧ボイラに用いられる水壁サーキットとしてはUP-UPとOnce-UPがあり(図5参照)そのいずれを採用するかは個々の火炉設計により決定されるが姉崎ボイラにはOnce-UPサーキットが採用されている。

水壁はB&W社によって貫流ボイラ用に開発されたメンブレンウォールで22.2mm外径の小径管をフィンを介して34.9mmピッチに溶接されている。このような小径のメンブレンウォールを採用することにより流体の経路の数をふやさずに管内流速をじゅうぶん高く維持できるようになっている。

水壁を通る流体はすべて上昇流であり火炉高さ方向の中間には混合管寄が置かれ一次水壁と二次水壁に分かれている。火炉四周を上昇した流体は混合管寄へと導かれ，ここで完全に混合されて二次水壁に至る。

自然循環ボイラでは並列管の中の熱吸収量の多い管は循環ヘッド差が大きくなって流量が増加しようとする自己平衡性がある。一方貫流ボイラでは熱吸収量の多い管は逆に比体積の増加により流動抵抗が増加し流量が減少する傾向を持つ。特に超臨界圧ボイラでは亜臨界圧ボイラでの沸騰現象のような温度一定領域がなく流体は常に单相流であり受熱は必ず温度上昇を伴う。したがって実際のボイラで避けられない火炉内での熱吸収のばらつきを許容しチューブ間の温度差を最小にするために，上述のように火炉流体を途中で炉外に取り出して混合し，流体エンタルピすなわち圧力，温度をできるだけ均一化して再び炉内に戻す方法がきわめて効果的である。その効果を示す一例を示したのが図6である。たとえば平均熱吸収量の約1.5倍の熱吸収を受ける管があっても，途中で適宜混合を繰返すことにより，材料の許容温度以下に維持できることを示している。

このように水壁サーキットに必要なかつじゅうぶんなマスフローを与え，かつ適切な混合を行なうことにより管壁温度を低く押え得るので超臨界圧ボイラの特質上火炉の一部が過熱領域になるにもかかわらず，火炉水壁管材質には低合金鋼のSA213T₂(1/2

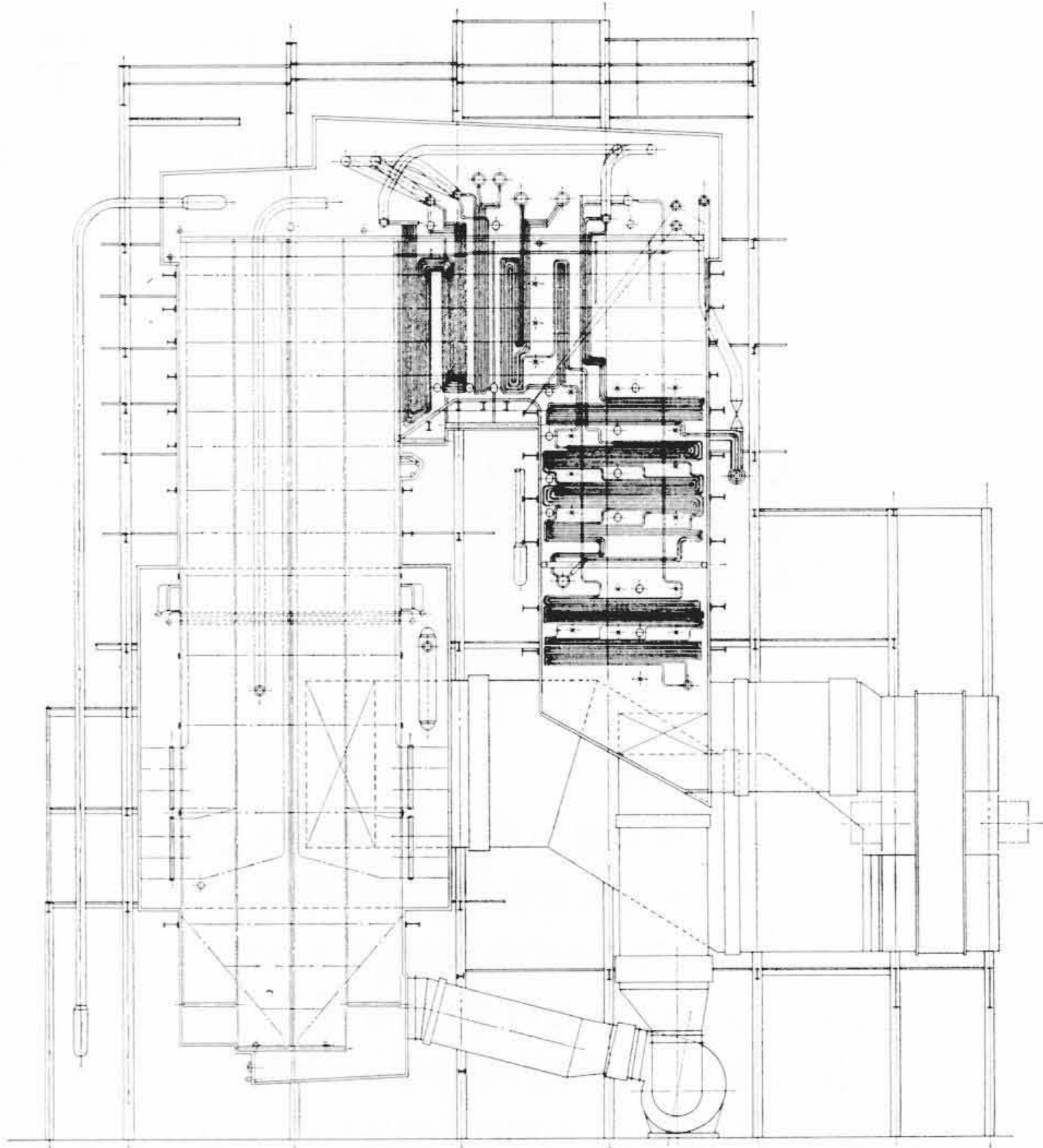


図3 姉崎1号缶ボイラ断面図

Cr-1/2Mo)の使用でじゅうぶんとなっている。

(2) 連絡管

亜臨界圧のボイラでは火炉水壁，天井，ケージ壁および低負荷時に一次過熱器の一部分が二層流の領域となり，この部分のマニホールドからの連絡管(分配管)配列には意をこらしているが，本ボイラのような超臨界ボイラでは汽水分離の問題がない单相流なので簡単な構造とすることができる。

(3) バーナ

ボイラが大容量化するとバーナ本数も増大するがUPボイラでは2ないし3本のバーナを1組のセルとして構成し同一制御を行なうセルバーナ(Cell Burner)方式を採用している。本ボイラでは1セルが3バーナより成り4列2段，計8セルがそれぞれ前後壁に設けられている。

前後壁にバーナを置く対向燃焼は貫流ボイラで火炉水壁の熱吸収をできるだけ均一にすることを目ざしている。

バーナは油圧70kg/cm²のリターンフロー形で本ボイラにはアメリカのフォーニー社の自動バーナ制御装置が取り付けられている。

この自動バーナ制御装置は大別して次の三つの制御を行なう装置から構成されている。

- 1. 遠隔自動シーケンス制御
- 2. 自動負荷追従制御
- 3. 保安制御

遠隔自動シーケンス制御とは，たとえば着火の場合にはバーナ点火条件確認→点火バーナおよびメインバーナそう入→点火バーナ点火→点火バーナ点火確認→エアレジスタ開→メインバーナ点火→メインバーナ点火確認→点火バーナ消火→点火バーナパーシ→点火バーナ引抜→点火バーナ消火確認の諸操作が自動的に行なわれる。

また自動負荷追従制御とは負荷増減に伴うバーナ本数の制御であり燃料油ヘッドの圧力を検出して2セルずつをシーケンシャルに点火または消火するものである。

さらに保安制御として4セルが9秒以内に異常消火したときにMFTトリップさせるクリティカルフレイムアウトインターロッ

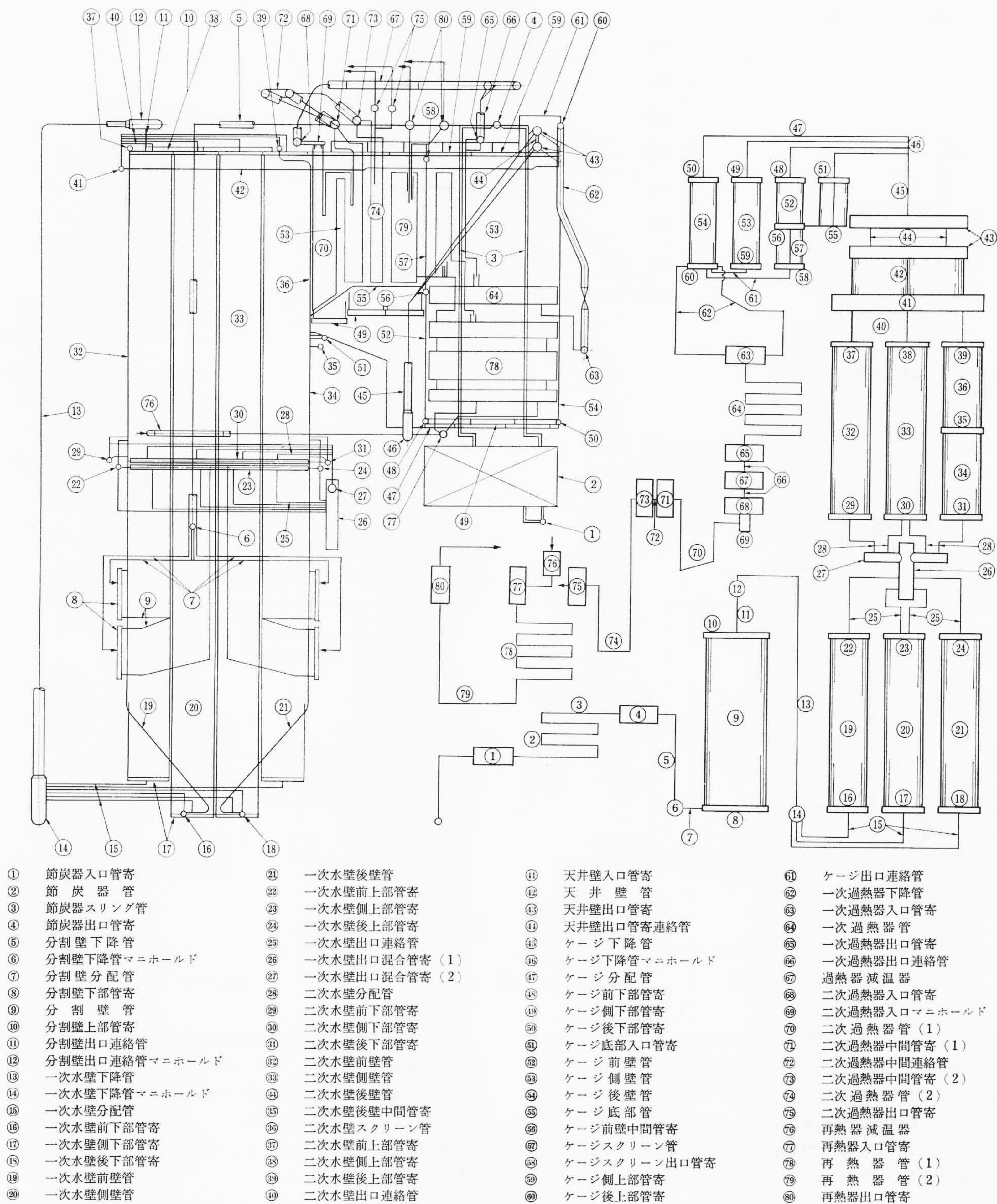


図4 姉崎1号炉ボイラ流路系統図

クおよびバーナファーストカットバック制御などがある。ファーストカットバックはタービンが無負荷になると、2セルずつ1秒間隔で最低許容燃料を供給するバーナ本数(4セル)までバーナを消火させてゆく機能である。以上の自動バーナ制御装置設置は本ボイラの大きな特長の一つである。

5. 起動バイパス装置

貫流ボイラ特有の起動バイパス装置は次の二つの目的のために設けられている。

- ① 起動時または低負荷時に火炉水壁を通過する最小流量の確

保。

- ② 起動時にボイラ全量の水を復水脱塩装置に通す。

このための最も簡単で効果的な系統が現在のUPボイラに採用されている(図7(A)参照)。ボイラ系統の中には複雑な再循環系統などがないので、全体として運転が容易確実な系統となっている。

本系統の起動手順を簡単に記す。

最初に給水ポンプ→ボイラ→一次過熱器バイパス弁→フラッシュタンク→復水器→復水脱塩装置→脱気器→給水ポンプのサイクルでコールドクリーンアップと称する系統循環を規定圧力で行なう。節炭器入口給水の電導度が $1\mu\text{S}$ 以下になったら点火

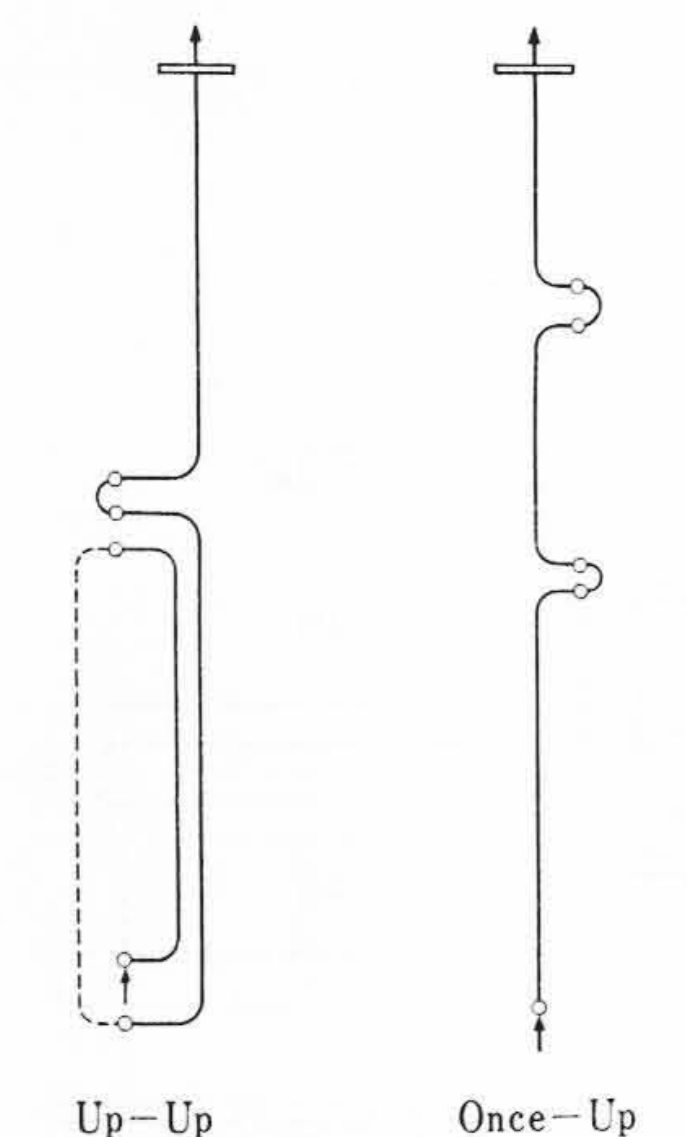


図5 超臨界圧UPボイラの水壁サーキット

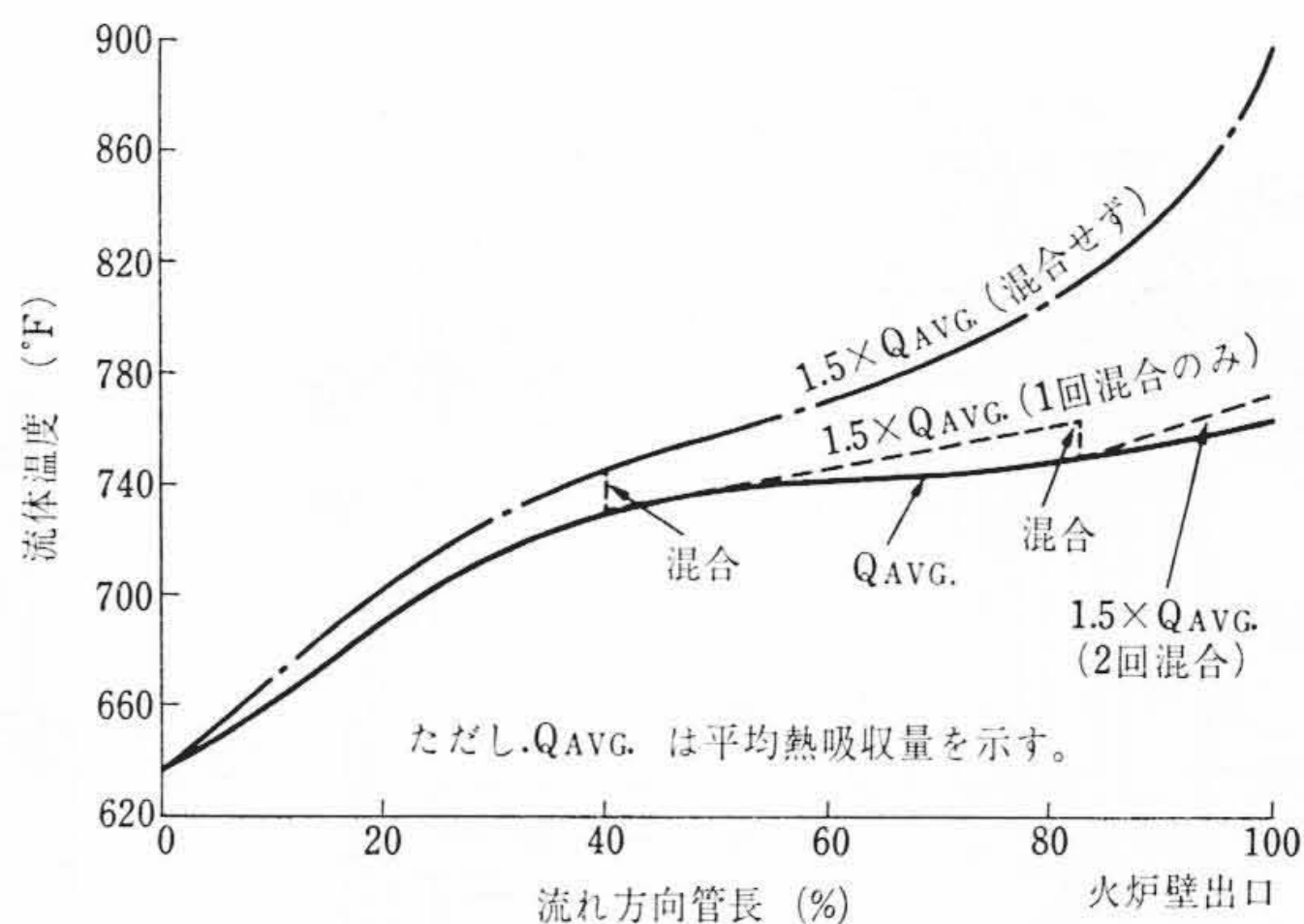
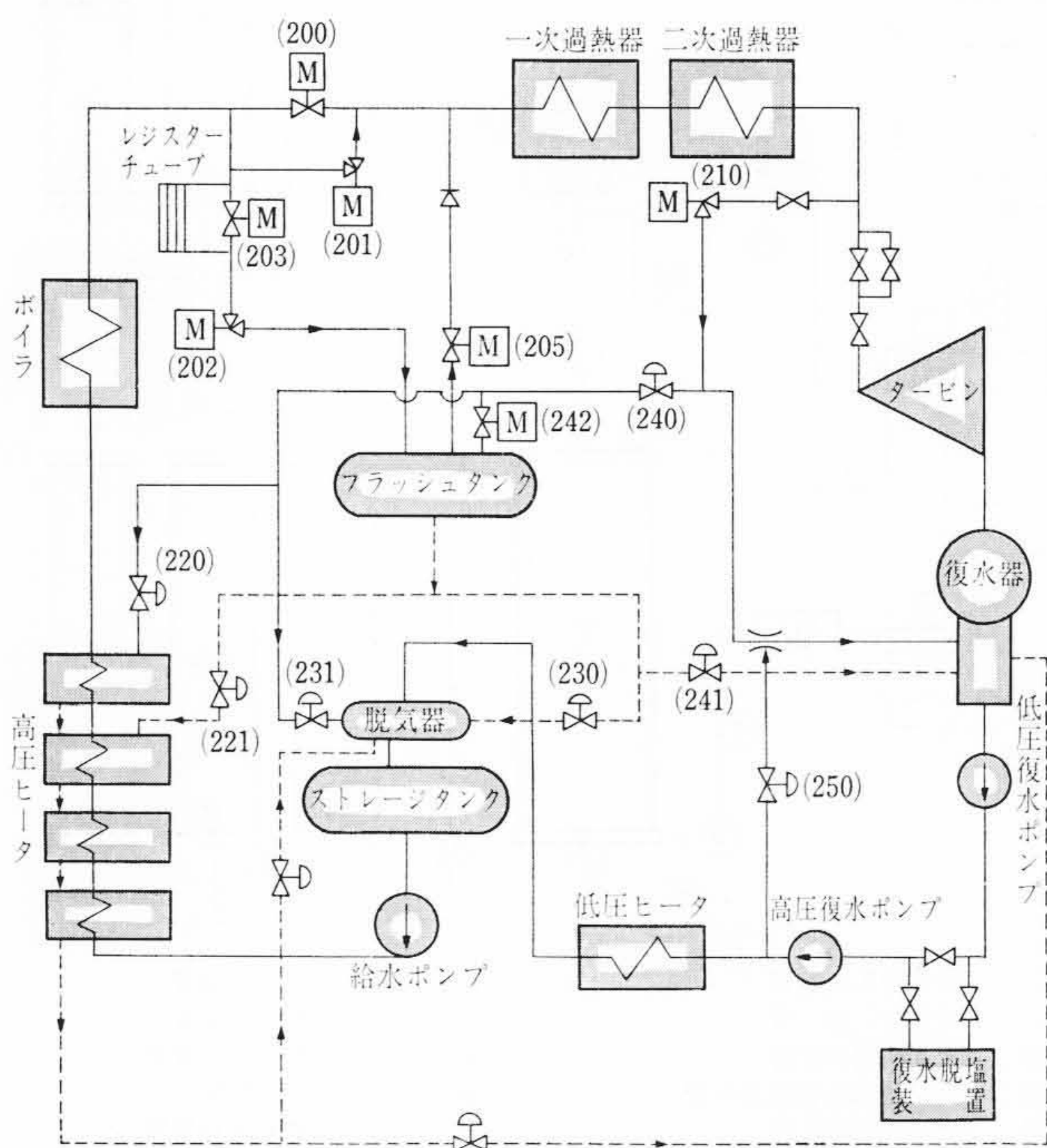
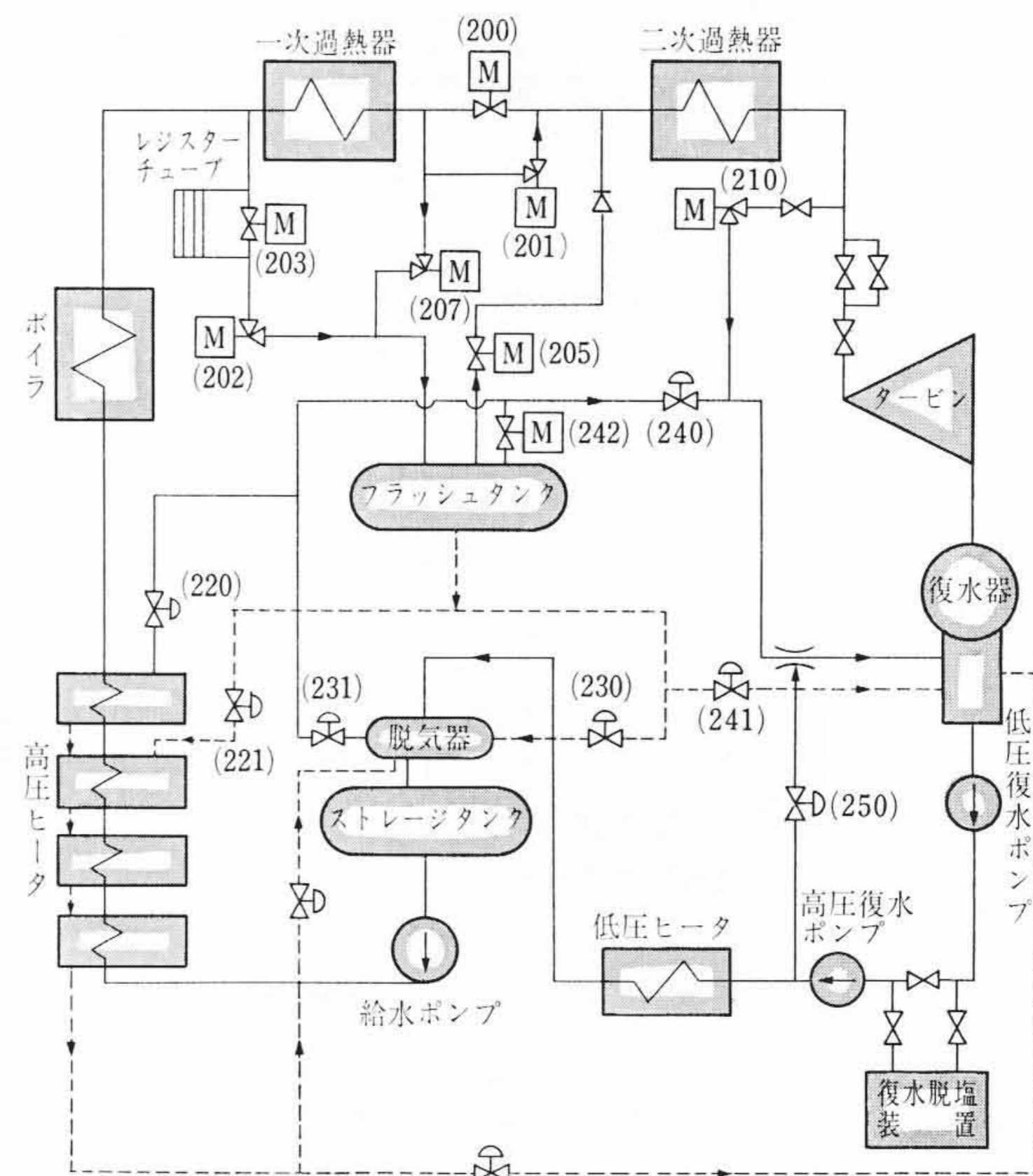


図6 混合効果の一例

- 200: 過熱器止弁
- 201: 過熱器減圧弁
- 202: 一次過熱器バイパス弁
- 203: レジスターチューブバイパス弁
- 205: 過熱器通気弁
- 207: 二次過熱器バイパス弁
- 210: タービンバイパス弁
- 220: 高圧ヒータ蒸気調整弁
- 221: 高圧ヒータ水調整弁
- 230: 脱気器ウォータベギング弁
- 231: 脱気器スチームベギング弁
- 240: フラッシュタンクオーバープレッシャ弁
- 241: フラッシュタンクレベル調整弁
- 242: フラッシュタンク蒸気止弁
- 250: スプレー調整弁



(A) 従来の方式



(B) 最新的方式

図7 起動系統

昇温する。ボイラ出口流体温度が 290°C (550°F) に達したら水質をチェックしFe分が50 ppb以下であることを確認してさらに昇温する。この間にボイラから一次過熱器バイパス弁 (202) を経てフラッシュタンクに流入する熱量は高圧第3, 第4ヒータおよび脱気器で回収する。フラッシュタンク圧力が $21\text{ kg/cm}^2\text{g}$ (300 psig) になると過熱器通気弁 (205) が開いてフラッシュタンク蒸気が過熱器に通るので主塞止弁シートドレン弁を調整しながら過熱器と主蒸気管の昇圧昇温を行なう。さらにタービンバイパス弁 (210) を操作してタービンメタルマッチングの条件を設定し (コールドスタート時約 $70\text{ kg/cm}^2\text{g}$) フラッシュタンク発生蒸気でタービンを起動し初負荷をとる。次に過熱器減圧弁 (201) をあらかじめ定められたプログラムに従って徐々に開き低圧蒸気を高圧蒸気に切り換える。減圧弁に引き続き過熱器止弁 (200) が開いて圧力上昇 (ランピング) は完了し主蒸気圧力 $246\text{ kg/cm}^2\text{g}$ で $1/4$ 負荷がかかり起動が完了する。

本ボイラの最小流量は最大連続負荷 (MCR) 時の 25% であるがじゅうぶんに検討された現在の設計では節炭器入口から過熱器出口に至るボイラの全圧力損失が MCR 時に 30 at 程度であり、現に姉崎1号缶においては 600 MW 時に計画値 (27 at) を若干下まわる 25 at 弱という値が得られている。

またこの系統の最大の特長は起動時を含めてあらゆる負荷で全量脱塩の可能なことであり、ほかの循環系統の方式で純度の低い水が水壁中で循環され、いったんボイラの中にはいった不純物が容易にぬけきれないといった懸念はない。

図7 (B) は今後設計されるものに適用される最新の起動バイパス系統を示したものである。

この系統ではランピング時にフラッシュタンクの低圧蒸気が高圧蒸気に切り換わる段階で圧力上昇させるのは二次過熱器と主蒸気管だけになるのでこれに要するヒートストレージが相当程度減少する。さらに追加された二次過熱器バイパス弁 (207) によって一次過熱器通過流量を調整し一次過熱器出口エンタルピとフラッシュタンク発生蒸気のエンタルピをマッチさせることができる。結果としてランピング時の蒸気温度降下をほとんどなくすることができると同時に起動時間の短縮が図られる。

起動バイパス系統は系統のいかに問わず、その性質上常温から約 380°C くらいの範囲の流体を取り扱うことになり初期の段階においては流体温度が低い時期にバイパス弁の振動と騒音ひいては摩耗の問題に遭遇した。しかし本ボイラを含めて最近のものにはすべて一次過熱器バイパス弁の前にレジスターチューブが設けられており

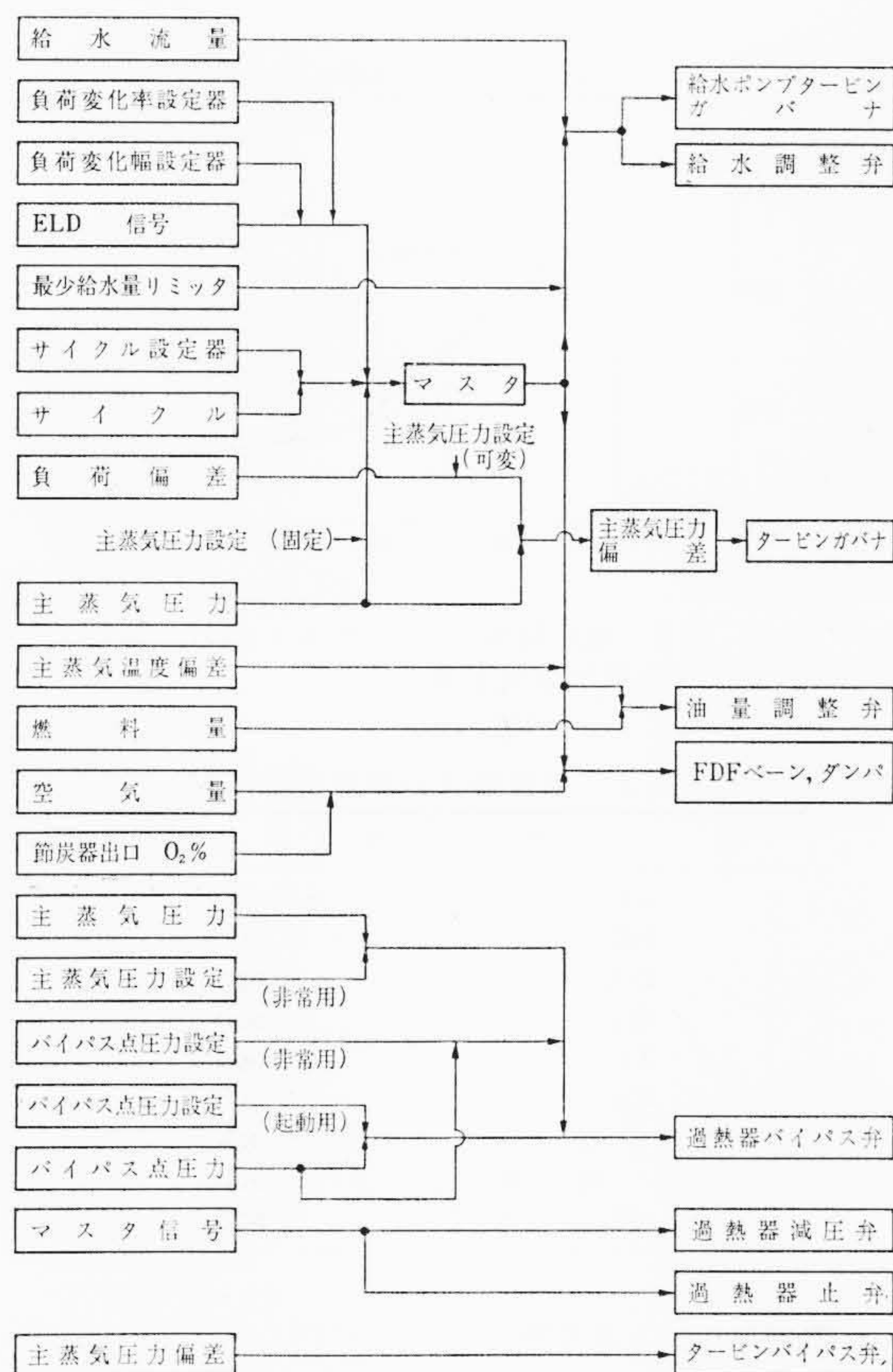


図8 ボイラ主要制御系統

流体温度が約 150℃ に至るまでの間はこれを使用することによって圧力をじゅうぶんに低くし上述の問題を大幅に軽減させている。

6. 制御装置と制御方法

一般に貫流ボイラはドラムボイラに比較してメタルおよび流体の蓄熱容量が小さいので負荷変動に対して制御の応答性に富むが、この特性を生かすためには正確迅速で安定度の良い装置と系統を備える必要がある。

本ボイラにはベール社で開発された 721 システムと呼ばれる全電子式制御装置が採用されており、従来の空気式および電気接点式制御装置の長所をとり入れ信頼度の高い、応答性のすぐれた制御装置を構成している。

制御系統としては負荷応答性のすぐれているボイラ追従方式と圧力制御特性のすぐれているタービン追従方式を組み合わせた、いわゆるボイラタービン協調制御方式 (Integrated Control System) が採用されている。その骨子を以下簡単に記す。

図8に示すように負荷偏差に応じて、主蒸気圧力設定信号を一時的に変えることにより、タービンガバナーに動作信号が送られボイラの蓄熱利用を図りながら、タービンは出力指令に応ずる。一方ボイラは ELD 信号に負荷偏差、主蒸気圧力偏差、サイクル偏差を加えて合成された負荷要求信号（マスター信号）により給水量、燃料量、空気量が同時に制御されるが、給水量/燃料量、空気量/燃料量の比率は一定に保たれ、主蒸気圧力、温度の変動を最小にしながら要求負荷に応ずることになる。

給水ポンプはタービン駆動 (1/2 MCR 容量 2 台) と電動機駆動 (1/4 MCR 容量 2 台) があり、通常運転時はタービン駆動給水ポンプを使用し制御信号は給水ポンプ駆動用タービンのガバナーに送られ回転数制御により流量が調整される。電動給水ポンプは起動時に使用するが給水調整弁によって制御される。

貫流ボイラでは給水量/燃料量の比率調整により主蒸気温度は規定値に維持されるが、負荷変動中の温度変化に対して主蒸気温度偏差による燃料修正系統を付加して安定を図るようになっている。

次に起動バイパス制御に言及すると、過熱器バイパス弁は起動時にはバイパス点の圧力を一定にするように制御されるが、正常運転時には主蒸気圧力とバイパス点の圧力を検出し圧力が異常上昇した非常時にボイラ圧力逃し装置として作動する。

過熱器減圧弁はフラッシュタンク発生蒸気で初負荷をとったのち、マスター信号により負荷上昇割合に応じて制御される。過熱器減圧弁がほぼ全開になると引き続きマスター信号により過熱器止弁が開けられる。

タービンバイパス弁は併入前後には主蒸気圧力偏差によって制御され、併入後の負荷上昇にともなって閉となる。

7. 姉崎 1 号缶の運転実績

これまでに超臨界圧 UP ボイラの特長、構造、系統などについて述べたが、次に姉崎 1 号缶の建設から試運転および営業運転開始以来現在に至るまでの運転実績のうち特記すべき数項目について記す。

(1) 水圧テスト

建設から試運転にはいる過程で、まず第一に問題となったのは水圧テストをいかにして行なうかであった。たまたま建設途上の 1965 年に ASME Winter Addenda が発行され、はじめて貫流ボイラの段階的設計圧力、安全弁、水圧テストなどについての記述がなされた。これはアメリカで各州ごとに行なわれていたものが統一規格化されたものであるが、これによると水圧テストは過熱器出口の最高使用圧力の 1.5 倍（ただし節炭器入口の最高使用圧の 1.25 倍よりはる）で行なえばよい。ところが国内の発電用火力技術基準によれば最高使用圧力の 1.5 倍の水圧で試験を行なうとしか規定されておらず各部最高使用圧力の 1.5 倍で水圧を行なわざるを得なかった。

実際には起動バイパスの分岐点となっている過熱器止弁で二分割しておのおのの部分の最も大きい最高使用圧力の 1.5 倍で水圧試験を行なったが、実施に先だってボイラ各部の水圧時に発生する応力を計算し ASME 規定の材料の降伏点の 90% より小さな値にはいることを確認した。当然の事ながらひとつの水圧区分域で材質が上流域とあまり変わらない終点近辺が最もきびしい状態にさらされることになったが、水圧テストは破壊テストではなくリークテストであるという主旨からすれば ASME どおりの水圧テストでじゅうぶん目的が達せられるはずであり、今後国内においても検討されるべき問題と思う。

また B & W 社のリコメンドにより運転にはいってから繰り返される圧力、温度変化をシュミレートする目的で水圧圧力からある圧力までの降圧および昇圧を数回繰り返すサイクリックテストを行なったが良好な結果が得られた。

(2) 酸 洗 い

建設時の酸洗いはコンサルタントであるエバスコ社の方式により行なわれ、薬品としては次のような有機酸の混酸が用いられた。

ヒドロキシ酢酸	2%
蟻 酸	1%
イビット 600 SB	0.6%
スエリン I	0.3%
スエリン M	0.05%

この方法は AEP、デュポン、ダウケミカル、B & W 社の共同研究の結果開発されたもので数年前からアメリカで貫流ボイラに盛んに採用されているものである。従来のクエン酸法に比較し

てスケールの溶解力が大きく、鉄の沈殿を生じないことが特長であるが、アメリカではクエン酸よりもヒドロキシ酢酸のほうが安価であるため酸洗いが経済的にできるということが最も大きな理由の一つである。

酸液は約90℃で6時間循環されたが、3時間で溶出鉄はほぼ一定となりFe⁺⁺の最終値は約3,500 ppmであった。

酸洗浄を行なった範囲は節炭器、火炉水壁、天井およびケーシ壁で過熱器、再熱器、主配管類に対してはフラッシュタンク発生蒸気を用いてスチームブローイングを行なった。

(3) 安全弁テスト

引き続き試運転の段階で超臨界圧ボイラとして、特に問題にされたのが安全弁のテストであった。超高压の安全弁はいったん吹き出すとシートやディスクが損傷してしまうことが懸念され、また実際にいたんだディスクをアメリカのある発電所で見せられたりした。このためアメリカでは数年前より油圧ジャッキによる吹出し圧力の確認法が採用されてきた。

すなわちボイラ内圧に油圧ジャッキによる圧力を加勢し安全弁ディスクがわずかにポップアップした時の漏えい蒸気音および油圧計の指針の振れでその吹出圧力を確認する方法である。

$$P_b = P_s + \frac{A_0}{A_v} \times P_a$$

P_b : 吹出圧力

P_s : 蒸気圧力

P_a : 油圧シリンダ圧力

A_0 : 油圧シリンダの面積

A_v : バルブシートの面積

実際には蒸気圧力を245 kg/cm²g程度とし油圧ジャッキによる加圧を約70 kg/cm²として無事安全弁テストを完了した。

なおボイラ試運転時の仮セットのためボイラ内圧を水の状態でテストしたこともあったが後日蒸気で行なった場合とほとんど変わらなかった。

本方法の採用にあたっては通商産業省、電力会社、国内弁メーカー、ボイラメーカーなどによる工場実験および実缶試験が行なわれ、実用上じゅうぶんな信頼性をもっていることが確かめられた。

アメリカでは油圧ジャッキを用いることにより、弁の損傷を防止するだけでなく、燃料、水、時間の節約、騒音の防止にも役だつとして亜臨界圧ボイラや低圧安全弁などに適用した例も珍しくないが、本ボイラの再熱器やフラッシュタンク安全弁などは従来の方法で吹出し試験を行なった。

(4) ダンプテスト

安全弁と関連して試運転時のもう一つの問題点はダンプテストであり、アメリカではこのようなテストは行なっていないので超臨界圧ボイラでの全く新しい経験であった。

負荷しゃ断と同時に自動バーナのファーストカットバックリレーが働き2セルずつ次々とカットしていくことになるが、実際には負荷しゃ断後数秒で再熱器の保護回路が働きMFTトリップとなる。問題はこの間にボイラ安全弁を吹かさないですむかどうかということであった。幸いにしてUPボイラには容量約25% MCRの過熱器バイパス弁を有しており、これが緊急時の圧力逃し装置として作動するようになっている。

そこでダンプ時の圧力上昇をもたらす要素として次のものを考えて圧力上昇の目安をたてることにした。

- ① 流動しゃ断による運動エネルギーの圧力エネルギーへの変換
- ② ボイラ内各部静圧差の平衡
- ③ 給水ポンプの停止にいたるまでの押し込み

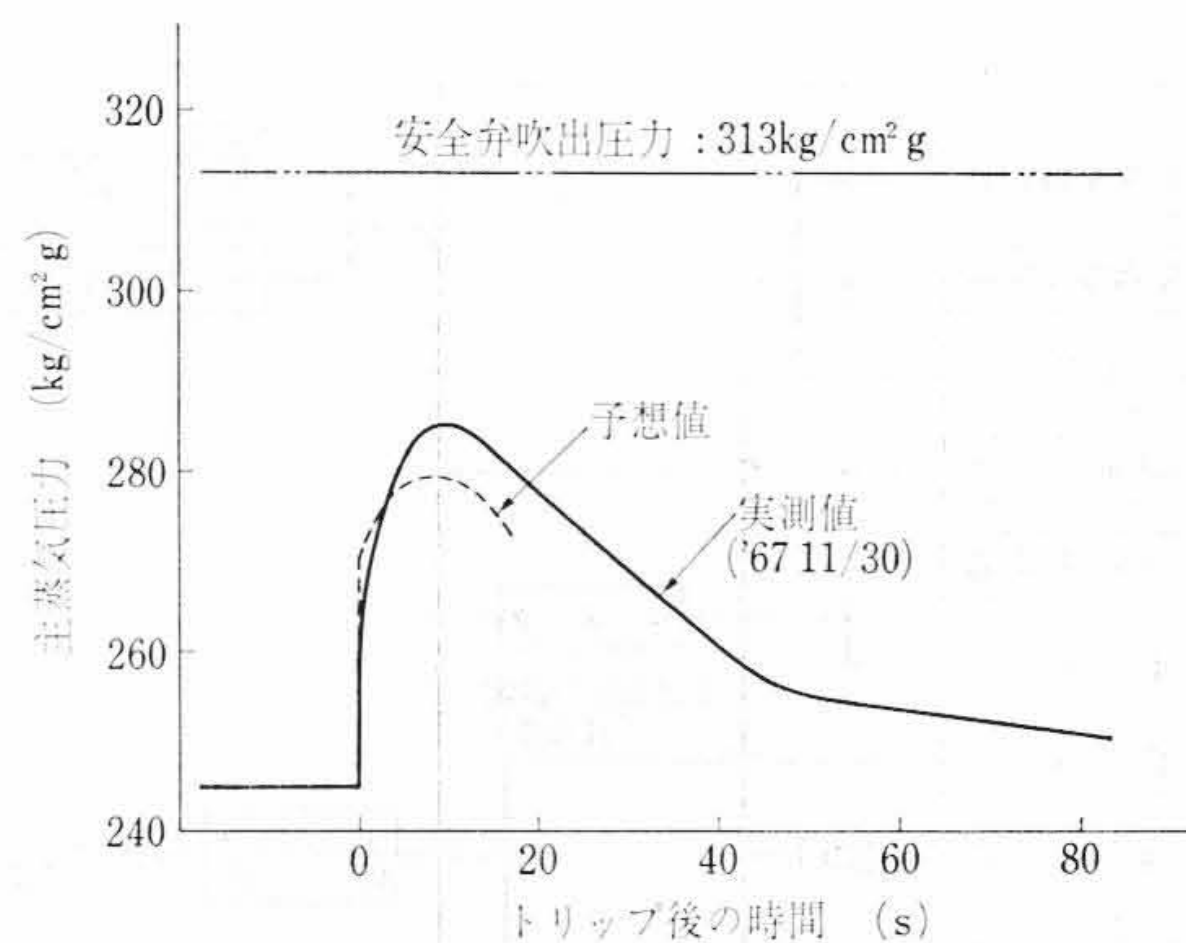


図9 600 MW ダンプテスト時の主蒸気圧力上昇

表3 節炭器入口給水制限値

項	目	制 限 値
	pH	9.3~9.5
	SiO ₂	20 ppb
	CO ₂	0 ppb
	O ₂	7 ppb
	Fe	10 ppb
	Cu	2 ppb
全	固 形 分	50 ppb
硬	度 成 分	0 ppb
有	機 分	0 ppb

④ 燃焼遅れによる入熱

⑤ メタルの保有熱

一方圧力上昇を緩和するものとしてさきに述べた過熱器バイパス弁があり、この両者を組み合わせて圧力上昇度を計算した。計算によって得られた予想値と実測値は図9に示すとおりで、われわれの現象解析がほぼ正しいものであることがわかった。

(5) 給 水 処 理

高压貫流ボイラの給水は特に高純度のものが要求されるが超臨界圧ボイラとなったための特別な相異点はない。

薬液注入方式としては従来の貫流ボイラと同様ボラタイルトリートメントを採用し、pH調整用としてアンモニアを、脱酸素剤としてヒドラジンを高压復水ポンプ出口に注入している。

表3に、節炭器入口の給水制限値を示す。

この制限値は最近の内外のUPボイラプラントで容易に達成され水質待ちによる起動の遅れはない。それは起動時にボイラ循環流量の全量を通すことのできる起動バイパス装置を備え、ボイラ通過水を連続的に復水脱塩装置に通水できるからである。

さらに本プラントのように負荷運転中も復水の全量を通しうる容量の復水脱塩装置を持つ場合にはその効果が著しい。

負荷運転中にボイラの中へ持ち込まれる不純物(鉄)のほとんどは復水脱塩装置以降の復水系統か、給水加熱器のシェル側からと考えられるが、B & W社におけるかずかずの調査研究の結果、鋼管ヒータを持つプラントに対しては給水のpHを9.3~9.5とすることによって鉄のピックアップを最小にできるということが明らかにされた⁽⁵⁾。なお最適のpH値は個々のプラントで最初の1~2年の実績によって決定されるが、本プラントの場合は現在ボイラ運転中のpHを9.45としている。

(6) ボイラ内部流体圧力損失

本ボイラの内部流体圧力損失の計画値および実測値は図10に示すとおりであり他の形式のものと比較して同程度あるいは若干小さ目の値が得られている。しかも全圧力損失の約半分はもっとも重要な火炉水壁安全性の向上に有効に使われた合理的な設計となっている。

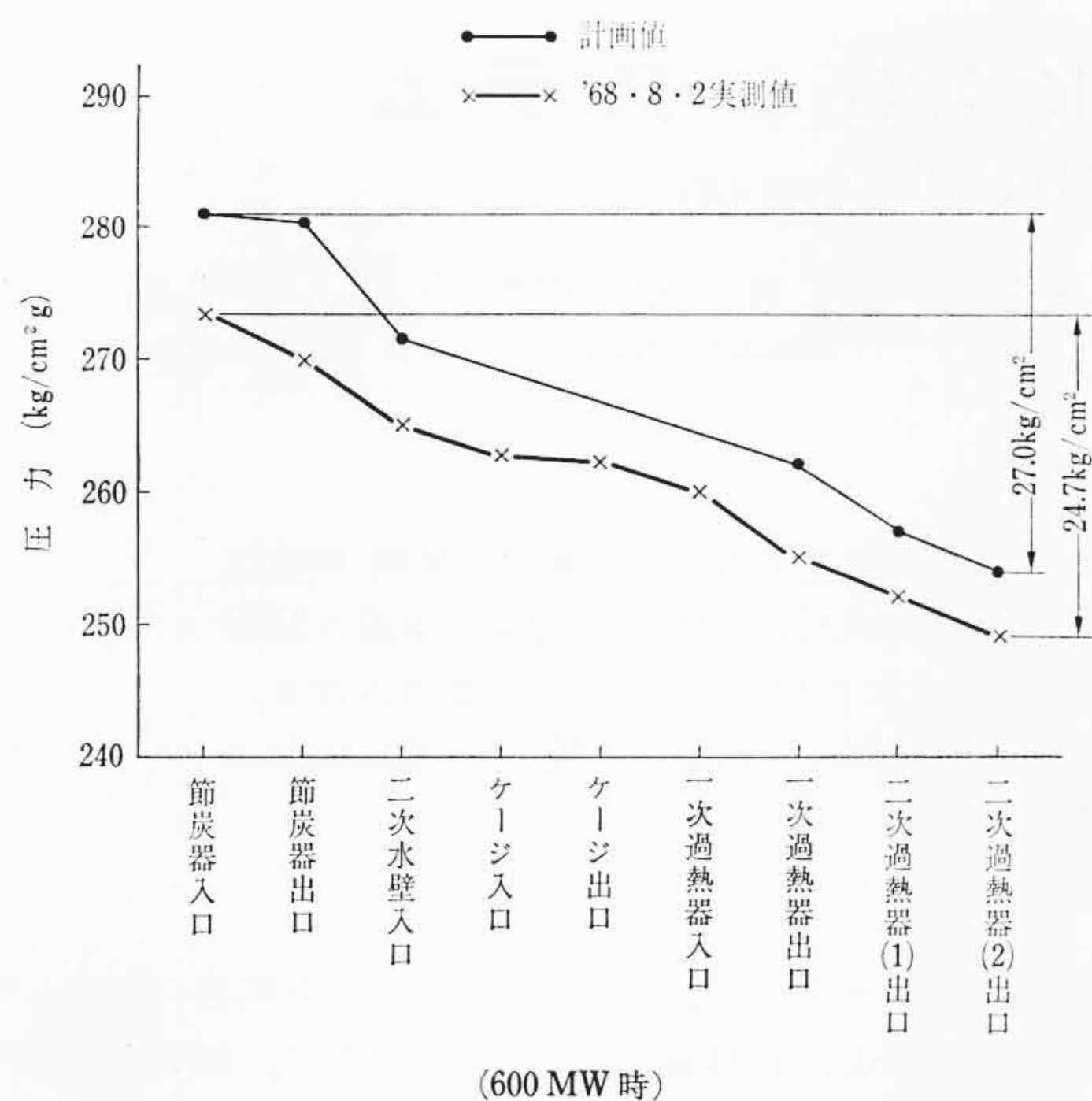


図 10 ボイラ内部流体圧力実測値

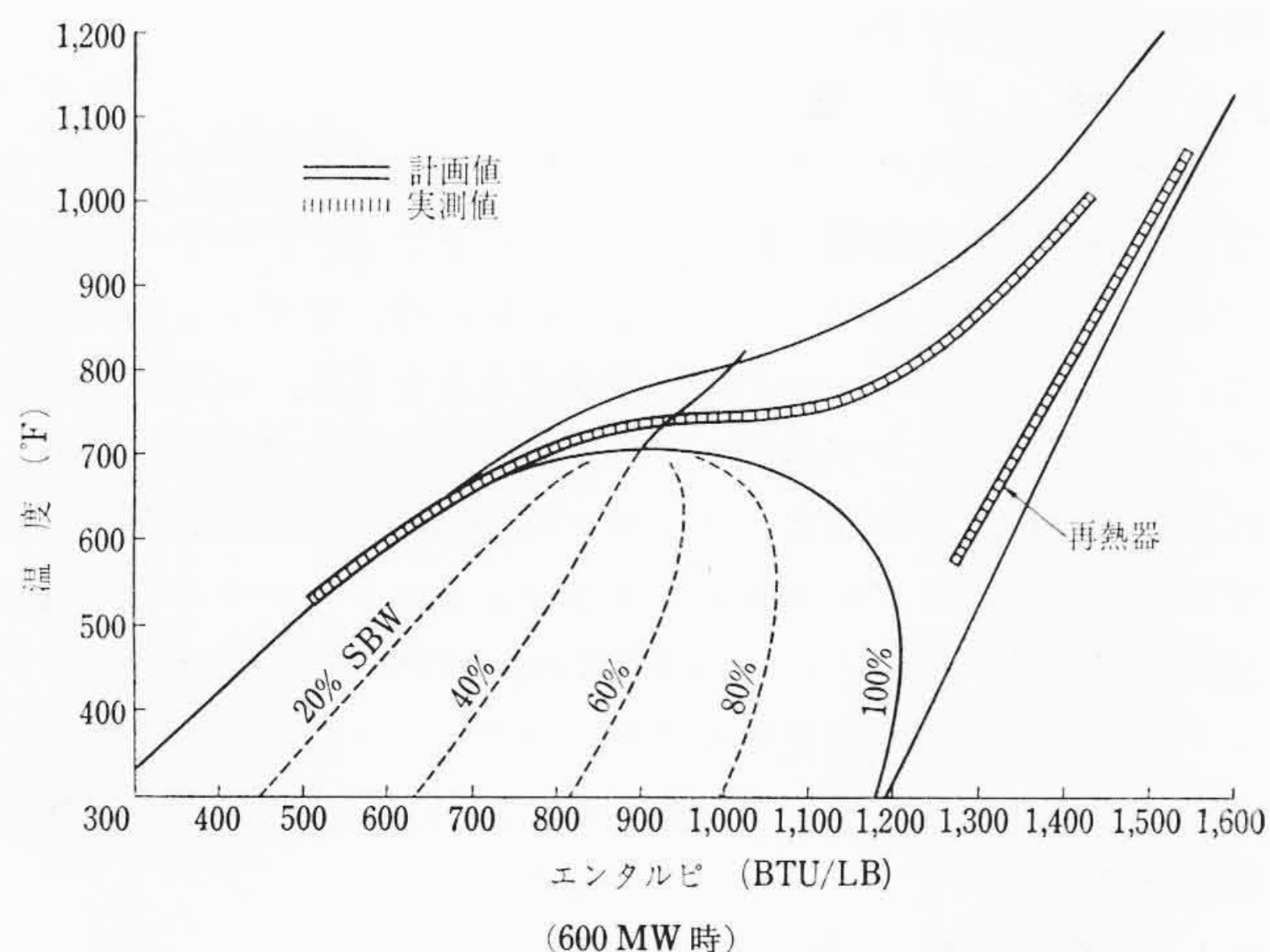


図 11 姉崎 1 号缶の温度-エンタルピ線図

(7) 再熱蒸気温度

再熱蒸気温度制御はガス再循環ファンによって行なわれ、その制御範囲は $MCR \sim 1/2 MCR$ であるが、運転初期にありがちな低負荷での蒸気温度不足の問題もなく試運転当初よりその計画値をじゅうぶんに満足している。

(8) ボイラ特性

図 11 は姉崎 1 号缶の 600 MW 運転時におけるボイラ特性を温度-エンタルピ線図上に表わしたものであるが、計画値と実測値

表 4 ボイラ・プラント効率実測値

		600 MW	450 MW
ボイラ効率 (%)	計画値	90.07	90.32
	実測値	92.25	91.34
プラント効率 (%)	計画値	40.33	39.70
	実測値	40.84	40.24

(注) ボイラ効率は再生式空気予熱器入口空気温度ベース

はよく一致している。

なお性能試験時のボイラ効率および発電端プラント効率は表 4 に示すとおりであるが、計画値を上回る良好な値が得られている。

8. 結 言

姉崎 1 号缶を中心とした超臨界圧 UP ボイラの概要と、その運転実績について項目別に略述したが、わが国における超臨界圧プラントの経験はいまだ浅く今後ともその特性のは握に努力しなければならないと考える。

日立製作所においては、今日の超臨界圧プラントの時代の到来を早くから予測し、昭和 35 年に 350 kg/cm^2 , 650°C のテストプラントを完成し数多くの研究を重ね現在なお続行中である。その結果については既にいくつかの論文^{(6)~(14)}として発表されているが、B & W 社のすぐれた経験を基として、さらに国情に合ったボイラの完成を期したいと念願している。

最後に姉崎 1 号缶の運転実績諸データに関しては、東京電力株式会社各位のご協力によるものが少なくないことを申し添え、ここに感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 福田, 菅原: 日立評論 43, 1063 (昭 36-9)
- (2) 福田: 電気公論, 59 (昭和 40-5)
- (3) 利部: 火力発電, 16-10, 69 (昭和 40-10)
- (4) C. M. Davis, E. M. Griffin, F. A. Wybenga: Operating Experience with 13 Universal Pressure Boilers at 3,500 psi; American Power Conf. (1967)
- (5) F. J. Pocok, J. A. Lux, R. V. Seibel: Control of Iron Pick-Up in Cycles Utilizing Carbon Steel Feedwater Heaters: American Power Conf. (1966)
- (6) 浦田, 吉原, 前田: 日立評論 43, 1075 (昭 36-9)
- (7) 綿森, 前田: 機械学会誌 65-519, 521 (昭 37-4)
- (8) 中野, 河竹: 日立評論 44, 1309 (昭 37-9)
- (9) 田村, 河口, 中野: Hitachi Review 5, 17 (昭 37-12)
- (10) 浦田: OHM 51-5, 54 (昭 39-4)
- (11) 浦田, 菅原, 田村: 火力発電 16-2, 19 (昭 40-2)
- (12) 田村, 浅井, 中野: 日立評論別冊, 38 (昭 39-11)
- (13) 菅原, 阿部, 坂井: 電力臨時増刊, 176 (昭 41)
- (14) 田村, 内山: 機械学会誌 69-574, 102 (昭 41-11)