

# UP ボイラ について

## On the UP Boiler

福田 幾昌\* 菅原 三次\*\*  
Ikumasa Fukuda Mitugi Sugahara

### 内 容 梗 概

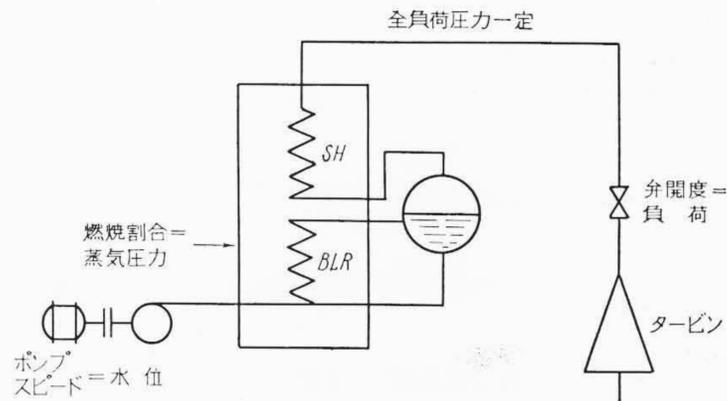
最近大容量高压高温用として注目をあつめているUPボイラの経緯、性能、構造の概要を紹介し、さらに日立製作所におけるこのようなボイラの国産態勢について付言しこの方面の関係者に参考資料を提供している。

### 1. 緒 言

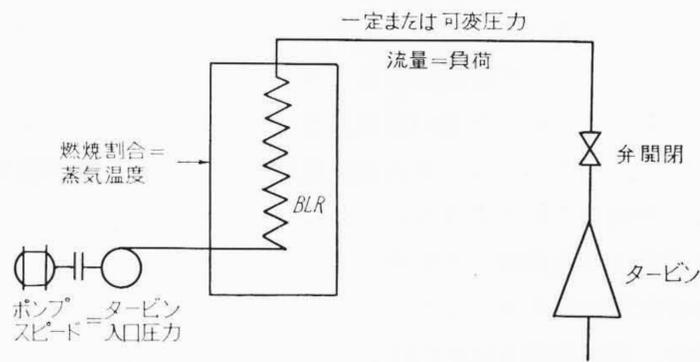
貫流ボイラは主として欧州に多く採用されてきたが蒸気条件の向上に伴う超臨界圧プラントの採用の傾向につれて世界的に普及し、国内においてもだんだん広く採用される気運にある。ここに紹介するUPボイラは超臨界圧および亜臨界圧のいずれにでも計画可能な進歩的貫流ボイラである。

### 2. 原理および経緯

従来のドラム式ボイラでは汽水の比重差を利用して水壁に循環回路を形成し、蒸気を発生するという考え方であったが貫流ボイラであるUPボイラでは全く水壁に循環回路をもたず第1図に示すように給水ポンプでボイラの一端から送られた水は予熱→蒸発→過熱の過程を経てボイラ他端から所要の蒸気として取り出すことになる。したがって汽水の比重差というようなことには無関係であり亜臨界圧および超臨界圧域におけるいかなる蒸気条件のもとでもこの形式で蒸気を発生できる。このボイラは米国B & W Co.がドイツのペンソンボイラの基本技術を取り入れ、さらに進歩的改良を加えて、商品名UPボイラ(Universal Pressure Boiler)の名のもとに、最近アメリカ国内において長足の増加をつづけている。一方国内においてもすでに東京電力株式会社五井火力発電所の265 MW用(UP-13)としてさらに関西電力、姫路第二発電所2号機の325 MW用(UP-14)として採用されている。第1表は今まで米国B&W Co.が納入したUPボイラの仕様を示すものである。本表中UP-1~5はすでに稼動中でありその実績については広く文献などに紹介されている。UP-6は現在試運転中であり間もなく営業運転にはいる



ドラム式ボイラの運転方法



UPボイラの運転方法

第1図 ドラム式ボイラおよびUPボイラの運転方法の比較

第1表 UPボイラのサプライリスト比較

No.	設置会社名	プラント名	出力	蒸発量	タービン入口にて		燃焼方式	備考	運転開始
					圧力	温度			
UP 1	Ohio Power Co.	Philo 6	125MW	675,000 lb/hr	4,500psi	1,150/1,050/1,000°F	サイクロン	ガス温度調整 平衡通風 (9'cyc×3)	1957/3
UP 2	Indiana & Michigan Electric Co.,	Bread 1	500	2,923,000	3,500	1,050/1,050/1,050	サイクロン	ガス温度調整 強圧通風 (10'cyc×8)	1960/6
UP 3	Ohio Power Co.	Philip sporn 5	500	2,923,000	3,500	1,050/1,050/1,050	微粉炭	ガス温度調整 強圧通風 (10'cyc×8)	1960/9
UP 4	Southern Calif. Edison Co.,	Huntington Beach 3	230	1,638,000	2,400	1,050/1,000	重油, ガス	強圧通風	1960/9
UP 5	Southern Calif. Edison Co.,	Huntington Beach 4	230	1,638,000	2,400	1,050/1,000	重油, ガス	強圧通風	1961/5
UP 6	Baltimors Gas & Electric Co.,	Crane 1	175	1,362,000	2,400	1,050/1,000	サイクロン	ガス温度調整 強圧通風 (10'cyc×4)	1961/2
UP 7	Tennessee-Valley Authority	Colbert 5	500	3,900,000	2,400	1,050/1,000	微粉炭		1962/9
UP 8	Public Service Elec. & Gas Co.,	Sewaren 5	345	2,200,000	2,400	1,100/1,050	微粉炭 スラグタップ		1962/1
UP 9	Indiana & Michigan Electric Co.,	Tanners Creek	580	2,923,000	3,500	1,000/1,025/1,050	サイクロン	(10'cyc×8)	—
UP10	T V A	Paradise	650	4,900,000	2,400	1,050/1,000	サイクロン	(10'cyc×14)	1962
UP11	T V A	Paradise	650	4,900,000	2,400	1,050/1,000	サイクロン	(10'cyc×14)	1963
UP12	Public Service Elec. & Gas Co.,	Marion	400	2,450,000	3,500	1,000/1,025/1,050	サイクロン	(10'cyc×6)	—
UP13	Tokyo Elec. Power Co. Inc.	Goi 2	265	2,000,000	2,400	1,050/1,050	重油	ガス温度調整 強圧通風	1963/7
UP14	Kansai Elec. Power Co. Inc.	Himeji #2 2	325	2,300,000	2,400	1,050/1,000	重油	ガス温度調整 強圧通風	1964/2

\* パブコック日立株式会社技術部

\*\* 日立製作所呉工場

ことになっている。

### 3. 計画の概要

UPボイラの計画上最も重要なことは流体の安定性であって、特に高い熱吸収部すなわち燃焼室においてはいかなる条件下においても安定した流れを得なければならない。

超臨界圧の場合、流体は常に水または蒸気の单相流であり、亜臨界圧の場合にはさらに水と蒸気の混合物すなわち二相領域が加熱過程に起る。したがって超臨界圧ボイラでは各炉壁チューブ間のエンタルピの均衡のみを考慮すればよいので上昇→下降→上昇の流れも可能であるが、亜臨界圧の場合には炉壁管は常に上昇流のみとし、さらに汽水分離の問題および膜沸騰現象をさけるように考慮しなければならない。

従来のドラム形ボイラとの計画上の大きな相違点は燃焼室および対流伝熱部の炉壁管構造であって、過熱器、再熱器、エコノマイザ、空気予熱器は全く同様に考えてよい。ただ亜臨界圧の場合、通常比較的低温ガス部の一次過熱器内におけるトランジション部をおいている。

亜臨界圧UPボイラの燃焼室計画上特に考慮しているもの若干を述べると

- (イ) バーナを前後壁に配置し各壁熱吸収の均等化を計っている。
- (ロ) 各チューブ群の入口ヘッダの流体は常に水のみとし、汽水混合物を避ける。これは汽水分離により蒸気を多量に含むチューブが過熱により焼損するのを避けるためである。
- (ハ) 燃焼室内の高い熱吸収部すなわちバーナ付近にはB&W特許のリブドチューブを使用する。リブドチューブは内面にみぞを切ったもので、相当多量の蒸気を含んだ流体の場合でも常に核沸騰を保ち、気泡がチューブ内面に停滞していわゆる膜沸騰現象を起し過熱焼損を起すようなことがない。

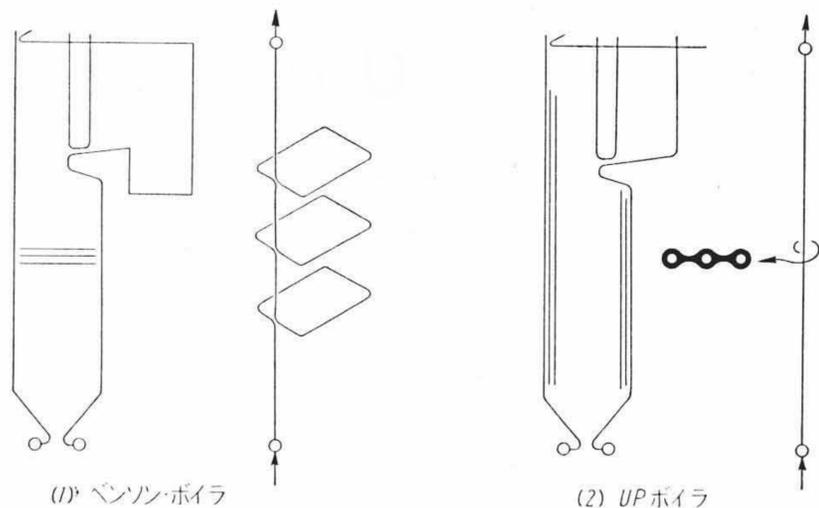
核沸騰より膜沸騰への転換は流体の圧力、速度および熱吸収量に左右されるが、リブドチューブを使用した場合、熱吸収約  $600,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}$  (内面において)、流体速度 (常温換算) 約  $0.7 \text{ m/s}$  で約70%の蒸気を含んでも核沸騰を保つことができる。

- (ニ) メンブレン壁の熱応力による強度を考慮して各チューブ間の流体温度差を約  $55^\circ\text{C}$  以内におさえている。

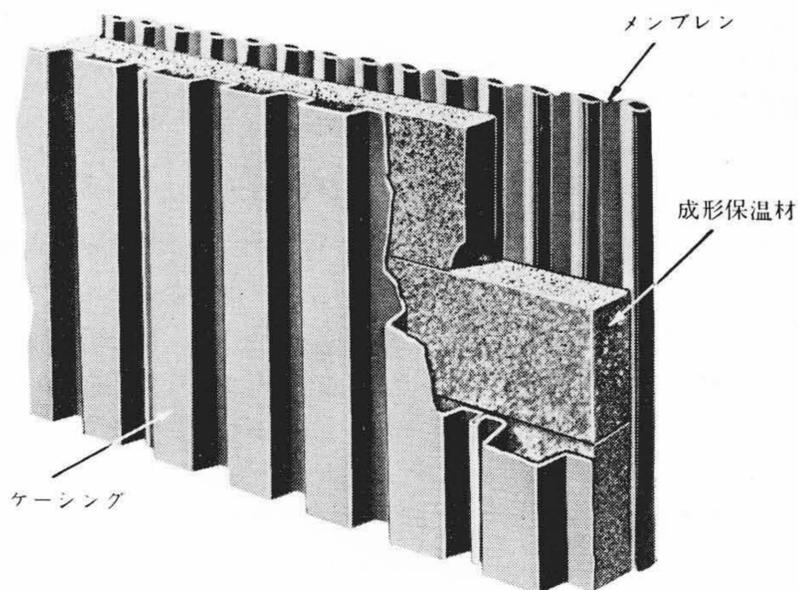
次に亜臨界圧UPボイラには一次および二次過熱器間に減圧装置を設けているが、これは起動時タービン側の要求する圧力、温度に容易に応じうるようにしたもので、特に短時間停止後の急速起動にはきわめて有利である。この装置を採用することにより、ボイラ全体を高価な変圧運転の計画にする要がない。

### 4. 構造の概要

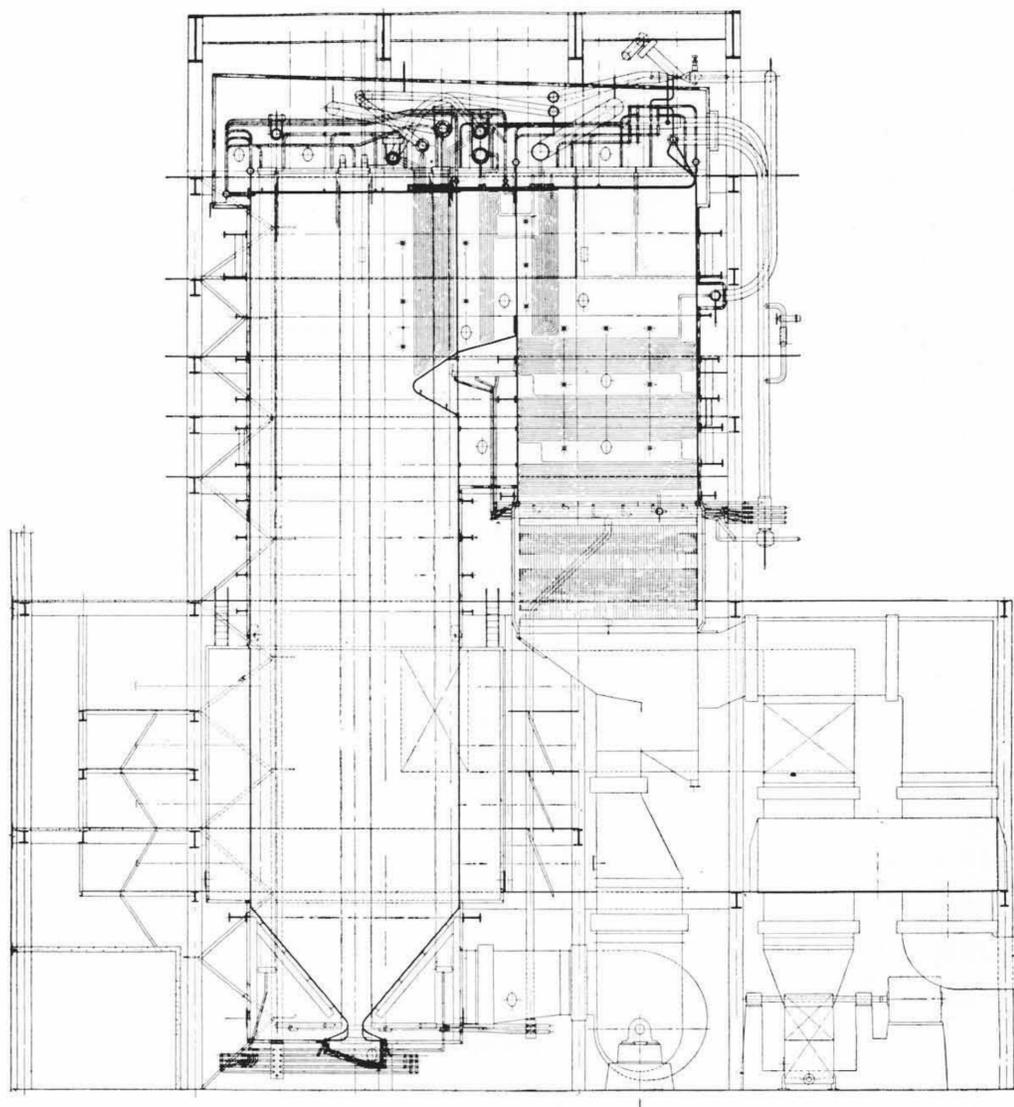
UPボイラの構造上の特長は水壁の構造にあり過熱器および節炭器などその他の部分は全く従来のドラム式ボイラと同じである。第2図は欧州において最近採用されているミアンダ式ベンソンボイラとUPボイラの構造を原理的に比較して示すものである。ミアンダ式のものでは図に示すように多数の水平ループによって炉壁を形成しているのに対し、UPボイラは小径の管をオープンピッチに配列しその間をフィンを介して溶接したいわゆるメンブレン構造となっている。第3図はメンブレン壁の構造を示すものであるが図に示すようにメンブレンの採



第2図 欧州ベンソンとUPの水壁の比較



第3図 メンブレン壁の構造



第4図 東京電力株式会社五井火力発電所納 265MW 用UPボイラ

用によりガスの漏えいを防止できる構造となっているので、スキンケーシングを省略し直接ブロック状の軽量保温材を取付けその上をケーシングでおおうだけの簡単な構造となっている。次に実際例として東京電力株式会社五井火力発電所納めUP-13についてやや詳しく紹介したい。

第4図は本ボイラの断面を示すものでありその仕様は次のとおりである。

第2表 東京電力株式会社五井火力発電所納UP-13の仕様概要

タービン出力	265 MW
蒸発量	最大 907 t/h
蒸気条件	175.8 atg/571°C/568°C 再熱 (過熱器出口にて)
燃焼方式およびバーナ配置	重油専焼対向バーナ(合計16本)
火 炉 幅	10,996 mm
通 風 方 式	強圧通風
最低負荷	全負荷の1/3
蒸気温度調整	過熱蒸気温度は燃料調整により1/2負荷以上一定 再熱蒸気温度はガス再循環により1/2負荷以上一定

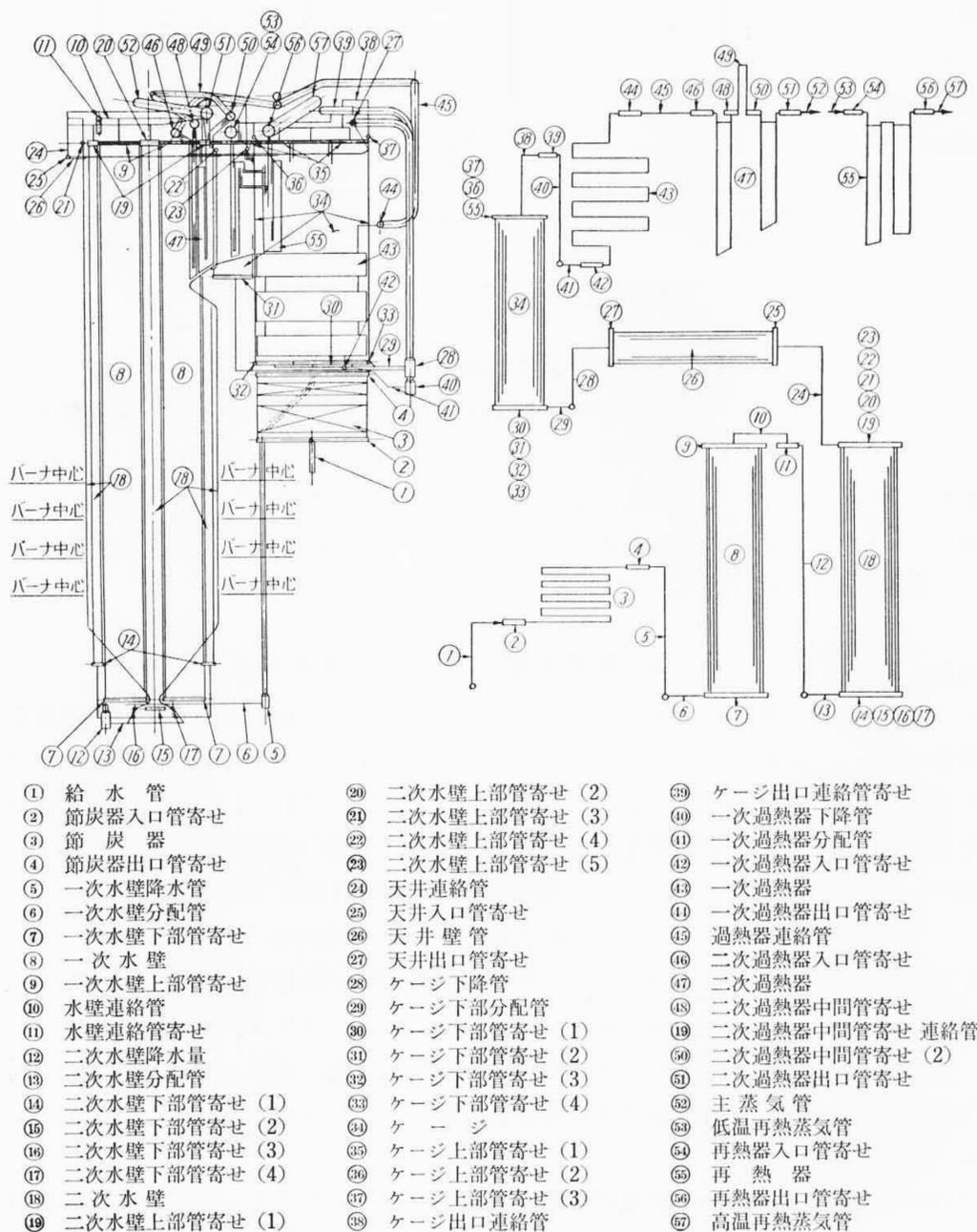
ガスおよび空気の流れは全く一般のボイラと同じなので、水の流れの系統について述べる。第5図は本ボイラの水の流れの順序を略図にて示すものである。まず節炭器に供給された水は予熱されて水壁両側面の1部を形成する一次水壁下部ヘッドに供給される。一次水壁はメンブレン構造であり水は下方より火炉頂部に上昇し1本の管寄せに集められ炉外に配置された降水管を伝わって再び炉底にも

どり、炉周の残りの部分を形成する二次水壁管に多数の分配管を介して均一に分配される。このときの水の状態は全く蒸気を含有せぬ液相の状態であり、二次水壁を上昇する間に蒸発を行い再び炉頂に達したときは約90%が蒸気の状態となっている。メンブレン壁の温度上昇を制限値内に維持するためにバーナ付近の二次水壁は管内にネジをきったいわゆるリブドチューブを使用している。二次水壁を出た汽水の混合物は次に火炉前部の天井壁入口管寄せにはいり後部に達して再びケージ降水管を伝わってケージ下部の各ヘッドに均一に分配され、ケージ壁管を上昇しケージ上部に達し再び一次過熱器降水管を伝わって1次過熱器入口ヘッドに供給される。ケージ壁管も水壁管と同様メンブレン構造になっている。

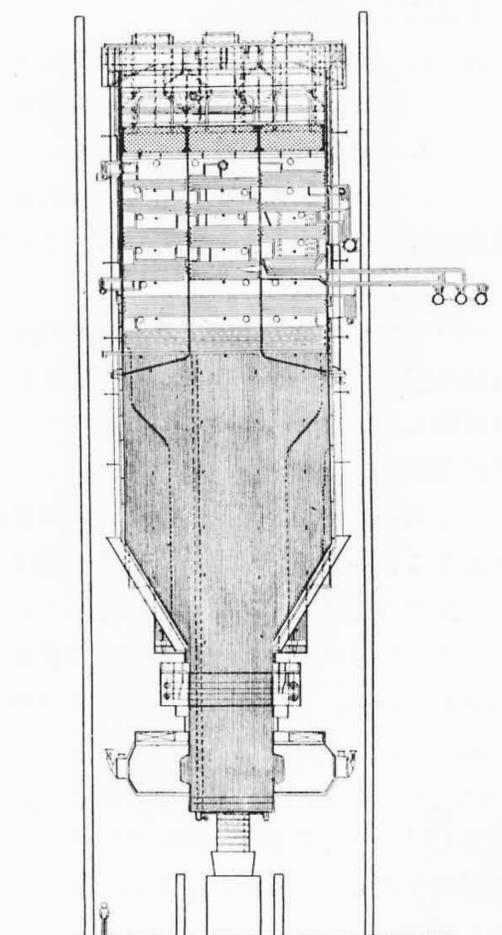
一次過熱器にはいる状態ではやはりわずかに水を含む汽水混合物でありこの部分で蒸発を完了することになる。この部分はベンソンボイラにおけるいわゆるトランジションゾーンに匹敵する部分であり比較的濃縮された不純物の大部分は熱負荷のかなり少ないこの部分に付着することになるのでスケール付着によるオーバヒートというような懸念は全くない。これ以後は全く普通のボイラと同様であり連絡管を通じて二次過熱器を経て所要の蒸気条件としてタービンに送られることになる。水の流れの系統の特長とするところは加熱される水または汽水混合物の流れの部分について必ず上昇流を採用しており下降流は炉外の連絡管を用いていることであり、この方式により汽水の比重差に基く偏流を防止している。これは欧州ベンソンボイラにおいても必ず守られるべき規準であるが、特にUPボイラのすぐれた点は従来の up and down 方式のレジスタタイプのものに比して水壁もわずかに2系列であり圧力降下を減少させる意味からも、あるいは水壁を簡略化する意味からも有利である。なお計画によってはワンパスで火炉壁を上昇するいわゆる1系列式のものもある。

これらのメンブレン壁は工場において管とヘッドを溶接した状態で幅2.5m×長さ20m程度に分割して現地に送られるので現地の組立作業はかなり簡易化される。

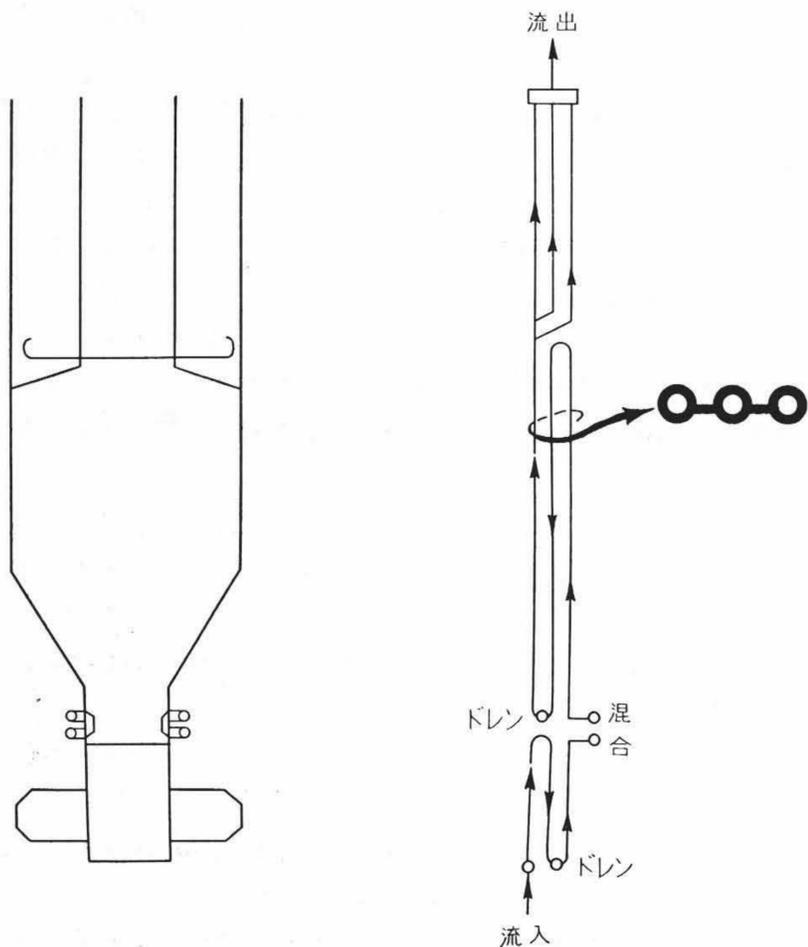
参考までに第6図に超臨界用として既に運転にはいつている500MW Breed 発電所の水壁構造の概要を紹介



第5図 UPボイラの水の流れの系統  
(例 東京電力株式会社五井火力発電所 265 MW 用ボイラ)



第6図 大容量超臨界圧UPボイラ



第7図 超臨界圧UPボイラの水壁構造 (Breed)

したい。本ボイラはサイクロン燃焼用として計画されており、火炉はサイクロンを有する下部と上部との2つの部分に分かれ、下部の炉全体は上部よりスリングパイプで吊下げられ無理のない膨張ができるよう考慮されている。第7図にその概要を示す。節炭器より送られた水はサイクロンを通り下部炉を回って上部炉に流入しボイラ頂部に流れるようになっている。図からもわかるとおり水壁は超臨界圧で汽水の比重差がないので下降流も採用している点が亜臨界圧ボイラと大きく異なる点である。

### 5. 制御方法

ドラム式ボイラに比して制御の考え方はきわめて簡単であり次の形式のいずれにても可能である。

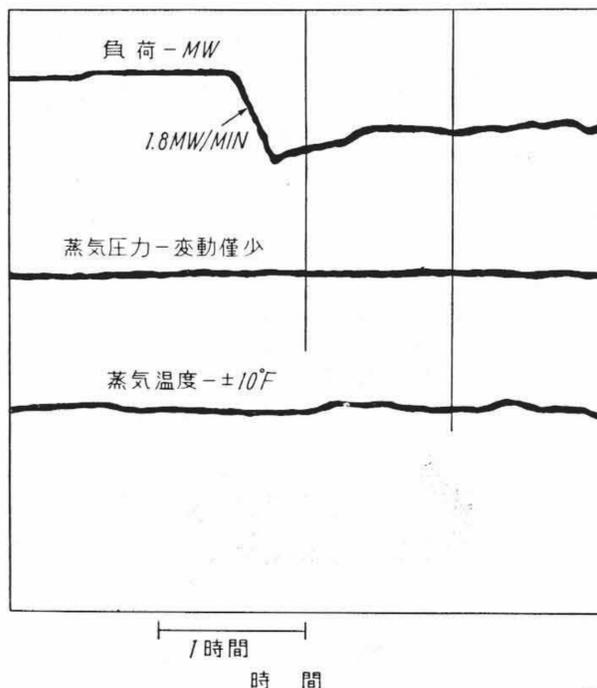
- 負 荷
1. 負荷によって給水流量を加減し圧力によってタービンコントロール弁を制御する。
  2. 負荷によってタービンコントロール弁を加減しタービン入口圧力によって給水ポンプを制御する。

蒸気温度 1. 上記いずれの場合においても燃料制御により調整される。

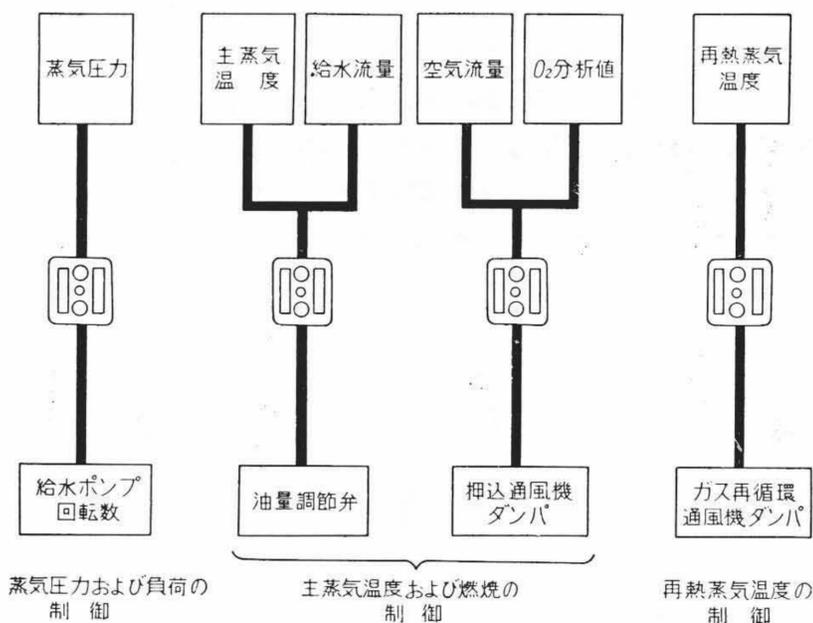
従来のベンソンボイラでは副伝熱面などの採用により蒸気温度変化の先行値の信号に用いる場合もあったがUPボイラではそのようなものは採用していない。またUPボイラでは主蒸気温度調整はもっぱら燃料制御により行っており欧州ベンソンなどのように過熱器にスプレー方式の温度調節器をつけないのが普通であり十分負荷の変動に耐えることが実証されている。第9図はその一実験例であり圧力および温度の変動もきん少に調整されている。

したがってUPボイラの制御装置は他の貫流ボイラに比してかなり簡易化されている。またこのような場合再熱蒸気温度の調整には従来広く用いられてきたガス再循環とか、ダンパコントロールなどの方法が用いられるが、ガス再循環方式によるときは再熱蒸気温度を制御するだけでなく各負荷範囲において蒸発完了点を常に一次過熱器内に維持できるという利点もある。なおボイラトリップのおもな条件としては

1. タービントリップとともに給水ポンプおよび燃料停止



第8図 UPボイラの制御方法 (30%負荷減少の場合)



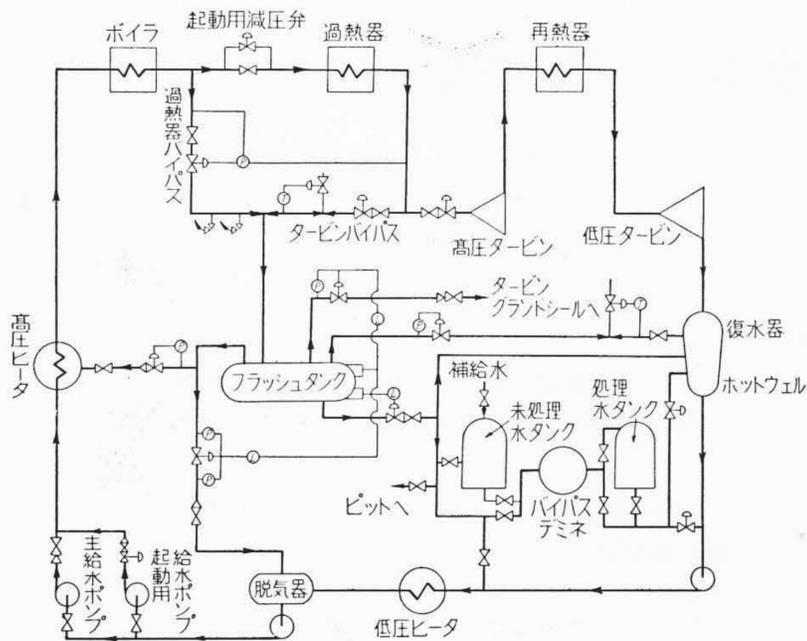
第9図 UPボイラの負荷応答試験結果の一例

2. 最低流量1/3以下で給水および燃料停止
  3. 一次過熱器出口の流体温度が規定値以下に下った場合給水および燃料停止
  4. 給水純度が制限値を越えた場合給水および燃料停止
- このようなインターロックによりあらゆる場合ボイラは安全に運転される。

### 6. 起動装置およびそのほかの付属装置

貫流ボイラではどの形式のものでも必ず起動用のバイパス装置を必要とする。そのバイパス装置も必ずしも一定の形式ではなくその時々事情によりいろいろなものが採用されている。第10図はUPボイラの標準的な起動用バイパス装置の概略を示すものである。本バイパス装置による起動方法の手順は概略下記のとおりである。

1. コンデンサ→脱気器→ボイラ→過熱器バイパス→フラッシュタンク→コンデンサの経路で規定圧力で1/3流量を循環し点火
2. 水温が上昇するにつれてフラッシュタンク内に蒸気が発生してくるのでタービンシール、脱気器、高圧ヒータに蒸気をおくる(補助蒸気源を利用してタービンシールなどの蒸気をとることもできる)。
3. この状態で水温 260°C~288°C になるよう燃料を調整し復水処理装置を通しながら所要の給水制限値になるまで循環をつづける。



第10図 UPボイラの起動装置

4. 所要の給水制限値に達したならばさらに燃料を増加しボイラ出口で完全な蒸気になったことを確認し、過熱器入口の減圧弁を開きタービンに送気を開始する。この場合蒸気の圧力および温度はタービン起動の条件に従って自由に調整できる。
5. 1/3負荷に達するまでに蒸気条件は規定の値になるよう調整し1/3負荷に達したとき過熱器バイパスおよびタービンバイパスを閉じて A. B. C. を自動に入れて所要負荷にもってゆく。

これらの操作は自動または中央制御室よりの遠方操作により容易に行われる。過熱器バイパスの容量はボイラの最小流量すなわち最大流量の1/3とし、タービンバイパスは過熱器バイパスの20~25%容量に決められるのが普通である。再熱器冷却の配管は、危急遮断時過熱器および再熱器のオーバヒートの心配がないことが実験的に明らかになったため、UPボイラでは設けていない。したがってバイパス配管も欧州ペンソンに比して簡便化されたものとなっている。また通常運転時には過熱器バイパス弁はタービン入口の圧力が規定値を越えた場合逃し弁として作動するのでほとんどの場合ボイラの安全弁が吹くことはない。

次にUPプラントには必ず復水器出口の水を浄化するための復水処理装置が設けられる。プラントサイクルを回ってくる間に水中に混入してきたFe, Cuなどの不純物はこの装置によって再び規定の給水に浄化される。一般にはこの容量は最大流量の1/3程度を常時処理できるように計画されている。また貫流ボイラでは脱酸剤にヒドラジンなどの気化性剤を使用しボイラ管内にスケールの付着するのを避けている。一般にUPボイラに採用される給水ポンプはタービン駆動または流体継手などを使用し、低負荷時の動力の節約を計っている。その容量も50%×2台常用、1台予備、さらに100%×1台常用、50%1台予備というように台数を減らし大容量のものを使用する傾向にある。

### 7. UPボイラの特長

UPボイラのおもな特長は前述の計画性能および構造から容易に推定される場所であるが、まとめてみると次のとおりである。

1. 全負荷を通じて蒸気温度を一定にできるので部分負荷時においてもプラント効率の低下が少ない。

2. 燃料、過剰空気がかわっても容易に蒸気温度の調整が可能である。
3. ボイラ制御装置は負荷および燃料制御のみで特に蒸気温度制御のようなものは必要とせず、またドラムボイラの水位制御装置が不要なのできわめて簡便化される。
4. ドラムおよび大径降水管の省略、メンブレン壁の採用により大幅に材料を節約できる。
5. コールドスタート、ホットスタートのいずれの場合でもタービンの要求する蒸気条件で送気ができるので、クイックスタートが可能であり、またタービンの熱応力を軽減し寿命の増加も期待できる。
6. メンブレン壁の採用により現地の据付工程を短縮できる。
7. ボイラが小形軽量化されるので発電所建屋および基礎が節約される。
8. ボイラ事故のときでも短時間で炉内点検修理できる状態まで温度を下げる事ができる。

### 8. UPボイラの国産態勢

前述のとおり既に米国B & W Co.との技術提携がなりボイラを計画するためのいっさいの資料は整備されている。

一方本ボイラを国産化するにあたって多少問題になると思われる点は下記のものと考えられる。

1. 水壁管材  
水壁管材は外径22mm×内径10~13mm程度の細い管が使用されるが既に国内メーカーにて生産態勢は確定されている。
2. メンブレン壁の製作  
メンブレン壁は自動溶接によりフィンを溶接することになるが自動溶接機の製作図一式を米国B & W Co.より入手し現在社内にて製作中である。またメンブレンは工場にて溶接組立後に曲げ加工を行うので、このためのベンダーもあわせて製作中でありこれらは昭和37年春には完成する予定である。
3. メンブレン壁管の突合せ溶接  
小径の管をできるだけ内面を平滑に溶接するために米国ではヘリアーク溶接を採用しているが、日立製作所においては昭和29年より既に高圧、高温ボイラには本溶接方法を採用しているのでなら問題はない。
4. 研究およびアフターサービス

貫流ボイラの今日の発展を予期しすでに4~5年前より他社にさきがけて研究調査を続けてきており、特に35年秋運転にはいった試験用貫流ボイラプラントにより、150atg~350atgのあらゆる蒸気条件における現象の研究が可能である。一方米国、西独ならびに英国の貫流ボイラの運転研究資料も広範囲に入手できる態勢にある。

以上により昭和39年春発電開始のものからは、日立製作所においてはUPボイラの国産化は技術的にも経済的にも十分可能である。

### 9. 結 言

以上最近脚光をあびてきたUPボイラについての概要を紹介した次第であるが、われわれ世界のすう勢に遅れをとらぬよう日夜研鑽を重ね、技術的にも経済的にもすぐれた国産UPボイラをその分野に送り出したいと念願するものである。