

1,000MW用LNG燃焼変圧運転ベンソンボイラの計画と運転実績

Design and Operating Experience of 1,000MW Variable Pressure Operation Benson Boiler with LNG Firing

近年、原子力発電比率の増加に伴い、火力発電プラントには大幅な電力需要変動に対応できる大容量中間負荷運用火力のニーズが強まっている。このため、貫流変圧ボイラの大形化とともに、大需要地に隣接する都市形発電所に不可欠な環境保全対策の強化が大きな課題となっている。

このたび、世界最大容量の変圧運転プラントで、代表的な都市形火力である東京電力株式会社納め東扇島火力発電所1号ボイラの計画に当たり、バブコック日立株式会社で開発した大容量化技術、低NOx技術を適用し、試運転により、所定の性能を確認することができた。

本稿では、この計画概要とともに、試運転中の実績の一部について紹介する。

船倉正典* Masanori Funakura
国広祐司* Yûji Kunihiro
菅野 彰** Akira Sugano

1 緒 言

我が国では、ベースロード用の原子力発電プラントの増加に伴い、昭和50年代以降に新設された火力発電プラントは中間負荷運用設計が主流になっている。超臨界圧貫流変圧運転ボイラは、このニーズに合致するとともに、特に大容量化に適することから、大幅な電力需要変動に対応する発電所に最適な形式と言える^{1),2)}。

また、需要地に隣接する都市形プラントでは、十分な環境保全対策が不可欠である。従来はバーナの改良、環境装置の設置、気体燃料の使用などによって対応してきたが、新しく建設されるプラントでは、更に環境保全対策の強化が必要になった。

このような背景から、バブコック日立株式会社では貫流変圧ボイラの大容量化、低NOx(窒素酸化物)技術の開発に早くから着手し、このたび東京電力株式会社納め東扇島火力発電所1号ボイラに採用して、その結果を試運転で確認した。

本論文では、本ボイラの計画概要と試運転結果の一部について紹介する。

2 大容量貫流変圧運転ボイラの設計

東京電力株式会社東扇島火力発電所1号ボイラ(以下、東扇島1号ボイラと言う。)は、単機容量としては世界最大の変圧運転ボイラである。ここに、本ボイラの基本計画概要と大容量化への対応策について述べる。

2.1 基本計画概要

ボイラ主要仕様を表1に、ボイラ全体図を図1に示す。蒸気条件は、国内の超臨界圧ボイラの標準的な値を採用している。

表1 ボイラ主要仕様 東京電力株式会社東扇島火力発電所1号ボイラの主要仕様を示す。

項 目			仕 様
ボ イ ラ 形 式			バブコック超臨界圧貫流変圧ベンソンボイラ
最大連続負荷時	蒸気流量	主 蒸 気	3,060t/h
		再 熱 蒸 気	2,593t/h
	蒸気圧力	過熱器出口	255kg/cm ²
		再熱器出口	44kg/cm ²
		再熱器入口	46.7kg/cm ²
	蒸気温度	過熱器出口	542℃
		再熱器出口	567℃
		再熱器入口	301℃
	給水温度	節炭器入口	281℃
最高使用圧力		過熱器出口	274kg/cm ²
		再熱器出口	60kg/cm ²
燃 焼 方 式		LNG専焼, 対向燃焼	
通 風 方 式		強圧通風	
蒸 気 温 度 制 御 方 式	主 蒸 気	給水燃料比率及び二段過熱低減器	
	再 熱 蒸 気	ガス再循環, パラレルダンパ及び過熱低減器(非常用)	
蒸 気 温 度 制 御 範 囲	主 蒸 気	25～100%MCR	
	再 熱 蒸 気	35～100%MCR	
起動時熱回収システム			ボイラ再循環ポンプ方式
押 込 通 風 機			二段動翼可変軸流式
ガ ス 再 循 環 通 風 機			両吸込形遠心式(流体継手付き)

注：略語説明 MCR(Maximum Continuous Rating)

* バブコック日立株式会社呉工場 ** 日立製作所大みか工場

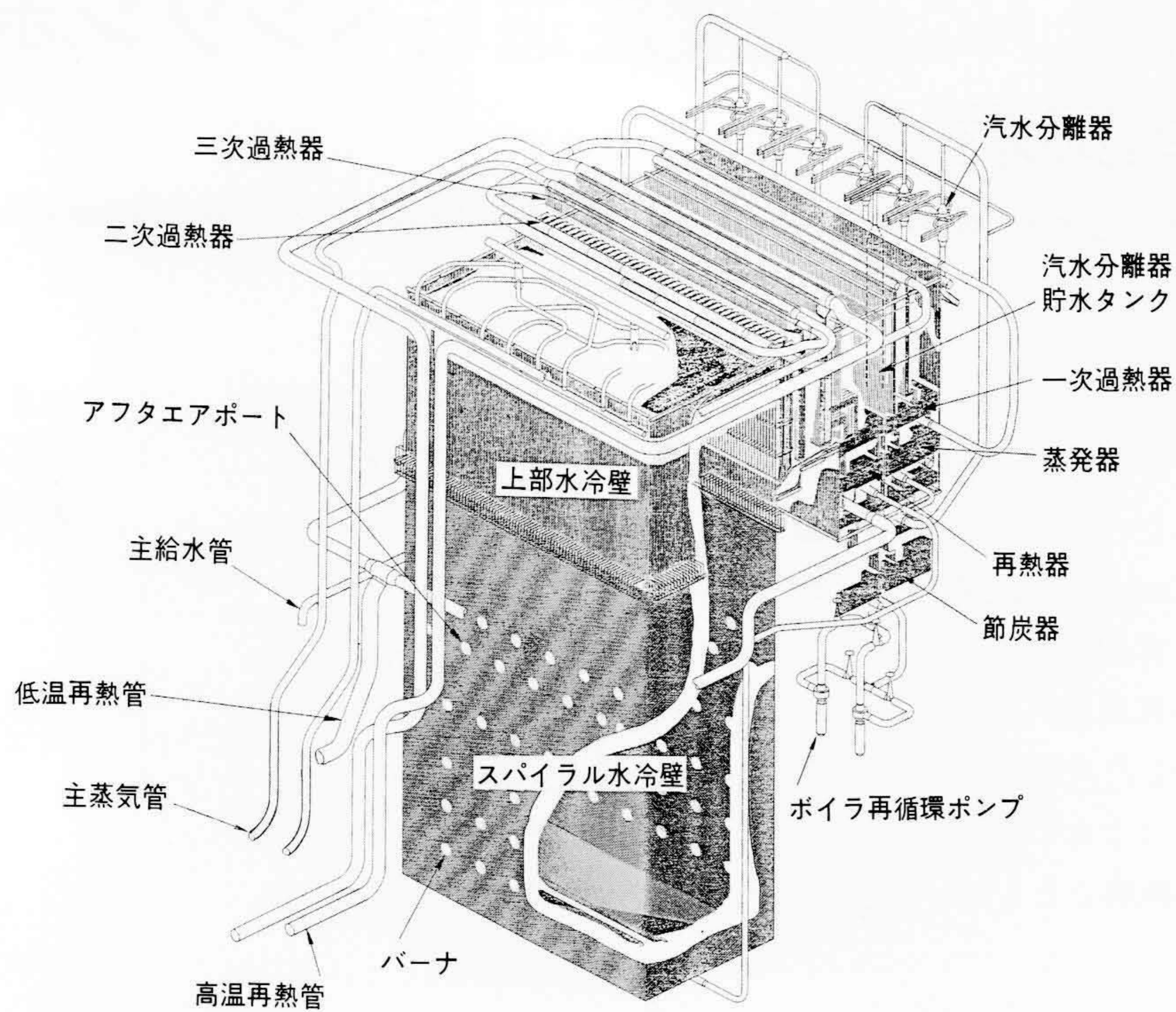


図1 ボイラ全体図 ボイラ耐圧部の立体図を示す。

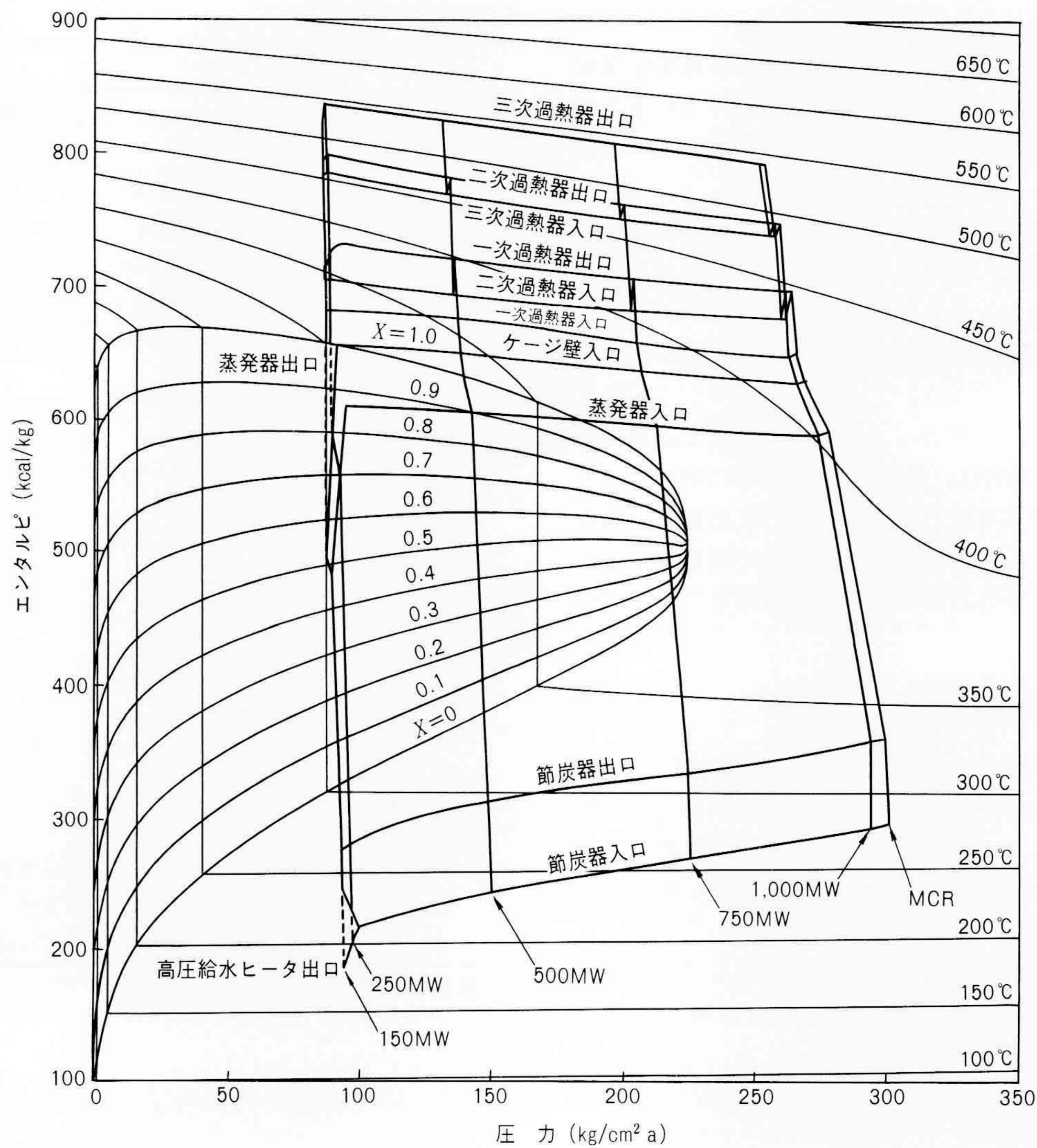


図2 エンタルピー-圧力線図 各負荷での各部のエンタルピー、圧力及び温度を示す。3弁変圧方式により主蒸気圧力が85 kg/cm²~246kg/cm²の範囲で変化する。

再熱蒸気温度制御には、蒸気温度制御とNO_x制御の分離及び部分負荷時の蒸気温度制御の改善を図るため、ガス再循環方式とパラレルダンパ方式を併用している。蒸気、給水のエンタルピー-圧力線図を図2に示す。変圧パターンは、国内で最も実績の多い3弁変圧方式である。設計最低貫流負荷は28% MCR (Maximum Continuous Rating) とし、15% ECR (Economical Continuous Rating) の最低負荷では循環運転とする計画とした。

2.2 大容量化への対応策

本ボイラを計画する上で、特に大容量化に対して考慮した事項を以下に列挙する。

- (1) 構造が簡単で大容量化に適したフラット火炉ホッパを採用
- (2) 図3に示すように、火炉幅が既設変圧運転ベンソンボイラに比べて7～10m増大するため、剛性強化を目的としてスパイラル水壁管外径のサイズアップ、及びトラス形水平バックステー構造を採用
- (3) 水壁管応力評価によって火炉荷重支持方法を頂部、底部の2点支持方式に変更(図4)
- (4) スパイラル水冷壁への給水配分を均一化
- (5) 汽水分離特性と貯水タンクレベル制御性を考慮し、6個の汽水分離器と1本の大径貯水タンク(図5)の組合せを採用

3 制御計画

バブコック日立株式会社は、超臨界圧貫流変圧運転ボイラとして、既に油燃焼3プラント、ガス燃焼1プラントを納入し、変圧運転ボイラの制御技術としての基盤を確立している。しかし、本ボイラは世界初の大容量低NO_x燃焼ボイラ設備であることから、制御計画に多くの特徴を持っている。以下に燃焼制御面の計画内容について紹介する。

3.1 システム構成

図6に本ボイラの制御システム構成の概要を示す。本ボイ

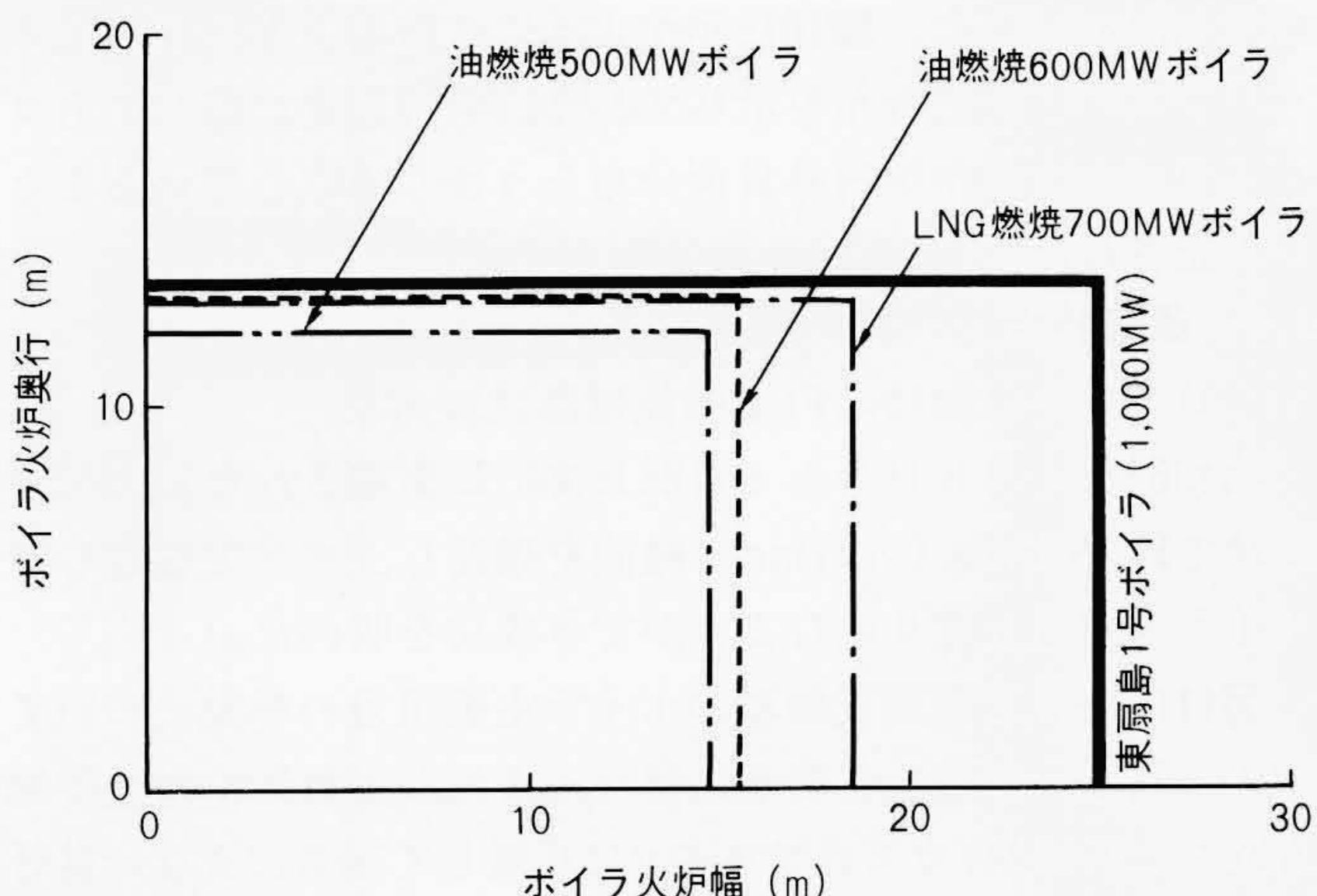


図3 変圧運転ベンソンボイラの火炉断面比較 本ボイラの火炉断面サイズは、既設ベンソンボイラに比べて特に火炉幅が広がっていることが分かる。

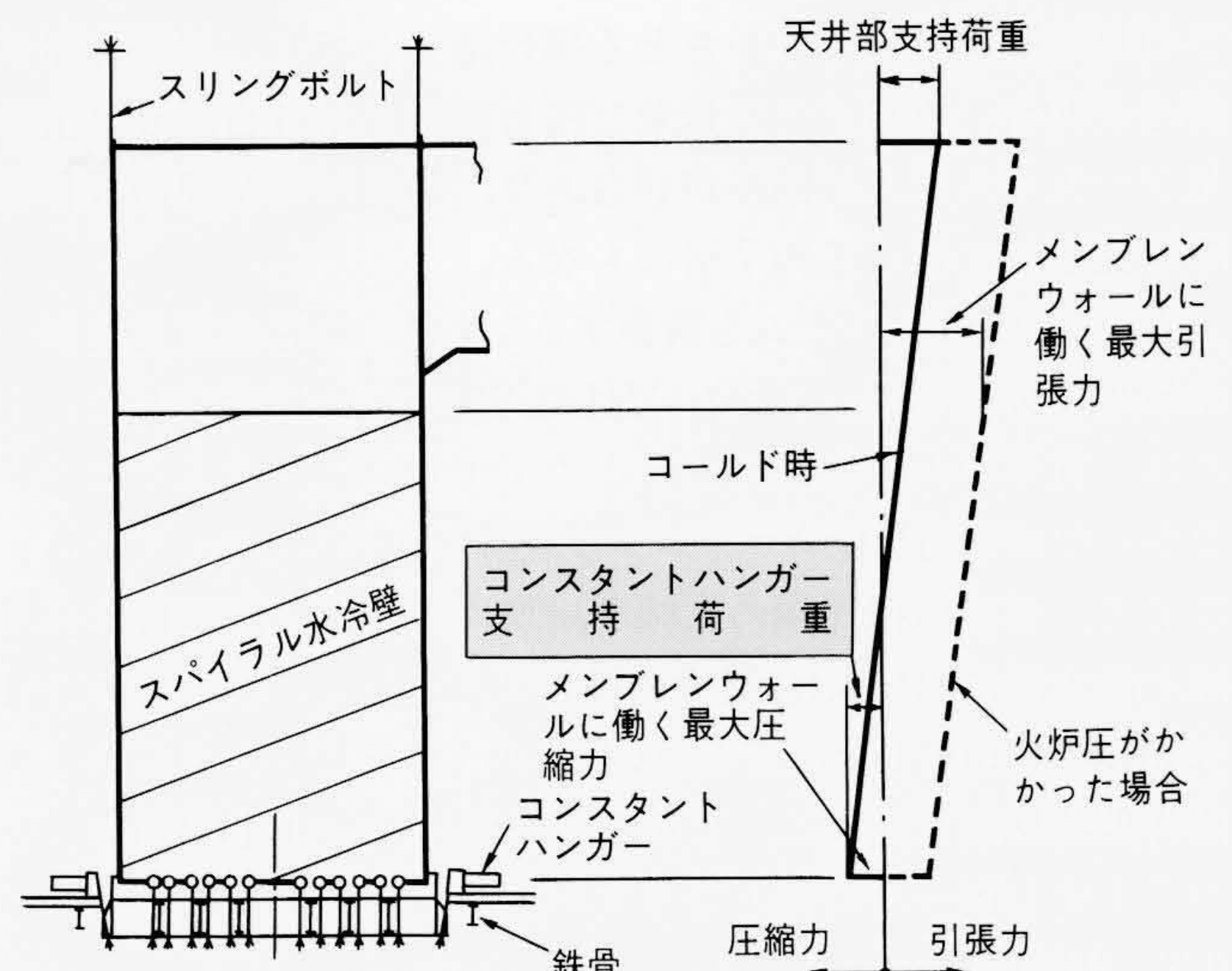


図4 スパイラル水冷壁サポート配置と荷重分布 従来は頂部、中間部、底部の3点支持方式を採用していたが、応力評価によって2点支持方式に改善した。

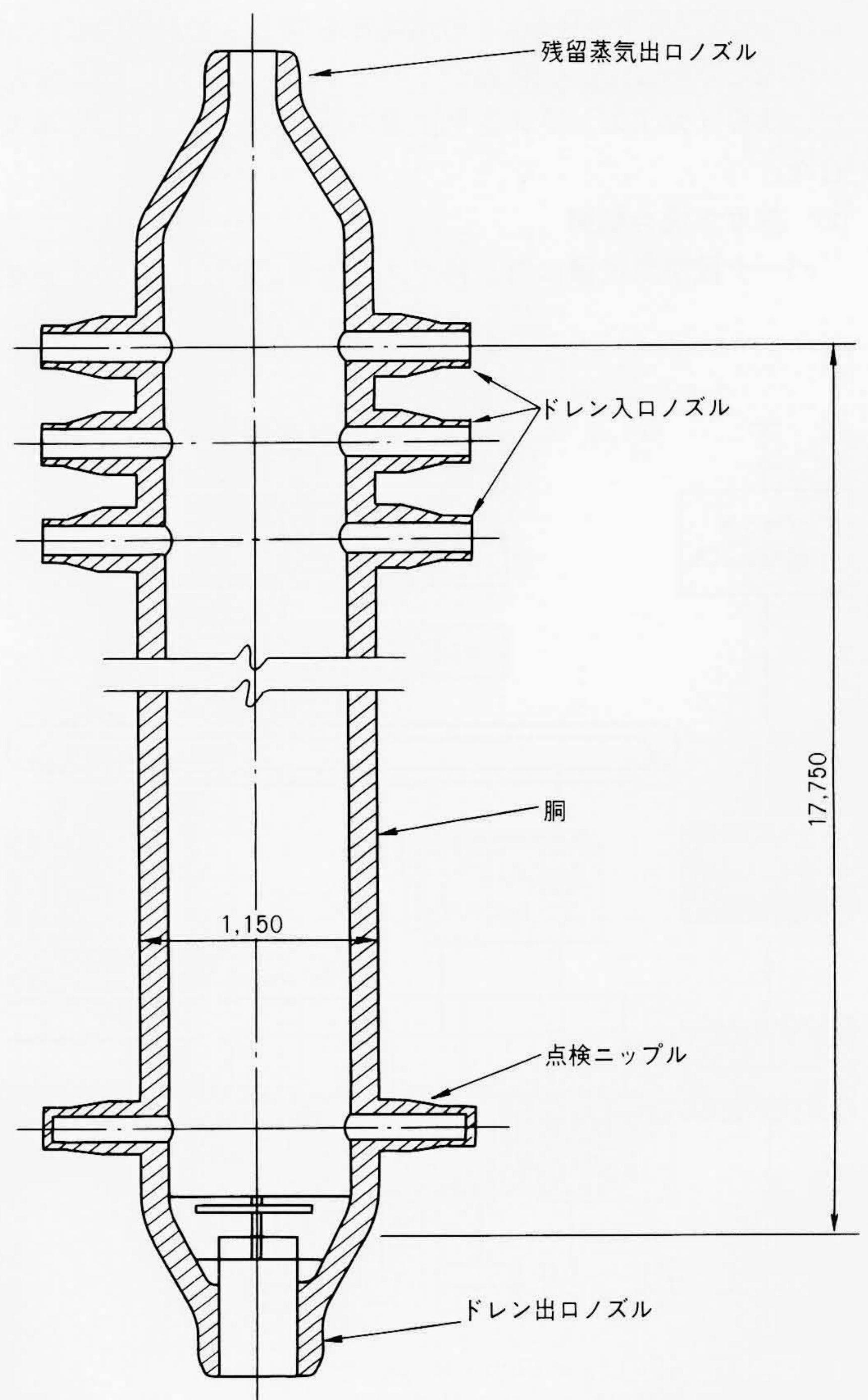


図5 貯水タンク断面図 6個の汽水分離器から排出されたドレンを、1本の大形貯水タンクに集めてレベル制御を行う。

ラの燃焼制御系統をつかさどる操作端としては、空気流量制御系が30台、燃料ガス流量及び圧力制御系が6台、ガス混合及び一次ガス注入制御系が40台あり、燃焼制御関連の操作端数が従来に比較して約7倍にもなる。

これらの制御システムを構築するために、機能階層自立形・系統単位分散制御システム“HIACS3000”が開発された。これは、従来の火力発電プラントのアナログシステムではできなかった画期的な総合デジタル制御システムとなっている。加えて、前述の操作端の大幅な増加に対して、計算機支援技術を最大限に取り入れ、従来の操作ステーションを計算機CRT(Cathode Ray Tube)で行うCRTオペレーションを採用して操作監視機能を充実し、しかも監視盤(従来のBTG盤)のコンパクト化も図った計画となっている。

3.2 制御概要

NOxを抑制するためには、燃料制御、空気制御、バーナ点消火制御、排ガス混合制御、一次ガス制御及び過剰空気率制御を相互に十分協調のとれた制御方式とすることが重要である。

(1) 空気流量制御

各バーナ段の燃料流量に応じて適正な空燃比を維持させ、しかも空気流量全体としての追従性を向上させるために、バーナ段ごとの燃料流量に基づくバーナ点消火時の補正を含んだ、各ウインドボックス空気流量の動的バランス制御を導入した。

(2) 排ガス混合制御

バーナ段空気流量に対し排ガス混合量の追従性を向上させ

るために、空気流量制御と協調したバーナ点消火補正を含んだ、各段ウインドボックスガス混合の動的バランス制御と、各バーナ段ウインドボックスO₂濃度による適正ガス混合比を維持するためのフィードバック制御を導入した。

(3) NOxマスタステーションの採用

各ダンパ操作量とNOx抑制効果量を把握し、運用NOx設定を連続的に設定可能とするために、NOxレベルにより各操作端の制御設定値、及び操作量を補正できる回路を採用した。このシステムにより、NOx管理のための制御の一元化が図られている。図7に燃焼制御の概略系統を示す。

(4) 蒸気温度制御

前述の燃焼制御の追従性と安定性を維持しながら、しかも貫流変圧運転ボイラの特質を生かすために、ボイラ蒸気温度モデルを考慮した予測適応制御を以下の制御に採り入れている。

(a) 水燃比制御(主蒸気温度制御)

(b) 過熱器スプレー制御(主蒸気温度制御)

(c) 過熱器・再熱器ガス分配ダンパ制御及び再熱器スプレー制御(再熱蒸気温度制御)

(5) その他

前記(4)以外に制御性の改善策として、デジタル制御機能ならではのプロセス特性にマッチしたボイラ入力加速指令の適用が図られている。

4 試運転実績

本ボイラは昭和62年2月に火入れをして以来約7箇月間試運転を行い、昭和62年9月に営業運転に入った。ここでは試運転実績について紹介する。

4.1 燃焼特性

燃焼調整(静特性)段階で得られたデータについて紹介する。図8に、各負荷でのNOxと節炭器出口O₂の実績を示す。部分負荷時にも定格負荷時と同様低いNOxレベルを維持できることを確認した。

4.2 蒸気温度・メタル温度特性

各負荷での蒸気温度静特性を図9に示す。いずれの負荷でも蒸気温度は予想と良い一致を示しており、蒸気温度予測の精度が高いことが分かる。またスパイラル水冷壁出口メタル温度(非加熱部)も、図10に示すように各負荷とも非常に良くバランスのとれた分布を示しており、大容量化に際してもスパイラル水冷壁が炉内熱負荷分布をうまく吸収していることが実証された。

4.3 運転特性

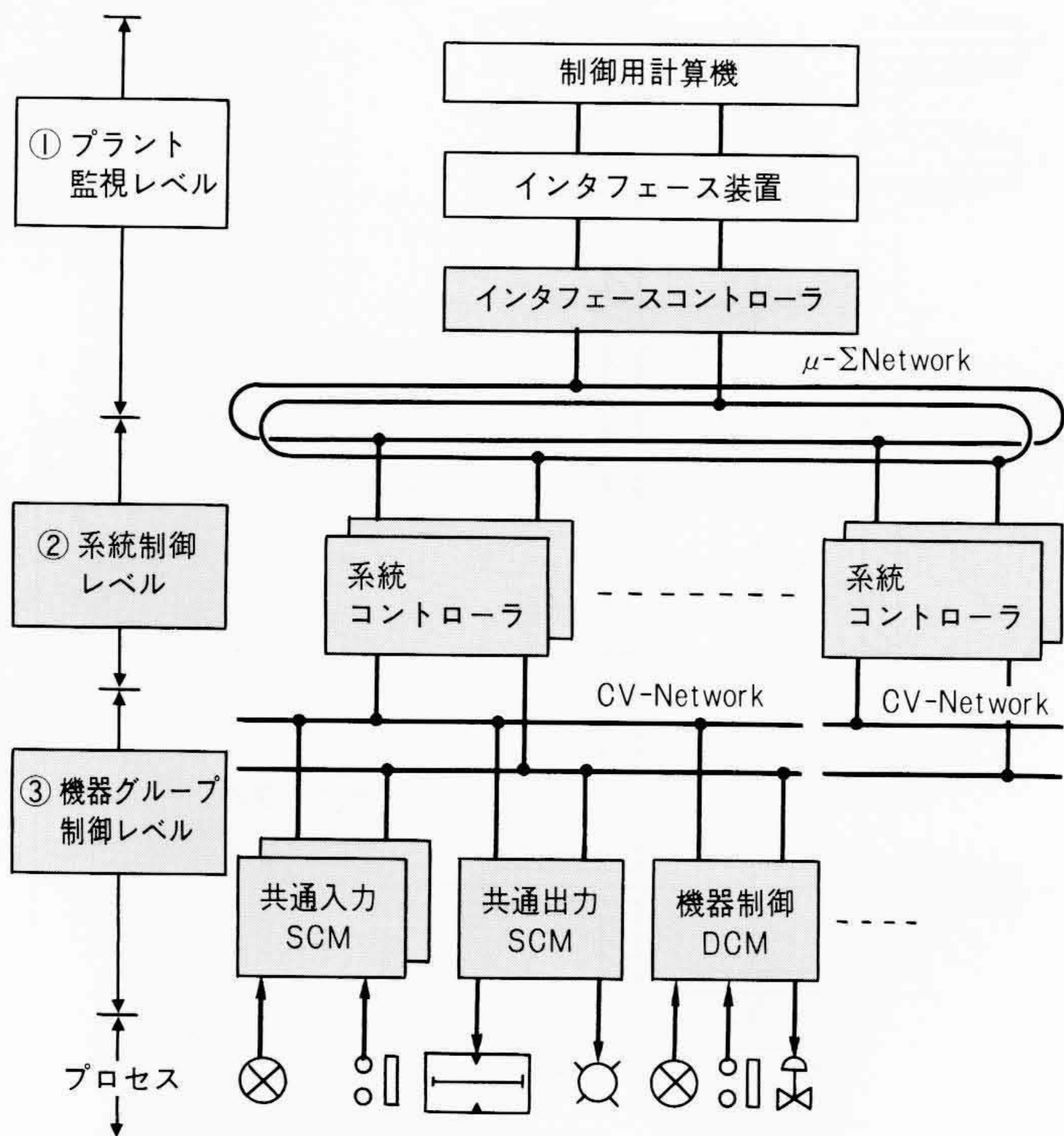
(1) 負荷遮断試験時のFCB機能確認試験結果

昭和62年4月8日から4月28日までに実施された負荷遮断試験でFCB(Fast Cut Back)機能を確認し、すべて安定してボイラ入力量を絞り込むことができ成功を収めた。

図11に $\frac{4}{4}$ 負荷遮断試験時のボイラ主要項目の挙動について示す。給水、燃料とも安定に絞り込まれ、主蒸気圧力上昇幅も既設1,000MWガス燃焼ボイラに比較して非常に少ない良好な結果が確認できた。

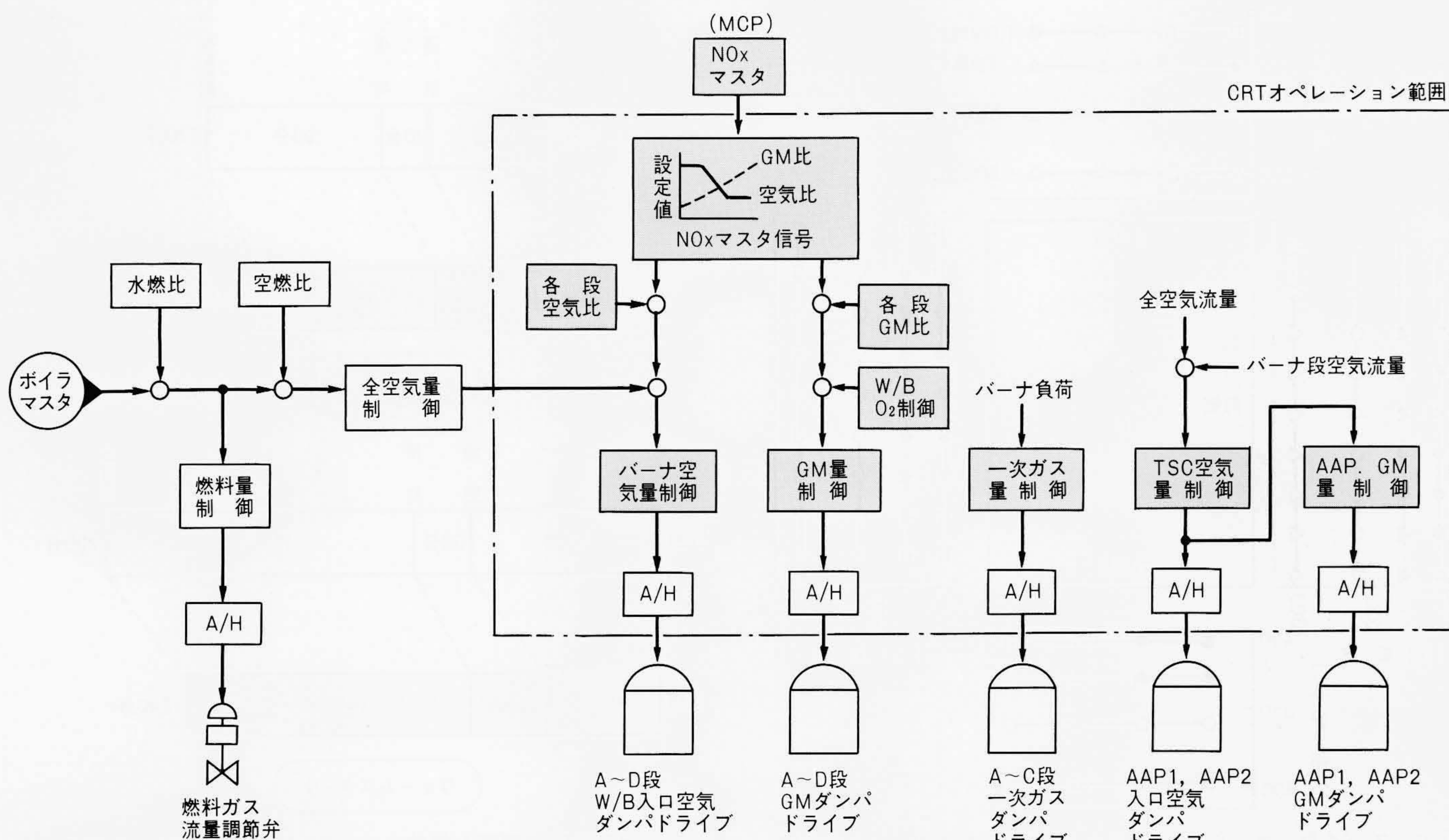
(2) 起動・停止試験結果

図12に起動時間の計画と実績の比較を示す。このように、



注：略語説明 SCM(Signal Control Module)
DCM(Drive Control Module)

図6 制御システム構成 制御系統単位にコントローラを分散化し、有機的に結合させた系統機器単位分散システム構成としている。



注：略語説明 MCP(主制御盤)、A/H(手動・自動切替器)、TSC(二段燃焼)、AAP(アフタエアポート)、GM(ガス混合)、W/B(ウインドボックス)

図7 燃烧制御概略系統図 NOxマスタステーションにより運用NOx値を連続的に設定可能とした。

ホットスタート(8時間停止後起動、計画値170分)、ウォームスタート(32時間停止後起動、計画値290分)いずれの場合にも計画値を満足する結果が得られている。特にボイラ側の特性が支配的となる点火～通気時間については、起動バイパス系

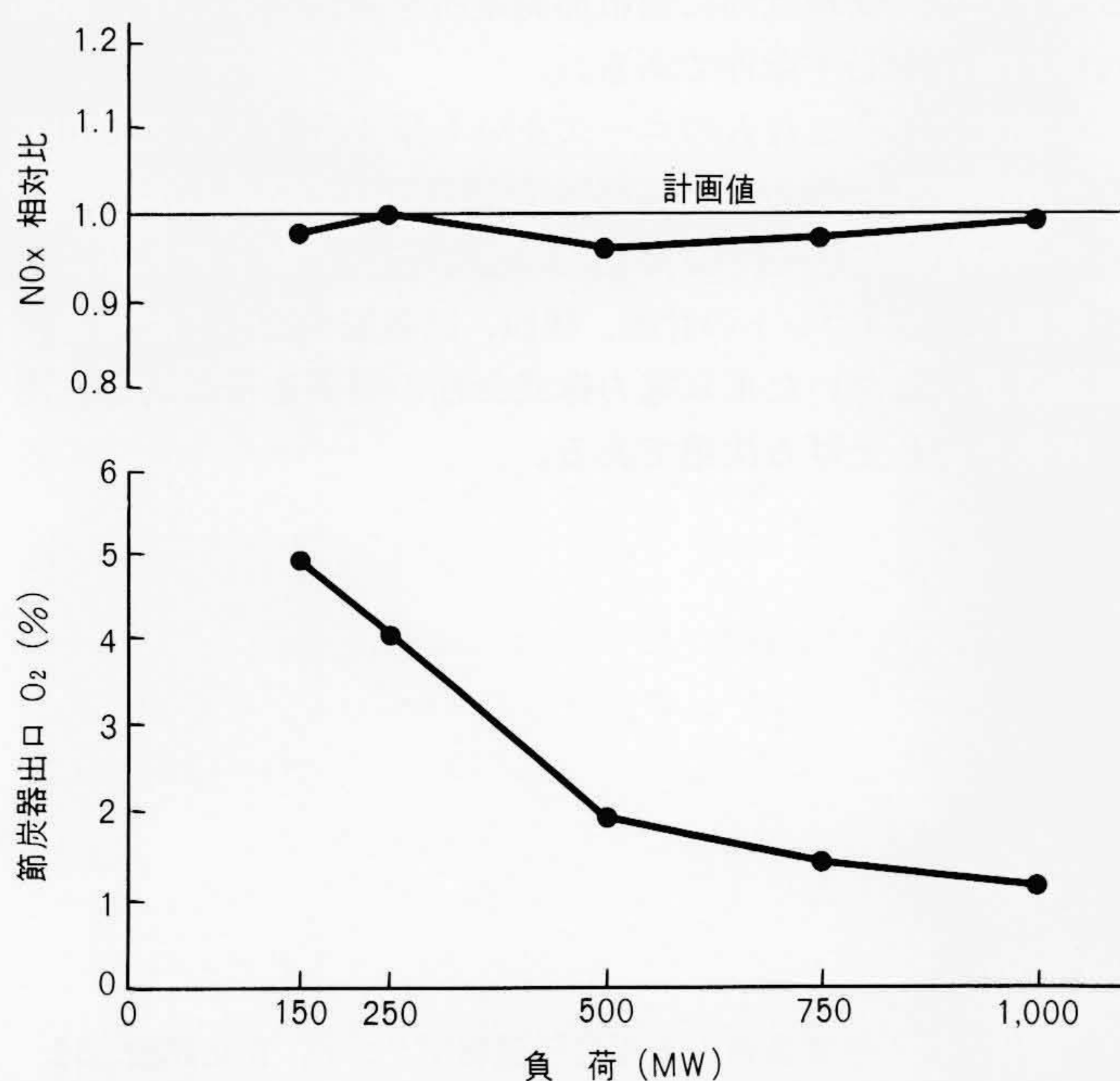
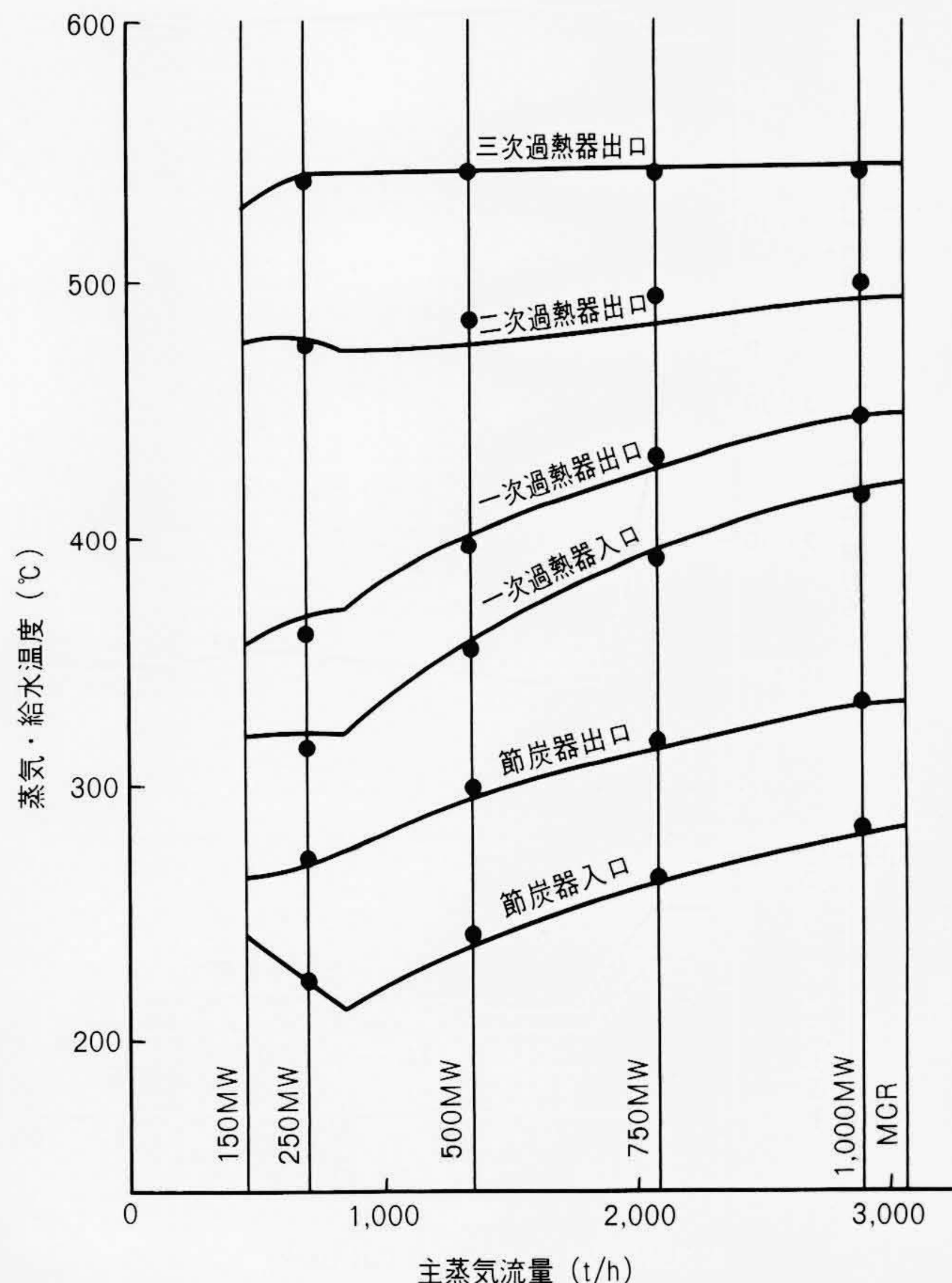


図8 各負荷でのNOx及び節炭器出口O₂の実績例 最低負荷(150MW)～定格負荷(1,000MW)の各負荷で、低いNOxレベルを維持できることが確認された。



注：——計画、●実績

図9 蒸気温度特性 各負荷とも計画どおりの特性を示している。

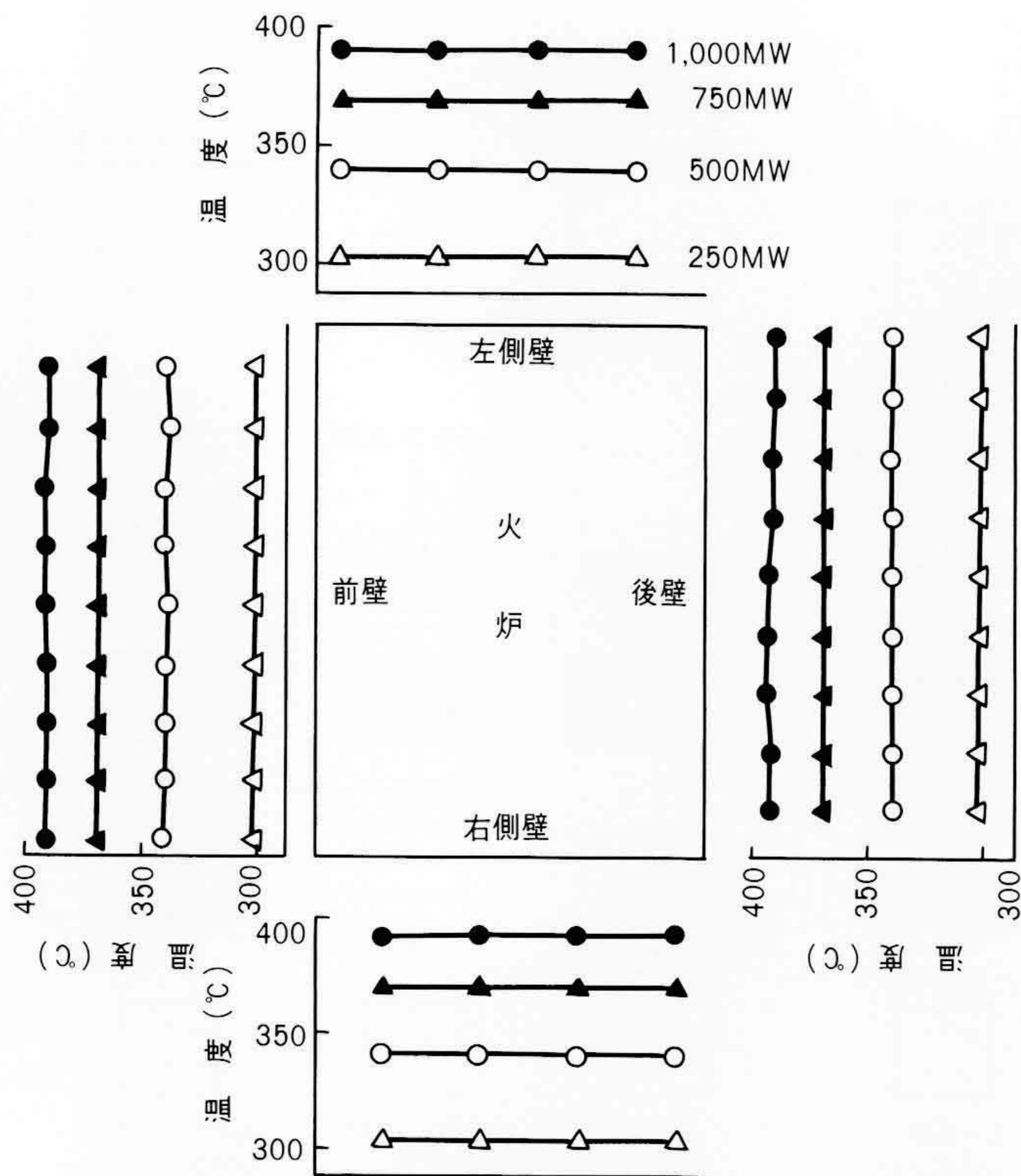
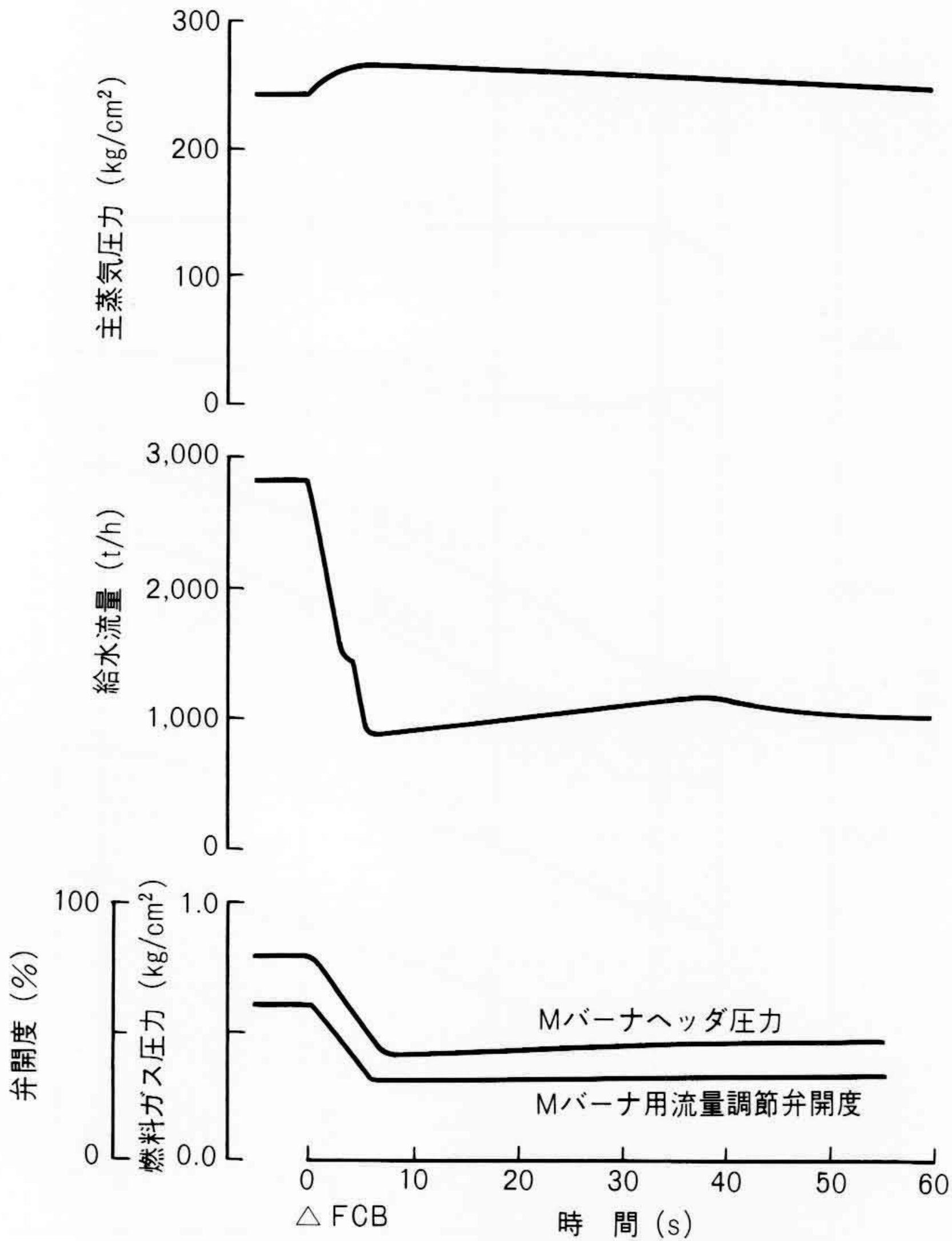


図10 スパイラル水冷壁出口メタル温度(非加熱部) 各負荷ともバランスのとれた温度分布を示している。炉内熱負荷分布をよく吸収していることが分かる。



注：略語説明 FCB(Fast Cut Back)

図11 1/4 FCB時のボイラ主要項目の挙動 給水、燃料ともに安定に絞り込まれている。主蒸気圧力の上昇幅も非常に少ない。

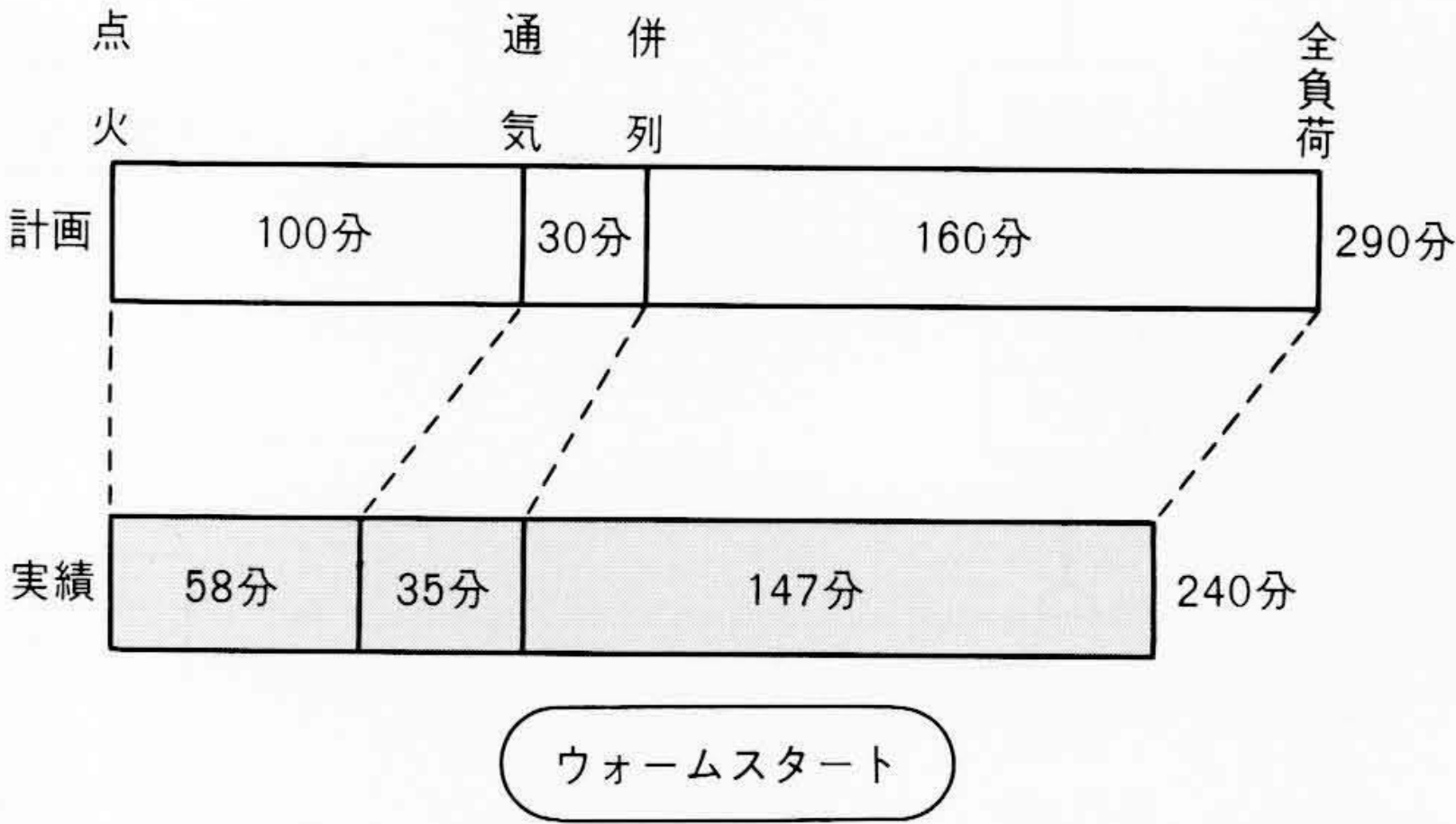
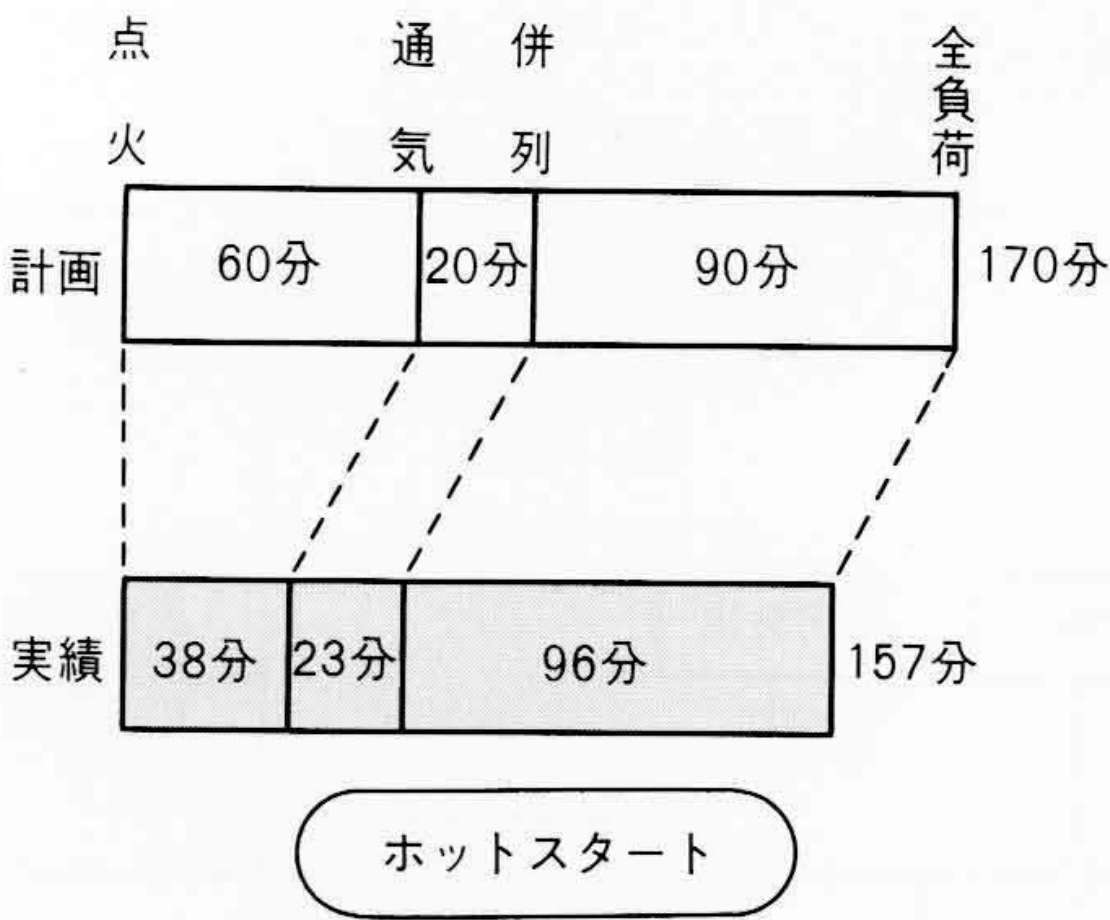


図12 起動時間の計画と実績 いずれの起動モードでも計画値以内の時間で起動できることが確認された。

統の操作改善により蒸気条件を早期に確立し、起動時間の短縮を図ることができた。

5 結 言

今後の火力発電プラントは、大幅な電力需要変動に対応するためにますます大容量中間負荷運用へ移行すると考えられる。また大需要地近郊に都市形発電所を設置するには、環境対策の強化が必ず条件である。

本論文では、これらのニーズをいち早く取り入れて実用化した最新プラントの計画と運転実績について紹介したが、今後データを蓄積して、更に改良を加えていく考えである。

最後に、本プラントの計画、建設、試運転に関して御指導、御協力をいただいた東京電力株式会社の関係各位に対し、厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

1) 上野, 外: 中間負荷火力用変圧運転プラント, 日立評論, 59, 4, 265~268(昭52-4)
2) 高山, 外: 中間負荷運用石炭燃焼ベンソンボイラ, 日立評論, 62, 4, 247~252(昭55-4)