

LNG 焚き 1,000MW 発電設備用ボイラの完成

Completion of Large Capacity LNG Fired Boiler

最近、環境対策の一つとして、燃料転換が進められており、LNG もクリーンエネルギーの一つとして挙げられ脚光を浴びているが、このたび先に完成した重油焚き 1,000MW 用ボイラの経験を生かして計画された 1,000MW 発電設備用 3,110 t/h, LNG 専焼ボイラが完成した。

試運転の結果、ボイラ性能、環境対策など計画に当たって考慮した事項は、すべて満足される結果が得られた。

本論文では、計画上考慮した点及び留意を払った点について紹介するとともに、運転実績を評価し併せてそれらに考察を加えた。

米田 豊* Yoneda Yutaka
前田政勝* Maeda Masakatsu
折本 学* Orimoto Manabu
渡部恒夫* Watanabe Tsunao

1 緒 言

最近、環境対策の一つとして燃料転換が進められており、液化天然ガス(以下、LNG と略す)もクリーンエネルギーの一つとして急速に需要が増加している。また、石油危機以来、エネルギーコストの上昇が続く、火力発電用プラントは経済性追求のため、大容量・高効率化を進められてきているが、今回バブコック日立株式会社は、東京電力株式会社袖ヶ浦火力発電所 3 号缶として、ガス焚き用としては世界最大容量級の 1,000MW 発電設備用 3,110 t/h, LNG 専焼ボイラを納入した。

本ボイラの製作計画に当たっては、先に完成した重原油焚き 1,000MW 用ボイラでの経験を生かして計画を進めたが、ここに本ボイラの計画上の考慮点、及び試運転結果について紹介し参考に供したい。

2 LNG ボイラの特徴

LNG は、天然ガスを液化したもので、実際に燃料として使用されるときは再気化されて使用されるため、ボイラとしては、基本的には天然ガス焚きと同じである。LNG を発電用として使用したのは我が国が世界で最初であり、LNG 焚きボイラは従来の重原油焚きボイラに比べ次のような特徴がある。

- (1) 燃料中に硫黄分を全く含まず、したがって、硫黄酸化物の発生がなく、また煤塵の発生もない。窒素酸化物(以下、NO_x と略す)は適切な対策により重原油焚きボイラの約 1/2 に減少できる。
- (2) 燃料中にバナジウムや硫黄分を含まないため、高温腐食や低温腐食の心配がない。したがって、耐食鋼の使用が少なく済む。また、再生式空気予熱器の低温端エレメント温度保持のための蒸気式空気予熱器が不要である。
- (3) バーナ点火用として、主系統から分岐したガスが使用できるため、重原油焚きの軽油系統のような独立した点火用系統が不要である。また燃料が LNG 基地から直接高压ガスとして送られてくるので、燃料油ポンプのような設備が不要である。
- (4) 燃焼効率が優れ、灰の生成がないため、伝熱面の汚れもなく高い伝熱効率が得られ、スートブロワや水洗装置も不要である。
- (5) 燃料中に水素含有量が多いため、燃焼により発生する水

分が多く、排ガス中の水分損失が大きくボイラ効率が低下する。これは排ガス温度を重原油焚きボイラより低くとることによりある程度回復を図れるが、それでも重原油焚きボイラに比べボイラ効率は若干低下する。

3 本ボイラの概要

本ボイラは、最大連続負荷時主蒸気流量：3,110 t/h, 主蒸気圧力：246 kg/cm²g, 主蒸気温度：538℃, 再熱蒸気温度：566℃ の 1 段再熱プラント用ボイラである。

本ボイラの主要仕様は次に述べるとおりである。

- (1) ボイラ形式：B & W 超臨界圧 UP ボイラ(屋外形)
- (2) 最大連続負荷時計画要項
蒸発量：3,110 t/h
過熱器出口蒸気圧力：255 kg/cm²g
過熱器出口蒸気温度：543℃
節炭器入口給水温度：281℃
再熱器出口蒸気流量：2,641 t/h
再熱器出口蒸気圧力：43.8 kg/cm²g
再熱器出口蒸気温度：568℃
大気温度：20℃
- (3) 通風方式：圧力通風方式
- (4) 燃焼方式：LNG 及び軽質油両用燃焼
- (5) 蒸気温度制御方式
主 蒸 気：給水/燃料比率及びスプレー水
再熱蒸気：ガス再循環

本ボイラの形式は、アメリカ B & W 社及びバブコック日立株式会社が多くの実績をもつ B & W カロライナ形である。ボイラ側断面図を図 1 に、また計画時の使用燃料仕様を表 1 に示す。

4 本ボイラ計画上の考慮点

4.1 基本計画

- (1) ボイラ性能
天然ガスの火炉での燃焼は、微粉炭や重原油に比べ輝度が低く不輝炎である。このため、火炉での熱吸収量は重原油焚きボイラに比べて少なく、同一ボイラでは重原油焚きに比べ火炉出口ガス温度は 50～100℃ 高くなる。またガス焚きボイラ

* バブコック日立株式会社呉工場

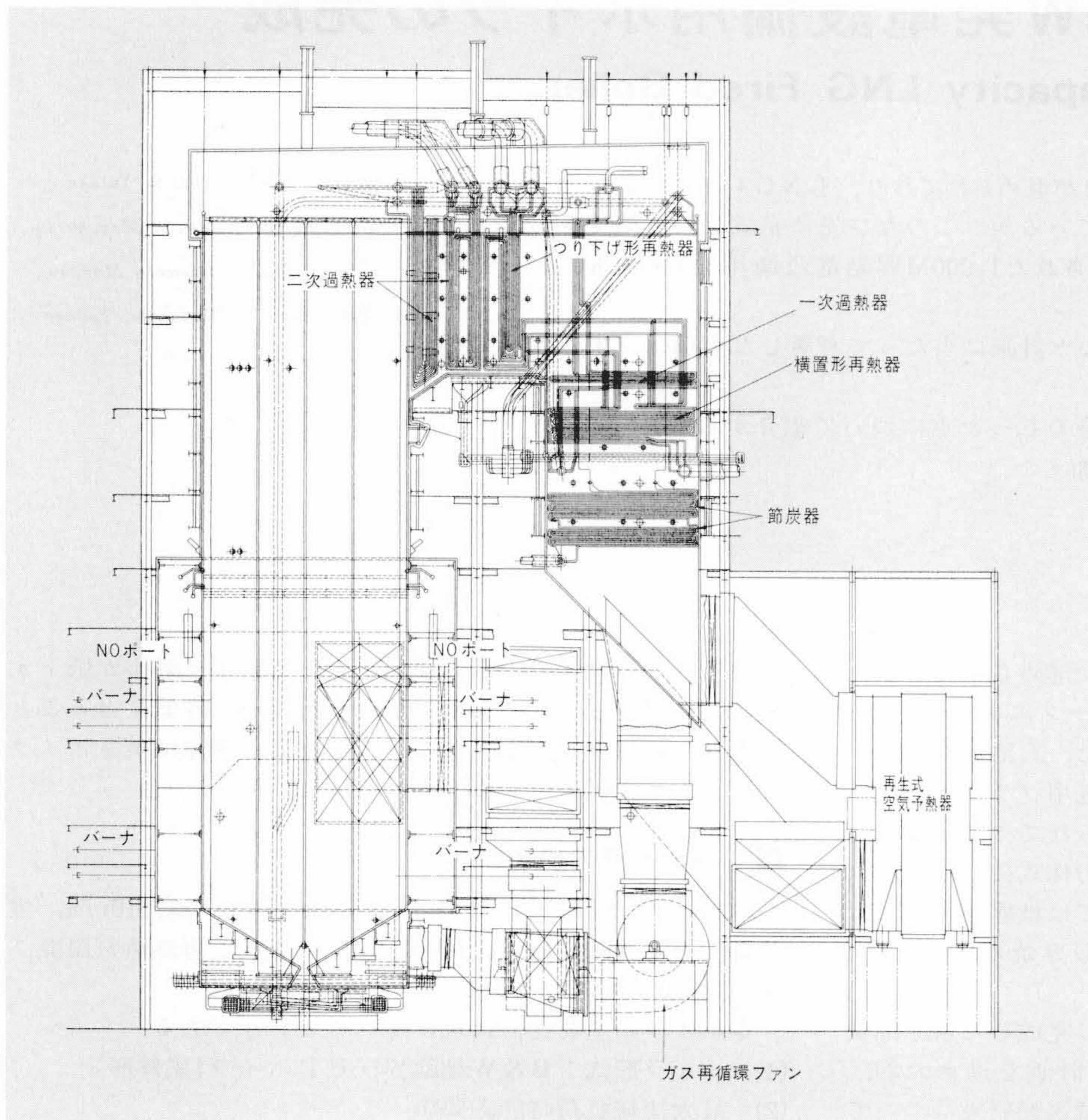


表1 使用燃料の仕様 クリーンエネルギーと言われるLNGは、天然ガスとほぼ同じ性状である。

項 目	仕 様
高位発熱量	10,817kcal/Nm ³
	13,029kcal/kg
低位発熱量	9,764kcal/Nm ³
	11,761kcal/kg
比 重 量	0.8302kg/Nm ³
標準組成(容積)	CH ₄ 88.832%
	C ₂ H ₆ 5.567%
	C ₃ H ₈ 3.711%
	C ₄ H ₁₀ 1.780%
	C ₅ H ₁₂ 0.054%
	N ₂ 0.056%
	CO ₂ —

図1 ボイラ側断面図 大容量ボイラとして実績が最も多いB&Wカロライナ形ボイラである。

では、火炉内熱吸収率分布も重原油焚きボイラのようにバーナ部に集中することなく、平均化している。

また、火炉出口に配置される過熱器、再熱器、節炭器などのいわゆる対流伝熱面での伝熱はガス輻射及び強制対流熱伝達の両者によるが、このうちガス輻射は燃焼ガス中の水蒸気(H₂O)及び炭酸ガス(CO₂)含有率に大きく左右される。すなわち、天然ガスの燃焼ガス中には重原油の燃焼ガスに比べ約40%もH₂Oが多く、逆にCO₂が約40%少ない。しかし、H₂OのほうがCO₂よりガス輻射能が強いので熱伝達率が高くなる。したがって、ボイラ伝熱面の配置にもこのことを十分考慮して計画した。

また前述のように、LNG焚きボイラは燃焼ガス中水分損失が多くボイラ効率が低くなるため、ユニットの経済性を検討した。すなわち、排ガス温度を下げるとボイラ効率は上昇するが、再生式空気予熱器をはじめとして設備費が増加するとともに、再生式空気予熱器低温部などに燃焼ガス中水分の凝縮による水腐食の可能性もあり、保守費などの増加もあり得ることから、プラントとしての総合評価を行ない最適排ガス温度として105℃〔未補正・最大連続負荷(以下、MCRと略す)時〕を採用した。

(2) 火 炉

既設の重原油焚き1,000MWボイラでは、火炉出口に7枚のウイングウォールを設置したが、本ボイラでは火炉ホッパより天井壁に至る1枚の分割壁を設置し、NO_x低減対策としての火炎冷却面積を確保するとともに、火炉出口での炉幅方向のガス温度分布の均一化を図った。

火炉水冷壁流路系統は図2に示すように、分割壁、一次水壁、二次水壁、三次水壁から成り、各パス出口で流体の混合を行ない温度アンバランスを防止して、管壁温度を低く保つ設計となっている(図3参照)。

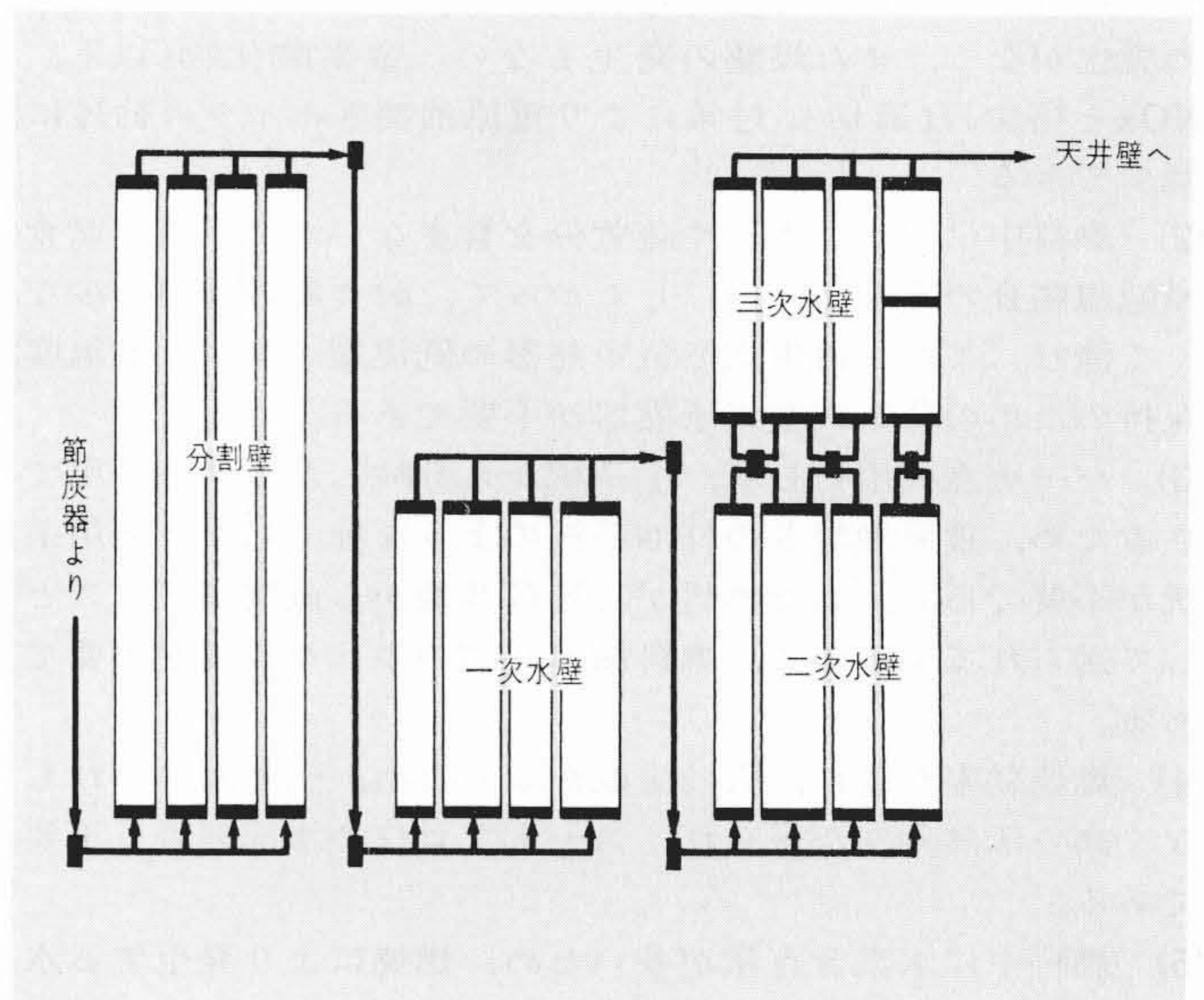


図2 ボイラ火炉水冷壁流路系統図 火炉水冷壁は小さな流路に分割され、きめ細かな流量調整が行なわれるとともに、流路の途中で混合され、温度アンバランスが少なくなるよう配慮されている。

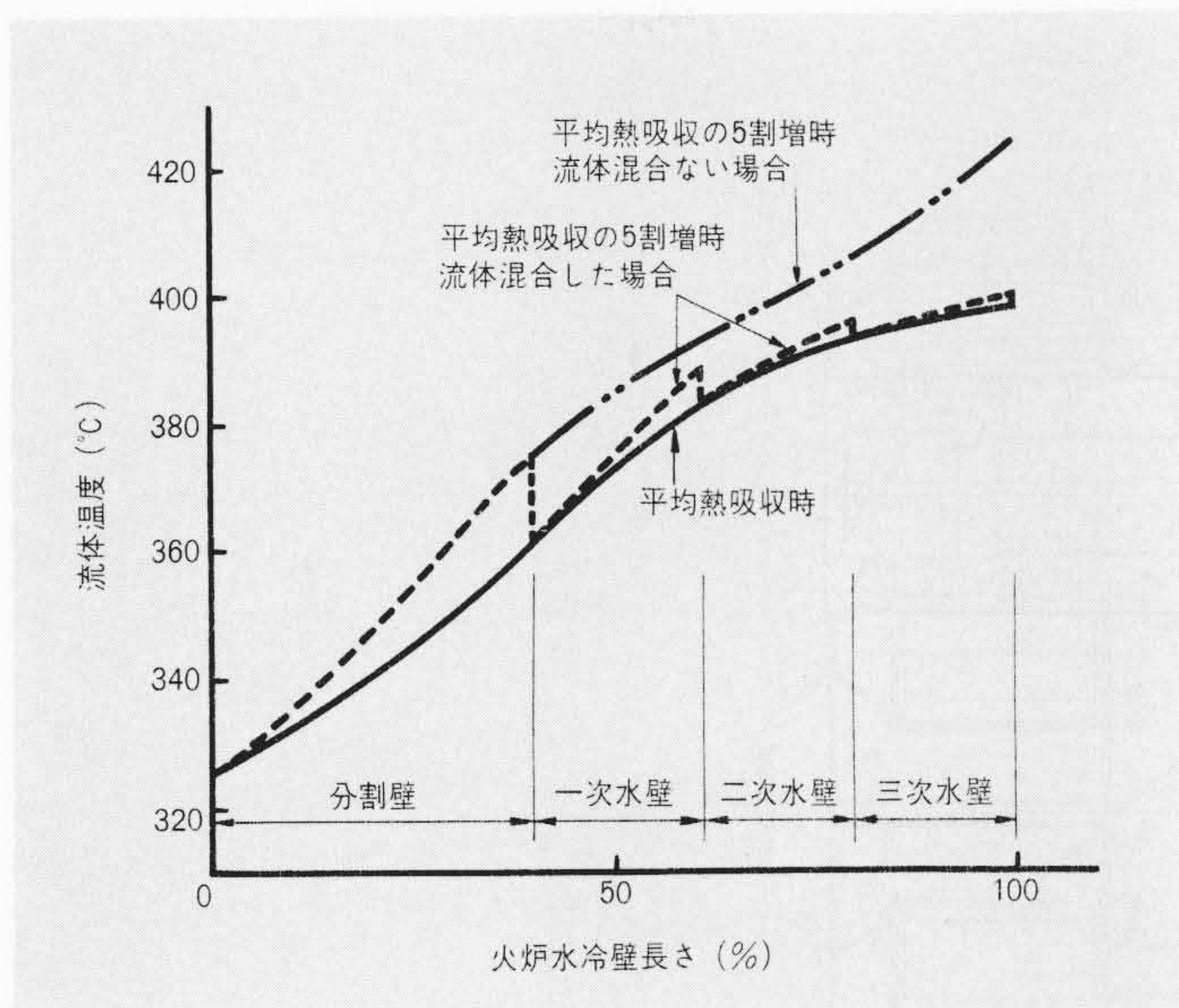


図3 火炉における流体混合の効果 流路の途中で流体が混合されるため、流体温度のアンバランスがなくなり、管壁温度も低く保たれる。

(3) バーナ配置と二次空気配分

火炉が大きくなるにつれて、炉内の高熱源を広範囲に分布させることが必要となる。このため、本ボイラでは前壁と後壁にバーナを設けた対向バーナ配置としている。バーナは2ノズルから成るセルバーナを上下2段に前、後壁各6列配置し、合計48本のバーナである。またウインドボックス内を上下に仕切り上段、下段の空気配分が調整できる構造である。

4.2 ガス燃焼設備

LNG 配管系統を図4に示す。気化装置で気化されたLNG はガス燃料配管によりユニットへ8.5kg/cm²gの圧力で供給された後、主燃料減圧弁にて4.5kg/cm²gに減圧され流量計及び流量調整弁を通してガスバーナへ供給される。LNG 配管系統作成に当たっては、NFPA (National Fired Protection Association) の標準系統を基本として一部改良してある。また配管材質については、設計上ガス温度が-10°Cまで低下しても構造上耐えられるよう低温脆性などを考慮して材質が選

定されている。

バーナはNO_x低減を図るため、B&W社が開発した低NO_x形のデュアルエアレジスタと、8エレメント/ノズルから成るガスバーナを採用した。これらバーナ及びエアレジスタの概略構造を図5に示す。

4.3 環境対策

火力発電用ボイラの環境問題としては大気汚染と騒音がある。

まず大気汚染であるが、LNG 焚きの場合、硫黄酸化物(SO_x)と煤塵はなく問題にならない。したがって、問題はNO_x対策であるが、次のような最新技術を採用して低減に努めた。

- (1) 火炉に分割壁を採用し火炎冷却面積の増加
- (2) 二段燃焼
- (3) バーナ部への排ガス混合
- (4) 低NO_x用特殊バーナ

また、騒音については発電所境界線での騒音を昼間70ホン以下、夜間60ホン以下とするためボイラ本体をはじめ主要補機に防音対策を実施した。特にLNG 焚きボイラということで、ガス燃料配管系統の騒音対策が新しい問題としてクローズアップされ、低騒音弁の採用、消音防音カバーの取付、配管への防音ラギング取付などの対策を実施した。

5 運転実績

昭和51年5月ボイラ火入れ以来、各種試運転を実施し、昭和52年2月官庁立会試験に合格し、無事顧客に引渡しを完了した。次に主な項目について結果を説明する。

5.1 ボイラ性能

昭和52年2月4日から7日までLNG 専焼での受取性能試験を実施した結果、ボイラ室効率はいずれも計画値を上回り良好な結果を得た。すなわち、ボイラ室効率はLNG 専焼1,000MW時での計画効率85.72%対し、実測値は87.09%となり計画値を1.27%上回った。表2に性能試験の結果を示す。

5.2 環境対策結果

ボイラ排ガス中のNO_x対策として前述の対策を実施した結果、予想どおりの成果を確認することができた。また、騒音に対しても発電所境界での規制値を十分満足する結果が得られた。

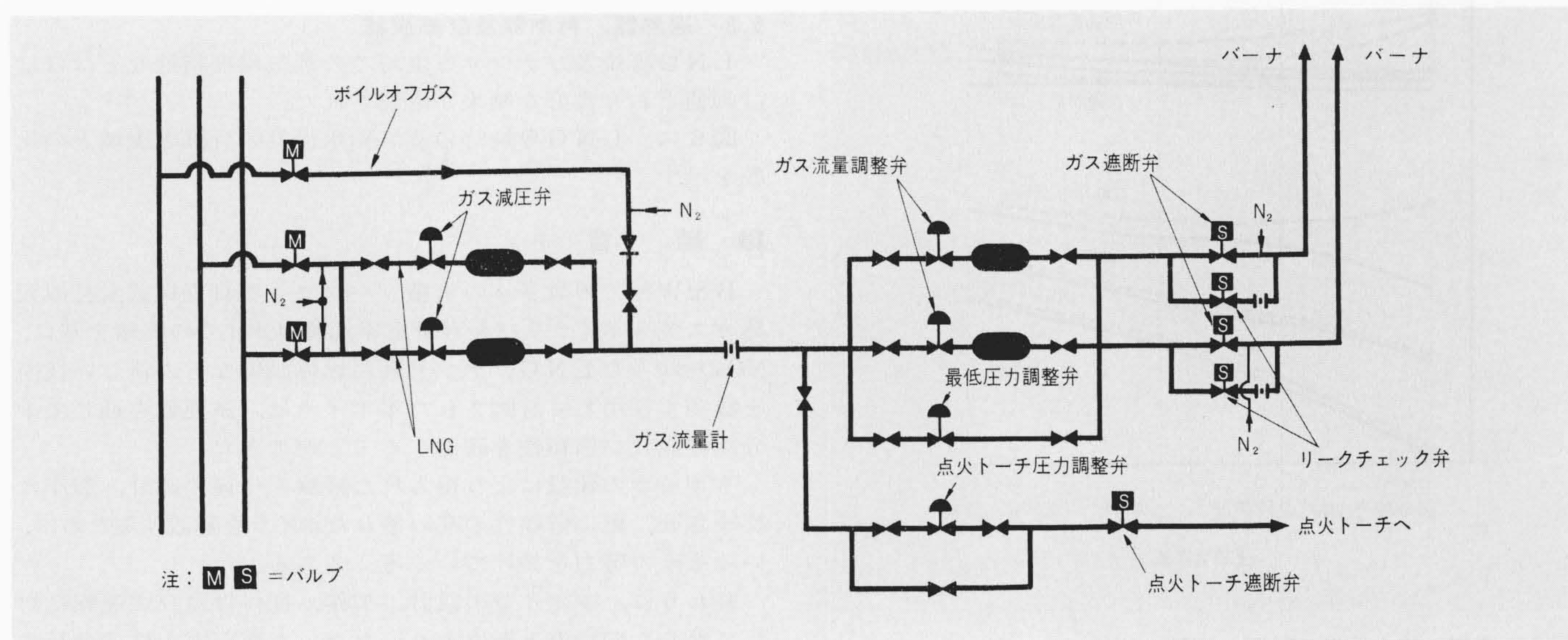


図4 LNG配管系統図 NFPA標準系統を基に、安全性向上のための改良を加えた系統としている。

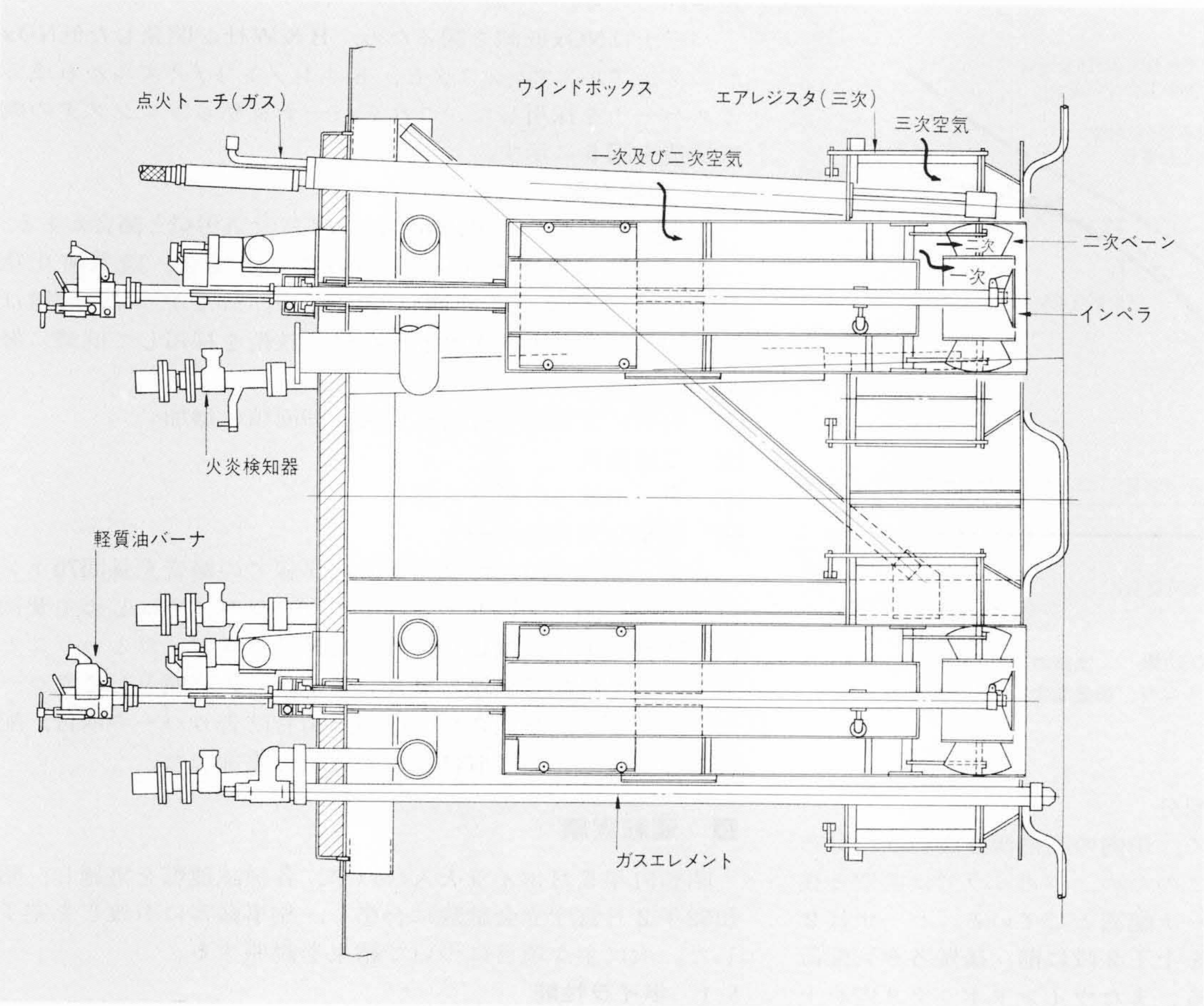


図5 バーナ構造図
低NOx用デュアルエアレジスタを備えた2ノズル1組みのセルバーナである。

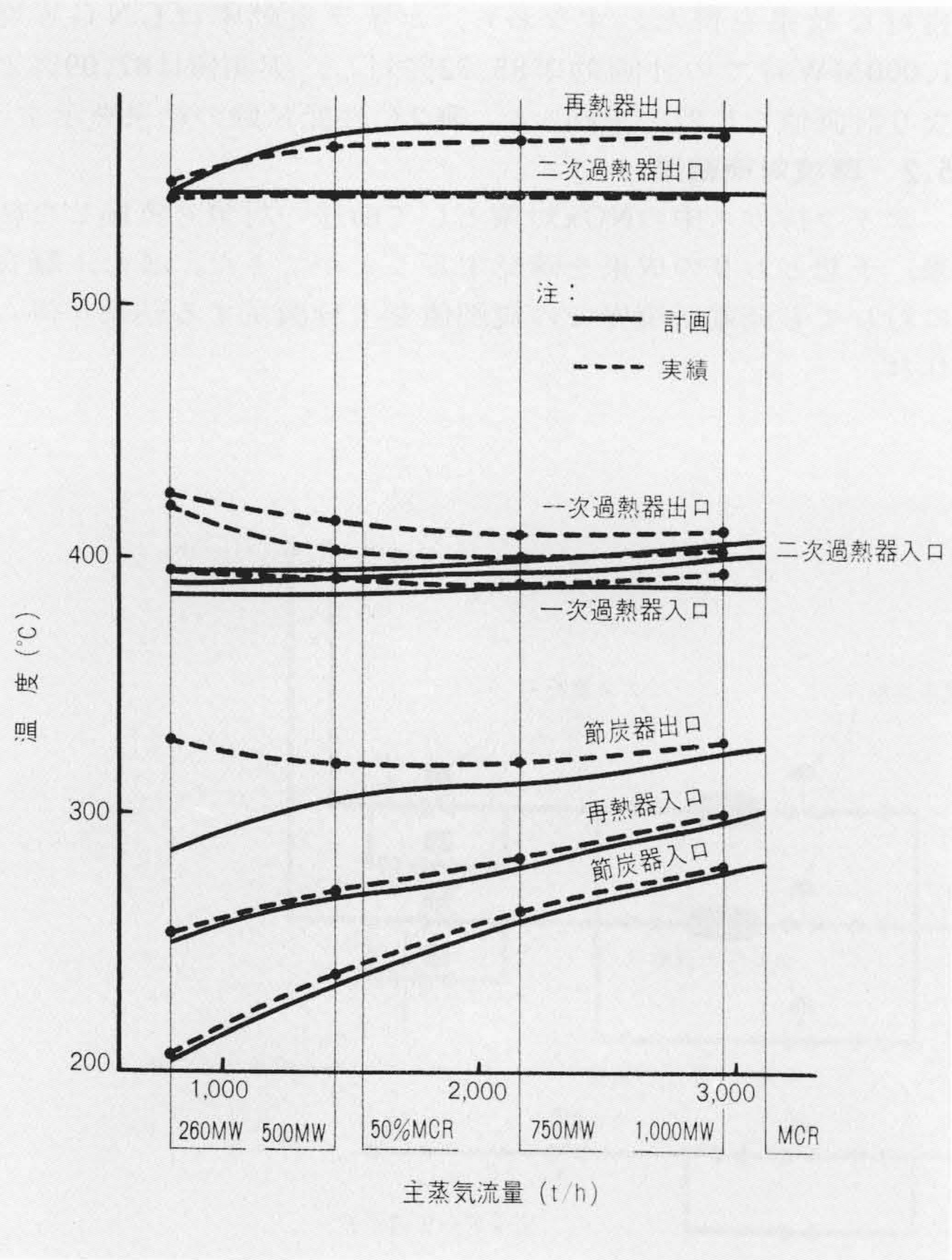


表2 性能試験結果(ボイラ室効率) 性能試験の結果、計画値を1.4～1.7%上回る良好なボイラ室効率が確認された。

負荷(MW)	1,000	750	500
ボイラ室効率(%)			
計画値	85.72	85.81	85.83
実測値 (入出力法)	87.09	87.38	87.52
実測値 (損失法)	86.79	86.86	86.95

5.3 過熱器，再熱器及び節炭器

LNG専焼及びナフサ専焼時での蒸気温度特性などはほぼ計画値どおり良好な結果が確認された。

図6に、LNG専焼時の蒸気給水温度の計画と実績との比較を示す。

6 結 言

B&W社での数多くの実績、バブコック日立株式会社の天然ガス焚きボイラ及び大容量重原油焚きボイラの実績を基に、NOx対策及びLNG、ナフサ両用燃焼設備などの新しい技術を数多く採用して計画された本ボイラは、試運転を通じて十分な性能及び信頼性を確認することができた。

本ボイラの建設により得られた経験を今後の設計、製作に反映させ、更に信頼性の高い優れたボイラを建設するために、いっそうの努力を続けていく考えである。

終わりに、本ボイラの設計、製作、据付け及び試運転に対して熱心な御指導と御協力をいただいた東京電力株式会社の関係各位の御好意に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

図6 蒸気，給水温度の計画と実績の比較 LNG燃焼時の蒸気温度特性は、ほぼ計画値どおりで良好であった。