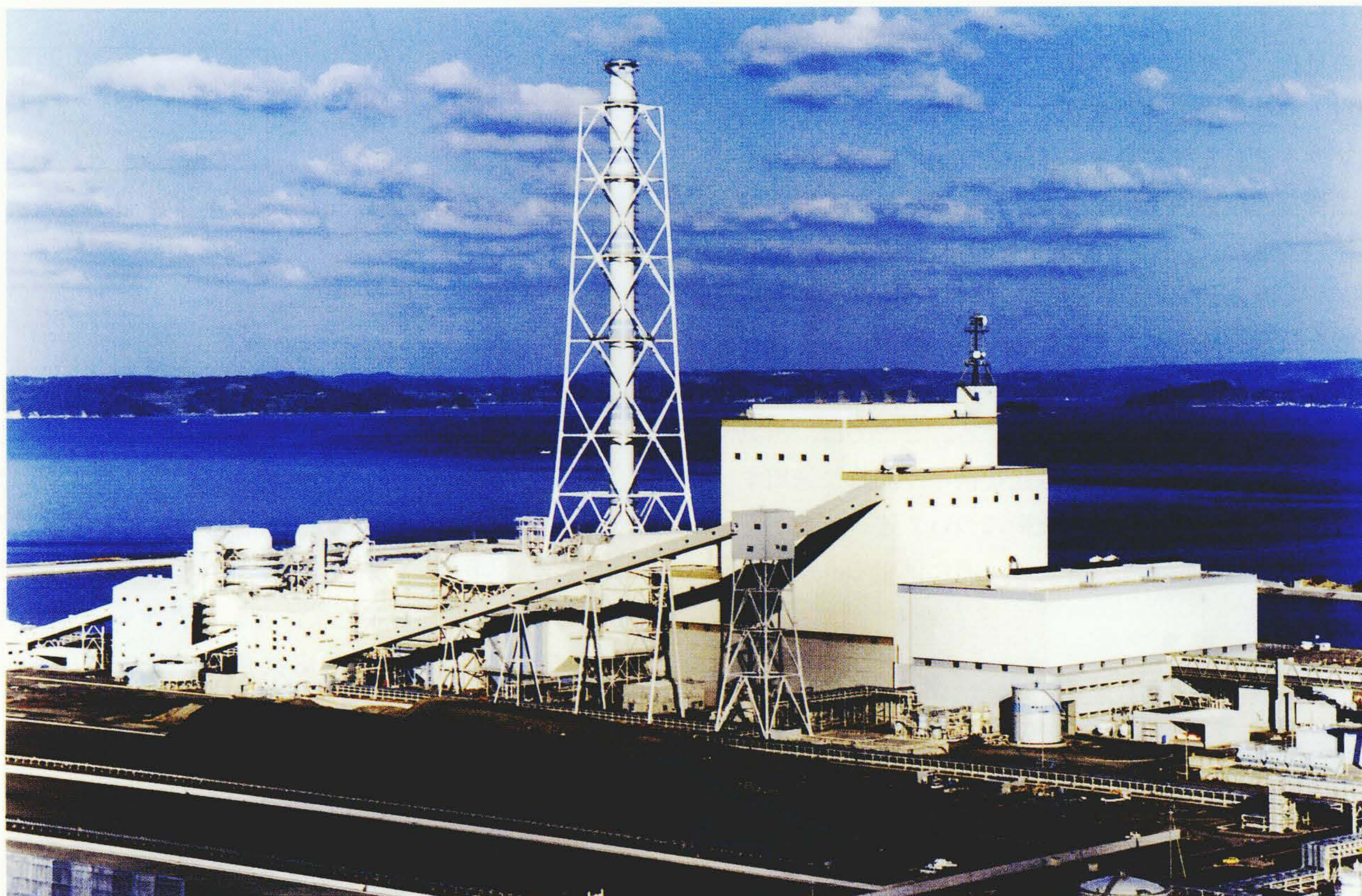


石炭燃焼ボイラにおける新技術

Advanced Technology for Coal Fired Boilers

石田 忠* *Tadashi Ishida*
山内秀紀* *Hideki Yamanouchi*
森田茂樹* *Shigeki Morita*
金田博志** *Hiroshi Kaneda*



電源開発株式会社松浦火力発電所の外観 国内最大の1,000 MW石炭燃焼ボイラの外観を示す。

石炭燃焼ボイラは出力が国内最大の1,000 MWに到達するとともに、燃焼技術を中心とした技術開発によって環境対策の強化・運用特性の改善を実現するなど一応の成熟期に入りつつある。

CO₂低減策としての効率向上、合理的設備の建設、単機容量の増加など、立地・環境条件に適合した、より高性能の設備を目指すことが今後の課題と言える。

バブコック日立株式会社は、これらのニーズを想

定して早くから開発を進めてきた。その成果として、国内では最高の蒸気温度である24.12 MPa[G]、593/593℃を採用した1,000 MW石炭燃焼ボイラの運転開始を平成9年に予定しており、またその後に続く実現可能な1,200～1,400 MW級ボイラの開発を推進している。これらは、いずれも最新の燃焼技術を適用した合理的かつ高性能なボイラであり、次世代を代表するボイラと言える。

* バブコック日立株式会社 呉工場 ** バブコック日立株式会社 呉研究所

1 はじめに

石炭燃焼ボイラは電源開発株式会社松浦火力発電所1号機(以下、松浦火力発電所1号機と言う。)(1,000 MW)と中部電力株式会社碧南火力発電所2号機(700 MW)で計画値を上回る良好な成果を確認し、環境対策・多炭種対応・運用特性など当初の目標を達成した。成果の概要を表1に示す。なお今後は、石炭燃焼ボイラのユニットの大容量化、合理的設備の建設など新たな課題のほか、従来以上の性能向上も要求されることになる。

バブコック日立株式会社では、次世代の石炭燃焼ボイラの主要な課題を図1に示すように位置づけて開発・検討を進めてきた。そして、蒸気条件24.12 MPa[G], 593/593℃の実機適用と1,200~1,400 MW級ボイラの実現が可能な技術を確立した。これらの石炭燃焼ボイラは、燃焼技術を中心とした最新技術の適用による、合理的かつ高性能な次世代向けボイラと言える。ここでは、蒸気条件の向上、ユニットの大容量化技術と、同時に適用する燃焼技術を中心とした最新技術について述べるとともに、次世代石炭燃焼ボイラ計画の一助に供する。

表1 石炭燃焼ボイラ運転成果の概要 最新の大容量石炭燃焼ボイラの仕様、運転実績を示す。環境対策、多炭種対応、運用特性で良好な結果を得た。

納入先		電源開発株式会社 松浦火力発電所1号機	中部電力株式会社 碧南火力発電所2号機
プラント出力 運用方式		1,000 MW 定圧式	700 MW 変圧式
ボイラ仕様	形式	UP	ベンソン
	蒸発量	3,170 t/h	2,300 t/h
	蒸気圧力	24.12 MPa[G]	24.12 MPa[G]
	蒸気温度	538/566℃	538/566℃
性能	燃焼特性 NOx 灰中未燃分	120 ppm(大同炭) 3.2%(大同炭)	114 ppm(ドレイトン炭) 2.2%(ドレイトン炭)
	負荷変化速度 (50↔100%)	4%/min	3~5%/min
	最低負荷	33%ECR(ウィットバンク炭)	30%ECR(クック炭)
工程		立柱 ヘッド揚げ 火入れ 運転開始 昭和62年1月 昭和63年3月 平成元年11月 平成2年6月29日	平成元年10月 平成2年5月 平成3年8月 平成4年6月12日

注：略語説明 NOx(窒素酸化物), ECR(Economical Continuous Rating)

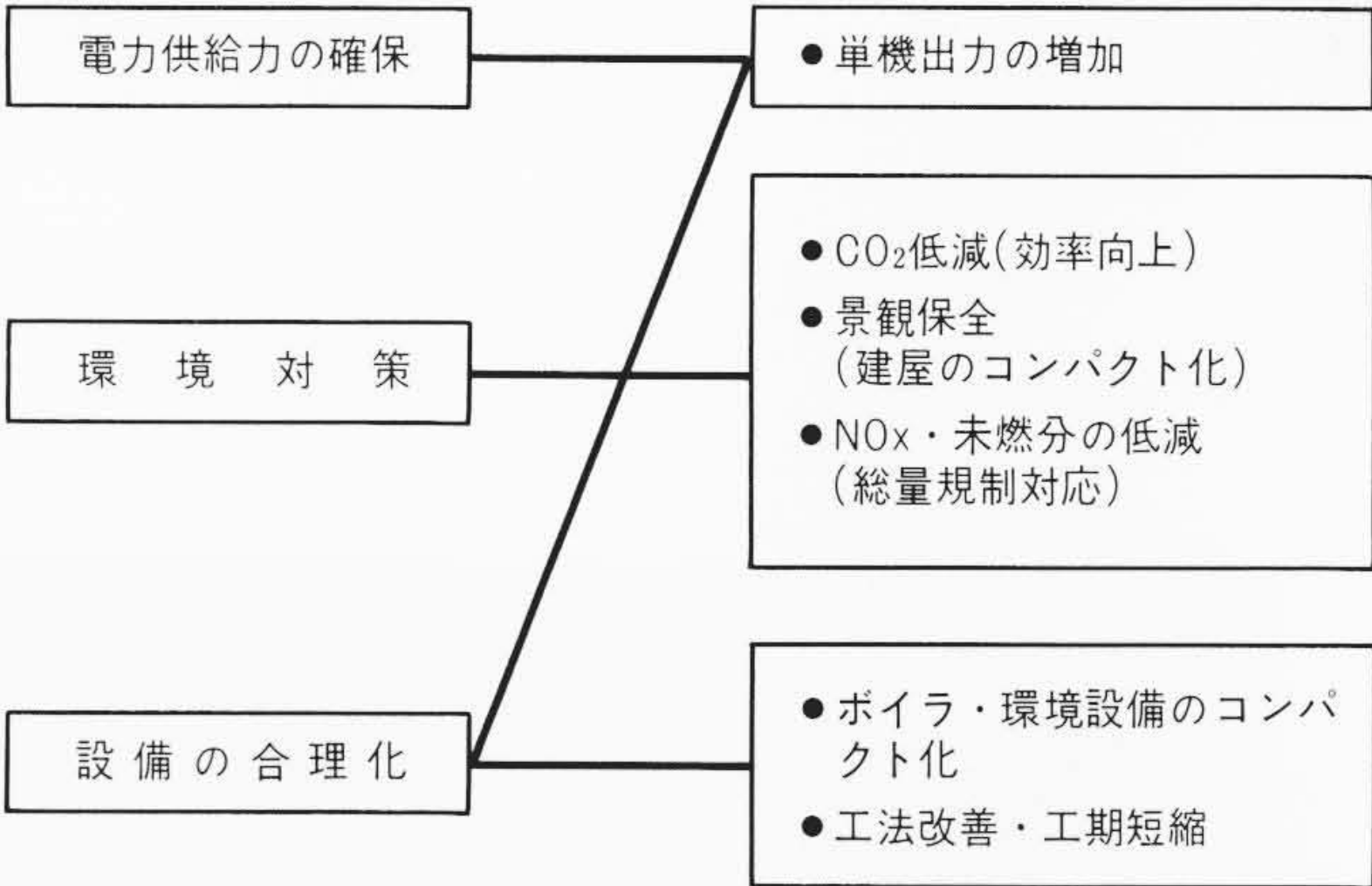


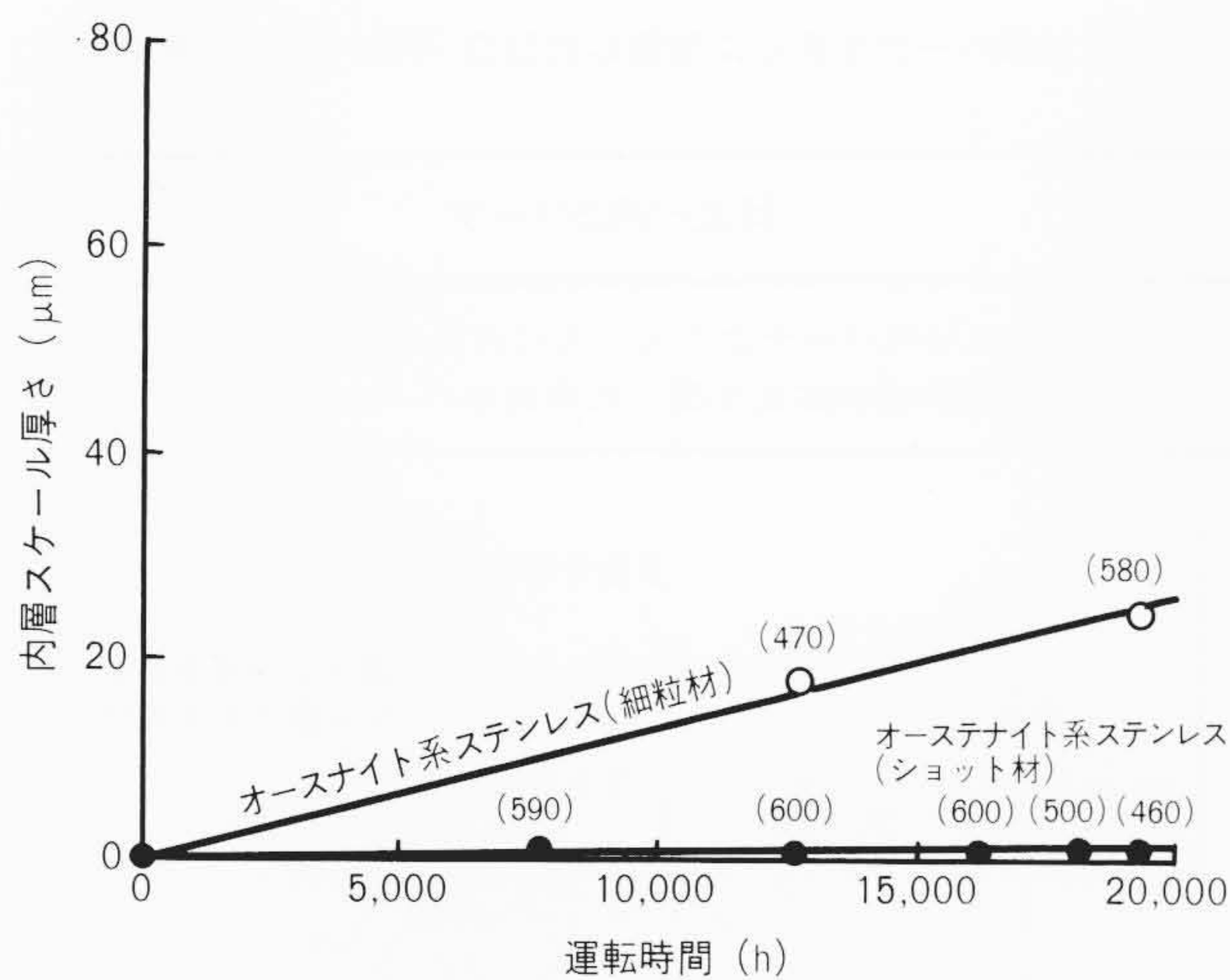
図1 次世代の石炭燃焼ボイラの主要課題 次世代火力機の開発・検討を進める上での石炭燃焼ボイラの主要課題を示す。

2 蒸気条件の向上

オイルショック後の燃料高騰を契機に、バブコック日立株式会社は蒸気条件の向上による効率向上を図るために、超々臨界圧ボイラの対応技術の開発に取り組んできた。これらの開発を通じて、蒸気条件ゲージ圧316 kg/cm², 593/593/593℃の対応技術と、ゲージ圧352 kg/cm², 649℃対応の要素技術を確立した。

さらに、実証実証の機会を得て、電源開発株式会社若松火力発電所50 MW流動層ボイラで、蒸気温度593~649℃での耐水蒸気酸化特性の把握を、東北電力株式会社仙台火力発電所2号機では蒸気温度566~649℃の条件で、実際の石炭燃焼灰による最長3万時間に及ぶ耐外面高温腐食特性の把握をそれぞれ行って、材料の選定指針を確立している。その概要を図2, 3に示す。水蒸気酸化は従来のオーステナイト系ステンレス鋼管の結晶粒の細粒化(特に、ショットブラストが有効)により、十分な耐食性を確保することが可能である。また、非加熱部の水蒸気酸化は従来の2.25 Cr鋼から9 Cr鋼の採用によって耐食性の向上が可能である。高温腐食は、国内に導入される石炭が硫黄分、塩素分ともそれぞれ最大1%, 0.1%と腐食環境としてはマイルドなので、オーステナイト系ステンレス鋼管を使用することにより、十分な耐食性を確保することができる。

その後の燃料費の安定化により、蒸気条件の向上の機会は得られなかったが、この間、ここで開発した高温強度材を従来蒸気条件(24.12 MPa[G], 538/566℃)に適用して、薄肉・軽量化を図るとともに、きたるべき蒸気条



注：● ショット材，○ 細粒材，() 内蒸気温度
図2 オーステナイト系ステンレス材の耐水蒸気酸化特性
ボイラ高温部に使用するオーステナイト系ステンレス材の運転時間と、スケール厚さの関係を示す。

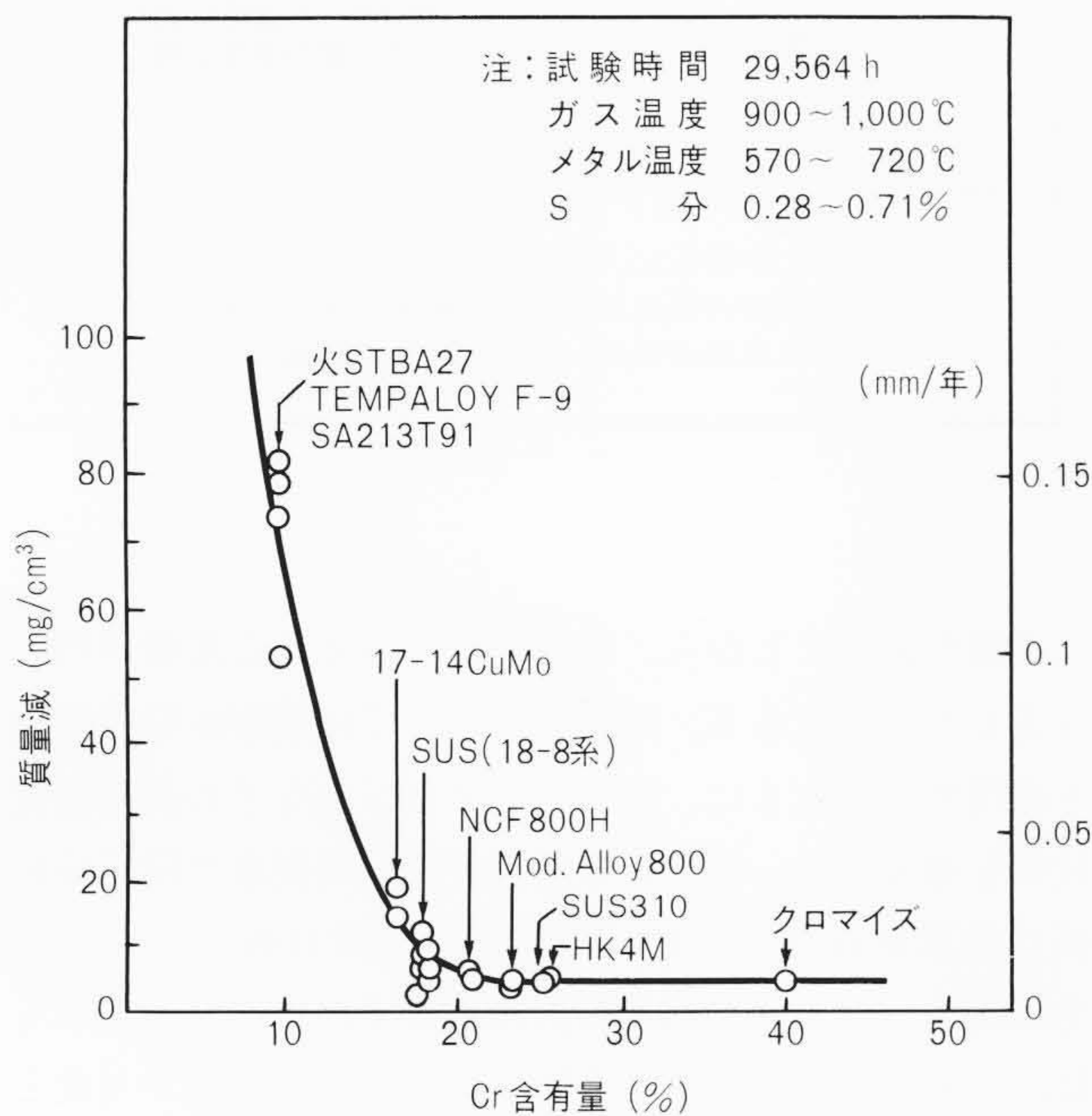


図3 各種材料の耐外面高温腐食特性 石炭燃焼実機環境下でのボイラ用高温強度材の外面腐食特性を、Cr含有量と腐食量の関係で示す。

件の向上に備えて実績を積み重ねてきた。これらの成果を踏まえて、蒸気条件24.12 MPa[G]、593/593℃ボイラが実績範囲内の技術で実現可能であり、さらに、30.99 MPa[G]への圧力上昇にも対応できることがわかった。

ニーズおよび課題		対 応 策
1. 環境対策の強化 (多炭種燃焼)	NO _x レベルの低減 (総量規制対応) 未燃分の低減 (灰の有効利用・効率向上) 景 観 保 全 (建屋のコンパクト化)	新形低NO _x バーナの採用 (火炎内脱硝バーナ)
2. 運用特性改善 (多炭種燃焼)	最低安定負荷の低減 負荷変化速度の向上 起動時間の短縮 (蒸気温度制御特性・ ミルトーンダウン確保、 ミル出炭特性改善)	新形回転分級機の採用(二段分級) ミルの高機能化技術 (高ターンダウン化、 差圧低減) 大容量ミルの採用 (120t/h級)
3. ユニットの 大容量化	ミル・バーナ容量の 増加	大容量バーナの採用 (10t/h級)
4. 設備の合理化	火炉のコンパクト化 ミル・バーナ容量の増加 (台数低減)	
5. 高 効 率 化	消費動力の低減	

図4 今後の石炭燃焼ボイラの対応技術 環境対策、運用性、設備の合理化に対する燃焼装置の対応策を示す。

3 燃焼新技術

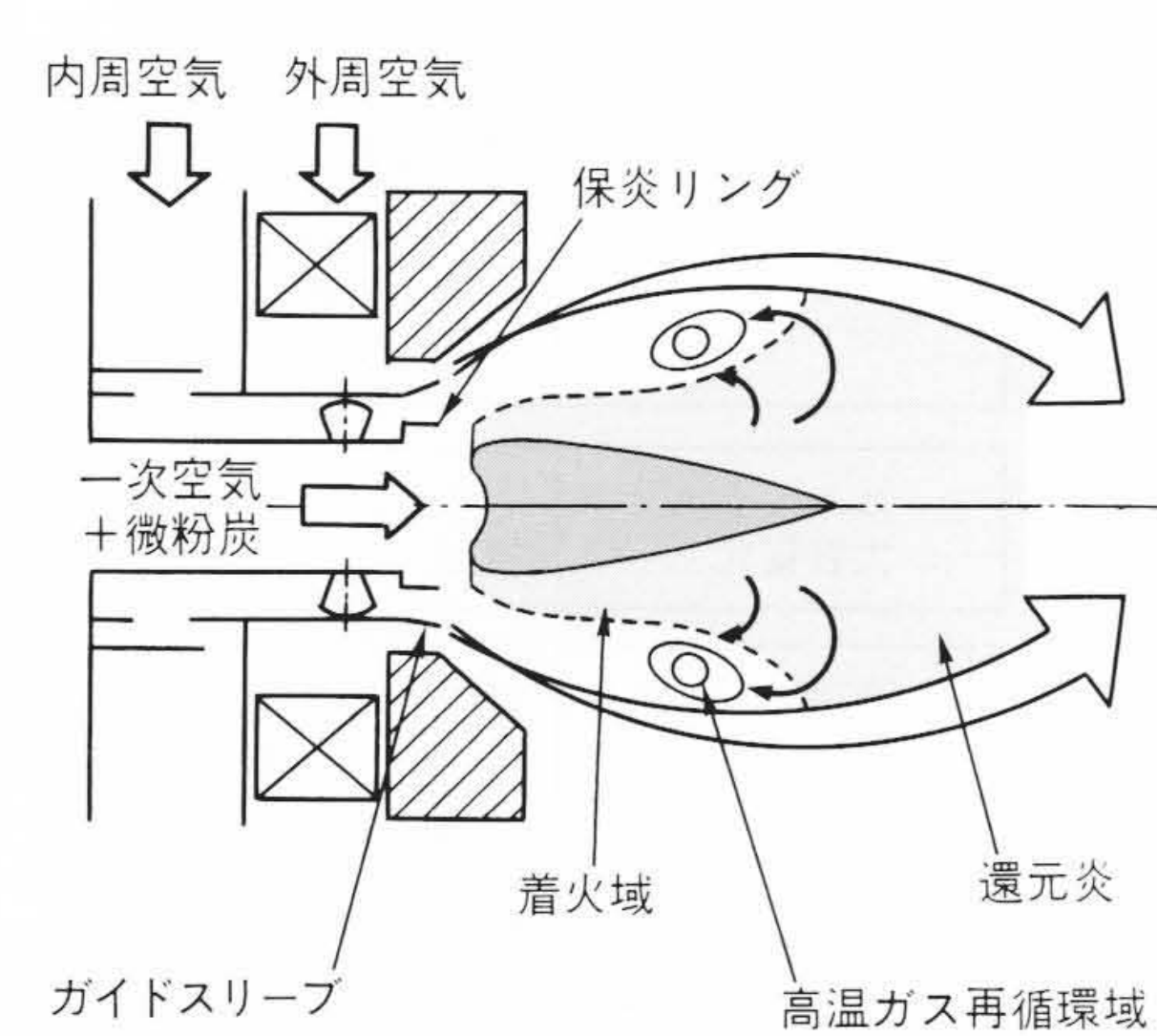
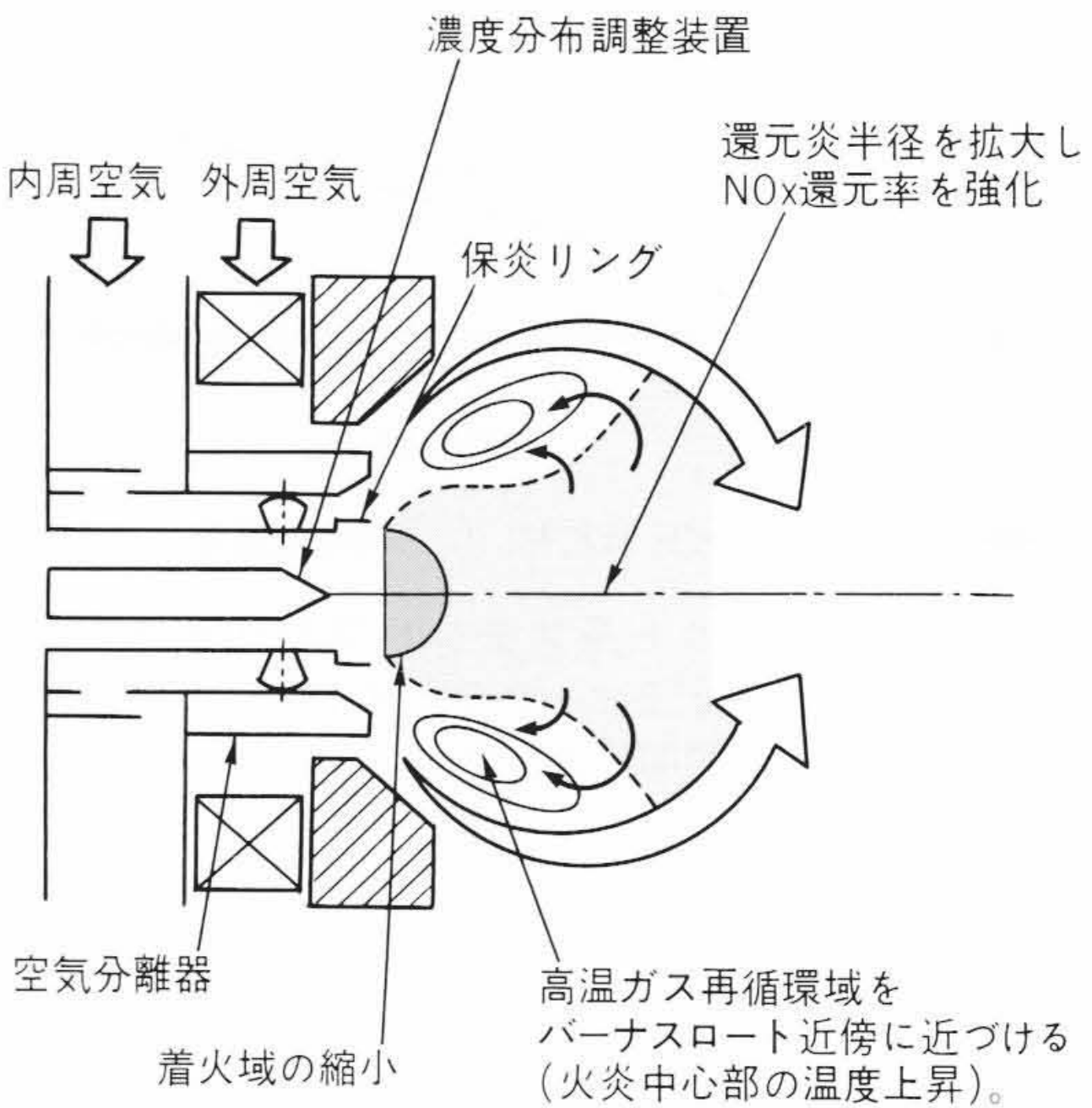
環境対策の強化、運用性の改善および設備の合理化を図るためには、燃焼技術の改善が不可欠である。今後の石炭燃焼ボイラの課題と対応策(開発技術)について図4に示す。

日立-NR2バーナは、従来の日立-NRバーナの火炎内脱硝機能・着火特性をさらに改善したものであり、NO_x(窒素酸化物)・未燃分レベルの低減と運用特性の改善(最低安定負荷の低減、負荷変化速度の向上など)を図ったものである。

日立-NR2バーナの基本原理と低減効果を、日立-NRバーナと比較して表2、図5にそれぞれ示す。日立-NR2バーナの開発にあたっては、バブコック日立株式会社呉工場内の大形燃焼炉で4 t/hの燃焼試験を経て、海外技術供与先納めの改造機で10 t/h本級の大容量のものがすでに運転に入っている。

一方、微粉炭機は今後のユニットの大容量化に備えて、石炭粉碎用で稼動中のものでは世界最大のMPS-118をさらに大容量化したMPS-315(124)を開発し、実機適用可能な体制としている。MPS-315は石灰石粉碎用として

表2 日立-NRバーナと日立-NR2バーナの比較 低NOx・未燃分を達成した日立-NRバーナをさらに改善した日立-NR2バーナの基本概念、構造および特徴を示す。

バーナ形式	日立-NRバーナ	日立-NR2バーナ
基 本 概 念	化学的手段である脱硝反応を付加し、火炎内脱硝によって低NOxと完全燃焼を図るバーナ	日立-NRバーナよりもさらに火炎高温化、および還元領域の拡大を図った高効率バーナ
構 造		
特 徴	NOx・未燃分レベルの低減	NOx・未燃分レベルの低減 着火特性の強化(最低安定負荷の低減可能) バーナ差圧の低減(ファン動力の低減)

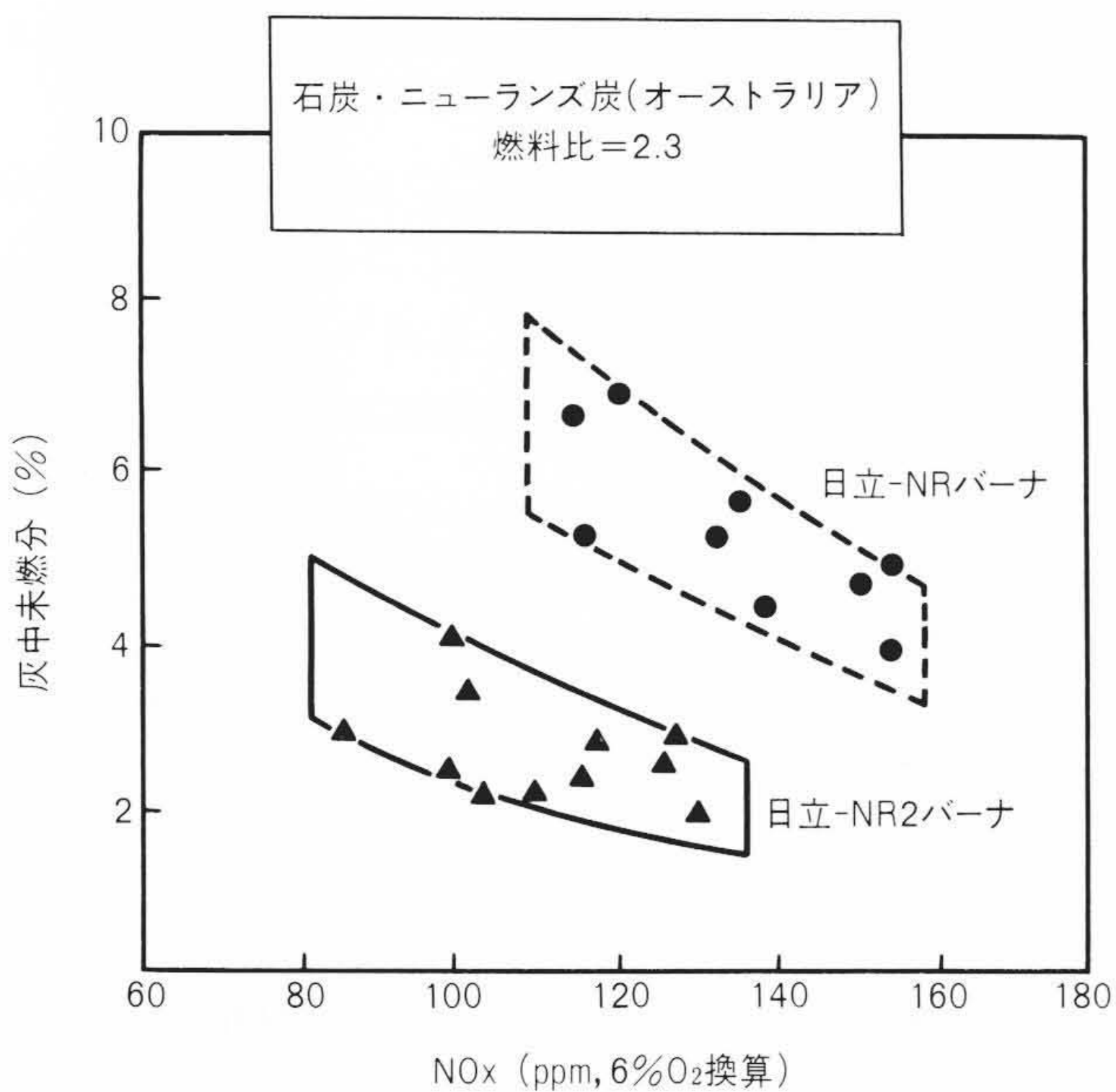


図5 日立-NR2バーナのNOx未燃分特性 バブコック日立株式会社呉工場内の大形テスト炉での4t/hバーナによる試験の結果、日立-NR2はNOx未燃分ともに良好な結果を得た。

は実績があることから、相似則にのっとり石炭粉碎用に改造したものである。開発にあたっては新形回転分級機を採用するとともに、高ターンダウン化などの高機能化技術を導入している。新形回転分級機は従来の回転分級機に静翼を設けて回転分級機との二段分級としたもので、200メッシュ通過85%以上の微粉度が得られるとともに、上昇・再循環流の干渉防止による差圧低減が可能となっている。分級機の形式比較を表3に示す。

大容量バーナ・微粉炭機と日立-NR2バーナの開発により、従来と同等以上の機能を持ちながら火炉のコンパクト化が可能となり、今後のユニットの大容量化に対しても合理的な設備の構築ができる。1,000 MWボイラを対象に新技術を適用した効果の一例を、従来技術を適用した場合と比較して表4に示す。

4 大容量化技術

米国では米国B&W社(Babcock & Wilcox Company)

表 3 微粉炭分級機の形式比較 新形回転分級機の原理、構造および特徴を従来形のサイクロン形と比較して示す。

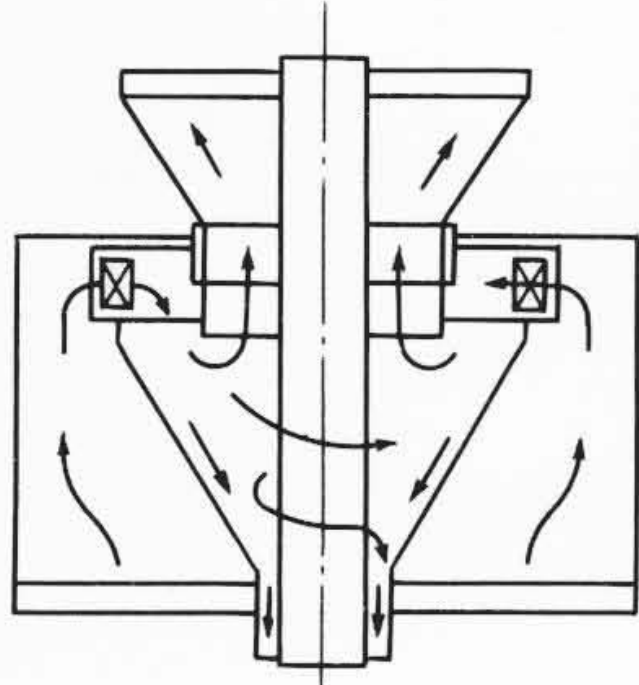
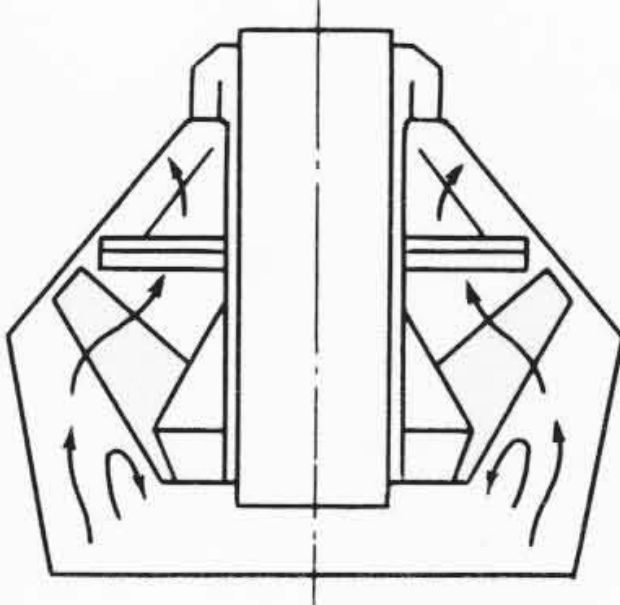
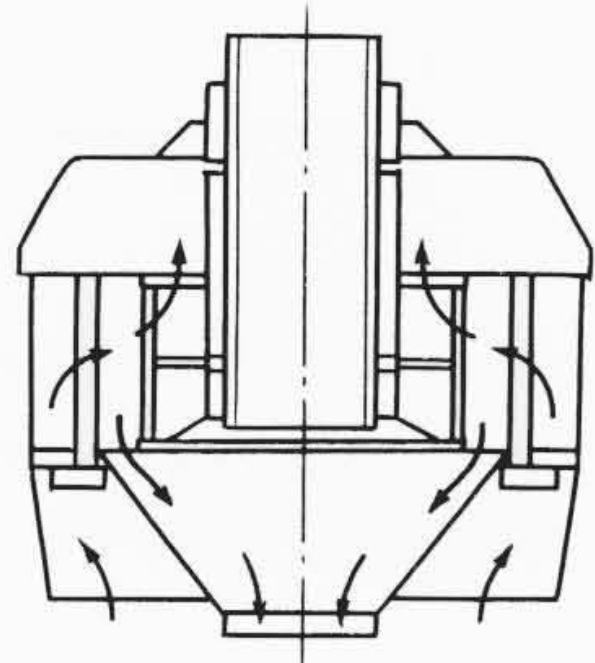
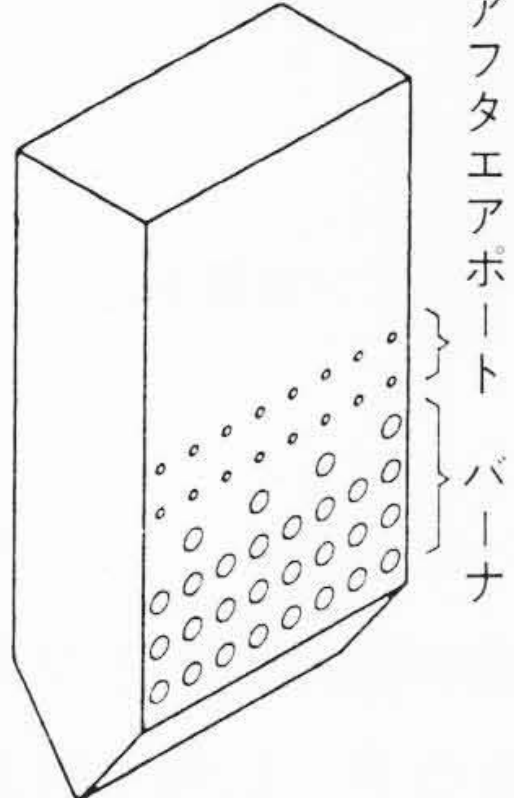
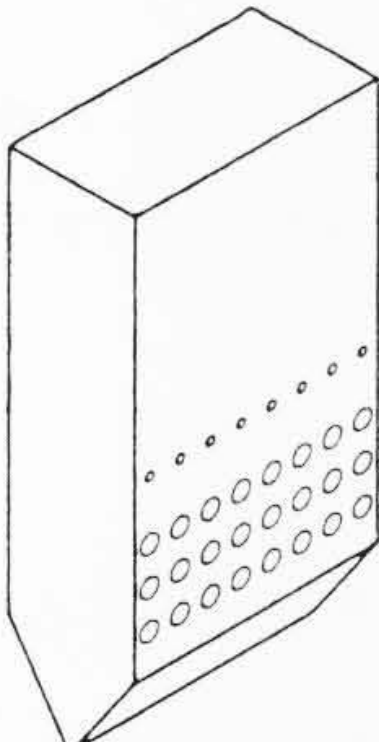
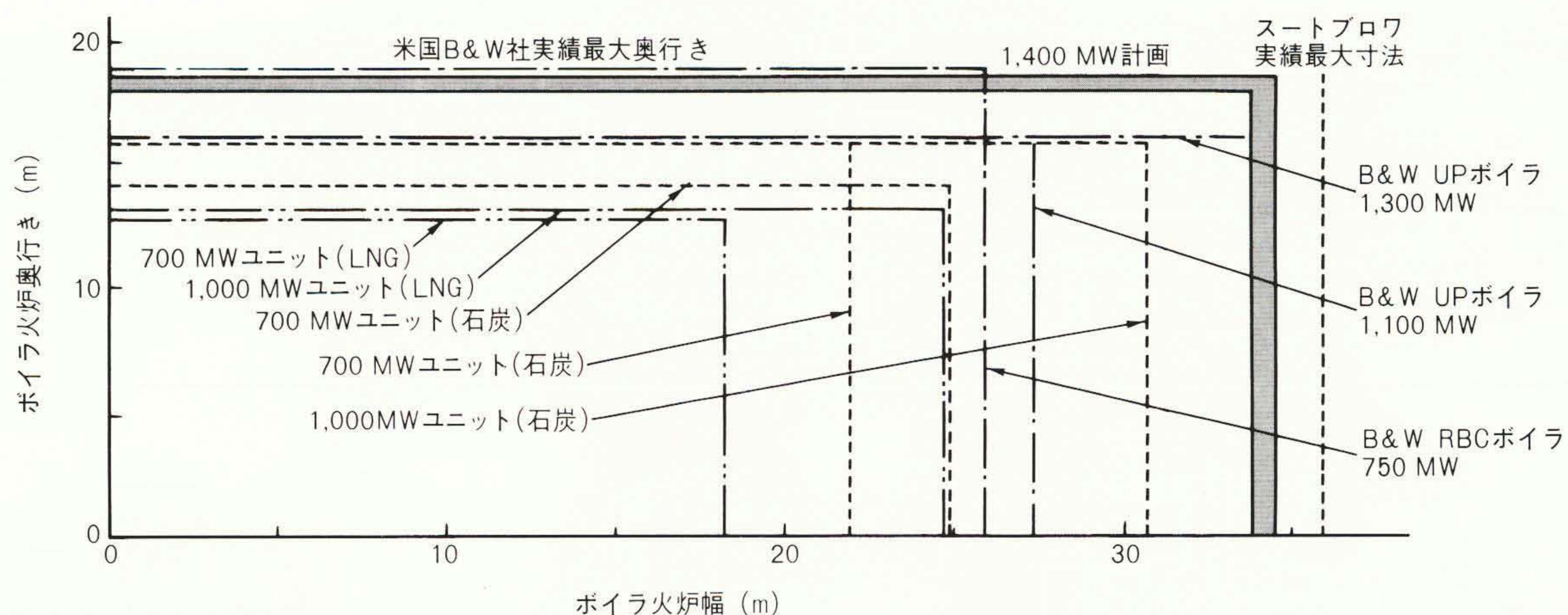
形 式	サイクロン式分級器 (SLK)	回 転 式 分 級 機 (SLF)	整流コーン付き回転分級機 (SLS)
原 理	ペーンによって与えられる遠心力とコーン内での重力により、質量差を持つ粒子を分級する。	旋回羽根によって与えられる遠心力と、気流による慣性力のバランスによって分級する。	同 左
構 造			
微粉度調整	ペーンの角度を変更	分級羽根の回転数を調整	同 左
特 徴	● 比較的構造がシンプルであり、分級に動力を必要としない。 ● 戻り粒子が上昇流と干渉しないため、ミル差圧が小さい。	● 構造がシンプルであり、回転数制御による微粉度の調整が可能である。 ● 200メッシュ通過80%以上の微粉度が得られる。	● 微粉度の調整が容易であるとともにミル差圧が小さい。 ● 200メッシュ通過85%以上の微粉度が得られる。

表 4 新技術適用ボイラと従来形ボイラの比較 大容量バーナ・微粉炭機、日立-NR2バーナの技術を適用した場合、設備のコンパクト化とともに運用性改善が可能となる。

項 目	従来技術適用	新 技 術 適 用
出 力	1,000 MW	1,000 MW
バーナ形式	日立-NRバーナ	日立-NR2バーナ
バーナ本数	56～70本	48本
ミル形式	MPS118(SLF)	MPS124(SLS)
ミル台数	7台	6台
火 炉 寸 法 (NOx：180 ppm, 未燃分5%)		
火 炉 容 積	100%	83%
最低安定負荷	30～35%ECR	20～25%ECR

が昭和48年に1,300 MWユニットを実現して、すでに20年に及ぶ運転実績を持っている。この間、9 缶を納入し大容量であるがための諸問題を克服して、米国内では最も稼働率の高いユニットの一つとして評価を受けている。

バブコック日立株式会社は、これら1,300 MWユニットの実績を反映して、国内では初の1,000 MW石炭燃焼ボイラ、松浦火力発電所1号機を完成させた。今後の立地点の確保あるいはトータルコストミニマムを考慮すると、ユニットの大容量化は重要な課題である。松浦火力発電所1号機の経験と米国での1,300 MWユニットの実績を基盤に、前述の燃焼技術を適用することにより、主要な制約要因となる火炉寸法を実績範囲内寸法と組み合わせることによって1,400 MW級ボイラ火炉が実現できる。火炉寸法の実績比較を図 6 に示す。1,400 MWボイラの火炉内流動は、火炉内三次元流動解析シミュレーションによって評価可能であり、松浦火力発電所1号機の実績評価結果との比較でも、局所的な熱負荷上昇もなく安定した流動が確認されている(図 7 参照)。今後の課題としては、メンテナンスの合理化や定期検査期間の短縮など大形化によって阻害要素となる項目について詳細な検



注：米国B&W社 (Babcock & Wilcox Company)

図6 火炉断面寸法の実績 新技術採用による火炉コンパクト化によって、大容量1,400 MW石炭燃焼ボイラの火炉が実績範囲内で実現可能となる。

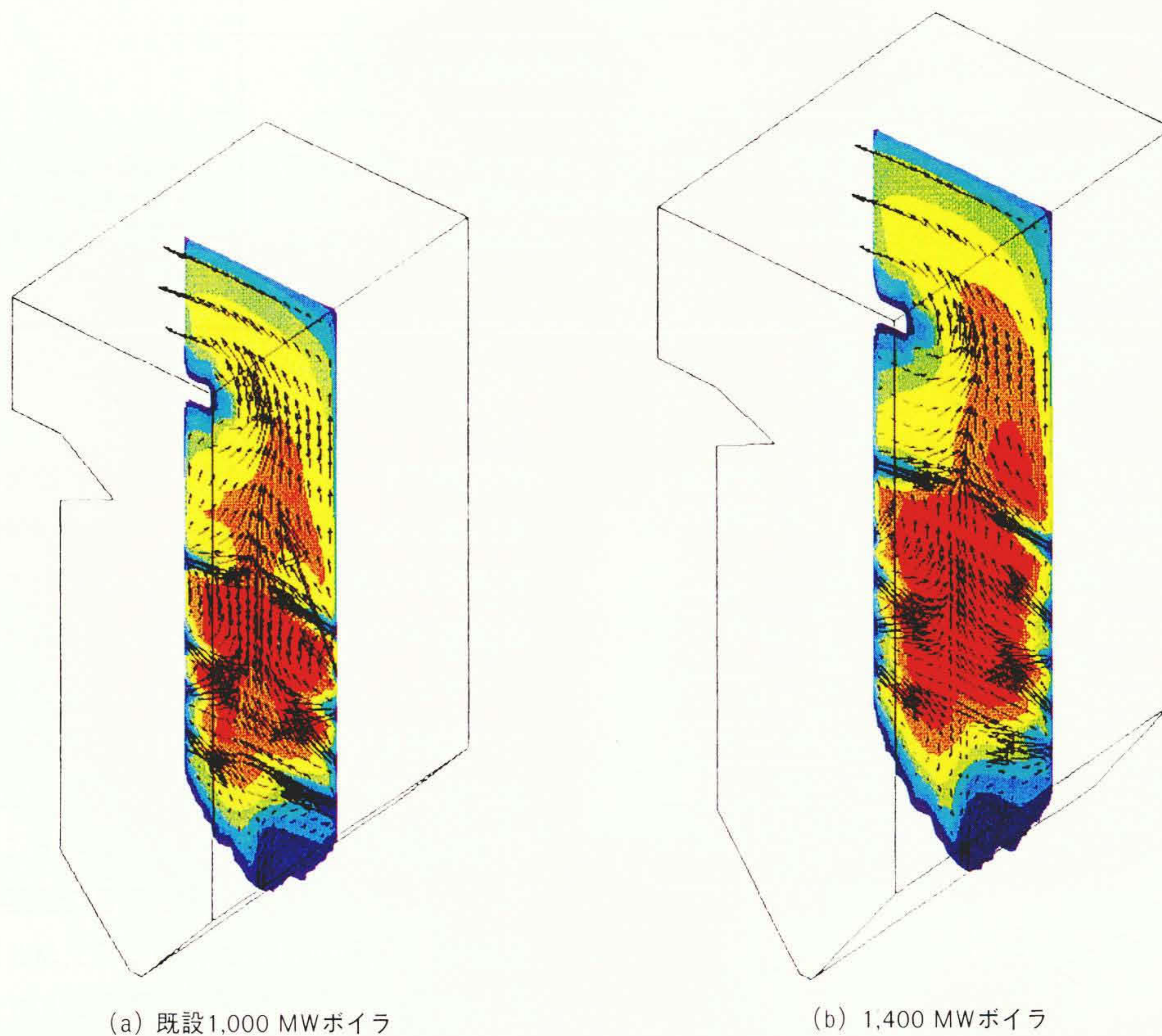


図7 火炉内流動検討例 1,400 MW級石炭燃焼ボイラでの火炉内三次元シミュレーション結果を、温度分布および速度ベクトルで1,000 MWボイラ実績と比較して示す。

討を加え、改善を図る必要がある。

5 おわりに

石炭燃焼ボイラを取り巻く情勢と、その対応策(新技術)について述べた。石炭燃焼ボイラは一応の成熟期に入

るものと判断するが、実績の積み重ねとフィードバックによるよりいっそうの性能改善・信頼性向上およびユーザーの立場に立ったより使いやすいユニットを目指して努力する考えである。