

大容量石炭燃焼ボイラ

Large Capacity Coal-Fired Boiler

昭和48年の石油ショック以来の重原油の価格上昇、供給不安により、発電用ボイラ燃料として世界各地からの輸入石炭が採用されるようになった。また立地難、建設費上昇のため発電プラントの大容量化が図られ、数年内に700MW及び1,000MW石炭燃焼ボイラが建設される予定である。

本論文では、石炭燃焼大容量ボイラの設計技術及び我が国のボイラに要求される特有な設計条件(多種銘柄炭使用、NO_x対策など)について述べるとともに、その具体的な応用例として電源開発株式会社納め竹原火力発電所3号缶700MW石炭燃焼ボイラの設計例について紹介する。

藤井 稔* Minoru Fujii
米田 豊* Yutaka Yoneda
前田政勝* Masakatsu Maeda

1 緒 言

昭和48年の石油ショック以来、世界的に燃料の多様化が進められ、特に発電用ボイラには石炭の利用が促進されてきた。我が国の発電プラントは、昭和40年以降、重原油・ガス燃焼ボイラとして大容量化が図られ、既に1,000MWボイラが5缶運転されているが、石炭燃焼ボイラは、ここ十数年来新設されず、現在運転中の最大容量は265MWボイラにすぎない。

欧米では、早くから大容量石炭燃焼ボイラが建設されており、特に米国では、石炭燃焼ボイラの大容量化が進み、現在1,300MWボイラが、既に5缶運転されており、建設中も含めると1,000MW以上が11缶にも達している。

我が国で、今後石炭燃焼ボイラの大容量化を急速に進めるためには、これら欧米の実績を十分反映すると同時に、我が国の発電プラントがもっている独自の問題(中間負荷運用、多種輸入炭の使用、環境対策など)を解決することが必要である。

以下、欧米での大容量石炭燃焼ボイラの開発状況、及び我が国で今後建設される石炭燃焼ボイラに対する設計上の考慮点について述べ、その具体例として、既に詳細設計が完了している国内最大容量700MWボイラについて紹介し、今後の参考に供したい。

2 海外での大容量石炭燃焼ボイラ

主要国での最大容量機を表1に示す。米国では、1970年ごろから重原油価格の高騰及び供給の不安により徐々に石炭燃焼ボイラが多くなり、1975年以降に発注されたボイラはその90%以上が石炭燃焼である。米国では図1に示すように大容量化が進められ、600MW以上のボイラは合計104缶で、特に1,000MW以上の超臨界圧ボイラも11缶[すべて米国Babcock and Wilcox Co.(以下、B&W社と略す。)製]が運転、建設中であり、最大容量は1,300MW(図2)に達している。また最近では亜臨界圧ボイラの大容量化も進み、現在930MW自然循環ボイラが建設中である。

ヨーロッパでは、イギリス、フランスなどが自然循環ボイラにはほぼ仕様が統一されており、一方、西ドイツ、北欧では変圧貫流ボイラが大勢を占めている。このように国によってその指向性が異なっているが容量的には700MW級である。

これらの主要国で、大容量石炭燃焼ボイラの開発に指導的

役割を果たしてきたのが米国、イギリス、西ドイツなどのバブcock社グループである。バブcock日立株式会社は、これらバブcock社グループとの協力及び独自の技術開発により、既に1,000MWボイラの試設計も完了している。

3 我が国の石炭燃焼ボイラに要求される技術

今後建設される我が国の石炭燃焼ボイラに対し要求される主な技術として、次の4項が挙げられる。

3.1 ボイラの大容量化

発電所の立地難、建設費の増加及び電力需要の急増に対処するため、ボイラの大容量化が図られており、数年中に700MW、1,000MWボイラの建設が着手される予定である。

表1 世界主要国の石炭燃焼最大容量機 米国の出力1,300MWが世界最大容量機(ヨーロッパ、南アフリカなどは、550~740MW)である。大容量機の大半がB&W社製ボイラで占めている。

国 名	最大出力 (MW)	ボイラ製作会社
米 国	1,300	B & W 社
イ ギ リ ス	660	バブcock社グループ
西 ド イ ツ	750	バブcock社グループ/スタインミュラー社
南 ア フ リ カ	660	バブcock社グループ
デン マ ーク	630	"
オ ラ ン ダ	550	"

注：B&W社(Babcock and Wilcox Co.)

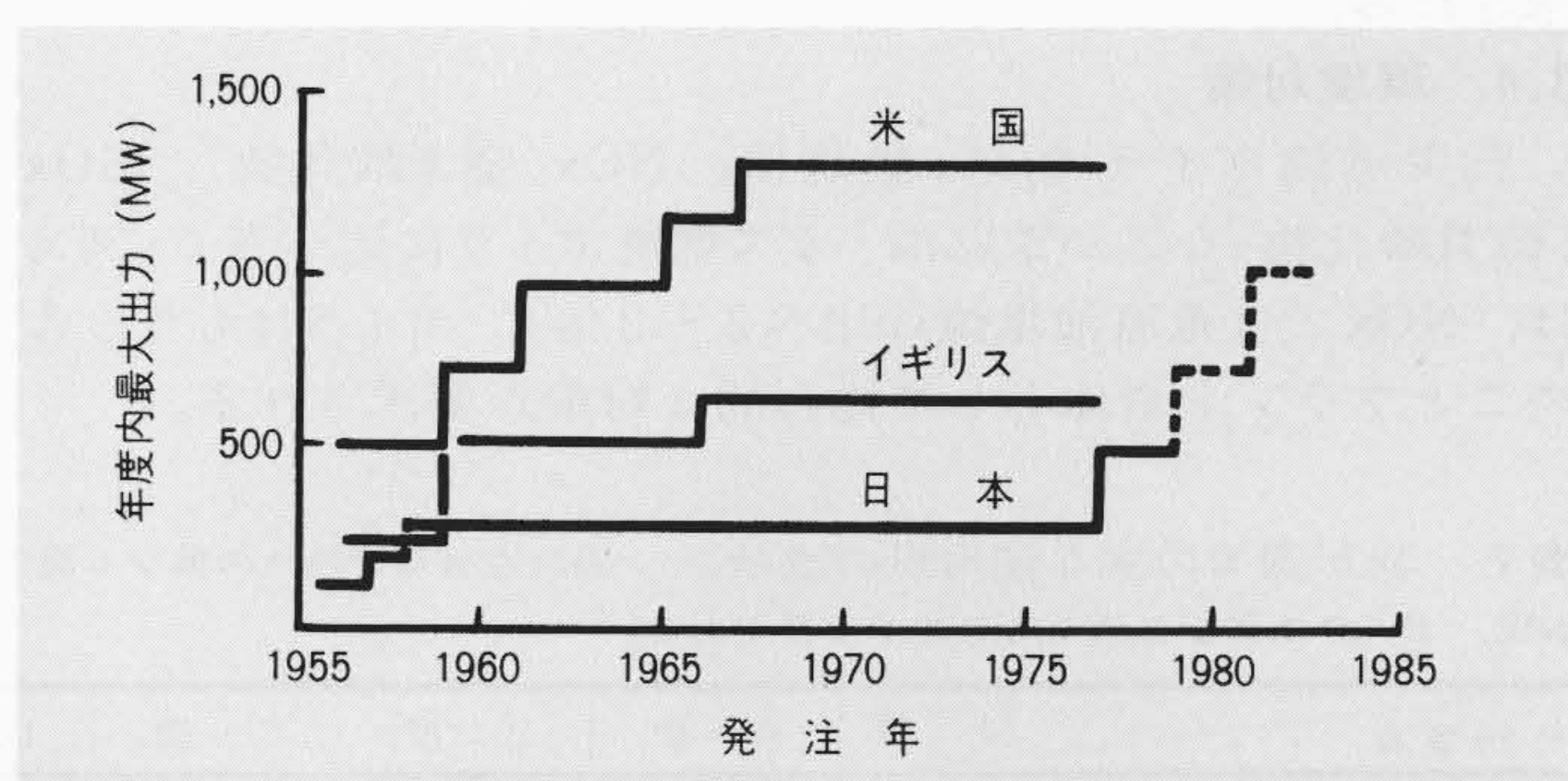


図1 石炭燃焼ボイラ容量の変遷 米国では1967年に、出力1,300MWの大容量化を進めている。我が国では、約15年間石炭燃焼ボイラの計画がほとんどなく大容量化が遅れていたが、ここ数年のうちに出力1,000MWボイラが建設される予定である。

* バブcock日立株式会社呉工場

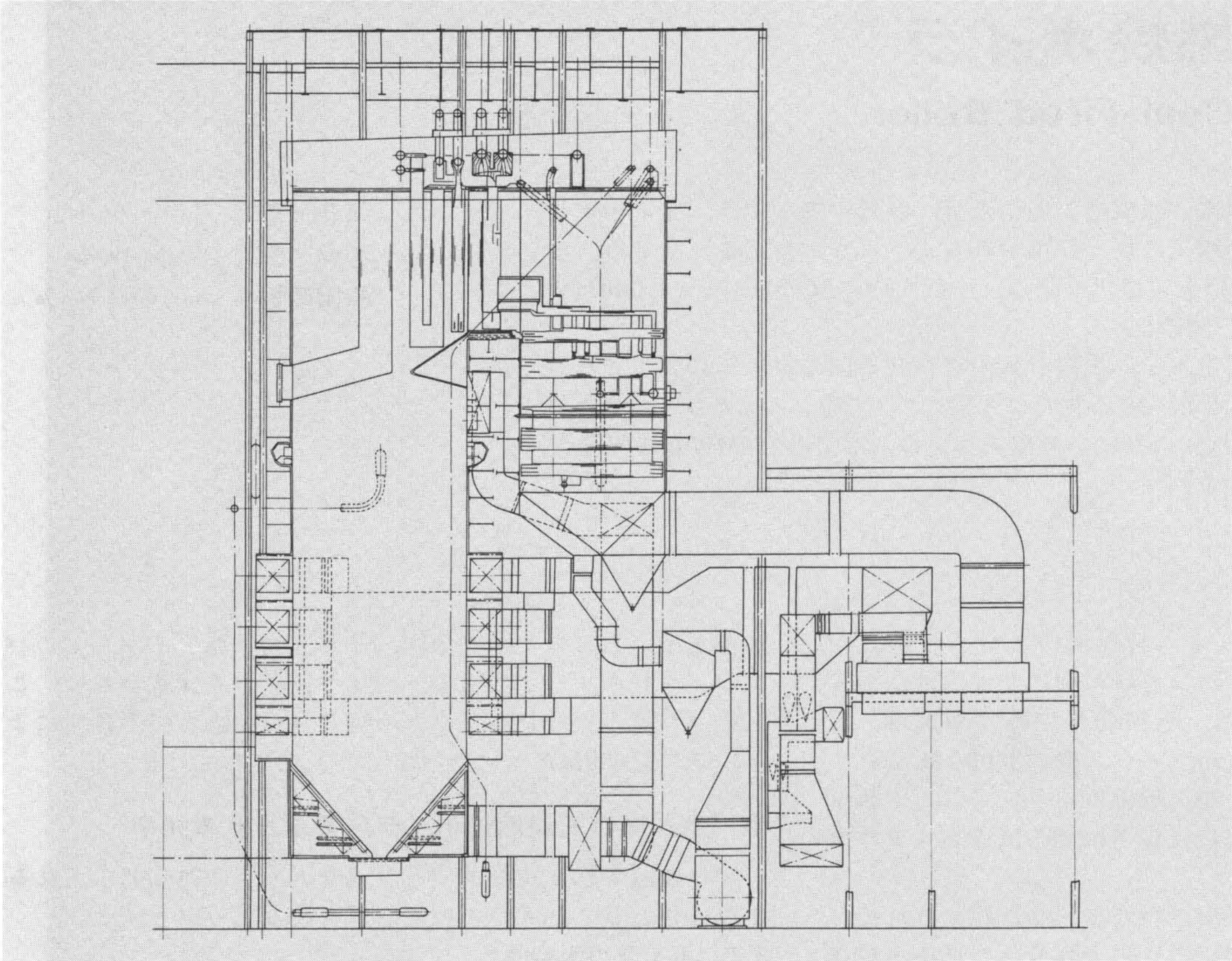


図2 世界最大容量1,300MW
超臨界圧UPボイラ 1,300MW
石炭燃焼ボイラは既に5缶が運転中
で、更に3缶を製作中である。

3.2 中間負荷運用

電力需要の季節的あるいは時間的変動を吸収するための、中間負荷(毎日起動・停止あるいは夜間最低負荷など)運用となるため、負荷変化率の増大や急速起動・停止の機能及びプラントの自動化が要求される。

3.3 多種銘柄炭の利用

国内炭も使用されるが、価格及び供給量の点から今後の火力発電用石炭は輸入炭が主流になると考えられる。我が国の外国炭輸入先としては、オーストラリア、南アフリカ、インド、カナダ、中華人民共和国などが有望とされている。

これら各国からの輸入炭はそれぞれ品質が異なるため、ボイラの設計に当たっては、それらの特徴を十分反映させることが必要である。また、輸入炭であるため同一銘柄炭だけの使用は困難であり、多種銘柄炭の単独あるいは混合利用が要求される。

3.4 環境対策

石炭燃焼ボイラでは、燃焼灰、NOx(窒素酸化物)、SOx(硫黄酸化物)などが重原油・ガス燃焼ボイラに比べ多く(例えば、NOxでは重原油燃焼に比べ2～3倍)、ボイラはもちろんのことプラント全体として総合的な対策が要求される。

4 大容量石炭燃焼ボイラ設計上の考慮点

4.1 石炭及び灰の組成

石炭は自然界の変遷によって形成された状態(炭化度)により、褐炭、歴青炭及び無煙炭に大別されるが、我が国に今後輸入される石炭は、表2に示すような硫黄分(1%以下)、窒素分(1.8%以下)及び燃料比1.5～2.4の歴青炭と考えられている。これらの各種炭は、図3に示すように燃焼特性が大きく異なるため、ボイラの設計に当たって重要な因子となる。

また、石炭中灰分の諸性質は、プラント計画上の経済性及び信頼性を左右する重要な要素であり、特に下記の3点が重要である。

(1) スラッシング

スラッシングとは、火炉水壁に代表される高温燃焼ガス部伝熱表面に、固形及び融解した灰の粒子が付着する現象で、管の熱膨張の阻害や付着灰の脱落による管損傷などを引き起こす。

(2) フォーリング

フォーリングとは、過熱器、再熱器などの接触伝熱面へ灰が付着し、燃焼ガスからの熱伝達を低減させる現象で、蒸気

表2 我が国での主な使用炭の性状 石炭性状及び特性の異なる国内炭、輸入炭19種類が使用される予定であり、広範囲の石炭が使用できるように燃焼装置、ボイラ本体など種々の考慮が必要である。

分析項目		炭種	A炭	B炭	C炭	D炭	E炭	F炭	G炭	H炭	I炭	J炭
乾炭高位発熱量		kcal/kg	6,100	5,800	7,100	6,400	6,450	6,600	6,530	6,780	6,900	7,590
工業分析	固有水分	%	1.6	1.5	2.8	2.5	2.9	3.1	3.2	1.8	4.5	5.8
	灰分	"	26.5	26.0	9.5	16.0	18.7	16.5	17.3	14.0	9.0	1.5
	揮発分	"	36.7	34.0	28.5	24.0	31.0	28.6	29.8	29.7	31.0	36.6
	固定炭素	"	35.2	38.5	59.2	57.5	47.4	51.8	49.7	54.5	55.5	56.1
燃料中全硫黄分		"	3.0	1.3	0.8	0.8	0.44	0.62	0.59	0.58	0.5	0.2
燃料中の窒素分		"	0.8	1.0	0.8	1.8	1.6	1.5	1.6	1.5	1.7	1.4
燃料比		—	1.0	1.1	2.1	2.4	1.5	1.8	1.7	1.8	1.8	1.5
粉碎性		HGI	52	44	51	50	48	41	48	51	75	—
灰の初期変形温度		°C	1,100	1,300	1,210	1,300	1,340	1,500	1,500	1,520	1,300	1,310

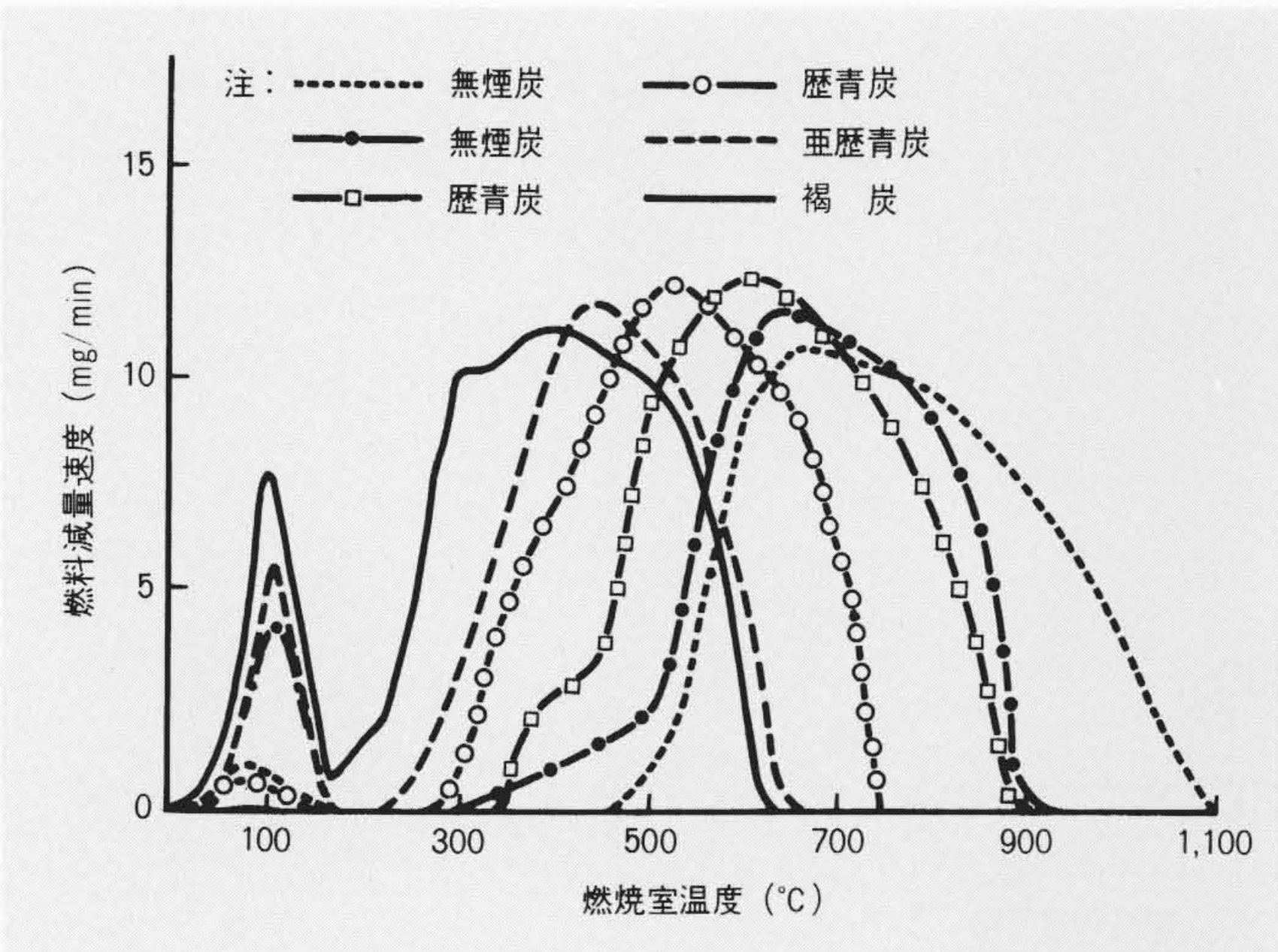


図3 各種石炭の燃焼特性 バーニングプロファイルテストによって燃焼特性(燃焼温度、燃焼性の違い)の把握を行ない、ボイラ設計に反映させる。

温度、ガス温度などのボイラ特性を変動させる要因となる。
(3) エロージョン

エロージョンとは、燃焼ガス中の灰が管表面に衝突することにより、摩耗が進行し、管類の噴破事故につながる。

以上、石炭性状に関連して考慮すべきこと及びボイラ設計への影響についてまとめると、図4に示すようになる。

4.2 大容量ボイラとしての考慮点

石炭燃焼ボイラでは、石炭性状に起因する問題(燃焼性、スラッキング性など)により必要な火炉大きさが決まり、通常、重原油・ガス燃焼ボイラに比べ火炉断面積で1.4~1.6倍と大きくなるが、ボイラ形式(UPボイラあるいはペンソンボイラ)による差はほとんどない。一般に、火炉周壁長さは、図5に示すようにボイラ容量にほぼ比例するが、米国と我が国では表3に示すように設計条件(特に使用炭種の数やNOx規制値)が異なるため、米国での火炉よりも更に大きくなる。すなわち、我が国でのユニットの大形化については、ボイラに限れば米国形ボイラよりも大きい(例えば、我が国での1,000 MWボイラは米国での1,200 MWボイラに相当する。)構造物となる。

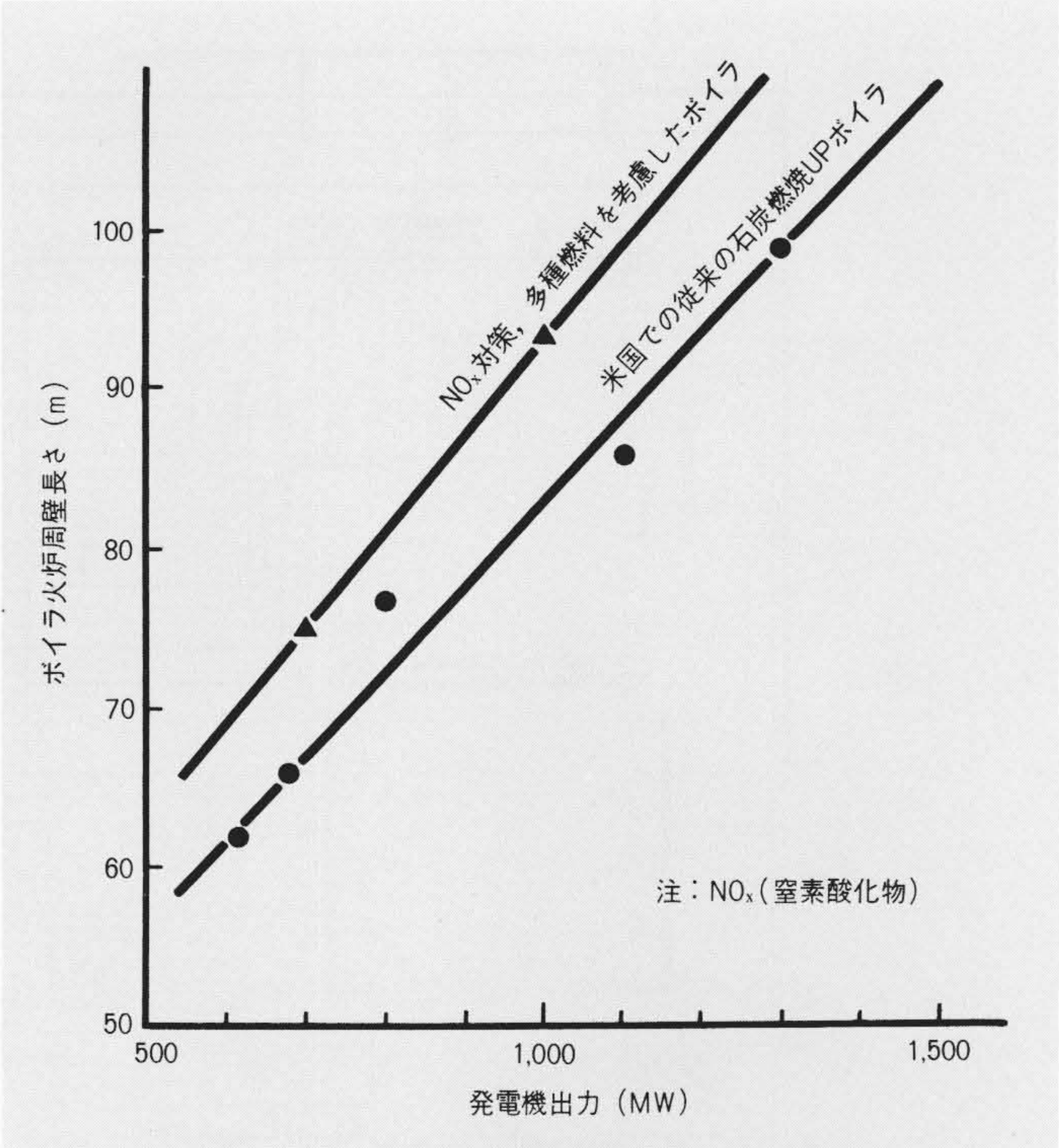


図5 石炭燃焼UPボイラ火炉周壁長さ 火炉周壁長さは出力にほぼ比例するが、環境対策や多種銘柄炭使用といった計画条件によっても大きくすることが必要である。

表3 米国と日本の石炭火力発電用ボイラ設計条件の比較 米国に比べ我が国では、使用炭種が多く環境対策も加わるため、ボイラの設計に大きく影響する。

項目	国名 年代	米 国		日 本
		1960年代	1975年ごろ	1980年代
石 炭 銘 柄	—	歴 青 炭	歴青炭・亜歴青炭	輸入歴青炭20数種
発 熱 量	kcal/kg	6,220	4,400~6,200	6,200以上
軟 化 温 度	°C	1,070	1,120	1,100以上
灰 分	%	15	20	20以下
燃 焼 性	—	良 い	良 い	悪 い
スラッキング特性	—	高 い	高 い	高 い
フォーリング特性	—	低 い	高 い	高 い
灰 摩 耗 性	—	低 い	普 通	高 い
NOx対策NOxレベル	ppm	700~800	400~450	300以下
入熱/火炉伝熱面積	%	ベース(100)	75	65

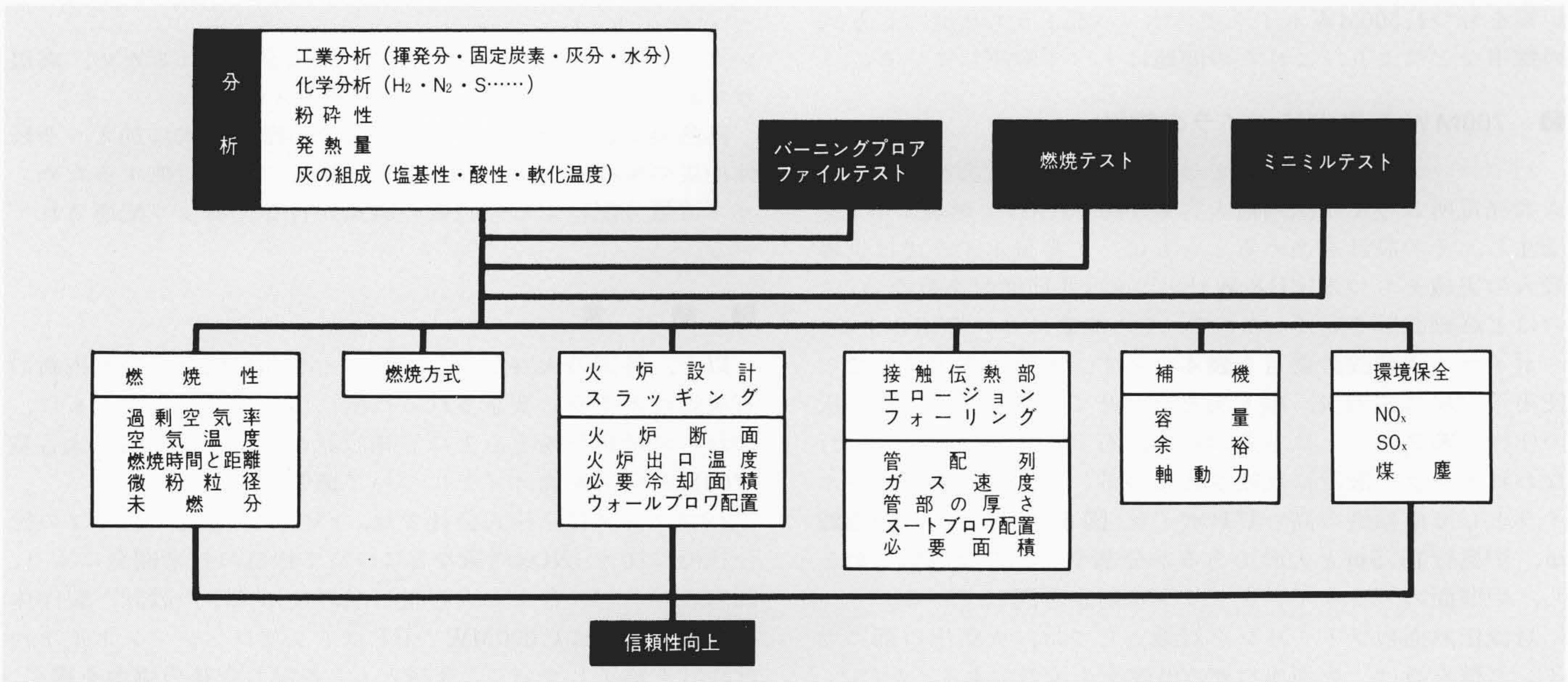


図4 石炭性状のボイラ設計に与える影響 各種分析、テストの結果が総合的に検討され、各部のボイラ設計に反映される。

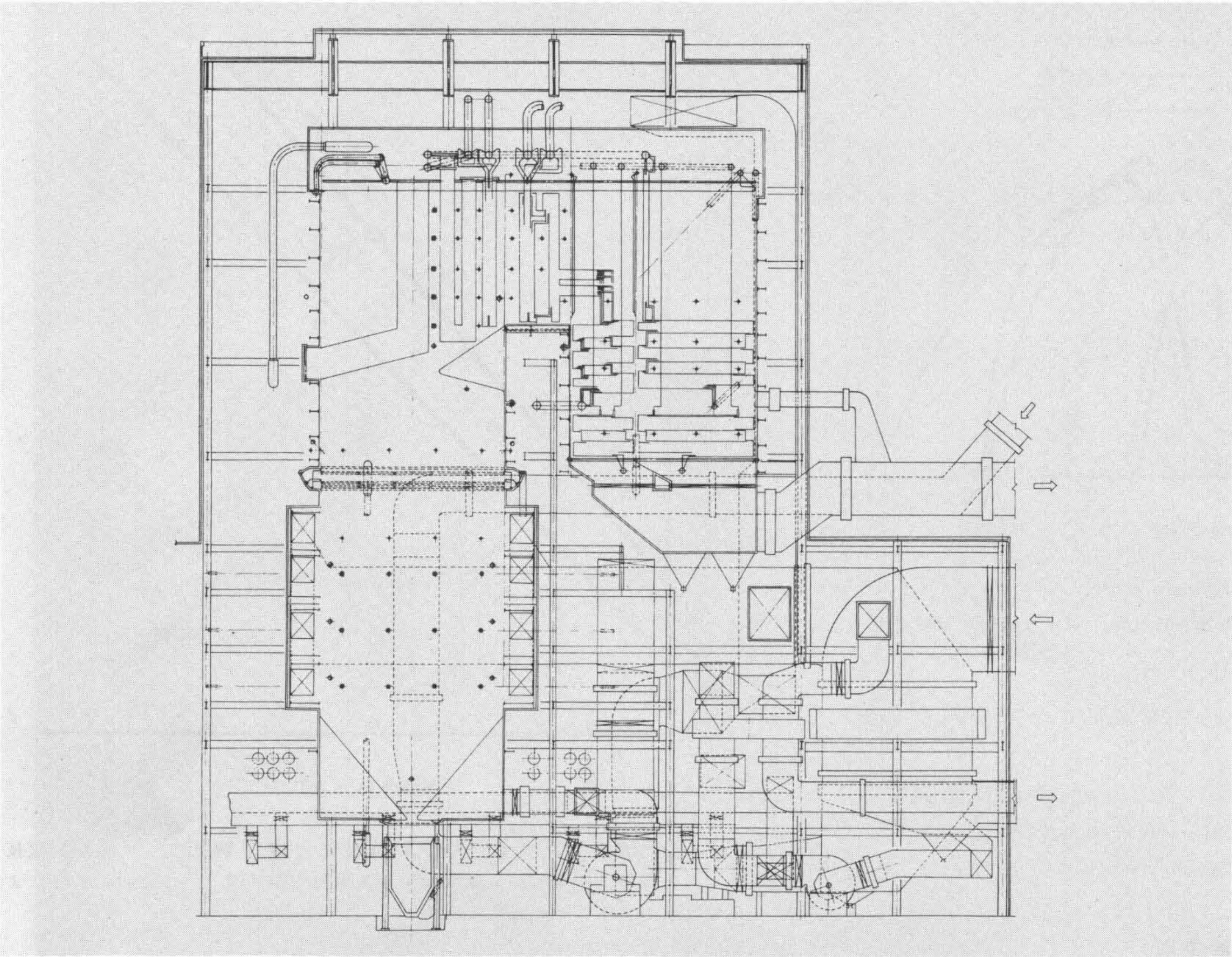


図6 国内最大容量700MW
石炭燃焼ボイラ 火炉幅22
m, 炉奥行15.5mと大形であるが、
分割壁のない単一炉とし、多種銘
柄炭使用を考慮しガス再循環に加
えガス分配装置を備え、蒸気温度
の特性向上を図っている。

また、石炭燃焼ボイラ用火炉では、スラッシング対策が重要となり、その結果、スラッグ除去が困難な分割壁や分割炉を使用しない、いわゆる単一炉が好ましいと言える。したがって、十分な実績をもっている火炉構造及び燃焼方式を備えた単一炉が、信頼性向上の決め手になると考えられる。

接触伝熱面では、大容量化に伴って管本数の増加、管寄せ・連絡管の大形化となり、各管でのアンバランス防止や厚肉構造物の熱応力対策などが必要となるが、これらは従来の技術を適用することで解決できる。

したがって、大容量化による設計上の最大の問題は、大形構造物での熱膨張収縮による局所的な熱応力とひずみを、どのように解決するかである。バブcock社グループでは34m炉幅をもつ1,300MWボイラでのホッパ部トラスサポート方式の採用などにより、これらの問題はすべて解決している。

5 700MW 石炭燃焼ボイラの設計

バブcock日立株式会社では、電源開発株式会社納め竹原火力発電所3号缶用国内最大容量の700MW石炭燃焼ボイラを受注し、その設計を進めるとともに、大容量ボイラでは世界最大の実績をもつ米国B&W社とともに共同検討を行ない、このほど詳細設計を完了したので、その概要について紹介する。

ボイラの主要設計要目を表4に示す。また、本ボイラでの使用予定炭は国内炭、輸入炭を合わせて19種類（主な銘柄炭の仕様は表2参照）にも及ぶため、石炭性状の検討が十分行なわれボイラの設計に反映されている。ボイラは超臨界圧ボイラとして信頼性の高いUPボイラ(図6参照)で、火炉幅22m、炉奥行15.5mと大形であるが分割壁などのない単一炉とし、炉壁面のスラッシングトラブル防止を図っている。

対流伝熱面のフォーリング対策としては、火炉出口部にウイング壁を設け、火炉出口ガス温度を十分低くするとともに、伝熱管の配置、スートブロワ配置などを考慮している。ウイ

表4 国内最大容量700MW石炭燃焼ボイラ主要設計要目 我が
国最大容量700MW石炭燃焼ボイラは、大容量ボイラ製作の実績を生かしたB&W超臨界圧UPボイラである。

項 目		要 目
ボ イ ラ 形 式		放射再熱超臨界圧貫流ボイラ(屋内形)
主 蒸 気 流 量 (最大連続蒸発量にて)		2,300t/h
蒸 気 圧 力	最高使用圧力(過熱器出口にて)	ゲージ圧力 276 kg/cm ²
	過熱器出口(最大連続蒸発量にて)	ゲージ圧力 255 kg/cm ²
蒸 気 温 度	過 熱 器 出 口	543℃
	再 熱 器 出 口	541℃
給 水 温 度	節炭器入口(最大連続負荷にて)	290℃
空 気 温 度	周 囲 空 気 温 度	20℃
	強 圧 通 風 機 入 口	40℃
通 風 方 式		平 衡 通 風 方 式
微 粉 炭 燃 焼 方 式		直 接 加 圧 式
一 次 通 風 方 式		コールドエアファンシステム

ング壁は火炉を出た比較的低温の流体が導かれるため、高温ガス部でも信頼性の高いものとなっている。

再熱蒸気温度制御は、通常ガス再循環方式に加え、多種銘柄炭の炭種による燃焼及び伝熱特性の差に対処するため、ガス流量分配による熱吸収の調整が行なえるよう配慮されている。

6 結 言

以上、外国の大容量石炭燃焼ボイラ開発状況及び国内新設石炭燃焼ボイラに要求される技術について述べるとともに、これらの最新技術をもとに詳細設計が完了した国内最大容量700MW石炭燃焼ボイラについて概要を紹介した。

バブcock日立株式会社では、バブcock社グループの総合技術に加え、NO_x対策などについて独自の技術開発により、国内のニーズに合った大容量石炭燃焼ボイラの設計、製作体制を整え、既に1,000MWのUPボイラ及びベンソンボイラの試設計を終了している。今後とも、各電力会社の協力を得て、石炭燃焼大容量ボイラの開発に努力する考えである。