

# 低揮発分炭バーナの開発

## Development of Low Volatile Coal Firing Burner

渡 辺 真 次	エネルギー事業本部電力事業部プラントエンジニアリング部
須 古 敏 行	エネルギー事業本部電力事業部プラントエンジニアリング部
藤 森 俊 郎	技術開発本部基盤技術研究所熱・流体研究部 部長 博士（工学）
須 田 俊 之	技術開発本部基盤技術研究所熱・流体研究部 主査 博士（工学）
高 藤 誠	技術開発本部基盤技術研究所熱・流体研究部

我が国は世界有数の石炭輸入国であり、発電用として良質な<sup>れき</sup>瀝青炭を利用している。近年の世界的な石炭需要の増大を考えると、石炭の安定供給上、将来的に低品位（品質）の炭種を受け入れる必要がある。そのためには微粉炭焚きボイラで低揮発分炭を専焼可能とすることが有効であるが、現状設備では低揮発分燃料の安定燃焼は困難である。そこで、高温な炉内ガスをバーナに循環させ揮発分の放出を促進し、低揮発分炭でも高い燃焼効率で安定燃焼を可能とする、微粉炭焚きボイラ用低揮発分炭バーナを開発した。

Bituminous coal has been used as the main fuel for pulverized coal (PC) fired boilers for thermal power plants in Japan. Demand for bituminous coal has also increased worldwide. Consequently, PC fired boilers are now required to use not only bituminous coal but also low volatile coals like semi-anthracite and anthracite. However, low volatile coal is difficult to burn stably in existing PC firing boilers. IHI has developed a new burner that can burn low volatile coal without using assist oil. The concept of the new burner is aimed at the increase in emissions of volatile components by recirculating high temperature furnace gas into the burner. This resulted in improved stable combustion.

### 1. 緒 言

石炭は地球上に広く分布し、最も豊富なエネルギー源であり、エネルギーミックスによる安定供給のうえでは将来にわたり石炭の利用は不可欠である。現在、我が国は世界有数の石炭輸入国であり、輸入炭の多くは良質の<sup>れき</sup>瀝青炭である。しかし、中国をはじめとするアジア諸国の急速な経済発展に伴う世界的な石炭需要の増大と、将来的には良質石炭の産出供給量が減少することを考慮すると、今後は瀝青炭に限らず幅広い炭種を受け入れる必要があると考えられる。

我が国においては、石炭火力発電は電力供給のベースかつ負荷調整用電源と位置づけられており、現在、燃焼特性に優れた瀝青炭を主要燃料として発電を行っているが、発電コスト削減につながる低コスト燃料の利用ニーズは高まっている。また、産業用自家発電用石炭焚きボイラでは、発電単価削減のため、より低コストの石炭や石油コークスなどに対応する技術の要求が強い。

しかし、我が国のほとんどの微粉炭焚きボイラは、良質な瀝青炭の使用を前提として設計されている。このため設

計炭と大きく異なる性状の石炭を使用する場合には、ボイラ効率、環境負荷性能など、さまざまな問題を解決する必要がある。また、重油による助燃が必要など、運用上の制約がある。

このような技術的な困難さがあるが、低揮発分炭を通常の瀝青炭と同等の運用性をもたせることができれば、発電単価の削減に大きく寄与することができる。以上の状況において、揮発分が15%以下の低揮発分炭に対し、バーナ単独での自立安定燃焼と燃焼効率98.5%以上を目標に、低揮発分固体燃料に対する技術開発を実施した。

### 2. 燃焼ガス内部循環による低揮発分固体燃料燃焼法

微粉炭焚きボイラにおいては、燃料となる微粉炭は次のような燃焼過程を経る。

- (1) バーナからボイラ火炉内へ微粉炭が噴射される。
- (2) 輻射や対流伝熱によって微粉炭粒子が加熱され、揮発分が放出される。
- (3) 石炭から放出された揮発分が気相状態で着火する。

低揮発分炭においては、揮発分が少なく、かつ、その放出温度が高いため、着火しにくく、安定燃焼が困難である。このような燃料に対し、燃焼空気を従来以上に高温化することで、低揮発分炭を含む幅広い石炭に対して優れた燃焼特性が得られることが明らかになっている<sup>(1)</sup>。

そこで本技術では、炉内燃焼ガスの一部をバーナ内部へ循環させることで揮発分の放出を促進して着火性を向上させ、低揮発分固体燃料の燃焼安定化を図った。

炉内ガス循環型バーナと呼称する低揮発分炭専焼バーナと従来型バーナ（IHI-DF バーナ）の特長比較を第1表に、概念を第1図に示す。IHI-DF バーナは、旋回をさせた燃焼用空気（2次空気）によってバーナ下流に内部循環流を形成し、再循環流中に微粉燃料を吹き込むことで安定火炎を形成している。

一方、炉内ガス循環型バーナは、高温炉内ガスを予熱チャンバ内に循環させて高温雰囲気を形成する。予熱チャンバ内に吹き込まれた微粉燃料は、高温雰囲気下で揮発分

を放出させて着火し、2次空気で形成された内部循環流によって安定火炎を維持する機構となっている。

### 3. 開発試験設備および試験燃料性状

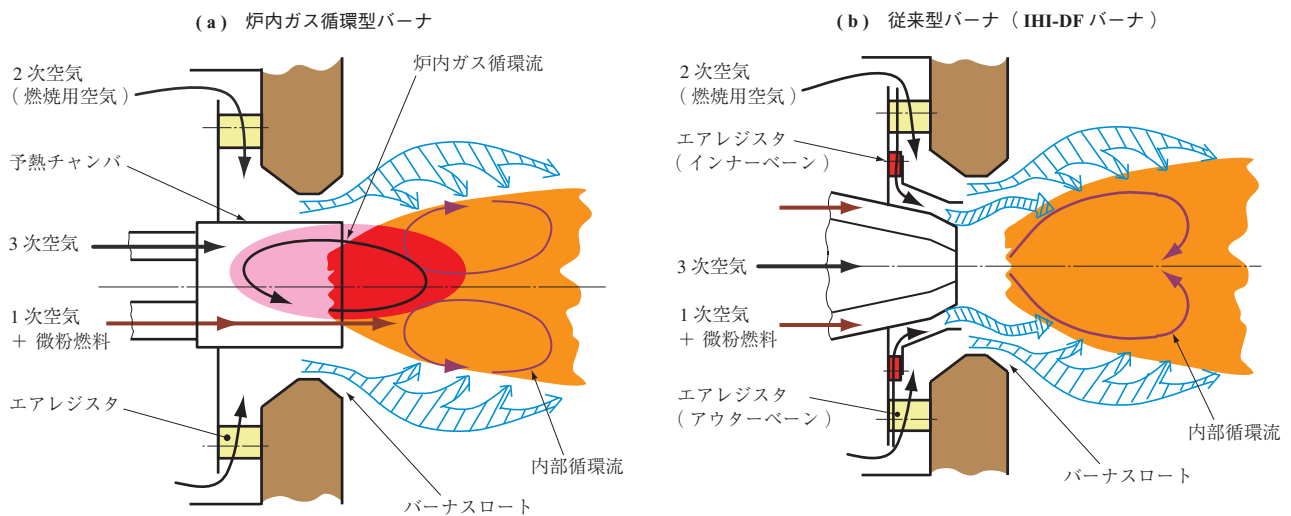
開発試験設備の概略系統図を第2図に示す。開発試験は、当社相生工場内 D & D パーク（Development and Demonstration Park）の実証燃焼試験設備（CFT）において行った。試験設備の燃焼量は 1.2 t/h であり、燃料は微粉碎した後にいったん微粉ビンに貯蔵する間接燃焼方式を採用している。また、燃焼炉は奥行き 4.5 m、幅 3.0 m の水冷ジャケット構造で炉内側は耐火材張となっている。

第2表に試験燃料の主要な性状を示す。開発では、低揮発分炭として石炭 A（無煙炭）、石炭 B（半無煙炭）のほかに、石油コークスを使用した。第3表に主な試験条件を、第3図に試験燃料を ASTM（米国材料試験協会規格）のコールランク表にプロットした図を示す。

第1表 炉内ガス循環型バーナと従来型バーナの特長比較

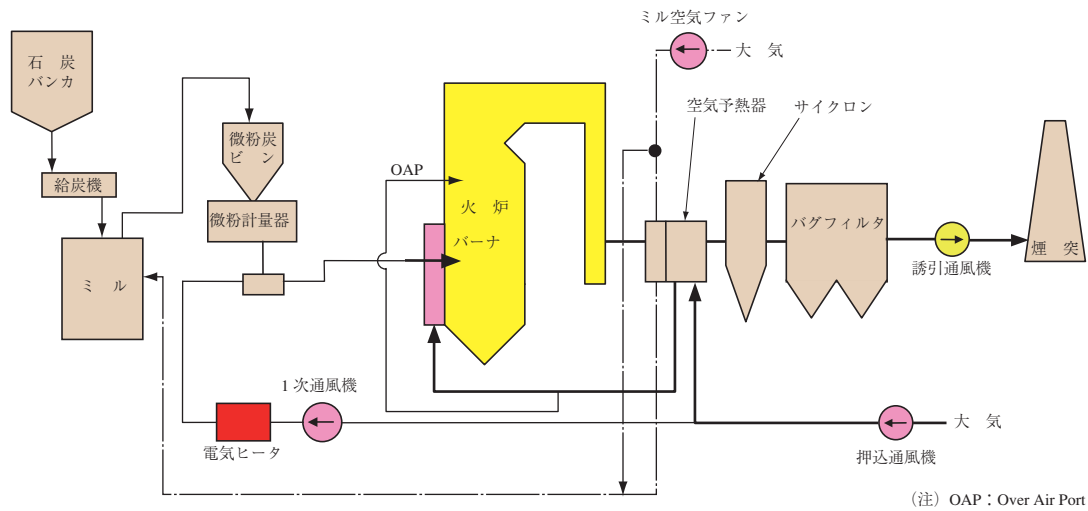
Table 1 Comparison between high temperature gas recirculation burner and IHI-DF burner

項目	炉内ガス循環型バーナ	従来型バーナ (IHI-DF バーナ)
燃焼方式	バーナ内部に循環流を構成し、微粉炭の揮発分放出促進を行う。その後、2次空気による内部循環流によって、燃焼を行う。	2次空気による内部循環流に微粉炭を投入し、燃焼を行う。
特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>巻き込みによる炉内ガスの再循環</li> <li>旋回流による再循環</li> <li>1次空気の高温化</li> <li>部分予混合</li> <li>3次空気の炉内ガス再循環流の制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>旋回流による再循環</li> <li>強い混合</li> </ul>



第1図 炉内ガス循環型バーナと従来型バーナの概念

Fig. 1 Concept of high temperature gas recirculation burner and IHI-DF burner



第2図 開発試験設備の概略系統図  
Fig. 2 Schematic diagram of combustion test facility

第2表 試験炭性状  
Table 2 Test coal properties

項目	単位	石炭A (無煙炭)	石炭B (半無煙炭)	石油 コークス
揮発分	無水無灰ベース	%	10.9	18.9
燃料比	—	—	9.1	4.4
灰分	無水ベース	%	21.1	15.0
発熱量	無水ベース	MJ/kg	27.5	27.0
窒素分	無水ベース	%	2.5	1.6
硫黄分	無水ベース	%	0.4	0.8

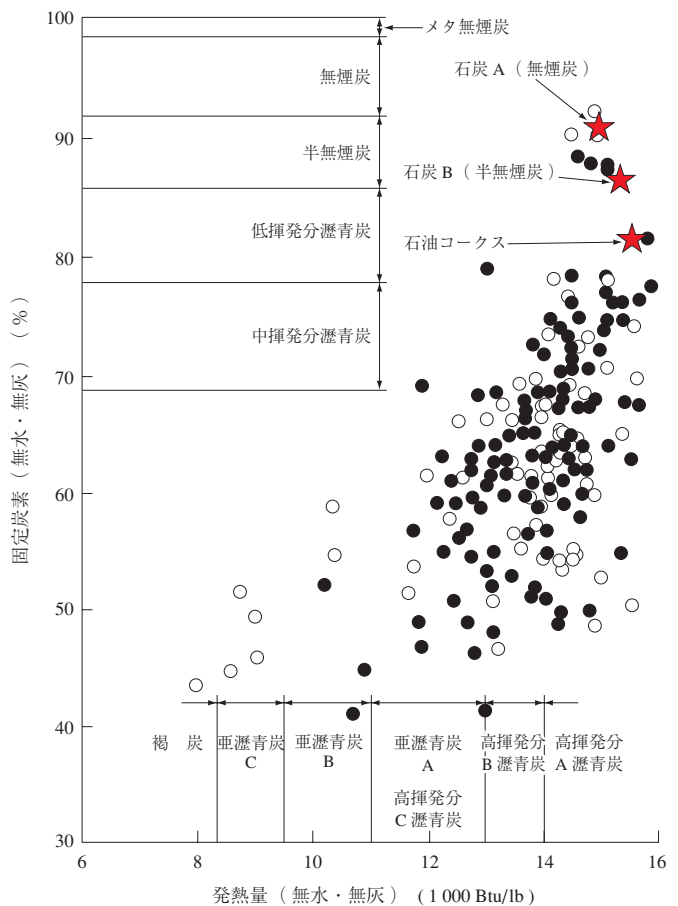
第3表 主な試験条件  
Table 3 Main test conditions

燃料	単位	石炭A (無煙炭)	石炭B (半無煙炭)	石油コークス
燃焼量	t/h	1.2	1.2	1.2
排ガスO <sub>2</sub>	%	3.5	3.5	3.5
二段燃焼率	%	0~30	0~30	0~30

#### 4. 炉内ガス循環型バーナの燃焼特性

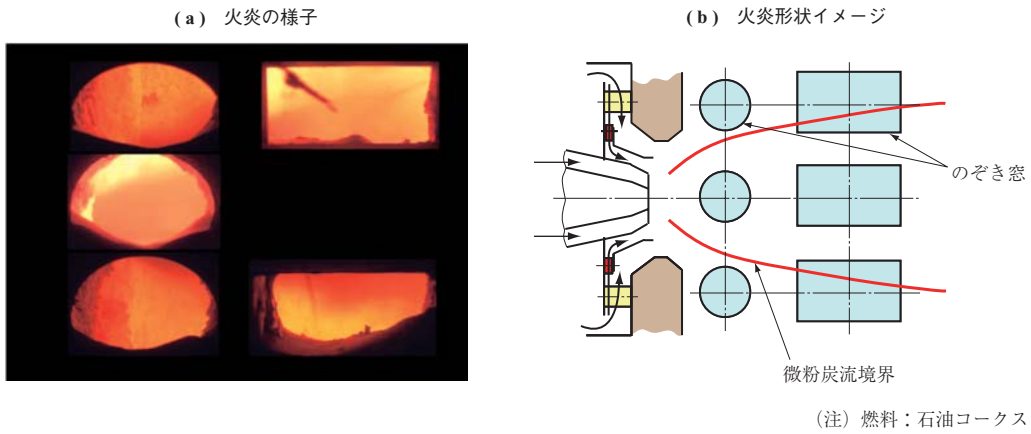
第4図に、IHI-DFバーナで石油コークスを専焼させた場合の試験炉側壁のぞき窓から撮影したバーナスロート近傍での火炎の様子を示す。また、第5図に炉内ガス循環型バーナで石油コークスを専焼させた場合の火炎の様子を示す。第4図のIHI-DFバーナでは、スロート出口において局部的に明るく、着火しているものの安定した燃焼とは言い難い。一方、第5図の炉内ガス循環型バーナにおいては、スロート出口のほぼ全領域で明るく、安定した燃焼が得られている。

第6図に、炉内ガス循環型バーナとIHI-DFバーナで、

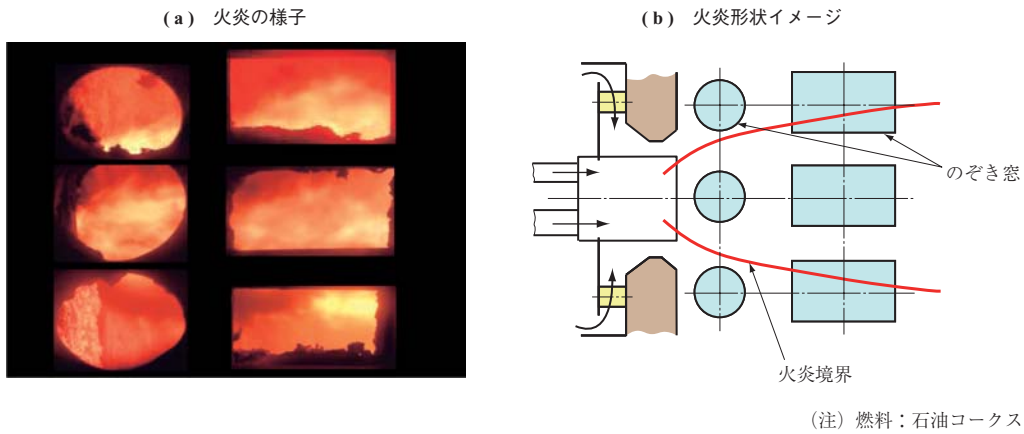


第3図 試験燃料  
Fig. 3 ASTM classification of coal grade

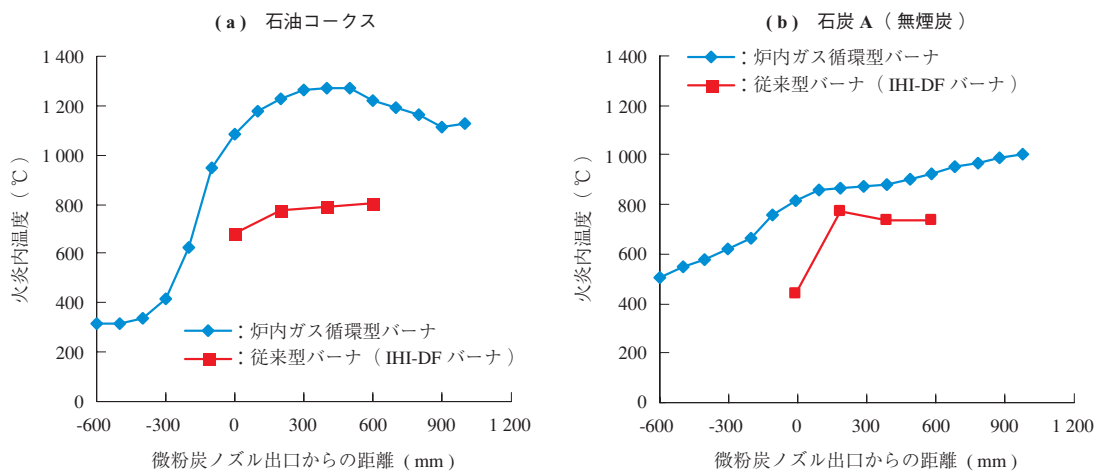
石油コークス (- (a)) および石炭A (無煙炭) (- (b)) を専焼させた場合の火炎内部温度分布を示す。計測はバーナ中心軸に沿って熱電対を挿入して実施した。石炭A (無煙炭) および石油コークスの両結果とも、炉内ガス循環型バーナノズル出口部での温度は800℃以上となってお



第 4 図 従来型 (IHI-DF バーナ) 火炎の様子  
 Fig. 4 Flame state using IHI-DF burner



第 5 図 炉内ガス循環型バーナ火炎の様子  
 Fig. 5 Flame state using high temperature gas recirculation burner



第 6 図 火炎内部温度分布  
 Fig. 6 Flame temperature distribution along the burner centerline

り、IHI-DF バーナに比べ火炎の安定着火が図られていることが確認できる。

第7図に、試験炉側壁ののぞき窓から放射温度計で計測した炉内温度分布を示す。第7図-(a)は石油コークス専焼時の温度計測結果である。炉内ガス循環型バーナの場合、バーナスロート直近から温度が約1050℃であり、従来型バーナ（IHI-DF バーナ）の約850℃に対して約200℃も温度が高い。また、炉内ガス循環型バーナにおいては、スロートから離れるに従い温度は上昇し、約2000mmの位置でピークをもっている。これは、炉内の観察と併せるとバーナから2000mm程度の位置で燃焼が完結しているものといえる。

一方、IHI-DF バーナではスロートからの距離2000mm以降で温度が上昇し炉壁に至るまで高温となっていることから、主に火炉後壁付近で燃焼が行われているといえる。

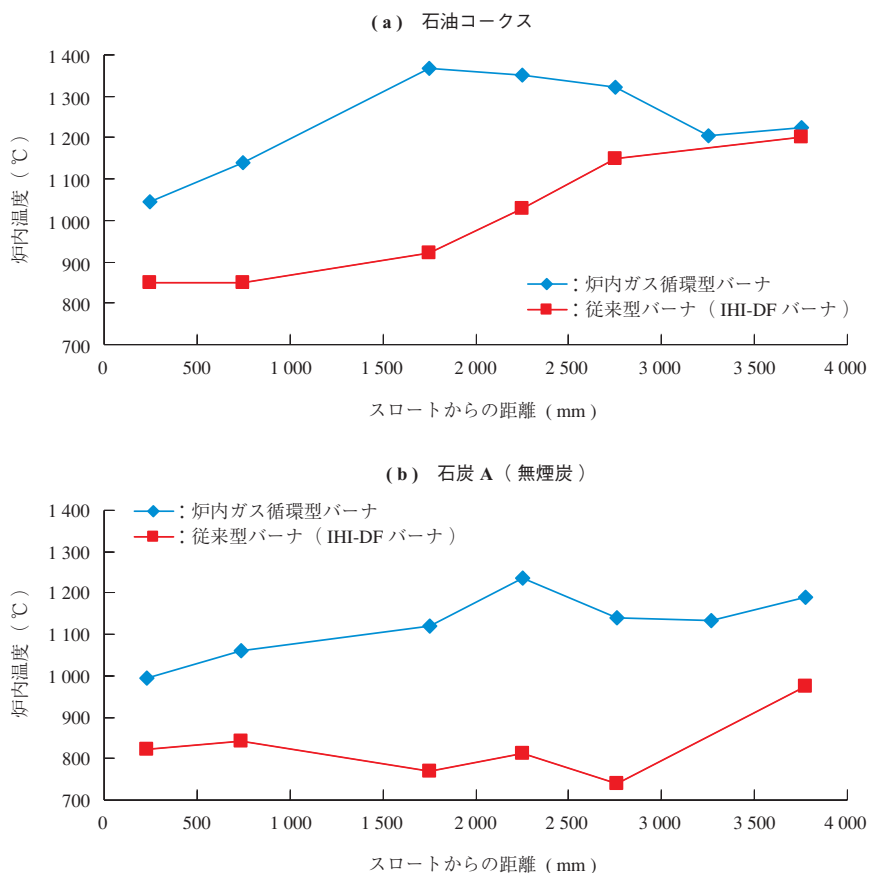
第7図-(b)は石炭A（無煙炭）専焼時の計測結果を示す。石油コークスと比べて、無煙炭は揮発分が少なく、より燃焼し難い燃料である。そのため、IHI-DF バーナでの温度分布はバーナスロートから火炉後壁近傍まで800℃

から900℃程度で推移しており、石油コークスの場合よりも燃えていない。

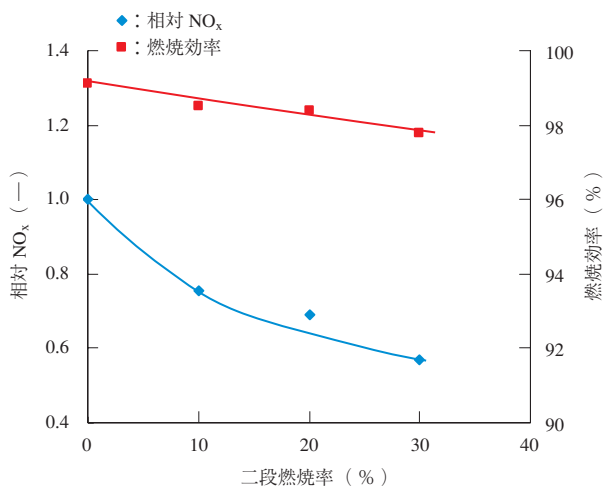
一方、炉内ガス循環型バーナでの温度分布は、石油コークス専焼時と同様にバーナスロート近傍で1000℃程度の温度であり、計測点全点で1000℃以上となっている。以上の結果から、炉内ガス循環バーナは、無煙炭専焼時においても、安定した燃焼状態であるといえる。

炉内ガス循環型バーナの燃焼特性を第8図および第9図に示す。第8図は、石炭B（半無煙炭）専焼時の結果であり、二段燃焼率に対するNO<sub>x</sub>値（相対値）と燃焼効率を示す。ここで、NO<sub>x</sub>相対値は二段燃焼率0%を基準とした各試験条件でのNO<sub>x</sub>値である。なお、ボイラにおいてはNO<sub>x</sub>低減を目的としてバーナ下流に設置した空気投入孔（OAP）から燃焼用空気の数割を投入しており、全燃焼用空気量に対するOAPから投入される空気量の比が二段燃焼率である。

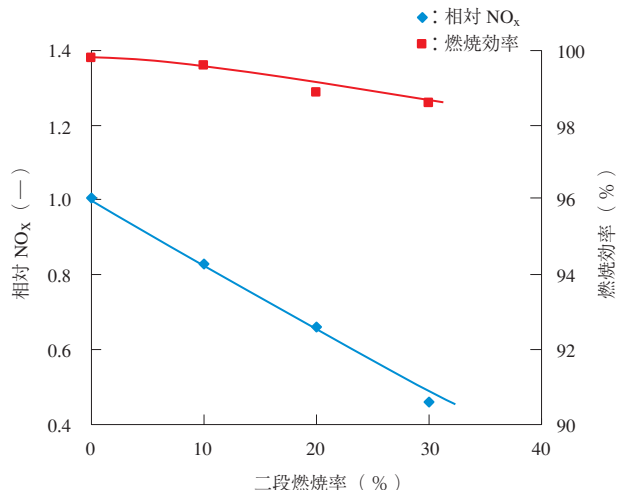
二段燃焼率の増加に伴いNO<sub>x</sub>は減少し、二段燃焼率20%でおよそ35%のNO<sub>x</sub>が低減する結果となった。また、二段燃焼率の増加に伴い灰中未燃分が増加し燃焼効率は低



第7図 炉内温度分布  
Fig. 7 Temperature distribution in furnace measured via observation windows



第 8 図 燃焼特性 (石炭 B)  
Fig. 8 Combustion characteristics (Coal B)



第 9 図 燃焼特性 (石油コークス)  
Fig. 9 Combustion characteristics (Oil coke)

下するが、二段燃焼率 20%においても、目標の 98.5%以上の燃焼効率を得ることができた。第 9 図には、石油コークス専焼時の燃焼特性を示す。半無煙炭専焼時と同様に、二段燃焼率の増加に伴い NO<sub>x</sub> は低下し、二段燃焼率 20%においては約 38%の NO<sub>x</sub> 低下となる。また、二段燃焼率 20%における燃焼効率も、目標の 98.5%以上となった。

## 5. 結 言

揮発分が 15%以下の低揮発分炭に対して、バーナ単独での自立安定燃焼と燃焼効率 98.5%以上を目標に、低揮発分固体燃料に対する技術開発を進めてきた。結果、以下の技術を開発した。

- (1) 揮発分 10～20%程度の低揮発分燃料を、助燃なしで専焼可能なバーナを開発した。
- (2) 炉内ガス循環型バーナでの低揮発分燃料の燃焼で、燃焼効率 98.5%以上を達成した。

今後、本技術を実缶へ導入し、エネルギー安定供給へ貢献していく。

## — 謝 辞 —

本技術の開発は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から委託を受け、中国電力株式会社と 2004 年度から 2005 年度の 2 年にわたり共同で実施したものである。

NEDO および中国電力株式会社の関係各位には多大なるご助言およびご協力をいただきました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 須田俊之, 高藤 誠, R. Dirk, 平田哲也, 佐藤順一: 高温空気燃焼技術の微粉炭燃焼への適用 石川島播磨技報 Vol.44 No.3 2004 年 5 月 pp. 199 - 208