

第 4 章

4

微粉炭火力用燃料の
適性評価



第4章 微粉炭火力用燃料の適性評価 目次

CS推進室 受託推進グループ 部長 牧野 尚夫
横須賀研究所 エネルギー化学部 主任研究員 松田 裕光

4 - 1	研究の背景	31
4 - 2	発電用炭適性評価手法	31
4 - 3	適合炭種拡大化技術	37
4 - 4	今後の展開	43

牧野 尚夫（10ページに掲載）
（4-1、4-2、4-4執筆）



松田 裕光（1983年入所）
これまで石炭火力発電における微量物質の挙動および微粉炭燃焼や石炭ガス化における石炭中窒素化合物の反応特性について研究を行ってきました。現在、微粉炭火力における新規導入炭種の発電所への適性が精度良く評価できる手法の確立を図っています。今後は、未利用の石炭種やバイオマス燃料等の反応性評価に関する研究を行い、火力発電の燃料拡大、コスト低減に貢献していきたいと考えています。

（4-3執筆）

4 - 1 研究の背景

現在、我が国の微粉炭火力においては様々な国から輸入した石炭が利用されており、その内訳はオーストラリア炭が50%以上、中国、アメリカ、インドネシアなどの石炭が各10%程度を占めている。これらの国には数多くの炭田があり、石炭の性状もそれぞれ大きく異なる。また、新しい炭田も年々開発されているため、多様な石炭種を的確に導入していくことはエネルギー源強化、燃料コストの削減の観点から重要である。

新規石炭の導入にあたっては、その性状が各発電所の運転操作条件の調節範囲で問題なく運用できるものである必要がある。従来は微粉炭火力発電所の設計時に、適用可能範囲となる石炭性状を設定（設計炭と呼ぶ）し、基本的にはその性状範囲内の石炭を利用してきた。設計炭の性状範囲から外れる石炭種を利用する場合には、実機に近い規模の火炉を用いての燃焼試験等で、その特性を事前確認した後に導入するなどの方法を採用していたため、事前評価にも多くのコストと時間を必要としていた。

当研究所では、様々な新規炭種の実機への導入可能性を

簡易かつ的確に判定する手法を開発するため、石炭性状の分析値および発電所の運転操作条件に関する情報のみから、利用時の諸特性を推定する手法の開発に着手した。

本技術開発にあたっては、まず、1時間に約100kgの石炭を燃焼できる当研究所の石炭燃焼炉を用いて、石炭性状および燃焼条件から本試験炉でのNO_x・灰中未燃分の排出特性を推定する「発電用炭適性評価手法」を確立した。

本手法における石炭性状の影響評価は、燃焼条件一定の下で多様な石炭種を燃焼させ、そのNO_x・灰中未燃分排出特性と石炭性状との関係を明らかにすることで行った。一方、燃焼条件の影響については、数炭種について燃焼条件を変化させてNO_x・灰中未燃分排出特性を把握し、影響評価を行った。

次に、「発電用炭適性評価手法」で得られた石炭性状や燃焼条件の影響評価式を基に、様々な実火力発電所から収集されたデータを評価し、各発電所に対して利用石炭性状と燃焼条件から、NO_x・灰中未燃分などの排出量を推定する「適合炭種拡大化技術」として拡張した。

4 - 2 発電用炭適性評価手法

各種石炭の実機への導入の可否を判断する上で、燃焼技術の観点から最も大事な評価因子はNO_x、灰中未燃分の排出特性である。当研究所では、様々な石炭種を燃焼した場合におけるNO_xと灰中未燃分排出特性を推定するための発電用炭適性評価手法を、石炭燃焼試験炉を用いて開発した。

4-2-1 石炭性状の影響評価

NO_x 排出特性

燃焼条件一定の下での各炭種の発生NO_x濃度は、それぞれの供試炭中の窒素含有率（N含有率）に対して図4-2-1のような傾向を持つ。燃料中N含有率の増加に伴いNO_x濃度が上昇するが、明確な相関関係を示すまでには至っていない。これは燃料中N分のNO_xに

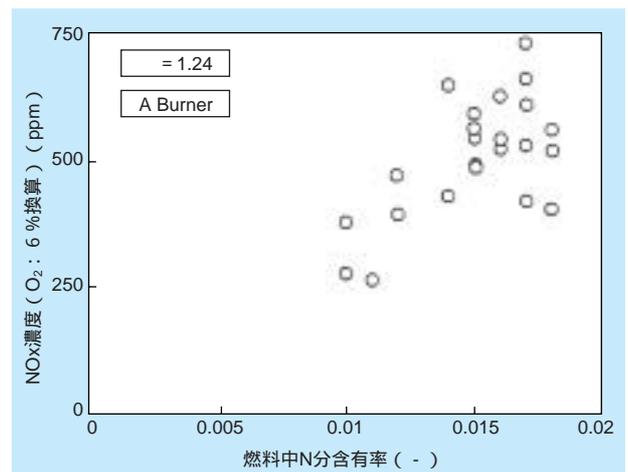


図4-2-1 燃料中N含有率とNO_x濃度の関係

転換する割合（NO_x転換率）が石炭種によって大きく異なることに起因している。そこで、次式に定義する

NOx 転換率 (CR) を用いることにより、各種石炭について、NOx の生成しやすさを明らかにできる。

$$CR = NOx (\text{実測値}) / NOx (\text{計算値}) \quad (4-1)$$

ここで NOx (実測値) : 実測 NOx 濃度 (ppm)

NOx (計算値) : 石炭中の N 分が 100% NOx になった場合の NOx 濃度 (ppm)

図 4-2-2 は、転換率と石炭性状の関係を示したもので、燃料比 (FR) が低いほど転換率が低くなる傾向を持つ。燃料比が低い石炭種は、燃焼性の良い揮発分の含有率が高くなるため、バーナ近傍で急激な燃焼が起こり、速やかに還元雰囲気形成される。この還元炎により NOx が分解されるので、NOx 濃度が低くなると考えられている。また、同一燃料比であった場合には、燃料中窒素分含有率 (FN) が低いほど転換率は大きくなる傾向を有している。これは、FN が大きいほど NOx 濃度が高くなるため、それに応じて NOx への転換が抑制されることが原因とされている。

これらの関係を考慮すると、燃料比と燃料中窒素分含有率の比に対して NOx 転換率は、極めて良好な直線関係を持ち、図 4-2-3 のような傾向となる。図 4-2-3 の関係を表す実験式を、最小二乗法を用いて求めると、それぞれのバーナについて次式のような NOx 転換率推定式が決定される。

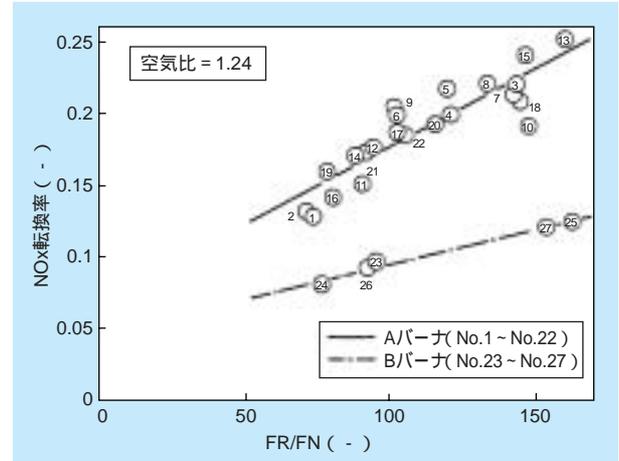


図4-2-3 燃料比、燃料中N分含有率とNOx転換率の関係

$$CR = a_1 \cdot FR/FN + a_2 \quad (4-2)$$

$$a_1 = 1.09 \times 10^{-3}, a_2 = 6.77 \times 10^{-3} \text{ (Aバーナ)}$$

$$a_1 = 4.89 \times 10^{-4}, a_2 = 4.57 \times 10^{-2} \text{ (Bバーナ)}$$

上式を利用すると、燃焼ガス中の NOx 濃度を次式から容易に推定することが可能となる。

$$NOx = \frac{1.60 \times 10^{-4}}{V_{dry}} (a_1 \cdot FR + a_2 \cdot FN) \quad (4-3)$$

ここで、 V_{dry} : 空気過剰率に対応した燃焼ガス

(m^3N/kg)

図 4-2-4 は、(4-3) 式を用いて求めた NOx 濃度の推定値と、実測濃度を比較したものであるが、かなり良い一

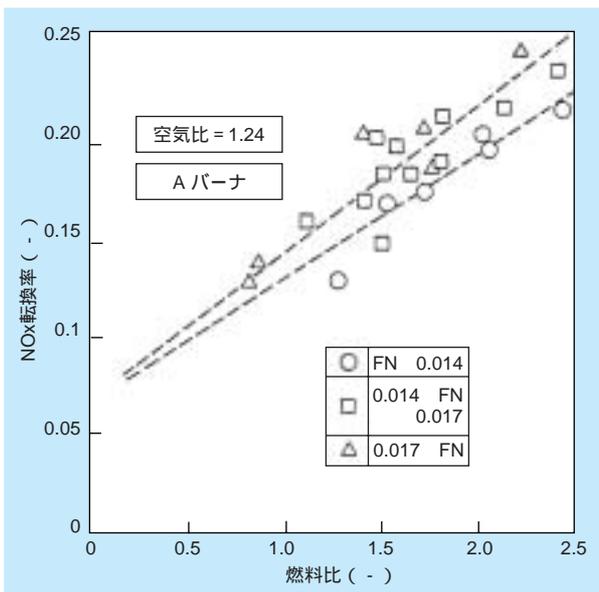


図4-2-2 燃料比とNOx転換率の関係

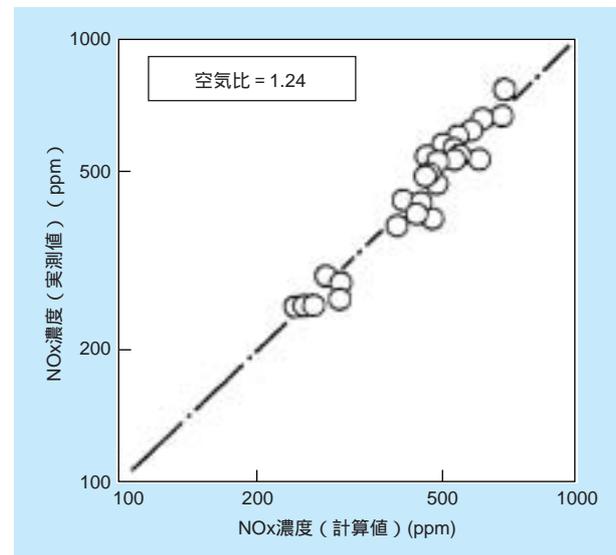


図4-2-4 NOx濃度の計算値と実測値の比較

致を示しており、NO_x発生量が、燃焼条件一定の下では石炭性状から精度良く推定できることが明らかとなっている。

灰中未燃分排出特性

石炭燃焼時に発生した石炭灰中に残存する可燃分の重量割合である灰中未燃分濃度（U_c）は、石炭の燃焼性だけでなく石炭中の灰分含有率にも影響されるため、この値からでは、石炭の燃焼性を直接的には評価することが難しい。そこで、まず灰中未燃分値から、次式により石炭中可燃分の未燃焼率（U_c^{*}）を計算し、この値を石炭の燃焼性の評価因子として用いることが多い。

$$U_c^* = \frac{A \cdot U_c}{(1 - A) \cdot (1 - U_c)} \quad (4-4)$$

ここで A : 石炭中の灰分含有率 (-)

U_c : 灰中未燃分 (-)

U_c^{*} : 未燃焼率 (-)

図4-2-5は、石炭の燃焼性を示す指標である燃料比と未燃焼率の関係を示したものである。炭種によって若干の差異があるが、A、B、いずれのタイプのバーナにおいても、未燃焼率は燃料比との間に比例関係が成立している。図4-2-5における燃料比と未燃焼率の関係を最小二乗法で求めると次の(4-5)式が得られる。

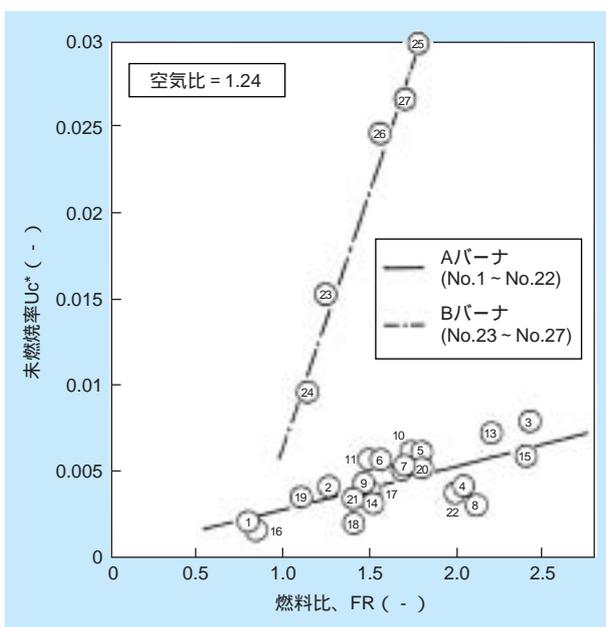


図4-2-5 燃料比と未燃焼率の関係

$$U_c^* = b_1 \cdot FR + b_2 \quad (4-5)$$

ここで、 $b_1 = 2.50 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 2.20 \times 10^{-4}$ (Aバーナ)

$b_1 = 2.95 \times 10^{-2}$ 、 $b_2 = 2.29 \times 10^{-2}$ (Bバーナ)

上記、(4-5)式の関係より、石炭性状が判明すれば未燃焼率が推定でき、さらに灰分含有率と(4-4)式、(4-5)式を利用することにより、灰中未燃分濃度を求めることが可能となる。こうして計算した灰中未燃分濃度と実測値の関係を示したものが図4-2-6である。NO_x濃度の場合に比べて、若干ばらつきが大きい、これは粒径や石炭の微細構造など、当研究所が検討に用いている性状以外の影響因子が存在するためと考えられている、今後はこれらの影響をも詳細に検討し、一層精度を上げていくことが重要となる。

混炭燃焼時の排出特性

性状の異なる石炭種を混合して利用することで、それぞれの石炭種の持つ問題点を改善できる可能性がある。例えば、NO_x濃度の異なる2種類の石炭を各混合比で燃焼させた場合について、その混合比率から求めた石炭中の窒素含有率と、NO_xへの転換率との関係は、図4-2-7のように示される。混炭燃焼することにより連続的に窒素含有率が変化するため、そのNO_x転換率への影響が、数多くの石炭をそれぞれ燃焼させた場合以上に明確に現れている。例えばイップスイッチ炭とブル

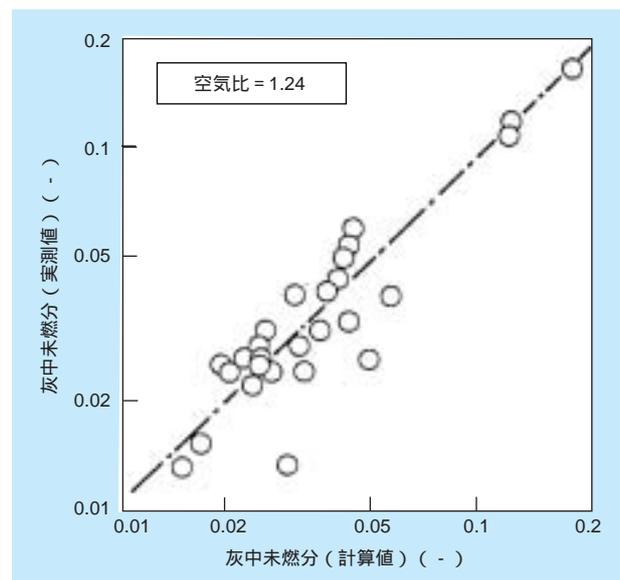


図4-2-6 灰中未燃分濃度の実測値と計算値の比較

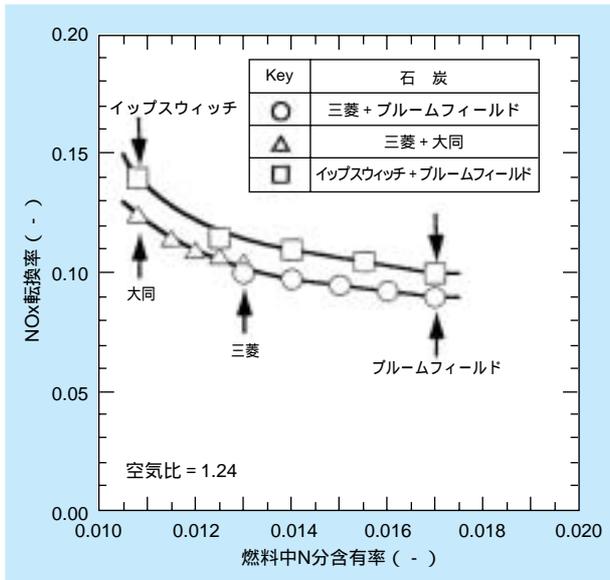


図4-2-7 混炭燃焼時のNOx転換率に及ぼす燃料中N分含有率の影響

ームフィールド炭に注目すると、各々の燃料比は1.7と1.6でほぼ同等であり、転換率への影響は単にN分含有率のみによるものと考えられる。本条件においても、単一石炭を燃焼させた場合の傾向と同様、窒素分含有率の増加に応じてNOx転換率が減少するという傾向が明確に示されている。

そこで、混炭燃焼時に対しても図4-2-3と同様に、混合した石炭の性状に対して、燃料比と燃料中窒素分含有率の比率と転換率との関係を把握すると図4-2-8のようになる。石炭を混炭燃焼した場合においても単一種の石炭燃焼時と同様に、燃料比と燃料中窒素分含有率の比はNOx転換率と良い直線関係を有し、このような条件に

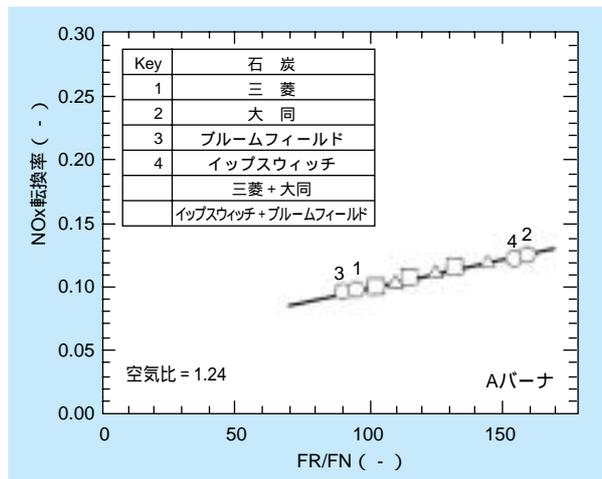


図4-2-8 NOx転換率に及ぼす石炭性状の影響

においても石炭性状からNOx濃度を推定できることが明らかになっている。

一方、混炭燃焼時の灰中未燃分濃度を検討するにあたっては、次のように考えて行ってきた。火炉熱負荷、空気過剰率などの燃焼条件が同一であるため、混炭したそれぞれの石炭種の燃焼過程も単一種の石炭燃焼時と同一であると仮定することにより、混炭燃焼時に排出される石炭灰は、単一種の石炭を燃焼した時に生成する石炭灰が混炭率に対応して混合したものから成り立つと考えることができる。この際、例えばn種の石炭を混炭率Xi(重量分率)で混炭燃焼した時の灰中未燃分は、次式で示される。

$$U_c = \sum_{i=1}^n \left(X_i \cdot A_i \frac{U_{c_i}}{1 - U_{c_i}} \right) / \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i \cdot A_i}{1 - U_{c_i}} \right) \quad (4-6)$$

ここで、Uc : 混炭燃焼時の灰中未燃分(-)

Xi : 石炭(i)の混炭率(重量分率)(-)

Uci : 石炭(i)専焼時の灰中未燃分(-)

Ai : 石炭(i)の灰分含有率(-)

図4-2-9は、三菱炭と大同炭を混炭燃焼した場合の灰中未燃分濃度と未燃燃率を、(4-6)式を用いて単一石炭種燃焼時におけるそれぞれの炭種の灰中未燃分濃度から求めた推定線と比較して示したものである。推定線は若干の差異はあるものの、実測値の傾向を良く表している。

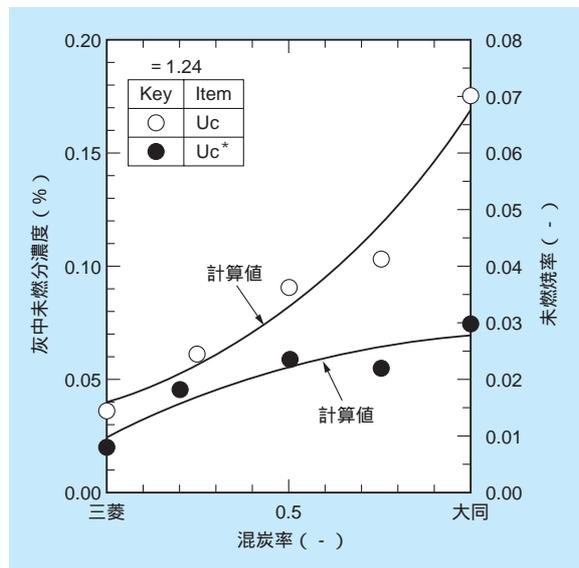


図4-2-9 混炭燃焼時の灰中未燃分濃度、未燃燃率に及ぼす混炭率の影響

これらの結果から、本発電用炭適性評価法は混炭時の灰中未燃分濃度の推定にも利用できることが明らかになり、当研究所の石炭燃焼炉において燃焼条件同一の下では、各種石炭を利用した場合のNO_x・灰中未燃分排出特性の推定が可能になっている。

4-2-2 燃焼条件の影響評価

実際の火炉においては、空気比（火炉に投入する石炭を燃焼させるのに理論的に必要な空気量に対する、実際に投入した空気量の割合）や、二段燃焼率（バーナ部に全部の燃焼用空気を投入させず、火炉の中間に分割投入することによりNO_xの急激な生成を抑制する二段燃焼法において、その分割した空気量の全投入空気量の割合）などを調整して、NO_x・灰中未燃分を調整する。発電用炭適性評価にあたっては、これらの燃焼条件の影響評価も重要となる。

図4-2-10には、二段燃焼率を変化させた場合のNO_x濃度と灰中未燃分濃度を示す。二段燃焼率の増加に伴いNO_x濃度は低減できるが、灰中未燃分濃度は逆に増加している。これらの検討を様々な石炭について行い、二段燃焼条件を一定（注入位置：バーナより2.99m、注入率：20%と30%）とした場合の、各炭種毎のNO_x転換率を基準燃焼時（4-2-1項の石炭種の影響を検討した場合の条件）のNO_x転換率との関係として表すことにより、図4-2-11のような良い直線関係が得られる。また、同様に未燃焼率についても、基準燃焼時と二段燃焼時（注入位置：2.99m、注入率：30%）との関係は図4-2-12に示さ

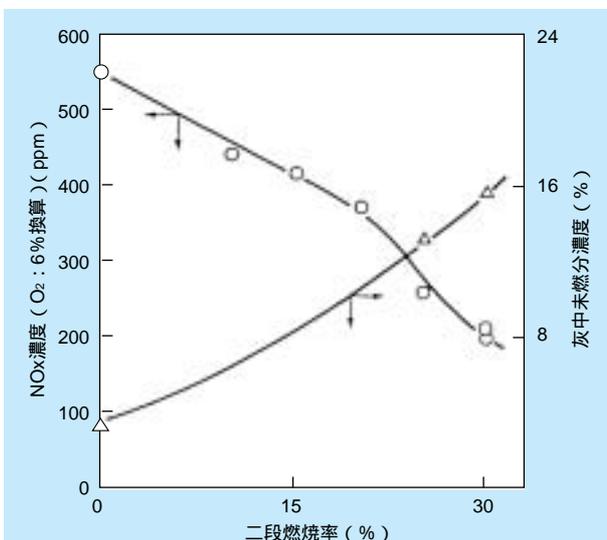


図4-2-10 二段燃焼率とNO_x・灰中未燃分濃度の関係

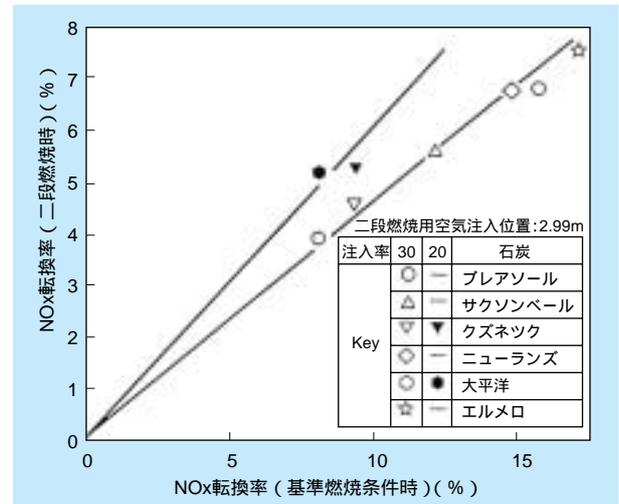


図4-2-11 基準燃焼時と二段燃焼時のNO_x転換率の比較

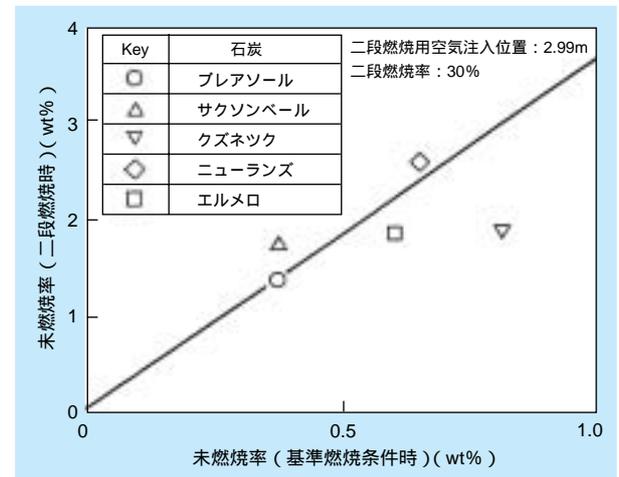


図4-2-12 基準燃焼時と二段燃焼時の未燃焼率の関係

れるように、NO_x転換率の場合と同様に、直線関係を有している。これは、すなわち基準燃焼時においてNO_x転換率、あるいは未燃焼率の高い供試炭は、二段燃焼時においても相対的にそれらが高くなることを意味している。

これより、NO_xと灰中未燃分は図4-2-10のように二段燃焼条件によって大きく変化するが、二段燃焼条件を一定にした場合のNO_x転換率の基準燃焼時からの低減割合や、未燃焼率の基準燃焼時からの増加比率は炭種によらず、ほぼ同一となることが明らかである。これらの関係を利用することにより、各種の二段燃焼条件におけるNO_x転換率低減率と未燃焼率増加比の逆数との関係を、図4-2-13に示すように炭種、燃焼条件によらず一本の直線で表すことができるようになる。また、空気比を増加させ、過剰酸素濃度を3%から6%ま

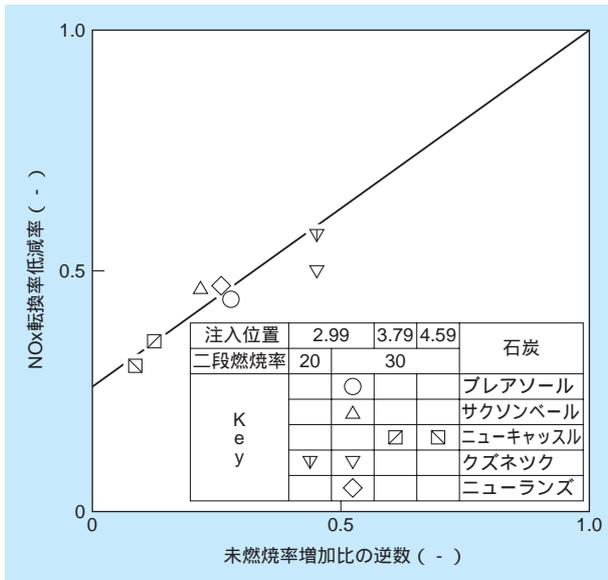


図4-2-13 NOx転換率低減率と未燃焼率増加比の関係

で変化させた場合についても、NOx 転換率低減率と未燃焼率増加比の逆数は、二段燃焼条件変化時と同一の直線上を変化することが明らかになっている。以上の結果より、燃焼条件を変化させた場合のNOx 転換率の低減率と、それに応じた未燃焼率の増加比は、供試炭性状によらず一定の関係を有することが明らかになった。図4-2-13を基にして、この関係を数式化すると、次式ようになる。

$$\frac{CR(\text{条件変化時})}{CRo(\text{各基準燃焼時})} = 0.77 \times \frac{Uco^*(\text{基準燃焼時})}{Uc^*(\text{条件変化時}) + 0.23} \quad (4-7)$$

上式に、各供試炭について基準燃焼時のNOx 転換率と未燃焼率の値を与えることにより、燃焼条件変化時のNOx 転換率と未燃焼率の関係を関数として得ることができる。この関係を用いれば、燃料中N分含有率、灰分含有率などの石炭性状が分かれば、図4-2-14のように石炭燃焼試験炉における各炭種毎の燃焼条件変化時のNOx と灰中未燃分の排出特性を推定することが可能となる。

図中には、比較のために実測値をも示しているが、推定した結果と非常に良く一致する。ここでの検討では基準燃焼時のNOx 転換率と未燃焼率として実測値を用いたが、4.2.1項で明らかにしている、石炭性状を基にした基準燃焼時のNOx・灰中未燃分排出特性推定手法を用いれば、燃焼実験を行わなくても、石炭の分析値のみから

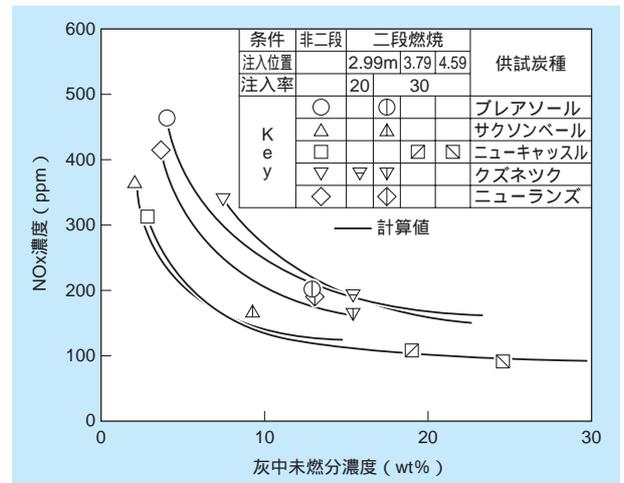


図4-2-14 燃焼条件変化時のNOx・灰中未燃分排出特性

図4-2-14の関係を求めることが可能となる。

ここまでは、1種類のバーナについて燃焼条件の影響を述べてきたが、微粉炭燃焼用のバーナには数多くのタイプがあり、それによりNOx と灰中未燃分の排出特性も異なる。図4-2-15には、NOx 転換率の低減率と未燃焼率の増加比との関係を、3種類のバーナについて把握した結果を示す。図示されるようにいずれのバーナについても、図4-2-13と同様の直線関係が得られているが、バーナによって若干傾きが異なっている。図4-2-15で求められた関係と、実測した基準燃焼条件時のNOx 転換率と未燃焼率を用いることにより、図4-2-14と同様に他のバーナについても燃焼条件変化時のNOx と灰中未燃

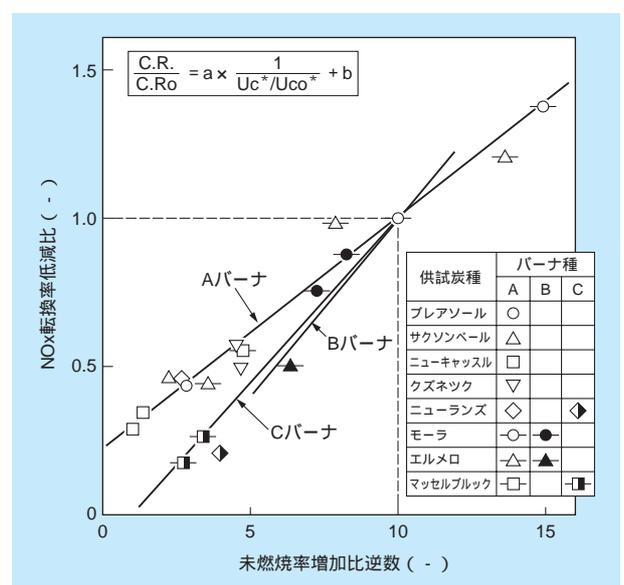


図4-2-15 バーナ形状変更時のNOx転換率低減率と未燃焼率増加比の関係

分の排出特性を求めることが可能となる。図4-2-16には、こうして求めたNOx・灰中未燃分排出特性を、燃焼条件変化時の実測値と比較して示しているが、3種類のバーナについて、いずれの炭種を使用した場合においても、推定値と実測値は良く一致していることが分かる。

本節で述べた手法により、当研究所石炭燃焼試験炉で各種石炭を燃焼した場合のNOx・灰中未燃分排出特性は、各バーナ毎に固有の、石炭性状とNOx転換率および未燃焼率の関係、ならびにNOx転換率低減率と未燃焼率増加比の関係を把握すれば、精度良く推定することが可能となっている。

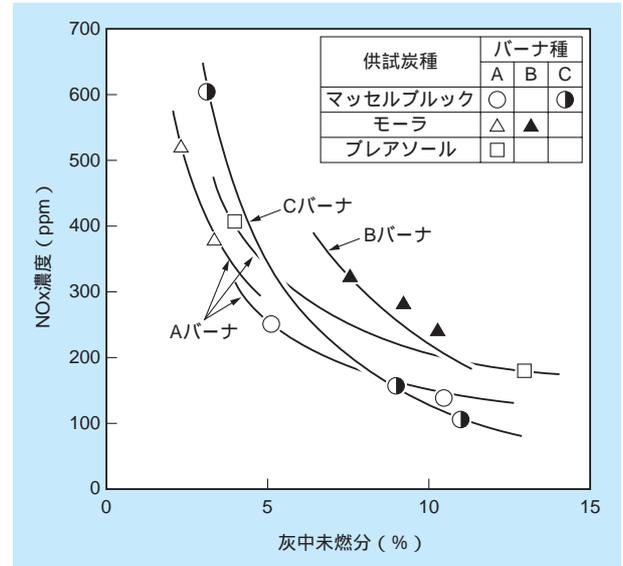


図4-2-16 バーナ形状変更時のNOx・灰中未燃分排出特性

4 - 3 適合炭種拡大化技術

これまでに利用経験のない幅広い性状の石炭も利用していくため、当研究所は、前節で述べた発電用炭適性評価法をもとに、新規炭種について石炭性状と運転条件から各発電所への適合性が評価できる「炭種適合性評価システム」を開発した。また、その開発にあたって、各発電所から収集した様々な石炭の性状や発電所での利用時の特性をデ-タベ-ス化することにより、「石炭利用事例検索システム」を作成した。各発電所での石炭運用は、混炭や部分負荷への対応等複雑であり、本システムの開発は、まず、定格負荷の単味燃焼について行ない、順次、混炭燃焼や部分負荷燃焼へとシステムの拡張を図っている。

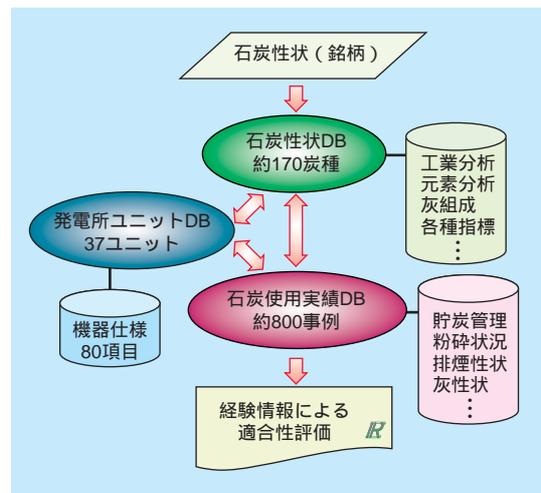


図4-3-1 石炭利用事例検索システム

4-3-1 実機使用炭のデ-タベ-ス化

デ-タベ-スの概要

当研究所が開発した「石炭利用事例検索システム」は、各発電所における石炭利用の実績をデ-タベ-ス(DB)化することにより、他の発電所での炭種毎の運転データを参考にして、利用経験のない石炭の利用時の特性を推定し、受け入れの可能性の判断に資するものである。図4-3-1に示すように、「発電所ユニット」、「石炭性状」、「石炭使用実績」の3つのDBから構成される。

発電所ユニットデ-タベ-ス

国内の石炭火力発電所37ユニットについて、貯炭設備、微粉炭機、ボイラ、脱硝装置、脱硫装置、集塵装置、排水処理設備およびフライアッシュ処理設備等の機器仕様約220項目についてDB化したものである。

石炭性状デ-タベ-ス

本DBは、主に1995年以降に各発電所で使用した石炭および新設発電所の設計炭について、工業分析、元素

分析等の一般分析を主体に約50項目についてまとめたものである。また、性状分析値から算出される灰アルカリ率、ファウリング指数、スラッキング指数、着火性指数についても表示されるシステムである。さらに、貯炭中の温度上昇や生成粒子の付着性等石炭使用時の留意事項もDB化した。石炭性状は同一銘柄であっても採掘位置等によって異なるため、できるだけロット（船）毎にデータを収集している。現在、本DBは、約170炭種、約2000ロットから構成されている。

石炭使用実績データベース

本DBは、1995年以降の各発電所における石炭燃焼時のボイラ運転条件や排ガス性状等の状態量を収録したものである。定格運転時の単味燃焼について約800事例、混炭燃焼について約450事例の石炭使用実績がデータとして収録されている。

計算機利用システム

石炭利用事例検索システムの主要画面を図4-3-2に示した。本システムは、データの検索、絞り込み、並べ替え、および表作成ファイルへの変換が容易に行える特徴を持つ。また、3つのDBはリンク構造となっており、

例えば石炭性状DBと石炭使用実績DBとをリンクさせることにより、石炭性状の情報と共に、単味および混炭燃焼を含めて、その石炭を使用した場合の特性が分かるようになっている。

さらに、本システムは、2000年に電力各社にCD-ROMで配布し、試用が開始されているが、ユーザーが利用する場合の利便性を考慮し、各発電所で継続的に取得されるデータをユーザーが自ら追加し、既存のDBと一体化して解析できると共に、「炭種適合性評価システム」において評価対象となる石炭種が、「石炭利用事例検索システム」に含まれている場合、その性状の入力は、DBより直接行える機能が付加されている。

4-3-2 炭種適合性評価技術

「炭種適合性評価システム」は、上記3DBを基に、発電所で一般的に分析している石炭性状値や通常計測している運転条件値から、各ボイラでの運転時の特性を推定することにより、各種石炭の各発電所ユニットへの適合性が判断できるシステムである。また、適合性の判断基準は、電力各社へのアンケート調査により、多くの発

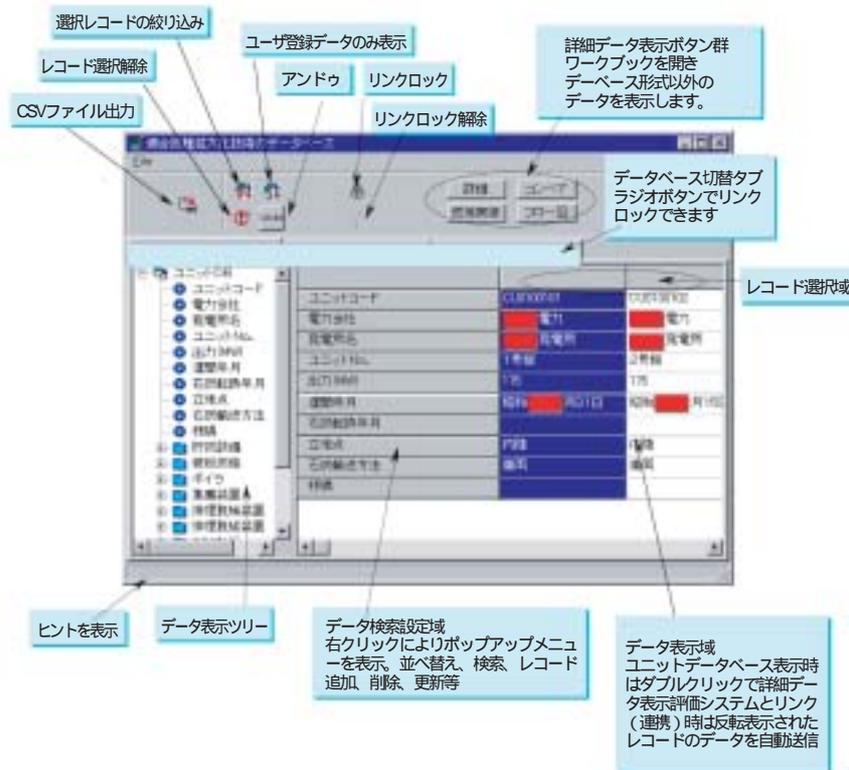


図4-3-2 石炭利用事例検索システムメインフォーム

電所で石炭の運用条件として重要視している、「NOx と灰中未燃分の排出特性」、「石炭灰性状」、「粉碎性」および「自然発火性」の4項目とした。本システムは、定格負荷の単味および混炭燃焼時の収集データに基づいて作成されている。

NOx と灰中未燃分の排出特性

本評価項目については、NOx および灰中未燃分の排出量を石炭性状と燃焼条件から予測できる手法を確立し、これにより石炭の適合性を評価すると共に、それらの排出量を抑制できる最適燃焼条件を石炭種毎に推定する手法を開発した。そのため、実機データおよび石炭燃焼炉での実験データを基に、ボイラ・パ・ナ形式、燃焼条件、石炭性状等の影響因子とNOx 排出量および灰中未燃分濃度との相関性を明らかにし、予測式の作成を行った。

NOx 排出特性評価における予測式は、まず、実機収集データおよび前節で述べた当研究所の微粉炭燃焼炉を用いた実験により得られたデータから、石炭中N分のNOx への転換率（NOx 転換率(CR)）と相関のある因子（影響因子）を抽出すると共に、各因子の影響が明らか

かになるよう、石炭性状や燃焼条件等を調整した試験を行ない、各々の相関関係から基本となる関数形を求めた。実際の発電所においては、これらの条件が同時に変化するため、各因子は、NOx 転換率に対して複合した影響として現れる。それらを体系的に整理して、それぞれのユニット毎の予測式を作成した。二段燃焼率が得られない場合は、ダンパ開度を関数形に加えた。評価式の作成フローを図4-3-3に示す。

こうして得られた評価式により、定格負荷の単味燃焼時および混炭燃焼時におけるNOx 転換率を評価した場合の予測値と実測値の関係を図4-3-4に示した。本図において、は単味燃焼時のデータのみから導出した評価式により単味燃焼時ならびに混炭燃焼時のNOx 転換率を予測した場合であり、は混炭燃焼時のデータも含めて評価式を再導出し、より高精度な評価式を用いて単味ならびに混炭燃焼時のNOx 排出特性を予測した場合である。混炭燃焼時のデータを加え、より多くの石炭性状と燃焼条件を基に評価式を導出することにより、評価精度を一層向上させることが可能になった。

灰中未燃分排出特性については、前節の式(4-4)に

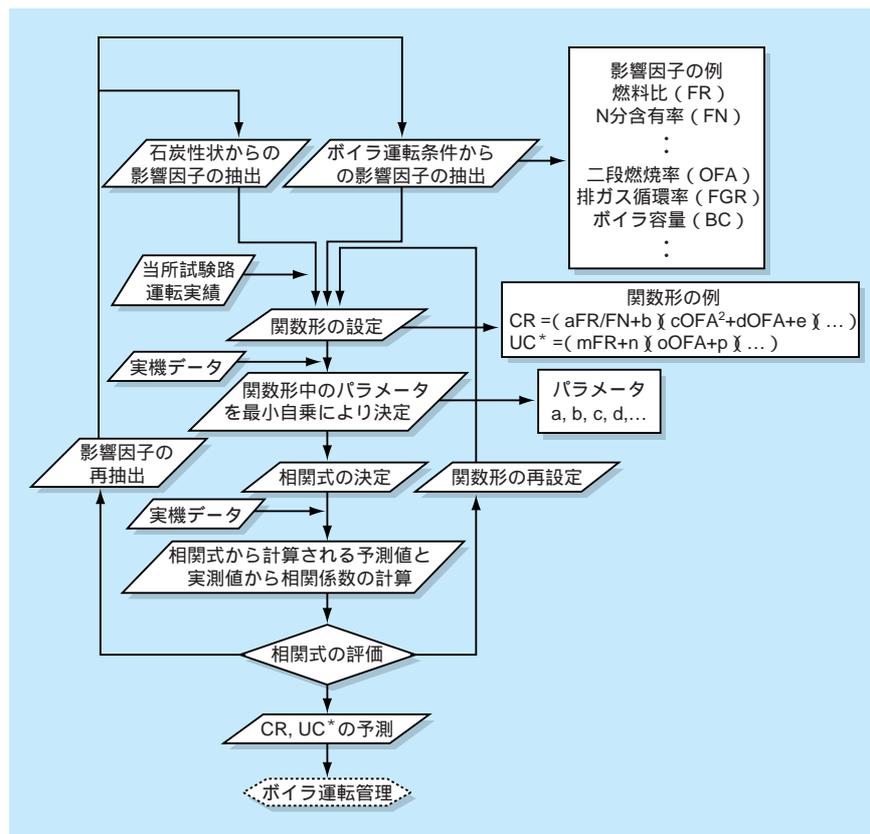


図4-3-3 NOx転換率 (CR)・未燃焼率 (Uc*) 相関式作成フロー

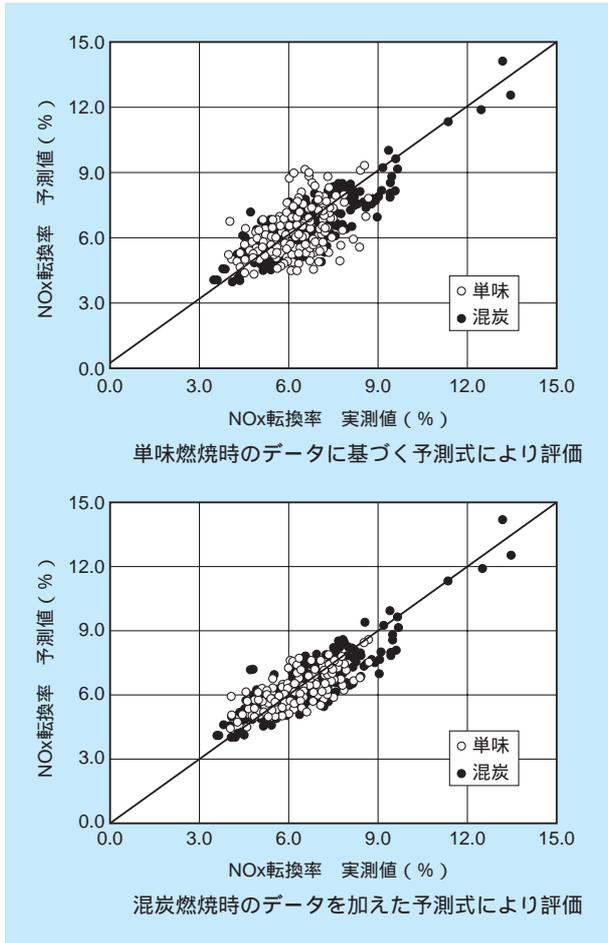


図4-3-4 NOx排出特性の実測値と予測値の比較

示した、石炭中可燃分の未燃焼率 (Uc^*) を評価因子として検討を行った。評価式は、NOx 排出特性と同様に石炭性状と燃焼条件を影響因子として作成した。

単味燃焼時における未燃焼率の予測値と実測値との関係を図4-3-5に示す。ボイラタイプにより未燃焼率に差があるものの、精度良く予測できることが明らかになった。

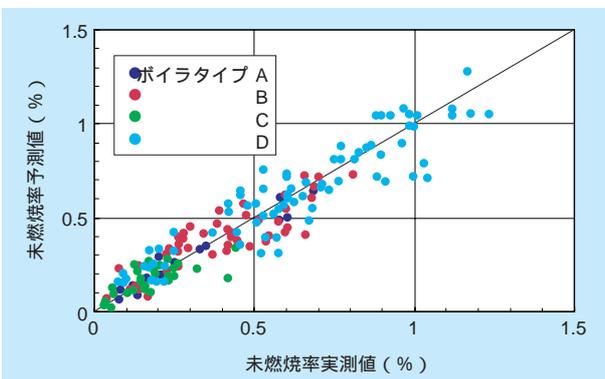


図4-3-5 単味燃焼時における灰中未燃分排出特性の評価精度

これに対し、混炭燃焼時の場合は、図4-3-6 に示したように、実測値が予測値に比べ大きくなっており、予測精度が低下することが明らかとなった。この原因としては、亜瀝青炭など比較的水分濃度の高い石炭が、混炭で運用される場合が多く、燃焼性に及ぼす水分の影響が強く現れるのに対して、本評価式ではその影響が考慮されていないことが考えられた。従って、混炭燃焼時の未燃焼率増大に及ぼす水分濃度の影響を加味するため、未燃焼率予測式の石炭性状の影響を評価する項に燃焼性を阻害する因子として水分濃度を加え、新たに予測式を作成した。その結果、図4-3-6 に示すように、混炭燃焼時の灰中未燃分濃度が、さらに精度良く評価できることが明らかになった。

粉 碎 性

微粉炭火力発電においては、石炭を粉砕し微粉にして用いる。各種石炭の粉砕性は、石炭性状によって大きな影響を受ける、ミルの運転条件やミル動力も石炭銘柄によって大きく異なってくる。このため、石炭の粉砕性指標からミルの動力等が推定できれば、運転実績のない銘柄

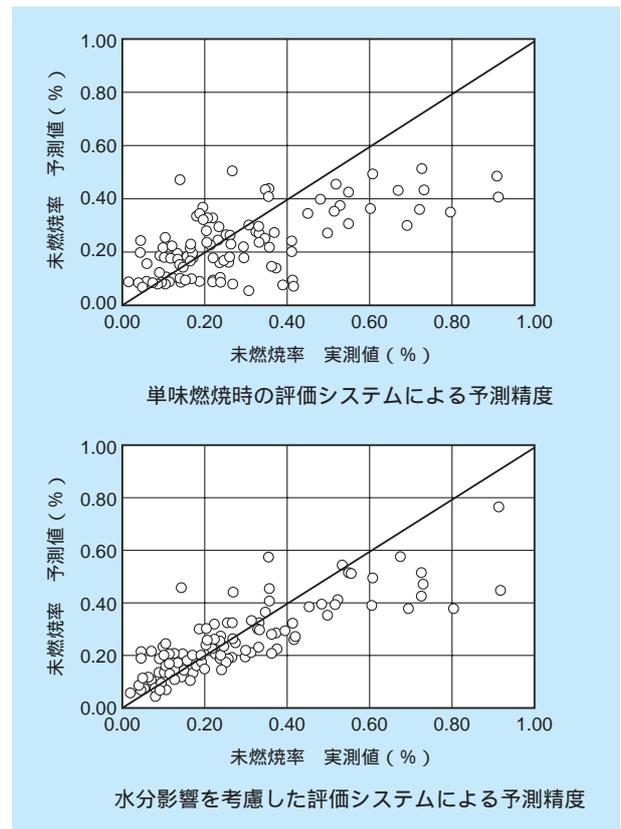


図4-3-6 混炭燃焼時における灰中未燃分排出特性の評価精度

柄におけるミルの運転条件の設定やミル動力の推定ならびにミル動力の少ない石炭の選定等が事前に可能となる。さらに、粉碎性指標を石炭性状から推定できれば、石炭の粉碎性を調べなくても速やかにミル動力を推定することが可能になる。

当研究所では、一般に粉碎性の指標として用いられているハ・ドグロ・ブ指数（HGI）^{注1）}に着目し、単味の石炭のHGIとミル動力との相関を明らかにし（図4-3-7）、これによりミル動力を予測するシステムを構築した。また、石炭性状（燃料比）とHGIおよびミル動力との関係も明らかにし、HGIを測定しなくても燃料比から直接ミル動力を推定することも可能にした。さらに、混炭時のHGIの測定値は、各炭種のHGIと混炭率を基に計算した推定値とよく一致することを明らかにした。混炭利用時のミル動力は、このように推定された混炭時のHGIを用いて、単味利用時に得られたHGIとミル動力との相関式から予測できることを明らかにした。

生成灰性状

石炭灰については、各電力ともコスト低減の観点から、有価灰としての有効利用率を増大させることが、重要な課題となっている。現状の有価灰の利用先は、セメント混和剤が最も多くなっており、この場合に有効利用の可否を決める最も重要な石炭灰の品質として、コンクリー

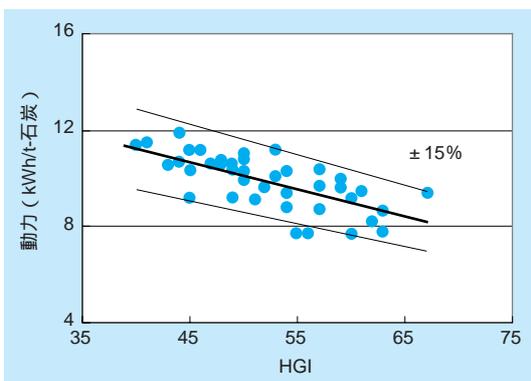


図4-3-7 ミル動力とHGIの関係

注1) ハ・ドグロ・ブ試験機を用いて、規定条件のもとで求めた、石炭の粉碎性を示す数値

注2) JIS規格には規定が無いものの、コンクリート混和剤（AE剤*）の使用量とほぼ直線的な関係があるため、コンクリート中の空気量を調節するに当たって品質管理上の重要な尺度となる。AE剤は、コンクリート等の中に多数の微小な空気泡を一緒に分布させるために用いる混和剤

ト混和剤（AE剤）の使用量と相関性の高い、メチレンブルー（MB）吸着量^{注2）}が広く用いられている。従って、当研究所では、生成灰性状の評価因子としてMB吸着量を選定し、実機データを基に石炭性状や燃焼条件とMB吸着量との関連性を明らかにし、石炭灰の有効利用可能性を判別できる評価システムの構築を行なった。MBは、灰中の未燃炭素に吸着することが推定されるため、実機における灰中未燃分濃度とMB吸着量との相関関係から評価式を求め、これにより、単味および混炭燃焼時のMB吸着量が精度良く推定できることを明らかにした。さらに、灰中未燃分濃度については、既述したように石炭の燃料比と二段燃焼率等の燃焼条件から予測可能であるため、実機におけるこれらの影響因子とMB吸着量との関係から評価式を求め、石炭性状と燃焼条件からMB吸着量を予測できるシステムを構築した。

自然発火性

石炭の自然発火は、長期に石炭を保存する場合に懸念される現象である。また、自然発火性が評価できることにより、貯炭管理において貯炭期間や散水方式や散水量の適正化など効果的な自然発火対策が可能となる。当研究所では、現在実発電所で利用されている各種石炭に対して、石炭の自然発火性と石炭性状および物性との関連性を明らかにし、自然発火性を推定する方法を検討した。

本方法では、石炭の酸化反応における見かけの活性化エネルギー - E[kJ/mol]を、自然発火性の指標として、石炭の性状分析値（燃料比、O/C、揮発分、酸素濃度および水分）との相関性を把握した。これらの分析項目の中では、O/Cが最も相関性が高く、これを評価因子として、自然発火性評価システムを構築した。

4-3-3 発電用炭適性評価システム

本システムが各発電所で利便性良く、機能的に活用できるよう、「石炭利用事例検索システム」と「炭種適合性評価システム」を組み合わせ、パソコン上で利用できる「発電用炭適性評価システム」（図4-3-8）を作成した。

NOx・灰中未燃分排出特性

図4-3-9に評価フォームを示したが、混炭燃焼時の評価も行なえるよう、石炭性状（工業分析および元素分析）

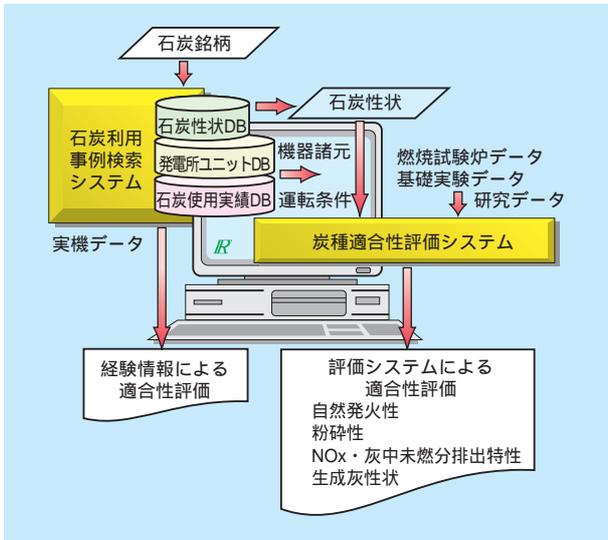


図4-3-8 発電用炭適性評価システム

の入力シ - トを複数対応とし、各炭種性状と混炭率から混炭時の石炭性状値を計算機で算出できるようになっている。各炭種に対しては燃焼条件（二段燃焼率、酸素濃度および排ガス再循環率等）を入力することにより、評

価式に基づいてNOx 転換率、NOx 濃度、未燃焼率、灰中未燃分濃度が計算、表示される。また、石炭性状と目標とするNOx 濃度ならびに灰中未燃分濃度を入力することにより、それぞれの目標濃度を達成できる二段燃焼率を提示すると共に、二段燃焼率に対するNOx・灰中未燃分濃度の変化特性をグラフ表示する機能を有している。

粉碎性

石炭性状として、燃料比またはHGIを入力する。混炭燃焼時のHGIは、各炭種のHGIと混炭率により算出し、混炭時のHGIからミル動力を求めるシステムとなっている。

生成灰性状

石炭灰性状として、灰中未燃分濃度を入力することによりMB吸着量が計算、表示される。灰中未燃分濃度の実測値が不明であっても、石炭性状と燃焼条件から直接MB吸着量を推定する手法も備えており、灰中未燃分排出特性と同様、水分濃度や揮発分含有率等の工業分析値が入力できる複数炭対応の石炭性状入力シ - トと二段燃焼率等の燃焼条件入力シ - トを用いて、評価される。

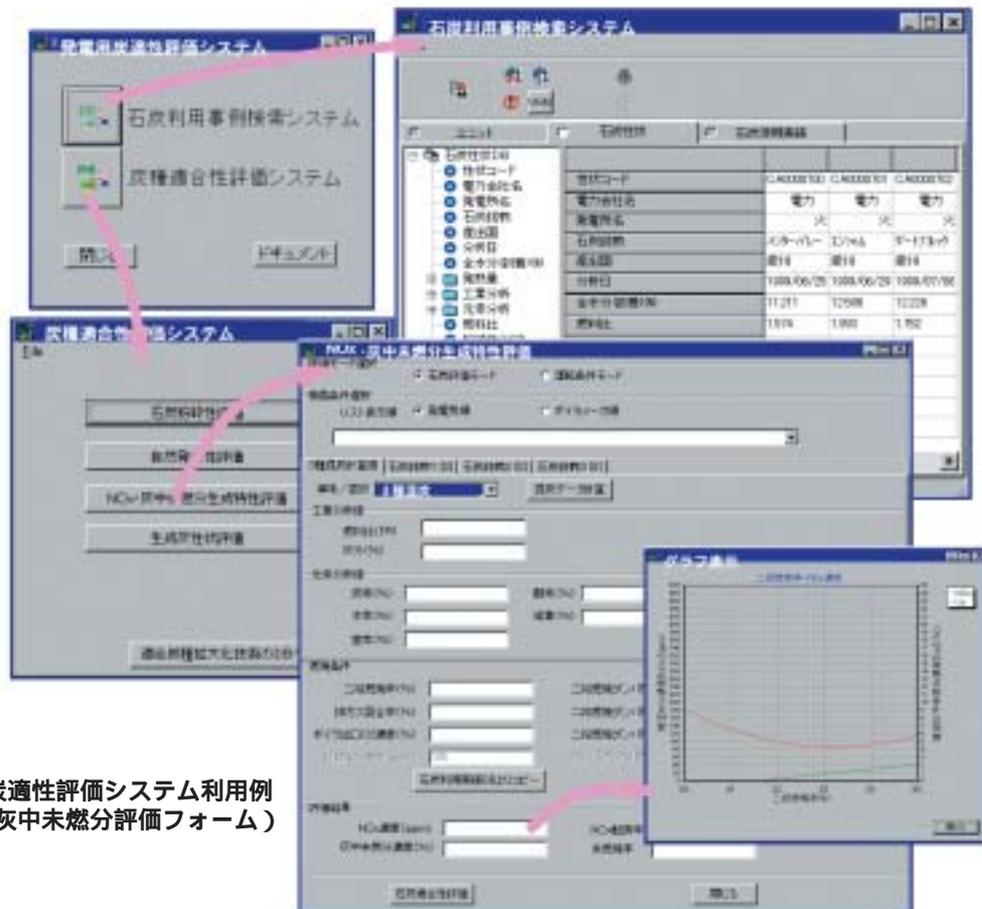


図4-3-9 発電用炭適性評価システム利用例 (NOx・灰中未燃分評価フォーム)

自然発火性

石炭性状として酸素含有率および炭素含有率を入力することにより自然発火性の起こりやすさを表示するシステムとした。

今後は、本システムを部分負荷時にも対応できるように改良を行う予定であり、併せて一層の精度向上を図っていく方針である。

4 - 4 今後の展開

エネルギー源強化、燃料コストの低減のため、様々な石炭種の導入拡大に対する要請は、近年益々強くなっている。これらの石炭について、発電所への適用可能性を的確かつ簡便に判定する手法の開発ならびに、その高精度化への要求は、今後も一層強くなっていくものと思われる。本章で述べた手法は、現在の微粉炭火力において最も重要と思われるNOxおよび灰中未燃分の排出特性を中心に開発したものであるが、微粉炭火力発電所の一層の信頼性向上、技術の高度化の上では、今後さらなる評価精度向上、ならびに幅広い利用条件に対する適応性拡大が望まれると共に、スラッキング性、ファウリング性など他の評価項目についても適性判定法を開発することが求められると考えられる。

今後は、まず、現在の炭種適合性評価システムを部分負荷運転に対しても適用できるようにすると共に、より幅広い石炭種についても適用できるように拡張する予定である。また、一層の判定精度向上のため、さらなる実機データの収集ならびに、それを基にした評価式の改良を行う。評価項目の拡張については、各発電所における炭種評価の際に必要な新たな判定項目の再抽出ならびに、それに対する判定手法の開発を行い、一層有益な

システムとして高度化していく予定である。

一方、試験炉を用いた石炭性状の評価手法は、実際に燃焼試験を行って評価するため、幅広い利用条件に対する特性など極めて詳細な評価が可能であると共に、実際の発電所では類似の石炭種の運転実績もないような極端に性状の異なる石炭種についても、特性を評価できるという利点がある。今後は、石炭燃焼試験炉において、より極端な性状を有する石炭種の評価を行い、発電用炭適性評価手法を拡張・高精度化すると共に、一層多くの評価項目に対して、さらに精度良く判定できる手法を開発する予定である。

本検討にあたっては、一層実機に近い場で詳細な評価を行うため、これまで主に用いていた石炭燃焼試験炉に加え、新たに実機と同様の複数バーナを有しかつ、実機と同じ方式の排煙処理装置を用いて環境対策技術の検討を行うことのできる「石炭燃焼特性実証試験装置」を設置する。本装置を、石炭燃焼試験炉や他の基礎的な研究設備を組み合わせ、新規石炭種の事前評価法の開発・高度化について、一層多角的な検討を効率的に行っていく予定である。