

石炭利用技術研究発表会講演集

(第十回)

昭和63年8月

主催 財団法人 石炭技術研究所
後援 資源エネルギー庁石炭部

15. 微粉炭燃焼における未燃分とNO_x発生 の予測

出光興産(株)・新燃料部 神原 信志◎
" " 松岡 秀一

1. はじめに

近年、一般産業においては、燃料コストの低減や自家発電等を目的として石炭ボイラーに燃料転換する例が多くなってきている。これらに使用される石炭の殆どは海外炭であるが、その炭質は産炭国、地域、炭層によって著しく変化する。そのため、炭種によってハンドリング性、燃焼性、NO_x発生性、スラッキング・ファウリング性、電気集塵性は大きく異なる。したがって、これらの特性について事前に評価することは、使用炭を選定する上で、あるいはボイラ運転上、非常に重要な課題である。

本研究では、実ボイラーによる燃焼試験を行なうことなく、精度良く未燃分およびNO_x発生性を予測し、ユーザーボイラー設備に最適な炭種の選定をすること、ひいてはその炭種ごとの最適燃焼条件を提案することを目標としている。

そこで本報では、小型乱流燃焼試験炉(石炭供給量約6 kg/hr)を用いて27炭種の石炭について種々の試験を行なった結果、実ボイラーの未燃率及びNO_x排出濃度を予測する方法を開発したので報告する。

2. 実験装置と実験方法

図1に、本研究で用いた小型乱流燃焼実験炉(以下、乱流炉と略す。)の概略図を示す。また、表1には諸元を示す。

炉の運転条件(施回強度、1次・2次空気量、二段燃焼空気の割合及び吸込み位置等)は、出光石油化学徳山工場5号ボイラーにおける燃焼特性ならびにNO_x排出レベルに合致するよう予備実験にて設定した。運転条件を表2に示す。

実験に用いた微粉炭は、100メッシュパス100%かつ200メッシュパス90%以上に調整した。ビンに蓄えられた微粉炭は、テーブルフィーダーにより約6 kg/hrの供給速度で、除湿した1次搬送空気(6 Nm³/hr)によりバーナーに供給される。2次空気は350℃に予熱された後、スワラーにより旋回が与えられ炉内に導かれる。さらに、二段燃焼用空気(OFA: Over Fire Air)をバーナーから95 cm~169 cmの任意の位置に吹込むことができる。OFAも350℃に予熱してから、炉内に吹込んだ。微粉炭は、炉内をLPGで約2時間十分に予熱した後、供給した。炭種にも依るが、バーナーから約10 cmの位置で着火し、自然を始める。着火位置付近には、ファイバーカメラが取付けられており、モニターテレビにて常時監視することができる。また、画像処理をすることにより輝度解析を行うことができる。

炉垂直方向には、約15 cmの間隔でサンプリングポートが設けられており、水冷プローブにて燃焼過程の未燃粒子や生成ガスを採取、分析することができる。さらに、ピトー管にて流速を計測することもできる。これらのサンプリングは、主に炉内中心で等速吸引にて行った。また、生成ガスは、CO、CO₂、CH₄、O₂、NO_x、SO₂について連続で測定することができる。

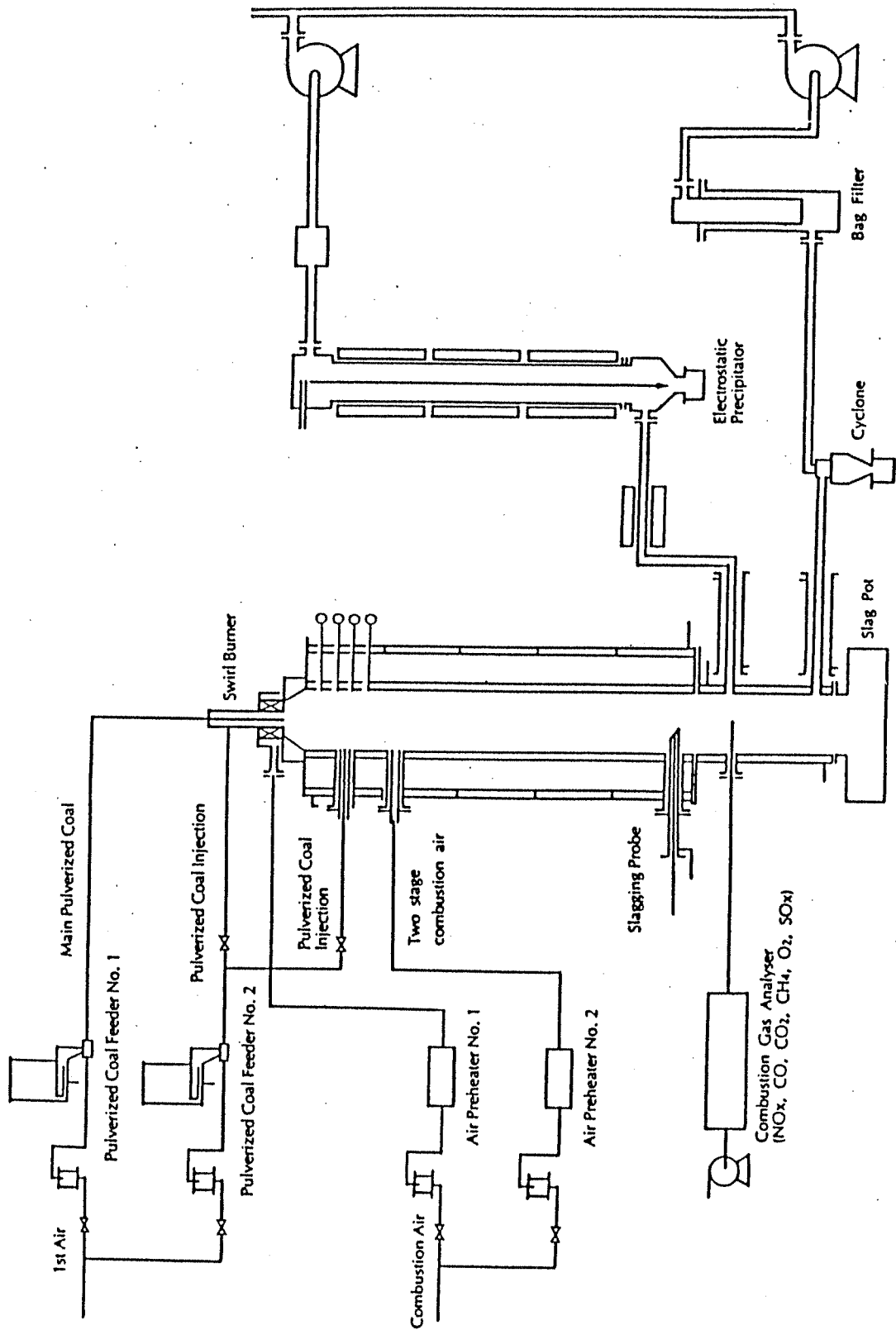


图 1 小型乱流燃烧实验炉 (乱流炉)

表1 実験炉諸元

炉内径	30 cm
炉長	280 cm (平均滞留時間 約2.8秒)
炉内最高温度	1500°C
微粉炭供給量	約6 kg/hr (火炉負化一定)
微粉炭粒径	100メッシュアンダー100%

表2 運転条件

1次空気(搬送空気)量	6 Nm ³ /hr
2次空気(旋回空気)量	36~52 Nm ³ /hr
二段燃焼空気(OFA)量	0~16 Nm ³ /hr
二段燃焼空気吹込み位置	バーナーから 95~169 cm
空気比	1.10~1.26 %
炉内圧	80 mmH ₂ O
煙道出口酸素濃度	2.20~4.50 %

尚、本実験は、次のことを基本目的としている。

- ① 様々なランクの石炭の燃焼性及びNO_x発生性の差異を探る。
- ② 2次空気量やOFAの量と位置、出口酸素濃度等、運転条件を変化させることにより、燃焼性及びNO_x排出濃度の変化挙動を探る。
- ③ 燃焼過程の未燃粒子と生成ガスを分析することにより、揮発分放出速度や固定炭素燃焼速度、窒素分放出速度等、炭種による燃焼性及びNO_x生成挙動の差異を定量的に知る。
- ④ 以上のデータを基に、未燃分及びNO_x排出濃度を精度よく予測する手法を開発する。

3. 使用炭の性状

使用した微粉炭27炭種の性状の一部を表3に示す。これらの石炭の産炭国は、豪州を主として、米国、カナダ、南アである。

燃料比(固定炭素/揮発分)は、0.84~3.07で、褐炭から低揮発分瀝青炭まで広範囲のランクの石炭を用いた。このように、広範囲のランクの石炭を実験に用いることで、より一般性のある予測式を開発できると考える。

4. 結果

4.1 燃焼性について

4.1.1 炭種の影響

炭種によりその燃焼性が大きく異なることはよく知られている。これは石炭に含まれる揮発分や固定炭素の割合、さらにチャーの反応性(表面構造や組織成分)等、様々な因子に起因すると考えられている¹⁾²⁾。燃焼性に関して、これまで数多くの研究がなされているが、実ボイラーの燃焼^{3)~9)}

表3 使用炭の性状

項目	基準	A炭	B炭	C炭	D炭	E炭	F炭	G炭	H炭	I炭	J炭	
全水分	到着	12.2	-	7.7	11.5	6.7	-	12.6	9.0	7.6	23.6	
発熱量	恒湿	6420	6470	6840	6940	6760	6710	7160	7590	7510	5040	
粉碎性 HGI	気乾	47	47	61	53	61	52	68	89	101	31	
工業分析	水分	恒湿	4.9	2.7	2.2	3.1	2.4	2.6	3.5	1.9	1.2	19.0
	灰分	恒湿	15.9	18.1	14.5	11.2	15.3	16.1	8.7	9.0	11.0	5.2
	揮発分	恒湿	35.9	30.1	26.5	32.0	24.0	30.5	27.1	21.9	21.2	41.1
	固定炭素	恒湿	45.3	49.1	56.8	53.7	58.3	50.8	60.7	67.2	66.0	34.7
元素分析	炭素	daf	81.9	83.4	85.6	83.1	86.8	83.5	85.4	91.3	90.1	69.1
	水素	daf	6.3	5.7	4.9	5.6	5.2	5.7	5.4	5.2	5.1	6.0
	窒素	daf	1.6	1.4	1.7	1.8	1.8	1.5	2.0	1.5	1.2	0.8
	酸素	daf	9.7	9.2	7.3	9.1	5.8	8.9	6.7	1.6	4.1	24.1
	燃烧硫黄	daf	0.51	0.33	0.53	0.45	0.38	0.43	0.49	0.45	0.53	0.02
	全硫黄	無水	0.47	0.27	0.47	0.42	0.34	0.40	0.46	0.43	0.48	0.15
燃料比	-	1.21	1.63	2.14	1.68	2.43	1.66	2.24	3.07	3.11	0.84	
ボタン指数	-	1 ½	2	1	1	1	2	1	3 ½	3 ½	0	

性を予測する手法は、いまだ定量的かつ普遍的なものはない様に思われる。

燃焼性の指標として一般に燃料比が用いられている。しかし、これはあくまで一次評価的な指標であり、必ずしもこの序列通りにならない場合が多々あることに注意しなければならない。

図2に、二段燃焼をしない場合（非二段燃焼とする。）と二段燃焼をした場合における、燃料比と未燃率の関係を示す。これより、燃料比が高くなるにつれ未燃率が増加する傾向が見られるものの、燃料比のみで未燃率を予測することは、適当ではないと思われる。

同図中には、電力中央研究所の100 kg/hr試験炉における非二段燃焼時のデータ及び予測式による計算値をプロットした。ここで、未燃率は(1)式で定義した。

$$U_c = \frac{U_c^* \times \text{Ash}}{(1 - \text{Ash}) \times (1 - U_c^*)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

U_c : 未燃率 [-] U_c^* : 灰中未燃分 [-]

Ash : 灰分含有率 [- , dry base]

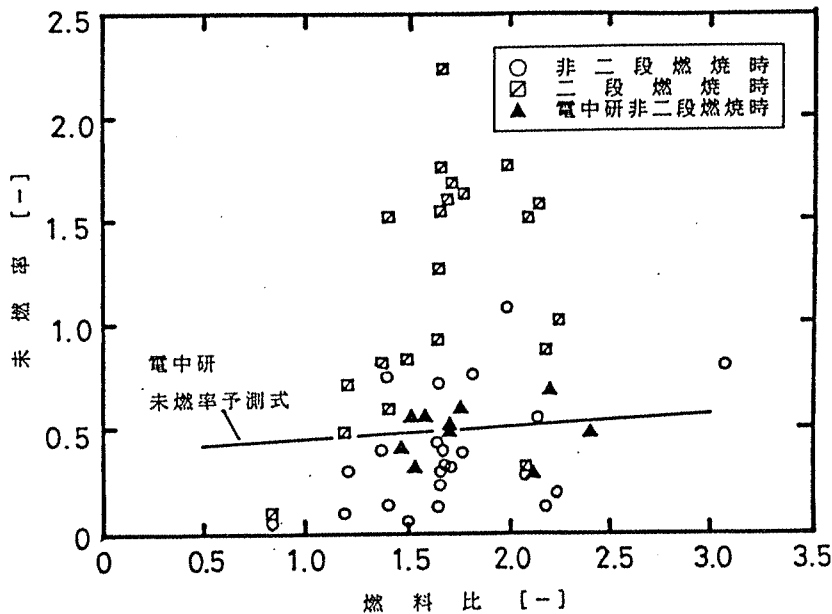


図2 燃料比と未燃率の関係

図3は、C、E、F、Gの4炭種を例に、炉長に対する未燃率の変化を示したものである。炭種によって、その燃焼プロファイルは様々であることが分かる。G炭は、燃料比が比較的高いにもかかわらず、G炭より燃料比の低いF炭と同等の燃焼性を示している。このように、燃料比が高くてもチャーの反応性が良いために、燃え切り性が優れる石炭がある。チャーの反応性について著者らは、燃焼過程のチャー形態の観察や、マセラル組成（主にビトリナイトとイナーチナイト）の反応性の見地から考察している。

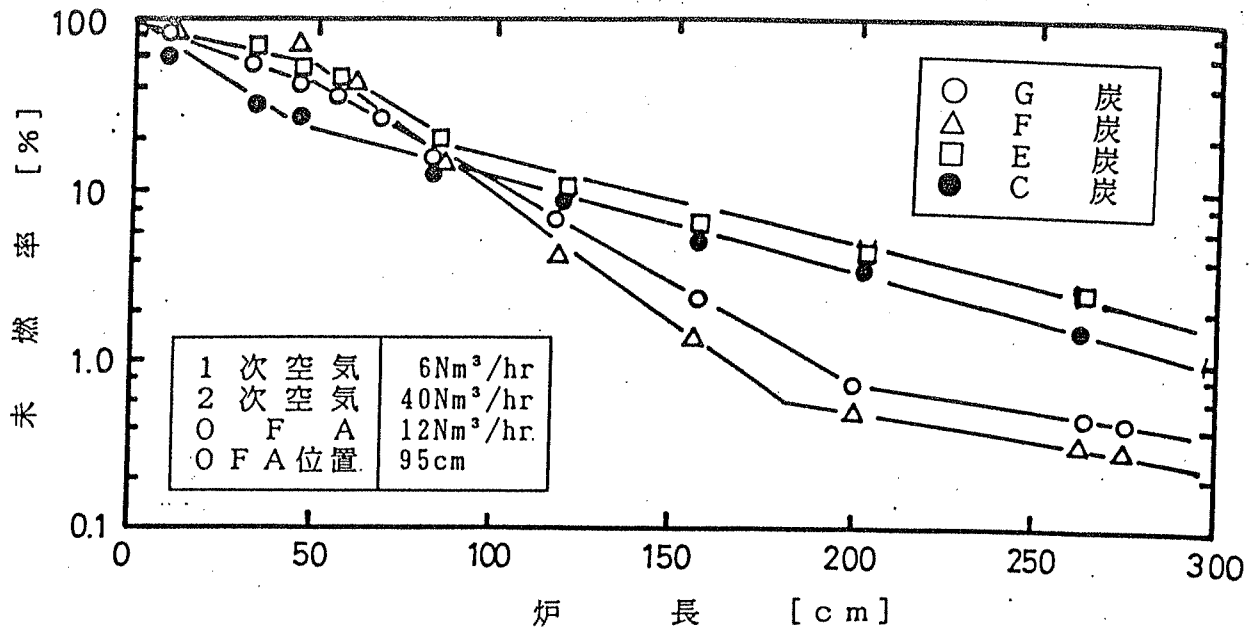


図3 各炭種における未燃率のプロファイル

4.1.2 OFA 割合及び吹込み位置の影響

図4はE炭を例として、燃焼性に与える OFA の効果を示したものである。ここで OFA 割合とは、全空気量に対する OFA 空気量の割合をいい、また OFA 吹込み位置とは、バーナー先端から OFA を吹込む位置までの距離をいう。

この図より、OFA をバーナーから遠い位置に吹込むほど未燃率は上昇することがわかる。(図中Bライン)これは、次の様に考えられる。

OFA を吹込む前の燃焼初期においては、空気不足の燃料過剰域となる。したがって、この領域では、チャーの反応が進行しにくい。OFA をバーナーから遠い位置に吹込むほど、燃料過剰域での滞留時間が長くなり、その結果未燃率は上昇する。また、OFA 割合が多くなると(図中A、Cライン)、2次空気量は減少するため、やはり燃料過剰域の滞留時間が長くなり、未燃率は上昇する。

図5は、図4中のA、B、Cラインそれぞれの実験条件に対する燃料過剰域と空気過剰域の滞留時間を模式的に比較した図である。燃焼性の序列は、 $C > A > B$ の順であり、燃料過剰域の滞留時間の序列と対応していることがわかる。

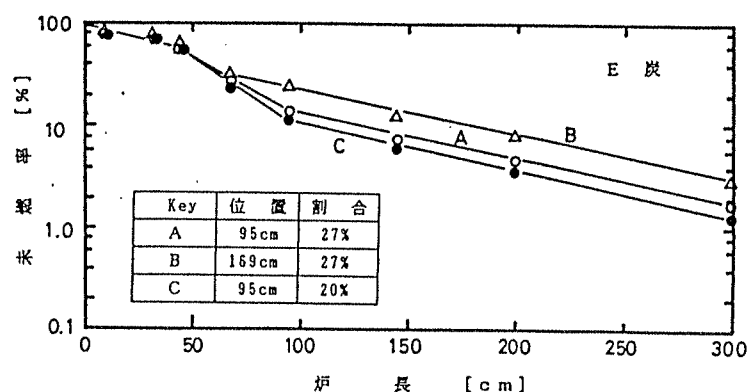


図4 未燃率に与える OFA の吹込み位置及び割合の影響

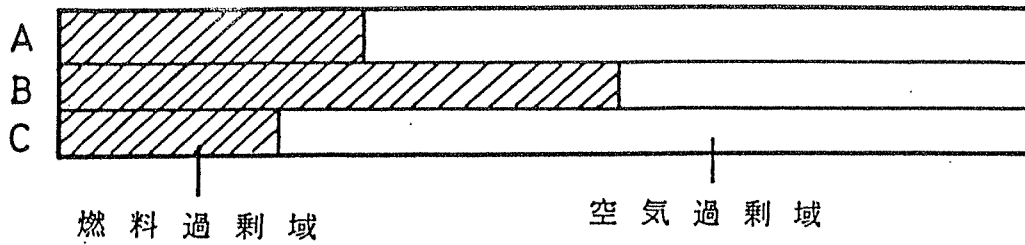


図5 各領域における滞留時間の比較図

4.1.3 定量的評価方法

以上の知見から、運転条件によって様々に変化する燃焼性（未燃率）を定量的に評価するため、図6に示す簡単なモデルを仮定した。

非二段燃焼時における炉内粒子平均滞留時間を t_0 、二段燃焼時における燃料過剰域と空気過剰域の滞留時間をそれぞれ t_1 、 t_2 とすると

$$t_0 = \frac{4A_0 L}{\pi r^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$t_1 = \frac{4A_1' l_1}{\pi r^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$t_2 = \frac{4(A_1' + A_2') l_2}{\pi r^2} \dots\dots\dots (4)$$

で表わされる。尚式中の記号の説明は文末に集約している（以下同じ）。

ここで、未燃率は粒子滞留時間に比例すると仮定すると、

$$\frac{\text{二段燃焼時の未燃率}}{\text{非二段燃焼時の未燃率}} \propto \frac{t_1 + t_2}{t_0} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式を整理すれば、

$$\text{未燃率} \propto \frac{A_1}{A_2} \times \frac{l_1}{L} \dots\dots\dots (6)$$

が得られる。

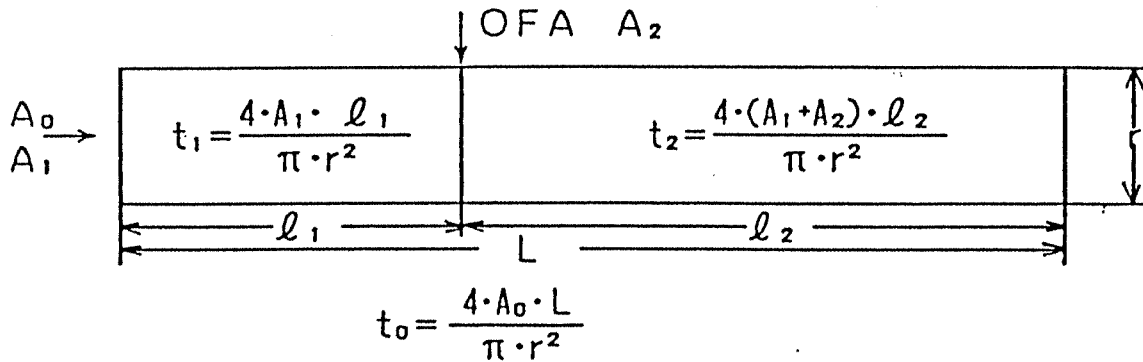


図6 燃え切り性の定量化モデル

(6)式の右辺を OFA ファクター (OFAf) と定義する。OFAf が増すと、二段燃焼の強さは増すことになる。

図7にOFAfと未燃率の関係を示す。OFAf が大きくなるにしたがって、燃料過剰域の滞留時間は増加するため、未燃率は増加する。また、炭種によって、未燃率に対するOFAfの依存性は、大きく異なることがわかる。例えば、この図より、B炭は強い二段燃焼を行なっても未燃率の増加は少ないが、H炭は急激な増加を示す石炭であると評価することができる。

次に、この関係を定量化するため、(7)式に示すモデル式を立て、これを線形化し、最小二乗法によりフィッティングしたところ、図7中実線で示すように、(7)式で燃え切り特性を良好に表現できることが分かった。

$$U_c = b \times \exp(n \times \text{OFAf}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

したがって、乱流炉の実験結果から上式の定数 n, b を求めれば、任意の OFAf すなわち任意の運転条件における未燃率を算出することができる。

一般に n, b 共に値が小さいほど燃え切り性に優れた炭と評価できる。表4に、この定数の一例を示す。

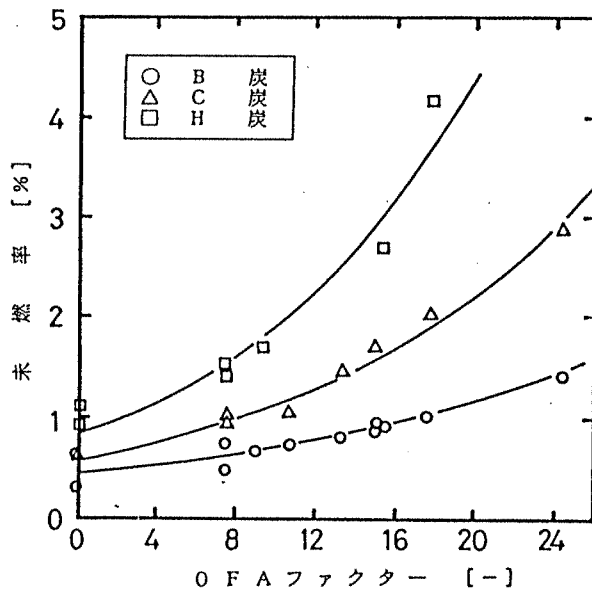


表4 燃え切り特性モデル式の定数

炭種	n	b
B	0.049	0.441
C	0.068	0.565
H	0.084	0.825

図7 各炭種における OFA ファクターと未燃率の関係

4.1.4 実ボイラーにおける燃焼性(未燃率)を予測する方法

最も重要なことは、実ボイラーでの燃焼性を予測することである。本乱流炉と実ボイラーをうまく相関づけられれば、実ボイラーの予測評価が可能となる。

このような見地から、OFAf を用いた比較評価を試みた。OFAf で比較すれば燃料過剰域と空気過剰域の滞留時間が同一のところと比較できるためである。それぞれの滞留時間が同じであれば、基本的に乱流炉と実ボイラーは、同等の未燃率を示すものと考えた。

以下に未燃率の予測手順を示す。

- ① 実ボイラーの本体構造、バーナー位置、二段燃焼空気吹き込み位置、各種運転操作条件から(6)式に基づき、OFAfを求める。
 - ② 実験により求めた(7)式にこのOFAfを代入し、未燃率を算出する。
- 図8は、この手順を説明したものである。

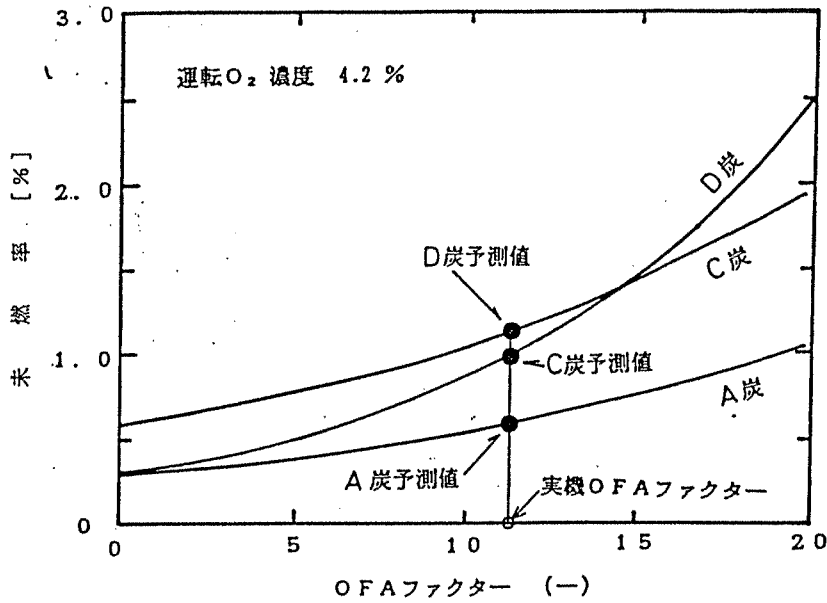


図8 実ボイラーにおける未燃率の予測手順

この予測方法は、乱流炉による実験が必要となるが、様々なタイプのボイラーに対応でき、かつ予測精度を上げるためには、現在この方法が最良である。しかしながら最終的には、石炭の性状のみから未燃率を予測できるようにするつもりである。

図9は、以上の予測法に従って、実ボイラーの未燃率を予測した値と実績値を比較したものである。±15%の誤差であった。

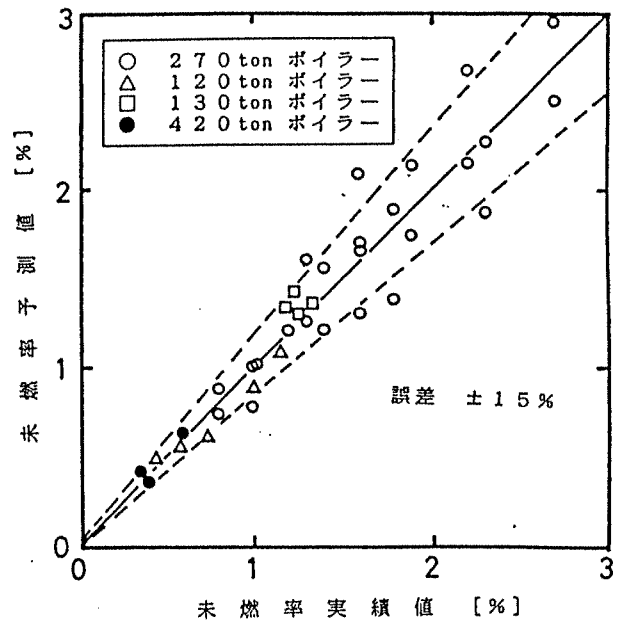


図9 実ボイラーにおける予測値と実績値の比較

4.2 NO_x 発生性について

4.2.1 炭種の影響

NO_x の発生性に影響を及ぼす因子としては、石炭性状（特に窒素含有量）、粒径分布、空気比、二段燃焼空気の割合とその吹き込み位置、ボイラー構造やバーナー構造等様々な因子をあげることができる。¹⁰⁾最終的に火炉から排出されるNO_xは、これらの因子が複雑に絡み合った結果である。NO_x の生成メカニズムについては、多くの基礎的研究がなされているが、その詳細はいまだ解明されていない。したがって、NO_x 発生性の予測は、燃焼性の予測と同様に非常に困難なものとなっている。

図10は、二段燃焼時の炭種によるNO_x 生成プロファイルの違いを示したものである。燃焼初期、揮発分の燃焼と同時にNO_x は急激に生成し、最大濃度に達する。しかし、この領域では燃料過剰域のために還元雰囲気形成されるので、NO_x は還元され、その濃度は低減していく。

また、最大濃度に達するまでの距離（または時間）は、炭種によって違いがあることがわかる。これは、着火するまでの時間（昇温速度）や、窒素分放出のプロファイルの違いが主な原因と考えられる。最大濃度に速く達する石炭は、たとえ窒素含有量が多くても、その後の強い還元雰囲気によってNO_x は著しく低減され、最終的には窒素含有率が低い炭よりも低減されることさえある（G炭）。すなわち、N分が速く放出されれば、それだけNO_x の低減率は高くなると思われる。このことから、炭種によるNO_xの生成は、単にN含有量の違いではなく、N分の放出速度の違いが特に重要であると思われる。

従来、NO_x の生成予測には、その根源物質であるN含有量や揮発分、燃料比で整理されたものが多い。^{8) 9) 11)} 図11、12、13はそれぞれ窒素含有量、揮発分、燃料比とNO_x 濃度の関係である。これらの図からわかるように、これらの因子だけで整理することはあまり一般性がないように思われる。

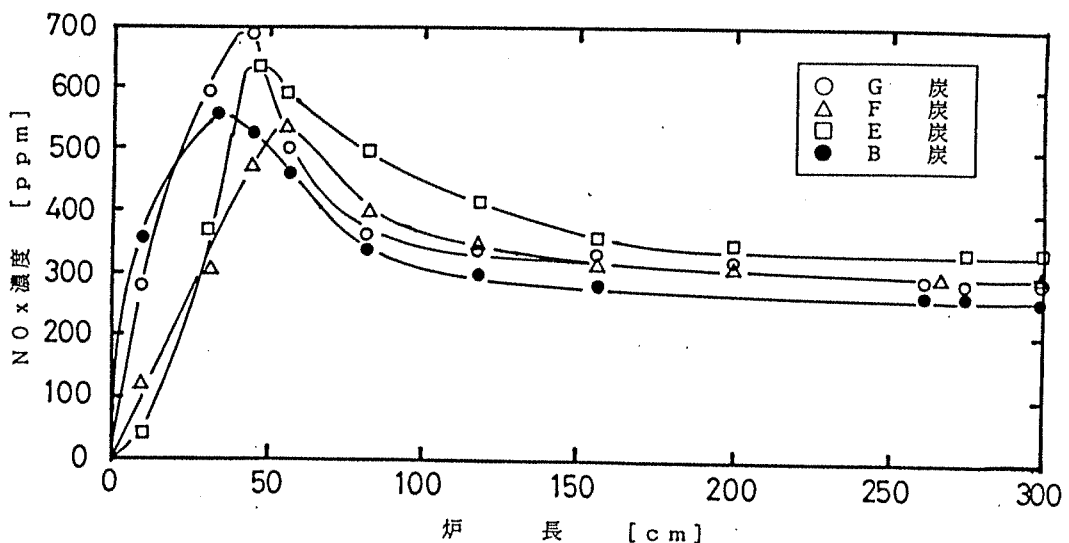


図10 炭種によるNO_x 生成プロファイルの違い

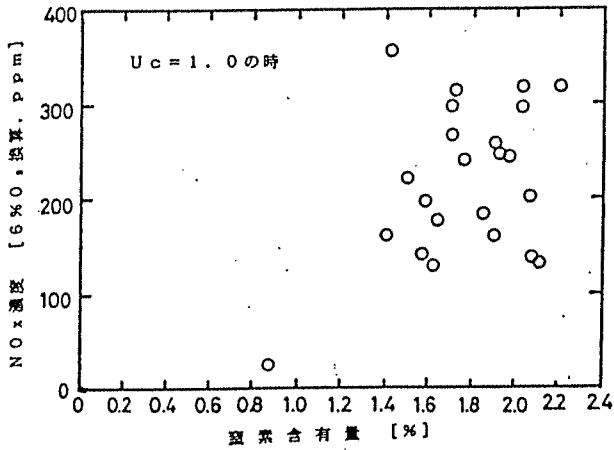


図 11 窒素含有量と NOx 排出濃度の関係

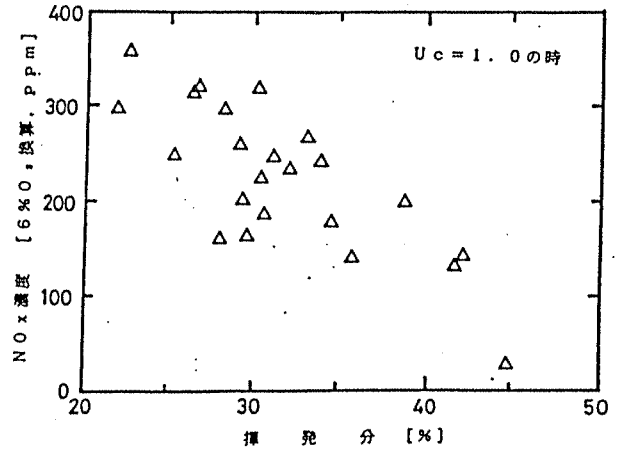


図 12 揮発分と NOx 排出濃度の関係

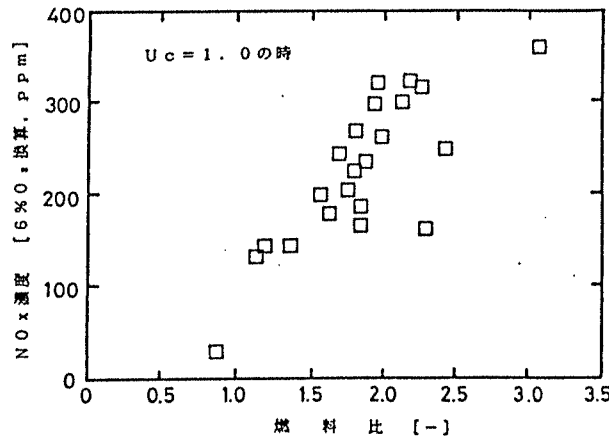


図 13 燃料比と NOx 排出濃度の関係

4.2.2 OFA 割合及び吹込み位置の影響

図 14 は、NOx 生成プロファイルに与える OFA 割合及び吹込み位置の影響を示したものである。OFA をバーナーから遠い位置に割合を多く入れるほど、還元雰囲気における滞留時間が長くなるため、NOx 排出濃度は低くなる。言い換えれば、OFA が大きくなるほど NOx は低下し、ちょうど燃え切りの特性と逆の関係になる。

4.2.3 定量的評価方法

このような複雑な NOx の生成挙動を定量的に評価するため、(8)式で定義される NOx 転換率を用いて整理を行った。

$$NO_c = \frac{\text{実際の NOx 排出濃度 (O}_2 \text{ 6\% 換算値)}}{\text{理論 NO 濃度 (O}_2 \text{ 6\% 換算値)}} \dots\dots\dots (8)$$

ここで理論 NO 濃度とは、燃焼により放出した窒素分がすべて NO に転換すると仮定したときの濃度である。燃焼により放出する N 分は、図 15 からわかる様に、その過程においては燃焼

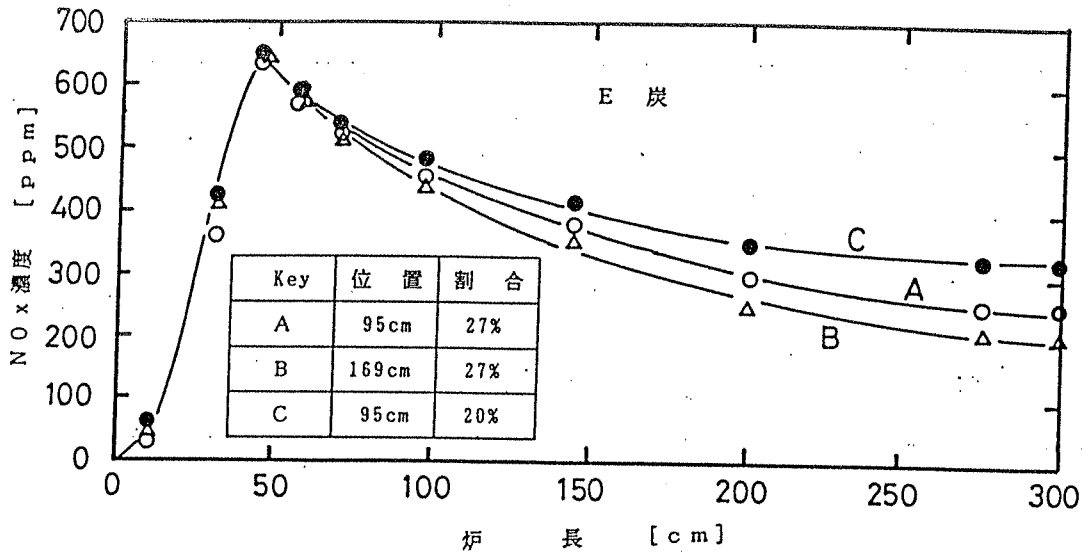


図14 NOx プロファイルに与える OFA の影響

率と必ずしも一致していないが、最終的な放出率は燃焼率とほぼ一致する。また、Harding らの結果からも、¹³⁾

$$(\text{燃焼率}) = (\text{窒素分放出率}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

とした。

図16は、未燃率と NOx 転換率の関係である。未燃率の増加に従い、NOx 転換率は低下する。

定量化にあたっては、未燃率の定量化と同様、(10)式で示す NOx 発生性モデル式を考えた。

$$NO_c = 100 \exp(-b \times U_c^n) \quad \dots\dots\dots (10)$$

定数 n、b を実験より求めれば、上式により任意の未燃率での NOx 転換率が算出できる。一般に、n が大きく b が小さい値をとるほど、低 NOx 燃焼性に優れた石炭 (NOx 排出濃度が低く、かつ未燃率も低い。) と評価できる。表5に、この定数の一例を示す。

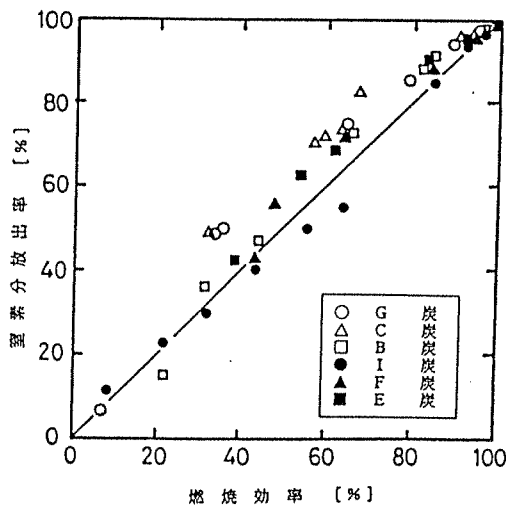


図15 燃焼効率と窒素分放出率の相関

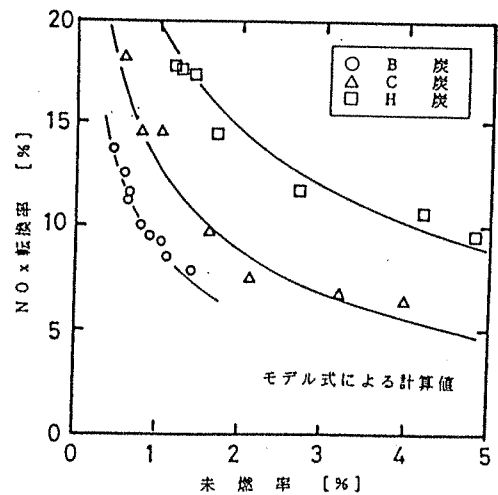


図16 未燃率と NOx 転換率の関係

表5 NO_x 発生性モデル式の定数

炭 種	n	b
B	0.241	2.379
C	0.245	2.043
H	0.243	1.621

4.2.4 実ボイラーのNO_x 発生濃度を予測する方法

実験によって求められた(10)式に、未燃率を代入すれば、NO_x 転換率が計算でき、最終的には理論NO濃度からNO_x 排出濃度を算出することができる。(7)式とあわせれば、任意の運転条件下におけるNO_x 排出濃度も算出することができる。

しかし、実ボイラーのNO_x 排出濃度は、炭種や運転条件の変化による影響のほかに、ボイラーの構造やバーナーの構造の違いによっても影響を受ける。そのため同一メーカーのボイラーでさえもその蒸発量やバーナー、二段燃焼エアポートの配置の違いによりNO_x 排出濃度が異なる。したがって、精度の良い予測をするには、乱流炉と実ボイラーを適切に相対比較し、ボイラー個々の補正係数を用いる必要がある。この補正係数は、実ボイラーの過去の未燃率とNO_x の実績データから算出する。ゆえに、(10)式を拡張して、

$$NO_c = 100 \exp(-\alpha b \times U_c^{\beta n}) \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 α 、 β は、補正係数である。

以下にNO_x 排出濃度予測手順を示す。

- ① 実験より、(10)式の定数n、bを求める。
- ② 実ボイラーの実績値から補正係数を求める。
- ③ 4.1.4の手順で未燃率を予測し、(11)式にてNO_x 転換率を算出する。
- ④ 石炭性状及び運転酸素濃度から理論NO_x 濃度を算出する。
- ⑤ ③と④より、実ボイラーでのNO_x 排出濃度が予測される。

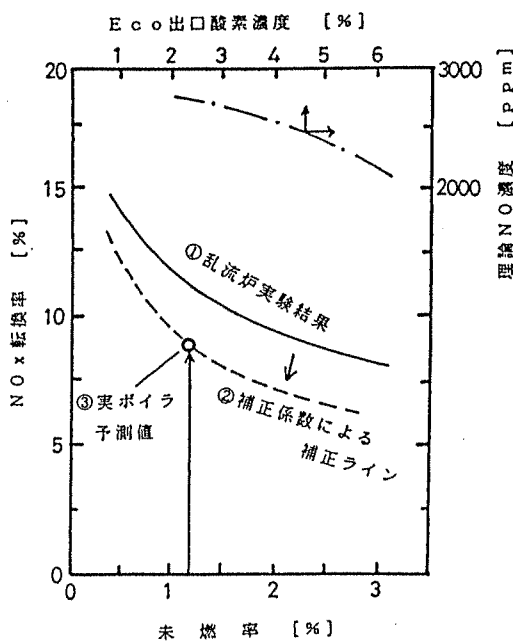


図17 実ボイラーにおけるNO_x 排出濃度の予測手順

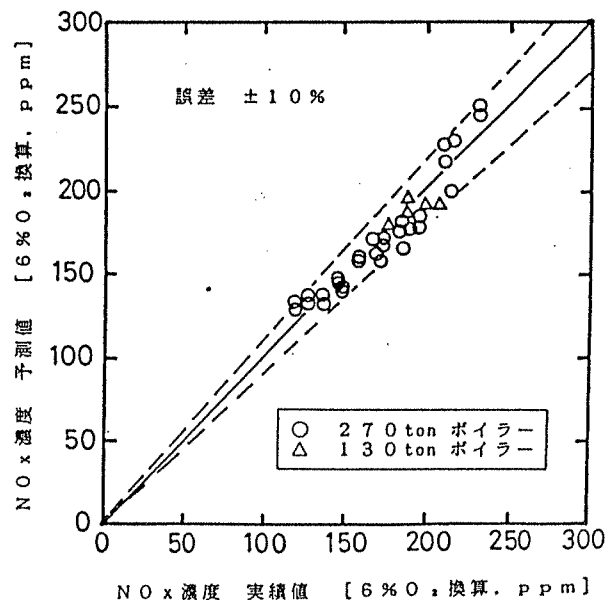


図18 モデル式による予測値と実績値の比較

図17は、この手順を説明したものである。また、図18は、以上の予測法にしたがって、実ボイラーのNO_x濃度を予測した値と実績値を比較したものである。±10%の誤差であった。

5. より一般的な予測方法

以上に述べた手順でNO_x排出濃度を予測することができるが、この方法も未燃率の予測と同様、実験を行わなければならない。しかしながら、NO_x発生性については、石炭性状のみから予測する方法を得たので次に報告する。

図19は、G炭及びF炭の燃焼過程における窒素残存割合とNO_x生成プロファイルを示したものである。G炭は含有窒素分が2.0%あり、比較的高窒素含有炭である。しかしながら、最終的なNO_x排出濃度は、FG炭とほぼ同じ結果となっている。これはN分が速く放出されることにより、HCNやNH₃などの還元物質が多量に生成し、その結果、NO_xがより還元されたものと思われる。すなわち、前述したように、含有N分が速く放出するほど、より強い還元雰囲気形成し、NO_x還元が促進されるものと考えられる。

そこで、窒素放出速度と相関する因子の検討をした結果、元素分析値のみから計算できるNO_x INDEXを考案した。

図20にNO_x INDEXとN放出速度の関係を示す。N放出速度は、このINDEXにより良好に相関される。

図21は未燃率をパラメーターとして、NO_x INDEXとNO_x転換率の関係を27炭種についてプロットしたものである。

この関係に従えば、石炭性状から、NO_x INDEXを計算することにより、簡単に任意の未燃率におけるNO_x転換率あるいはNO_x排出濃度を予測することができる。図22は、NO_x INDEXにより、本乱流炉、電中研試験炉、実ボイラーのNO_x濃度を予測した値と実績値を比較したものである。±15%の誤差であった。

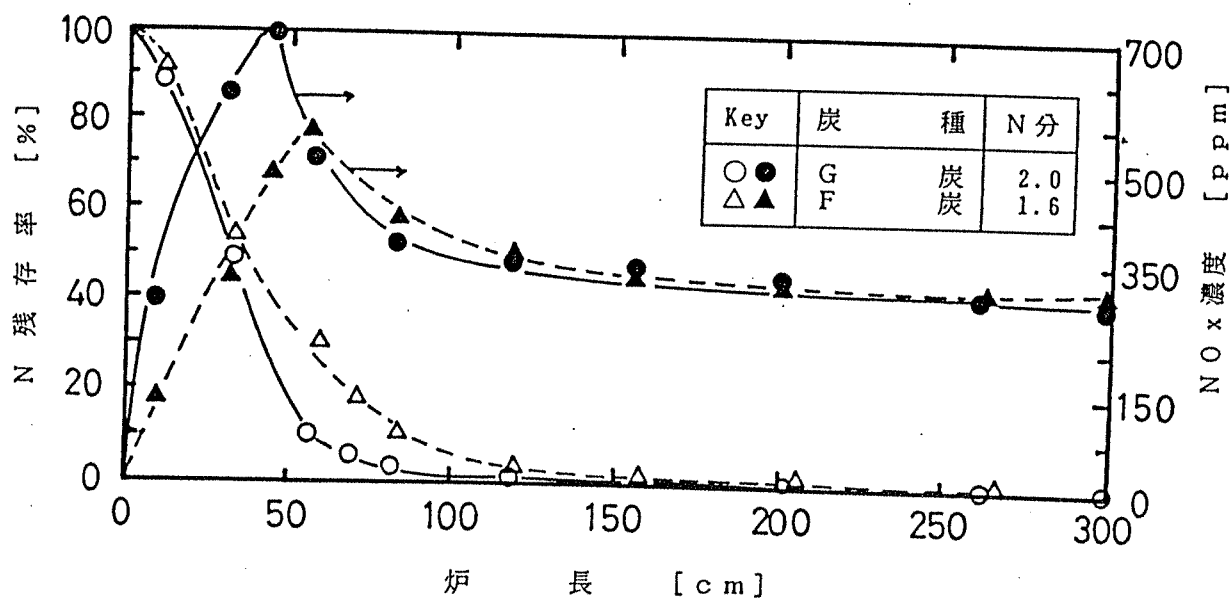


図19 含有窒素残存率およびNO_x生成のプロファイル

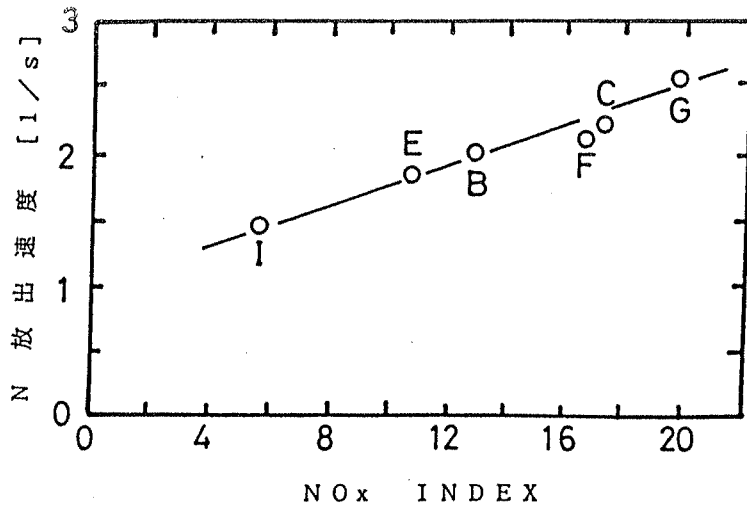


図 20 NO_x INDEX と N 放出速度の関係

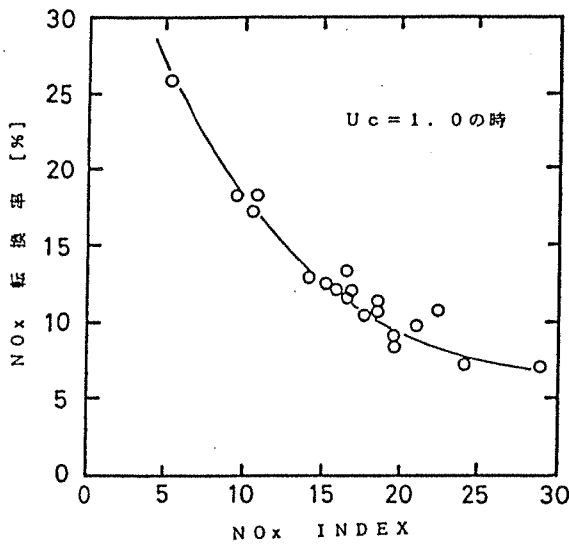


図 21 NO_x INDEX による NO_x 転換率の相関

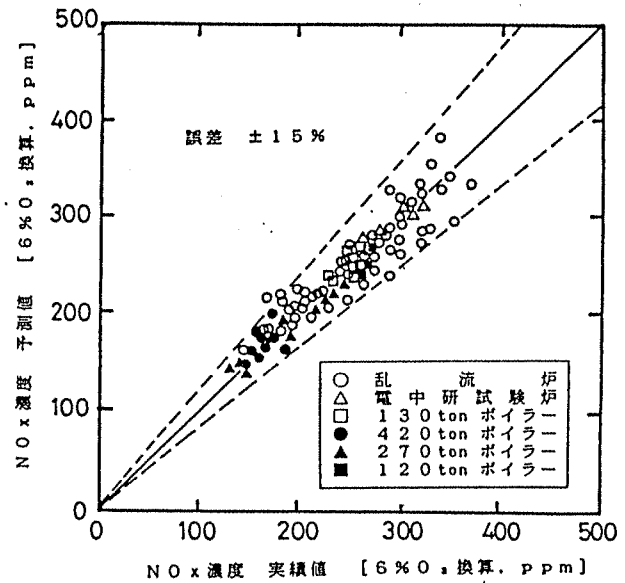


図 22 NO_x INDEX による予測値と実績値の比較

6. おわりに

乱流炉のデータを基礎として、実ボイラーの未燃率を予測した結果、±15%の誤差で予測することができた。また、NO_xの発生性の予測においては、±10%の誤差であった。さらに、石炭性状からNO_x発生性を予測できるNO_x INDEXを開発したが、これを用いた場合の予測誤差は、±15%であった。

これから、さらに精度の良い予測法を開発していく所存であるが、そのためには、実ボイラーのデータをできるだけ多く収集し、解析することが重要であると考えられる。

7. 使用記号

A_0	: 非二段燃焼時の2次空気流量	[Nm ³ /hr]
A_1	: 二段燃焼時の2次空気流量	[Nm ³ /hr]
A_2	: 二段燃焼空気流量	[Nm ³ /hr]
A_0'	: A_0 を温度補正した流量	[m ³ /hr]
A_1'	: A_1 を温度補正した流量	[m ³ /hr]
A_2'	: A_2 を温度補正した流量	[m ³ /hr]
Ash	: 石炭中の灰分量	[wt%, d. b]
b	: モデル式の定数	[-]
ℓ_1	: 燃料過剰域の距離	[m]
ℓ_2	: 空気過剰域の距離	[m]
L	: 炉 長	[m]
NO _c	: NO _x 転換率	[-]
n	: モデル式の定数	[-]
OFA _f	: OFA ファクター	[-]
r	: 炉 内 径	[m]
t_0	: 非二段燃焼時の平均滞留時間	[sec]
t_1	: 燃料過剰域の平均滞留時間	[sec]
t_2	: 空気過剰域の平均滞留時間	[sec]
U _c	: 未 燃 率	[-]
U _c *	: 灰中未燃分	[-]
α	: 補正係数	[-]
β	: 補正係数	[-]

参 考 文 献

- 1) Shibaoka, M. et al., Coal Science (Inter. Conf.), Sydney, 665(1985)
- 2) 鈴木富雄、燃料協会誌、66,(5), 378(1987)
- 3) Field, M. A., Comb. Flame, 26, 249(1976)
- 4) 斎藤正浩ら、第23回燃焼シンポジウム前刷集、25(1986)
- 5) 燃焼の基礎と応用 架谷昌信 共立出版 (1986)
- 6) 松岡秀一ら 第9回石炭利用技術研究発表会講演集、93(1987)
- 7) Smoot, L. D., Prog. Energy Combust. Sci., 10, 229(1984)
- 8) 佐藤幹夫ら、電力中央研究所報告書、285032(1986)
- 9) 二宮徹ら、電力中央研究所報告書、W 86028(1987)
- 10) 燃焼に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法、日本機械学会編 (1980)
- 11) 宮前茂広ら、動力およびエネルギー技術シンポジウム、(1987)
- 12) Pershing, D. W. et al. Ind. Eng. Chem. Process Des. Div., 18, (1), 60 (1979)
- 13) Harding, N. S. et al. AIChE J., 28, (4), 573(1982)