

## 23. 微粉炭燃焼過程におけるホウ素とセレンの放出挙動のシミュレーション

(岐阜大工)○(学)青木昭子, (正)神原信志\*, (正)守富 寛

Numerical simulation of boron emissions behaviour during pulverized coal combustion

○Akiko Aoki, Shinji KAMBARA, Hiroshi MORITOMI (Gifu University, ERES)

### SYNOPSIS

Boron emissions and unburned carbon during pulverized coal combustion in the drop tube furnace (DTF) were measured, and the rate constant was determined. Computational fluid dynamics (CFD) simulation was applied to estimate thermal history with unburned carbon and boron emissions. The rate constant of boron emissions was calculated for a coal under calculated 1-D temperature distribution.

### 1. 緒言

石炭には様々な有害元素が微量ながらも含まれており、燃焼に伴いこれらは環境中に放出される。近年、火力発電所から海域に排出されるホウ素およびセレンの濃度規制が追加され、プロセス内におけるこれらの挙動を明らかにすることが必要とされている。

本研究では、CFD（数値流体力学）シミュレーションを用いて、微粉炭燃焼過程におけるホウ素やセレンの放出挙動を定量的に把握し、それらに及ぼす炭種の影響や燃焼条件の影響をケーススタディーすることで、有効な対策技術を開発することを目的としている。

本報告は、その第一歩として、Drop Tube Furnace（小型管状炉：以下 DTF）における微粉炭燃焼過程でのホウ素放出挙動をシミュレーションする方法を検討した。

### 2. 計算解析, 実験, 試料

DTF のシミュレーションには汎用 CFD ソフト「FLUENT」を用いた。DTF は  $\phi 42 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm}$  の反応管を有するが、計算グリッドとして  $20 \times 20 \times 72$  の構造格子を設定した。グリッドアウトラインと DTF の実験諸条件は Fig.1 に示す通りである。酸素濃度 7% の条件のもとで SP6, 7, 9 で燃焼中の粒子を回収し、未燃分およびホウ素含有量を測定した。

使用した石炭は S 炭であり、その主な性状を Table 1 に示す。ホウ素は原炭中に 114 ppm 含有しており、一般的な瀝青炭に比較して高い濃度である。

汎用 CFD にはホウ素放出モデルを構築できないため、本報告でのシミュレーションは、DTF の温度分布を計算し、それを基にホウ素放出挙動を推算した。

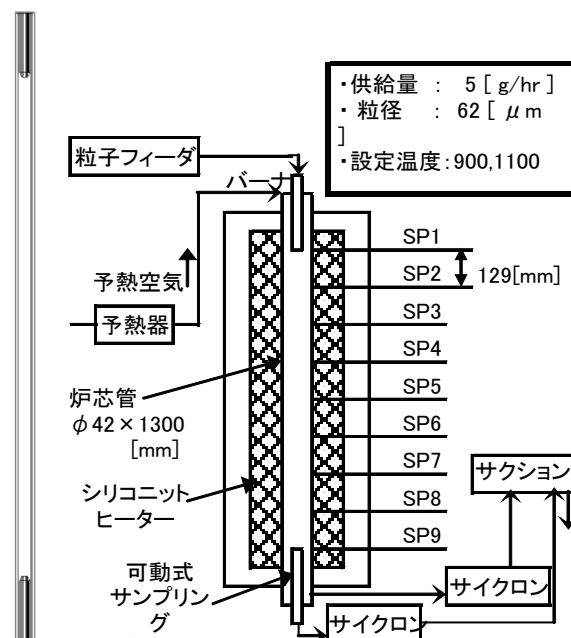


Fig.1 DTF グリッドライン(左)と装置概要略図(右)

Table 1 S 炭の石炭性状

			S 炭
工業分析	水分	wt%	7.1
	灰分	wt%	7.4
	揮発分	wt%	43.2
	固定炭素	wt%	42.3
元素分析(daf)	炭素	wt%	76.73
	水素	wt%	6.26
	窒素	wt%	1.29
	燃焼性硫黄	wt%	0.62
微量元素(db)	Se	ppm,db	0.48
	B	ppm,db	114

### 3. 実験結果および計算結果

#### 3.1 未燃炭素率算出モデル

900, 1100, 1300℃の設定温度でのDTF実験から得た未燃炭素率の結果 (Fig.2) から管状炉温度基準のチャー燃焼の活性化エネルギーと頻度因子を算出し、Mitchell らの式<sup>1)</sup>を用いて管状炉温度基準から粒子表面温度基準に換算 (Fig.3) した反応速度定数を解析に使用した。

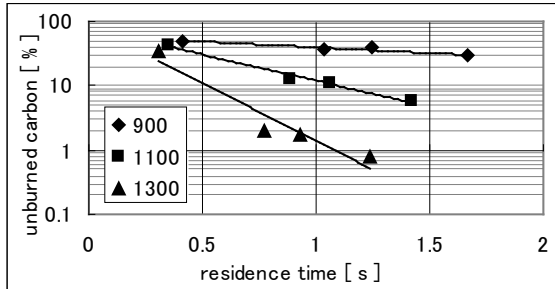


Fig.2 未燃炭素率 Arrhenius プロット

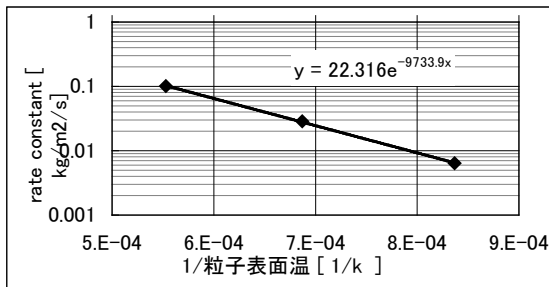


Fig.3 粒子表面温度基準の速度定数

得られたS炭の反応速度定数は以下の通り。

$$K_{UC} = A_{UC} \times \text{EXP}\{-E_{UC}/(R \times T_p)\}$$

$$A_{UC} = 47.905 \text{ [kg/(m}^2 \times \text{s)]}$$

$$E_{UC} = 7.504 \times 10^{-7} \text{ [J/mol]}$$

この反応速度定数を用いて 3000 回の繰り返し計算の結果によるDTF中心の温度分布を Fig.4.に示す。

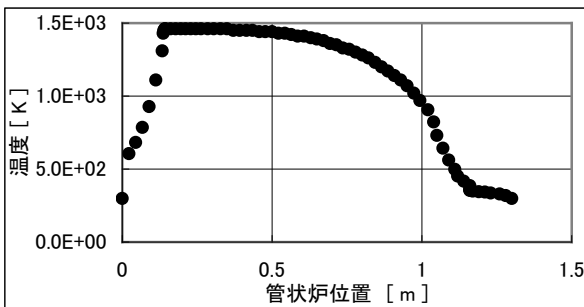


Fig.4.1 DTF 中心温度分布

#### 3.2 ホウ素放出モデル

ホウ素放出の残存率実測値を粒子表面温度に対して Arrhenius プロット (Fig.5) し、活性化エネルギーと頻度因子を次のように決定した。

$$K_{B,emi} = A_{B,emi} \times \text{EXP}\{-E_{B,em}/(R \times T_p)\}$$

$$A_{B,emi} = 7.655 \times 10^{-3}$$

$$E_{B,emis} = 9.241 \times 10^4$$

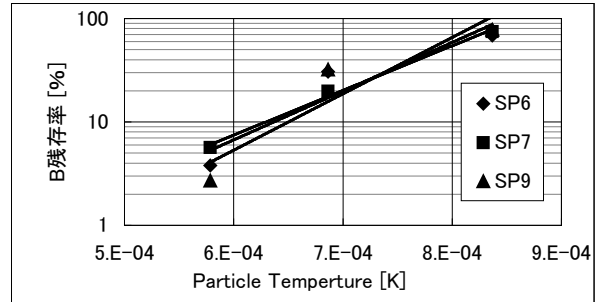


Fig.5 ホウ素残存率 Arrhenius プロット

#### 3.3 ホウ素放出過程のシミュレーション

DTF 中心の温度分布を粒子表面温度として前式を用いて得たホウ素放出速度定数の炉内分布を、Fig.6 に示す。粒子温度が 1500 K 付近に達するとホウ素の放出速度定数は著しく高くなるが、それ以下になると急激に放出速度定数が低下していく様子がわかる。

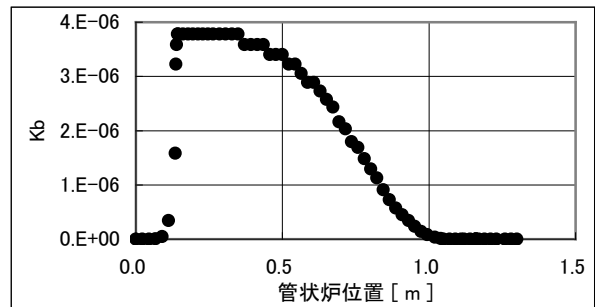


Fig.6 管状炉位置ごとのホウ素放出速度定数

今後、炭種の影響を考慮することで一般的なホウ素放出モデルを構築する予定である。

#### 4. 結言

汎用 CFD ソフトウェア「FLUENT」を用いて DTF 燃焼反応場のシミュレーションを試みた。汎用の FLUENT 上では、任意の化学種のモデルを組み込むことはできないため、工夫が必要となる。

DTF の実験結果から反応速度定数を算出し、未燃炭素率、温度分布を計算し、その結果を用いてホウ素の放出率を計算した。今後、数炭種の結果およびホウ素放出のモデリングを的確に行うことで燃焼中のホウ素放出過程シミュレーション法を確立する。

#### 参考文献

1) Mitchell, J.W. and J.M. Tarbell, AIChE J. 28,302 (1982)

\*Tel :058-293-3341 Fax :058-293-3341 E-mail : [kambara@cc.gifu-u.ac.jp](mailto:kambara@cc.gifu-u.ac.jp)