



Title	気流模型を用いたごみ焼却炉燃焼室内のガス混合に関する研究：注入流跡法による流れの可視化と解析
Author(s)	角田, 芳忠; 安達, 弘幸; 田中, 信壽 他
Description	第2回衛生工学シンポジウム（平成6年11月10日（木）-11日（金） 北海道大学学術交流会館）．2 モデル解析．P2-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 72-77
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7587">https://hdl.handle.net/2115/7587</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-2-8_p72-77.pdf



気流模型を用いたごみ焼却炉燃焼室内のガス混合に関する研究

—注入流跡法による流れの可視化と解析—

(株) タクマ 角田芳忠 安達弘幸  
北海道大学工学部 田中信壽 松藤敏彦  
大谷昌平 (現・(株)クボタ)

1. はじめに

都市ごみ焼却によって生成されるダイオキシン類等の発生抑制のためには、良好なガス混合による完全燃焼を目的とした焼却炉の燃焼改善が必要である。また燃焼室を反応器としてとらえた場合、燃焼室の容量や形状が反応促進の観点から設計されることも必要となる。これらを背景として現在までに、燃焼室の改造による燃焼改善の効果や、数値シミュレーションによる考察が報告されている。しかし他方では、これらの報告を裏付けるための基礎データの必要性も言われている。

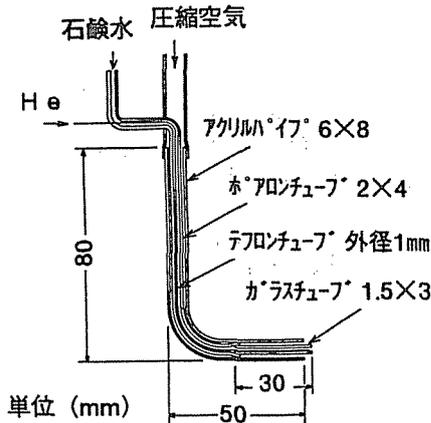
本報告以前の実験<sup>1)</sup>では小型の模型を用いて注入流跡法による流れ実験を行ない、炉形状変更の効果についての考察を行なった。本報告では燃焼室模型を新たに作成し、注入流跡法による実験を継承発展させて、炉形状変更および二次空気による流れの特性について評価した。

2. 実験方法

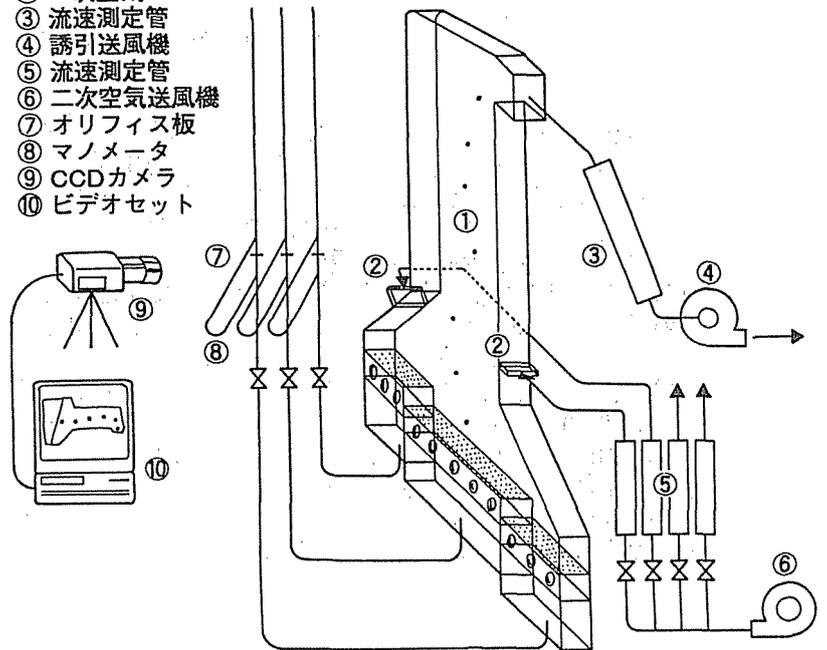
実験に用いた燃焼室模型(図1(b)参照)は、実際のストーカ式焼却炉と二次元で幾何学的相似な1/10模型である。材質は透明アクリル板で中が透けて見え、着脱可能なノズと二次空気ノズルの部品によって実験条件を変えることができる。今回はノズと二次空気ノズルの組み合わせを変えて、14種類の実験条件について実験・解析を行なった。流れの相似性<sup>2)</sup>については、これまでの実験<sup>1)</sup>と同様に装置形状とRe数を合わせることにした。(RUN平均Re:46500、代表長さ:二次燃焼室横幅,0.495m)

可視化手法としては注入流跡法を採用し、トレーサにはヘリウムを詰めて密度を調整したシャボン玉を用いた。実験時は模型ストーカ部の11箇所のトレーサ注入口から、1箇所ずつシャボン玉発生ノズル(図1(a)参照)を用いてトレーサを発生させ、そのトレーサ流跡をビデオ撮影した。二次空気を吹き込む場合に

- ① 燃焼室模型本体
- ② 二次空気ノズル
- ③ 流速測定管
- ④ 誘引送風機
- ⑤ 流速測定管
- ⑥ 二次空気送風機
- ⑦ オリフィス板
- ⑧ マノメータ
- ⑨ CCDカメラ
- ⑩ ビデオセット



(a) シャボン玉発生ノズル



(b) 実験装置の概要

図1 実験装置

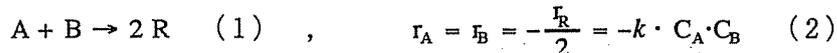
[連絡先] 〒530 大阪市北区堂島浜1丁目4番16号 アクア堂島 西館11階  
(株)タクマ 環境技術第一部第一課 安達弘幸 TEL 06-347-9126 FAX 06-347-9176

は、二次空気ノズルからもトレーサを注入した。実験後ビデオ画像をワークステーションに取り込み、ビデオをコマ送りしながら、画面上のトレーサ流跡をマウス操作で座標データ化した。これを流跡データと呼ぶこととする。1箇所の注入口につき10個ずつ座標化を行なったので、各RUNで110～150個のトレーサについて流跡データを得た。この流跡データは基本的には(x, y)座標データであるが、座標化の際にビデオのコマ送り速度が分かっているため、移動速度の情報も合わせ持つ。コマ送り速度は二次空気吹込みのあるRUNは1/15(sec)、その他のRUNは1/10(sec)で行なった。

### 3. 解析方法

座標化によって得られた流跡データを基に、主に次のような解析を行なった。

- ①流跡線図の作成(図2)：流跡データの位置情報を図示したもの。トレーサの流跡として流れの様子を視覚化しているが、流速情報を表現していない。
- ②重なり度：乾燥帯、燃焼帯、後燃焼帯、二次空気ノズルから流入したトレーサの存在位置が、相互にどの程度重なっているかを表現する指標を定義した。しかし重なり度の累積効果や反応を考慮していない。
- ③滞留時間分布：流跡データの持つ時間情報に注目し、各RUNの滞留時間分布、平均滞留時間、無次元平均滞留時間を求めた。
- ④流速ベクトルの平均化(図3)：トレーサ個々の流跡データから装置内での速度ベクトルが得られる。これを流入側から一定間隔で設定したコントロールライン上で平均化する計算を行ない、装置内の格子点におけるベクトルとして表現した。
- ⑤2成分反応計算(図4)：今回の実験では反応実験は行っていない。そこで流れ場内に2成分の反応を仮定して反応計算を行なった。以下に計算方法の概略を説明する。  
いま模型内に還元性未燃成分Aと酸化性成分Bの2種類が存在し、式(1)、(2)のような反応によって酸化物Rが生成すると仮定する。



ここで、r：反応速度、C：成分濃度、k：反応速度定数

模型内において定常状態を前提すると、各成分について式(3)の収支式が成り立つ。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\frac{\partial (C_i \cdot u_x)}{\partial x} - \frac{\partial (C_i \cdot u_y)}{\partial y} + r_i \quad (3) \quad (\text{添字 } i : A, B, R \text{ 成分})$$

ここで、 $u_x$ ,  $u_y$ ：流速ベクトルのx, y方向各成分

模型内を図4に示すメッシュに分割すると、各メッシュについて成分A, Bに関する物質収支式が立てられる。ただし式(3)は拡散による移動を無視しているが、メッシュ内では完全混合を仮定していることになる。これらの式を差分法で解くが、反応項が非線形であるために直接定常解を求めることは困難である。そこで今回は式(3)を時間に関する微分方程式として、RKG法<sup>3)</sup>を用いて定常解を求めた。初期条件としては $t=0$ において内部メッシュは全て $C_A=C_B=0$ とした。そして $t>0$ で各流入部(ストーカ部、二次空気流入メッシュ)に発生濃度と流入速度を一定値として与え、境界条件とした。成分A, Bのストーカ部濃度値は、それぞれ実炉でのCO, O<sub>2</sub>の測定値を参考にして設定した(表1)。図4はRUN1, 2, 3について $k=10.0 \text{ m}^3/(\text{mol}\cdot\text{s})$ で計算した結果で、A成分の濃度分布図である。

表1 2成分反応計算の条件

入口濃度条件		
	A成分 (ppm)	B成分 (%)
乾燥帯	70000	2.0
燃焼帯前半	40000	4.0
燃焼帯後半	5000	7.0
後燃焼帯	2000	13.0
二次空気	0.0	21.0

$k=10.0 \text{ m}^3/(\text{mol}\cdot\text{s})$

### 4. 解析結果

解析は14のRUNについて行なったが、本報告ではその中から以下に示す3パターンのRUNについて、流跡線図、ベクトル分布図、2成分反応計算の解析結果を紹介する。

RUN1：ノーズ、二次空気吹込みの全く無いパターン

RUN2：ノーズは無く、乾燥帯側と後燃焼帯側にそれぞれ1本ずつ(計2本)の二次空気ノズルを取り付けたパターン

RUN 3：ノーズを2箇所取り付け、乾燥帯側と後燃焼帯側にそれぞれ2本ずつ（計4本）の二次空気ノズルを取り付けたパターン

まず流跡線図（図2）を比較するとRUN1では流跡は均一に分布しているが、RUN2とRUN3では二次空気とノーズによって流れの幅が部分的に狭くなっている。またRUN2では後燃焼帯側の二次空気吹込み後、RUN3では両側ノーズの下流部に大きな渦が発生している。流跡線図だけではこれらの渦領域は死空間のようにも見えるが、ベクトル図（図3）で見るとかなりの流速があり死空間とは考えられない。RUN2では二次空気吹込み直後で流速が増加しているが、下流部では断面方向に一様なベクトル分布を示している。RUN3ではノーズと二次空気によって全体の流速が増加しており、特にノーズ部分で流れの衝突がありこの付近でのガス混合促進が予想される。

そこで2成分反応計算の結果（図4）を比較すると、乾燥帯側で高濃度に発生した還元性A成分はRUN1では高濃度のまま出口付近まで残留している。RUN2では二次空気吹込み後からA成分濃度は減少しているが、乾燥帯側壁面に沿ってA成分濃度が残留している。RUN3でも上流側の2本の二次空気吹込み直後からA成分が減少しているが、下流側の2本の二次空気吹込みとノーズが大きく影響し、RUN2とは異なった濃度分布を示している。

## 5. 研究成果と結論

14RUN全ての解析結果から、主に次のような成果を得た。

- ①注入流跡法による気流模型内の流れの可視化について、シャボン玉トレーサの発生法、流跡のビデオ撮影方法、流跡の座標データ化、データ解析方法と解析プログラムを確立した。
- ②気流模型実験の有効性を高めるために、流入空気速度の均一性の確認、シャボン玉トレーサの追従性の確認、流量測定法の確認等の基礎的実験を行なった。
- ③燃焼室模型について、2つのノーズと5種類の二次空気ノズルを組み合わせることで14種類の基礎的パターンについて実験を行ない、流れの可視化と解析を行なった。

また解析の結果、ノーズと二次空気の効果について以下の結論を得た。

- ①二次空気による混合促進は、ノーズのみに比べて効果が大きい。
- ②二次空気には、1) ガスの攪拌、2) 燃焼空気の供給、という効果があり、ガス混合促進に有効な手段である。ただし吹込み方法によって効果の大小があり、設置位置、吹込み角度、流量といった操作要因を適切に設定する必要がある。
- ③ノーズと二次空気を組み合わせることによってガス混合の促進を図ることができるが、条件によってはノーズが無くとも二次空気の複数箇所吹込みによって同様な効果を得ることができる。

## 6. 今後の課題

- ・既存の研究によるシミュレーション結果と、本研究での成果を比較・検討する。
- ・二次空気の流量、吹込み角度についてさらに詳細な実験条件を定めて検討する。
- ・実際に反応実験を行ない、定量的な評価を行う。その結果と2成分反応計算の結果を比較する。
- ・本報告の実験は常温空気を用いた実験であったが、温度分布を考慮した実験に発展させる。

## 参考文献

- 1) 田中信壽他：ごみ焼却炉燃焼室のガス混合に関する研究—注入流跡法による流れの観察について—, 廃棄物学会第3回研究発表会講演論文集, pp. 287-290 (1992)
- 2) 流れの可視化学会編：流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, pp. 5-45 (1981)
- 3) 化学工学協会編：化学工学プログラミング演習, 培風館 (S54)

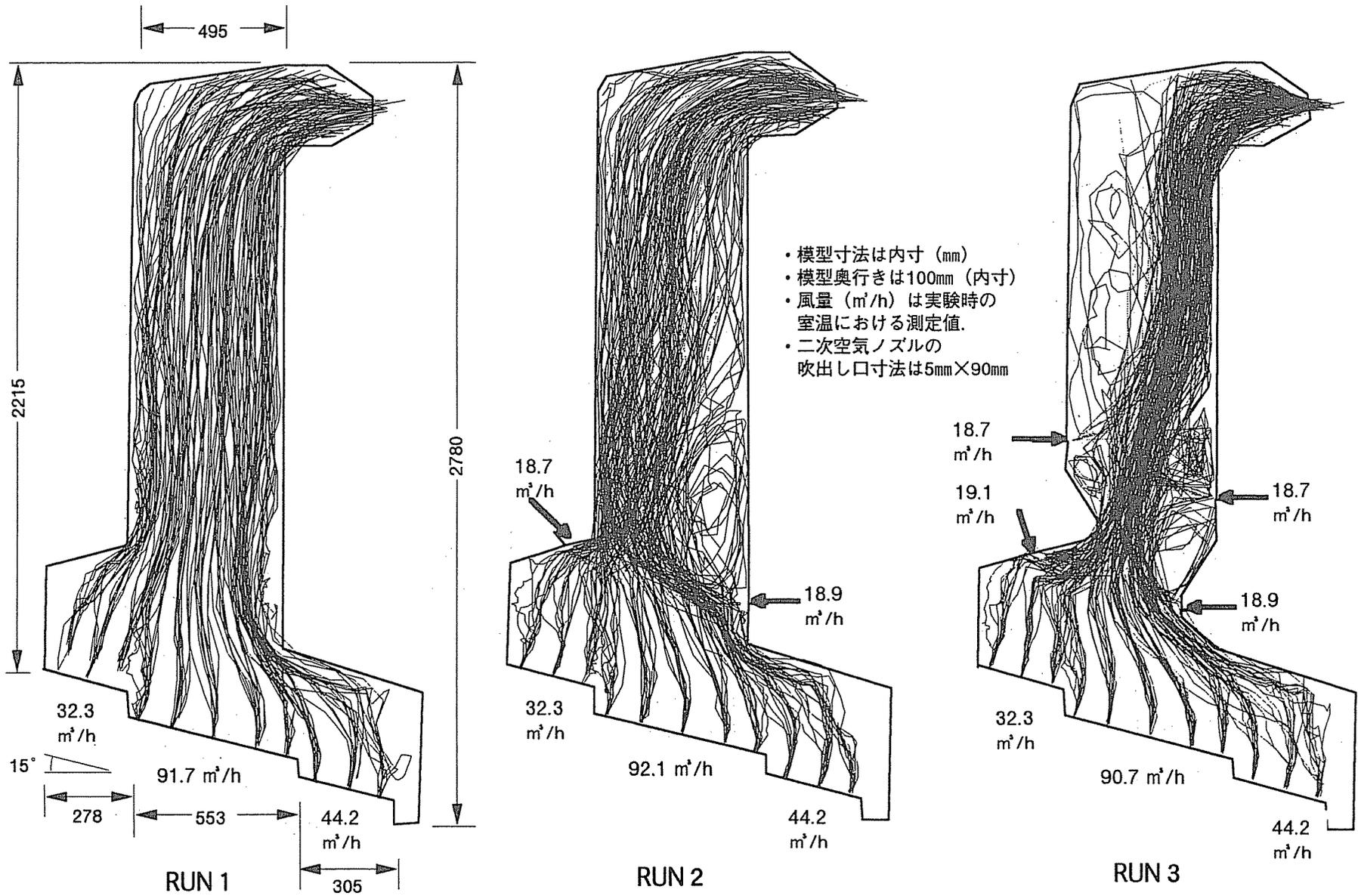


図2 流跡線図

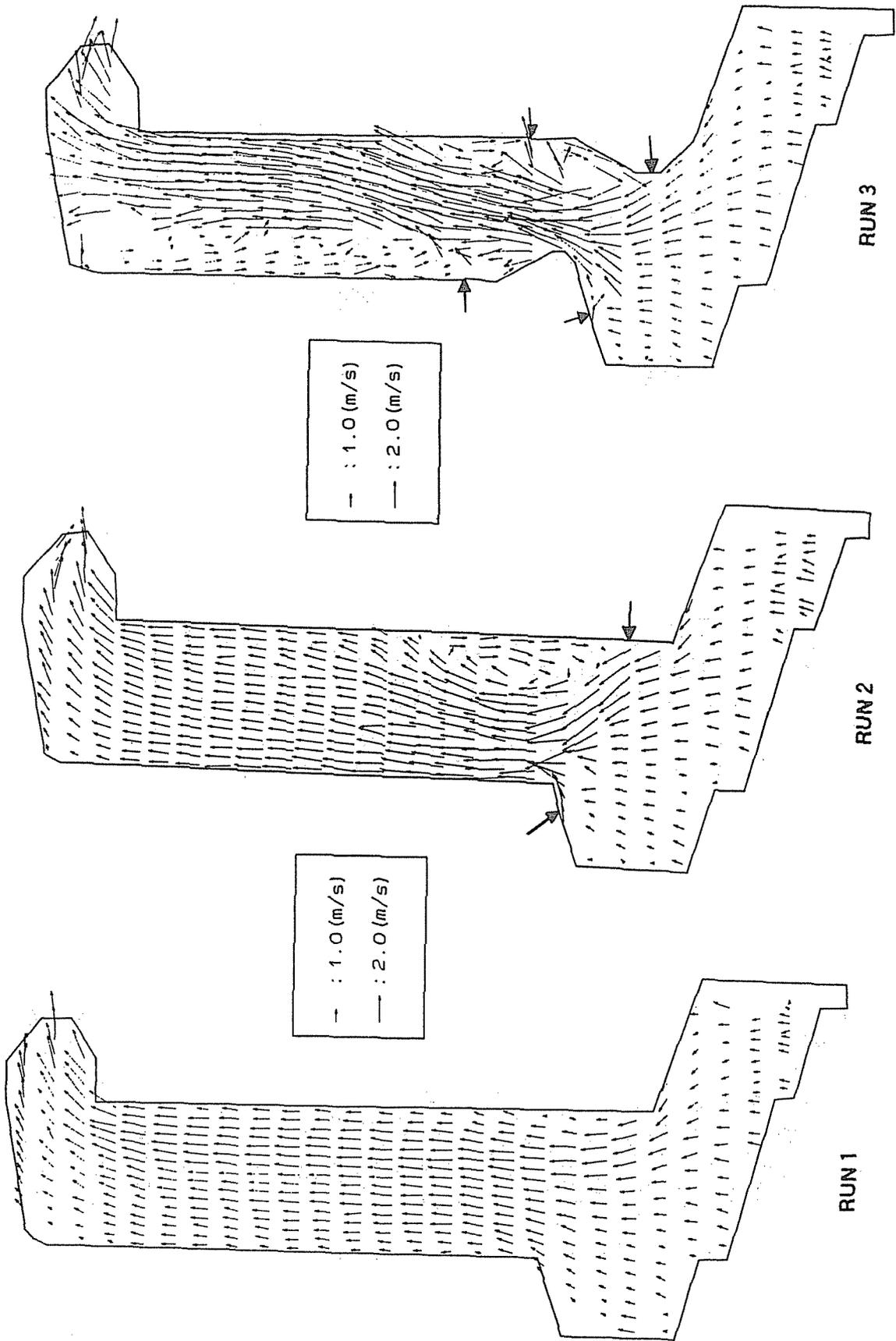
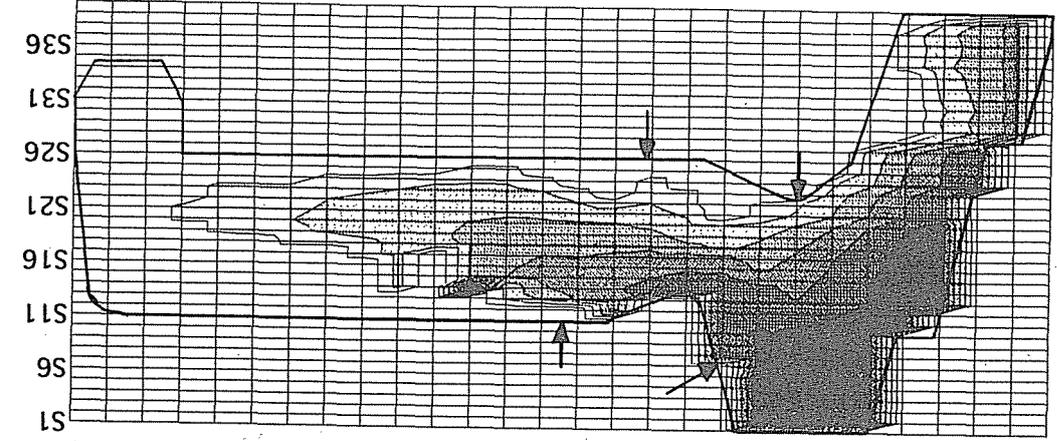


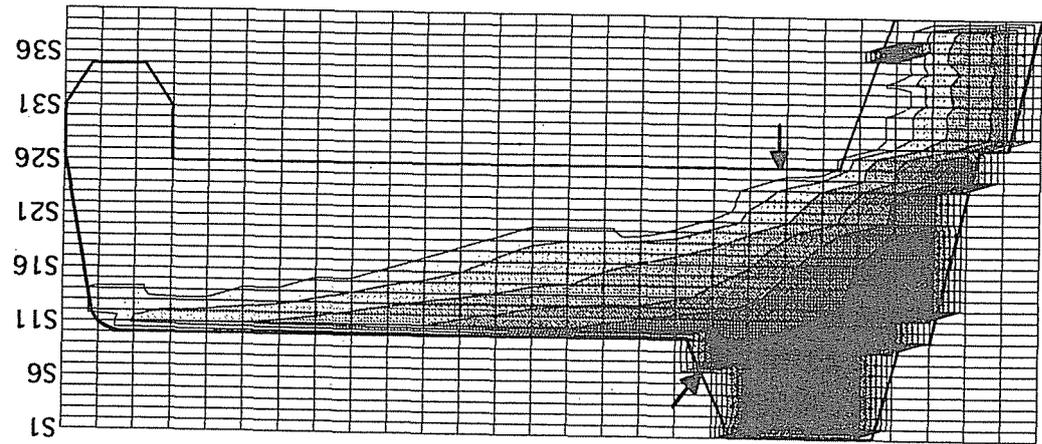
図3 バクトル図

A成分  
(未燃成分)  
濃度 (ppm)

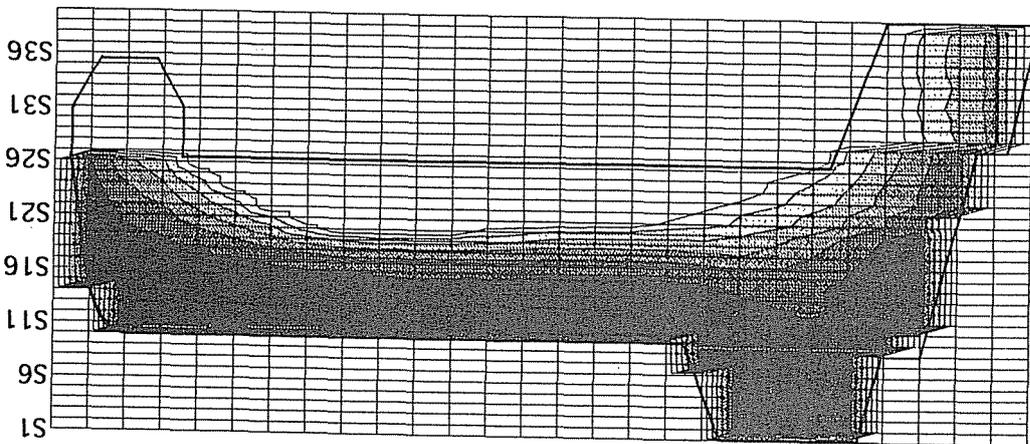
■	1E+6 ~
■	1E+5 ~
■	1E+4 ~
■	1E+3 ~
■	100 ~
■	10 ~
□	1 ~
□	1E-1 ~
□	1E-2 ~



RUN 3



RUN 2



RUN 1

图 4 2成分反応 計算結果 (A成分濃度分布)