

## 〈研究発表〉

# オンラインシミュレーションによるごみ焼却プラントの運転監視・制御システム

松田 吉司<sup>1)</sup>, 藤川 博之<sup>1)</sup>, 劉 大偉<sup>2)</sup>

(株)タクマ 電気計装部 (〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2丁目2番33号 E-mail: y-matuda@takuma.co.jp)<sup>1)</sup>

(株)タクマ 技術開発部 (〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2丁目2番33号 E-mail: liu@takuma.co.jp)<sup>2)</sup>

### 概要

ごみ焼却炉において、炉形状や二次燃焼空気の吹込位置の最適化を行う際に、熱流体シミュレーションを用いている。この技術を炉の設計だけでなく、焼却炉のプロセスデータから炉内燃焼状態を短時間解析して、理想状態と比較する事で理想状態に近づけるような焼却炉の運転監視及び適正運転制御に応用するシステムの構築を目的として、プロセス制御装置と炉内燃焼解析システム及び炉内スキャニング装置を構築した。

本システムの解析結果は、ごみ焼却プラントの運転監視・制御に十分使用できるものであった。

キーワード: プロセス制御装置、炉内燃焼解析システム、炉内スキャニング装置、オンサイト、オンライン

## 1. はじめに

ごみ焼却炉において、炉形状や二次燃焼空気の吹込位置の最適化を行う際は、熱流体シミュレーションを用いるが、その際のデータはスタティックなものを利用している。また、1回のシミュレーション所要時間は現状計算量が膨大な為、数日単位となる。

一方、実際のごみ焼却炉の操業では、一般的にボイラ蒸発量が主な制御指標となっている。すなわち焼却炉内の燃焼熱量が一定となるように、ごみ送り量や一次燃焼空気量を制御している。この場合、ごみ質の変動などを迅速に把握することができる保証がなく、理想的な燃焼状態と乖離する場合がある。

そこで、今までのシミュレーション技術を炉の設計だけでなく、焼却炉のプロセスデータから炉内燃焼状態を短時間で解析し(目標: 10分間隔)、理想状態と比較することで、理想状態に近づけるような焼却炉の運転監視及び適正運転制御に応用するシステムの構築を目的として、プロセスデータの収録・伝送システム、解析システム及びスキャニング装置を開発し、オンサイト・オンラインデータを用いて、本システムの確認実験を実施した。

## 2. システムの構成と各機能

システムの構成の概略を Fig 1 に示す。

### 2.1 プロセス制御装置

実プラントデータを直接取込んで、炉内燃焼解析システムの境界条件に必要なデータを抽出・移動平均処理等の前処理を実施して、炉内燃焼解析システムに転送する機能をもつ。

### 2.2 炉内燃焼解析システム

上記プロセス制御装置から得たごみ質、ごみ処理量、燃焼空気条件(温度・流量)、ボイラ蒸発量等の各プロセス値から、境界条件を作成し、短時間(10分/回)で炉内の燃焼状態をシミュレーションし、シミュレーション結果を出力する。

### 2.3 炉内スキャニング装置(マンマシンI/F)

プロセス制御装置から計測データ(炉内温度、ごみ発熱量、ごみ処理量等の各プロセス値等)をトレンドデータとして表示する。

また、上記炉内燃焼解析システムからのシミュレーション結果(ガス流れ、CO 濃度、O2 濃度、ガス温度分布等)を2次元画像で表示する。

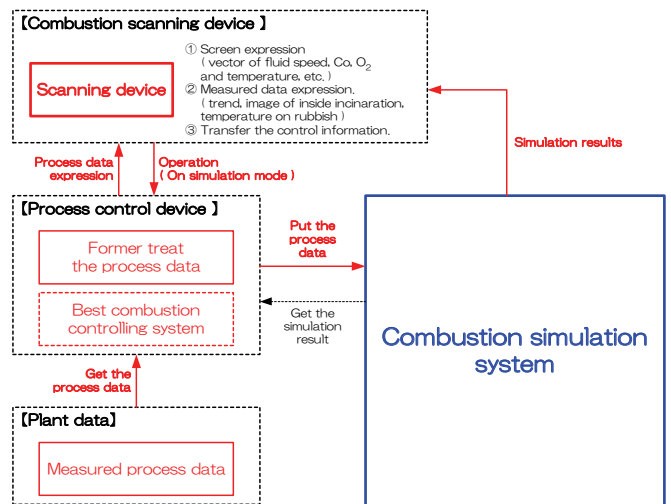


Fig.1: Outline the system

## 3. プロセス制御装置

プロセス制御装置は本システム全体のデータ処理、伝送、作業の流れの制御、管理機能をもつ中心部分であり、以下の機能を有している。

- 1) 実プラントデータを直接取込機能。

- 2) これまで開発された運転訓練シミュレータ<sup>1)</sup>で使用した物理モデルを利用して、あたかも実プラントと接続しているかのように、リアルタイムにごみ質・ごみ処理量・各段のストーカー速度・燃焼空気量を出力する機能。
- 3) 上記1)もしくは2)のデータの中から、炉内燃焼解析システムが境界条件として必要なデータを抽出し、移動平均処理等の前処理を実施する機能。
- 4) システム全体作業の流れを制御・管理する機能。

また、実プラントに納入している自動燃焼制御システム(以降「ACC」)はAR制御、ファジィ制御を含めて本マシン上に搭載しており、燃焼解析結果による最適な制御条件を取り込むことが可能である。

Fig 2 にプロセス制御装置のモデル構成図を示す。プロセス制御装置は、給じん装置、乾燥・燃焼・後燃焼ストーカー、押込ファン、二次燃焼ファン、還流ファン、燃焼室、ボイラ、空気流量調整ダンパといった機器毎の物理モデルが構成されていて、実プラントに接続しなくても、リアルタイムに炉内燃焼解析システムが境界条件として必要なデータを転送することもできる。

Fig 3 にオンライン燃焼シミュレーションによるプラント運転監視・制御システムの処理フローチャートを示す。本システム全体の各ロジック判断、作業流れの制御については、初期設定条件により、全自動で実行される。

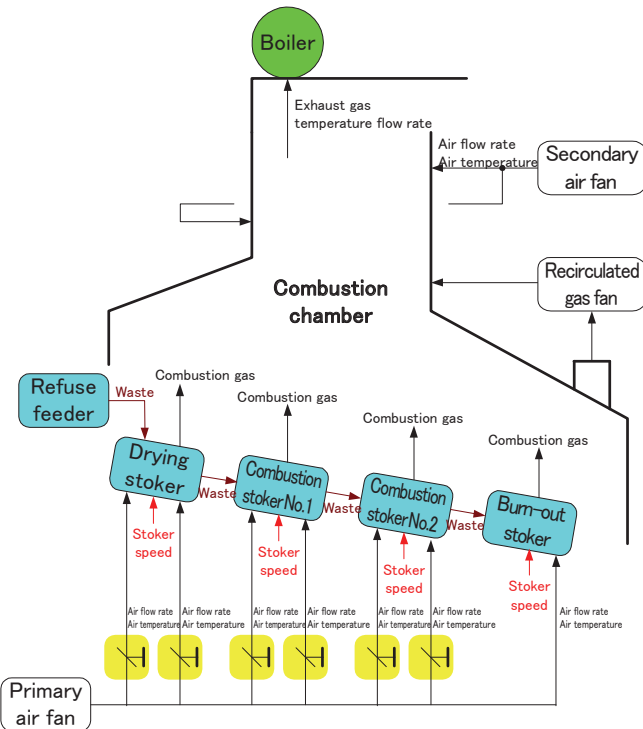


Fig.2: Figure of process control device model

#### 4. 炉内燃焼解析システムの開発

炉形状や二次燃焼空気の吹込条件等を検討するため、炉内ガス混合、伝熱、燃焼の数値解析技術を開発しており<sup>2)</sup>、応用技術として今回焼却炉運転中にオンサ

イト・オンラインで燃焼状態を短時間で把握し、適正制御するために、熱流体解析の専用バージョンを開発した。

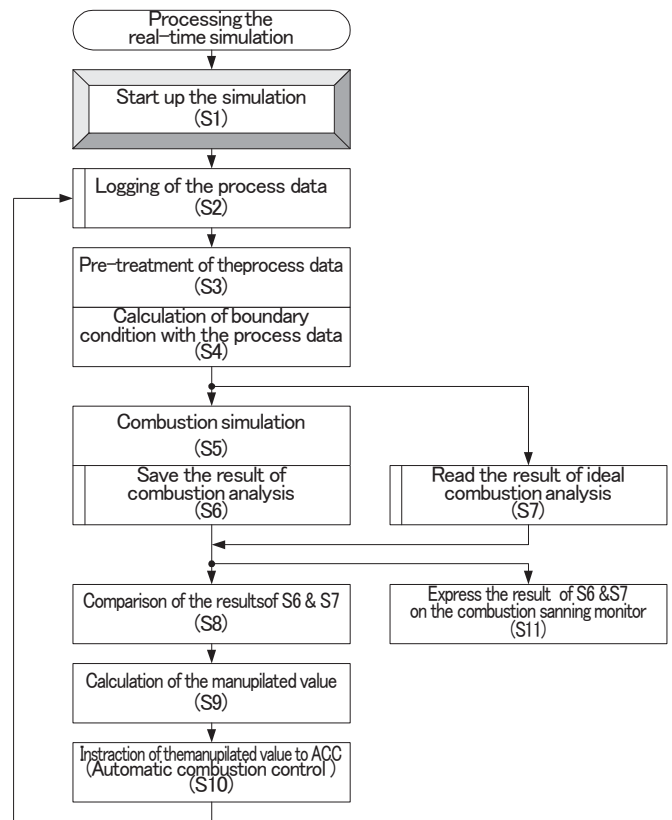


Fig.3: The processing flowchart

#### 4.1 炉内燃焼解析システムの構築環境

ソフトウェア開発環境を Table 1 に示す。

Table.1: The specification of combustion simulation system

	Specification	Column
PC	Intel CPU	
CPU	Pentium IV	
Memory	4.0 GB	
HDD	15+160 GB	
LCD	Over 19 inch	
Fluid analysis SOFTWARE	CFX-5	Version 10.0
OS	WindowsXP Professional	Service Pack2
Compiler	Fortran	

#### 4.2 解析の境界条件作成

燃焼用空気量は10分間実測の平均値を採用する。

ごみ組成については、経時変化の発熱量(ボイラ蒸発量、排ガス熱量から算出)をベースに計画時のごみ三成分(水分、可燃分、灰分)及び可燃物元素組成(C,H,O,N)から差分で換算し、任意のごみ発熱量に対して求められる。

さらに、燃え切り点位置のデータより、燃焼範囲を決め、ストーカー面積の割合に応じて各段での燃焼率、水分蒸発率、未燃ガス発生量など境界条件を換算する。

#### 4.3 炉内燃焼解析システムのフロー

Fig 4 に解析システムのフローチャートを示す。

解析は、事前に用意した計算メッシュと境界条件を読

み込んで、解析ソルバーで反復計算により解を求める。計算終了後、CFX-Postにより、結果のファイル(ガス流れ、CO濃度分布、O2濃度分布、ガス温度分布)を作成して、炉内スキャニング装置へ解析結果を送る。

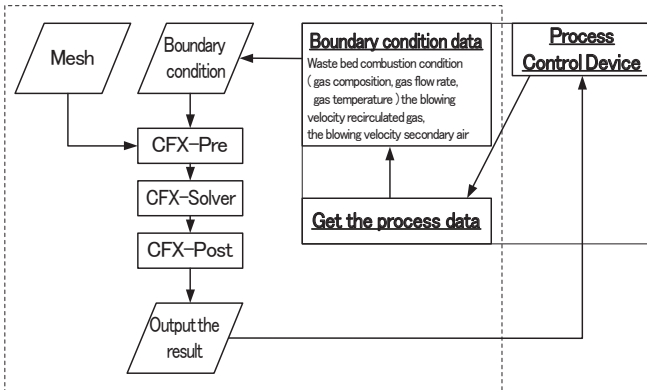


Fig.4: The flowing chart of combustion simulation system

#### 4.4 炉内燃焼シミュレーション手法

熱流体解析の所要時間は、一般的に解析メッシュ数と反復計算回数に比例する。本システムでは燃焼のプロセスから考慮して、1回の解析時間の目標は10分間と設定し、以下の方法を取り込んだ。

##### 1) 二次元解析メッシュでの解析

焼却炉内ガスの流れは、一般的に三次元的なものとなっている。従来三次元の計算では、二次空気ノズルの寸法に合わせて、境界のメッシュを作成する。本システムでは運動量保存則を守るように、二次空気は所定場所でソース・ポイントとして挿入することとした。

輻射伝熱計算については異なる境界(二次元境界と三次元境界)の面積及びガスボリュームを比例換算して、二次元解析メッシュに適合した境界条件を与える。

これらにより、解析メッシュ数を通常の解析と比べて、約50分の1とした。

##### 2) 解析結果の活用

解析時に各メッシュの初期設定値については、前回の解析結果(10分前の解析結果)を採用する。プロセス条件の変化分だけを繰り返し計算するため、収束解を得るまでの反復回数が少ない。

### 5. 炉内燃焼スキャニング装置

#### 5.1 炉内燃焼スキャニング装置の機能

炉内燃焼スキャニング装置において画面に表示可能なデータは次の通りである。Fig 5 に画面構成を示す。

- (1) 炉内燃焼解析システムの解析結果表示  
(ガス流れ、CO濃度、O2濃度、ガス温度分布)
- (2) プロセス値トレンド  
(各炉毎に最大8系列×3つのグラフ)
- (3) 各種エラー情報
- (4) 炉内監視ITV画像

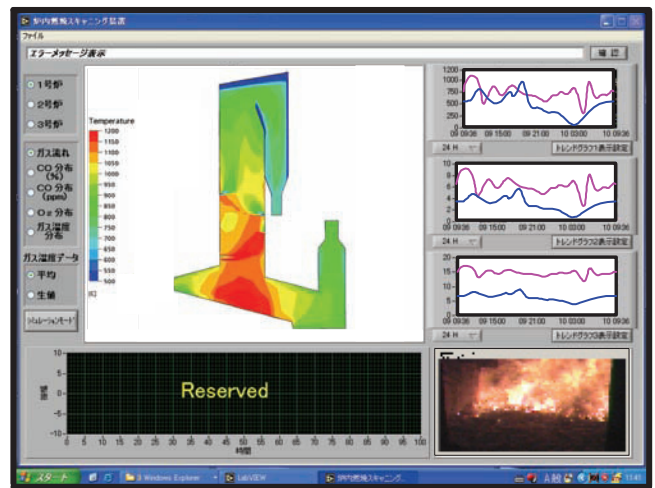


Fig.5: Screen expression of combustion scanning device

### 6. 実プラントのオンラインデータによる確認実験

#### 6.1 システム構成図

システム構成図を Fig 6 に示す。プロセスデータの流れは以下となる。

- 1) プロセス制御装置は OPC サーバを介しプロセスステーションや DCS にアクセスして、プロセスデータを取得する。
- 2) プロセス制御装置は約60点のプロセスデータ収集を1分間隔で実施。解析周期は10分間隔なので、1分間隔で10個のデータを収集でき、燃焼条件変動の平均値換算には十分と判断した。
- 3) プロセス制御装置では、炉内燃焼スキャニング装置・炉内燃焼解析システムがそれぞれ必要とするデータ形式化(CSV形式)して、プロセス制御装置のHDD内に保存する。
- 4) 燃焼スキャニング装置・炉内燃焼解析システムは自らが必要とする周期で、プロセス制御装置にアクセスして、必要なCSVファイルを読み込む。

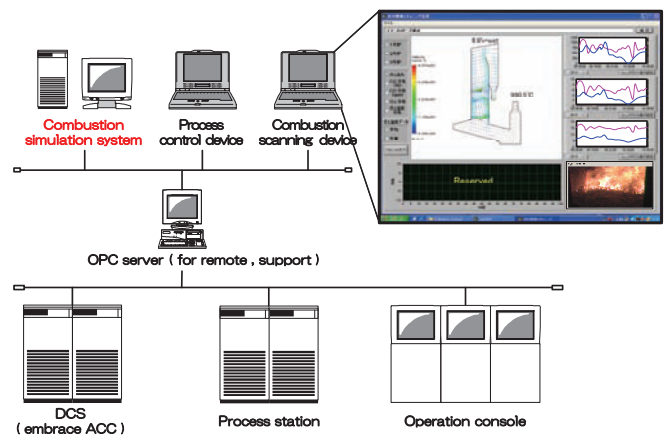


Fig.6: System device

#### 6.2 実験結果

Fig 7 に還流ガスシステム<sup>3)</sup>を含む焼却炉内燃焼の解析結果を示す。境界条件はほぼ同じとして、上段は

本解析システムでの解析結果、下段は従来の三次元解析法での解析結果(解析所要時間:1日半)である。

10分間で、1つのプロセス条件での収束解を得る事ができた。また、従来の三次元解析法ほどの精度はないものの、CO濃度が20ppm以下となる位置や、炉内温度が850℃以下となる位置がほぼ同じであることから、大まかな傾向はつかめており、本システムにより炉内燃焼状況を解析できるものと判断した。

## 7. シミュレーションモード

焼却炉の運転では、ごみ発熱量の変動や負荷変動により、燃焼制御の制御設定値を変更する場合がある。そのため、制御設定値から境界条件を換算し、シミュレーションを実施するシミュレーションモードを導入した。

設定条件の妥当性、二次空気吹込バランス(前壁と後壁の比率配分)、還流ガス吹込量及び吹込バランス(前壁と後壁の比率配分)などが、事前にこの機能を利用することで、予測することができる。

## 8. まとめ

本システムは熱流体解析技術、測定データの自動収録・伝送・処理技術を応用し、ごみ焼却炉燃焼特性を

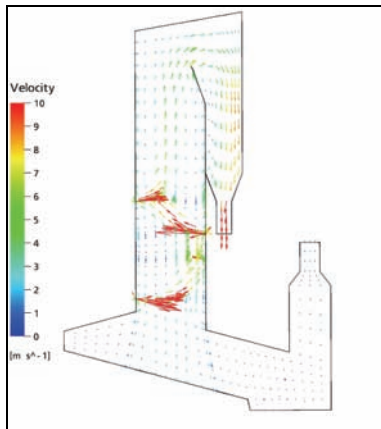
反映した解析モデルを組み込んでオンラインシミュレーションシステムを完成した。

その性能を検証するため、ごみ焼却炉のオンラインデータを用いて、試運転を実施し、システムエラーがなく、運転の安定性を確認できた。また、解析時間の目標である10分間を達成し、十分に制御に利用できる解析結果であることを確認した。

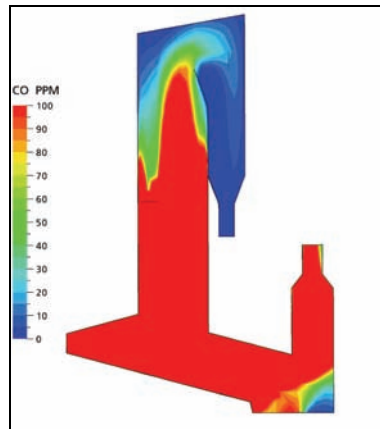
今回はまだ本システムを運転制御に利用していないため、今後運転制御に組み込んで、ごみ焼却炉のさらなる制御の高度化を目指したい。

### [参考文献]

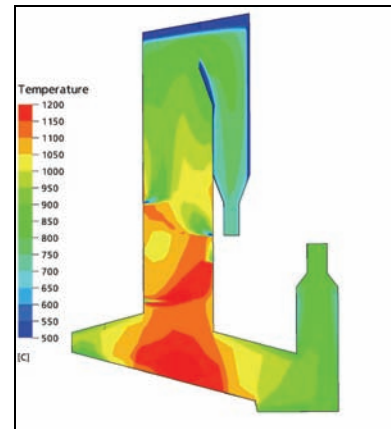
- 1) 佐野泰久: 焼却炉用訓練シミュレータの実用機能とプロセスモデル, 計装, Vol.44, No.4, pp.76-79 (2001)
- 2) 劉大偉: 熱流体シミュレーション技法の検証, タクマ技報, Vol.6, No.1, pp.12-21 (1998)
- 3) J. Akiyama, S. Kataoka and R. Sameshima: Development of An Advanced waste Incineration Mass-burn Renaissance, ISWA World Environment Congress and Exhibition, October.17-21(2004), Roma, Italy



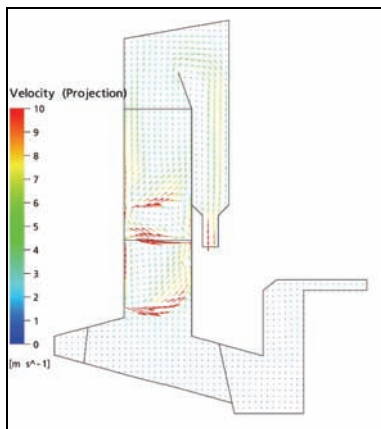
Vector of fluid speed



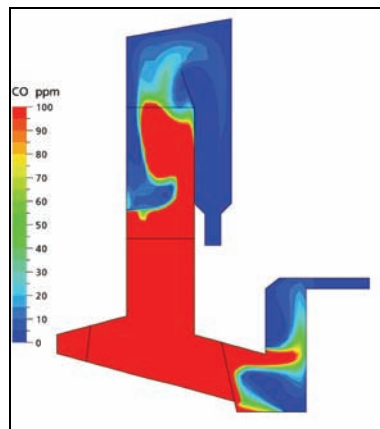
CO density  
(The result of this system)



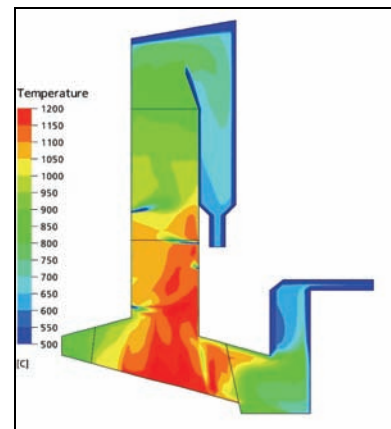
Temperature



Vector of fluid speed



CO density  
(The result of three dimensions)



Temperature

Fig.7: Simulation results