

流動床ごみ焼却炉の燃焼室内温度分布計測

横山 賢一*、左近 健一*、加藤 定史*、稲井 宏之*、香ノ木 順*
宮本 裕一**、林 正人**、小谷野 薫**、片岡 幹彦**

- * 川崎重工業（株） 環境装置第一事業部
神戸市中央区東川崎町1-1-3（神戸クリスタルタワー）
- ** 川崎重工業（株） 電子・制御技術開発センター
明石市川崎町1-1（明石工場）

概要

本研究では、流動床ごみ焼却炉の燃焼室内温度分布を計測し、燃焼ガス温度850℃以上の滞留時間を導出した。導出結果よりガス滞留時間2秒以上が実炉で実現されていることと、その場合にダイオキシン代替指標の一つである排ガス中のCOが抑制されていることを確認した。温度分布計測には多点式シース熱電対を用い、燃焼室内の垂直温度分布を計測した。また、COが抑制された安定燃焼時の温度分布の特徴を把握し、その温度分布を実現するための燃焼制御方法を考察する。

キーワード

ごみ焼却炉、燃焼室内温度分布計測、CO抑制、ガス滞留時間、燃焼制御

1 はじめに

近年、ごみ焼却炉のダイオキシン排出規制に関する関心が高まり社会的問題となっている。1997年の厚生省の指針「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン—ダイオキシン類削減プログラム—」では、ダイオキシン類排出濃度削減のための様々な対策が示されている。その中で、燃焼ガス温度850℃以上でガス滞留時間2秒以上が、ダイオキシン類を熱分解するための安定燃焼の指標となっている。

本研究では、流動床ごみ焼却炉を対象として燃焼室内温度分布を計測し、上記ガス滞留時間2秒以上の確保が実炉にて実現されており、その場合にダイオキシン代替指標の一つであり上記ガイドラインでも排出抑制が要求されている排ガス中のCOが抑制されていることを報告する。さらに、燃焼室内温度分布計測結果に基づき燃焼室内温度分布モデルを作成し、それを用いた排ガス中のCO抑制制御方法を提案する。

2 システム構成

2.1 流動床ごみ焼却炉の概要

流動床ごみ焼却炉の概要をFig.1に示す。予熱空気によって激しく混合・攪拌している加熱砂粒層に投入されたごみは、層内に巻き込まれ、その熱によって短時間に燃焼し、さらにフリーボード部で燃焼を完結する。また不燃物は層内を沈降し、焼却残さとして砂粒と共に抜き出される。流動床ごみ焼却炉の優れた特性として均一燃焼かつ燃焼完結時間が短いことがあげられ、難燃物処理や起動停止が短時間で可能などの特徴を有

する。そのため、都市ごみをはじめとして、各種産業廃棄物、汚泥、プラスチック燃焼などの各方面で採用されている。

流動床ごみ焼却炉の炉内はFig.2に示すように流動層燃焼部とフリーボード燃焼部からなり、さらにフリーボード燃焼部は2次空気が供給される上流側燃焼域と、下流側燃焼域(再燃焼域)からなる。上流側燃焼域と下流側燃焼域の間にはガスの混合を考慮した炉のくびれと、2次空気の大部分が供給されるノズルとがある。再燃焼域はガス混合用のくびれ位置から燃焼室出口までであり、この範囲でガス滞留時間2秒以上となることが上記ガイドラインにて要求されている。従って燃焼室内の温度測定は、ごみ発熱量変動に対しても燃焼ガス温度850℃以上かつガス滞留時間2秒以上であることを確認できるように、再燃焼域においてガスの流れに沿って複数個所で行うことが望ましいとされている。

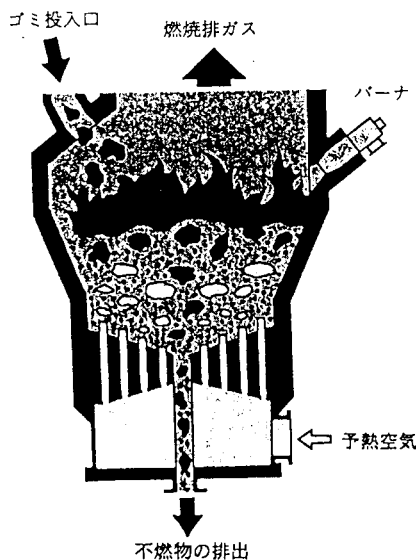


Fig.1 流動床ごみ焼却炉の概要

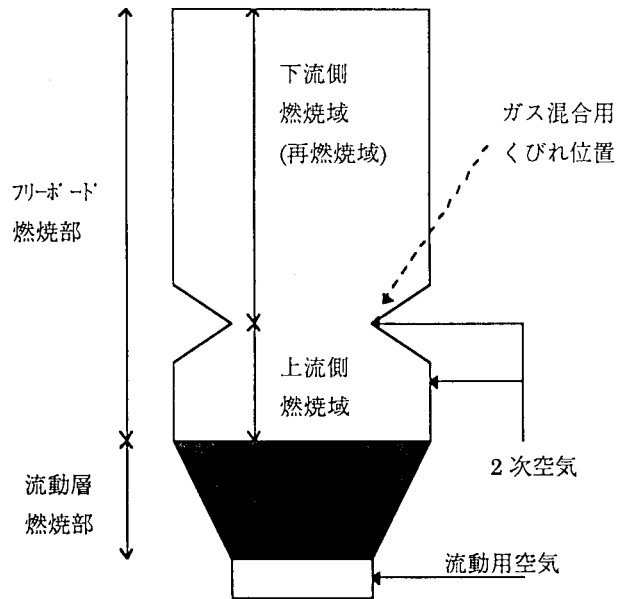


Fig.2 燃焼室の構成

2.2 温度分布計測システムの概要

燃焼室内温度分布計測には多点式シース熱電対を用いた。多点式シース熱電対は長さの異なる複数のシース熱電対束であり、1つの温度測定口から挿入できる。シースの長さ、本数を選ぶことにより任意の複数点の温度計測が可能である。計測に用いたシース熱電対はKタイプシース熱電対(シース合金: ニッケルクロム合金(アルミ含)、シース外径: 3.2mm)である。

本報の温度分布計測はFig.3に示すように多点式シース熱電対を流動床ごみ焼却炉の炉頂部から垂直に炉内に挿入して、燃焼室内の垂直温度分布を計測した。計測に用いた多点式シース熱電対はシース熱電対数本からなり燃焼室内の数点のガス温度を計測した。数点のガス温度計測位置は

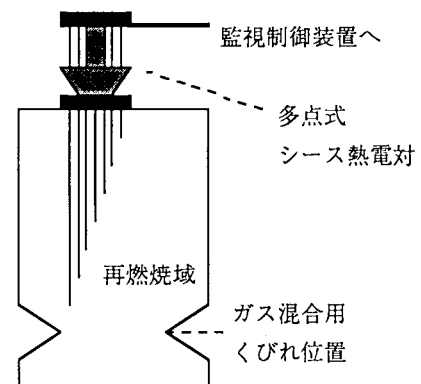


Fig.3 温度分布計測システム

ガス混合用のくびれの位置を基準にすると、そこから炉頂（ガス下流側）に向かったの距離で約1m、2m、3m、4m、5m、6m、7m、8m、・・・である。このように、ガス混合用のくびれ位置より燃焼室出口までの再燃焼域のガス温度分布を、ガスの流れに沿って数個所で計測した。Fig.4にガス温度分布計測結果の一例を示す。計測結果は空気流量等の他のプロセス量と共に焼却炉の監視制御装置に入力し、以降に述べるデータ解析を実施した。

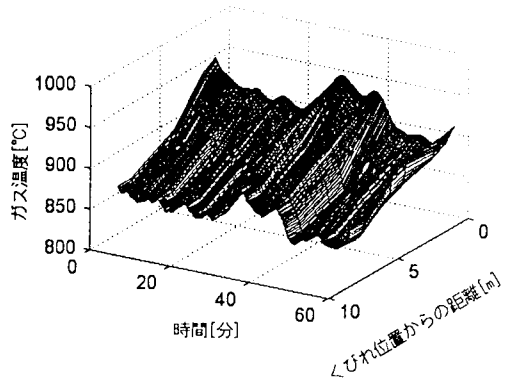


Fig.4 ガス温度分布推移の計測結果例

3 ガス滞留時間

3.1 温度分布からガス滞留時間の導出

計測した数点の燃焼室内温度とその他の計測可能なプロセス量から、燃焼室内の 850℃以上のガス滞留時間を以下の (1) ~ (7) 式から導出する。導出に用いるガス中の酸素濃度とガス温度はそれぞれ、燃焼室出口酸素濃度と燃焼室出口ガス温度で代表する。

$$GT = GA1 + GA2 \quad \dots (1)$$

$$\lambda = 21 / (21 - O2) \quad \dots (2)$$

$$GG = (GT * ((1/\lambda) * (V0/A0) + (\lambda - 1) / \lambda) + 22.4 / 18 * GSP) * (273 + TG) / 273 \quad \dots (3)$$

$$VG = GG / SF \quad \dots (4)$$

$$LS = fT (TS1, TS2, TS3, TS4, TS5, \dots) \quad \dots (5)$$

$$TM = LS / VG \quad \dots (6)$$

(5) 式で示した f T () を Fig.5 に示す。

$$LS = LS1 + LS2 + LS3 + LS4 + LS5 + \dots \quad \dots (7)$$

ガス滞留時間導出に用いたプロセス量の記号は以下の点である。

- GT 総空気流量 [Nm³/s]
- GA1 流動用空気流量 [Nm³/s]
- GA2 2次空気流量 [Nm³/s]
- λ 空気比 [-]
- O2 燃焼室出口酸素濃度 [%]
- GG 発生ガス量 [m³/s]
- V0 理論ガス量 [Nm³/kg] (Rosinの式等を用いる)
- A0 理論空気量 [Nm³/kg] (Rosinの式等を用いる)
- TG 燃焼室出口ガス温度 [°C]
- GSP 流動層内注水量 [kg/s]
- HU ごみ低位発熱量 [kcal/kg]
- VG ガス流速 [m/s]
- SF 燃焼室垂直方向断面積 [m²]
- LS 850℃以上ガス温度域の垂直方向長さ [m]
- f T LS導出用関数 [-]
- TM 850℃以上ガス滞留時間 [s]

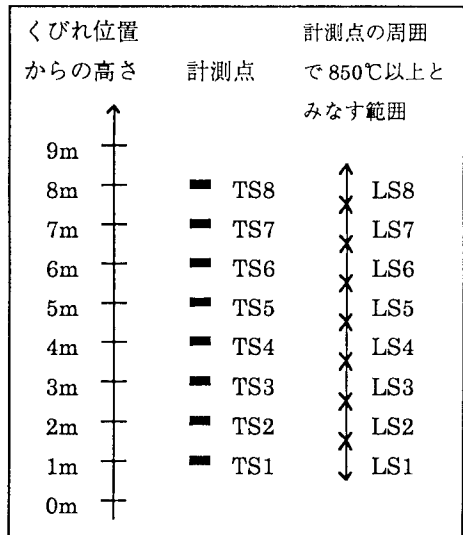


Fig.5 燃焼室内ガス温度の内挿、外挿

$T S_i$ 燃焼室内温度 i [°C] ($i=1,2,3 \dots$)

本計測を実施した流動床ごみ焼却炉では上記のガス滞留時間導出を監視制御装置内でオンライン計算しており、運転中にガス滞留時間をリアルタイムで確認可能である。

3.2 ガス滞留時間と排ガス特性

Fig.6は温度分布計測を実施した実炉での定常運転時のデータの一例である。前節で述べた方法で求めた850°C以上のガス滞留時間、排ガス中のCO濃度瞬時値(O₂12%換算)、850°C以上ガス温度域長さ、ガス流速、ガス温度TS1の時系列データを示す。850°C以上のガス滞留時間2秒以上が安定して確保されていることが確認できる。また、その場合に排ガス中のCO濃度が抑制された安定した燃焼状態が継続していることも併せて確認できる。このように、実炉において、高い燃焼温度、長い滞留時間および完全燃焼が達成されている。

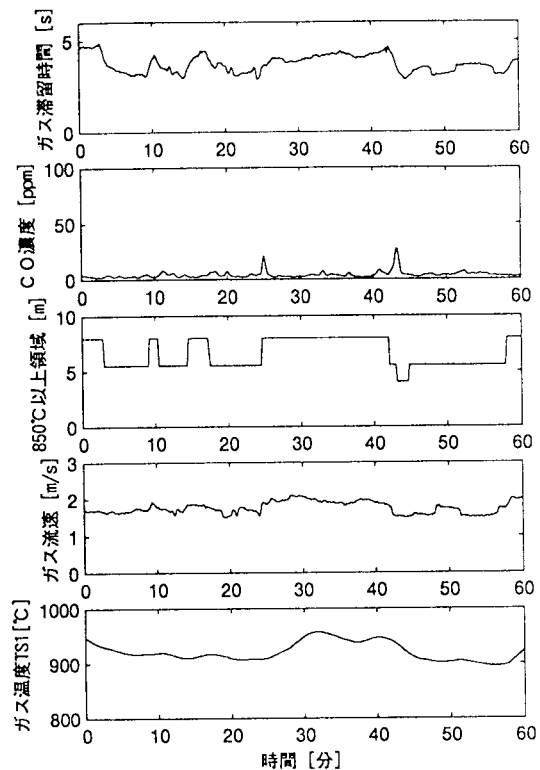


Fig.6 実機データ例

4 燃焼室内温度分布モデル

温度分布計測結果を用いて、排ガス中のCOが抑制された安定燃焼時の温度分布の特徴を把握する。Fig.7は安定燃焼時の、ガス混合用くびれ位置から燃焼室出口までの各シース熱電対の温度特性を整理した結果の一例である。燃焼室内温度が上流側(くびれ位置付近)で高く下流側(燃焼室出口付近)に行くにしたがって温度が下がることがわかる。Fig.7のデータを用いて、燃焼室内温度分布モデルを作成する。温度分布モデルは、ガス混合用くびれ位置から燃焼室出口までの範囲について作成する。燃焼室内の温度をガス混合用くびれ位置からの高さ L とくびれ位置でのガス温度の関数で表すものとする。

Fig.7のデータを空気比によって3種類に分け、各空気比での平均値をとる。各計測点での平均値から最小二乗法を用いて燃焼室内温度分布を多項式近似する。各計測点での空気比毎の平均値と多項式近似したグラフをFig.8に示す。

燃焼室内の温度を T [°C]、ガス混合用くびれ位置からの高さを L [m]、ガス混合用くびれ位置でのガス温度を T_0 [°C] とすると、燃焼室内温度分布モデルは(8)式で表され、係数は空気比によって変化する。

・燃焼室内温度分布

$$T(L, \lambda, T_0) = \sum_{i=1}^n (A_i(\lambda) \times L^i) + T_0(\lambda) \quad \dots (8)$$

温度分布モデルにより、ガス混合用くびれ位置付近で発生した高温燃焼ガスが、燃焼室下流側に行くにしたがってどのように温度変化するかが、くびれ位置からの高さ L と空気比から把握できる。

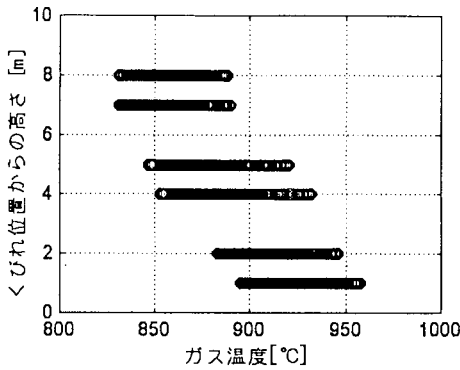


Fig.7 温度分布特性

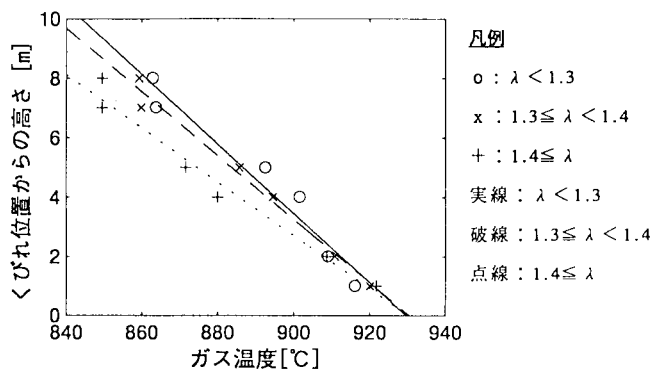


Fig.8 温度分布モデル

5 燃焼室内温度分布制御

前章で作成した燃焼室内温度分布モデルを用いて、安定燃焼時の燃焼室内温度分布を実現するための、燃焼制御方法を提案する。今回提案する燃焼制御方法を Fig.9 に示す。燃焼室出口酸素濃度、空気流量等のプロセス量よりガス流量、流速、ガス滞留時間が2秒以上となる再燃焼域内の位置を求め、温度分布モデルを用いて燃焼室温度の設定値を導出するものである。ただし、本手法は十分なガス滞留時間を確保することが目的であり、ガス温度設定値が基準となるガス温度より高い場合のみ設定値を変更する。また、ガス流量の急変等により温度設定値が基準となるガス温度から大きくはずれた場合には、ガス流速を制御量として空気流量の設定値を導出する制御に切り換える等の方法が考えられる。

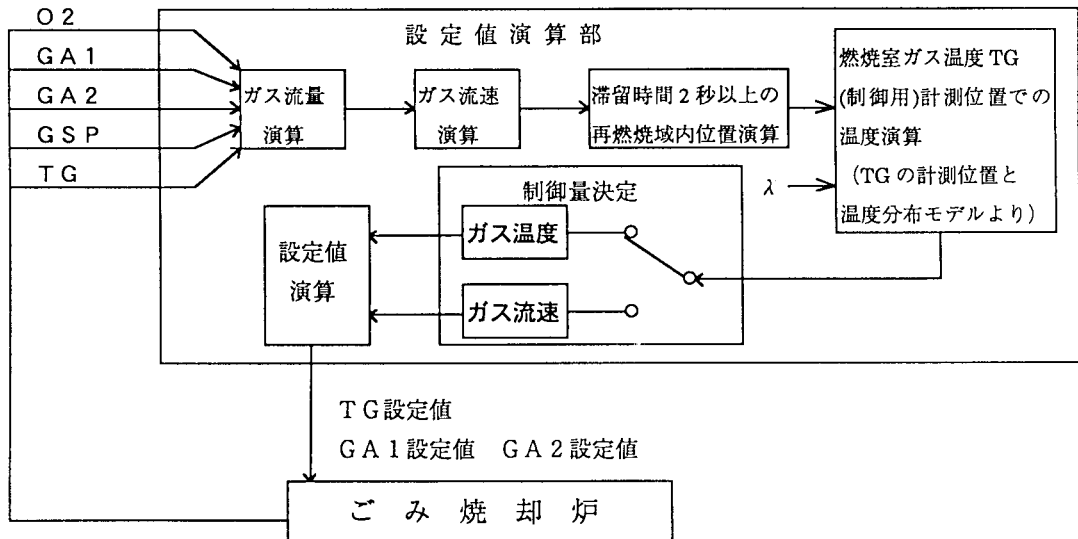


Fig.9 燃焼制御方法

本制御方法を用いた場合について実機データを用いて検証する。Fig.10 に本手法に用いる空気比の実機データ、本手法を用いて求めた燃焼室ガス温度（制御用）計測位置での温度演算値、温度演算値を用いて求めたガス温度設定値の時系列データ、および燃焼室ガス温度（制御用）の実機データを示す。Fig.10 より、導出された温度設定値の変化と燃焼室ガス温度（実機データ）の挙動がよく一致していることがわかる。このことから、本手法を用いて温度設定値を導出し燃焼室ガス温度制御を行うことにより安定した燃焼制御が実

施できると考えられる。

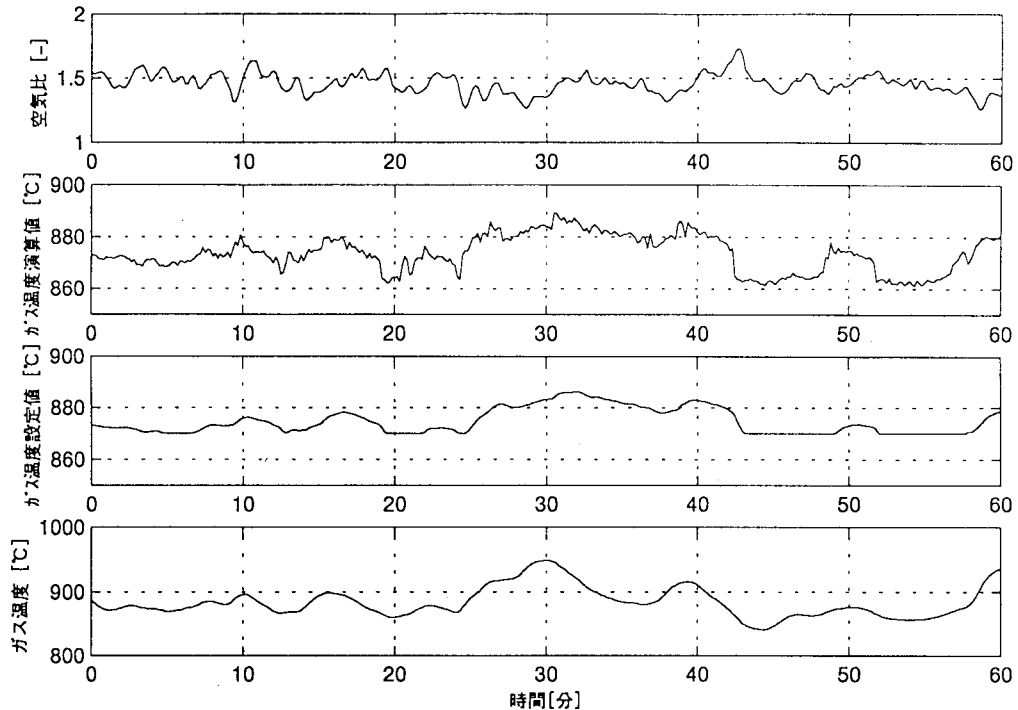


Fig.10 制御手法の検証

6 おわりに

流動床ごみ焼却炉を対象に燃焼室内温度分布を多点式シース熱電対を用いて計測し、安定燃焼の指標である850℃以上のガス滞留時間2秒以上が実炉にて確保されており、またその場合に排ガス中のCO濃度が抑制できることを確認した。

また、燃焼室内温度分布計測結果を基に燃焼室内温度分布モデルを作成し、安定燃焼時の温度分布を実現するための燃焼制御方法を提案した。

今後、本報で提案した燃焼制御方法を実炉に適用し、燃焼性能向上、安定運転、低公害運転の一層の強化を図っていく。

参考文献

- 1) 都市清掃編集委員会：新ガイドラインの概要、都市清掃、Vol.50、No.218、214/229、(1997)
- 2) 宮本、黒崎、藤山、南部：流動床ごみ焼却炉の動特性解析と燃焼制御、計測自動制御学会論文集、Vol.32、No.2、215/223、(1996)
- 3) 宮本、林、宮崎、藤山、南部、豊嶋：流動床ごみ焼却炉の動特性解析とパラメータ推定、第32回計測自動制御学会学術講演会予稿集、881/882、(1993)
- 4) 計測自動制御学会：温度計測基礎講座テキスト、(1998)