

ごみ焼却炉内ごみ滞留量推定による自動燃焼制御

栗林 栄一*、藤田 志津男*、串間 真二*

宮本 裕一**、村上 昭二**、島田 忠雄**、片岡 幹彦**

*川崎重工(株) エンジニアリングサポートセンター 環境装置制御システム部

神戸市中央区東川崎町1丁目1番 (神戸クリスタルタワー)

**川崎重工(株) 電子・制御技術開発センター 開発部

明石市川崎町1-1 (明石工場)

概要

ごみ焼却プラントの炉内状態を定量的に推定し、その結果にファジィ制御を適用し、従来の自動燃焼制御装置と融合させ炉内の燃焼状態を安定にさせることを目的とする。ごみ焼却プラントの安定運転にとって、焼却炉内ごみの滞留量の把握は重要である。しかし、ごみ滞留量はごみの性状の不確かさから把握が難しい。当社にて実績のある、ごみ焼却プラントの動特性解析技術、パラメータ推定技術を融合し、炉内状態を定量的に推定した結果にファジィ制御を適用し、自動燃焼制御装置に補正量を加え安定燃焼の効果を実炉で確認した。

キーワード

自動燃焼制御、ファジィ制御、焼却炉

1. はじめに

最近のごみ焼却プラントは、ダイオキシン問題等より、焼却炉内の安定燃焼が大きな鍵となっている。しかし、炉内の状態をリアルタイムに把握することは難しく、従来の自動燃焼制御装置においては、炉内へ供給されるごみの性状が大きく変わった時に、よりの確な安定燃焼を継続するには、熟練した運転員の手動介入が必要となるケースがある。従って炉内異常燃焼時に、炉内の状態を的確に判断し従来の自動燃焼制御装置に適切なサポートすることを目的とした新たな自動燃焼制御装置の開発が求められている。

筆者らはごみ焼却プラントを対象として、動特性解析を活用したパラメータ推定¹⁾、エキスパートシステムや、動特性解析、パラメータ推定技術を適用した運転支援装置の開発²⁾³⁾を実施し実プラントに適用してきた。

2. ごみ焼却プラントの概要

ごみ焼却プラントの概要をFig. 1に示す。クレーンによりホッパに投入された後、給じん装置によりストーカ上に供給されたごみは高温燃焼ガスによる輻射熱とストーカ下から供給される燃焼用空気により乾燥着火し、順次後方のストーカに送られ燃焼を完結する。

ごみ焼却プラントの特長として、燃料としてのごみの物理的、化学的性状が不均一であることにより、次のようなプロセス量の変動が見られる。

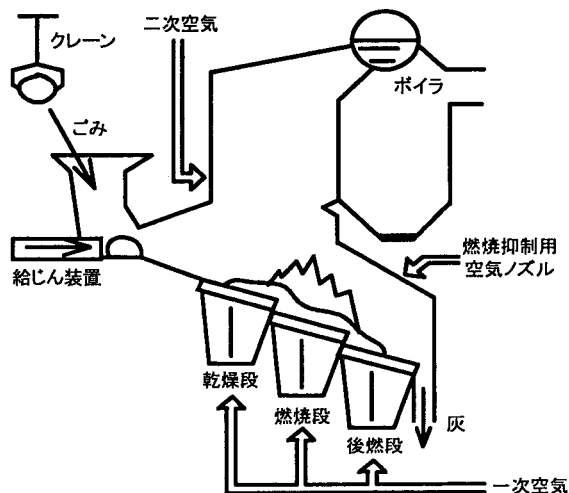


Fig. 1 ごみ焼却プラント概要

- (1) 炉内へ供給されたごみの低位発熱量が変動するため、燃焼時の発生熱量が変動する。
- (2) 炉内に供給されたごみは、含水量の変動により炉内投入から着火までの乾燥時間が変動する。
- (3) 給じん装置速度を一定としても、ごみの形状、比容積などが不均一なため、炉内に供給されるごみの重量流量が変動する。

これらの変動がごみの安定燃焼を阻害する外乱要因となる。さらに、燃焼現象を代表する状態量がセンサによって検出することが困難であり、目視による判断や過去の運転経過の考慮など高度な運転技術が要求されるため、ファジィ制御を導入してその自動化を図った場合、そのシステムの価値を高めることができる。

3. ファジィ制御を適用した自動燃焼制御の特徴

Fig. 2に自動燃焼制御装置に炉内状態動的推定の結果を適用したファジィ制御の導入を行ったシステム構成を示す。

まず、現場からの各プロセスデータ及び設定された定数より、動特性数式群を用いてごみ滞留量を推定する。推定されたごみ滞留量と燃焼度を入力値とし、給じん量、燃焼用空気量、ごみ発熱量の補正を操作値としている。

以下に、今回開発した自動燃焼制御の特長を示す。

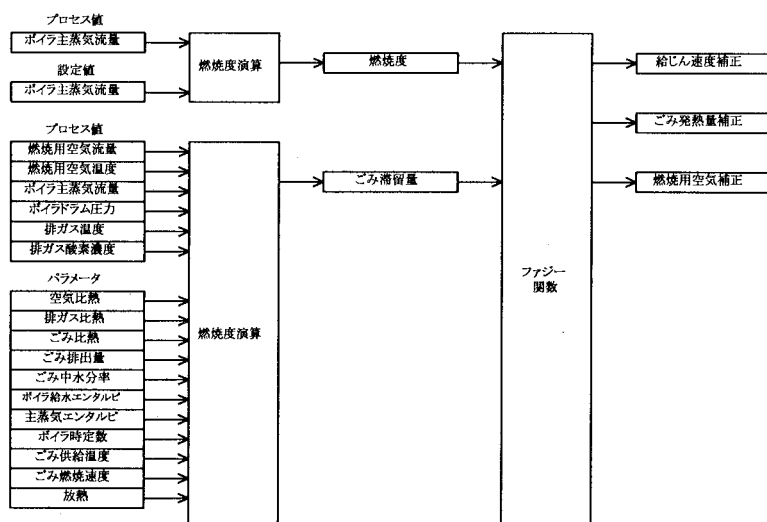


Fig.2 自動燃焼制御装置ファジィ制御部のシステム構成

- (1) 炉内燃焼状態の定量的な推定をリアルタイムに行うため、炉内へ供給されるごみの性状が大きく変わった時に、迅速に安定燃焼に戻す操作を行う。
- (2) 炉内燃焼状態を定量的に把握し自動的に補正するため、従来の自動燃焼制御への手動介入する際の各運転員による操作量のばらつきが無くなる。
- (3) 目視で確認しにくい部分を定量的に把握できる。

4. 動特性解析による炉内状態の推定からファジィ制御への展開

熟練運転員は、ごみ滞留量と燃焼の激しさに特に注目している。従って、焼却炉内のごみ滞留量とごみの燃焼度の2つのパラメータで、ごみ焼却プラントの炉内状態を代表させる。この2つのパラメータの把握が、プラントの安定運転を実現するために重要であると考え、プロセス計算機にて推定する。これらの値を導出するために、ごみ焼却プラントの動特性数式モデルを作成する。数式モデルは、エネルギーバランス式、マスバランス式、空気比式を中心とする式群からなり、焼却炉内のごみ滞留量等を未知変数に持つ連立微分方程式である。

これを、差分法の1つである Euler 法を用いて解く。これら式群の微分項で微分されるプロセス値は、燃焼室出口ガス温度、ボイラ蒸気温度、ごみ滞留量である。そこで、燃焼室出口ガス温度、ボイラ蒸気温度、ごみ滞留量の微分を、差分で近似する。燃焼室出口ガス温度、ボイラ蒸気温度はリアルタイムでデータ収集しており、差分は、現在の値と過去の値の勾配で表す。差分の刻み幅を、測定ノイズの影響を考慮した上で十分小さく選ぶ。

マスバランス

$$\frac{d}{dt} W_R = G_{RI} - \eta_C \cdot W_R - G_{RO}$$

空気比

$$\lambda_C = \frac{G_a}{A_0 \cdot (H_{UR}) \cdot \eta_C \cdot W_R} = \frac{21}{21 - O_2}$$

W _R	ごみ滞留量
G _{RI}	ごみ投入重量速度
η _C	ごみ焼却速度
G _{RO}	ごみ排出重量速度
T _g	総焼室出口ガス温度
H _{UR}	ごみ発熱量推定値
G _a	燃焼用空気流量
A ₀	理論空気量
λ _C	空気比
A _n	アレニウス式係数
E _n	アレニウス式活性化エネルギー

燃焼効率(アレニウスの式)

$$\eta_C = A_n \cdot \exp\left(\frac{E_n}{T_g + 273.15}\right)$$

このように、連立微分方程式をリアルタイムに解くことにより焼却炉内のごみ滞留量が導出される。この推定演算を一定周期で行うことにより炉内状態の推移が把握できる。また、燃焼度は以下の式で導出する。

燃焼度

$$D_C = \frac{G_S - G_{SS}}{G_S}$$

D _C	燃焼度
G _S	主蒸気流量測定値
G _{SS}	主蒸気流量設定値

前件部を導出されたごみ滞留量と燃焼度とし、後件部を給じん速度補正、ごみ発熱量補正、燃焼空気流量補正とした。今回採用したファジィルールの一例を以下に示す。前件部のごみ滞留量と燃焼度の判定はメンバーシップ関数で行っている。

1. 給じん装置停止時間に関するルール
 - (1) ごみ滞留量が少ない時は、給じん装置停止時間を短縮する。
 - (2) ごみ滞留量が適量な時は、給じん装置停止時間を現状とする。
- ...
2. ごみ発熱量に関するルール
 - (1) ごみ滞留量が少なく、燃焼度が低い時は、ごみ発熱量を現状のままとする。
 - (2) ごみ滞留量が少なく、燃焼度が適当な時は、ごみ発熱量を上げる。
- ...
3. 空気配分比に関するルール
 - (1) ごみ滞留量が少なく、燃焼度が低い時は、燃焼段の空気量を減らし、抑制空気ノズルの空気量を増やす。
 - (2) ごみ滞留量が多く、燃焼度が高い時は、燃焼段の空気量を増やし、抑制空気ノズルの空気量を減らす。
- ...

5. 実機データによる検証

Fig. 3に本手法を適用した実炉でのデータを示す。参照するデータは主蒸気流量の設定値と測定値、炉出口ガス温度、給じん装置停止時間補正、燃焼用空気流量補正、ごみ発熱量補正とした。横軸は経過時間[分]とする。

0から300分まではファジィ制御を行った場合、301分から600分はファジィ制御を止めた場合である。燃焼の目安となる主蒸気流量及び炉出口ガス温度の挙動が300分目を境に異なっており、それぞれの測定値の分散を比較するとより明確になる。それは、自動燃焼制御装置に対してファジィ制御による補正が適切に働いた結果といえる。

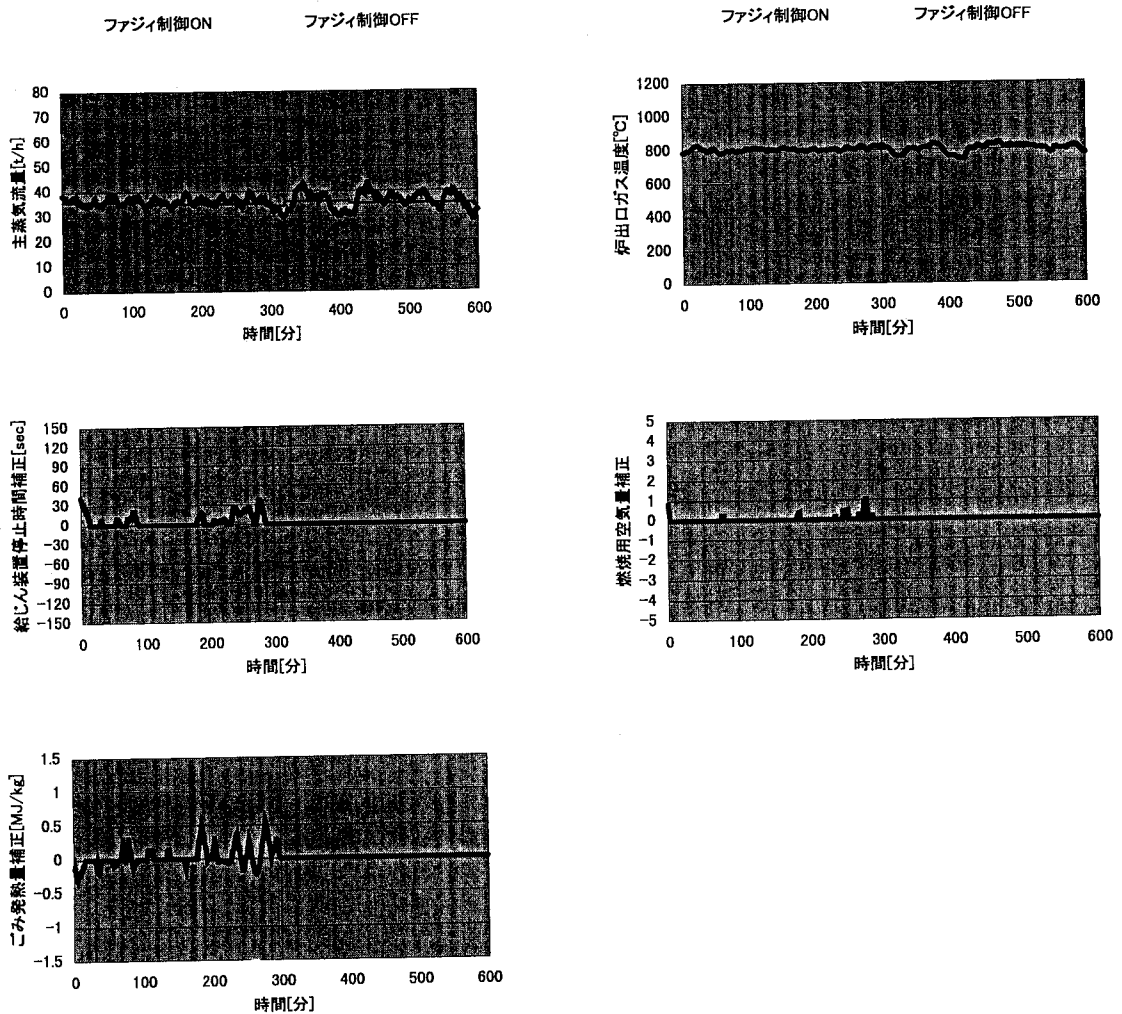


Fig.3 実機データ

6. おわりに

炉内状態を定量的に推定した結果にファジィ制御を適用し、自動燃焼制御装置に補正量を加えた新たなシステムを実機で確認した。ごみの安定燃焼にとって重要なパラメータであるが直接計測できない推定したごみ滞留量とごみ燃焼度を利用し、その有効性を示した。本自動燃焼制御装置は発電設備付きごみ焼却プラント向けに導入済みである。今後、他炉型への展開を図る上でより良いシステムとし、燃焼性能向上に寄与していく。

参考文献

- 1) 宮本、林、宮崎、小谷野、南部、豊嶋:ニューラルネットワークによる流動床産廃焼却炉の混焼率推定、第34回計測自動制御学会学術講演会予稿集、pp203/204、(1995)
- 2) 福山、坂本、横山、湯浅、庵原、羽畑、宮本、西野:ごみ焼却プラント異常診断、運転支援エキスパートシステム、川崎重工技報、106号、pp46/53、(1990)
- 3) 宮本、林、小谷野、湯浅、安河内:ごみ焼却プラント運転支援装置の開発、EICA、pp31/34、(1998)