

# CO低減のためのファジー自動燃焼制御システム

白木敏之\* 藤吉 誠\*\* 藤井達宏\* 浜辺孝平\*

\*日立造船株式会社 環境事業本部統括部  
大阪市此花区桜島1-3-40

\*\*日立造船株式会社 技術本部技術研究所  
大阪市此花区桜島1-3-22

## 概 要

ごみ焼却炉から排出される排ガス中のダイオキシンの発生を抑制するためには、焼却炉内での完全燃焼を維持することが重要である。現在その管理指標が焼却炉出口排ガスのCO濃度であり、これを極力低く保つためのより高度な燃焼制御技術が求められている。そのため、まず実炉における実測および解析を行い、CO発生の原因を把握するとともにCO濃度低減のための運転方法を見出した。そして従来の自動燃焼制御にファジー制御を付加することによってCO低減のための自動燃焼制御システムが実現できることを確認した。

## キーワード

ごみ焼却炉 自動燃焼制御 ダイオキシン CO濃度 ファジー制御 画像処理

## 1. 緒 言

今、ごみ焼却施設における急務の課題は、ダイオキシン対策である。その技術的対応としては、二方面からのアプローチが必要であるとされている。その一つが発生を抑制する技術であり、もう一つが発生したものを除去する技術である。本稿は、発生を抑制する立場から開発を進めているCO低減のためのファジー自動燃焼制御システムについて紹介するものである。

## 2. ごみ焼却プロセスにおけるCO発生の要因

ごみ焼却プロセスにおけるCO発生要因を把握するために、当社が納入した標準的なボイラ付き焼却炉に於いて実測および解析を行った。その結果、COが発生しやすい運転状態は複数あり、単純にプロセスとの一義的な対応関係で論じることができないことがわかった。そして、共通して燃焼状態が不安定なときにCO濃度が高くなりやすいことがわかった。

CO低減のための必須条件は酸素、温度、攪拌、滞留時間を満足させることであり、このうちのひとつが欠けても不完全燃焼の原因となりCOが発生する。すなわち、不安定な燃焼の結果、上記の条件が成立しないためCOの発生量が増加するのである。

不安定な燃焼の根源は、ごみ質とごみ量の変動であり、これが引き金となって、さまざまなプロセスの変化をもたらしている。

まず、ごみ質、ごみ量の変化は、炉内のエネルギーマス（以下ごみ質・量と記す）の変化を意味しており、この変化の結果、直接的には炉温に影響を与えたり、間接的には蒸気量制御に伴う燃焼空気の変

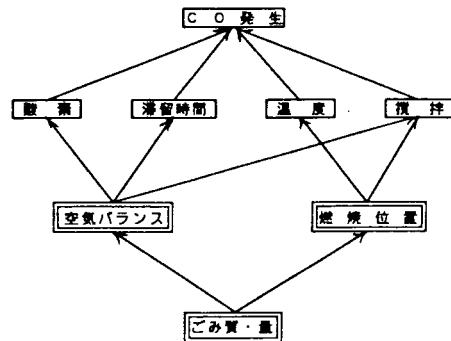


図-1 CO発生とプロセスの因果関係

化により空気バランスがくずれる。一方でごみの質的、量的な変化（燃えやすいごみが投入されたりごみがとぎれたりすることによる）によって燃焼位置が変動する原因となっている。

このようにCO発生を、①ごみ質・量（エネルギーマス）②燃焼位置（乾燥段側へ移行するとき）③空気バランス（O<sub>2</sub>濃度やフローパターン）という3つの指標に集約し、これらを中間プロセス指標と位置付けて図-1のようにまとめた。そして、「COを低減するためには、この3つの指標を極力安定させる。」という方針で新たな制御の開発に着手した。

### 3. ファジー制御の導入

COが発生する要因を3つの指標で表現したが、この指標そのものが従来のセンサーのみでは計測しえない人間の感覚的要素を多分に含む指標であり、さらにこの指標に基づいて制御を行うには、従来の自動燃焼制御に加え、より柔軟な制御が必要となる。

このような制御に威力を発揮するのがファジー制御である。

現在開発を進めているファジー自動燃焼システムのハード構成図を図-2に、機能概要説明図を図-3に示す。これは、従来の自動燃焼制御を基本とし、COが発生しやすい運転状態になったとき、COが発生しにくい運転状態となるように制御パラメータを調整するような、一種のエキスパート機能を持たせようとするものである。

複数のプロセス量をDCSを介してファジーコントローラに取り込み、ファジー推論にて中間プロセス指標のファジー推論値を求め、COが発生しやすい運転状態に移行しそうな場合、COの発生を抑制できる運転状態となるよう、ファジーコントローラから従来の自動燃焼制御に対して補正出力を出すシステムとした。

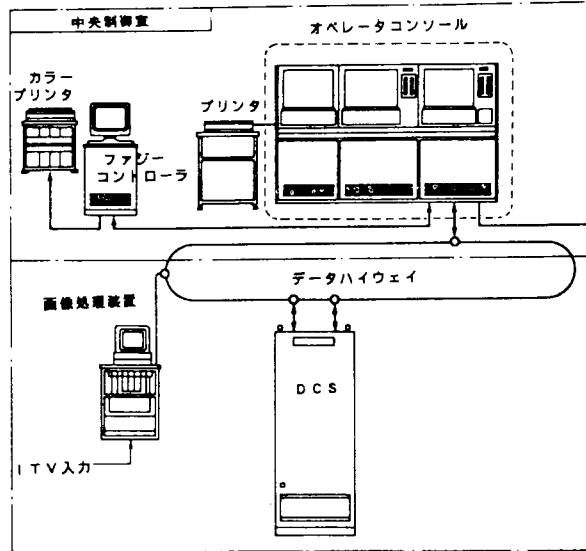


図-2 ファジー自動燃焼制御システムのハード構成図

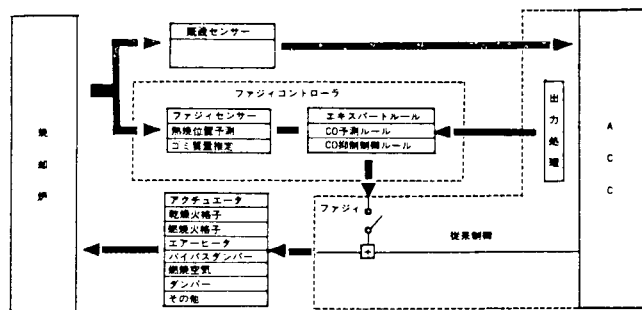


図-3 ファジー自動燃焼制御システムの機能概要説明図

### 4. ファジーセンサーの開発

まず、前述した中間プロセス指標を数値化するために、ファジーコントローラに複数のプロセス量を取込み、これらをメンバシップ関数とファジールールとで組合わせて、目的とする数値を出力するファジーセンサーの開発に取り組んだ。

既存のセンサーは、温度や流量といった物理量を電気的な信号として出力するハードセンサーであるのに対して、ファジーセンサーとは、このハードセンサーの複数の出力をソフト（ファジーコントローラのメンバシップ関数とファジールール）で組み合わせて目的とする数値を出力するソフトセンサーといえる。

これにより、これまでは数値化できなかった、人間の感覚に近い指標を表現することが可能となる。

#### 4.1 ごみ質・量検出ファジーセンサー

炉温、層厚、燃焼空気量とその変化率を組み合わせてごみ質・量をファジー出力として数値化した。ごみ質・量とCO濃度実測値の挙動を図-4に示す。ごみ質・量が減少すると（このときはごみ枯れ状態を検知している）CO濃度が増加するという対応が示されている。

#### 4.2 燃焼位置検出ファジーセンサー

燃焼位置を数値化するためには、まず運転員の視覚に代わるセンサーが必要となる。そこで、画像処理技術を導入し、さらにファジー推論を応用した燃焼位置検出センサーの開発に取り組んだ。

まず、画像処理により燃焼段燃えきりエッジ、燃焼段火炎炉巾長、燃焼段、後燃焼段の火炎面積を数値化した。

つぎに、これらの画像処理出力と炉温、後燃温度を図-5に示すファジー推論ルールブロックで組み合わせることにより燃焼位置を数値化し、より精度の高い燃焼位置の検出に努めた。その結果、燃焼位置が人間の感覚にかなり近く、精度良く捕らえることが可能になった。

このようにして得た燃焼位置とCO濃度の挙動を図-6に示す。

燃焼位置が乾燥段に移行すればCO濃度が高くなるという対応を示している。

#### 5. ファジー自動燃焼制御の実証実験

ファジー制御の実証実験の第1ステップとして、ごみ質・量安定化制御、燃焼位置安定化制御を従来制御に付加し、COが発生しやすい運転状態であるごみ枯れ状態や燃焼位置が乾燥段側へ移行する現象を防止するための制御を試みた。

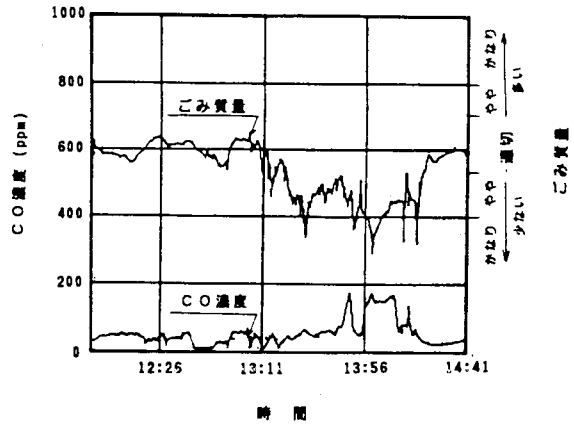


図-4 ごみ質・量ファジー出力とCO濃度の挙動

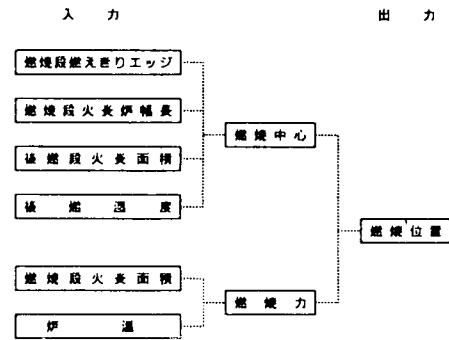


図-5 燃焼位置推論ファジールールブロック

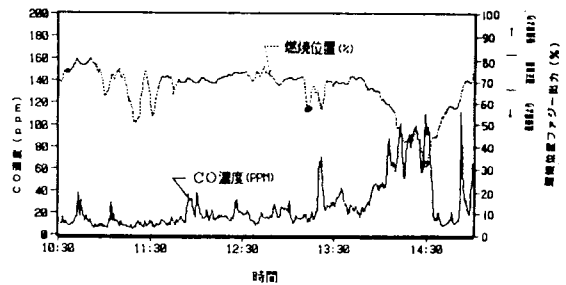


図-6 燃焼位置ファジー出力とCO濃度の挙動

### 5.1 実験結果

CO濃度、O<sub>2</sub>濃度、焼却炉温、後燃温度、蒸気量等の基本的なプロセスデータについて、最大値、最小値、平均値、標準偏差、およびヒストグラムを求め従来の自動燃焼制御とファジー制御を付加した制御の差を比較した。その一例を図-7に示す。

CO濃度についてはファジー制御の方が低濃度側に分布し、10ppm以下の運転が、従来制御では、50%程度であったのが、ファジー制御では、62%となり、ファジー制御を付加した方が、CO濃度をより低い濃度で運転することができた。

O<sub>2</sub>濃度についてもファジー制御のほうが7.5~8.5%の間に分布が集中し、平均値は0.2%低く、標準偏差も従来制御の0.52%に対して0.47%となっており、より効率よく安定した燃焼ができていたといえる。炉内温度、後燃温度については従来制御に比べてファジー制御のほうが若干温度を高めに保つことができ、かつかなり安定するという結果が得られた。蒸気量については、共に同程度安定していた。

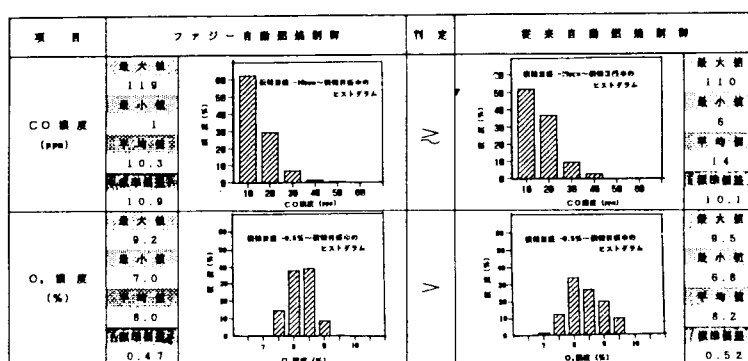


図-7 ファジー制御と従来制御の比較

### 5.2 考察

今回の実証実験において、O<sub>2</sub>濃度については従来に比べ若干低くかつ分散が小さくでき、炉温・後燃温度についても若干高かつ分散が小さくコントロールできるようになった。その結果CO濃度が低減できた。すなわち、ごみ質・量安定化制御、燃焼位置安定化制御というファジー制御を従来制御に付加したことによりCO濃度を低く保つことのできる条件での運転が達成できたと考えられる。

## 6. 結 言

今回の実験を通じて得られた知見を以下にまとめる。

(1) 実炉における計測および解析の結果、CO発生要因を

- ① ごみ質・量 (エネルギーマスの変動)
- ② 燃焼位置 (乾燥段側へ移行するとき)
- ③ 空気バランス (空気・ガスの量や流れ、O<sub>2</sub>濃度の変動)

という3つの指標にまとめた。

(2) 複数のプロセス量を入力とし、従来のセンサーのみでは計測できない、これらの指標を数値化するファジーセンサーを開発し実用化した。

(3) 燃焼位置を数値化するために、画像処理技術を応用した。

(4) 従来の自動燃焼システムにファジーコントローラを組み込むことによりCO濃度を抑制するための制御システムを開発し、実証実験を行なった。

(5) 実証実験の結果、ファジー制御の方が、従来の自動燃焼制御に比べ、燃焼状態が安定しCO濃度が低く保てるという結果が得られた。