

ごみ焼却炉インテリジェント燃焼制御システム

日野 正道* 高畠 義明* 今村 文典* 鬼生田浩一*
井上 芳郎** 和田 聡***

株式会社 クボタ

* 技術開発研究所 兵庫県尼崎市浜1-1-1

** 焼却炉技術部 東京都中央区日本橋室町3-1-3

*** 焼却炉設計工事部 大阪市浪速区敷津東1-2-47

概要

ごみの燃焼は、ごみ供給時点から着火までのむだ時間と着火から燃焼ピークまでの時間遅れが大きく、ごみ質変動が大きい非線形な系である。このため、従来のPID制御主体の燃焼制御では長時間の安定燃焼が困難であり、熟練運転員が燃焼状況を監視し、燃焼悪化の兆候時に補正を加える必要があった。このような中で、燃焼変化を的確に予測し、運転員の操作介入を不要とするノータッチ燃焼制御システムの開発が望まれていた。

そこで、ごみ質変動に左右されにくい燃焼制御方法を追及し、人工知能技術の応用によりこれを実現するインテリジェント燃焼制御（ICC）システムを開発した。本システムにより、運転員の操作介入なしで、ごみ焼却炉の最適運転を実現した。

キーワード

ごみ焼却炉、燃焼制御、人工知能、インテリジェントコントロール、推論システム

1. はじめに

近年、都市ごみ焼却炉にはPID制御を主体とした自動燃焼制御（ACC）システムが広く普及している。一方ごみ焼却炉は、ごみ供給時点から着火するまでの時間（むだ時間）や着火から燃焼ピークまでの時間（時間遅れ）が長く、かつその変動が大きい非線形な系であり、PIDでは長時間の安定制御が困難である。このため熟練運転員が燃焼状況を監視し、ACCシステムの制御出力を補正する必要があった。このような中で、運転員が操作介入する必要のないノータッチ燃焼制御システムの開発が望まれていた。

当社では、異常燃焼の兆候を検知して運転員へ対処策を知らせる「ごみ焼却炉運転支援エキスパートシステム」^{1) 2) 3)}をすでに開発し、昭和63年に実用化した。そして、今回さらに一歩進め、ノータッチ運転実現のため、人工知能（AI）技術を応用した「ごみ焼却炉インテリジェント燃焼制御（ICC）システム」⁴⁾を開発した。

2. システムの概要

2.1 ごみ焼却炉の構造

ICCシステムを適用したごみ焼却炉の概要を図1に示す。

2.2 システム構成

システムのハードウェア構成を図2に示す。

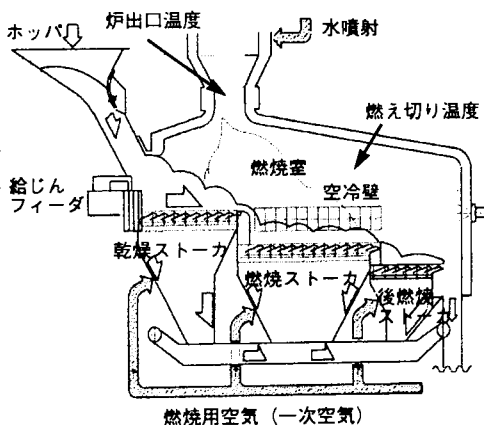


図1 ごみ焼却炉の構造

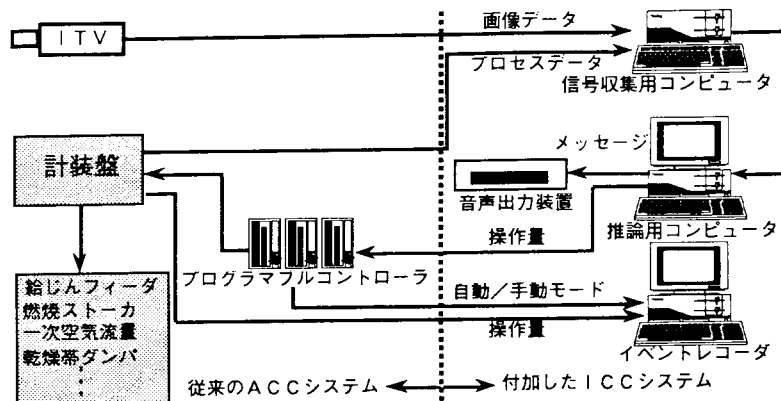


図2 ハードウェア構成

プロセスデータと炉内監視カメラの画像データを入力し、推論結果として制御信号をプログラマブルコントローラ（PC）を介して各制御機器へ出力する。

各構成機器の概要を以下に示す。

(1) 信号収集用コンピュータ

プロセスデータの加工・累積および画像データの2値化処理による炎の状態計測を行ない、その結果を推論用コンピュータへ送信すると同時に1ヶ月分累積する。

(2) 推論用コンピュータ

自社開発の推論システムにより燃焼状況の判断を行ない、ごみ供給速度や燃焼用空気量等、燃焼に関連する11の制御信号を出力する。

(3) イベントレコーダ

PCの自動/手動モードスイッチ（運転員が切り替え）の状態や、給じんフィーダやダンプ開度等の操作履歴を1ヶ月分累積する。信号収集用コンピュータに累積されたプロセスデータと照合し、制御知識のチューンアップを図ることに利用する。

2. 3 推論システムの概要

ICCシステムでは、Lisp言語により自社開発した推論システムを用いており、以下のような機能を持っている。

- (1) IF～THEN～形式のルール表現によるオンライン推論機能
- (2) プログラム言語で表現された知識を日本語に自動変換する機能
- (3) 推論経過を推論時の各変数の値とともに表示する知識検証機能

3. インテリジェント燃焼制御

むだ時間・時間遅れの大きい系を制御するには、状態変化を予測し早期に対策を行う必要がある。しかし、ごみ焼却炉にはごみ質やごみ量等計測できない不確定なパラメータが多く厳密な数値モデル化は難しい。このため多数の情報の変動傾向や操作に対する反応の監視により現在の燃焼状況を推測し、次の燃焼変化を予測して各操作量を決定するインテリジェントな制御が必要であり、これを実現するためには知識工学手法の応用が有効である。⁵⁾ ICCシステムでは、以下のような制御知識を導入し、前記推論システムによりごみの燃焼に適した制御を実現した。

(1) 高温時、温度上昇時にごみ供給速度を加速

許容温度範囲内では温度上昇時にごみ供給速度を加速し、温度下降時に減速する。(図

3) そして許容温度範囲を越える直前に、燃焼ストーカの揺動速度の急減速によって燃焼

を抑制し、過剰燃焼を防止する。また温度が下降し始めた比較的高温時にできるだけごみを供給し、低温となるほどにごみ供給速度を減速する。これはPID制御とは逆の動作であるが、ごみの増減に対する温度の反応は遅れるという予測知識に基づき、ごみの乾燥能力の高い温度上昇時、高温時にごみを増量し、急激な燃焼悪化を防止する。

(2) 状態遷移判断

ICCシステムでは、炉出口温度がどの範囲に入っているかによって「適正、適正やや高温、やや高温…」といった状態値で表している。例えば現在の状態値が「やや高温」の場合、「やや高温→適正やや高温→やや高温」と状態値が遷移してきたならば高温付近で安定してきたと考え、ごみ供給速度を減速する。(図4)この状態遷移判断により長周期の燃焼変化への対応が可能となる。

(3) 操作履歴監視による燃焼状況予測

ごみの燃焼はむだ時間・時間遅れが大きいと、短期的な燃焼変化にとらわれ過ぎると過剰操作となる場合がある。そこでICCでは、多数のセンサ値の平均・変化に加え過去の操作履歴を用いて次の燃焼状況を予測し、各種操作量を決定する。例えばごみ供給速度の加速に対する反応(温度の上昇)が現れない場合、十数分間のごみ供給平均速度とそれ以前の過去の平均速度から変化率を算出し、大きく増加している場合は過剰操作とならないように減速する。

4. システムの評価

本システムは、T市清掃センター(70t/24hr×2炉 ストーカ式+水噴射方式)にて、平成3年2月より運転中である。

(1) ノータッチ運転

図5は、ICCシステムによる運転データの中から連続5日間の運転員の操作介入状況を示したグラフである。このように常時自動モードで運転しており、ノータッチ運転を実現した。

(2) 安定燃焼

燃焼の強さの指標となる炉出口温度が安定し、1日の標準偏差が、従来のACCシステムより23%改善した。(5日間平均)また、同様に燃え切り温度の標準偏差も43%改善した。これは、ごみ質変動による大きな燃焼悪化を防止できたためである。

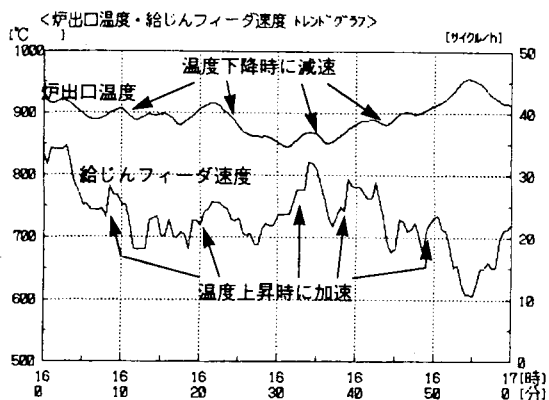


図3 給じんフィーダ速度(ごみ供給速度)の制御例

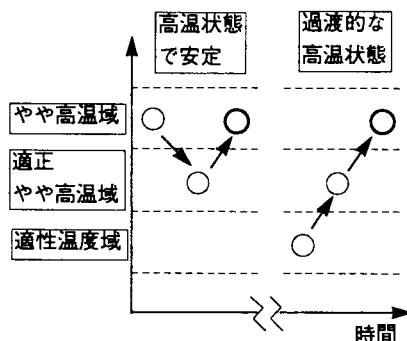


図4 状態遷移判断の例

(3) 焼却量の増加

焼却量の5日間平均が、従来のACCシステムより9%増加した。これは、高温安定燃焼の維持により、燃焼悪化による機会損失を最小限に抑え、炉の能力を最大限に引き出したためである。

5. まとめ

本システムは、むだ時間・時間遅れの大きなごみの燃焼に適した制御方法を追及し実現した制御システムであり、その有効性を確認できた。

今後は、燃焼状況計測システムの充実や、機器異常診断システム⁶⁾と組み合わせるとともに、低CO、低NO_xを同時に実現するシステムとしてさらにインテリジェント化を図る予定である。

本システムの開発には、H衛生一部事務組合の関係者をはじめ、運転員の方々に大変お世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。

☆☆参考文献☆☆

- 1) 井上芳郎、高島義明、寺尾康、和田聡(1989)、都市ごみ焼却炉運転支援エキスパートシステムの開発、第10回全国都市清掃研究発表会、PP.123-125
- 2) 井上芳郎、高島義明、寺尾康、和田聡(1989)、ごみ焼却炉におけるルールベース型異常燃焼予測技術の実際、計装、Vol.32、No.5、PP.32-37
- 3) 今村文典、高島義明、鬼生田浩一、井上芳郎、寺尾康(1990)ごみ焼却炉運転エキスパートシステム、第14回人工知能学会知識ベースシステム研究会、PP.121-127
- 4) 今村文典、高島義明、日野正道、鬼生田浩一、井上芳郎、和田聡(1991)、ごみ焼却炉インテリジェント燃焼制御システムの開発、廃棄物学会第2回研究発表会講演論文集、PP.369-372
- 5) JIPDEC(1989)、第5分冊 知識システムの事例、知的情報処理システムに関する調査研究報告書、ICOT-JIPDEC AIセンター、PP.14-15
- 6) David R.、DAVE.D、STEVE.T、LORRIE.T(1990)、EXPERT SYSTEM IN PROCESS CONTROL、ISA'90資料、PP.1989-1995

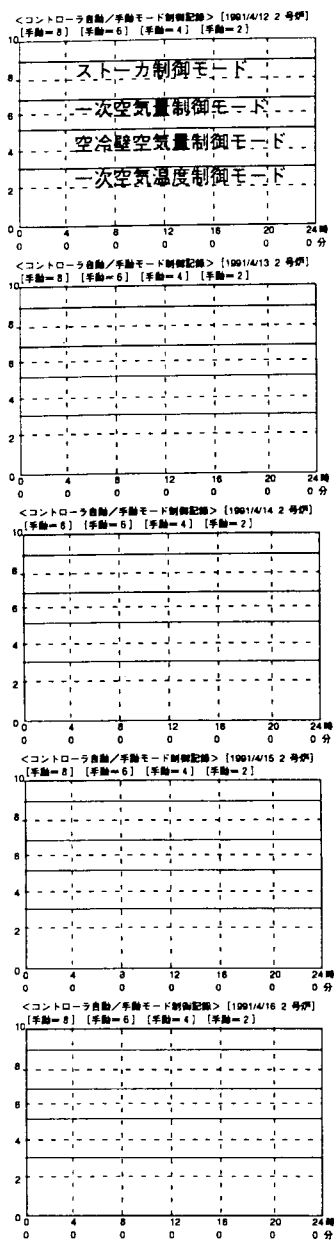


図5 連続5日間ノータッチ記録