

下水汚泥流動床炉の燃焼制御装置の開発

坂田 晃治*、長濱 和男*、安東 寛通*、阿部 実**

* 株式会社クボタ
東京都中央区日本橋室町3-1-3
** 仙台市下水道公社
宮城県仙台市宮城野区蒲生字八郎兵衛

概要

下水汚泥の処理方式として普及している流動床炉は、砂層部での乾燥・ガス化燃焼とフリーボード部での完全燃焼というシンプルなプロセスでの処理を特徴とする反面、積極的な燃焼状態の制御が難しいという特徴を持つ。NO_x発生量の抑制や廃熱ボイラ蒸気発生量の制御等の多様な要求に対して、ファジィ制御システムを導入することで、多因子入力多出力制御系における優位性を生かした燃焼制御システム(FBC)を構築し、石灰系脱水ケーキと高分子系脱水ケーキという性状の大きく異なる処理対象についても、温度監視を主体としたモード切替によって制御運転の安定化を達成した。

キーワード

ファジィ制御, 自動運転, 流動床炉

1. はじめに

下水処理施設の焼却設備の運用における大命題は、水処理系から発生する汚泥の処分量を確保することであるが、維持管理に際しては運転状態の適正化を図る事も重要な課題となる。ファジィ制御による燃焼制御ルールを構築し、これを核とした運転制御(ガイダンス)システムの開発と、その運用性の確認を行ったのでここに報告する。

2. 設備概要

仙台市南蒲生スラッジセンターは、隣接する浄化センターで発生する下水汚泥の最終処分施設として建設された。初期計画として、供用開始から約3年6ヶ月の間、浄化センターで処理された石灰系脱水ケーキを受け入れて焼却処分を行っていた。平成12年度より、遠心脱水機を備えた脱水設備が新設されたため、焼却設備における処理対象が高分子

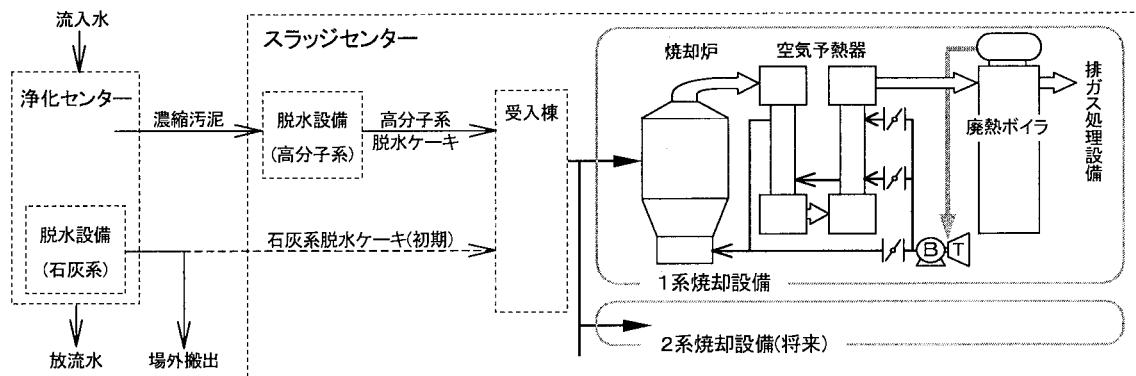


Fig.1 施設概略図

系脱水ケーキへと移行した。

焼却炉は、流動床式で日量 200t(最大 240t)の脱水ケーキを処理できる能力を持っている。焼却処理に伴って発生する燃焼排ガスの廃熱有効利用策として、後段の空気予熱器で燃焼空気の予熱源として熱回収を行った後は、廃熱ボイラにおいて蒸気(1.7MPa,207℃)として回収している。蒸気は白煙防止空気の加温とともに、流動ブロウと連結された蒸気タービンへと導入することで、ブロウ駆動用動力としてエネルギー回収を行い、省エネルギー化を図っている。

3. システム概要

3.1.ハードウェア構成

本システムは既設設備への仮設であることから、『流動床炉(焼却設備)の運転状況に応じて、最適と判断される操作ガイダンスを示すこと』を目的とした。運転支援システムのハードウェア構成を Fig.2 に示す。

中央制御室に設置された FBC(流動床炉燃焼制御装置)コンソール盤は、PLC ネットワークを通して運転管理に必要なデータを共有している。FBC 盤では、データフローを制御している PLC(シーケンサ)を中継ハブとして、以下に示す運転支援システムを構成する各機器が、RS 通信接続されている。

- 1) 入力装置 : 運転パラメータ設定用のタッチパネル
- 2) 演算装置 : ファジィ推論コンピュータ
- 3) 出力装置 : ガイダンス表示用 PC

出力装置は操作確認の利便性から、中央オペレーション端末(PCS)サイドへの設置を可能としており、ここに、タッチパネル及び PLC ネットワークから取り込んだ情報をもとに、ファジィ推論によって導き出された最適な操作ガイダンスが端末表示される。

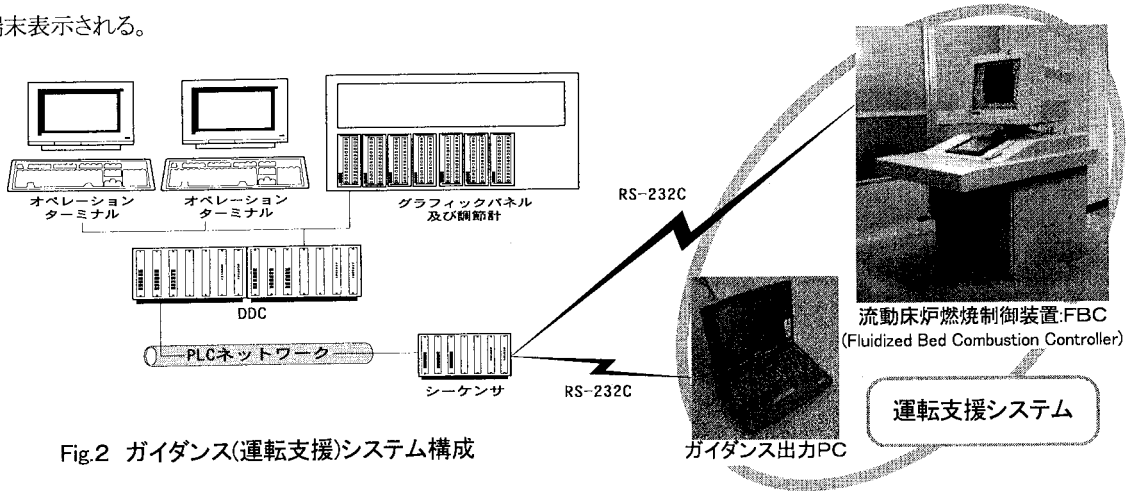


Fig.2 ガイダンス(運転支援)システム構成

3.2.ソフトウェア仕様

PLC ネットワークを経由して獲得した焼却設備のプロセスデータは、Fig.3の演算を行った上で制御設定値として出力される。ガイダンスの際の制御出力は、制御演算の積算値が設定値を超過した場合にのみ出力されるようにし、運転員の負担を軽減することを狙っている。ファジィ推論演算部では、データの前処理として、項目毎に設定した条件で移動平均演算や変化量の算出等を行う場合もある。なお、ファジィ推論を実施するにあたっては、事前に以下の定義設定を行っており、これらは、稼働状況进行评估しながらコンソール操作で設定変更することも可能である。

- 1) 入力前件部メンバシップ関数
- 2) 出力後件部メンバシップ関数
- 3) ファジィ制御(推論)ルール
- 4) 演算周期

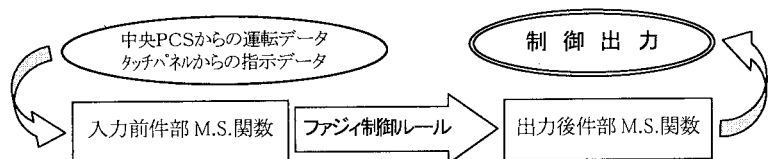


Fig.3 制御フロー概念図

4. 燃焼制御(ガイダンス)の概要

4.1. 一般事項

南蒲生スラッジセンターの焼却設備の運転制御においては、主に以下の事項に配慮する必要がある。

- ①脱水ケーキの発熱量が設計値よりも高く、燃焼温度の高温化が起こりやすい。また、廃熱ボイラ容量の制約条件(定格蒸気発生量の瞬時超過)によっては、目標処理量の維持が困難になる。
- ②石灰系脱水ケーキを焼却する際には、NO_x(窒素酸化物)が発生しやすいため、空気比を極力抑えて運転する必要がある。
- ③石灰系脱水ケーキ(含水率 65~72%, 発熱量 13800kJ(3300kcal)/kgDS:実績)と高分子系脱水ケーキ(含水率 75~80%, 発熱量 18400kJ(4400kcal)/kgDS:実績)という性状の大きく異なる対象を、同一の設備の限られた条件設定範囲内において処理する。

そこで、燃焼温度の高温化に対応して、焼却炉の砂層部とフリーボード部に冷却水噴霧装置を設置すると共に、自動燃焼制御装置(運転支援システム)の導入により、設備の能力を最大限引き出すことで脱水ケーキ目標処理量の維持を図った。制御(ガイダンス)における基本思想は、焼却設備運用にあたっての問題を解決するために

『ボイラ蒸気量、NO_x 濃度、砂層温度の上下限制約条件のもとで目標処理量を確保する』

として、モード変更で対応しながら運転の安定化を行っている。制御(ガイダンス)の核となる基本操作に関しては、実験計画法に基づいて運転上の問題解決に効果的な操作因子の絞り込みと操作量の決定を行い、ファジィ制御の元となる関数数を極力削減し、シンプルなルール構成となることを目指した。

4.2. 詳細内容

『最適状態制御』では、主要監視項目の上下限制約にかからない安全領域(ZONE-0)において、あらかじめ設定した最適状態を目指して操作量を決定する。ここでは、汚泥処理量を設定した目標値に追従させることに主眼を置き、汚泥供給量/砂層中部温度/炉出口温度/炉出口 O₂濃度の状態を最適化するファジィ推論を実行させている。ZONE-0 運転が継続できるかぎり、制御状態の最適化のために制御操作量は上下限を設けた範囲内で自由に増減調整を繰り返して、処理負荷に応じた燃焼状態へと安定化させている。

『ボイラ蒸気量抑制制御』、『NO_x 濃度抑制制御』では、“上限警戒領域(蒸気発生量 4.4t/h 以上, NO_x 濃度 100ppm 以上)”へと接近した場合、最適状態を逸脱しても蒸気発生量抑制及び NO_x 濃度抑制を重視した制御へと切り替える。ここでは、プロセス値に応じてファジィ前件部関数でゾーン分けを行い、制御手法を変えていくようにした。警戒領域から遠い場合には、脱水ケーキ処理量に影響を与えない対処法として、流動空気量/流動空気温度/冷却水量等の操作を行うが、警戒領域では、処理量確保よりも制約条件を守ることを優先させた制御操作を行い、さらに、“非常領域(蒸気発生量 4.5t/h 以上, NO_x 濃度 200ppm 以上)”に入っていると判断された場合には、他の要因でどれだけ相殺する制御出力を出しても、非常アクションによる操作が勝るように制御ルールを設定している。

また、本焼却設備の場合、石灰系脱水ケーキと高分子系脱水ケーキという性状の大きく異なるものを処理対象とする

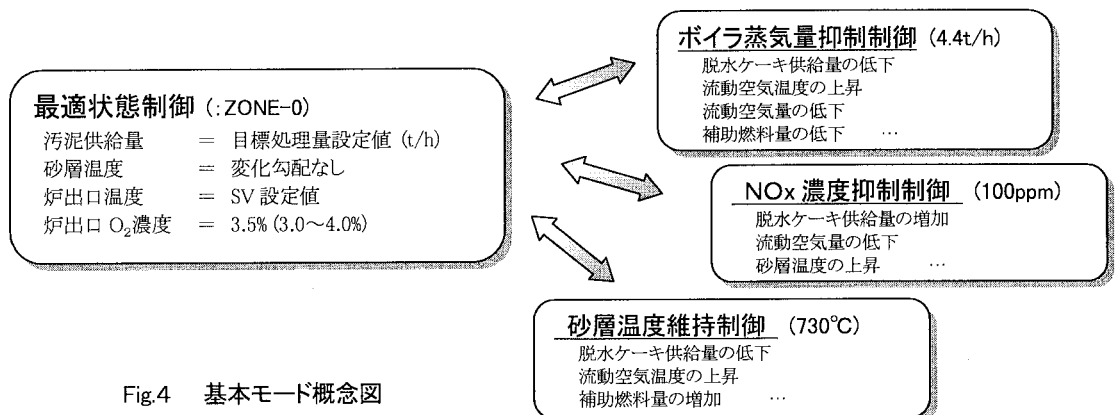


Fig.4 基本モード概念図

ことから、砂層部の温度は 730~750°C程度の助燃状態(主に高分子系)から最高 850°C程度の自然状態(主に石灰系)まで変化し、炉内の温度分布も処理対象の性状によって大きく変動する。極力シンプルな推論ルール構成を成立させるために、砂層部の温度範囲によって制御対象を切り替えるようにして、脱水ケーキ性状の変動に起因する燃焼状態の変化を人為的に特別に認識させることなく、燃焼制御を行えるようにした。

5. 制御運転事例

焼却設備の模擬制御運転事例を示す。このときは、ガイダンスの元となる制御出力値の妥当性を検証するために、FBCの制御出力値を模擬入力した。脱水ケーキの目標処理量は 240t/日(10t/h)とした。

制御開始前の運転状況としては、NO_x 濃度が高く(①)、脱水ケーキ(石灰系)処理量が少ない(②)ことが改善事項として観測されており、ガイダンスの開始と共に、脱水ケーキ供給量の増加と流動空気量の抑制が指示されている。その後、制御条件の変化による燃焼状態の推移によって、主に砂層温度上昇防止のために炉(砂層)冷却水量の増加、及び十分な燃焼空気量確保のために流動空気量の増加の操作も行っている。

この間、特に脱水ケーキ供給量の増加による顕著な影響として、廃熱ボイラにおける蒸気発生量が増加しており(③)、警戒操作としてケーキ供給量の減少が行われている。その後は、蒸気発生量と NO_x 濃度は安定状態に入ったため、砂層温度変化(低下する場合は炉冷却水量を抑制)及び炉出口 O₂ 濃度変化(低下する場合は流動空気量を増加)を監視しながら増減操作を行っており、運転状態の調整操作が行われている。

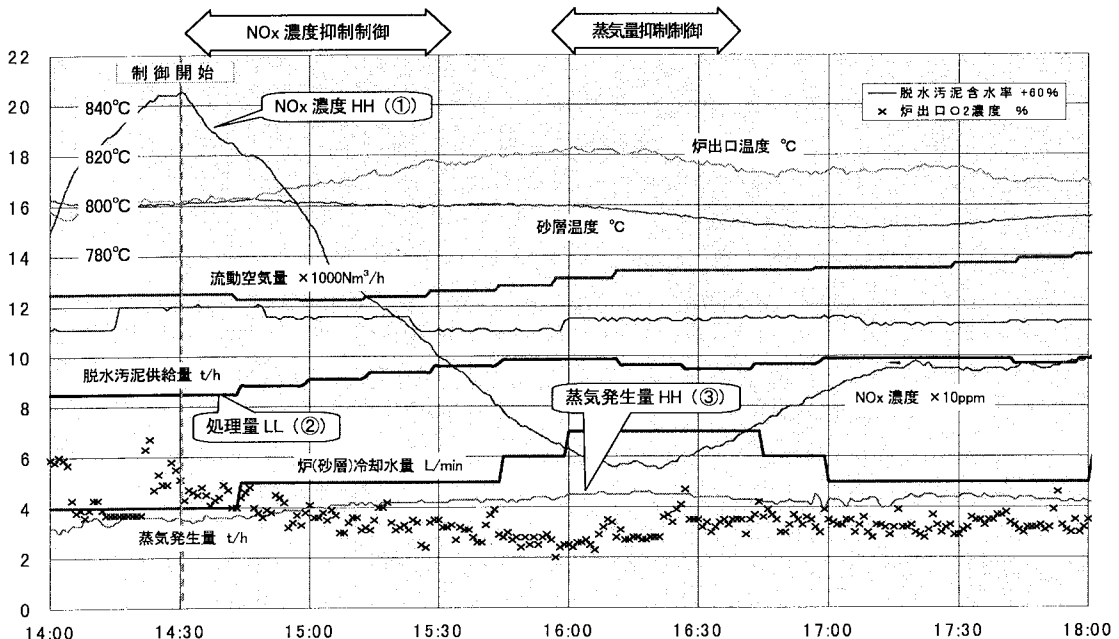


Fig.5 制御運転事例

6. まとめ

焼却設備(流動床炉)の運転状況を検証して燃焼制御のためのルール体系を構築し、ファジィ制御を核とした燃焼制御システムを構築した。燃焼制御装置からの出力値に依存した模擬制御運転、及び運転支援(ガイダンス)システムの補助による長期運転によっても、蒸気発生量抑制や NO_x 抑制等の意図した制御を行いながら、脱水ケーキ処理量の維持という主目的を達成できた。

なお、燃焼制御のテストにあたって、燃焼制御装置の設置許可を頂き、評価に際しても有効な助言をしていただいた仙台市下水道公社及び南蒲生スラッジセンターに感謝致します。