

ファジ理論を用いた流動床炉燃焼制御装置の適用と運用状況の評価

○坂田 晃治¹、吉田 康之¹、坂本 和恵²

¹株式会社クボタ

²いわき市下水道部

概要: 焼却設備の運用においては、環境規制等に配慮した上で、燃焼の安定化と最適化を図り運転を行うことが求められる。しかしながら、設備の特性として多くの要素が互いに影響を及ぼし合うことがあるため、現行のシステムとして広く普及しているPID制御系によれば、運転には熟練を要し自動化も困難である。いわき市中部浄化センターでは、昨年度から焼却設備の供用を開始したが、多因子入力多因子出力制御系において優位性のあるファジ制御システムに着目し、ファジ推論エンジンを核とした自動燃焼制御装置を導入した。システムの運用により、維持管理業務の省力化とともに、補助燃料使用量の削減や設備の運用性の向上を実現した。

キーワード: ファジ制御、流動床炉、焼却、自動運転

1. はじめに

いわき市中部浄化センターにおいては、市内の4浄化センターで発生する脱水ケーキの最終処分施設として、平成13年11月から焼却設備の供用を開始した。

焼却設備の運用では、種々の環境規制等に配慮した上で、燃焼の安定化と最適化を図り運転を行うことが求められる。そこで、維持管理業務の省力化とともに、補助燃料使用量の削減や設備の運用性の向上などを図ることを目的として、ファジ推論エンジンを核とした流動床炉燃焼制御装置(FBC: Fluidized Bed Combustion Controller)が導入されている。そのシステムの概要と運用状態の評価をここに報告する

2. 焼却設備及び制御システムの構成

2.1. 焼却設備

焼却設備は、定格処理量 50t/日の流動床式で、運転制御に関わる炉廻りの設備フローは Fig.1 に示される構成となる。市内の4浄化センターで発生する性状の大きく異なる汚泥を処理しているため、幅

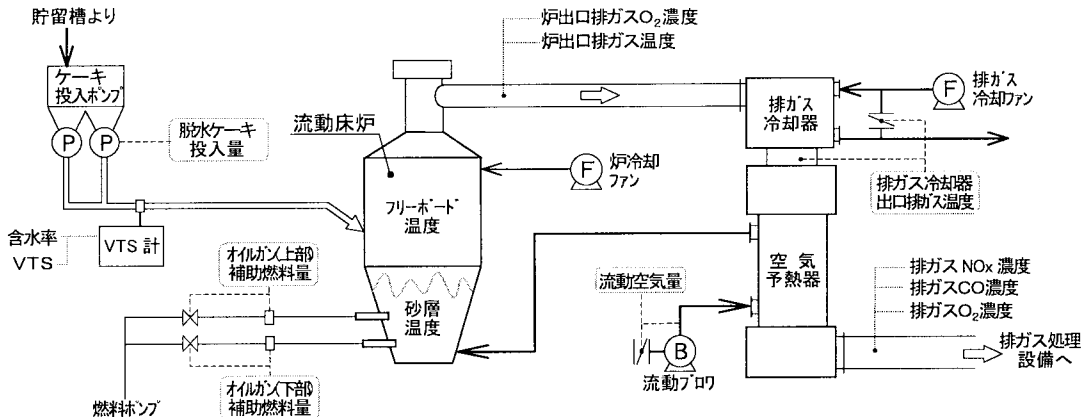


Fig. 1 焼却設備概略フロー

広い汚泥性状変動への対応が要求される。

2.2. 制御システム

FBC 盤は中央制御室に設置され、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 RS-232C 通信接続されており、制御 LAN を通して運転管理に必要なデータを共有している。一般的に、下水処理施設の場合、電気設備に関しては電機メーカーの掌握範囲となるため、PLCを介して RS-232C 通信により運転制御に必要なデータを確保することで、システムの独立性を持たせている。FBCのシステム構成とデータの流れを Fig.3に示す。

焼却設備の運転に際しては、電気設備側の DCS において CRT(監視操作卓)操作モードと FBC 制御モードを任意に選択することができる。FBC モードにおける運転では、操作員が FBC 盤面のタッチパネルより目標処理量を入力するだけで自動運転が実施される。

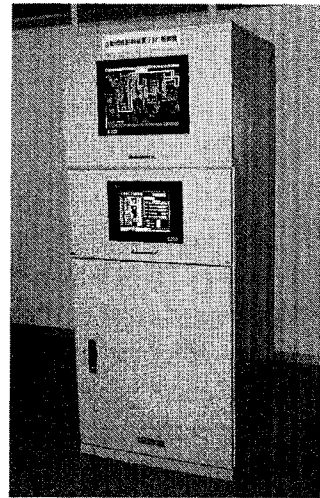


Fig.2 FBC : 流動床炉燃焼制御装置

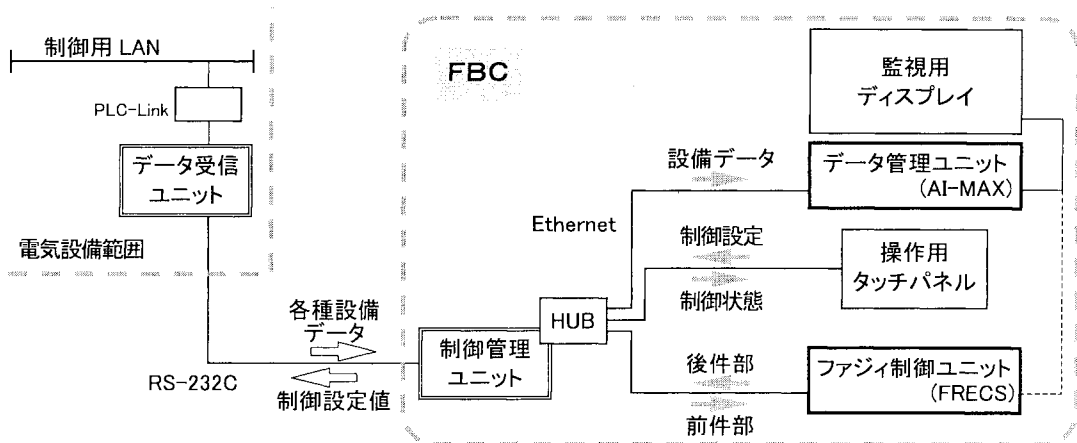


Fig. 3 FBCシステム構成

FBCは、ファジィ推論エンジン FRECS を核とした演算機能を持ち、焼却設備の運転データ(:前件部)を元にファジィ推論による演算を行い、運転制御条件として最適と判断される値が制御設定値(:後件部)として出



Fig. 4 推論状況画面

Table 1 入出力因子の相関

後件部	脱水ケーキ	オイルガン(下)	オイルガン(上)	流動空気量	排ガス冷却器
前件部	投入量	補助燃料量	補助燃料量		出口排入温度
目標汚泥処理量	○				
砂層温度	△	○	△		△
アーク温度			○	△	○
炉出口温度	△		△	○	△
O ₂ 濃度				○	
CO濃度	△			○	
NOx濃度				○	
補助燃料量		○	○		

:各因子の相関として、○>△となる

力され、これに沿って設備の運転条件が決定される。また、FBC内部においては将来的なシステムの拡張性を考慮し、HUBを介してEthernetによりデータ通信を行っている。

自動制御では、Fig.1に示された運転データが推論材料として取り込まれ、脱水ケーキ投入量・流動空気量・補助燃料装置燃料量(2系統)・排ガス冷却器出口温度の5つの因子が制御設定値として出力される。監視項目と制御対象の相関はTable1に示す通りである。

2.3.ファジィ制御について

ファジィ制御は、PID制御で使われるような数式の形ではなく、前件部におけるヒット率と後件部の出力値によって制御出力が決定されるため、直感的なルール構築ときめ細かな制御ができることが特長である。また、焼却設備の特性から、以下のようなファジィ制御の導入メリットが挙げられる。

①設備特性が非対称/非線形性である

運転管理において重要な砂層部の燃焼特性として、燃焼促進(昇温)に時間がかかるが燃焼抑制(降温)は短時間でできるなど、非対称性を有している。また、監視対象の運転値が悪化した場合のみ操作が必要な事例もある。PID制御系では対称かつ線形的な特性しか持たせることができないが、ファジィ制御では、前件部の条件範囲(メンバーシップ関数)指定と後件部の制御出力値を任意に設定することが可能となる。操作の安全/危険を元に、ある特定の条件下でのみ制御出力を強めるような制御系も組むことができる。

②制御安定点が不定であり、操作方法(制御設定値)は無限に存在する

例えば、燃焼排ガスが高温化した場合、『補助燃料量を削減する』『燃焼空気量を増加させる』『投入量を抑制する』等、様々な対応策(運転操作)が考えられるが、その時々によってそれぞれの操作の優劣があり、さらにPID制御系では目標『値』の設定が必要となってくる。ファジィ制御では、運転状態については、前件部における“ヒット率”によって制御の優先順位が決定される。また、前件部の条件範囲指定は任意に設定できるため、監視対象を目標『範囲』内に収めて調和させるような、自由度の高い制御が可能になる。

③PID制御系では不可能な多変数制御が可能になる

焼却処理対象物と燃焼空気量の比率を保つことは燃焼における重要な課題だが、PID制御系の場合、処理量の制御設定値と燃焼空気量の設定値は各々単独に設定することはできても、両者を統合することは不可能である。ファジィ制御では、推論ルールの設定においては運転操作に必要な項目を順次追加入力していだけなので、特に意識することなく多入出力変数制御系の構築が実現でき、制御設定値の調和が図られる。

3. 運用状態の評価

3.1. FBCの導入効果

FBCモードによる運転においては、設備の主要な監視項目は継続的に監視対象下に置かれているため、維持管理要員の労力や精神的負荷は大幅に軽減される。さらに、自動運転状態下では、絶えず制御設定値の微調整が行われており最適な運転状態が維持されるため、例えば燃料量の削減による省エネや、環境負荷軽減が実現される。なお、焼却設備においては運転習熟の一環として運転員による運転を行っているが、FBCモードでの設備運転中に、FBCの不具合による自動運転の中断はなかった。

また、ファジィ制御の特長より、新たな問題や要求事項が発生した場合等にも、制御ルールの修正や、新たに制御ルールを追加することで問題の解消を図ることも可能となる。

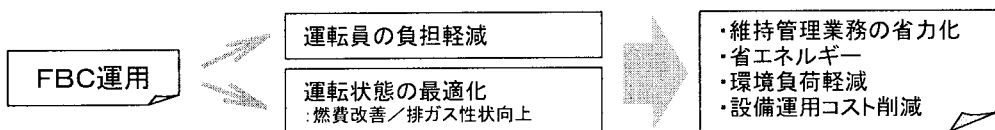


Fig. 5 自動制御装置の有効性と導入効果

3.2.省エネルギー性

FBC による自動運転モードでは、CRT モードによる運転と比較して補助燃料消費量が抑制され、約 10%の燃費改善が図られていることが確認できた。

これより、補助燃料費の低減によるコスト削減とともに、大気に排出する汚染物質の総量抑制による環境負荷軽減が実現できる。

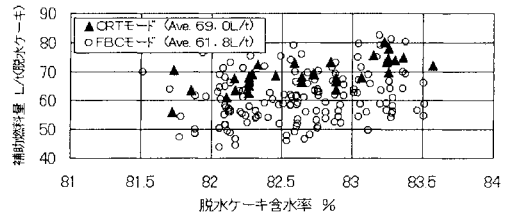


Fig. 6 燃料使用量比較

3.3.運転事例

維持管理計画に基づき、FBCモードにおいて目標処理量を 30t/日→50t/日に変更した事例を示す。

設定変更直後から脱水ケーキ投入量を増加させ、それに追従するように流動空気量も増加させている(①)。補助燃料量に関しては、砂層温度は設定範囲より高く、フリーボード温度は上昇傾向にあることから、上部の補助燃料装置だけ流量を減らしている(②)。やがて、砂層温度の低下が確認されたため、補助燃料装置の流量を下部/上部ともに増加させ、それに応じて流動空気量も増やしている(③)。また、その際に脱水ケーキ投入量の増加率を若干抑制している(③')。やがて、投入量設定値変更後、約1時間で投入量修正を完了させ、その後は安定状態に推移している。

脱水ケーキ投入量の変更という、設備に対する外乱としては最も大きなものを与えているものの、状態推移は短時間の内に極めてスムーズに行われており、それに応じて補助燃料装置や流動空気量の制御設定値も適切に調整されていることが確認できる。

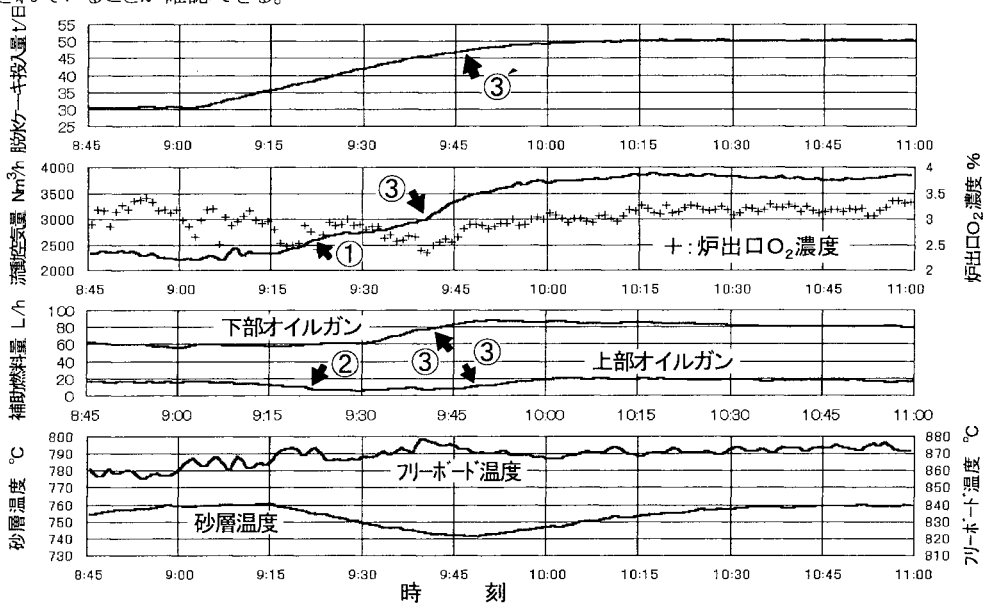


Fig. 7 FBCによる設備の運転制御事例

4. 今後の展望

FBCの運用を始めてから半年以上の間、焼却設備の運転は順調に行われてきた。当初は、短周期で制御設定値の微調整が行えることを自動制御のメリットと考えていたが、熱容量が大きく応答性が鈍いという流動床炉の特徴に配慮して、特定の因子に対して演算間隔の延長や制御出力値の抑制をした方が良いことが確認された。また、チューニングに際しては担当者の勘に依存する部分が大きく、客観的な評価指標の構築が課題と言える。今後は、さらなる制御性の向上とともに、設備データの活用による知能化を推進していきたいと考える。

最後に、FBC導入に際しての御協力、及び実用に至るまでに有益なご助言を戴いたいわき市殿と中部浄化センター関係者各位に感謝致します。