

流動床焼却炉におけるNO_x低減化とファジィ制御

清水洽*、田崎光雄*、野島智之*

野々上智規**、横田修**

㈱クボタ 上下水プラント事業部 汚泥焼却熔融技術部*
環境研究部**
大阪市浪速区敷津東1-2-47

概要

近年、環境問題への関心の高まりにより、下水汚泥焼却炉の排ガス性状の改善は重要であり、特に環境に悪影響を与える窒素酸化物(NO_x)の低減化は必要不可欠である。

現在、汚泥焼却炉はプロセスの安定性等の点で優れている流動床炉が主流機種となっている。今回炉の燃焼制御に、人間の経験や判断を容易に反映できるファジィ理論を用いたFBC(Fluidized Bed Combustion Control)を開発、導入した。これにより、炉の自動運転を実現し、NO_xの低減化や、炉の安定燃焼等に有効な結果が得られた。

キーワード

NO_x、2段燃焼、ファジィ制御、砂層燃焼率

1. はじめに

近年、環境問題に対する世界的な関心が高まる中、下水汚泥の焼却設備から排出される燃焼ガスの性状改善が急務となってきた。排ガス成分の中でも、一旦生成すると処理が困難な窒素酸化物(NO_x)については、大都市周辺で今後さらに、規制値が厳しくなっていくことが予想される。

今回、炉の燃焼制御装置として流動床炉燃焼制御(FBC=Fluidized Bed Combustion Control)を開発した。FBCは、人間の経験や判断を容易に制御に取り込むことができ、焼却プラントのような非線形モデルに、多入出力のコントローラが構築可能なファジィ理論を用いている。

FBCの導入により、NO_xの低減化や、炉の燃焼制御に有効な結果が得られたので以下に報告する。

2. 実験装置

図1に実験プラントのフローシートを示す。炉は砂層部分がテーパ形状の流動床炉であり、処理能力は5t/日である。

3. 予備実験

FBCによる燃焼制御を行う前に、NO_xを低減する制御パラメータを把握するための予備実験を実施した。実験は2段燃焼法によるNO_xの変化と、砂層温度によるNO_xの変化を測定した。実験には、一般的にNO_x発生量が100ppm以上になると言われている、石灰系汚泥を用いた。

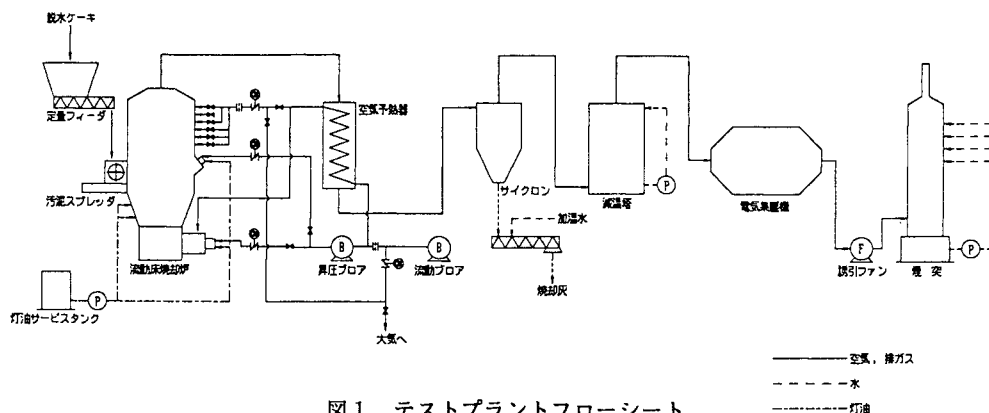


図1 テストプラントフローシート

3-1 2段燃焼法

2段燃焼法は、第1段階として砂層の燃焼領域を低空気比にすることにより、汚泥中の有機物を分解し還元性ガスを発生させ、NOxの発生を抑制した後、第2段階として気相反応によって燃焼を完結させるものである。この手法はすでに平岡ら⁽¹⁾がNOx生成抑制技術として成果を発表している、還元2段燃焼法を用いたものである。

実験では燃焼空気量を一定とし、流動空気量と、フリーボード部から流入させる2次空気量の比を変化させた。図2に実験結果を示す。図中の排ガス濃度はO₂12%換算値である。図2に示すとおり、2次空気の割合が増えるに従い、NOxが低減されることがわかった。

3-2 砂層温度制御法

この方法は、砂層温度だけを変化させ、その他の操炉条件は一定とするものである。

図3に結果を示す。図中の排ガス濃度はO₂12%換算値である。図3に示すとおり、砂層温度を上げていくに従いNOxは低減している。この結果より、砂層温度がNOxの制御パラメータであることがわかる。

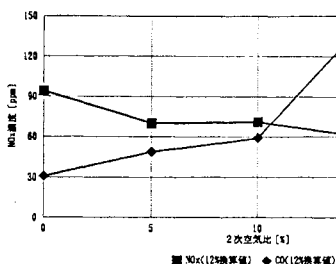


図2 2次空気 VS NOx
(2段燃焼法)

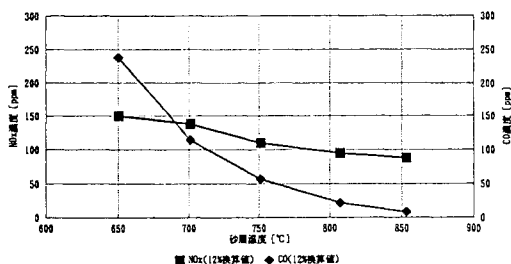


図3 砂層温度 VS NOx
(砂層温度制御)

4. FBC実験

予備実験で得られた2段燃焼や、砂層温度のNOx制御パラメータを用いて炉の燃焼制御を行う場合に、図4に示すような問題が生ずる可能性がある。これは、流動床炉の様々な制御パラメータが、それぞれプラス効果とマイナス効果を持ち、なおかつ制御パラメータ間でも互いに影響しあっていることを示してい

る。

図2を見ると、NOxを低減するために2次空気を増やした結果、COが増加し、2次空気がNOxにとってはプラス効果、COについてはマイナス効果となることを示している。

また、実プラントでの制御パラメータは多数あり、各制御パラメータの関係が複雑で、ローカルのコントローラだけでの低NOx化や炉内の温度制御を同時に実現するのは、非常に困難であると予想される。

これらのことを踏まえ、今回、炉の制御にファジィ制御⁽²⁾を導入した。ファジィ制御の導入理由としては、

- ①従来オペレータの勘と経験に頼っていた運転設定値を、ファジィ推論により導くことが可能で、オペレータの負担を軽減させることができる
- ②制御対象が多く、多入力、多出力に適している
- ③汚泥性状（発熱量、含水率）変化等の外乱、変動に強い

等が挙げられる。

ファジィ制御を行うためには、ファジィルールとメンバーシップ関数が必要となる。表1に実験で用いたファジィルールの一例を示す。

表中のB、M、Sは炉運転PV値の状態を示し、それぞれ、大きい（Big）、ふつう（Medium）、小さい（Small）と定義されている。

また、表中の矢印は、各設定値の操作方向（増やす、そのまま、減らす）を示す。

図5に実験で用いたメンバーシップ関数の一例を示す。ファジィ推論にはMIN・MAX・加重平均法⁽³⁾を用い、制御出力を導出した。

また図6に、実験プラントでの制御システムを示す。制御はNOx量、燃焼空気量、2次空気量、砂層温度等の各種運転プロセスデータをファジィ制御部へ入力し、出力として燃焼空気量設定値、2次空気量設定値、砂層温度設定値、等をローカルPIDコントローラに発信する。

次にファジィ制御実験の結果を示す。実験に用いた汚泥は、石灰系汚泥である。

この実験は、燃焼空気過剰の状態から制御をかけたもので、図7に炉の排ガス性状、図8に炉内に送られている燃焼用の空気と酸素濃度、図9に炉内温度のデータをそれぞれ示す。

まず、制御前には図7より燃焼用の空気が過

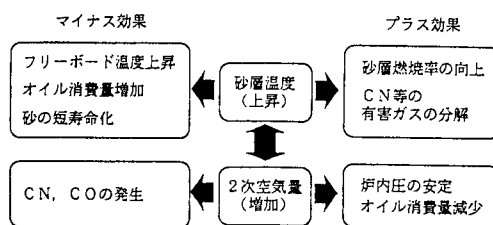


図4 NOx制御パラメータ

表1 ファジィルール

		ルール				
		1	2	3	4	5
前 件 部	流動空気温度					
	砂層温度	S	M	M	M	M
	フリーボード温度					
	燃焼空気量	M	M	B	B	S
	2次空気量	M	M	M	B	S
	NOx濃度	B	B	B	B	B
後 件 部	流動空気温度					
	砂層温度	↗	→	→	↘	→
	フリーボード温度					
	流動空気量	→	→	↘	↘	↗
	2次空気量	↗	↗	→	→	↗
	フリーボード冷却空気量					

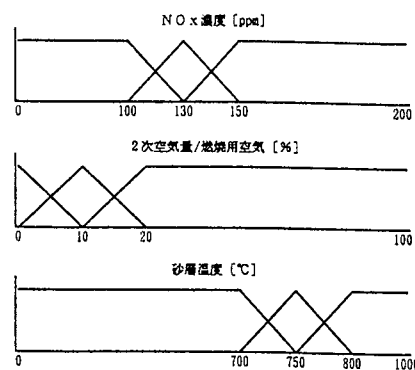


図5 メンバーシップ関数（前件部）

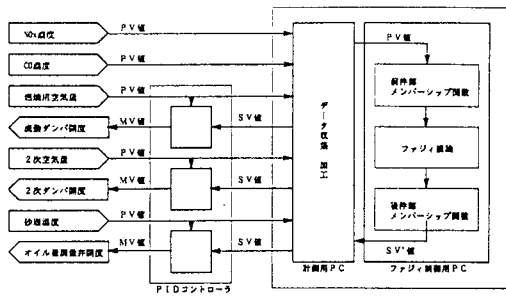


図6 制御システム

なため、NOxが150ppm（12%換算値）以上の高濃度で発生していた。制御後は、図8より燃焼空気を絞り、2次空気を増加させることにより、NOx濃度を100ppm以下に低減することができている。

また、図9よりNOx制御パラメータである砂層温度は、制御前よりすでに780℃であったために、NOx低減のためのファジィルールにヒットしておらず、砂層温度を変更するような制御出力は出ていないことがわかる。

以上の結果より、FBCにより、炉の複数の運転データから運転状況を総合的に判断し、複数のPIDコントローラに制御出力を与えることにより、流動床炉の運転制御が実現できた。

4. まとめ

本実験結果より、以下のような成果が得られた。

1. NOx低減法として、2段燃焼法と砂層温度制御法の有効性が確認できた。
2. 上記2つのNOx制御パラメータを、ファジィ制御を用いたFBCに取り込むことで、低NOx運転を実現することができた。
3. プラントの運転において、多入力、多出力の制御が実現できた。

今後は、ファジィルール、メンバーシップ関数のチューニングを進め、流動床炉のみならずプラント全体の制御システムの構築を図っていく予定である。

—参考文献—

- (1)「汚泥焼却に伴う窒素酸化物対策」、平岡正勝、武田信生、公害と対策 '78、Vol 14
- (2)「ファジィ制御」、菅野道夫、日刊工業新聞社
- (3)「最近のファジィ制御法」、水本雅晴、日本機械学会関西支部第182回講習会「ファジィ理論を取り入れた計測・制御技術とその応用」

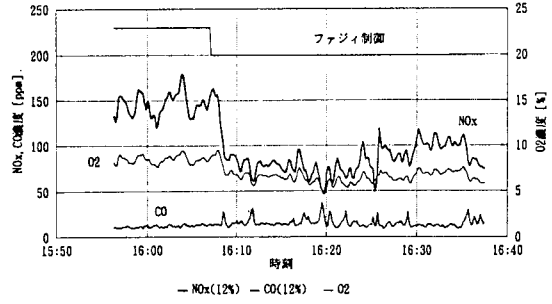


図7 制御実験結果（排ガス性状）

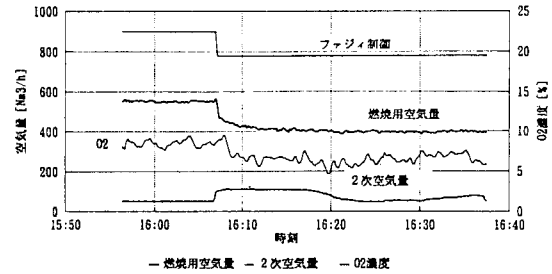


図8 制御実験結果（空気量）

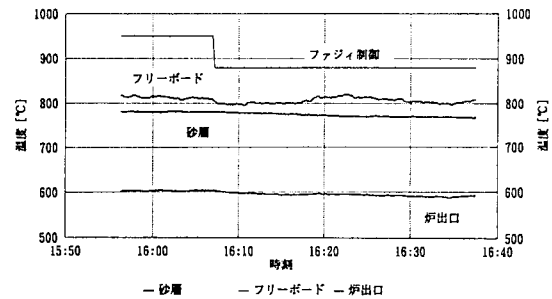


図9 制御実験結果（炉内温度）