

表面溶融炉燃焼制御システムの開発

清水治、田崎光雄、野々上智規、
林伊久、黒田誠

(株)クボタ 汚泥焼却溶融技術部
大阪市浪速区敷津東1-2-47

概要

近年、下水汚泥の減容化処理方法の一つとして、溶融技術が注目されている。当社では下水汚泥溶融炉として表面溶融炉を納入してきたが、溶融炉は流動床炉に比べ制御因子が多く、相互干渉するためその定常時制御は比較的難しい。そこで当社では、オペレータの負荷軽減と適切なサポートを行うことを目的として溶融炉制御装置(MFC…Melting Furnace Control)を開発してきた。

これまでMFCは、オペレータの経験や理論をパターン化し、そのパターン認識による制御法を用いてきた。今回、MFC定常制御にファジィ理論を導入し、制御性の向上を図ったのでその結果について報告する。

キーワード

表面溶融炉、自動制御、ファジィ理論

1. はじめに

当社は、下水汚泥溶融炉を現在までに6基納入している。今回、昨年11月に竣工した大阪南エースセンター3号炉(35tds/日)において、MFC定常制御にファジィ理論を組み込み、燃焼制御試験を行った。

2. 表面溶融炉

表面溶融炉の構造図を図1に示す。表面溶融炉は、主燃焼室、二次燃焼室、煙道から構成される。主燃焼室、二次燃焼室には、補助燃焼装置としてそれぞれにバーナを設置している。主燃焼室の燃焼用空気は燃焼空気加熱炉で約300~400℃に加熱し、3ヶ所(バーナ部、風箱部、コーナ部)から炉内に供給する。二次燃焼室の燃焼用空気は常温で供給する。炉内温度は主燃焼室、二次燃焼室に挿入した熱電対によって計測する。

汚泥(乾燥ケーキ)はコンベヤによって内筒部と外筒部の間に投入し、外筒部の回転によって炉内へ供給する。汚泥は主燃焼室でバーナの熱と汚泥自身の燃焼による熱により、燃焼・溶融し、スラグとなりスラグポートに流下する。スラグはスラグコンベヤで計量ホッパーまで運び、重量を計測し、系外に搬出する。

3. MFCの概要

(1) 制御目的

MFCの制御目的は次の3つである。

- ① 炉の安定操業
- ② 省エネルギー
- ③ 最適燃焼

(2) MFCの構成

MFCはメインCPU、カラーCRT、タッチパネル、プリンタ等からなる。通常オペレータはCRTに表示される情報を見ながら、タッチパネルによってパラメータの入力、画面の切替、プリントアウト等の操作を行う。データの入出力はLANを介して行う。

MFCは出力に関係するバルブ、ダンパを直接制御するのではなく、図2に示すように、MFCはPID制御を行っているDDCの上位に位置し、演算結果をSV値としてDDCに出力する。

DDCはそれを受け、各バルブ、ダンパの制御を行う。

(3) MFC定常制御

溶融炉の燃焼状態は非線形性が強く、また外乱が多いため、同定法を用いて数式によるモデル化を行うことが難しい。また、多出力、多入力による制御が要求されるため、モデル化をさらに困難なものにしている。

くわえて、燃焼過程が長いため、瞬時値による連続制御は燃焼状態を把握できないまま制御を行い、発散してしまう可能性もある。

そこで、MFCでは溶融炉の設計者、またはオペレータの燃焼理論や経験をパターン化し、長いスパンで制御を行えるようパターン認識による制御法を用いてきた。

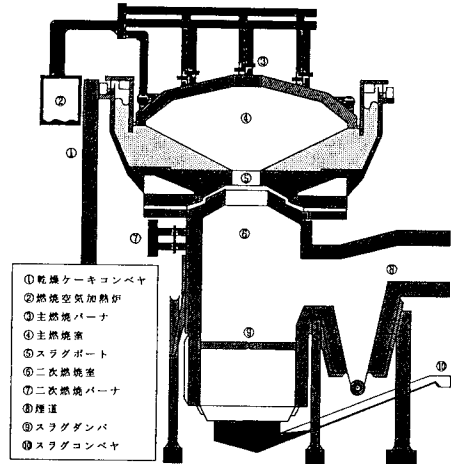


図1. 表面溶融炉の構成図

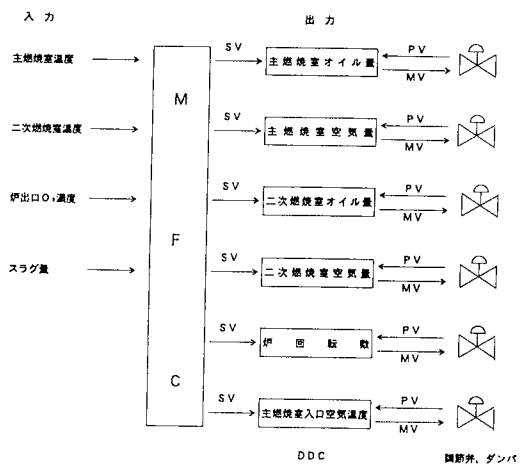


図2. MFC制御構成図

(4) ファジ理論の導入

これまでの制御方法では操作因子(オイル量、空気量、炉回転数)を固定値で上下させるため、オーバーシュート、アンダーシュートが大きくなる。また、制御因子の変化を固定値で捕らえるため、制御遅れが生じる。

そこで、MFC定常制御にファジ理論を加えることにより、制御因子の変化に応じた操作因子の操作を行うことが可能となった。

図3-1にファジルール、図3-2にメンバーシップ関数の一例を示す。

MFCルール一覧表

		Case1					Case3					Case21	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
主燃室温度	30分前比較	NB	NM	ZO	NB	NM	ZO	ZO	ZO	ZO			
	10分前比較												
	目標値比較							ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
二次燃室温度	30分前比較	PB	PB	PB	PM	PM	PM						
	10分前比較												
	目標値比較										NB	NM	ZO
燃焼空気量	30分前比較	NM	NM	NM	NM	NM	NM						
	10分前比較												
	目標値比較	NM	NM	NM	NM	NM	NM						
	スラッグ量							PB	NM	ZO			
出力	主オイル流量	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
	空気流量	PB	PM	ZO	PB	PM	ZO	PB	PM	ZO	PB	PM	ZO
	二次オイル流量	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
	二次空気流量	PM	PM	PM	ZO	ZO	ZO	PM	PM	PM	ZO	ZO	ZO
炉回転	(NB)	(NM)	ZO	(NB)	(NM)	ZO	(PB)	(PM)	ZO	ZO	ZO	ZO	

()内は条件付き出力

図3-1. MFCファジルールの例

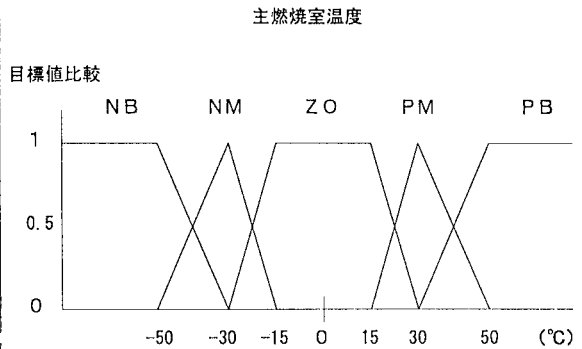


図3-2. MFCメンバーシップ関数の例

4. MFC定常制御試験

(1) 炉内温度制御

目標温度を主燃焼室1400℃、二次燃焼室1000℃と設定し、MFCによって炉内温度制御試験を行った。

制御開始前の主燃焼室温度約1400℃、二次燃焼室温度約1100℃、主燃焼バーナ、二次燃焼バーナは消火状態であった。

制御開始後、主に「主燃焼バーナ、二次燃焼バーナ共に消火、かつ二次燃焼室温度が高い、ならば主燃焼室空気

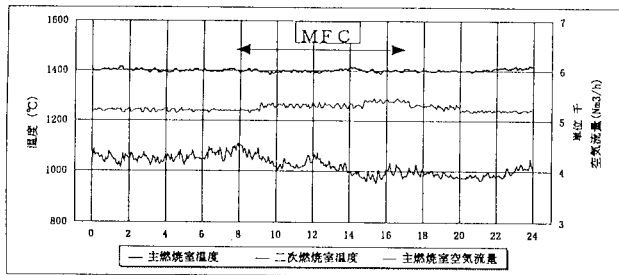


図4. 炉内温度制御結果

量を増加させる」というルールにヒットしている(図3-1、Case13参照)。これによって、MFCは徐々に主燃焼室空気量を増加させている。その結果、主燃焼室で燃焼ガスが完全燃焼しやすい状態を作り、二次燃焼室の温度を下げる事ができた。

図4に試験時のトレンドグラフを示す。

(2) 汚泥処理量の制御

表面熔融炉は炉回転のみで汚泥の供給量を制御できず、炉内の燃焼量により自然に変化するため汚泥処理量の制御は困難である。

そこで、MFCでは時間当たりのスラグ排出量を汚泥の処理量とみなし、それが定格処理量以上となるように制御を行う。大阪南エース3号炉の定格処理量は35tds/日である。VTSは約80%であるので、1日で約7tのスラグを排出しなければならない。

図5は制御試験時のトレンドグラフである。制御開始前の処理量は定格をやや下回っていた。制御開始後、主に「主燃焼バーナ消火、かつスラグ処理量少ない、ならば主燃焼室空気量、炉回転数を増加させる」というルールにヒットしている(図3-1、Case21参照)。これによってMFCは主燃焼室空気量、炉回転数を徐々に増加させている。その結果、スラグの排出量は制御開始前より、平均約45%増加した。

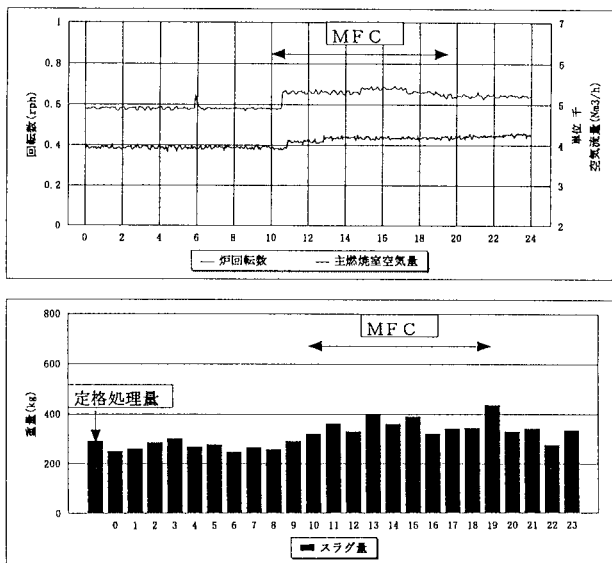


図5. 汚泥処理量制御結果

5. まとめ

今回の制御試験によって以下の結果を得ることができた。

- (1) 炉内の温度制御において、目標温度になるように各操作量を操作し、制御を行うことができた。
- (2) スラグ排出量を制御に取り込み、処理量が定格以上になるように制御を行い、定格処理量の約120%の汚泥を処理することができた。

以上の結果によってMFCの制御目標である、炉の安定操業、最適燃焼を実現することができた。今後は目標値を設定したフィードバック制御だけでなく、汚泥の含水率、VTSを取り込みフィードフォワード制御を行うことによって、さらに制御の安定性を図る。