

燃焼状態遷移に基づく溶融炉ファジィ制御

清水裕*、田崎光雄*、黒田誠*、長濱和男**、安東寛通**

* (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

** (株)クボタ 電子技術センター
大阪府八尾市神武町 2-35

概要

下水汚泥やゴミの減容・無害化と生成物であるスラグの有効利用を目的として、当社では表面溶融炉を納入している。その中でも下水汚泥表面溶融炉は下水汚泥を直接溶融するため汚泥中の有機物が燃焼し、燃焼状態が複雑、かつ遷移する。このため、オペレータは常時監視し目的とする燃焼状態を維持する必要がある。また、プラント安定操業のために前処理である乾燥工程と表面溶融炉の処理能力をバランスさせる事も重要である。

本発表では、従来のファジィ制御を高度化するために状態監視機構を採用し、燃焼状態の遷移を常に監視することにより適切な制御を行い、さらに能力バランス機構を加えて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

ファジィ燃焼制御、燃焼状態遷移、能力バランス

1 はじめに

当社では、下水汚泥やゴミを効率良く減容・無害化し、また生成物であるスラグが有効利用できることで注目されている溶融処理を実現する表面溶融炉を納入している。この中でも下水汚泥表面溶融炉は炉内の燃焼状態が流動床焼却炉に比べると複雑であり、かつ常時状態遷移するため、自動制御の構築が困難であった。当社では既にファジィ制御を導入し自動運転を行った実績があるが、長期間の自動運転において燃焼状態の変化に対応しきれない面もあった。そこで、今回は状態監視機構により燃焼状態の遷移に対応して、適切なファジィ制御を選択する制御システムを考案した。それを実プラントに適用して良好な結果を得たので報告する。

2 表面溶融炉の構造

下水汚泥表面溶融炉の構造を図1に示す。被処理物である乾燥汚泥は主燃焼室上部の供給塔(図中①)より投入され、主燃焼室外塔部(図中②)が回転することにより供給機構として働き主燃焼室内部(図中③)に順次供給される。供給された汚泥は主燃焼室天井部(図中④)から供給される主燃焼空気と主燃焼室内の輻射熱により汚泥中の有機分がガス化・燃焼し、無機分が溶融・スラグ化する。燃焼段階で発生した未燃ガスは二次燃焼空気(図中⑦)により二次燃焼室(図中⑥)で完全燃焼し、煙道(図中⑧)より廃熱

ボイラへ送られる。主燃焼室内は汚泥がすり鉢状 (図中⑩) に蓄積されており、燃焼・熔融反応は主にこの汚泥表面に形成される熔融面において進行する。生成した熔融スラグはスラグポート (図中⑤) を通り二次燃焼室を経てスラグコンベア (図中⑨) に達し系外へ排出される。

表面熔融炉の耐火物は、主燃焼室では大部分が汚泥で覆われているのに対し、二次燃焼室の耐火物は直接高温にさらされる為、二次燃焼室の温度管理が重要になる。

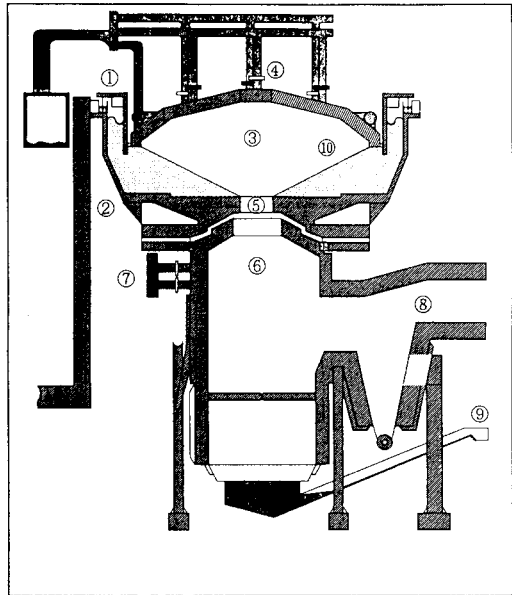


図1

3 表面熔融炉の燃焼制御

下水汚泥表面熔融炉の制御の目的を以下に示す。

- (1) 炉内温度、特に二次燃焼室温度を適正範囲に維持し、高温による耐火物劣化を防ぐ。
- (2) 主燃焼室温度を適正範囲に維持し、処理量を確保する
- (3) 前段階の乾燥工程の処理能力に合わせた処理量を設定する

これらの制御目的を実現するには炉内の温度管理が重要になる。しかし、乾燥汚泥の性状 (含水率、強熱減量等)、熔融面の形成状態の影響が外乱となり燃焼状態が安定せず、常時燃焼状態が遷移する為、その時点での燃焼状態の判断、適切な対処法の判断が困難になる。熟練オペレータは、これらの燃焼状態を経験と照らし合わせ判断し、経験に基づいた対応操作を行っている。

自動制御においても同様で、オペレータの経験則を生かせるファジィ制御の導入が有効であるが、さらに燃焼状態の変化に対応するために現在の燃焼状態を把握する機構の構築が必要である。

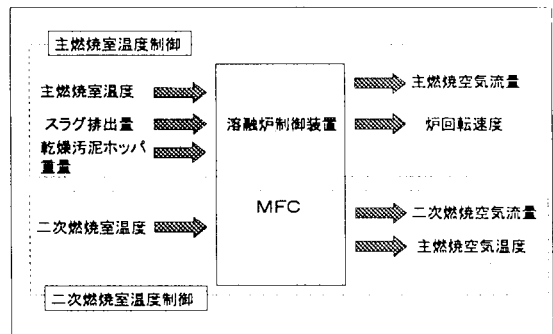


図2

4 熔融炉制御の概要

表面熔融炉の燃焼制御を熔融炉制御 (MFC : Melting Furnace Control) と呼ぶ。図2にMFCの観測因子、操作因子を示す。主燃焼室は主燃焼室温度とスラグ排出量を観測因子とし、主燃焼空気流量と炉回転速度を操作因子とする。二次燃焼室は二次燃焼室温度を観測因子とし、二次燃焼空気流量と主

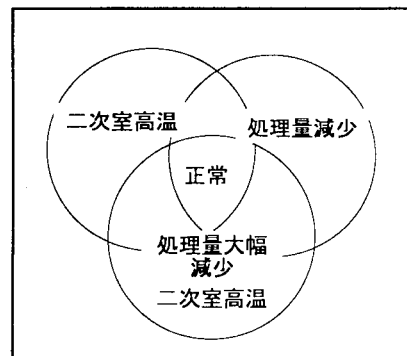


図3

燃焼空気温度を操作因子とする。観測因子が限定されるのに対し、表面熔融炉は図3に示すような複数の燃焼状態を持ち、常にこれらの状態間を遷移している為、制御する上で状態の把握が難しい。しかし、各々の燃焼状態においては比較的単純な操作で対処が可能である。そこで、今回開発したMFCでは図4に示すような燃焼状態に単純化し、それらを監視する状態監視機構を設け、その下に個々の燃焼状態に対応したファジィ制御を持つ燃焼状態監視機構を構築した。

また、自動運転を継続する上で前処理段階である乾燥工程の処理能力に合わせた能力設定が重要になる。そこで、乾燥汚泥ホップ重量を観測因子とし、ホップ重量が下限を下回った場合は熔融炉の処理能力を減らし、ホップ重量が上限を上回った場合は処理能力を増やす能力バランス機構を組み込んだ。

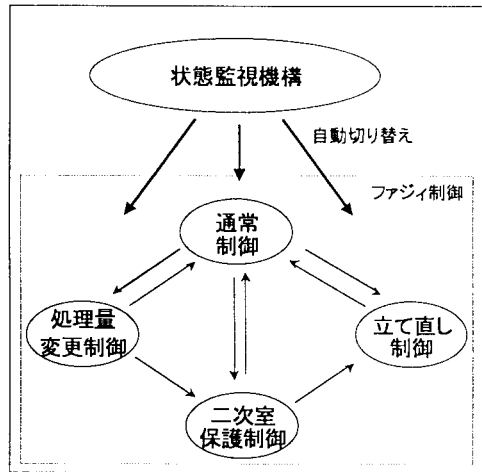


図4

以下に各制御モードの概要について示す。

①通常制御

主燃焼室、二次燃焼室の温度を適正な範囲に維持する制御。主燃焼室は主燃焼空気流量、炉回転速度で炉内の燃焼量を制御し、二次燃焼室は二次燃焼空気流量、主燃焼空気温度で炉内の冷却量を制御する。

②二次室保護制御

主燃焼室の燃焼状態が悪化し、未燃ガスが二次燃焼室で多量に燃え、二次室温度制御で同温度を抑えられなくなったときに選択される制御。主燃焼室の制御因子である主燃焼空気流量と炉回転速度を操作し、主燃焼室内の燃焼を抑えることで二次燃焼室温度を強制的に抑制する。

③処理量変更制御

処理量UP制御と処理量DOWN制御で構成される。処理量UP制御はスラグ排出量が目標より少ないとき、また、前工程の乾燥汚泥ホップ重量が上限を越えたときに選択され、主燃焼空気流量、炉回転速度を増加させ炉内の燃焼状態を活性化させる。

処理量DOWN制御は前工程の乾燥汚泥ホップ重量が低いときに選択され、主燃焼空気流量、炉回転速度を減少することで処理能力を低下させる。

④立て直し制御

二次燃焼室温度が高く、二次室保護制御でも抑えることが出来ない場合に選択される制御。主燃焼空気流量、炉回転速度を大幅に減少し主燃焼室温度を一度低下させた後、徐々に同温度の回復を行うことで熔融面の再形成を図る。

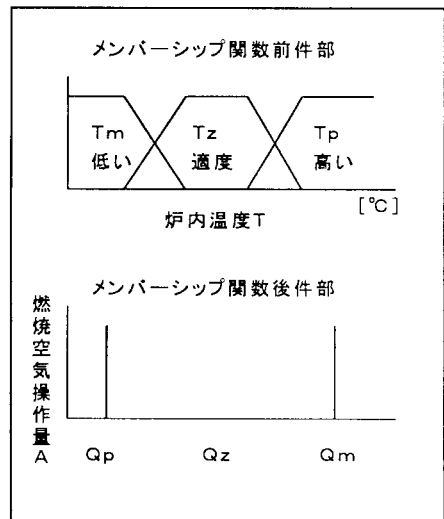


図5

次に、各制御を実現しているファジィ制御について示す。前件部では観測因子である主燃焼室、二次燃焼室温度、スラグ排出量を各台形領域の適合度により評価し、その結果に基づき後件部において操作因子であ

る空気流量、炉回転速度等の出力値を決定する。今回の制御では図5の場合のように、前件部において炉内温度をオペレータの経験に基づき、 T_m (低い)、 T_z (適度)、 T_p (高い) の3領域に分けた。現在の炉内温度がこれらのどの領域にどの程度適合しているかで後件部の燃焼空気流量の操作量を決定している。炉回転速度、二次燃焼空気流量等も同様である。

5 制御結果

本制御システムを用いた実プラントにおける制御結果を以下に示す。

5.1 通常制御結果

図6に二次燃焼室温度制御結果を示す。

二次燃焼空気流量は二次燃焼室を冷却する効果が大きく、同温度が高い場合は二次燃焼空気流量を増加することで温度を下げる事が出来る。図6のグラフでは二次燃焼室温度の変化に対し10分間隔で二次燃焼空気流量を操作し、目標範囲の $1000 \sim 1050^\circ\text{C}$ の範囲に収めることができた状態を示している。また、二次燃焼室温度が高い状態が続く場合は主燃焼空気温度を下げることで対応する。主燃焼空気温度は主燃焼室での熔融状態に影響を与えるので、二次燃焼空気流量を優先して操作し、主燃焼空気温度はなるべく高い状態が続くように配慮している。

5.2 二次室保護制御

図7に二次室保護制御結果を示す。二次燃焼室の操作因子である二次燃焼空気量と主燃焼室空気温度の操作が限界に達した場合、主燃焼室の操作因子である主燃焼空気流量と炉回転速度を減少し、主燃焼室内の燃焼を抑える事で二次燃焼室の温度低下を図る。図7のグラフでは二次燃焼室温度の適正範囲である $1000 \sim 1050^\circ\text{C}$ を越える状態が二時間継続したために通常制御から二次室保護制御へ移行し、18時から主燃焼空気流量と炉回転速度を減少している。この操作により二次燃焼室温度が適正範囲におさま

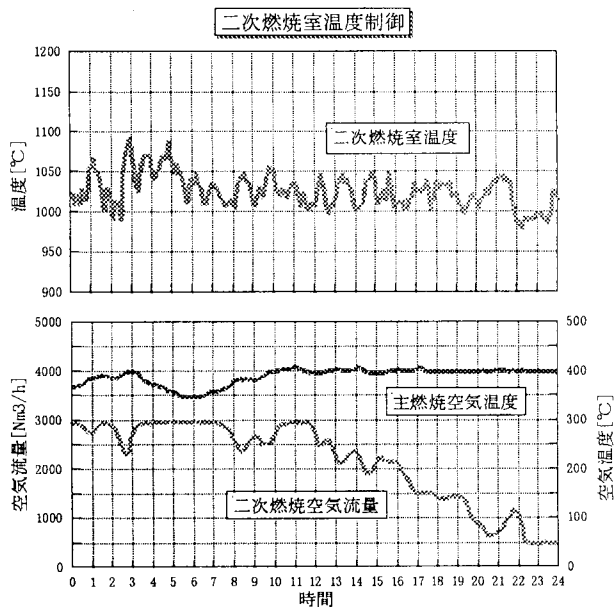


図6

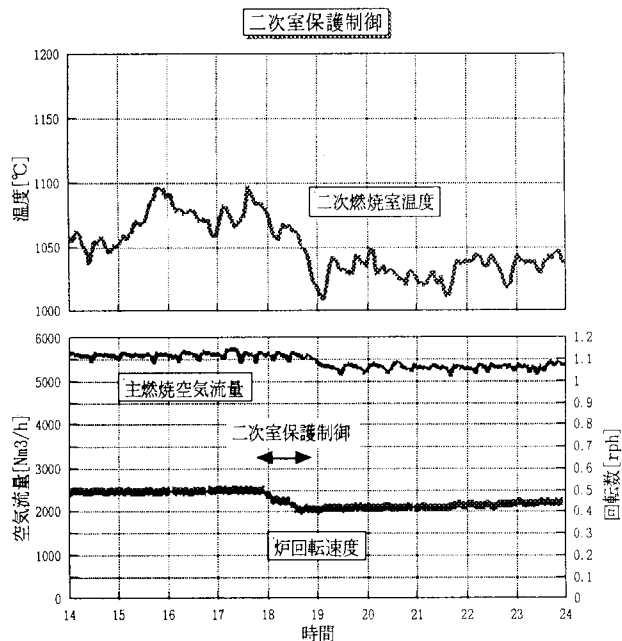


図7

ることに成功している。

5. 3 処理量UP制御

図8に処理量UP制御結果を示す。処理量(スラグ排出量)が目標値より低い状態が続いた場合、主燃焼空気流量と炉回転速度を増加し、燃焼状態を活性化する制御である。図8のグラフではスラグ排出量が低下したので通常制御から処理量UP制御へ移行し、主燃焼空気流量と炉回転速度を増加してスラグ排出量を約2割増加する事に成功している。

5. 4 処理量DOWN制御

図9に処理量DOWN制御結果を示す。乾燥汚泥ホップ重量が下限値を下回った場合、熔融炉の処理能力を減らさずに処理を続けると汚泥が不足し、熔融炉を待機状態にしなければならなくなる。

このような非定常状態は熔融炉を安定に操業する上で問題であり、自動制御で考慮する必要がある。図9のグラフでは乾燥汚泥ホップ重量が下限の1.2tを下回って2時間経過した時点で通常制御から処理量DOWN制御へ移行し、主燃焼空気流量と炉回転速度を減少することでホップ重量の回復に成功している。

6 まとめ

今回の制御方式を実プラントに適用して得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 状態監視機構が炉内の燃焼状態に対応し適切な制御モードを選択できた。
- (2) 炉内の温度を適正な範囲に制御できた。
- (3) 乾燥汚泥ホップ重量を取り込むことにより、前処理である乾燥工程の処理能力を考慮した制御を実現でき、これにより、より長期間にわたり安定した自動制御が可能となった。

今後は、実プラントでの実稼働運転を継続し、得られた運転データを基にさらにファジールールのチューニングを行い、より長期間にわたり安定した燃焼制御の実現を目指したい。

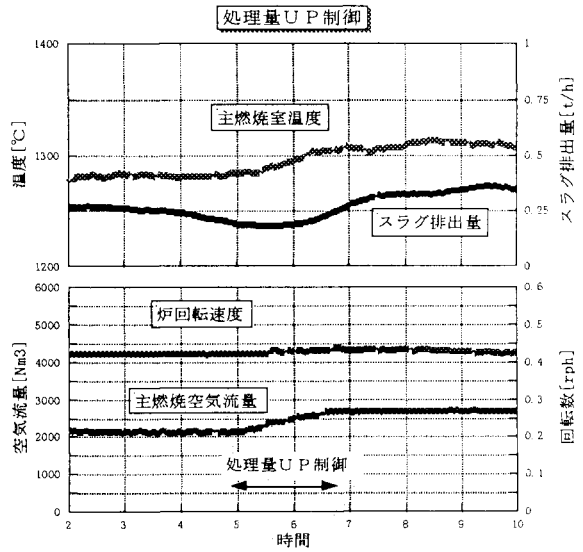


図8

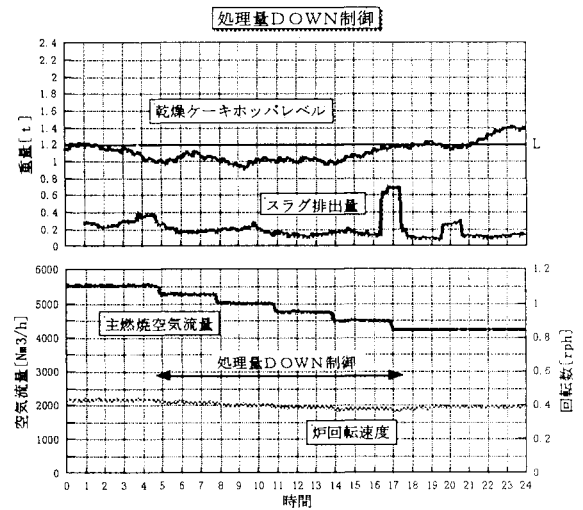


図9