

日本下水道事業団 早瀬 宏、福田 寛允
(株) 日水コン ○長浜泰弘、安田 要

1. はじめに

下水汚泥最終処分場の確保困難から、下水汚泥溶融システム¹⁾（以下溶融システムという）が汚泥の減容化、安定化を図る処理方法の一つとして注目されている。しかし、溶融システムは、最新の技術であり、下水処理場での運転日も浅いことにより、現状では運転制御に関する技術的な蓄積による系統的な解析や情報が十分であるとは言い難い。

本研究では、溶融システムの運転制御の目的、運転指標と操作項目、システムに影響を与える変動要因を整理し、代表的な溶融システムについて、物質・熱収支モデル²⁾を用いてシミュレーション解析³⁾を行い、省エネルギー等の諸特性を得た。

2. 運転制御の目的

溶融システムの運転制御を行う目的は、主として処理条件の維持（処理コストの低減）、装置・システムの保護、および外部環境・作業環境の保護の3点である。

溶融システムを含む汚泥処理において、最も重要なことは汚泥を滞りなく処理することである。処理条件を阻害するのは、溶融システムの外部、内部の諸変動である。外部変動としては、汚泥含水率、有機物含有率、塩基度等の汚泥性状、汚泥投入負荷量等がある。内部変動としては、装置・システムの特性によって生じるハンチングによる変動が挙げられる。

溶融炉の最大の特徴として操作温度が高温であり、耐火物の高温による劣化を抑制するため、融液によるセルフコーティング（主として旋回溶融システム）を積極的に行う必要がある。この場合、セルフコーティング層厚および溶融スラグの出滓口での粘性を所定の範囲に保つ必要がある。

3. 運転指標と操作項目

溶融システムの運転において、運転中に常時監視または測定により、運転が適正な状態で行われているかを判定する管理指標として「運転指標」がある。これが適正な状態に保たれるように、あるいは適正な状態から外れた場合には適正な状態に戻すための「操作項目」がある。この操作項目は一つの運転指標に対し、複数ある場合もあり、また、一つの操作項目に対し、異なる「操作方法」が採用されることもある。これらの一連の「運転指標」－「操作項目」－「操作方法」で示される制御を適切に行うことにより、溶融システムが適正に運転される。各溶融システムの運転指標と操作項目はアンケート調査に基づいて決定した。

4. システムに影響を与える変動要因

システムに影響を与える汚泥性状の変動要因としては、次が挙げられる。

(1) 汚泥含水率

溶融炉の型式によって、供給される汚泥含水率が汚泥粒径とともにある範囲に限定される。すなわち、投入乾燥汚泥含水率は旋回溶融炉で標準10%、コークスベッド溶融炉で40%、表面溶融炉で20%である。

(2) 有機物含有率

汚泥中の有機物含有率は汚泥発熱量に関係するとともに溶融スラグの生成量に関連するものである。

全国の下水处理場で発生する汚泥性状を実態調査し、脱水汚泥性状の「標準値」と「変動幅」を明らかにした。対象汚泥は、脱水助剤の添加率が小さく、灰分性状に与える影響の小さい高分子系凝集剤を用いた有機系汚泥とした。汚泥性状の標準値と変動幅を表1に示す。

5. シミュレーション解析

熔融システムを構成する蒸気間接乾燥機、溶融炉、熱交換器等における物質収支、熱収支を計算する際の計算式および基本数値や各種物性値、ならびに計算に用いた運転操作条件、熱効率等は最近の運転実績を考慮して決定した。また、溶融処理量は、50t-wet/日で、諸特性は標準状態（ $w=80\%$ 又は $v=70\%$ ）を100%とした。

5. 1 ケース設定

図1に汚泥含水率が変動した場合の操作例、図2に有機物含有率が変動した場合の操作例を示す。有機物

含有率が変動した場合のケース設定の基本的考え方は、前処理プロセスでは有機物含有率の変動を吸収できないので乾燥機では蒸発水分または投入汚泥量は操作せず一定運転とし、溶融プロセスでは、有機物含有率が上昇し自然域に達した場合に炉投入汚泥量を操作することにより変動を吸収するものとした。図3に巡回溶融システムのシミュレーション手順例を示す。

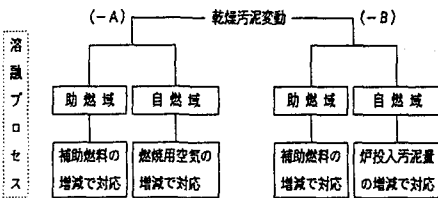
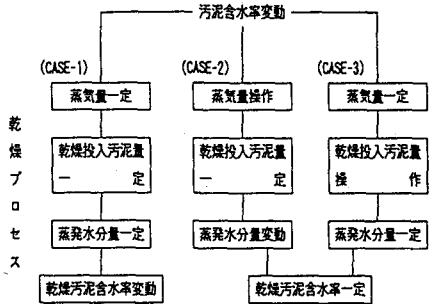


図1 汚泥含水率が変動した場合の操作例
(巡回および表面溶融システム)

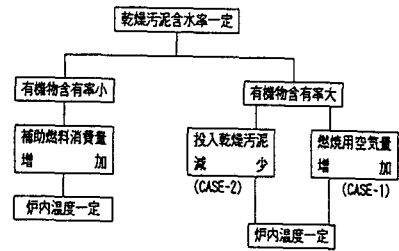


図2 有機物含有率が変動した場合の操作例
(巡回および表面溶融システム)

5. 2 シミュレーション解析結果と考察

シミュレーション解析結果からまとめた各溶融システム、各プロセスごとの特徴を表2に示す。

表2 各溶融システム、各プロセスごとの特徴

項目	溶 融 シ ス テ ム		
	旋 回	コークスベッド	表 面
乾燥プロセス	含水率を一定に保つ必要があるので運転管理上重要である。	含水率の変動に比較的強いシステムであるので運転管理は容易である。	含水率を一定に保つ必要があるので運転管理上重要である。
溶融プロセス	熔融炉主燃焼室では自然域が発生するので運転管理上複雑である。	コークス消費量の変動が小さく運転管理は容易であるが、温度保持のため低温排ガス吹き込み量の調整が必要である。	熔融炉主燃焼室では自然域が発生するので運転管理上複雑である。また、二次燃焼室では温度低下防止のために補助燃料が必要になる。
熱回収プロセス	廃熱ボイラーで乾燥に必要な熱量が不足し補助燃料が必要になる。	溶融炉での熱量が大きく、廃熱ボイラーで補助燃料は必要ない。	廃熱ボイラーで乾燥に必要な熱量が不足し、補助燃料が必要になる。
全体的な評価	運転管理は複雑になるが、省エネルギー面からは余熱の発生しない運転が可能である。	運転管理面からは汚泥性状の変動に対して容易に対応可能であるが余熱が発生し、省エネルギー面では不利となっている。	運転管理は複雑になるが、省エネルギー面からは余熱の発生しない運転が可能である。

図4に汚泥含水率変動時の各システム最適なケース（処理固形物当たり）を示す。図5に有機物含有率変動時の各システム最適なケース（処理固形物当たり）を示す。代表的な3方式の溶融システムについて、汚泥含水率、有機物含有率が変動した場合のシミュレーション解析結果から得られた知見は、次のとおりである。

- 1) 旋回溶融システムと表面溶融システムの諸特性は相似の傾向を示す。
- 2) 汚泥性状の変動に対して、3方式とも溶融プロセスの前処理である乾燥機が重要な役割を演じており、乾燥汚泥の含水率を一定または一定範囲に保つことが省エネルギーの観点から最も重要であることが明らかになった。
- 3) コークスベッド溶融システムが、最も汚泥性状の変動を受けにくく、強いシステムであることが判明した。次いで表面溶融システム、旋回溶融システムの順となった。
- 4) 汚泥含水率、有機物含有率が同時に変動する場合も、それぞれの組み合わせで対応することが可能である。

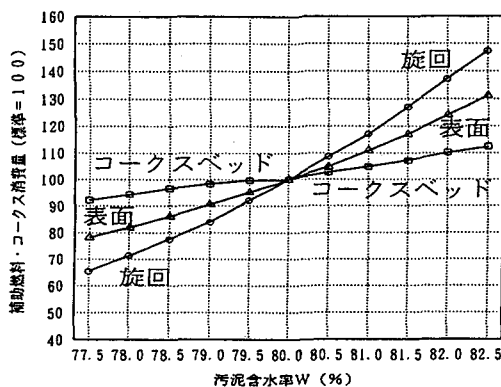


図4 汚泥含水率変動時の各システム最適なケース

6. おわりに

今後、気流乾燥機、灰溶融システム等についてもシミュレーション解析を行い、それらの評価を溶融システムの維持管理や実施設計等に反映させていきたい。

参考文献

- 1) 早瀬 宏 : 下水汚泥溶融技術の現状と動向について、下水道協会誌Vol. 30, No. 355, P. 71-81, 1993/5
- 2) 建設省都市局下水道部、日本下水道事業団:
汚泥溶融プロセスの省エネルギー化に関する調査報告書、1989年3月
- 3) 同上：汚泥溶融システムの運転管理の適正化に関する調査報告書、1992年、1993年3月

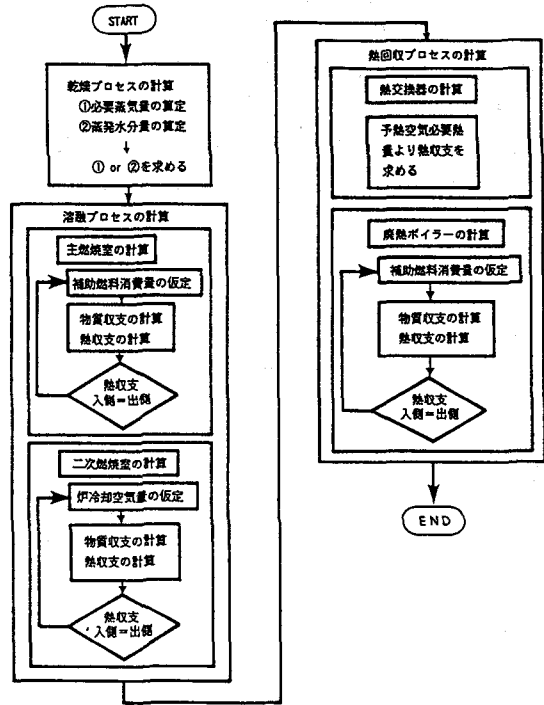


図3 旋回溶融システムのシミュレーション手順例

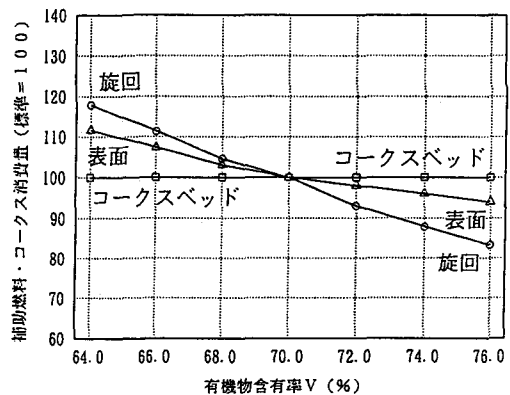


図5 有機物含有率変動時の各システム最適なケース