

[27] 下水汚泥焼却溶融処理システムの制御

久保田鉄工(株) 環境技術研究所

藤内博征 馬越正二

〃 〃 田崎光雄

〃 〃 阿部清一

〃 〃 水廃棄物処理設計工事業部

〃 〃 上下水プラント技術部

〃 〃 〃

〃 〃 石原栄彰

1. 概 要

下水汚泥の焼却溶融処理を目的として、昭和53年9月、下水処理場内にケーキ焼却能力30TON/日の実証プラントを建設し、以後、昭和55年4月まで処理実験を行ってきた。実証プラントは、脱水機、乾燥機、焼却溶融炉の主要設備を有機的に組合せたシステムで、本報文は、このプラントシステムでの実験結果をまとめたものである。

1・1 焼却溶融処理実証プラント・フローシート

実証プラント・フローシートを図-1に示す。本システムでは、下水汚泥を焼却・溶融処理する際に、焼却溶融炉燃焼排ガスを乾燥用熱源として熱回収することと、焼却溶融炉での助燃油量の節減を図る為に汚泥の含水率を低下させることを目的とした前処理設備が設置されており、フローシートに基づき汚泥とガスの流れを追うと下記ようになる。

〔汚 泥〕 下水処理場で発生した汚泥は、重力沈降式濃縮槽で2～4%までの濃度に濃縮され、この濃縮汚泥をベルトプレス型脱水機により脱水し、含水率70～75%までの脱水ケーキを生成する。脱水ケーキを一軸ネジ式ポンプにより、媒体循環型低温乾燥機に給泥し、含水率10～15%まで汚泥を乾燥する。乾燥汚泥は、フローコンベアで焼却溶融炉に投入し、約1,350～1,450℃の温度で焼却・溶融を行い、無機質のガラス状スラグを生成する。〔ガ ス〕 焼却溶融炉で汚泥中の有機物が燃焼した燃焼排ガスは、熱交換器で熱焼用空気との熱交換により熱回収後、熱交換器の出口で約500℃のガス温度となり、乾燥機排ガス中の蒸発水分を凝縮器で除湿した循環ガスと混合後150～200℃の熱風となり、乾燥機の熱風として熱回収される。乾燥後の排ガスは、サイクロンで除塵後、凝縮器で冷却除湿され、循環ガスとシステム排ガスになり、システム排ガスはアルカリ洗浄後、排突より排出される。

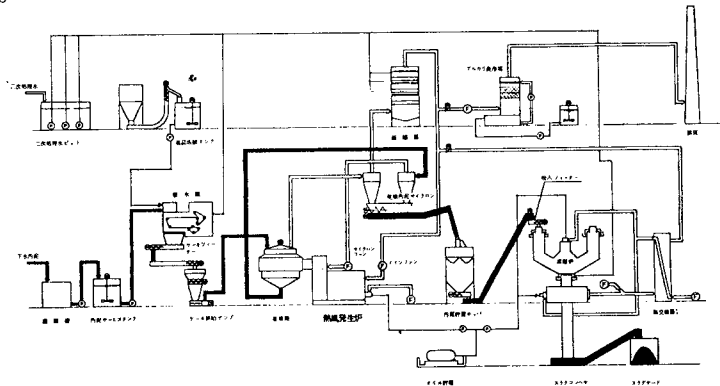


図-1 溶融処理実証プラント・フローシート

1・2 溶融処理システムの特徴

(1) 最終生成物が、スラグになる。(①汚泥量を含水率75%の脱水ケーキと比較し、容積比で $\frac{1}{20}$ に、重量比で $\frac{1}{10}$ に減容・減量できた。②汚泥を安定無害化し、重金属の溶出防止ができる。)

(2) 省エネルギーシステムである。(①溶融炉の燃費が低く、汚泥固形物量の発熱量が3500Kcal/kg以上の場合は自然溶融できる。②溶融炉燃焼排ガスを乾燥用熱風として排熱回収している。)

(3) スラグは土木資源として有効利用できる。(通気・排水の充填材、舗装材等)

1・3 実証プラントの自動制御

本実証プラントでの制御は、アナログ計装による制御が基本になっているが、更に、システムの処理量、熱量の安定性・効率性を図る為のバランス制御や、データロギング・日報等の作成の為にミニコンを導入した。本システムで実施した制御項目を表-1に示し、個別の主な制御を下記に述べる。

表-1 自動制御項目一覧表

制御機器	No	制御項目	制御方式
脱水機	1	自動運転	シーケンス制御
	2	薬注率	比率制御
乾燥機	3	自動運転	シーケンス制御
	4	入口空気温度	定値制御(バーナONの場合) コンピュータ制御 (バーナONの場合)
	5	サイクロン温度 (乾燥粉含水率)	定値制御
			カスケード制御
6	循環風量	フィードバック制御	
		コンピュータ制御	
焼却溶融炉	7	二次室油量	定値制御
			プログラム制御
			コンピュータ制御
	8	主燃焼室風量	油量に対する比率制御
	9	二次室風量	コンピュータ制御 (O ₂ 濃度に対する)
	10	炉内圧	定値制御
11	汚泥投入	レベル計によるシーケンス制御	
12	熱交換器入口排ガス温度	定値制御	

2. 焼却溶融炉の制御

2・1 焼却溶融炉の構造および溶融原理

本システムの焼却溶融炉の構造を図-2に示す。本焼却溶融炉は、主・二次の二つの燃焼室を持つ二段燃焼方式となっている。

主燃焼室は1350~1450℃の温度で、汚泥を瞬時に焼却溶融し、二次燃焼室では、主燃焼室で発生した分解ガスの完全燃焼を行う。

2・2 主燃焼室の燃焼制御

主燃焼室での燃焼制御は、燃焼室の室温を下水汚泥の融点以上に効率良く保持することが要求され、この方法として主燃焼室を還元雰囲気とし、輝炎燃焼による高温操作を行い下記項目の制御を行う。

(1) 主燃焼室温度制御

主燃焼室の温度制御は、赤外線式高温計により主燃焼室の温度測定を行い、設定値以上の高温を保持する。助燃用バーナを使用する場合は、油量・空気量を制御し、自然溶融の場合は、空気量だけの制御を行っている。

(2) 炉内圧制御

溶融炉内では燃焼量が変動するが、燃焼量の変動は排ガス量の増減となり炉内圧力が変動する。燃焼の安定を図るために、炉内圧を一定に制御する方法として、炉内圧をダイヤフラム式圧力計により測定し0~5mmAqの設定値との差を入力信号として、熱交換器出口ダクトに設けた電油操作式コントロールダンパの開度調整を行っている。

(3) 処理量の制御

① 主燃焼室燃焼空気量と処理量

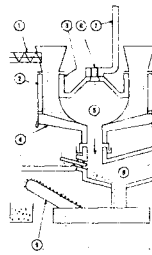
自然溶融する汚泥の処理量の制御は、燃焼空気量の制御により行う。図-3に、燃焼空気量とスラグ生成量の経時変化を示す。燃焼空気量の増減がスラグ生成量の増減と一致していることがわかる。この汚泥での実験結果より、汚泥処理量(y)は、図-4に示すように燃焼空気量(x)に比例し、 $y(\text{TON} \cdot \text{DS} / \text{日}) = 7.81 \times 10^{-3} x(\text{Nm}^3 / \text{H}) + 1.2$ なる近似式であらわされる。

② 主燃焼室容積と処理量

汚泥処理量と主燃焼室容積、および燃焼空気量との関係を図-5に示す。本燃焼溶融炉の単位体積当りの熱負荷は、約50Kcal/H程度であり、汚泥を焼却・溶融するには、その量に相応した容積が必要である。

焼却溶融炉；円筒型、二段燃焼式焼却溶融炉
〔焼却溶融原理〕

1. 主燃焼室に汚泥を装入し、高温の還元雰囲気にて瞬時に焼却溶融が行なわれる。
2. 汚泥の切出しは、炉外筒の回転により行う。
3. 溶融スラグは、スラグピットで冷却し、コンベアにより搬出する。
4. 主燃焼室での分解ガス等を二次燃焼室で完全燃焼する。炉内は負圧に保たれる。



① 供給フィーダ	⑤ 助燃用バーナー
② 外筒	⑥ 燃焼用空気ダクト
③ 内筒	⑦ 二次燃焼室
④ 炉床	⑧ スラグ取出しコンベア
⑨ 主燃焼室	⑨ 炉回転装置

図-2 焼却溶融炉構造図および溶融原理

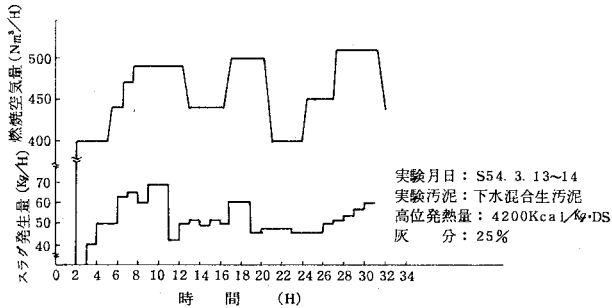


図-3 燃焼空気量とスラグ発生量

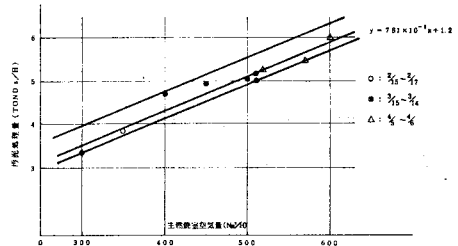


図-4 燃焼空気量と汚泥処理量

2・3 二次燃焼室の燃焼制御

(1) 燃焼ガスの制御

二次燃焼室は、主燃焼室で発生した燃焼ガスのコントロール機能を持ち、 NO_x の発生量の抑制、煤塵の発生防止を燃焼管理によって行っている。 NO_x は燃焼ガス中の酸素濃度と密接な関係があり、本実験では、図-6に示す相関を得た。図-6より、 NO_x 値を低く抑えるには残存酸素濃度を3~7%に制御すれば良いことがわかる。燃焼排ガス中の残存酸素濃度を一定期間に数回測定し、その平均値が設定酸素濃度に近づくように二次燃焼室空気量をミニコンで制御し良好な結果が得られた。

(2) 昇温の自動制御

本焼却溶融炉では、起動時の昇温操作は、二次燃焼室で行っている。耐火材を使用している炉では、耐火材への急激な熱衝撃による寿命低下防止の為、一定の昇温曲線に基づく昇温操作を行う。昇温の自動制御をプログラム制御した制御方式とその結果を図-8、図-9に示す。

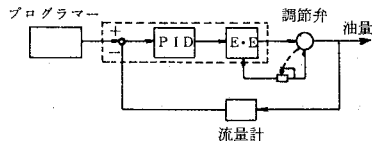


図-8 二次燃焼室昇温制御ブロック図

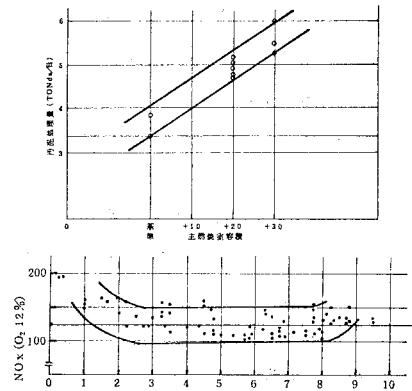


図-6 残存酸素濃度と NO_x 値

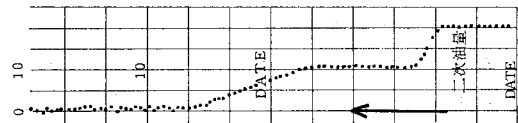


図-9 二次燃焼室油量制御チャート

2・4 焼却溶融炉の非常時対策および安全対策

溶融炉運転中の非常時の例として、停電、排ガス誘引ファンの故障、冷却水ポンプの故障等がある。この場合①一部の高温部の熱損傷、②炉内圧の上昇などが発生することがある。非常時のシーケンス制御等による安全制御は当然要求されるが、電氣的な安全制御以外に、本焼却溶融炉では下記の安全機構を設けてある。

(1) 冷却水ポンプ故障による断水対策

焼却溶融炉高温部の耐火材は、水冷ジャケットにより保護されている。冷却水ポンプ等の故障による断水対策として高架水槽等の予備タンクより、二時間程度の冷却水を確認することにより高温部を保護している。

(2) 炉内圧力の上昇対策

運転中に停電が発生した場合、溶融炉内は燃焼ガスにより炉内圧が上昇するが、本溶融炉では、炉外周の二ヶ所に水封機構があり、炉内圧が40mmAq以上になると、水封から炉内のガスの圧力が逃げるため安全な構造となっている。

3. 排熱回収設備の制御

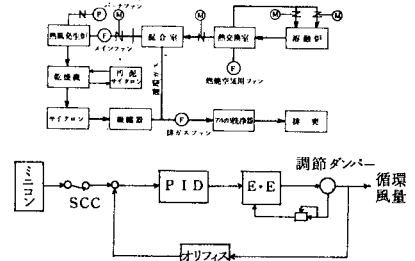
燃焼排ガスの持つ熱量の熱回収は、省エネルギーと云う観点から今後益々要求される課題であるが、本プラントシステムでは、焼却溶融炉の燃焼排ガスを乾燥用熱風として熱回収を行い、下記のような燃焼ガス制御を実施した。

(1) 熱交換器のガス温度制御

焼却溶融炉の燃焼用空気は燃焼排ガスの熱量と熱交換し、予熱され燃費の低減を図っている。この熱交換器は金属製で、高温での使用限界を950℃としている為、熱交換器への燃焼排ガスの入口温度を850℃になるように温度制御を行っている。また排熱回収を行う場合、排熱回収設備への入力点になる熱交換器出口温度の安定制御がシステムのバランス上必要であり、熱交換器出口温度が一定となるよう溶融炉の燃焼制御を行っている。

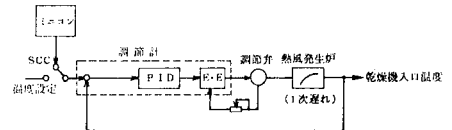
(2) 乾燥機入口ガス量およびシステム排ガスの風量制御

本プラントシステムのガス系統を図-10に示す。乾燥機への入口ガス量は、混合室出口に設けたオリフスにより測定し、設定値との差を入力信号としてメインファンのサクションダンパーの開度調整を図-11に示す方法で行っている。この方法は、乾燥排ガスを除湿した凝縮器循環ガス量を焼却溶融炉燃焼排ガスの増減にあわせて増減制御を行っていることであり、焼却溶融炉燃焼ガス量の増減の乾燥設備系への入力変動は、乾燥設備系からの出力となるシステム排ガス量の変動となり、常に系内の安定が図られる。



(3) 乾燥機の入口・出口ガス温度制御

乾燥機の温度制御は、乾燥機の入口温度と乾燥機の出口温度との差が常時安定した状態であるような制御が必要である。乾燥機入口ガス熱量の制御は、前述した風量制御を行いかつ図-12に示す乾燥機入口温度制御により安定した制御が行えるが、乾燥機出口温度は、脱水ケーキの給泥量含水率により変動する為、出口温度の制御、即ち水分負荷の制御を行っている。



(4) サイクロン温度制御

乾燥機に供給される一定の熱量に対して、脱水ケーキの量、即ち水分負荷が適量であるかどうかにより、乾燥汚泥の含水率変動する。この乾燥汚泥の含水率を安定させる事が、乾燥汚泥を燃料として焼却するプラントや、乾燥物を製品として使用する場合は重要な制御項目になっている。本乾燥機では、乾燥物を乾燥機からサイクロンまで乾燥機内の熱風を利用して空気輸送しており、この熱風の温度をサイクロン温度と称している。このサイクロン温度と乾燥物の含水率は、図-13に示すような相関があり、乾燥物の含水率を一定に制御する方法として、設定サイクロン温度とサイクロン温度との差を入力信号とし、乾燥機への給泥ポンプの回転数制御を行い、給泥量・水分負荷量の調整を行う。この制御方法を図-14に示す。

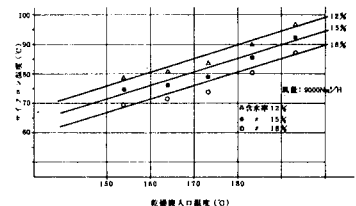


図-13 サイクロン温度と乾燥物含水率

4. 制御設計上の留意事項

近年下水処理の分野でも、従来の単位操作から、処理システムの導入が図られ、システム制御にコンピュータコントロールがひろく利用される状況にあるが、高度な制御技術の開発に比較して、測定センサーそのものには未だ問題も多く、制御設計に際し、下記項目に留意しなければならない。

- (1) 測定センサー、操作機器および制御機器の精度を同一にすること。
- (2) 測定センサーの寿命、付着物等による異常値への対策。
- (3) 電気制御によらない安全装置を設けること。

