

[25] 多段炉による下水汚泥脱水ケーキの自燃焼却における自動制御運転について

川崎重工業(株) 水処理プラント部 ○沢 井 正 和

1. 始めに

下水道の普及と共に、下水汚泥脱水ケーキの処分地の確保が困難になり、汚泥の減量化及び安定化に効果の著しい焼却処理が普遍的に採用されてきた。焼却処理システムを計画する場合、方針として、省エネ化、省力化、無公害化を重要ポイントと認識し、脱水工程も含めた汚泥処理システムとして検討する必要があるが、3つの方針の最大公約数的システムが採用されてきた。しかし、昨今の燃料の入手難とコストの高騰により、省エネ化が一段と重要度を増してきた。これに関し、今年6月に、日本下水道事業団技術評価委員会により答申された“既存焼却設備の評価に関する報告書”において、フィルタープレスと立形多段炉の組合せが、もっとも省エネシステムであることが結論されている。このことは、焼却炉での補助燃料の使用量の減少が省エネの決め手であることを示しており、この意味から、下水汚泥脱水ケーキの自燃焼却は、汚泥焼却の最終目標とも言えるものである。この最終目標をフィルタープレスではなく、連続式のベルト走行式脱水機で達成されるならば、さらに省エネ化が進むだけでなく、省力化についても著しく改善されることになる。

そこで我々は立形多段炉の特性を生かし、熱効率および、制御性を向上させることにより、高分子凝集剤を使ったベルトプレスによる下水汚泥脱水ケーキを自燃焼却させ、省エネ、省力、無公害を同時に満足する汚泥処理システムを完成させた。この汚泥処理システムは、富山県高岡市の四屋下水処理場で、実プラントとして昭和54年7月より安定した運動が続けられており、四季を通じての運転実績と各種の試験結果が得られた。

本論文は、この結果に基づき、自燃焼却における自動制御方法と、その制御特性について述べるものである。

2. 自燃焼却の条件

自燃焼却は、補助燃料を使う助燃焼却に比較して、次のような問題点がある。

- (1) 燃焼負荷及び燃焼温度が変動し易く、燃焼が非常に不安定である。
- (2) 燃焼負荷が比較的高いにもかかわらず、バーナーによる燃焼段がないために、燃焼帯が狭く、汚泥の着火温度以上である炉床の滞留時間が短いため、未燃物が多くなる。
- (3) 補助燃料を使用する場合に比較して、炉出口排ガスの総合空気比が大きくなるために、熱効率の悪い燃焼となる。

以上の様な問題点があるために、熱収支上は自燃すべき脱水汚泥が実際には自燃せず、かなり熱的性状の良い脱水汚泥に限って自燃焼却させているのが現状である。

一般に、自燃焼却を安定して継続できるかどうかの目安は、汚泥の低位発熱量で知ることができる。

汚泥中の有機物の割合をXとし、有機物の発熱量を5000 Kcal/Kgと仮定し、含水率をW%とすると、汚泥の低位発熱量HLは、

$$HL = X \times \left(1 - \frac{W}{100}\right) \times 5000 - \frac{W}{100} \times 600 \text{ Kcal/Kg} \quad (1)$$

となる。式(1)を含水率対低位発熱量で有機物量の割合Xをパラメータにして示したものが図-1である。

焼却操作を行なう場合、安定な自燃焼却のためには1200 Kcal/Kg程度の低位発熱量が必要とされている。しかし立形多段炉による熱収支上の自燃限界については、立形多段炉の熱効率が、空気比を抑えた抑制燃焼方式等により、67%程度まで期待できるとすると次のようになる。

汚泥の含水率をW%、汚泥の低位発熱量HL Kcal/Kgとすると自然の場合の限界熱効率ηは、

$$\frac{6W}{HL + 6W} \times 100 = \eta < 67 \quad \therefore HL > 3W \text{ Kcal/Kg} \quad (2)$$

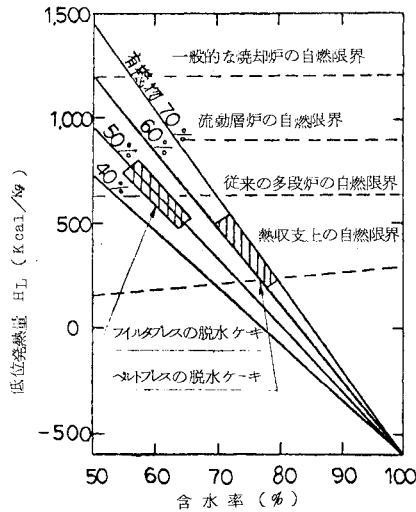


図-1' 含水率と低位発熱量の関係

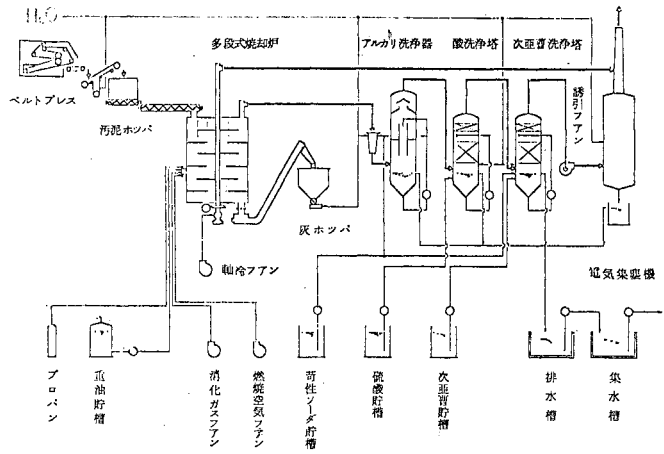


図-2 プロセスフローシート

したがって熱収支上の自然限界は(6)式で表わされ、図-1に示される範囲である。したがって含水率が80%以下の下水汚泥の場合、低位発熱量が 240 Kcal/Kg 以上あれば、熱収支上は自然焼却できることになる。この熱収支上の自然限界 240 Kcal/Kg と焼却操作上の自然限界 1200 Kcal/Kg には大きな開きがあるが、これが先に述べた自然焼却の場合の問題点に起因するものである。しかし、ある程度の燃焼制御上、或は、焼却操作上の不安定さを許容すれば、自然焼却を継続できる条件としては、立形多段式焼却炉の場合、低位発熱量で 620 Kcal/Kg 以上、流動層炉の場合 900 Kcal/Kg 以上が必要であると言われている。一方、現在の所、比較的発熱量の高い脱水汚泥として、処理できる脱水機はフィルタープレスであり、一般的に $500 \sim 800 \text{ Kcal/Kg}$ である。したがってフィルタープレスで処理した汚泥については、自然焼却できる場合もあるが、今までの所、その実施例は非常に少ない。

フィルタープレスの次に発熱量の高い脱水汚泥として処理できる脱水機は、ベルトプレスであり、一般的に $250 \sim 500 \text{ Kcal/Kg}$ である。したがってベルトプレスで処理した汚泥については、自然焼却することはできなかった。しかし、先に述べた自然焼却の3つの問題点を解決し、熱収支上の自然限界である低位発熱量 240 Kcal/Kg まで近付けることができれば、ベルトプレスで処理した汚泥についても、自然焼却することができるようになる。又、このことが可能になって始めて、省エネと省力の両方を満足する汚泥処理システムが可能となる。この自然焼却の問題点を、焼却炉の構造と燃焼方法及び、燃焼制御方法によって解決した“自然・抑制燃焼型・立形多段炉”の概要及び運転結果について、次に述べる。

3. 設備概要及び運転状況

図2は汚泥焼却設備フローシートであり、24hr稼働の定格処理量は30T/日である。初沈及び余剰汚泥は、汚泥濃縮槽に送られ濃縮される。濃縮槽からの引抜き濃縮汚泥は汚泥固形物量に対して、季節によって変動はあるが、凝集剤を0.4～0.8%添加し、調質される。調質汚泥はベルトプレスによって含水率70～73%程度まで脱水された後、ケーキ搬送途中コンベアの洗浄水により含水率が2%程度上昇し、貯留ホッパーに貯留される。昼間の7hrだけ脱水貯留された汚泥は、24hrかけて一定量ずつスクリーコンベアによって塊状の汚泥で、焼却炉に投入される。焼却された灰はフライトコンベアによって炉外に搬出され、ホッパーに貯留後、加湿され場外へ投棄処分されている。一方、炉頂より排出される排ガスは、気液接触装置により除塵、脱硫、脱臭後、電気集塵機により完全に除塵された後、白煙防止処理され煙突より大気に放出される。一方ケーキ固形分の発熱量は $3,300 \text{ Kcal/Kg}$ であり、強熱減量が62%であることから、強熱減量当りの発熱量は $5,320 \text{ Kcal/Kg}$ と

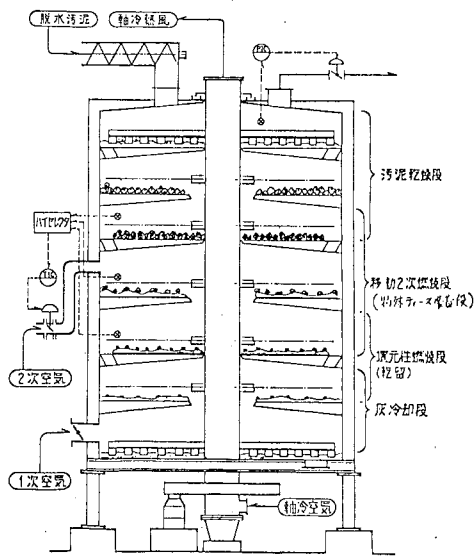


図-3 自然抑制燃焼型多段炉
計装ループ及び原理図

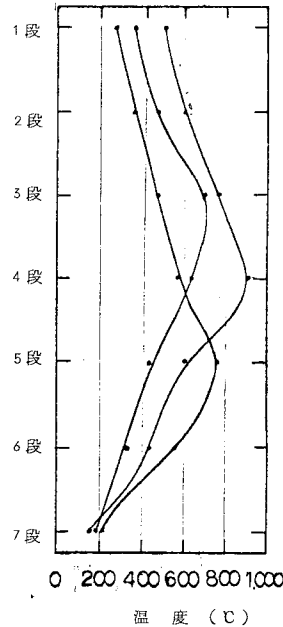


図-4 各負荷に於る各段温度

日付	8/27	8/28	8/29
試験の目的	最小負荷試験	最大負荷試験	最大含水率試験
汚泥含水率	7.4 %	7.4 %	7.9 %
汚泥灼減量	62.2 %	61.7 %	65.8 %
汚泥性状	低位発熱量： C : 33.5 % H : 4.7 % N : 3.4 %		
灰熱減量	1.0 %	1.3 %	2.1 %
排ガス成分	O ₂	8.5 %	12.0 %
	N ₂	80.1 %	79.8 %
	CO ₂	10.5 %	8.2 %

表-1 各種分析データ

なり、高分子凝集剤使用による下水汚泥脱水ケーキの一般的な値と合致している。又脱水ケーキの低位発熱量 HL は、

$$HL = 0.62 \times (1 - 0.74) \times 5,320 - 0.74 \times 600 = 414 \text{ Kcal/Kg}$$

であり、自然燃焼却の操作上の限界といわれている低位発熱量 620 Kcal/Kg を下廻っている脱水汚泥で、安定した自然燃焼却が行なわれている。焼却灰の熱灼減量も 1 % 前後であり、凝集剤として硝石灰を使用していないため、汚泥の減量化は著しい。又、排ガスについても空気比が 1.7 以下に抑えられており、排ガス中の O₂ 濃度が 5 ~ 12 % と低いため、NO_x は 50 ppm 前後に抑えられている。又炉出口排ガスの温度は 400 ~ 500 °C であり、熱収支上はさらに高含水率の汚泥でも、自然燃焼却できる可能性を示している。

本設備は、補助燃料を使用しないという省エネ設備としてだけでなく、無人運転を各種の自動制御装置により達成した省力設備として、又、各種の公害防止対策により、無公害設備としても安定した運転が続けられている。

4. 自然燃焼却における自動制御

図 3 に自然燃焼却の問題点を解決した“自然・抑制燃焼型立形多段炉”の原理及び計装ループを示す。この原理からもわかる通り、本燃焼炉で自然を可能にした要点は、炉の構造及び自動燃焼制御方法により、流動層炉と乾留炉の両方の燃焼状態を、立形多段炉内で作り出していることである。自然燃焼却における自動制御の特性について調査するために、最大普荷試験、最小負荷試験及び最大含水率試験を行い、表 1 のような分析結果と図 4 のような各段温度分布の結果を得た。空気比 N は、排ガス及び汚泥中の成分分析から次式により求めることができる。

$$fN_2 / CO_2 = \frac{(fc/12 + fH/4) \times 80N/20}{fc/12} \quad \therefore N = \frac{fN_2 / CO_2}{4 + 12fH/fc} \quad (3)$$

(3)式により求めた空気比と排ガス中の O₂ 濃度 (乾ガスベース) の関係は、図 5 のとおりであり、これは乾留燃焼及び抑制燃焼における他のプラントでの実測値と良く一致している。この図から抑制燃焼域である空気比が 1.0 ~ 1.7 の間で曲線が立ち上がっており、O₂ 濃度と空気比の相関が強いため、O₂ 濃度を連続的に計測し、

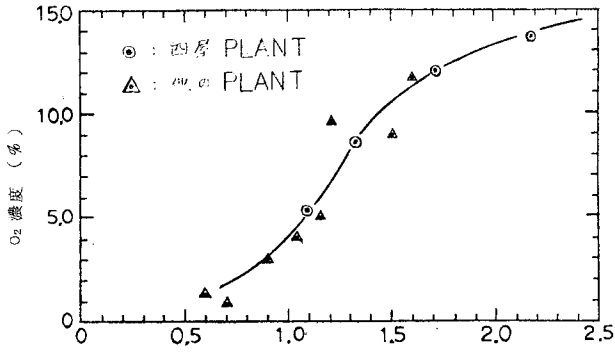


図-5 炉出口排ガスにおける O₂ 濃度と空気比の関係

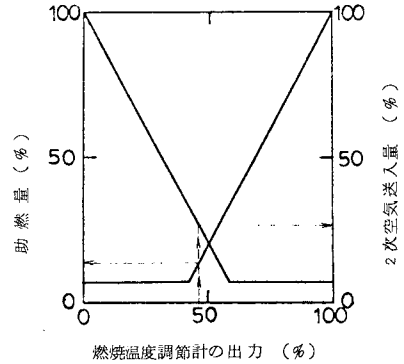


図-6 燃焼温度の制御方法

燃焼空気量を操作することにより、空気比を制御することができる。しかし、多段焼却炉の場合炉内を負圧に保つ必要があるため、燃焼帯より上部での空気の洩れ込みも多く、又負荷によって空気比と燃焼温度の関係も安定しないために O₂ 濃度による燃焼制御では、燃焼温度が制御できないことになる。燃焼制御の基本は、やはり燃焼温度であり、特に自然限界近くで自燃焼却を安定して行なうには、燃焼制御上のあらゆる外乱に迅速に反応する燃焼温度を 800℃ 前後で安定させることが必要である。実際に処理量の変動や汚泥性状の変動は約 5 分後には、燃焼温度に影響し始める。しかし、自燃焼却の場合には、燃焼帯の位置は定まらず、負荷や汚泥性状によって燃焼帯は移動するため、燃焼温度の検出を固定化することはせず、上下 3 段程度の燃焼帯温度の内、最高温度を示す検出端をハイセクターにより選択し、この信号により燃焼帯に直接供給される 2 次空気量を操作し、燃焼温度を制御している。このような燃焼制御方法をバックアップするために、炉最下段から炉内のドラフト効果によって吸引される 1 次空気量の制御と、炉頂部の圧力を大気圧に近い $-1.0 \pm 0.5 \text{ mm H}_2\text{O}$ 程度に制御する方法が有効に働いている。以上のような燃焼制御システムが、一般的に負荷変動率 120～80% といわれている多段焼却炉に対し、120～30% にまで自燃焼却での負荷変動率を広げたものと考えられる。

焼却負荷に応じた必要な炉床面積しか使わない燃焼制御システムのために、炉壁やセンターシャフトからの放熱量が負荷量に比例するため、負荷の低減によっても熱効率が低減しない運転が可能である。又、炉の燃焼帯に設けた特殊テースの効果による、流動層炉と乾留炉の両方の燃焼状態を兼ね備えたような“抑制 2 段燃焼”ともいえる燃焼方式により、含水率 79% の汚泥を自燃焼却することができた。この含水率 79% の汚泥の低位発熱量は 260 kcal/Kg であり、熱収支上の限界である熱効率 67% に相当する低位発熱量 240 kcal/Kg にまで、ほぼ到達している。しかし、自然限界近くの汚泥の場合、助燃状態から自燃状態への移行の際、熱バランス上の急激な変動により、燃焼制御が乱れるため、再び助燃を必要とするような状態になる。このため、助燃状態から自燃状態へ移行する場合に、図 6 のように燃焼温度調節計の出力に応じて、2 次空気量と助燃量の両方を操作することにより、助燃から自燃への滑らかな移行を可能にした。

5. おわりに

高分子凝集剤を使ったベルトプレスによる脱水と、熱効率及び燃焼制御性を著しく向上させた多段式燃焼炉との組合せによって、自燃焼却を実現した四屋下水処理場の汚泥処理システムは、省エネと省力の両方を満足するシステムとして、今後の下水汚泥処理の参考になるものと考えられる。最後に本稿執筆にあたり、各種試験に御協力いただいた四屋処理場関係各位に対し、ここに深く謝意を表します。