

流動炉による微粉炭混練り汚泥焼却プラントについて

パプコック日立㈱

○藤原 弘道

㈱日立製作所 大みか工場 宮本 章、 渥美 寿一郎

1. はじめに

汚泥の減量、安定化に対して最も確実な方法として焼却処理が普遍的に採用されてきた。しかし、汚泥焼却は典型的なエネルギー消費型操作であり、一方焼却に伴って発生する排ガス及び焼却灰による二次公害防止に対しても万全の配慮が必要とされている。また昨今のエネルギー情勢からみて省エネルギー、代替エネルギーに適う脱石油化が望まれる。更に投資効果、原単位の低減等の点から大容量化のニーズが高まっている。

これらの諸問題を解決する一方法として補助燃料に微粉炭を使用する流動焼却システムが開発され、現在実プラント（100t_日規模）が稼働されている。本プラントは初めての方式であり、また容量的にも下水汚泥用流動炉としては国内最大規模の設備である。

本プラントは昭和56年8月より運転を開始し、現在も順調な運転を続けている。

2. 実プラントの概要

2.1 設計条件

主要な設計条件を表1に示す。本プラントは市内数箇所の下水処理場よりトラック輸送される脱水ケーキを焼却処理する施設であり、それゆえ同表に示すように、V T S 40～80%、含水率55～80%、発熱量1300～4500 kcal/kgの範囲のケーキを焼却できるように設計されている。また公害規制項目については、将来の規制強化等に備えて現行法規制値の $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{10}$ という厳しい条件となっている。

2.2 設備フロー

本プラントのフローシートを図1に示す。全体は脱水ケーキなどの計量、貯留及び供給設備、焼却炉、排ガス処理設備、灰処理設備、廃熱回収利用設備、監視制御設備等より構成されている。脱水ケーキ、排ガス及び灰の流れは次のとおりである。

(1) 脱水ケーキの流れ

脱水ケーキは自動クレーンにより貯留ピットから供給ホッパに投入されたのち、流動層温度により自動的に調整された量の微粉炭と脱硫のための炭酸カルシウム粉とを連続的に混練される。微粉炭及び炭カル粉は、ローリ車から空気輸送でそれぞれのサイロへ投入、貯蔵される。炉頂部より流動炉内に投入された混練ケーキは、層内媒体で解砕、分散化されて自然する。

(2) 排ガスの流れ

熱焼排ガスは、サイクロンで粗粒ダストが集じんされ、次に空気予熱器でガス冷却される。約400℃の高温空気は流動化用として使用さ

表1 実プラント設計条件

規 模	100t/日 (W.B)	
燃 焼 形 式	微粉炭混練方式	
脱水ケーキ種類	無機添加加圧	高分子添加遠心
V T S (%)	40～80	40～80
含水率 (%)	55～75	70～80
発熱量 (kcal/kg)	1300～2500	2500～4500
公害規制項目	(設計値)	(規制値)
ばいじん (g/Nm ³)	0.02以下	0.2 以下
SO _x (ppm)	50 以下	150 以下
NO _x (ppm) (O ₂ 5%)	140 以下	445 以下
焼却灰Cr ⁶⁺ 溶出 (mg/l)	0.3 以下	1.5 以下

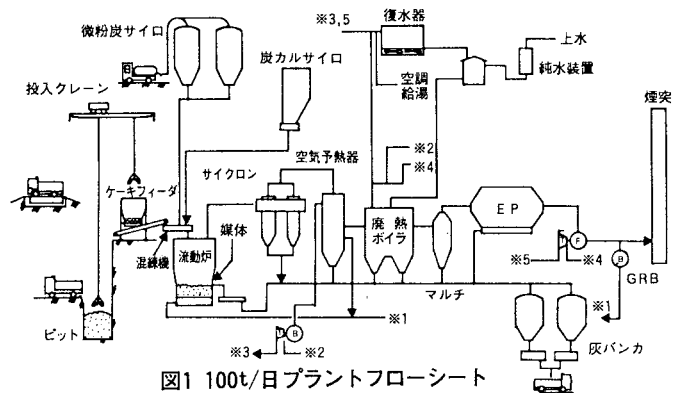


図1 100t/日プラントフローシート

れ、燃費の低減が図られる。次に、排ガスは廃熱ボイラで約300℃以下まで熱回収されたのち、マルチサイクロン及び電気集じん器で微細ダストが捕集され、清浄ガスとなって煙突より大気中に放出される。

(3) 焼却灰の流れ

集じん装置で捕集された焼却灰及び炉から拔出された媒体は灰バンカに移送され、加湿処理後、搬出される。

3. 設備の特徴と要求される機能

3.1 安定した自然焼却

① 流動化空気速度の維持 (図2に一般的な流動化特性を示す。)

良好な流動化空気速度の範囲は、使用流動媒体の物性及び運転温度によって決まる。一方、熱効率の点からは負荷に応じて空燃比制御を行うことが望ましいが、特に低負荷時で燃焼空気を調整する場合は、下限流動化速度を維持する必要がある。本プラントでは流動化空気に再循環ガスを混合し、常にある一定以上の流動化速度が得られる方法を採用している。

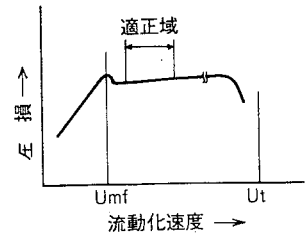


図2 流動化特性

② 適正な流動層温度制御

下水汚泥のような発熱量の低いものに対しては、通常、補助燃料により層温は約800℃に維持される。本プラントの場合、燃料としては微粉炭を採用しているが、ガス、油燃料に比較して燃焼速度が遅く、そのまま流動層へ供給すると層内での滞留時間が得られないため層温維持が困難となる。そのため炉前段で脱水ケーキに混練し、層内燃焼性を向上させる方法を採用している。その結果、混練物の層内滞留時間が長くなり、発生した燃焼熱は有効に流動媒体に伝達され、層温度の維持も制御も容易となる。また層温の自動制御に対しては、供給系及び燃焼速度に係わる時間遅れ並びに流動媒体の蓄熱槽としての時定数を考慮した最適制御が要求される。

3.2 炉内乾式ガス処理

燃焼によって発生するNOx及びSOxは炉内で処理している。

(1) 窒素酸化物の抑制

発生するNOxの大部分は、有機性窒素の酸化によって生成されるもので800℃程度の比較的低温でも窒素含有量に応じて発生する。NOx抑制に対しては安定自然焼却による局所高温発生防止のほかにO2制御による低空気比運転が有効である。本プラントでは、流動用空気を低減し主燃焼ゾーンである流動層部の空気比を下げ、残りの空気を炉空筒部に供給する二段燃焼方式を採用している。更に、還元雰囲気を強める方法として、排ガスを再循環させ流動用空気のO2分圧を下げることも可能である。O2制御効果の一例を図3に示す。

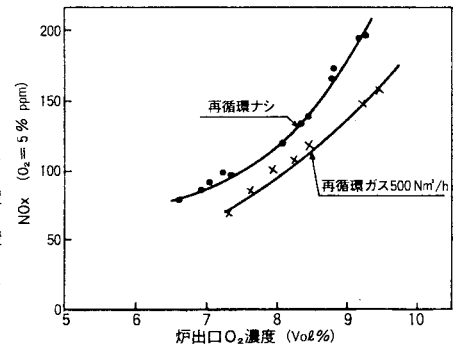
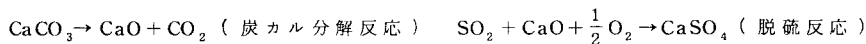


図3 O₂制御効果

(2) 乾式脱硫

本プラントでは炭カル粉を微粉炭と同様に、ケーキに混練して炉に投入し、下記の脱硫反応を行っている。



(3) 廃熱回収利用

本プラントでは、焼却廃熱を16 atg蒸気として回収し、その蒸気により通風機をタービン駆動させ省電力を図ると共にタービン排気の一部を空調及び給湯用熱源に利用している。廃熱を回収するボイラについては入口ガスの量、性状及び温度が変動するため、水位、蒸発量及び給水量を検出し、三要素の信号によりドラム水位制御を行っている。またボイラチューブへの熱衝撃防止のために、一定昇温曲線に基づく起動制御が要求される。

(4) プラントの全自動化

本プラントは、脱水ケーキ等の受入管理、多様なケーキ性状に対する燃焼調節、廃熱回収系の運転、全体設備の始動及び停止運転等複雑な維持管理業務が多い。そのためプラントの全自動化を図っている。

4 流動炉制御

4.1 制御システム構成

本設備の始動、停止および運転は、機器の連動シーケンス制御とプロセスアナログ制御とをタイミングを合わせ同時に制御をする必要があり、又完全自動制御を実施するため、マイクロコントローラ2台とシーケンサ4台によりシステム構成している。図4にシステム構成を示す。

マイクロコントローラとシーケンサは危険分散を考えた機能分割とし、マイクロコントローラ保守時にも運転に影響なき様、各ループにバックアップ操作器を持たせている。

また、マイクロコントローラに記録計を接続し、DDC調整用データを記録する様にしてはいる。

4.2 自動始動停止制御

炉の始動、停止は保守及び故障時の影響、安全確保のために全体を6つのブロック（冷却水・灰処理・ボイラ・通風・燃焼・供給）にわけ管理している。発生した故障内容により停止すべきブロックを判断、故障復旧後の再立上げも考慮した完全自動始動停止運転を実施している。

本設備の始動にあたっては、特にボイラ昇圧、炉昇温制御が重要であり、その制御の考え方を図5に制御結果例を図6に示す。

ボイラ昇圧は、主蒸気温度の上昇率を $6.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ となる様制御を実施しているが、バーナ効率を考え、流動層下部温度 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下では起動バーナによる昇圧、昇温、 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上では効率のよい助燃バーナに切替えている。

ドラム圧の昇圧カーブは、時間に対し放物線状であるが、主蒸気温度に対しては直線的に上昇するため主蒸気温度の上昇速度を制御する。主蒸気温度は検出端からの信号ではなく、ドラム圧力を実測、蒸気表をマイクロコントローラ内に持ち蒸気温度に換算することにより、蒸気温度分布による誤差に対処している。ドラム圧力は最小自乗法による平均圧力を演算している。換算により求めた蒸気温度の上昇率が、昇圧開始時より常に $6.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ である様バーナ供給熱量を制御昇圧制御を行っている。

昇温制御は昇圧完了後、炉出口ガス温度設定値を $890\text{ }^{\circ}\text{C}$ とした灯油量PID連続制御により、層下部温度が $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ に達するまで昇温を行う。

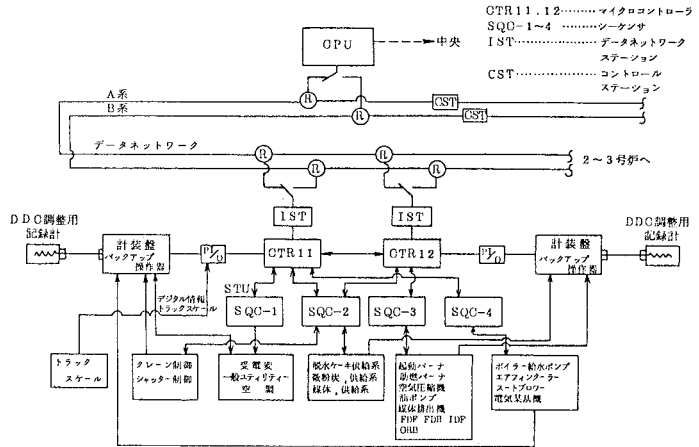


図4 システム構成

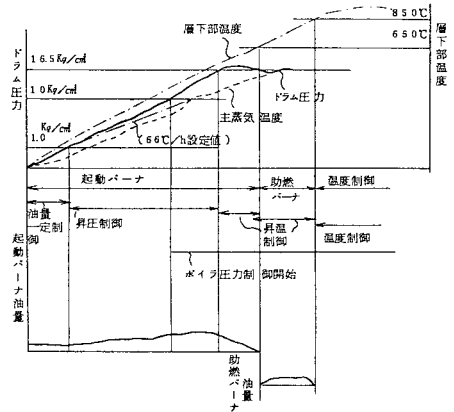


図5 昇圧-昇温制御カーブ

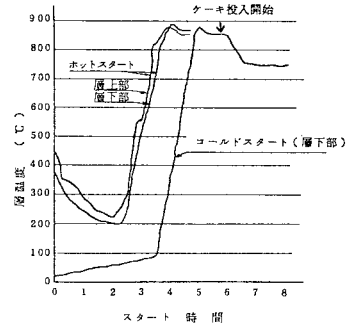


図6 昇温カーブ

4.3 流動層炉温度制御

3の項でも記述した様に、本プラントとの最大の特徴は、脱水ケーキに微粉炭を混合させ、流動層炉内で自燃焼却させることにある。層内で安定に汚泥を自燃させるに必要な最適な温度は800℃であるが、脱水ケーキの含水率の変動が5%~8%と非常に大きく、常時800℃に層内温度を維持するのは、困難である。そこで我々は、780℃~850℃の範囲に層内温度を入れる制御方式を採用した。本制御は、微粉炭を操作量として、使用し、バックアップとして、助燃料（灯油）を使用している。本制御のタイムチャートを図7に示す本制御は、層内の温度が異常低温、又は異常高温になっても、システムの安全性を維持させるため、助燃バーナ、炉頂スプレー水制御と連動して動作する様配慮されている。定常温度制御は微粉炭による連続制御であるが、微粉炭混練機、炉内燃焼遅れ等のむだ時間を補償するためSmithの線形予測による、むだ時間補償ループを計算機内にもち、制御系の安定化を計った。（図8）

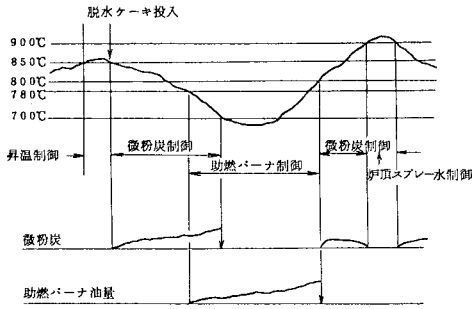


図7 流動層内温度制御方式

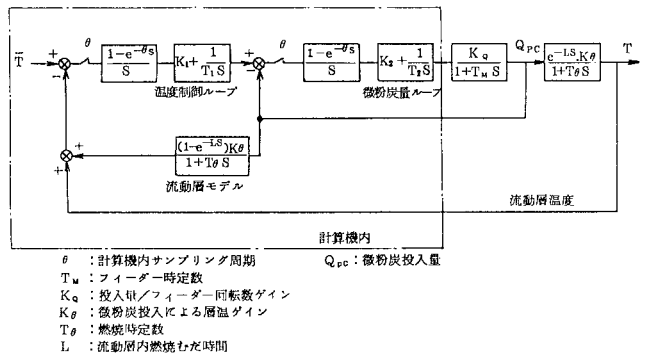


図8 微粉炭による温度制御ブロック図

4.4 O₂ 制御

O₂ 制御は、NO_x 抑制に最も重要なファクターとなる。NO_x は大部分 Fuel-NO_x に起因しており、余剰酸素に大きく影響される。3.2項で記述した如く、O₂ 濃度が8%以上にするとNO_x 発生も大きくなって来る事が判かる。今回のシステムで採用した方式は、燃焼負荷から最適な流動化ガス設定値GFDを演算し、流動化空気FDBと、還元雰囲気有する再循環ガスGRBを、加算した流動化ガス量が、 \overline{GFD} になる様に制御し、又同時に、O₂ 制御ループで演算された、操作量により、前記した2つの成分比率配分することにより、O₂ 制御を行なっている。O₂ 制御方式を図9に示す。今回の炉出口空気比を1.3としてO₂ 設定値を5%とした。制御結果を図10に示す。O₂ 制御をかける事によりNO_x が低下するのが良く判かる。

5. おわりに

今まで前例がない、微粉炭を使用した流動層炉汚泥焼却プラントを完成させ、現在100T/日の安定した焼却を行なっている。今回特に配慮した点は、オペレータの負荷を低減させるため、徹底的にシステムの自動化を計った事である。プラントの立上げ、立下げにおいては、1人の人間でも充分に対応できる様設計されている。また焼却という面から、安全性を充分考慮し、最終段の保護はハードウェアに依存する方式を採った。

参考文献

- 1) 武田; 流動焼却による微粉炭混練り汚泥の焼却, 下水道協会誌

VOL20.1983年11月号

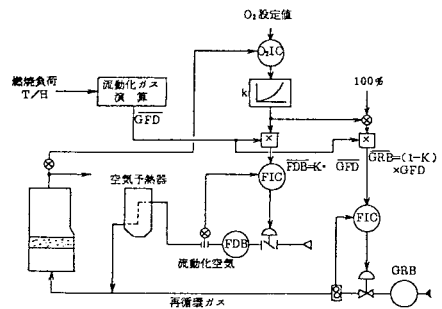


図9 O₂ 制御方式

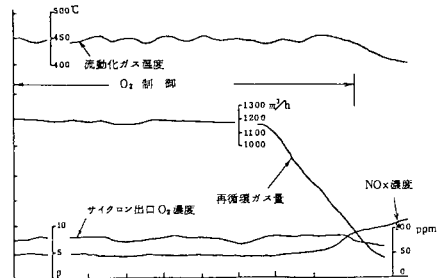


図10 O₂ 制御結果