

下水汚泥の炭化技術

○照沼 誠、三羽宏明

日本下水道事業団技術開発部
戸田市下笹目5141

概要

埋め立て処分地不足への対応策として、下水汚泥の有効利用がある。これは一過型処分の限界性からくる循環利用への指向や、時代背景からくる有用資源のリサイクルに基づくものである。有効利用は、最終汚泥形態の利用用途とそれを製造する装置が一環となって開発することが必要である。日本下水道事業団では、下水汚泥を炭化する技術と炭化汚泥（仮称）の用途開発をおこなっている。

ここでは、下水汚泥の炭化技術について報告する。

キーワード

炭化炉、炭化汚泥、精練度

1 はじめに

下水汚泥の有効利用では、汚泥の徹底的な減量・減容化に力点き、汚泥の無機物を利用した建設資材等の都市型利用と近郊に緑農地を抱え、下水汚泥中の有機性分を利用したコンポスト等の中小都市型に分類される。炭化汚泥の利用は、それ自身の構造や性質を利用した利用方法（土壌改良材、脱水助材、脱臭材等）が考えられている。

炭化（carbonization）は熱分解を利用した操作で、十分な酸素のもとで加熱を行い、生成物を安定な物質にまで酸化・分解する燃焼（incineration）とは異なり、木材の熱分解による木酢液、木炭の製造、石炭の熱分解による石炭ガス、コークスの製造などがある。

下水汚泥の炭化技術では、脱水ケーキを炭化炉に投入する直投入方式と乾燥ケーキを投入する乾燥投入がシステム化されており、本実証システムの構成、制御系、運転結果を報告する。

2 炭化炉の概要

2-1 構造

炭化炉の構造図を図-1に、本体の外観を写真1に示す。

燃焼室中にレトルト（円筒形の管体）を回転自在に貫通配置し、レトルトの一端から投入された下水汚泥（乾燥ケーキ・脱水ケーキ）を、レトルトの回転と構造体の傾斜により他端に移送し、内部で攪拌加熱するロータリーキルンである。レトルトの周壁に何本かの乾溜ガス導出管（通称ツノと呼ばれている）が設けられている。燃焼室外壁は鋼板の溶接構造で燃焼室内部のガスが、外部へ漏れない構造にしている。一方、燃焼室内壁は、強度の必要な部分は耐火煉瓦を設け、天井部等のさほど強度を必要としない部分は、セラミックファイバーを使用している。燃焼室部分には、運転条件の燃焼室温度を上げるために、加熱用バーナ（25,000Kcal/H）が5本設置されている。燃焼室下部には、耐火煉瓦層で仕切られた排ガス処理炉室が設けられている。燃焼室と排ガス処理室とはつながっており、燃焼室で発生した未燃焼ガスは外部へ出ることなく排ガス処理室に設けられた1本の二次燃焼用バーナ（60,000Kcal/H）で完全燃焼後に外気へ放出され

る。

下水汚泥のレトルト内への投入は、スクリーフフィーダー（回転数 20rpm）を使用する。スクリーフフィーダーへの供給には、搬送スクリーフ（回転数 0.4rpm）を用い、回転数により投入量を制御する。下水汚泥はレトルトの回転数（1～4rpm）により少しずつ前に進み、20分前後でレトルト内を通過し、他端より炭化汚泥となって排出される。

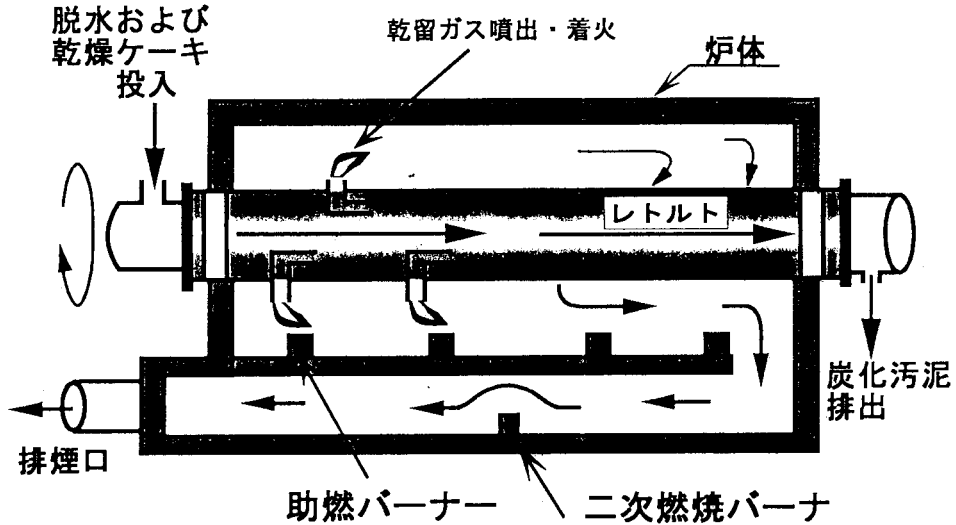


図-1 炭化炉の構造図

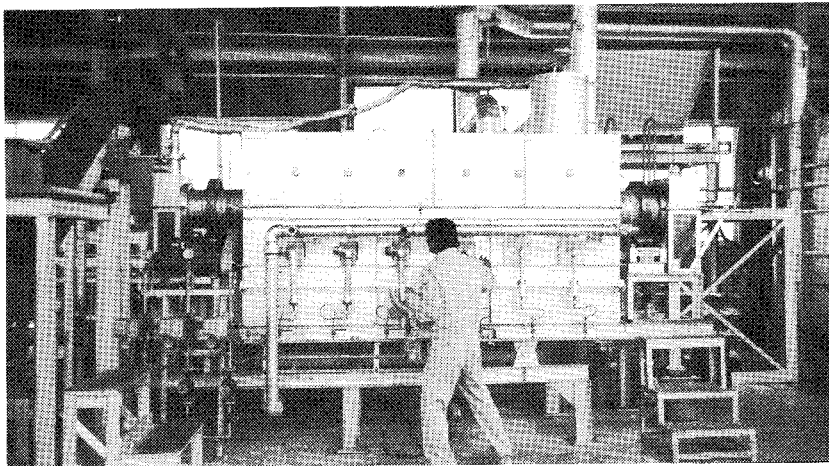


写真-1 炭化炉外観

2-2 制御系

炭化炉の主制御項目は、温度と圧力である。

燃焼室および排ガス処理室の温度制御方法としては、温度調節計により設定した温度と熱電対により測定したプロセス温度との差をコントローラの出力値に変換し、その出力値によりバーナのコントロールモータを動かし、燃料ガスの供給量を可変させて設定値に近づける。燃焼室の場合において、バーナの使用本数は、点火時には5本全数であるが、昇温が完了し下水汚泥の投入が開始されて、汚泥中から乾溜ガスが燃焼室内へ噴出し始めると、順次バーナを消火する。汚泥中の有機分が多い高分子系の汚泥では、通常

運転時にバーナは1本程度になり、下水汚泥の熱分解による乾留ガスが炭化炉の主燃料源となる。排ガス処理の場合には、1本しかないため、使用本数の変更はできないが、バーナの絞り調節機構（ターンダウン）を大きくとって温度コントロールに追従できるようにした。温度設定としては、燃焼室温度で730℃前後、排ガス処理室温度で800℃以上に設定される。

炉圧制御方法としては、炉圧調節計により設定した炉圧とプロセス側の炉圧との差をコントローラの出力値に変換し、その出力値により排ガスファンのインバータを可変させて制御する。炉圧は、 $-0.7 \sim -1.0 \text{ mmAq}$ の範囲で設定する。特に、レトルトの摺動部分から燃焼室内部へ導入する空気は、乾留ガスの燃焼空気の一部となり、その侵入空気は炉圧により変化するため、燃焼室の炉圧制御を精度よくおこなうことは、炭化炉運転上、重要なことである。

また、燃焼用空気供給用ターボブロワの供給圧力が変動すると、風量に変化し炉温、炉圧も同時に変化する。そのため、使用風量に変化しても供給圧力が変動しないように、元圧制御をかける。制御方法としては、圧力調節計により設定した圧力とプロセス値であるブロワ元圧との差をコントローラの出力値に変換し、その出力値によりターボブロワのインバータを可変させて調節をおこなう。設定圧力は、600mmAqである。

3 炭化システム（実証炉）

炭化システムは、炭化炉、乾燥機、熱風発生炉から構成される。表-1に炭化システムフロー、図-2に主要機器の仕様を示す。

本システムは脱水ケーキで3t/日の処理能力を有し、約180kg/日の炭化汚泥を生成するシステムである。脱水ケーキは搬送系にて定量のケーキとして乾燥機をへて炭化炉に入り処理される。排ガス処理系では、乾燥排ガスの臭気はNo1・2熱交換器で熱回収とともに熱風炉にて燃焼脱臭される。一方、炭化炉からの排ガスは、臭気自体は炭化炉内部で燃焼脱臭され、熱量は同様にNo1の熱交換器で回収され、炭化システム全体の熱利用率を上げている。

表-1 炭化システムフロー（実証機）

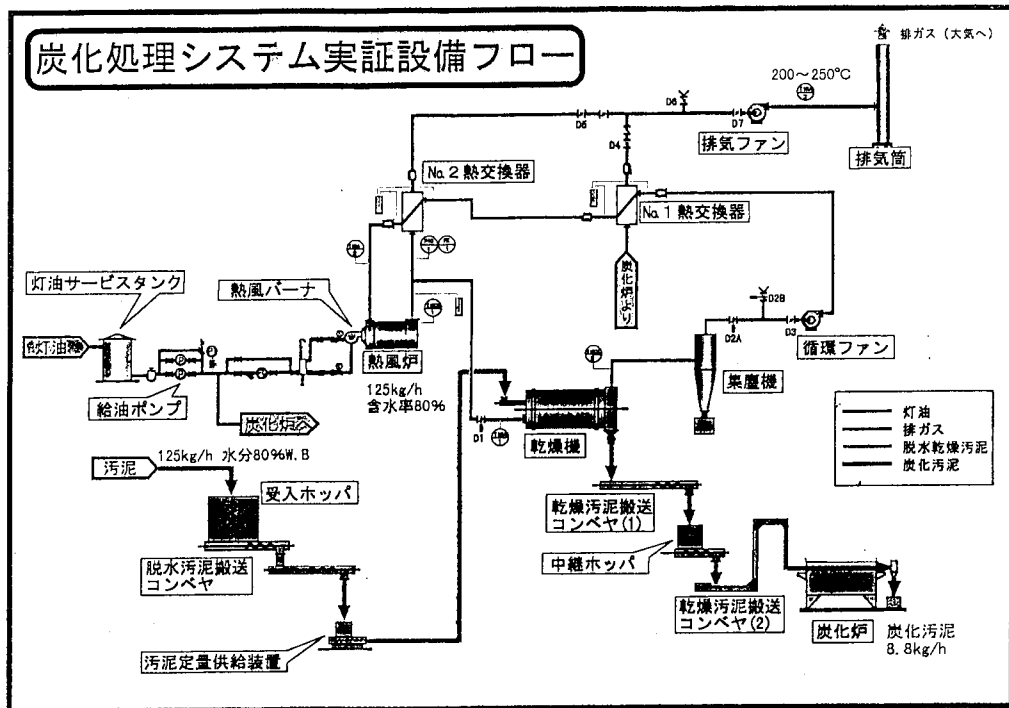


表-2 主要機器仕様

| 機器名称 | 機器仕様 |
|--------|---------------------------------------|
| 受入ホッパ | 5m ³ 、4連スクレーコンベヤ (インバータ駆動) |
| 定量供給装置 | 一軸ネジ式ポンプ (インバータ駆動) |
| 乾燥機 | 直接熱風攪拌翼付き円筒型乾燥機 |
| 熱風発生炉 | 円筒横形直火式、バーナ20万 cal/h、脱臭炉兼用 |
| 熱交換器 | プレート式 |
| 炭化炉 | 外熱式ロータリーキルン |
| 集塵機 | マルチサイクロン |

4 実証運転結果

図-2～図-5は、脱水ケーキ供給量を一定にし、時間帯によって脱水ケーキの含水率を±5%変動した場合の炭化炉温度と炉内圧および炭化汚泥生成量を計測した結果を示す。運転に用いた供試汚泥については表-3に示す。

表-3 供試汚泥

| 排除方式 | 水処理方式 | 家庭汚水流入比率 | 汚泥種類 | 脱水方式 | 脱水助剤 |
|------|---------|----------|-------|--------|--------|
| 分流式 | 標準活性汚泥法 | 9.9%以上 | 混合生汚泥 | ベルトプレス | 高分子凝集剤 |

炉の安定運転に影響を与える要因は、供給汚泥の含水率と考え、汚泥供給量を一定にした場合、炉に水分負荷の変動を与え、炉温、炉圧の変動および制御の安定性を確認した。水分負荷の変動を図-2に示す。基本的には、80%含水率にたいして±5%の変動を与えた。

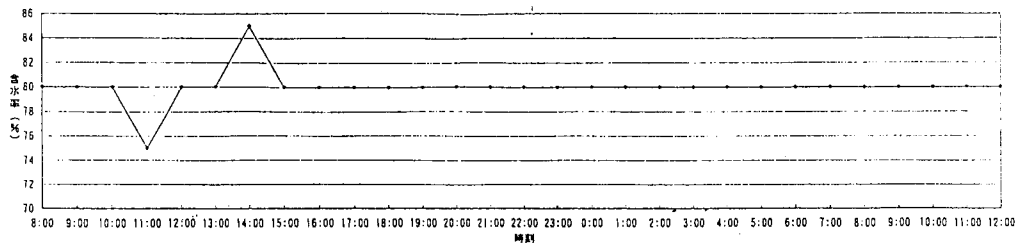


図-2 投入汚泥含水率

図-3、図-4は、炉温度を720℃、炉圧を-0.7mmAqに設定した場合のプロセス値を示している。水分負荷の変動にたいして、炉温度、炉圧は上下限を超えることなく定常運転を継続している。

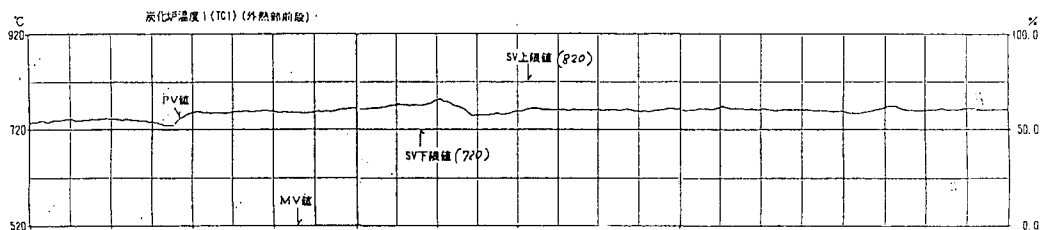


図-3 炭化炉温度

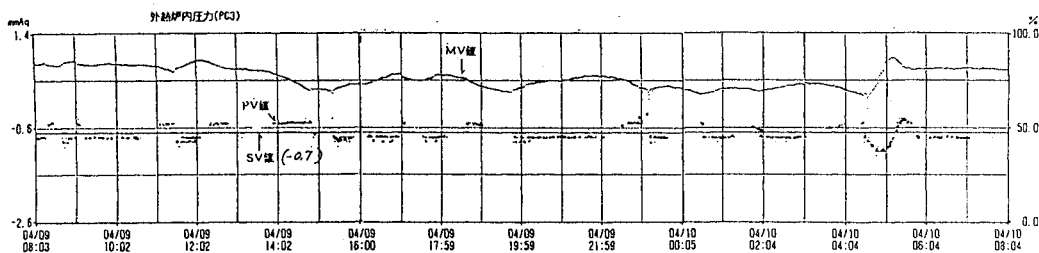


図-4 炭化炉内圧力

5 精練度

下水汚泥の炭化過程では、生成された炭化汚泥の質の判定が求められる。研究室規模での炭化汚泥の物性実験による物性値は、時間とともにBET表面積、炭素量、電気伝導度、pHが変化する。炉の定常運転から産出される炭化汚泥は、見た目は黒色で質の判断ができない。そこで、リアルタイムにおいて炭化汚泥の炭化の程度を判断するために、精練度計という木炭の炭化程度を知る計測器を導入した。精練度とは、炭化汚泥表面二点間の電気抵抗の指数として表される。

例えば、 $10^6 \Omega/cm$ は精練度が6と表示される。本実証運転では、炭化汚泥の精練度を2～5の間と定義した。厳密な境界はないが、精練度が6以上になると排出された炭化汚泥中に未炭化物の混入が見られ、反対に2以下では、炭化物に表面酸化されたものが混じり、結果的に外熱室の温度上昇が見られる。

図-5は、実証機において産出された炭化汚泥の精練度の記録である。

このように、炭化過程を外観的に判定することは困難であるが、炭化処理判定に用いた炭化汚泥の精練度測定は、炭化の進行を調べる有効な手段である。

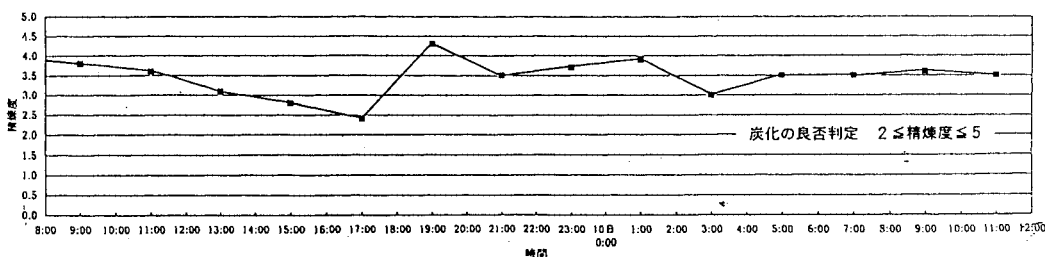


図-5 炭化汚泥精練度

6 まとめ

炭化炉の安定運転を維持するための条件は、投入汚泥の量と水分負荷変動の大きさと考え、実証実験でも短時間負荷変動を与えたが、安定運転からの離脱までは至らなかった。これは、炭化炉の前プロセスである乾燥機によって変動が抑えられたことと、バーナーの制御領域が大きいためと予測される。また、生成物である炭化汚泥の精練度の良否が、炭化の進行を調べる有効な手段であり、製品の品質を確認する上でも重要な計測項目と成り得た。