

汚泥熱分解燃料化システムに関する研究

資源循環研究部 総括主任研究員

内田 賢治



1 研究の背景と目的

近年の地球温暖化問題を受け、下水処理場や電気事業者、大口エネルギー消費者においては温室効果ガス対策が急務となってきた。この両者のニーズを繋ぐ事業として、従来の焼却処分に代え下水汚泥をエネルギーとして利用する燃料化の位置付けが高まってきた。

本研究は、下水汚泥を間接加熱方式により乾燥汚泥とし、乾燥汚泥を中温炭化処理し、より高いエネルギー効率と低環境負荷で固体燃料を製造する。実証実験は、技術・システムの検証と、製造した炭化汚泥の性状および製造過程における環境負荷等の評価を目的に行った。

2 研究体制

本研究は、(株)東芝と本機構の2者で実施した。

3 技術の概要

本システムは、熱分解炉および燃焼炉の二つの要素技術を含み、蒸気間接加熱式の乾燥機と廃熱ボイラとを組み合わせることで熱効率を高めたものである。システムの概略フローを図-1に示す。

投入する脱水汚泥は、蒸気間接加熱式の乾燥機により含水率約20%の乾燥汚泥とする。乾燥機から排出される乾燥排ガスは、スクラバで水分と粉塵等を凝縮除去した後、燃焼炉用の燃焼空気の一部として使用する。乾燥汚泥は熱分解炉に投入し、約400~600℃の中温域の温度帯において低酸素状態で熱分解し、炭化汚泥を

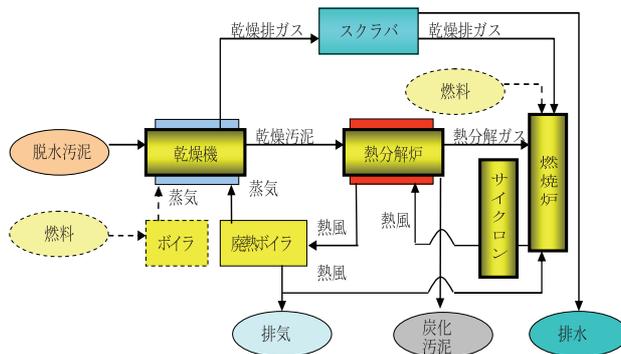


図-1 システム概略フロー

製造する。熱分解時に発生する熱分解ガスは燃焼炉の燃料とし、熱量が不足する場合は、熱分解ガスに加えて補助燃料を燃焼させる。燃焼炉で生成した熱風は、熱分解炉の加熱に使用した後、廃熱ボイラにより熱回収を行う。廃熱ボイラで発生した蒸気は乾燥機熱源として利用する。蒸気量が不足する場合は、別途ボイラを用いて不足する蒸気を補充する。熱回収した後の熱風は、一部を燃焼炉に戻し循環利用して熱効率を高める。余剰の熱風は環境対策を施して排気し、スクラバの排水は下水の処理過程に返流する。構成機器の特徴を下記に示す。

1) 蒸気間接加熱式乾燥機

水蒸気の凝縮潜熱を加熱に利用するため、熱媒の熱容量が大きく、熱風加熱式乾燥機に比べて低温の熱源が利用できる。

また、臭気を伴う乾燥排ガスが熱源と隔離され、さらにスクラバで水分と粉塵等を凝縮除去するため、排気量を抑えられるという特徴を持ち、燃焼炉での脱臭に要する熱負荷が小さい。

2) 熱分解炉

外熱式キルン熱分解炉における回転部と固定部の接

続箇所のシール性を高め、炉内の無酸素状態を確保して、炉内の異常燃焼を防止するとともに、外気流入による熱効率低下抑制を実現する。出口部の高温域のシールは、キルンの径方向および軸方向の伸びにそれぞれ対応した複合型のシールを採用している。熱分解炉を図-2に示す。

3) 燃焼炉

950℃の高温条件で炉内に2秒間以上滞留させることにより、ダイオキシンと同時に亜酸化窒素（以下、N₂Oと記す）の生成を抑制する。中温域で汚泥を熱分解し、熱分解ガスを、燃焼温度を変えながら燃焼させた予備試験の結果を図-3に示す。燃焼温度を950℃とすればN₂O濃度を20ppm程度以下にできると期待される。

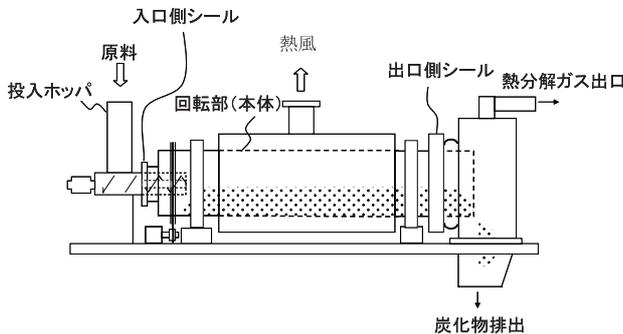


図-2 熱分解炉の構造

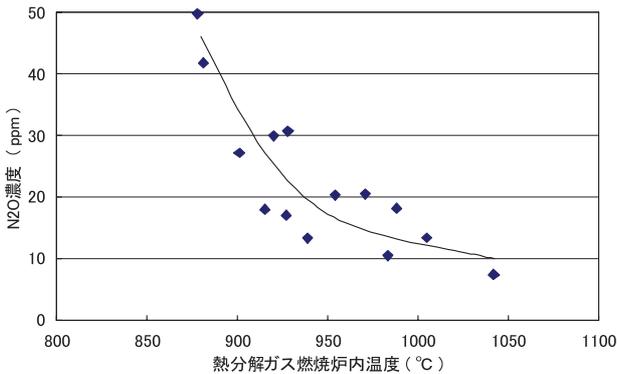


図-3 燃焼炉内温度とN₂O濃度の関係

4 開発目標

循環式流動焼却炉での処理と比較して同等以下のエネルギー使用量で、環境負荷の低減を目指す。また燃料については、既存の石炭使用者が石炭代替燃料として使用可能な性状を有することを目標とする。

表-1 目標性能

| 項目 | 目標性能 (50t-脱水汚泥/日) | | 備考 |
|-----------|---------------------------------|--|---|
| 温室効果ガス排出量 | 200kg-CO ₂ /t-脱水汚泥以下 | | 化石燃料, 使用電力, 生成N ₂ O由来 |
| エネルギー使用量 | 化石燃料使用量 1,500MJ/t-脱水汚泥 | 電力使用量 150kWh/t-脱水汚泥 | |
| 燃料性状 | 分流未消化 78% 18MJ/kg | 製品製造量 70kg-炭化汚泥/t-脱水汚泥 以上 製品発熱量 12MJ/kg-炭化汚泥 以上 | 他に、燃焼性, 安全性, 取扱性について、石炭代替燃料として適用可能な性状を有すること |
| | 合流未消化 75% 17MJ/kg | 製品製造量 75kg-炭化汚泥/t-脱水汚泥 以上 製品発熱量 10MJ/kg-炭化汚泥 以上 | |
| | 分流消化 80% 17MJ/kg | 製品製造量 80kg-炭化汚泥/t-脱水汚泥 以上 製品発熱量 9MJ/kg-炭化汚泥 以上 | |

4.1 目標性能

表-1に連続運転時の性能を示す。

表-1の目標性能のうち、数値目標については、実証実験結果により取得する機器・システム特性を反映したシステム計算によって検証する。また、温室効果ガス排出量は、焼却方式試算値の約半分を目標とした。

4.2 実証実験

実証実験は、熱分解ガス燃焼時のN₂O生成特性を把握する予備実験、エネルギー使用量や炭化汚泥性状等を把握する性能評価実験、排出物の環境性や付着物等の運転性を把握する運転性調査からなる。

実証設備は、乾燥機処理量0.96t-脱水汚泥/24h、熱分解炉処理量1.92t-脱水汚泥/24hであり、通年試験にてデータ採取を行った。

5 性能評価実験

性能評価実験は、目標性能のうち、温室効果ガス排出量、エネルギー使用量、炭化汚泥製造量および炭化汚泥発熱量等の数値目標を評価するシステム評価実験、システム評価実験で得られた炭化汚泥が石炭代替燃料として適用可能か評価する炭化汚泥安全性調査により構成する。

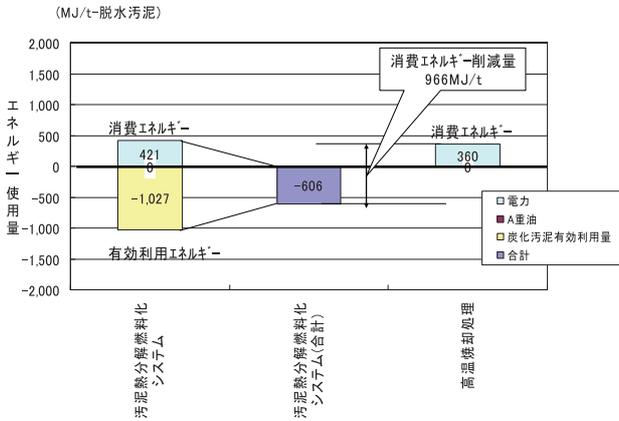


図-4 本システムと高温焼却方式の比較

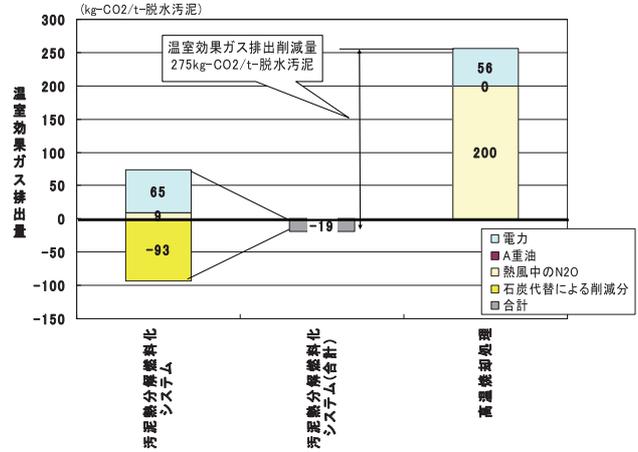


図-5 本システムと高温焼却方式の比較

算結果を図-5に示す。

5.1 システム評価実験

1) 高温焼却と比較したエネルギー削減効果

本システムと高温焼却方式50t/日（1系列）における分流消化脱水汚泥1t当たりのエネルギー収支の試算結果を図-4に示す。

分流消化の場合、消化ガスを利用することにより、重油を不要とすることが可能となる。図-4に示すように、本システムでは炭化汚泥が燃料として製造されるため、それを差分したエネルギー収支は-606MJ/t脱水汚泥と、高温焼却処理の360MJ/t脱水汚泥と比べ大幅削減が可能となる。

2) 温室効果ガス排出量削減効果

本システムおよび高温焼却方式50t/日（1系列）における脱水汚泥1t当たりの温室効果ガス排出量の試

5.2 炭化汚泥安全性調査

安全性の評価として、熱分析・発火性試験・発熱性試験・粉塵爆発試験を行った結果を表-2に示す。燃料製品の安全性は、既存技術である汚泥炭化や乾燥と同程度の結果である。

6 運転性調査

(1) 大気汚染物質濃度

表-3に熱風中の煤塵，SO_x，NO_xについて示す。煤塵，SO_x，NO_xについては生成特性を把握するために除塵・汚染物質除去前の測定結果を記載した。表-3の結果より，選択還元などの脱硝およびバグフィル

表-2 安全性の評価

| 試験項目 | 燃料製品 | 改質乾燥 | 造粒乾燥 | 低温炭化 | 高温炭化 | 備考 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
| 熱分析 (TG-DTA) | | | | | | |
| 開始温度 DTA (°C) | 250.1 | 309.8 | 121.0 | 123.0 | 283.1 | 加熱時の挙動を評価 消防法危険物 (第5類) |
| 100°Cでの減量率 TG (%) | 4.8 | 10.5 | 2.4 | 2.5 | 4.4 | |
| 自然発火性試験 (SIT) | | | | | | |
| 発熱開始設定温度 (°C) | 130 | 140 | 80 | 130 | 250 | SIT型試験機 |
| 誘導時間 (min) | 263 | 153 | 1244 | 378.4 | 593.8 | |
| 自己発熱性試験 (ワイヤーバスケット) | | | | | | |
| 発熱開始設定温度 (°C) | 120 | 140 | 130 | 140 | 250 | 国連勧告/試験マニュアル準拠 |
| ASTM式発火点試験 | | | | | | |
| 最低発火点温度 (°C) | 681 | 458 | - | - | - | 発火危険性の評価 JIS K1474 4.8 |
| 粉塵爆発試験 | | | | | | |
| 爆発下限界濃度 (mg/L) | 発火なし | 790 | - | - | - | JISZ8818準拠 |

造粒・炭化データ出典：消防庁消防研究センター「再生資源燃料等の危険性評価に関する研究報告書」

出典：「改質乾燥による下水汚泥のバイオマス燃料化技術マニュアル 2009年3月」(財団法人 下水道新技術推進機構)

表-3 排ガス中の大気汚染物質濃度

| | '08冬 | '09春 | '09夏 | 大気汚染防止法規制値 |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|------------|
| ダスト (g/m ³ _N) | 0.044~0.084 | 0.071 | 0.086 | 0.04 |
| SO _x (ppm) | 24~120 | 100 | 140 | K値 |
| NO _x (ppm) | 530~680 | 580 | 630 | 250~700 |

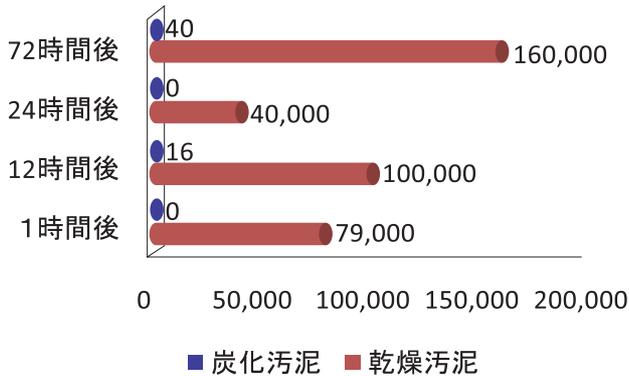


図-6 乾燥汚泥と炭化汚泥の臭気濃度分析結果

タによる除塵が必要である。また、対象汚泥の性状によっては、洗煙設備など脱硫設備の設置検討が必要である。

(2) 炭化汚泥臭気

乾燥汚泥と炭化汚泥の臭気についての比較結果は、図-6に示すとおり、炭化汚泥の臭気が非常に小さい。

(3) 付着物調査

熱風中の灰や、熱分解ガス中のタール等は、機器や配管に付着し成長すると、時間経過とともに配管を詰まらせる等の問題を生じる。

ここでは、付着対策のうちヒータ加熱と機械的掻き取りの効果検証を示す。

1) ヒータ加熱によるタール付着対策

リボンヒータを施工しない時のフランジ部は、短時

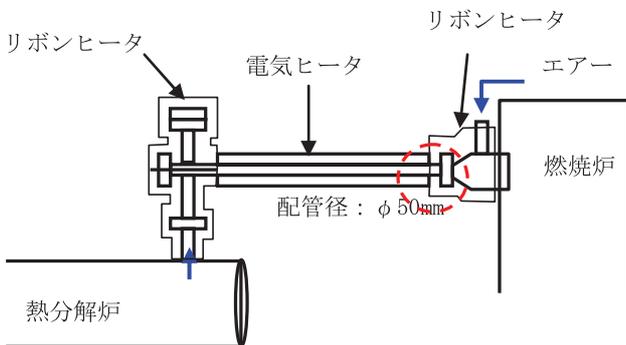


図-7 加熱方法の違いによるタール付着状況

表-4 ケーススタディ結果概要

| 項目 | 設定値 | 備考 |
|----------|--------------------|----------------------------------|
| 脱水汚泥処理量 | 50ton/日 | 分流消化 |
| 年間運転日数 | 310日 | 24時間運転/日 |
| 施設建設コスト | 2,750,000千円 | 土木・建築, 機械設備, 電気設備 |
| 汚泥資源化コスト | 12,300円/ton - 脱水汚泥 | 運転委託費, 修繕費, 電力費, 水道費, 薬剤費, 充填剤費等 |

間でタールが付着し閉塞気味となる。300℃で加熱していた部分を観察したが、ここにもタールの凝縮が認められ、500℃で加熱した場合、タールの付着は認められなかった。

2) 機械的掻き取り

機械的にタールを掻き取ればタール付着の防止効果は高いため、採取したタールを還元雰囲気において一定速度で温度上昇させた時の重量変化を測定した結果、低沸点(低粘度)成分の存在を確認した。180~500℃の全領域での掻き取りは適用可能と判断された。

7 経済性の評価

コスト評価は、LOTUSプロジェクトの評価方式で行った。脱水汚泥処理量50ton/日の場合のケーススタディ結果を表-4に示す。

施設は処理場内に設置とし、50ton/日×1系列とし、消化ガス利用を前提条件とした。

炭化汚泥は有価物として販売し、売却収入を1,000円/ton-製品と設定した。また、建設費における補助率を10分の5.5とした。

ケーススタディ結果から、汚泥資源化にかかるコストは12,300円/ton-脱水汚泥となり、設定目標である16,000円/ton以下となった。

8 まとめ

本研究では、これらの研究結果をもとに、概要、特徴を整理するとともに、適用範囲・施設の計画・設計・施工および維持管理等に関する技術的事項について「汚泥熱分解燃料化システム技術マニュアル」にとりまとめた。今後、燃料化積極的な利活用を期待したい。