

高カロリー汚泥の既存施設への影響調査

1. 調査の目的

今後の汚泥性状の変化は、最初沈殿池汚泥の発生量の増加と高濃度化にあることが予想され、それは、現在の汚泥の性状よりも高カロリーなものになっていくものと思われる。

投入汚泥濃度の低含水率化の要因としては脱水機における脱水能力の向上が上げられる。

汚泥の有機分の上昇原因としては、食生活の欧米化、分流式の普及拡大、ディスポーザーの普及、脱水

助剤が無機系の石灰系（石灰、塩化第2鉄）から有機系の高分子凝集剤への変わっていくことなどである。

その場合、汚泥処理の中で最も影響を受ける可能性が高いのは、焼却プロセスである。

本調査は、汚泥の高カロリー化が焼却プロセスの性能や耐用年数に及ぼす影響を定量的に把握し、今後の高カロリー化に伴う焼却プロセスの改善・改築に備えるために実施するものである。

なお、本調査での焼却プロセスは、近年実績が多い流動焼却方式とする。

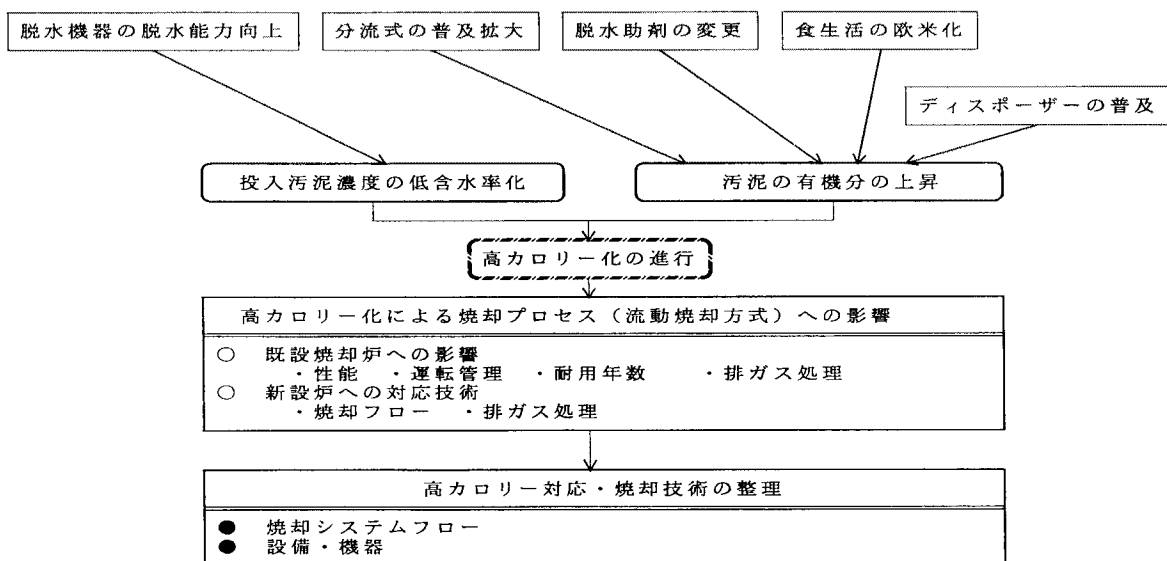


図-1 調査の進め方

2. 調査内容

調査は、1) 設備機器への影響調査と、2) 高カロリー化対応・焼却技術調査の大きく二つであり、調査を進めるに当たっては、下水汚泥の流動床式焼却炉プラントメーカーから、関連する技術資料の提供を受けた。

2.1 高カロリーレベル

高カロリーレベルの検討条件は、以下のとおりとする。

表-1 高カロリーレベル

高カロリーレベル	有機分 (%)	ケーキ 含水率 (%)	ケーキ 保有熱量 (Kcal/Kg-ケーキ)
現状レベル	80.0	80.0	350
変遷過程想定レベルⅠ	85.0	78.0	500
変遷過程想定レベルⅡ	85.0	75.0	650
変遷過程想定レベルⅢ	90.0	73.0	850
最大想定レベル	90.0	70.0	1,000

2.2 既存焼却炉の補修・修繕実績

現状の焼却炉のライフサイクルの実態を把握するために、各プラントメーカーから収集した焼却炉について補修・修繕の累計比率（対建設費）の経年変化を整理した。

累積比率は、経年変数に応じて階段状に増加しており、最初に補修・修繕比率が増大するのは4～6年目である。経過年数が大きくなると大規模な改修が必要であることから増加割合が高くなる傾向にあり、また累積曲線も急になる。

2.3 ライフサイクルコスト分析

焼却炉のライフサイクルを把握するために、プラントメーカー4社から提出された焼却設備で、既に施設の更新を迎えている焼却炉の維持・補修費の実績から、年平均コスト法によりLCC分析を行った。

2.3.1 基本条件

焼却炉のライフサイクル分析を行うにあたっての基本条件は次のとおり。

a) 償却費 (M)

年当たりの償還費は定額法により算出する。

$$M = P \times (1/T)$$

ここに

M：年当たり償却費（千円/年）

P：建設費（千円）

T：経過年数（年）

b) 補修・修繕費 (RR)

・各年の補修・修繕費は、各焼却炉毎の実績値とする。

・年当たりの平均補修・修繕費は、各年の補修・修繕費の累計を経過年数で除して求める。

・デフレータとして、国内卸売物価指数を用いる。国内卸売物価指数は日本銀行の「卸売物価指数年報」による年度平均値を採用する。

・年当たりの平均補修・修繕費の累計を焼却炉使用開始時点を基準年度としてデフレートし、焼却炉実質ベースでの年当たりの平均補修・修繕費を求める。

c) ライフサイクルコスト (M+RR)

年当たりの償却費に年当たりの補修・修繕費を加算して、LCC年平均コストとする。

2.3.2 LCC分析結果

A社～D社の焼却炉10基について、LCC分析を行った。その結果から、以下のことがいえる。

① 経済的耐用年数は、概ね9年目から16年目の間であった。

② LCC曲線は経済的耐用年数を経過後急激な上昇カーブは描いてない。この理由として、耐用年数に達した時期は、施設の更新時期であり、更新に向け大規模な補修・修繕をひかえているためであると考えられる。

一般的に耐用年数としては、物理的耐用年数、経済的耐用年数、機能的耐用年数、標準的耐用年数等がある。

焼却炉に関する各種の耐用年数としては、「下水道施設改築・修繕マニュアル（案）」（平成3年12月、(社)日本下水道協会）で、標準的耐用年数を10年としている。

LCC分析における経済的耐用年数は9～16年と、概ね標準的耐用年数以上であった。

2.4 高カロリー化の影響調査

流動式焼却炉において、投入ケーキ汚泥が高カロリー化に進んだ場合の影響については、メーカーヒアリングを行った結果をまとめると以下のとおりである。

① 炉内温度の高温化によるクリンカの発生

砂層温度の異常高温でクリンカー等が発生が危惧されるとともに、炉内温度、炉出口温度が異常高温となる。

② 炉内の燃焼管理制御の複雑化

自燃しない場合には、重油等の補助燃料使用量の調整により行われていた燃焼温度管理が、自燃する場合には焼却炉内への入熱の制御が必要となる。

特に、炉内への投入ケーキのカロリー変動がおきることから、流動空気風量を制御しないと、 O_2 濃度の不足の可能性がある、 CO 等の増加の可能性もある。

③ 熱回収装置の高温強度低下

排ガスから熱回収を行う空気予熱器等の熱回収装置が高温により強度低下が発生する可能性がある。

④ 排ガス処理設備への悪影響

炉内高温下により NO_x の発生が懸念される。なお、 SO_x 、 HCl 等その他の排ガス性状の問題は投入ケーキが高カロリーとなっても特に発生しないといわれている。

⑤ 焼却処理能力の低下

流動焼却炉の大きさは、熱負荷、水分負荷、空塔速度により決定されるため、投入ケーキのカロリーが高くなると熱負荷、空塔速度の制約から処理能力の低下が余儀なくされる。

④ フリーボード部への冷風送風

2.6 高カロリー化影響の定量的把握

2.6.1 検討条件

高カロリー化の影響を定量化するため、新設のケースにおける各カロリーレベル別の費用をプラントメーカーにヒアリングを行った。

焼却処理能力については、処理人口規模（5～50万人規模）や現時点での焼却炉の稼働実績を考慮し、25, 50, 75, 100w-t/日規模の4種類とする。

比較検討ケースは、以下の2ケースとした。

ケース1：焼却フローとしてはR-2を基本としており、高カロリー化が進んだ場合に、空気冷却器の設置を行うケース。

ケース2：現状レベルから650kcal/kg湿ケーキの発熱量の汚泥に対しては、空気冷却器付きのR-2型流動焼却炉とし、850kcal/kg湿ケーキ以上の発熱量の汚泥に対しては、燃焼空気温度を低下することにより流動空気量が減少し、流動層内の流動化を悪化させるため、炉形式を循環流動床炉とし、炉出口に廃熱ボイラーを設置し、廃熱を蒸気回収するシステムを採用するケース。

2.5 高カロリー化対応型焼却技術調査

既設炉において、投入ケーキが建設当初のカロリーから高カロリー化へと進行していった場合の対応技術をまとめると、以下のとおりである。

自燃域を越えた場合の対応としては、①投入ケーキへの水分調整、②焼却炉への水の直接注水、③空気冷却器の設置、④フリーボード部への冷風の直接送風等をあげている。

なお、投入ケーキへの水分調整は、直接的に含水率を上げ高カロリー化に対応するものであるが、汚泥処理プロセス全体としては、前段の脱水工程において薬品添加率の低減等の運転操作による、また、脱水ケーキのポンプ圧送時での注水による含水率調整等の対応策が考えられる。

1) 自燃点以下の対応技術

① 補助燃料の減少

2) 自燃点を越え過自燃域までの対応

① 投入ケーキへの水分調整

② 焼却炉内への水の直接注水

③ 空気冷却器の設置

2.6.2 費用の積算結果

a) 空気冷却方式（ケース1）

各カロリーレベル別の機械設備費用を積算し、それら4社の単純平均値を積算した結果を以

下に示す。

機械設備費用は、空気冷却器を付加したことにより処理能力にかかわらず約15%アップとなった。

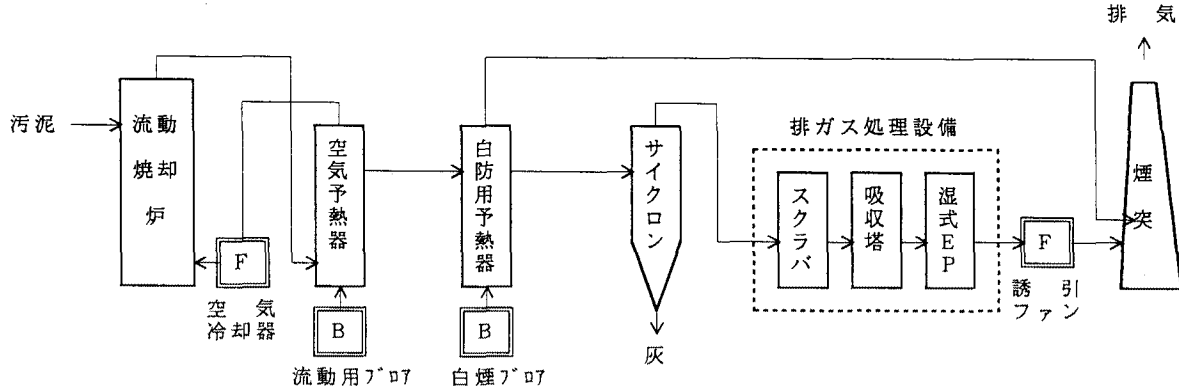


図-2 空気冷却方式のフロー図

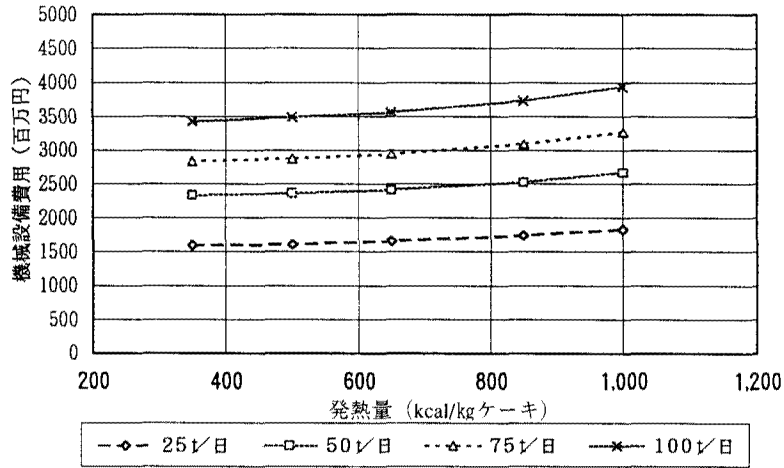


図-3 各カロリーレベル別機械設備費用

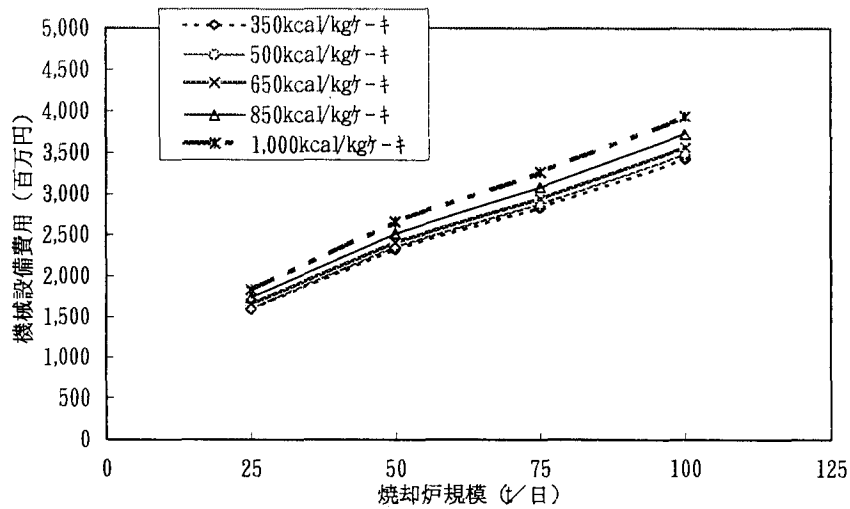


図-4 焼却炉規模別各カロリーレベル別機械設備費用

b) 循環流動焼却+廃熱ボイラー方式 (ケース2)

プラントメーカー2社のヒアリング結果に基づき、各カロリーレベル別の機械設備費用を積算し、それら2社の単純平均値を積算した結果

を以下に示す。

機械設備費用は、1,000kcal/kg湿ケーキの場合で現状レベルに対して約24~36%アップとなる。

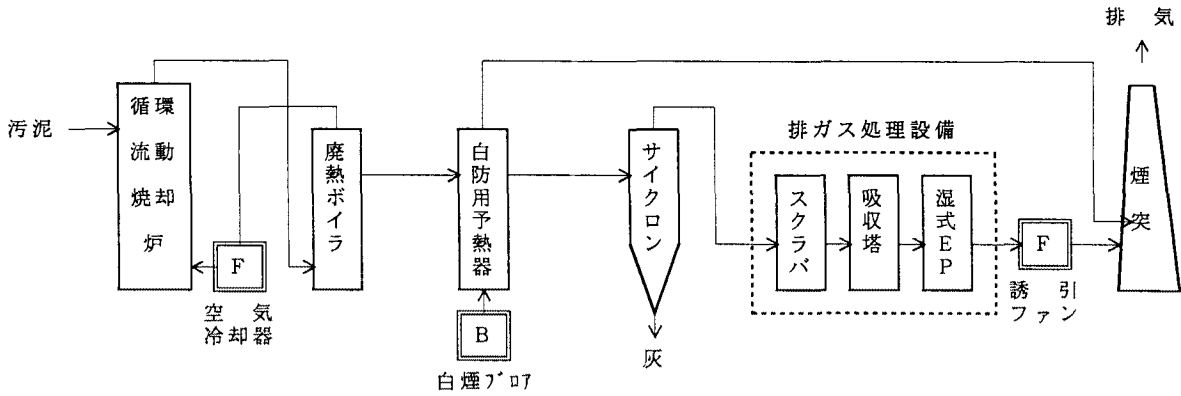


図-5 循環流動+廃熱ボイラー方式のフロー図

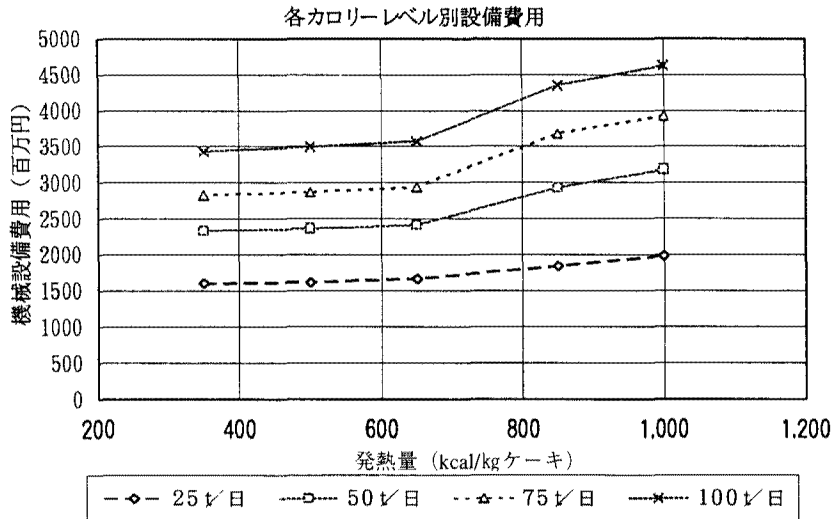


図-6 各カロリーレベル別機械設備費用

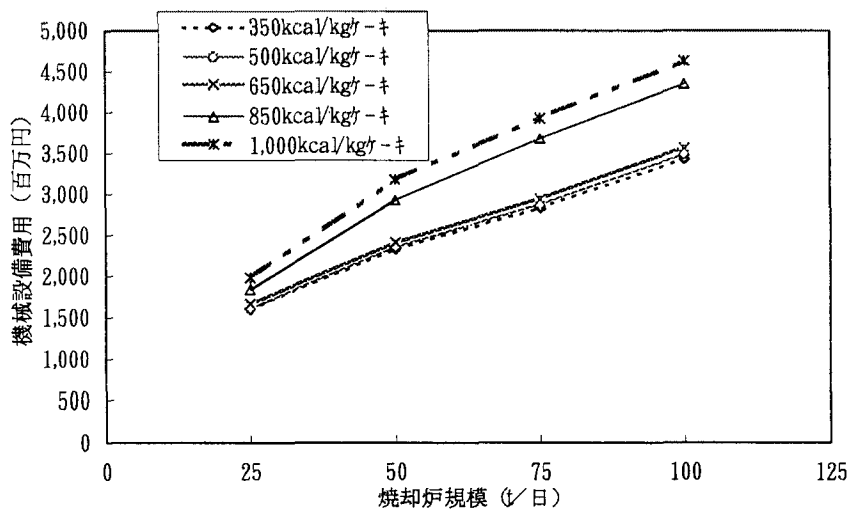


図-7 焼却炉規模別各カロリーレベル別機械設備費用

3. まとめ及び今後の課題

これまでの調査結果をまとめれば、以下のとおりである。

① 焼却炉の補修・修繕の実績について

供用開始後、7年以上経過している流動床焼却炉10施設の供用開始後の経過年数毎の補修・修繕実績を整理し、累積比率を整理した。

その結果、累積比率は階段状の増加しており、供用後最初に補修・修繕比率が増大するのは4～6年目である。また、経過年数を経るにつれ大規模な改修が必要となるため、増加割合が段々大きくなる傾向にあり、累積曲線も急になる。

② 焼却炉の耐用年数

補修・修繕実績からLCC分析により、各焼却炉の経済的耐用年数を検討した。

その結果、経済的耐用年数は9～16年と、下水汚泥焼却炉の標準的耐用年数（10年）程度以上であった。

実績値として、投入ケーキのカロリーレベルまでは把握することができず、投入ケーキの高カロリー化が焼却炉の耐用年数に及ぼす影響については把握することはできなかった。

③ 高カロリー化による焼却炉への影響

流動焼却炉において、投入ケーキが高カロリー化に進んだ場合の影響については、炉内温度の高温化によるクリンカの発生、炉内の燃焼管理制御の複雑化、熱回収装置の高温強度低下、排ガス処理設備への悪影響、処理能力の低下等があげられる。

④ 高カロリー化に対応する既設炉の対応技術

既設炉において、投入ケーキが建設当初のカロリーから高カロリー化へと進行していった場合の対応技術を整理した。

自燃域までは、当然補助燃料の減少で対応可能であるが、自燃域を越えた対応としては、投入ケーキの水分調整、焼却炉内への直接注水、空気冷却器の設置、フリーボード部への冷風送風等が上げられる。

⑤ 高カロリー化に対応する新設炉の対応技術

新設炉において、高カロリー化に対応する技術を整理した結果、廃熱ボイラー方式をシステムとして採用し、熱需要に応じた積極的に熱回収を図ることが考えられる。

また、高カロリー化がさらに進んだ場合には、石炭燃焼分野の応用技術であり、高汚泥負荷運転が可能で省スペース、省エネルギー型で安定した熱回収が可能な循環型流動焼却炉が有効であるとされている。

⑥ 高カロリー化に伴い費用増加

投入ケーキ湿量に対する焼却能力を一定として、カロリーレベルが現状レベルから、300～1,000kcal/kgケーキまで順次増大した場合に、空気冷却方式を付加した場合には、焼却システムの費用が増大する。この費用増加分は、処理規模によらず1,000kcal/kgケーキの場合で、約15%アップであった。

また、カロリーレベルが約800kcal/kgケーキを越える場合には、従来型の流動焼却炉方式から、焼却方式そのものを循環流動方式に変更し廃熱ボイラーを設置して積極的に廃熱回収を行うフローが考えられる。このフローを採用した場合、1,000kcal/kgケーキのカロリーレベルの時、現状レベルに対して約24～36%アップであった。

⑦ 今後の課題

高カロリー化に伴い、エネルギーの有効利用の観点から、低品位の排熱を含めた効率的な熱回収方法の検討が望まれる。

●この調査に関する問い合わせは 研究第一部長 山根 昭
研究第一部主任研究員 横川 佳重
研究第二部研究員 王尾 和寿