

自燃焼却システムの評価に関する 報 告 書

昭和62年10月26日

日本下水道事業団技術評価委員会

目 次

(ま え が き)	395
(評 価 の 対 象)	395
1. 対 象 シ ス テ ム	395
2. 対 象 事 項	398
(評 価 の 方 法)	398
(定 義)	399
1. 自 燃 焼 却 の 定 義	399
2. 自 燃 保 有 熱 量 の 定 義	399
3. 自 燃 限 界 保 有 熱 量 の 定 義	399
(特 性)	399
1. 脱 水 汚 泥 の 熱 的 特 性	399
2. 自 燃 特 性	401
3. 自 燃 に お い て 考 慮 す る 点	402
(設 計 に 当 っ て の 留 意 事 項)	403
1. 基 本 的 留 意 事 項	403
2. 焼 却 シ ス テ ム 選 定 に 関 す る 留 意 事 項	403
3. 汚 泥 輸 送 設 備 に 関 す る 留 意 事 項	404
4. 炉 本 体 設 備 に 関 す る 留 意 事 項	404
5. 熱 回 収 設 備 に 関 す る 留 意 事 項	405
6. 回 収 熱 利 用 設 備 に 関 す る 留 意 事 項	405
7. 排 ガ ス 処 理 設 備 に 関 す る 留 意 事 項	406
8. そ の 他 の 留 意 事 項	406
(維 持 管 理 に 当 っ て の 留 意 事 項)	407
(経 済 性)	408
(付 記)	409

(まえがき)

近年、わが国では下水道整備の進捗に伴い終末処理場から発生する脱水汚泥量が急激に増加している。そのため、汚泥の減量化、減容化および安定化を目的として汚泥の焼却を採用する都市が増加している。一方、最近の脱水、焼却に関する技術開発の進展により、定常時に補助燃料をほとんど消費せずに焼却が可能な施設が現われてきている。

しかし、上記のような焼却は、対象とする脱水汚泥の性状・焼却システム・運転方法などの諸条件が適合した状況において実現するものである。多種多様な脱水汚泥と焼却システムが現存するため、汚泥焼却システムの計画・設計は適切に行われなくてはならない。

本評価委員会は昭和60年8月の日本下水道事業団理事長の諮問に応じ、現状の脱水汚泥の熱的特性ならびに焼却施設の代表的システムの自燃特性・特徴等について、既存施設の実態調査および熱収支モデルを用いたシミュレーションの結果などに基づいて審議を行った。ここにその成果を「自燃焼却システムの評価に関する報告書」として報告する。

(評価の対象)

1. 対象システム

- (1) 本評価の対象とした焼却システムは、脱水汚泥中に含まれる可燃分をガス化燃焼し、その燃焼熱を利用して脱水汚泥中

の水分を蒸発させ、燃焼残渣を焼却灰として取り出すとともに、燃焼・乾燥に伴い発生した排ガスを処理して大気中に放出できる実施設である。

(2) システムの種類は、炉形式、炉からの排ガス引き抜き方式、炉出口排ガスからの熱回収方式および回収熱利用方式等の分類による次の〔T-1〕～〔T-4〕の多段焼却炉システム、〔R-1〕～〔R-5〕の流動焼却炉システム、〔S-1〕の階段焼却炉システムの10システムである。(表-1)

① 〔T-1〕は、炉頂より排ガスを引き抜く方式の多段焼却炉と湿式の排ガス処理設備(水、苛性ソーダによる洗浄方式の冷却・吸収塔および電気集塵機)およびその後段の排ガス脱臭設備(接触還元法あるいは直接燃焼法の再加熱炉等)から構成され、汚泥の乾燥燃焼を炉内で行なう焼却システムである。(図-1)

② 〔T-2〕は、炉頂出口排ガスの一部を炉内に循環させることがシステムの構成において〔T-1〕と異なる。(図-2)

③ 〔T-3〕は、炉の燃焼段より高温排ガスを一部引き抜くことと、再加熱炉の熱源の一部として高温排ガスから熱回収することがシステムの構成において〔T-1〕・〔T-2〕と異なる。(図-3)

④ 〔T-4〕は、炉頂出口排ガスを全量炉内に循環させ燃焼段より排ガスを引き抜くことと、排ガスの滞留室、熱回

収設備（循環ガス，燃焼空気の予熱用熱交換器）を有し，排ガスの脱臭設備を設けないことがシステムの構成において〔T-1〕～〔T-3〕と異なる。（図-4）

⑤ 〔R-1〕は，流動焼却炉と高温排ガスからの熱回収設備（燃焼空気，白煙防止空気の予熱用熱交換器），焼却灰の捕集装置（サイクロン）および湿式の排ガス処理設備等で構成された焼却システムである。（図-5）

⑥ 〔R-2〕は，〔R-1〕より燃焼空気予熱用熱交換器の熱回収程度が高率化されていることがシステムの構成において〔R-1〕と異なる。（図-5）

⑦ 〔R-3〕は，システムの構成において〔R-1〕に脱水汚泥乾燥キャリアガスの予熱用熱交換器と直接汚泥乾燥機を加えたものである。（図-6）

⑧ 〔R-4〕は，システムの構成において廃熱回収熱利用が間接汚泥乾燥機と組合せたものであり，燃焼空気の予熱には用いられない。（図-7）

⑨ 〔R-5〕は，システムの構成において〔R-4〕の廃熱ボイラーの前段に燃焼空気予熱用熱交換器を組み入れたものである。（図-8）

⑩ 〔S-1〕は，〔R-4〕の流動焼却炉のかわりに階段焼却炉を用いると共に燃焼空気の予熱に回収熱を用いた焼却システムである。（図-9）

2. 対象事項

- (1) 脱水汚泥の熱的性状の把握。
- (2) 焼却システムと脱水汚泥性状との相互関連における自燃特性の把握。
- (3) 自燃運転における排ガスの性状とその挙動，排ガス洗浄排水性状等の把握。
- (4) 設計および維持管理に当たっての留意事項。
- (5) 建設および維持管理に係る経済性の検討。

(評価の方法)

本評価は実態調査結果に基づき行なうことを原則としたが、自燃特性，経済性については以下の理由により実態調査の結果のみでは評価が十分に行えない。(図-10)

- ① 自燃焼却されている施設の数が少ないこと。
- ② 炉の形式，操作方法，施設規模等の主要な要素の幅が広いこと。
- ③ 脱水汚泥性状の幅が広いこと。

このため，自燃特性に係る定量的な評価については，実態調査結果に基づいて作成した焼却システムの熱収支モデルを用いたシミュレーションによった。経済性についてのシミュレーションは，本調査により得られた資料を用いた。(表-3，表-4)

(定 義)

1. 自燃焼却の定義

乾燥，燃焼および排ガス処理工程のうち，乾燥および燃焼工程において定常運転時に補助燃料を必要としない運転状態を自燃焼却という。（燃焼の安定化を目的として補助燃料を消費する場合も含む。ただし，シミュレーションにおいては，この補助燃料消費量を考慮しない。）

2. 自燃保有熱量の定義

自燃焼却が期待できる脱水汚泥の保有熱量を自燃保有熱量という。

3. 自燃限界保有熱量の定義

自燃保有熱量のうち最も低い脱水汚泥の保有熱量を自燃限界保有熱量という。

(特 性)

1. 脱水汚泥の熱的特性

(1) 脱水汚泥の含水率は，脱水対象汚泥性状，調質方法，脱水機種および運転方法等の影響を受ける。加圧脱水機により得られる脱水汚泥は真空，遠心，ベルトプレス脱水機により得られる脱水汚泥と比較して，相対的に含水率が低い傾向にある。（図－11）

(2) 脱水汚泥中の有機物含有率は，脱水対象汚泥の有機物含有率および調質方法等の影響を受ける。遠心，ベルトプレスの

脱水機により得られる脱水汚泥は真空，加圧脱水機により得られる脱水汚泥と比較して相対的に有機物含有率が高い傾向にある。（図－１１）

(3) 標準活性汚泥法を採用している終末処理場から発生する脱水汚泥の乾燥固形物の高位発熱量・低位発熱量およびその中に含まれる有機物を構成する元素の含有率は，濃縮汚泥等に有機系高分子を添加して得られる脱水汚泥（以下「有機系脱水汚泥」という）と石灰と塩化第二鉄を添加して得られる脱水汚泥（以下「無機系脱水汚泥」という）に大別し，それぞれの有機物含有率を把握することにより概略的な推定が可能である。（図－１２～１８）

(4) 脱水汚泥乾燥固形物の低位発熱量は，有機系脱水汚泥および無機系脱水汚泥のそれぞれについて高位発熱量の約 0.93 倍である。（図－１９）

(5) 脱水汚泥中の有機物を構成する元素の含有率は，汚泥調質時の添加物の種類，添加率等の影響を受ける。有機系脱水汚泥の場合，炭素：49～59%，窒素 5～10%，水素：5～8%，揮発性硫黄：0.5～2.1%，酸素およびその他：23～37%程度である。無機系脱水汚泥の場合，炭素：36～60%，窒素：4～8%，水素：6～9%，揮発性硫黄：0.0～0.5%，酸素およびその他：27～52%程度である。（図－20，図－21）

(6) 脱水汚泥の熱量的評価は，含水率と乾燥固形物の有機物含

有率から概算できる脱水汚泥の保有熱量によって把握できる。

- (7) 脱水汚泥の保有熱量は， $-200\sim 400\text{Kcal/Kg}$ —湿泥程度の場合が多い。(図-22，表-2，図-23)

2. 自燃特性

- (1) 各システムにおいて自燃焼却は，対象とする脱水汚泥性状，運転操作(投入汚泥量，空気比，炉出口排ガス温度等)方法などの諸条件が適合した状況下で実現する。
- (2) 各システムにおいて対象とする脱水汚泥の保有熱量がそのシステムの自燃限界保有熱量を上回っていても，次のような運転状況では自燃焼却が期待できない。
- ① 脱水汚泥供給量が設定量を大幅に下回る場合
 - ② 空気比が設定値より大幅に高い場合
 - ③ 炉出口排ガス温度が設定値より大幅に高い場合
- (3) システムの種類，施設規模および運転操作等に影響されるが，自燃限界保有熱量は，施設規模が大きくなるに従い低くなる。また，空気比および炉出口排ガス温度が高くなるに従い高くなる傾向にある。(図-24～26)
- (4) 各システムの焼却設備(脱水汚泥の湿重量で 50t/日 規模)における自燃限界保有熱量は，脱水汚泥の含水率，有機物含有率等によって異なるが，以下に示す範囲に入るものと推定される。(表-2)
- ① [T-1]： $460\sim 480\text{ (Kcal/Kg—湿泥)}$

②〔T-2〕：390～400(Kcal/Kg-湿泥)

③〔T-3〕：390～400(Kcal/Kg-湿泥)

④〔T-4〕：480～500(Kcal/Kg-湿泥)

⑤〔R-1〕：560～570(Kcal/Kg-湿泥)

⑥〔R-2〕：470～490(Kcal/Kg-湿泥)

⑦〔R-3〕：400～410(Kcal/Kg-湿泥)

⑧〔R-4〕：320～330(Kcal/Kg-湿泥)

⑨〔R-5〕：320～330(Kcal/Kg-湿泥)

⑩〔S-1〕：420～440(Kcal/Kg-湿泥)

- (5) 〔T-1〕, 〔T-2〕, 〔T-3〕において, 排ガスの脱臭のために再加熱炉を稼働させる場合は, 自燃状態であっても脱臭のために補助燃料を必要とする。(図-22, 表-2)
- (6) 自燃焼却がなされても, 排ガス性状, 排水性状, 電力消費量および給水量等は, 補助燃料を必要とする運転の場合と比較して大差が無いものと考えられる。

3. 自燃焼却において考慮する点

- (1) 対象とする脱水汚泥の保有熱量が各システムの自燃限界保有熱量を大幅に上回る状態では, 設定量の脱水汚泥を安定的に焼却することが困難となる。
- (2) 前記(1)の状態において設定量の脱水汚泥を焼却しようとすると操作範囲を超えることが考えられる。

(設計に当たっての留意事項)

1. 基本的留意事項

焼却設備の設計に当たっては以下に示す項目を的確に把握し、総合的な検討が必要である。

- ① 現状と将来計画を含めた焼却対象汚泥量
- ② 焼却対象汚泥性状とその季節変動および経年変化
- ③ 施設建設地域の周辺環境
- ④ 施設建設地域に課せられた法的規制
- ⑤ 焼却システムの特徴
- ⑥ 維持管理体制
- ⑦ 焼却灰の処分方法
- ⑧ 排ガス洗浄排水等の処理
- ⑨ 緊急時対策

2. 焼却システムの選定に関する留意事項

- (1) 燃焼の制御性から対象とする脱水汚泥の保有熱量(年平均)が、各システム固有の自燃限界保有熱量を大幅に超えないように焼却システムを選定するのが望ましい。
- (2) 脱水汚泥の保有熱量が低くても乾燥固形物の発熱量が高いと、多段焼却炉ではクリンカーを生じる場合がある。
- (3) 階段焼却炉では燃焼機構上から炉投入汚泥の含水率を約50%以下にする必要がある。
- (4) 処分並びに有効利用において、その目的に適した性状の焼

却灰が得られる機種を選択する必要がある。

- (5) 連続運転が原則であるが、稼働初期等において間欠運転を行う場合には、スタートアップが容易なシステムを選択する必要がある。
- (6) 冷却・吸収塔などにおいて、循環水を冷却するための設備を組み入れることにより、水の消費量原単位を大幅に低下させることが可能である。

3. 汚泥輸送設備に関する留意事項

- (1) 焼却を効率的に行うには、炉および乾燥機へ脱水汚泥等を連続的に定量供給することが必要である。脱水汚泥貯留槽等を経由して炉等に投入する場合は、貯留中に脱水汚泥の物性等が変化し定量供給できない場合があるため、定量供給装置の選定に留意する。
- (2) 焼却灰をスクリーコンベア等で輸送する際に摩擦音を生じる場合がある。

4. 炉本体設備に関する留意事項

- (1) 流動焼却炉では、脱水汚泥を炉床に均一に投入することが望ましい。炉規模が大きい場合は、汚泥投入口の複数化および炉頂部から散布を行うなど、必要に応じて対策を講ずる。また珪砂の入れ換えが容易に行えるよう考慮する。
- (2) 多段焼却炉および階段焼却炉では、汚泥を炉床上で均一に

移動させることが望ましい。多段焼却炉では汚泥性状に適合するティース形状の選択，階段焼却炉では汚泥層厚，移動速度の可変化等，必要に応じて対策を講ずる。また，空気が開口部や駆動部から侵入しないよう対策を講ずる必要がある。

- (3) 焼却対象となる脱水汚泥の含水率・有機物含有率および量等は，季節的にも変動するため，負荷変動に対し留意をする。
- (4) 各システムとも連続的な安定燃焼のために，燃焼を制御する対策を講ずることが必要である。

5. 熱回収設備に関する留意事項

- (1) 熱交換器では高温腐食および低温腐食について留意する必要がある。
- (2) 熱交換器および廃熱ボイラーではダスト等の付着により能力を低下することがあるため，スートブロウ，ハンマリング，およびショットクリーニング方式の対策を講ずる必要がある。また，捕集されたダスト等の取出しについても留意が必要である。
- (3) 廃熱ボイラーでは，そこで発生する蒸気等の回収熱量が熱利用設備との関連上余ることがあるため，余剰熱量対策を講じる必要がある。

6. 回収熱利用設備に関する留意事項

- (1) 乾燥機出口では，直接乾燥方式・間接乾燥方式のキャリア

ガスとも、ばいじんが含まれていると同時に臭気があるため留意を必要とする。

- (2) 直接乾燥方式では、ガス温度が高くなると汚泥が着火することも考えられるため留意が必要である。

間接乾燥方式では、脱水汚泥の充填が不十分であると能力が低下することがあるため、その対策を講ずる必要がある。

また、無機分等の伝熱面洗浄物が少ない汚泥の場合には、伝熱面にスケール等が付着し能力を低下させる場合があるため、その対策を講ずる必要がある。

7. 排ガス処理設備に関する留意事項

- (1) 排ガス量の変動を考慮する。
- (2) 各システムとも、冷却・吸収塔および減湿塔からの排水の貯留槽内には沈殿物が溜まることがあるため、その対策に留意する。

8. その他の留意事項

- (1) 誘引ファン、ブロワー、コンプレッサーなどの騒音発生機器は吸音室内に設置するなど、必要に応じて防音対策を講ずる。
- (2) 冷却・吸収塔および減湿塔からの排水は貯留冷却後管輸送するなど必要に応じて防臭対策を講ずる。
- (3) 汚泥の貯留および輸送上で発生する臭気は、吸引し燃焼用

空気として利用するなど必要に応じて処理対策を講ずる。なお、実施に当たってはミスト対策を講ずることが望ましい。

- (4) 炉本体・排ガス処理設備等の焼却システムを構成する主要な機器・装置・設備については余裕を考慮する。
- (5) 停電等による瞬時停止対策および緊急時対策を講ずる必要がある。

(維持管理に当たっての留意事項)

1. 各システムの処理能力は、主に熱量負荷、水分負荷およびガス量負荷によって決定されるため、対象汚泥の含水率、供給量等の管理は、設計条件の許容量の範囲内で変動を極力抑えて行う必要がある。
2. 多段焼却炉では各段の温度、特に燃焼段に接した乾燥段の温度、炉内圧力および炉出口排ガス中の酸素濃度、一酸化炭素濃度等を、流動焼却炉では流動層、フリーボード部の温度、炉内圧力、炉出口排ガス中の酸素濃度および一酸化炭素濃度等を、階段焼却炉では主に汚泥の乾燥、主燃焼、後燃焼の温度、炉出口排ガス温度、炉内圧力および炉出口排ガス中の酸素濃度、一酸化炭素濃度等をそれぞれ監視して炉の運転操作を行うことが望ましい。
3. 主要機器の出入口のガス温度を監視して、熱回収設備、熱利用設備および排ガス処理設備等の運転操作を行うことが望ましい。

4. 流動焼却炉においては、圧力損失および静止時の砂層部位置を監視して流動媒体（珪砂）の交換を行う。

（経済性）

1. 各システムともに、施設規模が大きくなるに従い機械設備、電気設備、土木施設の建設費を加えた費用（以下「建設費」という）の総額は上昇するが、脱水汚泥1トン当りの建設費は安くなり、スケールメリットがでる。（図-27）
2. 焼却対象汚泥の性状（含水率、有機物含有率）が建設費に与える影響は、〔T-1〕～〔T-4〕、〔R-1〕～〔R-3〕、〔S-1〕では微小である。〔R-4〕、〔R-5〕では含水率の増加に伴いやや高くなる傾向にある。（図-28、図-29）
3. 各システムとも施設規模が大きくなるに従い、電気代、燃料代、補修費を加えた費用（以下「運転経費」という）の総額は上昇するが、脱水汚泥1トン当りの運転経費は安くなりスケールメリットがある。（図-30）
4. 運転経費は各システムとも対象となる脱水汚泥性状（含水率、有機物含有率）の影響を受け、含水率が低くなるに従い、また有機物含有率が高くなるに従い、それぞれ安くなる傾向にある。（図-31、図-32）
5. 運転経費と減価償却費を加えた費用（以下「総合維持管理費」という）は、各システムとも汚泥性状の他に補助燃料価格等の影響を大きく受ける。対象となる脱水汚泥性状、施設規模によ

って異なるが、重油価格が40円/kg程度の場合では必ずしも自燃する焼却システムが安いとは限らないこともある。重油価格が120円/kg程度の場合では、自燃する焼却システムが安い。(図-33~35)

6. 各システムとも施設規模が大きくなるに従い総合維持管理費の総額は上昇するが、脱水汚泥1トン当りの総合維持管理費は安くなりスケールメリットの効果が大きい。(図-35)

(付 記)

1. 近年においては、汚泥焼却技術だけでなく脱水技術の開発も活発に行われており、技術の向上が著しい。今後は以下に示すような状況も生ずるものと予想される。

- ① 従来以上に保有熱量の高い脱水汚泥が発生する。
- ② 既存焼却システムでは、余剰熱が多量となり設定量の汚泥を安定して焼却できない。
- ③ 汚泥焼却で発生する余剰熱量を有効に利用できる焼却システムの実用化が期待できる。

従って施設規模が大きく、対象とする汚泥の保有熱量が各システムの自燃限界保有熱量を大幅に上回る状況等においては、安定処理、省資源、省エネルギーの観点から、熱エネルギーを駆動エネルギーなどに有効利用できる焼却システムを考慮することが望ましい。

2. 建設費、総合維持管理費などは、社会情勢から決まる焼却施

設の需要および燃料単価，金利などの影響を大きく受ける。このため焼却施設の建設，システムの改良などを行うに当たっては，経済比較を行うことが望ましい。

3. 多段焼却炉，流動焼却炉の機種選定，設計および維持管理上の諸問題等については，本技術評価委員会が昭和55年6月に報告した「既存焼却設備の評価に関する報告書」にも記載されているため参考とされたい。