

# 下水汚泥の溶融システムの評価に 関する第1次報告書

平成元年3月

日本下水道事業団技術開発部



# 目 次

	ページ
(まえがき) .....	457
(定義) .....	457
1. 下水汚泥溶融システムの定義 .....	457
2. 単位プロセスの定義 .....	457
(1) 前処理プロセス .....	457
(2) 溶融プロセス .....	458
(3) 廃熱回収プロセス .....	458
(4) 廃ガス処理プロセス .....	458
(5) スラグ生成プロセス .....	458
(評価の対象および範囲) .....	458
1. 表面溶融システム .....	458
(1) 〔蒸気間接乾燥機＋表面溶融炉〕型式 .....	458
2. 旋回溶融システム .....	459
(1) 〔蒸気間接乾燥機＋旋回溶融炉〕型式 .....	459
(2) 〔流動焼却炉＋旋回溶融炉〕型式 .....	459
3. コークスベッド溶融システム .....	459
(1) 〔蒸気間接乾燥機＋コークスベッド溶融炉〕型式 .....	459

(下水汚泥溶融システムの特徴) .....	459
1. 表面溶融システム.....	460
(1) 〔蒸気間接乾燥機＋表面溶融炉〕型式.....	460
2. 旋回溶融システム.....	460
(1) 〔蒸気間接乾燥機＋旋回溶融炉〕型式.....	460
(2) 〔流動焼却炉＋旋回溶融炉〕型式.....	461
3. コークスベッド溶融システム.....	461
(1) 〔蒸気間接乾燥機＋コークスベッド溶融炉〕型式.....	461
(下水汚泥溶融特性) .....	462
1. 減容化の程度.....	462
2. 安定化の程度.....	463
3. 無害化の程度.....	463
4. 資源化の程度.....	463
(留意事項) .....	463
1. 塩基度調整.....	463
2. 省エネルギー対策.....	464
3. 溶融システムの規模.....	464
4. 脱水汚泥の性状変動.....	465
5. 定期点検補修の頻度.....	465
6. 廃ガスの性状および処理.....	465
7. 廃水の処理.....	466

(今後の課題)	466
1. 汚泥性状の調整	466
2. スラグ生成の操作条件	466
3. 溶融システムの適正な操作条件	467
4. 乾燥方式	467
5. 溶融炉の耐久性	467



## (まえがき)

下水道普及率の向上と下水処理の高度化にともない水処理施設から発生する汚泥量は年々増加しているが、下水汚泥処分地の確保は困難な状況になりつつある。下水汚泥溶融システムはこのような背景の中で、減容化、安定化、無害化および資源化などの観点から、現在、下水汚泥広域処理事業および大都市地域等において導入されるようになり、今後その採用を検討する都市が増加するものと予想される。

そこで、本委員会は日本下水道事業団理事長の諮問を受けて、現時点で得られる知見と情報を基に下水汚泥溶融システムの技術に関する審議を行い、その結果をここに「第1次報告書」として報告するものである。

## (定義)

### 1. 下水汚泥溶融システムの定義

下水汚泥溶融システムは、脱水汚泥を対象とし、前処理プロセス、溶融プロセス、廃熱回収プロセス、廃ガス処理プロセスおよびスラグ生成プロセスの各単位プロセスより構成される。

### 2. 単位プロセスの定義

#### (1) 前処理プロセス

脱水汚泥を各溶融炉型式に適した含水率、性状、形状に処理し、溶融プロセスへ被溶融物（乾燥汚泥もしくは焼却灰）を安定供給するプロセスをいう。

## (2) 溶融プロセス

前処理プロセスより供給された被溶融物を熱分解、燃焼、溶融し、融液として排出するプロセスをいう。

## (3) 廃熱回収プロセス

溶融プロセスからの廃ガスの熱量を回収し、溶融システム内外で有効利用するためのプロセスをいう。

## (4) 廃ガス処理プロセス

廃熱回収プロセスからの廃ガスを、大気放出に適した性状に処理するプロセスをいう。

## (5) スラグ生成プロセス

溶融プロセスからの融液を冷却、固化し、スラグを生成するプロセスをいう。

### (評価の対象および範囲)

本評価の対象および範囲とする下水汚泥溶融システムは、表面溶融システム、旋回溶融システムおよびコークスベッド溶融システムの3システムとする。これらの溶融システムを、前処理プロセスの機能と溶融炉本体型式との組合せにより以下に示す4型式に大別する。

#### 1. 表面溶融システム

##### (1) 〔蒸気間接乾燥機＋表面溶融炉〕型式

汚泥溶融面は乾燥汚泥が作る安息角ですりばち状に形成される。汚泥の有機分は熱分解、燃焼し、加熱された炉天井の

輻射熱により汚泥中の灰分が融液化し、流動性を持った融液が溶融面を流下しスラグポートから流出する。

## 2. 旋回溶融システム

### (1) 〔蒸気間接乾燥機＋旋回溶融炉〕型式

微粉化した乾燥汚泥を円筒形の炉内に旋回噴入させると、瞬時に汚泥中の有機分が熱分解、燃焼する。汚泥中の灰分は炉内壁のスラグコーティング面に捕捉され融液化し、流動性を持った融液が溶融面を流下しスラグポートから流出する。

### (2) 〔流動焼却炉＋旋回溶融炉〕型式

脱水汚泥を流動焼却炉で熱分解、燃焼させた焼却灰を円筒形の溶融炉内へ旋回噴入させる。焼却灰は炉内壁のスラグコーティング面に捕捉され融液化し、流動性を持った融液が溶融面を流下しスラグポートから流出する。

## 3. コークスベッド溶融システム

### (1) 〔蒸気間接乾燥機＋コークスベッド溶融炉〕型式

乾燥汚泥はコークスとともに炉内へ投入され、汚泥中の有機分がコークスベッド層の上部で熱分解、燃焼する。汚泥中の灰分は通気性のある灼熱したコークスベッド層の間を溶融しながら滴下し、スラグポートから流出する。

## (下水汚泥溶融システムの特徴)

評価対象の各下水汚泥溶融システムの特徴を以下に示す。

## 1. 表面溶融システム

### (1) 〔蒸気間接乾燥機＋表面溶融炉〕型式

- ① 炉内に投入する乾燥汚泥の含水率は10～30％である。
- ② 溶融炉本体の大型化は、炉形状を相似的に大きくしてすりばち状に形成される溶融面の面積と主燃焼室容積を増加させることにより対応する。設計条件は、炉床負荷40～70 kgDS/m<sup>2</sup>・時 (m<sup>2</sup>: 炉構造物の炉床面積), 主燃焼室負荷30～60万Kcal/m<sup>3</sup>・時を用いている。
- ③ 熱分解ガスの濃淡や燃焼廃ガスの偏流による溶融面付近温度の不均一化を起こさせないような、燃焼用空気の吹き込み位置と量の設定が必要である。
- ④ 炉天井を昇降させることにより主燃焼室の容積が可変であり、投入汚泥の溶融特性にあった主燃焼室負荷を選択することができる。

## 2. 旋回溶融システム

### (1) 〔蒸気間接乾燥機＋旋回溶融炉〕型式

- ① 炉内に投入する乾燥汚泥の含水率は10％以下で、粒径を小さくして粒度を整える必要がある。また、噴射ノズルでの閉塞が懸念される繊維質への対策が必要である。
- ② 溶融炉本体の大型化は、炉形状を相似的に大きくして主燃焼室容積を増加させることにより対応する。設計条件は、主燃焼室の容積熱負荷が170～200万Kcal/m<sup>3</sup>・時を用いている。

- ③ 炉内の局所的な温度低下によるクリンカーの発生や未溶融物が廃ガスと共に炉より持ちだされることがないように、噴射ノズルの本数を増加させ、炉内温度を均一に保つことが必要である。
- ④ 溶融炉本体がコンパクトであるため、炉の起動停止が容易である。

## (2) 〔流動焼却炉+旋回溶融炉〕型式

- ① 炉内に投入する焼却灰の含水率はほぼ0%で、粒度調整は不要である。
- ② 溶融炉本体の大型化は、炉形状を相似的に大きくして主燃焼室容積を増加させることにより対応する。設計条件は、主燃焼室の容積熱負荷が  $400\text{万Kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{時}$ 程度を用いている。
- ③ 焼却灰は発熱量がないため、融液化に要する熱をすべて外部より供給する必要がある。
- ④ 脱水汚泥の含水率、有機物含有率および発熱量の変動は前処理プロセスで吸収されているため、溶融炉の運転操作が安定している。

## 3. コークスベッド溶融システム

### (1) 〔蒸気間接乾燥機+コークスベッド溶融炉〕型式

- ① 炉内に投入する乾燥汚泥の含水率は35~45%で、乾燥汚泥は成形して塊状とする必要がある。
- ② 溶融炉本体の大型化は、燃焼用空気の通気圧損等により

ベッド高さに制限があるため、主に断面積を大きくすることで対応する。設計条件は、容積熱負荷がコークスベッド部 100～300万Kcal/m<sup>3</sup>・時、フリーボード部 5～8万Kcal/m<sup>3</sup>・時を用いている。

- ③ コークスベッド層の通気性を阻害する灰分の未熔融や融液の流動性低下が生じる場合は、塩基度調整により汚泥の溶流点を降下させ、融液の流動性を改善することが必要である。
- ④ コークスの消費量は投入汚泥の含水率、発熱量、投入量等の変動に大きく影響されることなく、一定以上必要である。したがって、炉内容融帯の温度を高温に維持することが容易であるため、灰分組成が特殊で溶流点が高い汚泥に対しては適応性が高い。

#### (下水汚泥熔融特性)

熔融プロセスおよびスラグ生成プロセスは以下に示す特性を有する。

##### 1. 減容化の程度

脱水汚泥をスラグ化することにより容積が減少する割合は、有機系高分子凝集剤を用いた脱水汚泥の場合には1/30程度、無機系凝集剤（消石灰添加率は汚泥固形物あたり40%）を用いた脱水汚泥の場合には1/13程度である。

## 2. 安定化の程度

脱水汚泥中の有機物は完全に熱分解され、溶融スラグは焼却灰以上に安定化が図られている。

## 3. 無害化の程度

溶融スラグ中の重金属溶出は「金属等を含む産業廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令」の基準を満たす。

## 4. 資源化の程度

溶融スラグは、融液の冷却方法と再加熱の有無により急冷スラグ、徐冷スラグおよび再結晶化スラグに分類され、建設資材として用途に応じた資源化が可能である。

### (留意事項)

下水汚泥溶融システムの計画、設計および運転管理において留意する事項を以下に示す。

#### 1. 塩基度調整

- ① 下水汚泥の溶融温度特性を表す代表的な溶流点の指標は、炉内から融液を安定して取り出すために必要な炉内温度であり、溶流点は汚泥灰分の塩基度の影響を受ける。汚泥灰分の溶流点が高い場合には、塩基度調整が必要となることがある。
- ② 下水汚泥の溶流点は、塩基度を指標として推測が可能であるが、特殊な成分を含む下水汚泥に対しては、別途調査が必要である。
- ③ 無機系凝集剤を用いた脱水汚泥の場合、塩基度は通常 1 よ

り高く溶流点が高い傾向にある。この場合、珪酸成分を添加して塩基度を1程度に調整し溶流点を下げることが可能である。したがって、塩基度調整の方法について検討することが必要な場合がある。

- ④ 有機系高分子凝集剤を用いた脱水汚泥の場合、塩基度は通常 0.1～0.2と低く、無機系凝集剤を用いた脱水汚泥に比べ溶流点は低い傾向にある。したがって、塩基度調整は必ずしも必要としない。しかし、塩基度が低い場合には融液の粘性が高い傾向にあり、安定した融液の流出には石灰成分を添加して粘性を低下させることが必要な場合がある。

## 2. 省エネルギー対策

- ① 溶融システム内での補助燃料消費量を低減させるためには、熱損失率を抑え、廃熱回収率を向上させる。
- ② 熱損失率を抑えるためには炉内温度を低く保つことが望ましい。したがって、塩基度調整剤添加等の操作により溶流点を低下させることは有効な手段と考えられる。
- ③ 高温となる部材保護のために水あるいは空気により冷却を行なうが、この冷却水に移行した熱量は汚泥乾燥用蒸気の予熱源として、冷却空気に移行した熱量は燃焼用空気の予熱源として回収する等の方策を考慮する。

## 3. 溶融システムの規模

- ① 溶融システムは、有効利用スラッグの量的確保および規模の経済性から一定規模以上が望ましい。

② 溶融システムは規模の効果が働くシステムである。しかし、汚泥溶融システムの単位系列の処理規模は、汚泥発生量の経年変化と全体計画を考慮し、定格運転を目標として決定することが必要である。

③ 単位系列の最大規模は、現時点での実績あるいは計画状況では40T-DS/日程度である。

#### 4. 脱水汚泥の性状変動

① 脱水汚泥の含水率は、季節的および時間的な変動が予測される。一方、溶融炉本体への投入汚泥の含水率には制約があるため、脱水汚泥の含水率を安定させるとともに前処理プロセスで変動に対応することが必要である。

#### 5. 定期点検補修の頻度

① 溶融炉の耐火材は、融液中の成分と低融点の共融物を生成して溶出するため、損耗が激しいと考えられている。このため、頻度の高い定期点検補修が必要である。

#### 6. 廃ガスの性状および処理

① 燃焼廃ガス性状は、ばいじん、いおう酸化物、塩化水素および窒素酸化物とも従来の焼却システムと同程度と考えられる。

② 廃ガス処理プロセスは、主に法規制と周辺環境対策により廃ガスの処理方式と装置の仕様を決定するが、従来の焼却システムと同程度と考えられる。

③ 前処理プロセスにおける臭気成分を含んだ汚泥乾燥機から

の廃ガスは、除湿後、溶融プロセスの燃焼用空気として用いるなど適切な脱臭を考慮する。

## 7. 廃水の処理

- ① 汚泥溶融システムからの廃水は、主に、汚泥乾燥廃ガスの除湿塔と燃焼廃ガスの冷却洗浄塔からの廃水である。これらの廃水の性状と量を把握し、処理が必要な場合はその処理方法を考慮する。

### (今後の課題)

下水汚泥溶融システムについて今後解明されるべき課題はつぎのとおりである。

#### 1. 汚泥性状の調整

塩基度調整剤添加によって汚泥の溶流点を降下させることは、炉の耐久性ならびに融液の安定した排出において有利であると考えられる。しかし、石灰、砕石等の無機物添加による塩基度調整は、被溶融物の発熱量を低下させ汚泥溶融システムの補助燃料消費量を増加させる。したがって、塩基度調整とシステム全体の補助燃料消費量との関係に留意し、適正な塩基度調整の方法と程度を検討することが必要である。

#### 2. スラグ生成の操作条件

有効利用の目的により要求されるスラグの物性値と形状は異なる。したがって、目的に応じたスラグを得るためには、汚泥灰分の組成、溶融プロセスでの溶融温度およびスラグ生成プロ

セスでの冷却方法と生成スラグの性状との関係を把握することが必要である。

### 3. 溶融システムの適正な操作条件

汚泥溶融の安定化、省エネルギー化および目的に応じたスラグの生成についてそれぞれの目的を満足するシステムの構成および操作条件は明確ではない。したがって、これらの目的に応じた溶融システムの特性を明確にし、適正な溶融システムの構成および操作条件を見いだすことが必要である。

### 4. 乾燥方式

乾燥プロセスでの乾燥方式は、現状、様々な乾燥機機種による方式が提案されている。しかし、これらの乾燥方式の特性について明確にされていない。今後、乾燥方式の特性および適応性について、溶融炉型式との組合せによる汚泥溶融システム全体でのエネルギー収支を考慮しながら検討する必要がある。

### 5. 溶融炉の耐久性

溶融炉の耐久性に関しては、炉材について最も厳しいと考えられる。現状、炉材の補修や交換が容易に行える配慮で対応しているが、今後、補修や交換に頼らない耐久性の高い新素材の開発が望まれる。