

## 省エネルギーに配慮した循環型汚泥処理システムの構築

(株)東京設計事務所 東京支社 坂本 勇

沖縄県石垣市では、島内に産業廃棄物処分場を有していないことから、下水汚泥の最終処分として緑農地還元を行ってきたが、昨今下水汚泥肥料の需要と供給のバランスが取れなくなってきた。一方、島内のし尿処理場は昭和 47 年度に供用開始しているが、老朽化が著しく、可及的速やかに対策を講じる必要性に迫られている。

本報告では、このような課題解決に向けての取組みとして、省エネルギーに配慮した循環型汚泥システムの事例について述べるものである。

**Key Words** : 省エネルギー化、循環型汚泥処理システム、し尿受入れ

### 1. はじめに

石垣市（以下「本市」という。）は、日本最南端に位置する八重山諸島の中核をなす都市で、温暖な気候と風光明媚な自然環境に恵まれた緑豊かな街である。本市は、急速な社会資本整備による市街地の集中化が進み、平成 4 年度から公共下水道事業に着手して、平成 13 年 2 月に石垣西浄化センター（以下「本センター」という。）を供用開始している。汚泥の最終処分は、島内に産業廃棄物処分場を有していないことから緑農地還元を行っているが、下水道事業の進展に伴い、下水汚泥肥料の需要と供給のバランスが取れなくなってきた。

また、本市のし尿処理場は、昭和 47 年度に供用開始しているが、現状は老朽化が著しく、可及的速やかに対策を講じる必要性に迫られている。

本報告では、このような島内における課題解決に向けての取組みとして、省エネルギーに配慮した循環型汚泥処理システムの事例について述べるものである。

### 2. 事業推進の検討課題

本市での現状を踏まえ、事業推進の検討課題を以下に列挙する。

- 島内で完結できる汚泥処理システムの構築
- 老朽化したし尿処理場の対応
- 省エネルギーに配慮した汚泥処理システムの選定
- 柔軟性がある循環型汚泥処理システムの構築と技術的担保

以下に各課題に対する対策を示す。

### 3. 検討課題に対する対策

#### 3.1 島内で完結できる汚泥処理システムの構築

本センターでは、脱水ケーキ（含水率 79%程度）を肥料登録して緑農地還元を行っている。図-1 に現状の汚泥処理システムの概要を示す。

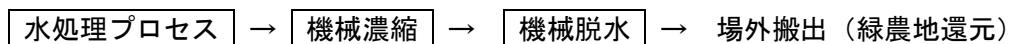


図-1 汚泥処理システム(現状)

緑農地還元を検討する場合には、コンポスト化が筆頭に挙がることが多い。この方式は、発酵反応による汚泥性状の安定化と減容化効果を目的として付加するものであるが、通気性の改善や含水率調整などのためにモミガラ、オガクズなどの添加物を投入混合するため、汚泥容量としての減容化効果は小さいといえる。このことを踏まえ、今後の流入汚水量の伸びに伴う汚泥量の増加を考慮した上で、緑農地還元にかかる需要と供給のバランスを重視し汚泥乾燥プロセスを新たに導入することとした。

汚泥量は、脱水ケーキを乾燥させることで、含水率が 79%から 20%となり汚泥量としては約 1/4 に減容化できる。

#### 3.2 老朽化したし尿処理場の対応

本市のし尿処理場は、昭和 47 年 7 月から供用開始しており、現時点で 45 年間に経過し老朽化の進行が著しい状況である。今までも数次の修繕を行ってきたが、今後抜本的な対策が望まれている状況である。

この対策としては、MICS 事業により公共下水道である本センターに消化プロセスを導入し、し尿及び浄化槽汚泥を段階的に受入れる計画とした。

消化プロセスの導入目的は、単にし尿及び浄化槽汚泥を受け入れるものではなく、前記した緑農地還元を行うに当たり、汚泥量の更なる減容化の促進と汚泥性状の安定化を目的としている。汚泥性状の安定化を消化プロセスの導入目的の一つとする理由を以下に述べる。

下水汚泥は有機分比（約 7 [有機物] : 3 [無機物]）が高いため、肥料として用いる場合は、降雨などにより加湿されることで、再泥化や臭気の発生が懸念される。このため、濃縮の後段に消化プロセスを導入し、汚泥性状の安定化を図るものである。図-2 に消化及び乾燥プロセスを加えた今回計画の汚泥処理システム概要を示す。

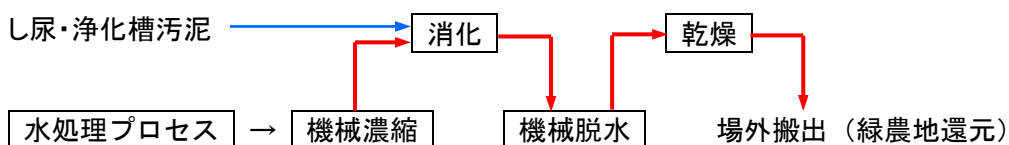


図-2 汚泥処理システム(今回計画)

### 3. 3 省エネルギーに配慮した汚泥処理システムの選定

今回新たに導入する消化プロセスと乾燥プロセスは、省エネルギーの観点から次のような検討を行った。

#### (1) 消化プロセス

石垣市は亜熱帯性気候であることから、年間を通じて温暖な気候下にあり、過去 10 年間 (H17-H26) の平均外気温も 24.4℃と高い。

図-3 に示すように、月別の平均気温を見ても冬期気温で 18℃を下回ることはない。消化に適した消化温度は、低温菌で 15～20℃程度、中温菌で 30～37℃程度であり、低温から中温の温度帯の不連続帯は細菌が馴致すると問題ないといわれている。

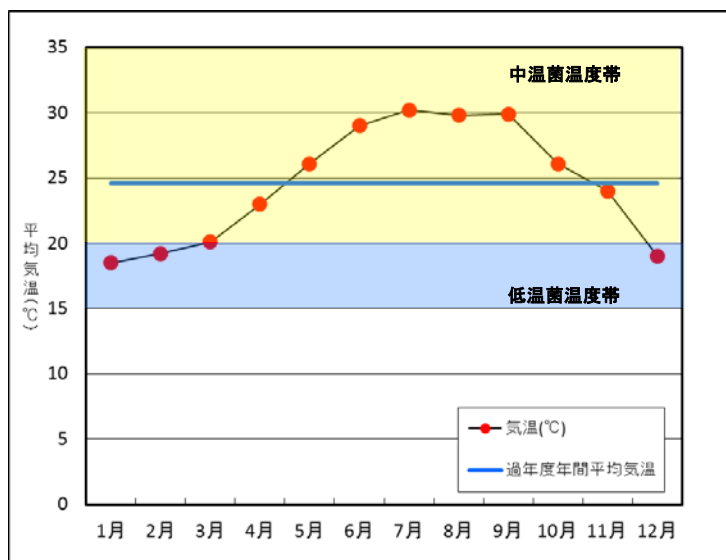


図-3 石垣市の月別平均気温 (H24)

当該地の地域特性を考慮し消化槽の加温方式としては、省エネルギー化の観点から加温装置を設けず外気の温度のみで消化反応を行う無加温式を採用した。

消化日数の設定は、図-4 に示す消化温度と消化日数の関係から消化日数を 40 日間と定めた。

また、消化方式はし尿及び浄化槽汚泥の受入れを考慮し、水処理施設への影響として色度及び COD 濃度の上昇を軽減させる目的から、固液分離水を出さない単段消化方式を採用した。

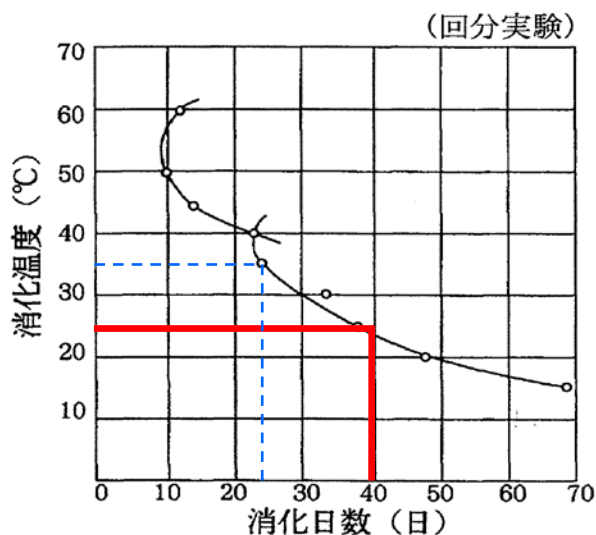


図-4 消化日数と消化温度との関係

出典) 下水道施設計画・設計指針と解説

#### (2) 乾燥プロセス

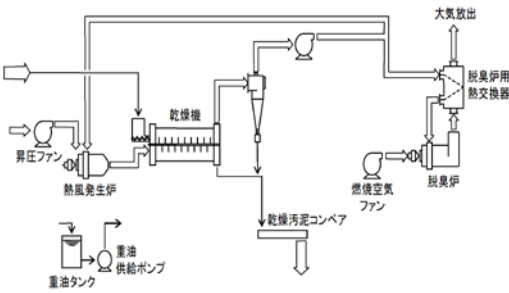
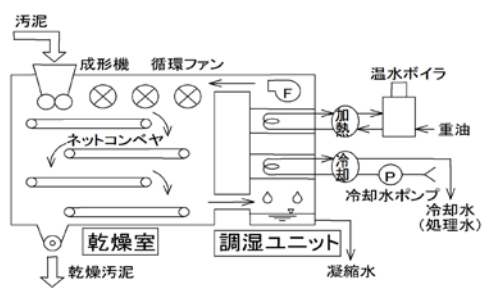
乾燥プロセスでの省エネルギーの対策は、無加温式単段消化法の消化槽から発生する消化ガスを乾燥プロセスで有効利用することを検討した。

乾燥プロセスは、化石燃料等を燃焼させ発生した熱風を用いて短時間で乾燥させる熱風乾燥方式が一般的である。しかし、熱風を用いる方式ではエネルギー消費量が大きく、

消化ガスのみでは熱量が不足し、補助燃料として化石燃料で補填する必要があった。この対策としては、エネルギー消費量の少ない低温除湿型乾燥機の導入について検討を行った。低温除湿型乾燥機は、ペレット状に成形した脱水ケーキを数段のネットコンベヤを配置した乾燥室の中に上部から投入し、低湿度の空気を強制的に循環ファンで内部循環させることで脱水ケーキを乾燥させるものである。乾燥室の除湿は、循環空気を乾燥室外に分岐させ、調湿ユニット内に取りこみ、内部で冷却し結露させた後、凝縮水として系外に排出する。

乾燥方式の比較結果を表-1 に示す。この結果、消化ガスのみで運転を行うことができ、経済性で有利となる低温除湿型乾燥方式を採用することとした。

表-1 乾燥方式の比較

項目	熱風乾燥方式	低温除湿型乾燥方式
概要図		
加熱方式	直接加熱 (500~800℃)	間接加熱 (40~60℃)
乾燥汚泥含水率	20~30%	20~40%
エネルギー消費量 (全体時)	消費消化ガス量 1,500 Nm <sup>3</sup> /日 消費重油量 400 L/日	消費消化ガス量 1,200 Nm <sup>3</sup> /日 消費重油量 - L/日
経済性	建設費 1,000 百万円 維持管理費(※) 140 百万円/年 (※償却費、燃料費含む運転費用の合計)	建設費 930 百万円 維持管理費(※) 110 百万円/年 (※償却費、燃料費含む運転費用の合計)

### 3. 4 柔軟性がある循環型汚泥処理システムの構築と技術的担保

今回提案する循環型汚泥処理システムを柔軟性がある安定的なシステムとするために、以下に挙げる考慮と技術的検証を行った。

- 流入汚水量予測の計画と実績に不一致が生じた場合の対応としては、消化槽の加温方式を中温消化に変更することで、消化槽の増設を回避することができる措置を講じた。図-5 に示すように温水ボイラの温水配管ラインを消化槽にもっていけるように考慮しておき、将来的に必要なに応じて低温消化から中温消化に変更する

ことで、図-4 より計画消化日数を 40 日から 25 日に短縮し消化槽能力を 1.6 倍に向上させることが可能となる。

- 乾燥汚泥（肥料）の需要と供給バランスを保つための対応としては、低温除湿型乾燥機の含水率変更の柔軟性を利用し、乾燥汚泥の含水率変更（20%～40%）によって対応することとした。乾燥汚泥量は 1.0～1.35 の変動比率に対応可能である。
- 下水汚泥肥料を継続的に譲渡する場合には、有償無償に関わらず肥料登録が必要である。乾燥汚泥を安定的に使用できる担保としては、本センターから発生する脱水ケーキを用いて乾燥実験を行うこととした。実験目的は、乾燥汚泥中の病原菌の有無、設計諸元（温度、乾燥時間）の妥当性を確認するものである。

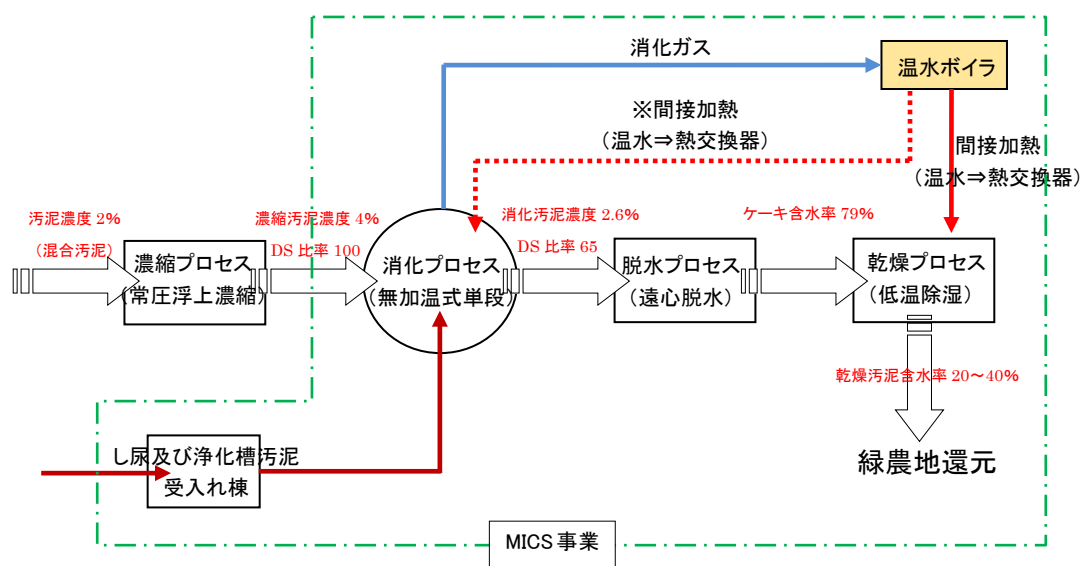


図-5 循環型汚泥処理システムの概要

※将来計画

### (1) 実験概要

低温除湿型乾燥方式の乾燥温度は、40～60℃程度と低いため、病原菌や肥料法に定める公定規格を満足できるかどうか懸念された。このため、本センターの脱水ケーキを用いて乾燥実験を行うこととした。

実験は、脱水ケーキを成形器で成形し、温風ヒータを用いて乾燥させ、所定の含水率になるまでに必要な乾燥時間を確認するとともに、乾燥汚泥の性状分析を行った。

### (2) 実験フローと実験装置

実験装置の概要を図-6 に示す。実験フローとしては、含水率 80%前後の脱水ケーキを 1 検体当たり 40kg 使用し、成形器を用いてペレット状に成形して実機の乾燥時間と同じ 3～4 時間の乾燥を行う。

乾燥温度は 40℃と 60℃の 2 ケースとし、60 分ごとにサンプルを取出し含水率の測定を行う。

(3) 実験結果

実験結果を表-2 に示す。

設計値である乾燥温度 60℃、乾燥時間 4 時間で目標含水率である 20%以下となることが確認できた。

また、含水率 20%の乾燥汚泥中の大腸菌群数は、乾燥温度 60℃、40℃とも検出限界以下になることが確認できた。

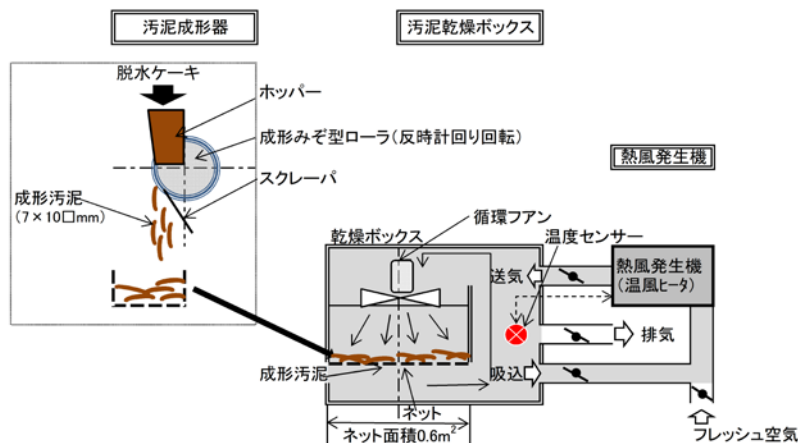


図-6 実験装置概要図

表-2 実験結果

乾燥温度	含水率(%) (検体平均値)					大腸菌群数
	経過時間					
	0分	60分	120分	180分	240分	
60℃	78.2	59.8	33.8	20.3	18.8	<10
40℃	78.5	67.3	56.3	41.2	27.3	<10

4. おわりに

本市の下水道事業を取り巻く課題は多岐にわたり、一つずつの課題を解決するだけでは本質的な解決とはならない。各課題の対策を有機的に結び付ける俯瞰的な視点をもって検討することが重要であるといえる。

今回の省エネルギーに配慮した島内完結型の循環型汚泥処理システムを構築できたことについては、一定の成果が得られたと考えている。

また、消化プロセスは一見陳腐化した技術に映るが、消化プロセスの潜在能力は非常に高く、し尿及び浄化槽汚泥の受入れが容易になり、かつ最終処分形態である緑農地還元に対しても、汚泥性状の安定化の促進により持続可能性が高まると考えている。

今後の下水道事業においては、課題が多岐にわたり、問題が重層化することで解決の糸口が見いだしにくくなってくると考える。本市と共通な課題を抱えている自治体に対し、本件の切り口がひとつの参考事例となることを期待する。