

## 〈特集〉

## 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術の開発

下田 研人<sup>1)</sup>, 小倉 秀夫<sup>2)</sup><sup>1)</sup>JFE エンジニアリング(株) アクアソリューション本部 アクアプラント事業部 技術部 汚泥処理技術室  
(〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2-1 E-mail: shimoda-kento@jfe-eng.co.jp)<sup>2)</sup>JFE エンジニアリング(株) アクアソリューション本部 アクアプラント事業部 技術部 汚泥処理技術室  
(〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2-1 E-mail: ogura-hideo@jfe-eng.co.jp)

## 概要

近年、下水汚泥を固形燃料化し、利活用するシステムが注目されている。その普及には、燃料化物の粉塵発生量の低減および高い発熱量の残留、そしてシステムのエネルギー消費低減が重要となる。JFE では、独自の成型技術と表面固化技術をバンド式乾燥機に組み入れた「表面固化乾燥装置」を開発した。本技術の特徴は、①脱水汚泥の成型による粉塵発生量低減、②低温で乾燥することによる燃料化物への高い発熱量の残留、③汚泥焼却施設等からの廃熱利用、である。本書では本開発について報告する。

キーワード：下水汚泥、表面固化乾燥装置、固形燃料化、B-DASH

原稿受付 2016.1.18

EICA: 20(4) 44-47

## 1. はじめに

近年、下水汚泥を固形燃料化し、利活用するシステムが注目されている。その普及には、燃料化物の粉塵発生量の低減および高い発熱量の残留、そしてシステムのエネルギー消費低減が重要となる。

JFE では、独自の成型技術と表面固化技術<sup>1)</sup>をバンド式乾燥機に組み入れた「表面固化乾燥装置」<sup>2)</sup>を開発した。表面固化技術は、成型した脱水汚泥を約200℃の温風で熱処理し、乾燥物の粉塵発生を抑制するものである。また、低温で乾燥するので、脱水汚泥が保有する発熱量の多くは乾燥物に残留し、システムの省エネ化や汚泥焼却施設等からの廃熱利用も可能である。このような特長を有する表面固化乾燥装置による下水汚泥固形燃料化技術の試験結果について報告する。

## 2. 表面固化乾燥装置の概要と基礎研究

## 2.1 表面固化乾燥装置の概要

本装置の概要を Fig. 1 に示す。本装置は、脱水汚泥を約10 mm 角の割箸状に成型する成型機と、複数段のバンド式乾燥機から構成される。

バンド1 段目は表面固化乾燥ゾーンで、約200℃の温風を用い、滞留時間5~10 分で、成型した汚泥の表面に固化膜を形成する。バンド2 段目以降は仕上げ乾燥ゾーンで、バンド1 段目を通過した温風(約160±20℃)を用い、滞留時間45~90 分で、表面固化処理した汚泥を所定の含水率まで乾燥する。温風の大半は乾燥装

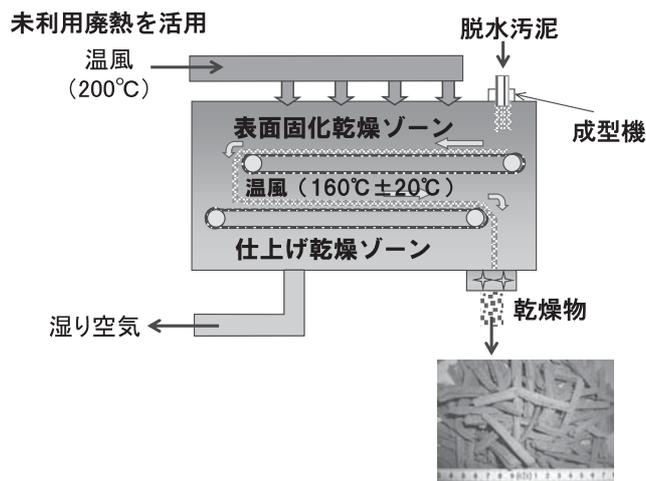


Fig. 1 表面固化乾燥装置

置内を循環させ、一部は排気する。

表面固化乾燥装置による乾燥概念図を Fig. 2 に示す。脱水汚泥は乾燥の前工程で、割箸状に分割成型することにより、温風に接する汚泥の表面を増やしている。後段の「仕上げ乾燥ゾーン」で内部まで乾燥させる。前段の表面固化により、汚泥が付着しづらくなるので、後段の仕上げ乾燥でバンド上に汚泥が堆積しても乾燥効率が落ちることはない。

## 2.2 表面固化乾燥装置の試験方法

Table 1 に試験で用いた脱水汚泥の概要を示す。A センターの脱水汚泥は四期（冬、春、夏、秋）に渡って、その他センターの脱水汚泥は冬期に各1回、脱水汚泥を採取して試験を行った。

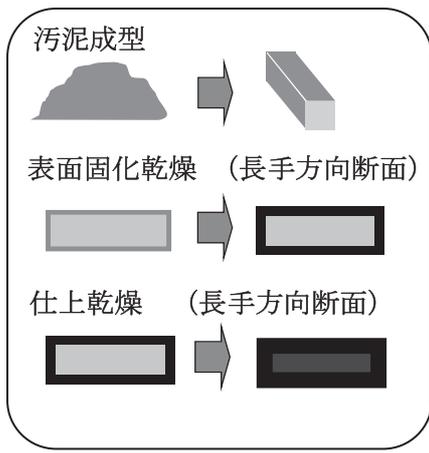


Fig. 2 乾燥工程概念図

Table 1 試験で用いた脱水汚泥の概要

処理場	A センター	B センター
汚泥種類	未消化汚泥	未消化汚泥
水処理方法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法
脱水設備	ベルトプレス	スクリープレス
脱臭助剤	高分子凝集剤	高分子凝集剤
含水率 (%)	71~77	78.1
処理場	C センター	D センター
汚泥種類	未消化汚泥	消化汚泥
水処理方法	酸素活性汚泥法	(汚泥集約処理場)
脱水設備	ベルトプレス	遠心分離
脱臭助剤	ポリ硫酸第二鉄	高分子凝集剤
含水率 (%)	80.6	83.1

### 3. 基礎研究の試験結果と考察

#### 3.1 乾燥物の含水率

Fig. 3 に、含水率 71~83% の各種の脱水汚泥を用いた乾燥試験結果を示す。汚泥性状によって仕上乾燥時間を 45~90 分で調整し、表面固化処理した汚泥から含水率 25% 以下の乾燥物が得られることが分かった。

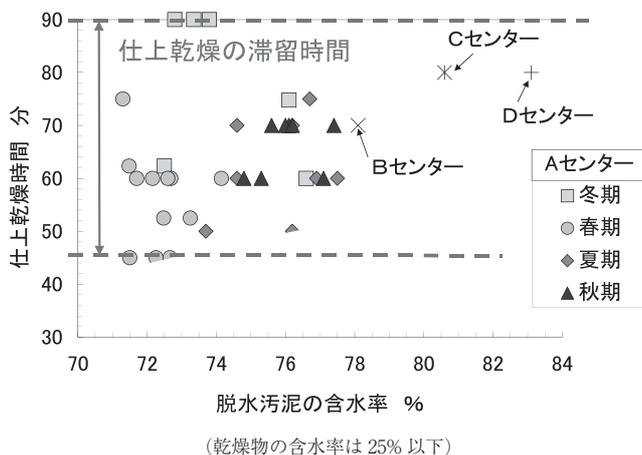
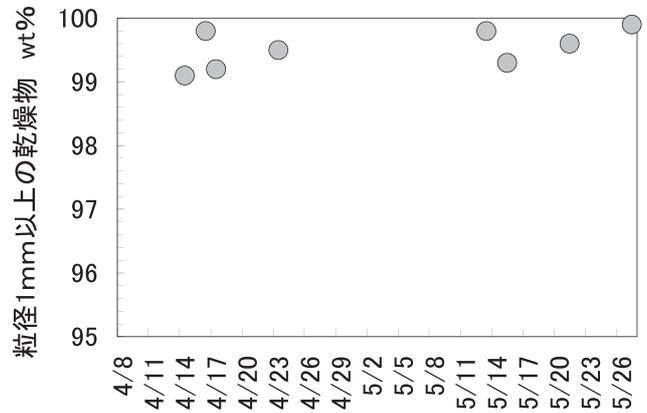


Fig. 3 脱水汚泥の含水率と仕上乾燥時間の関係

#### 3.2 乾燥物の性状

試験装置から排出された乾燥物について、篩い分け試験を実施し、粒径 1 mm 以上の重量比を調べた<sup>2)</sup>。A センター春期においては、乾燥物の 99% 以上が粒径 1 mm 以上となった (Fig. 4 参照)。これより、本装置は汚泥からの粉塵発生量が少なく、乾燥物の取り扱いが容易であると言える。



(A センター春期データ)

Fig. 4 粒径 1 mm 以上の乾燥物の割合

#### 3.3 乾燥物の発熱量

固形燃料化した後、脱水汚泥の発熱量が燃料化物にどれだけ残っているかを表すために、燃料化効率を「脱水汚泥が保有する発熱量に対する燃料化物の残留発熱量の比率」と定義した。Fig. 5 を用いてその算出方法を述べる。

汚泥の固形分は「有機分+灰分」で構成される。有機分は熱処理の際、一部ガス化するため、燃料化物の有機分は減少する。灰分は、熱処理で揮発しないので、その量は変化しないと仮定できる。燃料化物中の灰分  $a'$  は  $a' \geq a$  となり、式(1)で表される。また、式(2)の関係から、有機分の残留率  $\beta$  が、式(3)で表される。

一方、有機分の発熱量は熱処理の条件によって、脱水汚泥と燃料化物で異なる場合がある。ここで、脱水汚泥の有機分あたりの発熱量に対する燃料化物の有機分あたりの発熱量比  $\gamma$  は、式(4)で表される。

燃料化効率  $\eta$  は、脱水汚泥が保有する発熱量のうち何 % が燃料化物に留まるかを意味するので、(有機分の残留率  $\beta$ )  $\times$  (有機分あたりの発熱量比  $\gamma$ ) の積 (式(5)) で表される。

試験で得られた燃料化効率を Fig. 6 に示す。A センターにおける四期の脱水汚泥およびその他 BCD センターの脱水汚泥においても、燃料化効率は 90% 以上であることが確認できる。なお、燃料化効率が 100% 以上のデータもあるが、これは主に、脱水汚泥と乾燥物の灰分分析の結果、 $a' < a$  になったためである。

次に、乾燥物と炭化物の燃料化効率について比較す

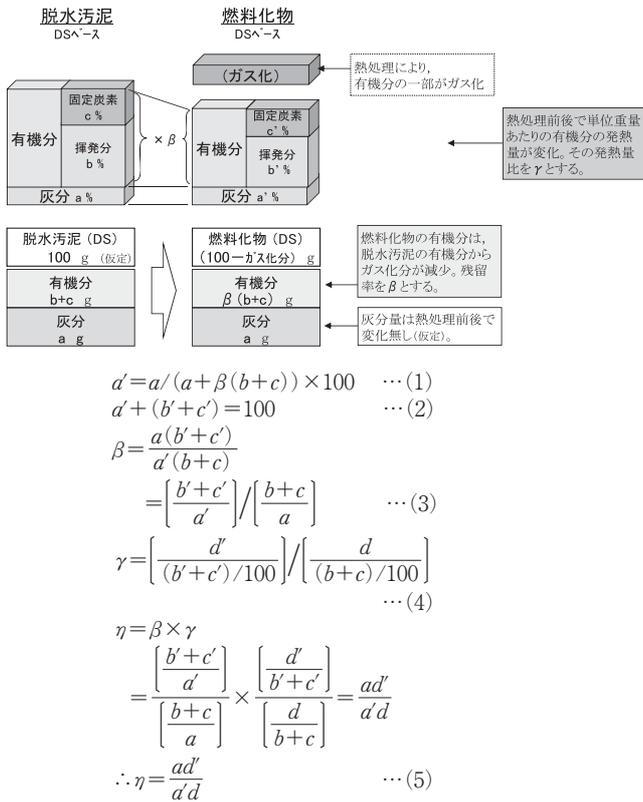


Fig. 5 燃料化効率の考え方

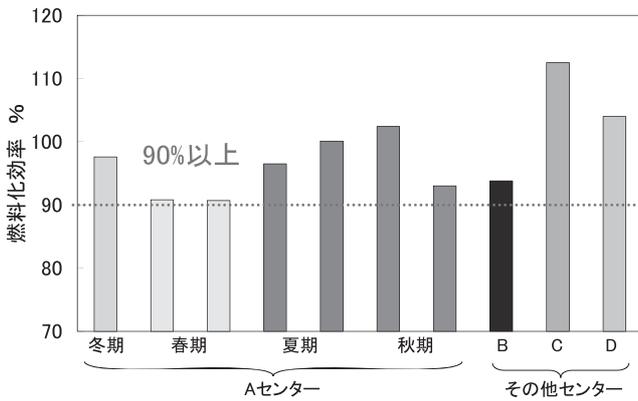


Fig. 6 燃料化効率

Table 2 下水污泥からの乾燥物、炭化物の燃料化効率

乾燥物	燃料化効率
乾燥物	90% 以上
300℃炭化物	68%
500℃炭化物	35%

る。炭化物の燃料化効率については、文献<sup>3)</sup>の炭化物(炭化温度 300℃と 500℃)の灰分および高位発熱量を参考に、式(5)から算出した結果を Table 2 に示す。固形燃料化過程で、炭化物はガス化する有機分が多いので、乾燥物に比べて燃料化効率小さくなる。

## 4. 実証研究の概要と結果<sup>4)</sup>

### 4.1 B-DASH プロジェクトの概要

国土交通省は、下水道に関する新技術の研究開発及び実用化を加速させ、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出の実現を目的として下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)を実施した。平成 25 年度の B-DASH プロジェクトに採択され国土技術政策総合研究所の委託研究として実施された「廃熱利用型低コスト下水污泥固形燃料化技術」(実証フィールド:松山市西部浄化センター, Photo 1 参照)について、本実証研究を報告する。

### 4.2 実証試験の目的

実証研究の目的は、廃熱を有効利用して製造された污泥固形燃料を既設焼却炉へ投入することによる補助燃料削減システムを開発・実証することである。実証試験フローを Fig. 7 に示す。

実証研究では、污泥固形燃料の製造用熱源として化石燃料を使用しない。熱源として使用するのは、焼却炉(脱水污泥処理量:約 45 t/日)の廃熱および未利用の消化ガスのみである。これにより補助燃料使用量



Photo 1 実証研究設備

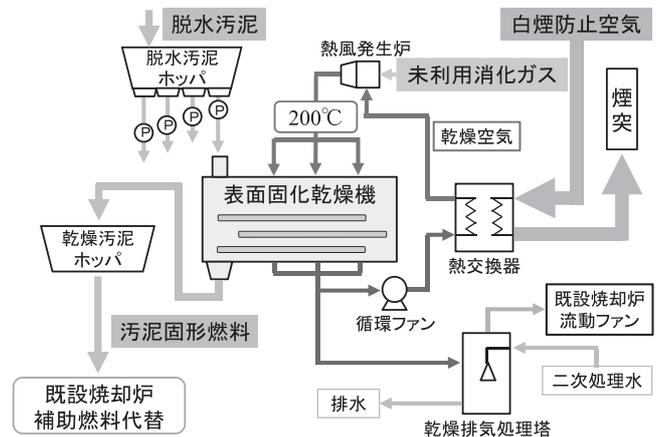


Fig. 7 実証試験フロー

を低減することが可能になれば、大きなコストメリットとエネルギー消費量の縮減効果およびCO<sub>2</sub>排出量縮減効果が期待される。

### 4.3 実証研究結果

実証研究は2013年2月から7月にかけて実施した。汚泥固形燃料の品質目標値を含水率20%以下、灰分50%以下、発熱量12.5 MJ/kg-wet以上と設定した。

得られた結果の一例を以下に紹介する。本運転例では、従来焼却炉で処理していた脱水汚泥46.7t/日のうち、一部(14.4t/日)を乾燥機へ投入し汚泥固形燃料を2.6t/日製造した (Table 3, Table 4, Fig. 8)。

結果、含水率14.7%以下、発熱量15.6~18.2 MJ/kgの高品位の固形燃料を安定して製造することができた (Table 5 参照)。

また、これを焼却炉に投入した結果、補助燃料の使用量は乾燥機導入前の117.0 L/hから47.5 L/hに59%削減され、コスト削減に大きく寄与することが確認された。なお、CO<sub>2</sub>排出量の縮減効果は1119 t-CO<sub>2</sub>/年、エネルギー消費量の縮減量は15101 GJ/年と試算される (Table 6 参照)。

Table 3 試験条件

運転時間 [h]	50
脱水汚泥含水率 [%]	83.6
脱水汚泥投入量 (乾燥機) [t/日]	14.4
脱水汚泥投入量 (焼却炉) [t/日]	32.3
白煙防止空気温度 [°C]	335
白煙防止空気量 (平均) [Nm <sup>3</sup> /hr]	4545
消化ガス使用量 [Nm <sup>3</sup> /hr]	46.4

Table 4 試験結果

汚泥固形燃料製造量	[t/日]	2.6
汚泥固形燃料含水率	[%]	9.9
実証設備の電力使用量	[kWh/h]	77.6
焼却炉補助燃料使用量	乾燥機導入前	[L/h] 117.0
	乾燥機導入後	[L/h] 47.5

Table 5 汚泥固形燃料品質

	脱水汚泥	汚泥固形燃料	目標値
含水率 [%]	83.3~84.6	6.2~14.7	20 以下
灰分 [%]	20.0~26.8	18.3~25.6	50 以下
発熱量 [MJ/kg-wet]	—	15.6~18.2	12.5 以上

Table 6 試算結果

① 補助燃料削減によるCO <sub>2</sub> 排出量の削減	[t-CO <sub>2</sub> /年]	1,447
② 実証設備電力使用によるCO <sub>2</sub> 排出量の増加	[t-CO <sub>2</sub> /年]	328
CO <sub>2</sub> 排出量の縮減量 (①-②)	[t-CO <sub>2</sub> /年]	1,119
③ 補助燃料削減によるエネルギー消費量の削減	[GJ/年]	20,870
④ 実証設備電力使用によるエネルギー消費量の増加	[GJ/年]	5,769
エネルギー消費量の縮減量 (③-④)	[GJ/年]	15,101

試算条件

設備稼働条件	24時間/日, 320日/年
CO <sub>2</sub> 排出係数 A重油	[kg-CO <sub>2</sub> /L] 2.71
CO <sub>2</sub> 排出係数 電力	[kg-CO <sub>2</sub> /kWh] 0.55
エネルギー原単位 A重油	[MJ/L] 39.10
エネルギー原単位 電力	[MJ/kWh] 9.68

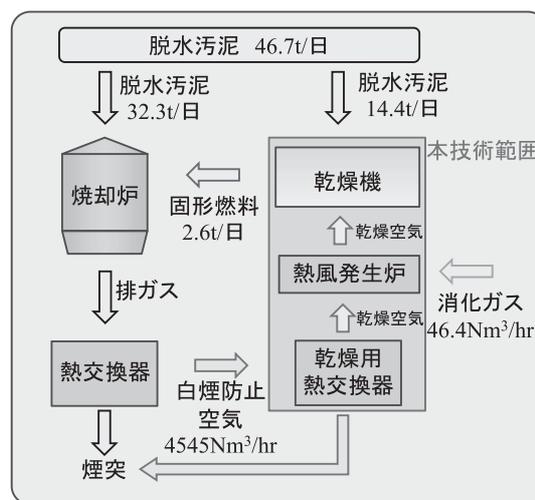


Fig. 8 試験条件概略図

## 5. おわりに

循環型・低炭素型社会の構築が求められている現在、下水道における省エネルギーと創エネルギーの技術開発が必要となっている。未利用廃熱を利用した下水汚泥固形燃料化技術は、その一翼を担う技術として期待される。

### 参考文献

- 1) NEDO 共同研究：バイオマスエネルギー高効率転換技術開発 (転換要素技術開発) 下水汚泥固体燃料化技術の開発 (2006-2007)
- 2) 建設技術審査証明 (下水道技術) 報告書 「表面固化式汚泥乾燥装置 カリット」 2010年3月
- 3) 照沼 誠, 橋本康弘, 小島浩二, 茨木 誠: 下水汚泥固形燃料化における嫌気性消化の影響について, 第46回下水道研究発表会講演集 (平成21年度), I-8-4, pp. 236-238
- 4) 下田研人, 山口真人, 大西宵平: 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術の実証研究, 第51回下水道研究発表会講演集 (平成26年度), S-6-1-2, pp. 220-222