

# 「自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水污泥乾燥技術実証研究(案)」の概要

## 本編

### 第1章 総則

- 目的
- ガイドラインの適用範囲
- ガイドラインの構成
- 用語の定義

◆本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の革新的技術の1つである「自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水污泥乾燥技術実証研究」（以下、「本技術」とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討、計画・設計及び維持管理などに関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

◆地方公共団体等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価導入検討、計画・設計、維持管理等に関する技術的事項についてとりまとめている。

### 第2章 技術の概要

- 技術の目的
- 技術の概要・特徴
- 技術の適用条件
- 技術の導入事例
- 技術の評価結果

#### ○技術の目的（§ 5）

本技術の目的は、自己熱再生型のヒートポンプ技術を利用する乾燥方式によって、**高効率、省エネルギー、低コストで乾燥污泥を生産し、中小規模処理場における污泥の処分費縮減と肥料化・燃料化有効利用の用途拡大を図る**ことを目的とする。

#### ○技術の概要（§ 6）

- （1）実用規模の乾燥機をヒートポンプサイクルに組み込み一体化した高効率なシステム
- （2）乾燥排気を熱源として、これを熱交換器で熱回収して再利用（自己熱再生）
- （3）乾燥排気は熱交換器で凝縮するため排気量は極めて少なく、脱臭設備の負荷が小さい



#### ○技術の特徴（§ 7）

##### 乾燥排気からの熱回収（自己熱再生）

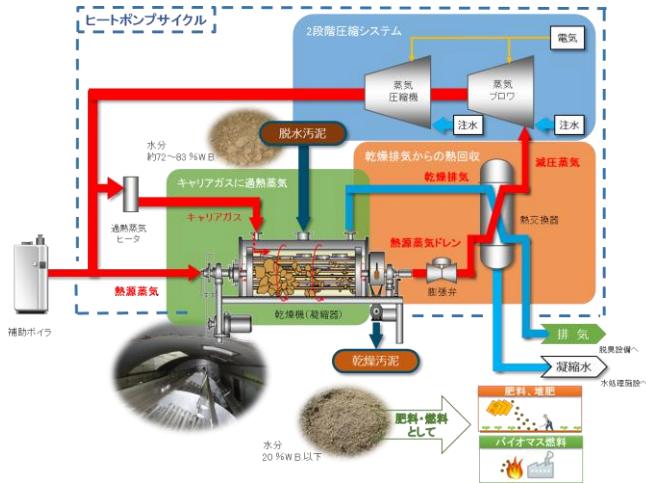
熱源蒸気ドレンは膨張弁で減圧され、熱回収可能な圧力・温度に制御される。その後、乾燥排気の蒸発潜熱を汲み取り、減圧蒸気になる。

##### 2段圧縮システム（蒸気再圧縮）

減圧蒸気を高圧・高温蒸気まで圧縮。生成した蒸気は乾燥熱源として再利用される。

##### キャリアガスに過熱蒸気を用いる乾燥

乾燥機内で污泥から発生する水蒸気の排除に、空気ではなく過熱蒸気を利用している。熱交換器で排気が凝縮するため最終排気量が大幅に低減される。結果、脱臭装置への負荷も低減される。



#### ○技術の適用条件（§ 10）

- （1）脱水污泥 ※既存の脱水機を使用する（条件により）
  - ① 未消化の脱水污泥を対象とする
  - ② 適用水分は、72～83 %W.B.の範囲を対象とする
- （2）脱水污泥処理量  
ヒートポンプシステムの容量がひとつに限定されるため、下記2通り規模のいずれかを選択
  - ① 6,000～9,200 t-wet/年  
小型乾燥機 1,150 kg-wet/h(27.6 t-wet/日)、伝熱面積 250m<sup>2</sup>、ヒートポンプシステム1系列
  - ② 10,000～16,300 t-wet/年  
中型乾燥機 2,260 kg-wet/h(54.3 t-wet/日)、伝熱面積 450m<sup>2</sup>、ヒートポンプシステム2系列
- （3）設置場所  
臭気対策のため、屋内設置とする

#### ○技術の導入シナリオ例（§ 11）

- 本技術の導入が想定される状況として、
- （1）機械脱水のみで外部委託処理している処理場に本技術を導入する。
  - （2）既設污泥乾燥設備の更新時に本技術を導入する。

#### ○技術の評価結果（§ 13）

評価項目	評価指標	実証方法	実証結果
（1）ライフサイクルコスト:LCC (建設費、維持管理費、人件費、補修費)	全量外部委託および従来の乾燥機と比較	LCC試算(削減率)	(全量外部委託比)22%減 ※ (従来の乾燥機[一般費用削減])40%減 ※
（2）維持管理でのエネルギー使用量	従来の乾燥機と比較	エネルギー使用量試算(削減率)	46%減 ※
（3）維持管理での温室効果ガス排出量	従来の乾燥機と比較	CO <sub>2</sub> 排出量試算(削減率)	51%減 ※
（4）肥料としての適正、市場性	成分分析	季節ごとの乾燥污泥成分を分析し適性評価	・有機成分は許容基準内。 ・植畜試験は肥効があり、植害なし。
	市場性	乾燥污泥肥料を生産する自治体および企業へのアンケートおよびヒアリング	・7自治体のうち、3自治体は無償または有償で委託。 ・調査の結果から肥料需要期間は8ヶ月と想定。
（5）燃料としての適性、市場性	成分分析	季節ごとの乾燥污泥の水分、発熱量、成分、安全性を分析し、評価	・発熱量はBSF-15相当(JIS) ・成分分析結果を収集。 ・安全性試験結果から対策案を立案。
	市場性	発電事業者などへのアンケート調査	・15社のうち3社は有償で受入れ可能な回答。 ・近隣に新規燃料利用設備計画がある場合は有償取引の可能性もあり。

※ 試算条件：小型乾燥機（1,150 kg/h [27.6 t-wet/日]、78 %W.B.）として

### 第3章 導入検討

- 導入検討手順 ○導入効果の検討
- 基礎調査 ○導入効果の判断

#### 導入手順検討 (§ 14)

対象とする下水道施設について現況および課題などを把握し、導入効果の評価を行い判断する。

#### 基礎調査 (§ 15)

関連下水道計画の整理、対象施設の実態調査、汚泥利用先の情報調査を行う。

#### 導入効果の検討 (§ 16)

- ・ライフサイクルコスト削減効果 (有効利用促進による費用減減含む)
  - ・維持管理でのエネルギー使用量削減効果
  - ・維持管理での温室効果ガス排出量削減効果
- などから本技術の導入効果を検討する。

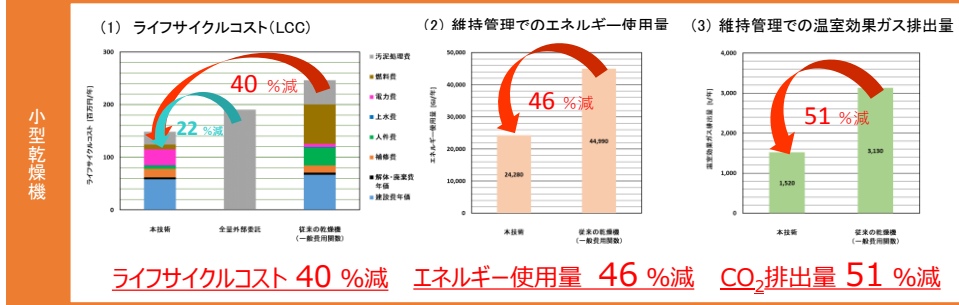
#### 導入判断 (§ 17)

総合的に本技術の導入判定を行う。効果が見込めないと判断された場合は、導入シナリオを見直しを行う。

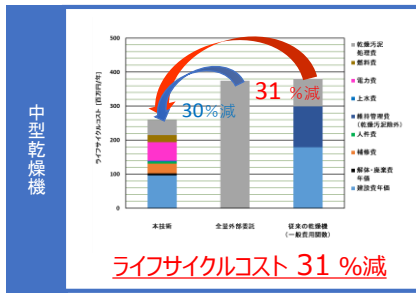
- ・建設費、維持管理、汚泥委託費
- ・設置場所、用役確保、環境対策
- ・施設更新、温室効果ガス削減

### ○導入効果検討事例の結果 (§ 19)

対象規模：小型乾燥機：8,280 t-wet/年 (27.6 t-wet/日)、中型乾燥機：16,296 t-wet/年 (54.3 t-wet/日)  
 比較項目 (1)ライフサイクルコスト (2)維持管理でのエネルギー使用量 (3)維持管理での温室効果ガス排出量  
 比較対象：全量外部委託、従来の乾燥機 (一般費用関数 [乾燥設備を所有する処理場12ヶ所アンケート調査より])



ライフサイクルコスト 40%減 エネルギー使用量 46%減 CO<sub>2</sub>排出量 51%減



ライフサイクルコスト 31%減

#### 試算条件

本技術の乾燥汚泥処理費について  
 10,667円/t-wet (運搬費込)  
 (8ヶ月) 肥料化 無償  
 (4ヶ月) 燃料化 22,000円/t-wet  
 運搬費 5,000円/t-wet とし

- 1) 脱水汚泥処理量 27.6t-wet/日 (1,150kg-wet/h)
- 2) 脱水汚泥水分 78%W.B.
- 3) 乾燥汚泥水分 20%W.B.
- 4) 脱臭設備：直接燃焼式脱臭炉
- 5) LCCIに含める範囲  
 建設費 (土木建設、機械設備、電気設備工事)  
 維持管理費 (電力、燃料、上水、補修費、人件費)  
 解体・廃棄費

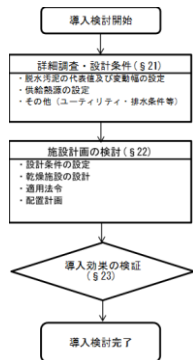
項目	単位	本技術	外部委託	従来技術
脱水汚泥	水分 [%W.B.]		78	
	処理費 [円/t-wet]	—	24,000	23,000
乾燥汚泥	水分 [%W.B.]	20	—	25
	処理費 [円/t-wet]	10,667	—	19,000

### 第4章 計画・設計

- 導入検討手順
- 導入効果の検討
- 基礎調査
- 導入効果の判断

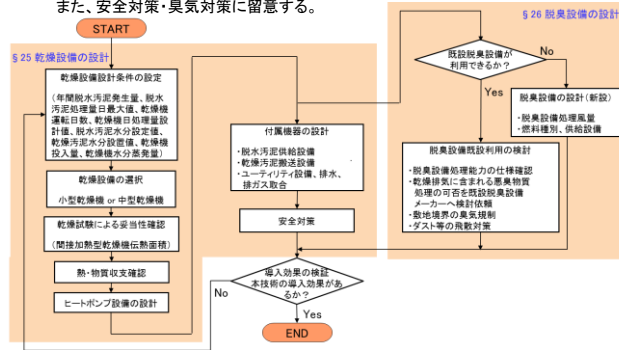
#### ○導入計画手順 (§ 20-)

計画・設計に係る基本事項の詳細調査を開始し、施設計画の検討や導入効果の検討の手順で行う。



#### ○高効率乾燥設備の設計 (§ 24-)

乾燥汚泥の製造量を仮定し、乾燥設備、脱臭設備の設計を行う。また、安全対策・臭気対策に留意する。



### 第5章 維持管理

- 運転管理 ○保守点検
- 緊急時の対応

設備の各機器は自動制御されるが、運転管理、保守点検は行う。

#### ○運転管理 (§ 27)

日常の運転監視・管理項目について以下に示す。

##### (1) 乾燥設備

加熱温度、乾燥汚泥水分、脱水汚泥水分、伝熱管電流値  
 乾燥機内圧力、集塵機差圧、冷却乾燥品温度

##### (2) ヒートポンプ設備

蒸気プロウ入出力圧力/温度、蒸気圧縮機入出力圧力/温度  
 乾燥機入口蒸気温度、乾燥機ドレン温度

##### (3) 貯留設備

乾燥汚泥ホッパ内部温度/CO濃度/O<sub>2</sub>濃度  
 脱水汚泥ホッパ貯留量

#### ○保守点検 (§ 29)

日常点検および定期点検について以下に示す。

日常点検：管理項目、音、振動、確認  
 定期計画保全：チェーン張、給油、機内の付着、確認・洗浄等  
 法定点検：小型ボイラ等

#### ○緊急時の対応 (§ 30)

重大な事故などが発生した場合は速やかに設備を停止する。

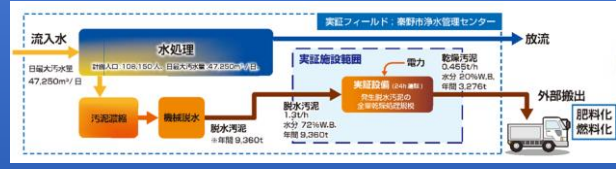
地震発生時、停電時  
 燃料緊急遮断/弁閉止  
 圧縮機ライン大気開放  
 乾燥設備換気弁開放

乾燥汚泥発生火防止  
 過乾燥防止  
 貯留設備内温度監視、CO濃度監視  
 ⇒ 温度上昇時は水噴霧

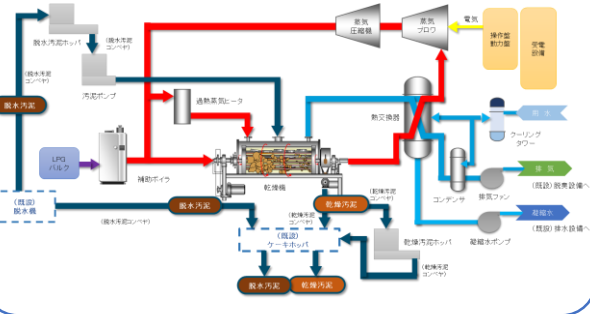


○実証試験の概要

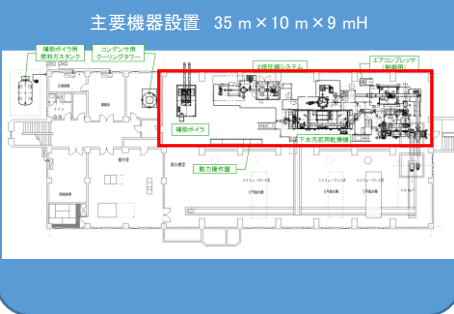
研究名称：自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水汚泥乾燥技術実証研究  
 実施者：(株)大川原製作所・秦野市・関西電力㈱共同研究体  
 実施場所：神奈川県 秦野市浄水管理センター  
 実施期間：平成28年7月～平成30年3月  
 規模：日最大汚水量 47,500 m<sup>3</sup>/日、から発生する未消化脱水汚泥 約31.2 t-wet/日



○実証施設フロー



○実証施設スペース



(実証施設写真)

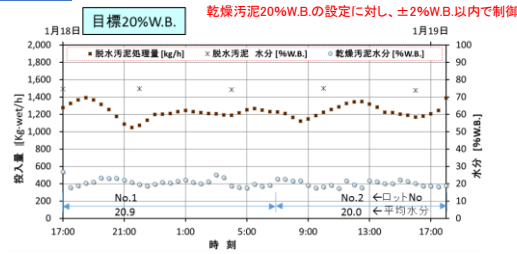
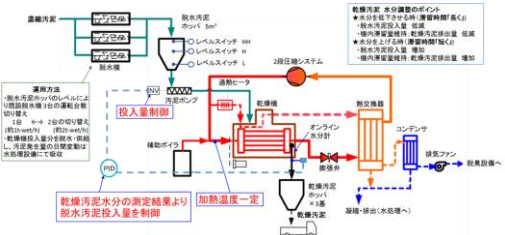
- ① 乾燥機
- ② 熱交換器
- ③ 蒸気圧縮機
- ④ 蒸気プロブ



○乾燥汚泥水分の自動制御

(目標水分) 15、20、25、30%W.B. で制御を確認

※脱水汚泥供給量を増減する自動制御の実証結果  
 乾燥汚泥20%W.B.の設定に対し、±2%W.B.以内で制御



○環境影響

顕著な悪影響は認められない

- ・乾燥排気：既設脱臭設備による薬液洗浄・活性炭処理後の敷地境臭気指数は下限規制値以下。
- ・排水(凝縮水)：BOD値測定結果、水処理設備への負荷が無視できる。

○肥料化・燃料化の適正調査

[肥料化] 一般的な下水汚泥肥料と同等

肥料有効成分、肥料有害成分、重金属溶出、植害試験、肥料効果試験

肥料化に関する主な成分分析結果

項目	単位	乾燥汚泥	乾燥汚泥	乾燥汚泥	乾燥汚泥	許容値	参考成分
		(H29.2.7)	(H29.6.28)	(H29.8.30)	(H29.11.21)		
窒素全量	[wt%]	5.58	5.25	4.77	4.03	—	4.5 2.7
リン酸	[wt%]	2.37	2.01	1.76	1.44	—	3.6 2.3
硝酸カルシウム	[wt%]	0.14	0.09	0.08	0.06	—	0.3 0.2
重曹	[wt%]	0.03	0.31	0.56	0.84	※1	3.7 2.1
炭素	[mg/kg-wet]	310	260	190	170	※1	—
炭素窒素比	[—]	120	120	79	67	※1	—
炭素窒素比	[—]	7	6	6	8	—	6.1 8.2
ナトリウム	[mg/kg-ds]	5.6	5.4	5.5	6.9	—	—
クロム	[mg/kg-ds]	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	50以下 <sup>※2</sup>	—
水銀	[mg/kg-ds]	16	9	10	8	500以下 <sup>※2</sup>	—
ニッケル	[mg/kg-ds]	0.24	0.2	0.16	0.14	2以下 <sup>※2</sup>	—
銅	[mg/kg-ds]	17	8	7	<5	100以下 <sup>※2</sup>	—
亜鉛	[mg/kg-ds]	14	10	10	9	300以下 <sup>※2</sup>	—
ヒ素	[mg/kg-ds]	1.6	1.4	1.7	1.7	50以下 <sup>※2</sup>	—



※1 農林水産省告示第337号 下水汚泥の主要成分の指定(平成13年3月より)  
 ※2 農林水産省告示第1146号 十二 汚泥肥料等(平成26年9月)

【燃料化】BSF-15(JIS)と同等

発熱量、水分、元素分析、重金属、灰分 など物性分析  
 自然発火性試験、示差熱分析など安全性評価

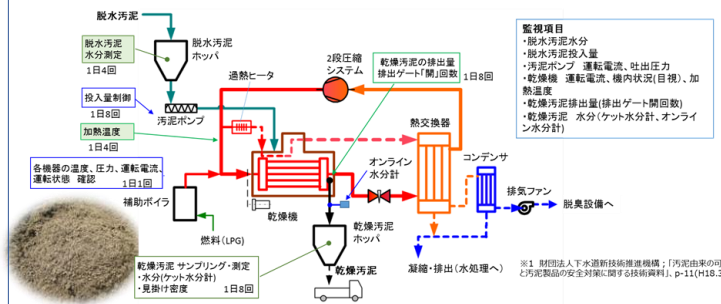
項目	単位	乾燥汚泥	乾燥汚泥	乾燥汚泥	乾燥汚泥	JIS Z 7312	参考
		(H29.2.7)	(H29.6.28)	(H29.14)	(H29.11.21)		
発熱量	[MJ/kg-wet]	19.2	17.4	17.7	15.3	15以上	26~29
発熱量	[MJ/kg-wet]	20.6	20	21.6	20.8	—	—
水分	[wt%]	12.7	19.2	17.9	26.8	20以下	20~51
灰分	[wt%]	6.9	7.6	7.3	6.7	分析値報告	12~16
揮発分	[wt%]	79.9	77.7	79.3	79.8	—	23.9~41.6
固定炭素	[wt%]	13.6	14.8	13.4	13.5	—	38.1~99.8
揮発分	[wt%]	12	8.2	7.1	5.8	—	—
H	[wt%]	47.6	47.2	47.9	46.1	—	66.3~84.9
C	[wt%]	6.41	6.76	6.72	6.68	—	3.7~5.2
N	[wt%]	5.99	6.62	5.92	4.73	—	0.6~1.8
O	[wt%]	29.9	31.4	31.8	35.8	分析値報告	0.6~9.8
S	[wt%]	0.57	0.5	0.43	0.08	分析値報告	0.2~1.0
揮発分	[wt%]	0.06	0.05	0.05	0.04	—	0.1~1.0
灰分	[wt%]	1.22	1.08	0.98	0.84	—	0.03~4.0
揮発分	[wt%]	—	—	—	—	—	—
揮発分	[wt%]	—	—	—	—	—	—

- 安全性評価 分析項目
- ・熱伝導率 [W/m·K]
  - ・比熱 [kJ/kg·ds·K]
  - ・粒度試験 [mm]
  - ・油分 [wt%]
  - ・かさ比重 [kg/m<sup>3</sup>]
  - ・発生ガス分析 (H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/CO/CO<sub>2</sub>)
  - ・発熱試験 (H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/CO/CO<sub>2</sub>)
  - ・粉塵発熱試験 (危険性)
  - ・自然発火試験 (SIT)
  - ・自然発火試験 (自己発熱性判定)

○乾燥汚泥の安全対策

乾燥汚泥の過乾燥(10%W.B.以下)※1防止策を確認

- (1) 乾燥汚泥水分の監視：定時サンプリング測定、オンライン水分計によるモニタリング、警報
- (2) 乾燥汚泥水分の制御：乾燥汚泥水分設定により脱水汚泥供給量を自動制御(15~30%W.B.)
- (3) 過乾燥時の対処：加水などを行い、ホップより排出。フレコンバックなどに小分けして廃棄



他、運搬時・貯留時および発火時などの対策を立案

※1 財団法人下水道新技術推進機構；汚泥由来の可燃性ガスと汚泥成分の安全対策に関する技術資料；p-11(H18.3月)