

# 下水汚泥向けヒートポンプ式低温ベルト乾燥機

## Heat Pump Type Low Temperature Belt Dryer for Sewage Sludge



佐藤朋弘\*  
Tomohiro Sato



谷山拓生\*\*  
Hiroki Taniyama



高橋 円\*\*  
Madoka Takahashi



西村泰宏\*\*\*  
Yasuhiro Nishimura



齋藤典久\*\*\*\*  
Norihisa Saito



和泉一也\*\*\*\*\*  
Kazuya Izumi

当社ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機の下水汚泥への適用を検討した。下水汚泥向けに改良した実験設備を下水処理場内に設置し、脱水汚泥の乾燥実験を実施した結果、含水率20%までの乾燥が可能で、除去水量あたりの消費電力量は0.32 kWh/kgであった。これは水の蒸発潜熱の半分以下に相当する。また、本実験結果をもとに熱風式乾燥機との経済性比較を行った結果、脱水汚泥発生量10トン/日未満の処理場において有利であることがわかった。余剰熱源が無く、脱水汚泥を場外搬出しているような小規模処理場での汚泥処分・運搬コスト削減、搬送先での焼却補助燃料としての利用が期待できる。

We have applied our improved heat pump sludge dryer for drying sewage sludge. As the result of drying tests at a sewage plant, dewatered sludge was dried down to 20 % of water content, and power consumption was 0.32 kWh/kg-removed water. This corresponds to less than half of the evaporative latent heat of water. Further, the economic valuation showed that this dryer would be advantageous for a small plant that has no surplus heat resource and discharges 10 tons per day or less of dewatered sludge. By introducing this dryer in such plants, we can expect the reduction of sludge disposal/transportation cost and usage of dried sludge as auxiliary fuel for incineration.

### Key Words :

下 水 汚 泥	Sewage sludge
ヒ ー ト ポ ン プ	Heat pump
低 温	Low temperature
ベ ル ト 乾 燥 機	Belt dryer

### 【セールスポイント】

- ・ヒートポンプ利用により省エネである。
- ・乾燥に用いる空気が40-50℃と低温で低臭気である。
- ・電気式で操作が簡単である。
- ・ワンユニット設計で付帯機器が不要である。
- ・下水汚泥にも対応できる。

## まえがき

下水脱水汚泥の乾燥は、減量化による運搬・処分費の削減や、高カロリー化による焼却時の燃料消費量の削減などの効果があるため、下水汚泥処理の省エネ、省コスト化の有効な手段の一つといえる。しかし、従来の汚泥乾燥機では、水分の蒸発潜熱分に加え、熱風炉や蒸気ボイラでのロスを補うため、多くのエネルギーが必要で、とくに利用できる熱源のない小規模処理場ではメリットが少なかった。そこで、省エネを特長とする当社ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機の下水汚泥への適用を検討した。本乾燥機は主に無機汚泥向けで多くの実績を有するスイス Watropur 社の製品で、2011年度に販売提携契約を締結し、2011年12月には神戸製鋼所真岡製造所殿に1号機を納入したものである。これを下水汚泥向けに改良した実験設備を試作し、明石市大久保浄化センター内にて脱水汚泥の乾燥実験を実施した。

### 1. 実験装置と方法

ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機は、ヒートポンプを利用した除湿乾燥を原理とする汚泥乾燥機で、以下のプロセスで乾燥を行う（図1）。

- ① 送風ファンによってベルト乾燥室に送られた乾き空気は、ベルトコンベア上の汚泥中の水分を取込み湿り空気となる。
- ② 乾燥空気発生装置に戻った湿り空気は、クーラで冷却され、空気中の水分が凝縮除去される。
- ③ 水分除去された空気はヒータで昇温され、再び乾き空気となる。（以上繰り返し）

空気の加熱・冷却は冷媒との熱交換により行われる。乾き空気が40～50℃と低温であることや、ヒ-

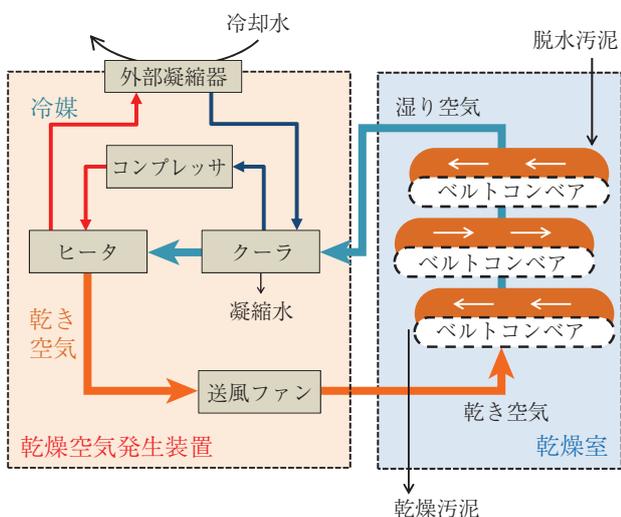


図1 乾燥原理

トポンプ利用により省エネである、ワンユニット設計で付帯機器が不要であるなどの特長がある。

脱水汚泥は、ベルトコンベアで搬送されながら乾燥され、スクリーコンベアで排出される。投入から排出までの乾燥時間は、汚泥性状や目標含水率によって決まり、およそ4～6時間である。

下水汚泥向け試作機（写真1）では通気性を高めるため、脱水汚泥を麺状に成形した状態で乾燥機に投入する。また、空気と汚泥の接触時間を長くするため、ベルトコンベアの段数を従来の2段から3段に増やした。また、使用冷媒の見直しも行い省電力化を図った。さらに、臭気・腐食対策として、シール性の強化や腐食性ガス／機器類の隔離構造の採用等を実施した。

### 2. 実験結果

#### 2.1 受入量と排出量

図2に脱水汚泥受入量と乾燥汚泥排出量週ごとの実績を示す。運転日数（0～5日/週）、運転時間（0～8時間/日）が異なるため変動があるが、期間全体では脱水汚泥15.5トンを受入れ（うち1.3トン未処理）、乾燥汚泥3.7トンを排出した。したがって、約1/4に減量化した計算となる。水分が除去され高カロリー化した乾燥汚泥は焼却処分した。

#### 2.2 乾燥性能

投入量を変化させることで、様々な排出汚泥含水率における乾燥性能データを取得した。乾燥性能は水1kgの除去に要する電力量で評価した。図3に示すように、排出汚泥含水率で10%以下まで乾燥させると除去水量あたり消費電力量は、急激に上昇する傾向があるが、20%までであれば、ほぼ一定



写真1 乾燥機外観  
（概寸 L：D：H = 2m：2.5m：2m）

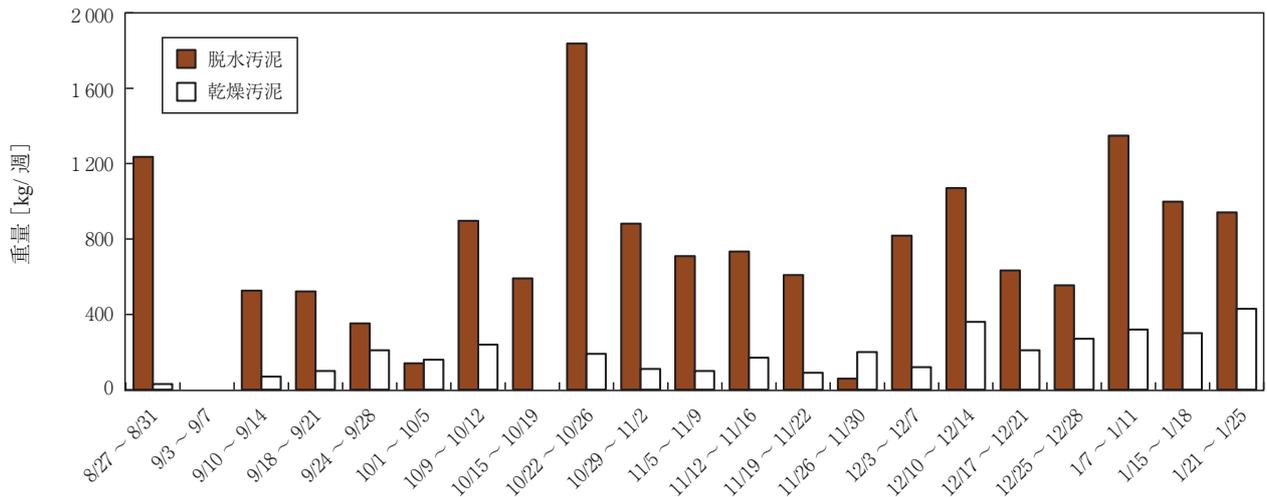


図2 脱水汚泥受入量と乾燥汚泥排出量

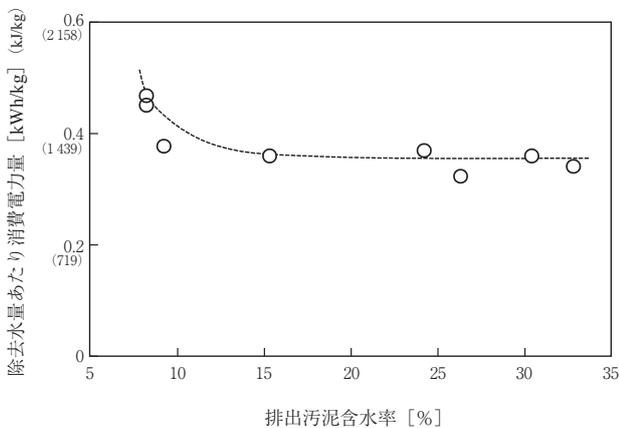


図3 乾燥性能

値を維持できることが確認された。

汚泥層厚みや風速などを最適化した結果、表1に示すように、除去水量は1 190 kg/日（脱水汚泥投入量にして約1.6トン/日）、消費電力量は0.32 kWh/kg（1 150 kJ/kg）という性能が得られた。実験機の規模を1ユニットとし、処理量を増やす場合は、複数ユニットを連結することになる。

また、含水率の低い明石市朝霧浄化センターの脱水汚泥で実験を行ったところ、除去水量は1 412 kg/日（脱水汚泥投入量にして約2.0トン/日）、消費電力量は0.27 kWh/kg（970 kJ/kg）とさらに省電力化が可能であった。含水率が低い脱水汚泥は硬いため、麺状に成形された状態を乾燥機内で維持しやすく、高い通気性が確保されるためと考えられる。

### 2.3 汚泥、凝縮水成分

表2に乾燥前後の汚泥分析値を示す。低温による乾燥のため熱量の損失がほとんどなく、含水率20%換算で低位発熱量は15 000 kJ/kg（3 600 kcal/kg）

表1 乾燥性能

項目	大久保	朝霧
脱水汚泥含水率 [%]	79.9	76.8
除去水量 [kg/日]	1 190	1 412
除去水量あたり消費電力量 [kWh/kg (kJ/kg)]	0.32 (1 150)	0.27 (970)

表2 汚泥分析値

項目	脱水汚泥	乾燥汚泥
含水率 [%]	79.4	13.7
灰分 [%・dry]	7.6	8.5
揮発分 [%・dry]	77.3	78.6
固定炭素 [%・dry]	15.1	12.9
低位発熱量 [kJ/kg・dry]	19 000	19 000
大腸菌 [個/g-wet]	1 600	<10

表3 凝縮水分析値

項目	凝縮水
pH	4.2 (12℃)
BOD <sub>5</sub> [mg/L]	2 300
COD <sub>Mn</sub> [mg/L]	280
SS [mg/L]	<1
T-N [mg/L]	96
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	88
T-P [mg/L]	<0.1

であった。また、大腸菌数が定量下限以下にまで減少することが確認された。さらに、含水率20%程度の乾燥汚泥はダイス式押出成形装置による造粒も可能であった（写真2右）。したがって、造粒によるハンドリング性の向上も図ることができる。

表3に示す凝縮水成分では有機物濃度が高いが、



脱水汚泥投入後



乾燥汚泥



乾燥造粒汚泥

写真2 汚泥外観

表4 経済性試算結果

汚泥処理量		トン/日	1	3	5	10	20
イニシャル	ヒートポンプ式	百万円	55	92	179	315	570
	熱風式	百万円	61	130	184	296	476
ランニング	ヒートポンプ式	百万円/年	2	5	9	17	35
	熱風式	百万円/年	4	10	15	28	52
LCC	ヒートポンプ式	百万円/15年	89	168	316	570	1088
	熱風式	百万円/15年	116	271	406	709	1252

低温で揮発する低級脂肪酸等の易分解性物質が主成分と考えられ、脱水分離液とともに水処理設備に返送可能である。

### 3. 経済性試算

熱風式乾燥機との比較において汚泥処理量別の経済性を試算した(表4)。たとえば汚泥処理量3トン/日では、熱風式に比べ設備費は約3割減、運転費は約半分となり、15年LCCが熱風式の約4割減という大幅な低減となった。ただし、処理量が増えると差を出しにくく、また、消化ガスや焼却炉の廃熱が利用できる処理場では、熱風式が有利になるケースもある。適用先としては、余剰熱源が無く脱水汚泥を別の集約処理場に運搬・処分しているような小規模処理場(10トン/日未満)がターゲットといえる。

### むすび

ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機実証実験の結果、

- ① 乾燥により重量が約4分の1と大幅な減量化が可能であることを確認した。
- ② 乾燥性能は排出汚泥含水率約20%まで維持

され、除去水量あたりの消費電力量は0.32 kWh/kg (1150 kJ/kg)であった。これは水の蒸発潜熱(20℃において2451 kJ/kg)の半分以下に相当する。さらに、低含水率(77%)の脱水汚泥の場合0.27 kWh/kg (970 kJ/kg)であった。

- ③ 乾燥汚泥、凝縮水の分析値より、低温乾燥のメリットが確認された。

上記、実験結果をもとに熱風式乾燥機との経済性比較を行った結果、

- ④ 余剰熱源が無く脱水汚泥を別の集約処理場に運搬・処分しているような小規模処理場(10トン/日未満)においてメリットが大きいことがわかった。

焼却炉を保有しておらず、他処理場での集約処理あるいは最終処分のため、脱水汚泥を場外搬出している処理場は全国に千箇所以上ある。こうした処理場に本乾燥機を導入することで、汚泥減量化による処分・運搬コストの削減、発熱量アップによる焼却補助燃料としての利用が期待できる。

\*技術開発センター 開発企画室 \*\*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 \*\*\*公益財団法人 日本下水道新技術機構 研究第一部 研究員  
\*\*\*\*水環境事業部 ER推進部 第一グループ \*\*\*\*\*水環境事業部 資源循環技術部 焼却グループ