

下水汚泥の脱水乾燥による肥料化・燃料化技術の実用化 ～中小規模処理場への普及に向けて～

矢本貴俊・太田太一・山下洋正

1. はじめに

中小規模の下水処理場において、焼却や熔融など大規模な下水汚泥処理のための設備投資は困難であり、多くは外部委託処分を行っている。一方で、下水汚泥中の約8割は有機物であることからエネルギーとしての利用が可能であり¹⁾、リン等の有用資源が含まれている等、下水汚泥は高いポテンシャルを有する資源として期待されている。我が国の下水汚泥に含まれる有価物は、有機物由来の電力やリンを一例として、約110万世帯分の電力や海外から輸入するリン資源の約10%に相当するが、平成27年度末時点における汚泥のバイオマスとしての利用率は約26%と低い²⁾。これは、中小規模処理場では初期投資（建設費）に対する採算性が低く、汚泥の利活用技術や高効率な技術の導入が進んでいないことが原因の一つであり、中小規模処理場でも導入可能な技術の開発が急務である。

本稿では、平成28・29年度の2年間にわたり「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）」として実証研究を行ってきた「中小規模処理場を対象とした下水汚泥の有効利用技術」（2件）の成果について報告をする。

2. 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究（脱水乾燥機の場合）

2.1 技術概要及び実証研究の目的

本技術は、機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせた脱水乾燥システム（以下「革新脱水乾燥」という）である（図-1）。機内二液調質型遠心脱水機は、高分子凝集剤及び無機凝集剤を用いることで低水分、低粘性、細粒状の脱水汚泥が得られるという特徴を有する。円環式気流乾燥機は、熱風を円環内で循環させ、循環中に熱風と汚泥の接触によって乾燥が進み、乾燥に

よって比重が低くなった汚泥が円環の内側の排気口から排出される技術である。以上の組み合わせにより、汚泥の解砕機をはじめとする設備が不要となり、システムの簡素化、省スペース化、省人力化が可能となる。また、中小規模の処理場では、汚泥の有効利用用途は主として農業用であり、需要の季節変動リスクへの対応が必要となるが、熱風温度の調節により含水率を10～50%の範囲で任意に調整できるため、肥料化や燃料化など多様な利用用途に応じた汚泥処理が可能である。

本実証研究では、脱水乾燥システムの長期的な性能及び維持管理性を確認すること、ライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）や温室効果ガス排出量の削減効果の確認を目的とした。

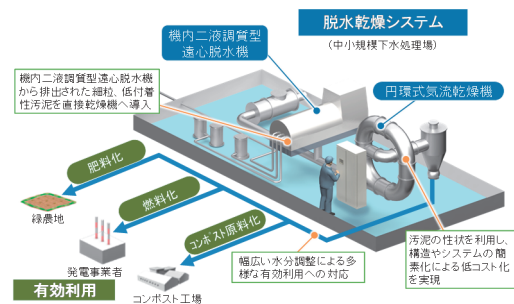


図-1 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化及び燃料化技術の概要

2.2 実証施設

実証フィールドである栃木県鹿沼市黒川終末処理場において実証設備を設置し、平成29年1月から継続的な運転を行っている。対象処理場は、水処理能力16,000m³/日の標準活性汚泥法を採用している一般的な中規模処理場である³⁾。汚泥処理では消化設備を有し、発生する消化汚泥を脱水設備にて脱水処理し、その脱水汚泥を外部委託処分している。本実証研究では、消化設備から発生する汚泥を対象とし、連続運転を行った。また、熱風温度と汚泥含水率の関係を明らかにするために、季節ごとに短期試験を実施した。得られた汚泥の成分分析を行い、肥料及び燃料としての利用可能性を明らかにした。

2.3 実証結果

(1) 乾燥汚泥含水率の調整性能確認

図-2に熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を示す。熱風温度を250～550℃の範囲で調節することで、年間を通して乾燥汚泥含水率を10～50%の範囲で任意に調整可能であることを確認した。

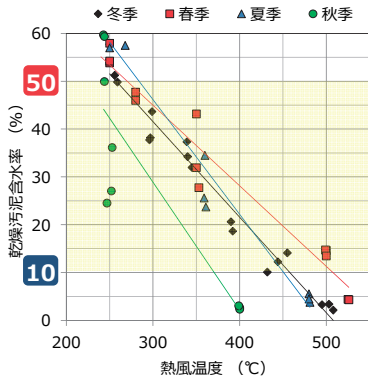


図-2 熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係

(2) 乾燥汚泥の肥料・燃料としての特性の把握

乾燥汚泥の肥料化に関する評価として、肥料取締法により定められた肥料特性（栄養要素となる成分量及び有害成分量）について分析を実施した。また、燃料化に関する評価として、下水汚泥固形燃料に関する工業規格（JIS Z7312 BSF-15）により定められた燃料特性（総発熱量及び含水率）について分析を実施した。

分析の結果を図-3に示す。肥料の栄養要素となる成分量（窒素、りん酸）について一定の含有量が確認され、有害成分量は肥料取締法で定められた基準値を全て満足していることを確認した。また、JIS規格で定められている総発熱量及び含水率についても満足していることを確認した。

項目		単位	本技術	基準値	
肥料	栄養要素となる成分量	窒素	%	5.9	-
		りん酸	%	4.3	-
		加里	%	0.2	-
		銅	mg/kg	466	-
		亜鉛	mg/kg	433	-
		石灰	%	1.5	-
	有害成分量	水分	%	16.8	-
		カドミウム	mg/kg	<1	<5
		水銀	mg/kg	0.6	<2
		ヒ素	mg/kg	4.2	<50
燃料	ニッケル	mg/kg	22	<300	
	クロム	mg/kg	27	<500	
	鉛	mg/kg	<1	<100	
	総発熱量	MJ/kg	17.3	>15	
	含水率	%	11	<20	

図-3 下水汚泥の肥料化・燃料化に関する成分量の分析結果

(3) 革新脱水乾燥技術の導入効果の検証

小・中規模の処理場へ革新脱水乾燥を導入する

ことを想定し、LCC、エネルギー消費量及びCO₂排出量の試算を行い、従来の脱水方式（機内二液調質型ではない遠心脱水機、以下「従来脱水」という。）、及び従来の脱水乾燥方式（遠心脱水機と間接加熱式乾燥機の組合せ、以下「従来脱水+乾燥」という。）との比較による検証を実施した。

図-4はLCCの試算結果である。革新脱水乾燥は従来脱水に対し40%、従来脱水+乾燥に対し48%の縮減効果があることを確認した。

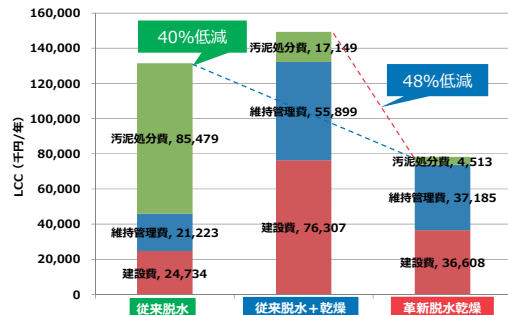


図-4 LCCの試算結果

汚泥の乾燥プロセスでは、熱風を発生させるため燃料が用いられる。図-5は重油、電力等の消費量から算出したエネルギー消費量である。革新脱水乾燥は従来脱水+乾燥に対して63%のエネルギー消費量の縮減効果があることを確認した。

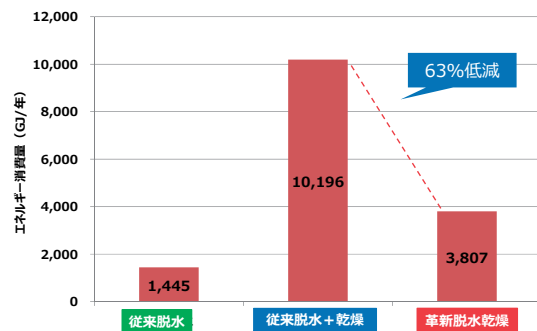


図-5 エネルギー消費量の試算結果

また、図-6はエネルギー消費量、薬品使用量等をCO₂排出量に換算した場合の試算結果である。革新脱水乾燥は従来脱水+乾燥に対して58%のCO₂排出量の削減効果があることを確認した。

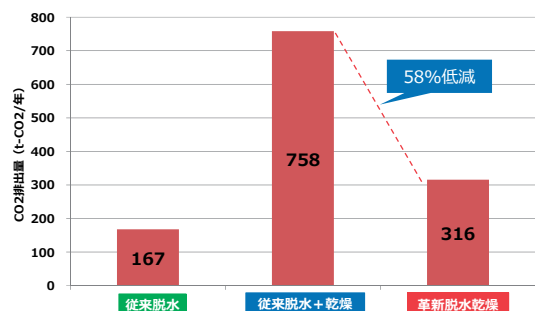


図-6 CO₂排出量の試算結果

3. 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（乾燥機の場合）

3.1 技術概要及び実証研究の目的

本技術は、乾燥設備からの排熱をヒートポンプサイクルにより循環利用することで、汚泥の乾燥に必要な熱エネルギーの大部分を回収（自己熱再生）可能な乾燥システム（以下「革新乾燥」という。）である。そのため、汚泥乾燥に必要な燃料使用量を低く抑えることができ、エネルギーの高効率化、維持管理費の縮減が可能である。

また、熱風設備が不要となるため一般的な汚泥乾燥設備に比べ排気量が大幅に低減され、強い臭気のある排ガスの脱臭処理負荷の軽減が可能である。

本実証研究では、目標熱効率（投入熱量と回収熱量の比）を155%とし、乾燥汚泥の肥料化及び燃料化が年間を通して可能かどうか検証するとともに、導入効果について評価した。

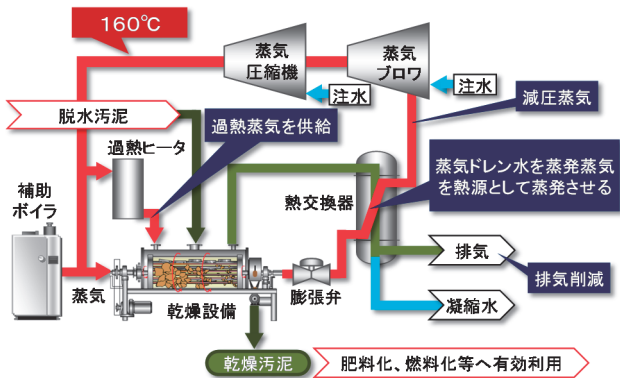


図-7 自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水汚泥乾燥技術の概要

3.2 実証施設

神奈川県秦野市浄水管理センター内に実規模施設を設置し、平成29年1月から実証研究を行った。対象処理場は、水処理能力47,250m³/日の標準活性汚泥法を採用している一般的な中規模処理場である³⁾。発生汚泥は重力濃縮及び脱水処理後に外部委託処分している。本実証研究では、対象処理場から発生する9,360t-wet/年の汚泥の全量を乾燥可能な規模で実証試験を行い、加温温度と熱効率の関係を明らかにした。また、得られた汚泥の成分分析を行い、肥料及び燃料としての利用可能性を明らかにした。

3.3 実証結果

(1) 熱回収効果（熱効率）の確認

図-8に乾燥機の加熱温度と熱効率の関係を示す。実証施設において、加熱温度が153～163℃の範囲で目標熱効率（155%）を満足していることを

確認した。

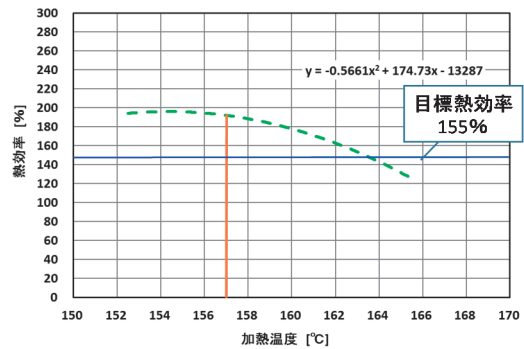


図-8 加熱温度と熱効率の関係

(2) 乾燥汚泥の肥料・燃料としての特性の把握

乾燥汚泥の肥料化に関する評価として、肥料取締法により定められた肥料特性（栄養要素となる成分量及び有害成分量）について分析を実施した。また、燃料化に関する評価として、下水汚泥固形燃料に関する工業規格（JIS Z7312 BSF-15）により定められた燃料特性（総発熱量及び含水率）について分析を実施した。

分析の結果を図-9に示す。肥料の栄養要素となる成分量（窒素、りん酸）について一定の含有量が確認され、有害成分量は肥料取締法で定められた基準値を全て満足していることを確認した。また、JIS規格で定められている総発熱量及び含水率についても満足していることを確認した。

項目		単位	本技術	基準値	
肥料	栄養要素となる成分量	窒素	%	5.6	-
		りん酸	%	2.4	-
		加里	%	0.1	-
		銅	mg/kg	120	-
		亜鉛	mg/kg	310	-
	石灰	%	1.0	-	
	水分	%	10.7~26.4	-	
	有害成分量	カドミウム	mg/kg	<1	<5
		水銀	mg/kg	0.2	<2
		ヒ素	mg/kg	1.6	<50
ニッケル		mg/kg	14	<300	
クロム		mg/kg	16	<500	
	鉛	mg/kg	17	<100	
燃料	総発熱量	MJ/kg	19.8	>15	
	含水率	%	10.7	<20	

図-9 下水汚泥の肥料化・燃料化に関する成分量の分析結果

(3) 革新乾燥技術の導入効果の検証

小・中規模それぞれの処理場へ革新乾燥を導入することを想定し、LCC、重油消費量及びCO₂排出量の試算を行い、従来の乾燥方式（自己熱再生をしない間接加熱式乾燥機、以下「従来乾燥」という。）及び脱水汚泥を全量外部委託処分する場合との比較を行った。図-10にLCCの試算結果を示す。革新乾燥は従来乾燥に対して41%、全量

外部委託処分に対して24%の削減効果を確認した。図-11に重油消費量の試算結果を示す。革新乾燥は、従来乾燥に対して49%の削減効果を確認した。また、図-12はCO₂排出量の試算結果である。革新乾燥は従来乾燥に対して51%のCO₂排出量の削減効果があることを確認した。

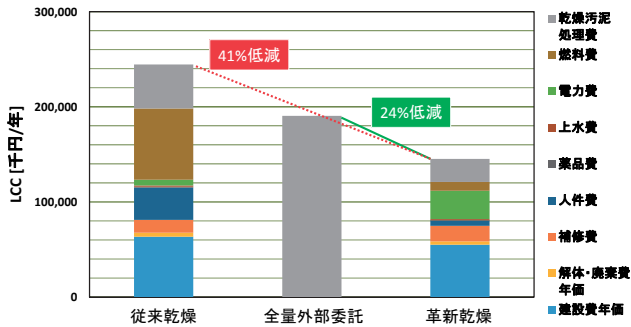


図-10 LCCの試算結果

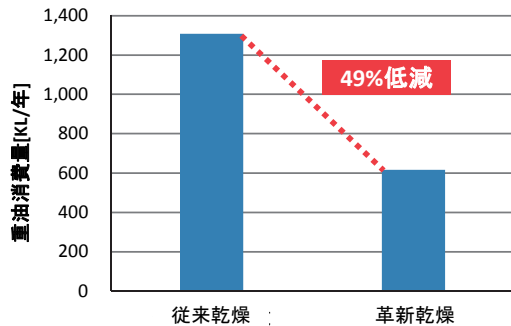


図-11 重油消費量の試算結果

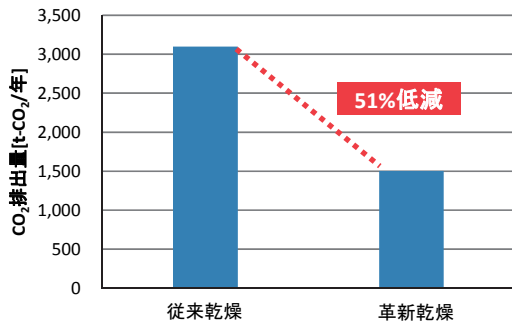


図-12 CO₂排出量の試算結果

4. まとめ

下水汚泥の多様な有効利用に向けた新技術実証試験を行い、中小規模の処理場への導入に必要な実証データが蓄積され、従来技術に比べコスト削減や温室効果ガス排出量削減効果が期待できる結果を得た。下水処理場を資源・エネルギーの集約・供給拠点化することは「新下水道ビジョン加速戦略」（平成29年）でも掲げられており、下水道事業からのエネルギー・資源の創出は今後ますます重要視される。

今後は、研究成果を取りまとめ、技術導入のためのガイドラインを周知し、普及展開の促進に取り組む予定である。

謝辞

本実証研究は、国土交通省「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）」のもと、国総研の委託研究「脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究」として月島機械（株）・サンエコサーマル（株）・日本下水道事業団・鹿沼市・（公財）鹿沼市農業公社共同研究体により、また、委託研究「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」として（株）大川原製作所・秦野市・関西電力（株）共同研究体により実施されました。実施いただきました共同研究体の関係者各位、貴重なご意見を頂いた有識者及び地方公共団体の下水道事業担当者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 下水汚泥有効利用促進マニュアル、pp.11～14、日本下水道協会、2015
- 2) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン、pp.1～5、国土交通省水管理・国土保全局下水道部、2018
- 3) 平成27年度版下水道統計、第72号、2018

矢本貴俊



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官
Takatoshi YAMOTO

太田太一



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官
Taichi Ota

山下洋正



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室長、現 地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部上席調査役 兼 技術開発企画課長
Hiromasa YAMASHITA