第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要と特徴

§ 5 技術の目的

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ることで、下水汚泥の脱水・乾燥処理を一体的に行い、利用用途に合わせて含水率調整された乾燥汚泥を排出可能な技術である。本技術を導入することにより、コスト(建設年価+維持管理費)の削減や省エネルギー化を図り、下水道事業経営の健全化に貢献すること、並びに中小規模処理場における汚泥の肥料化、燃料化の有効利用の用途拡大を図り、循環型社会の構築に貢献することを目的とする。

【解 説】

中小規模の下水処理場では焼却、溶融化及び炭化等の大規模な設備投資は難しい。また、乾燥による減量化や肥料化、固形燃料化においても多くのエネルギーを使うことから処理場の事業性を得ることができず、多くの処理場では脱水汚泥を外部へ搬出して委託処分しているのが実情である。しかし、脱水汚泥は水分を多く含むために、その質量及び容積が大きく、脱水汚泥の運搬費用及び委託処分費用が施設の維持管理費を圧迫するという懸念事項がある。この課題に対応するために、中小規模処理場にも導入可能な、省エネルギーかつ低コストで下水汚泥を脱水・乾燥させる技術の開発が求められる。

図 2-1 に本技術の概要を示す。本技術は、脱水機に高分子凝集剤と無機凝集剤を別々に添加する脱水方法を用いた機内二液調質型遠心脱水機を採用している。機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥は、従来の高分子凝集剤のみを添加する脱水方法に比べて、低水分かつ細粒状で粘性が低いという特徴がある。そのため、解砕機や搬送機器を排除した円環式気流乾燥機と組み合わせることが可能である。

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ることにより、下水汚泥の脱水・乾燥処理を一体的に行うことで、システムや機器構造は簡素化され、コスト(建設年価+維持管理費)の削減や省エネルギー化が可能である。

また、本技術では、熱風温度を調整することにより 10%から 50%までの乾燥汚泥を生産することが可能であり、乾燥汚泥の利用用途(肥料化・燃料化)に応じて、乾燥汚泥の含水率を調整することとなる。

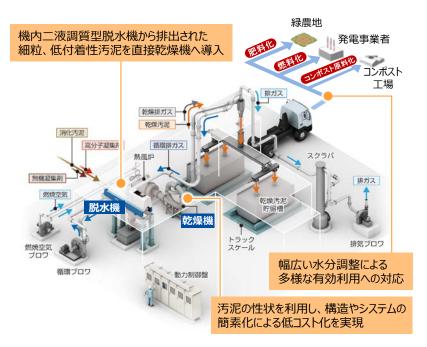


図 2-1 本技術の概要

§6 システム全体の概要

本技術は、低水分かつ細粒状で粘性が低い脱水汚泥が排出される機内二液調質型遠心脱水機と、解砕機や搬送機器を排除した円環式気流乾燥機を組み合わせることにより、従来の脱水設備と乾燥設備の組み合わせと比較してシステムや機器構造が簡素な脱水乾燥一体型のプロセスである。

【解 説】

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一体型のプロセスであり、大きくは(1)脱水乾燥設備と(2)補機設備から構成される。図 2-2 に本技術のシステムフローを、図 2-3 に本技術の全景を示す。

(1) 脱水乾燥設備

本技術の脱水乾燥設備では、対象汚泥が機内二液調質型遠心脱水機にて脱水された後、円環式 気流乾燥機にて乾燥される。

まず、対象汚泥は高分子凝集剤とともに機内二液調質型遠心脱水機に供給され、機内で無機凝集剤を添加されながら遠心場において固液分離作用を受け、含水率 78%程度の脱水汚泥として排出される。脱水汚泥は振分コンベヤを介して、乾燥処理に適した性状であれば乾燥機へ、適さない性状であれば排水槽へと搬送される。分離液は排水槽を介して排水配管に移送される。

振分コンベヤから供給された脱水汚泥は、円環式気流乾燥機内において熱風炉から供給された 熱風と直接接触し、空気輸送にて管内を循環しながら乾燥作用を受ける。乾燥された汚泥は排気 とともに輸送され、サイクロンにて固気分離される。サイクロンから排出した排気の一部はスク ラバで冷却され、排気ブロワを介して大気開放され、残りは循環ブロワを介して熱風炉へ輸送さ れる。燃焼空気ブロワから供給される外気と循環ブロワからの排気は熱風炉で所定温度まで加熱 され、熱風として乾燥機へ供給される。

(2)補機設備

本技術の補機設備は、冷却振分コンベヤ、乾燥汚泥コンベヤと乾燥汚泥貯留槽にて構成される。 サイクロンで分離された乾燥汚泥が冷却振分コンベヤで搬送され、乾燥汚泥コンベヤを介して 乾燥汚泥貯留槽に貯留される。また、乾燥汚泥の一部を造粒機に投入することで、ペレット状に 成形して排出することも可能である。

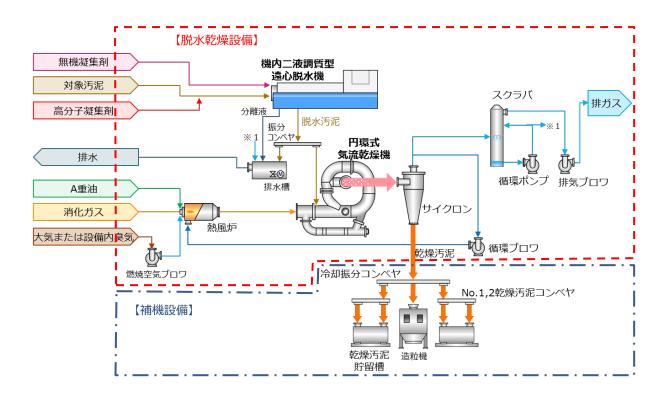


図 2-2 本技術のシステムフロー

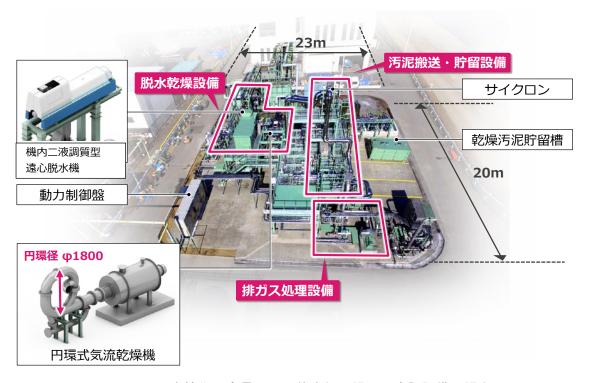


図 2-3 本技術の全景 (黒川終末処理場での実証設備の場合)

§7 脱水技術の概要

本技術は、機内に無機凝集剤を直接注入する機構を有した機内二液調質型遠心脱水機を採用している。機内二液調質型遠心脱水機の特徴は、従来の脱水技術と比較して低水分かつ細粒状で粘性が低い脱水汚泥を排出できることである。

【解 説】

下水汚泥の脱水処理には、ベルトプレスやスクリュープレスなどのろ過系の脱水機や、遠心力を 用いた遠心脱水機が広く用いられてきた。本技術で採用した機内二液調質型遠心脱水機は、後者の 遠心脱水機に分類される機器である。

図 2-4 に機内二液調質型遠心脱水機の基本構造を示す。遠心脱水機は高速で回転するボウルと若干の速度差(差速)で制御されているスクリューコンベヤから構成されている。汚泥と凝集剤は汚泥投入管を介して機内の 2000~2800G の遠心場に供給され、固液分離作用を受け、比重の重い汚泥粒子はボウルの外側に、比重の軽い分離液は中心側に分離される。汚泥粒子は速度差をもって回転するスクリューコンベヤにて図 2-4 中の左側から右側に搬送され、脱水汚泥として排出される。一方、分離液は図 2-4 中の中央から左側に流れ、排水面から越流し、排水される。

従来の遠心脱水技術では、前述のように汚泥と高分子凝集剤を汚泥配管にて混合し、脱水機に供給するが、本技術では、これに加えて無機凝集剤を機内の汚泥層に直接注入する。この無機凝集剤は、一般的には硫酸第二鉄が用いられる。この無機凝集剤はカチオンである鉄イオン(3 価)を含むことから、汚泥粒子表面のマイナス荷電を中和することで、含水率が低減できると考えられている。また、鉄イオン(3 価)は pH3~4 以上においては水酸化第二鉄を形成するが、この水酸化物は細かい粒子などを取り込み沈殿する作用(共沈作用)があり、汚泥粒子の固液分離性や圧密性の向上に寄与する。

本技術は、機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥は低含水であることに加え、脱水汚泥の形状が細粒状かつ低付着性であることに着目している。後述する円環式気流乾燥機に投入する脱水汚泥は、従来の高分子凝集剤のみの注入では脱水汚泥の粒径が大きく塊状になりがちであり、乾燥機内で循環せず堆積して乾燥機を詰まらせる可能性がある。一方で、機内二液調質型遠心脱水機では、機内で固液分離された汚泥は遠心場から通常の16の重力場に放出される際に、強いせん断力が付加され、機内では塊状であった汚泥は細かく分散しながら排出される。そのため、上述の乾燥機を詰まらせるという課題を解決することが可能である。機内二液調質型遠心脱水機では、鉄イオンの荷電中和作用により汚泥は粘度が低下するため、従来の遠心脱水技術よりも細かく分散されやすいことが考えられる。

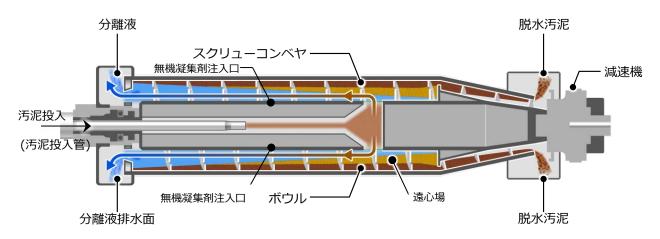


図 2-4 機内二液調質型遠心脱水機の基本構造

§8 乾燥技術の概要

本技術は、円環状に組み合わせた既製の配管に熱風を供給し、循環流を形成させ、被処理物を熱風に直接接触させることにより乾燥を行う円環式気流乾燥機を採用している。円環式気流乾燥機の特徴は、従来の乾燥技術では必要な解砕機や搬送機器が不要であることから、機器費および維持管理費の低減が可能なことである。

【解 説】

下水汚泥の乾燥処理に用いられてきた乾燥方式は、汚泥への伝熱方法によって分類されており、 気流式や撹拌羽式等の熱風と汚泥を直接接触させる「直接加熱式(気流式や撹拌羽式等の熱風と汚 泥を接触させる方法)」と、蒸気などを熱源として間接的に汚泥に伝熱する「間接加熱式(蒸気な どを熱源として間接的に汚泥に伝熱する方法)」がある。本技術で採用した円環式気流乾燥機は、 食品分野等で粒流体の乾燥機として使用されてきたものであり、前者の直接加熱式に分類される。

円環式気流乾燥機は、図2-5に示すように配管が地面に対し鉛直方向に円環状に組み合わせられ、図2-5中の円環部の下側横に気流の入口、円環の途中の内側に気流の出口が設置されている。まず、この円環に気流を供給した場合、気流は円環に沿って循環しようとする流れが生じ、供給された気流量を1とした場合、循環する気流が3~4程度、出口からの排気量が1となる。この状態で図2-5中の円環部の下側に供給された汚泥は気流と接触し、そこで表面が乾燥されることでより付着しにくい状態となり、気流とともに円環状の配管で循環する。投入当初の汚泥は水分も多く比重が高いため遠心力により円環の外側を循環するが、循環している間に熱風と接触することで乾燥が進み、乾燥により比重が低くなった汚泥や粒径の小さい汚泥など、比重・粒径など様々であるが軽くなった汚泥が円環の内側を循環するようになり、汚泥滞留時間が数秒~数分程度で円環の内側に設けられた排気口から排気と共に排出され、サイクロンにて固気分離される。

乾燥機に投入する脱水汚泥は、従来の高分子凝集剤のみの注入では脱水汚泥の粒径が大きく塊状になりがちであり、乾燥機内で循環せず堆積して乾燥機を詰まらせる可能性がある。一方で、前述した機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥は、この点を解決して細かい粒状になっており、粒径に多少のばらつきはあるが、従来の一液調質の脱水汚泥と比較しある程度は粒径が均一的になり、(そのため粒径よりも比重による影響が相対的に大きくなり、)粒径が小さい汚泥や、比重が低くなった汚泥が排出されるため、含水率をある程度一定に保つことが可能である。

また、**資料編 1.3実証結果**にベルトプレス脱水機と円環式気流乾燥機との組合せ試験について記載した。ベルトプレス脱水機の脱水汚泥は、形状が板状のものが脱水機より排出され、スパイラルコンベヤなどで運ばれていくうちに細かくなっていくので、円環式気流乾燥機での乾燥が可能であるが、詳細条件についてはさらなる検証データが必要である。

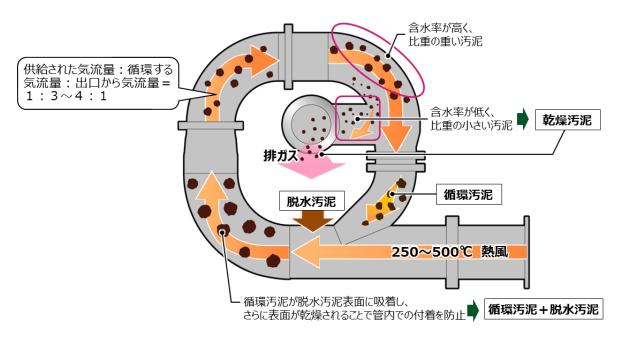


図 2-5 円環式気流乾燥機の構造及び原理

§9 技術の特徴

本技術は、以下に示す特徴を有する脱水乾燥技術である。

- (1) システムの簡素化、省スペース化、省人力化により低コストな脱水乾燥技術
- (2) 乾燥汚泥含水率を10~50%の範囲で任意に調整することにより、利用用途(肥料化、燃料化) に応じた乾燥汚泥を生産可能な脱水乾燥技術

【解 説】

表 2-1 に、汚泥処理方法における本技術と従来技術の比較表を示す。表 2-1 中の「従来脱水」は、 凝集剤のうち高分子凝集剤のみを対象とする汚泥と混合して遠心脱水機で固液分離する方法を指 し、「従来脱水+乾燥」は、従来脱水と従来型の直接加熱型または間接加熱型の乾燥機とを組み合 わせた脱水・乾燥方法を指す。

表 2-1 汚泥処理方法 比較表

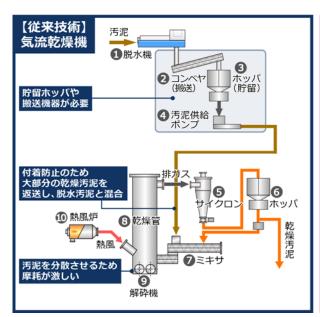
			(+ 彭陽	本技術
		徐米院大			
			間接加熱型乾燥機	気流乾燥機	脱水乾燥システム
		水処理 脱水機	水処理 脱水機	水処理脱水機	水処理脱水機
		コンベヤー・汚泥・	ディスク	(F F F F F F F F F	為風炉 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)
		外部委託	を ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・	熱風炉 きもり もの	東京県田
	JOYZ	汚泥を遠心脱水機やベルトプレス脱 水機等により脱水処理を行う。	汚泥を従来脱水機で脱水し、搬送・貯留する。汚泥貯留設備から乾燥機へ汚泥を移送し 乾燥処理を行う。	。汚泥貯留設備から乾燥機へ汚泥を移送し、	濃縮汚泥・消化汚泥を脱水し、貯留せずに乾燥機に移送し乾燥処理を行う。
	原理	汚泥と凝集剤を混合した上で遠心力 もしくはろ過にて固液分離を行う。	蒸気を通気したジャケット及びディスクに汚泥 を接触させ、間接的に汚泥を加熱し、乾燥 を行う。	乾燥汚泥と脱水汚泥を混合し、高速回転し た解砕機に、熱風と共に汚泥を投入し、分 散させながら乾燥処理を行う。	脱水機内に無機凝集剤を注入して脱水し、その 脱水汚泥に熱風炉からの熱風を直接接触させて 乾燥を行う。
	加熱温度/ 時間	加熱処理ば行わない。	150~180℃/数10分~1時間程度	400~600℃/数秒~数分	250~500℃/数秒~数分
粈	汚泥含水率	76(混合生)~82%(消化)	一般的には30~50%で運転される。これ以下の含水率では設備の損耗の問題がある。	乾燥原理上の制約から20%以上の含水率 への調整は困難である。	熱風温度の調整により含水率10~50%の調整 が容易である。
笳	臭気	一般的には生物脱臭及び活性炭によ り脱臭する。	排ガス量が少ないが、臭気は強いため、燃焼 脱臭などを必要とする。	臭気は弱いが排ガス量が多いため、 燃焼脱臭などを必要とする。	臭気は弱いが、設置場所の規制値によっては脱 臭設備の検討を必要とする。
	排水	熱処理を伴わず、脱水ろ液のみ。	ガスとともに飛散する汚泥が排水側に移行するため、水質はSSが多い。	高温で乾燥処理するため、スクラバ 排水の水質はSSなど多く悪化する。	低温かつ短時間の乾燥のため、汚泥からの有機分の揮発が少なく、水質は脱水ろ液とほぼ可じである。
	建設費	機器費は最も抑えられる	機器費が高く建設費が高い。	設備全体が大型化するため、 建設費が高い。	機器費は抑えられる。
<_	維持管理費	汚泥処分費が高い。	機器補修費が高い。	機器補修費が高い。	機器補修費が低く、燃費もよい。
	配置	既設の脱水機棟内に配置が可能である。	新規で乾燥機用の建屋が必要である。 もしくは屋外設置となる。	新規で乾燥機用の建屋が必要である。 もしくは屋外設置となる。	既設の脱水機棟内に配置が可能である。排ガス 処理設備などは屋外に設置する。
污派	汚泥の有効利用	一般的には困難であり、産業廃棄物 処理される。	比較的水分が高いため、燃料化には不適で あり、肥料化に限定される。	低合水率のため燃料化に限定される。	含水率が幅広く調整でき、肥料化、燃料化ともに 対応できる。

(1) システムの簡素化、省スペース化、省人力化により低コストな脱水乾燥技術

① 機内二液調質型脱水機と円環式気流乾燥機の組合せによる脱水乾燥一体型のプロセス

図 2-6 に従来の気流乾燥機と脱水乾燥システムの比較フロー図を示す。本技術では、機内二液調質型遠心脱水機から排出された脱水汚泥性状(低付着性・細粒状)と円環式気流乾燥機のもつ分散作用により、付着対策構造が不要となるため、摩耗による補修などの維持管理費の削減が可能である。

また、**図 2-6** に示すように従来の脱水設備と乾燥設備の組み合わせと比較して主要な機器点数の低減(従来技術 10 点→本技術 4 点)や機器点数削減に伴う省スペース化により、コスト(建設年価+維持管理費)の縮減が可能である。



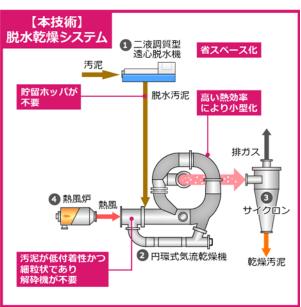


図 2-6 従来の気流乾燥機と脱水乾燥システムの比較フロ一図

②自動制御による省人力化

図 2-7 に本技術の自動制御フローを示す。本技術は、脱水機からの排出汚泥を乾燥機へ直接供給するため、脱水機と乾燥機の間に搬送設備や貯留設備は不要である。加えて、乾燥機での滞留時間は従来技術に比べ短くなることから、自動制御の応答性は向上し、高度な運転調整技術は不要となる。

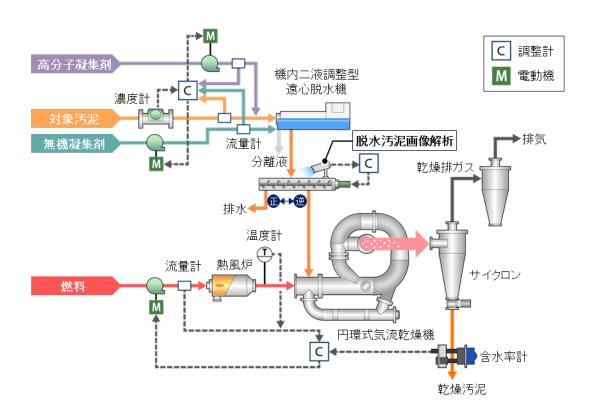


図 2-7 本技術の自動制御フロー

また、下水汚泥の脱水・乾燥処理において、脱水汚泥や乾燥汚泥の含水率を高精度かつ連続的に測定できる自動測定器を導入している事例は極めて少ない。一方で、本技術では、製紙工程におけるパルプ濃度の計測において3,000台以上の納入実績をもち、下水汚泥においても主に濃縮汚泥や消化汚泥で検証してきたマイクロ波式の濃度計を汚泥濃度や含水率の計測に適用することにより自動制御が可能である。

本技術は、脱水機と乾燥機の一体化および高精度な自動測定器を用いた脱水汚泥、乾燥汚泥の 含水率制御を採用することにより、高度な運転調整技術が不要となり、人員の低減が可能である。 (2)乾燥汚泥含水率を10~50%の範囲で任意に調整することにより、利用用途(肥料化、燃料化)に応じた乾燥汚泥を生産可能な脱水乾燥技術

図 2-8 に示すように、下水汚泥の有効利用のニーズは低水分側から高水分側まで多岐に渡っている。

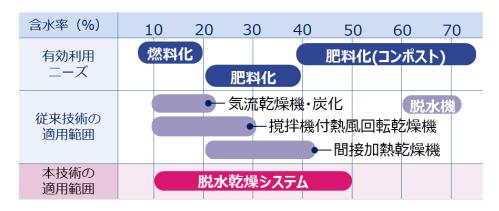


図 2-8 下水汚泥の有効利用のニーズと各技術の適用範囲

従来、下水汚泥の乾燥処理において、気流乾燥機や撹拌機付熱風回転乾燥機は比較的乾燥汚泥の含水率が低い領域で運転を行い、間接加熱乾燥機は低水分の領域における乾燥機内の部品の損耗を避けるため、比較的乾燥汚泥の含水率が高い領域での運転が行われている。したがって、図2-8に示すように、導入される従来乾燥技術の乾燥汚泥含水率に応じた有効利用が行われてきた。

本技術は、脱水機から排出された脱水汚泥をその性状(低付着性及び細粒性)を維持したまま 乾燥機に直接投入することで、高含水率領域で問題となる付着性を解消している。また、乾燥機 内に構造物・駆動部が無いため、低含水率領域で問題となる部品の損耗への影響が少ない。

このことから、本技術は乾燥汚泥含水率 10~50%程度の領域で安定処理が可能であるため、 単一の設備にて利用用途(肥料化、燃料化)に応じた乾燥汚泥を生産することができる。 図 2-9 は本技術による乾燥汚泥含水率の調整と有効利用のスキーム案を示したものである。 最も重要な有効利用は肥料利用及び燃料利用の2つである。しかし、肥料の需要は栽培する作物 の収穫時期に左右されるため、季節により需要の変動がある。このことから、肥料化だけでは年 間を通じて安定的に発生する下水汚泥の有効利用を確立することは難しい。この対応策として、 肥料の需要が低下する時期には燃料としての利用を図る方策が挙げられる。

本技術における円環式気流乾燥機の最も重要な操作条件として熱風の温度が挙げられるが、**図 2-9 (右)**に示すようにこの温度を $250\sim500^\circ$ Cの範囲で調整することで乾燥汚泥の含水率を $10\sim50\%$ の範囲で一定の幅はあるが任意に調整可能である。

以上より、本技術では有効利用のニーズに合わせた水分調整が容易であり、肥料化、燃料化といった複数の有効利用を組み合わせて運用することも可能であることから、年間を通して安定的に下水汚泥の有効利用を図るスキームの構築が可能である。

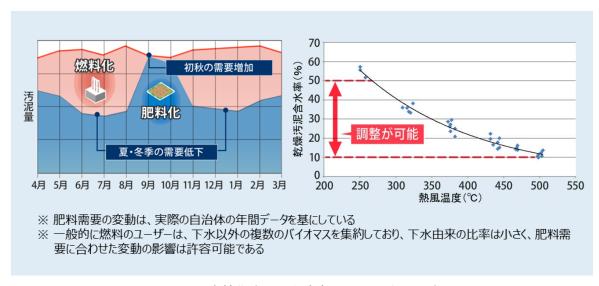


図 2-9 本技術を用いた有効利用のスキーム案

第2節 技術の適用条件

§10 適用条件と推奨条件

本技術は、混合生汚泥や消化汚泥および、オキシデーションディッチ法から発生する余剰濃縮汚泥 (以降OD汚泥と称す)の脱水処理工程を持つ下水処理場に適用される。本技術の導入効果は、汚泥 性状や処理場の条件等によって異なるため、「適用条件」を満たすことを基本とし、その中でも導入効 果の高くなることが予想される「推奨条件」を併せて示す。

【解 説】

(1) 適用条件

図 2-10 に本技術の対象汚泥を示す。汚泥の種類は、水処理から発生する初沈濃縮汚泥と余剰 濃縮汚泥が混合した混合生汚泥および消化汚泥、また、OD汚泥を対象とする。(いずれの汚泥 でも本技術により乾燥可能であるため。**資料編 1**. 実証研究結果を参照。)

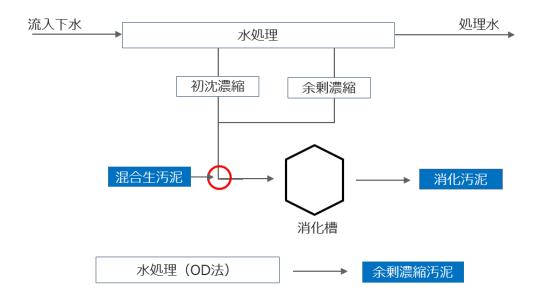


図 2-10 本技術の対象汚泥

(2) 推奨条件

更に本技術を導入した場合、特に導入効果の高くなることが予想される推奨条件を以下に示す。

① 脱水汚泥発生量が 2t/日以上の処理場

脱水汚泥発生量が2t/日以上である場合、維持管理費における汚泥処分費が占める割合が支配的であり、本技術を導入することで汚泥の減容化が可能なため、コスト(建設年価+維持管理費)の低減に寄与できる。

② 消化設備から発生する余剰消化ガスを燃料として利用できる処理場

消化設備から発生する消化ガスを燃料として利用できる場合は、維持管理費の低減が期待される。消化ガスを燃料として使用する際の必要量は、実証研究により確認された単位汚泥処理量あたりの消化ガス使用量(参考事例:実証研究結果 乾燥汚泥含水率 30%の場合 原単位533Nm³/t-ds:資料編 1.3実証結果を参照。)を用いて算出することが可能である。

③ 乾燥汚泥を無償または有価で引き取り、肥料や燃料として利用する有効利用ユーザーが存在 する処理場

乾燥汚泥を無償または有価で引き取り、肥料や燃料として利用する有効利用ユーザーが近隣に存在する場合は、下水汚泥の有効利用の促進及び汚泥処分費の低減が可能である。ただし、乾燥による汚泥の減容効果があることから、本技術を導入し、汚泥の処分費を低減した上で、将来的に汚泥有効利用ユーザーを検討するような段階的な事業手法も検討可能である。

§11 導入シナリオ例

有効利用

本技術を導入するシナリオ例を以下に示す。

- (1) 既設脱水設備の更新および新設・増設のタイミングにおいて、乾燥工程を追加するために本 技術(脱水乾燥設備)を導入する場合
- (2) 既設の設備(脱水設備および乾燥設備、あるいは脱水設備および焼却処理設備)の更新や新設・増設のタイミングにおいて、本技術を導入する場合

また、既設脱水設備が機内二液調質型遠心脱水機である場合、本技術の乾燥設備のみの部分的な適用も検討することが可能である。

【解 説】

以下に本技術を導入するシナリオ例と期待できる導入効果を解説する。(計算条件詳細および結果は、第3章第2節導入効果の検討例参照)

(1) 既設脱水設備の更新および新設・増設のタイミングにおいて、乾燥工程を追加するために本 技術(脱水乾燥設備)を導入する場合

多くの中小規模処理場では水処理から発生した汚泥を脱水処理し、脱水汚泥を外部委託処理している。

こうした処理場において、老朽化し、改築が必要となった脱水処理設備に対して、本技術を導入するシナリオを表 2-2 に示す。本技術を導入した場合、通常の脱水設備に対して建設費が高くなるが、汚泥処分費が低減し、維持管理費の低減が図られ、コスト(建設年価+維持管理費)の低減が期待できる。また、乾燥汚泥とすることで有効利用の可能性も拡大し、バイオマスの利活用の促進に寄与できる。

項目 内容 概要 【既設】 【新設】 水処理 : 新規導入設備 水処理 既設脱水機 污泥搬送 汚泥貯留 汚泥貯留 有効利用 外部委託処理 既設脱水設備を更新するタイミングに乾燥機能も併せ持つ脱水乾燥設備を導入し、脱水汚泥 を乾燥処理することで汚泥処分費を低減し、コスト(建設年価+維持管理費)の低減を図る。 導入設備 脱水乾燥設備、無機凝集剤注入設備、排ガス処理設備、汚泥貯留設備(既設改造) 従来の脱水設備に対し建設費は高いが、シンプルなプロセスのため従来乾燥技術に比べ、 建設費 コスト削減が可能。 従来の脱水設備に対し維持管理費が高いが、シンプルなプロセスのため従来乾燥技術に比べ、 導入 維持管理費 コスト削減が可能。 メリット 汚泥処分費 脱水汚泥の処分費を低減出来る。

表 2-2 導入シナリオ (1)

従来技術では困難な、季節変動に応じた異なる有効利用ニーズに対応可能である。

(2) 既設の設備(脱水設備および乾燥設備、あるいは脱水設備および焼却処理設備)の更新や新設・増設のタイミングにおいて、本技術を導入する場合

一部の中小規模処理場では、水処理から発生した汚泥を脱水処理し、更に乾燥処理した上で、 乾燥汚泥を有効利用もしくは外部委託処理している。

こうした処理場において、老朽化し、改築更新が必要となった脱水設備及び乾燥設備に対して、本技術を導入する場合、従来どおり脱水設備と乾燥設備を個々に改築するよりも、本技術は設備が一体化しているため建設費が低減できる。また、本技術の導入により、運転管理に要する人員、燃料費、電力費及び補修費が低減でき、維持管理費の低減が期待できる。また、乾燥汚泥の含水率を 10~50%と幅広く調整でき、汚泥の有効利用に際しては単一の用途だけでなく複数を組合せた利用が可能となることから、有効利用の活用可能性も拡大し、バイオマスの利活用の促進に寄与できる。

また、多くの中大規模処理場では焼却炉を導入している。**図 2-11** に焼却炉の規模(脱水汚泥処理量 t/日)と台数の統計(出典:平成 27 年度下水道統計)を示す。

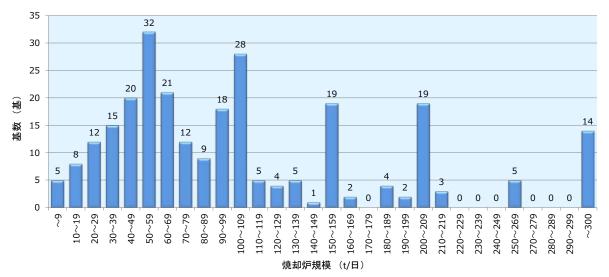


図 2-11 全国下水処理場における焼却炉の規模と台数の関係

一般的に大規模な下水処理場ではコスト(建設年価+維持管理費)における汚泥の処理費用が 支配的であることから、焼却炉による汚泥の減容化効果により導入メリットが得られる。一方、 中規模以下の処理場では焼却炉を導入した場合、コスト(建設年価+維持管理費)における建設 費や補修費の占める割合が高く、導入メリットが少ない事例も多い。

この場合も、老朽化し、改築が必要となった脱水設備及び焼却設備に対し、本技術の適用が可能である。この場合の本技術の導入シナリオを表 2-3 に示す。従来の焼却設備に対して、機器点数の低減、プロセスの簡略化などにより建設費を低減できるだけでなく、運転管理に要する人員及び補修費が低減でき、コスト(建設年価+維持管理費)の低減が期待できる。一方、従来焼却灰として処理していた汚泥は乾燥汚泥となるため、この処理方法もしくは有効利用を検討する必要がある。

なお、本技術は乾燥汚泥を外部委託処理した場合においても、従来の乾燥や焼却技術に対して コストメリットがあることから、本技術を導入した後、有効利用を検討し、更なるコスト低減を 図ることも可能である。

また、既設の乾燥や焼却処理設備の更新にあわせて本技術の導入を検討する際に、脱水設備の 更新時期がきていない場合でも、既設脱水設備が機内二液調質型脱水機であるか、ベルトプレス 脱水機である場合には、先に乾燥設備の導入を検討することも可能である。(ベルトプレス脱水 機への適用については**資料編 1.3実証結果**を参照)

昨今、し尿や浄化槽汚泥、地域のバイオマスを処理場で受入れ、集約処理する事例が増えてきているが、設備の建設費や維持管理費低減に効果がある一方、最終的な脱水対象となる汚泥の固形物量は増加するため、搬出する汚泥量削減のために、本技術の導入(乾燥機のみの導入も含む)を検討することも有用である。

項目 内容 【既設】 概要 【新設】 汚泥搬送 : 新規導入設備 既設脱水機 水処理 乾燥機 ▶ 焼却炉 汚泥貯留 汚泥貯留 有効利用 外部委託処理または有効利用 既設脱水機と、乾燥設備または焼却炉を撤去し、脱水乾燥機を新設する。乾燥設備の更新 の場合、乾燥汚泥処分費は同等となり、焼却炉からの更新の場合は、焼却灰の処分に比べ乾 燥汚泥処分費は増加するが、いずれの場合も設備の維持管理費を低減し、コスト(建設年価 +維持管理費)の低減を図る。 導入設備 脱水乾燥設備、無機凝集剤注入設備、排ガス処理設備、汚泥貯留設備(既設改造) 建設費 従来の乾燥設備および焼却炉に比べ、建設費はおさえられる。 維持管理費 導入 設備の維持管理費は低減できる。 メリット 従来乾燥設備との比較では同等だが、焼却処理での灰の処分費と比較すると汚泥処分費は増加する 汚泥処分費 有効利用 従来技術では困難な、季節変動に応じた異なる有効利用ニーズに対応可能である。

表 2-3 導入シナリオ (2)

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§ 12 評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 脱水乾燥性能
- (2) 総費用(年価換算値)
- (3)維持管理での温室効果ガス排出量
- (4)維持管理でのエネルギー消費量
- (5) 乾燥汚泥の肥料としての性能
- (6) 乾燥汚泥の燃料としての性能
- (7)環境への影響(排ガス、臭気、騒音、排水)

【解 説】

本技術の導入検討においては、システムの性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選択できるように、評価項目、評価方法、評価結果を設定、提示する必要がある。本ガイドラインでは、本技術を評価した項目として、(1)脱水乾燥性能、(2)総費用(年価換算値)、(3)維持管理での温室効果ガス排出量、(4)維持管理でのエネルギー消費量、(5)乾燥汚泥の肥料としての性能、(6)乾燥汚泥の燃料としての性能、(7)環境への影響(排ガス、臭気、騒音、排水)について評価を行った。(評価結果は§13評価結果および資料編 1.実証研究結果を参照。)

総費用(年価換算値)は、表 2-4 に示す評価対象処理場条件として、表 2-2「導入シナリオ(1)」の場合および表 2-3「導入シナリオ(2)」の場合の乾燥設備との比較として試算した。

比較ケース	消化汚泥
処理水量	日最大 20,000 m³/日、日平均 16,000 m³/日
汚泥処理方式	濃縮:分離機械濃縮、消化→脱水
消化汚泥処理量	日最大 2.16t-ds/日、日平均 1.73t-ds/日

表 2-4 評価対象処理場条件

(1) 脱水乾燥性能

本技術の脱水乾燥性能について、以下の項目を評価した。下記項目は本技術の維持管理費を算定する上で、必要な項目である。

1) 凝集剤注入率

本技術の脱水設備において使用する高分子凝集剤と無機凝集剤の注入率を評価する。

2) 消費電力および燃料使用量

本技術を運転するのに要した消費電力および乾燥設備にて使用した燃料使用量(消化ガスを含む)を評価する。

3) 乾燥汚泥含水率

本技術から発生する乾燥汚泥の含水率が10~50%の範囲で任意に調整可能か確認する。

(2) 総費用(年価換算値)

本技術導入時の総費用(年価換算値)については、建設費および維持管理費について算定式化し、処理水量が日最大 20,000m³の処理場を例として試算を行った。総費用(年価換算値)を以下に示す項目において評価する。

1) 建設費

建設費は機械設備及び電気設備について算出する(建設費に含まれる詳細項目は、p. 59 表 3-3 を参照)。なお、本技術は脱水機と同等のスペースに設置可能なことから、既設の脱水機建屋を流用することとし、土木建築施設は考慮しないものとする(本技術が既設脱水機建屋に設置可能であることは、第4章 §21配置計画の検討を参照)。

また解体・廃棄費は含まない。

2) 維持管理費

維持管理費は電力費、補修費、凝集剤費、燃料費について評価する。ただし、消化設備が導入されている処理場において、消化ガスを燃料として利用できる場合、燃料費は削減され、コスト縮減効果が期待できる。また、本技術は基本的には自動制御及び遠隔監視が可能なシステムを有している。このため、人件費は既設の脱水設備を担当している運転員がいることを想定し、日中は同人員で対応し、夜間は中央監視にて水処理設備と兼任とした省力化が可能であり、新たな増員は不要である。

表 2-5 に評価対象とした下水処理場の条件および試算単価を示す。

	衣 2-3 評価対象処理場条件と試昇単価						
比	対ケース		消化汚泥				
,	処理水量		日最大 20,000 m³/日、日平均 16,000 m³/日				
汚	尼処理方式		濃	と	→脱水		
消化	泛污泥処理量		日最力	大 2.16t-ds/日、日平均 1.	.73t-ds/日		
J	北較技術	従来脱水 従来脱水+乾燥 本技術					
薬品費	無機凝集剤	_		_	88 円/kg		
単価 1)	高分子凝集剤	1,000 円/kg					
電力 15 円/kWh							
	A 重油	— 71 円/L			1 円/L		
汚泥処分方法		外部	委託処分	外部委託処分2)	有効利用		
		処分費	16,000 円/t	処分費 14,000円/t	価格 0円/t		
		運搬費	7,000 円/t	運搬費 5,000 円/t	運搬費 5,000円/t		

表 2-5 評価対象処理場条件と試算単価

3)総費用

建設費(解体・廃棄費は含まない)と 15 年分の維持管理費の合計額を総費用として、従来技術と本技術の比較を行う。

(3)維持管理での温室効果ガス排出量

本技術導入による維持管理での温室効果ガス排出量は、電力、凝集剤、燃料の項目において評価する。

(4)維持管理でのエネルギー消費量

本技術導入による維持管理でのエネルギー消費量は、電力、燃料の項目において評価する。

(5) 乾燥汚泥の肥料としての性能

乾燥汚泥を肥料として利用する場合、肥料取締法に規定された主要な成分の含有量、有害成分量および原料の溶出試験、植害試験について評価する。主要な成分の含有量および有害成分量は表 2-6 に、原料の溶出試験については表 2-7 に分析項目を示す。また搬送・保管する上での設備面、安全面については、後述の燃料としての利用での試験にて評価を行う。

¹⁾ 高分子凝集剤単価は、平成 29 年度下水道革新的技術実証事業公募の公募資料より、無機凝集剤単価は平成 29 年度下水道革新的技術の評価項目に関する技術資料作成業務より使用

²⁾ 従来乾燥技術による乾燥汚泥も有効利用可能であるため処分費がかからない場合も想定されるが、今回の評価では外部委託処分とした。

表 2-6 乾燥汚泥中における成分分析(左:主要な成分の含有量、右:有害成分量)

項目	単位
亜鉛	mg/kg
窒素	%
りん酸	%
加里	%
石灰	%
銅	mg/kg
水分	%
C/N比	_

項目	単位	許容値
カドミウム	mg/kg	5
水銀	mg/kg	2
ヒ素	mg/kg	50
ニッケル	mg/kg	300
クロム	mg/kg	500
鉛	mg/kg	100

※許容値は、肥料取締法による

表 2-7 乾燥汚泥の溶出試験

項目	基準値	項目	基準値
アルキル水銀化合物	不検出	1・2-ジクロロエタン	0.04
水銀またはその化合物	0.005	1・1-ジクロロエチレン	1
カドミウム又はその化合物	0.3	シスー1・2-ジクロロエチレン	0.4
鉛又はその化合物	0.3	1・1・1-トリクロロエタン	3
有機リン化合物	1	1・1・2-トリクロロエタン	0.06
六価クロム化合物	1.5	1・3-ジクロロプロペン	0.02
ヒ素又はその化合物	0.3	チウラム	0.06
シアン化合物	1	シマジン	0.03
ポリ塩化ビフェニル	0.003	チオベンカルブ	0.2
トリクロロエチレン	0.3	ベンゼン	0.1
テトラクロロエチレン	0.1	セレン又はその化合物	0.3
ジクロロメタン	0.2	1・4・ジオキサン	0.5
四塩化炭素	0.02		

※基準値は、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令」(昭和48年総理府令第5号)による

また、化学肥料と同等の施肥効果が得られる施肥量について評価するため、以下の項目について試験を行う。

①窒素成分の無機化率

汚泥肥料は有機分を多く含むため、分析した窒素成分は速効性成分と遅効性成分に分かれる。 土壌中で分解されて無機化窒素になった後、植物に取り込まれる。

そこで、実際に乾燥汚泥肥料を土壌に散布し、4週間保温して有機態が分解した無機化窒素 を測定する。

②ポット試験による作物生育調査

上記①の無機化試験の結果を元に施肥条件を複数設定し、化学肥料を散布した育てた植物と

収量が同程度になる条件を確認する試験を行う。

③実圃場における作物生育調査

上記①の無機化試験および②の生育試験をふまえ、実圃場において大豆の生育試験を行う。 鹿沼市農業公社が保有する圃場のうち 1 ヶ所(30a)を、従来どおりの化学肥料を散布する 慣行区と、乾燥汚泥を散布し化学肥料を半分に減らした供試区の 2 つに分けて、大豆を栽培す る。表 2-8 に施用条件を示す。

	慣行区(化学肥料)		供試区(汚泥肥料)	
	施肥量 [kg/10a]	成分量 [kg/10a]	施肥量 [kg/10a]	成分量 [kg/10a]
汚泥 肥料			120	N6、P5、K0(有効量 N2、P5、K0)
化学 肥料	20	N2. 8、P3. 4、K2. 6	13 (塩化加里)	NO、PO、K5

表 2-8 施用条件

さらに、乾燥汚泥を用いたコンポスト製造について、乾燥汚泥を主原料とし、副資材として米ぬか、オガクズ、もみがらを混合して好気発酵させる場合を例として実際にコンポストを作成して評価する。

(6) 乾燥汚泥の燃料としての性能

乾燥汚泥の燃料利用時の特性としては、燃料性、安全性について評価する。燃料性は総発熱量と含水率を分析し、JIS Z 7312 で規定する下水汚泥固形燃料 BSF-15 の規格である総発熱量 15MJ/kg-wet の基準を満たすかどうか評価する。安全性については、乾燥汚泥について、①粉塵爆発試験、②発生ガス分析、③自然発火試験、④熱重量測定/示差熱分析による評価と、乾燥汚泥貯留槽への保管時の温度変化による評価を行う。

乾燥汚泥貯留槽での温度変化測定は、含水率 10%および 50%の乾燥汚泥を乾燥汚泥貯留槽に 10 日間保管し、コンテナ内部の温度変化を調査した。図 2-12 に乾燥汚泥貯留槽内部の概略図を、表 2-9 に温度を測定する熱電対の具体的な配置を示す。コンテナ内部への熱電対の挿入長は a) 手前:600mm(底部より 300mm)、b)中:1200mm(底部より 150mm)、c)奥:1800mm(底部より 150mm)の 3 点である。

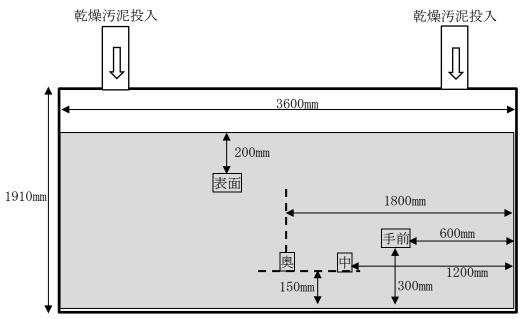


図 2-12 乾燥汚泥貯留槽 概略図

番号	熱電対の名称	熱電対の位置		
а	手前	コンテナ底部から 300mm 上, 乾燥設備側から 600mm		
b	中	コンテナ底部から 150mm 上, 乾燥設備側から 1200mm		
С	奥	コンテナ底部から 150mm 上, 乾燥設備側から 1800mm		
d	表面	乾燥汚泥貯留上部粉面から 200mm 下		

表 2-9 熱電対の位置

(7) 環境への影響(排ガス、臭気、騒音、排水)

環境への影響については実証結果に基づき、以下の項目について評価する。

1) 排ガス

①目的

脱水乾燥システムを運用する際に排出される排ガスが環境に与える影響を評価するため、 連続運転時の排ガスの性状を測定する。

②調査方法

乾燥汚泥含水率を30%と設定して連続運転した際に各種分析・測定を実施する。

③調査条件

表 2-10 に調査条件を示す。

表 2-10 調査条件

調査日		平成 29 年 6 月 1 日	平成 29 年 8 月 30 日	平成 29 年 9 月 27 日		
	対象汚泥	消化汚泥 混合生汚泥 0D 汚泥				
	汚泥処理量	$4.2 \text{m}^3/\text{h}$	$2.1 \text{m}^3/\text{h}$	6.3m³/h		
	無機凝集剤注入率	20%	17%	20%		
	高分子凝集剤注入率	1.9%	0.8%	1.6%		
条 運件 転	遠心力	2800G				
	差速	設定トルクとなるよう自動制御				
熱風温度		385℃				
乾燥汚泥含水率		30%				
項調目査	排ガス分析	1 点	1 点	1点		

④分析項目と測定場所

表 2-11 に本調査における分析項目および分析方法を、図 2-13 に測定場所を示す。

表 2-11 分析項目一覧

	対象	測定	
分析項目			分析方法
	サンプル	場所	
基礎項目 (CO ₂ 、O ₂ 、CO、N ₂ 、H ₂ O、温度、静圧)			オルザットガス分析法、 JIS Z 8808
流量(湿ベース, 乾ベース)			JIS Z 8808
ばいじん	設備		移動採取法
硫黄酸化物	総合	煙突 (脱臭前)	イオンクロマトグラフ法
窒素酸化物	NO LI		イオンクロマトグラフ法
臭気成分(悪臭防止法 22 成分)	排ガス		吸光光度法、ガスクロマトグラフ法 (FID)
重金属(ガス状・粒子状)1)			ICP 発光分析法
臭気濃度・臭気指数		脱臭前後	三点比較式臭袋法

1) 銅およびその化合物、亜鉛およびその化合物、カドミウムおよびその化合物、鉛およびその化合物、マンガンおよびその化合物、合物、クロムおよびその化合物、砒素およびその化合物、セレンおよびその化合物、六価クロム化合物、水銀およびその化合物

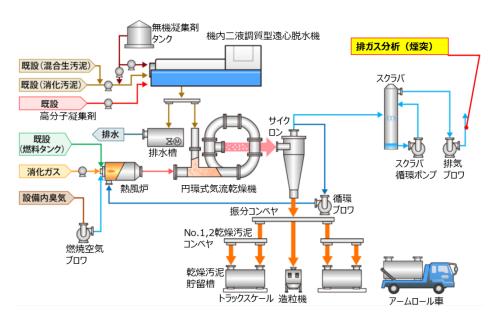


図 2-13 排ガス分析 測定箇所

2) 臭気

①目的

脱水乾燥システムを運用することで敷地境界における臭気の環境への影響を評価する。

②調査方法

乾燥汚泥含水率を30%と設定して連続運転した際に測定を行う。

③調査条件

表 2-12 に調査条件を示す。

表 2-12 調査条件

	調査日	平成 29 年 6 月 1 日	平成 29 年 8 月 30 日	平成 29 年 9 月 27 日		
	対象汚泥	消化汚泥	混合生汚泥	OD 汚泥		
汚泥処理量		$4.2 \text{m}^3/\text{h}$	$2.1 \text{m}^3/\text{h}$	6.3m³/h		
	無機凝集剤注入率	20%	17%	20%		
運	高分子凝集剤注入率	1.9% 0.8%		1.6%		
運転条件	遠心力	2800G				
件	差速	設定トルクとなるよう自動制御				
	熱風温度	385℃				
	乾燥汚泥含水率					
項調目査	臭気分析	1 点	1点	1 点		

④分析項目と測定場所

表 2-13 に本調査での分析項目および測定場所、分析方法を示す。

	対象	測定	
分析項目			分析方法
	サンプル	場所	
		敷地境界	吸光光度法、
臭気成分(悪臭防止法 22 成分)	大気, 排ガス	7,500 (1.50)	ガスクロマトグラフ法(FID)
臭気濃度・臭気指数		(風上、風下)	三点比較式臭袋法

表 2-13 分析項目一覧

また、**図 2-14** に敷地境界としての測定場所を示す。調査時に風向きを確認し、敷地境界における風上(地点:1) と風下(地点:2) を決めて測定を行った。

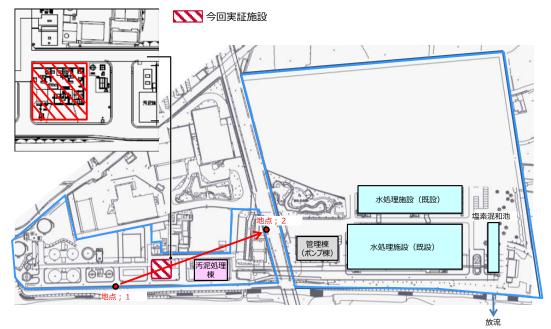


図 2-14 敷地境界における臭気測定

3) 騒音

①目的

脱水乾燥システムを運用する際の騒音が、環境に与える影響を評価するため、連続運転時に 設備から発生する騒音の測定を実施する。

②調査方法

乾燥汚泥含水率を30%と設定して連続運転した際の騒音を測定する。

③調査条件

表 2-14 に調査概要及び調査条件を示す。

表 2-14 調査条件

調査日		平成 29 年 2 月 10 日		
使用機器		実証設備		
	対象汚泥	消化汚泥		
	汚泥処理量	4. 2m³/h		
	無機凝集剤注入率	20%		
	高分子凝集剤注入率	1.9%		
条運件転	遠心力	2800G		
	差速	設定トルクとなるよう自動制御		
	熱風温度	385℃		
	乾燥汚泥含水率	30%		
項 調 騒音測定		1点		

④測定方法と測定場所

実証設備は共通床板上に全ての機器が配置されているため、この共通床板上の**図 2-15** に示す各所にて騒音を測定した。また、騒音値は既設や近隣の交通状況の影響も受けることから、設備が停止した際に通常時の騒音値(以降、暗騒音とする)を測定する。

表 2-15 に測定に使用した計測器を、図 2-15 に測定場所を示す。

表 2-15 騒音計

機種名	普通騒音計
型式 (メーカー)	NL-42 (リオン株式会社)
型式承認	第 SLS111 号
騒音レベルの計量範囲	25~130dB
使用周波数範囲	20~8000Hz

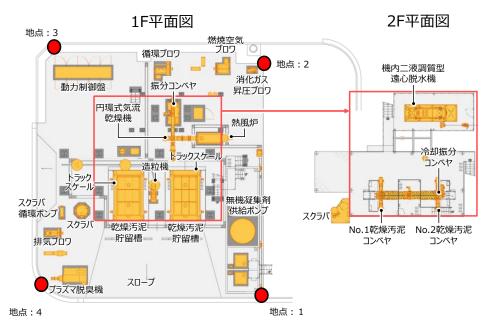


図 2-15 脱水乾燥システムフロー平面配置における騒音測定場所

4) 排水性状

①目的

脱水乾燥システムを運用することで排出される排水が環境に与える影響を評価する。

②調査方法

乾燥汚泥含水率を30%と設定して連続運転した際の排水を採取・分析する。

③調査条件

表 2-16 に調査条件を示す。

表 2-16 調査条件

調査日		平成 29 年 6 月 1 日	平成 29 年 8 月 30 日	平成 29 年 9 月 27 日	
対象汚泥		消化汚泥	混合生汚泥	OD 汚泥	
	汚泥処理量	$4.2 \text{m}^3/\text{h}$	$2.1 \text{m}^3/\text{h}$	6.3m³/h	
	無機凝集剤注入率	20%	17%	20%	
	高分子凝集剤注入率	1.9%	0.8%	1.6%	
条運件転	遠心力	2800G			
,, ,	差速	設定トルクとなるよう自動制御			
	熱風温度	385℃			
	乾燥汚泥含水率		30%		
項調目査	排水分析	1点	1点	1点	

④分析項目と測定場所

表 2-17 に分析項目および採取場所、分析方法を示す。

表 2-17 分析項目一覧

分析項目	対象サンプル	測定場所	分析方法
pH SS BOD COD-Mn 塩化物イオン TN NH4 TP SO4 ノルマルヘキサン(鉱物油類) ノルマルヘキサン(動植物油) 有害物質 33 項目 ^{注)} ダイオキシン類	設備総合排水		ガラス電極法 重量法 隔膜電極法 過マンガン酸カリウム滴定法 イオンクロマトグラフ法 熱分解法 イオンクロマトグラフ法 吸光光度法 イオンクロマトグラフ法 重量法 吸光光度法、ICP 発光分析法、イオンクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法 JIS K 0312

注) カドミウム及びその化合物、シアン化合物、有機リン化合物、鉛及びその化合物、六価クロム化合物、砒素及びその化合物、水銀及びアルキル水銀その他水銀化合物、アルキル水銀、ポリ塩化ビフェニル、ジクロロメタン、四塩化炭素、1.2-ジクロロエタン、1.1-ジクロロエチレン、シス-1.2-ジクロロエチレン、1.1.1-トリクロロエタン、1.1.2-トリクロロエタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1.3-ジクロロプロペン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、ベンゼン、セレン及びその化合物、ホウ素及びその化合物、フッ素及びその化合物、1.4-ジオキサン、フェノール含有量、銅含有量、亜鉛含有量、溶解性鉄含有量、溶解性マンガン含有量、クロム含有量

§13 評価結果

本技術の実証研究における以下の項目の評価結果を示す。

- (1) 脱水乾燥性能
- (2) 総費用(年価換算値)
- (3)維持管理での温室効果ガス排出量
- (4)維持管理でのエネルギー消費量
- (5) 乾燥汚泥の肥料としての性能
- (6) 乾燥汚泥の燃料としての性能
- (7)環境への影響(排ガス、臭気、騒音、排水)

【解 説】

(1) 脱水乾燥性能

脱水乾燥性能として、下記の項目について評価を行った。評価結果の一覧を表 2-18 に示し、 ここでは各種汚泥に適用可能と判断した熱風温度と乾燥汚泥含水率の評価結果を説明する。

評価項目		消化汚泥	混合生汚泥	OD汚泥 ¹⁾	
処理量		単 位	114121415	120 11 21 370	0.2.1412
凝集剤	高分子	%-ds	1.9	0.8	1.9
注入率	無機	%-ds	10	5	0
消費電力 2)		kWh/t-ds	635	635	635
燃料使用量 3)		L/t-ds	234	249	280
乾燥汚泥含水率		%	10~50	10~50	10~50

表 2-18 脱水乾燥性能の評価結果

- 1) OD 汚泥については、夏季のみの調査結果による。
- 2) 電力使用量は、各機器の電流値を測定し、実機に必要な機器分を加算した数値である。消化汚泥、混合生汚泥は年間平均値である。
- 3) 燃料使用量の原単位については、各種汚泥について年間データの近似式より乾燥汚泥含水率 30%時の使用量を 算出した。消化汚泥は**図資 1-7**、混合生汚泥は**図資 1-12**、0D 汚泥は**図資 1-15** を参照。

1)凝集剤注入率

消化汚泥では 1.9%-ds、混合生汚泥では 0.8%-ds、0D 汚泥では 1.9%-ds が最適な注入率となった。(試験の詳細は、**資料編 1.3実証結果**を参照)

2) 消費電力および燃料使用量

乾燥汚泥含水率 30%において、消費電力は、いずれの汚泥種でも 635kWh/t-ds となり、燃料使用量は表 2-18 に示す通りとなった。(試験の詳細は、資料編 1.3実証結果を参照)

3) 乾燥汚泥含水率

消化汚泥での熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を**図 2-16** に、混合生汚泥での熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を**図 2-17** に示す。消化汚泥および混合生汚泥いずれにおいても、年間通して、熱風温度 250~550℃の範囲では設定した熱風温度に応じて、おおよそ 10%~50%の乾燥汚泥を得られることを確認した。秋季については、消化汚泥の固形物量が他の季節に比べて低かったため、他の季節より低い熱風温度で所定の乾燥汚泥含水率になったと考えられる。

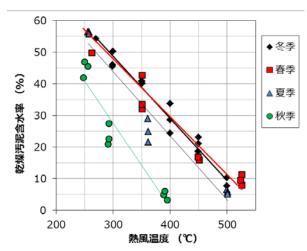


図 2-16 消化汚泥における熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係

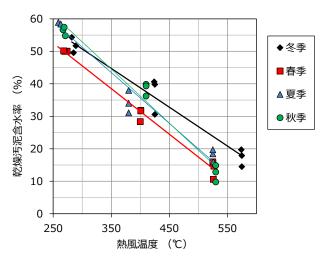


図 2-17 混合生汚泥における熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係

(2) 総費用(年価換算値)

表 2-5 の条件において、得られた試算結果を表 2-19 および図 2-18 に示す。今回、試算を簡便に行うために費用関数を設定し、算出した。(詳細は、資料編 2.2費用関数についてを参照)

総費用(年価換算値)の評価においては、本技術は従来脱水機の更新である従来脱水に対しては 約40%低減となり、また従来脱水に加え、従来乾燥機を導入する従来脱水+乾燥に対しては約51% 低減となった。

比較技術		従来脱水	従来脱水+乾燥	本技術	
総費用(年価	建設費		24.7 百万円/年	85.4 百万円/年	36.2 百万円/年
換算値)	維持	維持管理	21.2 百万円/年	55.9 百万円/年	37.4 百万円/年
	管理	汚泥処分	85.4 百万円/年	17.1 百万円/年	4.5 百万円/年
		合計	131.3 百万円/年	158.4 百万円/年	78.1 百万円/年

表 2-19 総費用(年価換算値)の算出結果

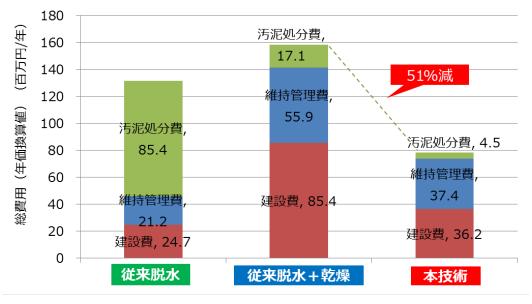


図 2-18 総費用(年価換算値)の試算結果

(3)維持管理での温室効果ガス排出量

本技術導入による維持管理での温室効果ガス排出量は、試算した結果、従来脱水+乾燥に対しては約61%低減となった。試算結果を表2-20に、グラフに表したものを図2-19に示す。

表 2-20 温室効果ガス排出量の算出結果

比較技術	従来脱水	従来脱水+乾燥	本技術
維持管理での温室効果ガス排出量		729 t-CO ₂ /年	288 t-CO ₂ /年

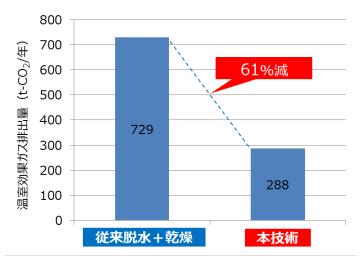


図 2-19 温室効果ガス排出量の試算結果

(4)維持管理でのエネルギー消費量

本技術導入による維持管理でのエネルギー消費量(電力、重油)は、本技術は従来脱水+乾燥に対しては約63%低減となった。試算結果を表2-21に、グラフに表したものを図2-20に示す。

表 2-21 エネルギー消費量の算出結果

比較技術	従来脱水	従来脱水+乾燥	本技術
維持管理でのエネルギー消費量	1,444GJ/年	10,168GJ/年	3,803GJ/年



図 2-20 エネルギー消費量の試算結果

(5) 乾燥汚泥の肥料としての性能

【肥料性状分析】

今回実証対象とした混合生汚泥、消化汚泥及び OD 汚泥の乾燥汚泥について、主な成分量および有害成分量、溶出試験結果を分析した。消化汚泥は平成 30 年 1 月、混合生汚泥は 8 月、OD 汚泥は 9 月にサンプリングした乾燥汚泥を分析対象とした。

各分析項目の測定結果は**資料編 1.5.1(1)肥料性状分析**に示すが、いずれの汚泥においても許容値を満足する結果が得られ、肥料取締法に基づく肥料登録が可能な性状であることを確認した。

黒川終末処理場から通常排出される消化汚泥の乾燥汚泥については、鹿沼市にて平成 29 年 10 月付けで肥料登録を行った。

【設備面の評価】

乾燥汚泥の受け入れ先の設備によるが、受入先の既設が本技術の乾燥汚泥のような流動性のよいものを受け入れていない場合、既存設備にて搬送可能か検討する必要がある。燃料利用の場合の評価について、後述の(6)乾燥汚泥の燃料としての性能【搬送貯留設備の評価】に記載する。

【安全性】

肥料として袋詰めなど搬出する荷姿にもよるが、乾燥汚泥を貯留・保管する場合に乾燥汚泥については安全に保管する必要がある。安全性に関する試験を行った結果を、後述の(6)乾燥汚泥の燃料としての性能【安全性評価】に記載する。

【 肥効試験 】

消化汚泥の乾燥汚泥について、肥効試験として以下の項目について評価を行った。

① 窒素成分の無機化率

汚泥肥料は有機分を多く含むため、分析した窒素成分は速効性成分と遅効性成分に分かれる。 土壌中で分解されて無機化窒素になった後、植物に取り込まれる。

そこで、実際に乾燥汚泥肥料を土壌に散布し、4週間保温して有機態が分解した無機化窒素を 測定したところ34%であった。(試験の詳細は、**資料編 1.5.1 (2)**を参照)

② ポット試験による作物生育調査

上記①の無機化試験の結果を元に施肥条件を複数設定し、化学肥料を散布した育てた植物と収量が同程度になる条件を確認する試験を行った。栽培した結果、無機化試験の結果をふまえ窒素成分として3倍量を施肥した条件において、化学肥料の条件と同程度の収量となった。(試験の詳細は、資料編 1.5.1(2)を参照)

③ 実圃場における作物生育調査

上記①の無機化試験および②の生育試験をふまえ、実圃場において大豆の生育試験を行った。 鹿沼市農業公社が保有する圃場のうち1ヶ所(30a)を、従来どおりの化学肥料を散布する慣行 区と、乾燥汚泥を散布し化学肥料を半分に減らした供試区の2つに分けて大豆を栽培した。 収穫は、11月24日に供試区、慣行区ともにコンバインにより刈り取りを行った。コンバインでの収穫直後の収量を確認した結果、一部鞘等が混じるものの、収穫量は $\mathbf{表}$ 2-22 のとおりとなった。

_			
	供試区		慣行区
	収 量	260kg/10a	227kg/10a

表 2-22 供試区、慣行区での大豆の収穫量

供試区の収穫量は慣行区より同等以上の収量となり、乾燥汚泥肥料が化学肥料の窒素・リン成分の代替として利用可能であることを確認した。

また上記結果を踏まえ、慣行区の加里の散布量は、供試区の散布量の半分であることを考慮すると、化学肥料の費用は、慣行区 1,520円/10a、供試区 602円/10aとなり60%の削減効果となる。(※化学肥料の価格はJAの予約価格を使用)

【コンポスト原料としての利用試験】

今回対象とした混合生汚泥及び消化汚泥について、乾燥汚泥を用いてコンポスト化を行い、堆肥となった後に当該試料を用いて幼植物栽培試験を行った結果を表 2-23 および図 2-21 に示す。いずれの乾燥汚泥においても、無施用区より良好な生育状況を示しており、コンポストの原料としても利用できることを確認した。

(詳細条件等は、資料編 1.5.2乾燥汚泥のコンポスト利用を参照。)

区	草丈[cm]	新鮮重[g]
無施用	8.5	14. 20
堆肥/乾燥汚泥(消化)	9. 5	15. 54
堆肥/乾燥汚泥(混合生)	10.3	14. 44

表 2-23 幼植物栽培試験の生育結果



図 2-21 コマツナの幼植物栽培試験(2018年2月21日)

(6) 乾燥汚泥の燃料としての性能

乾燥汚泥の燃料利用時の特性として、燃焼性、安全性について評価した結果を示す。

【 燃焼性評価 】

表 2-24 および表 2-25 に乾燥汚泥の燃焼性に関する分析結果を示す。各種汚泥について JIS Z 7312 (BSF-15) に適合する性状が得られ、燃料として十分に有効活用が可能であることを確認した。

表 2-24 燃焼性に関する分析結果(消化汚泥)

	項目	単位	冬季	春季	夏季	秋季
	含水率	%	11.0	10.0	15.4	11.6
灰分 元素組成 C		%/TS	18.4	18.0	17.1	16.5
		% dry	43.4	41.3	42.3	45.8
元素組成 H	% dry	6.15	6.52	6.51	6.92	
	元素組成 N	% dry	7.17	6.78	6.47	6.99
	元素組成 O	% dry	23.6	24.4	25.6	22.5
	全硫黄	mg/kg dry	13000	31000	21000	12000
	全塩素	mg/kg dry	330	350	320	400
	Al_2O_3	%	7.31	6.81	7.87	8.32
	Fe ₂ O ₃	%	23.3	24.5	25.3	15.9
	SiO ₂	%	16.3	15.4	16.1	20.5
	CaO	%	10.3	9.97	9.30	11.5
<u> </u>	MgO	%	5.02	4.79	3.40	4.08
灰組成	Na₂O	%	0.50	0.58	0.40	0.47
灰	P ₂ O ₅	%	28.7	21.9	21.3	23.9
	K ₂ O	%	1.22	1.04	0.71	1.18
	TiO ₂	%	0.87	0.91	0.95	0.89
	MnO	%	0.25	0.36	0.26	0.16
	SO ₃	%	0.54	2.54	1.47	0.77
	固定炭素	% dry	17.1	16.6	10.1	12.1
高位発熱量		J/g dry	19400	18300	18800	19900
	総発熱量	J/g wet	17,266	16,470	15,905	17,592
かさ	比重(かため)	_	0.558	0.565	0.584	0.508
かさ	比重(ゆるめ)	_	0.479	0.522	0.536	0.458

表 2-25 燃焼性に関する分析結果 (混合生汚泥)

		1X Z Z J	冬季	春季	夏季	秋季
項目		単位		 乾燥	<i>复字</i> 乾燥	
		%	9.9	15.4	16.8	14.2
	灰分	%/TS	11.1	10.4	10.9	10.9
- 5	元素組成 C	% dry	45.6	44.8	44.7	45.7
=	元素組成 H	% dry	6.85	6.44	7.25	7.17
5	元素組成 N	% dry	6.57	6.29	6.43	6.43
5	元素組成O	% dry	29.0	31.2	29.5	28.4
	全硫黄	mg/kg dry	9200	9400	12000	12000
	全塩素	mg/kg dry	250	290	220	340
	Al ₂ O ₃	%	7.09	7.85	7.30	6.47
	Fe ₂ O ₃	%	14.7	12.8	22.4	23.7
	SiO ₂	%	17.4	19.3	18.6	20.4
	CaO	%	6.85	8.33	6.42	7.15
111	MgO	%	4.6	4.27	2.87	3.18
灰組成	Na ₂ O	%	0.41	0.44	0.41	0.48
加	P ₂ O ₅	%	41.7	34.8	29.6	26.8
	K ₂ O	%	2.90	3.10	1.94	2.16
	TiO ₂	%	0.76	1.03	0.77	0.87
	MnO	%	0.11	0.12	0.16	0.18
	SO ₃	%	0.13	0.29	0.24	0.38
	固定炭素	% dry	11.2	10.8	14.1	12.5
Ī	高位発熱量	J/g dry	20900	20100	19300	20000
	総発熱量	J/g wet	18,831	17,005	16,058	17,160
かさ	比重(かため)	_	0.308	0.380	0.368	0.367
かさ	比重(ゆるめ)	_	0.284	0.242	0.304	0.310

【 搬送貯留設備の評価 】

本技術より発生した乾燥汚泥の搬送・貯留・供給に際しては、通常用いられるスクリューコンベヤ、フライトコンベヤ(バケットコンベヤ)、サークルフィーダーなどが流用できることを確認した。(詳細は、資料編 1.5.3乾燥汚泥の燃料利用を参照。)

【 安全性評価 】 (詳細は、資料編 1.5.3 乾燥汚泥の燃料利用を参照)

① 基礎調査

表 2-26 に乾燥汚泥の燃料利用時の安全性に関する評価結果を示す。本技術より発生した乾燥 汚泥の貯留に際してはホッパの温度管理や散水対策を行ったうえで、安全に保管することが可能 であるといえる。

表 2-26 安全性に関する評価結果

項目		評価結果	対策など	
燃料物	自然発火 試験 1)	発火の有無	無し	_
	可燃性 ガス発生 ²⁾	水素	可燃限界以下	・水が添加されると酸化反応が 進むため、水が混入される環 境下を避ける方がよい。
		メタン	可燃限界以下	
		一酸化炭素	可燃限界以下	
	粉塵 爆発試験 ³⁾	着火・爆発の有無	有り	63μm以下に粉砕したものに て試験を行っており、実際の 乾燥汚泥粒径は数百μm以上 であり、爆発の危険性は低い。
		爆発下限濃度	$95{\sim}100\mathrm{g/m}^3$	
		爆発性評価	中位	
	熱重量 測定/ 示差熱 分析 ⁴⁾	燃料特性	100℃台までは水分の蒸発による減少が見られるが、200℃ 近辺より有機物の燃焼による減量が見られる。200℃前後 では消化汚泥のほうが混合生汚泥よりも減量幅が大きく、 400℃以降は混合生汚泥のほうが消化汚泥よりも減量幅が 大きく、当該温度での揮発性有機分の差であることが予想 される	

- 1)「下水汚泥固形燃料発熱特性評価試験マニュアル」日本下水道事業団(H20.3) 5.2.2 準拠
- 2) 同上 4.3.2 準拠
- 3) JIS Z 8812 準拠
- 4) 熱重量示差熱同時測定装置 (ブルカー・エイエックス製 TG-DTA2020SA) を使用

②貯留における安全性調査

作成した乾燥汚泥を乾燥汚泥貯留槽に1週間程度保存し、内部の温度上昇及び発生ガスの状況 を確認した。

脱水乾燥システムにより得られた含水率約 10%および約 50%乾燥汚泥をコンテナタイプの乾燥汚泥貯留槽に約 10 日間保管し、コンテナ内部の温度変化を調査した。また 91 時間経過時より、表面から 200mm の位置でも温度測定を行った。測定結果を図 2-22 に示す。

- ・含水率 10%の乾燥汚泥については内部の温度変化も少なく、安定的に貯留できた。
- ・含水率 50%の乾燥汚泥については貯留に伴い発酵反応が生じている傾向が確認された。温度上昇としては 50℃前後まで上昇し、その後は低下傾向にあった。発酵にともない臭気ガスが発生するため、脱水汚泥の貯留同様に槽内の換気が必要である。

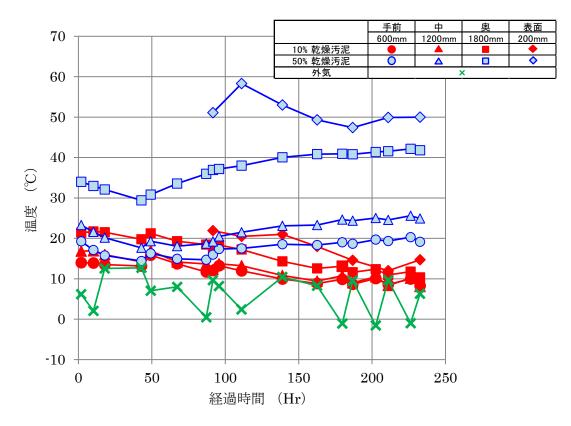


図 2-22 乾燥汚泥貯留槽における内部温度の測定結果

(7)環境への影響(排ガス、臭気、騒音、排水)

環境への影響については実証結果に基づき、以下の項目について評価し、いずれも規制値以下 であることを確認した。

①排ガス性状

資料編 1.6環境への影響に各種汚泥において乾燥汚泥含水率30%にて運転した際の煙突での排ガス性状に関する評価結果を示す。全ての項目で規制値を満足していることを確認した。

2 臭気

資料編 1.6環境への影響に各種汚泥における敷地境界での臭気に関する評価結果を示す。 全ての地点において臭気指数 10 以下であり、当該地域に規制値が設定されたとしても十分満足 出来ていることを確認した。

③ 騒音

資料編 1.6環境への影響に各種汚泥における設備周辺での騒音に関する評価結果を示す。 全ての地点において、設備の稼動による騒音への影響は極めて軽微であるといえる。

④ 排水性状

資料編 1.6環境への影響に各種汚泥において本技術から発生した排水の性状分析結果を示す。従来脱水(既設脱水設備)と比較が可能な一般項目については、各項目において同等以下の結果であった。

本技術では顕著な排水水質への影響は認められず、水処理への影響については従来脱水と同程度であるといえる。