

下水汚泥の油温減圧式乾燥技術の 性能評価に関する研究

1. 研究目的

福岡県では、平成6年度に御笠川浄化センターより発生する汚泥の増加に伴い、将来の汚泥の処理処分について、検討を行った。当時の処分方法として海洋投入、陸上埋立、堆肥により処分していたが、将来的にみると、海洋投棄の禁止、陸上埋立の処分地の不足等により永続的な処理処分が困難となることが予測されたため、汚泥の減量化を目的とし、さらに汚泥の有効利用を目指して溶融施設および汚泥乾燥施設の導入を図り、永続的に処理処分を行うこととした。

汚泥乾燥施設の導入にあたっては、安定した下水汚泥の有効利用策として、下水脱水汚泥（以下、脱水汚泥）と媒体油（ホテル、レストラン等から発生する廃食用油）を混合後、減圧加熱することで汚泥を短時間で乾燥する油温減圧式乾燥設備を選定した。この乾燥汚泥（以下、油温乾燥汚泥）は、セメント工場における助燃材あるいは肥料として有効利用が可能である。本性能評価研究においては実設備で性能確認するとともに、バイオソリッドとしての観点から、油温乾燥汚泥の有効利用方法の検討を行ったものである。本研究は、福岡県流域下水道御笠川浄化センターに建設された油温減圧式乾燥設備にて行われた。

2. 研究内容

2.1 油温減圧式乾燥システムの評価

(1) 乾燥性能の評価

実設備における油温減圧式乾燥性能と油温乾燥汚泥性状、特徴について確認し、油温減圧式乾燥性能を評価する。

(2) 設備の安定性

季節変動における油温乾燥汚泥設備の安定性を評価する。

(3) 維持管理性

油温減圧式乾燥設備における運転管理などの操作性や保守点検項目について評価する。

(4) 経済性

投入汚泥当たりのユーティリティ費、人件費や補修費を算定し評価する。

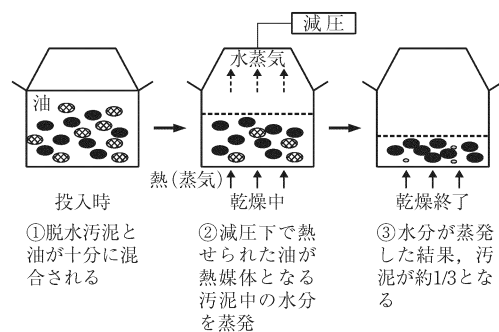


図-1 油温減圧式乾燥技術の原理

- (5) 環境影響
 - 1) 臭気影響

運転時の作業環境、敷地境界における臭気成分の実態を把握し、評価する。
 - 2) 排水の水処理への影響

排水量・水質・負荷量を調査し、水処理施設への影響程度を評価する。
- (6) 油温乾燥汚泥の管理指針

油温乾燥汚泥の適切な保管方法、平常時および緊急時における対応策についてまとめる。
- (7) 設備・運転管理における改善策

研究成果をもとに、今後の油温減圧式乾燥設備や運転管理方法の改善策についてまとめる。

福岡県および近隣において有効利用先として可能性のある団体（企業）に対して、アンケート・ヒアリング調査を行い、油温乾燥汚泥の有効利用の可能性を把握する。

- (3) 有効利用条件の検討

有効利用先の需要量や必要性状をまとめ、それをもとに油温減圧式乾燥設備の運転条件を検討する。
- (4) 温室効果ガス排出量削減効果の評価

油温乾燥汚泥を活用した場合の温室効果ガス削減効果について評価する。
- (5) バイオソリッドとしての評価

油温乾燥汚泥の利活用促進のための課題について整理する。

2.2 油温乾燥汚泥の有効利用方法の検討

油温乾燥汚泥の有効利用先について、バイオソリッドの観点を含め、改めて油温乾燥汚泥の有効利用方法について検討するものとした。

- (1) 油温乾燥汚泥の有効利用先の検討

有効利用先を整理する。
- (2) アンケート・ヒアリング調査の実施

2.3 設備の概要

油温減圧式乾燥設備の処理はバッチで行い、1バッチ当たり脱水汚泥（消化汚泥）10t-wet、媒体油7m³を混合し、1日8時間運転で計30t-wet（3バッチ）の脱水汚泥を乾燥する処理能力を有している。設備処理フローを図-2に示した。

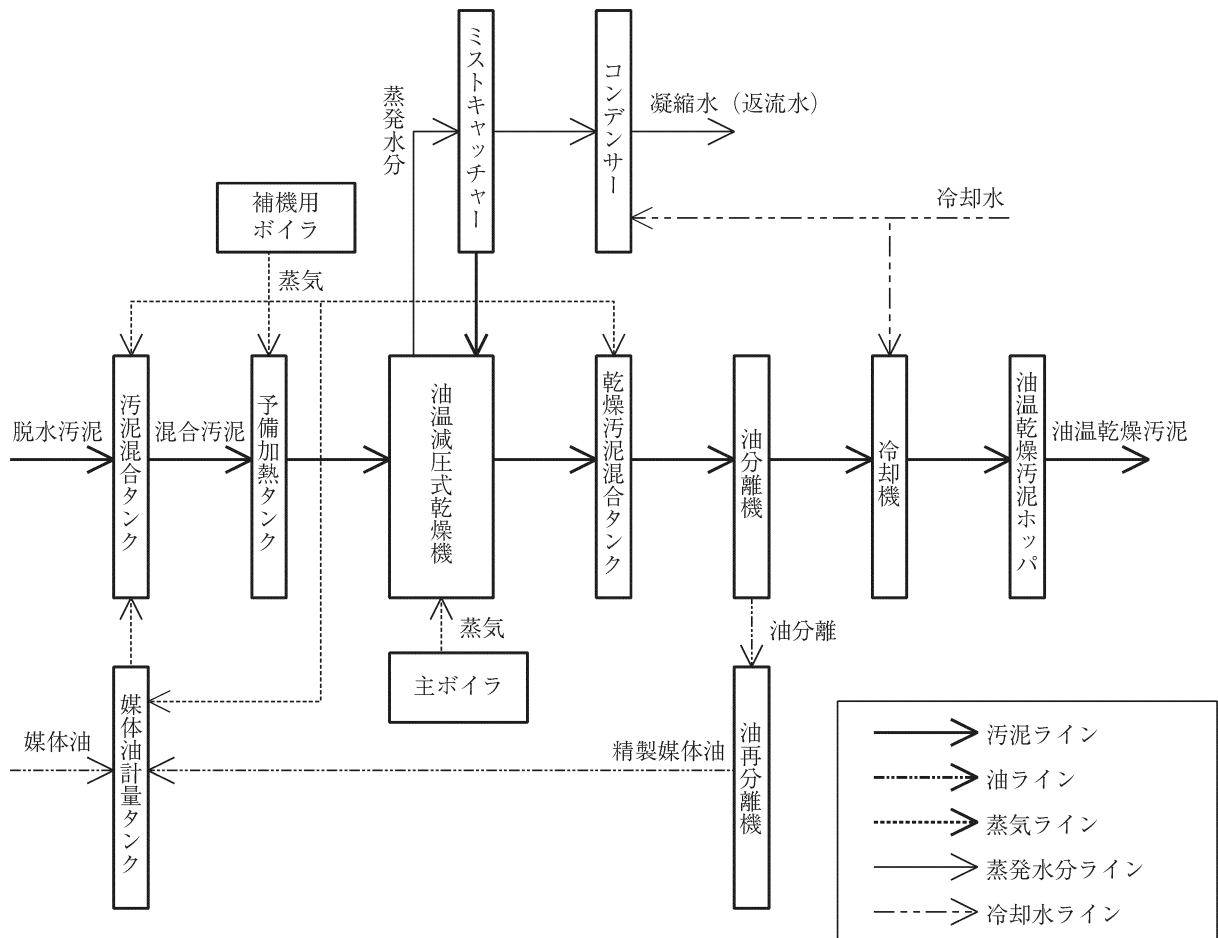


図-2 油温減圧式乾燥技術のシステムフロー

3. 研究成果

3.1 油温乾燥技術の性能評価

(1) 乾燥性能

脱水汚泥の水分量と油温減圧式乾燥時間との関係を図-3に示す。なお、水分量とは実際の投入汚泥量に、そのときの含水率を乗じて求めた油温減圧式乾燥機投入水分量である。図より、4月よりも脱水汚泥含水率が低い8月および11月においては、油温減圧式乾燥時間がやや短く、さらに油温乾燥汚泥含水率も低くなる傾向があるが、脱水

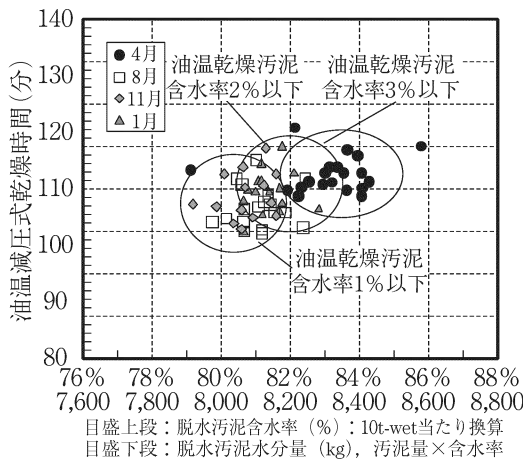


図-3 脱水汚泥含水率と油温減圧式乾燥時間 (日平均値)

汚泥含水率の季節変動に対しても、油温減圧式乾燥時間は概ね100~120分の範囲で油温乾燥汚泥含水率を3%以下にできるものと考えられる。

(2) 媒体油の性状変化

媒体油は、脱水汚泥を乾燥するときの熱媒体となっているものであり、本技術の特徴の一つである。乾燥工程中における加熱温度は、減圧するため、水の沸点100℃よりも低い約85℃にすることができ、その結果、油の劣化が小さいとされている。ここでは媒体油の劣化度合いを見るため、媒体油の使用前後の酸価値を測定し比較した。その結果、表-2に示すように、酸価値(平均値)は

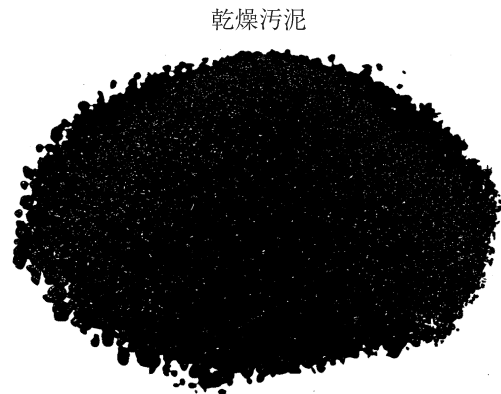


写真-1 油温減圧乾燥汚泥

表-1 乾燥性能と油温乾燥汚泥性状

条件		H15.4月	H15.8月	H15.11月	H16.1月
投入条件	脱水汚泥種類	消化汚泥	消化汚泥	消化汚泥	消化汚泥
	脱水汚泥含水率	80~84%	79~82%	81~82%	81~86%
	投入量	10t	10t	10t	10t
乾燥条件	汚泥、油混合比	0.64~0.75	0.64~0.69	0.65~0.69	0.64~0.69
	乾燥時間	105~131min 平均113min	100~122min 平均107min	100~134min 平均109min	101~130min 平均110min
乾燥汚泥性状	含水率	0.9~4.2%	0.5~1.5%	0.5~1.5%	0.4~1.7%
	有機分	76~78%	74~75%	74~75%	76~80%
	油分 ()内は計算値	(34%)	36% (37%)	36% (36%)	(35%)

表-2 本評価研究における媒体油の分析結果

項目	単位	使用前	使用后(再分離後)		
		(平均値)	9月	12月	1月
酸価	(mg/g)	5.3	12.0	8.6	11.8
粘度 ^{**1}	(80℃cP)	—	55.4	18.8	26.1
固形分	(%)	0.1	1.0	0.7	1.8

使用前5.3mg/g, 使用後は最大で12.0mg/gとなった。数値的には増加しているが、媒体油の交換の目安としている25mg/gよりはかなり低く、循環再利用可能と判断した。

(3) 油温乾燥汚泥の発熱特性等

表-3に示すように、油温乾燥汚泥は、基本物性試験の結果、揮発成分が多く、自己発熱性物質であることが判明した。

表-3 油温乾燥汚泥の発熱特性

試験	試験結果
自己発熱性物質試験 (国連勧告による方法)	自己発熱性物質
発火点試験 (JIS K1474)	277~300℃
TG-DTA試験	揮発成分が多い
油成分分析 (n-ヘキサン可溶分の成分分析)	長鎖脂肪酸カルボン酸を含む化合物が多く検出

油温乾燥汚泥の発熱等、基本物性試験の結果をまとめると以下のとおりである。

1) 発熱・発火性について

- 油温乾燥汚泥に一定の熱を加えた場合において、周辺の雰囲気が発熱性の悪い状態である場合は、蓄熱し発火に至ることが推測される。
- 同一環境条件下であれば、量が多い（堆積量が多い）と蓄熱し易い傾向がある。
- 油温乾燥汚泥は、発熱・発火のしやすさにおいて、油温乾燥汚泥は炭化物のうち、精錬度の高いもの（炭化程度が低く発火しやすい）

と同程度である。

2) 油温乾燥汚泥の油分について

- 油温乾燥汚泥に熱を加えることにより、酸化、発熱反応が進み揮発性の物質が揮発し、重量が減少する。
- 揮発成分は、廃食油中のオレイン酸などの不飽和脂肪酸であり、空气中で酸化しやすい性質を持っている。
- 揮発成分は、アルデヒド等の脂肪酸分子の鎖が切断されて生じる物質であり、これが臭いの原因ともなっている。

以上の結果より、油温乾燥汚泥の保管・管理における発煙・発火対策として、「防止対策」、「監視方法」、「緊急対策」という観点からフィールド調査等を行い、運転管理指針をとりまとめた。

(4) 経済性

1) 処理費用

ユーティリティの実績を図-4に示す。

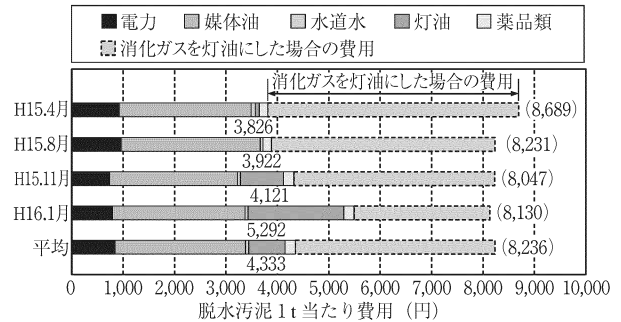


図-4 脱水汚泥1t当たりの処理費用

表-4 維持管理費の比較

項目	8時間運転		24時間運転 ^{※1}	
	現状運転ベース (消化ガス利用)	消化ガス未利用	現状運転ベース (消化ガス利用)	消化ガス未利用
①脱水汚泥処理量 (t-wet/年)	5,900 (H.15年実績)		21,600 ^{※2}	
②ユーティリティ費 (千円/年)	25,272	48,731	81,065	161,827
③人件費 (千円/年)	61,200	61,200	137,700	137,700
④補修費 (千円/年)	56,767	56,767	65,305	65,305
⑤計②+③+④ (千円/年)	143,822	166,698	284,070	364,832
処理汚泥量当たり⑤/① (円/t)	24,420	28,303	13,151	16,890

※1 24時間運転の数値は机上検討によるもの。また、消化ガスは十分な量があるものと仮定した。現状では、消化ガスは主に既存の溶融設備に優先的に使用されている。

※2 10t/バッチ×9バッチ/日×20日/月×12ヵ月=21,600t/年

脱水汚泥 1t当たりの費用は、平均約4,350円(3,830~5,490円)である。現状においては、ボイラ等熱源の燃料として灯油の代わりに消化ガスを用いていることにより、ユーティリティの費用が約1/2に削減されている。

2) 維持管理費

ユーティリティ費、人件費、補修費を含めた維持管理費を表-4に示す。消化ガスを使用せず、灯油で賄った場合には、脱水汚泥 1t当たり約28,200円/tとなるが、現状の消化ガス使用においては、約24,400円/tとなり、消化ガスを使用しない場合より約3,800円程度低くなっている。また、24時間運転の机上検討結果より、ボイラー起動用燃料の低減などによるコスト削減策を行うと、13,000~17,000円/t程度になるものと推察された。

3.2 油温乾燥汚泥の有効利用方法の検討

(1) 油温乾燥汚泥の特徴

油温乾燥汚泥は油を含んでいるため、石炭に近い発熱量を有している。また、発熱量/灰分という指標で見た場合、下水汚泥系炭化汚泥に比べ、供給灰分に対する発熱量は約3~10倍高い。

他バイオマスとの比較を表-5に示す。

(2) 有効利用先の検討結果

有効利用先は、緑農地利用(肥料・土壌改良材)、熱エネルギー利用(燃料)、セメント原料・助燃材と考え、福岡県近傍にある32社にアンケート調査(回収率84.4%)、必要によりヒアリング調査を実施し、需要量・受入れ条件等をまとめ、有効利用方法の検討を行った。その結果を表-6に示す。

1) 受入需要量について

① 緑農地利用

- ・現時点での受入れ可能な企業は複数あるが、1社当たりの受入れ可能量は少ない。
- ・将来においては、堆肥の国内需要量には制限があるため、将来的な需要量は不確定である。

② 熱エネルギー利用

- ・現時点での受入れ可能な企業は1社であるが、受入れ可能量は90t/日と最も多い。
- ・将来的な受入れの可能性は、RPS制度およびCO₂の削減効果から興味を示した団体(企業)が多く、今後の動向次第では供給先が増える可能性は十分にある。

③ セメント原料・助燃材

- ・現時点での受入れ可能な企業は複数ある

表-5 油温乾燥汚泥と他のバイオマスの比較

バイオマス種類		主要成分(分析の一例)※1					
		発熱量 kJ/kg (kcal/kg)	水分 (%)	灰分 (%)	塩素 (mg/kg)	発熱量/灰分 (kJ/kg)/%	
下水汚泥系	油温乾燥汚泥 (消化汚泥)	23,757 (5,675)	0.9~4.2	24.4	500	974	
	炭化汚泥※3	消化汚泥	8,000~8,200 (1,911~1,958)	—	74~85	—	102
		標準法 混合生汚泥	12,000~16,000 (2,866~3,822)	—	45~60	—	267
畜産系※2		19,633 (4,690)	2.8	38.2	10,000	514	
木質系	林地残材	9,460~11,135 (2,260~2,660)	45.3~47.6	0.3~3.5	39~190	5,420	
	建廃系	16,995~19,047 (4,060~4,550)	5.8~16.2	0.4~4.2	100~600	7,835	
食品廃棄物※2		13,521~15,591 (3,230~3,820)	5.5~26.4	38.1~41.8	13,000~17,000	364	
一般廃棄物※2		16,744~20,093 (4,000~4,800)	0.1~2.8	20.5~26.8	2,000~5,000	779	
標準石炭		26,000 (6,211)	9.05	20	—	1,300	

※1 NEDO「廃棄物発電導入マニュアル(改訂版)」, 環境計画センター「ごみ固形燃料化技術に関するセミナー」等

※2 燃料特性は炭化物の分析結果を示す。なお、一般廃棄物の炭化物性状は洗浄処理後の性状を示す。

※3 「炭化システム技術資料」下水道新技術推進機構

が、受入れ量は企業により差がある。

- ・石炭の代替利用では、大きなセメント工場では膨大な潜在的受入れ可能量（約30万t/年）*を持っており、今後の動向次第では大量の受入れも可能である。

※石炭の消費量から推定した値であるため、設備能力を考慮した受け入れ可能量ではない。

2) 受入性状について

① 緑農地利用

- ・利用目的の性質上、最も多くの要求項目が挙げられているが、堆肥成分の推奨値であるC/N以外は、堆肥の品質および安全に関する品質項目を満足しており、有効利用にあたり大きな問題となることはないと思われる。

② 熱エネルギー利用

- ・現在は1社が熱エネルギー利用している。要求性状は含水率、発熱量、硫黄分、灰分、製品温度になっている。
- ・CO₂削減が期待できる。
- ・ヒアリングを行った団体（企業）からは、塩素、水銀等の微量成分が懸案事項として挙げられたが、油温乾燥汚泥中の含有量としては微量であり、添加量の調整で対応可能と思われる。

③ セメント原料・助燃材

- ・セメント内のりん、塩素濃度が制限されるため、団体（企業）によっては油温乾燥汚泥中のりん、塩素濃度について懸念してい

るところもあった。しかし、受入れ基準を設けていない団体（企業）もあり、複数の受入れ先の確保、添加量の調整で対応可能と思われる。

3) 受入条件について

① 緑農地利用

- ・現在の受入れ先である1社は有価物として受入れている。
- ・その他の会社は、基本的には有料としての受入れを希望しており、その理由としては、「処理・運搬にコストがかかるため」、「受入れに伴いリスクが発生するため」、「他の受入れ汚泥とのバランスがあるため」等を挙げている。

② 熱エネルギー利用

- ・基本的には有価物として受入れが可能である。
- ・受入れ可能な企業は、現在は1社のみであるが、将来受入れを行った場合は、「産廃扱いとなった場合、中間処理業の許可が必要となる」、「産廃扱いとなった場合、周辺住民の理解が得にくい」等の利用により、基本的には有価物としての受入れを考えている団体（企業）が多くあった。

③ セメント原料・助燃材

- ・有料での引き取りを希望している。
- ・その理由としては、“受入れにあたって専用の設備が必要であるため”、“製造製品へのリスクを負っているため”等を挙げている。

表-6 油温乾燥汚泥の有効利用方法

項目	緑農地利用	熱エネルギー利用	セメント助燃材・原料
有効利用法	発酵助材, 堆肥原料	石炭の代替	助燃材およびセメント原料
現在の需要量	○	○	○
受入れ場所	△	△	△
受入れ条件(価格)	△	◎	△
受入れ性状	△	○	○
受入れ先の確保	◎	◎	◎
受入れの安定性	中期: △ 長期: △ (不明)	中期: ○ 長期: △ (不明)	中期: ○ 長期: △ (不明)
CO ₂ 削減効果	△	◎	○
総合評価	汚泥の利用方法としては一般的であり、需要量は多い。しかし、堆肥原料が大部分で、基本的には有料での引き取りとなる。また、需要量の変化により安定性に不安が残る。 △	油温乾燥汚泥の特徴を活かした利用法である。現在は1社が、有価物として受入れており、将来的には増えていく可能性がある。 ◎	助燃材として有効利用を行えば、油温乾燥汚泥の特徴は生かせる。また、受入れ先を分散すれば受入れ可能量は多くなるが、基本的には有料での引き取りとなる。 ○

4. まとめ

- (1) 油温乾燥汚泥含水率は、年間を通じて3%程度であり、安定した乾燥性能であった。
- (2) 油温乾燥汚泥は発熱量が約20,000kJ/kg-DSで、燃料としての利用が適している。
- (3) 油温乾燥汚泥は、発熱・発火の可能性があるため、適切な管理が必要である。
- (4) 乾燥汚泥の熱エネルギー利用は、バイオマスとしてのCO₂削減効果が大きい。

●この研究を行ったのは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

田中 修司
駒井 篤
国分 剛

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

堀江 信之
駒井 篤
国分 剛