

移動式汚泥脱水乾燥設備に関する 性能評価研究 [上宝村・名田庄村]

1. 研究目的

農村山間地域においては小規模な下水処理場が点在しており、各処理場からの発生汚泥量も少ない。その多くは汚泥処理設備を持たず、大半が発生汚泥を廃棄物として業者委託処分しており、大都市域と比較すると汚泥有効利用割合も低い。しかし処分地確保の問題や処分費の年々の上昇、加えて平成8年の下水道法改正による汚泥の適正処理と減容化が求められて以来、大都市域における手法とは異なった、それぞれの地域特性に合わせた効率的な汚泥処理手法が強く求められているのが現状である。

岐阜県上宝村、および福井県名田庄村においては農業集落排水処理区を含め4～7カ所の処理場が稼働または計画中である。しかし濃縮汚泥処分費の上昇傾向や処分地確保の問題から、効率的な汚泥処理が急務となっており、上宝村では広域汚泥処理（焼却処理による建設資材化）、名田庄村では緑農地還元が計画されている。

本研究はこうした背景を踏まえ、両村の実状に合わせた汚泥処理方法として移動式汚泥脱水乾燥設備を取り上げ、その性能評価研究を行ったものである。本設備は、巡回処理による乾燥汚泥生成システムであり、広域処理場までの輸送コストの削減や、汚泥の有効利用の可能性を広げるものである。

本研究では、当システムによる各々の地域での設備性能、維持管理性、緑農地還元への適用性、経済

性等について評価することを目的とした。

2. 研究内容

2.1 技術の概要

本設備の基本フローシートを図-1、移動式汚泥脱水乾燥車全景を写真-1に示す。本プロセスの特徴は遠心薄膜乾燥機であり、これは立型円筒状の伝熱面に遠心力で汚泥を薄膜状に分散させ、加熱蒸気を用いて乾燥させるものである。このため、約1、2分という短時間で乾燥が可能であることから本体がコンパクトになり、かつ起動停止時間も短時間で済み、車両搭載および移動処理に有利である。

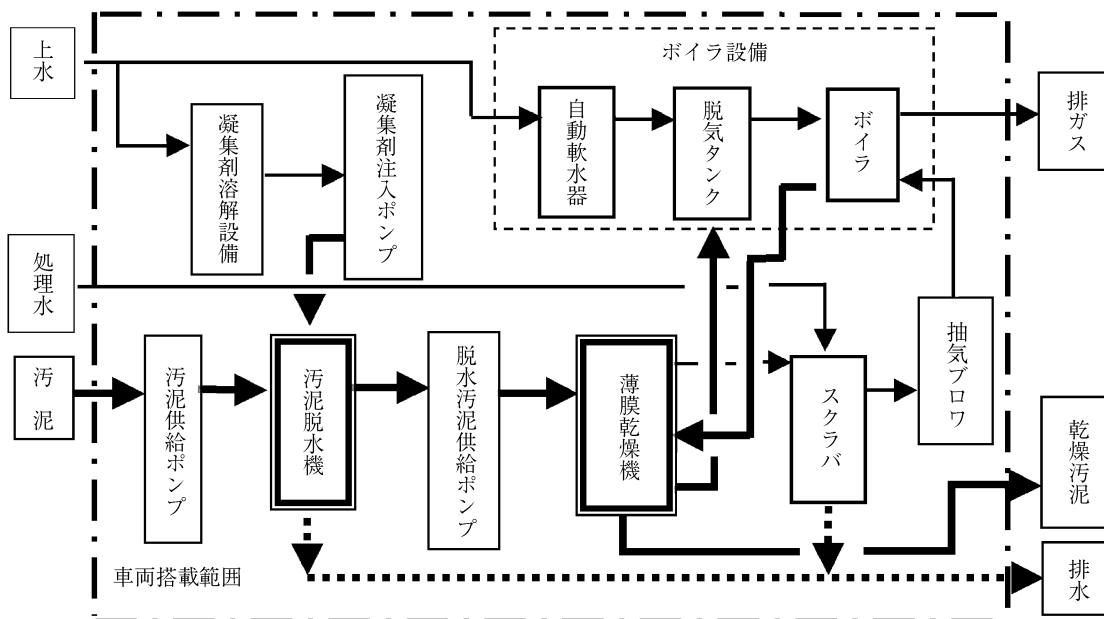
一方、遠心脱水機は乾燥機の前処理装置として位置付けられ、濃縮汚泥をほぼ液流動性限界内での脱水汚泥とし、後段の乾燥工程の効率化を図るものである。

本技術はこれらを組み合わせて一連の独立型システムとして6t車両（4WD）に搭載し、効率的な移動汚泥処理を可能にしたものである。なお、乾燥用熱源として蒸気ボイラを搭載し、乾燥排ガス中の臭気成分はボイラにて熱分解させ、周辺環境への配慮を行っている。

2.2 本技術の特徴

移動式汚泥脱水乾燥設備の特徴をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 遠心脱水機＋遠心薄膜乾燥機の組み合わせによ



<設計条件>処理対象汚泥 : OD施設発生汚泥, 農業集落排水処理発生汚泥
 汚泥含水率 : 97.5%~99.0% (脱水機投入汚泥の含水率)
 凝集剤添加率 : 0.5~0.8%対DS (自動溶解方式)
 設備搭載車両 : 6t車 4WD (固形物処理量10kg-DS/h)
 使用燃料 : 灯油 8ℓ/h以下 (上記処理量において)
 付帯装置 : 温風ヒータ, 要所保温・防露施工, 商用電源切替装置

図-1 移動式汚泥脱水乾燥設備基本フロー

り、発生汚泥を少量の凝集剤添加にて脱水・乾燥し、減容化できる。

- (2) 脱水乾燥設備一式をトラックにコンパクトに搭載しており、複数の小規模下水処理場を1台の移動式脱水乾燥設備で巡回処理できるため個別処理方式に比べ設備費を削減できる。また乾燥装置を搭載しているため、移動脱水車に比較し、より汚泥の減容化、低含水率化が可能のため、処理汚泥の搬送費の低減化、緑農地還元への適用が図れる。
- (3) 脱水・乾燥系統がすべて密閉されており、臭気はボイラによる燃焼脱臭を行う。
- (4) 機器駆動動力等はトラック搭載の発電機から供給するため、外部電力は不要である。

2.3 性能目標

2.3.1 乾燥性能・運転性能

評価項目は、以下のとおりである。

- (1) 乾燥能力
乾燥汚泥含水率50%程度 (45~55%) を満足すること。
- (2) 凝集剤添加率
添加率0.5~0.8%対DSにて脱水運転が行えること。
- (3) 運転の安定性
1日の連続処理において乾燥汚泥含水率の変動率が±10%以内であること。
- (4) 周辺環境への影響
悪臭成分について法基準値以下, SO_x, NO_xについては、排出基準以下であること。

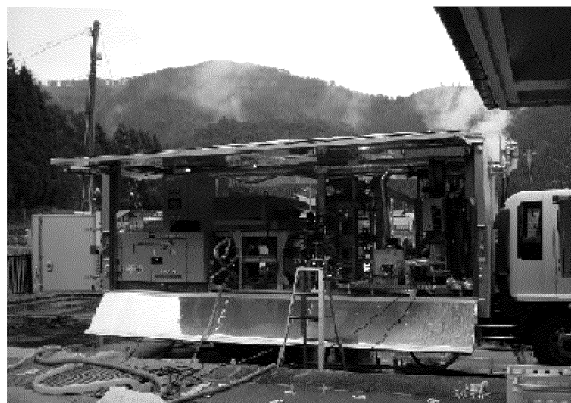


写真-1 移動式汚泥脱水乾燥車全景

- (5) 乾燥汚泥性状と緑農地還元に関する適用性
(名田庄村)
汚泥性状、含水率、重金属類、成分等の確認を行い、緑農地有効利用の可能性の評価を行う。
- (6) エネルギー効率
エネルギー効率70%以上、乾燥機への加熱蒸気源であるボイラの灯油（ボイラ燃料）消費量が8 ℓ/h以下であること。

2.3.2 維持管理性

- (1) 運転操作性
運転操作性は巡回式処理に支障のないこと（起動停止時間が短いこと、また、操作因子が少ないこと）。
- (2) 保守管理性
保守管理性は巡回式処理に支障のないこと（点検項目、管理項目が少ないこと。あるいは容易であること）。

2.3.3 経済性評価

当初計画にて有望とされていた移動式脱水設備に比較し総合的に経済的であること。

- (3) 運転の安定性

1日（7時間程度）の連続処理において乾燥汚泥含水率の変動率が±6%程度であった。

- (4) 周辺環境への影響

乾燥排ガス中のSOx, Nox, ばいじんについては排出基準以下、悪臭物質（上宝村22物質、名田庄村6物質）について法基準値以下であった。なお、上宝村の場合のアセトアルデヒドについては、ボイラ排出口で敷地境界濃度を超過しているが、悪臭防止法施行規則第6条に準拠させて敷地境界濃度を試算すると、0.006ppm程度となることから、規制値は満足するものと考えられる（表-2, 表-3参照）。

- (5) 乾燥汚泥性状と緑農地還元に関する適用性
(名田庄村)

本設備から得られる乾燥汚泥は、含水率55%程度の10~20mm φの粒状物であり、土嚢袋中で1ヵ月程度保管することで、緑農地還元に適しやすいうことを確認した。（写真-2）また、施肥効果確認試験結果、供試肥料区は、無機基礎量区に比べて、発芽、生育とも同等以上であった。

3. 研究結果

3.1 乾燥性能・運転性能

- (1) 乾燥能力
乾燥汚泥含水率50%程度（45~55%）をおおむね満足した。ただし、汚泥性状（繊維状物が低く粗タンパクが多い場合）によっては、60%程度にとどまる場合もあった（表-1参照）。
- (2) 凝集剤添加率
添加率0.4~0.8%対DSにおいて脱水汚泥含水率が約90%、SS回収率が約95%以上であり、脱水運転が可能であった。



写真-2 乾燥汚泥

表-1 汚泥性状と乾燥汚泥含水率

処理場	項目	繊維状物 %	粗タンパク %	VTS %	粗脂肪 %	アニオン度 meq/g-TS	乾燥汚泥 含水率
	上宝村	福地浄化センター	1~4.8	28~60	73~87	0.01~0.1	0.54~0.83
平湯浄化センター		18~52	12~27	75~76	0.05~0.09	0.24~0.36	44~53
名田庄村	東部浄化センター	1.5~8.9	16~42	54~68	0.03~0.04	0.44~0.60	52~62
	奥名田第1浄化センター	8.9~11	21~25	71~76	0.03~0.1	0.36~0.44	44~50
	奥名田第2浄化センター	7.3~8.2	19~44	64~92	0.05~1.7	0.27~0.34	44~51
	西部浄化センター	5.2~7.0	20~43	65~72	0.01~0.02	0.43~0.68	61~63

注) 凝集剤：添加率0.8%，脱水汚泥供給量：95 ℓ/h（定格），乾燥機回転数：950min⁻¹

表-2 上宝村乾燥排ガス(臭気)測定結果

No.	特定悪臭物質名	単位	福地浄化センター	平湯浄化センター	敷地境界規制値
			ボイラ出口	ボイラ出口	
1	アンモニア	ppm	0.6	0.2	1
2	メチルメルカプタン	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.002
3	硫化水素	ppm	ND (<0.01)	ND (<0.01)	0.02
4	硫化メチル	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.01
5	二硫化メチル	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.009
6	トリメチルアミン	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.005
7	アセトアルデヒド	ppm	0.05	0.08	0.05
8	プロピオンアルデヒド	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	0.05
9	ノルマルブチルアルデヒド	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.003)	0.009
10	イソブチルアルデヒド	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	0.02
11	ノルマルバレールアルデヒド	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.005)	0.009
12	イソバレールアルデヒド	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.003)	0.003
13	イソブタノール	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	0.9
14	酢酸エチル	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	3
15	メチルイソブチルケトン	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	1
16	トルエン	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	10
17	スチレン	ppm	ND (<0.02)	ND (<0.02)	0.4
18	キシレン	ppm	ND (<0.04)	ND (<0.04)	1
19	プロピオン酸	ppm	ND (<0.01)	ND (<0.001)	0.03
20	ノルマル酪酸	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.002
21	ノルマル吉草酸	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.0009
22	イソ吉草酸	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.0005)	0.001
23	ばいじん	g/m ³ N	<0.01	<0.01	0.25 [*])
24	SOx	Nm ³ /h	<0.0007	<0.0009	0.104 [*])
25	NOx	ppm	<10	31	250 [*])

*) 排出口における基準値。

表-3 名田庄村悪臭6物質測定結果

項目	単位	東部 ボイラ出口	奥名田第一 ボイラ出口	奥名田第二 ボイラ出口	規制値 (敷地境界)
アンモニア	ppm	ND (<0.1)	ND (<0.1)	ND (<0.1)	<1
メチルメルカプタン	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	<0.002
硫化水素	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	<0.02
硫化メチル	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	<0.01
二硫化メチル	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	<0.009
トリメチルアミン	ppm	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	<0.005
ばいじん	g/m ³ N	0.002	0.001	0.001	0.25 [*])
SOx	Nm ³ /h	<0.001	<0.001	<0.001	0.104 [*])
NOx	ppm	60	21	22	250 [*])

*) 排出口における基準値。

(5) エネルギー効率

何れの処理施設でも目標のエネルギー効率70%以上、ボイラの灯油(ボイラ燃料)消費量の8ℓ/h以下を達成した。

3.2 維持管理性

(1) 運転操作性

操作盤のタッチパネルにて設備の運転が可能であり、トラック運転者ほか1名にて運転可能であった。また、汚泥移送ポンプなど水中ポンプの設

置やホースの接続等の作業，凝集剤溶解，ボイラと乾燥機の暖機時間等にかかる準備・起動時間が約1時間，停止および片付け時間が約30分と短時間であり，巡回処理に支障はなかった。

(2) 保守管理性

点検作業は，特殊機器を搭載していないため容易であり，また，日常点検項目は何れも数分で終わる作業で簡便であり，巡回処理に支障はなかった。

3.3 経済性評価

最終処分方法が焼却である上宝村と緑農地還元である福井県名田庄村において，本設備を導入した場合，設備償却費を含めた累積年間総合維持費*は，当初計画の移動式汚泥脱水車を導入した場合より有利であった(表-4，図-2，図-3)。

* 累積年間総合維持費とは年間総合維持費(設備償却費+ランニングコスト+人件費+保守点検費+汚泥運搬費+汚泥処分費)の累計金額

なお，参考として，本設備のランニングコストの試算結果を表-5に示した。

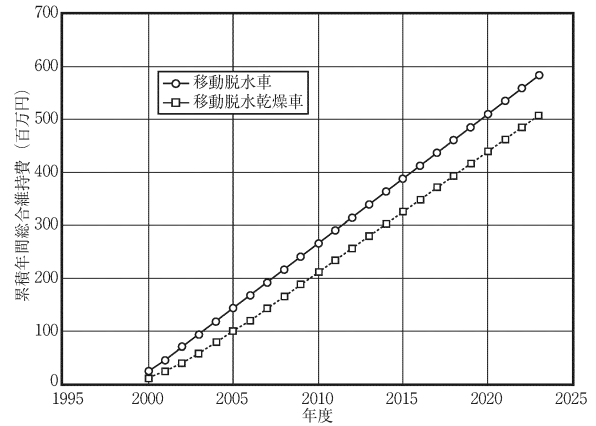


図-2 上宝村における経済性比較結果

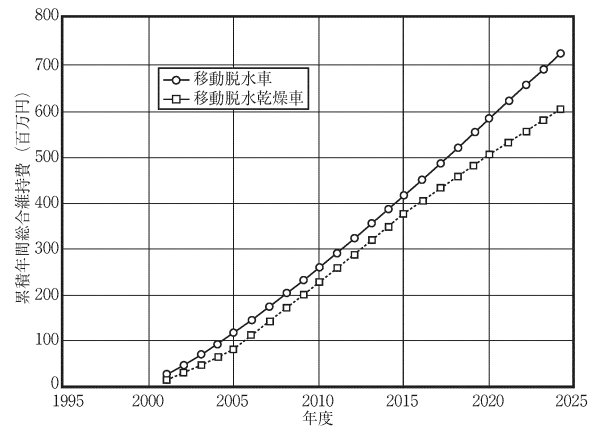


図-3 名田庄村における経済性比較結果

表-4 経済性検討条件

項目	上宝村		名田庄村	
	脱水車 (8t車)	脱水乾燥車 (6t車)	脱水車 (8t車)	脱水乾燥車 (6t車)
建設費 (百万円)	110 +脱水ケーキホッパ 30*1)	95 (H18年から 140*2)	110 +脱水ケーキホッパ 30*1) +簡易発酵装置 100	95
償却年限 (n)	15年 (トラックは 8.3年)		15年 (トラックは 8.3年)	
償却費 (百万円/年) 償却式: 建設費 × r (1+r) ⁿ ÷ ((1+r) ⁿ - 1) (r: 利子率 上宝村: 0.015 名田庄村: 0.02)	12.2	8.0 (H18年から最大19.6)	20.3	8.3
処理能力 (kg-DS/h)	75 (流量 5m ³ /h)	10	75 (流量 5m ³ /h)	10
人件費*3)	3,600,000円/年	3,600,000円/年	31,500円/人・日	31,500円/人・日
年平均保守点検費 (百万円/年・台)	2.3	1.4 (H18年から1.8)	2.3	1.4 (H18年から1.8)
汚泥運搬費*4) (千円/回 (8m ³))	12		12	
汚泥処分費*5) (千円/t)	45		0	
ランニングコスト	22円/kg-DS	81円/kg-DS	22円/kg-DS	81円/kg-DS

*1) 移動脱水車建設費については，脱水汚泥の集積場所にホッパを設置する条件とした。また，名田庄村については，緑農地還元のため簡易発酵装置を設置する条件とした。
 *2) 上宝村では平成18年度以降，汚泥処理量の増大に伴い，運転日数が過剰になり巡回処理ができなくなるため，処理能力が本設備の2倍である移動式汚泥脱水乾燥設備の導入を仮定して試算した。
 *3) 人件費は，上宝村については処理場ごとの処理水量によって年間契約しているため，その年間契約費を人件費とし，名田庄村については平成14年度人件費単価を用いた。
 *4) 汚泥運搬費：脱水汚泥は含水率83%，乾燥汚泥は含水率60%にて，それぞれ8m³ごとに運搬する回数，1回当たりの単価(建設物価；貸切運送賃(20kmまで))。
 *5) 汚泥処分費：脱水汚泥含水率は83%，乾燥汚泥含水率は60%にて処分する条件とした。単価については，上宝村は広域焼却処分費とし，名田庄村については緑農地還元として0とした。

表-5 ランニングコスト試算結果

	使用量	単 価	金額 (円/h)	金額 (円/kg-DS)
凝集剤	0.08kg/h	1,500/kg	120	12
灯 油	7.6 ℓ/h	40/ℓ	304	30.4
軽 油	3.3 ℓ/h	80/ℓ	264	26.4
上 水	1.5m ³ /h	70/m ³	105	10.5
清缶剤	0.012kg/h	1,450/kg	18	1.8
合 計			811	81.1

注) ・灯油, 軽油, 上水の単価は, 上宝村価格とした。
 ・固形物処理量10kg-DS/時, 凝集剤添加率0.8%とした。

3.4 留意事項

本研究結果から, 一般的な移動式汚泥脱水乾燥設備の採用にあたっての留意点を以下に述べる。

- (1) 乾燥機の特長上, 乾燥汚泥含水率は汚泥性状に依存する傾向にある。したがって, 可能な限り事前に汚泥性状を把握し設計条件に反映させることが必要である。
- (2) 乾燥排ガス中の悪臭成分は, ボイラにおいて燃焼分解により脱臭されるため悪臭成分はないが, 臭気濃度としては1,000を超える場合もあり, 臭気濃度の規制を受ける地域に採用する場合には留意する必要がある。
- (3) 脱水および乾燥処理の安定化のため, 汚泥濃縮槽からの定期的な汚泥の移送や濃縮汚泥貯留槽における攪拌装置の採用等, 可能な限り汚泥の均質化を図り, 設備への固形物負荷と凝集剤注入率を安定化させることが望ましい。
- (4) 本設備に搭載の脱水機および薄膜乾燥機は小容量であり, 汚泥が通過する管径, 開口部が小さいため, 水処理設備側にしき処理装置等がない場合は, これら前処理装置を設置し, 閉塞や絡みつきによる機器故障を予防することが必要である。
- (5) 乾燥汚泥を土嚢袋に入れて自然発酵させることで肥料として有効利用したり, 乾燥汚泥含水率を低減可能であるため, 乾燥汚泥の保管用の倉庫, 棚等を設けることが望ましい。

まとめ

本移動式汚泥脱水乾燥設備から生成される乾燥汚泥含水率は, 汚泥性状に大きく影響され, 高い場合は含水率が約60%程度となるが, 形状が10~20mm φの粒状物であり, 土嚢袋で1ヵ月程度保管すると自然発酵することから, 含水率が約50%程度, さらに半年保管すると20~30%程度までに低減される。したがって, 乾燥汚泥を長距離輸送し焼却する上宝村の場合や乾燥汚泥の緑農地還元を実施している名田庄村において, 現状, 支障なく稼働している。

以上より, 本設備は, その容易な運転操作性および安定した脱水・乾燥性能から, 濃縮設備までしか有しない複数の小規模処理場を巡回処理し, 経済的な汚泥処理・有効利用を図るための1システムとして適している。

●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
 二階堂悦生
 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

田中 修司
 駒井 篤
 国分 剛