

車載式高効率汚泥乾燥設備 に関する実用化研究

1. はじめに

中・小規模下水処理場における単独の汚泥処理は、施設の稼働率や維持管理費を考慮すると、特に初期段階では経済的でないことが多い。また、石川県七尾鹿島地区では、維持管理費に占める汚泥処分費の割合が年々高くなる傾向にあることから脱水汚泥の効率的な処理・処分が急務である。

本技術は、図-1に示すように下水処理場の脱水汚泥をガスタービン発電機の排ガスを利用し、乾燥、成形し、脱水汚泥の減容化、乾燥汚泥の多目的利用を図るものである。

また、本技術は、従来の乾燥炉のように熱風発生炉を使うことなく、コンパクトかつ、外部からの電

源を必要としない独立型の乾燥システムであり、乾燥汚泥を循環混合させ脱水汚泥の含水率を下げることで、低温の気流乾燥を可能としている。本乾燥設備をトラックに搭載することにより複数の小規模下水処理場を巡回して乾燥処理が可能となり、効率的な運用が図れる

2. 研究内容

2.1 研究項目

本実用化研究は、平成9年度～平成11年度の3ヶ年にわたって実施した。全体の研究項目は、以下の通りである。

- ① 発電機排ガス利用による乾燥効率，集塵機（スクラバ）での乾燥排ガスの脱臭効果

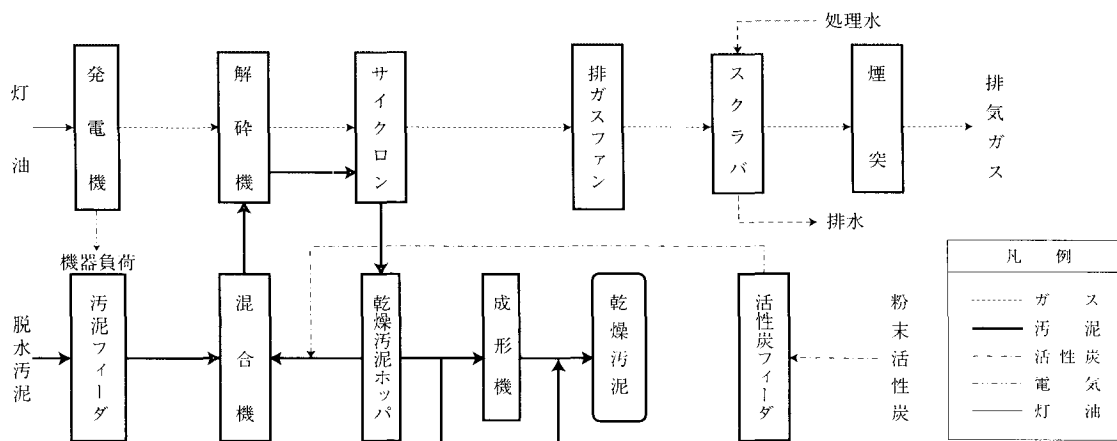


図-1 対象技術フロー

- ② 設備のコンパクト化
- ③ 乾燥汚泥の活性炭添加による脱臭効果
- ④ 総合エネルギー効率の確認
- ⑤ 乾燥汚泥の品質と有効利用可能性の検討

の安全性を確認する。

- ③ 走行に対する耐久性を、リークテスト等で確認する。
- ④ 摩耗に対する耐久性を、主要個所の実測定で確認する。
- ⑤ 騒音・振動調査を行い、周辺環境への影響度を確認する。

2.2 研究工程

本実用化研究の全体研究工程を表-1に示す。

表-1 全体研究工程

項目	平成9年度	平成10年度	平成11年度
各プロセス評価	—		
(プラント設計)	-----		
(プラント製作)		-----	
実証実験			—
性能評価			—
評価検討			—
報告書作成			—

表-2 主要機器リスト

機器No.	名称	型式	仕様	動力(kW)
1	発電機	ガスタービン	75 kVA	60
2	燃料タンク	床下角型 (ポンプ付)	700 ℓ	0.09
3	解砕機	ケージミル	400 kg/h	11
4	サイクロン	接線流入式	73 m ³ /min	
5	スクラバ	水洗式	34 m ³ /min	
6	排ガスファン	ターボファン	99 m ³ /min	22
7	混合機	スクリュュー式	0.15 m ³ /h	5.5 +0.75
8	成形機	押し出し式	50 ℓ/h	3.7
9	活性炭 フィーダ	ロータリー式	12 ℓ/h	0.1 +2.0
10	コンプレッサ	可搬式	150 ℓ/min	1.5

3. 研究結果

3.1 研究工程及び内容

本年度は、昨年度の冬期実証実験に引き続き主に七尾市西部水質管理センターにおいて実機(400kg/h)を使用し、春期、夏期、秋期に、脱水汚泥による実負荷運転を行い、性能評価調査として以下の項目について調査した。

実機を写真-1、そのフローシートを図-2に示す。また、主要機器リストを表-2に示す。表-3に本年度の研究経緯を示す。

(1) 乾燥性能調査

- ① 物熱収支を測定し、エネルギー効率と乾燥効率を検討する。
- ② 乾燥排ガスの水洗による脱臭効果と排水性状を調査し、排ガスの公害対策を検討する。
- ③ 乾燥汚泥の活性炭添加による脱臭効果を測定し、製品の長期保存性の検討を行う。
- ④ 乾燥汚泥の成分分析と溶出試験を実施して、有効利用の有用性を確認する。
- ⑤ 最大負荷量を確認して、緊急時の装置の上限能力を確認する。

(2) 維持管理性能調査

- ① 設備の立ち上がり特性を把握して、装置の定格運転に達する時間を把握する。
- ② 連続運転における安定性を調査し、連続運転

表-3 本年度研究工程

項目	平成10年												平成11年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
性能評価試験	—			—			—								
解析・報告書作成	—			—					—						

3.2 研究結果

(1) エネルギー効率と乾燥効率

四季を通じて定格の脱水汚泥処理量400kg/hを目標に運転を行った。夏期以外は、安定した定格の処理が可能であり、乾燥効率は67~72%、エネルギー効率は53~55%となり、灯油使用量も計画通りの運転が可能であった。

夏期の運転状況としては、混合機内で汚泥が塊状になり易く、乾燥汚泥の含水率を目標値の20%にするためには、脱水汚泥投入量を落とさざるをえず、その結果、処理量が定格の約7割となったものである。

この原因としては、同時期に水処理施設(OD法)



写真-1 実機 (400kg/h) の外観

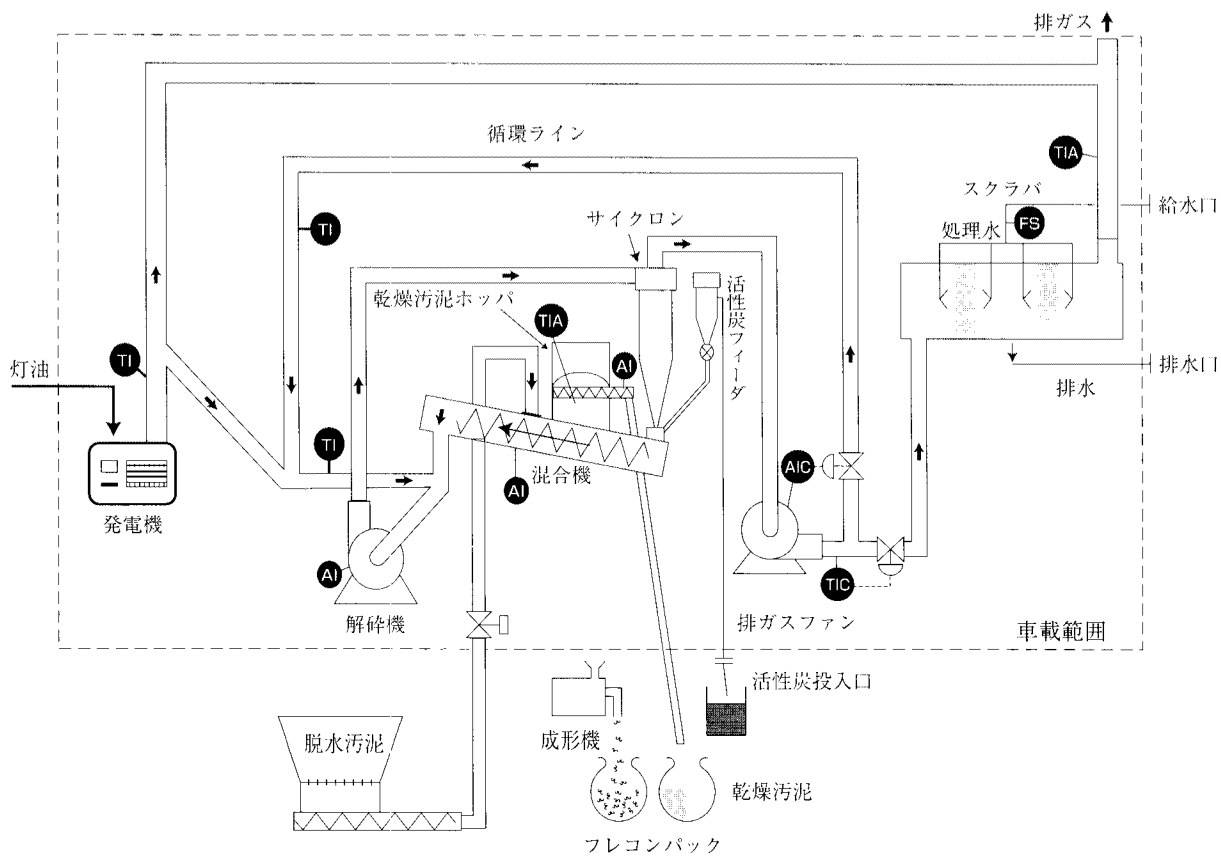


図-2 高効率汚泥乾燥装置フローシート

表-4 物熱収支の比較

項目	単位	設計条件	冬期結果	春期結果	夏期結果	秋期結果
脱水汚泥投入量	kg/h	400	400	400	270	400
脱水汚泥含水率	%	85	85	82	85	84
ガスタービン排気温度	℃	475	450	450	460	460
発電量	kW	25	25	25	23	25
乾燥機入口温度	℃	300	306	320	300	300
乾燥排ガス温度	℃	80	110	96	125	96
スクラバ出口ガス温度	℃	40	33.2	33	36	36
乾燥汚泥温度	℃	60	70	70	78	75
乾燥汚泥含水率	%	20	21	19	21	20
灯油消費量	kg/h	38	38.4	38.4	35.2	38.8
エネルギー効率	%	60	54.6	53.9	41.7	53.4
乾燥効率	%	73.5	67.2	68.2	65.4	72.4
循環汚泥比 (DS比)	-	-	117	95	173.6	118.7
乾燥排ガス量	Nm ³ /h	-	2,025	1,950	1,396	1,839
排水SS	mg/ℓ	-	350	440	150	220
スクラバ洗浄水量	Nm ³ /h	10	10	10	10	10
脱水汚泥有機分 (DS)	%	-	80.1	62.1	73.4	79.8
乾燥汚泥有機分 (DS)	%	-	79.2	58	75.6	76.8
活性炭添加率 (DS) 比	%	2	2	2	2	2
蒸発水分比*	-	-	50	46	31	45

* 蒸発水分比 = (蒸発水分量 ; kg) / (乾燥機投入汚泥固形分 ; t)

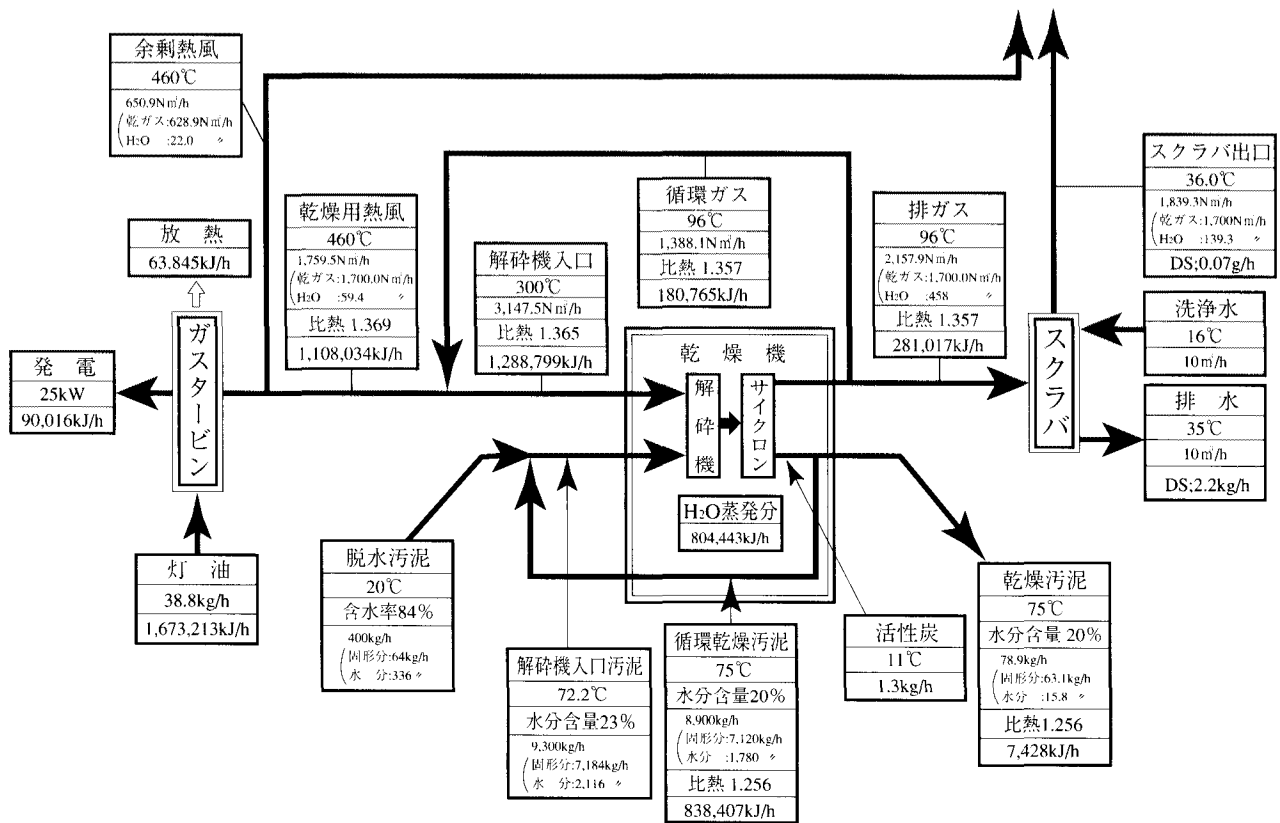


図-3 実機における物熱収支 (秋期)

において顕著な発泡現象と放線状微生物が認められており、汚泥性状が特殊であったことに影響されたものと推定される。なお、夏以降は水処理施設での発泡現象の収まりと共に、処理量の増加が確認された。

バでの除塵率が高く（約95%）、四季を通じて0.03g/Nm³以下にまで除塵できた。SO_xについては汚泥中の硫黄分の燃焼がないため低く、NO_xについても汚泥からの発生がないことと、ガスタービンの燃焼特性により、50ppm以下に抑えられた。

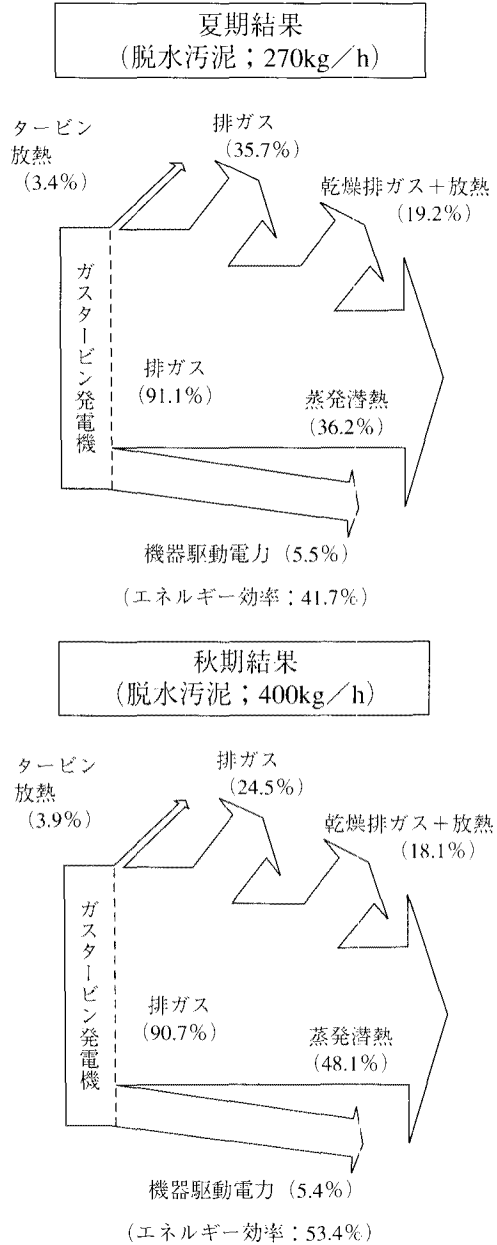


図-4 エネルギー収支図

(2) 乾燥排ガス性状と排水性状

実機の灯油使用量は、約40ℓ/hであるため大気汚染防止法の規制対象外であるが、本法の規制対象物であるダスト、SO_x、NO_x等について、湿式のスクラバ方式（スクラバ洗浄水量：10m³/h）による処理効果の調査結果を表-5、表-6に示す。

ダスト濃度は、スクラバ入口では高いが、スクラ

表-5 排ガス処理後の有害成分濃度

項目	ダスト濃度 (g/Nm ³)	SO _x 濃度 (ppm)	SO _x 排出量 (Nm ³ /h)	NO _x 濃度 (ppm)	O ₂ 濃度 (%)
法規制値	0.2*1		0.04*2 K=2.34	230*1	
冬 期	0.38	0.6	0.001	36.8	17.2
春 期	0.3	0.9	0.001	48.2	17.1
夏 期	0.002	1.6	0.004	32.0	16.7
秋 期	0.026	0.9	0.001	46.9	17.1
項目	温 度 (°C)	湿 り 気 量 (m ³ /h)	乾 燥 気 量 (m ³ /h)	水 分 (%)	CO ₂ 濃度 (%)
冬 期	142.6	2,524	2,300	6.1	2.7
春 期	146.5	2,500	2,300	4.7	2.5
夏 期	201.3	2,300	2,130	6.5	2.7
秋 期	193.0	2,800	2,800	4.4	2.6

*1：ばいじん、窒素酸化物の規制値は、乾燥気の規制値を適用した。
*2：硫黄酸化物排出量の算出の際、中筒のガス温度、乾きガス量、K値として特別排出基準の2.34を採用した。

表-6 臭気成分及び臭気濃度

項 目	洗浄水量 (10m ³ /h)				
	冬期	春期	夏期	秋期	
臭 気 濃 度	-	1,360	1,650	1,850	1,051
ア ン モ ニ ア	ppm	0.74	0.63	<0.1	<0.1
メチルメルカプタン	ppm	N. D	0.004	0.056	0.010
硫 化 水 素	ppm	0.030	0.212	0.084	0.072
硫 化 メ チ ル	ppm	0.033	N. D	0.023	0.015
プ ロ ピ オン 酸	ppm	0.0031	0.016	0.0226	0.0060
n- 酪 酸	ppm	0.0010	0.0042	0.0099	0.0024
アセトアルデヒド	ppm	N. D	0.012	0.030	0.036

※活性炭の添加は全て固形物当たり2%である。

表-7 排水成分分析表

	SS濃度 (mg/ℓ)	NH ₄ -N濃度 (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)
冬 期	346	6.8	185
春 期	440	5.5	92
夏 期	150	9.6	84
秋 期	220	5.8	71

排ガスの臭気濃度は、悪臭防止法上の臭気強度2.5に対応する許容出口臭気濃度は2,182であり、四季を通して、この法的な基準値を満足していた。

スクラバ排水に関しても、排水中のSSは150～440mg/ℓと一般的な流入水質程度であり、NH₄⁺-N、BODはそれ以下であった。

(3) 煙突前後の臭気

乾燥排ガスの臭気は、冬期、春期、夏期の試験において徐々に増大傾向である。臭気濃度は主として煙突出口で測定しており、汚泥性状の変動以外の臭気の発生原因は、機器あるいは配管中のダスト堆積が考えられる。

設備内の排ガスに接触する機器及び配管を点検したところ、煙突の内筒、外筒に乾燥汚泥の焦げた残渣が認められた。

煙突の構造は下図に示すように、高温のガスタービン排ガスの中の内筒をスクラバから出た乾燥排ガスが通り、出口で合流して放出される。スクラバ出口、煙突出口、ガスタービン排ガスの各臭気濃度は表-9に示すように煙突で濃度が上昇しており、乾燥汚泥の熱分解が臭気を増大させることが示唆された。

秋期の実証実験では煙突を分離することによって、表-6に示すとおり、臭気濃度は他季節の実験より低く抑えられた。

(4) 薬液洗浄脱臭

実機の排ガス臭気は臭気濃度で2,000以下と低く抑えられてはいるものの、全くの無臭ではない。

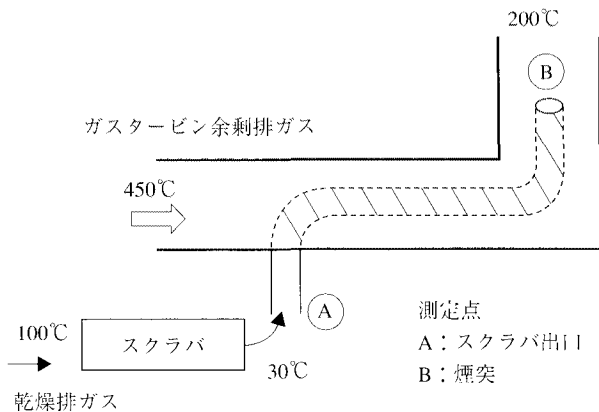


表-9 測定点の違いによる臭気濃度変化

乾燥機入口温度	乾燥排ガス温度	脱水汚泥投入量	測定点	臭気濃度
300℃	125℃	375kg/h	スクラバ出口A	2,100
300	125	375	煙突B	7,300
300	125	375	ガスタービン排ガス	1,300

実機搭載のスクラバは図-5に示すように3相構造となっており、中央の充填材相にて次亜塩素酸ソーダの循環が可能である。

薬液洗浄を行うと、従来充填相部に流れていた洗浄水が不要となり、スクラバ上流側の除塵相のみの噴霧となり、水量は約半分(5m³/h)となった。また、洗浄水量SS濃度は約200mg/ℓから約400mg/ℓに、スクラバ出口排ガス温度は36℃から51℃となった。

循環液の塩素濃度が所定の濃度になるように次亜塩素酸ソーダを注入し、出口排ガス臭気濃度を測定した結果を表-8に示した。循環液塩素濃度は非常に低い濃度で効果があり、5mg/ℓで臭気濃度を1,000以下に下げることができた。

表-8 循環液塩素濃度と排ガス臭気濃度

塩素濃度	臭気濃度	薬液注入量(12%NaClO)
0 mg/ℓ	1,700	0 mℓ/h
0.5 mg/ℓ	1,300	60 mℓ/h
2 mg/ℓ	980	80 mℓ/h
5 mg/ℓ	550	125 mℓ/h
10 mg/ℓ	980	180 mℓ/h
20 mg/ℓ	550	240 mℓ/h
50 mg/ℓ	550	350 mℓ/h

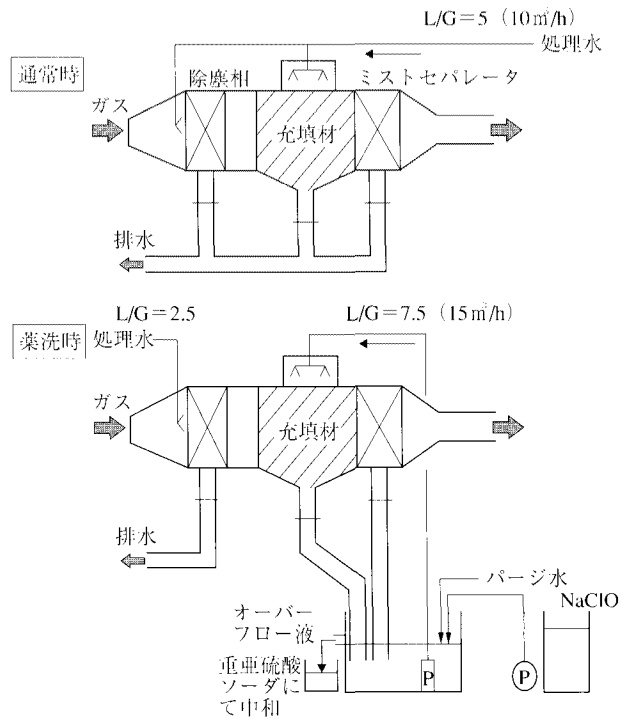


図-5 スクラバ薬液洗浄フロー

(5) スクラバ排水影響調査

本調査は、スクラバ排水による水処理施設への影響(特に小規模施設の場合)が懸念されることから、処理水量規模の比較的小さい田鶴浜浄化センターの水処理施設を対象として実施した。乾燥機を24時間連続運転した当日とその前日の2日間において、水量、水質、水温等に係る影響の程度を把握した。

乾燥機の運転時の流入下水量は、スクラバ排水量と若干の場内返流水が上乘せされ、日量としては約750m³/日となる。乾燥機の稼働時と無稼働時における処理水質を比較してみると、稼働時の処理水質(特に流量ピーク時)は、BOD、COD、SSやNH₄⁺-Nなどが若干高くなる傾向がうかがえる程度であり、両日の平均値、流量ピーク時とも、いずれの水質項

目も1桁の良好な処理水質であることから、スクラバ排水の有無による大きな影響は認められなかった。

(6) 乾燥汚泥の活性炭添加による脱臭効果

乾燥汚泥成形品の活性炭添加による脱臭効果について、成形後1年までの臭気濃度経時変化を測定した。表-11に示すように1年経過後も臭気抑制効果を持続していることを確認した。乾燥汚泥の貯蔵は1年以内と考えられるため、活性炭の添加は2%DSで対応できるものと判断した。

(7) 乾燥汚泥の品質

乾燥汚泥の性状は四季を通じて大きな変化はなく、肥料としての施肥効果が期待でき、病原菌の指標となる微生物試験結果も衛生的に安全であると判断できた。また、有害物質の溶出試験結果は、平成11年度では総て基準を満足するものであった。

なお、高位発熱量は、春期を除き18,000kJ/kg前後と高く、燃料的価値も認められた。

(8) 最大負荷量の検討

通常時乾燥排ガス温度は100℃程度で400 kg/hの

表-10 処理水質の比較

水質	単位	コンポジット		水量ピーク時試料	
		運転無し	運転有り	運転無し	運転有り
水温	℃	—	—	22.5	23.8
pH	—	7.5	7.5	7.2	7.2
BOD	mg/ℓ	2.9	3.3	3.0	4.5
ATU-BOD	mg/ℓ	2.9	3.3	3.0	4.0
COD	mg/ℓ	6.5	6.4	6.4	7.6
SS	mg/ℓ	2.0	2.4	1.0	5.0
T-N	mg/ℓ	6.2	5.8	6.4	4.6
NH ₄ ⁺ -N	mg/ℓ	0.47	1.1	0.05	0.75

表-11 乾燥成形汚泥の臭気濃度分析結果

活性炭添加量	0%	2%	5%
3日後	2,300	1,700	1,300
半年後	2,000	2,000	1,500
1年後	2,500	2,000	2,000

表-12 乾燥汚泥の性状

項目	基準値#	冬期測定値	春期測定値	夏期測定値	秋期測定値	
有機物 (乾物当り)	35%以上	79.1%	63.2%	75.6%	76.8%	
炭素-窒素比 (C/N比)	10以下	6.05	6.18	6.20	6.15	
窒素全量 (乾物当り)	2%以上	6.99%	5.45%	6.40%	6.41%	
リン酸 (P ₂ O ₅) 全量 (乾物当り)	2%以上	4.19%	3.23%	4.63%	5.85%	
アルカリ分 (乾物当り)	25%以下	6.26%	4.69%	4.54%	4.46%	
水分 (乾物当り)	30%以下	21.0%	18.9%	21.4%	16.1%	
pH (—)	—	6.4	6.9	7.0	6.7	
カリ (K ₂ O) 全量 (乾物当り)	—	0.27%	0.82%	0.35%	0.32%	
ヒ素 (As) (乾物1kg当り)	※50mg以下	9.7mg	5.1mg	6.9mg	11.6mg	
カドミウム (Cd) (乾物1kg当り)	※5mg以下	1.6mg	1.3mg	1.6mg	1.5mg	
水銀 (Hg) (乾物1kg当り)	※2mg以下	<0.0005mg	0.44mg	0.38mg	0.57mg	
銅 (Cu) (乾物当り)	600ppm以下	290ppm	180ppm	190ppm	240ppm	
亜鉛 (Zn) (乾物当り)	1,800ppm以下	550ppm	350ppm	490ppm	510ppm	
高位発熱量	—	17,665 kJ/kg	14,470 kJ/kg	17,800 kJ/kg	18,400 kJ/kg	
微生物試験*	大腸菌	○1,000 MPN/g-DS	11	35	35	<10
	サルモネラ菌	○3 MPN/g-DS	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
乾燥汚泥平均粒径		370 μm	350 μm	550 μm	450 μm	

: 「有機質肥料等品質保全研究会報告書」より下水汚泥肥料品質概要

※ : 「肥料取締法」にある規制値を準用

* : 「衛生試験法」(1990) 1.3.12 汚染指標細菌試験法

○ : EPA基準

処理が可能であり、汚泥水分蒸発量の増減に対して乾燥排ガス温度を一定に保つよう熱風の取り込み量を自動制御し、乾燥汚泥含水率が上昇してくるため、乾燥排ガス温度の設定を上げていく必要がある。200 kg/h から420kg/hの時は排ガス温度一定の自動制御が可能であり、420kg/h以上では乾燥排ガス温度の設定を上げていき、乾燥排ガス温度130℃で475 kg/hまで負荷を上げる運転が可能であった。負荷をこれ以上上げると乾燥汚泥含水率が急激に増大し、安定した運転が出来なくなった。

(9) 連続運転

含水率82～85%の脱水汚泥を対象とし、乾燥汚泥の目標含水率を20%程度とした場合、解砕機入口温度約300℃、排ガス温度100℃前後、乾燥汚泥温度約70～75℃にすることで定格400kg/hの安定した24時間連続運転が可能である。

(10) 走行に対する耐久性

走行前後の配管リークテストは、各四季の試験終了時に行った。

その結果は、いずれも有意な差は認められず、また、走行による配管の亀裂、フランジボルトの緩み等も見られなかった。

(11) 摩耗検査

摩耗の予想される排ガスファンのインペラ、解砕機の回転バー及びスクレーパの3カ所の肉厚測定を実施した。工場材料検査時からちょうど1,000時間に達した秋期調査時での比較結果では、初期値とほとんど変わらず、摩耗は認められなかった。

(12) ランニングコスト

ユーティリティ（灯油、活性炭）費用は、5～16（h/日）運転で脱水汚泥1 ton当たり5,000～4,000円程度であった。

また、ユーティリティ、ガスタービンオーバーホール、定期点検、補修費、法定点検、車検等のランニングコストについては、5～16（h/日）運転で脱水汚泥ton当たり9,000～19,000円であった。なお、人件費について、脱水機の管理者と兼任できる場合は、トラック運転手一人分程度の費用での対応が可能となる。

エネルギー効率53～55%となり、計画通りの灯油使用量で運転が可能であった。

② 安定性・操作性

24時間連続運転を各季節で実施し、安定した運転を継続できることを確認した。

③ 排ガス、排水性状

排ガス臭気は、悪臭防止法で定める2,182を下回り、排ガス排出口の分離や薬液洗浄装置を設置したことでさらなる臭気低減が可能であった。

本設備は、大気汚染防止法での規制対象外であるが、ばいじん、SO_x、NO_xについても低濃度であった。排水の水質は、流入下水の程度の値となった。スクラバ排水の水処理への影響についても、問題ないことを確認した。

④ 乾燥汚泥

成形物の臭気に関し、活性炭添加効果は、5%添加で約半減、10%で70%減の効果があった。さらに1年経過後も臭気はほとんど増加せず、活性炭添加が十分有効であることが確認できた。肥料としての成分を保有しており、また燃料としての利用が可能であることを確認した。

⑤ 装置の耐久性

1年間の実証試験または半年巡回運転した結果では全く異常なかった。

4.2 今後の課題

① 本乾燥設備は、大型であり道路形態によっては、移動に制約を受ける。車載設備の大きさはガスタービンの大きさに関わることから、ガスタービンの最小化に伴う開発に合わせ、さらなる本設備の小型化を目指す必要がある。

② 薬液洗浄脱臭により臭気の高減が可能であるが、コンパクトかつより運転安易な脱臭装置の改良が必要である。

③ 乾燥汚泥は、現状主に法面緑化業者にて有効利用されている。乾燥汚泥は施肥効果があることが確認できたため、七尾市では普通肥料としての登録を行い緑農地還元を進めることにしている。

4. まとめと今後の課題

4.1 まとめ

① 乾燥性能

汚泥性状が特殊であった夏期以外は、安定した運転が可能であり、乾燥効率67～72%、電力を含めた

●この研究に関する問い合わせは

研究第一部長	江藤	隆
研究第一部主任研究員	鈴木	文雄
研究第一研究員	石渡	英樹