

改質乾燥による 下水汚泥のバイオマス燃料化技術 に関する技術マニュアルの概要

(財)下水道新技術推進機構
資源循環研究部長
石田 貴

1. はじめに

下水汚泥は、集約性があり、量・質的に安定している特徴を持つバイオマス資源である。全国で発生するうちの約7割が再利用されており、主にコンポストや建設資材の原料として利用されている。しかし、それらは処理処分コストや安定需要の課題が想定されるため、長期的に安定した利用用途の開拓が求められている。そこで、新たな下水汚泥の用途として、石炭の代替燃料となる下水汚泥固形燃料化技術が検討され、既に一部で実用化されている。

下水汚泥固形燃料化技術は、乾燥技術または炭化技術により下水汚泥から燃料製品を製造するものである。製造した燃料製品を石炭火力発電所等で化石燃料に替わる燃料として利用することにより、温室効果ガスの削減につながる技術として期待されている。

本改質乾燥燃料化技術は、水熱反応により汚泥を改質し、エネルギー的に効率良く高品位の燃料製品を製造するものである。

本研究は「改質乾燥による下水汚泥のバイオマス燃料化技術」の開発を目的として実証実験を行い、生成エネルギーが投入するエネルギーを上回ることを明らかにするとともに、製造した燃料製品の品質や安全性の評価を行ったものである。

2. 技術概要

2.1 改質原理について

改質は、図-1に示す飽和水蒸気圧下での高温高压水(200~230℃, 1.6~3.0 MPa)を用いて脱水汚泥が熱化学的に水熱反応することである。

高温高压水による脱水汚泥の熱化学的改質は、下記に示す2つの働きがある。

汚泥の脱水性を改善し、低含水率での脱水が可能となり燃料製品化に要する乾燥エネルギーを大幅に削減する。

汚泥が組成変性され、酸素分子の減少割合が大きくなり、燃料特性を改善する。

改質乾燥の処理温度は、乾燥技術と炭化技術の中間に位置する。炭化は、低酸素状態、もしくは無酸素状態で加熱することで水分および吸着ガスを放出して熱分解が始まり、分解ガスを放出した後に炭素を主体とした炭化物を生成する過程である。その過程で有機成分の分解が進み、固定炭素に富んだ状態となる。また、乾燥は、水分を蒸発させる操作のため、基本的に脱水汚泥中の有機成分は分解されていない。改質乾燥の場合、水分の蒸発だけでなく、脱水汚泥の有機成分の一部が分解される。また、通常熱分解では揮発成分が蒸発するが、水熱反応では圧力下にあるために脱離液中に溶解したままである。

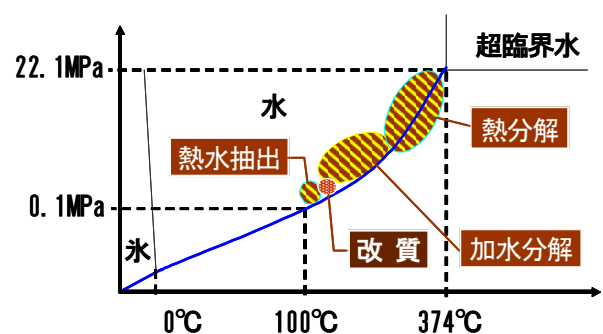


図-1 飽和水蒸気圧と温度の関係

2.2 処理システムの概要

図-2に示す全体システムフローのとおり、主に改質・冷却装置、脱水・乾燥装置および排水処理装置からなる。

下水処理施設から発生する含水率80%程度の脱水污泥は、改質器で高温スチームにより連続的に水熱反応することで液状化する。同時に有機成分の一部が分解し、酸素が離脱して改質される。その後、污泥脱水機で含水率50%程度まで脱水され、乾燥機で含水率10%以下の粒状の燃料製品となる。

また、污泥脱水機からのろ液は溶解した有機分が高濃度に含まれている。よって、ろ液をメタン発酵槽(UASB法)で処理してメタンガスを回収し、改質用ボイラの補助燃料として利用する。そして、メタン発酵後の処理液は、振動NF膜により公共下水道へ放流可能な水質まで処理される。なお、冷却器から得られる熱エネルギーは、循環する熱媒油により回収し、乾燥工程の熱源として利用する。

3. 研究内容

3.1 実証実験について

実証実験は、未消化污泥を対象に、脱水污泥処理量4.0t/日、排水処理量1.6m³/日の設備にて、冬季、中間季および夏季に連続運転実験を行った。主な検証項目および目標を下記のように設定した。

生成エネルギー〔製品熱量+メタンガス回収熱量〕が投入エネルギー量〔電力+燃料〕以上とする。

燃料製品の発熱量(DSベース)を投入する脱水污泥の発熱量よりも向上させる。

排水処理水質を下水道放流基準のBOD 600mg/LおよびSS 10mg/L以下とする。

その他、燃料製品の安全性の評価を行った。

3.2 ケーススタディ

実証実験の結果に基づき、脱水污泥処理量50t/日の実設備における導入効果(温室効果ガス削減、消費エネルギー削減)および経済性の評価を行った。

4. 研究結果

4.1 実証実験の結果

(1) 発熱量とエネルギー収支

表-1に脱水污泥と燃料製品の発熱量およびエネルギー収支の結果を示す。

定格運転を行った中間季・夏季は、目標の改質効果を得た。しかし、冬季は、定格量の1/2の低負荷運転であった影響により改質時の吹き込み蒸気量が増加して固形分の一部が排水側に移行した。それにより、DSベースの改質効果が目標値を若干下回る結果となった。

(2) 排水処理

メタン発酵槽と振動NF膜の排水処理の結果を表-2に示す。メタン発酵処理および膜分離によりBOD・SS共に目標値を達成した。

なお、メタン発酵槽で回収したメタンガスは、熱量でボイラ燃料の2割程度を削減できた。

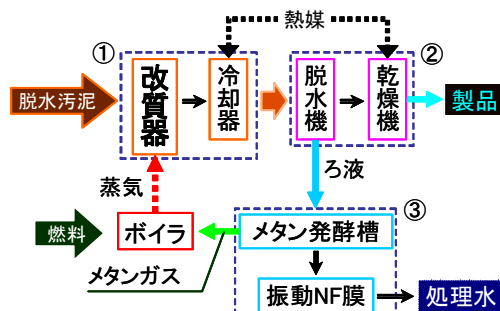


図-2 全体システムフロー

表-1 発熱量・エネルギー収支

項目		冬季	中間季	夏季
脱水污泥 平均発熱量	MJ/kg-DS	19	18.2	17.8
	MJ/kg-可燃	23	22.4	22.1
燃料製品 平均発熱量	MJ/kg-DS	18.8	18.5	18
	MJ/kg-可燃	25.4	25.1	24.8
改質効果 発熱量向上率	DSベース	99.30%	101.60%	100.70%
	可燃分ベース	110.50%	112.00%	111.90%
	DSベース	目標値 100%以上		
エネルギー収支		101.10%	109.00%	106.10%
		目標値 100%以上		

表-2 排水処理の結果

項目		CODcr(mg/L)	BOD(mg/L)	SS(mg/L)
メタン 発酵	原水	17,300	7,440	190
	処理水	6,830	2,170	175
	除去率(%)	60.5	70.8	-
膜処理	原水	6,280	2,000	145
	処理水	911	340	< 1
	除去率(%)	85.5	83	-
目標値(%)			600以下	10以下

(3) 安全性の評価

表-3 安全性評価分析の測定結果

表-3 に製品の安全性に関する試験結果を示す。

燃料製品の安全性は、既存の炭化技術や乾燥技術と同程度の安全性が確認できた。

試験項目	改質乾燥	造粒乾燥	低温炭化	高温炭化	備考
熱分析 (TG-DTA)					加熱時の挙動を評価
開始温度 DTA []	309.8	121.0	123.0	283.1	消防法危険物 (第5類)
100 での減量率 TG [%]	10.5	2.4	2.5	4.4	
自然発火性試験 (SIT試験)	* 3	* 1	* 1	* 1	貯蔵時の自然発火性を評価
発熱開始設定温度 []	140	80	130	250	SIT型試験機
誘導時間 [min]	153	1244	378.4	593.8	
自己発熱性試験 (ワイパ'カット試験)	* 3	* 1	* 1	* 1	保存時の自己発熱性を評価
発熱開始設定温度 []	140	130	140	250	国連勧告/試験マニュアル準拠
ASTM式発火点試験					発火危険性の評価
最低発火点温度 []	458	-	-	-	JIS K1474 4.8
発生ガス		* 2	* 2		可燃性ガスの発生を確認
水添加無し 水素 [vol-ppm]	< 5	<1,000	<1,000	-	消防庁評価書による試験
一酸化炭素 [vol-ppm]	9	<1,000	<1,000	-	
メタン [vol-ppm]	4	4	7	-	
水添加(20%) 水素 [vol-ppm]	< 5	<1,000	<1,000	-	
一酸化炭素 [vol-ppm]	19	<1,000	<1,000	-	
メタン [vol-ppm]	3	20	24	-	
粉塵爆発試験 (爆発下限界濃度)					保存、運搬時の爆発性を評価
[mg/?]	790	-	-	-	JISZ8818準拠

4.2 ケーススタディの結果

(1) 導入効果

温室効果ガスの削減

本技術のエネルギー

消費に伴う CO₂ 排出量, および石炭の代替燃料として燃料製品を石炭に混焼する場合の CO₂ 削減量を試算した結果が, 図-3 である。

温室効果ガスの削減量は, 改質乾燥の燃料製品を石炭の代替燃料として使用することで, 3,574 kg-CO₂/日となった。

消費エネルギーの削減

脱水汚泥を改質乾燥により燃料製品化し, 石炭の代替燃料として使用する場合, および脱水汚泥を焼却により処理する場合のエネルギー収支の結果を, 図-4 に示す。

消費エネルギーの削減量は, 本技術で脱水汚泥を燃料化することで, 脱水汚泥 1 t 当り 1,405MJ となった。

- 注記) 1 消防庁消防研究センター「再生資源燃料等の危険性評価に関する研究報告書」
 2 日本下水道事業団「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」
 (消化汚泥を原料とする製品評価)
 3 設定温度100 において1,440 min発熱なし。

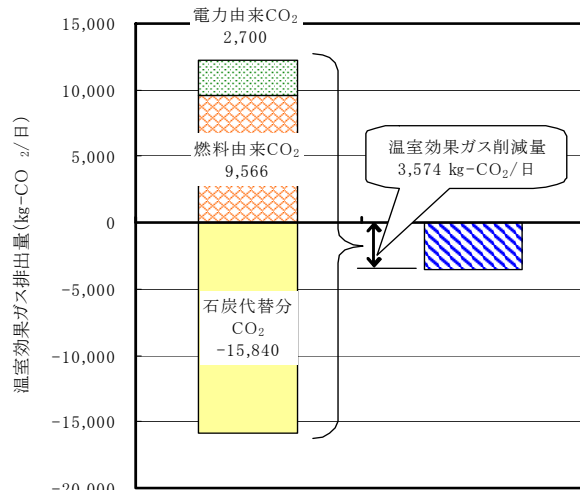
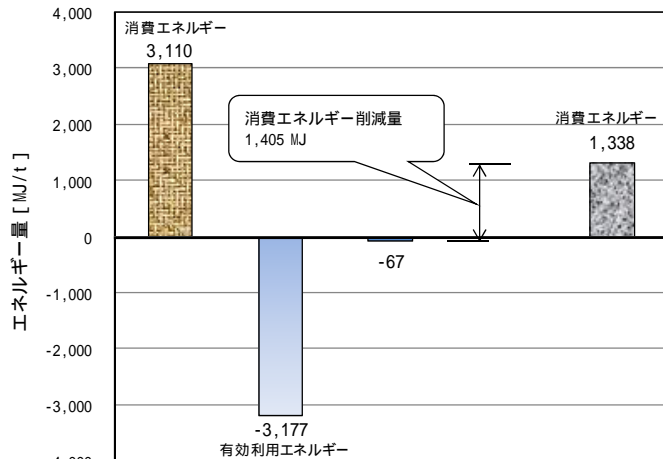


図-3 温室効果ガス削減効果



改質乾燥方式 焼却方式

図-4 エネルギー削減効果

(2) 経済性

本技術の施設導入・運転，燃料製品の運用等から，脱水汚泥 1 t 当たりで試算した汚泥資源化コストの結果を，表-4 に示す。

汚泥資源化コストの評価は，汚泥を処分する場合を比較対象として，LOTUS Project 評価基準 16,000 円/t-脱水汚泥を用いた。その結果，LOTUS Project 評価基準以下の 15,000 円/t-脱水汚泥で下水汚泥の再利用が可能と試算された。また，脱水汚泥処理量 120 t /日の場合，12,200 円/t-脱水汚泥と試算され，施設規模が大きいほどコスト縮減効果がある結果となった。

表-4 汚泥資源化コスト 結果概要

項目	設定値	備考
脱水汚泥処理量	50 t/日	含水率80%
年間運転数	335日	
汚泥資源化コスト	15,000 円/t-脱水汚泥	建設費，運転委託費，ユーティリティ等

5. まとめ

改質乾燥の燃料化技術を用いて製造した燃料製品について，本研究より得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 脱水汚泥と同程度以上の発熱量を有することが実証された。
- (2) 既存下水汚泥固形燃料化技術と比較して同等の安全性を有することが実証された。
- (3) 石炭代替燃料として使用することで，温室効果ガスおよび消費エネルギーの削減への有効性が確認された。
- (4) 脱水汚泥を処分するよりも低コストで再利用できる結果が得られた。

本研究の成果は，実験により実証・確認された技術の概要，特徴や導入効果等の他，下水汚泥燃料化施設の計画，設計，施工，維持管理等に関する技術的項目について技術マニュアルとして取りまとめた。

謝辞

本研究は，管理者参加型共同研究として実施した。滋賀県，三菱商事(株)，三菱化工機(株)の共同研究者各位に厚く御礼を申し上げます。