

# 下水汚泥資源化・ 先端技術誘導プロジェクト (LOTUS Project)

## 1. はじめに

バイオマス・ニッポン総合戦略や京都議定書目標達成計画を踏まえ、下水汚泥の資源化・エネルギー利用を積極的に推進していくため、国土交通省では下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)の第2の研究課題として下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト(LOTUS Project)を選定し、産学官の連携のもと新技術の開発を行った。

LOTUS Project は「廃棄処分するより安く下水汚泥を全量リサイクルできる」ことを目的としたスラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術(以下ZD技術)と「下水汚泥等のバイオマスを利用して買電よりも安く発電できる」ことを目的としたグリーン・スラッジ・エネルギー技術(以下GE技術)の2つを対象としたプロジェクトである。

ZD技術が3技術、GE技術が3技術、両技術の一括開発が1技術、合計7技術(表-1参照)。これら7技術のうち、ZD技術3技術とGE技術2技術の5技術については平成19年3月に技術評価を完了し、残り2技術は平成20年1月に技術評価を完了した。

いずれの技術も、研究開発結果として出てくるコストを開発目標として最初に設定した点が本プロジェクトの大きな特徴であり、開発目標として以下のように設定している。

各技術とも、開発目標コストを達成するために各要素技術の目標(パーツ目標)を抽出し、目安となる目標値を設定した上で、実証実験および既存データにより検証し、コスト算出、評価している。以下に

19年度に技術評価が完了した、No.6,7の2技術の開発結果を報告する。

表-1 提案技術の概要と実証実験

区分	No.	技術提案者	開発技術名称	技術評価
ZD	1	日立造船(株)	下水汚泥のバイオソリッド燃料化	H19/3 完了
	2	メタウォーター(株) 岐阜市上下水道事業部	下水汚泥焼却灰からのりん回収技術	H19/3 完了
	3	カワサキプラントシステムズ(株) (株)木村製作所	下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減	H19/3 完了
GE	4	月島機械(株)	下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術	H19/3 完了
	5	JFE エンジニアリング(株) アタカ大機(株) 鹿島建設(株) ダイネン(株)	低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム	H19/3 完了
	6	(株)日立プラントテクノロジー 栗田工業(株)	消化促進による汚泥減量と消化ガス発電	H20/1 完了
両技術	7	カワサキプラントシステムズ(株)	湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム	H20/1 完了

### 「ZD技術」

脱水汚泥：16,000円/t以下(現物量ベース)  
焼却灰：8,000円/t以下(現物量ベース)  
(上記価格は、平成16年度<sup>※1</sup>ベース)

※1 評価時の最新データを採用

### 「GE技術」

対象処理場の契約種別に応じた全国年間平均電力料金(評価時の料金<sup>※2</sup>)以下

※2 平成17年10月～平成18年9月の全国年間平均電力料金、高圧A：10.84円/kWh、高圧B：9.32円/kWh

## 2. GE技術の開発

### 2.1 消化促進による汚泥減量と消化ガス発電

#### 2.1.1 技術概要

本技術は、**図-1**に示すフローのとおり、「オゾンを用いた消化促進処理」を従来の嫌気性消化処理に組み込み、消化ガス発生量を増加させ、ガス発電を行う技術である。本技術の特徴は以下の通りである。

- ①消化汚泥の一部をオゾン処理し、汚泥中の不活性有機物を生物分解可能な形態に改質させることにより、消化率や消化ガス発生量が向上する。
- ②消化汚泥の一部を固液分離し、濃縮された汚泥を消化槽へ返送することにより高濃度消化の運転が行われ、消化反応が高速で進む。
- ③余剰消化汚泥の引き抜きにおいて、凝集剤を添加せずに低い固形物回収率での遠心分離を行うことにより、比重の大きい無機固形物を優先的に排出することで脱水汚泥の含水率が低下し、汚泥処分量が減少する。
- ④高温消化と中温消化を組合せることにより、中温消化のみよりさらに消化効率を高めることができ、

より高負荷の消化槽に対して、十分な消化率の向上とそれに伴うガス発生量の増加効果を得ることができる。

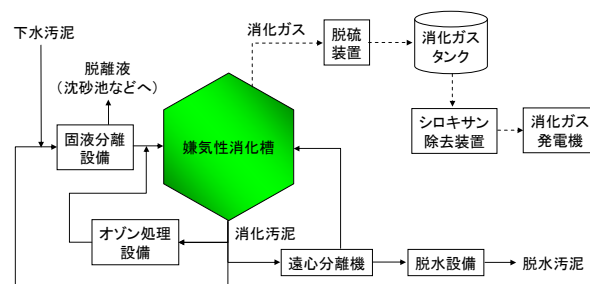


図-1 消化促進による汚泥減量と消化ガス発電概略フロー

#### 2.1.2 パーツ目標と検証結果

開発目標コストを達成するための消化ガス量・質、発電量、脱水汚泥量に関するパーツ目標と検証結果、プロセス全体での性能目標と検証結果を**表-2, 3**に示す。結果として全ての項目でパーツ目標を達成した。

表-2 各パーツ目標及び検証結果

目的	項目	目標値	検証結果	
			中温消化	高温+中温
消化ガス量の確保 汚泥処分費の低減	固形性有機物 減少率	平均 76% 程度以上	80.0% (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)	80.2% (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)
消化ガスの質の確保	メタン濃度	60%程度	従来プロセスと同等により、 一般的なメタン濃度 60%を確保可	従来プロセスと同等により、 一般的なメタン濃度 60%を確保可
発電設備の保護	硫化水素	10 ppm 以下	10 ppm 以下	10 ppm 以下
	シロキサン	0.5 mg/Nm <sup>3</sup> 以下	0.5 mg/Nm <sup>3</sup> 以下	0.5 mg/Nm <sup>3</sup> 以下
発電量の確保	発電効率 (発電端)	29%以上	32.1% (負荷率 100%時)	
汚泥処分費の低減	脱水汚泥 含水率	平均 72% 程度以下	69.5% (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)	68.4% (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)

表-3 プロセス全体での性能目標と検証結果

項目	目標値	検証結果	
		中温消化	高温+中温
脱水汚泥 処分量削減率	60%以上	70.5% (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)	71.2% (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)
発電電力量	0.158 kWh/m <sup>3</sup> -流入下水以上	0.178 kWh/m <sup>3</sup> -流入下水 (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)	0.176 kWh/m <sup>3</sup> -流入下水 (負荷 1.1 kg-VS/m <sup>3</sup> ・日)

2.1.3 評価結果

パーツ目標の検証結果から適用可能な処理場規模及びコスト算出条件を決定し、コスト算出した結果、

表-4 に示すとおり、すべてのケースにおいて開発目標コスト 9.32 円/kWh 以下を達成した。

表-4 発電コスト算出結果

項目	中温			中温+高温		
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
処理量(m <sup>3</sup> /日)	53,000		43,000	53,000	43,000	
VS 負荷(kg/m <sup>3</sup> -消化槽・日)	1.1	0.97		1.1		0.97
(a) 導入施設建設費	64,309	59,617	52,579	58,161	50,913	50,913
(b) 既施設改造費	730	730	730	730	730	730
(c) 導入施設運転費	127,280	120,326	105,398	118,835	106,032	108,127
(d) 既施設運転費の変化分	-26,295	-26,466	-21,504	-27,432	-22,286	-22,674
(f) リサイクル品売却収入	0	0	0	0	0	0
(g) リサイクルコスト	0	0	0	0	0	0
(h) その他バイオマスの受入収入	0	0	0	0	0	0
(i) その他	0	0	0	0	0	0
(z) 導入後の汚泥処分費	56,514	54,683	44,366	55,262	44,835	37,759
(Z) 導入前の汚泥処分費	191,720	191,720	155,547	191,720	155,547	155,547
上記(a)~(Z)合計[千円/年]	30,817	17,170	26,022	13,836	24,678	19,309
(Q) 発電電力量[kWh/年]	3,447,349	3,472,149	2,802,306	3,405,473	2,748,734	2,851,298
(P) 発電コスト[円/kWh]	<b>8.94</b>	<b>4.95</b>	<b>9.29</b>	<b>4.06</b>	<b>8.98</b>	<b>6.77</b>
※発電コスト P = (a+b+c+d-f+g-h+i+z-Z) / Q						

### 3. 両技術の一括開発

#### 3.1 湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム

##### 3.1.1 技術概要

本技術は、図-2 に示すフローのとおり、生ごみなどのバイオマスを受け入れて下水汚泥と混合し、メタン発酵・発電する技術および発酵残渣から活性炭化物を製造し、環境浄化剤とする技術である。なお、消化槽がない場合の横型の押し出し流れ型の発酵槽を新設する場合も検証している。本技術の特徴は、以下のとおりである。

- ①生ごみや家畜排泄物などの湿潤バイオマスを受け入れ収入によるコスト低減
- ②湿潤バイオマスと下水汚泥を混合してメタン発酵させて発生するバイオガスをを用いた高効率な発電による買電量の削減
- ③発酵残渣から活性炭化製品を製造

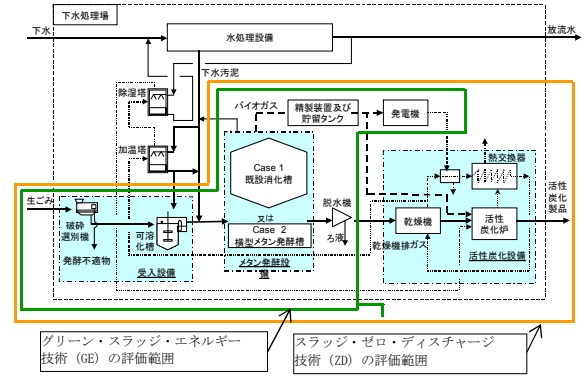


図-2 湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム概略フロー

##### 3.1.2 パーツ目標と検証結果

各開発目標コストを達成するための異物の除去、流動性の確保、バイオガス量・質、発電量、脱水汚泥量、活性炭化物性能に関するパーツ目標と検証結果を表-5 に示す。結果として、全ての項目でパーツ目標を達成した。

表-5 パーツ目標、目的及び結果

目的	項目	目標	検証結果	
異物の除去	最適な破碎選別機の選定	破碎できる	回転ブレード式にて確認	
	スクリーン通過粒径	径 10mm 以下	スクリーン径 3mm	
流動性の確保	可溶化液の流動性	下水汚泥と同程度	下水汚泥 311cP に対して可溶化液 297cP	
横型メタン発酵設備 (Case1)	発酵槽のコンパクト化	滞留日数 (55℃高温発酵)	20 日間以下 7 日間 ただし返送汚泥比 40%	
	バイオガス量の確保	生ごみの有機物分解率	80%以上	84.9%
		生ごみからのガス発生量	0.80Nm <sup>3</sup> /kg-分解 VS 程度	0.828Nm <sup>3</sup> /kg-分解 VS
	バイオガス質の確保	メタン濃度	55~65%程度	59.1%
従来型メタン発酵設備 (Case2)	バイオガス量の確保	生ごみの有機物分解率	80%以上	84.1%
		生ごみからのガス発生量	0.80Nm <sup>3</sup> /kg-分解 VS 程度	0.810Nm <sup>3</sup> /kg-分解 VS
	バイオガス質の確保	メタン濃度	55~65%程度	59.8%
バイオガス質の確保	脱硫塔出口 硫化水素濃度	10ppm 以下	0.6ppm	
バイオガス質の確保	シロキサン吸着塔出口 シロキサン濃度	1mg/Nm <sup>3</sup> 以下	<1mg/Nm <sup>3</sup>	
発電量の確保	ガスエンジン発電効率	100kW 級で 30% 300kW 級で 35%	115kW にて 29% (発電端) 230kW にて 34% (発電端)	
汚泥量低減	脱水汚泥含水率	85%以下	横型消化汚泥で 80.4% 縦型消化汚泥で 81.2%	
活性炭化物性能	吸着比表面積	150m <sup>2</sup> /g-炭素分以上	671m <sup>2</sup> /g-炭素	
	有害物含有量及び重金属溶出量	規制値以下	規制値以下	
	塩素含有量	0.5%以下	0.0010%	
	化石燃料使用量	ゼロ化	化石燃料使用量ゼロ	

### 3.1.3 評価結果

パーツ目標の検証結果から適用可能な処理場規模及びコスト算出条件を決定し、コスト算出した結果を汚泥資源化コストは表-6、発電コストは表-7に示す。Case1 が横型メタン発酵槽を新設する場合、

Case2 が既設消化槽を利用する場合である。いずれのケースにおいても汚泥資源化コストの目標コスト 16,000 円/t 以下、発電コストの目標コスト 9.32 円/kWh 以下を達成した。

表-6 汚泥再資源化コスト

項目	Case1	Case2
処理量[m <sup>3</sup> /日]	30,000	30,000
メタン発酵槽	横型（新設）	従来型（既設）
(a) 導入施設建設費	71,087	57,707
(b) 既施設改造費	2,980	2,980
(c) 導入施設運転費	107,112	84,814
(d) 既施設運転費の変化分	609	9,669
(e) エネルギー回収による電力費削減分	14,837	14,595
(f) 売却収入	8,873	8,888
(g) リサイクルコスト	5,636	5,791
(h) その他バイオマスの受け入れ収入	87,600	87,600
(i) 前処理異物処分費	7,964	7,964
合計（千円/年）	84,078	57,841
汚泥資源化コスト = {(a) + (b) + (c) + (d) - (e) - (f) + (g) - (h) + (i)} ÷ 脱水汚泥排出量より		
施設導入前の脱水汚泥排出量（t/年）	9,617	5,259
汚泥資源化コスト（円/t）	<b>8,742</b>	<b>10,998</b>

表-7 発電コスト算出結果

項目	Case1	Case2
処理量[m <sup>3</sup> /日]	30,000	30,000
メタン発酵槽	横型（新設）	従来型（既設）
(a) 導入施設建設費	50,239	36,889
(b) 既施設改造費	0	0
(c) 導入施設運転費	56,058	33,211
(d) 既施設運転費の変化分	489	9,603
(f) 売却収入	0	0
(g) リサイクルコスト	0	0
(h) その他バイオマスの受け入れ収入	87,600	87,600
(i) 前処理異物処分費	7,964	7,964
(z) 技術導入後脱水汚泥処分費	92,445	97,417
(Z) 現状脱水汚泥処分費	153,877	84,148
上記 (a) ~ (Z) の合計（千円/年）	-34,283	13,346
(Q) 発電電力量（kWh/年）	2,411,925	2,346,124
発電コスト P（円/kWh）	<b>&lt; 0.0</b>	<b>5.7</b>
※発電コスト P = (a+b+c+d-f+g-h+i+z-Z) / Q		

## 4. 技術資料の構成

技術資料は本編と資料編からなる。各編の内容は以下のとおりである。

### 第1章 総 則

- 第1節 目 的
- 第2節 本書の構成
- 第3節 用語の定義

### 第2章 技術の概要

- 第1節 技術の概要と特徴

### 第3章 施設の計画

- 第1節 計画の手順
- 第2節 計画上の留意点

### 第4章 施設の設計

### 第5章 設備の維持管理

- 第1節 維持管理
- 第2節 保守点検

## 資 料 編

- 第1節 モデル設計例
- 第2節 経済性試算例
- 第3節 特記仕様書例
- 第4節 資料の問い合わせ先

## 5. まとめ

平成17年4月から各提案技術の開発がスタートした LOTUS Project の全7提案技術が評価完了した。スラッジ・ゼロ・ディスチャージ及びグリーン・スラッジ・エネルギー技術を広く普及させることを目的とし、地方公共団体などの下水道事業者が技術導入をする際の参考図書として使用いただくことを念頭に、技術資料としてとりまとめることができた。技術の概要、特徴を示すとともに、施設の計画、設計および維持管理等に係る技術的事項について役立つことを期待する。

### ●この研究を行ったのは

研究第一部長  
研究第一部副部長  
研究第一部主任研究員  
研究第一部研究員

清水 俊昭  
小野田吉恭  
西村 寛信  
大福地智弘

### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長  
研究第一部副部長  
研究第一部研究員  
研究第一部研究員  
問い合わせ先

清水 俊昭  
森島 嘉浩  
土田 俊彦  
大福地智弘

電話 03-5228-6597