

<ノート>

下水汚泥資源化・発電技術開発の国家プロジェクト ～LOTUS Project～

藤川征宏¹, 小野田吉恭², 清水俊昭³, 中里卓治⁴

財団法人 下水道新技術推進機構 研究第一部(〒162-0811 東京都新宿区水道町 3-1

E-mail:m-fujikawa@jiwet.or.jp¹, y-onoda@jiwet.or.jp², t-shimizu@jiwet.or.jp³, t-nakazato@jiwet.or.jp⁴)

概要

国土交通省が主体となっており行われている国家プロジェクトである LOTUS Project は平成 15 年度から始まった。本プロジェクトでは、廃棄処分するより安く下水汚泥をリサイクルできる技術としてスラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術、バイオマス等を利用して買電よりも安く発電できる技術としてグリーン・スラッジ・エネルギー技術の2つについて開発が進められている。本発表は LOTUS Project の経緯を含めた各技術の概要を説明するものである。

キーワード: 下水汚泥, 資源化, 消化, ガス発電, LOTUS

1. はじめに

近年, 下水汚泥はバイオマス資源として着目され, 有機肥料や土壌改良材などに有効利用されている。また, 消化工程におけるメタンガスの回収が可能で, これを使って発電する処理場もある。このように下水汚泥は, 資源・エネルギーの宝庫といえる一方, これらはコストが高いなどの理由で, 全国的に広く利用されるどころまで至っていない。また, 国のバイオマス・ニッポン総合戦略や京都議定書の目標達成に加えて, 各自治体にとっても産業廃棄物の埋立処分地不足, リサイクルコスト負担, 電気代などの処理エネルギーコストが厳しい課題となっており, 下水汚泥の多様な資源化・エネルギー利用が求められている。

2. LOTUS Project の概要

下水道の様々な課題のうち特に重点的に技術開発を進めるべきテーマについて, 産学官で短期的に研究開発・実用化を進める技術開発プロジェクト「SPIRIT21」が, 国土交通省のリードにより平成 13 年度にスタートした。最初の課題を「合流式下水道の改善に関する技術開発」とし, 24 技術の研究開発が進められた。

SPIRIT21 は, 開発技術の評価を各種委員会において実施することにより, 専門家による適正な技術評価がなされるスキームとしている。開発技術のジャンル毎に開発研究委員会を設置し, 「技術評価書案」をまとめあげ, SPIRIT21 委員会で審議するものである。

平成 17 年 3 月 15 日, 研究開発が進められていた最後の 1 技術が SPIRIT21 委員会において所定の性能を達成したと認められ, これにより 24 技術すべてについて実用化の研究開発が完了した。

2 番目のテーマとして, 平成 15 年度に, 「下水汚泥資源

化・先端技術誘導プロジェクト(Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project; LOTUS Project)」が打ち出され, 産学官が連携して新技術の開発に取り組んでいる。

これまでの研究開発では, コストは研究開発の結果として出てくるものであったが, この LOTUS Project では, 最初に開発目標としてコストを定め, それを達成する為の研究開発を行うという, これまでにない初めてのプロジェクトである。

LOTUS Project では, 「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」ことを目的にしたスラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術(以下, 「ZD技術」という。)と「下水汚泥等のバイオマスを使っ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」という。)の2つを対象としている。

LOTUS Project の主な技術開発の経緯は以下のとおりである。

平成 15 年 12 月	技術公募
平成 16 年 9 月	開発目標(コスト)と評価方法の公表
平成 16 年 12 月	開発技術選定
平成 17 年 9 月	開発研究計画の承認
平成 17 年 9 月以降	実証実験

LOTUS Project の提案技術は, ZD技術が 3 技術, GE技術が 3 技術, 両技術一括技術が 1 技術の計 7 技術であり, その概要と実証実験場所は, Table 1 に示す通りである。

なお, 平成 19 年 3 月 13 日に開催された SPIRIT21 委員会において, Table 1 で示した①～⑤の5つの技術の技術評価が承認され, 平成 19 年度以降, 実際の事業への導入が可能となった。

本稿では, ZD技術とGE技術の各開発状況について概説する。

Table 1 Outline of LOTUS Project technologies

平成 19 年 3 月現在

技術	No.	技術提案者名	技術名称	開発技術の概要	実証実験場所	概略フロー
ZD 技術	①	日立造船株式会社	下水汚泥のバイオソリッド燃料化	熱エネルギーの利用・回収技術と下水汚泥の乾燥造粒技術とを組み合わせるバイオソリッド燃料を製造する技術。	舞鶴市西浄化センター	
	②	日本ガイシ株式会社※1 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	下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えてりん酸を溶出させ液肥またはりん酸カルシウム塩として、高付加価値の肥料原料とする技術。	岐阜市北部プラント	
	③	カワサキ環境 ※2 エンジニアリング株式会社 株式会社木村製作所	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	脱水汚泥から活性炭化物を製造し、汚泥脱水助剤、汚泥改質剤又はゴミ焼却炉のダイオキシン吸着剤等とする技術。	製造実証: 七尾市 西部水質管理センター 木村製作所兵庫工場 用途実証: 松山市 北条浄化センター 綾部市西八田浄化センター (農集排)	
GE 技術	④	月島機械株式会社	下水汚泥とバイオオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術	下水汚泥を超音波可溶化するとともに、その他バイオオマスを受け入れて下水汚泥と合わせて消化し、消化ガス発生量を増加させ発電する技術。	横浜市 南部汚泥資源化センター 猪名川流域下水道原田処理場	
	⑤	JFEエンジニアリング 株式会社 アタカ大機株式会社 鹿島建設株式会社 ダイネン株式会社	低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム	その他バイオオマスを受け入れて下水汚泥と合わせて消化し、消化ガス発生量を増加させ発電する技術。生物脱硫設備の導入によるコスト低減等も検討	横浜市 南部汚泥資源化センター	
	⑥	日立プラントテクノロジー 株式会社 栗田工業株式会社	消化促進による汚泥減量と消化ガス発電	下水消化汚泥をオゾン処理することにより消化を促進し、汚泥の減量化を図るとともに消化ガス発生量を増加させ発電する技術。	十日町市下水処理センター	
両技術一括開発	⑦	カワサキ環境 ※2 エンジニアリング株式会社	湿潤バイオオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム	その他バイオオマスを受け入れて下水汚泥と合わせてメタン発酵・発電する技術及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。	ゼロディス実証 熊本市南部浄化センター 木村製作所兵庫工場 グリーン実証 熊本市南部浄化センター	

※1 日本ガイシ(株)は(株)NGK 水環境システムズに社名変更

※2 カワサキ環境エンジニアリング(株)はカワサキプラントシステムズ(株)に社名変更

3. ZD技術の開発状況について

3.1 ZD技術の開発目標

ZD技術の開発目標は、以下の通り設定している。

なお、ZD技術及びGE技術の開発においては、開発目標を達成するために重要である事項及び各パーツにおいて、目安となる目標値を設定し、実証実験及び既存データにより検証し、コストを算出している。

開発目標

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)
 ※評価にあたっては、処分価格の変動を考慮するものとする。(上記価格は、*平成16年度ベース)

※評価時の直近のデータは平成16年度のデータである。

3.2 下水汚泥のバイオソリッド燃料化技術

(1)開発技術の概要

本技術は、熱エネルギーの利用・回収技術と下水汚泥の乾燥造粒技術とを組み合わせ、バイオソリッド燃料を製造するものである。バイオソリッド燃料(Pic.1)は、脱水汚泥を低水分まで乾燥することにより汚泥の持つ熱量を有効に利用し、かつ粒状で取り扱い性に優れ、石炭の代替燃料として利用することを想定している。また、乾燥造粒装置からの廃熱を回収するとともに、消化槽がある処理場では、消化ガスのエネルギーを熱媒加熱装置の加温に使い、運転コストを低減するとともに、バイオソリッド回収熱量よりも投入熱量を小さくなるような工夫をしている。



Pic.1 Biosolids fuel

本技術の特徴は以下の通りである。

- ①脱水汚泥を廃棄処分するより安価にリサイクルできる技術
- ②乾燥造粒することにより取り扱いやすい燃料を製造
- ③乾燥造粒品をバイオソリッド燃料として利用し、二酸化炭素発生量の削減に寄与
- ④間接加熱方式による安全性の高い乾燥技術
- ⑤乾燥造粒装置排ガスの燃焼脱臭を熱媒加熱装置で兼用

(2)パーツ目標と検証結果

各パーツの設定目標とその検証結果は、Table 2 に示すとおりであり、すべての項目で、ほぼ目標を達成した。なお、実証実験は、消化槽のない舞鶴市西浄化センターに設置した処理能力1.7t/dの実証実験プラントを用いて実施し、冬季、春季、夏季のデータを収集した。

Table 2 Component's target & result

番号	項目	目標値	目的	実証方法	結果	備考
1	熱媒加熱装置の熱回収率	74.5%以上	燃料消費量の検証	実証実験	78.3~79.9%	
2	乾燥造粒装置の熱回収率(スケールアップ時)	90.0%以上		実証実験	90.6~92.1%	50t-脱水汚泥/日の規模にスケールアップ
3	スクラバの熱回収率	90.0%以上		実証実験	85.9~95.9%	
4	汚泥熱交換器による熱回収の可能性	熱回収可能		既存データ(実証実験のデータを一部利用)	1,800MJ/hの熱回収が可能	
5	バイオソリッド燃料(乾燥造粒品)の低位発熱量	消化汚泥: 12,560kJ/kg以上 未消化汚泥: 15,490kJ/kg以上	乾燥造粒品をバイオソリッド燃料として有価で売却	既存データ(消化汚泥)実証実験(未消化汚泥)	消化汚泥: 14,023kJ/kg 未消化汚泥: 18,793~19,591kJ/kg	
6	バイオソリッド燃料の燃料特性	燃料利用		既存データ実証実験	達成	石炭との混焼利用が可能
7	バイオソリッド燃料の価格設定	500円/t-乾燥造粒品		アンケート調査	消化汚泥(原料): 100円/t-乾燥造粒品 未消化汚泥(原料): 500円/t-乾燥造粒品	

(3)評価結果

評価結果は、Table 3 に示すとおり、消化ガス未利用時で13,900円、消化ガス利用時で9,000円となり、開発目標を達成した。

Table 3 Result of estimate

技術名称		下水汚泥のバイオソリッド燃料化	
技術概要		熱エネルギーの利用・回収技術と下水汚泥の乾燥造粒技術とを組み合わせ、バイオソリッド燃料を製造する技術。	
技術提案者		日立造船株式会社	
評価条件	規模	日最大処理水量 30~50 千m ³ /日 (20~30t-脱水汚泥/日) 以上の下水道終末処理場	
	場所	全国	
成果物	成果物	低位発熱量が 消化汚泥 : 12,560kJ/kg (3,000kcal/kg) 以上 未消化汚泥 : 15,490kJ/kg (3,700kcal/kg) 以上	
	コスト算出条件	熱媒加熱装置の熱回収率: 78.3% 乾燥造粒装置の熱回収率: 90.6% (50t-脱水汚泥/日処理時) スクラバ装置の熱回収率: 85.9% 乾燥造粒品の売却収入 消化汚泥: 100 円/t-乾燥造粒品、未消化汚泥: 500 円/t-乾燥造粒品	
評価結果		開発目標(必要性)である処理コスト16,000円/t(脱水汚泥)以下に対し、50t-脱水汚泥/日の規模にて結果13,900円/t(消化ガス未利用)及び9,000円/t(消化ガス利用)となり、目標を達成した。	

3.3 下水汚泥焼却灰からのりん回収技術

(1)開発技術の概要

本技術は、下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えてりん酸を溶出させ、高付加価値の肥料原料(液肥又はりん酸カルシウム塩(以下、リン酸塩))と脱りんされた焼却灰(以下、脱りん灰)を建設資材等原料として製品化しようとするものである。また、焼却炉の廃熱を利用して、設備費と運転費の削減を図っている。

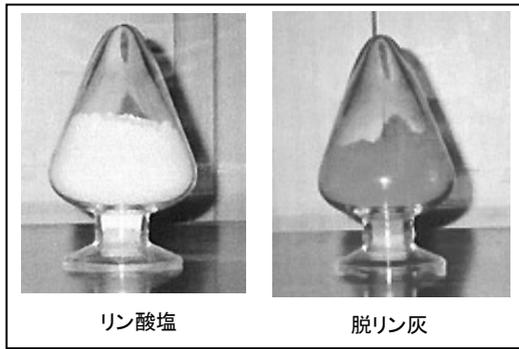
本技術は、下水汚泥または下水汚泥焼却灰よりリンを回収する既往技術と比較し、以下の特長がある。

- ①焼却灰より2種のリサイクル製品(建設資材原料・リン酸

塩)が得られる(Pic. 2)

②リン濃度の高い焼却灰からリンを回収するため、汚泥からリン回収する既往システムよりも設備がコンパクト

③加温が 50～70℃程度であるため、焼却炉の余剰熱で必要熱量を確保可能



Pic.2 Recovered Phosphate & De-P Ash

(2)パーツ目標と検証結果

各パーツの設定目標とその検証結果は、Table 4 に示すとおりであり、すべての項目で、ほぼ目標を達成した。なお、実証実験は、岐阜市北部プラント市に設置した処理能力 100kg /d の実証実験プラントを用いて実施し、冬季、春季、夏季のデータを収集した。また、ピーカー実験を適宜実施し、実証実験プラントでの不足データを補完した。

(3)評価結果

評価結果は、Table 5,6 に示す条件において、リン酸塩回収の場合 7,840 円、液肥回収の場合で 7,910 円となり、開発目標を達成した。

なお、本技術にて、処理された脱りん灰は、土壤環境基準及び土壤汚染防止対策法の土壤含有量基準を満たしており、土壤に混入しても無害であり、土質改良材、アスファルトファイラー用石粉、下層路盤材として有効利用できる。

Table 5 Result of estimate (in case of recovering phosphate)

技術名称	下水汚泥焼却灰からのりん回収技術	
技術概要	下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えてりん酸を溶出させ液肥又はりん酸塩として、高付加価値の肥料原料とする技術。	
技術提案者	日本ガイシ株式会社・岐阜市上下水道事業部	
評価条件	規模	焼却炉を有し、焼却灰発生量が4t/日以上(原水処理量100,000m ³ /日規模)焼却灰りん含有量がP ₂ O ₅ 換算で25%以上
	場所	全国
コスト算出条件	成果物	回収りん酸塩：副産りん酸肥料規格・下水汚泥肥料規格を満たす。 脱りん灰 [*] ：土壤環境基準・土壤含有量基準を満たす。
	コスト算出条件	りん抽出率 66.1% 脱りん灰回収量 0.76kg/kg-灰 りん酸塩析出率 100% NaOH使用量 0.121kg/kg-灰 Ca(OH) ₂ 使用量 反応等量×1.5 硫酸使用量 0.039kg/kg-灰 【売却収入】 回収りん酸塩 4.0万円/t 脱りん灰 0.01万円/t
評価結果	開発目標である処理コスト8,000円/t-灰以下に対し、結果7,840円/t-灰となり、目標を達成した。	

※：脱りん灰は、土壤に混入しても無害であり、土質改良材、アスファルトファイラー用石粉、下層路盤材として有効利用できる。

Table 4 Component's target & result

大項目	小項目	目標値	目的	実証方法	結果	備考	
りん回収率	りん抽出率	55%以上	りん回収量の検証	実証実験	65.5~66.7%		
	りん酸塩析出率	90%以上		実証実験	100%		
	薬品使用量	NaOH使用量 (りん抽出率55%のとき)	0.043kg/kg-灰以下	薬剤使用量の検証	実証実験	0.121kg /kg-灰	
		消石灰使用量 (りん酸塩析出率90%のとき)	0.3kg/kg-灰以下		実証実験	0.431 kg/kg-灰 (反応等量×1.5)	
	脱りん灰及び有効利用先	脱りん灰	土壤環境基準を満たす 土壤含有量基準を満たす		実証実験	全項目で基準値以下となり達成	
		土質改良材	コーン指数 800kN/m ² 以上	有効利用可能性の検証	実証実験	907~4728kN/m ² (りん抽出率55%以上)	
		アスファルトファイラー用石粉	標準マーシャル安定度4.9kN以上 残留安定度75%以上		実証実験	標準マーシャル安定度9.68kN 残留安定度89.0% (石粉代替率25%)	
		下層路盤材	修正CBR20%以上		実証実験	94.7% (脱りん灰添加率5%)	
	回収りん酸塩	回収りん酸塩	副産りん酸肥料規格及び焼成汚泥肥料規格を満たす	肥料としての適用性の検証	実証実験	達成	
	液肥原料回収の場合	りん回収率	りん抽出率	55%以上	りん回収量の検証	実証実験	51.3~57.7%
薬品使用量		KOH使用量 (りん抽出率55%のとき)	0.672kg/kg-灰以下	薬剤使用量の検証	実証実験	0.611kg/kg-灰	
脱りん灰及び有効利用先		脱りん灰	りん酸塩回収の場合と同等	有効利用可能性の検証	実証実験	達成	
回収液肥原料		回収液肥原料	液状複合肥料規格を満たす N+P ₂ O ₅ +K ₂ O 8%	肥料としての適用性の検証	実証実験	5.1~5.8% 達成するためには、0.174kg/kg-液肥の(NH ₄) ₂ SO ₄ を添加する必要がある。	

Table 6 Result of estimate

(in case of recovering raw material for liquid fertilizer)

技術名称	下水汚泥焼却灰からのりん回収技術	
技術概要	下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えてりん酸を溶出させ液肥又はりん酸塩として、高付加価値の肥料原料とする技術。	
技術提案者	日本ガイシ株式会社・岐阜市上下水道事業部	
評価条件	規模	焼却炉を有し、焼却灰発生量が4t/日以上(原水処理量100,000m ³ /日規模)焼却灰りん含有量がP ₂ O ₅ 換算で25%以上
	場所	全国
コスト算出条件	成果物	液肥原料：肥料成分がN+P ₂ O ₅ +K ₂ Oで5.7%程度 脱りん灰：りん酸塩回収の場合と同等
	コスト算出条件	りん抽出率 53.9% 脱りん灰回収量 0.74kg/kg-灰 硫酸使用量 0.039kg/kg-灰 KOH使用量 0.611kg/kg-灰 (NH ₄) ₂ SO ₄ 使用量 0.174kg/kg-液肥 【売却収入】 液肥原料 1.80万円/t 脱りん灰 0.01万円/t
評価結果	開発目標である処理コスト8,000円/t-灰以下に対し、結果7,910円/t-灰となり、目標を達成した。	

3.4 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

(1)技術の概要

本技術は、脱水汚泥から活性炭化物を製造し、汚泥脱水

助剤、汚泥改質剤又はゴミ焼却炉のダイオキシン吸着剤等とする技術である。

本技術の製品の特徴は、炭化工程の後に賦活工程をいれることにより、市販活性炭に比べて、細孔径が大きく、吸着能力が高いことである。また、設備をユニット化することにより、建設費を低減するとともに、運転費についても、WEBを利用した遠隔操作により、低減し、低コスト化を図っている。

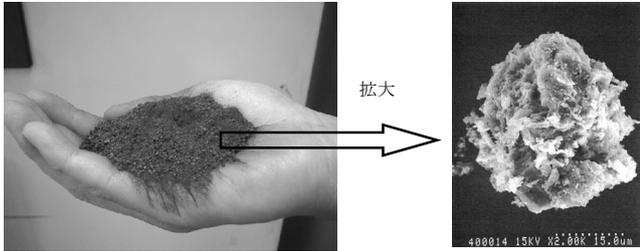


Fig.3 Activated charcoal

本技術の特徴は、以下の通りである。

- ① 炭化-賦活工程を1つの炉で連続的に行うことが可能
- ② スクリューコンベヤによる強制搬送方式により、炭化炉内滞留時間を調整することが容易
- ③ スクリューコンベヤにより、コンベヤ内スケーリングの発生を防止することが可能
- ④ 気流乾燥汚泥は粉末～顆粒状のため、効率的な熱伝導が可能
- ⑤ 気流乾燥熱媒体は水蒸気のため、乾燥効率が良い
- ⑥ ①、④および⑤により助燃料の低減を図ることが可能

(2) パーツ目標と検証結果

各パーツの設定目標とその検証結果は、Table 7 に示すとおりであり、すべての項目において目標を達成した。なお、実証実験は、活性炭化製品の製造実験を七尾市西部水質管理センターに設置した処理能力 7.2t/d の実規模設備と株式会社木村製作所兵庫工場に設置した処理能力 1.0t/d の実験機を用いて実施した。

Table 7 Component's target & result

項目	目標値	目的	方法	結果	備考
設備費	3.5億円以下	工場での製作組立てが可能なユニット化によるコストダウン	実証実験	3.5億円	
運転人件費(人件費削減)	6000円/t (夜間無人運転、昼間2名運転)	人件費の低減	実証実験	昼間の2名の労務費で運用可能となり、人件費を4800円/t以下に抑制できた。	
脱臭剤としての性能	炭素当たり、150m ² /Ggの吸着比表面積	市販粒状活性炭による脱臭装置の代用としての、バクフィルタ式脱臭装置での粉末状活性炭化製品の脱臭性能評価	実証実験	170~600m ² /Gg	
	市販活性炭の1/20以上の性能			市販活性炭の1/10以上の脱臭性能	
脱水助剤としての性能	固形物比で20%の添加率で3%以上の含水率低減	脱水汚泥の減量化	既存データ	未消化濃縮汚泥では約5%含水率が低下した。	
			実証実験	消化汚泥では約3%低下した。	
濃縮汚泥の減量化	固形物比で20%以下の添加率で原濃縮汚泥を1/3以下まで減量化	脱水機のない小規模処理場での長期貯留汚泥の減量化	既存データ及び実証実験	固形物比7.5%の活性炭化製品の添加で、汚泥発生量1/4。	
活性炭化製品の2万円/t以上の有価引取保証	2万円/t	有価引き取り保証事業化	販売実績及び市販活性炭販売価格との比較	バク脱臭用脱臭剤、濃縮汚泥減量化剤、ダイオキシン吸着剤、等で2万円/t以上で販売できる。	

また、用途の実証実験として、脱臭剤としての効果を松山市北条浄化センターにバクフィルタ式脱臭装置を設置し、データを取得するとともに、綾部市西八田浄化センターにおいて減圧脱気と活性炭化製品による汚泥減量化効果についてデータを取得した。

(3) 評価結果

評価結果は、Table 8 に示すとおり、消化ガス未利用時で14,000円/t、消化ガス利用時で10,700円/tとなり、開発目標を達成した。

Table 8 Result of estimate

技術名称	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技術	
技術概要	下水汚泥から吸着能力の高い活性炭化製品を製造し、ダイオキシン類吸着剤、脱臭剤、汚泥減量化剤として販売することで汚泥処理費を低減する技術。	
技術提案者	カワサキ環境エンジニアリング株式会社、株式会社 木村製作所	
評価条件	規模	原水処理量で1万m ³ /日以上 下水処理場
	場所	全国
	成果物	吸着比表面積が炭素当たり150m ² /g以上の活性炭化製品
コスト算出条件	設備規模	9.6t/日ユニット式活性炭化炉(設備稼働率:75%)
	設備建設費	3.5億円
	運転人員	昼間2名(夜間は遠隔監視による自動制御運転で現場無人運転)
	汚泥性状	(脱水汚泥含水率80%、汚泥中有機物80%) 活性炭化製品販売費:粉砕炭として2万円/t以上の有価引き取り保証
評価結果	混合生汚泥の場合	14,000円/t
	消化汚泥の場合	10,700円/t

4. GE 技術の開発状況について

4.1 GE 技術の開発目標

GE 技術の開発目標は、以下の通り設定している。

- ・全国年間平均料金は全国の電力会社 10 社における契約種別(低圧、高圧 A、高圧 B)毎の料金の単純平均とする。
- ・平成17年10月～平成18年9月の全国年間平均電力料金は、高圧 A:10.84円/kWhと高圧 B:9.32円/kWhである。

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)以下。

4.2 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

(1) 開発技術の概要

本技術は、超音波可溶化装置、ガス発電装置およびバイオマス前処理装置からなり、安価な発電を可能とするものである。本技術は、生ごみ等のバイオマスと下水汚泥の混合処理と余剰汚泥の前処理を行うことなく消化槽に投入することが従来と異なる点である。

下水の活性汚泥処理により生じる余剰汚泥を超音波可溶化装置により可溶化し、初沈汚泥とともに既設消化槽に投入しガス化する。一方、下水処理場外からのバイオマスを受け入れ、バイオマス前処理装置により調質した後、既設消化槽に投入しガス化する。これら一連の処理によりバイオガス発

生量を増し、ガス発電設備により発電するものである。

本技術の特徴は以下の通りである。

①超音波可溶化装置

- ・コンパクトな装置:超音波発信子であるホーンがドーナツ状であるという特徴をもったユニットで、インラインタイプのコンパクトな装置であり、既設の汚泥ラインの途中に設置するのみ
- ・運転操作が容易:汚泥ポンプに連動して作動させるため、複雑な操作は不要
- ・維持管理が容易:電源供給のみで作動できるため薬剤などは不要

②バイオマス前処理装置

- ・バイオマス投入による既設消化槽運転への影響を最小限に抑制

③既設消化槽における下水汚泥とバイオマスの同時消化

- ・下水汚泥の消化に悪影響を与えることなくバイオマスを十分に消化可能

④ガス発電装置

- ・バイオガスでも天然ガスに準ずる出力・効率の運転が可能
- ・防音パッケージ、シロキサン除去装置などのバイオガス前処理装置を一体化した 屋外設置仕様とすることによりインシヤルコストを削減
- ・総合保守契約によりメンテナンスコストを低減

(2) パーツ目標と検証結果

各パーツの設定目標とその検証結果は、Table 9 に示すとおりである。

Table 9 Component's target & result

パーツ	目標	目的	方法	結果
消化	混合物由来のガス発生量 ^{※1} 0.5～0.8Nm ³ /kg-投入 VS	消化ガス量の確保	実証実験	平均 0.667Nm ³ /kg-投入 VS (0.591～0.773 Nm ³ /kg-投入 VS)
	混合物消化率 ^{※2} 60%程度	消化ガス量の確保	実証実験	平均 64.3% (55.8～71.5%)
	消化ガス組成 メタン濃度 55～65%程度	消化ガスの質の確保	実証実験	平均 59.1% (57.5～61.3%)
可溶化	下水汚泥由来のガス発生量 15%以上の増加 ^{※3}	消化ガス量の確保	既存データ	3.18% (余剰汚泥由来は 30%増加)
	下水汚泥由来の脱水汚泥量 4%以上の減少	汚泥処理費用の低減	既存データ	5.67%
発電	発電効率(発電端) 35%(2.09kWh/Nm ³ -消化ガス相当)以上	発電量の確保	既存データ	36.6%
脱水	混合系 ^{※4} の脱水汚泥含水率 汚泥単独系 ^{※4} と同等	汚泥処理費用の把握	実証実験	汚泥単独系 ^{※4} と同等 ^{※5}

※1 マテリアルバランス算出には次の数値を使用。

下水汚泥の消化ガス転化量: 0.596Nm³/kg-投入 VS (平均値)
生ごみの消化ガス転化量: 0.772Nm³/kg-投入 VS (平均値)

※2 マテリアルバランス算出には次の数値を使用。

下水汚泥の消化率: 54.4% (平均値)
生ごみの消化率: 79.0% (平均値)

※3 汚泥可溶化による下水汚泥由来ガス発生量の増加率が目標を下回ったが、その他の項目で目標を上回ったため、目標コストである99.32円/kWhを達成した。

※4 混合系: 生ごみと下水汚泥を同時処理する系
汚泥単独系: 下水汚泥のみを処理する系

※5 投入生ごみ 1kg あたり薬品使用量が 1.41g (平均値) 増加した。

なお、実証実験は、横浜市南部汚泥資源化センター及び猪名川流域下水道原田処理場で行った。横浜市南部汚泥資源化センターでは、消化槽容量 1m³、消化温度 37℃の条件で給食残渣と飲料かすと下水汚泥を混合したバイオマスを対象として、また猪名川流域下水道原田処理場では、消化槽容量 0.2m³、消化温度 37℃の条件で給食残渣と下水汚泥を混合したバイオマスを対象として、データ収集を実施した。

(3) 評価結果

評価結果は、Table 10 に示すとおりとなり、開発目標を達成した。

Table 10 Result of estimate

技術名称	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							
技術概要	場外バイオマスを受け入れ、超音波処理によって可溶化した下水汚泥と同時に消化し、消化ガス発生量を増加させ発電する技術。							
技術提案者	月島機械株式会社							
評価条件	規模	処理水量 42～200 千m ³ /日以上で消化設備のある下水道終末処理場						
	場所	全国						
コスト算出条件	バイオマスの種類	食堂残渣、食べ残し等の有機性廃棄物を含む一般廃棄物(生ごみ)						
	コスト算出条件	生ごみ受入価格 16,000 円/t, 生ごみの消化ガス転化量 0.772Nm ³ /kg-投入 VS, 生ごみの有機物分解率 79.0%、脱水汚泥含水率 80%、メタン濃度 59.1%、 発電設備の発電効率 36.6% (発電端)、 可溶化による汚泥由来固形物減少率 5.67%、 可溶化による汚泥由来ガス量増加率 3.18%						
評価結果	処理場規模	42,000m ³ /日	70,000m ³ /日	130,000m ³ /日	200,000m ³ /日			
	可溶化の有無	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし
発電コスト [円/kWh]	8.84	—	8.78	9.26	8.67	9.02	8.27	8.06
上記条件においてコストが 9.32 円/kWh 以下と見込まれ、開発目標を達成したと見込まれる。								

4.3 低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム

(1) 開発技術の概要

本技術は、下水処理場を地域のバイオマス活用施設と位置づけ、既設の消化槽を使って生ごみ・食品残渣等の有機性廃棄物を消化処理することにより、今まで未活用であったエネルギーをバイオガスとして取り出し、また、これらの処理費・処分費を下水道事業に取り入れる。さらに、バイオガス量が下水汚泥単独に比べ、増大するので、発電設備の容量が大きくなり、スケールメリットを活かした低コストのバイオガス発電を行うことができる。

これらを組み合わせて、下水汚泥の有効利用コストを大幅に削減するものである。

本技術の特徴は以下の通りである。

- ①既設の下水処理場を活用することにより、生ごみ・食品残渣等を低コストで処理
- ②ガス発生量の多い生ごみ・食品残渣を加えることにより、発電設備容量を大きくでき、スケールメリットにより発電コストのうち建設費を低減
- ③生物脱硫、シロキサン除去の新技术導入により、発電コストのうち維持管理費を低減

(2) パーツ目標と検証結果

各パーツの設定目標とその検証結果は、Table 11に示すとおりである。

Table 11 Component's target & result

項目	目標	目的	方法	結果
受入・前処理設備	前処理設備後の原料粒径 3mm以下	スクリーンを通し消化反応を促進させる	実証実験	0.07mm以下
消化タンク設備	生ごみ投入率 13wt%で発酵阻害無し	発酵の安定性	実証実験	阻害無し
	生ごみからのガス発生量 0.67Nm ³ /kg-VS以上	消化ガス量の確保	実証実験	0.760Nm ³ /kg-VS (0.693~0.879 Nm ³ /kg-VS)
	生ごみの有機物分解率 75%以上	消化ガス量の確保	実証実験	75.9% (69.2~79.2%)
	メタン濃度 60%程度	消化ガスの質の確保	実証実験	61.7% (50~72%)
消化ガス精製設備	脱硫設備出口硫化水素濃度 10ppm以下	発電設備の保護	実証実験	10ppm以下
	シロキサン除去設備出口シロキサン濃度 10mg/Nm ³ 以下	発電設備の保護	既存データ	10mg/Nm ³ 以下
消化ガス発電設備	ガスエンジン発電効率 33%以上	発電量の確保	既存データ	32.7%
	マイクログスタービン発電効率 24%以上	発電量の確保	既存データ	23.5%
脱水設備	脱水汚泥の含水率は既設と同程度	既設備に影響を与えないため	実証実験	既設と同程度

なお、実証実験は、月島機械株式会社と同様に横浜市南部汚泥資源化センターにて実施した。

(3) 評価結果

評価結果は、Table 12 に示すとおりとなり、開発目標を達成した。

Table 12 Result of estimate

技術名称	低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム				
技術概要	その他バイオマスを受け入れて下水汚泥と合わせて消化し、消化ガス発生量を増加させ発電する技術。生物脱硫設備の導入によるコスト低減等も検討。				
技術提案者	JFE エンジニアリング株式会社、アタカ大機株式会社 鹿島建設株式会社、ダイネン株式会社				
評価条件	規模	日最大処理水量 10 km ³ /日以上で消化設備のある下水処理場。			
	場所	全国			
バイオマスの種類	食堂残渣、食べ残し等の有機性廃棄物を含む一般廃棄物(生ごみ)				
コスト算出条件	受入価格：16,000円/t、生ごみからのガス発生量が0.76m ³ /kg-VS以上、生ごみの有機物分解率が75.9%以上、脱水汚泥含水率が80%以下、メタン濃度が61.7%以上、ガスエンジン発電効率が32.7%、マイクログスタービン発電効率23.5%(ともに発電端)				
評価結果	ケース	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD
	処理場規模	100,000m ³ /日	100,000m ³ /日	50,000m ³ /日	20,000m ³ /日
	ガス発電形式	ガスエンジン	ガスエンジン	ガスエンジン	マイクログスタービン
	脱硫方式	乾式脱硫	生物脱硫	生物脱硫	生物脱硫
	発電コスト	6.0円/kWh	3.7円/kWh	4.8円/kWh	5.0円/kWh
上記条件においてコストが9.32円/kWh以下と見込まれ、開発目標を達成したと見込まれる。					

3.3 消化促進による汚泥減量と消化ガス発電

(1) 開発技術の概要

本技術は、ガス発電を積極的に行うために、ガス発電量を増加させる「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合わせて、増量発生する消化ガスを原料としたガス発電を行い、システム全体で発電コストの低減を図るものである。

ここで、開発は消化槽をケースAとして中温消化のみ、ケースBを高温消化と中温消化の組み合わせで行う。当初ケースAのみ提案で、対象処理場が50,000m³/日以上であったため、さらに適用範囲を広げるためにケースBとして高温消化と中温消化の組み合わせで行うこととなった。

本技術の特徴は以下の通りであり、導入によって消化ガス発生量の増加及びガス発電システムの安定した運転を行うことにより、従来に比べて約2倍の発電量が得られるものと推定している。

本技術の特徴は以下のとおりである。

①「オゾンを用いた消化促進処理」を組み合わせることにより、従来の嫌気性消化処理に比べて、消化ガス発生量が増加するとともに、最終処分汚泥量を削減

②消化汚泥の引き抜きスケジュールを調整できることに加えて、短時間の脱水時間でも含水率の低いケーキが得られるため、汚泥脱水の業務調整が容易になり、維持管理費や脱水設備の節減が可能

③「オゾンを用いた消化促進処理」と「消化ガス発電」を組み合わせることにより、発電コストを低減化

(3) コスト目標達成のための性能目標

コスト目標を達成するために、プロセス全体の目標として、脱水汚泥処分量削減率を60%以上、発電電力量を0.158kWh/m³-(流入水量)としている。

この目標を達成するための各パーツ目標を以下のとおりである。

- ①固形性有機物減少率が平均76%程度以上であること
- ②脱水汚泥含水率が平均72%程度以下であること
- ③発電機発電効率が29%程度以上であること
- ④燃料消化ガス性状が、メタン60%程度、硫化水素10ppm以下、シロキサン0.5mg/Nm³以下であること

(4) 開発状況

先述したコスト目標を達成するための実証実験を、十日町市下水処理センターに消化槽実設備(槽容量1,800m³)、ベンチスケール(1m³×2槽)を用いて平成18年5月より行っている。

現在の状況は以下の通りである。

- ①固形性有機物減少率
ケースA:88%、ケースB:75%程度
- ②脱水汚泥含水率
ケースA:70%以下
今後は更にデータを採取し、結果を整理していく。

4. 両技術一括開発技術の開発状況

4.1 湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム

(1) 技術の概要

本技術は、その他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。

本技術の特徴は以下の通りであり、システム全体の経済性を大幅に改善することができる。

- 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費用を徴収
- ②湿潤バイオマスと下水汚泥を混合してメタン発酵し、バイオガスにより高効率な発電を行い、買電量を削減
- ③発酵残渣から活性炭化製品を製造

なお、GE技術においては、発酵残渣から活性炭製品を製造する工程については評価の対象外とした。

(2)開発目標

開発目標は、消化槽がなくメタン発酵槽を新設する場合 (Case1)と既設消化槽を用いる場合 (Case2)の2ケースを設定しており、以下の条件で、ZD技術では、Case1で8,142円/t-脱水汚泥、Case2で14,105円/t-脱水汚泥としており、GE技術では、Case1で0円/kWh、Case2で3.16円/kWhとしている。なお、開発条件は以下のとおりである。

- ①下水処理場に湿潤バイオマスとして生ごみを主体に15t/dを受け入れ
- ②流入下水水量約30,000m³/dとし、混合生汚泥にて固形物量5,377kg/d、濃度3.5%の濃縮汚泥154t/dを排出する下水処理場を対象
- ③下水処理場に消化槽がなく“メタン発酵槽”を新設する場合をCase1とし、既に消化槽がありこの消化槽を利用する場合をCase2とする
- ④両Caseとも脱水汚泥の状態では何らかの処分を行っているところを比較対象とする。本提案システムを構築する以前は、Case1では未消化の脱水汚泥(含水率80%)を26.9t/日、Case2では消化後の脱水汚泥(含水率80%)を13.2t/日排出しているとする
- ⑤Case1の“メタン発酵槽”とは、現在、生ごみや家畜排泄物向けに普及している横型の押し出し流れ型の発酵槽とする
- ⑥生成したバイオガスで発電を行い、下水処理場へ供給

(3)開発研究計画の概要

システムを確立するために、以下の各パーツの目標を設定し、実証実験により検証することとしている。

①破碎選別機の選定

選別後のメタン発酵原料への異物混入率は、後段の処理に影響のない範囲とする

②メタン発酵特性の確認

- ・可溶化・酸発酵処理後の液を孔径10mm以下、望ましくは孔径3mm以下のスクリーンで安定してろ過できること。
- ・可溶化・酸発酵処理後の液とそのメタン発酵後の液について、各々の粘性値が通常メタン発酵槽内で流動可能な値であること。
- ・既設の消化槽の利用を模擬した堅型完全混合式のメタン発酵槽にて、滞留日数を30日としたときに、下水汚泥の消

化率50%以上かつ生ごみの消化率80%以上としたときに相当する消化率を得ること。また、ガス発生量およびバイオガス中のメタン濃度の変動を把握する。

- ・横型押し出し流れ式のメタン発酵槽にて、55℃高温メタン発酵として、滞留日数20日以内、望ましくは14日以内に、下水汚泥の消化率50%以上かつ生ごみの消化率80%以上としたときに相当する消化率を得ること。また、ガス発生量およびバイオガス中のメタン濃度の変動を把握する。
- ・メタンガス濃度は55～65%程度であること。
- ・メタン発酵残渣の脱水汚泥の平均含水率が85%以下となる凝集剤を選定する。

③バイオマス発電機の選定と熱利用システムの最適化

- ・効率と経済性の観点から最適なバイオガス向け発電機を選定する。ガスエンジンの場合で100kW級において発電効率30%程度、300kW級で発電効率35%程度とする。
- ・精製後ガス中の硫化水素濃度は10ppm以下、シロキサン濃度は1mg/Nm³以下とする。

(4)技術開発の進捗状況

熊本市南部浄化センターに実証プラントを設置し、実証実験データを取得しているところである。

今後、平成19年の7月頃まで、実験施設を運転し、四季のデータを取得するとともにデータ整理を行うこととしている。

5. まとめ

「下水道ビジョン2100」では、21世紀型下水道の機能として、「排除・処理」から「活用・再生」への転換を謳っており、その基本方針である「資源のみち」では将来の資源枯渇の対応や地球温暖化防止等に向け、資源回収・供給ネットワークの創出を掲げている。

今回のLOTUS Projectで同時に7技術の開発が進められたことは、全国の下水処理場において「資源のみち」実現に向けての選択肢が一気に増加したことになる。

本Project各技術の普及により「下水道」は「資源のみち」となり、持続可能な循環型社会の構築に大きく寄与することが期待される。

(受付 2007. 4.25)

(受理 2007. 6.18)

National Project of Developing Technology of Making Resource from Sewage Sludge and Technology of Power Generation ~LOTUS Project~

Masahiro Fujikawa, Yoshiyasu Onoda, Toshiaki Shimizu, Takuji Nakazato

Japan Institute of Wastewater Engineering Technology

Abstract

LOTUS Project is a national project to develop the reclamation technologies of sewage sludge, and has been started in 2003 fiscal year. This project consists of two technological categories. One is "Sludge Zero Discharge technology" aiming at recycling sewage sludge at lower cost than disposal. The other is "Green Sludge Energy technology" aiming at recovering the energy from sewage sludge at lower cost than buying electricity. In this paper, the outline of LOTUS Project and developing technologies are shown.

KeyWords:

Sewage, resource, digestion, gas power generation, LOTUS