

〈研究発表〉

神戸市東灘処理場再生可能エネルギー生産・革新的技術実証研究  
(B-DASH プロジェクト)

川嶋 淳<sup>1)</sup>, 宮本 博司<sup>1)</sup>, 徳田 直子<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(株)神鋼環境ソリューション 技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室  
(〒651-2241 神戸市西区室谷1-1-4 E-mail: j.kawashima@kobelco-eco.co.jp)

概要

B-DASH プロジェクトとは国土交通省が主導する下水道革新的技術実証事業である。下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するための革新的技術を実証する。

神戸市と当社からなる共同研究体は、平成23、24年度は国土技術政策総合研究所の委託研究として、平成25年度は自主研究として、神戸市東灘処理場に設置した実証設備にてバイオガス回収およびバイオガス精製に関する革新的技術の実証を行った。地域バイオマス受入れによるバイオガス回収増量効果等の結果について報告する。

キーワード：汚泥消化、メタン発酵、バイオマス、バイオガス、精製

1. はじめに

1.1 消化ガス利用の現状

下水汚泥の嫌気性消化から発生する消化ガスはカーボンニュートラルな燃料であるため、有効利用を促進することにより、化石燃料使用量の削減や地球温暖化防止に寄与できる資源として注目されている。しかし、設備導入に係る費用が高額であること、維持管理に手間がかかること、特に中小規模の処理場では、有効利用可能な消化ガス量が少ないこと等から、国内下水処理場における汚泥消化・ガス有効利用設備の普及は停滞状況にある。

1.2 B-DASH プロジェクトについて

B-DASH (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High technology) プロジェクトとは国土交通省が主導する下水道革新的技術実証事業であり、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するための革新的技術について、実規模レベルのプラントにて実証を行う研究である。本研究は、平成23年度及び24年度は国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として、平成25年度は自主研究として神戸市と当社の共同研究体で実施した。下水処理場周辺に賦存する地域バイオマスを受入れること、これまで未利用だった下水の保有熱を活用することにより、有効利用可能な消化ガスを増量するとともに、汚泥消化に係る設備の建設コスト・維持管理コストを低減可能な装置の導入効果を検証した。設備導入コス

ト低減と消化ガス有効利用量の増加により、国内下水処理場での汚泥消化・ガス有効利用設備の普及を促進することを目的とした。

事業の実施場所は汚泥消化ガスの有効利用に関して国内最先端の取組みを進めている東灘処理場を選定した。国内外への汚泥消化・ガス有効利用設備の普及に向けたショーケース機能を果たすことも重要な目的としている。

2. 実証技術の概要

2.1 実証技術の構成

実証技術の概要<sup>1,2)</sup>を Fig.1 に示す。システム構成はバイオガス回収技術とバイオガス精製技術に大別され、バイオガス回収技術は、地域バイオマス受入・混合調整設備、高機能鋼板製消化槽、高効率ヒートポンプから構成され、バイオガス精製技術は、新型バイオガス精製装置・貯留・圧送システムより構成されている。

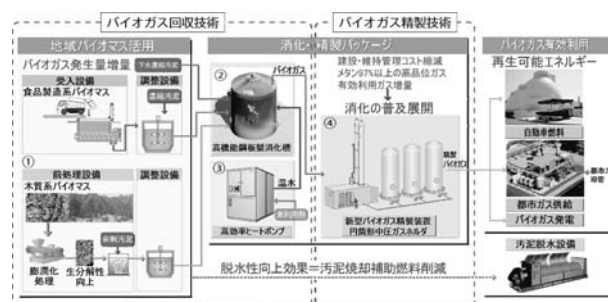


Fig.1 System flow of the innovative technologies

## 2.2 実証技術の特長

### (1) 地域バイオマス受入・混合調整設備

異物を含まず、かつ、水質等の下水道の本来の機能に影響を与えないという、下水道への受け入れの好適性が確認できた地域バイオマスを受け入れ、必要に応じて前処理を行った後に下水汚泥と混合調整する設備であり、後段の消化槽からのバイオガス発生量を増加させることができる。

### (2) 高機能鋼板製消化槽

消化槽を鋼板製にすることによって従来のPC製卵形消化槽と比較して建設コストの縮減および建設工期の短縮が可能であり、また、低動力インペラ式かくはん機の採用による維持管理費の縮減と槽内可視化による良好な消化反応を維持する取り組みが可能な消化設備である。

### (3) 高効率ヒートポンプ

下水処理場内の未利用熱を回収し消化槽等を加温するための温水を供給できるため、バイオガスの有効利用量を増加させるとともに、エネルギー使用量を削減することができる。

### (4) 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

バイオガスからメタン濃度 97% 以上の高品位ガスを取り出すことができる高機能な脱硫装置である新型バイオガス精製装置と円筒形中圧ガスホルダからなるシステムであり、バイオガス量約 3,000 m<sup>3</sup>N/日以上規模では、従来の脱硫システム(脱硫+低圧ガスタンク+シロキサン除去・除湿・昇圧)との比較でもコスト縮減が可能である。

## 3. 実証試験結果

### 3.1 実証施設概要

神戸市東灘処理場内に設置している実証施設の主仕様を **Table 1** に示す<sup>3)</sup>。実証用鋼板製消化槽で下水道への受け入れの好適性が確認された地域バイオマスは、既設消化槽(有効容量 10,000 m<sup>3</sup>)にも投入している。

**Table 1** The main specifications of the demonstration facility

①地域バイオマス受入・混合調整設備	
食品製造系バイオマス受入能力	鋼板製消化槽 0.7 t-wet/日 既設消化槽 11 t-wet/日
木質系バイオマス受入能力	鋼板製消化槽 0.25 t-wet/日 既設消化槽 4 t-wet/日
②高機能鋼板製消化槽	
	鋼板製全溶接円筒形 有効容量 220 m <sup>3</sup> ×1基
③高効率ヒートポンプ	
	電動スクルーチラー 加熱能力 266.4 kW×1基
④新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	
新型バイオガス精製装置	高圧水吸収法 処理能力 300 m <sup>3</sup> N/h×1基
中圧ガスホルダ	円筒形 貯蔵能力 約500 m <sup>3</sup> N×3基

### 3.2 実証結果

#### (1) 下水道への受入れに好適な地域バイオマスの選定

受入対象の地域バイオマスは、賦存量を調査した後、下水道への受け入れの好適性を個別品目ごとに検討した上で決定している。排出元へのヒアリング・目視による異物等の確認、組成分析、ラボスケールのメタン発酵実験によって候補を絞り込んだ後、排出元との合意が得られた地域バイオマスとして、食品製造系バイオマス(排水汚泥、廃酸、食品残さ)および木質系バイオマス(広葉樹間伐材、高木剪定枝)を、受入れ対象とした。

#### (2) 高機能鋼板製消化槽への地域バイオマス投入

下水汚泥との混合調整後、地域バイオマスは鋼板製消化槽に投入し、滞留日数 20 日、約 38℃で中温消化を行った(平成 24 年度)。定常状態に到達後の投入 VS 当たりガス発生量は、**Table 2** に示すとおり食品製造系バイオマスを VS 比率で約 20% 投入した場合 675 m<sup>3</sup>N/t-VS で、下水汚泥のみでの 510 m<sup>3</sup>N/t-VS と比較したガス増量効果を確認できた。さらに、木質系バイオマスを VS 比率で約 20% 投入した場合、ガス発生量は 644 m<sup>3</sup>N/t-VS であり、ガス発生倍率では下水汚泥のみと比較して、60% の増量効果を確認できた。

**Table 2** Increase in biogas production by co-digesting of sewage sludge and suitable biomass (Steel digester tank with a volume of 220 m<sup>3</sup>)

		平成24年度		
		下水汚泥のみ	食品製造系バイオマス混合	食品製造系+木質系バイオマス混合
期間		11/21~11/28	7/23~10/1	1/28~2/10
VS混合比 (%)	食品製造系	0	22.5	18.7
	木質系 (主に広葉樹間伐材)	0	0	17.0
	下水汚泥	100.0	77.5	64.3
VS投入負荷 (kg-VS/m <sup>3</sup> /日)		1.32	1.50	1.61
投入VSあたりガス発生量 (m <sup>3</sup> N/t-VS)	ラボ実験による推定値	537	597	579
	測定値	510	675	644
	測定値/推定値	0.95	1.13	1.11
ガス発生倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	測定値	13.1	17.8	20.9
	地域バイオマス投入による増加割合	-	36%	60%

#### (3) 既設消化槽への地域バイオマス投入

好適性が確認された地域バイオマス(食品製造系及び木質系)を下水汚泥と混合調整後、既設卵形消化槽(10,000 m<sup>3</sup>)に投入し、滞留日数約 30 日、約 41℃で中温消化を行った。東灘処理場の 3 基の卵形消化槽のうち、1 基(3号)に地域バイオマスを投入し、他の 2 基(1, 2号)との消化状況を比較した。

平成 25 年度の地域バイオマス投入実績(4/1~3/31)は食品製造系 581 t(下水汚泥との VS 混合比 3.1%)、木質系 86 t(同 1.7%)であった(**Table 3**)。地域バイオマスを投入した 3号では、投入下水汚泥中の初沈汚泥の VS 比率が 56.1% と 1, 2号より 3.6% 低いにもかかわらず、ガス発生倍率に 5% 程度の増加が認められ、また、既設の下水処理に支障

**Table 3** Increase in biogas production by co-digesting of sewage sludge and suitable biomass (Egg-shaped digester tank with a volume of 10000 m<sup>3</sup>)

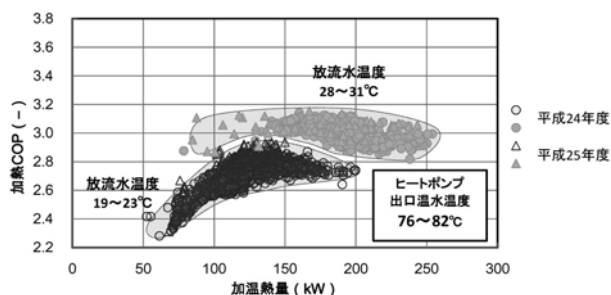
		下水汚泥のみ (既設1・2号)	食品製造系+木質系 バイオマス混合 (既設3号)	
期間		平成25年度		
		4/1~3/31	4/1~3/31	
VS混合比 (%)	食品製造系	0	3.1	
	木質系 (主に広葉樹間伐材)	0	1.7	
	下水 汚泥	初沈汚泥	59.7	53.5
		濃縮初沈汚泥	40.3	41.7
VS投入負荷 (kg-VS/m <sup>2</sup> /日)		0.80	0.83	
投入VSあたり ガス発生量 (m <sup>3</sup> N/t-VS)	ラボ実験による推定値	537	543	
	測定値	492	493	
ガス発生倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	測定値/推定値	0.92	0.91	
	測定値	12.37	12.93	
ガス発生倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )		-	5%	

初沈汚泥割合  
53.5/(53.5+0.1+41.7)  
×100 = 56.1%

を与えないことも確認できた。

(4) 高効率ヒートポンプ

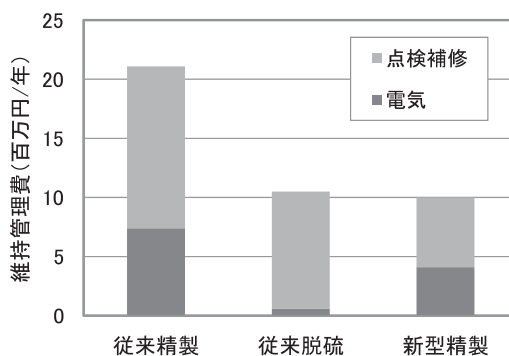
従来の温水ボイラに代えて、高効率ヒートポンプをもちいて下水放流水から回収した熱を利用して鋼板製消化槽を加温した。冬季の放流水温 20℃の条件では、ヒートポンプの性能を表す指標である COP (成績係数：消費電力の何倍の熱量を取り出せるか) は 2.7 程度であったが、夏季の放流水温 30℃の条件では、COP は 3.1 程度まで向上した (Fig. 2)。この結果、従来の温水ボイラによる消化槽加温と比較して、年間を通じてエネルギー使用量を 1 次エネルギー換算で 20% 以上削減できることを確認した。



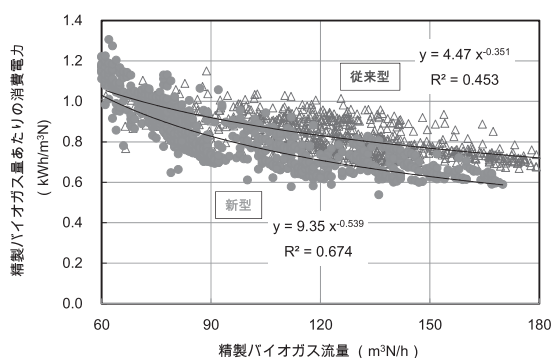
**Fig. 2** Relation between heating capacity and heating COP

(5) 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

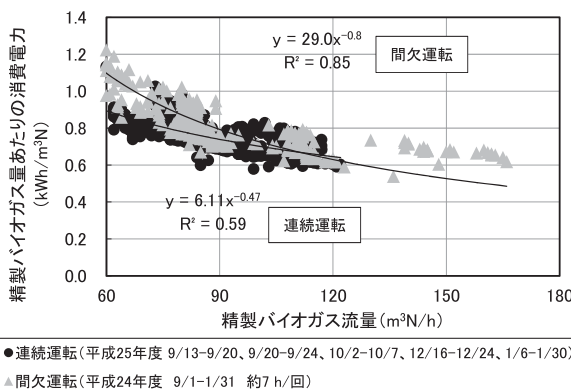
新型バイオガス精製・貯留・圧送システムの維持管理費について、従来精製システム (脱硫+低圧ガスタンク+従来型バイオガス精製装置) および従来脱硫システム (脱硫+低圧ガスタンク+シロキサン除去・除湿・昇圧) との比較を行った。Fig. 3 にバイオガス処理量 2,800 m<sup>3</sup>N/日規模における比較結果を示す。新型精製・貯留・圧送システムの維持管理費は、従来精製システムだけでなく従来脱硫システムとの比較でも点検補修費の縮減により同等以下となっている。また、Fig. 4 に新型および同程度の規模の従来型バイオガス精製装置における消費電力原単位の通年データを示す。低動力ガス圧縮機の採用による新型バイオガス精製装



**Fig. 3** Operating cost of biogas upgrading and storage system (Biogas upgrading capacity of 2,800 m<sup>3</sup>N/d)



**Fig. 4** Power consumption of biogas upgrading system



**Fig. 5** Power consumption of new biogas upgrading system (Continuous operation vs. daily start and stop operation)

置での消費電力削減効果が確認できており、バイオガス処理量 250 m<sup>3</sup>N/h に相当する精製バイオガス量 150 m<sup>3</sup>N/h の条件では削減率 18% であった。

Fig. 5 に新型バイオガス精製装置の消費電力を示す。精製ガス流量が 60 m<sup>3</sup>N/h の低負荷運転において、連続運転 (平成 25 年度) は間欠運転 (平成 24 年度) に比べ、消費電力を 19% 低減できた。

3. 評価結果

平成 24 年度実証試験結果に基づいて、FS として従来技術に対する革新的技術のコスト削減率と温室効果

ガス排出量削減率についての評価を行った<sup>3)</sup>。評価対象の範囲および規模は、Fig. 6 に示すとおりである。

革新的技術では従来技術と比較して、建設コストは年価で18% (Fig. 7) の、維持管理コストは123%の、撤去を含むライフサイクルコストは40% (Fig. 8) の縮減が、それぞれ可能であるとの結果が得られた。なお、維持管理コストの縮減率が100%を超えるのは、精製バイオガスの売却量増大による増収効果を含むためである。また、ライフサイクルでの温室効果ガス排

出量は、従来技術では224 t-CO<sub>2</sub>/年の排出に対し、革新的技術では精製バイオガス供給量の増加に伴って813 t-CO<sub>2</sub>/年の吸収となり、大幅な排出削減が可能と試算された。

4. ま と め

- ① 下水道への受入れに好適な地域バイオマスを下水汚泥と混合して消化を行ったところ、鋼板製消化槽と既設消化槽でバイオガス増量効果が確認できた。
- ② 高効率ヒートポンプによる下水放流水からの回収熱を利用した加温は、従来の温水ボイラ加温と比較してエネルギー使用量を1次エネルギー換算で20%以上削減できることを確認した。
- ③ 新型バイオガス精製装置は従来型と比較して維持管理費が縮減され、運転面でも消費電力削減効果が確認できた。また、連続運転により間欠運転よりも低動力の運転が可能であることが確認された。
- ④ 地域バイオマス受入・混合調整設備、高機能鋼板製消化槽、高効率ヒートポンプおよび新型バイオガス精製・貯留・圧送システムからなる革新的技術を、実証試験結果に基づいて下水汚泥7.0 t-ds/日+地域バイオマス3.4 t-ds/日規模でFSとして評価した結果、従来技術に対して以下の効果が認められた。
  - ・建設コストは18%、維持管理コストは123%の縮減がそれぞれ可能であり、撤去を含むライフサイクルコストでは40%の縮減が可能である。
  - ・ライフサイクルでの温室効果ガス排出量は813 t-CO<sub>2</sub>/年の吸収であり、排出削減量は1,037 t-CO<sub>2</sub>/年である。

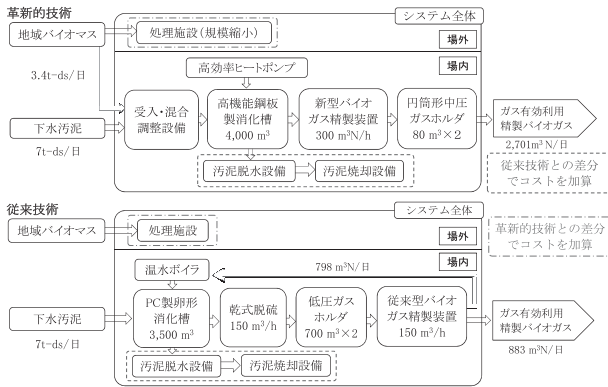


Fig. 6 Flow diagram for feasibility study [Innovative technology (above) and Conventional technology (below)]

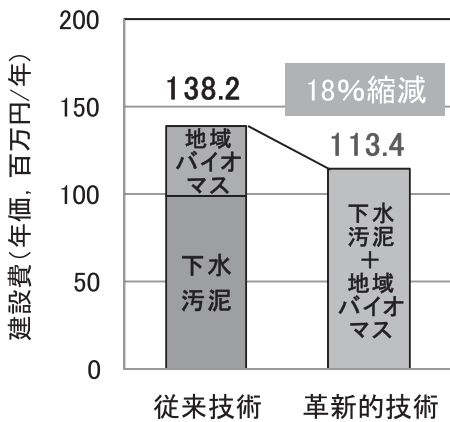


Fig. 7 Evaluation results of capital cost

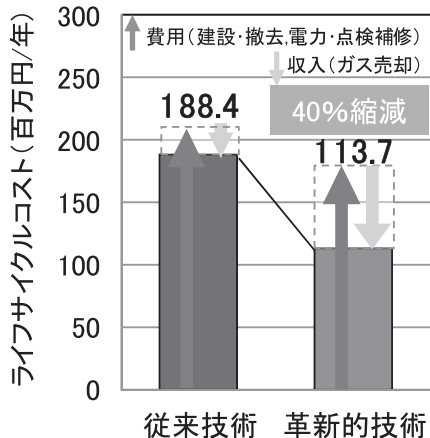


Fig. 8 Evaluation results of operating cost

参考文献

- 1) 瀧村 豪, 坂部敬祐, 堀江龍一, 「こうべバイオガス」のさらなる活用 — KOBÉ グリーン・スイーツプロジェクトの始動 — 第49回下水道研究発表会講演集, pp. 157-159 (2012)
- 2) 川嶋 淳, 宮本博司, 豊久志朗, 神戸市東灘処理場再生可能エネルギー生産・革新的技術実証研究 (B-DASH プロジェクト), 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 9, No. 1, pp6-10 (2012)
- 3) 川嶋 淳, 宮本博司, 豊久志朗, 神戸市東灘処理場再生可能エネルギー生産・革新的技術実証研究 (B-DASH プロジェクト) 第2報, 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 10, No. 1, pp2-6 (2013)