

バイオマスエネルギー利活用施設における 下水汚泥と事業系食品残渣の混合消化事例

蒲池 一将* 秋生 淳一* 黒部市上下水道部

Full-scale Application of Anaerobic Treatment System - Co-digestion Plant for Sewage Sludge and Food Processing Waste -

by Kazumasa KAMACHI, Junichi AKIU, & Water and Sewer Department, City of Kurobe

A biomass plant in Kurobe City is operated by Kurobe E Service, a special purpose company (SPC), under a private finance initiative (Build-Transfer-Operate method). The plant provides methane fermentation of a pre-treated mixture of sewage sludge and food processing waste (coffee waste) to ensure good co-digestion with reduced VFA accumulation in the digested sludge. After dehydration of the digested sludge, steam from a biogas boiler is used to dry the sludge; thus, sludge drying is possible using little fossil fuel. A biomass resource recycling system has also been built through the utilization of the dried sludge.

Keywords: Anaerobic digestion, Methane fermentation, Co-digestion, Private finance initiative, Build-Transfer-Operate method, Sewage sludge, Food processing waste, Coffee waste, Full-scale plant

1. はじめに

富山県東部に位置する黒部市は、面積428 km²、人口約4万3千人を抱える中核都市である。黒部市の污水処理整備事業は、公共下水道及び農業集落排水事業、合併処理浄化槽事業によって進められ、2012年度末の污水処理人口普及率は92.6%に達している。1992年に供用を開始し分流式で標準活性汚泥+急速ろ過の処理方式を採用した黒部浄化センターは、全体計画区域1130 ha (2011年4月時点で771 ha)、日最大汚水量全体計画22000 m³/d (2011年4月時点で日最大13200m³/d)であり、黒部市最大の下水処理施設である。各家庭からの生ごみは直投型ディスポーザを用いて黒部浄化センターに集約され、下水汚泥として回収している点に特徴がある^{1, 2)}。黒部市では、下水汚泥を脱水汚泥の状態ですメント会社等に委託してリサイクルしていたものの、多額の処理コストがかかっていた。さらに下水汚泥中の有機分を、エネルギーとして有効利用できていないという課題があった。

一方、日本国内で発生する下水汚泥は、1990年代まで

は主に埋立処分されていたが、下水道法の改正（1996年度）による減量化及びリサイクルの推進によって減少傾向にあり、乾燥質量で約227万t/yのうちリサイクル率は78%に達している。しかし、その内訳は建設資材利用が60%に達し、下水汚泥のバイオマス利用は、消化ガス13.0%、汚泥燃料0.7%、緑農地利用9.7%の合計で約23%にとどまっている³⁾。

また、国内の清涼飲料製造工場から発生する事業系食品残渣は30～40万t/yとされ、そのうちコーヒー粕については、堆肥や活性炭の原料として一部が有効利用されているが、大部分は産業廃棄物として処分されている状況である⁴⁾。近年、コーヒー粕はメタン発酵の原料として注目され研究が進められており^{5~7)}、実用化され始めている^{4, 8, 9)}。

本報告では、下水汚泥とコーヒー粕の混合消化を行っている黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業の事業内容と運転状況について紹介する。

2. 施設概要

2-1 事業スキーム

事業スキームを図1、施設概要を表1に示す。本事業は、黒部市がPFI手法（BTO方式）を採用し、特別目的会社（SPC）である黒部Eサービス(株)によって運営されている。

* 水ing(株)

本原稿は、「用水と廃水」Vol.55, No.6, p.468-472, 2013に掲載された論文に加筆、修正したものである。

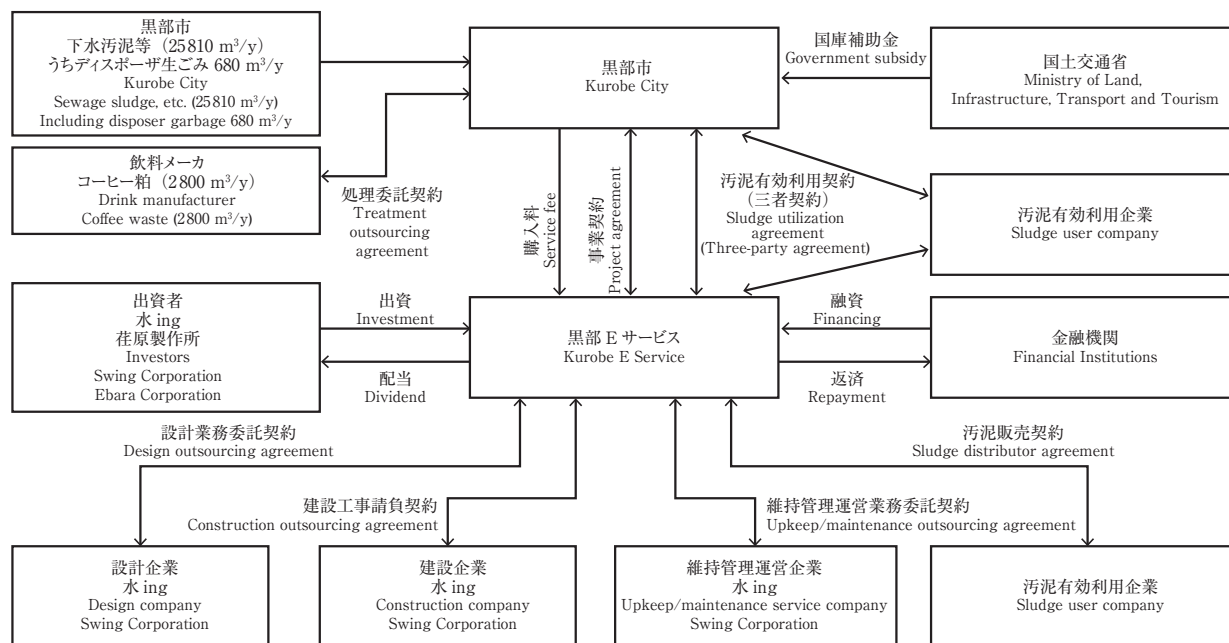


図1 事業スキーム
Fig. 1 Project scheme

表1 施設概要

Table 1 System overview

バイオマス受入量 (平成36年度計画値) Biomass input (planned for 2024)	
下水汚泥 Sewage sludge	24000 m ³ /y
農業集落排水汚泥 Rural sewage sludge	1000 m ³ /y
浄化槽汚泥 Septic tank sludge	130 m ³ /y
ディスポーザ生ごみ Disposer garbage	680 m ³ /y
事業系食品残渣 (コーヒー粕) Food processing waste (Coffee waste)	2800 m ³ /y
合計 Total	28610 m ³ /y
主要機器・設備仕様 Main equipment/facility specifications	
メタン発酵槽 Methane fermentation equipment	処理能力 Capacity 80 m ³ /d
ガスホルダ Gas holder	容量 Volume 600 m ³
マイクロガスタービン Micro gas turbine	出力 Output 95 kW
太陽光発電 Solar power generation	出力 Output 10 kW

事業期間は2009年～2026年(うち維持管理運営15年)である。黒部浄化センターから発生する下水汚泥(濃縮汚泥)に加えて、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥と、事業系食品残渣を混合し、メタン発酵する。事業系食品残渣として汚泥との混合消化実績のあるコーヒー粕を黒部

浄化センターの近隣にある清涼飲料製造工場から受け入れた。回収したバイオガスはメタン発酵残渣の乾燥燃料や発電に利用し、さらに乾燥汚泥の有効利用を図っている。

2-2 処理フロー

施設の概略フローを図2に示す。市内で収集された農業集落排水汚泥と浄化槽汚泥は黒部浄化センター内の汚泥濃縮設備に受け入れている。ここで黒部浄化センターの下水汚泥と合わせて濃縮し、本施設へ供給している。本施設(写真1)では、下水汚泥、コーヒー粕といった有機性廃棄物を混合し、前処理設備(写真2)で処理した後、高温条件でメタン発酵処理を行う。メタン発酵槽は2槽あり、各830 m³で並列運転を行っている。消化汚泥は脱水機で脱水後、蒸気加熱乾燥機で含水率が約40%となるまで乾燥し、外部搬出している。発生したバイオガスは脱硫後、蒸気ボイラの燃料として利用し、蒸気を発生させるとともに、発電機(マイクロガスタービン: MGT, 出力95 kW, 写真3)で発電及び熱回収を行う。余剰バイオガスを利用して施設内に整備し一般公開されている足湯(写真4)に給湯を行っており、愛称「ばいお〜ゆ」で市民から親しまれている。

3. 運転結果

3-1 原料性状

下水汚泥、コーヒー粕の性状を表2、混合後の原料貯槽における性状を表3に示す。下水汚泥、コーヒー粕のTS(蒸発残留物)はそれぞれ34000 mg/L, 33.5 wt%であっ

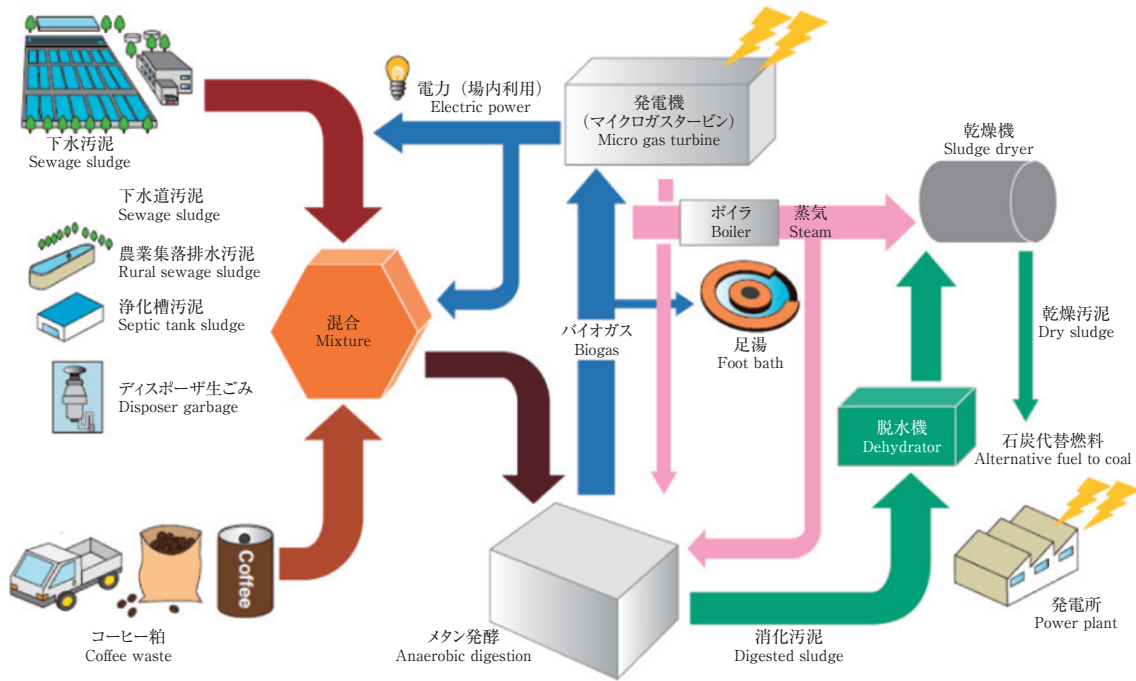


図2 概略フロー
Fig. 2 Process flow



13-64 01/241

写真1 施設概観

Photo 1 External view of the Kurobe biomass plant



13-64 03/241

写真3 マイクロガスタービン

Photo 3 Micro gas turbine with its control panel



13-64 02/241

写真2 前処理施設

Photo 2 Pre-treatment equipment



13-64 04/241

写真4 足湯「ばいお〜ゆ」

Photo 4 Foot bath

表2 原料性状
Table 2 Material properties

	TS	VS/TS
下水汚泥 Sewage sludge	34000 mg/L	0.84
コーヒー粕 Coffee waste	33.5 wt%	0.99

た。VS (強熱減量) /TSはそれぞれ0.84, 0.99であった。混合後の原料は、TS 65200 mg/L, VS 61000 mg/L, Kj-N (ケルダール窒素) 2240 mg/L, T-P (全りん) 584 mg/Lであった。

3-2 運転データ

下水汚泥 (濃縮汚泥) 受入量とコーヒー粕受入量, バイオガス発生量を図3に示す。2011年2月から試運転を開始し, 5月に竣工, 稼動を開始した。コーヒー粕は, おおむね計画値を受け入れているが, 搬出元の清涼飲料製造工場が集中メンテナンスによって計画値より少なくなる時期があった。2年間, 大きなトラブルもなく順調に稼動している。2011年11月10日から12月25日の期間の汚泥性状を表3に示す。消化液中の有機酸は200 mg/L未満で蓄積もなく, 良好な混合消化処理を継続している。消化汚泥のNH₄-Nは1000 mg/L未満であり, アンモニア阻害に対して安全な濃度 (2500 mg/L) 以下であった¹⁰⁾。

3-3 メタンガス転換率

期間中のVS分解率は57%, 投入VS当たりのガス発生量及び投入TS当たりのメタンガス発生量は0.593 m³/kg-VS, 0.324 m³-CH₄/kg-TSであった。これは, 下水汚泥単独の高温消化の結果¹¹⁾ (0.606 m³/kg-VS), 清涼飲料工場の生産工程で発生するコーヒー粕, 茶粕, 排水処理汚泥を原料としたメタン発酵設備の結果⁸⁾ (0.336 m³-CH₄/kg-TS)

表3 汚泥性状
Table 3 Sludge properties

	原料貯槽 Material storage tank	消化汚泥 (No.1) Digested sludge (No.1)	消化汚泥 (No.2) Digested sludge (No.2)
pH	(-)	4.9	7.5
Mアルカリ度 M alkalinity (mg/L)	-	3670	3630
TS (mg/L)	65200	29500	29800
VS (mg/L)	61000	25200	25500
Kj-N (mg/L)	2240	2840	2650
NH ₄ -N (mg/L)	-	875	912
T-P (mg/L)	584	586	570
有機酸 VFA (mg/L)	2740	41	115

と同程度であった。一方, 平均的な消化槽投入濃度はTS 30000 mg/Lとされているが¹¹⁾, 本施設では濃縮汚泥とコーヒー粕を混合することで, TS 65200 mg/Lに高めることができている。このため, 投入容量当たりのガス発生量は平均的な消化槽の約2倍となり, 消化槽の加温エネルギーを大幅に低減することが可能となっている。

3-4 コーヒー粕固形物量当たりのバイオガス発生量

コーヒー粕固形物量当たりのバイオガス発生量を図4に示す。コーヒー粕固形物量当たりのバイオガス発生量は575 m³/tであった。また, グラフから下水汚泥単独処理を想定すると, コーヒー粕を計画値8.5 t/d (約2.8 t-DS/d) 受け入れることで約2.8倍のバイオガスが得られることが分かった。

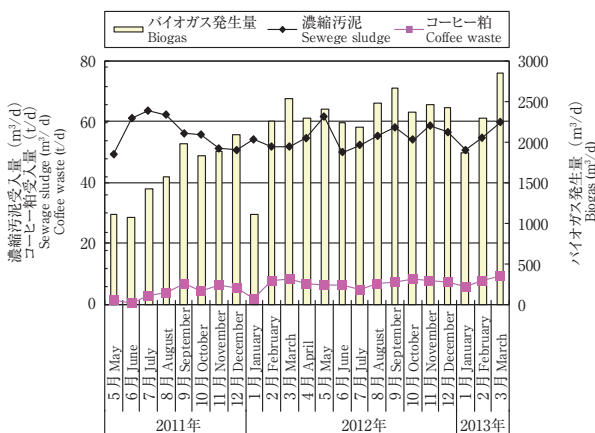


図3 原料投入量
Fig. 3 Operation data

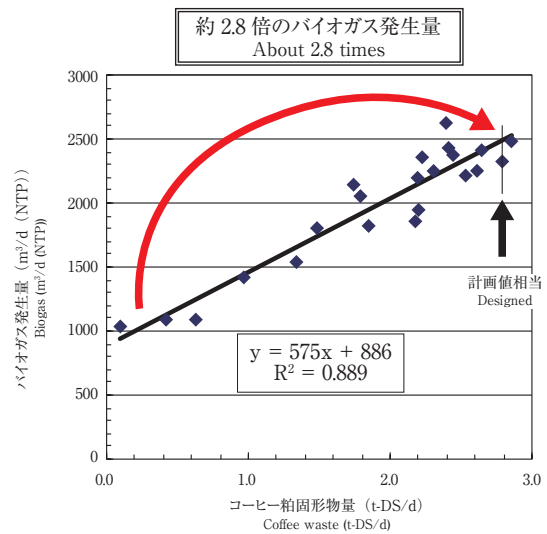


図4 コーヒー粕固形物量当たりのバイオガス発生量
Fig. 4 Biogas and coffee waste

表4 乾燥汚泥性状
Table 4 Properties of dry sludge

ベース Base			乾燥汚泥 Dry sludge
全水分 Water content	到着時	(wt%)	38.2
灰分 Ash content	dry	(wt%)	22.0
揮発分 Volatile matter	dry	(wt%)	63.6
高位発熱量 Higher heating value	dry	(MJ/kg-dry)	18.6
	wet	(MJ/kg-wet)	11.5

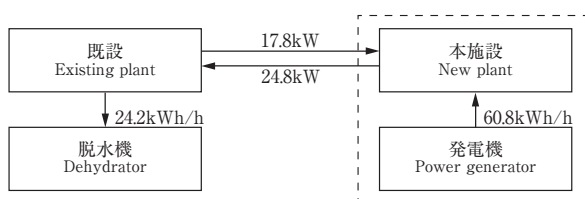


図5 電力収支 (2012年9月)

Fig. 5 Electric power balance (as of September 2012)

3-5 乾燥汚泥性状

乾燥汚泥性状を表4に示す。乾燥汚泥の高位発熱量は18.6 MJ/kg-dry、灰分22.0%であった。これは石炭の発熱量25～30 MJ/kg-dryの62～74%であった¹²⁾。下水汚泥燃料として用いられている造粒乾燥した消化汚泥(発熱量12～16 MJ/kg-dry、灰分28%)や低温炭化消化汚泥(発熱量13～16 MJ/kg-dry、灰分43～45%)¹²⁾と比較すると、発熱量が高く、灰分の少ない良質な燃料である。

3-6 電力収支

2012年9月の電力収支から1時間当たりの電力量に表したものを図5に示す。MGTと太陽光による発電量は合計60.8 kWh/hとなった。バイオガスはボイラ等にも供給しているためMGTの発電量や、太陽光による発電量に変動があるため、本施設では設備稼働のために既設系統から17.8 kWの電力供給を受けているが、発電による余剰電力は受電量を上回る24.8 kWとなり、既施設へは差し引き7.0 kWを送電し電力の自立を達成した。

4. おわりに

2011年2月から黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設の運転を開始し、以下の結果を得た。

(1) 2011年2月から試運転を開始し2年間大きなトラブルもなく順調に稼働している。消化液中の有機酸は200 mg/L未満で蓄積もなくメタン発酵処理は良好である。

(2) VS分解率は57%、投入VS当たりのガス発生量は0.593 m³/kg-VSであった。

(3) コーヒー粕固形物量当たりのバイオガス発生量はほぼ直線的な相関関係がみられ、コーヒー粕固形物量当たりのバイオガス発生量は575 m³/t-DSであった。

(4) 乾燥汚泥の高位発熱量は18.6 MJ/kg-dry、灰分22.0%であった。下水汚泥燃料として用いられている造粒乾燥した消化汚泥や低温炭化消化汚泥と比較すると、発熱量が高く灰分の少ない良質な燃料である。

(5) 本施設から既施設へ送電し電力の自立を達成した。本事業によって、下水汚泥と事業系食品残渣を活用することにより、ほぼ化石燃料を用いずバイオマスエネルギーだけで汚泥を乾燥し、さらに乾燥汚泥を有効利用することで、バイオマス資源の循環利用システムを構築することができた。

本稿の執筆に当たり、黒部市上下水道部 小崎 元上下水道部長、山本 主幹に多大なる御助言を賜り、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 村椿謙一：黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業について、再生と利用, 32 (121) 35-38 (2008).
- 2) 小崎敏弘：黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業の概要について、再生と利用, 36 (134) 31-37 (2012).
- 3) 国土交通省ホームページ下水道汚泥の利用状況 (http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html)
- 4) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査/バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業/コーヒー粕、茶粕等の未活用バイオマスエネルギーの変換・利用システム実証試験事業 (2008).
- 5) IKBAL, Kenji Kida, Yorikazu Sonoda : Liquefaction and Gasification during Anaerobic Digestion of Coffee Waste by Two-Phase Methane Fermentation with Slurry-State Liquefaction, J. Ferment. Bioeng. 77 (1) 85-89 (1994).
- 6) 坪田潤, 角新支朗, 津野洋：コーヒー滓を主体とした食品工場残渣の無希釈メタン発酵, 廃棄物学会論文誌, 19 (1) 51-60 (2006).
- 7) 牧内崇志, 福井久智, 石川秀：下水汚泥とコーヒーかすの嫌気性混合消化における消化阻害物質の調査, 用水と廃水, 51 (5) 65-69 (2009).
- 8) K. Kamachi, Y. Tsukamoto, G. Onuma, M. Murakami : Full-Scale Application of Thermophilic Anaerobic Digestion for Treating Coffee and Tea Waste with Excess Activated Sludge, Proceedings of the 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, IWA-ASPIRE, 2-6 Oct., 2011, Tokyo, Japan.
- 9) 米山豊, 植田真司, 西本将明, 築井良治, 中村一之, 片岡直明：有機性廃棄物のメタン発酵実設備への適用, エバラ時報 No.228, 23-33 (2010.7).
- 10) 野池達也編著, メタン発酵, p.124, 技報堂出版, 東京 (2009).
- 11) 野池達也編著, メタン発酵, p.141-142, 技報堂出版, 東京 (2009).
- 12) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部, 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン (案), 平成23年3月. (<http://www.mlit.go.jp/common/000161273.pdf>)