

マンション向け小型バイオガス発電システムの開発

久保田 謙三 西野 優希 藤本 卓也 原田 真宏
Kenzo Kubota, Yuki Nishino, Takuya Fujimoto, Masahiro Harada

概 要

新築建築物では、一次消費エネルギーの削減に向け、省エネルギー化と創エネルギーによる対策が進められている。創エネルギー設備としては、一般的に太陽光発電が導入されているが、都市部のマンションでは屋根面積が限られることから、創エネルギーの導入量を高めることが困難である。そこで本開発では、太陽光発電と併用可能なマンション向けの創エネルギー設備として、家庭から排出される生ごみを排水として処理する「ディスポーザ排水処理システム」に着目し、この排水を利用したバイオガスの生成及び生成したバイオガス用いた発電システムについて検討した。ディスポーザ排水は、大量の水分を含むため、そのまま処理すると装置サイズが大きくなる問題がある。そこで、マンション向けに装置サイズを小型にした上で、バイオガス化効率を高めるため、排水中の固形分を濃縮する固液分離装置を新たに開発した。また、生成したバイオガスを用いて発電を行うために、小型のガスコジェネレーションシステムを組み合わせることにより、都市部の物件にも導入可能な小型バイオガス発電システムを構築した。100住戸のマンションを想定し試算した結果、共用部の年間消費電力量を約22%、マンション全体の年間消費電力量を約4%削減できることを確認した。

Development of Biogas Generation and Utilizing System from Disposer Wastewater in Apartment Buildings

Abstract

To reduce the primary energy consumption of newly constructed buildings, insulation, energy conservation, and energy generation are being promoted. Photovoltaic power generation is widely used for energy generation; however, the installation capacity is limited in urban apartment buildings due to the small roof area. This study focused on the disposer wastewater treatment system, which processes food waste discharged from households as wastewater, as a potential on-site energy generation system that can be used in combination with photovoltaic power generation. The novel pretreatment and operating conditions were investigated to achieve the miniaturization of gasification equipment. In addition, the total system, which combined pretreatment, gasification, and small-scale gas cogeneration equipment, was constructed. The system can be installed in urban apartment buildings and potentially reduce the primary energy consumption of the common area by 22% (equivalent to 4% of the total primary energy consumption of the buildings), based on a simulation of a 100-unit apartment building.

キーワード：バイオガス、生ごみ、ディスポーザ、マンション

1. はじめに

我が国の消費エネルギーのおよそ3割は建築物分野によるものと言われている。新築建築物では、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」(建築物省エネ法)に基づいてエネルギー消費性能基準が定められており、2025年4月の法改正以降はすべての規模の建築物を対象として基準への適合が義務化される等、対策が強化されている¹⁾。

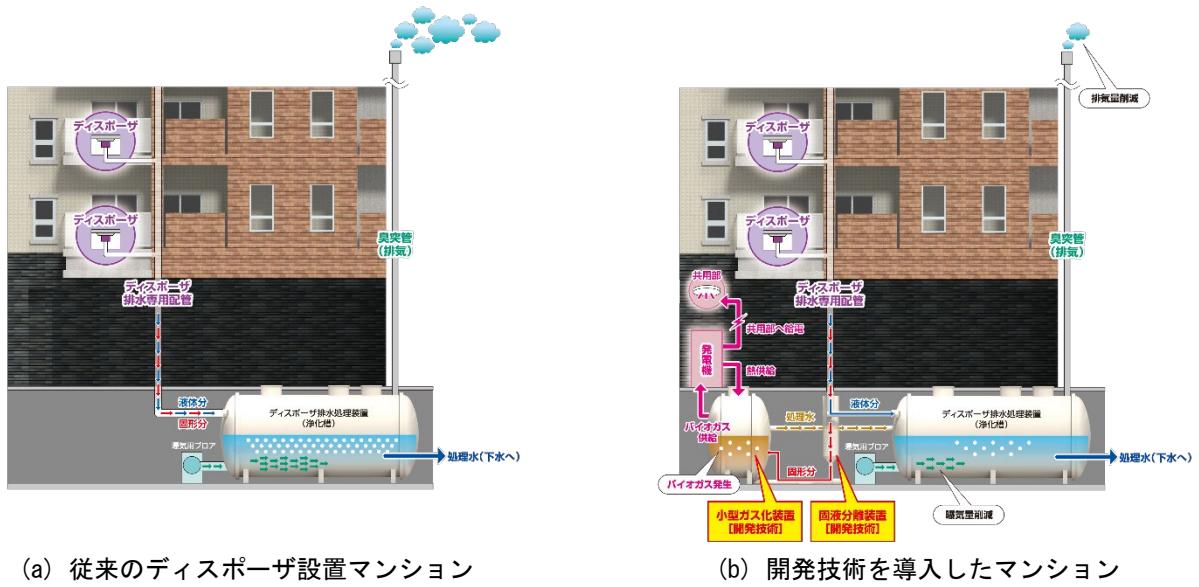
消費エネルギーを抑えた環境配慮型の建築物として、Net Zero Energy House(以下、ZEH)の普及が進められている。ZEHは、「快適な室内環境を保ちながら、住宅の高断熱化と高効率設備によりできる限りの省エネルギーに努め、太陽光発電等によりエネルギーを創ることで、1年間で消費する住宅のエネルギー量が正味(ネット)で概ねゼロ以下となる住宅」と定義されている。当社は、(一社)環境共創イニシアチブ(SII)のZEHビルダーやZEHデベロッパーの登録事業者としてZEHの普及に取り組んでおり、導入目標や実績を公開してきた。新築戸建住宅においては、2023年度以降は9割以上をZEH仕様として供給している²⁾。

中大規模の建築物である集合住宅についても、マンションZEH(ZEH-M)として性能基準が設定されており、2024年度以降に当社が着工した新築分譲マンションは、すべてマンションZEH(ZEH-M)仕様となっている。ZEH-Mは、一般的な集合住宅の基準と比較して一次消費エネルギー量を20%以上削減できるものと定義されており、削減割合に応じて『ZEH-M』、Nearly ZEH-M、ZEH-M Ready、ZEH-M Orientedの4段階で区分される。こ

れまでに、一次消費エネルギー量の削減するため、断熱性の高い部材の採用や、高効率の空調設備の導入等が取り組まれてきた。一方、創エネルギー(以下、創エネ)については、多くの建築物で太陽光発電が導入されているが、都市部に立地する場合は屋根面積が小さいことから、創エネ導入量を高めることは困難である。

そこで本開発では、マンション向けに提案できる太陽光発電と併設可能な新たな創エネ設備を検討することとした。様々な手段を検討する中で、都市部のマンションで多く採用されている「ディスポーザ排水処理システム」に着目した。ディスポーザ排水処理システムは、家庭から出る調理くず等の生ごみをキッチンのシンク下に設置した破碎機でスラリー状にし、排水として処理する住宅設備である。住戸に生ごみがたまらず衛生的であり、中高層のマンションでは、エレベータで生ごみを運搬する必要がなくなる等のメリットがある。このディスポーザ排水処理システムを活用することで、各住戸から排出される生ごみを容易に集められることから、生ごみを原料としてバイオガス化し、発生したバイオガスを利用する発電設備を組み合わせることで、創エネ導入量を高められると考えた。

一方で、都市部のマンションは敷地面積も限られることから、既に実用化されている事業向けの大型バイオガス化装置をそのまま設置することは困難である。そこで、都市部のマンション等で採用を可能とするため、ディスポーザ排水を濃縮することでバイオガス化装置を省スペース化した小型バイオガス発電システムを構築することとした(図1)。



2. マンション向け小型バイオガス発電システムの概要

ディスポーザ排水処理システムを活用したマンション向け小型バイオガス発電システムは、主に下記の装置で構成される。

- ①従来のディスポーザ排水処理システムを採用しているマンションと同じ設備
 - ・ディスポーザ破碎機
 - ・ディスポーザ排水処理装置
 - (いずれも日本下水道協会規格適合品)
- ②小型バイオガス発電システムを採用するマンションに必要な追加設備
 - ・固液分離装置
 - ・ガス化装置
 - ・脱硫器・ガスホルダ
 - ・小型ガスコジェネレーションシステム
(バイオガス仕様)

処理フローを図2に示す。ディスポーザ排水処理システムが設置されることを前提として、ディスポーザ排水の固体分を濃縮する前処理装置（固液分離装置）と、バイオガス化装置を追加設置する構成としている。各戸のキッチンに設置するディスポーザ破碎機と、最下流に設置する排水処理装置は、いずれも日本下水道協会の規格適合品である。

各戸で発生した生ごみは、キッチンのシンクに取り付けられたディスポーザ破碎機で粉碎され、スラリー状のディスポーザ排水となって専用配管で下層階へ送られる。100戸（ファミリー向け、居住者数350人）のマンションを想定した場合、ディスポーザ排水は日量約10m³となる³⁾。このとき、ディスポーザ排水は配管内での詰まりを防ぐために大量の水分を含んだ状態である。そのため、ディスポーザ排水を固液分離装置に送液し、固体分を濃縮する処理を行う。この時の濃縮液の量は約0.15m³となる。この濃縮液をバイオガス化装置に送液し、微生物（メタン生成菌等）によって嫌気発酵させ、バイオガスを生成する。この時、固液分離装置で分離した液分と、ガス化装置から排出される消化液は排水処理装置に送り、好気処理を行った後に下水放流する。バイオガス化装置で生成されたバイオガスは、硫化水素を除去するために脱硫器で処理した後、ガスホルダで一時貯留される。この貯留されたガスを用いて、バイオガス仕様のガスコジェネレーションシステムで発電し、共用部に電力を供給するとともに、排熱はバイオガス化装置の加温に利用する。

なお、本処理フローでは固液分離装置をバイパスできる経路を設けており、バイオガス化装置のメンテナンス等の際には、流路を切り替えるだけで通常のディスポーザ排水処理システムとして運用できることも特長である。

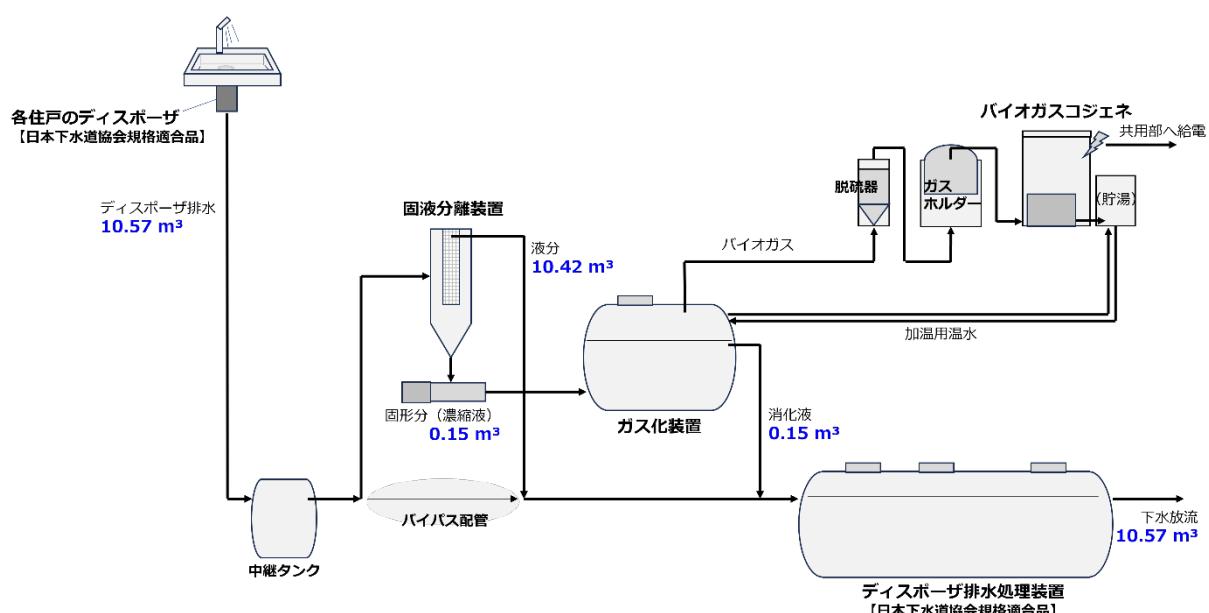


図2 処理フロー

3. マンション向け小型バイオガス発電システムの性能

3.1 固液分離装置

水中の固体分を分離するために、排水処理場や食品工場等では様々な固液分離装置が利用されているが、その多くは定期的な洗浄作業が必要である。一方で、マンションでは日常的に洗浄作業を行うことが困難であるため、人手によるオペレーションが不要な固液分離装置について検討した。

検討の結果、食品・医薬品業界で製造工程中の異物除去等に使用されているサニタリーフィルターをベースとした固液分離装置を新たに開発した。フィルターを納める容器（フィルターハウジング）の側面から原水を流入させ、目幅 150 μm のフィルターを通過できる液分と、通過できない固体分とに分離する。この時、液分についてはディスポーザ排水処理装置に送り、好気処理した上で下水に放流する。一方、固体分はフィルターハウジング内に一時的に貯留し、下方から一定時間毎にポンプで引き抜き、バイオガス化装置に送る構成とした。これにより、固体分の濃縮と、ガス化装置への原料投入の平準化を可能とした。

固液分離性能の評価には、日本下水道協会の試験規格 (JSWAS K-18)⁴⁾で指定された表 1、図 3 に示す標準生ごみを準備し、家庭用ディスポーザで破碎した模擬排水を使用した。固液分離前の模擬排水と、固液分離装置で濃縮した固体分の水質を測定・比較し、濃縮性能を評価した。

表 1 標準生ごみの組成

原料	湿潤重量 [g/人・日]
にんじん	45
キャベツ	45
バナナの皮	25
リンゴ	25
グレープフルーツの皮	25
卵殻	5
手羽もとの骨	20
鰯の開き（干物）	25
茶殻	10
米飯	25



図 3 試験に使用した標準生ごみの原料

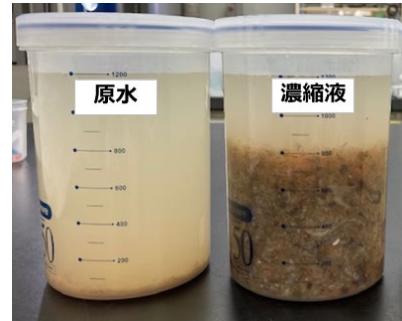


図 4 固液分離前後の排水の様子

表 2 固形分の比較

	模擬排水 (原水)	固液分離後 濃縮水
固体分 [mg/L]	1,760	10,500

今回開発した固液分離装置を用いた模擬ディスポーザ排水の処理前後の外観を図 4 に、水質を表 2 に示す。処理前後の固体物 (Total solids, TS) の変化量から、ディスポーザ排水中の固体分を約 6 倍に濃縮できることを確認した。

3.2 ガス化装置の評価

前節の固液分離装置で濃縮した固体分を、図 5 に示す卓上型のバイオガス化試験装置に投入し、発生したバイオガスについて解析した。発生したバイオガスは全量回収し、ガス流量計（日本フローコントロール、ミリガスカウンタ MGC）を用いて発生量を計測した。また、バイオガス中のメタン濃度は、ガス分析計（ホダカ、HT-2700）またはガスクロマトグラフ（島津製作所、GC-2014）を用いて定量した。

模擬排水の固体分をバイオガス化試験装置に投入し、種々の条件で嫌気処理した結果、図 6 に示すように発酵温度 40°C、投入負荷を日量約 2.5 g-VS/L とした場合に、日量約 450 L/kg-VS 以上のバイオガスが発生することを確認した⁵⁾。

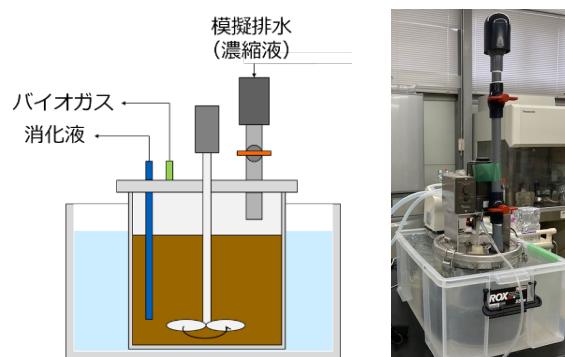


図 5 バイオガス化試験装置

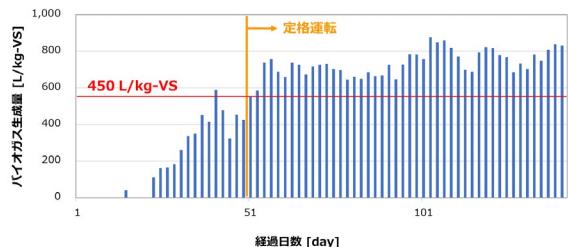


図 6 バイオガス生成量の推移



図 7 メタン菌の観察結果

また、バイオガス化装置内部の消化液を採取し、蛍光顕微鏡下で微生物の自家蛍光を観察した結果、図 7 に示すようにバイオガス生成を担うメタン菌も十分な濃度で存在していることを確認した。

3.3 省エネ性能の評価

本開発システムを導入することによる消費電力量削減効果について試算を行った。小型バイオガス発電システムの導入効果は、下記の 2 点の合算である。

- ①ディスポーザ排水の固形分から発生させたバイオガスでの発電による購入電力量削減
- ②ディスポーザ排水の固形分をバイオガス化することで排水処理負荷低減(曝気量の抑制)による消費電力量削減

図 8 に、消費電力量削減効果の試算結果を示す。100 住戸のマンションを想定した場合、①2,895 kWh, ②14,892 kWh であり、合計で年間 17,787 kWh の消費電力量削減効果があることを確認した。

既往研究によると、ディスポーザ排水処理システムを搭載している 100 住戸程度のマンションの消費電力量は年間約 512,200 kWh と報告されている^{⑥~⑧}。このうち、約 80,000 kWh は共用部の照明やエレベータ、排水処理装置等で消費されている。

これらの点から、小型バイオガス発電システムを導入すると、共用部の消費電力量の約 22%，マンション全体でみると約 4% の消費電力量を削減可能であることを確認した。

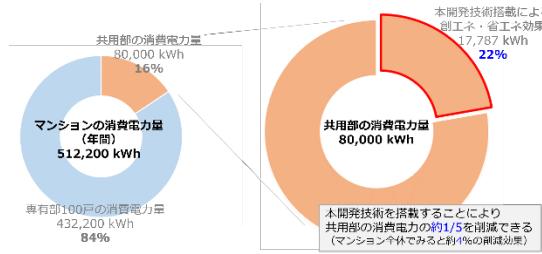


図 8 消費電力量削減効果の試算

4. まとめ

本開発では、太陽光発電と併用できるマンション向けの創エネ設備として、ディスポーザ排水処理システムを利用する「小型バイオガス発電」に着目し、以下のことを確認した。

- (1) ディスポーザ排水に含まれる固形分の濃縮方法について検討した結果、サニタリーフィルターをベースとした固液分離装置により、固形分を約 6 倍に濃縮できること。
- (2) 固液分離装置を用いて濃縮した固形分をバイオガス化した結果、投入負荷を日量約 2.5 g-VS/L とした場合に約 450 L/kg-VS 以上のバイオガスを得られること。
- (3) 本研究の成果に基づいて、100 住戸のマンションを想定し、処理フローを試算した結果、日量約 10m³ のディスポーザ排水が流入することから、開発した固液分離装置で前処理することで、固形分が約 6 倍に濃縮された濃縮液約 0.15m³ を回収可能であること。
- (4) 固液分離装置を新たに開発したことにより、ガス化装置の容積は約 3m³ となり、従来のガス化装置の 1/6 程度まで小型できることから、100 住戸規模のマンションであれば、コスト・敷地条件の両面で導入可能であること。

現在、当社が開発する新築分譲マンションへの導入に向けて準備を進めている。また、住・商一体の複合開発事業等においても展開できる可能性があることから、導入に向けた要件等についても整理していきたいと考えている。

謝 辞

本開発にあたり、Daigas エナジー株式会社、株式会社ダイキアクシスに多大なるご協力を賜りました。また、BIPROGY 株式会社、株式会社大和ライフレネクストをはじめ、関係各社の皆様にサポートいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大和ハウス工業 : ZEH・ZEH-M・ZEB の普及目標と実績, <http://daiwahouse.co.jp/sustainable/zehzeb/>, (参照 2025-06-20)
- 2) 国土交通省 : 建築物省エネ法のページ, 2025-04-22, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/shoenehou.html>, (参照 2025-06-20)
- 3) 久保田謙三, 西野優希, 藤本卓也, 原田真宏 : 集合住宅向け小型バイオガス発電システムの開発, クリーンエネルギー, Vol. 12, pp.100-104, 日本工業出版, 東京, 2024.
- 4) 日本下水道協会 : ディスポーザ排水処理システム 一ディスポーザ部・排水処理部－ JSWAS K-18-2020, 日本下水道協会, p.21, 2020.
- 5) 久保田謙三, 西野優希, 藤本卓也, 原田真宏 : 集合住宅へバイオガス発電を導入するための前処理方法および運転条件の検討, 日本太陽エネルギー学会 学術講演会, 講演番号 38, 2024.
- 6) 西村欣英, 木村洋, 山本正顕, 岡崎充隆 : 集合住宅におけるエネルギー消費量に関する研究 (その 1) —共用部の消費電力量調査—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1123-1124, 2016.8
- 7) 西村欣英, 木村洋, 山本正顕, 岡崎充隆 : 集合住宅におけるエネルギー消費量に関する研究 (その 2)—共用部の時間帯別消費電力量調査—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1043-1044, 2017.7
- 8) 西村欣英, 木村洋, 山本正顕, 岡崎充隆 : 集合住宅におけるエネルギー消費量に関する研究 (その 3)—共用部の用途別電力量調査—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1183-1184, 2019.7

執筆者紹介



久保田 謙三
博士（工学）

ひとこと

濃縮機構を設けることで、従来は導入が難しかったマンションにもバイオガス発電システムを導入できるようになりました。様々な建築物を対象に環境関連設備を提案できるよう、研究開発を行っていきます。