

生ごみデスポーザー排水処理システム由来の 汚泥を対象とした バイオガス発生ポテンシャルの実験的把握

丑丸 進太郎¹・藤山 淳史²・石井 一英³・佐藤 昌宏⁴

¹非会員 北海道大学 工学部（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

E-mail:basel@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学特任助教 大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

E-mail:fujiyama@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

E-mail:k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 北海道大学助教 大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

E-mail:satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp

デスポーザー排水処理システムの処理槽から定期的に回収される汚泥はし尿処理施設等で処理されており、その有効利用が望まれる。有効利用の方法としてはバイオガス化によるエネルギー回収が考えられるが、好気処理方式のデスポーザー処理槽では、生物分解によって流入した生ごみの持つバイオガス発生ポテンシャルは低下していることが予想される。本研究では、デスポーザー処理槽汚泥の性状とバイオガス発生ポテンシャルを把握することを目的に、3つのマンションのデスポーザー処理槽から汚泥を採取し、TS、VS、COD_{Cr}の測定および回分式バイオガス発生実験を行った。その結果、デスポーザー処理槽汚泥のバイオガス発生ポテンシャル（メタン発生量）は、マンションによって幅はあるものの136.5～337.8mL-CH₄/g-VS程度であることがわかった。

Key Words : food waste, disposer waste water treatment system, biogasification

1. 序論

(1) 研究背景

現在、資源問題や環境問題の深刻化によって、大量生産・大量消費・大量廃棄の社会から、持続可能な社会への転換が求められている。平成14年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」¹⁾では、バイオマスを貴重な資源ととらえ、従来のマテリアル利用にとどまらず、エネルギー利用を進めていくことが明記され、廃棄物系バイオマスの再生利用の促進が図られている。廃棄物系バイオマスの一つである食品廃棄物についても、平成13年に施行された「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」によって、発生抑制および再生利用の促進が図られている。

食品廃棄物は平成25年度現在、全国で年間1,676万トンが排出されており、その内870万トン占める家庭系食品廃棄物の再生利用率は6.6%と、事業系食品廃棄物

（同25.6%）や産業食品廃棄物（同81.2%）と比較して著しく低いのが現状である²⁾。

再生利用されていない家庭系食品廃棄物は焼却処理・埋立処分されており、これは一般廃棄物の焼却処理量³⁾の約4分の1を占めている。食品廃棄物を焼却処理する際、他の廃棄物に比べ水分を多く含むため、焼却処理に多くのエネルギーが必要となる可能性もある。また、最終処分場の容量逼迫の影響を受け、最終処分量の削減も求められており、その対策の一つとして家庭系食品廃棄物の再生利用拡大が求められている。

家庭系食品廃棄物の再生利用が、他の食品廃棄物と比較して進まない要因としては、社会的、経済的、技術的な様々な課題が存在する。社会的な観点としては、分別協力の点が大きく、家庭系食品廃棄物は排出者が多様な一般市民であることから事業者と比べて分別の協力を得るのが難しい傾向にあることがあげられる。経済的な観点としては、収集負担に関する点が大きく、家庭系食品

廃棄物は広域から少量ずつ排出するため、分別収集に要する費用や労力が大きくなってしまいう傾向にあることがあげられる。また技術的な観点からは、再生利用方法に関する点がある。食品廃棄物の再生利用方法は飼料化、堆肥化、炭化、バイオガス化、固形燃料化があるが、これまでは主に飼料化や堆肥化が採用されてきているのが現状である。平成25年度時点で事業系食品廃棄物の再生利用量に占める飼料化・堆肥化の割合は69%、産業食品廃棄物は90%である²⁾。飼料化・堆肥化の原料に対しては、異物等が混入していない均質性・安全性の確保が求められるが、家庭系食品廃棄物は雑多な物が含まれており、さらに管理方法や排出方法も排出者によって様々であることから、均質性・安全性を確保することが難しく、飼料化や堆肥化には適さない場合が多い傾向にある。

一方で、近年大都市部のマンションを中心に、利便性や衛生環境向上の追求に応える一つの方法として、ディスポーザー排水処理システムが導入されている事例がある。ディスポーザー排水処理システムとは、台所から発生する生ごみをシンクに流すことのできるシステムであり、流された生ごみはシンクの下に設置されたディスポーザーという機械によって破碎され、その後、地下に設置されている処理槽（以下、ディスポーザー処理槽）において機械処理または生物処理された後、処理水は公共下水道へ、処理槽に沈殿した汚泥（以下、ディスポーザー処理槽汚泥）はディスポーザー処理槽から定期的に回収されるという仕組みである。ディスポーザー処理槽から回収される汚泥は有機物を含んでおり、それを再生利用することは家庭系食品廃棄物の再生利用に繋がると考えられる。再生利用方法としては、汚泥であること、発生源が大都市部に限られているという点も考慮し、飼料化や堆肥化などの再生利用方法と比較して、原料の性状に関する制限が少なく、雑多で質の低い有機系廃棄物にも適用することが可能なバイオガス化が有効ではないかと考えられる。しかしながら、ディスポーザー処理槽では好気処理方式によって、微生物による好氣的分解により炭水化物やたんぱく質、脂肪などバイオガス化の原料となる高分子有機物が分解されており、汚泥が持っているバイオガス発生ポテンシャルは、ディスポーザー処理槽への流入前の生ごみと比べ、低下していることが予想されるが、バイオガス発生ポテンシャルがどの程度低下しているのか、または残っているのかなど基礎的データが不足しているのが現状である。

(2) 目的

本研究では、ディスポーザー排水処理システム由来の汚泥を対象に、バイオガス化によって有効利用するための方法を検討する際の基礎的データを得ることを目的に、

ディスポーザー処理槽汚泥の性状を分析し、バイオガス発生ポテンシャルを把握するための回分実験を行った。

2. ディスポーザー排水処理システム

ディスポーザーは、性質によって、単体ディスポーザーとディスポーザー排水処理システムに大別される。単体ディスポーザーは、破碎した生ごみをそのまま公共下水道へ流すものである。ディスポーザー設置の許可は下水道事業を担う自治体が判断することになっているが、単体ディスポーザーは、下水道への負荷増大の懸念等により多くの自治体で条例により禁止または使用の自粛を呼びかけている。一方、本研究で対象とするディスポーザー排水処理システムは、破碎された生ごみを、公共下水道へ流入する汚濁負荷が増大しないよう、放流前にディスポーザー処理槽で処理するシステムである。平成25年に公益社団法人日本下水道協会により「下水道のためのディスポーザー排水処理システム性能基準（案）」⁴⁾が示されており、この基準を満たすディスポーザー排水処理システムについては設置を許可している自治体が多いのが現状である。なお、ディスポーザー排水処理システムには、生ごみを機械的に分離する機械処理タイプと、生ごみを好気処理または嫌気処理を用いて処理する生物処理タイプがあり、集合住宅においては生物処理タイプが広く用いられている。

ディスポーザー排水処理システムの国内の普及状況としては、図-1に示すように首都圏や近畿など大都市部の集合住宅を中心に導入されている。ディスポーザー生ごみ処理システム協会の調査結果³⁾によると、ディスポーザー排水処理システムの累積戸数は2015年時点で約61万戸あり、そのうち約70%は首都圏となっている。

ディスポーザー排水処理システムでは、ディスポーザー処理槽に沈殿、堆積する汚泥を定期的に引き抜く必要がある。多くの自治体では、定期的にバキュームカーによって汚泥は回収され、し尿処理施設等でし尿や浄化槽

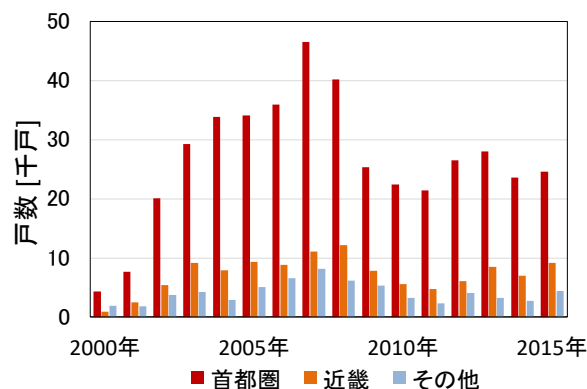


図-1 ディスポーザー排水処理システム導入状況

表-1 回分実験に用いた汚泥の性状と封入量

		固形分 (TS)	強熱減量 (VS)	VS/TS	COD _{Cr} [mgO/g]	COD _{Cr} [mgO/g-TS]	封入量
マンション①	付着汚泥	7.7%	7.4%	96.0%	90.3	1,173	1 g 2 g 3 g
	最初沈殿槽底部汚泥	8.6%	7.3%	84.9%	90.7	1,055	2 g 4 g 6 g
	最終沈殿槽底部汚泥	2.7%	2.4%	84.4%	27.5	1,019	288 g 5.76 g 8.64 g
マンション②	最初沈殿槽底部汚泥	12.1%	11.8%	97.5%	70.5	583	3 g
	最終沈殿槽底部汚泥	4.0%	3.7%	91.9%	17.1	428	2.75 g
マンション③	最初沈殿槽上部汚泥	12.9%	11.8%	92.2%	188.2	1,459	2 g
	最初沈殿槽底部汚泥	5.3%	4.9%	91.2%	79.6	1,502	2 g
	最終沈殿槽汚泥	1.5%	1.4%	92.1%	16.9	1,127	2.8 g

汚泥とともに処理されている事例が多いのが現状である。

前述のように大都市部のマンションを中心に導入されているディスポーザー排水処理システムは、台所から発生する生ごみをそのままシンクに流すことができるため、生ごみの分別収集に比べ排出者である住民の協力が得やすい点、マンションのディスポーザー処理槽汚泥は事業者によって定期的に引き抜かれており、収集体制が既に確立している点、生ごみにバイオガス化を適用する際には、生ごみを破碎して大きさを調整する必要があるが、ディスポーザーはこの役割を担っている点を考慮すると、分別協力・収集負担・再生利用方法に関する課題に対処しており、ディスポーザー処理槽汚泥のバイオガス化は家庭系食品廃棄物の再生利用を進める有効な手段の一つとして考えられる。

3. ディスポーザー処理槽汚泥のバイオガス発生実験

(1) 対象としたディスポーザー処理槽汚泥

本実験では、ディスポーザー処理槽汚泥を、ディスポーザー処理槽が設置されている3つのマンション（以下、マンション①、②、③）から2016年12月16日に採取した。マンション①、②、③のディスポーザー処理槽はいずれも台所排水のみが流入する好気処理方式の生物処理タイプのもので、その槽内は図-2に示すように大きく最初沈殿槽、曝気槽、最終沈殿槽からなり、本実験では最初沈殿槽の底部に溜まっている汚泥（以下、最初沈殿槽底部汚泥）、最初沈殿槽の水面に浮遊している汚泥（以下、最初沈殿槽上部汚泥）、曝気槽の水面上部に設置してある配管に付着している汚泥（以下、付着汚泥）、最終沈殿槽の底部に溜まっている汚泥（以下、最終沈殿槽底部汚泥）の4か所から汚泥を採取した。なお、処理槽の形状や採取した際の処理槽の状況により3つのマンション全てで全4か所から採取することは出来なかったため、

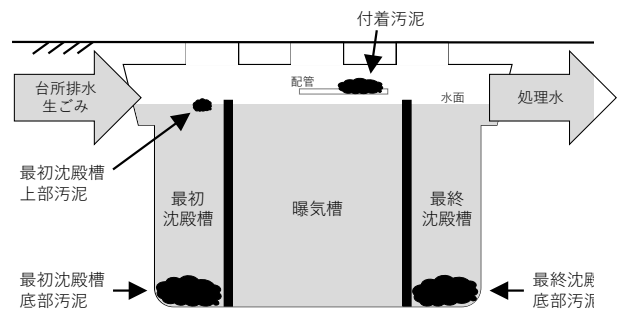


図-2 ディスポーザー処理槽の断面図

本実験ではそれぞれのマンションで採取ができた場所の汚泥のみを用いることとする。具体的には、マンション①は最初沈殿槽底部汚泥と付着汚泥、最終沈殿槽底部汚泥、マンション②は最初沈殿槽底部汚泥と最終沈殿槽底部汚泥、マンション③は最初沈殿槽上部汚泥、最初沈殿槽底部汚泥、最終沈殿槽底部汚泥である。

(2) 汚泥の性状把握

採取したそれぞれの汚泥の性状を把握するため、蒸発残留量（TS）、強熱減量（VS）、二クロム酸カリウムによる化学的酸素要求量（COD_{Cr}）を、下水試験方法⁹に従って測定した。測定した結果を表-1に示す。表-1から、最初沈殿槽底部汚泥の方が最終沈殿槽底部汚泥よりTSが大きく、どの汚泥もTSに占めるVSの割合が高いことから、固形分の大部分が揮発分であることがわかった。また、マンション③のディスポーザー処理槽汚泥は、他のマンションに比べCOD_{Cr}が高い傾向にあることがわかった。

(3) 実験方法

本実験では、採取したディスポーザー処理槽汚泥を、嫌気発酵を行う微生物群を含む種汚泥とともに嫌気環境下で密閉し、メタンガス発生量を継続的に測定する2つの回分実験（実験Ⅰ、Ⅱ）を行った。

実験Ⅰ：ディスポーザー処理槽汚泥のバイオガス発生ポ

テンシタルを把握するとともに、投入有機物量が種汚泥に対して多い場合に起こる過負荷による発酵阻害の有無の確認を行うため、マンション①の汚泥を対象として、封入量を1倍、2倍、3倍と3段階（表-1）に分け、回分実験を行った。

実験Ⅱ：マンションなどの違いによるバイオガス発生ポテンシタルの影響を把握するため、マンション②③の汚泥を対象に、封入量は1段階（表-1）のみとして実験Ⅰと同様の回分実験を行った。

それぞれの回分実験は、224mLのバイオアル瓶にディスポーザー処理槽汚泥（表-1）と種汚泥100mLを入れ、嫌気環境下にするため窒素置換を行い、ゴム栓およびアルミシールで密閉し、恒温振とう槽で一定温度に保ちながら常時振とうした。なお、種汚泥は下水汚泥と生ごみ、し尿・浄化槽汚泥を混合処理している下水処理センター

の消化汚泥貯留槽から採取した消化液を用いた。この下水処理センターでは採取時、37.0℃でバイオガス化が行われていたことから、本実験でも温度は37.0℃とした。

測定は1日に1回、バイオガス発生量をガラスシリンジを用いて、バイオガス中のメタン濃度をガスクロマトグラフを用いて行い、これをバイオガスの発生がほぼ終了する84日目まで継続した。実験には各試料それぞれ3サンプルずつ用意した。また、種汚泥からのメタン発生量を考慮するため、種汚泥100mLのみの試料についても3サンプル用意し、この平均メタン発生量を差し引くことでディスポーザー処理槽汚泥からの正味のメタンガス発生量を算出した。

(4) 実験結果

a) 実験Ⅰ

実験結果を図-3から図-11に示す。実験Ⅰにおいて、汚泥量の増加に伴うメタン発生量の顕著な減少は見られ

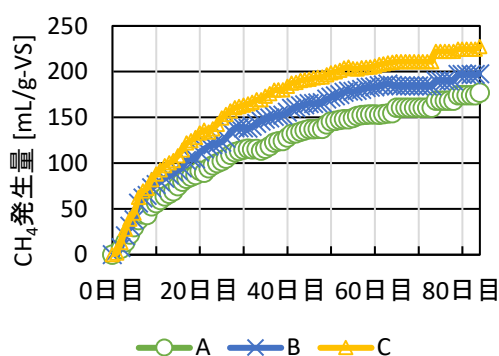


図-3 付着汚泥1g

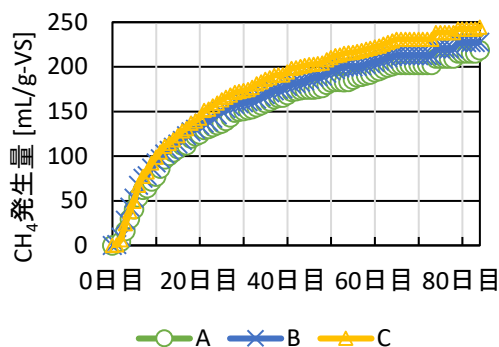


図-4 付着汚泥2g

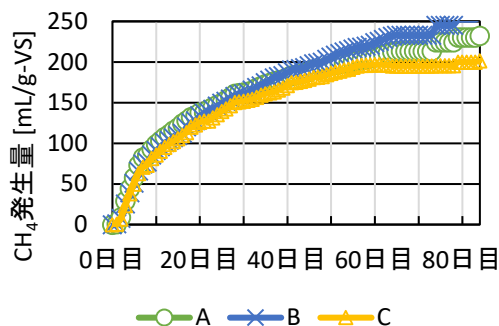


図-5 付着汚泥3g

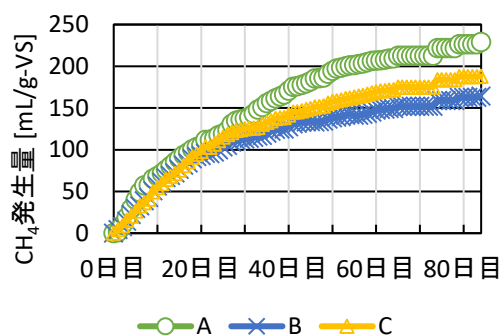


図-6 最初沈殿槽底部汚泥2g

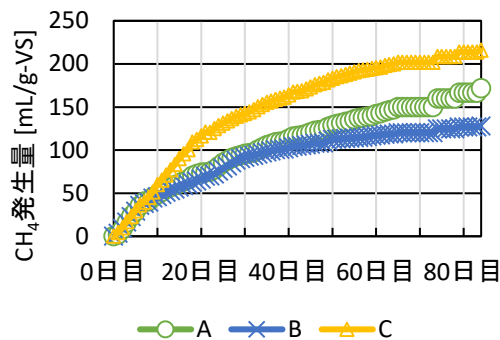


図-7 最初沈殿槽底部汚泥4g

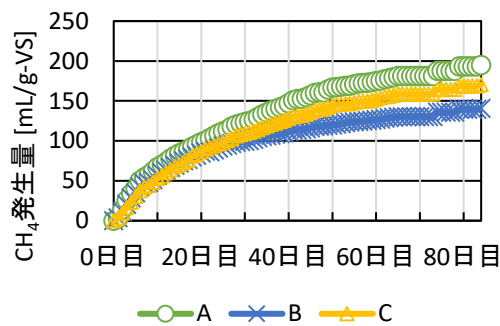


図-8 最初沈殿槽底部汚泥6g

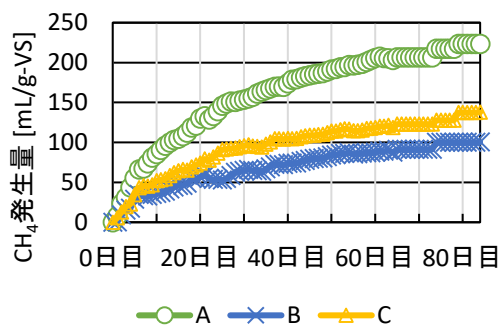


図-9 最終沈殿槽底部汚泥2.88 g

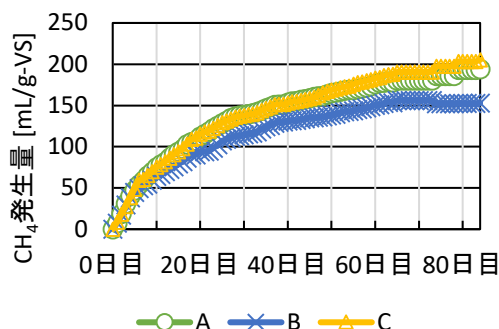


図-10 最終沈殿槽底部汚泥5.76 g

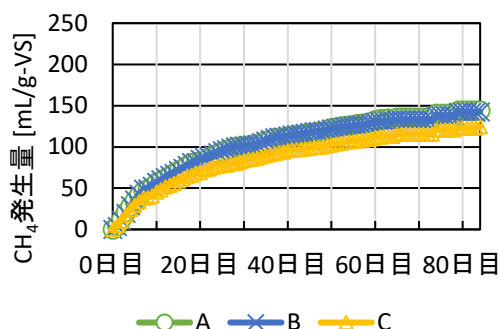


図-11 最終沈殿槽底部汚泥8.64 g

ず、過負荷による発酵阻害は確認されなかった。

b) 実験Ⅱ

84日目までのメタン発生量の経過を図-12に示す。なお、前述のとおりそれぞれの試料について3サンプル行ったが、それぞれについてサンプル間で大きな違いは見られなかったことから、3サンプルの平均値を用いている。実験の結果、今回対象としたディスポーザー処理槽汚泥のバイオガス発生ポテンシャル（メタン発生量）は、マンションによって幅はあるものの136.5～337.8mL-CH₄/g-VSであることがわかった。マンション①および②の最初沈殿槽底部汚泥と最終沈殿槽底部汚泥のバイオガス発生量に大きな差はみられなかったが、マンション③の最終沈殿槽底部汚泥は最初沈殿槽底部汚泥に比べ、バイオガス発生量が3～4割程度小さい結果となった。さらに、マンション③の汚泥は、マンション①および②の汚泥よりVSあたりのバイオガス発生量が大きいことが分かった。これは、マンション③の汚泥が年に一度の

バキュームカーによる定期的な引き抜きの約1か月後に採取したことが影響しているものと考えられる。従って、処理槽内に流入して日が浅いため、生物分解によるバイオガス発生ポテンシャルの低下が少なかったのではないかと考えられる。

(5) 生ごみとの比較

ディスポーザー処理槽汚泥のバイオガス発生ポテンシャルについて、生ごみと比較したグラフを図-13に示す。生ごみについては、「メタンガス化施設整備マニュアル」7より、生ごみのTS、VS、COD_Gの性状調査事例の平均値および、COD_Gとメタン発生量の間の関係(0.35Nm³/kg-COD_G)、生ごみのCOD_Gとしての有機物分解率の値から、VSあたりのメタン発生量(324.4mL-CH₄/g-VS)を算出した。マンション①の付着汚泥は生ごみの6～7割程度、マンション①および②の最初沈殿槽汚泥、最終沈殿槽汚泥は生ごみの4～5割程度、マンション③の汚泥は生ごみの6～10割程度のバイオガス発生ポテンシャルを有していることが示唆された。

4. 結論

本研究では、ディスポーザー排水処理システム由来の汚泥を対象に、バイオガス化により有効利用するための方法を検討する際の基礎的データを得ることを目的に、ディスポーザー処理槽汚泥の性状を分析し、バイオガス発生ポテンシャルを把握するための回分実験を行った。実験を行った結果、ディスポーザー処理槽汚泥が持つバイオガス発生ポテンシャルは、マンションによって異なるが、136.5～337.8mL-CH₄/g-VSであり、生ごみ(324.4mL-CH₄/g-VS)と比較して、約4～10割程度は残っている可能性があることがわかった。

今回の実験を通して、ディスポーザー処理槽汚泥のバイオガス発生ポテンシャルは汚泥の引き抜きからの状況によって大きく異なる可能性があることも示唆された。そのため、今後は時間変動を考慮し、ディスポーザー処理槽内の状況を模擬したモデル化を行うことで、時間の経過とともにどのようにバイオガス発生ポテンシャルが変化するのか明らかにしていく予定である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、ディスポーザーに関するヒアリングにご対応頂き、ディスポーザー処理槽からの汚泥の採取にもご協力頂きました自治体関係者および事業者の皆様へ厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省：バイオマ・ニッポン総合戦略、2002

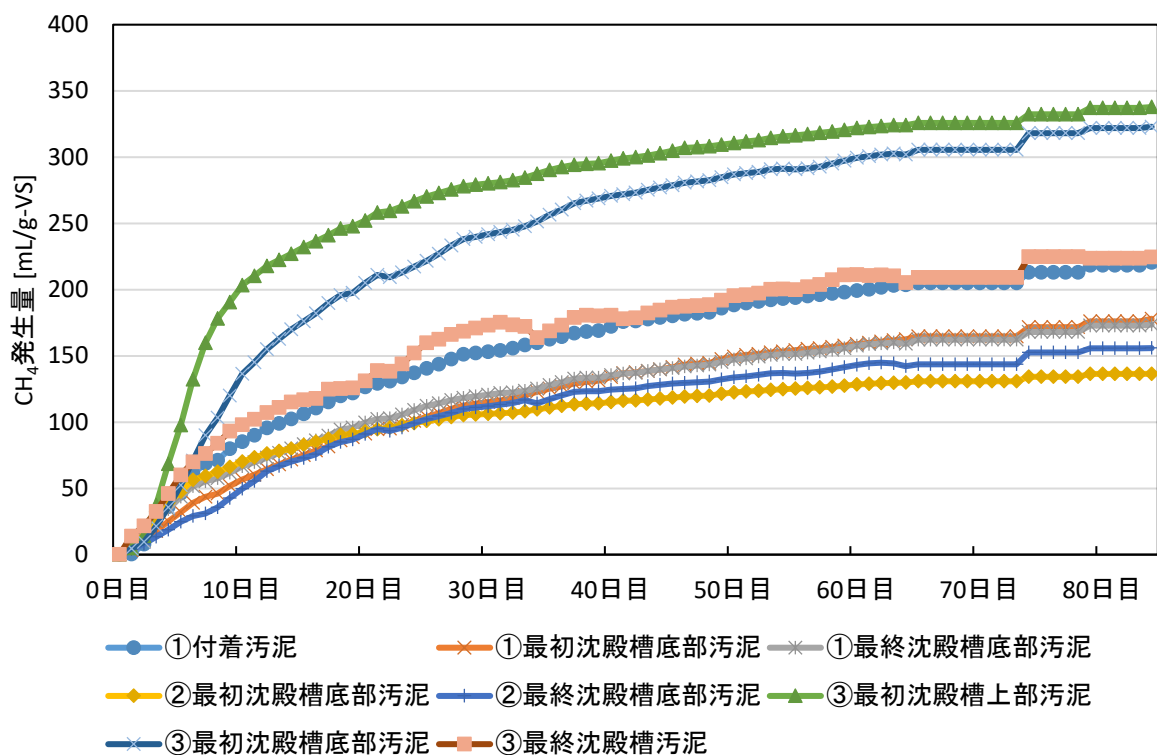


図-12 84日目までのVSあたりのメタン発生量の経過

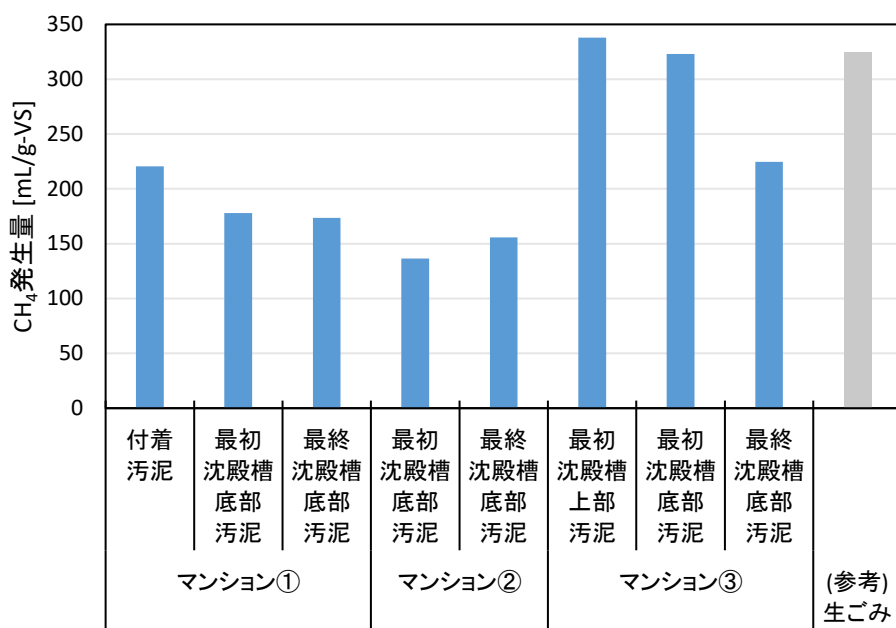


図-13 VSあたりのバイオガス発生量

(2006年改訂)。

- 2) 環境省：平成28年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書。
- 3) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果，平成25年度調査結果。
- 4) 公益社団法人日本下水道協会：下水道のためのディスポーザ排水処理システム性能基準（案），2013。
- 5) 特定非営利活動法人ディスポーザ生ごみ処理システ

ム協会：ディスポーザ排水処理システム 出荷実績調査結果，2016。

- 6) 社団法人日本下水道協会：下水試験方法上巻－1997年版－。
- 7) 環境省大臣環境廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：メタンガス化施設整備マニュアル（改正案），2016。

(2017.6.21 受付)

EXPERIMENTAL STUDY OF BIOGAS GENERATION POTENTIAL FOR SLUDGE FROM A DISPOSER WASTE WATER TREATMENT SYSTEM FOR FOOD WASTE

Shintaro USHIMARU, Atsushi FUJIYAMA, Kazuei ISHII and Masahiro SATO

Sludge from the tank of the disposer waste water treatment system is regularly collected and processed in excreta disposal treatment plant. It is desirable to utilize the sludge, such as for biogasification. However, in an aerobic treatment tank, biogas generation potential of food waste decreases through biodegradation. In this study, to prehend property and biogas generation potential of sludge of disposer treatment tank, I measured TS, VS, COD_{Cr} and conducted batch biogasification experiments for sludge sampled at 3 condominiums. In the results, I show that biogas generation potential of sludge of disposer treatment tank is $136.5 \sim 337.8 \text{ mL-CH}_4/\text{g-VS}$, though it was different for each condominium.