

生ごみディスポーザー排水処理システム由来 汚泥のエネルギー利用を見据えた 回収方法の検討

高木 玄¹・藤山 淳史²・石井 一英³・佐藤 昌宏⁴

¹非会員 北海道大学修士課程 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:jackur-0-lantern@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北九州市立大学講師 環境技術研究所 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail:fujiyama@kitakyu-u.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

ディスポーザー排水処理システムは、調理等で発生した生ごみをディスポーザーで破砕し、排水処理槽で処理するものである。処理槽で発生する汚泥は、バイオガス化により再生利用できる可能性があるが、既往研究において好気処理方式の処理槽では、微生物分解により時間の経過とともに汚泥の持つバイオガス発生ポテンシャルは低下することが確認されている。そこで本研究では、ディスポーザー排水処理槽汚泥の量と性状の時間的変化を把握するとともに、バイオガス化によって汚泥から効率的にエネルギーを回収するための方法を検討した。実際に使用されている排水処理槽から汚泥の定期回収前後に処理槽汚泥を計6回採取し、TS、VS、COD_{Cr}の測定を行った。その結果、今回対象とした処理槽では、最初沈殿槽沈殿物を回収することが効率的であることが示唆された。

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

1. 序論

(1) 研究背景

近年、大量生産・大量消費・大量廃棄社会に起因する地球環境問題や最終処分場の残余容量の逼迫といった国内における廃棄物問題が表面化している。これらの問題を解決するため、2000年に「循環型社会形成推進基本法」が施行され、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される循環型社会の形成を推進し、廃棄物等のうち有用なものを循環資源と位置づけ、その循環的な利用の促進を目指すことが定められた。この方針に沿って、2002年にはバイオマスの利活用推進に関する具体的取り組みや行動計画を「バイオマス・ニッポン総合戦略」として閣議決定するなど、廃棄物系バイオマスの有効利用が推進されるようになった。

廃棄物系バイオマスの一種である家庭系食品廃棄物は、平成 26 年度は食品廃棄物発生量の 3 割以上を占めてい

るが、再生利用量はその 1 割も満たしていないのが現状である¹⁾。その理由として、食品廃棄物は堆肥化・飼料化が主な再生利用法になっているが、堆肥化は家畜ふん尿由来のものとの競合があること、また飼料化には異物の混入がない質の高い食品廃棄物が求められることから、現状の方法では家庭系食品廃棄物の再生利用は難しいことが挙げられる。そこで現在は、多少の異物が混入した質の低い有機系廃棄物にも適用可能なバイオガス化が家庭系食品廃棄物の有効な再生利用法の一つであると提案されている。

一方で、近年、大都市のマンションや集合住宅を中心にディスポーザー排水処理システムの普及が進んでいる。ディスポーザー排水処理システムとは、調理等で発生した生ごみを台所のシンクの下に設置したディスポーザーで破砕し、水とともに排水管に投入、排水処理槽で処理した後、処理水は公共下水道に放流するシステムである。生ごみは、排水処理槽（現在の主流は好気処理方式）内

で微生物分解により汚泥となって槽の底部に蓄積し、定期的に回収が行われ、し尿処理施設等で処理（例えば、大都市では脱水後、焼却処理）されている。ディスポーザーを活用することで、生ごみをごみ出しの日まで保管する必要がなくなるだけでなく、ごみ出し労働の軽減につながる等のメリットがあるシステムであり、さらにはディスポーザー排水処理システム由来の汚泥はバイオガス化を行うことでエネルギー利用できる可能性を有している。しかし、既往研究においてディスポーザー排水処理システム由来の汚泥のバイオガス発生ポテンシャルは排水処理槽内の微生物の働きにより時間経過で低下することが示唆されており²⁾、汚泥のエネルギー利用を考える場合は、汚泥の持つエネルギーポテンシャルの時間的変化を把握し、考慮したうえで、効率的な回収方法を検討することが必要である。

(2) 目的

本研究では、前述の研究背景を踏まえ、ディスポーザー排水処理システム由来汚泥の量および性状の時間的変化を把握し、汚泥の持つエネルギーポテンシャルの観点から効率的な回収方法の検討を行うことを目的とする。

2. ディスポーザー排水処理システム

ディスポーザーは排水の処理方法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の2種類に大別される。破碎した生ごみを含んだ排水をそのまま公共下水道へ放流する単体ディスポーザーに対し、ディスポーザー排水処理システムは、排水処理槽で処理を行い、処理水を公共下水道に放流するシステムである。また、排水処理槽は生ごみを機械的に分別する機械処理タイプと微生物分解によって生ごみを処理する生物処理タイプの2種類がある。

ディスポーザー設置の許可は、各自治体によって判断が異なっている。単体ディスポーザーは、下水道の負荷増大が懸念される等の理由から多くの自治体で設置の禁

止または使用の自粛が呼びかけられている。一方で、本研究で対象とするディスポーザー排水処理システムについては、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排水処理システム性能基準（案）」³⁾が示されており、この基準を満たす排水処理システムの設置は許可している自治体が多い。平成28年に国土交通省が行った調査によると、単体ディスポーザーの設置を認めている自治体数は22、ディスポーザー排水処理システムの設置を認めている自治体数は593であった⁴⁾。

近年、ディスポーザー排水処理システムは、大都市のマンションや集合住宅を中心に普及が進んでいる。図-1にディスポーザー排水処理システムの導入状況を示す。2016年現在、ディスポーザー排水処理システムの累計導入戸数は約64万戸であり、その内約70%が首都圏に設置されている⁵⁾。

ディスポーザー排水処理システムでは、排水処理槽に汚泥が沈殿し蓄積していくため、汚泥を定期的に引き抜く必要がある。通常、マンションに設置されたディスポーザー排水処理槽では、一年に一回程度バキュームカーによって汚泥が回収されている。回収された汚泥は、し尿処理施設（クリーンセンター）で、し尿や浄化槽汚泥とともに脱水処理され、処理水は下水道に投入、脱水汚泥は施設外で焼却処理される。

前述のように、現在、大規模な自治体のディスポーザー排水処理システム由来の汚泥は焼却処理されているが、汚泥は生ごみ由来のものであるためバイオガス化できる可能性を有しており、それは家庭系食品廃棄物の再生利用に繋がることが期待されている。

しかし、生物処理タイプの排水処理槽では、微生物によって生ごみ中の有機物が分解され、ガス等となって処理槽から外部へ放出されている。実際に、既往研究においてディスポーザー排水処理システム由来の汚泥のバイオガス発生ポテンシャルは時間経過によって低下することが示唆されている²⁾。

図-2を概観してみると、生ごみと比べて汚泥のバイオガス発生量は低下していることがわかる。また、対象

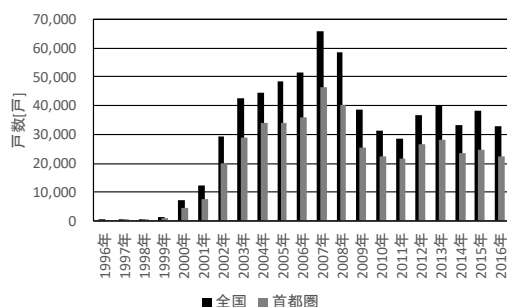


図-1 ディスポーザー排水処理システム導入状況

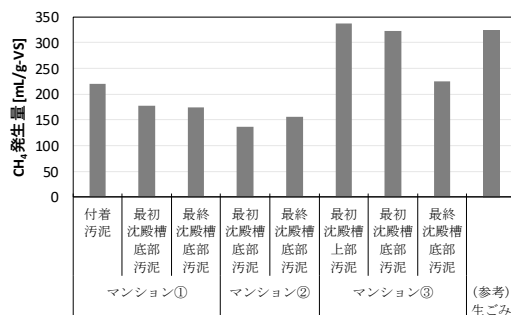


図-2 VSあたりのバイオガス発生量²⁾

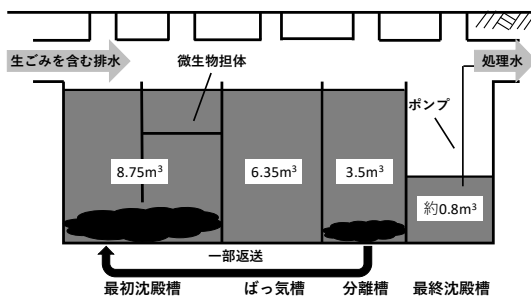


図-3 ディスポーザー排水処理槽の概略図

としたマンションによってもバイオガス発生量に差が見られる。この要因としては、ディスポーザー排水処理システムの構造の違い、排水処理槽に流入する生ごみの量や種類の違いなどが考えられるが、本研究では特に汚泥の定期回収からサンプル採取までの時間がそれぞれのマンションで異なることで微生物反応の進行度に応じてバイオガス発生量が低下していると考えた。

以上より、汚泥の量および性状が時間経過によってどのように変化していくかを把握し、汚泥の持つエネルギーポテンシャルの観点から効率的な回収方法を検討することが、今後の汚泥のエネルギー利用を考える際には重要な点である。

3. ディスポーザー排水処理槽汚泥の性状分析

(1) 対象としたディスポーザー排水処理槽汚泥

本研究では、分析対象とする汚泥をあるマンションに設置されているディスポーザー排水処理槽から採取した。排水処理槽は好気処理方式の生物処理タイプのもので、図-3 に示すように最初沈殿槽、ばっ気槽、分離槽、最終沈殿槽から構成されていた。汚泥の引き抜き前後は槽内の様子が大きく変化し、それに伴って汚泥の量や性状も大きく変動することが想定されたため、定期回収前後で1週間に1回を目安に汚泥の採取を行った。表-1 に具体的な採取日程を示す。なお、対象としたマンションは1年に1度汚泥の定期回収が行われていたため、定期回

表-1 汚泥の定期回収日

回数	採取日	引き抜きからの日数
1回目	11月21日	3日前(362日後)
定期回収	11月24日	-
2回目	11月28日	4日後
3回目	12月5日	11日後
4回目	12月12日	18日後
5回目	12月15日	21日後
6回目	2018年 1月19日	56日後

収3日前のデータは定期回収から約1年後(362日後)のデータとして扱った。

(2) 採取方法

分析対象は、排水処理槽内の污水および底部に沈殿している汚泥であるが、採取は槽の上部のマンホールを開けたところからしか行えないため、汚泥を単純に採取するのは不可能であった。また、上部の穴に比べて、槽は大きく深い上、槽内には様々な管が存在するため棒等で攪拌するのも困難であった。そこで、以下の方法によって最初沈殿槽、ばっ気槽、分離槽、最終沈殿槽の污水および汚泥を採取した。

- ①槽の中に直径約8.5cm、長さ4mの塩化ビニール管(以下、塩ビ管)を底まで通した。
- ②塩ビ管の中から、コンプレッサーにつないだビニール管を槽の底まで通した。
- ③コンプレッサーのスイッチを入れ、槽内を10～30秒程度ばっ気攪拌した。
- ④塩ビ管が完全に混合されたと判断された後、コンプレッサーのスイッチを切り、採取管を使って汚泥を含んだ污水をポリエチレン容器(以下、ポリ容器)に1L採取した。このとき、管が完全に混合できていない場合を考慮して、最初沈殿槽と分離槽に関しては槽内の上部と底部のそれぞれから污水を採取した。ばっ気槽は普段から空気による槽内の混合が十分に行われていること、また最終沈殿槽は水深が低かったことから、これら2つの槽に関しては上部、底部の区別を行わず1か所から汚泥を含む污水を採取した。

(3) 分析方法

まず、槽の上部と底部に分けて採取した最初沈殿槽と分離槽の污水に関しては、それぞれのポリ容器から等量ずつメスシリンダーにとって混合したものを分析サンプルとした。次に、槽内の污水と汚泥の性質の違いを把握するために、分離可能なもの(サンプル内に一定量汚泥が存在するもの)、具体的には最初沈殿槽と分離槽の全てのサンプル、曝気槽と最終沈殿槽の一部のサンプルについては3,000rpmで15分間遠心分離を行い、「上澄み液」と「沈殿物」に分けた。その後、それぞれの体積・質量を測定し、汚泥量を表す全固形物量(TS)および揮発分(VS)、バイオガス発生量を推定するときの指標となる化学的酸化要求量(COD_{Cr})について「下水試験方法」⁹⁾に従い分析を行った。

(4) 分析結果

a) TSおよびVSの蓄積量

排水処理槽内のTSおよびVSの蓄積量を図-4および

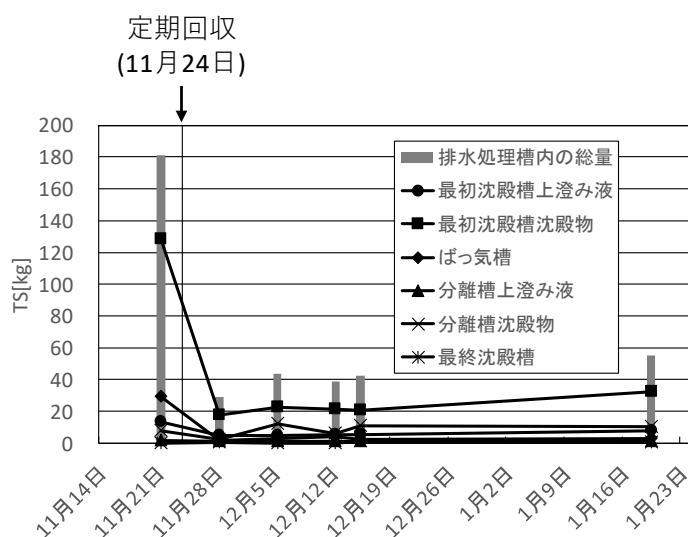


図-4 排水処理槽内の TS 蓄積量の時間変化

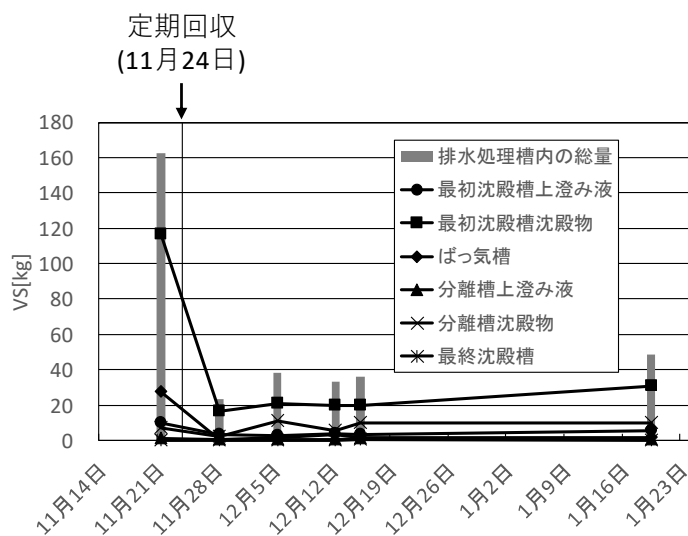


図-5 排水処理槽内の VS 蓄積量の時間変化

図-5に示す。総量を見ると6回分の採取の中では、TS、VSともに引き抜き直前の11月21日に最も多く排水処理槽内に存在しており、引き抜き直後の11月28日が最も少なく、その後は時間の経過とともに徐々に蓄積が進んでいることがわかった。槽ごとに見てみると、TSおよびVSが変化しているのは主に最初沈殿槽の沈殿物であり、その他は時間変化によってほとんど変化しないことがわかった。

採取日ごとの各槽におけるVS/TSおよびVSの蓄積量を表-2から表-7に示す。最初沈殿槽に投入された生ごみの粉碎物は、一部は可溶化され上澄み液のVS分となるが、可溶化されない固形分は沈殿し、ゆっくりと微生物

物分解され汚泥として堆積していく。次に、最初沈殿槽の上澄み液はばっ気槽に流入し、好気性微生物により有機物の分解が促進され、微生物増殖に伴う汚泥が沈殿物として堆積する。ばっ気槽での上澄み液は、分離槽で固形分と液分に分離し、その後、最終沈殿槽に送られる。

VS/TSに関して上澄み液と沈殿物で比較すると、どの採取日でも上澄み液より沈殿物の方が値が高い結果となった。この結果から、流入した生ごみに含まれる有機物は放流されていく処理水よりも回収される汚泥に蓄積していくことがわかった。また、同じ採取日の各槽で比較すると、特に最初沈殿槽の沈殿物にVSが多く蓄積していることがわかった。

表-2 2017年11月21日採取分

		最初沈殿槽	ばっ気槽	分離槽	最終沈殿槽
上澄み液	VS/TS[%]	76.4	52.9	54.4	58.2
	VS[kg]	10.05	0.7	0.96	0.15
沈殿物	VS/TS[%]	90.7	96.1	89.9	-
	VS[kg]	116.55	26.82	7.16	-

表-5 2017年12月12日採取分

		最初沈殿槽	ばっ気槽	分離槽	最終沈殿槽
上澄み液	VS/TS[%]	66.8	71.9	42.7	48
	VS[kg]	3.65	3.11	0.61	0.13
沈殿物	VS/TS[%]	94.3	-	89.5	-
	VS[kg]	19.97	-	5.68	-

表-3 2017年11月28日採取分

		最初沈殿槽	ばっ気槽	分離槽	最終沈殿槽
上澄み液	VS/TS[%]	64.9	33.4	44.1	55.2
	VS[kg]	3.15	0.62	0.57	0.18
沈殿物	VS/TS[%]	92.7	-	84.7	-
	VS[kg]	16.52	-	2.29	-

表-6 2017年12月15日採取分

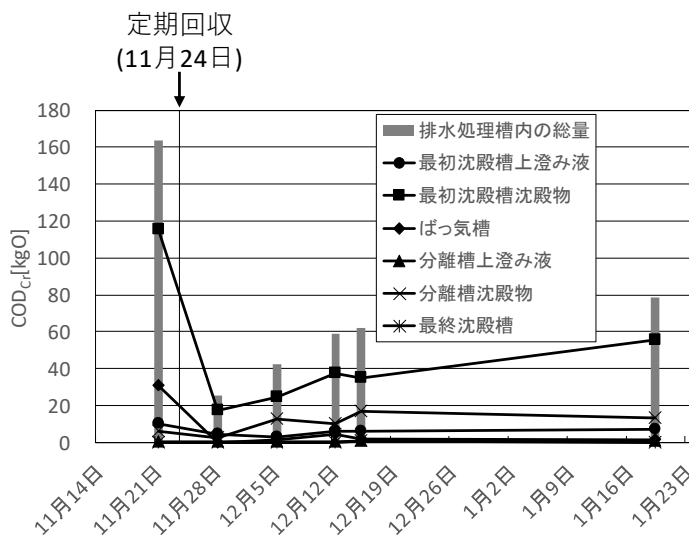
		最初沈殿槽	ばっ気槽	分離槽	最終沈殿槽
上澄み液	VS/TS[%]	59.2	50.8	56.3	47.6
	VS[kg]	3.21	1.38	0.84	0.15
沈殿物	VS/TS[%]	94.8	-	91.7	91.7
	VS[kg]	19.86	-	10.12	0.57

表-4 2017年12月5日採取分

		最初沈殿槽	ばっ気槽	分離槽	最終沈殿槽
上澄み液	VS/TS[%]	60.2	63	61.7	63.6
	VS[kg]	2.9	1.8	0.74	0.17
沈殿物	VS/TS[%]	93.4	-	91.9	-
	VS[kg]	21.09	-	11.21	-

表-7 2017年1月19日採取分

		最初沈殿槽	ばっ気槽	分離槽	最終沈殿槽
上澄み液	VS/TS[%]	72.7	62.2	56.8	60.2
	VS[kg]	5.65	1.88	0.79	0.17
沈殿物	VS/TS[%]	95.4	-	91.6	-
	VS[kg]	30.75	-	9.63	-

図-6 排水処理槽内の COD_{Cr} の時間変化b) COD_Gの時間的変化

排水処理槽における COD_G の時間変化を図-6に示す。TS、VS と同じように、引き抜き直前で最も値が高く、引き抜き直後に最も値が低くなった後、徐々に値は増えている。ただし、TSおよびVSはほぼ一定量ずつ蓄積量が増えていったのに対し、COD_Gは引き抜き後の数週間と比べて、その後の増え方が緩やかになっている。各槽における COD_G 蓄積量の時間変化を見ると、こちらもTS、VS のときと同じく値が大きく変動したのは最初沈殿槽の沈殿物のみで、その他について値の変動は把握されなかった。

c) 汚泥回収方法の検討

VS/TS および VS の値が排水処理槽内で最も高く、COD_G の時間的変化が大きかった最初沈殿槽沈殿物に関して検討を行う。図-7 は COD_G の総量と TS あたりの COD_G の時間変化を示したものである。COD_G の総量は時間とともに増加するが、増加の度合いは徐々に緩やかになる。一方、TS あたりの COD_G は定期回収から 1~2 か月をピークとしてその後減少していくことがわかった。言い換えれば、定期回収後、時間とともに総量としてのバイオガス発生ポテンシャルは増加するが、単位汚泥量あたりのポテンシャルはピークを迎えて低下することが示唆された。

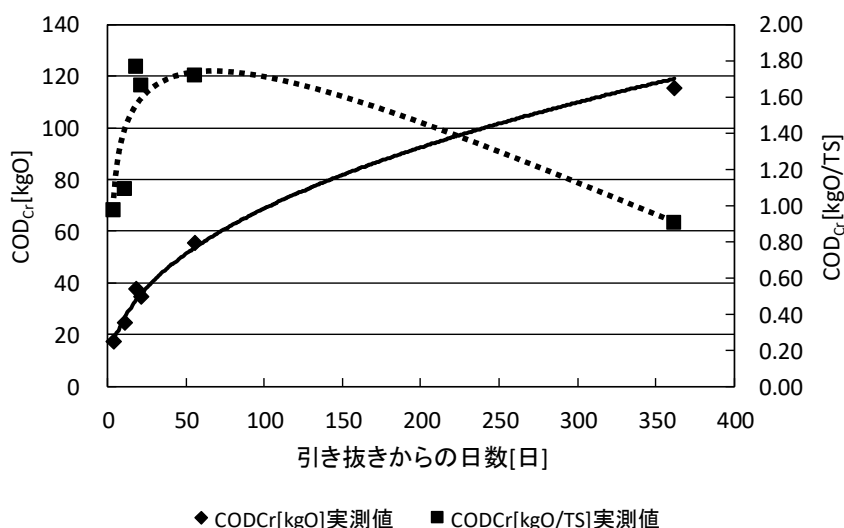


図-7 最初沈殿槽沈殿物のCOD_Gの時間変化

ここで、TSあたりのCOD_Gが前述のように変化する原因を考察する。汚泥が定期回収される際、汚泥とともに槽内の微生物が引き抜かれ大きく減少すると予想される。すると、回収直後は流入する生ごみに対して微生物分解が追いつかないため、COD_Gは大幅に増加する傾向にある。しかし、時間が経過するにつれて微生物が増殖し、分解速度が上昇することでCOD_Gの増加は緩やかになり、さらに減少に転じるようになる。したがって、TSあたりのCOD_Gは図-7のように変動すると考えられる。

4. 結論

本研究では、デスポーザー排水処理システム由来汚泥の量および性状の時間的変化を把握し、汚泥の持つエネルギーポテンシャルの観点から効率的な回収方法の検討を行った。その結果、今回対象としたデスポーザー排水処理槽では、最初沈殿槽の沈殿物を回収物とすることが最も効率的であることがわかった。また、回収頻度については時間とともに総量としてのバイオガス発生ポテンシャルは増加するが、単位汚泥量あたりのポテンシャルは定期回収から1~2か月後にピークを迎え、その後低下していくという変動特性を考慮しつつ、収集・運搬プロセスやバイオガスプラントの受け入れ可能な容量を考慮したうえで検討を行う必要があり、今後の課題である。

今回は、実測値をもとに汚泥の量および性状の時間的変化を考察し回収方法の検討を行ったが、槽内で起こっている微生物反応等の現象については判明しておらず考

慮できていない。また、本研究では汚泥のエネルギーポテンシャルの変動要因として時間のみに着目したが、流入する生ごみの質、デスポーザー排水処理槽の大きさや構造の違いによってもバイオガス発生ポテンシャルが変動（総量、発生速度など）する可能性があり、様々な条件を考慮しながら検討を重ねる必要があると考えている。

謝辞：本研究を実施するにあたり、デスポーザー処理槽からの汚泥の採取にご協力頂きました自治体関係者の皆様、事業者の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省：平成29年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書。
- 2) 丑丸進太郎・藤山淳史・石井一英・佐藤昌宏：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，第45回環境システム研究論文発表会講演集，p25-31，2017。
- 3) 公益社団法人日本下水道協会：下水道のためのデスポーザー排水処理システム性能基準（案），平成25年3月
- 4) 国土交通省：デスポーザーの導入状況調査結果
- 5) 特定非営利活動法人デスポーザー生ごみ処理システム協会：デスポーザー排水処理システム出荷実績調査結果，2017年10月。
- 6) 社団法人日本下水道協会：下水試験方法上巻—1997年版—。

(2018.8.24 受付)

COLLECTION METHODS OF SLUDGE FROM A DISPOSER WASTE WATER TREATMENT SYSTEM FOR FOOD WASTE TO ENERGY

Kuroto TAKAGI, Atsushi FUJIYAMA, Kazuei ISHII and Masahiro SATO

Disposer waste water treatment systems crush food waste with a disposer and treat it in a waste water treatment tank. It is thought that sludge from food waste generated in waste water treatment tanks can be recycled as biogas. However, in a previous study, the biogas generation potential of sludge decreases as time passes through biodegradation in aerobic treatment tanks. Therefore, to grasp the temporal change of quantity and property of sludge from waste water treatment tanks and consider efficient sludge collection methods for biogasification, I measured TS, VS, COD_{Cr} for sludge sampled at a condominium in Sapporo. I suggested that it is efficient to collect the sediment of the first settling tank in the wastewater treatment tank of this time.