

有機系廃棄物の集約処理に関する基礎研究

日大生産工 (院) ○川島 聖也

日大生産工 高橋 岩仁, 佐藤 克己, 南山 瑞彦

日大生産工 (特任) 森田 弘昭

1. はじめに

下水道分野の現状として、下水道事業は大量の電気を消費しており、排出される温室効果ガスは、2018年度において、年間約600万t-CO₂となっている¹⁾。また、水・資源・エネルギーが集約される下水道では、脱炭素社会に貢献し得る高いポテンシャルを有しているものの、その活用は一部にとどまっている。そこで近年、国土交通省では、脱炭素社会の実現に貢献する下水道として、今後、社会の脱炭素・循環型への転換を先導する「グリーンイノベーション下水道」を目指すべき姿としている²⁾。グリーンイノベーション下水道では、脱炭素社会の実現に向け、下水道施設自体の省・創・再エネルギー化を進めるとともに、各省庁および地方公共団体と連携した地域バイオマスが必要と提言している²⁾。それによって、下水道が有するポテンシャルを最大限活用し、下水道を拠点とした新たな社会・産業モデルを創出するなど、環境・エネルギー分野の新展開、まちづくりや国際社会の脱炭素化、地域の活性化・強靱化などを牽引することが可能となる。

一方、第3次バイオマス活用推進計画³⁾では、バイオマス資源の最大限の活用を図る観点から、これまで取り扱ってこなかったバイオマスの賦存量、利用量についての調査を実施し、2030年度までにバイオマスの年間産出量の約80%を利用することを目標とした。2021年度時点で下水汚泥、食品廃棄物、農作物非食用部において、設定された目標利用率より5%以上低い状況となっている。そこで、資源循環型社会を実現するための有効な手段として、有機系廃棄物を集約し、コンポスト化および嫌気性消化処理を行う手法が期待されている。

本研究では、有機系廃棄物の効率的な処理・処分を検討する際の指標となるようなデータベースを作成することを最終目的とし、コンポスト化実験および嫌気性消化実験を行った。コンポスト化実験では、下水汚泥と供試生ごみを混合し、供試生ごみの種類による発酵の違いを検討した。嫌気性消化実験では、下水汚泥のみによる実験を行い、基礎データを収集した。

2. コンポスト化実験

本実験では、基質に脱水処理された下水汚泥（脱水汚泥）と供試生ごみとして3種類の野菜を使用し、そこに副資材として、既成のコンポスト肥料と籾殻を投入し、コンポスト化を行った。なお、本実験において取り扱う供試生ごみは、野菜屑や規格外野菜の廃棄物を想定して、野菜3種を対象とした。実際の廃棄物の場合、組成や性状が不安定になる可能性があるため、食料品として市販で購入したものをを用いた。

2.1 使用材料

2.1.1 脱水汚泥

本実験ではN市浄化センターで処理された脱水汚泥を使用した。初期含水率70.7%、有機物濃度88.8%であった。

2.1.2 供試生ごみ

表1に本実験で使用した供試生ごみの初期含水率と有機物濃度を示す。本実験では、供試生ごみとして3種類の野菜（ニンジン、タマネギ、ジャガイモ）を選定し、コンポスト化における発酵特性を比較した。

2.1.3 既成コンポスト肥料

コンポスト化では、製品の一部を戻し堆肥として原料と混合する方法が一般的である⁴⁾。本実験では、株式会社RがT市処理場で処理された下水汚泥から堆肥化を行ったものを戻し堆肥として使用した。初期含水率12.5%、有機物濃度72.4%であった。

2.1.4 籾殻

本実験では、含水率を60%程度にするために籾殻を使用した。籾殻は難分解性の有機物が大半のため腐熟は遅いが、混合することで空隙が増え、通気性の確保につながる。初期含水率8.4%、有機物濃度77.3%であった。

表1 供試生ごみの初期性状

供試生ごみ	ニンジン	タマネギ	ジャガイモ
含水率	87.5%	92.7%	79.5%
有機物濃度	95.5%	95.0%	94.6%

Study on Integrated Treatment Systems of Organic Waste

Seiya KAWASHIMA, Iwahito TAKAHASHI, Katsumi SATO, Mizuhiko MINAMIYAMA and Hiroaki MORITA

2.2 実験条件・方法

表2にコンポスト化実験条件を示す。なお、今回は供試生ごみを3種類用いて実験を行ったが、各Caseの名称をそれぞれ供試生ごみ名で記す。実験には内寸幅29.5cm、奥行き44.5cm、高さ24.5cmポリプロピレン素材のクリアボックスを使用した。供試生ごみはそれぞれ3cm角ほどの大きさに調整し、脱水汚泥と供試生ごみを重量比3:1の割合で混合した。ここに副資材の既成コンポスト肥料と籾殻を投入し、含水率を60%程度となるように調整した。試料作成後、有機物と微生物を効率よく接触させるため、試料の攪拌として1日1回切り返しを行った。なお、機械的な送気は本実験では行わないものとする。また、コンポスト化の指標とするため、気温、試料内部温度、含水率の測定を行った。

2.3 結果・考察

図1に試料内部温度の経日変化を示す。実験開始から1日目に急激な温度上昇が見られたが、2日目に急下降し、その後は、気温に合わせて推移した。初期の温度上昇は、好気性細菌が有機物の分解によって発生した発酵熱によるものであるといえる。一方、急激に温度が下降した要因は、小型コンポスト（容量100L以下）において、発酵熱量に比べ放散熱量が高く、十分な温度の上昇、高温状態の維持が行えなかったと考えられる。よって、本実験は気温の低い時期に実施したことで、外部温度の影響を大きく受けたと推察される。また、試料が嫌気状態にならないように切り返しを毎日行ったことも、発酵熱を放出させた要因であると考えられる。

表3に含水率の経日変化を示す。結果より、供試生ごみの種類によらず緩やかな減少傾向が見られた。コンポスト化を行う上で、含水率は重要な要素の一つであり、原料の水分が65%以下となると通気性が確保されやすくなるが、乾燥状態（含水率40%程度以下）では微生物の活動が低下してしまうため過剰に蒸発乾燥した場合には加水し湿潤状態を維持する必要がある⁵⁾。

投入した供試生ごみの種類による発酵温度推移を比較してみると、3種類ともほぼ同様な変化を示したが、タマネギのみ実験開始から7日目あたりで試料温度の再上昇が見られ、40℃付近まで上昇した。また、表3に示すように、試料の初期含水率はタマネギが最も高かったが、最終含水率はタマネギが最も低かった。これは、供試生ごみによって発酵熱に違いが生じたことによると考えられる。この要因として、供試生ごみの食品成分、硬さ、形状の違いが考えられたため、それぞれが影響を及ぼす可能性

表2 コンポスト化 実験条件

Case名	ニンジン	タマネギ	ジャガイモ
脱水汚泥	3.3 kg	3.3 kg	3.6 kg
供試生ごみ	1.1 kg	1.1 kg	1.2 kg
既成コンポスト肥料	2.02 kg	2.02 kg	2.02 kg
籾殻	0.04 kg	0.1 kg	0.03 kg
総量	20L	20L	20L
初期含水率	58.4%	63.6%	54.9%

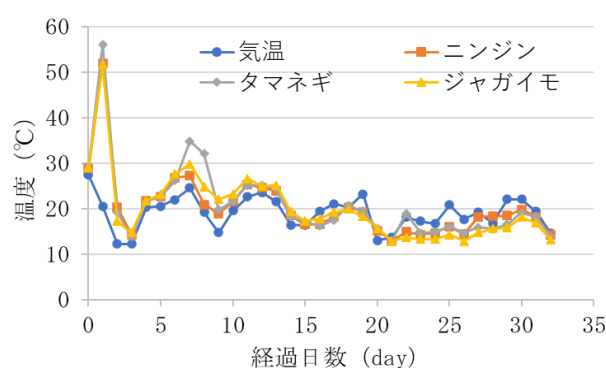


図1 試料内部温度の経日変化
(2022年10月4日～2022年11月5日)

表3 含水率の経日変化

	ニンジン	タマネギ	ジャガイモ
0日目	58.4%	63.6%	54.9%
8日目	55.2%	51.6%	46.3%
13日目	46.9%	43.9%	44.7%
20日目	44.4%	41.5%	41.1%
28日目	37.7%	36.0%	37.4%

表4 供試生ごみの食品成分

(食品成分データベース参照)

	ニンジン	タマネギ	ジャガイモ
カロリー	35kcal	33kcal	51kcal
タンパク質	0.7g	1.0g	1.8g
脂質	0.2g	0.1g	0.1g
炭水化物	9.3g	8.4g	15.9g
食物繊維 総量	2.8g	1.5g	9.8g

を確認した。表4に供試生ごみの食品成分を示す。値は、食品成分データベース⁶⁾を参照し、可食部100gあたりに含まれる成分を表している。結果より、供試生ごみの食品成分と発酵特性に相関はないと考えられる。硬さについては、既往の研究⁷⁾によると、硬さ測定用センサでの計測値が、ニンジン;1963Hz, タマネギ;1885Hz,

ジャガイモ;1807Hzとされている。本実験の結果と比較すると、供試生ごみの硬さと発酵特性には相関がないと考えられる。形状については、本実験ではそれぞれ3cm角に調整したが、タマネギにおいては、繰り返し時にばらけたことで、接触面積が大きくなったと考えられる。よって、有機物と微生物が効率よく接触し発酵が行われたことで、含水率の低下も最も大きかったと考えられる。以上より、供試生ごみの形状が発酵熱に影響を及ぼした可能性があるかと推察される。今後は、供試生ごみの表面積を考慮し、供試生ごみの種類や混合割合による発酵特性の検討を行う必要がある。

3. 嫌気性消化実験

本実験では、基質に消化汚泥と脱水汚泥を使用し、嫌気性消化実験を行った。発酵槽は有効容量1Lのものを使用した。材質は酸およびガスによる腐食に耐久性のあるステンレスである。槽内の基質を混合させ、環境を均一にし、安定した発酵を行うために槽内部に攪拌羽を取り付け、上部モーターによる攪拌を行った。また、実験にて発生したバイオガスは、発酵槽上部のガス排出孔に取り付けたプラスチックバックにて回収した。

3.1 使用材料

3.1.1 脱水汚泥

コンポスト化実験と同様、N市浄化センターで処理された脱水汚泥を基質として使用した。投入量は有機物濃度（以下、VSと記す）2g/Lとした。

3.1.2 消化汚泥

本実験では、中温嫌気性処理を行っているC市浄化センターより採取した消化汚泥を使用した。使用した消化汚泥の初期性状は、pH:6.62，固形物濃度（以下、TSと記す）;13.9g/L，VS;9.4g/L，CODcr;21.3g/Lであった。

3.2 実験条件・方法

表5に嫌気性消化の実験条件を、図2に本実験で用いた実験装置の概略図を示す。本実験では、嫌気性消化のデータベースを作成する上で基礎となるデータを収集するため、供試生ごみを混合せず、下水汚泥のみでの嫌気性消化実験を行った。発酵温度は35°Cの中温発酵とし、槽内部に取り付けた攪拌羽の回転数は50rpmに設定した。実験は回分式で行い、実験期間はガスの発生が緩やかとなるまでの約2週間とした。なお、ガス発生量とpHは2日ごとに測定し、TS，VS，CODcrは実験開始時と終了時に下水試験方法⁸⁾に準拠して測定を行った。

表5 嫌気性消化 実験条件

脱水汚泥	2g-VS
消化汚泥	1 L
運転温度	35°C (中温)
実験期間	約2週間
発酵槽容量	1 L

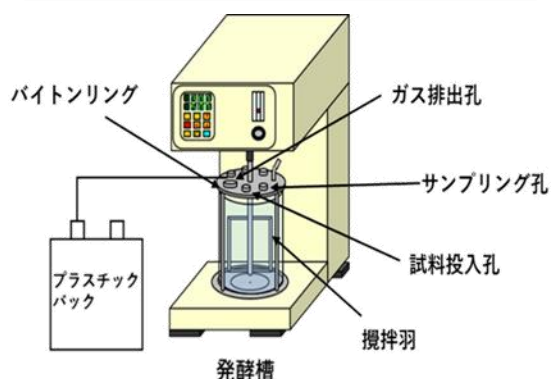


図2 実験装置概略図

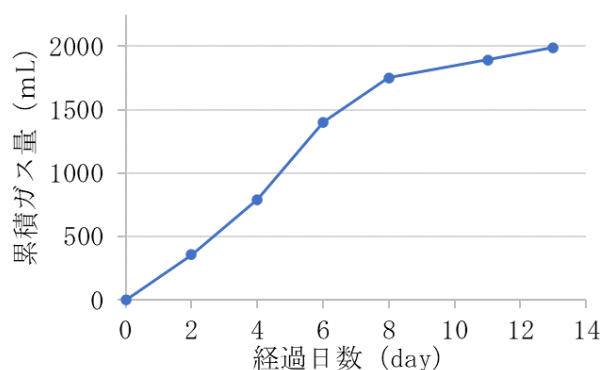


図3 累積ガス量の経日変化

表6 発酵前後の混合試料性状

	発酵前	発酵後
pH	6.83	7.14
TS (g/L)	16.16	11.51
VS (g/L)	12.19	8.38
CODcr (g/L)	23.53	23.41

3.3 結果・考察

図3に累積ガス量の経日変化を示す。実験開始から8日目あたりまでは1日当たり200mLほどのガスが発生しており、8日目以降のガス発生量は緩やかとなった。また、本実験において、投入VSあたりのガス発生量は995mL/g-VSであった。既往の研究^{9), 10)}と比較すると本実験において2倍程度のガスが発生していたため、十分なガスが発生したといえる。

表6に発酵前後の混合試料性状を示す。pHにおいては中性である7付近を推移し、発酵前後での大きな変化は見られなかった。嫌気性発酵の最適pHが6.8から7.6といわれており¹¹⁾、本実

験において、pHはこの範囲に収まっていたため、良好に運転が行われたといえる。発酵前後における混合試料のTS、VS、CODcrの減少分は、物質収支より分解されガス化したといえる。

TS、VSの値は発酵前後で減少し、分解率はそれぞれ28.8%、31.3%となった。しかし、既往の研究¹²⁾によると、VS分解率は54%となっており、本実験のVS分解率は低かったといえる。ふん尿を用いたメタン発酵を行っているS養豚場では、排出されたふん尿を、メタン発酵槽へ投入する前に、搾汁処理が行われ、微生物が分解しにくい固形物や有機物が除去されている。また、発酵槽への投入は2時間ごとの1日12回行われている。以上より、既往の研究に対して本実験におけるVS分解率が低かった要因は、脱水汚泥に対して、微生物が分解しやすいような前処理を行っていなかったこと、実験期間が2週間で回分式実験であったことが考えられる。

CODcrの減少率は0.5%であった。TS、VSの分解率を考慮すると、本来はCODcrも30%ほど減少すると考えられる。これは、十分なガスが発生していることからCODcrの測定に問題があったといえる。

今後は、基質の前処理方法を検討したうえで、基質に食品廃棄物を用いて、下水汚泥との混合割合や、食品廃棄物の種類による発酵特性について検討を行う必要がある。

4. まとめ

本研究は、有機系廃棄物の効率的な処理・処分を検討する際の指標となるようなデータベースを作成するために、バイオマス資源として高い潜在能力を有する下水汚泥と混合させ、コンポスト化と嫌気性消化の実験を行った。

その結果、以下の知見を得た。

- 1) コンポスト化において、発酵熱による試料温度の上昇が見られたものの、すぐに気温と同じ程度まで下降してしまっただけから、小型コンポスト（容量100L以下）において、熱収支を考慮し、発酵を行う環境やコンポスト化装置の選定を行う必要がある。
- 2) コンポスト化で取り扱う供試生ごみの種類によって、発酵温度の推移に多少差が見られた。その要因として、供試生ごみの食品成分、硬さ、形状の違いなどが考えられるが、検討の結果、今回は、形状の違いによる表面積の差であると推察される。
- 3) 嫌気性消化において、消化汚泥1Lに対して脱水汚泥を2g-VS混合することで、投入VSあたり995mL/g-VSのバイオガスを採取することができた。また、TS、VSの分解率はそれぞ

れ28.8%、31.3%となった。

今後の展望として、コンポスト化および嫌気性消化実験のデータを蓄積し、データベース化を行っていくとともに、下水汚泥や食品廃棄物などのバイオマス資源の有効利用方法として、それらの需要やランニングコストなどを考慮した上で、コンポスト化と嫌気性発酵のどちらが効率的であるかの検討が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省、脱炭素に関する動向について、(2021)<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/content/001444668.pdf>, (参照2023-9-27)
- 2) 国土交通省、脱炭素社会へのあり方検討小委員会報告書(概要①), (2022)<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474978.pdf>, (参照2023-9-27)
- 3) 農林水産省、バイオマス活用推進計画(第3次), (2022)https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio_g/attach/pdf/220906-2.pdf, (参照2023-9-27)
- 4) リンドンF・キニチョ、堆肥を「戻し敷料」として活用する場合の留意点、牧草と園芸, vol. 44, No. 10, (1996) pp. 11-14.
- 5) 農林水産省、農業集落排水資源の再生利用に関する手引き(案) https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/nn/n_nouson/syuhai/attach/pdf/170825-2.pdf (参照2023-9-27)
- 6) 文部科学省、食品成分データベース https://fooddb.mext.go.jp/result/result_top.pl?USER_ID=17776, (参照2023-9-27)
- 7) 関口浩、町田幸雄、尾股定夫、硬さ測定用触覚センサによる食品の硬さの評価、小児歯科雑誌, vol. 34, No. 1, (1996) pp. 99-109.
- 8) 公益社団法人日本下水道協会、下水試験方法上巻, (2012) p. 283-285, 715-716.
- 9) 奥野芳男、李玉友、佐々木宏、関廣二、上垣内郁夫、生ごみと汚泥の高濃度混合メタン発酵に及ぼす汚泥比率と発酵温度の影響、土木学会論文集, No. 734, (2003), pp. 75-84.
- 10) 櫻井邦宜、李玉友、野池達也、牛ふん尿と生ごみの混合メタン発酵に関する研究、環境技術学会, vol. 34, No. 3, (2005), pp. 211-218.
- 11) 野池達也 編「メタン発酵」技報堂出版, (2009) pp. 61-66.
- 12) 池田由紀、倉橋美彦、中村恒二、森忠明、亀岡俊則、養豚排水の中温メタン発酵処理におけるメタン収率と炭素転換率の向上、廃棄物学会, vol. 17, No. 1, (2006), pp. 87-95.