

小規模バイオメタン施設を利用した持続可能な社会の検討

学校法人静岡理工科大学 星陵高等学校
2年 バイオメタン研究班 宮崎若葉 他 11 名

1 背景

バイオメタンは、生ごみなどの有機性の廃棄物を微生物の働きで処理することで発生する可燃性ガスであり、再生可能エネルギーとして活用することができる。この処理システムは、天候に左右されず比較的安定してエネルギーを供給でき、カーボンニュートラルでもあるため、資源循環型社会の実現に貢献できる。また、残差は消化液と呼ばれ、作物栽培の際の液体肥料として利用することができる。大規模なプラントでは莫大な建設・運転コストがかかるため、低コストかつ簡単に維持や管理をすることができる小規模分散型の資源循環システムであれば、持続的に地域で運転できるのではないかと考えた。

2 目的

小規模バイオメタン施設を利用した分散型の資源循環型社会の構築を検討するために、小規模バイオメタン施設の運転試験とシステム評価、消化液を用いた作物の栽培試験、および地域における施設の導入可能性調査と生ゴミの発生量の試算を行った。

3 方法

(1) 小規模バイオメタン施設の運転条件とシステム評価

校内に表 1 の規格の小規模バイオメタン施設を設置して実験を行った。発酵槽には、液温が 38℃になるようにタンクの外側に温水を循環させた。施設の立ち上げには、種菌として既に運転している施設から微生物を含む発酵液を分けてもらい、塩分が少なく成分が安定しているドッグフードを原料として運転を行った。その後は原料を生ごみに変えて各種基礎データの収集や運転方法の確立を行った。

表 1. 小規模バイオメタン施設の設備と規格

設備	脱臭 タンク	発酵槽	消化液 貯留槽	脱硫 タンク	ガス 貯留槽
規格	50 L	700 L	500 L	50 L	400 L

表 2. 小規模バイオメタン施設の運転条件

試験	内容	運転期間	日数
RUN1	ドッグフード 3kg/週	2/13~7/1	138
RUN2	生ゴミ 6kg/週	7/4~5/11	311
RUN3	生ゴミ 9kg/週	5/12~8/8	88

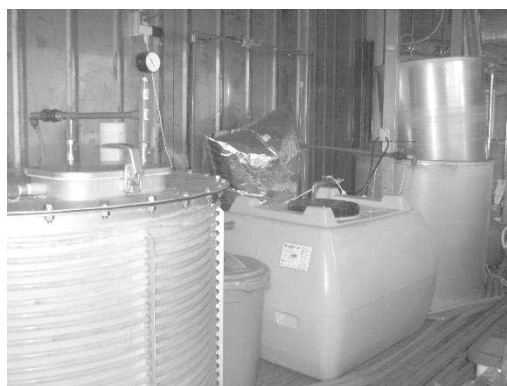


写真 1. 小規模バイオメタン施設の様子

運転データは、発酵槽温度、日ガス量、二酸化炭素濃度、メタン濃度を整理した。メタン濃度は、

バイオメタンのガスの組成のほとんどが二酸化炭素とメタンであり、その他のガスの成分は微量であることから、二酸化炭素濃度を計測することでメタン濃度を算出した。発酵槽の液温は温度計（おんどとり RTR-502、T&D 社製）、バイオメタンの生成量はガス流量計（気体用マスフローメーター cmS002、アズワン社製）を用いて自動で集計をした。

（２） 消化液を用いた作物の栽培試験

地域や家庭菜園などで手軽に消化液を利用してもらえれば、資源循環の仕組みを構築することができるため、消化液の施肥効果について確認を行った。また、栽培開始から施肥をする場合はどの程度までそれが可能なのかを発芽と根の生長に着目して検証した。さらに、根の生育に関しては、植物の成長に与える影響が大きいと考えられるため、経過日数を変えて調査を行った。栽培試験には、トマト、ナス、インゲン、オクラ、ナノハナ、コマツナ、ブロッコリー、チンゲンサイ、コリアンダー、アサガオ、マリーゴールドを用いた。

発芽試験には、15 区画の栽培用ポットを用意し、それぞれに種（コマツナ）を植えたものを 2 セット準備した。このポットで消化液を散布したものと水を散布したもので発芽の状態を比較した。週に 3 回の頻度で水と消化液を各区画に 20 mL ずつ散布した。ポットは一定温度と一定時間の照明を調節できるバイオトロン（NK システム社製）において 25℃で保管した。

土壌を用いた栽培以外に、消化液を水耕栽培で使用方法を検討するために、発芽した苗（ナノハナ）を用いて水耕栽培試験を行った。消化液を適宜希釈した溶液（原液、5 倍希釈、10 倍希釈、15 倍希釈、25 倍希釈、50 倍希釈、100 倍希釈）を準備し、成長の様子を比較した。実験は LED ライトを用いて室内の一定温度の環境で行った。

分析については、土壌の pH、電気伝導度 EC、アンモニウムイオン、リン酸イオンなどを測定し、科学的に消化液の効果を考察した。使用した消化液は、小規模バイオメタン施設の立ち上げ操作を行った後、生ゴミを原料に運転を継続した施設運転の試験を行っているときのものを使用した。各成分の分析結果を表 3 に示す。

表 3．使用した消化液の成分

	COD(mg/L)	NH ₄ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	EC(ms/cm)	TDS(ppm)	pH
消化液	1,986	3400	45.0	38.2	20.9	8.05

（３） 地域への施設導入の可能性調査と生ゴミ発生量の試算

小規模バイオメタン施設を地域に導入するために、地域の住民の意識調査を行った。調査は口頭でのアンケート形式で、以下の項目を聞き取りした。なお、回答の回収は活動内容を紹介するポスターを説明した後に無作為に声をかけた方に実施した。

質問 1．バイオメタンを知っているか

質問 2．バイオメタンに興味を持ったか

質問 3．バイオメタンの生成に使用する生ゴミの回収に協力してみたいか

地域の生ゴミの発生量を試算するために、富士宮市内のコンビニエンスストア（以下、コンビニ）、スーパー、レストラン、家庭を対象に、以下の聞き取り調査を電話にて行った。なお、家庭の生ゴミについては、上記の意識調査を行った際の回答を集計に用いた。

質問 1．1 日あたりどのくらいの量のゴミを廃棄しているか

質問 2．廃棄物はどのようなものが多いか

質問 3．生ゴミの廃棄はどれくらいの頻度で行っているか

聞き取り調査の結果をもとに、地域で発生する生ゴミ量を試算した。

4 結果

(1) 小規模バイオメタン施設の運転条件とシステム評価

発酵槽の温度変化の推移を図1、日ガス発生量の推移を図2に示す。RUN1での生成量は安定していたが、RUN2は、生成量のばらつきが大きく、ほとんど生成されていない日もあった。経過240日以降はガスの生成が安定し、発生量も増加。RUN3は、日によって発生量の増減が大きいものの、発生量全体としては増加した。

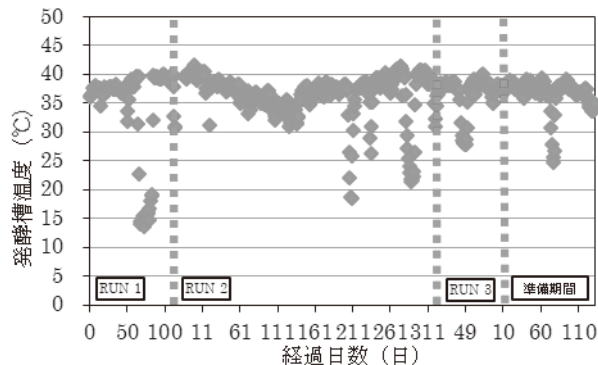


図1. 発酵槽温度の推移

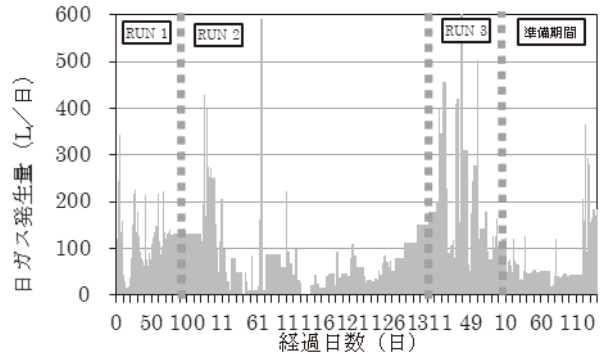


図2. 日ガス発生量の推移

(2) 消化液を用いた作物の栽培試験

消化液を与えた苗と与えてない苗では、実の数に大きな差は見られなかったが、背丈は高く、茎は太く、葉は濃い緑に育った。実の味には問題がみられなかった。

表4. 消化液の施肥効果の検証結果

	条件	開始時 (cm)	終了時 (cm)	成長量 (cm)
トマト	消化液 (原液)	13	112	99
	消化液 (2 倍希釈)	12	102	90
	水	13	79	66
ピーマン	消化液 (原液)	17	43	26
	消化液 (2 倍希釈)	15	64	49
	水	15	45	30
キャベツ	消化液 (原液)	29	40	11
	消化液 (2 倍希釈)	28	36	8
	水	26	30	4
ヒマワリ	消化液 (原液)	7	47	40
	消化液 (2 倍希釈)	7	55	48
	水	9	55	46

発芽試験の結果では、実験を開始して3日目以降から発芽が始まり、7日目以降ではほとんどの区画で発芽が観察された。これは水を用いた栽培ポットの方が若干遅かったものの、水を用いた場合(13区画で発芽率86%)と消化液を用いた場合(14区画で発芽率93%)で発芽への影響に大きな差はみられなかった。

水耕栽培試験では、消化液の原液と5倍希釈の液の試験区は1日目から生育の阻害がでており、その後の成長は不可能であった。10倍希釈の液においても、3日程度は生育したものの、その後の大きな成長は不可能な結果となった。生育が可能な希釈濃度は15倍以上の液を用いた場合で、特に25倍

以上希釈した場合で生育により効果をもたらすことが分かった。

根の成長比較試験における作物の地上部の生育は、消化液を用いた方が大きく、濃い緑色の葉が育った。即効性が高く、施肥後すぐに生育の差が現れた。原液を週に3回程度散布したが、特に阻害などはみられず、水代わりに用いても問題なく生育を確認することができた。根の生育は、定植後の14日、38日、51日経過したものを採取して長さを計測した

土壌分析の結果、消化液を散布した試験区では、水を散布した場合よりpHが若干低くなることがあった。消化液散布により土壌中のアンモニウムイオンやリン酸イオンの量が多くなり、生育により効果をもたらしたことが明らかになった。

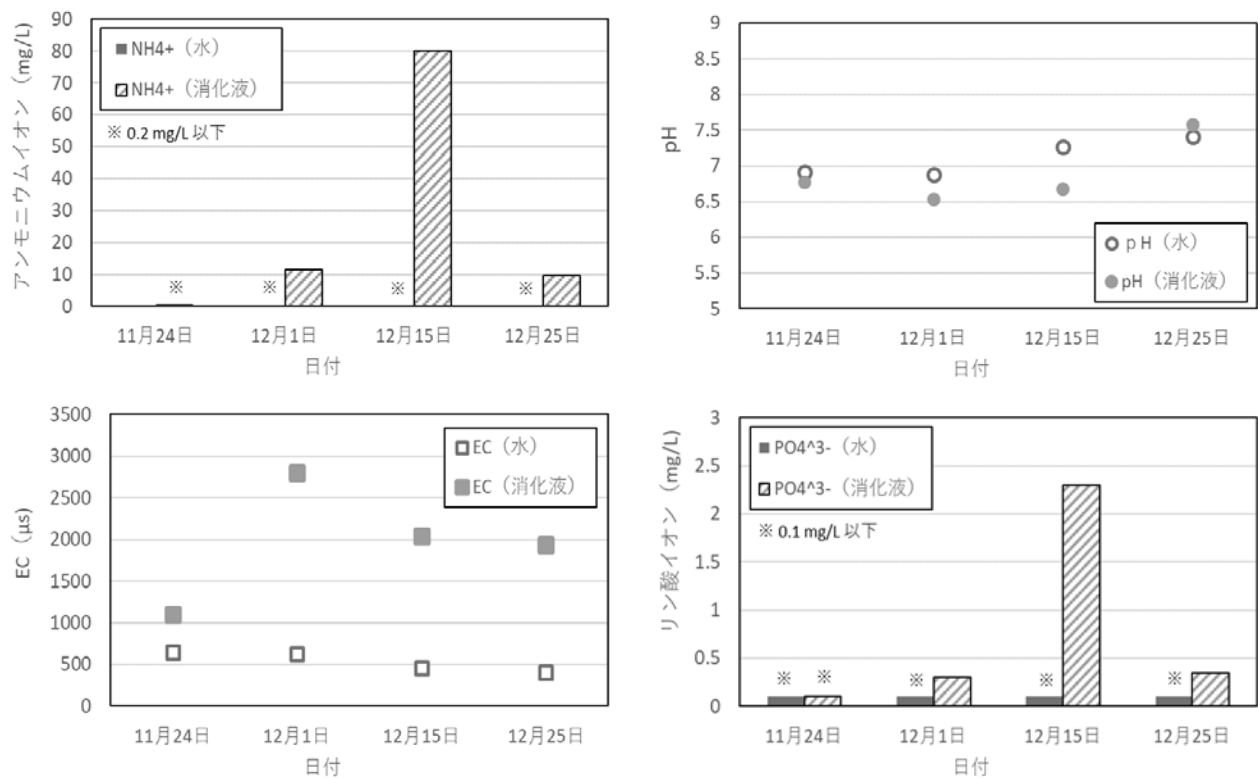


図3．土壌分析の結果（pH、EC、アンモニウムイオン、リン酸イオン）

（3） 施設導入の可能性調査と生ゴミ発生量の試算

意識調査の結果、以下の結果が得られた。認知度はあまり高くなかったが、地域住民はバイオメタンの活動に協力的であることが分かった。生ゴミの発生量調査では表6の結果が得られた。ゴミを出す頻度については、週に7回と回答した店舗がほとんどだった。

表5．バイオメタンに関する意識調査の結果

質問	はい (%)	いいえ (%)
バイオメタンを知っていますか。	37	63
生ゴミ回収に協力したいですか。	90	10
バイオメタンに興味を持っていた だけでしたか。	92	8

表6．地域から発生する生ゴミ量の試算

店舗の種類	平均値 (kg)	件・人数	合計 (kg)
スーパー	46.5	9	418
コンビニ	7.6	29	222
家庭（1人あたり）	0.17	132,507	22,526

5 考察

(1) 小規模バイオメタン施設の運転条件とシステム評価

小規模バイオメタン施設の運転結果を表 7 に整理した。RUN1 では安定的な運転が行えたが RUN 2 では、投入する原料が生ゴミに切り替わったことから、その影響が大きく出ていた。RUN 2 の開始直後は、RUN 1 で投入した原料の影響で安定していたが、その後はバイオメタン量も減少して安定しなかった。COD の値が低下したのも、可溶化しやすいドッグフードから分解になれていない生ゴミに原料が変わったことに微生物が対応できなかったことが影響したと考えられる。その後のバイオメタンの生成量が増加し始めるまでの 240 日程度が発酵槽内の微生物が生ゴミに馴養するのにかかった日数だと思われる。特に、発酵槽の温度が冬季のため安定させにくく、低下しやすかったことも影響が長期化した要因だと考えられる。同様に、メタン濃度の変動が大きかったのも、投入する生ゴミの成分が安定していないことや、発酵槽内の微生物相が安定していないことが要因だといえる。発酵槽の温度を安定化し、投入する生ゴミの成分がもっと似たものであれば、より早く微生物が馴養できたと考えられた。

表 7. 小規模バイオメタン施設の運転結果

内容	発酵槽温度 (°C)	日ガス量 (L/日)	二酸化炭素濃度 (%)	メタン濃度 (%)
ドッグフード 3 kg/週	34.9	132	37	63
生ゴミ 6 kg/週	36.4	70	28	72
生ゴミ 9 kg/週	36.8	224	28	72

(2) 消化液を用いた作物の栽培試験

バイオメタン施設から生成される消化液を液肥として用いることは、作物の生育に良い効果をもたらすことが分かった。特に、成長を早め、背丈や葉の生育に効果があつたことから、実を取る植物よりも、葉物や花の栽培に使用の方が適していると考えられた。消化液は、密閉したタンク内の酸素がない嫌気状態で発酵させることで生成する。タンク内の消化液は還元状態で生成されるため、散布後に酸化が進み溶液中のアンモニアは硝酸へと変化することで土壌の pH が低下して作物の生育に適したと考えられる。最適な土壌電気伝導度は 1.5 ms/cm 以下が良いとされており、今回の施肥ではそれよりも若干上回っていた。そのため、散布する頻度を週に 1、2 回と少なくするか、散布前に水で希釈することがさらに望ましいといえる。水耕栽培では消化液を 25 倍以上に希釈する必要があつたのは、使用した消化液の電気伝導度が 38.2 ms/cm と高かったため、希釈により 1.5 ms/cm 程度に低下させる必要があつたと分かった。より簡易な栽培をするためには、様々な影響を緩和できる土壌を用いた栽培の方が適していると考えられ、家庭菜園や地域の農家でのさらなる使用を進めていきたいと考えている。

(3) 施設導入の可能性調査と生ごみ発生量の試算

アンケート調査からさらに広報普及活動を行っていくことで回収率の向上が見込められる。簡易な管理での運転可能な小規模メタン装置を地域に分散して配置し、消化液を地域や家庭で使用する仕組みを構築することで、施設の導入の可能性があると考えられた。関心を示す地域住民も多いことは、これまでの広報普及活動の結果と考えられ、効果的であつたといえる。今後は効率的な回収と取り扱いに関する法律が課題となる。