

<論文>

生ごみと他の廃棄物系バイオマスの混合処理による高効率メタン回収技術の開発

多田羅 昌浩¹, 牧内 崇志², 後藤 雅史³, 八村 幸一⁴, 早出 広司⁵

1 鹿島建設株式会社 技術研究所(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 E-mail:tatarata@kajima.com)

2 鹿島建設株式会社 環境本部(〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-1 新宿パークタワー E-mail:makiucht@kajima.com)

3 鹿島建設株式会社 技術研究所(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 E-mail:m-goto@kajima.com)

4 鹿島建設株式会社 環境本部(〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-1 新宿パークタワー E-mail:hachi@kajima.com)

5 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 生命機能科学部門(〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16
E-mail:sode@cc.tuat.ac.jp)

概要

魚アラ、廃グリセリン、廃紙について生ごみとの混合高温メタン発酵処理試験を実施し、許容混入率ならびにシステムの安定性確保に必要な条件を試験的に検証し、実施設において期待されるバイオガス回収量原単位の算出等を行った。

バイアル試験により、廃グリセリン、魚アラは生ごみに高濃度で混合するとメタン発酵を阻害する可能性が示された。魚アラについては、有機物負荷のみではなく、タンパク由来のアンモニア態窒素濃度にも留意する必要がある。連続処理試験により、廃紙、廃グリセリン、魚アラともに、生ごみに混合することで投入廃棄物1トン当たりのバイオガス発生量が増加することが確認された。特に廃グリセリンは窒素含有量が少なくバイオガス回収量の増加が顕著であった。各廃棄物の混合処理施設についてLCCO₂解析を行った結果、条件によっては生ごみとの混合処理が必ずしも有利ではないことが明らかとなった。

キーワード:メタン発酵、バイオガス、生ごみ、グリセリン、LCCO₂

1.はじめに

循環型社会の形成に向け、廃棄物系バイオマスを再生可能な資源として有効再利用する技術の開発が求められている。しかし、例えば、再生可能なエネルギー資源を製造する廃食用油リサイクル施設(BDF:バイオディーゼル燃料製造施設)では、原料の一部が有機性残渣(廃グリセリンなど)として排出される。あるいは、現在、焼却処理されている、漁港、卸売市場などで発生する魚アラ、リサイクル対象とならない廃紙などは、生ごみと合わせて処理することでバイオガス回収量を増大させる効果も期待できるバイオマスと考えることもできる。

そこで、これらの有機性残渣あるいは廃棄物をさらに有効再利用可能なエネルギー資源として再生できるシステムを確立することが、再生可能な資源利活用システムのゼロエミッション化の観点からも必要である。また、回収したエネルギー資源(例えば、バイオガス)を処理施設などで有効利活用することで、システム全体のLCCO₂を低減することも可能であり、そのためのシステム構築も重要である。

本研究では、高温メタン発酵施設を中心とし、生ごみに他の廃棄物系バイオマスを加えて、高効率にメタン回収するエネルギー資源化システムの構築を検討した。回収したエネルギー資源(バイオガス)は、廃棄物系バイオマスの処理施設に還元供給するとともに、熱源あるいは発電燃料として有効再利用することを想定した。

対象とする具体的なバイオマスは、生ごみ(事業系または家庭系の分別生ごみ)を主体とし、生ごみに加えるバイオマ

スとして廃食用油リサイクル施設残渣(不純物を含む廃グリセリン)、魚アラ(魚介類加工残渣)、廃紙類(ちり紙等)などを想定し、生ごみに対するこれらの残渣の許容混入率を試験的に検証した。さらに、生ごみとこれら残渣の混合廃棄物を対象とする処理規模50トン/日の高温メタン発酵施設の設計検討を行い、廃棄物の混合割合を変えたシナリオについて回収可能なエネルギー資源量の推定ならびにシステム全体のLCCO₂評価を実施した。

なお、本研究開発は、環境省平成17年度次世代廃棄物処理技術基盤整備公募事業を受託し、実施したものである。

2.試験方法

2.1 バイアル試験

一般に、脂質などの一部の有機性化合物は、生分解性であるが、ある濃度を超えるとメタン発酵に阻害を及ぼすことが知られている¹⁾。バイアル試験では、廃グリセリンなどの原料の初期濃度を希薄な条件から過剰に存在する条件まで数段階に設定し、バッチ方式でメタン発酵試験を行った。試験期間を通じてバイオガス生成量を測定し、対象原料中の阻害物質の有無、およびその濃度および分解特性を検討した。

試験には、500mLのバイアルを使用した。各バイアルには300mLの生ごみで馴養した種汚泥を充填し、窒素ガスでガス相の置換を行った。その後、投入CODcr(硫酸酸性重クロム酸法 COD)濃度が3~4kg/m³となるように生ごみと魚アラ、あるいは生ごみと廃グリセリンを混合した原料を添加し、55°Cに制御した恒温槽内で連続攪拌培養した。生成バイオ

ガスはテフロンバッグに回収し、毎日生成量を測定した。本試験では、条件毎に3バイアル並行して試験を行い、それを2反復(合計6バイアル)評価し、得られたデータを条件毎に平均化した。

2.2 連続処理試験

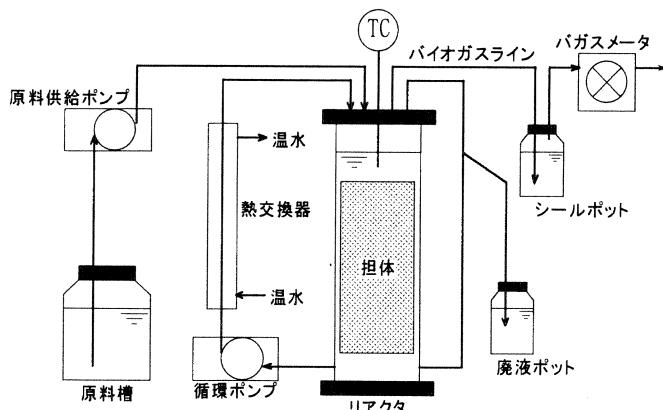
生ごみに混合する廃棄物として、廃紙、廃グリセリン、魚アラを使用した。廃グリセリンおよび魚アラは、バイアル試験に供した試料と同じである。廃紙は、弊社技術研究所オフィスより排出されるシュレッダー廃紙を使用した。

試験に使用した装置の有効リアクタ容量は30L、10Lおよび3Lであるが、構造・構成はほぼ同じである。装置の概略フローをFig.1に示す。リアクタは炭素繊維製の担体を流れ方向と平行に規則充填した固定床式で、温水との熱交換により、内容物が55°Cとなるように制御している。原料はタイマ制御されたポンプにより間欠投入し、投入量と同量の発酵液をオーバーフローにより排出した。バイオガス発生量は湿式ガスマータにより計測した。本試験で使用した炭素繊維製担体を充填したリアクタは、担体に微生物を付着させることで生ごみ等の有機性廃棄物を高効率に処理可能であることが確認されている^{2), 3)}。

試験に使用する生ごみとして、弁当、総菜、野菜および果物を用いた。生ごみはチョッパータイプの粉碎機で粉碎後、等重量の水で希釈し生ごみスラリとした。

それぞれのリアクタの立ち上げには、生ごみを原料として55°Cで継代培養しているメタン発酵種汚泥を使用した。リアクタ中の微生物の馴養は、徐々に原料の供給負荷を上昇させることで行った。原料のpH、揮発性脂肪酸濃度(以下VFA濃度)を計測し、供給量の調整を行った。

浮遊性懸濁物質(SS)、揮発性浮遊性懸濁物質(VSS)、アルカリ度(TAK)、CODcr、VFAの測定方法はJIS K-1012に従った。バイオガス中のメタン、水素、二酸化炭素の測定には、ガスクロマトグラフィー(GC-8A, Shimadzu, Co. Ltd., Japan)を使用した。



3. 試験結果及び考察

3.1 バイアル試験

(1) 廃グリセリンとの混合処理

試験には、京都市環境局殿の廃食用油燃料化施設からご提供いただいた廃グリセリンを使用した。供試廃グリセリンの組成をTable4に示す。

分析結果から、CODcr、BODともに非常に高濃度であり、n-Hex抽出物量も高いことが分かる。また、同施設では、水酸化カリウムをアルカリ剤として使用しているため、カリウムイオン濃度も高い。その反面、窒素、リン濃度が低いことから、窒素、リン濃度の高い生ごみとの混合処理は、バイオガス生成量の増大につながる可能性を持つと考えられる。

各 Run の積算バイオガス平均生成量の経日変化を Fig.2 に示す。廃グリセリンを含まない場合、試験開始後約 7 日でほぼバイオガス発生が停止していることが確認できる。これまでの経験から、生ごみは通常 7 日から 10 日で発酵が終了するため、本試験に使用した種汚泥は、正常であったと判断される⁵⁾。

廃グリセリンの混合率が増加するに従い、バイオガス生成が停止するまでの期間が長くなっていることから、廃グリセリン

Table4 試験に使用した磨グリヤリンの組成

			单位: mg/L
T-CODcr	1,880,000	NH ₄ -N	13.2
S-CODcr	1,820,000	NO ₃ -N	<10
T-BOD	1,260,000	NO ₂ -N	<1
S-BOD	1,170,000	T-P	107
SS	5,050	PO ₄ -P	<1
VSS	4,800	Ca	66.7
TS	965,000	Na	365
VTS	884,000	K	33,100
n-Hex	183,000	Cl	5,030
T-N	390	SO ₄	30.2
K-N	385	Fe	21

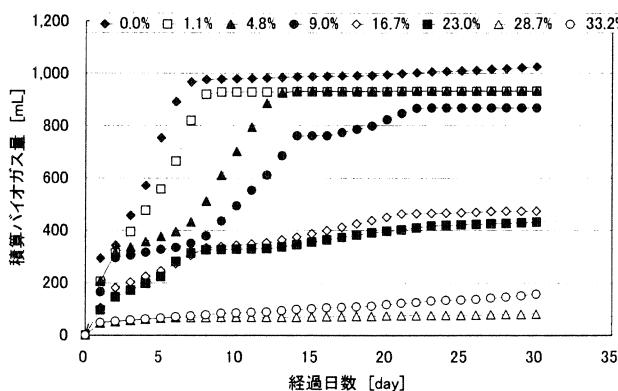


Fig.2 廃グリセリンのバイアル試験結果

ンは生ごみに比べやや難生分解性と考えられる。また、積算バイオガス量も廃グリセリン混合率が高くなるに従い低下しているため、高混合率での生ごみと廃グリセリンの混合処理は、メタン発酵の不安定化を引き起こす可能性があると考えられる。今回のバイアル試験の結果から、廃グリセリン混合率は最大で9%程度であると推定される。

Fig.2 に示したデータに基づいて推定した、各条件における添加原料 1 トン当たりのバイオガス回収量を Table5 に示す。表から、廃グリセリンを混合することで最大 25%程度のバイオガス回収量が増加することが示唆される。しかし、本試験はバッチ操作で行った試験であるため、連続処理時のメタン発酵槽の安定性、処理特性などについては、別途検討する必要がある。

(2)魚アラとの混合処理

試験には、京都市環境局殿の魚アラリサイクル施設(飼料製造施設)からご提供いただいた魚アラを使用した。供試魚アラの組成をTable6に示す。

分析結果から、T-N 濃度、タンパク質濃度および脂質(*n*-Hex 抽出物)濃度が高く、高い比率で生ごみと混合処理した場合、アンモニアおよび脂肪酸による阻害が生じる可能性が高いと考えられる。

各 Run を 3 バイアル 2 反復(計 6 サンプル)で試験を行った積算バイオガス平均生成量の経日変化を Fig.3 に示す。

Table 6 試験に使用した魚アラの組成

			単位:mg/L
T-CODcr	352,000	n-Hex	63,200
S-CODcr	164,000	T-N	23,200
T-BOD	232,000	K-N	23,200
S-BOD	160,800	T-粗タンパク質	35.9
SS	218,000	T-粗繊維質	<0.1
VSS	186,600	T-粗脂肪質	48.7
TS	226,000	灰分	11.4

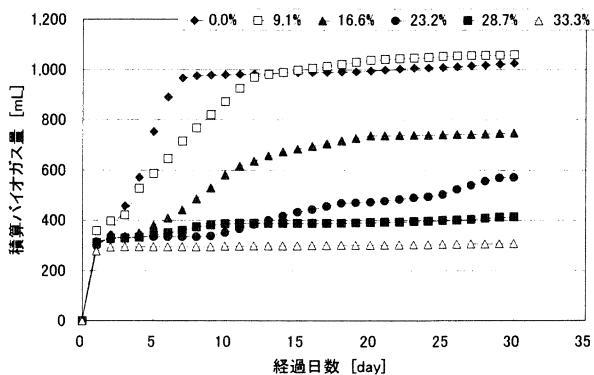


Fig.3 魚アラのバイアル試験結果

Table 5. 廃ダリセリに混合原継 1トン当たりのバイオガス回収量

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
廃グリセリン/生ゴミ比 [%]	0.00%	1.01%	4.75%	9.09%	16.7%	23.0%	28.9%	33.5%
原料1トン当たりのバイオガス量 [m3/ton-原料]	64.9	65.0	76.9	86.5	61.8	67.2	14.5	31.0
生ゴミにのみに対する増加率 [%]	0.00	0.17	15.6	25.0	-5.07	3.51	-347	-109

Table7 魚アラ混合原料 1トン当たりのバイオガス回収量

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6
魚アラ/生ごみ比 [%]	0.00%	9.07%	16.6%	23.1%	28.7%	33.3%
原料1トン当たりのバイオガス量 [m ³ /ton-原料]	64.9	66.2	46.3	35.1	25.2	18.6
生ごみにのみに対する増加率 [%]	0.00	1.96	-40.1	-85.1	-157.80	-248.06

Fig.3 から、魚アラの混合率が 10%を超える場合、積算バイオガス量が急激に低下することが分かる。このデータおよび魚アラの組成分析結果(Table6)から、魚アラ中の窒素に由来するアンモニアあるいは脂肪酸が発酵を阻害している可能性があると考えられる。

また、積算バイオガス量が生ごみのみの場合と同程度である混合率 9.1%の場合でも、バイオガス生成が停止するまでに 13 日程度を要していることから、魚アラは生ごみに比べやや難分解性であると判断される。

以上のことから、高混合率での生ごみと魚アラの混合処理は、メタン発酵の不安定化を引き起こす可能性が高いと考えられる。今回のバイアル試験の結果から、魚アラの混合率は最大で 9%程度であると考えられる。

各 Run における添加原料 1トン当たりのバイオガス回収量を Table7 に示す。表から、9%では魚アラを混合することによるバイオガス回収量の顕著な増加は見られないことが示唆される。

3.2 連続処理試験

(1)廃紙と生ごみの混合処理

T-CODcr 容積負荷を 2kg/m³/day から徐々に上昇させ、4.5kg/m³/day で定常運転に移行した。T-CODcr 容積負荷 4.5kg/m³/day におけるスラリの水理学的滞留時間(HRT)は 10 日である。負荷の上昇に伴いバイオガス発生量も増加していることから、メタン発酵は安定していたことが確認できた。また、VFA 濃度も低い値で安定していたことから、安定したメタン発酵が可能であったと判断される。本結果から、廃紙は窒素成分の含有量が少ないため、原料の COD/N 比の調整に有効であり生ごみへの混合に適していると考えられる。

T-CODcr, T-BOD, SS 除去率は T-CODcr 容積負荷が

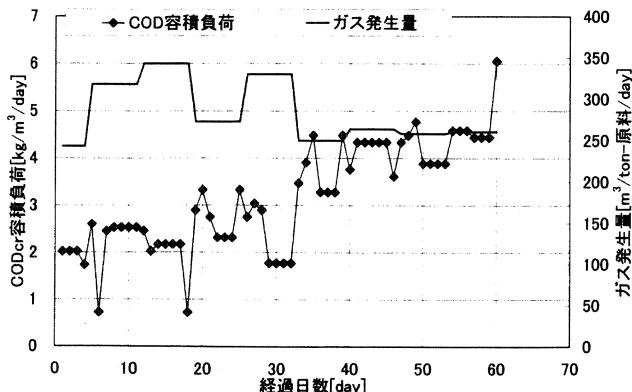


Fig.4 CODcr 容積負荷と投入廃棄物 1トン当たりのバイオガス発生量の経日変化(廃紙スラリ)

上昇した後においても、全て高い値で安定していました。試験期間を通じて T-BOD 除去率は 90%, T-CODcr および SS 除去率は 80%を超えていました。

投入廃棄物 1トンあたりのバイオガス発生量を Fig.4 に示す。HRT10 日で定常運転中の投入廃棄物 1トンあたりバイオガス発生量は約 260m³で安定していました。今回使用した生ごみの T-CODcr 濃度は 360,000mg/L であるため、T-CODcr 分解率が 80%，バイオガス中のメタン濃度が 65%とした場合、生ごみ 1トンから回収可能なバイオガス量は約 160m³である。したがって、廃紙を混合することで投入廃棄物 1トンあたり約 1.6 倍のバイオガス回収が可能であると推定される。

(2)廃グリセリンと生ごみの混合処理

リアクタの立ち上げは、前述と同様に T-CODcr 容積負荷を徐々に上昇させることで行った。その結果、バイオガス発生量も同様に上昇していることから、順調に立ち上げを行えたと判断される。T-CODcr 容積負荷 13-14kg/m³/day で定常運転に移行し、約 20 日間に渡って連続運転を行った。この時の HRT は約 10 日であった。

試験期間中の VFA 濃度は非常に低く安定していた(酢酸換算で 1,000mg/L 以下)ことより、試験期間中メタン発酵は安定していたと考えられる。Fig.5 より、定常運転中の投入廃棄物 1トンあたりのバイオガス発生量の平均値は約 190m³であった。したがって、生ごみのみを処理した場合より 1.2 倍量のバイオガス回収が可能であると推定される。

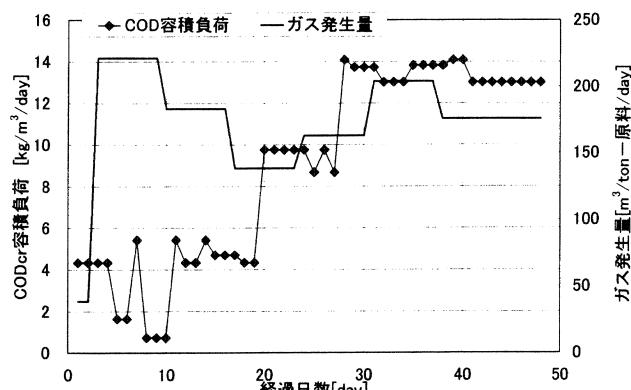


Fig.5 CODcr 容積負荷と投入廃棄物 1トン当たりのバイオガス発生量の経日変化(生ごみ廃グリセリンスラリ 5)

さらに廃グリセリンの混合率を 10%に増加させた「生ごみ廃グリセリンスラリ 10」を用いた混合処理連続試験を実施した。この条件においても T-CODcr 容積負荷の上昇に伴いバイオガス発生量も増加していることから、順調に立ち上げを行えたと判断される。T-CODcr 容積負荷 20-23kg/m³/day で定常運転を移行したが、この時の

HRTは15日であった。

試験期間中のVFA濃度は低い値で安定していた(酢酸換算で1,500mg/L以下)。

T-CODcr, T-BOD, SS, n-Hex除去率はT-CODcr容積負荷が上昇しても、20kg/m³/dayまではすべての除去率が90%以上であった。特にn-Hex除去率は98%以上であり、グリセリン成分も高効率に分解していることが確認できた。このことから、T-CODcr容積負荷20kg/m³/dayまではメタン発酵は高効率に投入有機物を分解していると判断される。

Fig.6にT-CODcr容積負荷と投入混合廃棄物1トン当たりのバイオガス発生量の経日変化を示す。グラフから、定常運転時の投入混合廃棄物1トン当たりのバイオガス発生量は約280m³であり、生ごみのみを処理する場合に比べ、約1.9倍のバイオガス回収が可能であると推定される。

生ごみ廃グリセリンスラリを用いた混合処理連続試験結果より、廃グリセリンは生ごみとの混合処理に適しており、混合処理することで投入廃棄物当たりのバイオガス回収量を大きく増やすことが可能であると判断される。

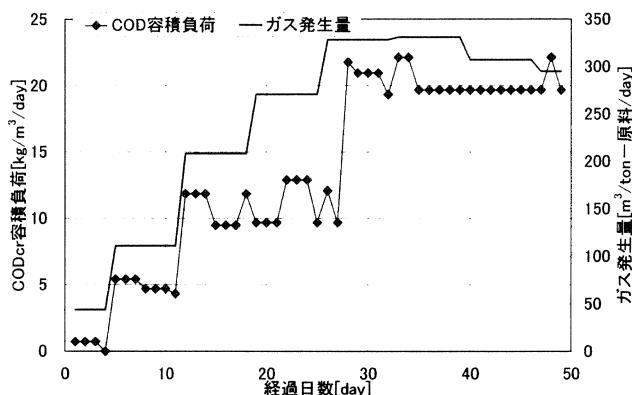


Fig.6 CODcr容積負荷と投入廃棄物1トン当たりの
バイオガス発生量の経日変化(生ごみ廃グリセリンスラリ10)

(3)魚アラと生ごみの混合処理

魚アラとの混合処理試験においても、前述と同様にT-CODcr容積負荷を徐々にあげることでリアクタの立ち上げを行った。負荷の増大と共にバイオガス発生量も順調に増加していることから、リアクタの立ち上げは順調に進行したと考えられる。その後、T-CODcr容積負荷15kg/m³/dayで定常運転に移行した。この時のHRTは10日であった。

定常運転を開始して8日後から、VFA濃度が上昇する傾向が見られたため、T-CODcr容積負荷を10kg/m³/day(HRT15日)にまで低下させ、運転を継続した。T-CODcr容積負荷を低下させた直後はVFA濃度も低下傾向を示したが、その後、再び急激に上昇し、酢酸濃度は3,000mg/Lを超えるに至った(Fig.7)。この時点でのアンモニア態窒素濃度は3,000mg/Lを超えており、アンモニアによるメタン発酵阻害が顕著になったと考えられる(Fig.8)。これは、魚アラに高濃度に含まれるタンパク質が

分解してアンモニアが生成したためである。そのため、魚アラを生ごみと混合処理する場合、魚アラの混合割合を低下させるか、あるいは水をさらに投入して過剰のアンモニアを希釈する必要があると考えられる。

上述のように、10%の魚アラを生ごみに混合した場合、アンモニアによる阻害が生じ、安定した運転の継続が困難であることが示された。したがって、希釈水量を増加するなどの対策を施さないとすれば、魚アラを10%混合した生ごみの連続安定メタン発酵は難しいと判断される。

そこで、生ごみ魚アラスラリを同重量の水で希釈した生ごみ魚アラスラリ1/2を原料とし、連続混合処理試験を行った。

前述と同様にリアクタを立ち上げ、T-CODcr容積負荷6.7kg/m³/dayで定常運転に移行した。この時のHRTは10

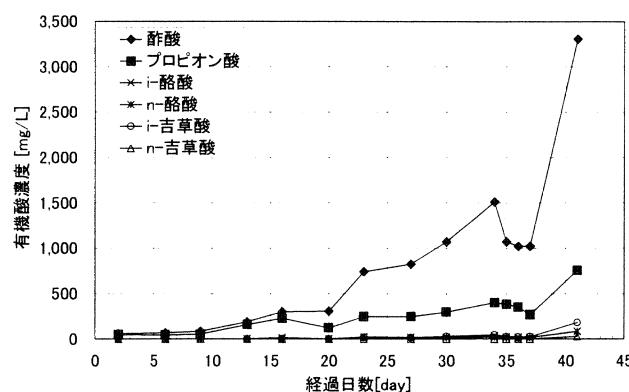


Fig.7 VFA組成の経日変化

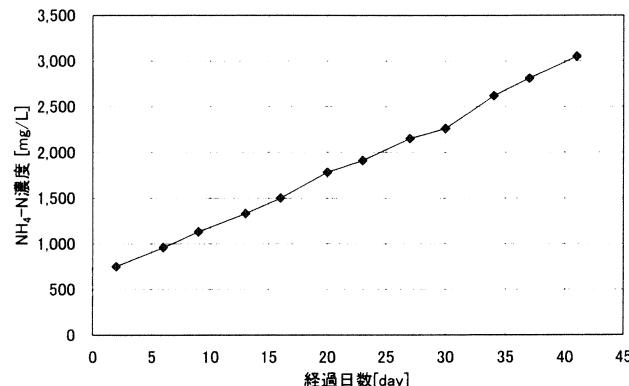


Fig.8 リアクタ内アンモニア濃度の経日変化

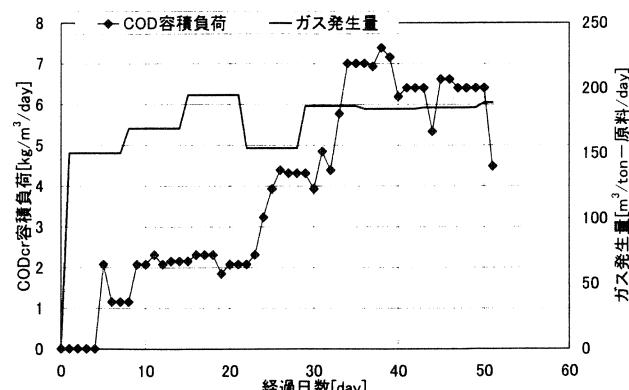


Fig.9 CODcr容積負荷と投入廃棄物1トン当たりの
バイオガス発生量の経日変化(生ごみ魚アラスラリ1/2)

日であった。

定常運転中、VFAは比較的高い濃度ではあるが安定した挙動を示しており(酢酸換算で2,400~3,600mg/L),著しく濃度が増加する傾向は示さなかった。負荷上昇後は酢酸濃度が高くなる傾向があるが、定常運転期間において酢酸濃度、プロピオン酸濃度ともに1,000mg/L程度と許容範囲内であり、安定した運転が可能であると判断される。

定常運転時のT-CODcr, T-BOD, SS除去率は80%以上であることから、T-CODcr容積負荷6kg/m³/day(HRT10日)での運転において、メタン発酵における有機物の分解速度に問題はないと考えられる。

Fig.9にT-CODcr容積負荷と投入混合廃棄物1トン当たりのバイオガス発生量の経日変化を示す。定常運転時の投入廃棄物1トン当たりのバイオガス発生量は190m³であり、生ごみのみの場合と比べ、1.2倍のバイオガスが回収可能であると推定される²⁾。

以上のように、魚アラを生ごみに混合することでバイオガス回収量を増加させることができることが可能であることが示された。しかし、希釈倍率が低い場合にはアンモニアによるメタン発酵阻害の可能性があるため、10%魚アラを混合した場合は、スラリをさらに2倍程度にまで希釈する必要があると考えられる。

4. 実施設の設計検討

連続処理試験で得られたデータを元に、LCCO₂評価を行った。評価対象とした6通りのシナリオをTable8に示す。希釈倍率は、上述の連続処理試験のデータを基に決定した。また、算出のための主要パラメータの設定値をTable9に示す^{6,7)}。施設の規模は、生ごみあるいは生ごみとその他の廃棄物の混合物として50トン/日とした。なお、今回の試験結果

から、流動性、阻害性に問題のないレベルで廃紙、廃グリセリン、魚アラを混合した場合をシナリオ6とした。

「焼却分減量による削減」は、従来燃焼に使用していた化石燃料の削減による温暖化負荷量の削減、「収集」は収集車のCO₂排出による温暖化負荷量の増加、「バイオガス発電」は、バイオガス発電による購入電力削減及び買電による温暖化負荷量の削減、「発電機」及び「消費電力」は発電機及び処理システム全体での電力消費による温暖化負荷量の増加、「メタン発酵二次処理」では、好気処理によるN₂O排出による温暖化負荷量の増加、「焼却」「残渣輸送」「埋立」はそれぞれのプロセスにおける輸送車、重機のCO₂排出、焼却時のCO₂、CH₄、N₂O排出、埋め立て地でのCO₂、CH₄、N₂O排出による温暖化負荷量の増加とした。バイオリアクタの加温は発電機の廃熱を利用するものとした。

インベントリ分析の結果をTable10, Fig.10に示す。Table10に明らかな通り、建設時の発生温暖化負荷はリアクタの容量に大きく依存する。また、同容量のリアクタの場合も、発生バイオガス量が多い場合には発電機容量も大きく設計する必要があるために発生温暖化負荷も高くなつた(シナリオ6)。

表に示すインベントリ解析において、運用時の発生温暖化負荷は、バイオガス化施設における負荷から焼却施設における生ごみ減量による削減分を引いた値とした。全てのシナリオで、施設操業時の発生温暖化負荷はマイナスとなり、バイオガス化施設で有機性廃棄物を処理することにより温暖化負荷を削減することが可能であることが分かる。生ごみのみを処理するシナリオ1では、建設・解体時の発生温暖化負荷を8年程度の施設操業で回収可能であった。また、最も大きな発生温暖化負荷の削減が可能であるシナリオ4では、建設・解体時の発生温暖化負荷を5年程度の施設操業で回収

Table8 各シナリオの設定条件

シナリオ	1	2	3	4	5	6
処理対象物						
生ごみ [ton/日]	50	44.6	47.5	45	45	44
廃紙 [ton/日]		5.4				2
廃グリセリン [ton/日]			2.5	5		2
魚アラ [ton/日]					5	2
総処理量 [ton/日]	50	50	50	50	50	50
最大CODcr容積負荷 [kg/m ³ /day]	18	4.5	20	27	7.0	7.0
原料希釈倍率 [倍]	2	18	2	2	4	2
HRT [day]	10	10	10	15	10	10
リアクタ容積 [m ³]	1,000	9,000	1,000	1,500	2,000	1,000
バイオガス回収量 [m ³ /day]	8,000	13,000	9,500	13,500	9,500	10,692
ガス発生率 [m ³ /m ³ -reactor/day]	8.00	1.44	9.50	9.0	4.75	10.7

Table9 主要パラメータの設定値

建設・解体時		運用時	
項目	温暖化ガス排出量	項目	温暖化ガス排出量
	CO ₂		CO ₂
土木工事	1.54 kg-C/千円	収集に伴うCO ₂ 排出	5.3 kg-CO ₂ /ton生ごみ
土木・建設工事	1.2 kg-C/千円	購入電力CO ₂ 原単位	0.378 kg-CO ₂ /kWh
整備補修	0.84 kg-C/千円	発電効率	30 %
ブルドーザ(15t)	0.818 kg-C/千円	亞酸化窒素転換率	0.02 kg-N ₂ O-N/kg-N
ごみ収集車(10t)	0.859 kg-C/千円	買電電力CO ₂ 原単位	0.378 kg-CO ₂ /kWh
残渣輸送車(10t)	0.859 kg-C/千円	亞酸化窒素排出	50 gN ₂ O/tonごみ
		搬出に伴うCO ₂ 排出	0.6 kg-CO ₂ /ton生ごみ
		埋立に伴うCO ₂ 排出	0.2 kg-CO ₂ /ton生ごみ

Table10 インベントリ分析結果

建設・解体時の発生温暖化負荷

シナリオ	1	2	3	4	5	6	
建設・解体時	[ton-C/ton-生ごみ]	60.0	120.0	60.0	69.6	76.8	64.8

運用段階の発生温暖化負荷

シナリオ	1	2	3	4	5	6	
焼却分減量による削減	[kg-C/ton-生ごみ]	-7.75	-7.75	-7.75	-7.75	-7.75	
収集	[kg-C/ton-生ごみ]	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	
バイオガス発電	[kg-C/ton-生ごみ]	-30	-48	-35	-50	-35	-39
発電機	[kg-C/ton-生ごみ]	3	3	3	3	3	3
メタン発酵二次処理	[kg-C/ton-生ごみ]	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
消費電力	[kg-C/ton-生ごみ]	16.5	37.1	16.5	18.6	28.9	18.6
焼却	[kg-C/ton-生ごみ]	0.775	0.775	0.775	0.775	0.775	0.775
残渣輸送	[kg-C/ton-生ごみ]	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164
埋立	[kg-C/ton-生ごみ]	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
合計	[kg-C/ton-生ごみ]	-21.2	-19.0	-26.8	-39.5	-14.4	-29.1

建設時の温暖化ガス回収期間 [年]	7.7	17.3	6.1	4.8	14.6	6.1

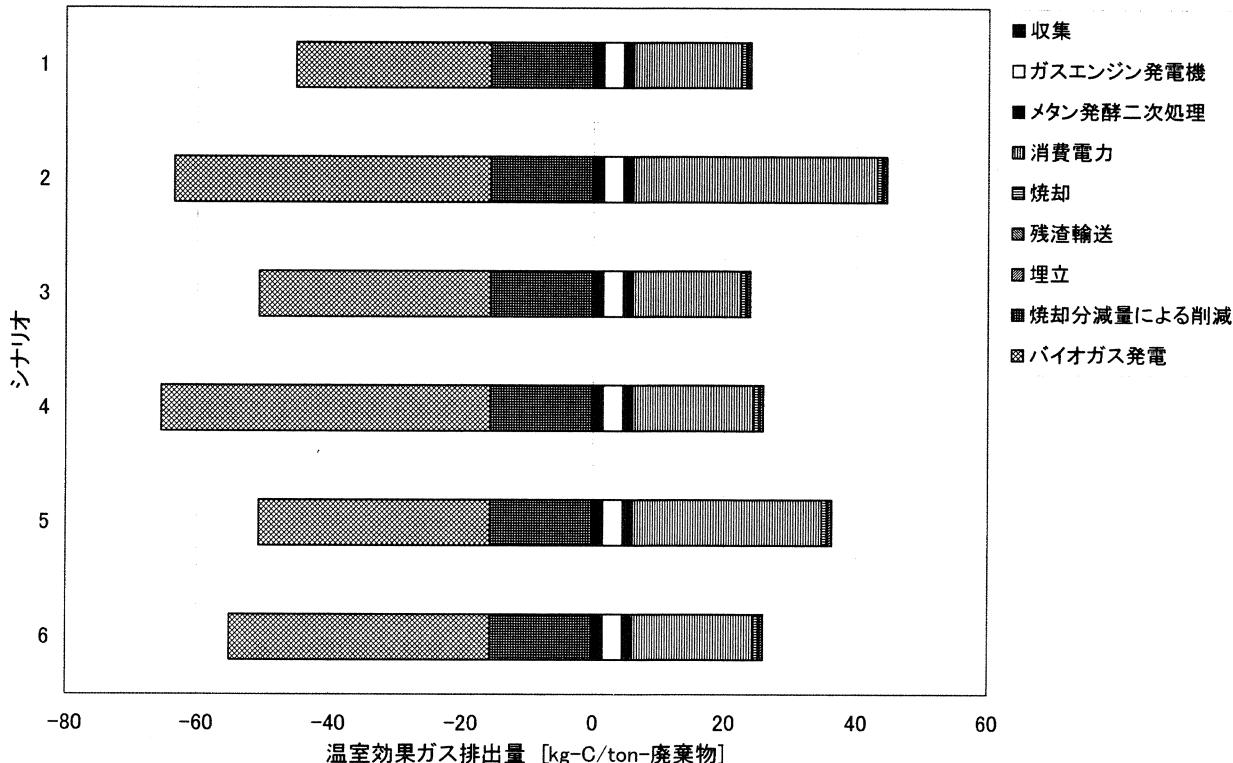


Fig.10 運用時のインベントリ分析結果

可能である。一方、リアクタ単位容積あたりのバイオガス発生率の低いシナリオ 2 およびシナリオ 5 は、建設・解体時の発生温暖化負荷を回収するのにそれぞれ 17 年、15 年程度かかることが分かった。

今回の試験に使用した魚アラ、廃紙、廃グリセリンをそれぞれ 4% 程度生ごみに混合したシナリオ 6 では、6 年程度の運転で建設・解体時の発生温暖化負荷を回収可能であり、シナリオ 3 とともにシナリオ 4 に次いで短い回収期間となつた。

今回の試験結果から、生ごみに混合した全ての廃棄物で投入廃棄物当たりのバイオガス回収量の増加が確認された。しかし、インベントリ解析の結果と併せて考えた場合、廃棄物を混合することで物理的要因(ポンプ輸送可能な流動性の確保など)あるいは生物的要因(メタン発酵阻害要因の軽減など)により希釈を伴う場合、生ごみとの混合処理が必ずしも

有利とはいえない場合がある。特に、バイオリアクタを中心とする施設の場合、発生温暖化負荷がリアクタ容積に大きく依存するため、生ごみとの混合処理施設の構築に際しては、希釈ができるだけ少なくできる工夫、配合が必要であると考えられる。

今回の試算では、発電効率を 30% として試算を行ったが、発電効率の設定値により回収期間は大きく変化する。Fig.11 にシナリオ 1 における発電効率と回収期間の関係を示す。しかし、発電効率が 40% を超えてくると、発電効率の向上に伴う回収期間の短縮への影響は小さくなってくることが分かる。そのため、発電効率の向上だけでなく、バイオガス化プロセスの高効率化、小型化も重要な要素と考えられる。

Table11 連続処理試験総括表

混合対象		廃紙	廃グリセリン	魚アラ
混合割合 [%]		10.8	5	10
最大CODcr容積負荷 [kg/m ³ /day]		4.5	20	27
HRT [day]		10	10	15
バイオガス回収増加量 [倍]		1.6	1.2	1.9

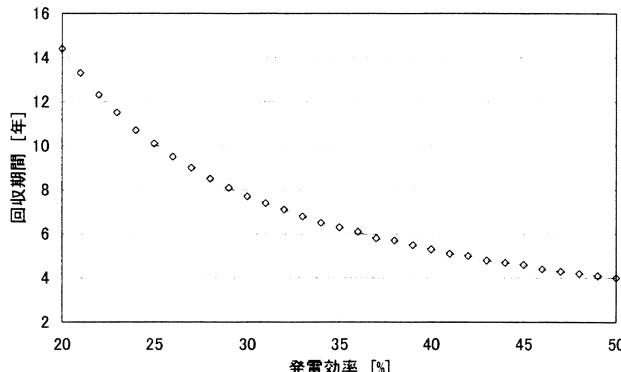


Fig11 発電効率と回収期間の関係

5.おわりに

バイアル試験より、廃グリセリン、魚アラは生ごみに高濃度で混合するとメタン発酵を阻害する可能性が示された。また、これらの廃棄物は生ごみよりも分解速度が遅く、高濃度に混合した場合、HRT を長くする必要があると考えられる。今回の試験結果によれば、廃グリセリン、魚アラともに生ごみへの混合率として 10%が許容限界であると考えられる。

連続処理試験により得られた結果を Table11 にまとめる。連続処理試験により、廃紙、廃グリセリン、魚アラとともに、生ごみと混合メタン発酵処理することで投入混合廃棄物 1 トン当たりのバイオガス発生量が増加することが確認された。特に、廃グリセリンはアンモニアによるメタン発酵阻害の原因となる窒素成分の含有量が少なく、バイオガス回収量の増加が顕著であるため、窒素成分の多い生ごみへの混合処理が有効であると考えられる。廃紙についても、同様に窒素成分の含有量が少ないため、原料の COD/N 比の調整に有効であり生ごみへの混合に適していると考えられる。ただし、廃紙を混合する場合には、スラリの流動性を確保するために投入水量を多くする必要があり、LCCO₂ の観点からは不利になる。

魚アラに関しては、タンパク質を多く含むため、分解によりアンモニアが生成しメタン発酵を阻害する可能性が高い。安定した連続処理を実現するためには、メタン発酵液中のアンモニア態窒素濃度が 3,000mg/L 以下となるように原料スラリを希釀する必要がある。

魚アラ、廃紙、廃グリセリンをそれぞれ 4%程度生ごみに混合した場合、6 年程度で建設・解体時の発生温暖化負荷を回収可能であった(Table10)。今回の試験結果から、生ごみに混合した全ての廃棄物で投入廃棄物当たりのバイオガス回収量の増加が確認された。しかし、インベントリ解析の結果によれば、混合処理を可能とするためにリアクタ容量等の

条件の設定が必要となり、生ごみとの混合処理が必ずしも有利とは言えない場合もあると考えられる。投入希釀水量を低減できる技術の開発が今後の大変な課題の一つである。

今回検討した廃棄物以外にも、生ごみへの混合によりバイオガス回収量の増加を見込める他の廃棄物は存在すると考えられる。今後、バイオガス化施設の導入には、導入地域の特性を生かした原料の配合を検討する必要があると考えられる。

謝辞

今回の生ごみとその他の廃棄物系バイオマスの混合処理実験において使用した廃グリセリンおよび魚アラ試料は、京都市環境局殿にご提供いただいた。ここに感謝の意を表する。

[参考文献]

- 1) Speece, "産業排水処理のための嫌気性バイオテクノロジー", 技法同出版(1999), pp123-137
- 2) 多田羅昌浩, 佐藤進, 東郷芳孝, 用水と廃水, Vol.38, pp39-44(1996)
- 3) Tatara M., A. Yamazawa, Y. Ueno, H. Fukui, M. Goto and K. Sode, *Bioprocess Biosyst Eng*, Vol.27, pp105-113(2005)
- 4) Speece, "産業排水処理のための嫌気性バイオテクノロジー", 技法同出版(1999), pp53-54
- 5) 東郷芳孝, 多田羅昌浩, 後藤雅史, 鹿島技術研究所年報, Vol.47, pp135-140(1999)
- 6) 渡辺勇, 小松俊哉, 姫野修司, 藤田昌一, 環境工学研究論文集, Vol.40, pp311-320(2003)
- 7) 酒井伸一, 平井康宏, 吉川克彦, 出口晋吾, 廃棄物学会論文誌, Vol.16, No.2, pp173-187(2005)