

事業番号：J1701

事業名：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

技術開発担当・照会先

住 所 東京都調布市飛田給 2 - 1 9 - 1
所属名・職名 鹿島建設(株)技術研究所 地球環境・バイオ Gr グループ長
氏 名 後藤雅史
電話番号 0424-89-7422 ファクシミリ 0424-89-2896 E-mail m-goto@kajima.com

1. 目 的

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必要とされている。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では、原料の一部が有機性廃棄物（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、店舗や魚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されるバイオマスと考える事もできる。

そこで、これらの有機性残渣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（たとえば、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。

生ごみの高温メタン発酵については、技術的にもすでに確立されており、各地で実施設が稼働しているが、メタン発酵を阻害する要因を含む可能性のある廃棄物系バイオマスのメタン発酵特性は不明である。そこで、想定される再処理施設残渣のメタン発酵アッセイ、性状分析を実施し、これらのデータを元に、それぞれの廃棄物系バイオマス、再処理残渣のメタン発酵性を評価する。

さらに、生ごみに対するその他廃棄物系バイオマスの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、実施設の設計・稼働時における課題の抽出、解決策の確立を行う。

2. 開発内容

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を構築する。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再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する。対象とする具体的なバイオマスとは、生ごみ（事業系または家庭系の分別生ごみ）、生ごみに加えるその他の廃棄物として、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、生ごみに対する処理施設残渣の許容混入率を試験的に検証する。さらに、想定される処理施設残渣発生量を基にした実施設の設計検討を行い、回収可能なエネルギー資源量の推定、システム全体の LCCO₂ 評価を実施する。

3. 試験内容

バイアル試験：300mL 容のバイアルに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後，各混合割合で調整した原料を添加し，55℃に制御した恒温槽内でバッチ培養する。バイアルの内容物は，マグネティックスターラにて常時攪拌した。生成バイオガスはテフロンバッグに回収し，メタン発生量を計測する。試験は，各原料毎に3バイアル同時に，2反復（合計6バイアル）の試験を行い，結果を平均化した。廃グリセリンの割合は0%から33.5%とし，投入COD（硫酸酸性重クロム酸法COD）量（初期濃度）を3kg/m³から4kg/m³，魚アラの割合は，0%から33.3%とし，投入COD量（初期濃度）を約3kg/m³とした。

連続処理試験：バイアル試験はバッチ試験であるため，リアクタの長期安定性，バイオガス回収量を正確に把握することは困難である。そこで，連続式リアクタを用いた運転を行い，処理特性の把握を行った。試験に用いた連続試験装置は，バイオリアクタ部有効容積3L，10L，30Lの3種であるが，基本的な構成は同じである。

試験に供した廃棄物は，生ごみ及び混合廃棄物として，シュレッダー廃紙，廃グリセリン（BDF製造廃棄物），魚アラを使用した。

4. 試験結果および考察

廃グリセリン（バイアル）：供試廃グリセリンのCOD，BOD（5日間BOD）は，共に非常に高濃度であり，n-Hex抽出物量も高い。また，BDF製造過程で水酸化カリウムをエステル化触媒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，リン濃度は低い。窒素，リン濃度の高い生ごみとの混合はバイオガス生成量の増大につながる可能性を持っている。

バイアル試験における積算バイオガス生成量の経日変化を図1に示す。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，廃グリセリンは生ごみに比べ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，高混合率での処理はメタン発酵の不安定化を引き起こす可能性があり，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10%程度であると考えられる。

魚アラ（バイアル）：供試した魚アラの全窒素（T-N）濃度，タンパク質濃度およびn-Hex抽出物量，脂質濃度が高いことから，高混合率とした場合，アンモニア態窒素および脂肪酸による阻害が顕在化する可能性があると考えられる。図2に示すとおり魚アラの混合率が10%を超えると積算バイオガス量が急激に低下する。このことと，上記分析結果から，魚アラ中のアンモニア或いは脂肪分が発酵を阻害している可能性が高い。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，生ごみに比べ難生分解性であると考えられる。したがって，高混合率の魚アラとの混合処理は，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，魚アラの混合率は最大で10%程度であると考えられる。

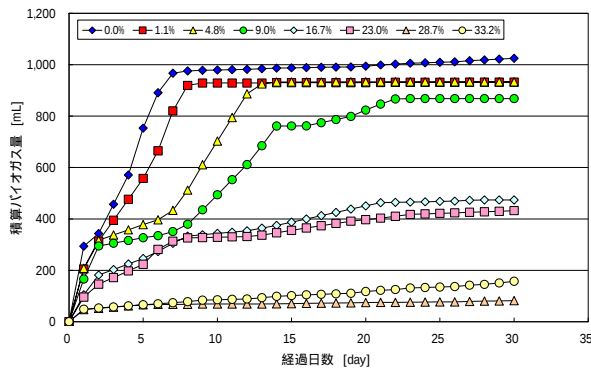


図 1 廃グリセリンのバイアル試験結果

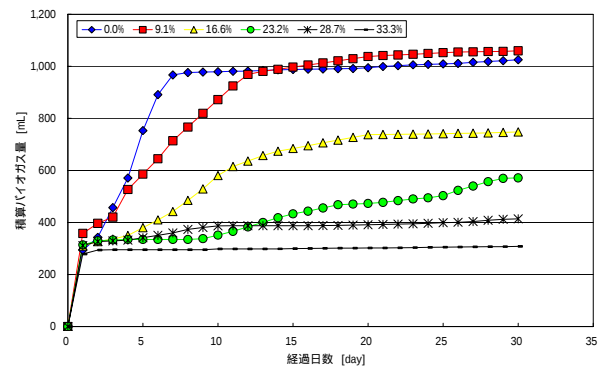


図 2 魚アラのバイアル試験結果

廃紙と生ごみの混合連続処理：廃紙（混合率 10.8％）との混合処理試験では，COD 容積負荷を増大しても，高い除去率で安定運転が可能であった。試験期間を通し，全 BOD 除去率は 90％，全 COD，SS 除去率は 80％をおおむね超えていた。投入廃棄物 1 トンあたりのバイオガス発生量は，水理的滞留時間（HRT）10 日での定常運転において約 260m³であった。これは，廃紙を混合することで投入廃棄物 1 トンあたり生ごみのみの場合の約 1.6 倍のバイオガスが回収可能であることを意味する。ただし，スラリの流動性を維持するために 8 倍量の加水が必要であった。

廃グリセリンと生ごみの混合連続処理：廃グリセリン混合率 5％のバイオリアクタを COD 容積負荷 20kg/m³/day，HRT 約 10 日で連続運転したが，試験期間を通じて有機酸の蓄積は観察されず，メタン発酵は安定していたと考えられる。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であり，生ごみのみを処理した場合より 1.2 倍量のバイオガスを回収可能であることが確認された。混合率を 10％に増大した試験では，COD 容積負荷 27kg/m³/day，HRT15 日まで，安定した定常運転が可能であった。容積負荷 20 kg/m³/day までは，全 COD，全 BOD，SS，n-Hex のすべての除去率が 90％以上と極めて高い値であった。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。定常運転時における投入廃棄物 1 トンあたりのバイオガス発生量は約 300m³であり，生ごみのみを処理する場合に比べ 1.9 倍量のバイオガスが回収可能であることが確認できた。生ごみ/廃グリセリンスラリを用いた連続処理試験より，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幅に増加させることができることが確認できた。

魚アラと生ごみの混合処理：魚アラ混合率 10％の場合，COD 容積負荷 15kg/m³/day，HRT10 日で定常運転に移行したが，VFA 濃度が上昇傾向を示したため COD 容積負荷 10kg/m³/day，HRT15 日に負荷を軽減した。しかし，一旦，低下傾向を示した VFA 濃度が急激に上昇し，不安定な運転状況となった。この時のアンモニア濃度は 3,000mg-N/L を超えており，アンモニアによるメタン発酵阻害を生じたと考えられる。元来，魚アラにはタンパク由来の窒素が高濃度に含まれており，アンモニア態窒素濃度低減策を採用しない場合，混合率 10％で安定運転を維持することは困難であると考えられる。そこで，魚アラ混合生ごみスラリに等量加水したスラリによる連続試験を行ったところ，COD 容積負荷 7kg/m³/day，HRT10 日で安定した連続運転を維持することが可能であった。この時の全 COD，全 BOD，SS 除去率の関係を示す。定常運転時の除去率は 80％以上であった。定常運転時の投入廃棄物 1 トンあたりのバイオガス発生量は約 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った。

魚アラを生ごみに混合することでバイオガスの回収量を増加させることが可能であることが示された。しかし、希釈倍率によってはアンモニア障害の可能性があるため、10%魚アラを混合した場合には、生ごみのみのスラリにさらに加水してアンモニア濃度を調整する必要があると考えられる。

LCCO₂の検討：廃棄物混合比を変えた6種のシナリオを設定し、それぞれの施設の温暖化負荷を検討した。その結果、建設時に発生する温暖化負荷はリアクタの容量に大きく依存することが示された。また、運用時に発生する温暖化負荷は、全てのシナリオでマイナスとなり、今回試料とした廃棄物をバイオガス化施設で処理することにより、温暖化負荷を削減可能であることが示された。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4年程度で回収可能であった。また、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条件（シナリオ6）では、2.7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。

5. まとめ

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。廃グリセリン、魚アラともに、生ごみへの混合率は10%が限界であると考えられる。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。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、処理時間を長く設定する必要があると考えられる。

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（表1）。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るため、窒素成分の多い生ごみへの混合処理は有効であると考えられる。廃紙に関しても原料中の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。しかし、廃紙を混合処理する場合には流動性維持に留意する必要がある。

インベントリ解析の結果（表2）と併せて考えた場合、混合することで物理的要因（流動性等）、生物的要因（阻害等）緩和のために多量の加水が必要となる場合、生ごみとの混合処理が必ずしも有利とは言えないと考えられる。

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る。

表1 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	10
最大CODcr容積負荷	[kg/m ³ /day]	4.5	20	27	7.0
HRT	[day]	10	10	15	10
バイオガス回収増加量	[倍]	1.6	1.2	3.0	1.2

表2 インベントリ分析結果

シナリオ		1	2	3	4	5	6
建設・解体時	[kg-C/ton-生ごみ/年]	164.4	328.8	164.4	190.7	210.4	177.5
運用時	[kg-C/ton-生ごみ/年]	-41.7	-24.7	-59.3	-98.6	-13.9	-65.7