

## メタン発酵効率向上のための難生分解性物質前処理技術の開発

○山澤 哲、後藤 雅史、多田羅昌浩

鹿島建設(株)技術研究所

**概要:** 筆者らは、高温メタン発酵システム(メタクレス)を有効に適用できる廃棄物種の拡大を目指している。特に、国内の下水処理場などから年間1億トン(湿ベース)に近い量が排出される余剰汚泥は主として微生物バイオマスであり、メタン発酵にはほぼ理想的なC(COD<sub>Cr</sub>):N:P比を維持しながらもそのガス化率(分解率)は極めて低い。

本研究では、水の断熱膨張を応用した物理的前処理装置を製作し、メタン発酵の前プロセスとして使用することで余剰汚泥の生分解性改善を試みた結果、生分解性の向上が可能であることが示された。しかしながら、生分解性の改善が直接メタン発酵特性、とりわけガス化率(分解率)の向上につながらない場合があることも明らかとなった。

**キーワード:** 難生分解性、前処理、可溶化、爆砕、メタン発酵

### 1 研究目的

余剰汚泥をはじめとする生物系廃棄物の多くは、含水率が高くかつ易腐敗性であるため、安定化、減量・減容処理が不可欠である。しかし、含水率が高い故に焼却処理には適さない場合も多い。

これまでも報告してきたように、鹿島建設(株)が開発・商品化をおこなった高温固定床型下降流嫌気発酵システム(商品名:メタクレス)の場合、事業系生ゴミに対しては極めて高いガス化率を実現している<sup>1,2,3)</sup>。実規模プラントの運転実績によれば、プラスチックや金属類、ビニールなどの異物を除去し、適切な前処理を施した高濃度の生ゴミスラリーの場合、バイオリアクタに投入した有機物の80~85%程度をバイオガスとして回収可能であった。一方、年間発生量(湿ベース)が1億トン<sup>4,5)</sup>に近い余剰汚泥は、微生物が利用し難い構造の有機物を多量に含んでおり、生ゴミなどと同じ方法ではガス化率を望ましいレベルに維持することが困難であった。余剰汚泥の分析データによるとCOD<sub>Cr</sub>:N:P比は360:23:10程度であり、窒素やリンの不足は問題にならない。しかし、BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub>比は、0.10程度であり、生ゴミ(同比は、約0.7~0.9以上)に比べると生分解性はかなり低い。

そこで本研究では、余剰汚泥の生分解性改善のため水の断熱膨張を応用した爆砕処理装置(加熱・加圧・減圧処理装置)を製作し、メタン発酵の前処理プロセスとしての有効性を検討した。

### 2 実験装置

#### 2-1 爆砕処理装置(120℃)

Photo 1に120℃爆砕処理装置を示す。本実験で使用した爆砕処理とは、余剰汚泥など含水率の高い廃棄物を1気圧程度(密閉系で約120℃)の加熱・加圧状態から急激に大気開放することに

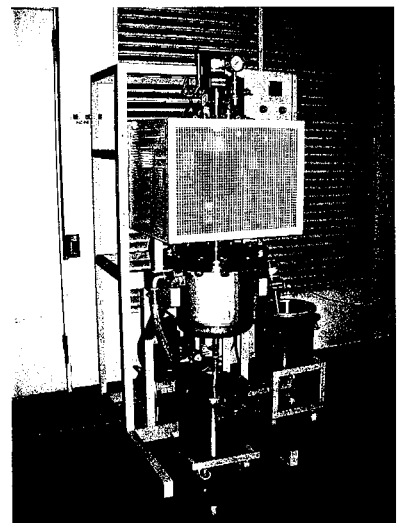


Photo 1 Heating/Pressure-Reduction Liquefier (120 C).

よって内部水を突沸させ、細胞を破壊する比較的穏やかな条件における物理処理を実現するものである。本装置の加圧容器容量は5L、加熱に要する時間は4°Cから120°Cまで20分程度である。試料を加圧容器に投入後、任意の温度まで加熱し、任意の保持時間経過後に電磁弁が解放され突沸を生じさせる。本方法は、分子量が大きくまた構造が複雑な有機体を改変あるいは低分子化しようとするものである。例えば、余剰汚泥や植物体の場合、比較的強固な細胞壁や組織構造が存在するが、この細胞壁構造を壊して内部の有機物を外部に流出させることによって、メタン発酵性の改善が期待できる。また、強固な高分子成分であるリグニンによって堅牢な構造を持つ植物体に対しても、フィブリルなどの繊維状構造や、さらには細胞壁を壊す効果が期待できるので、様々な難生分解性有機物に対して効果があるものと予想される。

### 2-2 爆砕処理装置 (230°C)

230°C爆砕処理装置は原理的には前述の120°C爆砕処理装置と同様であるが、加熱可能温度が230°C(密閉系で約25気圧)でありフィブリル、細胞壁等の生物構造をより効率的に破壊する効果が期待できる。本装置の加圧容器容量は500mL、加熱に要する時間は4°Cから230°Cまで30分程度である。

### 2-3 バッチ発酵試験装置

Photo 2、3にバッチ発酵試験装置を示す。小スケールで多くの条件を検討する場合、Photo 2の装置を用いた。容量500mlあるいは250mlの広口耐熱ビンを用い、容量の6割程度の種汚泥に対して試料を添加し、メタン発酵性試験を実施した。また、条件を絞ってより再現性のあるデータを得る場合にはPhoto 3の装置を用いた。この場合、容量10Lのジャーファーメンターを用い、6Lの種汚泥に対して試料を添加し、メタン発酵性試験を実施した。どちらも温度を55°Cに保ち、緩やかに攪拌を行った。

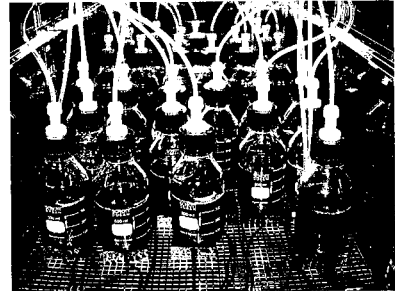


Photo 2 Vial-assay apparatus (0.5L).

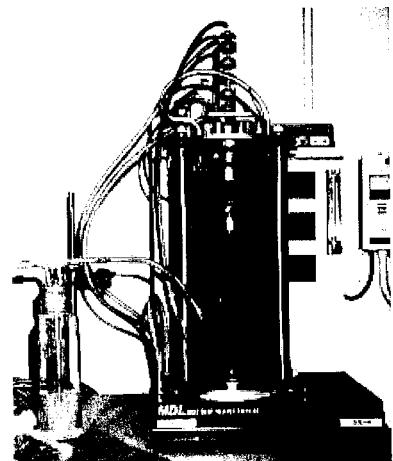


Photo 3 Bench-scale jar fermenter (10L).

## 3 研究方法

### 3-1 爆砕処理試験

爆砕処理装置に試料を入れ、爆砕温度を80~230°Cの間で設定し、処理を行った。保持時間は0~60分間で設定し、比較検討を行った。処理後の試料は密閉容器に入れ、4°Cにて保存し、成分分析及びメタン発酵試験に供した。

### 3-2 メタン発酵性試験

すべてのメタン発酵性試験には、生ゴミを与えて培養した高温メタン発酵汚泥を植種として供した。この種汚泥は、多様な有機物に有効であり、かつ、できるだけ平均的な結果を得ることができるように、常に大量のメタン発酵微生物(汚泥)を、事業系生ゴミを与えて継代培養したものである。

メタン発酵性は有機物濃度に依存するため5~15kg-CODcr/m<sup>3</sup>-反応器程度の初期負荷条件として評価を行った。メタン発酵性試験に於いては、メタン発酵槽にガス捕集袋を接続し、ガス発生量、ガス組成を測定した。ガス発生量の測定は原則として一日一回、同時刻に実施し、ガス組成の測定はガスクロマトグラフィあるいは検知管を用いて行った。対照実験は、試料のかわりに試料と同容量の蒸留水を種汚泥に添加し、実施した。

4 研究成績概要

4.1 余剰汚泥の生分解性改善と可溶化

4.1-1 爆砕温度の効果

農村集落廃水処理場由来の余剰汚泥の、爆砕温度の違いによる生分解性改善と可溶化の効果を Fig. 1～3 に示した。

Fig. 1 は好氣的生分解性の指標である BOD<sub>5</sub> の変化を示しているが、爆砕温度が高くなるにつれて全 BOD<sub>5</sub>(T-BOD<sub>5</sub>) 濃度および溶解性 BOD<sub>5</sub>(S-BOD<sub>5</sub>) 濃度の上昇が見られ、処理温度が高いほど生分解性が改善されることがわかった。

一方、可溶化の指標である固形分(SS, VSS) 濃度の変化を Fig. 2 に示した。120℃までの処理では若干の可溶化効果しかみられないが、230℃処理によって固形分濃度は未処理と比較して半分程度にまで低下しており、高い可溶化効果が確認された。このことは、230℃処理によって全 BOD<sub>5</sub> の約 75% が溶解性 BOD<sub>5</sub> によって占められていることから裏付けられる。また、230℃処理ではタンパクの可溶化にも特に高い効果が見られた(Fig. 3)。

なお、有機物絶対量の指標となる全 COD<sub>Cr</sub>(T-COD<sub>Cr</sub>) 濃度は各爆砕温度において変化はなく、約 20,000mg/L で一定であった(Data not shown)。このことは、爆砕処理が穏和な条件であるため処理によって試料に含まれる有機物が不要な酸化を受けていないことを示し、嫌気発酵で回収可能な潜在的エネルギー量が減少しないことが示唆される。

4.1-2 保持時間の効果

農村集落廃水処理場由来の余剰汚泥の、爆砕温度 120℃における保持時間の違いによる生分解性改善と可溶化の効果を Fig. 4～6 に示した。

Fig. 4 は好氣的生分解性の指標である BOD<sub>5</sub> の変化を示しているが、保持時間が長くなるにつれて全 BOD<sub>5</sub>(T-BOD<sub>5</sub>) 濃度の上昇が見られ、保持時間が長いほど生分解性は改善されることがわかった。

一方、可溶化の指標である固形分(SS) 濃度の変化は 0～60 分の保持時間を通して大きな変化は見られず、25,000mg/L 程度であった(Data not shown)。ただし、全 COD<sub>Cr</sub> は処理時間によらず一定であったが、溶解性 COD<sub>Cr</sub>(S-COD<sub>Cr</sub>) は爆砕処理によって大きく増加し、更に保持時間が長くなるにつれて若干の可溶化促進効果みられた(Fig. 5)。

また、タンパクについては保持時間の増加とともに全粗タンパク(T-粗タンパク) 濃度に占める溶解性粗タンパク(S-粗タンパク) 濃度の割合が増加しており、可溶化が促進されていることが示された(Fig. 6)。全粗タンパク濃度は保持時間 5 分まで減少傾向にあり、120℃で保持することによる初期段階におけるタンパク質の分解あるいは変質の促進が示唆された。

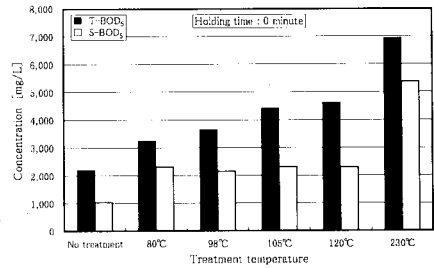


Fig. 1 Treatment temperature v.s. effects on BOD<sub>5</sub>.

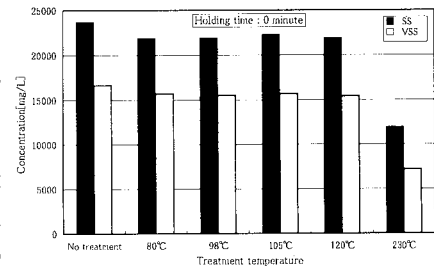


Fig. 2 Treatment temperature v.s. effects on solids.

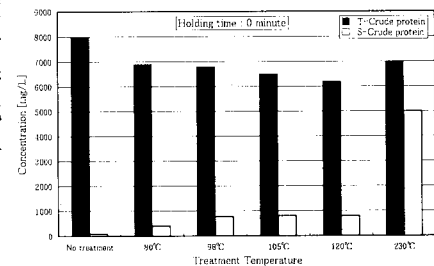


Fig. 3 Treatment temperature v.s. effects on proteins.

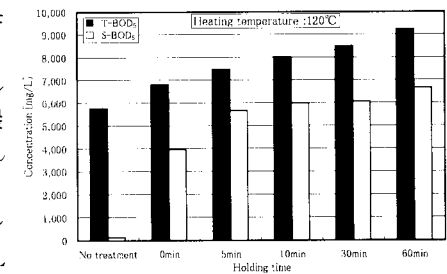


Fig. 4 Treatment duration v.s. effects on BOD<sub>5</sub>.

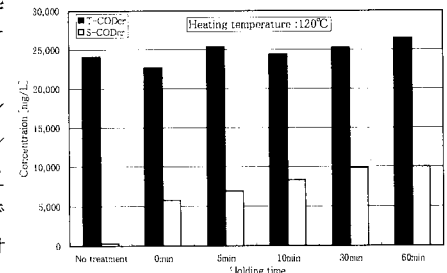


Fig. 5 Treatment duration v.s. effects on COD.

#### 4-2 発酵性改善の検討

余剰汚泥の爆砕処理の有効性についてバッチ発酵試験を行った結果を Fig. 7, 8 に示す。どちらも種汚泥順養時の残留有機物の影響を排除するため試料未添加の対照実験のガス発生量を差し引き、更に2系列分の実験の平均値を示した。

爆砕温度の違いについて検討を行った結果、80, 105℃処理では未処理の場合よりも発酵性の悪化がみられ、回収可能バイオガス量は未処理の場合と比べて半分以下であった。一方、230℃処理の場合は若干の発酵特性の改善が見られ、回収可能バイオガス量は2割ほどの増加が観察された (Fig. 7)。

爆砕処理加熱後の保持時間が発酵特性へ与える影響を、120℃処理の場合について検討した結果、保持時間60分の場合には明らかにメタン発酵性が改善され回収可能バイオガス量は2割ほど増加した (Fig. 8)。

### 5 結論と考察

230℃の爆砕処理において、顕著な可溶化と生分解性改善効果が観察され、メタン発酵特性に改善が見られた。しかし、より可溶化が促進される長い保持時間処理の場合、メタン発酵特性の改善は見られなかった。

処理温度・保持時間と可溶化率ならびにメタン発酵性の相関については、現在、連続式発酵試験を含め解析を継続しているが、可溶化・低分子化反応と同時に再重合反応、凝固反応などの変性反応も保持時間とともに進行するものと予想され、このような前処理によって好気性微生物による生分解性 (BOD<sub>5</sub>) の向上あるいは可溶化の促進が観察されてもメタン発酵特性が改善されない場合もあることが示された。

### 6 謝辞

本研究の一部は(社)農林水産技術情報協会課題事業「水と緑のやすらぎ生活空間創造技術開発」の一環として実施された「農村集落における自己完結型廃棄物処理システムの開発」プロジェクトの成果の一部である。ここに感謝の意を表したい。

### 参考文献

- 1) 東郷、多田羅、後藤; 生ごみの高温メタン発酵処理システム、鹿島技術研究所年報、第47号 (1999) pp.135-140.
- 2) 東郷、多田羅、後藤; 生ごみのバイオガス化と燃料電池発電の組合わせシステム、鹿島技術研究所年報、第48号 (2000) pp.131-136.
- 3) 多田羅、東郷; 焼酎粕の高温メタン発酵処理実証実験、鹿島技術研究所年報、第46号 (1998) pp.203-208.
- 4) 環境省; 環境白書(平成13年版)、ぎょうせい (2001).
- 5) 生物系廃棄物リサイクル研究会; 生物系廃棄物のリサイクル、の現状と課題、生物系廃棄物リサイクル研究会 (1998).

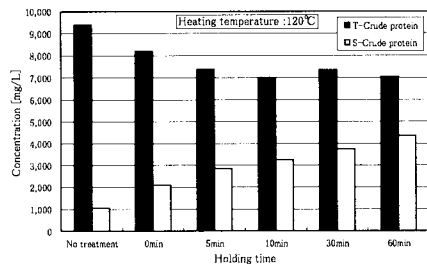


Fig. 6 Treatment duration v.s. effects on proteins.

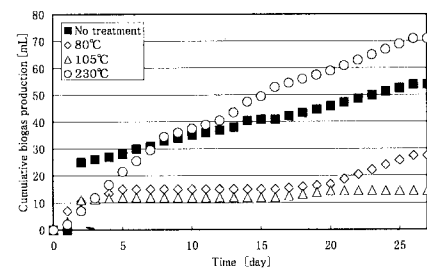


Fig. 7 Effects of Heating/Pressure treatment temperature on Biogasification (excess sludge).

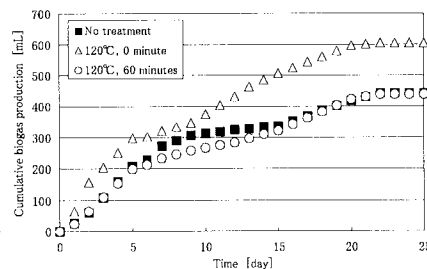


Fig. 8 Effects of Heating/Pressure treatment duration on Biogasification (excess sludge).