

廃棄物系バイオマスの易加水分解性成分に着目した2相式メタン発酵槽の 運転条件に関する研究 ～最適な加水分解期間について～

(株)富士クリーン 正会員 ○新岡 知熙
岡山大学 学生会員 Peni A. Notodarmojo
岡山大学 学生会員 G. Amanuel Tesfay
岡山大学 正会員 藤原 健史

1. はじめに

地球温暖化の抑制のために、石油や石炭の依存度が低い循環型社会へと変革することが求められており、高い蓄積性・代替性、賦存量の多さ、カーボンニュートラル性を有する廃棄物系バイオマスは、現在、再生可能エネルギーとして活用が進んでいる。¹⁾地域における循環型社会への取り組みとして、食品廃棄物や浄化槽汚泥、家畜糞などの廃棄物系バイオマスを、発生源である事業所が独自にメタンガス化や堆肥化するケースがある。岡山大学は生ごみ、剪定枝、実験農場ごみ、動物糞などを大量に排出する大規模事業所であり、その処理の多くを外部に依存している。本研究では、事業所内でエネルギー利用を含めた廃棄物系バイオマスの小循環システムを形成し低炭素化を図ることを目的とし、それにふさわしいメタン発酵・堆肥化システムを検討する。小さい面積に設置でき、建設・運転コストも抑えることを考えて、次の理由で固液分離型2相メタン発酵システムを選択した。図-1に示す従来型の1相システムでは基質を一定温度で長期間嫌気性処理するために消化槽が大きくなり、建設・運転(保温)コストも高くなる。一方、2相システムでは一定期間基質を可溶化させた後、固液分離して液相のみをメタン発酵させる。この方式で可溶化期間を短くとり、易加水分解成分だけをメタン発酵するのであれば、全体の処理時間を短縮でき、消化槽の設置面積やコストの面で有利になると考えた。未分解の有機物は、固形物に含まれて堆肥化の原料となるため有効に使われる。

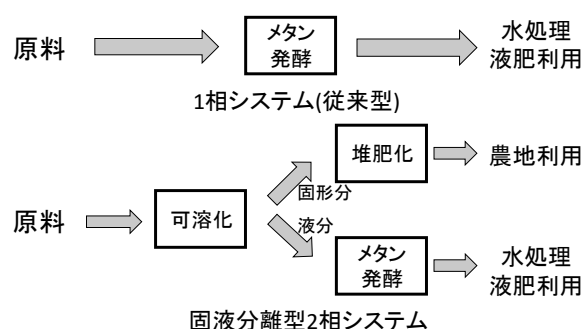


図-1 1相システムと2相システム²⁾

そこで本研究では、前段の可溶化の運転日数と後段のメタンガス発生量との関係を把握するための回分運転実験を行った。その際に、メタン発酵の合理的な打ち切り方法について定めた。比較として1相システムの連続運転データを収集した。実験の結果から、最適な可溶化の運転日数を明らかにし、1相システムとの比較を行った。なお実験ではpH調整のためにアルカリを、1相システムでは実験開始から、2相システムでは固液分離後のメタン発酵から投入しており、このアルカリ投入量についても比較評価した。

2. 実験方法

(1)実験の装置と手順

図-2に実験で用いる反応容器(2L 広口瓶)と恒温槽(幅約 440mm×奥行約 660mm×高さ約 320mm のケース)を図に示す。恒温槽の水は電気ヒーター、温度コントローラおよび温度センサー、水流装置で常時 37℃に制御する。容器内の pH は挿入口②(直径約 15mm タピオカストロー)に HORIBA LAQUAact ロング ToupH 電極

キーワード 廃棄物系バイオマス, 2相式メタン発酵システム, 可溶化期間

連絡先 〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科 藤原健史

T E L 086-251-8994, Email takeshi@cc.okayama-u.ac.jp

を挿し込んで測定し、挿入口⑤(GC用セプタム)よりアルカリ液をニードルシリンジで添加する。発生ガスはガスバッグで捕集し、ニードルシリンジで④(クリーム W 栓：劣化防止のためにパラフィルムで覆う)から引き抜き定量する。①のシリコン栓の周りはパラフィルムとシールテープで被い、③の回転子は攪拌力を補うためシリコンチューブを被せる。ガスバッグの2つの口には開閉弁が付いている。ガス中のメタン濃度はガスクロマトグラフ(島津製作所(株)製 GC-2014)で測定する。

図-3 に 1 相式と 2 相式の実験の流れを示す。まず、実験材料として白米とキャベツを選んだ。1 相式の実験系では白米 56g、キャベツ 264g、水道水 960g を加え、さらに全体量 1600g の 20%(w/w)に相当する量の種汚泥 320g を加える。種汚泥は A 市下水処理場の消化槽汚泥を採取して培養したものである。pH が安定するまで 10N 水酸化ナトリウム水溶液を加えて pH を制御し、ガス量とメタン濃度を最大 30 日間測定する。2 相式の系では、白米 84g、キャベツ 396g に水道水 1440g だけを加えて、3 日、6 日、12 日の 3 つの可溶化期間を設けて、37°C に維持しながら攪拌する。その後、固液分離を行い、その液分 1280g に 1 相式と同じ種汚泥を全体量 1600g の 20%(w/w) に相当する 320g 加えて 37°C に維持しながら攪拌し、pH が安定するまでアルカリを加えて pH を維持し、発生するガスを採取し、ガス量とメタン濃度を測定する。固液分離には市販の台所用水切りネットを利用し、茶巾状にして固液を分離し、最後にネットを絞って液分を切る。実験数は実験条件につき N=2 の系列数を準備する。

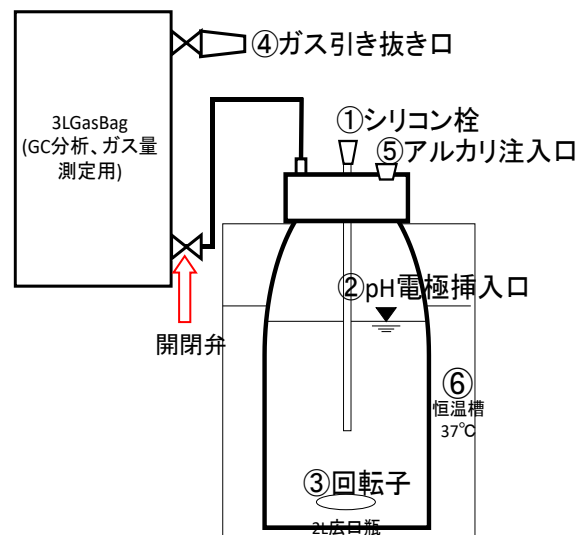


図-2 恒温槽の概略図

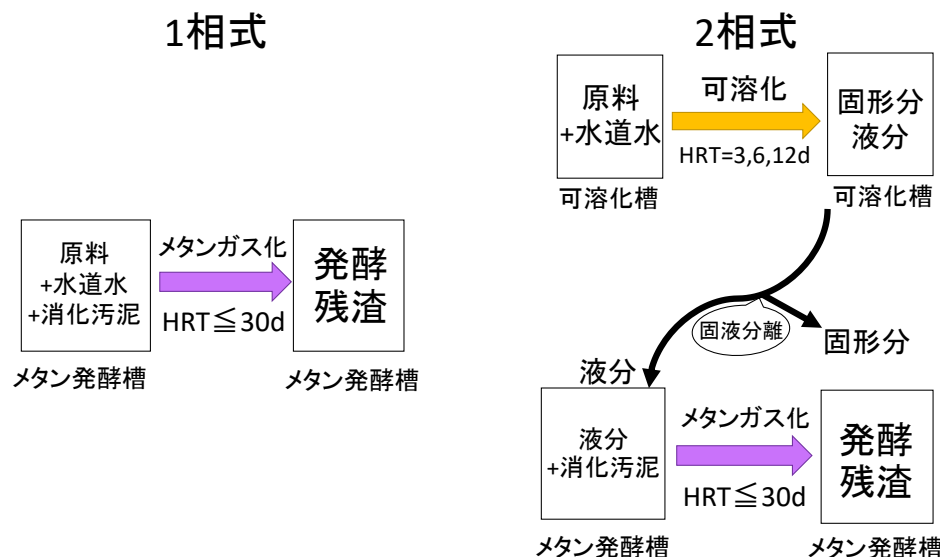


図-3 実験の流れ

(2)メタン発酵の打ち切り基準

メタン発酵過程ではガスの発生がピークを過ぎると徐々に減りながら長く続くことが多く、運転終了の適正な打ち切り時刻を定めにくい。本研究では滞留時間(HRT)を短くすることが目的であることから次のように打ち切り基準を設けた。図-4 は回分運転で生成するメタンの累積ガス量を表す。種汚泥が投入される時点時刻 0 とし、時刻 T(days)での累積ガス量を G(mL)とする。Δt 経過した時刻(T+Δt)での累積ガス量を(G+Δg)とする。一般に生成する単位時間当たりのガス生成量(生成速度)は、ゼロからゆっくりと増えてピークを迎えた後、

減少してゼロとなる。生成速度の特徴はピーク後に緩やかな減少が長く続くことであり、長く運転すればガス生産効率が下がり、反応槽の必要容量を大きくとらなければならない。本研究の目的であるコンパクトなメタン発酵プロセスを設計する場合には、メタン

発酵を最適な日数で打ち切ることが必要である。そこで、経過日数とガス累積量の関係から以下の基準でメタン発酵を打ち切ることにした。

期間[0～T]のメタンガスの平均生成速度： G/T

期待される次の Δt 時間のメタンガス生成量：

$\Delta t(G/T)$

実際の生成量 Δg が期待値に及ばなかったときに

打ち切り： $\Delta g < \Delta t(G/T)$

すなわち、終了条件は、

$$\frac{\Delta t}{T} > \frac{\Delta g}{G} \quad (1a)$$

生成ガス量を毎日測定していれば終了判定が可能である。

本実験では、生成速度がピークを過ぎてフラットになり出してから上式を計算し、(1a)の状態が5日続くことを確認して打ち切ることにする。これは、浅野ら³⁾の回分実験で約4日間に上式の関係を満たした後、ガス生成量が増えて2回目のピークが現れたことから、5日間連続して上式を満たした場合に、メタン発酵を停止することにする。一般的にメタン発酵は30日かかると言われているため⁴⁾、1相式システムのような時間のかかる実験条件については30日経過後に運転を打ち切る。本研究は短い処理時間を探索することが目的であり、1か月以上運転することは考えていないためである。

3. 実験結果

1相式で2番目の試験槽と2相式で可溶化期間3日の2番目の槽については、他の試験槽と比べて異常値を示したことから、コンタミネーションが起きたと判断し、結果には用いていない。可溶化期間6日と12日の結果については2つの試験槽の結果の平均値を記載している。

(1)運転日数

表-1 は実験条件ごとの実験期間を表している。ここでいう「2相3日」とは、可溶化期間が3日の発酵槽を表している。可溶化とメタンガス化にかかった期間の合計を実験期間としている。1相式のメタンガス化は30日以上かかると判断したため、強制的に打ち切った。可溶化期間が6日の発酵槽の実験期間が短いことを示していることから、1相式と比べて実験期間の短縮が出来たと考えられる。

(2)メタンガス発生量

各条件のメタンの総発生量を図-5に示す。1相式の値が一番高い値を示しているのは、1相式は2相式と比べて基質の量が多く、実験開始からpH制御を行ったこと、30日の時点でガスはまだ生成していたが30日で実験を打ち切ったことなどが原因と考えられる。30日以上実験を続けていたら、2相式と比べて非効率な結果になったと考えられる。2相式の中では6日の値が一番高い値を示していることか

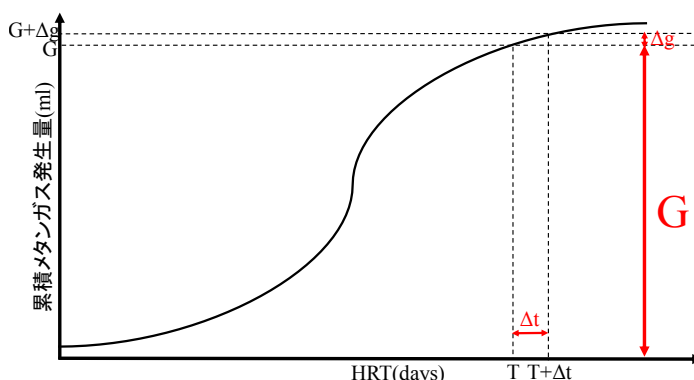


図-4 発生ガス累積グラフ

表-1 メタン発酵槽の運転日数(単位はd)

実験条件	可溶化	メタンガス化	合計
1相	0	30	30
2相3日	3	24	27
2相6日	6	20.5	26.5
2相12日	12	24.5	36.5

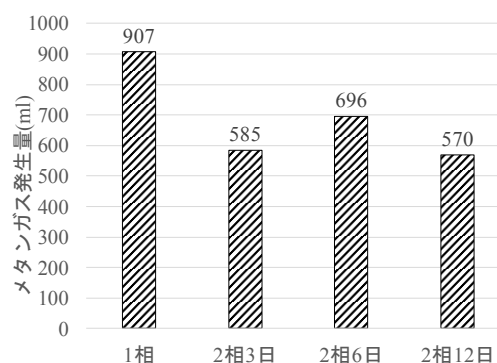


図-5 メタンガス発生量

ら、可溶化日数を6日に設定すればメタンガス化の効率化が図れると考えられる。

(3) アルカリ添加量

実験に使用したアルカリ添加量を図-6に示す。結果は2相式のアルカリ使用量は1相式に比べて格段に少ないことが分かった。2相式は1相式に比べて基質の量が少ないため、アルカリ添加量が少ないと考えられる。2相式の条件では6日の方が基質の量が多すぎず、未分解の基質が少ないことから、アルカリ添加量が少ないと考えられる。

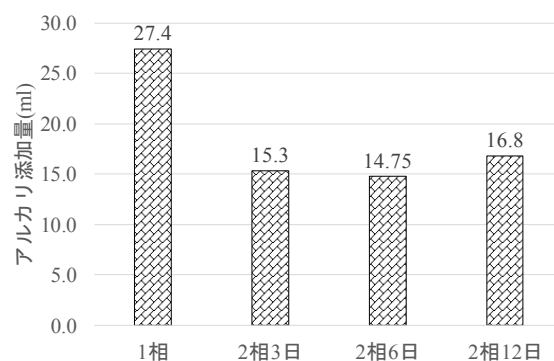


図-6 アルカリ添加量

4. おわりに

本研究では、可溶化とメタン発酵を別々の反応槽で行う2相メタン発酵プロセスについて、メタンガスの生成量を考えた短い可溶化日数について検討した。また、その際にpH制御のためのアルカリ量についても評価した。その結果、可溶化とメタン発酵の両方を合わせた全運転日数は、2相式の可溶化期間が6日のものが最も短いことが分かった。また、メタンガスの発生量については、1相式が一番多かったが、2相式では可溶化期間が6日の場合が多かった。アルカリ添加量については2相式が1相式よりも大幅に少なく済み、6日のものが2相式の中で少ないことが分かった。

本研究では、実験材料に分解が遅い脂肪などの成分は含めなかった。今後はそのような成分を含めた実験で適正な可溶化期間を検討する必要がある。また、メタン発酵残渣や固液分離時の固形残渣の性状については別の機会に発表を行う予定である。

参考文献

- 1) 米田(2016) 岡山大学修士論文「岡山大学キャンパスで発生する有機性廃棄物を対象とした持続可能な資源循環システムの有効性評価」
- 2) 野池達也編著(2009)「メタン発酵」技報堂出版 p.109
- 3) 奥原, 林, 浅野「リンゴ压榨残渣のメタン発酵における分解特性」土木学会中部支部研究発表会 (2011.3)
- 4) 三澤ら(2008)「亜臨界水処理による下水汚泥のメタン発酵特性に関する研究」土木学会第 63 回年次学術講演会(平成 20 年 9 月)