

模擬生ごみを用いた定常状態でのメタン発酵下の有機酸挙動とガス発生量の検討

○日大生産工（院）木科 大介 日大生産工 大木 宜章
日大生産工 小森谷 友絵 吉田 晃洋

1. 序文

メタン発酵は、有機性廃棄物(下水汚泥や生ごみ等)を嫌気性細菌の活動により分解しメタン(CH_4)を生産する生物化学変換の一つである。わが国では、戦後より主に汚泥中の固形分減量法に用いられたが、採算性の問題から積極的なガス回収は行われてこなかった。しかし近年、化石燃料の使用が引き起こす温暖化問題、また生活レベルの向上に伴う廃棄物量の増加といった環境問題に対し、メタンガスの積極的によるバイオエネルギー利用は資源循環型社会に即した新エネルギーとして期待されている。しかし、廃棄物の回収システムが整備されている下水汚泥であれば、処理場での大規模処理が可能であるが、生ごみの場合は他のごみと区別されず、原料として回収するにはコストがかかるのが現状である。

このような背景から、本研究は小規模コミュニティ(施設、家庭等)において発生する生ごみの発生現場でのエネルギー回収を目的としたメタン発酵システムの構築を行っている。これまでの実験では、キャベツをスラリー状にしたもの(以後、旧試料)を投入試料として用いて、システムの長期稼働状況より、有機酸挙動とガス生産性能について検討を行った。

今回は、キャベツスラリーにタンパク質および脂質等を調整した模擬生ごみを投入試料とした。なお、これまでの試料に比し高負荷システムの稼働を試みた。この時のガス生産性能および有機物分解性能について検討すべく、システムの始動から定常状態までの各槽内の有機酸挙動、汚泥量および発生するガス発生量の測定を行った。

2. 実験概略

メタン発酵下における有機物の分解は大きく酸生成過程とメタン生成過程に分けられる。まず酸生成過程では、加水分解菌および酸生成菌が有機物を分解し、有機酸およびエタノール等の中間物を生成する。次にメタン生成過程では、メタン生成細菌が中間物(消化試料)を分解し CH_4 と CO_2 ガスを生成する。そこで本実験は、分解に関与する菌体の異なる両過程を分ける2段階発酵により行った。

2. 1 実験装置および種汚泥

Fig.1 にメタン発酵の実験装置図を示す。装置規模の最大容量は消化槽を 6L、発酵槽を 5L とした。各槽には、攪拌による発酵効率を上げるため、合門型の羽根を中心シャフトに取り付け、上部モーターにより攪拌できるようにした。消化槽は、液部接触面に強化ガラスを使用し、ヒーターによる下部加温方式にした。発酵槽は、液部接触面にステンレス製の2重カバージャケットを使用し、ジャケット内の温水循環による加温を行った。なお、各槽上部にはガス排出孔およびサンプリング

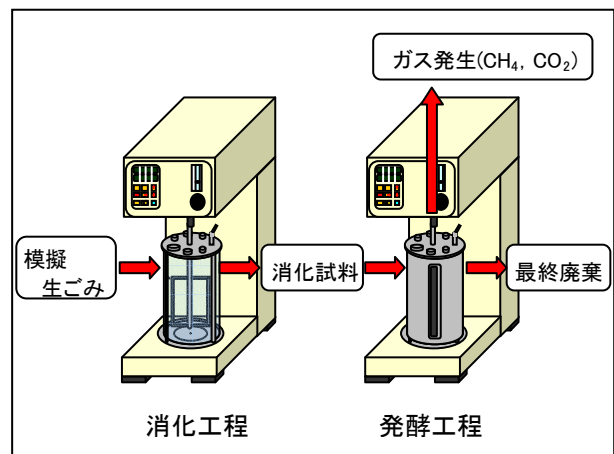


Fig. 1 実験装置図

Examination of Organic Acid Behavior and Amount of Gas Generation
under Steady-State Methane Fermentation Uses Simulated Garbage
Daisuke KISHINA, Takaaki OHKI, Tomoe KOMORIYA and Akihiro YOSHIDA

孔を設置した。ガス排出孔にはサンプリングバックをタイゴンチューブで接続し、発生するガスを採取した。

本実験に用いた種汚泥はC市にある下水処理施設の嫌気性処理槽より採取した消化汚泥を使用した。消化汚泥の性状を Table1 に示す。消化汚泥は、採取後 2～3 日静置させ汚泥内の有機物を完全に分解させた後用いた。

2. 2 投入試料

Table2 に模擬生ごみおよび旧試料の成分を示す。これまで用いた試料はキャベツを主体としたため一般的な生ごみ成分に比し炭素源は全体的に低い値である。このため、現実生ごみに近い模擬生ごみを下記の方法で作る試料とした。作成方法として、まず、キャベツを破砕機によってスラリー状にした後、試薬を添加しよく攪拌した。なお、試薬は糖類にでんぷん、タンパク質にはペプトンそして脂質には脂肪酸グリセリンエステルを用いた。

2. 3 実験条件

実験は室内温度を 25℃に設定し、遮光した状態で行った。稼働条件として各槽は 36℃の中温メタン発酵で行った。消化槽は模擬生ごみを、発酵槽は消化槽から排出した消化試料を投入試料とした。なお、試料投入間隔は 48 時間とした。この時、各槽内の容量が設定値を維持するよう試料投入前に槽内から種汚泥を排出した。Table3 に各工程の負荷条件を示す。負荷量は、各槽内の有機酸量を目安に段階的に増加させていった。また攪拌は、消化槽では各 Step とも 30rpm で行ったが、発酵槽では Step3 から 50rpm、その後実験の都合上 15rpm で行った。発酵システムは現在 (H.19.10)のところで、消化工程が Step2、発酵工程が Step3 で稼働を行っている。したがって、本研究は段階的に負荷を上げた時の各工程の稼働状態について pH、ORP、有機酸量、種汚泥量の推移から検討おこなった。また、現段階における有機物分解量とガス発生量から、ガス生産能力および有機物分解能力について従来のシステムとの比較を行った。

Table1 採取した消化汚泥の性状

水分 (g/L)	982.09
TSS (g/L)	17.91
TVS (g/L)	11.15
灰分 (g/L)	6.68
pH	6.82
ORP (mV)	-278

Table2 模擬生ごみと旧試料の組成 (1L 中)

	模擬生ごみ	旧試料
間隙率 %	8.76	10.91
TSS (g/L)	85.12	61.49
TVS (g/L)	76.67	55.43
灰分 (g/L)	8.44	6.10
pH	7.2	7.2
糖類 (g/L)	55.4	49.0
セルロース (g/L)	6.9	6.3
タンパク質 (g/L)	26.7	14.2
脂質 (g/L)	7.9	1.0

Table3 各工程および旧試料の負荷条件

[消化工程](D)

	Step 1	Step 2
投入試料量 (ml/L)	20.9	50.0
有機物負荷量 (g-TV/S/L)	1.60	3.84
HRT (days)	48	20

[発酵工程](F)

	Step 1	Step 2	Step 3
投入試料量 (ml/L)	2.0	6.3	25.0
有機物負荷量 (g-TV/S/L)	0.12	0.36	1.45
HRT (days)	500	160	40

3. 実験結果

3. 1 消化工程の有機酸挙動

Fig.2 に消化工程における有機酸濃度および pH の経時変化を示す。初期段階、有機酸濃度は著しく増加し、26 日から 12000mg/L で平衡状態となった。これに対し pH は急激

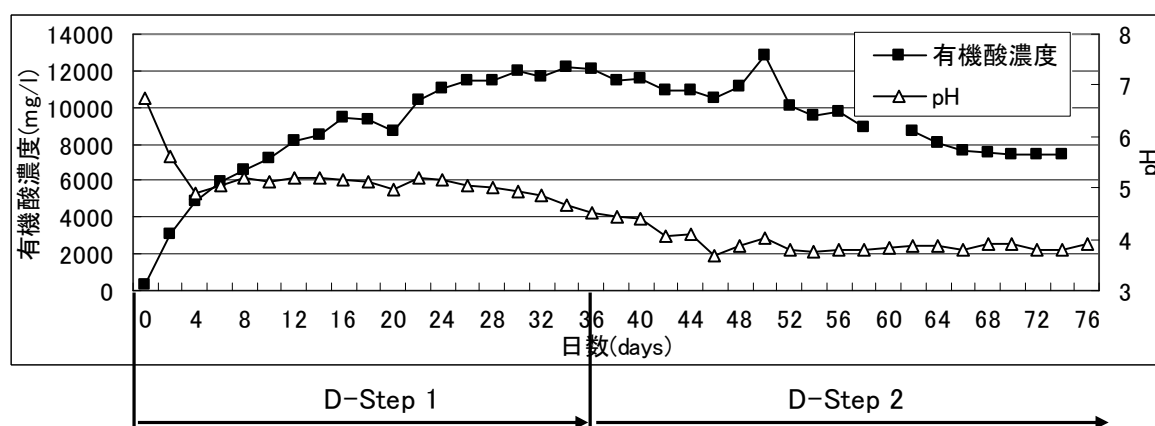


Fig. 2 消化工程における有機酸濃度と pH の経時変化

な低下を示し、4日目以降は pH5 で平衡状態となった。そこで、26日目以降を Step1 の定常状態と判断し 36日目から高負荷である Step2に移行した。移行後、有機酸濃度は緩慢な減少を示し 66日目より 7800mg/L で定常状態となった。pH は更に低下傾向を示し、46日目以降は pH3.8 付近で平衡状態となった。このことから、消化工程において負荷条件が変わった場合、有機酸濃度の変動がみられるが、約 30 日程度で定常状態へと移行するといえる。また、この有機酸濃度の変動は消化工程内に生息する菌体バランスの変化に起因するものと考えられる。なお、現在は Step2 の定常状態を維持し稼働中である。

Fig.3 に消化槽内における旧試料と模擬生ごみを試料とした場合の有機酸割合を示す。旧試料での稼働時において、最も生成された有機酸は乳酸の 61.0%であり、次いで酢酸 10.5%、プロピオン酸 10.1%であった。これに対し、模擬生ごみを試料として稼働させた場合、最も生成されたのは酢酸で 47.4%、次いでプロピオン酸 30.1%であり、旧試料で多かった乳酸は 12.4%と低いものであった。

3. 2 発酵工程の有機酸挙動

Fig.4 に発酵工程における有機酸濃度および pH の経時変化を示す。結果より、Step1 および Step2 の負荷条件では有機酸濃度の増加がみられなかった。このことから状態を Step3 に移行し、同時に発酵の効率を上げる

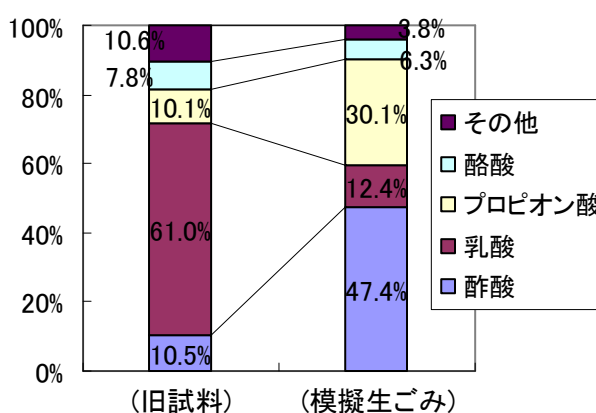


Fig. 3 消化工程における有機酸割合

ため攪拌を 50rpm で行った。しかし、有機酸濃度は移行直後から著しい増加し 1500mg/L を示した。この現象について、発酵槽より排出したサンプルの上澄み液に汚泥が懸濁していたことから、50rpm での攪拌により発生する対流が種汚泥を破壊したと考えられる。しがって、有機酸が低下するまで攪拌および試料投入を停止し、66日目から攪拌速度 15rpm で再稼働を行った。再稼働直後、有機酸濃度は増加傾向を示し 800mg/L となったが、上澄み液に汚泥の懸濁がみられなかったことから、汚泥の破壊はないと考え Step3 を継続した。その結果、80日目から有機酸濃度の低下がみられ 92 日目に定常状態となった。pH の値は、始動期から緩慢な上昇傾向を示したが、84日目以降は 7.4~7.6 で推移している。

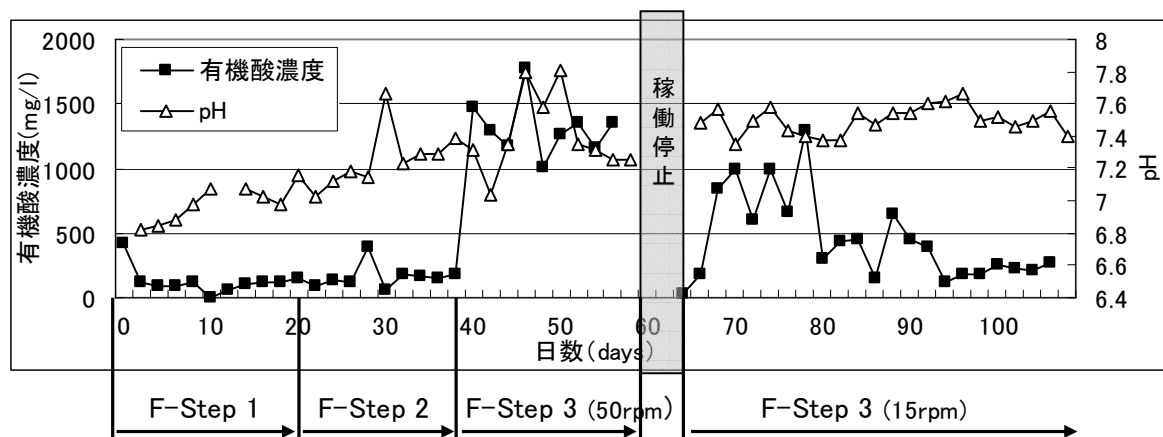


Fig. 4 発酵工程における有機酸濃度と pH の経時変化

3. 3 定常状態でのメタン発酵下における有機物分解性能およびガス発生量

Fig.5に定常状態における物質収支を示す。消化工程において、投入試料中の有機物量(TVS)は 76.68g/Lであり、排出した消化試料中の有機物量は 58.04g/Lであった。このことから、消化工程における TVS 減少量は 18.64g/L、S 減少率は 24.3%であった。同様に発酵工程において、TVS 減少量は 43.52g/L、TVS 減少率は 75.0%であった。したがって両工程を合わせたシステム全体の TVS 減少率は 81.1%であった。また定常時におけるガスの発生量は 340~457ml/g-TVSであった。その内訳として、CH₄が 50~60%、CO₂が 40~50%と、発生割合は一般的な発酵ガス成分であった。

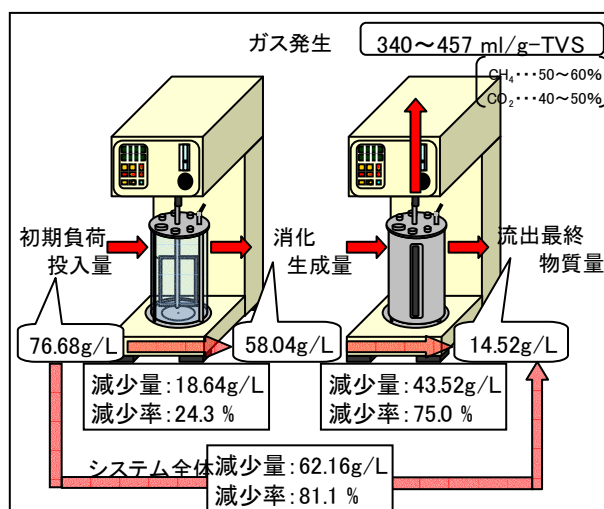


Fig. 5 定常状態における物質収支

Table4 定常状態におけるシステム性能

	現在	旧
投入試料	模擬生ごみ	キャベツ
有機物負荷量(g-TVS/L/day)	3.84	2.08
有機物減少率 (%)	81.1	90.7
ガス発生量 (ml/g-TVS)	340~457	531~597
HRT (days)	60	186.6

4. まとめ

本研究は、実生ごみに近い成分の試料を用い、より高負荷によりメタン発酵システムの稼働を試みた。その結果、各工程の有機酸および pH の挙動から高負荷においても定常状態での稼働が確認できた。システム性能は Table4 に示すとおりである。旧システムに対し、有機物負荷量は 1.76g-TVS/L/day の増加が、HRT では約 127 日短縮した状態で稼働が行えることが確認できた。有機物減少率についても 81.1%と高いものとなった。しかし、有機物の減少量に対するガス発生量は旧シス

テムに対し下回る結果となった。したがって、今後は同条件におけるガス発生量の増加が課題である。

なお、本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業による私学助成を得て行われた。ここに記して感謝の意を表す。