

廃棄物由来炭化物のメタン発酵促進効果の検証

新潟特殊企業（株） 非会員 ○ 高橋 知菜津 非会員 小松 聡
新潟食料農業大学 正会員 阿部 憲一 非会員 中井 裕

1. はじめに

地球規模の環境問題が深刻化する中、持続可能なエネルギーソリューションの重要性はますます高まっている。特に、有機性廃棄物の効率的な処理とエネルギー回収は、資源の有効利用と環境負荷の軽減に寄与する重要な課題である。我々の事業で有機汚泥や食品残さなどの有機性廃棄物を乾燥・炭化処理して生産しているバイオ炭は、燃料として利用されている一方、炭素固定による CCS への活用、ならびにエネルギー回収の観点からも注目されている。また現在、有機性廃棄物からのエネルギー回収を一層効率化する狙いで、メタン発酵バイオガス発電を炭化処理の前処理として導入する計画がある。この計画を進めるうえで特に注目したのは、メタン発酵過程におけるバイオガスの生成量である。メタンガス発生量はバイオガス発電の収益性を左右する重要な要因であり、これを最適化することは事業の成功に直結する。我々は「有機性廃棄物のメタン発酵→発酵残渣を乾燥炭化処理→得られたバイオ炭を再びメタン発酵に利用」という循環型プロセスを構築することで、バイオガスの生成量が増加する可能性があると考えている。

メタン発酵でのガス生成を効率化させる方法の一つとして、微生物間の物質移動の促進を狙った導電性物質（活性炭、鉄系資材など）の添加がある^{1,2)}。これは異種間電子伝達（Interspecies Electron Transfer; IET）と呼ばれており、有機物の低分子化に伴い酸生成細菌等から放出される水素（ H^+/e^- ）を、それを利用する微生物（主として水素酸化性メタン生成古細菌）への受け渡しを促すことで、メタン発酵槽内での水素の蓄積の回避や CO_2 のメタン化といった効果が期待できるものである。

本研究では、当社で生産しているバイオ炭における IET 促進効果の検証を目的として、下水処理脱水汚泥を処理対象物に用いたメタン発酵回分試験を実施した。今回の実験結果と考察を通じて、バイオ炭添加の有効性とバイオガス発電事業の収益性向上に寄与する知見を提供する。

2. 実験方法

2.1 家庭生ごみを処理したメタン発酵微生物に下水処理脱水汚泥を供した回分試験（1回目）

回分試験の植種微生物として、主に家庭生ごみを処理する中温メタン発酵槽から採取し、PET ボトル内で2カ月以上放置（ $35^{\circ}C$ 条件下）した発酵液を用いた。使用する直前に0.5mmのふるいを通して大きな固形物を除去した後、自然沈降区分と上澄み区分（TSでそれぞれ3.9%と1.0%）を分けた。自然沈降区分と上澄み区分の割合を1:0, 1:1, 1:3, 1:7で混合した微生物量の異なる試験区をもうけた。V-100型バイアル瓶に微生物量を調整した発酵液を60.0g注ぎ入れ、一部の試験区にはバイオ炭を5.0g/vial添加した（バイオ炭添加区、以下BC）。そこに加水調整した下水処理脱水汚泥（以下、脱水汚泥）を15.0g投入した。加水調整後脱水汚泥のTSとVSはそれぞれ3.74%, 3.36%であり、有機物負荷は8.40g-VS/Lであった。なお、バイオ炭を添加しない試験区（未添加区、以下Nor）、脱水汚泥を投入しないブランク区には、それぞれの投入量と同量で加水した。その後、バイアル瓶内気相部にアルゴンガスを吹き入れて簡易なガス置換を行い、凍結乾燥用ブチルゴム栓とアルミキャップで蓋をして密封した。なお、本回分試験は $36^{\circ}C$ に設定した恒温器内で静置条件（一日一度頻度の手動での攪拌あり）、各試験区ともn=3実施した。

2.2 下水処理脱水汚泥の投入負荷を上げた回分試験（2回目）

上述の実験（2.1）終了後、各試験区から発酵液を適量引抜いて、バイアル瓶内の発酵液量を50.0gに調整した。またBC区にはバイオ炭を5.0g/vial追加で添加した。全ての試験区（ブランク区を除く）には、加水調整した脱水汚泥（TS: 15.2%, VS: 14.3%）を有機物負荷20.7g-VS/Lになるよう投入した。その他の実験条件は、上述の実験2.1と同様である。

2.3 分析方法・評価方法

上述の実験（2.1, 2.2）期間中、バイアル瓶内で発生したガスは適時、ガラスシリンジと注射針（G25; TERUMO）を用いて採取し、その容積を記録した。その後、アルミガスバッグ（AAK-1; ジーエルサイエンス）に貯留した。実験期間中にバイアル瓶内気相部から直接採取したガスやアルミバッグに貯留したガスは、GC-TCD（GC-2014; 島津製作所製）でその組成を分析した。また、各実験の開始と終了時には発酵液中のpHの測定を実施した。メタン発酵液および投入した脱水汚泥の固形分（TS）と有機物分（VS, 強熱減量分）は適宜測定した。発生したガスは投入した有機物に由来すると考えることができるので、ガス発生量を脱水汚泥の分解の間接的指標とした。また、ガス中の CO_2 に対するメタンの比（ CH_4/CO_2 ）をバイオガスの品位の指標とした。

3. 実験結果と考察

3.1 家庭生ごみを処理したメタン発酵微生物に下水処理脱水汚泥を供した回分試験（1回目）結果

1回目の回分試験はメタン発酵の立上げ時におけるバイオ炭の添加効果に着眼して、脱水汚泥を処理した履歴の無い発酵液を用いた。また、微生物量の大小と立上げにかかる期間の関係についても着目した。紙面の都合上、ここでは微生物量比1.000 (1:0) と0.125 (1:7) の試験結果のみを紹介する。図1に各試験区の40日間の累積ガス発生量と、22日目のバイアル瓶内のCH₄/CO₂比を示す(各n=3 平均値)。全ての試験区において実験開始から15日目以降で順次ガス発生量の増加が確認された。微生物量比1.000 (図1左) では、Nor区とBC区のガス発生傾向およびガス品位に顕著な差は見られなかった。一方、微生物量比0.125 (図1右) では18日目以降、BC区でガス発生量の増加が観察された。22日目のバイアル瓶内のガス品位はNor区が1.0に対して、BC区では2.5とメタン生成量も多いことが示された。また、0.125-BC区のガス発生傾向とガス品位とも1.000-Nor区に匹敵した。

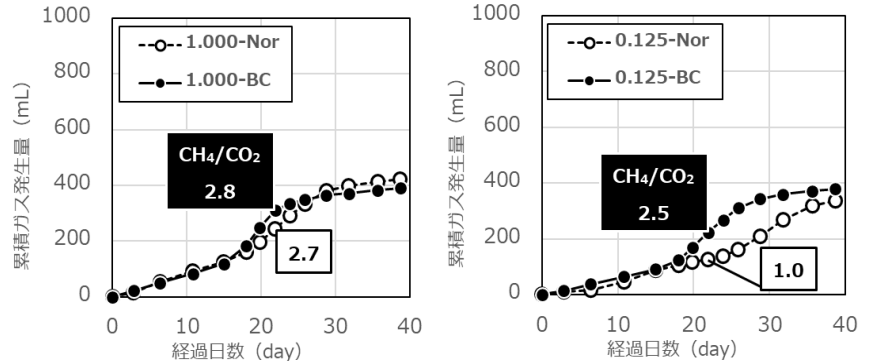


図1 回分試験（1回目）の累積ガス発生量とCH₄/CO₂比

3.2 下水処理脱水汚泥の投入負荷を上げた回分試験（2回目）結果

2回目の回分試験では、メタン発酵微生物間の分解物リレーのアンカーかつボトルネックとされているメタン生成段階に負荷をかける（発酵不良を引き起こす意）狙いで、有機物負荷の1回目試験の2倍以上に設定した。こちらも微生物量比1.000 (1:0) と0.125 (1:7) の試験結果のみを紹介する。図2に各試験区の24日間の累積ガス発生量とガス品位指標としてCH₄/CO₂比を示す(各n=3 平均値)。いずれの試験区でもBC区においてNor区よりも早い段階で多くのガス発生が観察された。微生物量比0.125 (図2右) では、同じガス発生量(800 mL)に達するまでBC区はNor区よりも10日ほど早い結果となり、バイオ炭の添加効果が顕著に表れるかたちとなった。微生物量比1.000 (図2左) では、7日目のバイアル瓶内のCH₄/CO₂比はBC区で1.9であったがNor区では0.5とガス品位が低い(この時点での発生ガス量は微生物比0.125のNor区よりも多いが、CO₂が57-59%を占めた)結果となり、バイオ炭の非存在下では分解初期に一時的な発酵不良に陥る可能性が示された。微生物量の大小と発生ガス品位は、正の相関性とは限らないことも示された。

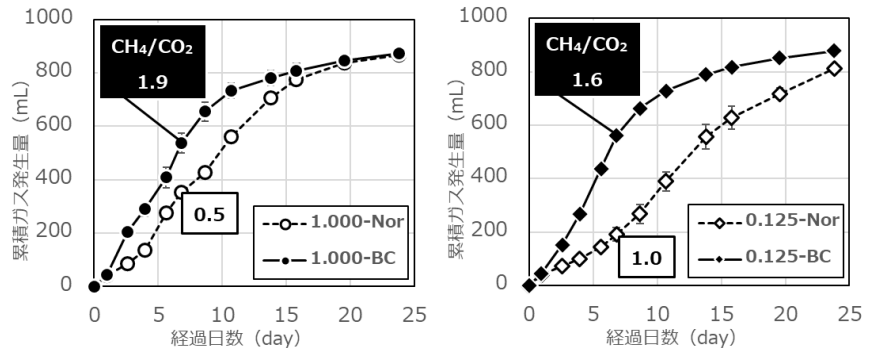


図2 回分試験（2回目）の累積ガス発生量とCH₄/CO₂比

4. まとめ

下水処理脱水汚泥のメタン発酵処理において、当社製造バイオ炭を発酵液に対して10%(w/v)程度添加することで、①ガス発生量の増加、すなわち分解速度の向上(=立上げ期間の短縮)、②分解初期における発生ガス品位(CH₄/CO₂比1以上)向上の効果が生じることが示された。この結果を踏まえて、バイオ炭の最小添加量、添加効果の継続期間等についても検討を行い、当社バイオガス発電所の本稼働を見据えた基礎データの収集を継続する。また、メタン発酵微生物群集についても次世代シーケンシング技術を介した解析を行い、当社バイオ炭を利用してIETを行うキー微生物種の特定、およびそれらを活かす運転条件の設定を試みる。

5. 参考文献

- 1) 朱愛軍, 覃宇, 謝成磊, 李玉友.: バイオメタン・バイオガス研究と応用の最新動向, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 280-291, 2021.
- 2) 金子光瑠, 大門裕之.: メタン発酵技術に関する近年の動向, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 35, No. 2, pp. 107-113, 2024.

謝辞: 本実験に用いた下水処理脱水汚泥は、新潟県胎内市内の中条浄化センター様よりご提供いただいた。