

セルロースのメタン発酵における攪拌速度の影響

信州大学工学部 学生会員 ○ 所 雄貴

信州大学工学部 高上 洋輔

信州大学工学部 正会員 松本 明人

1. はじめに

近年、地球温暖化や化石燃料の枯渇の対策として、バイオマスからのエネルギー回収が注目されている。その中で、食糧生産と競合がなく、収集が容易で、かつエネルギー資源としての未利用量が多いものに、農作物の非食用部や刈草といった草本系バイオマスがある。この草本系バイオマスは、含水率が高く、生物分解が早いという特徴を有しており、メタン発酵によるエネルギー生産への活用が期待される。ゆえに、草本系バイオマスのメタン発酵における効率的な運用方法は重要となる。

そこで本研究では、草本系バイオマスの主要成分であるセルロース(ろ紙粉末)を基質に用い、反応槽内の攪拌子回転数を 10rpm と 100rpm の条件で実験を行うことで、攪拌速度がセルロースの分解やメタン生成に及ぼす影響について検討した。

2. 実験装置および方法

反応槽には市販のスピナー・フラスコ 1L(セルスター WHEATON社製)を用いた。攪拌はマグネチック・スターラー(バイオスター WHEATON社製)で行った。基質は注射器を用いて一日一回投入し、同時に反応槽内容液の引き抜きを行った。本実験に用いた基質の組成表を表1に示す。炭素源には、ろ紙粉末(セルロース、100~200メッシュ、ADVANTEC製)を用い、その濃度は10,000mg/Lとした。また、槽内のpHを中性付近に保つためにNaOHを1500mg/L添加した。種汚泥には、長野県千曲川流域下水道上流処理区終末処理場(アクアパル千曲)における中温嫌気性消化槽から採取した消化汚泥を用いた。

実験は運転温度を35℃、HRTを8日とし、反応槽内の攪拌子回転数を10rpmと100rpmに設定した二系列で実施した。測定項目は、ガス生成量、ガス組成、pH、残存糖濃度、VSS濃度、揮発性脂肪酸濃度(酢酸濃度、プロピオン酸濃度、酪酸濃度)である。

表1 基質組成

炭素源	(mg/L)	無機塩	(mg/L)
ろ紙粉末	10000	KCl	750
緩衝剤	(mg/L)	NH ₄ Cl	830
NaHCO ₃	3500	MgCl ₂ ·6H ₂ O	815
無機塩	(mg/L)	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246
(NH ₃) ₂ HPO ₄	700	FeCl ₃ ·6H ₂ O	416
アルカリ剤	(mg/L)	CoCl ₂ ·6H ₂ O	18
NaOH	1500	NiCl ₂ ·6H ₂ O	18

3. 実験結果

図1に各攪拌速度におけるメタン生成量を示す。ここでメタン生成量は、1日当たりのガス生成量とガス組成から算出した。100rpmと10rpmのメタン生成量を比較すると、100rpmでは1日当たり約170mlであったのに対し、10rpmでは1日当たり約200mlであった。よって、10rpmは100rpmに比べて約2割弱のメタン生成量の増加がみられた。これにより、攪拌速度の緩やかな10rpmの方がメタン生成は良好に進行するということがわかった。

図2に各攪拌速度におけるVSS濃度を示す。ここでVSSは、浮遊性有機物を指しており、菌体およびろ紙粉末と考えられる。また、図中の上層、中層、下層とは反応槽の高さ方向におけるサンプリング位置を表している。100rpmでは、どの高さにおいてもVSS

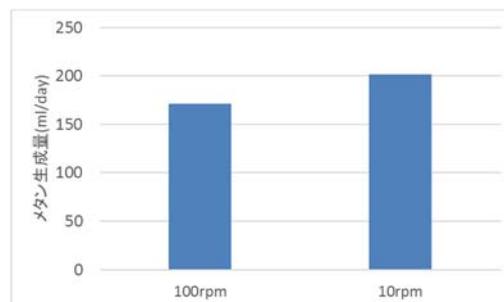


図1 メタン生成量

濃度は約 4000mg/L で均一であり、反応槽内が完全混合状態にあることがわかる。一方、10rpm では、上層と中層の VSS 濃度が約 1200mg/L であるのに対し、下層は約 8800mg/L とおよそ 7 倍高い。これは攪拌が緩やかであるため、菌体およびろ紙粉末が反応槽底部に堆積したためと考えられる。

図 3 に各攪拌速度におけるセルロース濃度を示す。ここでセルロース濃度は、フェノール硫酸法によって固形性の糖濃度を求めることで算出した。100rpm では高さ方向で差がなく約 2800mg/L(セルロース分解率は約 75%)と均一で、10rpm では上層と中層で約 500~600mg/L(分解率約 95%)と低かったのに対し、下層では約 4400mg/L(分解率約 60%)とおおよそ 8 倍高かった。これも 10rpm の緩やかな攪拌によって、セルロースが反応槽底部に堆積していることを示しており、その結果、反応槽内溶液の引き抜きによる排出がされず、セルロースの滞留時間は長くなる。このことが、10rpm でのメタン生成量が高いことの理由と考えられる。

図 4 と図 5 に揮発性脂肪酸濃度のうち、酢酸濃度とプロピオン酸濃度をそれぞれ示す。ここで揮発性脂肪酸は、メタン発酵過程における主要な中間生成物であり、pH 低下につながるメタン生成に対する阻害因子でもある。一般に 2000~3000mg/L 以上蓄積すると阻害が起こると言われるが、本実験では 100rpm、10rpm いずれも酢酸が約 170~180mg/L、プロピオン酸が約 80mg/L と低かった。なお、同じく測定した酪酸については、実験初期に約 17mg/L だったが、その後は検出されなかった。以上より、揮発性脂肪酸の残存濃度に関しては回転数の影響はないこと、また揮発性脂肪酸は 10rpm といった緩やかな攪拌でも 100rpm と同様、高さ方向に均一であり、局所的な揮発性脂肪酸の蓄積は起こらないことがわかった。

4. 結論

セルロースを基質とするメタン発酵において、運転温度 35℃、HRT8 日の条件のもと、反応槽内の攪拌子回転数を 10rpm と 100rpm で実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) メタン生成量は、10rpm が 100rpm に比べて約 2 割弱高かった。
- 2) VSS 濃度は、100rpm では全体的に均一であり、10rpm では不均一で、下層では上・中層よりおよそ 7 倍高かった。
- 3) セルロース濃度は、100rpm では全体的に均一であり、10rpm では不均一で、下層において上・中層よりおよそ 8 倍高かった。
- 4) 揮発性脂肪酸濃度は、10rpm と 100rpm で同程度であり、またどちらも高さ方向に均一であった。

なお本研究は JSPS 科研費 JP15K06271 の助成を受けた。

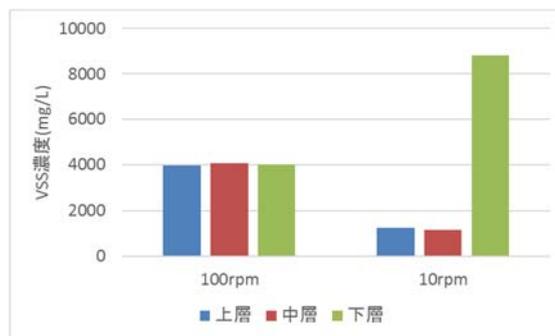


図 2 VSS 濃度

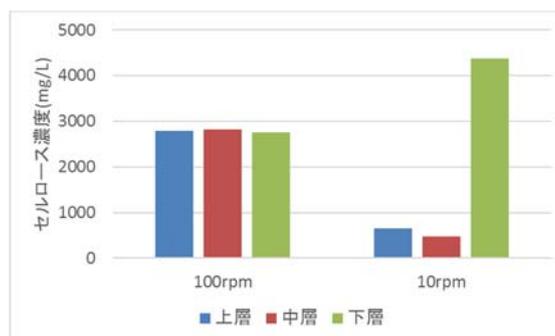


図 3 セルロース濃度

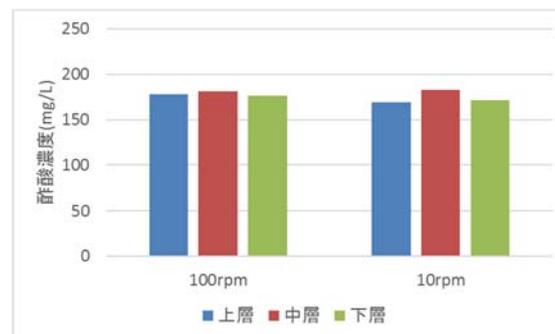


図 4 酢酸濃度

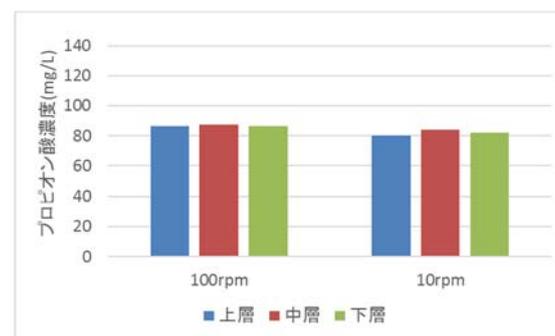


図 5 プロピオン酸濃度