

中低温域における炭水化物系排水のメタン発酵について

信州大学工学部 ○高橋 雅
 信州大学大学院 里井亮太
 信州大学工学部 正会員 松本明人

1. はじめに

近年、環境負荷低減に向けた排水処理技術の開発が求められており、排水からメタンを回収できるメタン発酵法は電力や化石燃料の節減につながり、注目されている。現在、メタン発酵法による処理は一般的に中温域もしくは高温域での最適温度条件で運転されているが、発生したメタンの一部は発酵槽の加温の為に消費されている。そのため、加温の為にメタンを消費しない無加温条件でのメタン発酵の検討は、エネルギー源として利用可能なメタン回収量増大のためには重要である。そこで本研究では、生物易分解性の炭水化物系排水としてスクロースを基質に用いて、発酵温度 35℃、25℃、15℃において水理的滞留時間(HRT)5日と10日の条件で連続実験を行い、メタン生成や処理性能に及ぼす温度と滞留時間の影響について検討した。

2. 実験装置および方法

実験装置は図1に示す嫌氣的ケモスタット型反応槽である。基質は表1に示すスクロースを単一炭素源とする合成基質を用いた。種汚泥には、財団法人長野県下水道公社千曲川下流管理事務所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、2Lの反応槽で表1に示す基質を用いて発酵温度 35℃のもと、HRT15日で19日間、その後HRT8日で40日間培養した。そして、培養液の一部を1Lの反応槽に植種し、HRTを5日(1L槽)と10日(2L槽)に設定し、実験を開始した。表2に実験条件を示す。35℃での実験は、一度目の運転では正常データが得られなかったことから、10℃での運転後に再度行い、その結果を採用した。なお10℃での結果は、途中で実験を中断したため本稿では省略する。測定は、ガス生成量、ガス組成、pH、揮発性脂肪酸(以降、VFA)、COD_{cr}(以降、COD)、VSS、残存糖濃度について行った。なお、後述するSCODとは反応槽内溶液を3000rpmで15分間遠心分離した上澄液のCODを、DCODとは上澄液を孔径0.45μmのメンブレンフィルタでろ過したものの溶解性CODを示す。

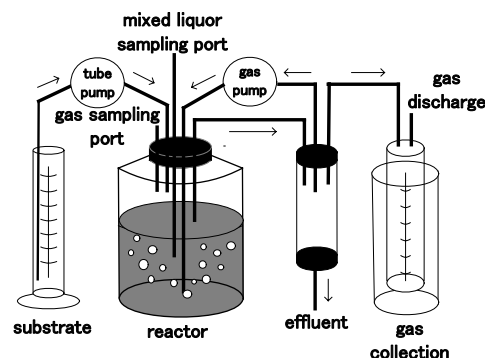


図1 実験装置

表1 基質組成

炭素源	(mg/L)	無機塩	(mg/L)
スクロース	10000	KCl	750
		NH ₄ Cl	830
緩衝剤	(mg/L)	MgCl ₂ ·6H ₂ O	815
NaHCO ₃	3500	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246
K ₂ HPO ₄	700	FeCl ₃ ·6H ₂ O	416
		CoCl ₂ ·6H ₂ O	18
NaOH	2200	NiCl ₂ ·6H ₂ O	18

表2 実験条件

基質 (有機物濃度)	スクロース (11230mgCOD/L)
HRT (d)	5、10
発酵温度 (°C)	35 → 25 → 15 → 10 → 35

3. 実験結果

3.1 処理性能

図2に各温度におけるCOD除去率を、図3にスクロースのメタン転換率を示す。ここでCOD除去率は、消費されたCODの割合(=(流入COD-SCOD)/流入COD)を示す。HRT5日では除去率は温度の影響はみられず、15~35℃において90%程度であった。なお15℃ではVFAは増加するが、上澄液に含まれる浮遊性の微細なCOD成分(=SCOD-DCOD)が減少したため、SCODは25℃、35℃と同程度であった。一方、HRT10日では15℃に低下すると除去率の減少がみられた。これはVFAの蓄積によるもので、特にHRT10日の系では5日の系に比べてプロピオン酸や酪酸の蓄積が大きく、Acetogenic菌などの活性が低下した可能性がある。メタン転換率は、両HRTで温度の低下に伴い減少し、HRT10日では35→25℃に比べて、25→15℃への温度変更で減少の割合は大きくなった。HRT5日においてCOD除去率に温度の影響がみられないのに対し、メタン転換率は温度

低下に伴い減少しているが、転換率の減少は VSS の増加につながった。なおいずれの運転でもスクロースの分解率はほぼ 100%であった。

3.2 動力学式を用いた温度依存特性の評価

図 4, 図 5 に菌体収率(Y)と比メタン生成速度の温度特性を示す。なお以下の生物処理プロセスの温度の影響について用いられる一般式で、25°Cを基準温度(T1)として温度係数 θ を求めた。

$$K_{T2}/K_{T1} = \theta^{(T2-T1)} = \theta^{\Delta T}$$

ここで K_{T1}, K_{T2} :温度 T_1, T_2 における反応速度定数, θ :温度係数

図 4 より菌体収率の θ 値は、HRT10 日の系において 15~25°Cの温度範囲で 0.927 となり温度の影響がみられた。一方、車らは 20~30°Cの温度範囲で酸生成細菌の菌体収率の θ 値は 0.994 であったと報告している¹⁾。菌体収率の温度の影響は統一した見解が得られず、温度の影響をあまり受けないという報告¹⁾や温度の増加につれて菌体収率は減少するという報告²⁾がある。本実験の菌体収率は、HRT5 日で 0.15~0.24gVSS/gCOD, HRT10 日で 0.07~0.17 gVSS/gCODであった。

比メタン生成速度は 35°C, 25°C, 15°CでそれぞれHRT5 日において 1.15, 0.80, 0.54gCOD/gVSS/d, HRT10 日において 1.32, 1.06, 0.45gCOD/gVSS/dとなった。図 5 のプロットより求めた温度係数 θ はHRT5 日で 1.039, 10 日では温度域により係数は異なり 15~25°C, 25~35°Cでそれぞれ 1.090, 1.022 となり 15~25°Cで温度変化の影響が大きくなった。屠殺場排水を用いた実験によると、30°Cと 25°Cの比メタン生成速度は変わらないが、20°Cで大きく低下したと報告されている³⁾。一方、15~50°Cの温度条件でVFAを基質に行ったメタン生成の実験では、HRT10 日以上(COD負荷率: 2kg/m³/d以下)では比メタン生成速度は温度に依存しないと報告されている⁴⁾が、本実験ではHRT10 日(同上: 1kg/m³/d)でも温度による影響がみられた。

4. 結論

無加温メタン発酵を想定し、発酵温度 15~35°Cにおいて HRT5, 10 日で発酵特性を調べた結果、以下の知見が得られた。

- 1) HRT5 日の系では 15~35°Cで COD 除去率に温度の影響はみられなかった。一方、HRT10 日の系では 15°Cでプロピオン酸、酪酸の蓄積がみられ COD 除去率は減少した。
- 2) メタン転換率は両 HRT ともに温度低下に伴って減少した。

特に HRT10 日の系では 35→25°Cに比べ、25→15°Cの温度変化で減少の割合は大きくなった。

- 3) 温度依存特性を調べた結果、菌体収率および比メタン生成速度とも温度低下に伴い増加する傾向がみられ、特に比メタン生成速度は HRT10 日の系で 15~25°Cにおいて温度変化の影響が大きくなった。

参考文献

- 1) 車ら:衛生工学研究論文集, Vol.28, pp29-37, 1992. 2) IWA TASK GROUP: Scientific and Technical Report No.13, IWA, 2002 3) D. I.Masse et al.: Biores Technol.76, pp91-98, 2001. 4) C.Y.Lin et al.: Wat. Sci. Tech. Vol.19, pp299-310, 1987.

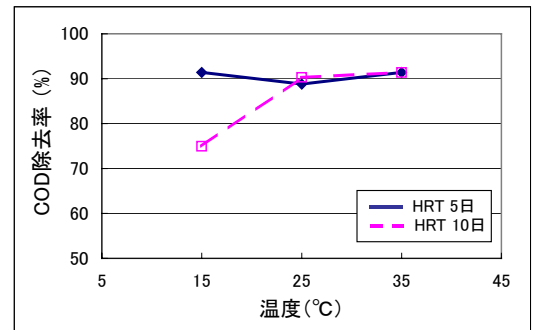


図 2 COD 除去率と温度の関係

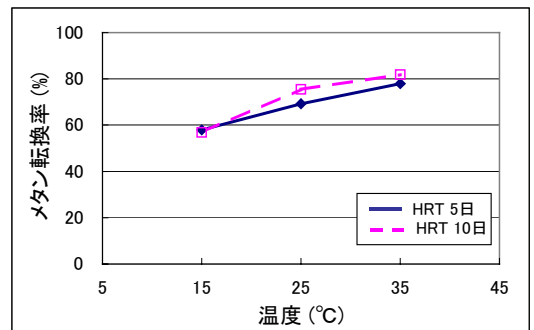


図 3 メタン転換率と温度の関係

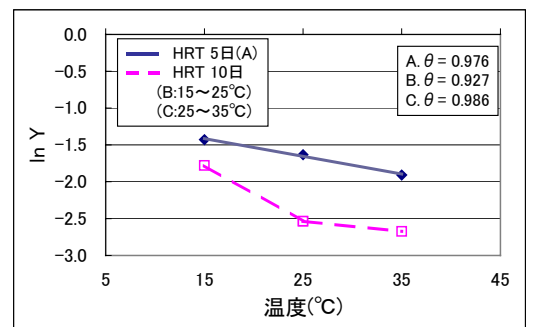


図 4 菌体収率の温度依存特性

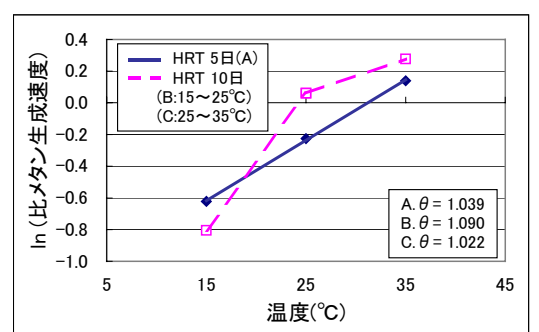


図 5 比メタン生成速度の温度依存特性