

膜分離型混合メタン発酵を用いた

コーヒー工場廃棄物のエネルギー資源化

東北大・工（学）草谷勇介，（学）高柳和幸，喬瑋，（正）李玉友

1. はじめに

近年、循環型社会の形成やバイオマス利活用等の様々な観点から、メタン発酵技術の重要性・有用性が認識されている。日本では、食品リサイクル法やバイオマスニッポン総合戦略等の政策により食品廃棄物（バイオマス）の再利用を促進させている。コーヒー豆はほぼすべてが海外から輸入され、飲料系食品工場からは年間 10 万トンものコーヒーかすが廃棄物として排出されている¹⁾。コーヒーかすは含水率が高いため焼却処理にコストがかかり、また成分上堆肥化や飼料化が難しい廃棄物である。そこで、再利用方法としてメタン発酵によるエネルギー回収と減量化が望ましいと考えられる。コーヒーかすのメタン発酵は高柳ら²⁾によりエネルギー回収が可能と報告がされている。本研究では、コーヒー工場から排出されるコーヒーかすとその他に排出される食品廃棄物を混合し、メタン発酵による資源化を想定して、実験的検討とケーススタディによるエネルギー回収の試算を行った。

2. 実験方法

2.1 回分実験

工場から発生する 4 種類の廃棄物を混合して用いた。コーヒーかすや主原料、コーヒー廃液は製造工場から排出されたもの、また余剰汚泥は同じ施設の排水処理で発生した脱水汚泥を使用した。

それらの分解率やメタン生成ポテンシャルを把握するために、各廃棄物に対して個別に回分実験を行った。120mL のバイアル瓶に 70mL (1.61g-VSS) の種汚泥と 1g-COD 相当の廃棄物をそれぞれ添加して、55℃で 30 日間実験した。メタン生成ポテンシャルに関しては以下の式を用いた。

$$P = P_0 [1 - \exp\{-k(t - t_0)\}]$$

ここで P を累積ガス生成量、 P_0 をバイオガス生成ポテンシャル、k を定数、t を経過時間、 t_0 を遅滞時間とした。

2.2 連続実験

実験に使用した装置の概要を図-1 に示す。有効容積は 7L である。恒温器に温水を循環させることにより 55℃に保温した。Kubota 平膜（膜表面積 0.116m²、公称孔径 0.2μm、塩素化ポリエチレン）を反応槽内に一枚浸漬させた。ポンプを使用して吸引 4 分と停止 1 分のサイクルで膜透過水を得るとともに、反応槽内に循環させて膜性能の評価を行った。膜の洗浄と反応槽内の攪拌のため発生したバイオガスを返送して反応槽下部から常時散気させた。基質はポンプにより日に 8 回に分けて投入した。反応槽内の汚泥の引き抜きと膜透過水の引き抜きは日に一回行った。種汚泥は高温嫌気性処理を行っている食品廃棄物処理場からの汚泥を植種した。

投入する基質の性状を表-1 に示す。TS 濃度が 7% となるように水道水で希釈して市販のミキサーにより 20 分破碎と攪拌を行った。調整した混合基質は 4℃に保存した。

3. 結果と考察

3.1 メタン発酵回分実験

表-2 に示す通り混合基質の分解率は 71.3%、メタン生成ポテンシャルは 259mL-CH₄/g-COD、バイオガスに占めるメタンガスの割合は 60.1%となった。従って、混合基質はメタン発酵によりエネルギー回収が可能であると考えられる。

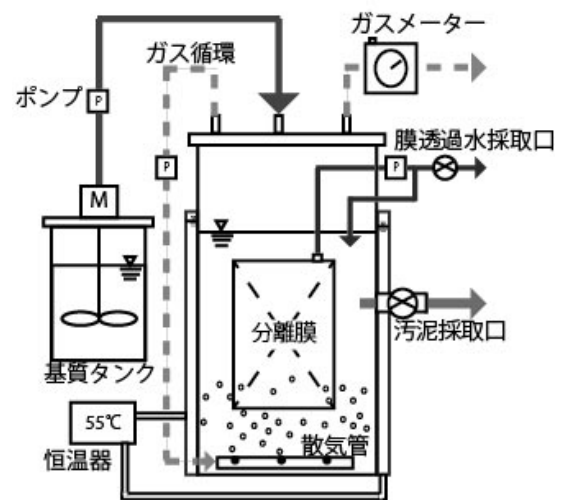


図-1 実験装置概要図

表-1 混合基質の性状

廃棄物	混重量 kg 比	TS (g/L)	VS (g/L)	COD (g/L)	COD/TS
コーヒー廃液	65.3	63.0	53.8	93.0	1.48
乳製品廃液	12.2	31.3	29.1	77.8	2.49
コーヒーかす	14.6	34.7 (%)	34.4 (%)	—	1.60
脱水ケーキ	7.88	12.9 (%)	10.4 (%)	—	0.98
混合基質	100	74.4	70.7	119.3	1.60

表-2 回分試験の結果

廃棄物	メタン生成ポテンシャル (mL-CH ₄ /g-COD)	COD 分解率 (%)	メタンガス濃度 (%)
コーヒー廃液	206	57.3	53.5
乳製品廃液	320	83.3	66.0
コーヒーかす	263	73.7	58.3
脱水ケーキ	141	32.3	66.3
混合基質	259	71.3	60.1

表-3 連続実験の結果

HRT (日)	30	15	10	8.5
OLR (kg-COD/m ³ -d)	3.98	7.96	11.9	14.0
バイオガス量 (L/L)	2.00	2.89	3.48	4.08
メタン分圧 (%)	64.6	61.8	61.9	61.3
COD 分解率 (%)	65.7	57.4	52.2	51.5
TS 分解率 (%)	65.9	55.6	49.7	44.5

連絡先 草谷勇介 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区字青葉 6-6-06 東北大学工学部総合研究棟 1306 環境保全工学研究室

Email: yyli@ep11.civil.tohoku.ac.jp Tel: 022-795-7464 FAX: 022-795-7465

キーワード メタン発酵，コーヒーかす，嫌気性膜分離法

3.2 膜分離メタン発酵連続実験

(1) 連続実験の経時変化

図-2 に示す通り連続実験は 140 日間継続した。HRT を 30 日から 8.5 日まで変えることで容積負荷を段階的に増加させ、ガス生成量などに与える影響を評価した。表-3 に各段階でのガス生成量などの平均値を示した。連続実験開始当初はガス生成量が少なく、VFA も蓄積していた為、メタン菌の活性が低下したと考えられたので、43 日目に良い種汚泥を投入して状況を改善した。容積負荷を増加させていくと、それに伴ってガス生成量は増加した。HRT30 日から 15 日では安定して運転していた。しかし、HRT10 日で槽内に VFA が蓄積し始め、HRT8.5 日では VFA がさらに増加し、それに伴い pH が低下し、ガス生成量を大幅に低下した。この段階で過負荷による障害が起きたと考えられた。アンモニア態窒素は 800mg/L 前後、重炭酸アルカリ度は 2000mg/L 前後で推移した。

(2) 膜分離の性能評価

膜透過水のフラックスと反応槽内混合液の TS 変化を図-3 に示す。フラックスの初期設定は 0.124m/d とした。連続実験 129 日目には TS が 68g/L まで増加したが連続実験 140 日目までフラックスの減少は確認されなかった。バイオガスの返送による膜面洗浄のみで連続 140 日間の運転が可能であった。

(3) COD 物質収支

COD 容積負荷 7.96kg-COD/m³・d の条件化での物質収支を求めた。投入 COD100% に対して 63.5% がメタンガスに変換され、また残存汚泥として 35%、処理水として 4.7% の COD が排出された。

3.3 ケーススタディ

運転が安定していた HRT15 日のデータを元にケーススタディを行った。食品メーカー工場から排出される廃棄物量を 10 トン/日としてメタン発酵させると、262m³/日のメタンガスが得られ、これを都市ガスに換算(熱量ベースで計算)すると 231m³/日で一般家庭の 249 世帯分の一日あたりのガス使用量相当となった。混合基質は TS ベースで 55% 減量化した。

4. まとめ

(1) 回分実験においてコーヒーかすを含む混合基質の COD 分解率は 71% 程度となり、メタン発酵が可能な基質であると考えられた。

(2) COD 容積負荷 7.96kg-COD/m³・d (HRT15 日) までは安定して運転することができ、その際に 0.57 L-Biogas/g-TS・d のバイオガスが発生して、メタン濃度は 61.8 % であった。

(3) 膜の運転はバイオガスの返送による膜表面の洗浄のみで 140 日間の運転が可能であった。

(4) ケーススタディにより、飲料系食品工場にとって膜分離メタン発酵システムは、廃棄物のエネルギー資源化や減量化という点で有用であると考えられる。

参考文献

- 1) 坪田ら：コーヒー滓を主体とした食品工場残渣の無希釈メタン発酵，廃棄物学会論文誌，Vol19, No.1, pp51-60, 2008
- 2) 高柳ら：高温嫌気性膜分離法によるコーヒーかすのメタン発酵，土木学会論文集 G, Vol.69, No7, 2013

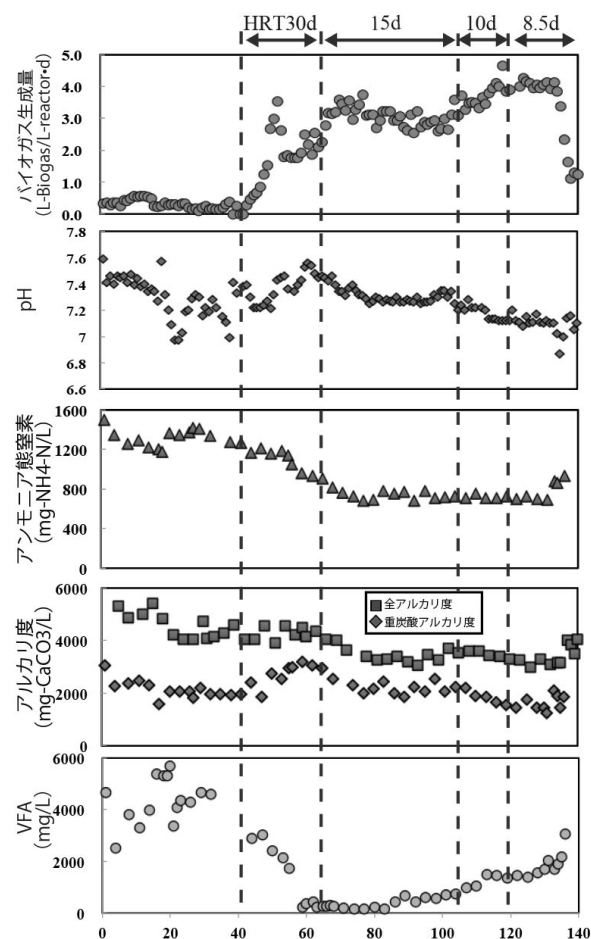


図-2 連続実験の経時変化

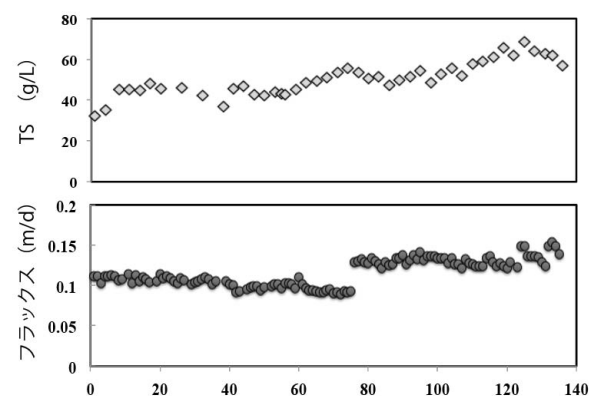


図-3 TS と膜透過水のフラックス

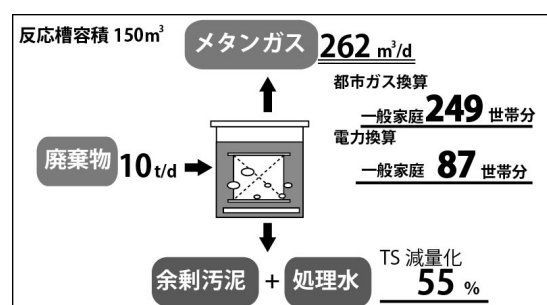


図-4 ケーススタディ