

「新規メンブレンリアクターによる食品廃棄物の高速バイオガス化技術の開発」
 神戸大学大学院農学研究科 吉田 弦

1 研究の背景と目的

食品廃棄物は家庭系、事業系に関わらず大量に排出されているバイオマスである。現状は主として焼却処理がされているが、水分含量が高いことから多大なコストを要する。実際に、焼却や埋立のために年間約 4,000 億円を使用している(三菱総研, 2014)。また、処理時の二酸化炭素発生量は約 454,000 t/年にのぼり地球温暖化への寄与も懸念される(環境省, 2013)。これらより、再資源化が望ましいが、その利用率は約 24%にとどまっている(農林水産省, 2016)。食品廃棄物を有効活用する処理方法として、バイオガス(メタン発酵)がある。メタン発酵は、バイオガスとしてエネルギーを回収でき、また残渣の消化液を液肥として有効活用することができる。しかし、一般的なメタン発酵の問題点として、水理学的滞留時間(HRT)が長いこと、すなわち処理速度が遅いことが挙げられる。

そこで、我々はメタン発酵の高速化を目指し、膜分離と UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)法を合わせた新規メンブレンリアクター(図1:膜分離型 UASB リアクター)を提案した。UASB 法は、有機系排水処理で用いられている処理速度が速いメタン発酵であるが、食品廃棄物のような SS 成分の多い基質の処理には不向きである。そこで、UASB の前段階として、膜分離工程を組み込んだ膜分離リアクターにより、食品廃棄物の可溶化や酸発酵を行い、SS 成分を除去した膜分離液を回収する。この膜分離液を UASB リアクターに投入することで、短時間でバイオガス化を進行させ、食品廃棄物のメタン発酵高速化を図る。本研究では、実験室規模での膜分離型 UASB リアクターを開発し、食品廃棄物のメタン発酵高速化の可能性を評価した。

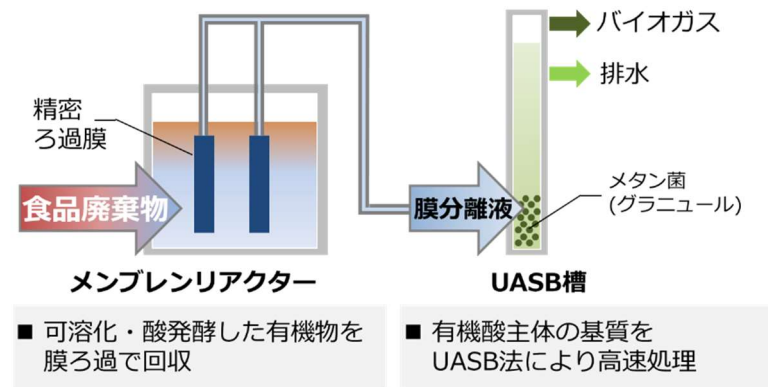


図1 新規メンブレンリアクター（膜分離型 UASB リアクター）概要

2 研究方法・研究内容

2. 1. 膜分離リアクター運転実験

実験室規模の膜分離リアクター(図2)を試作して、モデル食品廃棄物(ドッグフード)を基質として運転を行った。リアクターは密閉型水槽に精密ろ過膜モジュール(孔径0.2 μm)を充填した嫌気性膜分離槽である。システムフローを図3に示す。基質を1日1回ポンプで投入するとともに、膜分離液を連続的にポンプで回収した。また、槽内の凝縮された汚泥を1日1回所定量引き抜いた。これらの操作により水理学的滞留時間(HRT)、固形物滞留時間(SRT)、膜フラックス(透過流束)を決定した。膜の目詰まりの程度を観察するために、運転中は圧力センサにより膜差圧をモニタリングした。実験は Start up,

HRT 5 日, HRT 3 日の 3 種の運転条件で, それぞれ 10 日間, 合計 30 日間行った。運転条件を表 1 に示す。

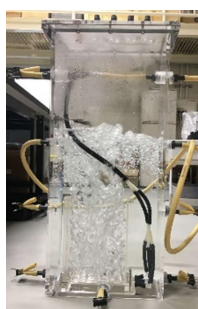


図 2 膜分離リアクター外観

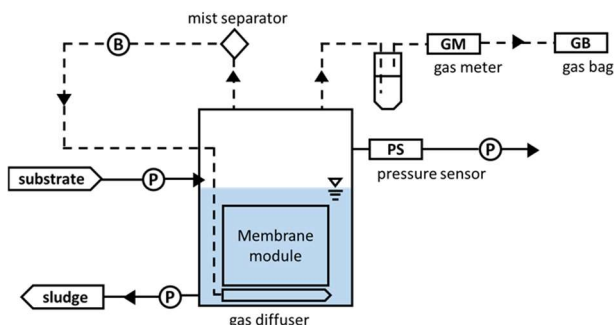
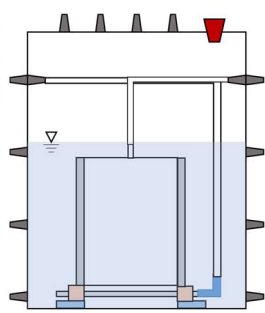


図 3 システムフロー

表 1 膜分離リアクター運転条件

	Start up	HRT5	HRT3
HRT	5 d	5 d	3 d
SRT	15 d	30 d	30 d
基質投入量	3 L/d	3 L/d	5 L/d
VS 負荷量	6.30 kg-VS/m ³ /d	6.30 kg-VS/m ³ /d	10.5 kg-VS/m ³ /d
膜分離量	2 L/d	2.5 L/d	4.5 L/d
汚泥排出量	1 L/d	0.5 L/d	0.5 L/d
膜面積	1,740 cm ²	1,740 cm ²	1,740 cm ²
膜フラックス	0.0115 m ³ /m ² /d	0.0144 m ³ /m ² /d	0.0259 m ³ /m ² /d

2. 2. UASB リアクター運転実験

実験室規模の UASB リアクターを試作して、膜分離液を基質として運転を行った。グラニュール状のメタン菌をキリンビール神戸工場より提供いただき、リアクターに充填して実験に供した。HRT を 2 日に設定し、ガス生成量やガス組成をモニタリングした。

3 研究成果

3. 1. 膜分離リアクターの性能評価

図 4 に膜分離リアクターにおける TS, VS, SS, COD 減少率を示す。TS, VS, SS 減少率はいずれの運転条件でも 50%以上となった。特に SS 減少率の高さから、膜分離リアクターでモデル食品廃棄物の可溶化が進行したことが示唆された。また HRT を 5 日から 3 日に短縮することで、減少率がわずかに低下した。COD 減少率に着目すると、HRT5 日、HRT3 日ともに約 30%程度に留まった。膜分離リアクターでは SS 成分を可溶化しながら、膜分離液へ COD を移行させる必要がある。すなわち膜分離リアクターにおいて COD の損失を少なくしながら、UASB リアクターの基質を生成することが目標とされる。得られたデータから、膜分離リアクターでは有機物の損失を抑えながら SS の分解を高いレベルで維持した運転が可能であることが示された。

図 5 は膜分離リアクターにおける膜分離液の COD 濃度変化と可溶化率を示す。膜分離液の COD 濃度は、Start up では 3,000~18,000 mg/L, HRT 5 では 16,500~25,000

mg/L, HRT 3 では 17,000~24,000 mg/L の値で推移した。これらは後段の UASB の基質として考えると、十分な濃度である。また膜分離液の有機酸組成を調査したところ、いずれの運転条件でも主たる有機酸は酢酸と酪酸であった。したがって、膜分離リアクターにより UASB の投入原料を回収することが可能であることが示された。

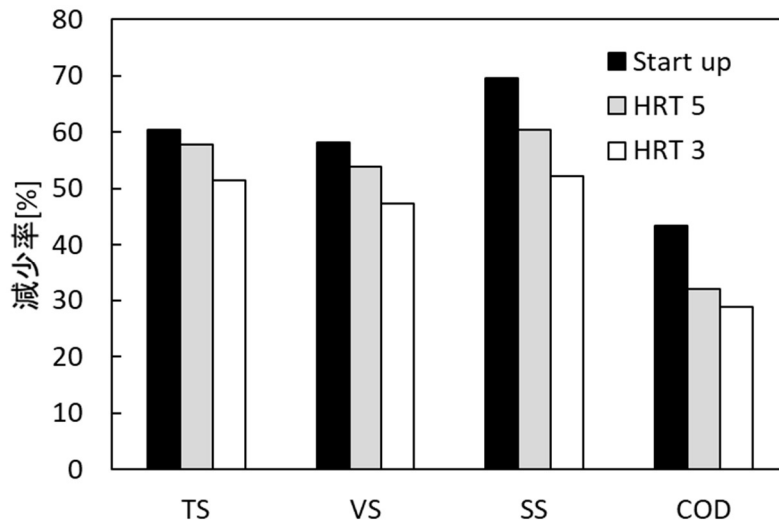


図4 膜分離リアクターにおける減容化性能

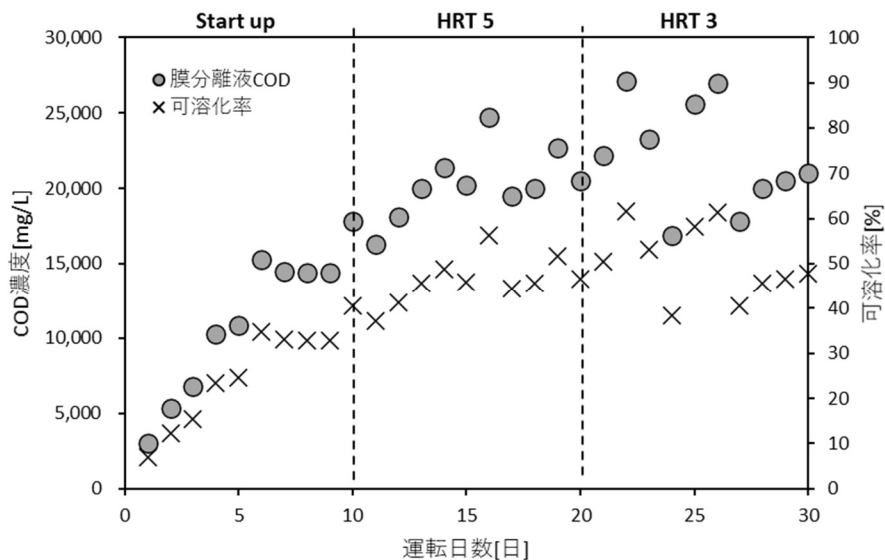


図5 膜分離リアクターにおける膜分離液の COD 濃度変化と可溶化率

3. 2. UASB リアクターにおける膜分離液の発酵特性

表2 UASB リアクターにおける発酵性能

膜分離リアクター 運転条件	メタン濃度 (%)	COD 分解率 (%)	ガス収率 (m ³ /kg-COD)
Start up	69.4	93.8	0.334
HRT 5	63.2	91.6	0.334
HRT 3	64.1	97.1	0.336

表 2 に UASB リアクターのバイオガス生成特性を示す。Start up, HRT 5, HRT 3 いずれにおいてもメタン濃度は 60%以上となった。また、ガス収率もいずれの運転条件においても同等になった。このことから、UASB リアクターで、膜分離リアクターから得られた膜分離液のバイオガス化が可能であると示唆された。

3. 3. 新規メンブレンリアクターの全体プロセス評価

図 6 膜分離型 UASB プロセスにおける COD の物質収支を示す。膜分離型 UASB プロセスにおける COD の排出の割合は 25 から 28%であった。また、バイオガスへの変換割合は 28 から 30%となった。一般的な食品廃棄物のメタン発酵では、COD の排出の割合は約 15%であり、バイオガスの割合は約 80%である(外内ら, 2015)。このことから、膜分離型 UASB プロセスにおけるバイオガス化の割合は一般的なメタン発酵に劣ることが分かった。これは膜分離リアクターの槽内に濃縮された COD 成分は残存しているためと考えられる。よって、効率的にバイオガスを回収するために、膜分離液へさらに COD 成分が移行するような膜分離リアクターの運転条件などの改善が必要であると考えられる。

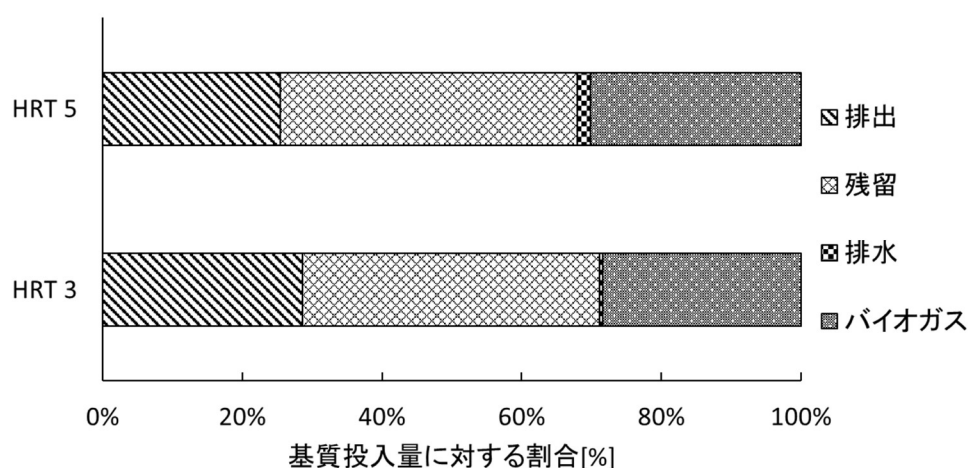


図 6 膜分離型 UASB リアクターにおける全体の COD 物質収支

3. 4. まとめ

食品廃棄物のメタン発酵高速化を目指し、膜分離リアクターと UASB リアクターを用いた連続試験を行った。膜分離リアクターでは、HRT3 日で、SS 分解率が 50%以上で、COD 濃度 25,000 mg/L の膜分離液が回収された。膜分離液は HRT2 日で UASB リアクターでのメタン発酵が可能であった。これらより、膜分離リアクターで HRT3 日、UASB リアクターで HRT2 日、全体で HRT5 日での高速メタン発酵の可能性が示唆された。一方で通常メタン発酵と比較すると基質のバイオガス変換割合が劣っていたことから、膜分離リアクターの運転条件などの改良が必要であると考えられた。

4 生活や産業への貢献および波及効果

本研究によりバイオガスの高速化の可能性が示された。メタン発酵の処理速度短縮は、食品残渣の受入可能量をこれまでの水準に維持したまま、処理施設の規模を縮小することに繋がる。兵庫県は関西地方でも有数の食品産業地域であり、排出される廃棄物系バイオマスの有効利用が求められる。本研究は、処理施設や食品工場等が導入・運用しやすいコンパクトな食品残渣のエネルギー化施設を実現する可能性を秘めており、県内の循環型社会の形成に大きく貢献できると考えられる。