

5. 単位プロセスを統合したムラサキイガイの連続処理

創価大学大学院 工学研究科 泉 光一
創価大学大学院 工学研究科 秋月 真一
創価大学工学部 学術支援員 長尾 宣夫

【研究目的】

既存のメタン発酵処理施設内の有機性廃棄物の処理では、複数の処理プロセスを利用して、付帯設備の付加によるコスト増大や運転エネルギーがかさむ等、経済性の点で厳しい状況下にある（西尾 2008）。一層の普及展開を図るためには、簡略化等によるコスト削減が重要となる。

簡略化のアイデアの一つとして、本プロジェクトでは、これらの一連の処理プロセスのうち共に嫌気条件下で反応が進行するメタン発酵プロセスと脱窒素プロセスを単一槽で同時に進行させる「メタン発酵-脱窒素同時プロセス」を統合した連続処理の可能性について検討した。実際の処理において繰り返し投入される基質には、塩分が含まれており、実際の処理装置を設計するには、実際に多機能プロセスにおいて処理を実施する必要がある。そこで、嫌氣的可溶化と好気処理プロセスを統合した可溶化槽と、メタン発酵と脱窒素を統合した UASB 槽の 2 槽に集約した 2 槽式多機能プロセスを設計・製作した。制作した 2 槽式多機能プロセスを用いて、ムラサキイガイの処理を実施し、プロトタイプ装置の設計指針や課題の抽出を行った。

【研究方法】

<基質と種汚泥>

基質には、平成 21 年 6 月に岩手県、大槌にて採取されたムラサキイガイを用いた。採取したムラサキイガイは、実験に用いるまで -20℃ で冷凍保存し、実験時には貝殻のついた状態で基質として用いた。種汚泥には、横浜市北部汚泥資源化センターより中温

嫌気消化槽の消化汚泥を用いた（表 2-5-1）。

表 2-5-1. 本研究で用いた種汚泥とムラサキイガイの組成

項目	TS (% of wt)	VS (% of dwt)	TCOD (g-COD L ⁻¹)	SCOD (mg-COD L ⁻¹)
消化汚泥	2.5	68.4	22.0	-
ムラサキイガイ (貝肉)	15.5	88.1	247.8	309.5

<装置と運転条件>

実験には、有効容積 12 L の可溶化槽と 5 L のメタン発酵槽を用いた（図 2-5-1）。実験は 37℃ の恒温室において実施し、基質は 1 回の投入量を貝肉量で 200 g-TS とし、合計 2 回投入した。ムラサキイガイを分解するにあたって一連の処理を、（1）可溶化槽において嫌氣的にムラサキイガイを可溶化する可溶化工程、（2）可溶化した有機物をメタン発酵槽においてバイオガス化・分解するメタン発酵工程、（3）メタン発酵プロセスでは、分解しきれない有機物分を処理すると共に、アンモニア態窒素を硝化し、硝酸態窒素ならびに亜硝酸態窒素へと変換する好気処理工程、の 3 つに分けた。

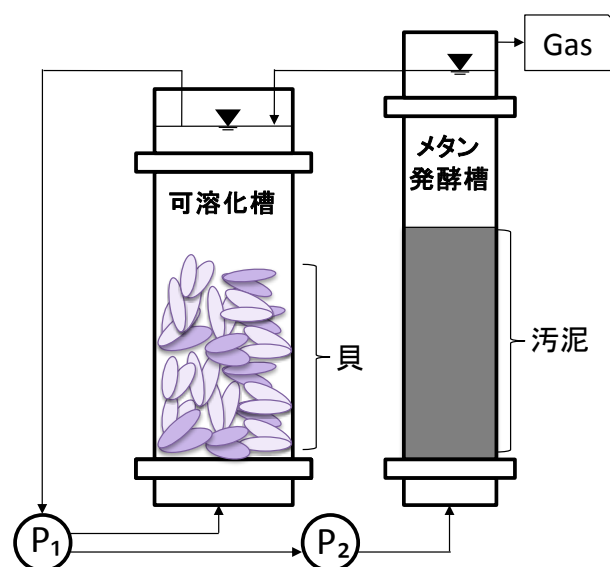


図 2-5-1. 実験に使用した装置の概略図

可溶化工程では、可溶化槽にムラサキイガイを投入し、ポンプ（図 2-5-1 の P₁）にて処理液を循環させながら嫌氣的可溶化処理を実施した。可溶化槽における処理液の送液速度は 0.9 L min⁻¹ とし、HRT を 1.08 h とした。可溶化工程は、23 日間実施した。次にメタン発酵工程では、別のポンプ（図 2-5-1 の P₂）を使用し、可溶化液をメタン発酵槽へ送液し、分解処理を行った。メタン発酵槽への送液速度は、1 L day⁻¹ とした。メタン発酵工程は、69 日間実施した。引き続き実施した好気処理工程では、曝気量 3 L min⁻¹ とし、メタン発酵工程後の処理液は可溶化槽において好気処理を行った。BOD が 0 mg L⁻¹ まで分解された時点で、2 度目のムラサキイガイの投入を行った。1 順目と同様の運転条件で、2 順目の可溶化工程を 12 日間、メタン発酵工程を 51 日間行った（表 2-5-2）。

表 2-5-2. 運転条件

項目	運転期間 (day)	投入貝肉量 (g-TS)	メタン発酵槽への 基質供給速度 (L day ⁻¹)	曝気量 (L min ⁻¹)
1順目嫌気可溶化	0 - 21	200	-	-
1順目メタン発酵	22 - 91	-	1.0	-
1順目好気処理	92 - 145	-	-	3.0
2順目嫌気可溶化	146 - 157	200	-	-
2順目メタン発酵	158 - 209	-	1.0	-

<測定項目および分析方法>

投入基質および種汚泥は、pH、蒸発残留物（Total Solid: TS）、強熱減量（Volatile Solid: VS）、全化学的酸素要求量（Total Chemical Oxygen Demand: TCOD）、溶解性 COD（Soluble COD: SCOD）を測定した。処理水試料は、pH、揮発性脂肪酸（Volatile Fatty Acids: VFAs）、COD、NO₃⁻、NO₂⁻、NH₄⁺、ガス生成量とバイオガス組成（メタン、二酸化炭素）を測定した。発酵液は pH、COD の測定用試料を分取後、500°C で 2 時間加熱した孔径 0.45

μm のガラス繊維濾紙 (GC-50Advantec) を用いてろ過を行い、ろ液を VFAs とイオン測定に用いた。pH、TS、VS、TCOD、SCOD、VFAs の測定は下水試験法 (1997) および Standard method (1998) に準拠して行った。各種 VFAs はガスクロマトグラフィー (GC-9A, Shimadzu, Column: Shincarbon A, Detector: FID) を用いて、酢酸、プロピオン酸、n-酪酸、i-酪酸、n-吉草酸をそれぞれ測定した。バイオガス中のメタンと二酸化炭素の含有率は、ガスクロマトグラフィー (GC-2014AT, SHIMAZU, Column: Sincarbon ST, Detector: TCD) を用いて測定した。

【結果と考察】

<連続処理における pH、塩分濃度、COD 分解率ならびにガス生成量>

1 順目ならびに 2 順目の嫌気可溶化工程では、可溶化槽内の pH は実験 1 日目までに急激に低下し、5.08 に達した (図 2-5-2)。

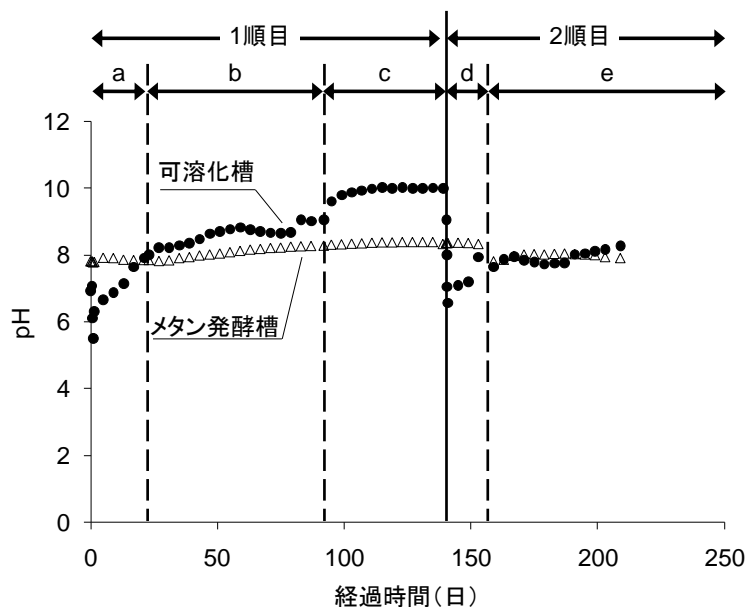


図 2-5-2. 連続回分処理における pH の経時変化

a: 1 順目嫌気可溶化工程、b: 1 順目メタン発酵工程、c: 1 順目好気工程、
d: 2 順目嫌気可溶化工程、e: 2 順目メタン発酵工程

嫌気可溶化は、VFAs 等の酸を生成するために pH を低下させることが知られており

(Griffin et al 1998)、急激な pH の低下は酸生成によるものと考えられる。一方で、メタン生成はアンモニアを生成し、共に pH の上昇を引き起こす (Bernet et al 2001, Yadvika 2004)。1 順目ならびに 2 順目のメタン発酵工程において、メタン発酵槽内の pH は、メタン生成に伴うアンモニアの生成によって緩やかに上昇した。全工程を通して、メタン発酵槽内の pH はメタン発酵の至適 pH である 6.5~8.2 を維持し、メタン発酵工程の良好な運転が観察された。

実験開始から 23 日間実施した 1 順目の嫌気可溶化工程では、TCOD 濃度は実験 5 日目までに急激に増加し、22000 mg-COD L⁻¹まで達した (図 2-5-3)。この TCOD 濃度と処理水量から、ムラサキイガイの可溶化率を計算すると、嫌気可溶化工程では、投入されたムラサキイガイの貝肉の 74.8%貝殻から剥離し、可溶化していたことが示された。

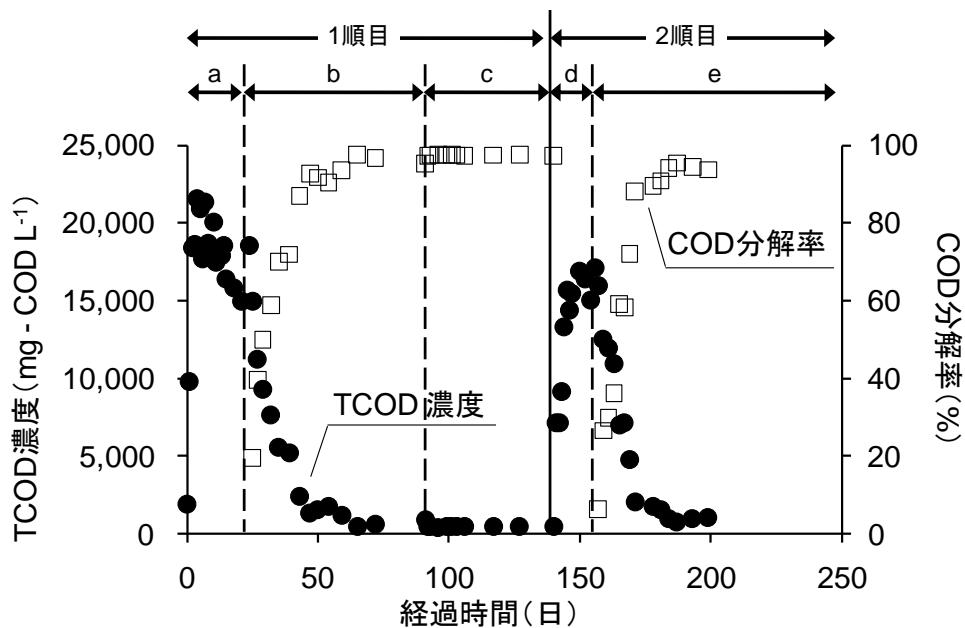


図 2-5-3. 連続回分処理における基質 COD 濃度ならびに COD 分解率

- a: 1 順目嫌気可溶化工程、b: 1 順目メタン発酵工程、c: 1 順目好気工程、
- d: 2 順目嫌気可溶化工程、e: 2 順目メタン発酵工程

処理液中に放出された有機物は、次のメタン発酵工程において急激に分解され、実験開始後 65 日後 (メタン発酵工程開始から 43 日目) には COD 分解率が 95%を超える高い

値となった。またメタン発酵工程が始まると同時にバイオガス生成が確認され、好気工程に切り替えるまで発生した積算のバイオガス生成量は、メタン 46 L、二酸化炭素 9.3 L であった (図 2-5-4)。

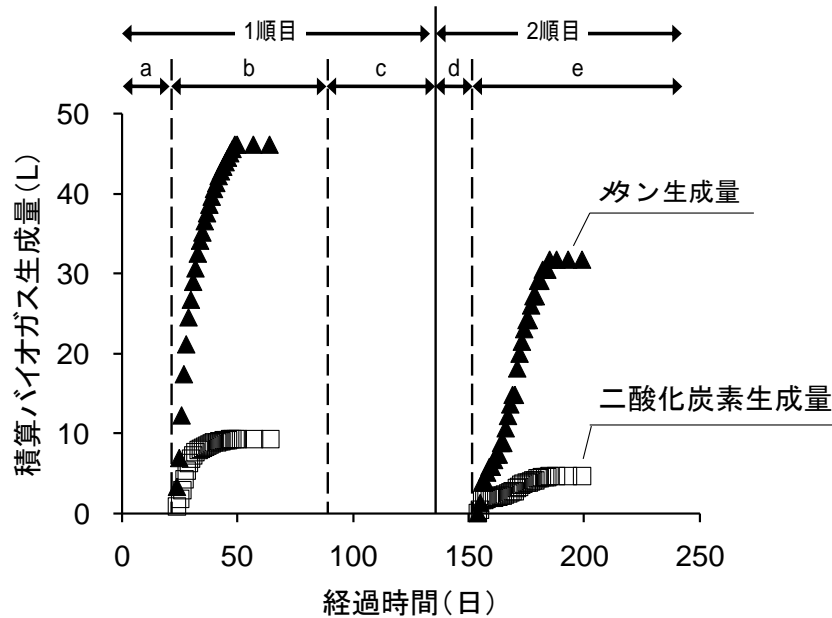


図 2-5-4. 連続回分処理における積算バイオガス生成量

a: 1 順目嫌気可溶化工程、b: 1 順目メタン発酵工程、c: 1 順目好気工程、
d: 2 順目嫌気可溶化工程、e: 2 順目メタン発酵工程

引続き実施した可溶化槽における好気工程では、実験開始 140 日目 (好気工程開始から 49 日目) に BOD 濃度は 0 mg L^{-1} に達し、その時の TCOD 濃度は、 486 mg L^{-1} であった。この COD 濃度と処理液量から、ムラサキイガイの分解率を計算すると、投入されたムラサキイガイの COD ベースでの全有機物量の 98.3%が一連の生物学的な嫌気ならびに好気処理において分解・除去されたことになる。2 順目のムラサキイガイの投入・処理においても TCOD 濃度、COD 分解率ならびにバイオガス生成量は同様の傾向を示した。可溶化工程の TCOD 濃度は $17000 \text{ mg-COD L}^{-1}$ と、1 順目と比較して低い値を示したが、2 順目のメタン発酵工程において COD 分解率は 1 順目と同様に 95%以上の極めて高い分解率を示した。このことから、嫌気可溶化における TCOD 濃度が低くても、

全体処理プロセスにおける COD 分解率は高い値を維持することが明らかとなった。また、2 順目メタン発酵工程におけるバイオガス生成量は、メタン 31.8 L、二酸化炭素 4.7 L であり、1 順目と同様の組成を示したことから、ムラサキイガイの連続投入によるメタン収率の低下は生じないことが示唆された。

1 順目の嫌気可溶化工程における塩分濃度はムラサキイガイ投入後から 7 日目にかけて急激に上昇し、可溶化工程終了時の 23 日目には 11.9‰に達した (図 2-5-5)。

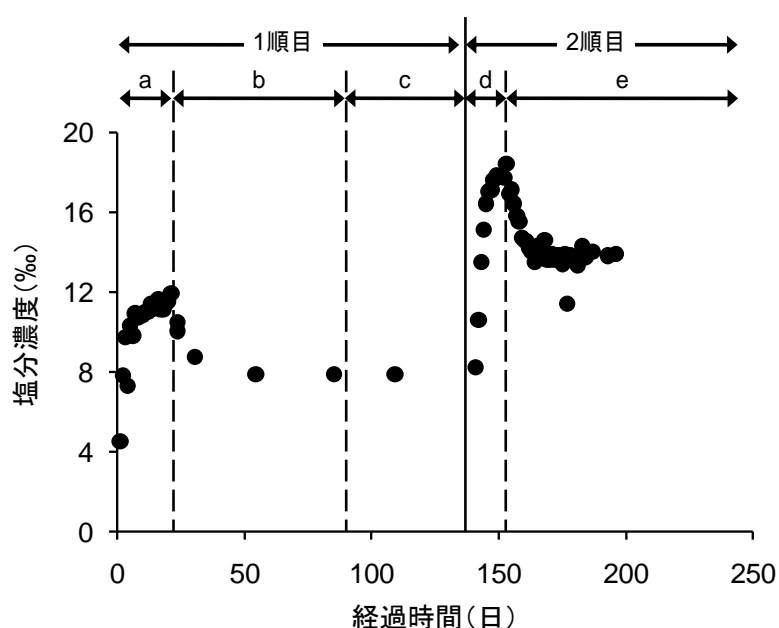


図 2-5-5. 連続回分処理における可溶化槽内の塩分濃度の経時変化

- a: 1 順目嫌気可溶化工程、b: 1 順目メタン発酵工程、c: 1 順目好気工程、
d: 2 順目嫌気可溶化工程、e: 2 順目メタン発酵工程

可溶化液が可溶化槽とメタン発酵槽を循環することで可溶化槽内の塩分濃度は減少し、1 順目好気処理を終えた時点での塩分濃度は 8.2‰の値を示した。2 順目のムラサキイガイの投入によって再び塩分濃度は上昇し、実験開始 154 日目 (2 順目可溶化工程開始から 9 日目) には 17.8‰の値を示した。可溶化液が可溶化槽とメタン発酵槽を循環することで可溶化槽内の塩分濃度は減少し、実験開始から 167 日目 (2 順目メタン発酵工程開始から 8 日目) には 14.0‰に低下した (図 2-5-5)。当研究グループが過去に実施したム

ラサキイガイを用いたメタン発酵処理における塩分の添加実験では、発酵液中の塩分濃度が 20‰以上の系列においてメタン発酵阻害が確認された (Lim et al 2008)。本実験において、2 回のムラサキイガイの投入により増加した塩分濃度は 20‰以下であったものの、3 回目以降は塩分によるメタン発酵阻害を受ける可能性がある。このことから、本プロセスにおいては、メタン発酵槽内の塩分濃度とガス生成量の影響を随時モニタリングし、バイオガス生成が効果的に行われるムラサキイガイの投入回数を検討する必要がある。

本研究の結果から、2 度の繰返し運転程度であれば、提案された 2 槽式多機能プロセスは、ムラサキイガイ処理において高い処理能力を持つことが示された。