

油脂含有食品加工排水のメタン発酵促進技術の研究

片岡直明* 郝凌云** 宮晶子**
石田健一** 山田紀夫*** 鈴木隆幸***

Studies on a Methane Fermentation Process for Treating Oil and Fat Containing Food-processing Wastewater

by Naoaki KATAOKA, Lingyun HAO, Akiko MIYA, Kenichi ISHIDA, Norio YAMADA, & Takayuki SUZUKI

The performance of a methane fermentation process, which included a lipase pretreatment system for catalyzing the breakdown of oils and fats, was studied through batch and continuous experiments. The objects for treatment study were bean-curd-processing wastewater and frying oil containing wastewater. Batch experiment results indicated that lipase pretreatment effectively catalyzed 96% of triglyceride in the oil and fat containing wastewater, breaking it down into fatty acids, alcohol and gas. The methane gas conversion ratio was 80%. As for the continuous experiments, where thermophilic methanogenic treatment was applied on lipase pretreated oil and fat containing wastewater, the experiment results indicated a COD_{Cr} removal of 72% and a methane gas conversion of 61% (as COD_{Cr}). These study results suggested that combining lipase pretreatment with thermophilic methanogenic treatment was effective for digesting oil and fat containing wastewater.

Keywords: Oils and fats, Bean-curd-processing wastewater, Frying-oil, Mesophilic methane fermentation, Thermophilic methane fermentation, Methane gas, Pretreatment, Lipase, Long-chain fatty acid, Triglyceride

1. ま え が き

高濃度の有機性汚濁物質を含有する排水や有機性汚泥の処理には、従来から嫌気性生物処理（メタン発酵）が適用されてきた。メタン発酵は曝気動力が不要なのでエネルギー消費量が節約できること、余剰汚泥の発生量が少ないので処分費用が廉価であること、更にエネルギーとして有用なメタンガスを回収できることなどの利点がある。そのため近年では、廃棄物系バイオマスのバイオガス化技術としても大きく注目されている。

食品加工排水には難分解性有機物の一つである油脂が高濃度で含まれる例が少なくないが、油脂はスカムの原

因になるなど排水処理工程では取り扱いが困難なため、排水処理工程の前段で分離後、産業廃棄物として処分するケースが多い。しかしながら、油脂の組成は大部分が炭素と水素であることから、嫌気的な生物分解反応で油脂分解率が向上すればメタンガスへの転換量が大きく向上することが期待できる。例えばRoedigerによると、分解可能な有機物質1gをメタン発酵した場合の理論的なメタンガス発生量は油脂では850 ml/g、タンパク質で500 ml/g、炭水化物で395 ml/gとしている¹⁾。すなわち、エネルギー回収の観点からは油脂をメタン発酵することの利点は大きく、油脂を可溶化・低分子化してメタン発酵の前駆物質に転換することによってメタンガス回収率を増大できると期待されている。

2. 油脂のメタン発酵

油脂のメタン発酵経路を図1に示す。動植物中の油脂の主成分は、中性脂肪 [高級脂肪酸 (炭素数11以上の長鎖脂肪酸) のグリセロールエステル] やリン脂質 (細胞膜の構成成分) であるが、これらはリパーゼやホスホリパーゼなどの油脂分解酵素又は油脂分解菌の作用によってグリセロールと高級脂肪酸に加水分解される¹⁾。例えば中

* 環境事業カンパニー 環境エンジニアリング事業統括部
水・環境開発室 第二グループ 農学博士

** (株)荏原総合研究所 生物研究室 医学博士

** 同 同 工学博士

** 環境事業カンパニー 産業水処理事業部 水処理技術室
水処理第一グループ

*** 同 環境プラント事業本部 第二技術統括部

*** 現 独立行政法人科学技術振興機構、

*** 前 (株)荏原製作所 環境システム事業部 水・環境開発室

「食品産業における排水・汚泥低減化技術の未来を拓く」(食品産業環境保全技術研究組合編, 恒星社厚生閣, 2002年11月)の第109~137頁に掲載された論文を基に加筆・修正を行った。

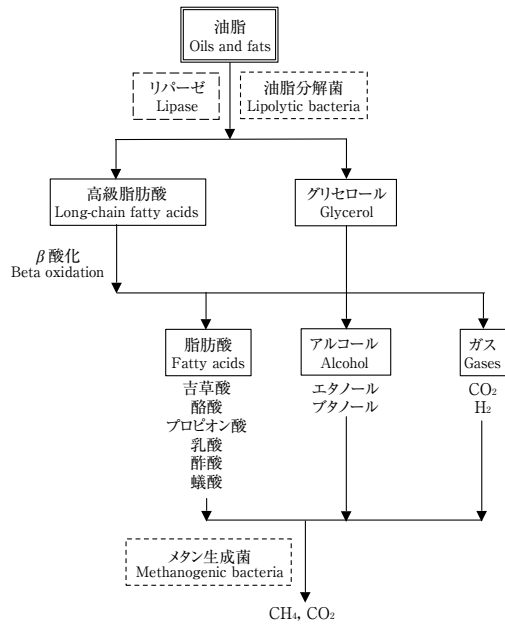
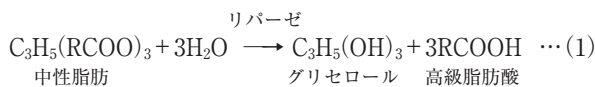


図1 油脂のメタン発酵経路 文献1)を基に作成

Fig. 1 Methane fermentation pathway of oils and fats

性脂肪の場合、1 molの中性脂肪から1 molのグリセロールと3 molの高級脂肪酸が生成する [式 (1)]。



Rはアルキル基（主鎖の炭素につく原子の一群で、炭素と水素のみからなる直鎖又は枝分れ鎖のグループ。メチル基、エチル基など）

グリセロールは酢酸、水素を経由してメタンガスにまで速やかに生物変換され、高級脂肪酸はβ酸化〔脂肪酸の主要な分解経路で、脂肪酸がβ位（C3位）で酸化を受け、酢酸単位に分解する〕によって酢酸にまで分解された後、メタンガスへと生物変換される²⁾。高級脂肪酸は分解速度が遅く、水素生産性酢酸生成菌やメタン生成菌の生育を阻害しやすいためにメタン発酵過程で反応律速となりやすいとされている³⁾。

油脂類のメタン発酵処理を目的とした従来研究では、活性炭等の脂質吸着剤でメタン発酵阻害を低減する方法⁴⁾、乳化剤添加によって油脂分散性を向上する方法⁵⁾などが報告されている。また、油脂分解酵素を用いて中性脂肪分解を促進してメタン発酵する方法も提案されている。しかしながら、酵素処理による中性脂肪分解を前処理に適用した場合のメタン発酵特性や発酵促進効果に関しては、具体的に検討した研究報告はない。

本研究では、メタン発酵の前処理としてリパーゼ処理を組み入れたメタン発酵の適用性について、中性脂肪を

高濃度に含有する豆腐製造排水に揚げ廃油を添加した油脂含有排水を実験原料として回分系及び連続系で検討した結果を報告する。

3. 実験材料及び方法

3-1 実験材料

(1) 油脂含有排水

A食品製造工場の豆腐製造排水に揚げ廃油を適宜添加して油脂含有排水とした。

(2) 油脂分解酵素

a. リパーゼ

脂質を加水分解するリパーゼSP398（ノボノルディスクバイオインダストリー(株)製）を使用した。本酵素は50℃で利用可能な耐熱性リパーゼであり、その特徴は次のとおりである。酵素比活性100 kU/g（1 kUとは、一定の標準条件下でトリブチリンから酪酸を1分間に1 mmol遊離させる酵素量）、細菌由来、液状、適用温度20～50℃（耐熱タイプ）、適用pH6～11。

b. 酸化還元酵素

高級脂肪酸を酸化分解する酸化還元酵素製剤DeniLite（ノボノルディスクバイオインダストリー(株)製）を使用した〔本製剤にはラッカーゼ、酵素メディエーター（反応伝達物）、リン酸緩衝剤、ノニオン系界面活性剤が含まれる〕。ラッカーゼの酵素活性の特徴は次のとおりである。酵素比活性500 U/g、カビ由来、ゼリー状、適用温度50～70℃（耐熱タイプ）、適用pH5～7。

(3) 種汚泥

回分実験では、生ごみの高温メタン発酵汚泥⁶⁾を種汚泥とし、豆腐製造排水に揚げ廃油(5 ml/l)を添加した排水を用いて53℃で3箇月間馴致(じゅんち)した。馴致汚泥の性状は次のとおりである。VSS 3420 mg/l, COD_C7940 mg/l, クロロホルム抽出物質2720 mg/l, 中性脂肪1500 mg/l, 高級脂肪酸299 mg/l, pH7.8。

連続実験には、生ごみの高温メタン発酵汚泥⁶⁾と豚糞尿の中温メタン発酵汚泥⁷⁾を種汚泥とした。

3-2 メタン発酵前処理方法の検討

(1) 前処理条件の検討

豆腐製造排水に揚げ廃油を添加し(廃油添加濃度2 ml/l - 排水), この油脂含有排水を①室温, ②50℃, ③リパーゼ(5 kU/l)・50℃, ④酸化還元酵素(2 g/l)・50℃, ⑤リパーゼ(5 kU/l)+酸化還元酵素(2 g/l)・50℃の各条件でpH5～6, 約16時間処理した。反応終了後, クロロホルム/メタノール(2:1)の混合溶媒を用いた分液漏斗抽出法(KM Shaker V-DX, Iwaki)で反応液中の全

脂質分を抽出し、脂質成分を分析した。

(2) メタン発酵回分実験

豆腐製造排水に揚げ廃油 5 g/l を添加，NaOH 溶液 1 mol/l で pH6～7 に調整後（VSS 15300 mg/l，COD_{Cr} 33200 mg/l，pH3.9），①室温，②50℃，③リパーゼ前処理（10 kU/l），④酸化還元酵素前処理（2 g/l）の各条件で前処理した。次に，有効容積 125 ml のバイアルビンに各前処理水 3 ml と油脂含有排水で馴致したメタン発酵汚泥 37 ml とを混合後，気相部を窒素置換し，55℃，100 min⁻¹ で振とう培養し，メタンガス生成量を経時的に測定した。なお，回分実験での脂質分析はヘキサン/イソプロパノール（5：3）の混合溶媒を用いた試験管抽出法で行った。

(3) 高級脂肪酸濃度の影響の検討

前項の回分実験と同様に油脂含有排水を調整し，リパーゼ（5 kU/l）で前処理した。このリパーゼ前処理水 3 ml，9 ml，12 ml，15 ml を豆腐製造排水で馴致したメタン発酵汚泥 37 ml（VSS 3800 mg/l，COD_{Cr} 16600 mg/l，クロロホルム抽出物質 2980 mg/l，中性脂肪 665 mg/l，高級脂肪酸 233 mg/l，pH8.2）に添加し，55℃でメタン発酵回分実験を行った。また，前処理水無添加のメタン発酵系を対照実験系とした。

3-3 メタン発酵連続実験

酵素前処理槽（有効容積 2.5 l）及び完全混合型メタン発酵槽（攪拌速度 95 min⁻¹，有効容積 3.5 l）からなる連続実験装置 3 系列を用い，豆腐製造排水に揚げ廃油 1 ml/l を添加した原水を用いた（揚げ廃油添加は運転 85 日目以降に実施）。原水の酵素前処理ではリパーゼ 4 kU/l，50℃で 1 日処理し，酵素処理後は 5℃に冷却保存した。

連続実験は A：前処理なし・高温メタン発酵（55℃），B：リパーゼ前処理・高温メタン発酵，C：リパーゼ前処理・中温メタン発酵（35℃）の 3 系列で行った。表 1 に連続運転条件，表 2 に原水性状を示す。なお，発酵槽 A では運転 142 日目までは乳化剤としてアルギン酸ナトリウムを添加し，それ以外の連続実験系では乳化剤としてベントナイト，pH 調整剤として水酸化カルシウムを適宜添加しながら行った。

3-4 分析方法

原水及びメタン発酵汚泥中の脂質は，クロロホルム/メタノール（2：1）又はヘキサン/イソプロパノール（5：3）の混合溶媒で抽出し，抽出液を 80℃で乾燥後，抽出物質濃度を算出した。そして，抽出物質中の全脂質成分をクロマトド-SⅢ及び TLC/FID 分析計（Iatroscan TH-10，Iatron）で中性脂肪，高級脂肪酸，極性脂質（リン酸や

表 1 豆腐製造排水を用いたメタン発酵連続実験の運転条件

Table 1 Operational conditions of continuous methane fermentation experiments for treating bean-curd-processing wastewater

発酵槽 Digester	A	B	C	
温度 (°C) Temperature	55	55	35	
HRT (days)	16	15	16～25	
揚げ廃油添加 Addition of waste frying-oil	0 ml/l 84 日目まで 0 ml/l until 84th day 1 ml/l 85 日目以降 1 ml/l after 85th day			
リパーゼ前処理 Lipase pretreatment	-	+	+	
COD _{Cr} 負荷 COD _{Cr} loading	g/l·d g/g-VSS·d	1.43 0.30	1.35 0.24	0.81 0.35
油脂負荷 Oils and fats loading (mg/g-VSS·d)	ヘキサン抽出物質 Hexane extracts 中性脂肪 Triglycerides 高級脂肪酸 Long-chain fatty acids	33.8 18.4 4.93	28.4 0 19.3	40.7 0 27.7

表 2 豆腐製造排水のメタン発酵連続実験での原水性状

Table 2 Characteristics of bean-curd-processing wastewater used in continuous methane fermentation experiments

原水 Wastewater	発酵槽 A Digester A	発酵槽 B と C Digesters B&C	
リパーゼ処理 Lipase pretreatment	+	-	
蒸発残留物 (mg/l) Total solids (TS)	18900	18600	
強熱減量 (mg/l) Volatile solids (VS)	13100	12600	
懸濁物質 (mg/l) Suspended solids (SS)	5950	5810	
有機性懸濁物質 (mg/l) Volatile suspended solids (VSS)	5570	5150	
COD _{Cr} (mg/l)	22900	20300	
BOD (mg/l)	10900	12400	
ケルダール窒素 (mg/l) Kjeldahl nitrogen	1160	1390	
揮発性有機酸 (mg/l) Volatile fatty acids	5050	4400	
油脂 (mg/l) Oils and fats	ヘキサン抽出物質 Hexane extracts 中性脂肪 Triglycerides 高級脂肪酸 Long-chain fatty acids	2590 1410 378	2380 56 1620
pH	5.4	7.0	

塩基などを含む脂質群) の各濃度を定量分析した。更に，抽出物質中の高級脂肪酸濃度をガスクロマトグラフで分析した（株島津製作所 GC-17A，水素炎イオン化検出器 (FID)，キャピラリーカラム DB-FFAP）。

発生ガス組成はガスクロマトグラフで分析した（ジーエルサイエンス GC-323，熱伝導度検出器 (TCD)，TCD 電流値 120 mA，分離カラム Active carbon 30/60，

カラム温度95℃, キャリヤーガスはヘリウム)。

揮発性脂肪酸は高速液体クロマトグラフで分析した(株イーアールシーERC-8710, 示差屈折検出器(RI), 分離カラムShodex RSpak KC-811, カラム温度60℃, 移動相0.1%リン酸)。COD_{Cr}分析は米国のStandard Methods 18th Edition(1992年)に準じた。TS(蒸発残留物, Total solids), VS(強熱減量, Volatile solids), SS(懸濁物質, Suspended solids), VSS(有機性懸濁物質, Volatile suspended solids), BOD, ケルダール窒素, pHの分析は下水試験方法上巻(1997年版)に準じた。

4. 結果及び考察

4-1 メタン発酵前処理方法の検討

(1) 酵素処理による前処理特性

油脂含有排水を種々の可溶化条件で前処理した結果を図2に示す。リパーゼ単独で処理した場合, 試料中の中性脂肪の96%が高級脂肪酸に変換された。酸化還元酵素製剤で処理した場合, 中性脂肪の85%が分解したが, 脂肪酸生成は見られずに大部分は極性脂質に変換された。リパーゼと酸化還元酵素製剤を併用した場合, 中性脂肪が100%分解され, 同時に高級脂肪酸も生成された。このように, 酵素処理方法によって脂質組成が大きく異なることが分かった。なお, 酵素処理後の試料には, 中性脂肪の油滴は肉眼では観察されなかった。

(2) メタン発酵に及ぼす前処理条件の影響

豆腐製造排水に揚げ廃油5 g/lを添加した油脂含有排水を4種類の条件で前処理後, 8日間のメタン発酵回分実験でメタンガス生成量を調査した(図3)。メタン発酵前の試料中の全COD_{Cr}量から算出した理論メタンガス生成量に対して, リパーゼで前処理した排水(図3中の③)では培養8日目に理論値の80%のメタンガス転換率が得られた。これに対してリパーゼで処理しない排水

(同①と②)では, 培養8日目のメタンガス生成量は理論値の30%であった。また, 酸化還元酵素製剤で前処理した排水(同④)では, 理論値の10%以下のメタンガス生成量であった。なお, ベントナイト又はアルギン酸ナトリウムで前処理(室温と50℃)した系で9日間のメタン発酵実験を行った結果では, メタン発酵促進効果は認められなかった(実験データ省略)。

以上の実験から, 油脂含有排水をリパーゼで前処理することによって原水中の中性脂肪の96%が分解され, メタンガスに80%変換できることがわかった。一方, 酸化還元酵素製剤は中性脂肪を極性脂質や疎水性物質に変換するが, メタン発酵の前処理には効果的でないことが分かった(図2, 図3)。

(3) 高級脂肪酸濃度の影響

豆腐製造排水に揚げ廃油を添加した油脂含有排水をリパーゼで加水分解し, 生成した高級脂肪酸をガスクロマトグラフ分析した。その結果, 脂肪酸構成はオレイン酸(炭素数と不飽和度はC18:1, 含有率は50.0%), リノール酸(C18:2, 25.0%), パルミチン酸(C16:0, 10.3%), リノレン酸(C18:3, 7.8%), ステアリン酸(C18:0, 6.8%)であった。このリパーゼ前処理水を用いて, メタン発酵汚泥への添加量を変えて回分実験を行った結果を図4に示す。リパーゼ前処理水を3 ml(図4中の②)又は9 ml(同③)添加した場合, 14日間でメタンガス生成がほぼ完了した。一方, リパーゼ前処理水12 ml(同④)あるいは15 ml(同⑤)を添加した場合, 実験開始後14日間はほとんどメタンガスは生成されず, 14日目以降に④のメタンガス生成量が急速に上昇し, ⑤も徐々にメタンガスを生成し始めた。これらの結果から, リパーゼ前処理水の添加比率が過剰となるとメタン発酵が阻害されることが分かった。中でも, リパーゼ処理水12 ml以上を添加した系では不飽和高級脂肪酸(オレイン酸, リノール酸, リノレン酸)によるメタン生成活性の阻害が生じたものと推測され, この時の油脂負荷は

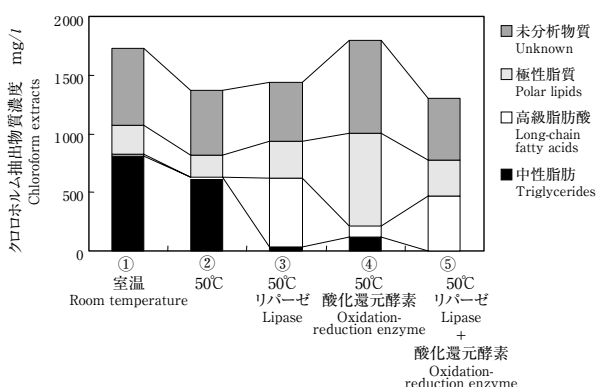


図2 豆腐製造排水の酵素処理性能

Fig. 2 Enzymatic treatments of bean-curd-processing wastewater

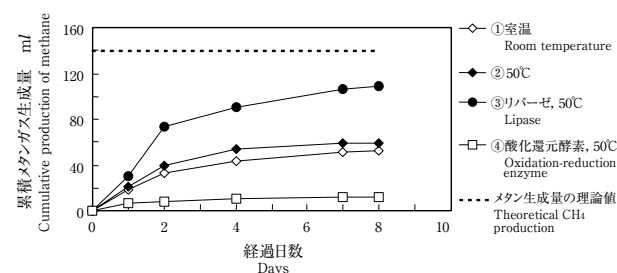


図3 豆腐製造排水のメタン発酵における前処理の影響

Fig. 3 Effect of pretreatment on the methane fermentation of bean-curd-processing wastewater

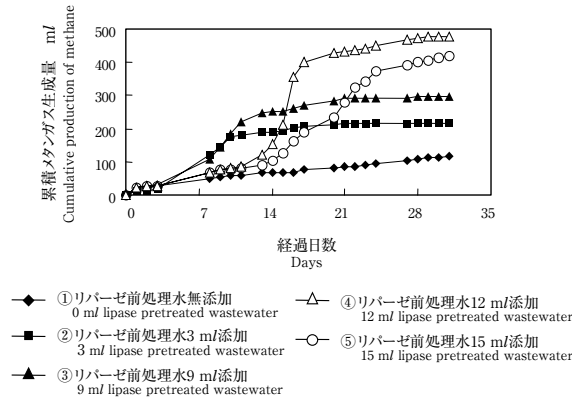


図4 リパーゼで前処理した豆腐製造排水のメタン発酵回分実験
 Fig. 4 Batch experiments on methane fermentation of bean-curd-processing wastewater pretreated by lipase

1380 mg/gVSS, 高級脂肪酸負荷としては270 mg/gVSSであった。

4-2 メタン発酵連続実験

(1) 連続処理特性

3系列のメタン発酵連続運転によるガス生成速度を図5に示す。生成ガス中のメタンガス含有率の平均は、メタン発酵槽Aが64.1%, 同発酵槽Bが63.4%, 同発酵槽Cが69.8%であった。運転150日目から4箇月間の連続運転で安定処理できたときのCOD_{Cr}負荷は、高温メタン発酵

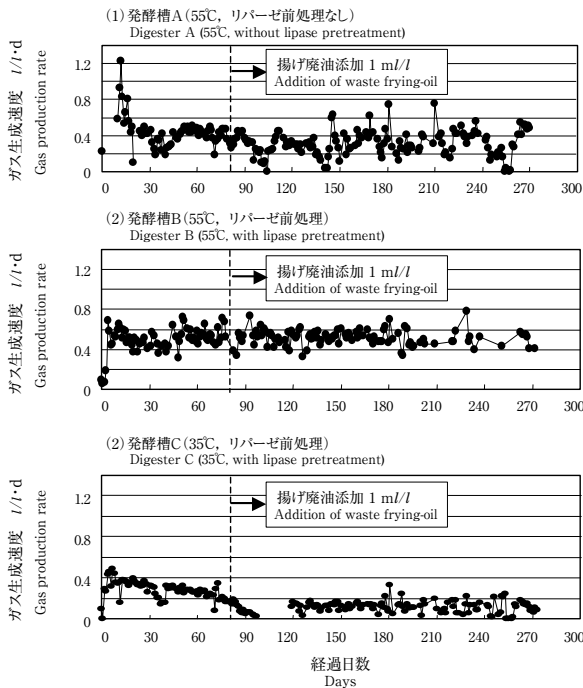


図5 豆腐製造排水のメタン発酵連続運転におけるガス生成速度
 Fig. 5 Gas production rate in the continuous methane fermentation for treating bean-curd-processing wastewater

の場合1.5 g/(l·d), 中温メタン発酵の場合0.8 g/(l·d), 脂質負荷は高温メタン発酵の場合150 mg/(l·d), 中温メタン発酵の場合91 mg/(l·d)であった。これらの結果から、高温メタン発酵の方が中温メタン発酵よりも脂質負荷を高く運転できることが分かった。

連続運転による処理性能を表3に示す。メタン発酵槽の安定運転時(運転174日目)においてCOD_{Cr}除去率はリパーゼ前処理系(発酵槽B: 72.3%, 発酵槽C: 82.2%)の方がリパーゼ前処理しない系(発酵槽A: 67.7%)よりも高かった。また、ヘキサン抽出物質除去率もリパーゼ前処理系(発酵槽B: 77.3%, 発酵槽C: 86.8%)の方が高かった。

(2) リパーゼによる前処理効果の検討

リパーゼによる前処理効果を検討するため、メタン発酵汚泥中に残留したヘキサン抽出物質の成分組成を約2週毎に定量分析した(図6)。リパーゼ前処理しない系(発酵槽A)では発酵槽内に中性脂肪が残留していたのに対して、リパーゼ前処理系(発酵槽BとC)では中性脂肪はほぼ完全に分解され、高級脂肪酸も90%以上分解された。これらの結果から、油脂のメタン発酵においてはリパーゼによる前処理が油脂分解に有効であることが分かった。

(3) 物質収支

メタン発酵連続実験による処理性能を評価するため、3系列の安定した運転期間中のメタンガス生成量(運転146~174日目の29日間)、原水及びメタン発酵汚泥のCOD_{Cr}平均値を基に物質収支(COD_{Cr}収支)を算出した(図7)。

表3 豆腐製造排水のメタン発酵連続実験における汚泥性状(運転174日目)
 Table 3 Characteristics of methane fermentation sludges for treating bean-curd-processing wastewater at 174th day

発酵槽 Digester		A	B	C
COD _{Cr} (mg/l)		7400	5630	3610
除去率	Removal	67.7%	72.3%	82.2%
BOD (mg/l)		1550	892	388
除去率	Removal	85.8%	92.8%	96.9%
油脂 (mg/l)	ヘキサン抽出物質 Hexane extracts	1120	540	315
Oils and fats	除去率 Removal	56.8%	77.3%	86.8%
	中性脂肪 Triglycerides	289	11.5	17.6
	除去率 Removal	79.5%	99.2%	98.8%
	高級脂肪酸 Long-chain fatty acids	51.9	46.6	26.8
	除去率 Removal	86.3%	97.1%	98.3%
揮発性有機酸 (mg/l)	Volatile fatty acids	123	127	0.99
pH		7.5	7.5	7.3

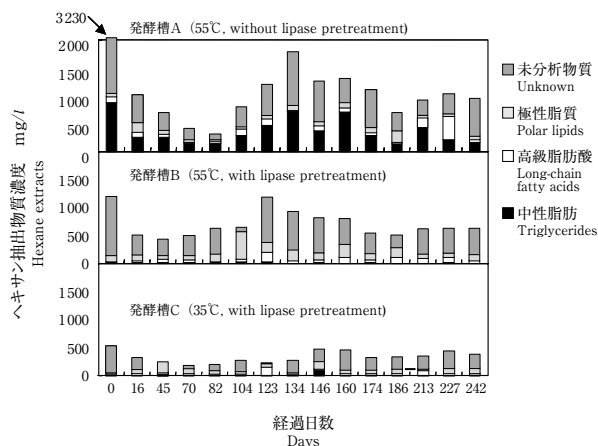


図6 豆腐製造排水のメタン発酵連続運転における油脂分解特性
 Fig. 6 Degradation of oils and fats in the continuous methane fermentation for treating bean-curd-processing wastewater

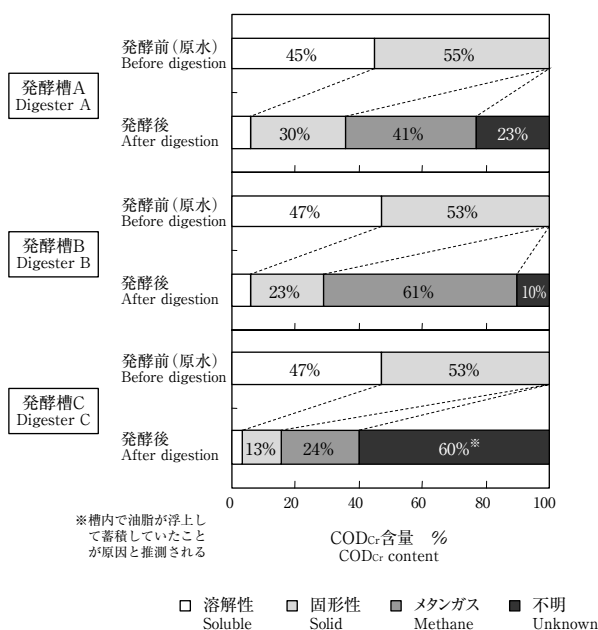


図7 豆腐製造排水のメタン発酵連続運転におけるCOD_{Cr}物質収支 (第146～174日の29日間の運転データから算出)
 Fig. 7 COD_{Cr} mass balance on methane fermentation for treating bean-curd-processing wastewater (Calculated from data obtained in a 29-day operant period from 146th day to 174th day.)

リパーゼ前処理・高温メタン発酵系(発酵槽B)では、油脂含有排水のCOD_{Cr}除去率72%、除去COD_{Cr}の86%をメタンガスとして回収でき、メタンガス転換率は61%であった。これに対して、リパーゼ前処理なし・高温メタン発酵系(発酵槽A)ではCOD_{Cr}除去率64%、除去COD_{Cr}の64%がメタンガスとして回収され、メタンガス転換率は41%であった。また、リパーゼ前処理・中

温メタン発酵系(発酵槽C)ではCOD_{Cr}除去率は84%と高かったが、メタンガス回収率は除去COD_{Cr}の29%と非常に少なかった。発酵槽Cの物質収支で不明分が60%を占めた原因は、中温発酵では油脂の分解性が悪く、槽内表層部で油脂類と汚泥が浮上して蓄積したためと推察される(次項参照)。

(4) メタン発酵槽内の観察

連続運転期間中の3系列のメタン発酵槽内を観察した(写真)。中温メタン発酵(発酵槽C)では発酵液表層に多量のスカムが蓄積し、発酵槽内壁にも油脂状物質が厚く付着していた。これに対して、高温メタン発酵系(発酵槽AとB)では液表層でのスカム発生はほとんどなく、発酵槽内壁に付着した油脂様物質量は発酵槽A>発酵槽Bの順であった。

(1) 発酵槽A (55°C, リパーゼ前処理なし)
 Digester A (55°C, without lipase pretreatment)



(2) 発酵槽B (55°C, リパーゼ前処理)
 Digester B (55°C, with lipase pretreatment)



(3) 発酵槽C (35°C, リパーゼ前処理)
 Digester C (35°C, with lipase pretreatment)



06-82 01/212

写真 メタン発酵槽内の汚泥表層部の観察
 Photo Views of methane fermentation sludges inside digesters

4-3 総合考察

本研究で得られた実験結果を基に、油脂含有排水のメタン発酵について考察した。油脂は微生物や酵素による生物分解を受けにくいいため、分解を促進するためにはできるだけ油脂を分散しながら微生物や酵素との接触性を良くすることが重要と言える。本研究の連続実験から、油脂のメタン発酵では中温よりも高温メタン発酵の方が適していると考えられた(図5~7)。また、高温メタン発酵だけの処理では脂質分解性は高くなかったことから(図6)、リパーゼ前処理と高温メタン発酵を組み合わせた処理プロセスが有効であると考えられる。

今後は、油脂系メタン発酵装置の最適化を進めて、油脂分解における微生物反応の促進とバイオガス回収率向上を図っていきたい。

5. まとめ

メタン発酵の前処理として油脂分解酵素(リパーゼ)処理を組み入れたメタン発酵プロセスについて、豆腐製造排水と揚げ廃油を実験原料として、回分系と連続系で検討した。

(1) 油脂含有排水のリパーゼ前処理によって中性脂肪の96%が分解され、メタンガス転換率80%(COD_{Cr}基準)が得られた。一方、リパーゼ処理しない場合には中性脂肪が残留した。酸化還元酵素製剤では中性脂肪を極性脂質や疎水性物質に変換したが、メタン発酵の前処理には効果的ではなかった。

(2) 油脂含有排水のメタン発酵回分実験では、リパーゼ処理水のメタン発酵汚泥への添加量が多くなるとメタン発酵が阻害された。これは不飽和高級脂肪酸が限界濃度以上となったためと考えられる。

(3) 油脂含有排水のメタン発酵連続実験では、油脂含有排水にはリパーゼ前処理と高温メタン発酵の組み合わ

せが有効であることが分かった。リパーゼ前処理なしで連続運転した高温系では、発酵汚泥中に中性脂肪が残留した。

(4) 油脂含有排水をリパーゼで前処理して高温メタン発酵した系(発酵槽B)の物質収支解析では、COD_{Cr}除去率72%、メタンガス転換率61%(COD_{Cr}基準)であった。

謝 辞

本研究は、農林水産省のプロジェクト「エコシステムの制御による高度排水処理技術の開発」において、食品産業環境保全技術研究組合の委託研究として実施されたものである。水質及び汚泥分析では山下浩司氏、川辺通子氏、加藤裕子氏に多大な協力を得た。深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 岩井重久監著, 申丘徹・名取真共著: 下・廃水汚泥の処理, コロナ社, pp.25-43 (1968).
- 2) Michael J. McInerney. Anaerobic hydrolysis and fermentation of fats and proteins, pp.373-415. In Alexander J.B. Zehnder (ed.), *Biology of anaerobic microorganisms*. John Wiley & Sons, Inc. (1988).
- 3) チュウ シュンホウ, 李玉友, 宮原高志, 野池達也: 中温および高温メタン発酵に及ぼす高級脂肪酸の阻害効果の比較, 土木学会論文集, No.559/VII-2, pp.31-38 (1997).
- 4) Angelidaki, I. and Ahring, B.K. Establishment and characterization of an anaerobic thermophilic (55°C) enrichment culture degrading long-chain fatty acids. *Appl. Environ. Microbiol.* 61 (6), pp.2442-2445 (1995).
- 5) Beccari, M., Majone, M., Petrangeli Papini, M. and Torrisi, L. Enhancement of anaerobic treatability of olive oil mill effluents by addition of Ca(OH)₂ and bentonite without intermediate solid/liquid separation. *Wat. Sci. Technol.*, 43 (11), pp.275-282 (2001).
- 6) チュウ シュンホウ, 片岡直明, 宮晶子, 山田紀夫: 生ごみの中温および高温メタン発酵特性, 第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.298-300 (1999).
- 7) 片岡直明, 鈴木隆幸, 鈴木芳郎, 石田健一, 山田紀夫, 本多勝男: 家畜糞尿のメタン発酵処理システムの実証試験, エバラ時報, 第188号, pp.9-20 (2000).