

1 新技術情報  
その1

畜産環境保全に関する技術開発成果発表会から

メタン発酵処理液の有効利用と低コストをめざした浄化方法の開発

株式会社大林組 田波 重信、共同研究先 株式会社クボタ 柴田 敏行、藤田 智子

1. はじめに

近年では大量の廃棄物が、水質汚濁、地下水汚染、悪臭、ハエ等の衛生害虫などさまざまな環境問題を引き起こしている。そうした背景を踏まえて家畜ふん尿では平成11年11月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が、平成13年6月に「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」が施行され、有機性廃棄物の適正処理を行うよう法が整備された。こうした法律に対応する技術の一つにメタン発酵処理があげられる。また、平成14年12月に農林水産省より「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定となり、平成15年4月に「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」が施行されたことでメタン発酵処理の過程で発生するバイオガスのエネルギー利用が促された。

弊社では大林・BIMAシステムという有機性廃棄物のメタン発酵処理及びバイオガスのエネルギー利用技術を有しており、京都府八木町にて家畜ふん尿を処理する実施設「八木バイオエコロジーセンター」(以下、YBEC)が5年間順調に稼働している。本研究では、この実施設の運転を通して課題に挙げたメタン発酵処理液(以下、消化液)の低コスト処理方法について、実証試験を行った。

2. 課題と検討項目

当時、具体的な課題となっていたのは運転費に占める薬品費の大きさと排水中に含まれる窒素と色度成分の効果的かつ低コストな除去方法についてであった。薬品費を削減する方法には次の2つが考えられた。①排水処理する消化液を減らすこと、②安価な薬品を使用すること。また、窒素および色度除去の問題解決には、③し尿処理等で実績のある技術の適応が考えられた。そしてこれに付随し、④消費される薬品の最適量を把握することで低コスト運転に寄与できると考えた。

次に、以上に挙げた検討項目について具体的な検討方法を述べる。

①について、消化液はアンモニア性窒素を多く含むが、これを河川に放流する場合、水質規制を満たすために排水処理して窒素成分等を排水中から除去する必要がある。このアンモニア性窒素は、昔からし尿や家畜ふん尿が肥料として使われているように肥料として十分価値があることが予想された。また、費用をかけて排水処理を行うよりも現在使用されている化学肥料の代替品として利用できれば、ふん尿からエネルギーをとり、それを作物の肥料にして家畜の飼料を育てるという地域循環型農業が期待できると考えられた。そこで本研究では消化液と化学肥料を実際の圃場にて作物に施肥したときの効果を比較することとした。

②について、実際液肥として消化液が使えない場合、排水処理でアンモニア性窒素を除去することになるが、排水中の窒素成分を生物処理で除去するためにはBOD源が必要になり、もともと

原料中に含まれるBOD源はメタン発酵の過程でバイオガスとして消費されてしまうため、新たにBOD源を必要とする。このBOD源は一般的にメタノールを購入することになる。一方、このメタノールの代わりとなりうる有機性廃棄物が産業廃棄物として有償で処分される実態もある。八木町では酪農も盛んなため牛乳加工工場があり、賞味期限切れの廃牛乳や廃ヨーグルトなどが工場回収され産廃処分されている。ここで産廃の分析値を表1に示す。

表1 牛乳産廃の性状例

項目	分析値
pH	4.1
BOD	77,000 mg/L
CODMn	40,000 mg/L
T-N	2,660 mg/L
Kje-N	2,660 mg/L
NH4-N	10.0 mg/L
TS	5.8 %
VTS比率	93.3 %/TS
色度	94 度

この表が示すように、消化液に比べ牛乳加工工場産廃では、含まれる窒素成分に対してBOD値が高い。このことから牛乳加工工場産廃が消化液の排水処理で利用できれば地域物質循環に寄与できると考え、本研究では実験設備にて牛乳産廃のメタノール代替品としての効果を確認した。

③について、高濃度の窒素と色度成分を有する消化液は、河川放流する場合、排水処理して水質規制値を満たす必要があるが、畜産ふん尿を対象とした消化液に対する最適な排水処理方法は一般的なものとして確立されていない。そこで、畜産分野に比べ高度な処理技術を有するし尿処理などの水処理分野の窒素、色度除去方法として実用化されている「生物学的脱窒素処理」と「オゾン+生物活性炭(BAC)」を畜産分野に応用することを考えた。本研究では、これらの実験設備を製作、運転することで処理効果を確認し、適用の可能性を検討した。

④について、色度除去に塩化第二鉄とオゾンを用いるが、本研究ではそれぞれの添加量を変えてデータを取ることで一定効果を満たすための各々の最適添加量を把握することとし、最終的に検討項目②と組み合わせた低コスト運転の効果を検討した。

以上、検討項目をまとめると次のようになる。

- ① 消化液の液肥利用
- ② 排水の生物学的脱窒素処理で消費されるメタノールに代わる安価なBOD源の模索
- ③ し尿処理等の水処理分野の窒素、色度除去技術の畜産分野への転用
- ④ 色度除去に消費される塩化第二鉄とオゾンのコスト最小添加量の把握と薬品費の総合評価

### 3. 材料および試験方法

#### (1) 消化液の液肥利用

##### 1) 概要

YBECで得られる消化液とその脱水ろ液を水稻の液肥として用い、比較対照に化学肥料区・無施肥区を設け、水稻の生育試験を圃場にて平成13年に実施した。場所は京都大学大学院農学研究科附属高槻農場、試験工程は6月11日に田植え前土壌調査、6月21日に田植え、6月27日に基肥施肥、7・8月に生育調査、8月9日に穂肥施肥、10月10日に収量・収量構成要素調査、10月12日に収穫後土壌調査である。

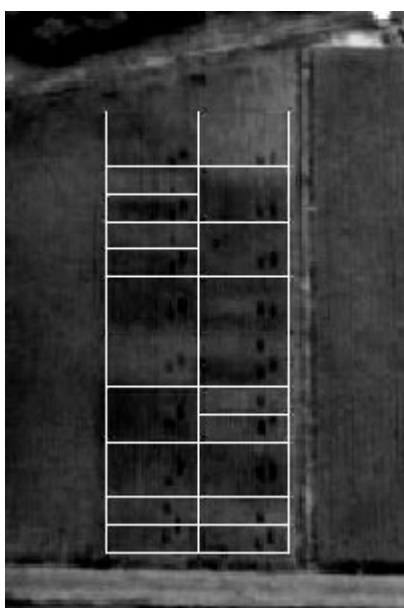
##### 2) 材料および試験方法

## ①材料

水稻には関西で一般的な品種であるヒノヒカリを用い、肥料には化学肥料(マップ13-18-14)(標準)、消化液、脱水ろ液を用いた。なお、液肥で不足するリン酸、カリは過磷酸石灰、塩化カリで補った。

## ②試験方法

各試験区は5×5 mとし、それぞれについて2試験区を使用するため、合計16区となる。また、穂肥としての効果を確認するために、化学肥料、消化液(2水準目)および脱水ろ液(2水準目)の試験区を2分割し、窒素無施用区と窒素施用区を設定した。その他の分割しない試験区については、無肥料区を除き、窒素施肥を行った。試験区の航空写真と構成を図1に示す。また液肥の散布は計量後、20 Lポリタンクを用い人力にて水田へ直接投入した。評価方法は乾物生産効率、増収効果、食味値への影響および土壌全窒素への影響を調査し、施用効果を総合的に判断した。



反復Ⅱ	反復Ⅰ
消化液 3-3	無肥料 0-0
化学肥料 3-0	消化液 9-3
化学肥料 3-3	
消化液 6-0	脱水ろ液 3-3
消化液 6-3	
脱水ろ液 9-3	消化液 3-3
無肥料 0-0	脱水ろ液 6-0
	脱水ろ液 6-3
消化液 9-3	化学肥料 3-0
	化学肥料 3-3
脱水ろ液 3-3	脱水ろ液 9-3
脱水ろ液 6-0	消化液 6-0
脱水ろ液 6-3	消化液 6-3

※ 肥料の種類名に続く数値は、基肥と穂肥の窒素施肥量(計画量)[kg/10a]を示す。

図1 圃場の航空写真と試験区の構成

## (2) 窒素、色度除去技術の転用、メタノール代替品模索および最適薬品量の把握

### 1) 概要

消化液の脱水ろ液に含まれる高濃度の窒素成分(主としてアンモニア性窒素)を、生物学的脱窒素処理法により除去する。この方法は従前からし尿処理施設で採用されている窒素除去技術であり、これを消化液の脱水ろ液に適用し、窒素除去性能について調査した。また、色度の除去について、畜産廃水の高度処理法として、活性炭の交換が不要な「循環式オゾン+BACシステム」を適用した場合の色度除去性能について調査した。処理水質の全窒素と色度目標はそれぞれ膜処理水の全窒素を60 mg/L以下、BAC処理水の色度を100度以下とした。

### 2) 設備および試験方法

#### ① 実験設備概要

実験設備のフローを図2に、外観を写真1に示す。

生物学的脱窒素処理設備では、低水深型高負荷膜分離法を採用し、脱窒素槽(槽容量

4.8 m<sup>3</sup>）、硝化槽（同7.2 m<sup>3</sup>）、二次脱窒素槽（同4.0 m<sup>3</sup>）、膜分離槽（同2.1 m<sup>3</sup>）から構成される。硝化槽には散気管が、膜分離槽にはし尿処理、浄化槽等で実績のある浸漬型平膜（液中膜）が20枚設置されている。硝化槽は曝気ブロウで常時曝気を行う。硝化混合液は脱窒のために脱窒素槽に循環し、また、膜分離槽の汚泥はその一部を返送汚泥として、菌体濃度保持のために脱窒素槽に返送される。原水には、YBECでメタン発酵処理された消化液を葉注脱水した時に発生する脱水ろ液を使用した。

色度除去設備では、膜処理水をオゾンBAC原水とし、循環式オゾン反応塔（150 mm<sup>φ</sup> × 5,500 mm<sup>H</sup>）内でオゾンと高効率接触処理した後、BAC塔（300 mm<sup>φ</sup> × 3,910 mm<sup>H</sup>、1,000 mm 生物活性炭層厚）で生物ろ過した。循環式オゾン+BAC法では、一旦処理水槽に貯留したBAC処理水をオゾン反応塔前段へ返送して、繰り返しオゾン+BAC処理した。

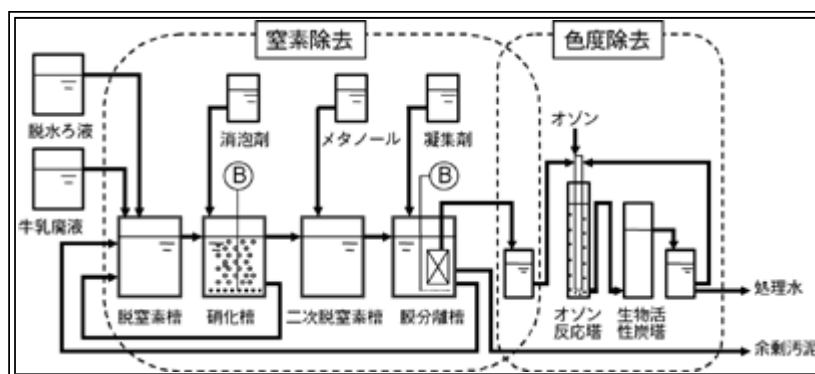


図2 実験設備フローシート



写真1 YBEC内に設置された実験設備

## ②試験方法

実験設備への種汚泥は平成13年4月16日にFし尿処理場より20 m<sup>3</sup>搬入した。運転は、まず計画処理量の7割の負荷で開始し、その後徐々に計画処理量まで増加した。

添加するBOD源をメタノール、牛乳加工工場廃液とし、それぞれBOD/N比が2.5程度、4.8程度になるように設定し運転を行った。定期的にアンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素を測定し、処理効果を確認した。また、処理コストの算出も行った。

色度除去では、膜処理水に対して一過性のオゾン+BAC処理を行い、目標処理水質（色度100度以下）を確保するのに必要な反応オゾン量（=オゾン注入率×吸収効率）などの運転条件を把握した。さらに、運転条件を変化させること、塩化第二鉄を処理前段の窒素除去設備へ投入することで目標処理水質を確保するのに必要な運転条件（塩化第二鉄添加率、反応オゾン量、循環比など）を把握すると共に、塩化第二鉄添加時と比較した場合の処理コストの算出も行った。

#### 4. 試験結果

##### (1) 消化液の液肥利用

実験結果を表2に示す。メタン発酵消化液および脱水ろ液は化学肥料と同様の肥料効果を示した。

表2 水稻への施用効果

	化学肥料	消化液	脱水ろ液
乾物生産効率a(kg/kg)	38.6	39.4	32.3
増収効果b(kg/kg)	22.5	24.1	21.8
食味値の変化c	-0.417	-0.561	-0.411
土壌全窒素の変化d	-0.005	-0.0007	-0.0016

- a. 窒素1kgの施用で生産される水稻乾物量
  - b. 窒素1kgの施用による精籾重で見た増収効果
  - c. 窒素1kgの施用による食味値の変化量(クボタ食味分析計K-AS100N(味選人)で測定)
  - d. 窒素1kgの施用による作付け前後でみた土壌中全窒素濃度の変化量
- a,bの施用効果の判定は施用窒素(成分)量が0~10kg/10aの範囲

##### (2) 窒素、色度除去技術の転用、メタノール代替品模索および最適薬品量の把握

###### 1) 対照実験

メタノールをBOD源として利用した生物学的脱窒素処理では良好な結果が得られた。また、オゾン+BAC方式による色度除去処理でも良好な結果が得られた。このことから既存のし尿処理技術が畜産分野に応用できることが明らかになった。また、色度除去で塩化第二鉄の添加量が増加するにつれ、色度が下がり、後段のオゾン処理の負荷を下げる事ができることが明らかになった。なお、浸漬型平膜は定期的な薬品洗浄により安定的な運転ができた。

###### 2) メタノールに代わる安価なBOD源の模索

実験の結果、BODで7,600 mg/L、T-Nで1,570 mg/Lの混合液(脱水ろ液と牛乳廃液)は処理後BODで5 mg/L、T-Nで55.8 mg/Lとなり、牛乳廃液はメタノール代替品として使用できることが明らかになった。

###### 3) 最適薬品量の把握

実験結果を表3、表4、図3に示す。脱水ろ液の色度除去にもっとも経済的な薬品添加量は塩化第二鉄で1,000 mg/L、オゾンで700 mgO<sub>3</sub>/L(処理水色度100度)となることが明らかになった。なお、生物活性炭ではオゾンとの組み合わせで活性炭の交換なしに処理水色度を100度以下で運転することができた。窒素と色度除去を組み合わせた運転費の比較では、牛乳廃液+塩化第二鉄+オゾン添加方式の運転費がメタノール+オゾン添加方式に対して35%削減された。

表3 生物学的脱窒素処理における運転費比較

		脱水ろ液 1.43 m <sup>3</sup> /d メタノール添加	脱水ろ液 1.31 m <sup>3</sup> /d 牛乳廃液 0.26 m <sup>3</sup> /d
投	電力使用量(kWh/d)	184	190

入 量	消泡剤使用量(kg/d)	2.2	1.2
	メタノール使用量(kg/d)	5.9	0.0
運転コスト(円/d)		5,390	3,450
処理単価(円/m <sup>3</sup> 脱水ろ液)		3,770	2,630
運転コスト削減率(%)		—	30.2

※ 電力15円/kWh、消泡剤500円/kg、メタノール 260円/kgとした。

表4 電力費(オゾン発生用)と薬品費(塩化第二鉄)の運転費比較

	塩化第二鉄添加率(mg/L)			
	0	500	1,000	1,500
電力費(円/m <sup>3</sup> オゾンBAC原水)	563	450	236	263
薬品費(円/m <sup>3</sup> オゾンBAC原水)	0	66	132	197
処理単価(円/m <sup>3</sup> オゾンBAC原水)	563	516	394	460
運転コスト削減率(%)	—	8.3	30.0	18.3

※ 電力15円/kWh、オゾン発生に要する電力25kWh/kgO<sub>3</sub>、塩化第二鉄50円/kgとした。

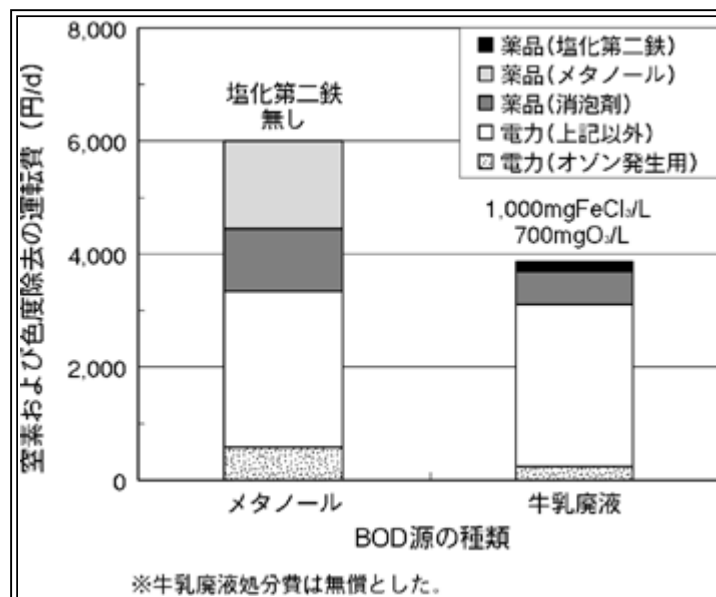


図3 窒素および色度除去に要する運転費比較

## 5. まとめ

消化液およびその脱水ろ液を液肥利用する場合、その運搬方法、施肥方法、安全性を十分に検討しなければ地域での利用につながらない。地域の事情に合わせた最適な方法を検討して行きたい。また、本実験では消化液の脱水ろ液の窒素、色度除去に着目し実験を行ったが、メタン発酵も含めた総合的な畜産廃棄物処理システムの評価を行い、全体として効率的でより低廉な施設を構築していく必要がある。

【参考文献】

小川幸正・中川悦光：

バイオガスプラントの実際 畜産ふん尿・食品残さのメタン発酵とバイオガス発電の実績と今後の展望、電気評論、2003.6、pp.40～44

Li K.-Z., Inamura T., and Umeda M. 2003 :

Growth, grain, quality and N uptake In rice as Influenced by effluent from a biogas generator processing animal manure.

Soil Sci. and Plant Nutr., 49 (3), pp.163-467