

家畜ふん尿と草本系バイオマスとの
混合メタン発酵に関する研究

平成 26 年
(2014)

帯広畜産大学大学院畜産学研究科
畜産衛生学専攻博士後期課程

大内幸則

**Anaerobic Co-digestion of
Herbaceous Biomass and Dairy Cow Manure**

2014

Yukinori Ouchi

Doctoral Course in Animal and Food Hygiene
Graduate School of Animal Husbandry
Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

目 次

第1章 緒言	1
1-1 研究の背景	1
1-2 研究の目的	2
1-3 論文の構成	2
第2章 家畜ふん尿バイオガスシステムの現状、課題、改善の方向性	4
2-1 家畜ふん尿の実態	4
2-2 家畜ふん尿利活用技術	5
2-3 メタン発酵技術	6
2-4 バイオガスシステムの現状と課題	8
2-5 バイオガスシステムの普及のための改善の方向性	20
2-6 まとめ	21
第3章 草本系バイオマスとの混合メタン発酵	22
3-1 研究の目的	22
3-2 既存研究の動向	22
3-3 混合メタン発酵に適した副資材の要素	24
3-4 まとめ	26
第4章 ビートトップサイレージに関する研究	28
4-1 研究の目的	28
4-2 材料と方法	29
4-3 結果および考察	32
4-4 まとめ	39
第5章 河川堤防刈草サイレージに関する研究	40
5-1 研究の目的	40
5-2 材料と方法	40
5-3 結果および考察	43
5-4 まとめ	58
第6章 結言	60
6-1 研究のまとめ	60
6-2 今後の課題	62
6-3 実用可能で経済的なシステム構築への提言	62

参考文献	66
略語・記号一覧票	76
謝辞	77
Summary	78

第1章 緒言

1-1 研究の背景

北海道の酪農家における戸当たり飼養頭数(2歳以上)は1970年では9.1頭,2000年では56.0頭と30年間で6倍となっており,戸当たり耕地面積は11.2haから44.5haに4倍となっている(鶴川ら,2004)。このように北海道酪農は1970年代から急激に規模拡大が進み,労働時間の制約や施設整備の遅れなどから,家畜ふん尿の適正な処理が行われず,悪臭の発生や河川等公共水域での水質悪化,湖沼の富栄養化,地下水汚染など自然環境に悪影響を及ぼすとともに,衛生害虫や病原菌の発生,クリプトスポリジウム感染などによる生活環境の悪化等が懸念された(志賀ら,2001)。

このような情勢の中,「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1999年7月に制定,同年11月に施行され,遅れていた家畜ふん尿による環境問題への対策として屋根付き堆肥盤等の適正管理への施設整備が進むとともに,その多くが堆肥や液肥として農地に還元・利用されることとなった(北海道農政部,2013)。

家畜ふん尿の処理方式は,飼養方法や水分量等性状の違いなどにより堆肥化と液肥化に大別され,液肥化においては発酵方式により好気性発酵と嫌気性発酵がある。バイオガスシステムは,液肥化処理の内,これまで一般的であったスラリーの攪拌・曝気処理を行う好気性発酵とは異なり,密閉・閉鎖系の嫌気性発酵処理方式であり,酪農の急激な規模拡大に伴う家畜ふん尿による悪臭や水質問題がクローズアップされた1970年代に,主に悪臭問題の解決を動機として,帯広畜産大学等研究機関による実証試験が始まった(大内ら,2000)。その結果,北海道においてもバイオガスシステムは導入可能であることが報告されている(例えば,北海道バイオガス研究会,2002・北海道開発土木研究所,2005)。

バイオガスシステムは1995年頃から農家レベルでの導入が進み,2004年には導入数がピークを迎えるが,その後は導入が進まず,一部には休止・廃止となる施設もあるなど,いまだ十分に普及・定着するまでには至っていない状況が続いている(帯広市,2012)。

2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第1原子力発電所の事故により,日本政府は原子力発電に重きを置いたエネルギー政策から小規模分散型エネルギーである太陽光・風力やバイオマスなどの再生可能エネルギーも含めたエネルギー政策に見直しつつあ

り、2011年3月に成立した再生可能エネルギー特別措置法により、2012年7月から再生可能エネルギーを普及定着させるための固定価格買取制度(以下FITと記す)がスタートした(経済産業省HP)。

北海道では土地条件、気象条件、社会・経済条件を背景に、太陽光、太陽熱、風力、地熱、温泉熱、雪氷冷熱、バイオマス、水力等の再生可能エネルギーが豊富に賦存している。特に広大な優良農地を背景に酪農が盛んな地域ではバイオマスである乳牛などの家畜ふん尿が多く存在し、その一部は肥料として活用されているが、エネルギー的な利用はほとんどしてこなかった(大内, 2012)。

バイオガスシステムは酪農地帯の悪臭や水質問題等地域環境の改善に貢献するのみならず、嫌気性発酵過程でメタン等の可燃性のガスを含むバイオガスが得られ、これを回収利用することによりエネルギーの活用が可能である。このバイオマス由来のメタンガスを燃焼すると二酸化炭素を排出するが、カーボン・ニュートラルであり、化石燃料に比べ地球環境にやさしい。また、発酵後に残る残渣物は消化液と言われ、窒素、リン酸、カリウム等を含む肥料としての有効性が高いことが確認されている(北海道開発土木研究所, 2005等)。

1-2 研究の目的

本研究では、地域の環境改善やエネルギーの有効利用、地球温暖化対策や環境保全型の持続的な農業等に有効であるバイオガスシステムを北海道の酪農地帯に広範に普及・定着するために、以下のことを明らかにすることを目的にしている。

- (1) 北海道の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムの現状を把握し課題を分析する。
- (2) 課題を解決するための方策について整理し提案する。
- (3) 課題解決のための有力な1手法である家畜ふん尿と草本系未利用バイオマス(ビートトップサイレージ・堤防刈草サイレージに着目)との混合メタン発酵についての発酵特性等を明らかにする。

1-3 論文の構成

本論文は6つの章から構成されており、その内容は以下のとおりである。

第1章では、北海道の酪農における家畜ふん尿の現状など研究の背景を示し、本研究の目的について述べる。第2章では、北海道における家畜ふん尿バイオガスシステムの現状と課題について、既存調査資料

や聞き取り調査, 取り巻く制度等を含め整理するとともに, 今後への改善点について論じる。第 3 章では, 改善の手法の一つである草本系バイオマスと家畜ふん尿との混合メタン発酵に関する既往研究について述べる。第 4 章では, 未利用草本系バイオマスであるビートトップサイレージと家畜ふん尿との混合メタン発酵について, 第 5 章では河川堤防刈草サイレージとの混合メタン発酵について, 実験室での試験結果を主体に知見を述べる。第 6 章では, 前章までの得られた結果を検証し, 家畜ふん尿バイオガスシステムの北海道における普及定着方法を提案する。

第2章 家畜ふん尿バイオガスシステムの現状,課題,改善の方向性

2-1 家畜ふん尿の実態

北海道の家畜ふん尿発生量は、平成24年度現在年間20,302千トンで、その88.9%である18,045千トンは乳用牛・肉用牛のふん尿である(表2-1)。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等により、屋根付き堆肥盤等の整備が進み、平成24年のデータによれば管理基準適用農家(牛の場合には、10頭以上)9737戸全てが、基準を遵守していることとなっている(表2-2)。

表2-1 道の北海家畜飼養及びふん尿

畜種	戸数	頭羽数 (千頭羽)	排せつ量 (千トン)	割合 (%)
乳用牛	7,270	822	13,111	64.6
肉用牛	2,830	534	4,934	24.3
豚	266	593	1,399	6.9
採卵鶏	80	7,086	306	1.5
ブロイラー	7	4,444	211	1.0
馬	2,341	33	341	1.7
計	—	—	20,302	100.0

北海道HP, 北海道の畜産環境をめぐる情勢より抜粋一部修正
平成25年4月農政部生産振興局畜産振興課

表2-2 家畜排せつ物法の管理基準適用農家と遵守状況

(単位: 戸)

年	適用農家 a	基準遵守 b	b/a (%)
12	13,000	1,100	8.4
22	10,124	10,121	99.9
23	9,992	9,992	100.0
24	9,737	9,737	100.0

北海道HP, 北海道の畜産環境をめぐる情勢より抜粋
平成25年4月農政部生産振興局畜産振興課

しかしながら、現実においては、管理基準適用農家であるかどうかは定かではないが、家畜ふん尿の草地での野積みが見られたり、公共水域への流出事故が発生したり、散布が集中する春や秋の悪臭問題が引き続き存在し、苦情等の件数も減ってきてはいるが、未だに存在している(表 2-3)。

表2-3 畜産経営に起因する苦情発生状況

年	悪臭	水質	害虫	その他	計
20	23	12	2	47	81
21	20	9	-	26	53
22	7	12	-	17	35
23	8	7	-	26	40
24	7	4	-	13	24

北海道HP, 北海道の畜産環境をめぐる情勢より抜粋, 一部修正
平成25年4月北海道農政部生産振興局畜産振興課

2-2 家畜ふん尿利活用技術

家畜ふん尿の処理及び利用システムとしては、家畜の飼養方式、ふん尿の性状、地域の農業形態などによって様々な利活用システムが存在しているが、このうち乳用牛および肉用牛のふん尿を対象としたシステムの内、バイオガスシステムは強制分離の液状分や混合処理のスラリー状のものを処理・利用するシステムとして位置づけられている(志賀ら, 2001)。酪農の多頭化の進行に伴い、フリーストールによる飼養が増える傾向にあり、バイオガスシステムの導入が進む素地はあるものと思われる。

北海道での家畜ふん尿の利用形態としては、堆肥化が 67.0%、スラリーや尿等の液肥化が 24.2%、浄化等が 2.0%となっており、経営内利用が多いが、コントラクターやTMR(混合飼料)センター等による家畜ふん尿の管理や利用が増えてきている中で、経営外利用も 26.3%となっている(表 2-4・表 2-5)。

表 2-4 北海道の家畜ふん尿の利用内訳

(単位：千トン)

畜産農家の経営内 利用	畜産農家の経営外利用				その他 (浄化 等)
	耕種農 家	堆肥セン ター等	畜産農 家	小計	
13,844	3,663	1,052	365	5,080	394
71.7%	19.0%	5.4%	1.9%	26.3%	2.0%

北海道 HP, 北海道の畜産環境をめぐる情勢より抜粋一部修正

平成 25 年 4 月農政部生産振興局畜産振興課

表 2-5 北海道の家畜ふん尿の利用実態

(単位：千トン)

区分	堆肥	尿	スラリー	放牧	その他	計
利用量	12,972	1,732	2,955	1,324	387	19370
割合 (%)	67.0	8.9	15.3	6.8	2.0	100

北海道 HP, 北海道の畜産環境をめぐる情勢より抜粋一部修正

平成 25 年 4 月農政部生産振興局畜産振興課

2-3 メタン発酵技術

2-3-1 歴史

(1) 海外におけるメタン発酵の歴史

有機物が嫌気性の状態で微生物の活動により可燃性のメタンガスと二酸化炭素に分解する過程をメタン発酵といい、その施設をバイオガスシステムと言う。

野池(2009)によれば、汚濁した湖沼、池および川の沈殿物から可燃性のガス(メタンガス)が生成されることは古くから知られており、欧米でメタン生成に関して最初に報告された文献は 1776 年イタリアの物理学者 Alessandro Volta によるものと言われている。また、中国でも古くからメタン発酵技術が利用されてきた。

メタン発酵の研究は、19 世紀の後半から注目され始め、その科学的認識は、研究の進展とともに変化してきた。欧州では 19 世紀の産業革命以降下水処理の分野において、嫌気性消化プロセスの解明や分離型消化タンクと加温技術の導入、連続攪拌による高率消化、メタン発酵槽の工夫、生ごみのメタン発酵等の技術が開発されてきた。

(2) 日本におけるメタン発酵の歴史

1932年に下水汚泥処理のための消化タンクが名古屋市天白汚泥処理場に初めて設置され、豊橋市、岐阜市、京都市が続き、全国に普及するとともに、その後、工場排水処理にも応用された。

1990年代の後半には、循環型社会の形成に資する廃棄物処理技術として汚泥再生処理センターによるし尿・生ごみの混合処理システムが開発された。

一方、家畜ふん尿のメタン発酵については、①1950年代の農村生活改良普及事業、②1970年代の石油ショック時の過去2回、多くの施設が設置されるブームがあったが、プロパンガスの普及や石油価格の安定化により、その取り組みは次第に沈静化していった。その後、1990年代に入り、デンマークやドイツの先進的事例や取り組みを参考に、京都府や北海道において導入が図られ、現在に至っている。

2-3-2 メリット

バイオマスシステムの導入メリットについて以下記述する。

(1) 環境改善効果(悪臭防止,公共水域の水質改善効果)

閉鎖系システムであることから、発酵槽などでの処理中の悪臭や流出による公共水域への水質問題は生じない。また、消化液の保管や散布する際には、においがほとんどしないため、住宅地周辺で空中散布などしなければ、周りからの苦情もほとんどない。消化液も農地還元できることから過剰な散布などしなければ、地下水や表流水の水質汚染も防止できる。

(2) 有機性資源の循環利用効果(農業経営改善効果等)

消化液には、原料に含まれる肥料成分の窒素、リン、カリウムのほぼ全量が移行するため、農地に液肥として還元することができ、農家にとっては購入していた化学肥料を削減することができる。スラリーに比べ成分が安定しており、堆肥に比べアンモニア態窒素の割合が多く速効性である。飼料中の硝酸態窒素濃度が高い場合には牛体に不調が現れることがあるが、消化液は堆肥や好気性発酵による液肥に比べ硝酸態窒素濃度が相対的に低く、乳牛の健康に良い肥料であるといえる。また、高温発酵の場合にはふん尿に含まれる雑草種子や病原菌を死滅させることができるため、より安全な有機性肥料であるといえる。

(3) エネルギーの有効利用

バイオガスには、可燃性のメタンガスが 60%程度含み、その発熱量は約 8,500kcal/m³ で、都市ガスの 5A 規格相当である。バイオガスシステムでは発酵過程で加熱する必要があり一部自家消費するが、季節や気温にもよるが一般的には余剰が発生し、これを燃焼すると電気や熱が得られる。また、自動車等の燃料としての利用も可能である。

(4) 地球温暖化ガスの削減・アンモニア揮散量の削減

石油等の化石燃料は燃焼過程で CO₂ 等温暖化ガスを発生させるが、バイオマス起原のバイオガスを燃焼してもカーボンニュートラルであり、地球温暖化ガスを増加させない。また、堆肥などから発生し大気中に放出されているメタンガスは地球温暖化ガスであるが、バイオガスシステムではメタンガスを回収・利用することから、地球温暖化ガスの削減に貢献する。

「家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理に関する手引き」(畜産環境整備機構, 2001)によれば、メタン発酵の場合、消化液の貯留時や散布時に酸性雨の主な原因とされているアンモニア揮散が生じるが、揮散量は堆肥化や好気性発酵液肥に比べ同等かそれ以下とされている。

2-4 バイオガスシステムの現状と課題

北海道の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムの現状と課題を把握するために既存の調査資料を収集するとともに、十勝管内のバイオガスシステムについて聞き取り調査を行った。

2-4-1 バイオガスシステムの建設実態

平成23年度に(株)北海道バイオマスリサーチが調査した「バイオガスプラントの稼働実績調査業務報告書」は北海道におけるバイオガスシステムの現状と課題を把握するのに有効な資料である(帯広市, 2012)。

全道の家畜ふん尿を処理対象とするバイオガスプラントを対象に、資料収集、アンケート調査、ヒアリング調査を実施した結果、北海道では家畜ふん尿を原料とするバイオガスプラントが平成7年～23年の間に55基が建設された。しかし、平成16年度をピークに建設数は減少傾向にあり、55基の内41基は稼働中であるが、14基は停止あるいは撤去されていることが報告されている。また、バイオガスプラントの導入動機と導入後の評価の調査結果では、悪臭対策、消化液の自家利用、糞尿処理の軽減、環境汚染対策、熱の自家利用等の項目が、導入前に比較して導

入後が高く評価されていること、売電や電気の自家利用については導入前に比較して、導入後が低い評価となっている。また、バイオガスプラントの稼働時のトラブルは、原料槽でのトラブルが全体の47%を占めており、次いでガス利用施設、発酵槽で発生しており、形態としては閉塞事故が33%と一番多く、次いで凍結、腐食、破損などが多いことなども報告されている。

北海道開発局開発調査課(2013)が平成24年度に行った道内87か所のバイオガスシステムを対象としたアンケート調査でも、悪臭の軽減、社会的貢献・イメージアップが事業者から高く評価されていると報告されている。なお、87か所のバイオガスシステムには、家畜ふん尿を原料とする施設のほか、生ごみ、下水汚泥、食品残渣を原料とする施設も含まれている(北海道開発局開発調査課, 2013)。

2-4-2 聞き取り調査

(1) 調査の概要

バイオガスシステムの詳細な現状を調べるために、また、平成24年7月1日に導入された再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)に関する取り組み状況を調べるために表2-6に記載の施設等に対して聞き取り調査を実施した。

表2-6 バイオガスシステムに関する聞き取り調査

日時	場所	対象者	目的
H23.3.8	鹿追町環境保全センター	吉田町長, 松本課長外	集中・共同型システムの運営状況・課題・改善方向
H25.1.25	士幌町鈴木農場	鈴木氏, 小林町長, 高木課長外	個別型システムの運営状況・課題・改善方向, 士幌町の取り組み
H24.11.13	大樹町サンエイ農場	辻本理事, 布目課長, 土谷専務	サンエイ牧場の新たな取り組み
H24.11.15	足寄町新妻農場	新妻氏, 岩原課長	新妻農場の取り組み状況
H24.12.6	土谷特殊農機具製作所(株)	土谷専務	土谷特殊農機具製作所の取り組み状況
H25.2.20	士幌町ズコーシャ 乾式システム研究施設	保井氏外	乾式バイオガスシステムの概要

(2) 調査結果

① 鹿追町環境保全センター

北海道の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムの集中・共同型の代表とされている鹿追町環境保全センターを聞き取り調査した。調査結果を表 2-7 に示す。

鹿追環境保全センターは、鹿追町内の酪農家 11 戸、経産牛 1320 頭のふん尿を集めて処理する施設で、平成 18 年から建設、19 年に稼働開始、事業主体は北海道、運営は鹿追町、補助事業を利用し地元負担 22.5%、施工主体はコーンズバイオガスである。各農家から専用のアームロールコンテナでふん尿を集め、固液分を一体処理、発酵槽や発電機等主要な部分はヨーロッパ製、部分的な補修などは行っているが、大きな改修はしていない。プラント利用料金や散布料(各々12,000 円/頭・年)については補助金を前提に徴収している。原状では収支ゼロで、減価償却費は積み立てられていない。

平成 25 年に FIT が適用となったため、減価償却費の積み立ても可能になると思われる。鹿追町では同施設をモデルに 2 倍規模の施設を建設中である。

表2-7 十勝管内の代表的バイオガスシステムの概要(集中・共同型鹿追町環境保全センター)

個別共同区分, 農場名		集中・共同型, 鹿追町環境保全センター		
経営規模・飼養形態・敷料		経産牛1320頭-11戸、780ha(消化液散布面積)、スタンション・フリーストール混合、敷き藁・おが粉等		
建設当初	建設年度・稼働開始	平成18~19年度・平成19年10月		
	事業主体・事業名(負担率)	鹿追町、中山間地域総合整備事業(国55%・道22.5%)		
	設計会社・建設費	コーンズ・バイオガス、834,750 千円		
	原料投入量・投入方法	94.8t/日・特製アームロールコンテナ		
	原料槽・貯留槽	250m ³ ×2基(コンクリート製地下式)・6,231m ³ ×2基、11,477m ³ ×1基(鋼製)		
	発酵槽	400m ³ ×4基(箱型)、800m ³ ×2基(円柱型)・滞留日数20日(箱型)・30日(円柱型)・中温38°C		
ガス発生量、脱硫設備、発電設備 3,036Nm ³ /日、生物+乾式脱硫併用、108Kw×1基、200Kw×2基(ドイツ製)				
主な改善点	①原料槽の攪拌効率を向上させるため、固定されていた攪拌機を左右に動かせるよう設置 ②制御盤の電気基盤がアンモニア等により故障する為、シリコンで被覆した③200Kw発電機(ドイツ製)の故障と修理			
経営収支	支出	人件費	13,658 千円/年	
		水光熱費	1,636 千円/年	
		消耗品費	6,620 千円/年	
		修繕費	18,797 千円/年	
		燃料費	2,820 千円/年	
		委託料	1,500 千円/年	
		その他	1,380 千円/年	
		小計	46,411 千円/年	
		収入	売電収入(RPS・グリーン)、売電価 格昼9.5円/Kwh、夜4.5円/kwh	6,930 千円/年
			液肥散布料金・消化液製品	16,100 千円/年
	有機汚泥処理代金・生ごみ処理・動物性残渣処理費		9,781 千円/年	
	プラント利用料金(12000円/1頭当り)		12,600 千円/年	
	その他		1,000 千円/年	
	小計	46,411 千円/年		
	損益計算	0 千円/年(平成24年度実績)		
今後の改善点・普及の方向性	①FITの適用を申請、発酵槽・ガスバック・発電機に必要な電力を除く電力について認定済み。 ②鹿追町では同施設の状態を参考に2倍規模の集中共同型バイオシステムを平成24年度設計中 ③設計中の新たな施設について原料槽スラッジの除去方法、原料槽・発酵槽攪拌機のメンテナンス方法、臭気対策、凍結対策等改善予定			

② 土幌町鈴木農場

次に個別型の代表として土幌町の鈴木農場の聞き取り調査を行った。調査結果を表 2-8 に示す。

経営規模としては経産牛 250 頭規模、フリーストールで敷料は使わず牛床マット使用、当初の施設は平成 15 年建設され、16 年稼働、土幌町が事業主体で補助事業を活用、地元負担 1/4、施工主体は栗本鉄工である。建設時の発酵槽はドイツ製、発電機はアメリカ製であったが、前者は腐食が進行したため、後者はエンジントラブルが多いことから、平成 22 年に自己資金で発酵槽は現場打ちコンクリート製に、発電機は天然ガス用熱電供給用である国産のヤンマー製に変更している。

収支については、購入肥料の減額価値、余剰消化液を周辺畑作農家に散布していることによる収入についてはデータを取得することが出来なかった。これまでも余剰電力は北電に売電していたが、単価が kWh あたり 6.6 円と安価なため売電収入は少ないが、プラント使用料が補助事業を前提にしているため安価になっており、トータルでは減価償却を除いた現状でも収支が均衡している状況である。平成 25 年度から FIT の買取価格税抜き kWh あたり 39 円が適用になることや消化液の価値を入れると、収支は大幅に改善されるものと思われる。

表2-8 十勝管内の代表的バイオガスシステムの概要(個別型鈴木農場)

建設当初	個別・集中共同区分農場名	個別型士幌町鈴木農場	
	経営規模・使用形態・敷料	経産牛250頭、65ha、フリーストール牛舎、未使用(牛床マット使用)	
	建設年度・稼働開始	平成15年度・平成16年6月	
	事業主体、事業名(負担率)	士幌町、バイオマス活用フロンティア整備事業(国1/2・道1/4)	
	設計会社、建設費	栗本鉄工所(株)、71,400千円(実勢価格より安く施工)	
	建設費	71,400千円(実勢価格より安く施工)	
	原料投入量・投入方法	15t/日・ガータークリーナー	
後の改善点	原料槽	50m ³ (コンクリート角型地下式)	
	発酵槽	424m ³ ・コンテナ式・滞留日数28日・中温37°C(ドイツ製)	
	貯留槽	3,300m ³ (コンクリート半地下式)	
	ス発生量、脱硫設備、発電設	550Nm ³ /日、生物+乾式脱硫併用、30Kw(マイクロタービン)(アメリカ製)	
	設計会社、事業主体	土谷特殊農機(株)、自己資金	
	主な改善点	①発酵槽が腐食等で劣化が著しい為平成22年6月現場打ちコンクリート784m ³ に変更②発電機エンジントラブルが多くメンテナンス経費が大きいため平成20年6月国産天然ガス用ヤンマーGHPユニット25Kwに変更	
	経営収支	支出	プラント使用料
メンテナンス経費			1,212千円/年
電気代(牛舎分を含む)			1,062千円/年
小計		2,545千円/年	
収入		売電収入(RPS・グリーン) 3.61円/kwh	659千円/年
		灯油軽減分	530千円/年
		農場使用電力分(料金換算)	1,440千円/年
		購入肥料減額分	不明
		消化液散布料収入	不明
小計		2,629千円/年	
損益計算	85千円/年(平成23年度実績)		
今後の改善点・普及の方向性	①余剰ガス利用の観点からヤンマーGHPユニット25Kwを増設予定 ②発酵槽・ガスバック・発電機に必要な電力を除きFIT認定済み ③JA士幌が同様設計仕様で町内に4基個別型をH24年度に建設中		

③ その他の聞き取り調査結果

足寄町新妻牧場

H15 中山間事業で設置されたものであり, H16 稼働, 搾乳牛 250 頭, 敷料は粃殻, 個別型の施設, 当初デアルフールエンジン(バイオガス+軽油)で4年間発電したが, その後は燃油高騰につき休止状態, FIT について申請中であり, 消化液は急傾斜地以外へ散布している。

大樹町サンケイ牧場(農事組合法人)

H24 自己資金で設置した施設であり, 乳牛 1400 頭規模, 敷料はおが粉などを使用している。この施設は FIT 認定を受けており, 十勝で最初に FIT 制度に基づき新設稼働した家畜ふん尿バイオガス施設である。施設は土谷特殊農機製作所(株)が全体設計・管理を担当しており CHP(熱電併給)発電施設や攪拌ミキサー等はドイツ製, その他の施設は日本製である。

ズコーシャ乾式バイオガス実験施設

ズコーシャ, 帯広畜産大学, NEDO との共同実験施設であり, 麦藁を含めたスタンション牛舎からの乳牛ふん尿(TS15%程度)を粉砕機で 3 cm にカットし, コンベアで発酵槽に送る方式であり, 乾式というよりは半乾式である。

土谷特殊農機具製作所(株)

十勝では老舗の農機具会社であり, 鈴木農場のシステム改良, サンケイ農場の設計・管理等を行っている。当初ドイツ製の輸入設備主体の設計であったが, 近年地元資材を主体とした設計に方針転換している。

2-4-3 取り巻く制度等の現状

(1) 日本政府のバイオマス関連施策

日本政府のバイオマス関連施策を以下に時系列に整理する。主なものとしては, 平成 14 年以降の農水省・経産省等 7 府省によるバイオマスニッポン総合戦略の推進, 平成 24 年 7 月から始まったバイオマス発電を含む再生可能エネルギーの固定価格買取制度, 平成 25 年 6 月に十勝地域も含め全国 8 地域がバイオマス産業都市地域の指定されたことなどがあげられる。

- H14.12 「バイオマス・ニッポン総合戦略」(関係7府省)閣議決定
- H15.2 バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議を設置
- H17.3 バイオ燃料技術革新計画, バイオ燃料技術革新協議会(経産省・農水省)を設置
- H18.3 バイオマス・ニッポン総合戦略の見直し
- H21.9 バイオマス活用推進基本法制定(H21.6)・施行
- H22.6 エネルギー基本計画の改定(原発依存 H19 実績 26%・2030 目標約5割)
- H22.12 バイオマス活用推進基本計画閣議決定
- H23.3 東日本大震災・東京電力福島第1原発事故発生により, エネルギー基本計画の見直し検討開始
- H23.3 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法制定(H24.7施行)
- H24.7 再生可能エネルギーの固定価格買取制度がスタート, 内バイオマス発電(メタン発酵ガス化)については
40.95円(39円+税)/kWh, 20年間
- H24.9 バイオマス事業化戦略をバイオマス活用推進会議にて決定
- H25.3 7府省によるバイオマス産業都市の募集開始
- H25.4 再生可能エネルギーの固定価格買取制度の価格改定, 太陽光以外については据え置きで変わらず
- H25.6 十勝地域(帯広市を始め十勝地域の全19市町村が参加)が
下川町・別海町とともに全国8地域の1つとしてバイオマス
産業都市地域に一次認定される

- H26.3 釧路市と興部町が全国8地域の一つとしてバイオマス産業都市地域に二次認定される
- H26.4 再生可能エネルギーの固定価格買取制度の価格改定, 非住宅用太陽光単価を減額するとともに, 洋上風力及び既設導水路を活用する中小水力について買い取り区分を新設, その他の再生可能エネルギーについては買い取り価格を据え置き
- H26.4 新たなエネルギー基本計画が閣議決定, 原発は安全性の確保を大前提に重要なベースロード電源と位置付し, 安全審査をクリアーしたものは再稼働へ, 一方再生可能エネルギーについても重要な低炭素の国産エネルギーと位置付し, 2013年から3年間程導入を最大限加速化し, その後も積極的に推進し30年に約2割をさらに上回る水準を目指す

(2) 再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)

バイオガスシステムで発電した電気を北海道電力(株)に売電する場合の条件についての大きな見直しとなったFIT制度について記述する。

① 経過

- H23.3 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法(通称再生可能エネルギー特別措置法)が成立
- H24.4 経済産業省調達価格等算定委員会が買取価格等を決定し公表
バイオガス(ガス化/家畜ふん尿)
40.95円(39円+税)/kWh, 20年間
- H24.7 固定価格買取制度(FIT)スタート
- H25.4 買取価格の一部改訂, 太陽光発電以外は据え置き
- H26.4 買取価格の一部改訂, 洋上風力・既設導水路を活用する中小水力について区分新設, 他は太陽光発電以外は据え置き

② 概要

買取価格は、通常必要とされる費用・適正な利潤を基に算定した内部収益率(以下 IRR と記す) 6～7%程度を基に、各事業者からの聞き取り値を上限として決定した。2年目以降についてはコストデータの実績を基に見直すこととしている。調達期間は法定耐用年数を基礎とし、合理的な理由の立つものは採用することができるとしている。

バイオマスのガス化と固形燃料燃焼(木材、下水汚泥等4細分)で売電価格を5種類設定しており、家畜ふん尿や下水汚泥等を用いたメタン発酵バイオマス発電では発酵槽を用いたガス化プロセスが必要であり、kWh 当たり税込 40.95 円に設定された。メタン発酵バイオマス発電は他の事業に付随して実施される事業でありリスクが低いことから IRR は 1%となっている。

③ 課題

制度設計において事業認定や系統連系手続を申請順とした。このため、土地と資金の確保ができればすぐにでも手続に入れる太陽光発電とりわけメガソーラーに送電線・変電所容量を押しえられ、事業化の検討に時間を要するバイオマス発電等の発電方式は出遅れて、事業認定や系統連系が支障となり事業化できない事例が増えている。

バイオガス発電は、水力発電とともに天候等に左右されない安定した発電で、ほとんどが小規模な発電であり、地域への雇用や産業への波及効果は太陽光発電等に比べて高いため、太陽光発電等とは別枠で事業認定や系統連系を行うべきと考える。

太陽光発電は日中、バイオガス発電は夜間中心に行い、送電線や変電所容量を有効活用するとの提案もあるが、バイオガス発電の効率が下がるため、別枠で行うことが望ましいと考える。

表2-9 バイオガス発電など再生可能エネルギーの買い取り制度比較

RPS法 (H15. 4 から適用)	FIT (H24. 7 から適用)
電気事業者は一定割合以上の買い取り義務を負う	電気事業者は一定期間・一定価格の買い取り義務を負う
余剰買い取り	全量買い取り(ただし発電施設に要する電気は除く)
買い取り価格が低い (10円未満/kWh)	買い取り価格が高い (税引き39円/kWh)
買い取り期間 規定なし	買い取り期間 新規施設 20年間 既存施設 20-RPS期間

2-4-4 家畜ふん尿バイオガスシステムの課題

既存資料調査及び聞き取り調査結果等から、北海道の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムの導入が停滞している理由を以下に列記する。

(1) イニシャルコストが高い

- ① システムが複雑で輸入資材が多い
導入初期に各メーカーがヨーロッパの技術を挙って導入、北海道オリジナルシステムとなっていない
- ② 固分と液分の2系統の設備が多い
スタンション牛舎で敷料を使用している農家では固液分離し固分および液分それぞれを対象にシステム設計されている例が多い
- ③ 建設需要が少なく、受注生産が多い
単価が高い

(2) ランニングコストが高い

- ① 機械的な部品は硫化水素の影響等で劣化しやすく耐用年数が短い
- ② 維持管理体制が不十分
身近に専門業者がないため管理が不十分でメンテナンス不足になりがち
- ③ 輸入部品の取り寄せ時間が長く、かつ高価

- ④ システムのトラブルが多い
- ⑤ 売電価格が安い(FIT 導入前は 10 円未満/kWh)
- ⑥ 消化液の利用が不十分
- ⑦ ガス, 熱の利用が不十分

(3) システムの採算性等が悪い

- ① LCC 経済性が不十分
- ② 初期投資には補助制度はあるが維持・更新に補助事業は無い
特に機械部材については耐用年数が短い
- ③ 現状では減価償却ができていないシステムが多い

(4) 新たな問題点

- ① FIT 適用による売電が送電・変電能力の不足により困難な場合が多い

2-5 バイオガスシステムの普及への改善策の提案

2-5-1 イニシャルコストの低減

(1) システムのシンプル化・国産化

例：現場打コンクリート製の発酵槽・貯留槽等の採用

(2) 敷料も含めた固液一体処理

例：鹿追環境保全センターでの実績
乾式バイオガスシステムの導入

(3) 普及促進による低コスト化

2-5-2 ランニングコストの低減

(1) システムのシンプル化・国産化

(2) 地場の維持管理組織の創設

普及が促進すれば地域の農機具メーカー・コンサルタント・建設会社等の連携により維持管理会社を創設することも可能

(3) FIT の導入

FIT の売電価格は魅力的であるが, 送電・変電能力が隘路となっており, 制度改善に向けた組織的な対応が重要

(4) 発電・熱・ガスの利用促進

コジェネレーションシステムの導入と, 得られた熱の公共施設や集合住宅の暖房など地域利用の促進

(5) 消化液利用の促進

飼料作物のみでなく一般畑作や家庭菜園等への利用促進

(6) 地域に賦存する未利用資源との混合発酵の促進

地域の有機質資源のリサイクルセンターとして、以下の未利用資源を有効活用する。

- ① 下水汚泥
- ② BDF 製造時グリセリン
- ③ 家庭有機ゴミ
- ④ 食品加工残渣等
- ⑤ 農作物残渣(ビートトップ)
- ⑥ 堤防刈り草

2-5-3 地域資源循環システムの確立

バイオガスシステムは悪臭等の農村環境改善, CO₂ 等地球環境問題の解決, 国産エネルギーの確保等の効果がある。これらの効果について地域住民のみならず国民的な認知と普及制度を確立する必要がある。

2-6 まとめ

北海道における酪農地帯の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムは, 悪臭防止などを初期の目的として導入され, 消化液を農地に還元できることから平成7年~23年の間に55基設置されたが, 更新費用や維持管理費用が高額であること等から採算性が十分取れずに一部の施設は休止・撤去され, 広範に普及定着するまでには至っていない状況である。

北海道の酪農地帯でのバイオガスシステムの普及定着のためには, 2-5において述べた3つの提案(①イニシャルコストの低減, ②ランニングコストの低減, ③地域資源循環システムの確立)を進めることが重要である。

さらに, 2014年7月から開始されたFIT制度により高い売電価格が今後20年間担保されたことから, FIT制度を前提として, 地域に賦存する未利用バイオマスとの混合メタン発酵を推進することにより, 採算性を大幅に改善することができる。このため既に研究が進んでいる農産物や食品加工残渣, 生ゴミ, 廃グリセリン, 浄化槽汚泥等との混合メタン発酵に加えて, 地域に賦存する未利用草本系バイオマスと家畜ふん尿との混合メタン発酵について次章以降で述べる。

第3章 草本系バイオマスとの混合メタン発酵

3-1 研究の目的

第2章においては、家畜ふん尿バイオガスシステムの普及・定着の一手法として、地域の未利用資源を地域にあるバイオガスシステムに投入し混合メタン発酵させ、生産される電気や熱、消化液を地域で利活用することにより、バイオガスシステムの採算性をより向上させることをあげた。日本においても、2012年7月から本格的にFIT制度が運用開始され、事業者が採算を確保できる電気買取価格で北海道電力(株)等が再生可能エネルギーを買取し、その普及を目指す方向となったこともあり、本研究ではバイオガスシステムでの家畜ふん尿と地域にある未利用バイオマスとの混合メタン発酵について着目した。

本章では、混合メタン発酵についての既存研究動向について整理するとともに、地域に賦存するバイオマスの内、家畜ふん尿バイオマスシステムとの混合メタン発酵に副資材として利用可能な条件について述べる。

3-2 既存研究の動向

様々な有機物原料について、投入量や前処理方法などを変えたメタン発酵に関する研究が、国内、海外で行われており、その概要を以下に記述する。

3-2-1 国内

(1) 家畜ふん尿等のメタン発酵

日本においても家畜ふん尿等有機物を対象に、原料の性状やメタンガス生成量に関して、多くの研究が行われ報告されている(例えば、前川ら(1980)、山内ら(1980))。これらによれば家畜ふん尿では、家畜が飼料を消化して、有機物中の炭素化合物のかなりの部分をエネルギー源や細胞成分合成のための炭素源として利用しているため、飼料から直接得られるメタンガスに比べると少ない値となっている。

また、家畜の種類や同じ家畜でも食べている餌の違いによって家畜ふん尿のメタンガス生成量にかなり差が生じるとされており、一般的には

豚ふん尿 > 家禽ふん尿 > 牛ふん尿

とされている。

(2) 家畜ふん尿との混合メタン発酵

(独)土木研究所寒地土木研究所(2005)が北海道別海町・湧別町で、乳牛ふん尿を対象としたバイオガスシステムの研究を行っており、地域に賦存する廃乳等のバイオマスを副資材として投入し、バイオガス発生量を測定した。その結果、家畜ふん尿のみの対照区に対してバイオガスの増加が確認されている。

しかし、一方では蛋白質含量の多い副資材を一時に大量投入すると、発酵障害を起こすこと、また、消化液を肥料として農地に還元するためには重金属など有害物質含量の確認をしなければならないと報告している。

帯広畜産大学では、加藤史郎ら(2010)や山城隆樹(2013)によってBDF製造時に発生する廃グリセリンや食品加工残渣等と家畜ふん尿との混合メタン発酵実験を行い、一定割合までの副資材の投入はバイオガス発生量の増加に貢献するが、それを超えると発酵阻害が起きること、高温発酵と中温発酵では高温発酵のほうが多くのバイオガスを生成することが報告されている。

(3) 草本系バイオマスとの混合メタン発酵

落修一ら(2005)は、河川堤防、道路法面等の管理で発生する公共事業由来の刈草と下水汚泥との混合メタン発酵実験を行い、TS当たりのバイオガス発生量 390L/kgTS, メタンガス発生量 200L/kgTS, 有機物分解率(消化率 or 固形物減少率)60%の結果を得た。また、井上義康ら(2006)は、稲わらと下水汚泥との混合メタン発酵実験を行っている。

(独)土木研究所寒地土木研究所と北海道大学は共同研究報告書(2011)において、異なる前処理を行った稲わらを使って家畜ふん尿との混合メタン発酵実験を行い、0.260~0.311 L/gVSの結果を得ている。

3-2-2 海外

(1) 家畜ふん尿と草本系バイオマスとの混合メタン発酵

食料自給率が低い日本では食料になりえるトウモロコシやビート等をエネルギー作物として生産することは積極的には進められていないが、海外では稲わらや麦稈に加えて、サイレージ化したトウモロコシ、ライ麦、ビート、牧草等と家畜ふん尿との混合メタン発酵実験が行われている。

Kaparaju *et al* (2002)によれば、干草、オート麦、ライ麦、クローバーの青刈り等と家畜ふん尿との混合メタン発酵の実験では、草種、細断長

さ、作物ステージ等により異なるが、総じてバイオガス発生量は家畜ふん尿より 60%程度増加すると報告している。イギリスの土壌協会(The Soil Association) (2011)によれば、バイオガスの生成能は、乳牛スラリーは 20~30 m³/t FM に対して、トウモロコシサイレージでは 170~200 m³/t FM, ライ麦のホールクロップサイレージでは 170~220 m³/t FM, 牧草で 150~200 m³/t FM と報告されている。Crolla *et al* (2011)によれば、実験室レベルでのデータとして、乳牛ふん尿に 30%の副資材を加えただけでメタン生成能は乳牛ふん尿単独に比べ、1.2~1.6 倍に増加し、トウモロコシサイレージや廃棄油脂を加えると 2 倍になると報告している。

Tomas Amon *et al* (2007)は生とサイレージ化したトウモロコシについてメタン発酵実験を行い、その結果サイレージ化したものは生に比較して 25%メタン生成が増えたと報告している。一方, Emma Kreuger *et al* (2011)は、トウモロコシ, 麻, ビート, ビートトップについてサイレージ化によるメタンの生成能の増加はみられなかったと報告している。

梅津ら(2013)は、近年ドイツでは、バイオガスシステムの原料はトウモロコシ, 小麦, てんさい等のエネルギー作物が主流となっており、家畜ふん尿や有機廃棄物はマイナーな存在となっていると報告している。松田(2011)や村田(2013)によれば、近年ドイツなどでは、小麦やトウモロコシ等をエネルギー作物として栽培し、サイレージ化して貯蔵し、副資材として投入運転しているバイオガスシステムが増えていると報告している。食料自給率の低い日本では食料や飼料と競合する農作物を副資材として利用することを単純に真似すべきではないが、現状で利用されていない休耕田での青刈り稲のホールクロップサイレージやビートトップ, 公共事業由来の刈草等草本系バイオマスのサイレージ化によるエネルギー利用について、土地資源の有効利用の観点や非常時の食料や飼料への転換を前提とする中で検討すべき事項であると考え

3-3 混合メタン発酵に適した副資材の要素

以下に混合メタン発酵に適した副資材の要素について記述する。

(1) 地域に相当量賦存していること

混合メタン発酵に適した副資材は、地域に相当量存在し、毎年生産されるなど安定的に利用可能なことが必要である。北海道のバイオマス賦存量の内(北海道, 2006), 家畜排せつ物が全体の半分と圧倒的に多く、

全国の2割以上を占めている。また、第4章、第5章で記述するが、ビートトップや河川堤防刈草などもまとまった量が存在している。

(2) 経済的に収集・利用可能なこと

素材価格が無償あるいは逆有償(廃棄物では処理料をもらえる)であり、収集・輸送経費が安いこと、また、前処理に大きな経費を必要としないことが条件としてあげられる。一般的に地域に分散して賦存しているバイオマスをエネルギー利用するために独自に収集することは経済的でないし、採算性が取れない場合が多い。これに比べて一連の農作業や公共物の管理作業の一環として収集し、無償あるいは逆有償であるバイオマスは採算性が取り易い。

(3) 消化液の農地還元の問題がないこと

北海道におけるバイオガスシステムの採算性の前提条件は、広い農地に消化液を散布できることにある。消化液を農地還元できないと河川放流可能なレベルまで浄化する必要があるが、この際には多大なコストが掛り、採算性が大きく悪化する。また、副資材に重金属などの有害物質が含まれていると消化液を液体肥料として農地に還元できなくなり、システムの前提が崩れる。混合メタン発酵により生産される消化液に有害物質が基準以上に含まれないことを確認する必要がある。

(4) 食料と競合しないこと

日本の食料自給率は平成24年現在39%(カロリーベース)と非常に低く、食料と競合する副資材の利用については積極的に進められてはいない。ビートトップや青刈り稲などは飼料としての利用も考えられるため、エネルギー利用も含めて総合的に比較して利用方針を決めるべきものとする。

なお、日本においても、農業従事者の高齢化など担い手不足による耕作放棄地の増加や水田フル活用に向けた米政策の見直し等農政の大きな転換期の中、非常時には食料や飼料に活用できる作物、例えば青刈り稲をエネルギー作物と位置付けて栽培を奨励することは国土の保全上からも食料及びエネルギーの安全保障上からも有効なものとする。

以上からバイオガスの混合メタン発酵に適した副資材としては、地域に存在する廃棄物系バイオマス(家庭生ごみ、食品加工残渣、農産物残渣、浄化槽汚泥、BDF 生産時に出る廃グリセリン等)や休耕田で青刈

り稲やビートトップ、公共事業由来の河川堤防刈草、耕作放棄地の雑草等未利用草本系バイオマスが考えられる。リグニン化した木質バイオマスでは前処理に課題がある。また、水産物残渣については副資材としての利用可能性が高いが、物によっては消化液としては重金属などが含まれるものもあり注意することが必要である。

3-4 まとめ

バイオガスシステムの普及・定着のためには経営収支の改善が第一であるとの認識から、FIT 制度創設以降売電価格が上昇安定したことを踏まえ、発電量を増加させるために、地域に存在する未利用バイオマスと家畜ふん尿との混合メタン発酵に関する国内・海外の研究動向について整理した。この結果、国内では、食品加工残渣や生ゴミ、浄化槽汚泥、BDF 製造時にできる廃グリセリンと家畜ふん尿の混合メタン発酵についての報告はあるが、未利用草本系バイオマスに関する報告、特にサイレージ化した草本系バイオマスについての知見が乏しいことが分かった。

また、混合メタン発酵に適した副資材の要素として①地域に相当数賦存していること、②経済的に収集・利用可能なこと、③消化液の農地還元の問題がないこと(安全性)、④食料と競合しないことの4項目をあげた。

本研究の成果は、図 3-1 に記載した他の未利用草本系バイオマスにも応用可能な内容である。

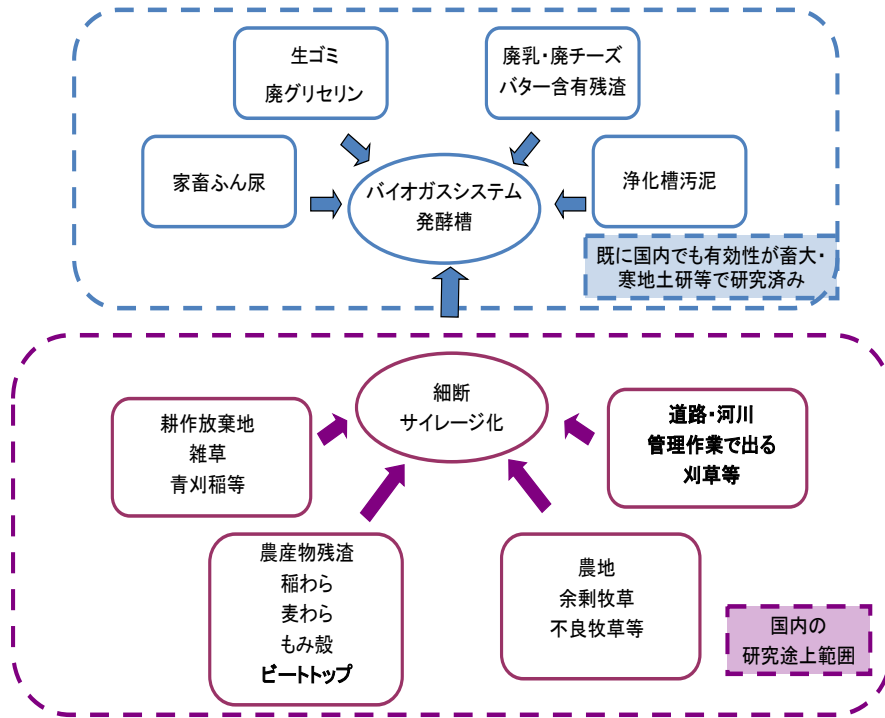


図3-1 バイオガスシステムでの混合発酵

1

第4章 ビートトップサイレージに関する研究

4-1 研究の目的

国産のビートは2011年現在そのほぼ100%が北海道の60,500haの農地で350万t生産されており,その45%は十勝産である。ビートの茎葉部(ビートトップ:以降SBTと記す)はビート全体の40~50%の重さがあり,十勝では毎年88万tの賦存量がある。SBTは家畜の餌として利用することが可能であるが(高橋,2012),現状ではほとんど利用されておらず,そのほとんどがビート収穫時に切除され,畑に鋤きこまれているのが現状である。

Umetsu *et al*(2006)によればSBTは混合メタン発酵に適した材料であるが,SBTをエネルギー利用する場合には長期に保存することが課題と報告されている。一般的にSBTはサイレージとして数週間から数ヶ月にわたって腐敗しないよう保存することができ,必要なときに飼料としてあるいはエネルギー生産に使うことが出来る。しかし,SBTのサイレージとしての貯蔵期間がバイオガスの生成にどのような影響を与えるかは分からなかった。Demirel *et al* (2008)はSBTサイレージから生成されたメタンガスについて研究しているが,家畜ふん尿との混合メタン発酵については触れていない。この研究では,STBサイレージは窒素・リン酸成分や緩衝容量の少ない材料であり,SBTサイレージを経済的に利用するためには,必須栄養素や緩衝容量の大きな材料を加えてやるのが効果的であると報告している。この意味でSBTサイレージと家畜ふん尿との混合メタン発酵では,家畜ふん尿が微生物の成長にとって優れた栄養源や中性を保つための緩衝容量としての役割を担う優れた方法である。乳牛ふん尿とSBTサイレージとの混合メタン発酵についてはFang *et al* (2011),Lehtomäki *et al* (2007),Umetsu *et al* (2006)の報告があるが,乳牛ふん尿とSBTサイレージの混合メタン発酵における適切な混合割合や発酵阻害が起きる限界投入割合については,触れられていない。それ故に,この研究の目的を乳牛ふん尿とSBTサイレージの混合メタン発酵における①乳牛ふん尿とSBTサイレージとの最適混合割合を見いだすことと②バイオガス生成能と有機物減量に関するSBTサイレージの貯蔵期間の影響を明らかにすることとしている。

4-2 材料と方法

4-2-1 材料

乳牛ふん尿は北海道士幌町の酪農家から収集し、固液分離後の液分を用いた。種汚泥は帯広畜産大学構内にある農家規模のバイオガスプラントのスラリーを用いた。ビート(北海 87)トップは北海道農業研究センターから得た。SBT サイレージは、貯蔵期間が 120 日間のもの(以下、サイレージ I と記述)、210 日間のもの(以下、サイレージ II と記述)の 2 種類を用いた。また、SBT サイレージは混合発酵試料として発酵槽へ投入までの間、発酵が進まないように 4℃で保存した。種汚泥、乳牛ふん尿、SBT サイレージの性状を表 4-1 に示す。

表 4-1 実験材料の性状

	TS (%)	VS (%)	TVFA (mg/L)
乳牛ふん尿	4.4 ^a ± 0.1	3.5 ± 0.1	1650.3 ± 11.1
SBT サイレージ I (120 日貯蔵)	15.1 ± 0.0	12.4 ± 0.1	1086.2 ± 8.3
SBT サイレージ II (210 日貯蔵)	14.6 ± 0.0	12.0 ± 0.1	1106.5 ± 0.8
種汚泥	3.3 ± 0.1	2.2 ± 0.1	29.0 ± 6.1

注：^a 測定値±標準偏差(n=4)

4-2-2 混合メタン発酵試験

家畜ふん尿と 2 種類の SBT サイレージの混合メタン発酵試験には、容量 1L の回分式発酵槽を用いた。ポリエチレン容器の蓋に直径 30 mm の穴をあけ、その中心を通る直径約 5 mm の穴をあけたゴム栓を差し込んで気密にした。ゴム栓にプラスチックのコネクタをつけ、シリコンチューブの先にガスバックを取り付けた(図 4-1)。

表 4-2 に発酵槽に投入した実験材料の種類と割合を示した。実験材料は、湿潤重量で種汚泥から 300g と原料(乳牛ふん尿+SBT サイレージ)が 300g の合計 600g とした。対照区は原料 300g をすべて乳牛ふん尿とした。実験区は、原料に占める 2 種類の SBT サイレージの割合が 40%, 60%, 80%, 100%となるように混合した。なお、これら SBT サイレージの割合は、予備実験(混合割合 30%, 40%, 50%)におけるメタンガス発生量の増加状況によって決定した。発酵期間は 21 日間とし、その間、新たな原料の投入は行わなかった。発酵槽は恒温水槽に入れ 55±1℃で管理し、毎日 2 回手動で攪拌した。すべての発酵槽は十分に密閉した。

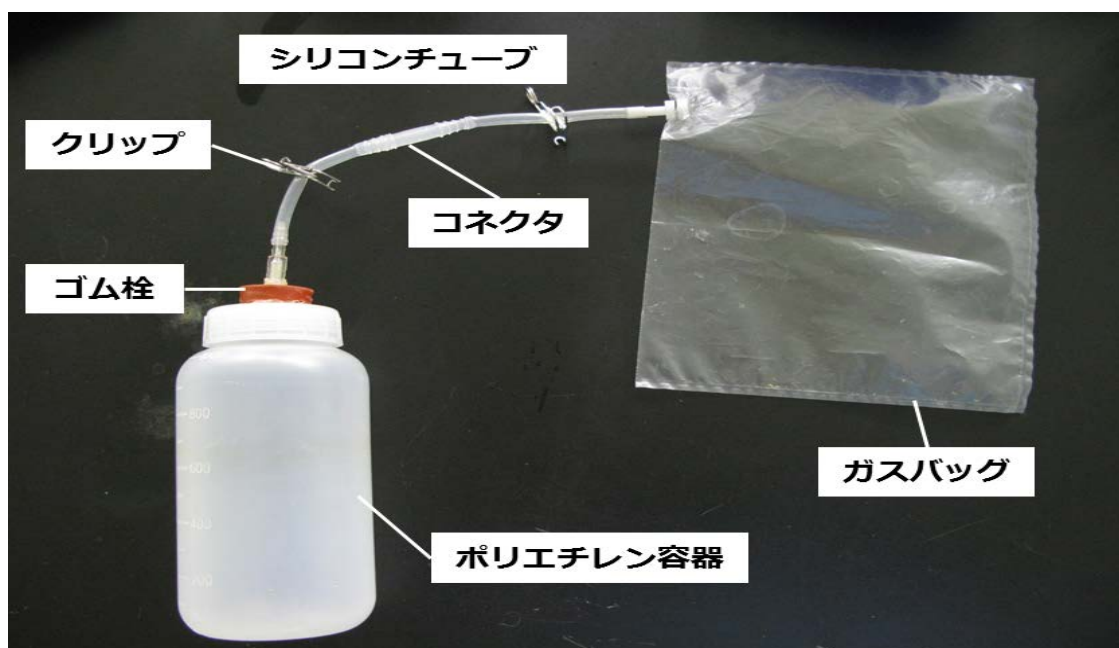


図 4-1 実験装置

表 4-2 実験材料の乳牛ふん尿と SBT サイレージとの混合割合

	サイレージ の混合割合 (%)	種汚泥 (g)	乳牛ふ ん尿 (g)	SBT サイレ ージ(g)
対照区(ふん尿のみ)	-	300	300	0
ふん尿と SBT サイレ ージ I との混合物	40%区	300	180	120
	60%区	300	120	180
	80%区	300	60	240
	100%区	300	0	300
ふん尿と SBT サイレ ージ II との混合物	40%区	300	180	120
	60%区	300	120	180
	80%区	300	60	240
	100%区	300	0	300

4-2-3 測定と分析

(1) 固形分濃度及び有機物濃度

実験開始前の混合試料と実験終了時の発酵試料の固形分濃度(TS)は、湿潤重量 W の試料を 105℃ のオーブン (YAMATO drying oven DX600) で 24 時間乾燥させ乾燥重量 D を測定し、以下の式から算出した。

$$TS(\%)=D/W \times 100$$

有機物濃度(VS)は, 湿潤重量 W の試料を 600℃の強熱オーブン(YAMATO ELECTRIC FURANCE model FA-21)で 4 時間強熱をかけ, デシケーターで常温に冷やした後に灰物重量 A を測定し, 以下の式で算出した。

$$VS(\%)=(D-A)/W \times 100$$

(2) ガス等の測定

バイオガス生成量は 1 日 1 回湿式ガス流量計(品川計器製作所 WE-1B)により測定した。バイオガス中の H₂, O₂, N₂, CO₂, CH₄ は, 熱伝導が測定可能で 80/100 メッシュシリカゲルが充填されたステンレス製のスチールカラム(3mm×2m)によるガスクロマトグラフ(SHIMADZU:GC-14A)で測定した。キャリアガスには He ガスを 28ml/min で用いた。インジェクターと装置の温度はそれぞれ 80℃と 120℃とした。カラム温度は 80℃とした。揮発性脂肪酸濃度(VFA)は, Shim-pack SGR-108H を用い高速液体クロマトグラフ(SHIMADZU HPLC(LC-10A))で, Lateef *et al* の方法により計測した。pH はガラス電極式水素イオン濃度指示計(HORIBA D-52)で測定した。

4-2-4 データ解析

それぞれの実験結果から, 累積バイオガス生成量(L), 累積メタンガス生成量(L), 有機物当たりメタンガス生成量(L/gVS), 有機物減量を求めた。結果を相互に比較するため, 累積メタンガス生成量を以下の式に当てはめ, Microsoft Excel2010 の solver 機能を使い, パラメーターを求めた。

$$\beta = \beta_0 (1 - e^{-kT})$$

β : 累積ガス生成量(L)

β_0 : 最大ガス生成量(L)

k : ガス生成率(/日)

T : 時間(日)

4-3 結果および考察

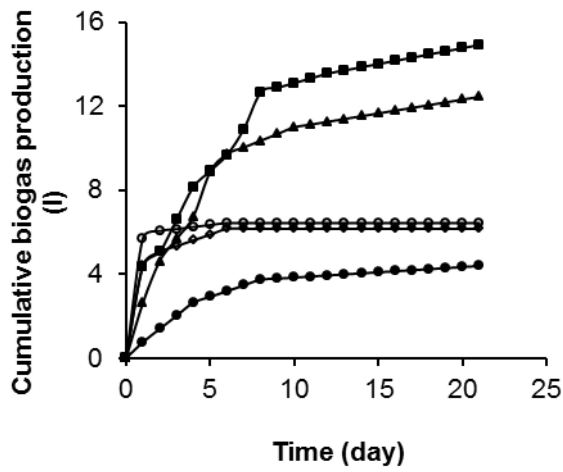
4-3-1 バイオガス生成量

図 4-2 にバイオガスの累積生成量を示す。バイオガス生成量と SBT サイレージの混合割合には関連性が認められた。サイレージ I では 40%区, 60%区においては 21 日間のバイオガス生成量の 89.7~90.1%が 12 日間で発生している。サイレージ II では 40%区, 60%区, 80%区において 21 日間のバイオガス生成量の 93.2~94.8%が 12 日間で発生している。しかし, サイレージ I の 80%区, 100%区およびサイレージ II の 100%区では 6 日間でバイオガスの発生が止まっている。これは, サイレージ投入量が多かったことから試料の有機物負荷が高まり, 発酵阻害が発生したものと思われる。高い有機物負荷量による発酵阻害については, アルファルファサイレージについて Nordberg *et al*(2007)が, 他の作物と乳牛ふん尿の混合発酵について Comino *et al*(2010)が報告している。これに対して, サイレージ I・II とともに 40%区および 60%区では, バイオガス生成量は次第に増加し, 乳牛ふん尿だけの対照区に比べ高い値を示した。最大の累積バイオガス生成量は 60%区で得られ, それぞれサイレージ I では 14.9L, サイレージ II では 13.7L であった。

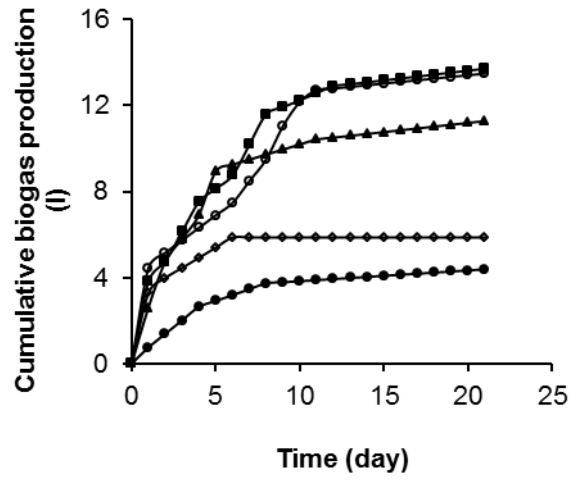
4-3-2 メタン生成量と有機物分解率

図 4-2 にメタンガスの累積生成量を表す。サイレージ I の 40%区と 60%区の累積メタンガス生成量は, 乳牛ふん尿のみの対照区と比較して多かった。また, サイレージ II においても, 累積メタンガス生成量は対照区より 40%区, 60%区, 80%区で多かった。サイレージ I の 40%区, 60%区の累積メタンガス生成量はそれぞれ 8.82L, 8.99L であり, 対照区の 2.6, 2.7 倍であった(表 4-3)。サイレージ II の 40%区, 60%区, 80%区のメタンガス生成量はそれぞれ 7.55L, 8.63L, 6.84L であり, 対照区よりそれぞれ 2.2, 2.6, 2.0 倍多かった。これは家畜ふん尿よりも有機物濃度の高い SBT サイレージの比率が増加することにより, 試料の有機物濃度が高まりメタン生成量が増加したものと思われる。また, SBT サイレージの比率が 60%以上に増加すると累積メタン生成量が減少していることから, SBT サイレージの比率 60%がメタン生成の抑制境界となっている。

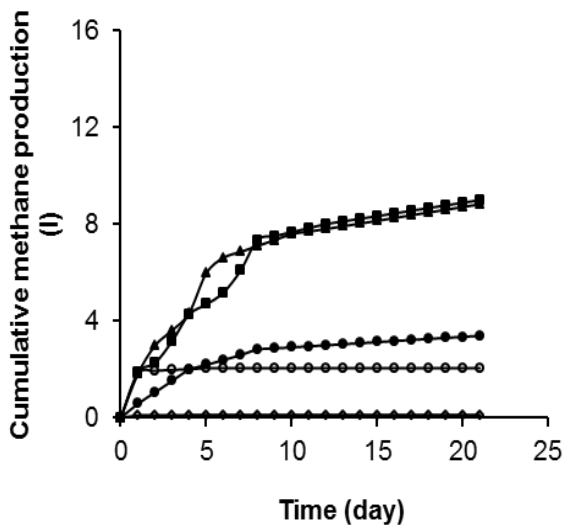
a. STB サイレージ I



b. STB サイレージ II



c. STB サイレージ I



d. STB サイレージ II

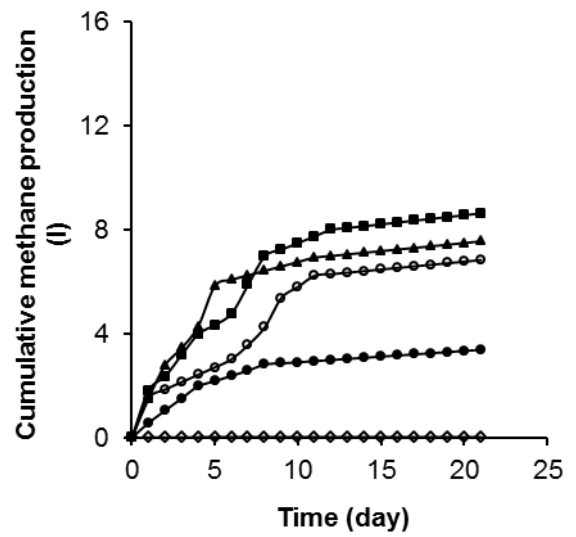


図 4-2 累積バイオガス・メタンガス生成量

凡例(● : 対照区、▲ : 40%区、■ : 60%区、○ : 80%区、◇ : 100%区)

表 4-3 に乳牛ふん尿と SBT サイレージの VS あたりのメタンガス生成量を示す。VS あたりの累積メタンガス生成量は SBT サイレージ 40%区で最も多く、サイレージ I では 0.422L/gVS^a、サイレージ II では 0.377L/gVS^a であり、この結果は乳牛ふん尿と SBT サイレージの混合メタン発酵では SBT サイレージ 40%が最適な混合割合であることを示している。SBT サイレージ 60%区の VS あたりの累積メタンガス生成量はサイレージ I では 0.337L/gVS^a、サイレージ II では 0.335L/gVS^a であった。

表 4-3 メタンガス生成量と有機物分解率

サイレージ の混合割合 (%)	メタン ガス生 成量 (L)	VS ^a あた りのメ タンガ ス生成 量 (L /gVS ^a)	VS (SBT サ イレージ) あたりの メタンガ ス生成量 (L/gVS)	有機物 分解率 (%)	
対照区 (ふ ん尿のみ)	-	3.38	0.361	-	65
ふん尿と SBT サイレ ージ I との 混合物	40%区 60%区 80%区 100%区	8.82 8.99 2.04 0.12	0.422 0.337 0.069 0.003	0.455 0.341 0.046 0.003	57.0 52.2 27.3 18.4
ふん尿と SBT サイレ ージ II と の混合物	40%区 60%区 80%区 100%区	7.55 8.63 6.84 0.02	0.377 0.335 0.22 0.001	0.382 0.336 0.213 0.001	57.4 50.0 32.9 14.4

注： VS^a はふん尿とサイレージ総量

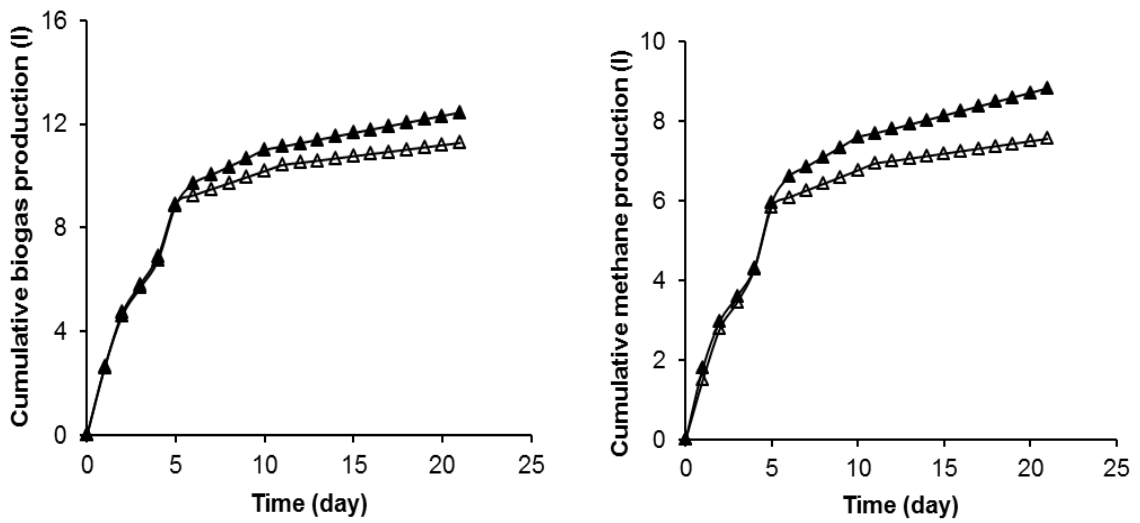
これらの値は Lehtomäki *et al*(2007)が乳牛ふん尿と SBT との混合発酵で得た 0.133~0.229L/gVS や乳牛ふん尿と牧草サイレージとの混合メタン発酵の 0.143~0.268L/gVS, Xie *et al*(2011)が豚ふん尿と牧草サイレージとの混合発酵で得た 0.267~0.304L/gVS と比較しても大きな値であった。SBT サイレージ投入 VS 当たりの累積メタンガス生成量は SBT サイレージの混合割合が増えるとともに減少する傾向を示し

た。乳牛ふん尿と SBT サイレージとの混合メタン発酵においては、高い混合割合ではメタン生成量を抑制する効果があることが重要な点である。40%区では SBT サイレージとふん尿 TS あたりのメタンガス生成量はサイレージ I で 0.337L/gTS, サイレージ II で 0.299L/gTS である。梅津ら (2006) が乳牛ふん尿と生のビートトップを用いた 0.299L/gTS に比べて今回の結果は各々 13.5%, 0.7% 大きい。Neureiter *et al* (2005) や Woodard *et al* (1991), Alkaya *et al* (2011) が過去に測定したサイレージ化した作物のメタン生成能は生のものと同じか大きいとの報告と同様の結果であった。

有機物分解率は、バイオガスやメタンの生産と関係しているようには見えない。ふん尿のみの対照区ではバイオガスやメタンの生成量がサイレージとの混合区より少ないが、有機物分解率は最も高い 65% である。ふん尿に対して SBT サイレージの比率が大きくなるにつれて、有機物分解率は低下している。乳牛ふん尿と SBT サイレージの混合物で、有機物分解率が最も高い値は 40% 区で出現しており (サイレージ I で 57.0%, サイレージ II で 57.4%), メタン生成能とともに有機物分解能でも SBT サイレージ 40% が最適な混合割合であると言える。40% 区や 60% 区の有機物分解率は Lehtomäki *et al* (2007) や Xie *et al* (2011) による家畜ふん尿とサイレージ混合メタン発酵に関する過去の研究結果と一致する。

SBT サイレージの貯蔵期間のメタン発酵に対する影響を検討するために、サイレージ I とサイレージ II の 40% 区, 60% 区のバイオガスとメタンガスの生成量を比較した (図 4-3)。この結果, 40% 区ではサイレージ I と II の差は少しみられたが, 60% 区ではほとんど同じであった。同じく有機物分解率においても, サイレージ I と II では差はみられなかった。このことから, SBT サイレージの貯留期間はメタン発酵に影響を与えていないことを示しており, SBT サイレージを望む期間貯留し, 望むときに使うことができると言える。

a.40%区



b.60%区

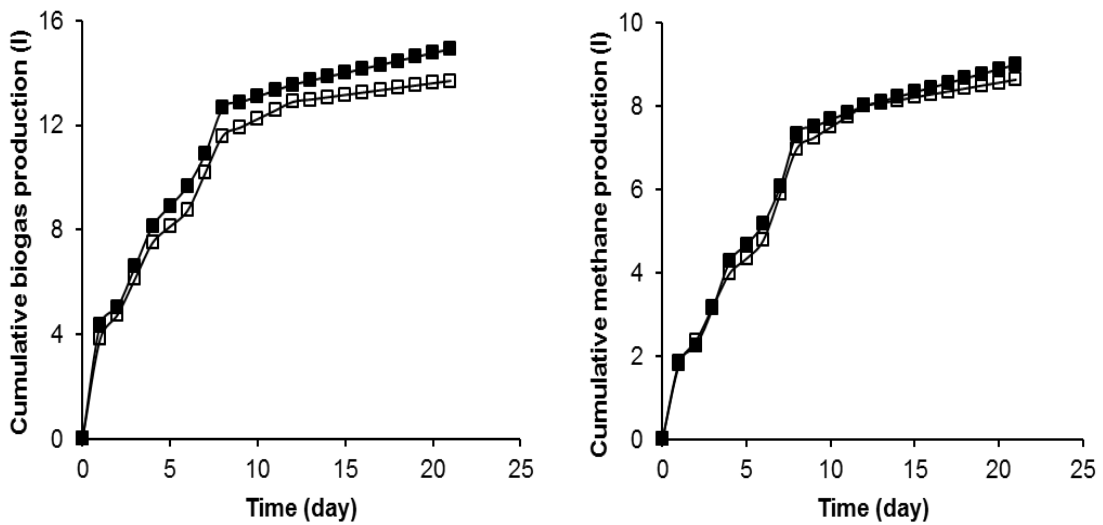


図 4-3 貯蔵期間の異なるサイレージのバイオガス・メタンガス生成量の比較

凡例 (▲ : サイレージ I (120 日貯蔵)40%区、△ : サイレージ II (210 日貯蔵)40%区、

■ : サイレージ I 60%区、□ : サイレージ II 60%区)

4-3-3 データ解析

発酵阻害となった実験区は除き、累積メタンガス生成量の実験データを基に数値解析を行った。計算されたパラメーターが表 4-4 である。 β_0 はサイレージ II の 80% 区を除いて SBT サイレージの混合割合が増加するとともに増えている。この結果は SBT60% 区がメタンガス生成抑制の重要な境界点であることを示している。実験で測定された累積メタンガス生成量を比較するには、対応する β_0 は有益な情報である。対照区と 40% 区においては実験で測定された総メタン生成量は算出した β_0 と良く合っており、60% 区では β_0 より 2.2~2.9% 小さく、同じくサイレージ II の 80% 区では 6.2% 小さな値であった。

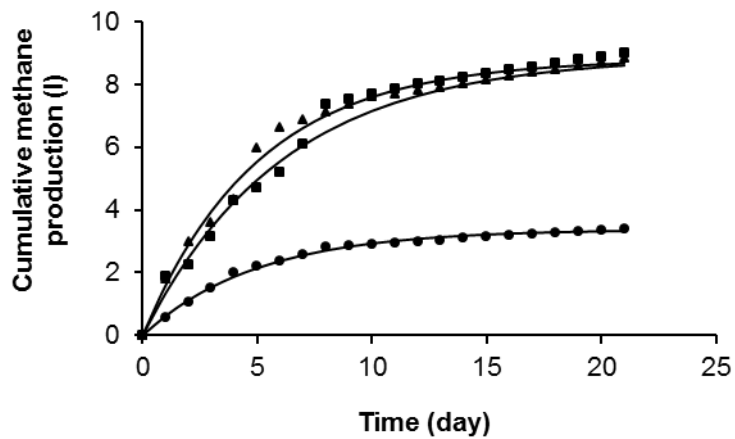
表 4-4 実験データにより算出されたパラメーター

	サイレージ の混合割合 (%)	β 総メタ ン生成量 (L)	β_0 最大 ガス生 成量(L)	k ガス生成 率 (日 ⁻¹)	R ²
対照区(ふん 尿のみ)	-	3.39	3.37 ± 0.00	0.202 ± 0.001	0.9938
ふん尿と SBT サイレージ I との混合物	40	8.82	8.80 ± 0.01	0.199 ± 0.003	0.9880
	60	8.99	9.20 ± 0.01	0.161 ± 0.001	0.9862
	40	7.55	7.52 ± 0.01	0.238 ± 0.003	0.9868
ふん尿と SBT サイレージ II との混合物	60	8.63	8.89 ± 0.01	0.163 ± 0.002	0.9809
	80	6.84	7.29 ± 0.03	0.128 ± 0.002	0.9494

算出された k は SBT サイレージの混合率が大きくなるにつれて減少した。最大値はサイレージ II の 40% 区で 0.238/日であった。メタン生成能の高い効果的なメタン発酵を行うためには混合率 40% を限界とすべきである。実験で得た k (0.128~0.238/日) は、梅津ら (2006) が生の SBT と乳牛ふん尿との高温メタン発酵について報告している値 (0.183~0.204/日) と矛盾しない。しかし、Alkaya *et al* (2011) がビート工場の排水とビートパルプの中温メタン混合発酵で得られた値は、今回の数値より小さい 0.081~0.135/日と報告されている。これは、高温メタ

ン発酵と中温メタン発酵では異なる微生物が関係していることによるものと思われる。表 4-4 に示された高い相関係数 R^2 で分かるように実験データと数値解析値は良く一致している (図 4-4)。

a. サイレージ I



b. サイレージ II

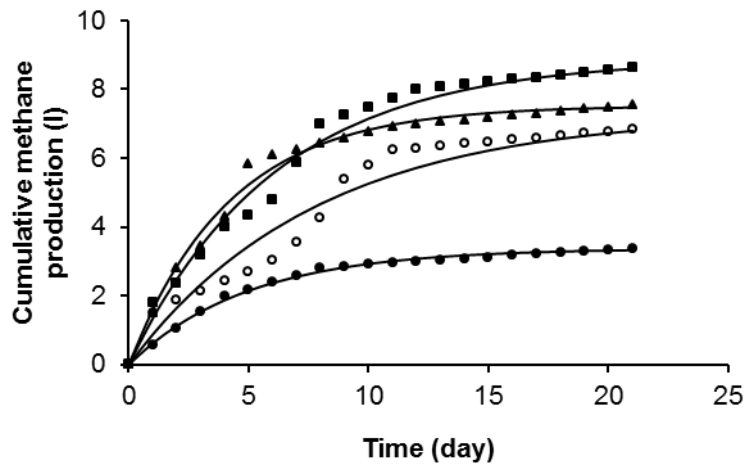


図 4-4 実験データにより求められた回帰曲線

凡例 (● : 対照区、▲ : 40%区、■ : 60%区、○ : 80%区、◇ : 100%区)

以上の結果から、乳牛ふん尿と SBT サイレージとの混合メタン発酵においては、メタンガス生成能に対する SBT サイレージの最適混合割合は 40%と思われる。

4-4 まとめ

本章では北海道十勝に多く賦存する未利用草本系バイオマスであるビートトップサイレージと乳牛ふん尿との混合メタン発酵について、実験室での試験結果を報告した。

メタン生成能では、乳牛ふん尿に対して SBT サイレージが 60%混合した材料(60%区)で最も多くのメタンガスを発生させた。VS あたりのメタンガス生成能や有機物分解率から、40%混合した材料(40%区)の混合発酵が、最も効率的であった。また、貯蔵期間の短いサイレージと長いサイレージⅡとのメタンガス生成能の比較では、大きな差は認められなかった。このことは、サイレージの貯蔵期間は、SBT サイレージと乳牛ふん尿の混合発酵におけるバイオガス生成やメタン生成に大きな影響を与えていないことを示しており、それ故に、SBT サイレージと乳牛ふん尿はメタン生成能の低下を考慮することなしに、望む時に使うことができると言える。

第5章 河川堤防刈草サイレージに関する研究

5-1 研究の目的

河川の堤防や道路の法面等公共施設の管理を行う際に多量の刈草が発生する。北海道の一級河川を管理する北海道開発局のホームページ(2014)によれば、全道では 2700 万 m^2 (H22 データ)で刈取り後集草処理されており、その一部は草刈バンクと称して、家畜の敷料や有機肥料の原料等として必要とする自治体・農協・農家等に無償提供し利用してもらっている。しかし、草刈りバンクとして利用される以外の刈草は一般廃棄物として処理費をかけて焼却処分されているのが実態である。

これらの刈草は貴重なバイオマス資源であり、地域で有効利用することが、公共施設の管理費節減にもなり、地球温暖化対策等環境上も有効である。本研究では河川堤防刈草をこれまでの敷料や肥料としての利用に加え、地域に存在する家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムでの混合メタン発酵への副資材としての有効性を検証するものである。

この研究の推進に当たっては、材料採取及び草種内訳、成分特性については北海道開発局帯広開発建設部帯広河川事務所が、サイレージ化から発酵試験までを帯広畜産大学畜産衛生学研究室が分担して行った。

5-2 材料と方法

5-2-1 材料

(1) 堤防刈草サイレージ

平成 25 年 8 月 6 日に十勝川水系一級河川札内川愛国大橋付近の堤防から 2 種類の試料を採取した(図 5-1)。一つは表 5-1 に示すマメ科やイネ科の多年生雑草の混合物で以降一般雑草と表記する、もう一つはタデ科の多年生作物で場所によっては 2m ほどの高さに成長するオオイタドリ(図 5-2)とした。両者の採取時の成分特性を表 5-2 に示す。



図 5-1 刈取状況



図 5-2 オオイタドリ

表 5-1 一般雑草の草種内訳

草 種	学 名 等
アカクローバー	<i>Trifolium pratense</i> マメ科
シロクローバー	<i>Trifolium repens</i> マメ科
クサフジ	<i>Vicia cracca</i> マメ科
イタリアンライグラス	<i>Lolium multiflorum</i> Lam イネ科
オーチャードグラス	<i>Dactylis glomerata</i> イネ科
ヒメジオン	<i>Erigeron annuus</i> キク科
オオヨモギ	<i>Artemisia montana</i> キク科
エゾノギシギシ	<i>Rumex obtusifolius</i> タデ科
イグサ	<i>Juncus effusus</i> L. var. <i>decipens</i> Buchen イグサ科

表 5-2 雑草およびサイレージ化した雑草の成分

	含有率(現物中%)			
	オオイタドリ	一般雑草	オオイタドリサイレージ	一般雑草サイレージ
水分	77.283	76.925	73.200	72.400
乾物	22.717	23.075	26.800	27.600
CP(粗タンパク)	2.383	3.200	2.400	3.200
粗灰分	1.708	2.150	1.700	2.400
EE(粗脂肪)	0.533	0.625	0.500	0.800
NDF(中性デタージェント 繊維)	12.517	14.500	16.400	18.600
ADF(酸性デタージェント 繊維)	9.933	8.258	14.100	11.900
ADL(酸性デタージェントリグニン)	2.958	1.133	4.900	2.200
NFC (非繊維性炭水化物)	6.575	3.667	7.300	3.600
Ca	0.248	0.093	0.210	0.100
P	0.038	0.055	0.040	0.060
Mg	0.049	0.048	0.060	0.050
K	0.310	0.286	0.300	0.320
K/(Ca+Mg)	1.093	2.072	1.111	2.133
CCX(細胞内容物)	5.092	7.350	5.000	6.000
CCW(総繊維)	15.950	13.592	20.200	19.200

Oa(高消化性繊維)	0.600	1.042	0.100	0.900
Ob(低消化性繊維)	15.350	12.550	20.100	18.300
アンモニア態窒素			0.000	0.020
酪酸			0.000	0.000
乳酸			0.010	1.360
酢酸			0.040	0.050
プロピオン酸			0.000	0.000

これら 2 種類の試料を採取後に 50 mm片に細断し, 乳酸菌製剤(雪印種苗 Si-master)を一般的なサイレージ調整の規定量(0.05%)加えて混合した後, 10Lの容器に鎮圧, 脱気しながら投入し, 吸気することで嫌気状態とし, 3 カ月間発酵させてサイレージ化した。

発酵試験前に, 5 mm片程度に細断機(小型高速細断機)で細断した。

(2) 乳牛ふん尿

乳牛ふん尿は帯広畜産大学フィールド科学センター内畜糞ピットから採取した。固形分濃度が高く, 流動性が小さいため, 有機物濃度が 6%になるように加水調整した。

(3) 消化液

メタン発酵のスターターとして, 足寄町新妻牧場バイオガスプラント(高温発酵)の消化液を採取して用いた。

5-2-2 混合発酵試験

(1) 実験方法

調整された試料を 4-2-2 と同一のポリエチレン容器に入れ密封し, 55±1℃で管理された恒温水槽に入れた。試料を 1 日 1 回ガラス棒にて攪拌した。ガスバックに空気が混入しないようにシリコンチューブをクリップで止めて交換し, たまったガス成分及び量を 1 日 1 回 30 日間測定した。

(2) 試験区

表 5-3 に発酵槽に投入した実験材料の種類と割合を示した。実験材料は, 種汚泥としての消化液とサイレージ, 乳牛ふん尿の湿潤重量の合計が 600g になるように, それぞれの割合を変えて A~L の 12 の試験区とした。種汚泥はすべての試験区で用いたが, 細断しないサイレージを用いたもの, 堤防刈草サイレージのみ用いたもの(以降単発酵と表記する), 乳牛ふん尿のみ, 種汚泥のみの対照区も

設定した。

表 5-3 試験区区分

		投入量 (g)					
	記号	サイレー ジ混合割合 (%)	消化液	サイレ ー ジ	乳牛ふ ん尿	総量	VS (%)
オオイタ ドリサイ レー ジ	A	10%	300	30	270	600	6.71
	B	20%	300	60	240	600	7.71
	C	40%	300	120	180	600	9.70
	D	細断なし (27%)	435	45	120	600	7.08
	E	単発酵 (100%)	540	60	0	600	7.48
一般雑草 サイレ ー ジ	F	10%	300	30	270	600	6.77
	G	20%	300	60	240	600	7.82
	H	40%	300	120	180	600	9.93
	I	細断なし (27%)	435	45	120	600	7.17
	J	単発酵 (100%)	540	60	0	600	7.6
対照区	K	糞尿のみ (0%)	300	0	300	600	5.72
	L	消化液のみ (0%)	600	0	0	600	5.43

サイレージ混合割合 (%) = サイレージ / (サイレージ + 乳牛ふん尿) × 100

5-2-3 測定・分析と解析

第4章(4-2-3, 4-2-4)と同一の方法で測定・分析と解析を行った。

5-3 結果および考察

5-3-1 固形分濃度および有機物濃度

各試験区の試料の発酵前と発酵後の固形分濃度(TS)および有機物濃度(VS)を表5-4に示す。固形分濃度(TS)および有機物濃度(VS)は混合発酵区ではサイレージ投入量が多いほど大きな値を示した。また、一般雑草とオオイタドリとの比較では一般雑草のほうが大きな値を示した。

表 5-4 固形分濃度および有機物濃度

試験区	開始前		終了後	
	TS	VS	TS	VS
A	7.95	6.82	5.49	4.25
B	8.98	7.81	5.81	4.62
C	11.04	9.77	8.15	7.18
D	8.43	7.13	4.54	3.34
E	8.92	7.48	6.91	5.49
F	8.03	6.88	5.27	4.06
G	9.14	7.92	6.27	4.94
H	11.37	10.01	7.71	6.30
I	8.56	7.22	5.24	4.00
J	9.09	7.60	5.85	4.52
K	6.92	5.84	5.89	3.86
L	6.85	5.43	5.95	4.46

TS: 固形分濃度(%)

VS: 有機物濃度(%)

5-3-2 バイオガス生成量

(1) 混合発酵区と単発酵区との比較

表 5-5 に混合発酵区と単発酵区でのバイオガス生成量を示した。サイレージと乳牛ふん尿を投入した混合発酵区のほうが同じ量のサイレージを投入した単発酵区より多くのバイオガスが発生した。

表 5-5 混合発酵区と単発酵区での発生バイオガス量比較

試験区	草種	条件	サイレー ジ投入量 (g)	バイオガ ス生成量 (L)	β_0 (L)	k (day ⁻¹)	R ²
B	オオイタ ドリ	混合発酵	60	10.556	10.413	0.193	0.992
E	オオイタ ドリ	単発酵	60	4.593	4.433	0.186	0.96
G	一般雑草	混合発酵	60	13.877	13.812	0.2	0.996
J	一般雑草	単発酵	60	7.986	7.745	0.227	0.991

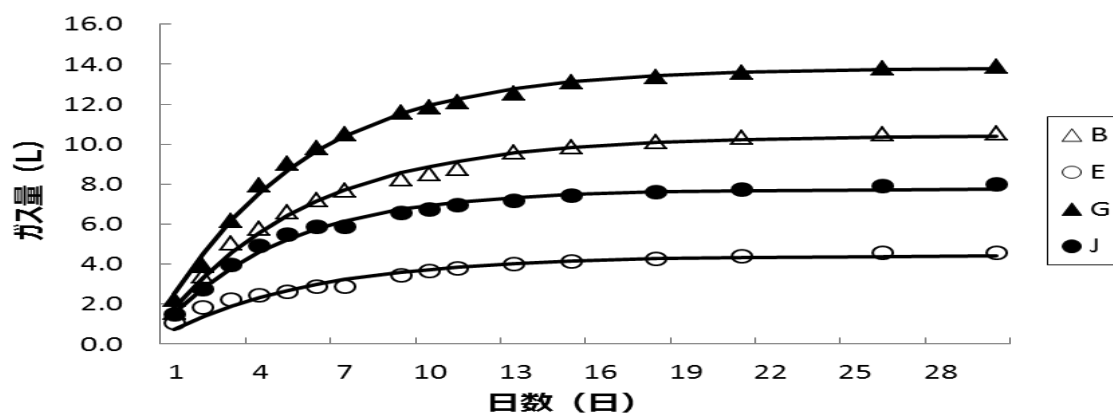


図 5-3 混合発酵と単発酵の比較

(2) サイレージの細断の有無による比較

表 5-6 にサイレージの細断の有無によるバイオガス生成量の比較試験結果を示した。細断したサイレージを 30g, 60g 投入した試験区と細断しないサイレージを 45g 投入した試験区の比較から、サイレージは細断することによりバイオガス生成量が増加することが分かった。

表 5-6 サイレージの細断の有無による発生バイオガス量の比較

試験区	草種	サイレージ細断	サイレージ投入量(g)	バイオガス生成量(L)	β_0 (L)	k (day ⁻¹)	R ²
A	オオイタドリ	あり	30	9.103	8.971	0.202	0.99
B	オオイタドリ	あり	60	10.556	10.413	0.193	0.992
D	オオイタドリ	なし	45	5.373	5.095	0.221	0.964

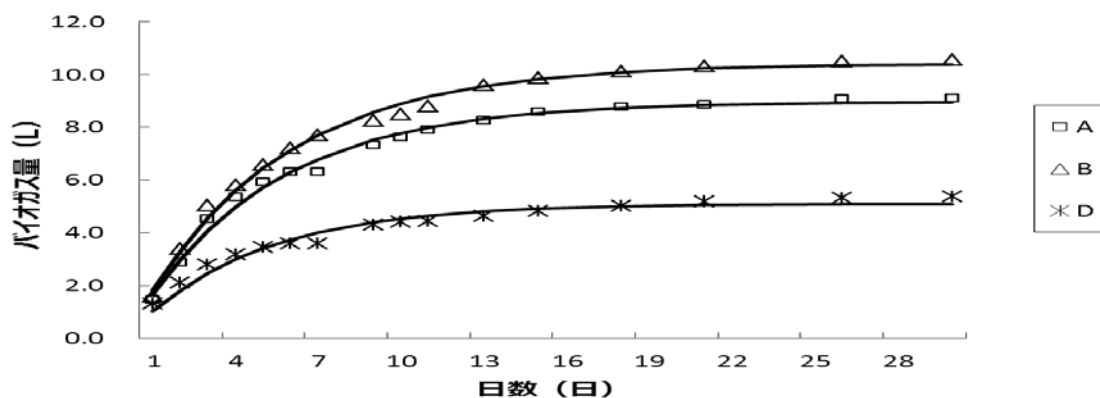


図 5-4 サイレージ細断の有無によるバイオガス生成量の比較
(オオイタドリサイレージ)

(3) サイレージ投入量および雑草種による比較

図 5-5, 図 5-6 にオオイタドリおよび一般雑草の異なるサイレージ投入量におけるバイオガス生成量を示した。2 種類共にサイレージの投入量が多くなるほどバイオガスの発生が多くなることがわかった。また, オオイタドリに比べて一般雑草の方が多くのガスが生成された。なお, 本実験の最大投入量である試験区 C および H では 30 日間を経過してもまだ発酵が続いており, また発酵阻害も起きていないことから, もっと多く投入可能であると推定される。

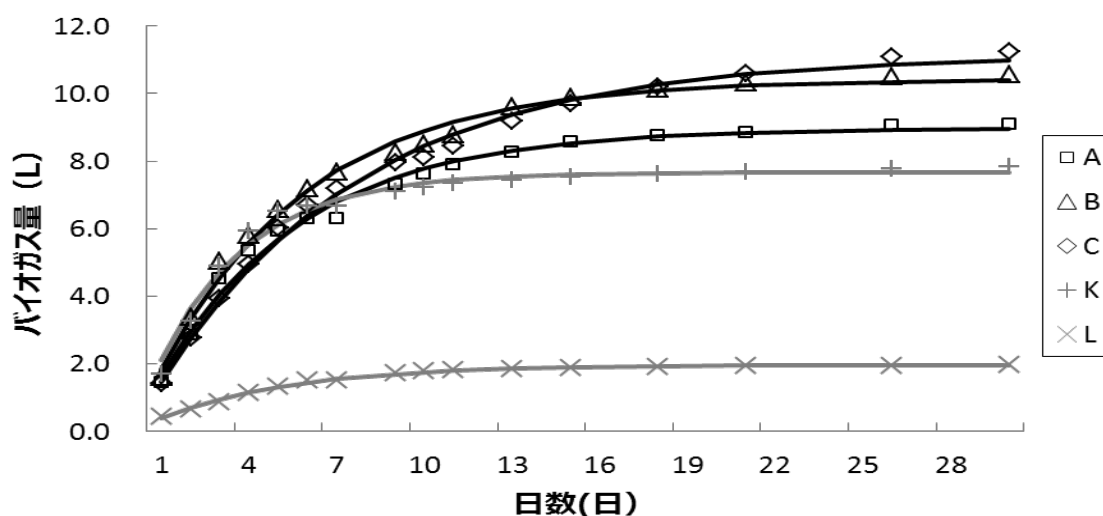


図 5-5 サイレージ投入量による比較(オオイタドリ)
凡例 A:10%区, B:20%区, C:40%区, K:ふん尿のみ, L:消化液のみ

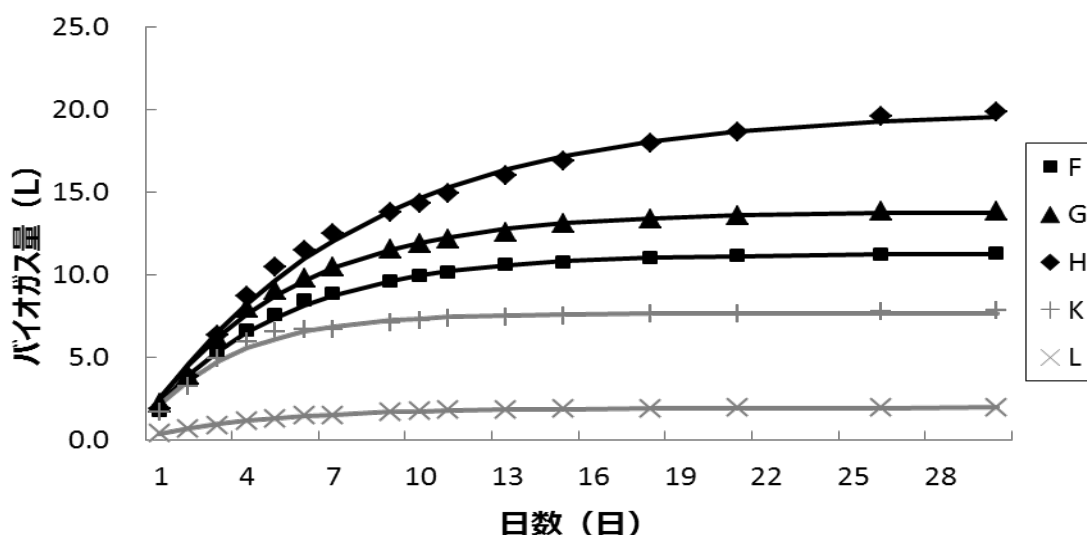


図 5-6 サイレージ投入量による比較(一般雑草)
凡例 F:10%区, G:20%区, H:40%区, K:ふん尿のみ, L:消化液のみ

(4) 有機物単位当たりのバイオガス生成量

投入有機物 1 g 当たりの 30 日間の累積バイオガス発生量を図 5-7 にて比較した。オオイトドリ (A~E) に比べ一般雑草 (F~J) が、細断していないもの (D, I) に比べ細断した試験区の方が大きい値を示したが、投入量の異なるオオイトドリ A~C および一般雑草 F~H の試験区では大きな差は見られなかった。

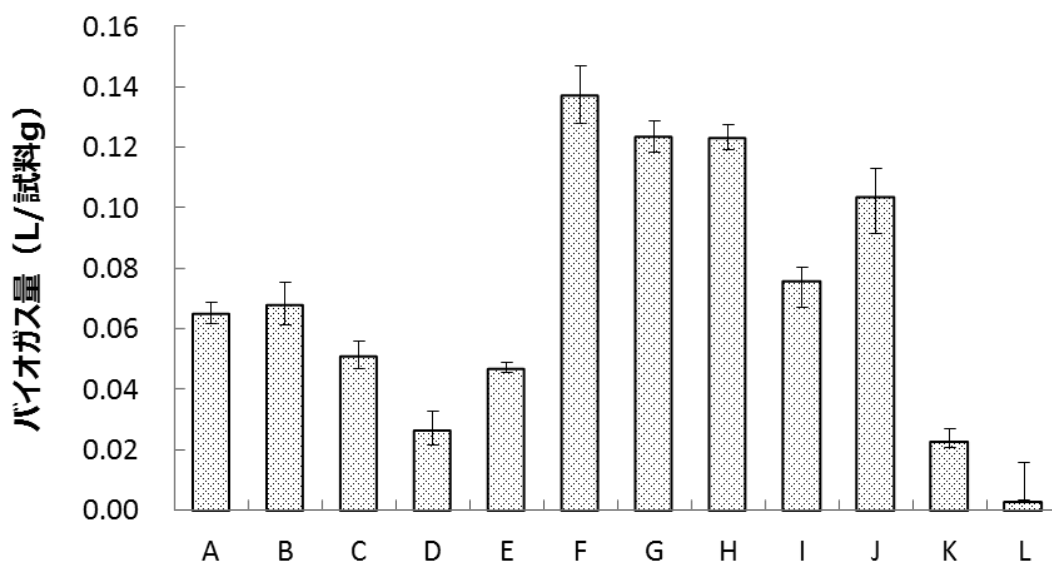


図 5-7 投入 VS1g 当たりのバイオガス発生量

5-3-3 メタンガス濃度

表 5-5 に 30 日間で発生したバイオガス中のメタンガス濃度を示した。一般雑草 (F~J) のサイレージの濃度がオオイトドリ (A~E) より高く、どちらも投入量が多い方が濃度は低くなる傾向が見られた。一般雑草のサイレージ細断無し (I) および消化液のみ (L) の濃度は他に比べ低い値を示した。

表 5-7 累計メタンガス濃度

	オオイトドリ					一般雑草					対照区	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	(10%)	(20%)	(40%)	(27%)	(100%)	(10%)	(20%)	(40%)	(27%)	(100%)	(0%)	(0%)
メタン ガス濃 度 (%)	59.9	50.2	46.9	53.1	51.7	64.1	61.0	55.6	42.1	56.7	55.5	34.1

5-3-3 メタンガス生成量

(1) 混合発酵区と単発酵区との比較

図 5-7, 5-8 にオオイタドリと一般雑草それぞれの混合発酵区と単発酵区でのメタンガス生成量を示した。バイオガス生成量と同様に2種類ともサイレージ投入量が等しい混合発酵区と単発酵区では混合発酵区のほうが多くのメタンガスが発生した。

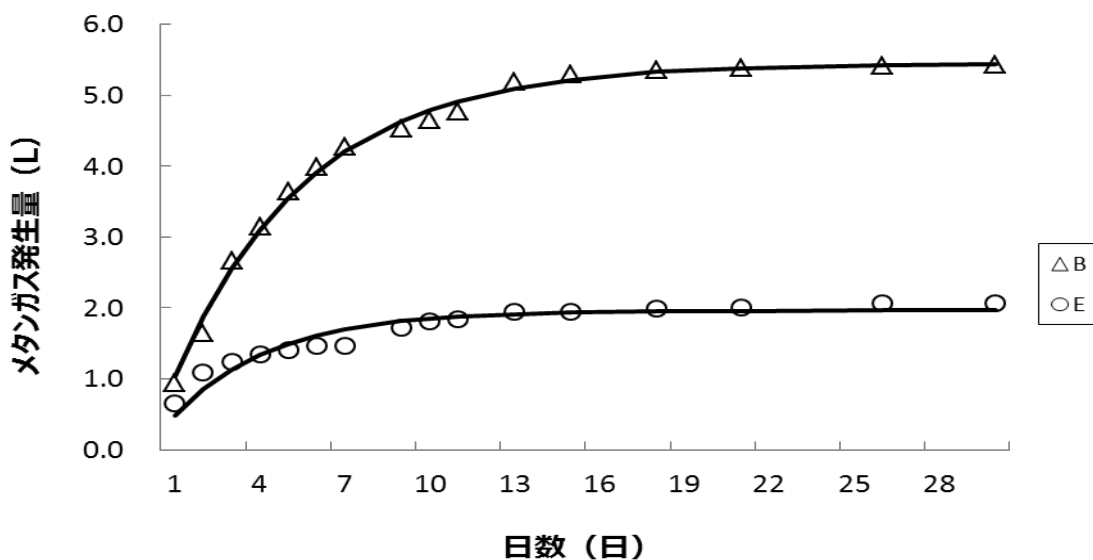


図 5-7 混合発酵と単発酵によるメタンガス生成の比較
(オオイタドリ)

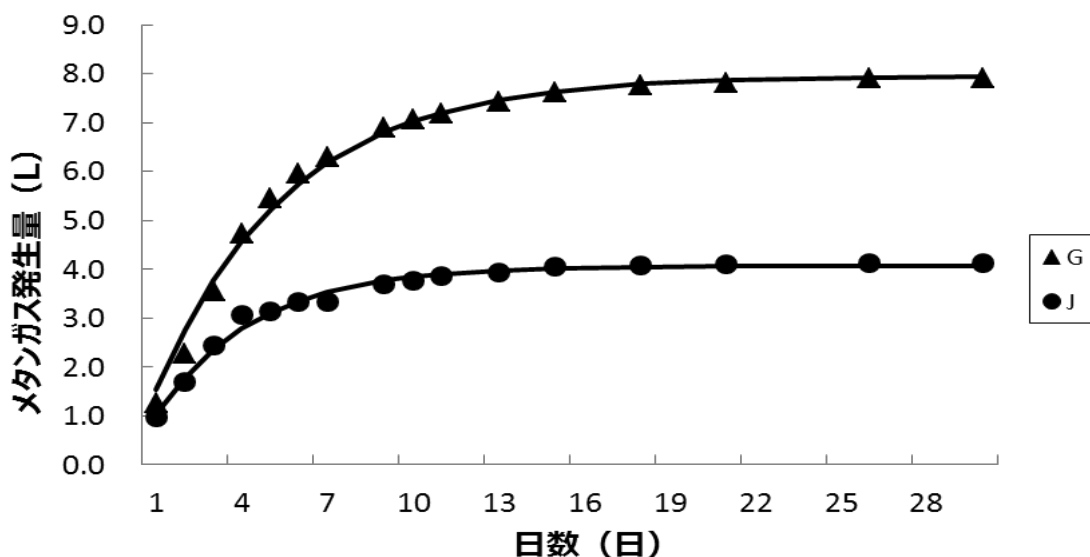


図 5-8 混合発酵と単発酵によるメタンガス生成の比較
(一般雑草)

(2) サイレージの細断の有無による比較

図 5-9, 5-10 にサイレージの細断の有無によるメタンガス生成量の比較試験結果を示した。バイオガス発生量と同様に, 細断したオオイタドリおよび一般雑草サイレージ 30g, 60g 投入区と細断しない 45g 投入区の比較から, サイレージは細断することによりメタンガスの発生が増加することが分かった。

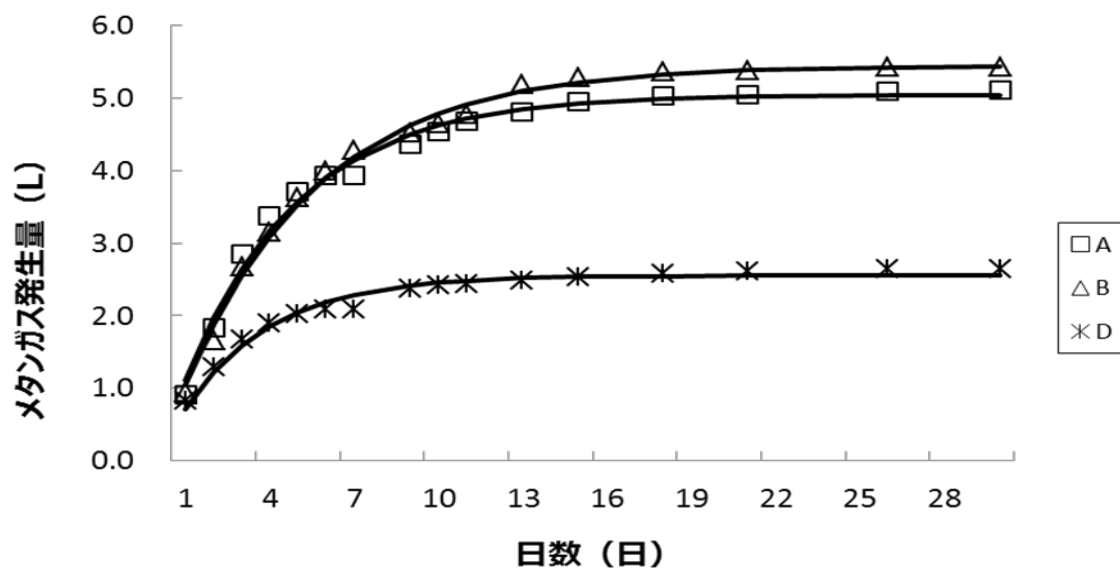


図 5-9 細断の有無によるメタンガス生成の比較
(オオイタドリ)

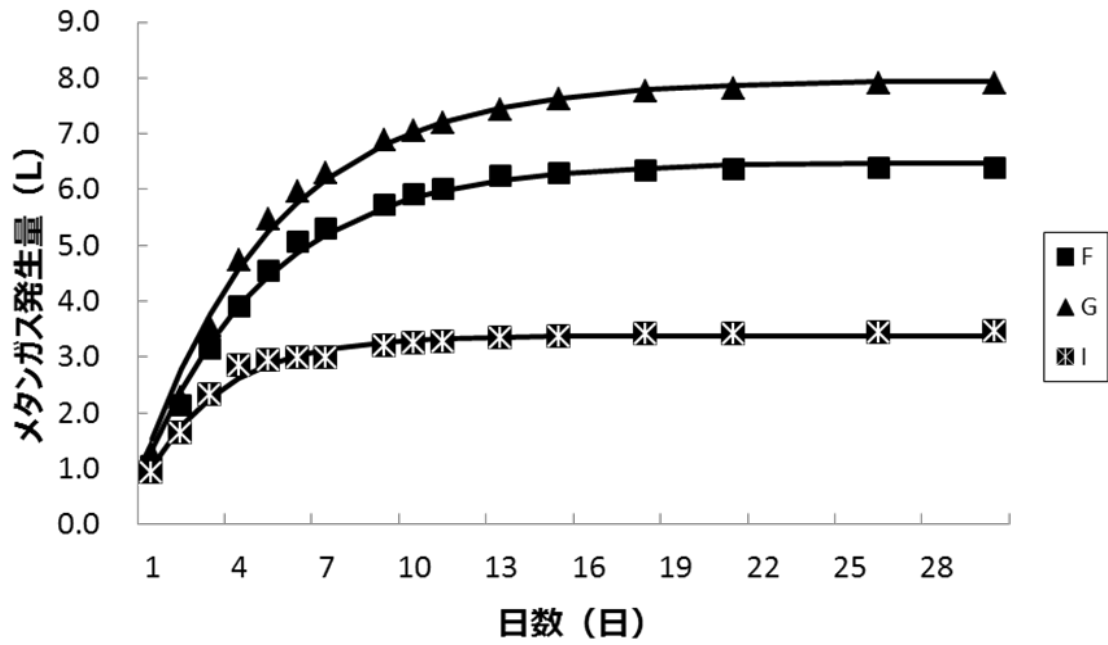


図 5-10 細断の有無によるメタンガス生成量の比較
(一般雑草)

(3) サイレージ投入量および雑草種による比較

図 5-11, 5-12 にオオイタドリと一般雑草それぞれのサイレージ投入量によるメタンガス生成量の比較を示した。オオイタドリのサイレージを使用した試験区(A~C)においては,サイレージの投入量によるメタンガス発生量の差は大きくないが一般雑草(F~H)では投入量が多くなるほど,メタンガスの発生量が増える傾向が見られた。いずれの試験区でも消化液のみ(L)およびふん尿のみ(K)の対照区から発生したメタンガスより多い値を示した。

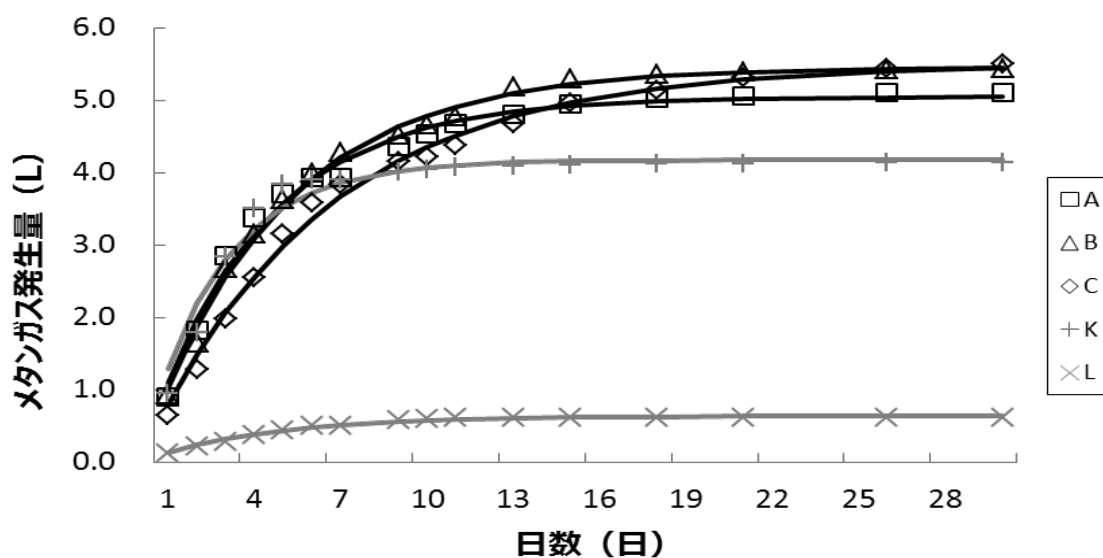


図 5-11 投入量の違いによるメタンガス生成量の比較(オオイタドリ)

凡例 A:10%区, B:20%区, C:40%区, K:ふん尿のみ, L:消化液のみ

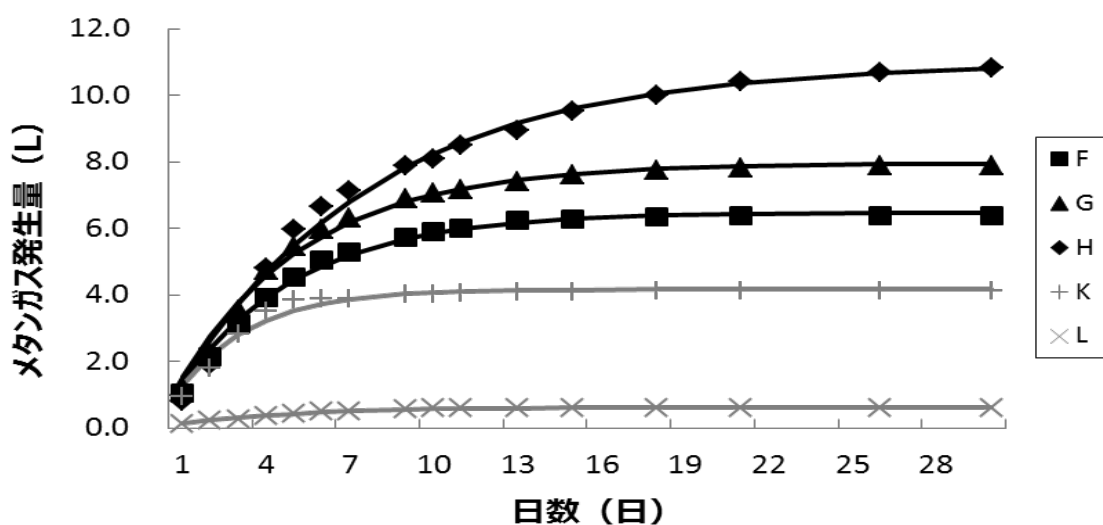


図 5-12 投入量の違いによるメタンガス生成量の比較(一般雑草)

凡例 F:10%区, G:20%区, H:40%区, K:ふん尿のみ, L:消化液のみ

(4) メタンガス生成量及びパラメーター等の比較

表 5-8 にすべての試験区の累積メタンガス生成量と近似曲線のパラメーターを示した。累積メタンガス生成量では、ふん尿のみの対照区に対して、混合割合 40%では一般雑草で 2.6 倍、オオイタドリで 1.3 倍のメタンガスが発生しており、草種の違いによりメタンガス生成能が大きく異なることが分かった。

また、近似曲線と実測値は高い相関係数を示しており、異なる草種等のメタン発酵特性は近似曲線のパラメーター β_0 や k を比較することで可能であることが分かった。

表5-8 メタンガス生成量の比較

記号	投入物	細断の有無	サイレージの混合割合 (%)	β 累積メタンガス生成量 (L)	β_0 最大メタンガス生成量 (L)	k ガス生成率 (日 ⁻¹)	R2
A	オオイタドリ	有	10	5.105	5.049	0.247	0.9890
B	々	々	20	5.431	5.452	0.210	0.9946
C	々	々	40	5.498	5.494	0.157	0.9931
D	々	無	27	2.649	2.553	0.324	0.9739
E	々(単発酵)	有	100	4.593	5.452	0.284	0.9129
F	一般雑草	有	10	6.389	6.489	0.231	0.9940
G	々	々	20	7.901	7.958	0.214	0.9921
H	々	々	40	10.833	10.976	0.139	0.9883
I	々	無	27	3.194	3.383	0.369	0.9823
J	々(単発酵)	有	100	3.526	4.074	0.288	0.9878
K	ふん尿のみ	-	0	4.135	4.174	0.371	0.9625
L	消化液のみ	-	0	0.621	0.638	0.230	0.9868

(5) 投入有機物単位当たりのメタンガス生成能

投入有機物 1 g 当たりの 30 日間の累積バイオガス発生量を図 5-13 にて比較した。オオイトドリ (A~E) に比べ一般雑草 (F~J) が、細断していないもの (D, I) に比べ細断した試験区の方が大きい値を示した。

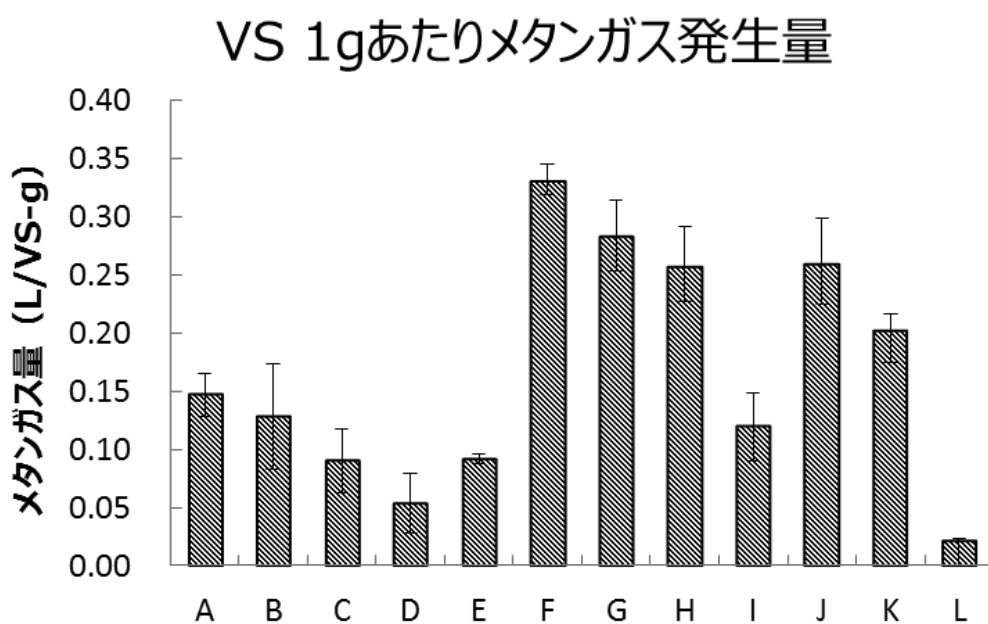


図 5-13 投入 VS 1g 当たりのメタンガス生成量

5-3-4 有機物分解率

試験開始前の試料に含まれていた有機物量と、実験終了時の有機物量より、発酵中に分解された有機物量を算出した。AやFといった投入有機物量の少ない試験区ほど有機物分解率は高い傾向がみられた。投入有機物量が多い試験区では分解率が低く、30日間で分解されている有機物量が少ないため、滞留日数を延ばせばさらに分解・発酵が進み、より多くのガスが発生したのではないかと推測できる。

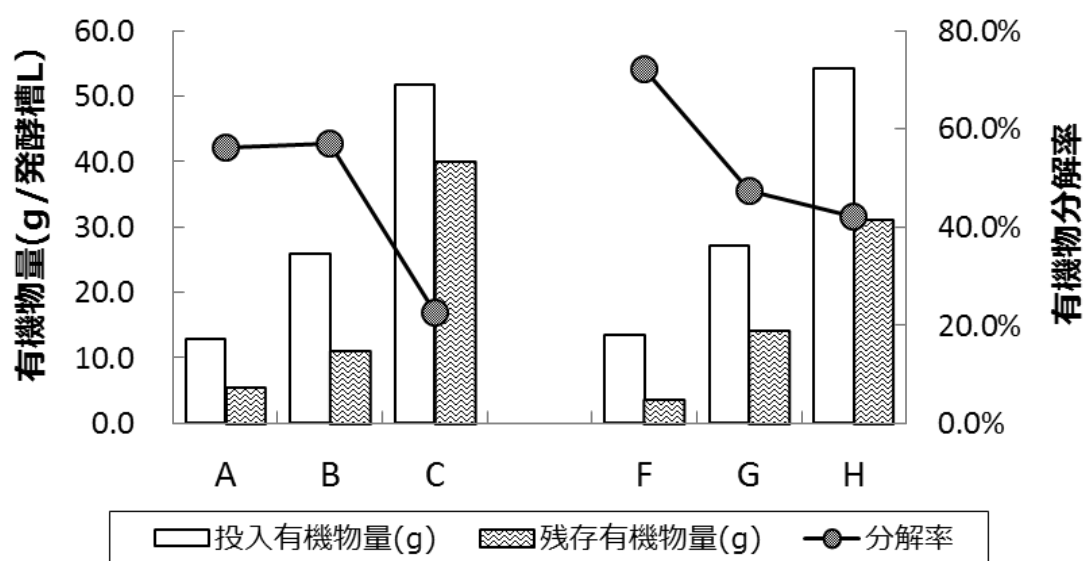


図 5-14 有機物量および有機物分解率

5-3-5 pH

図 5-15 に試験前後の試料の pH を示した。試験後の pH はいずれの試験区においても 7.7~8.1 の値であり、消化液の適正とされている pH(7.5~8.0) の範囲にほぼ含まれた。過負荷やアンモニアなどを原因とする発酵阻害も見受けられなかった。

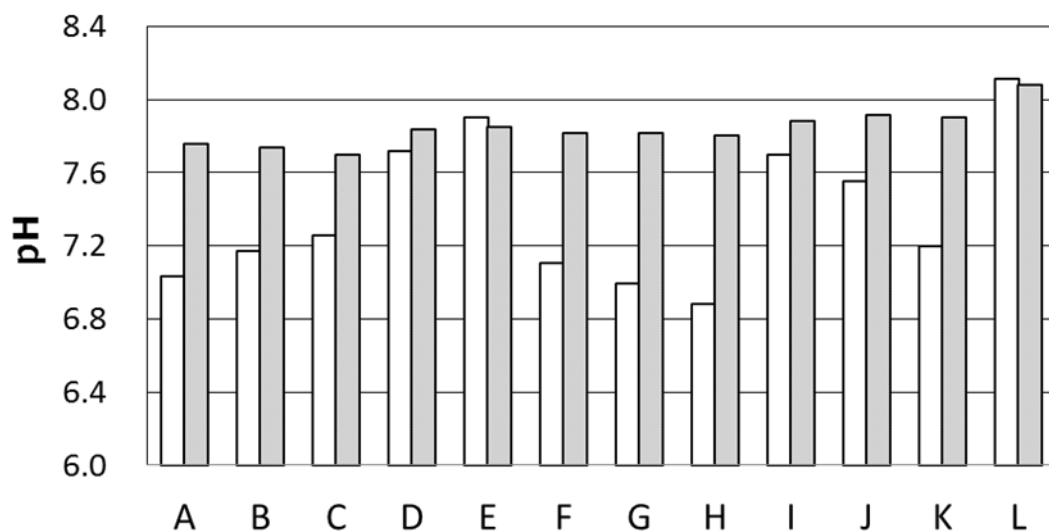


図 5-15 pH 変化

凡例 左側白抜き: 開始前, 右側黒塗り: 終了後

5-3-6 考察

(1) バイオガス・メタンガス生成量

実験結果より, ①サイレージとの混合メタン発酵により, ふん尿のみの発酵に比べバイオガス・メタンガス発生量は最大 2.6 倍に増加することが明らかとなった。②また, 一般雑草で顕著であったが, 投入試料のサイレージ混合割合が多くなるほどバイオガス・メタンガス発生量は多くなることが確認できた。この原因として考えられるのは, サイレージはふん尿に比べ固形分濃度が高く多くの有機物を含んでいることである(図 5-16)。メタン発酵では有機物が基質となる。投入したサイレージの量が多くなるほど含有有機物の量も多くなることから, 投入試料濃度が高くなるとバイオガス・メタンガスを生成するメタン菌の基質が増加し, バイオガス・メタンガス生成量も増加したと考えられる。

現存のバイオガスプラントの主な原料には乳牛ふん尿が利用されているが, 本実験においてはどの試験区も乳牛ふん尿のみを投入した試験区 K より多くのバイオガス・メタンガスを発生しており, サイレージを混合することでバイオガスプラントにおいてより多くのバイオガス・メタンガスが得られると考察される。

(2) 有機物分解

オオイタドリのサイレージと一般雑草のサイレージでは, どの条件においても一般雑草のサイレージを使用した試験区のほうが多くのバイオガス・メタンガスを生成した。オオイタドリのサイレージおよび一般雑草のサイレージの成分分析の結果より, 繊維成分の各含有率を図 5-17 に示した。オオイタドリのサイレージには一般雑草のサイレージに比べて, 強固で分解しにくいリグニン成分が多く含まれる。またメタン発酵で主要な基質となるセルロースの含有率は低かった。これらが有機物分解の速度に影響を与え, バイオガス生成にも関わってきたのではないかと考えられる。

また, 細断することにより累積バイオガス生成量が多くなっているが細断によって有機物がより分解しやすくなったものと推定される。なお, Pavel Kalač(2011)によれば, 有機物分解に関しては草種のみならず採取時期が影響するとの報告がある, これは植物が成長するステージ毎にリグニンやセルロース等の成分が変わることによるものであり, 今後検証すべき項目である。

5-4 まとめ

今回の実験結果から実験範囲ではサイレージ化した堤防刈草はメタン発酵を阻害することではなく、乳牛ふん尿と混合メタン発酵することで、乳牛ふん尿単独と比べて多くのバイオガス・メタンガスを得られることが明らかになった。また、サイレージ投入量が多いほどメタンガス生成量は多くなること、投入量が同じでも草種の違いによって一般雑草>オオイタドリ、細断の有無では細断あり>細断無しの結果を得た。これらから堤防における刈草サイレージはバイオガスを生成する有用なエネルギー資源となることが示唆された。

堤防雑草を家畜ふん尿と混合メタン発酵処理することは、堤防雑草の処理に加えエネルギー生産もできる有効な手段であり、堤防雑草は期待の持てる資源であるといえる。

なお、実用化に向けた今後の課題として、①この研究が実験室レベルのものであり実際のバイオガスシステムでの検証が必要であること、②累積バイオガス・メタンガス生成量が最も効率的に発生する最適投入量や発酵阻害が生じる限界投入量はいくらか、③採取時期と累積バイオガス・メタンガス生成量の関係如何、④家畜ふん尿と草本系バイオマスとの混合メタン発酵の実用可能で経済的なシステムの構築等が残っており、今後の検討が必要である。

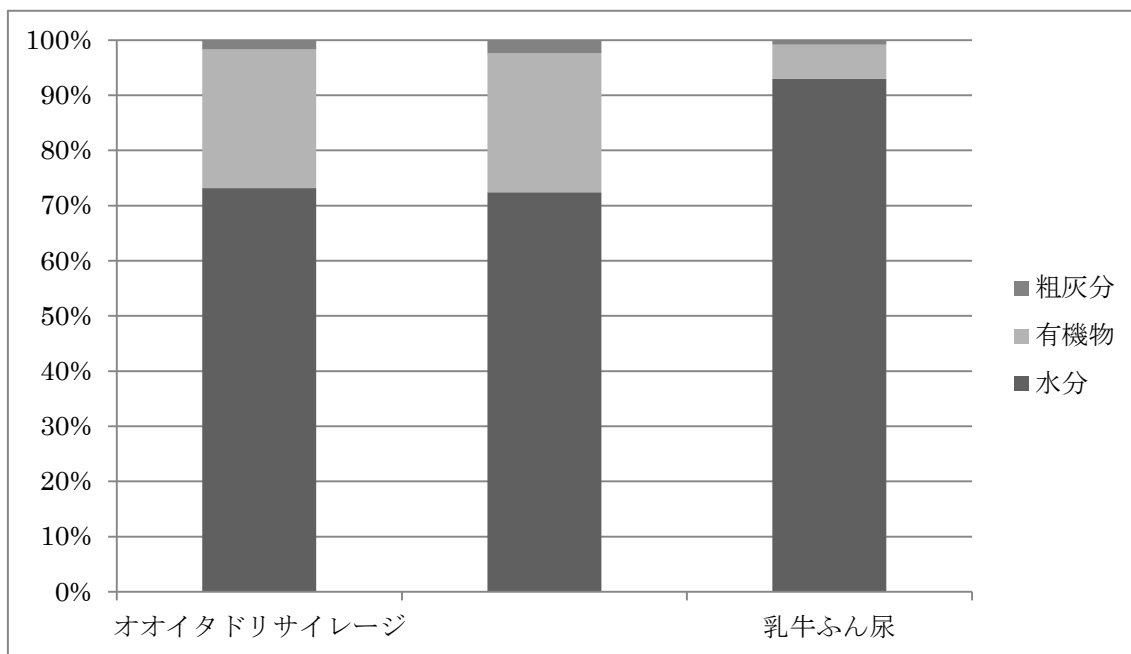


図 5-16 水分・固形分および有機物含有率

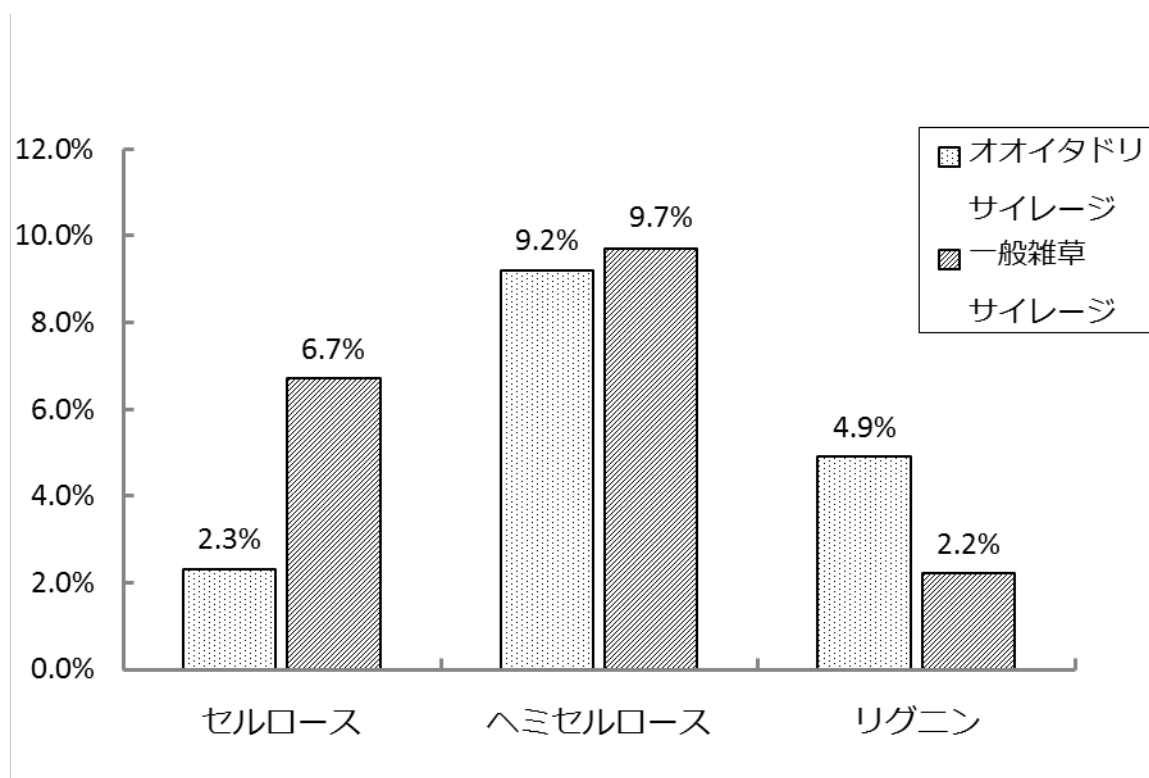


図 5-17 オオイタドリサイレージと一般雑草サイレージの繊維成分の含有率

第6章 結言

6-1 研究のまとめ

北海道の酪農地帯で1970年代から急激に進んだ多頭化の中で主に悪臭や水質問題の解消のために導入が検討され、1995年頃から一部農家レベルまで導入されたバイオガスシステムは2004年には導入数がピークを迎え、その後廃止・休止する施設もあるなど、広範に普及・定着するまでには至らなかった。その後の東日本大震災に伴う東京電力福島第1原子力発電所の事故により日本のエネルギー政策は転換期を迎え、新たなエネルギー基本計画において再生可能エネルギーは重要な低炭素の国産エネルギー源と位置づけられたこともあり、FITを活用した家畜ふん尿主体のバイオガスシステムの導入が進んでいる。この研究では、このような情勢下で北海道の酪農地帯の家畜ふん尿を対象にしたバイオガスシステムをどうしたら広範に普及・定着できるかを原点に研究したものである。具体的な研究内容・成果は以下のとおりである。

第1章では、本研究を取り巻く背景を記述の上、具体的な研究目的として以下のことを明らかにすることとした。

- (1) 北海道の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムの現状を把握し、課題を分析する。
- (2) 課題を解決するための方策について整理し提案する。
- (3) 課題解決のための有力な1手法である家畜ふん尿と草本系未利用バイオマス(ビートトップサイレージ・堤防刈草サイレージに着目)との混合メタン発酵について発酵特性を明らかにする。

第2章では、北海道の酪農地帯のバイオガスシステムの現状、課題、今後の方向性について論じた。

既存調査資料及び聞き取り調査結果等から、北海道の家畜ふん尿を対象としたバイオガスシステムの導入が停滞している理由として、イニシャルコストやランニングコストが高いため、システムの採算性が悪く、現状では減価償却ができていないシステムが多いこと、このことから現状では農家が導入意欲を持っていないことが分かった。また、新たな問題点として、FIT適用のための送電・変電能力の確保が困難な場合が多いことが分かった。

このため、北海道の酪農地帯のバイオガスシステムの普及・定着するための改善点として、3つの提案(①システムのシンプル化・国産化等によるコストの低減、②混合メタン発酵の推進による電気やガスや消化液の増産や地場の管理組織の創設等による採算性の向上、③電気のみならず熱やガス、消化液も含めて地場産再生可能エネルギー等の地域利用循環システムの確立)を行った。

第3章では、バイオガスシステムの普及・定着のためには経営収支の改善が第一であるとの認識から、FIT制度創設以降売電価格が上昇安定したことを踏まえ、

発電量を増加させるために、地域に存在する未利用バイオマスと家畜ふん尿との混合メタン発酵に関する国内・海外の研究動向について整理した。この結果、国内では、食品加工残渣や生ゴミ、浄化槽汚泥、BDF 製造時にできる廃グリセリンと家畜ふん尿の混合メタン発酵についての報告はあるが、未利用草本系バイオマスに関する報告、特にサイレージ化した草本系バイオマスについての知見が乏しいことが分かった。

また、混合メタン発酵に適した副資材の要素として①地域に相当数賦存していること、②経済的に収集・利用可能なこと、③消化液の農地還元の問題がないこと(安全性)、④食料と競合しないことの4項目をあげた。

第4章ではビートトップサイレージと乳牛ふん尿との混合メタン発酵の実験室レベルの試験結果を報告した。

乳牛ふん尿に対してSBTサイレージが60%混合した材料の混合メタン発酵において最も多くのメタンガスが発生し、40%混合した場合に、最も効率的にメタンガスが発生することが分かった。また、貯蔵期間の短い(120日)サイレージと長い(210日)サイレージとの比較では、メタンガス発生量には大きな差は認められなかった。このことから、ビートトップサイレージの貯蔵期間はメタン生成能に影響を与えず、ビートトップサイレージを望む時に使うことができることが分かった。

第5章では河川堤防刈草についての実験室レベルでの基礎的な実験結果を報告した。

今回の実験範囲では、サイレージ化した堤防刈草はメタン発酵を阻害することではなく、乳牛ふん尿単独と比べ多いバイオガス・メタンガスを得られることが分かった。また、サイレージ投入量が多いほど多くなること、投入量が同じでも草種の違いによって(一般雑草>オオイタドリ)、細断の有無により(細断あり>細断無し)メタンガス生成量が異なるとの結果を得た。

第4章、第5章の家畜ふん尿と草本系バイオマスサイレージとの混合メタン発酵試験結果から総合して、①家畜ふん尿と草本系バイオマスとの混合発酵では家畜ふん尿単独に比べ最大2.7倍と多くのメタンガスが発生しており有力な副資材として期待されること、②混合割合が高すぎると過負荷となり発酵阻害が発生すること、③サイレージの貯蔵期間はメタンガス生成能に大きな影響を与えないこと、④草種、混合割合、細断の有無によりメタンガス生成能が大きく異なること、⑤異なる材料のメタン発酵特性は、近似曲線のパラメーター β_0 、 k で比較することが可能であることが分かった。

NEDOによるバイオマス賦存量・有効利用可能量の推計「バイオマス種の推計方法」(NEDO, 2014)により、収集や変換ロスが無いという仮の条件下で、今回の実験結果を踏まえて、これら2種類のバイオマスからメタンガスの年間エネルギー

一利用可能量の試算を行ってみたが、これによれば、全道で年間 195 万トン(生重)生産されるビートトップ及び北海道開発局が管理しかつ集草している 2740 万 m^2 から発生する堤防刈草は、エネルギー量としてそれぞれ 1.56PJ(ペタジュール), 7.20TJ(テラジュール)相当となり, 十勝全体の灯油の年間需要試算値 10.5PJ(ペタジュール) (大内, 2012)の 14.8%, 0.69%に相当する大きな数字となった。

北海道の酪農地帯に多く賦存する乳牛のふん尿を対象としたバイオガスシステムでは, FIT の活用によってその収支が大幅に改善されることとなった。さらに, この研究によって, 同地域に存在する未利用バイオマスであるビートトップや河川堤防刈草等草本系バイオマスをサイレージ化により長期保存し, バイオガスシステムで混合メタン発酵することの可能性が大きいことが確認できた。

6-2 今後の課題

今後の課題として, 以下の項目が挙げられる。

- (1) 試験室レベルの研究結果であり, 実際の施設規模での検証確認
- (2) 草種別に, 混合割合, 刈り取り時期, 細断長さ等の最適値を見出すとともに, 経済性についての確認

6-3 実用可能で経済的なシステム構築への提言

最後に, 北海道の酪農地帯でのバイオガスシステムの普及定着のために, 運営の組織化・システム化とともにエネルギーの地産地消について提案する。

未利用草本系バイオマスであるビートトップや堤防刈草は, 現状においても農家や河川管理者が営農や管理の一環として機械を用いて刈り取りを行っている。また, 牧草やデントコーンのサイレージ化については機械化による刈り取り・細断・運搬・サイレージ化の一環作業システムが農業部門で既にできあがっている。これらをうまく活用するためには, 酪農家を始め地場に存在している酪農の各種施設に明るい農業機械メーカー, 建設業やコンサルタントが参加するバイオガス運営会社を設立し, それらの英知を集めて, 家畜ふん尿を対象にしたバイオガスシステムを運営・管理していくことが, システムの普及・定着に貢献していくものとする(図 6-1・6-2)。

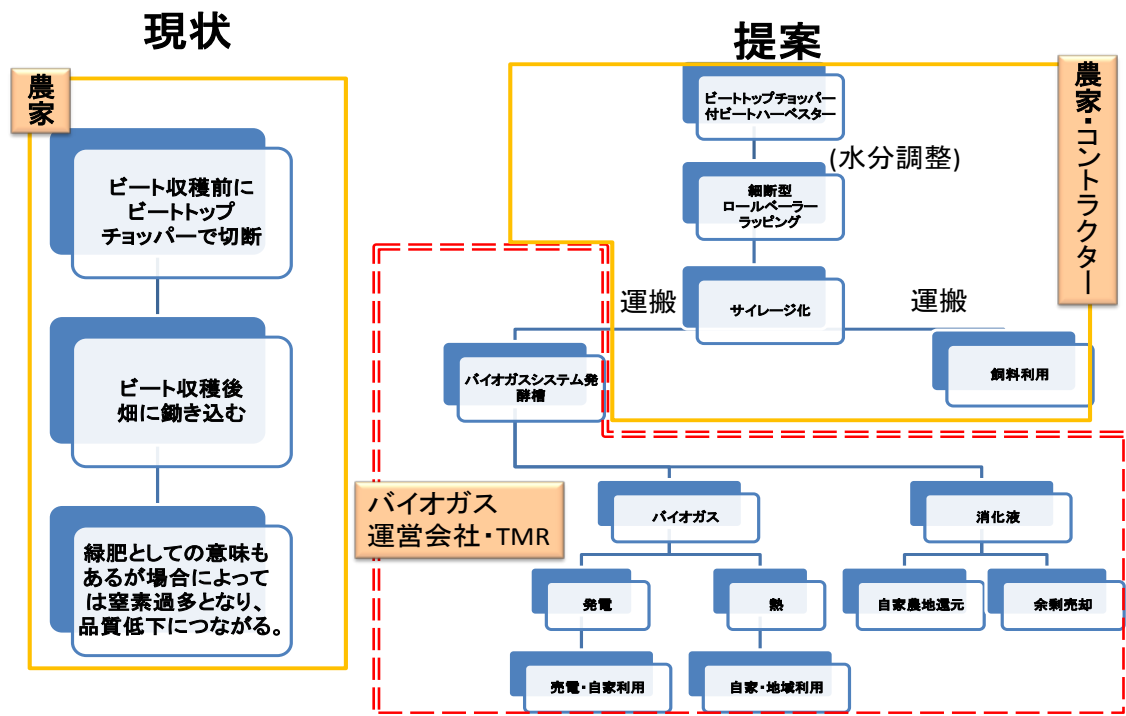


図 6-1 ビートトップの現状と提案

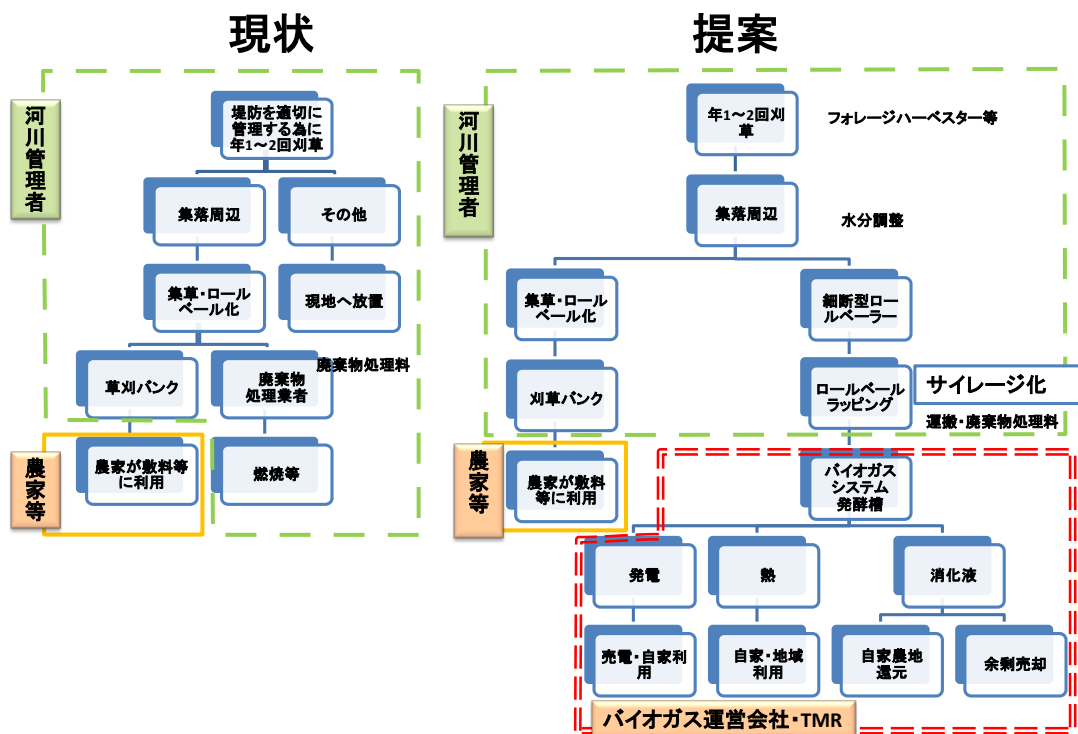


図 6-2 河川堤防刈草の現状と提案

また、酪農地帯に設立運営されている飼料の供給を主体に担っている TMR センターを家畜ふん尿も含めた管理運営センターに発展させ、そこにバイオガスシステムを建設し、地域の未利用バイオマスも含めた混合メタン発酵を行い、発生した電気・熱・ガス・消化液を地域で活用する地域資源の循環利用センター化することを提案する(図 6-3)。

既に、別海町にある別海資源循環試験施設では家畜ふん尿に加えて未利用バイオマスである工場汚泥等を含めた混合メタン発酵が実用化されており(社団法人地域環境資源センター, 2009), また、名寄市では TMR センターが運営するバイオガスシステムが稼働していること(コーンズ・バイオガス, 2014)等から、提案したことは夢物語では無く、実現間近であると思われる。

また、2016 年に電気事業法の改定が予定され、電気の小売りの完全自由化が予定されている。FIT を活用して北電などへ売電するだけでなく、地域の資源で生産された電気を直接地域の農業生産や食品加工や流通に利活用する地域循環利用システムの確立が期待される。

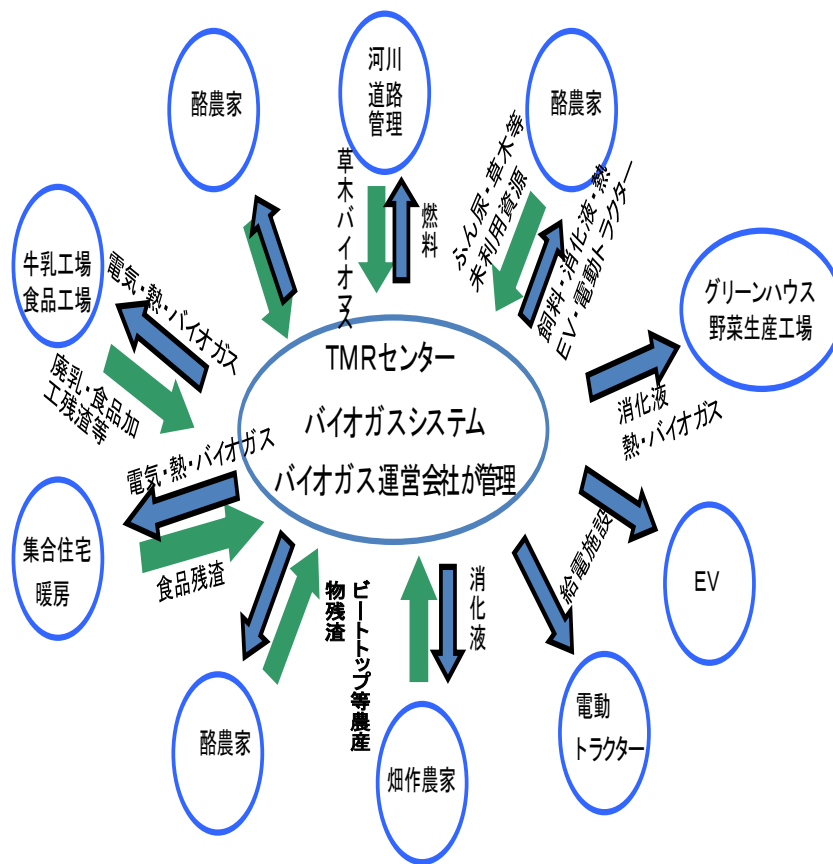


図 6-3 地域資源の循環センターとしての TMR センターの活用

参 考 文 献

第 1 章

- 1) 鶴川洋樹, 細川隆夫, 藤田直聡, 安武正史(2004):北海道酪農の経営規模階層別にみた動向予測, 北海道農研報, 45, 161-180.
- 2) 志賀一一, 藤田秀保, 徳永隆一, 吉原大二(2001):酪農における家畜ふん尿処理と地域利用ー循環型農業をめざして, 酪農総合研究所.
- 3) 北海道農政部生産振興局畜産振興課(2013):北海道の畜産環境をめぐる情勢, 北海道 HP.
- 4) 大内幸則, 徳永隆一, 川口清美(2000):北米における家畜ふん尿処理とリサイクルに関する調査報告書, 北海道開発庁農林水産課.
- 5) 北海道バイオガス研究会監修(2002):バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用, 酪農学園大学エクステンションセンター.
- 6) 北海道開発土木研究所土壤保全研究室, 農業土木研究室(2005):積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書.
- 7) 帯広市(2012):バイオガスパラントの稼働実績調査業務概要版及び報告書, 帯広市 HP.
- 8) 経済産業省 HP:再生可能エネルギー固定価格買取制度.
- 9) 大内幸則(2012):北海道十勝における再生可能エネルギーの現状と今後, 農業農村工学会講演会講演要旨
- 10) 中村真人, 柚山義人, 山岡賢, 折立文子(2013):畑地におけるメタン発酵消化液の液肥利用ー肥料としての特徴と利用に伴う環境影響ー, 水と土, 第 169 号.

第 2 章

- 1) 北海道農政部生産振興局畜産振興課(2013):北海道の畜産環境をめぐる情勢, 北海道 HP.
- 2) 志賀一一, 藤田秀保, 徳永隆一, 吉原大二(2001):酪農における家畜ふん尿処理と地域利用ー循環型農業をめざして, 酪農総合研究所.
- 3) 野池達也編(2009):メタン発酵, 技法堂出版.
- 4) (財)新エネルギー財団編(2008):バイオマス技術ハンドブック, (株)オーム社.
- 5) 畜産環境整備機構(2001):家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理に関する手引き.
- 6) 帯広市(2012):バイオガスパラントの稼働実績調査業務概要版及び報告書, 帯広市 HP.
- 7) 北海道開発局開発調査課(2013):平成 24 年度北海道におけるバイオガスの利用実態に関する基礎調査報告書(概要).
- 8) 十勝支庁南部耕地出張所, 鹿追町:鹿追町環境保全センターパンフレット.
- 9) 鹿追町:平成 20・21・22・23・24 年度鹿追町環境保全センター運営状況.
- 10) 士幌町(2013):士幌町バイオガスパラントシステムパンフレット・士幌町におけるバ

イオガスプランとの取り組みについて.

- 11) 士幌町(2013):鈴木農場視察資料.
- 12) JA 士幌町(2013):緑と水の環境技術革命プロジェクト事業(未利用バイオマス利活用の実現に向けた実証施設)資料.
- 13) 中村稔, 肉絲担木買買提, 大場裕子, 市川治(2010):酪農共同利用型バイオガスシステム導入の経営経済的評価による分析ー北海道鹿追町の事例を対象にー, J. RAKUNOU GAKUEN UNIV., 34(2), 111-121.
- 14) サンエイ牧場(2012):農事組合法人サンエイ牧場パンフレット.
- 15) 農水省 HP:バイオマス活用の推進.
- 16) 経済産業省 HP:再生可能エネルギー固定価格買取制度.
- 17) 十勝 19 市町村(2013):十勝バイオマス産業都市構想.
- 18) バイオマス活用推進基本計画:H22 年 12 月閣議決定.
- 19) 経済産業省(2010):エネルギー白書, 123.
- 20) 自然エネルギー政策プラットフォーム(2011):自然エネルギー白書 2011.
- 21) 内閣府(2010):新成長戦略〜「元気な日本」復活のシナリオ〜.
- 22) NEDO(2010):NEDO 再生可能エネルギー技術白書.
- 23) 北海道経済産業局, NEDO(2009):北海道新エネルギーマップ 2009.
- 24) 北海道エネルギー問題懇談会提言(2010):戦略メッセージ「資源大国北海道」の開拓と継承に向けて, 8-12. 40-41.

第 3 章

- 1) 前川孝昭, 山沢新吾(1980):廃棄物の生産補助エネルギーの変換(メタン発酵装置導入に関する基礎的事項), 農林水産技術会議事務局, 53-66.
- 2) 山内徹, 竹井尚弘(1980):バイオマスのメタン発酵に関するエンジニアリング, 施設農業への新エネルギー利用, フジテクノシステム, 397-452.
- 3) 中央畜産会編(1974):家畜ふん尿処理・利用技術の理論と実際, 中央畜産会, 19-29.
- 4) 北海道開発土木研究所(2005):積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書, 40-45.
- 5) (独)土木研究所寒地土木研究所(2010):酪農地域における共同型メタン発酵処理技術と消化液等の利用に関する手引き(案), 44-61.
- 6) 落修一, 尾崎正明(2005):干草と下水汚泥の中温・混合嫌気消化法, 土木学会論文集 No. 804/VII-37, 65-72.
- 7) (独)土木研究所(2008):草本系バイオマスの組成分析データ集, 土木研究所資料第 4095 号.
- 8) (独)土木研究所(2009):公共緑地・樹木の管理に由来する草本系バイオマスデータ集, 土木研究所資料第 4145 号.

- 9) (独) 土木研究所:平成 20・21・22 年度下水道関係調査研究年度報告書集, 土木研究所.
- 10) 加藤史郎, 山城隆樹, Lateef Suraju ADEKUNLE, 岩崎匡洋, 梅津一孝(2010):乳牛ふん尿と副生グリセリンの混合メタン発酵に関する研究, 農業施設 41 巻 3 号, 118-123.
- 11) 加藤史郎(2012):バイオマス等地域資源活用によるエネルギー地産地消型農業モデルの提案, 帯広畜産大学畜産衛生学博士論文.
- 12) 山城隆樹(2013):家畜ふん尿と有機廃棄物の嫌気混合発酵について, 帯広畜産大学畜産衛生学博士論文.
- 13) Kaparaju P., Luostarinen S, Kalmari E, Kalmari J, Rintala J(2002):Co-digestion of energy crops and industrial confectionery by-products with cow manure : batch-scale and farm-scale evaluation , Water Sci Technol, 45(10), 275-80.
- 14) The Soil Assosiation (2011):Anaerobic Digestion Study , JS Lewis Ltd.
- 15) Crolla A., Kinsley C., Sauve T., Kennedy K. (2011):Anaerobic Digestion of Manure with Various Co-substrates , Ontario Rural Wastewater Center.
- 16) 井上義康, 工藤恭平, 小松俊哉, 藤田昌一(2006):稲わらと下水汚泥の混合嫌気性消化におけるバイオガス生成能と処理特性, 第 40 回日本水環境学会年会講演集, 75.
- 17) (独) 土木研究所寒地土木研究所, 北海道大学(2011):家畜ふん尿と稲ホールクロップの共メタン発酵技術の開発共同研究報告書
- 18) Thomas Amon , Barbara Amon , Vitaliy Kryvoruchko , Werner Zollitsch , Karl Mayer, Leonhard Gruber (2007):Biogas production from maize and dairy cattle manure - influence of biomass composition on the methane yield.
- 19) Koch K., Lübken M., Gehring T. and Wichern M. (2010):Biogas from grass silage - measurments and modelling .
- 20) Emma Kreuge, Ive Achu Nges, Lovisa Bjornsson (2011):Ensiling of crops for biogas production-Effects on methane yield and total solids determination , Biotechnology for Biofuels.
- 21) Somayaji D., Khanna S. (1994):Biomethanation of rice and wheat straw , World Journal of Microbiology & Biotechnology , Vol 10.
- 22) Mähnert P. , Linke B. January(2009):Kinetic Study of biogas production from energy crops and animal waste slurry-Effect of organic loading rate and reactor size, Environmental technology, Vol. 30, 193-99.
- 23) Civil Engineering Reserch Institute(1997):Proceedings of Hokkaido Development Bureau, Proceedings of Internatinal Workshop on Environmenttally Friendly Management of Farm Animal Waste.
- 24) 梅津一孝, 竹内良曜, 岩波道生(2013):先進国にけるバイオガスプラントの利用実態に学ぶ～北海道における再生可能エネルギーの利用促進に関する共同調査報告書, 畜産

の情報, (独)農畜産振興機構 alic.

- 25) 村田武(2013):ドイツ農業と「エネルギー転換」バイオガス発電と家族農業経営, 筑波書房ブックレット暮らしのなかの食と農55.
- 26) 小澤祥司(2013):エネルギーを運びなおす, 岩波新書(新赤版)1451, 133-142.
- 27) 松田従三(2011):「北海道における家畜ふん尿用バイオガスプラントの現状と課題」, 環境・エネルギーシンポジウム～震災復興・自然エネルギー・北海道の力～.
- 28) 北海道農政部技術普及課(2006):北海道バイオマス利活用マスタープラン, 2.

第4章

- 1) 高橋潤一(2012):てん菜副産物の有効利用～ビートトップの飼料化の取組について～, 独立行政法人農業振興機構 HP.
- 2) Angelidaki I., Ellegaard L. (2003):Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants; status and future trends, Applied Biochemistry and biotechnology 109 (1-3), 95-106.
- 3) APHA(1998):Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- 4) Comino E., Rosso M., Riggio V. (2010):Investigation of increasing organic loading rate in the co-digestion of energy crops and cow manure mix , Bioresource Technology 101, 3013-3019.
- 5) Demirel B., Scherer P. (2008):Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process, Biomass and Bioenergy 32, 203-209.
- 6) Demirel B., Scherer P. (2009):Bio-methanization of energy crops through mono-digestion for continuous production of renewable biogas. Renewable Energy 34, 2940-2945.
- 7) Fang C, Boe K, Angelidaki I. (2011):Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. Water Research 45, 3473-3480.
- 8) Hashimoto A. (1983):Conversion of straw-manure mixtures to methane at methophilic and thermophilic temperatures , Biotechnology & Bioengineering 25, 185-200.
- 9) Hindrichsen I.K. (2005):Effect of the carbohydrate composition on methane emission from dairy cows and their slurry , Environmental Monitoring and Assessment 107, 329-350.
- 10) 木村義彰, 梅津一孝, 高畑英彦(1994):メタン発酵処理がエゾギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.) 種子の生存率に及ぼす影響, 日本草地学会誌, 40 (2), 165-170.
- 11) Lehtomäki A., Huttunen S., Rintala J.A. (2007):Laboratory investigation on

- co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effects of crop to manure proportion. *Resources, Conservation and Recycling* 51, 591-609.
- 12) Lehtomäki A., Huttunen S., Lehtinen T.M. (2008): Anaerobic digestion of grass silage in batch leach bed processes for methane production. *Bioresource Technology* 99, 3267-3278.
 - 13) Lehtomäki A., Björnsson L. (2006): Two-stage anaerobic digestion of energy crops: Methane production, nitrogen mineralization and heavy metal mobilization, *Environmental Technology* 27, 209-218.
 - 14) Mata-Alvarez J., Mace S., Llabres P. (2000): Anaerobic digestion of organic/organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives, *Bioresource Technology* 74, 3-16.
 - 15) 農林水産省 (2006): 農林水産統計.
 - 16) Mshandete A., Kivaisi A., Rubinadamayugi M., Mattiasson B. (2004): Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes, *Bioresource Technology* 95, 19-24.
 - 17) Neureiter M., Dos Santos, J.T.P. Lopez, C.P. Pichler H., Kirchmayr R., Braun R. (2005): Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages, *Proceedings of the 4th International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, BioCentrum-DTU, vol. 1, 109-115.*
 - 18) Nordberg A., Jarvis A., Stenberg B., Mathisen B., Svensson B. (2007): Anaerobic digestion of alfalfa silage with recirculation of process liquid, *Bioresource Technology* 98, 104-111.
 - 19) Parkkarinen O., Lehtomäki A., Rissanen S., Rintala J. (2008): Storing energy crops for methane production: Effects of solids content and biological additive, *Bioresource Technology* 99, 7074-7082.
 - 20) Parawira W., Murto M., Zvauya R., Mattiasson B. (2004): Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves, *Renewable Energy* 29, 1811-1823.
 - 21) Somayaji D., Khanna S. (1994): Biomethanation of rice and wheat straw, *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 10, 521-523.
 - 22) Umetsu K., Yamazaki S., Kishimoto T., Takahashi J., Shibata Y., Zhang C. (2006): Anaerobic co-digestion of dairy manure and sugar beets, *International Congress series*, 307-310.
 - 23) Ward A.J., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L. (2008): Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources, *Bioresource Technology* 99,

7928-7940.

- 24) Woodard K. R., Prine G. M., Bates D. B., Chynoweth D. P. (1991): Preserving elephantgrass and energycane biomass as silage for energy, *Bioresource Technology* 36 (3), 253-259.
- 25) Cuetos MJ., Fernandez C., Gomez X., Moran A. (2011): *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 16, 1044-1052.
- 26) Lateef SA, Beneragama N, Yamanshiro T, Iwasaki M, Umetu K (2007): Batch anaerobic co-digestion of cow manure and waste milk in two-stage process for hydrogen and methane productions, *Bioprocess Biosyst. Eng.* Doi.
- 27) Xie S, Lawlor P, G Frost JP, Zhan X, (2011): Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of cocentracted pig manure and grass silage, *Bioresour. Technol.* 102.
- 28) Alkaya E, Demirer GN (2011): Anaerobic mesophilic co-digestion of sugar-beet processing wastewater and beet-pulp in batch reactors, *Renew. Energy* 36:971-975.

第5章

- 1) 北海道開発局技術管理課 (2014): 刈草バンク, 北海道開発局 HP.
- 2) 日産合成工業株式会社 学術・開発部 (2009): 乳牛と飼料中の繊維成分, ニッサン 酪農・豆知識, 第31号.
- 3) 帳租恩, 野池達也, 松本純一郎 (1983): 嫌気性消化のメタン生成相におよぼす pH の影響, 土木学会論文報告集, 第333号.
- 4) 白取茂, 北山健司 (2001): 淀川水系木津川における堤防環境調査, プレック研究所プロジェクトレポート vol. 7.
- 5) 服部保, 浅見佳代, 山戸美智子, 赤松弘治 (2007): 河川堤防の植生評価および管理に関する研究.
- 6) 佐々木俊一, 嶋崎正美, 長堀敦彦 (2013): 河川堤防におけるオオイタドリ繁茂の抑制, 網走開発建設部 網走西部河川事業所.
- 7) 重松亨, Yue-Qin Tang, 木田建次 (2009): メタン発酵プロセスに関与する微生物群衆, 生物工学会誌, 第87巻 第12号, 570-596.
- 8) Pavel Kalač (2011): The required characteristics of ensiled crops used as a feedstock for biogas production: a review, *Journal AGROBIOLOGY* 28(2):85-96.

第6章

- 1) NEDO (2014): バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計「バイオマス種の推計方法」, NEDOHP
- 2) 大内幸則 (2012): 北海道十勝における再生可能エネルギーの現状と今後, 農業農村工

学会講演会講演要旨集 2012, 130-131.

- 3) 大内幸則(2012):十勝が担うバックアップ機能(食料)・水・エネルギーについて,道東技術士会講演会配付資料.
- 4) (独)土木研究所(2011):高含水バイオマスの熱化学的エネルギー直接変換技術に関する共同研究報告書,共同研究報告書第423号.
- 5) 保井淳,国次純,西嶋渉,岡田光正(2001):成分組成に基づいた有機性固形廃棄物の再資源化用途の評価,環境科学会誌 vol. 14No. 2, 165-171.
- 6) 社団法人地域環境資源センター(2009):バイオマス利活用技術情報データベース Ver2.1
- 7) コーンズ・バイオガス(2011):バイオガスプラント竣工. デリバリーフィールドセンター名寄, コーンズ・バイオガス HP

その他

- 1) 興部町(2011):興部町バイオマスタウン構想.
- 2) 岡田頼和(1980):嫌気性処理法(第6章),排水の生物処理,地球社,167,175,177,185.
- 3) 野津山喜晴(2012):「バイオマス事業化戦略について」～技術とバイオマスの選択と集中による事業化の推進～,平成24年度フードバレー講演会.
- 4) 木谷収(2004):バイオマサー生物資源と環境一,コロナ社.
- 5) 本田淳裕(1986):バイオマスエネルギーー生物系資源・廃棄物の有効利用,財団法人省エネルギーセンター.
- 6) 吉田豊(2007):バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用,株式会社エヌ・ティー・エス.
- 7) 北海道自然エネルギー研究会(2002):環境を守るための自然エネルギー読本,東洋出版.
- 8) 北海道自然エネルギー研究会(2007):光も風も水も雪もバイオもみんな宝ものー自然エネルギー入門一,東洋出版.
- 9) 藤井照重,中塚勉,土本信孝,毛利邦彦(2007):よく分かる考え方と実証例,環境にやさしい新エネルギーの基礎,森北出版.
- 10) 吉田文和,池田元美(2009):持続可能な低炭素社会,北大出版会.
- 11) 滝澤美奈子(2009):地球温暖化後の社会,文春新書.
- 12) 黒岩祐治(2011):地産地消のエネルギー革命ーもう原発には頼らない,PHP新書.
- 13) 吉田文和(2011):グリーン・エコノミー,中公新書.
- 14) 飯田哲也(2011):エネルギー進化論ー「第4の革命」が日本を変える,ちくま新書.
- 15) 平岡光(2012):日本は世界一の環境エネルギー大国,講談社+α新書.
- 16) 農文協(2012):農家が教える自給エネルギーーとことん活用読本ー光,風,水,薪,もみ殻・・・,別冊現代農業1月号.

- 17) 天笠啓祐 (2007) : バイオ燃料: 畑でつくるエネルギー, コモンズ.
- 18) 五十嵐泰夫, 齊木隆監修 (2008) : 稲わら等バイオマスからのエタノール生産, (社) 地域資源循環技術センター.
- 19) N. EI バッサム, 横山伸也, 澤山茂樹, 石田祐三郎監訳 (2004) : エネルギー作物の事典, 恒星社厚生閣.
- 20) サイエンス&テクノロジー株式会社 (2010) : 未利用バイオマスの活用技術と事業性評価.
- 21) 井田徹治, 末松竹二郎 (2012) : グリーン経済最前線, 岩波新書.
- 22) 脇阪紀行 (2012) : 欧州のエネルギーシフト, 岩波新書.
- 23) 北澤宏一 (2012) : 日本は再生可能エネルギー大国になりうるか, (株) デイスカヴァー・トウエンティワン.
- 24) 日本経済新聞社編 (2012) : 日経資源・食料・エネルギー地図, 日本経済新聞社.
- 25) 大内幸則, 片野浩司, 上野仁士, 加藤康則, 吾田洋一 (2011) : 社会資本の管理と再生可能エネルギーについて, 寒地土木研究所月報.
- 26) 帯広開発建設部 (2012) : 平成23年度十勝管内のエネルギーの現状と再生可能エネルギーの将来展望に関する基礎調査報告書.
- 27) 興部町 (2010) : 興部町地域におけるバイオガス利用技術導入具体化検討調査報告書.
- 28) Heinz Schulz, Barbara Eder, 浮田良則監訳 (2002) : バイオガス実用技術, (株) オーム社.
- 29) 古市徹監修, ORS 研究会編 (2006) : バイオガスの技術とシステム-循環型共生型社会形成/地球温暖化対策, (株) オーム社.
- 30) (社) 日本エネルギー学会編 (2006) : バイオマス用語事典, (株) オーム社.
- 31) (社) 日本エネルギー学会 (2009) : バイオマスハンドブック第2版, (株) オーム社.
- 32) 茅陽一監修 (2002) : 新エネルギー大事典, (株) 工業調査会.
- 33) 近藤加代子, 大隈修, 美濃輪智朗編 (2013) : 地域力で生かすバイオマス-参加・連携・事業性, 海鳥社.
- 34) 梅津一孝 (2008) : 十勝における温室効果ガスの抑制とバイオマスの利活用, 開発こうほう.
- 35) 菊池貞雄, 梅津一孝, 岩崎匡洋, 竹内良曜, 大井基寛, 城石賢一, 植松武泰, 保井聖一 (2012) : 積雪寒冷地における集中型バイオガスプラントの構築とその稼動状況, 農業施設 41 巻 4 号, 2011. 3, 170-178.
- 36) 菊池貞雄 (2012) : 北海道におけるバイオマスエネルギー利用と温室効果ガスの削減, 帯広畜産大学畜産衛生学博士論文.
- 37) 市川治 (2006) : 北海道酪農持続のためのバイオガス利用システムの導入の複合的評価, 開発こうほう.
- 38) 中村真人 (2011) : メタン発酵消化液の液肥利用とその環境影響に関する研究, 農工研

- 報, 501-75.
- 39) 新井田篤志(2007):酪農生産の展開と循環型農業の意義と限界 - 北海道道東地域におけるバイオガスプラントの事例を中心として -, 東京農業大学修士論文.
 - 40) 松田従三(2013):固定価格買取制度における「バイオガスプラント」の可能性, 北海道自然エネルギー研究第9号, 3-6.
 - 41) 吉田文和(2012):脱原発時代の北海道〜これからのエネルギーの話をしよう, 北海道新聞社.
 - 42) 太田健一郎監修(2012):横浜国立大学グリーン水素研究センター編, 再生可能エネルギーと大規模電力貯蔵, 日刊工業新聞社.
 - 43) 農文協編(2009):最新農業技術畜産 Vol. 2-飼料イネで自給率アップホールクロップサイレージ・飼料米の栽培から利用まで, 農文協, 51-57.
 - 44) 荒木和秋監修(2005):DAIRYMAN 臨時増刊号事例に学ぶ酪農支援組織とその利用, デーリイマン社.
 - 45) 吉田則人, 高野信雄監修(1989):DAIRYMAN 臨時増刊号最新サイレージ調整と給与の決め手, デーリイマン社.
 - 46) デーリイ・ジャパン社編(2004):サイレージ, より高品質なサイレージ, より乳牛が喰いこむサイレージ, デーリイ・ジャパン社.
 - 47) 有機質資源化推進会議(1999):バイオリサイクル/コンポスト国際会議要旨集.
 - 48) GGAA 実行委員会(2001):GGAA2001 畜産における温室効果ガスの制御と利用に関する国際会議要旨集.
 - 49) (独)北海道開発土木研究所(2003):積雪寒冷地におけるバイオガスプラントの利用に関する国際シンポジウム要旨集.
 - 50) 糟谷広高著(2010):牧草サイレージ主体の飼養条件下におけるメタン発生量に関する研究, 帯広畜産大学博士論文.
 - 51) 安宅一夫監修(2012):最新サイレージバイブル - サイレージと TMR の調整と給与 - 酪農ジャーナル臨時増刊号, 酪農学園大学エクステンションセンター.
 - 52) 新妻弘明(2011):地産地消のエネルギーEIMY:Energy in My Yard, NTT 出版.
 - 53) HIROAKI NIITSUMA , TOSHIHIKO NAKATA(2003):EIMY(Energy in My Yard) A CONCEPT FOR PRACTICAL USAGE OF RENEWABLE ENERGY FROM LOCAL SOURCES, Geothermics, 32, 767-777.
 - 54) 鳥越皓之, 小林久, 海江田秀志, 泊みゆき, 山崎淑行, 古谷桂信(2010):地域ので自然エネルギー!, 岩波ブックレット NO. 786.
 - 55) 横山昭彦(2010):スマートグリッド, (社)日本電気協会新聞部.
 - 56) 加藤敏春(2011):節電社会のつくり方-スマートパワーが日本を救う!, 角川書店.
 - 57) 中村太和(2010):環境・自然エネルギー革命-食料・エネルギー・水の地域自給, 日本経済評論社.

- 58) 松岡彰博, 進藤今日子(2011):農村地域における再生可能エネルギー導入と温室効果ガスの削減について, 農業農村工学会誌, 19-22.
- 59) 寺島実郎(2012):寺島実郎の時代認識と提言資料集 2013 年新年号「速報版」, (株)グローバルインフォメーションネットワーク総合研究所寺島実郎事務所.
- 60) 後藤康浩(2011):資源・食糧・エネルギーが変える世界, 日本経済新聞出版社.
- 61) デーリィ・ジャパン社編(2009):ルーメン2, デーリィ・ジャパン/臨時増刊号, デーリィ・ジャパン社.
- 62) 岡崎卓哉(2010):ゼロエミッション型エネルギー地産地消エリアの形成に関するモデル調査, 北海道土地改良設計技術協会技術協 83 号, 12-17.
- 63) 岩淵和則(2013):北海道の資源, エネルギーに関するバイオマス利活用の現状と課題, 技術士全国大会連携農業部会 in 札幌.
- 64) 井熊均(2013):2020年電力大再編電力改革で変貌する巨大市場, 日刊工業新聞社.

略語・記号一覧表

CHP:熱電併給(Combined heat and power)	
DS:乾物(Dry Solids)	[t, kg, g]
FIT:固定価格買い取り制度(Feed-in Tariff)	
FM:生重(Fresh Mass)	[t, kg, g]
IRR:内部収益率(Internal Rate of Return)	
k : ガス生成率	[/日]
LCC:ライフサイクルコスト(Life Cycle Cost)	
RPS 法: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 (Renewables Portfolio Standard)	
SBT:ビートトップ(Sugar Beet Top)	
T : 時間	[日]
TS:固形分濃度(Total Solids Concentration)	[%]
TMR:混合飼料(Total Mixed Rations)	
TVFA:総揮発性脂肪酸(Total Volatile Fatty Acids)	[mg/L]
VS:有機物濃度(Volatile Solids Concentration)	[%]
R ² :相関係数	
β : 累積ガス生成量	[m ³ , L]
β_0 : 最大ガス生成量	[m ³ , L]

謝 辞

本研究は、帯広畜産大学大学院畜産学研究科畜産衛生学専攻の博士論文として2011年10月から2014年9月まで、行われたものであります。

この間、終始ご指導ご鞭撻を賜った梅津一孝教授に謹んで感謝の意を表します。また、研究遂行上大変有益なご助言をいただいた帯広畜産大学倉園久生教授、西田武弘准教授、北海道大学松田従三名誉教授、北海道バイオマスリサーチ株式会社菊池貞雄代表取締役、(株)ズコーシャ総合科学研究所保井聖一農業科学室長、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所中山博敬主任研究員の各氏に深く感謝を申し上げます。

また、現地調査や聞き取り調査にご協力頂いた既存バイオガス施設等の関係者の皆様、国土交通省北海道開発局帯広河川事務所の皆様、実験に当たり試料の収集や調整、実験施設の作成、データの収集や取り纏めにご尽力いただいた梅津研究室の皆様、特に第4章に関して Suraju Adekunle Lateef 氏、第5章に関して山田紗衣氏に、心から御礼申し上げます。

社会人として仕事をしながらの研究で、職場の皆様(国土交通省北海道開発局帯広開発建設部・網走開発建設部、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所)にも様々な点で迷惑をかけたものと思います、記して感謝申し上げます。

最後に、本研究を支えてくれた家族に感謝し、謝辞といたします。

Summary

Anaerobic Co-digestion of Herbaceous Biomass and Dairy Cow Manure

Background

Biogas system is effective for not only treatment of manure including control of an odor, but also reducing greenhouse gases and power generation. In the 1970s, some institutes and universities especially Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, built biogas systems in Hokkaido and began to investigate methane fermentation. No. of biogas systems in Hokkaido has passed its peak in 2004, at presents 40 systems are in operation on dairy farms, but systems are not spread.

Renewable energy receives remarkable attention since the Fukusima Atomic Power Plant was badly affected by the Great East Japan Earthquake March 11 2011.

Feed-in-tariff system in Japan also started July 1 2012 , under this system electric sailing price produced by biogas generation raise higher four times compared with RPS. That is why biogas production by co-digestion of a mixture of different biomass is quite effective in economic condition of biogas systems.

Objects

- To spread and popularize biogas system throughout Hokkaido by this studies
- To determine the effects of biogas production of anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and un-used herbaceous biomass silage such as sugar beet top and grass produced by the maintenance of river dike

Methods

- Collection of existing materials
- Field survey and interview present situation of biogas systems
- Analyze the data and propose solution methods to economical, technical and social problems of biogas systems
- Batch experiments using laboratory-scale digesters at thermophilic

temperature in order to establish optimal proportion of sugar beet top and grass silage produced by the maintenance of river dike

Results

Present situation of biogas systems

- Initial cost is expensive because of import materials and 2 way systems (solids and liquids).
- Running cost is also expensive because of many troubles, short life, low price of electricity and shortage utilization of digestive juices, biogas and heat.

Improvement method

- Use domestic materials
- Change to simple and 1 way systems
- Organize domestic company of system operation and maintenance
- More domestic utilization of digestive juices, electricity, biogas and heat produced by biogas systems
- Co-digestion of un-used sugar beet top and grass silage and manure

Anaerobic co-digestion of sugar beet top silage and cow manure

The digestion systems failed in 80% and 100% proportion of both types of sugar beet top silage. The highest methane yields were obtained at the 40% proportion treatment, which were higher than the yield from control treatment (manure alone). Furthermore, the highest volatile solids reductions were also observed in 40% proportion treatments. Based on the results, the 40% proportion of SBT silage was most efficient for methane production. With respect to 40% proportion of silage I and II, methane yield in silage I was higher than in silage II, however, the difference between the yields from the two type of silage was not significant. This indicates that duration of storage of SBT silage does not have any appreciable effect on methane production potential.

Anaerobic Co-digestion of grass silage which produced by the maintenance of river dike and cow manure

The co-digestion experiments did not failed up to the 40% proportion

treatment of grass silage which produced by the maintenance of river dike. Methane yields were bigger than control treatment (cow manure only) and were increased by proportion treatment of grass silage. Kinds of grasses and cutting were also effect on methane production potential.

Conclusion

- Anaerobic co-digestion of un-used herbaceous biomass such as sugar beet top and grass silage and manure has been demonstrated to be a highly effective on process for producing sustainable alternative energy at the farm area and economic condition of biogas systems with methane production under the Feed-in Tariff .