

令和4年度 環境省委託業務

令和4年度脱炭素化・先導的廃棄物処理

システム実証事業

(メタンガス化施設における消化液処理の

効率化および消化液利用促進実証事業) 委託業務

成果報告書

令和5年3月

シン・エナジー株式会社

要約

バイオマスエネルギーを創出する施設は、経済や環境など地域社会の中で重要な役割を果たす。そのため、脱炭素・省コストに寄与するクリーンなエネルギー変換技術として導入する企業や自治体が増えつつある。その中でもメタンガス化施設は、商業施設や食品工場から発生する食品廃棄物や畜産農家から排出される家畜ふん尿などの有機性廃棄物からバイオガスを生産し、エネルギーを創出することが可能である。

さらに、メタン発酵後の発酵残渣である消化液は、作物の肥料として使用することで栽培に必要な化学肥料の施肥量・購入費を削減することが可能である。

しかし、メタン発酵後の消化液の「出口」である還元先の圃場の確保ができない地域が多く、また、その場合に必要な排水処理はコストが高額になる等の課題があり、メタンガス化施設の導入に至らない事例も多く存在する。

本事業では、濃縮液の圃場散布試験を行い、肥料としての有効性や安全性を確認し、消化液の濃縮技術の普及および濃縮液の肥料利用の促進を促すことで、従来メタンガス化施設の導入が困難であった地域を含めて、全国でのメタンガス化施設の普及を目指す。

令和4年度は事業の中間年度に相当する。主な検証および調査と成果を以下に示す。

1. 消化液濃縮技術の技術的優位性の検証

(1) 濃縮設備の据付および装置の運転管理

濃縮装置および周辺機器の調達・設置・運転管理を行い、濃縮液の生成および運転データの解析を行った。

(2) 消化液濃縮技術の技術的優位性の検証

生成した濃縮液、凝縮水の成分分析を行い、濃縮液の肥料成分の増加、濃縮液の安全性、および凝縮水の排水基準の適用条件を確認した。

2. 稼働中メタンガス化施設の状況調査

(1) メタンガス化施設の運転状況の調査

全国の稼働中のメタンガス化施設の内、主に消化液の液肥利用の実績のある4施設を対象に、基本情報、原料、排水処理設備、消化液利用状況について現地調査、ヒアリングを行った。

そのうち2施設を対象に消化液のサンプリングおよび分析を行った。

現状のメタンガス化施設の抱える課題の調査を行い、本技術導入の可能性を検討した。

(2) 発電排熱利用状況の調査

全国の稼働中のメタンガス化施設の内、主に消化液の液肥利用の実績のある4施設を対象に、発電排熱利用の有無、熱利用先、発生熱量と利用熱量についてヒアリングを行った。

(3) 消化液濃縮技術の導入による脱炭素効果の調査

消化液濃縮技術の導入による脱炭素効果を検証するため、消化液排出量50 ton/日規模のメタンガス化施設を想定し、消化液処理行程での比較を行った。比較は以下の4つの場合について行った。

- ・ケース1：全量排水処理（排水処理および化学肥料散布）
- ・ケース2：全量液肥利用（液肥散布）
- ・ケース3：濃縮処理＋濃縮液散布（濃縮処理および濃縮液散布）
- ・ケース4：排水処理50%＋濃縮処理50%（排水処理、濃縮処理および濃縮液散布）

八木バイオエコロジーセンターの調査結果を基に、現状の排水処理設備に対して濃縮装置導入前後での運転コストおよびCO₂削減量の試算を行った。

3. 消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証

(1) 消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証

濃縮液を用いてコマツナのポット試験を行い、有効性・安全性の検証を行った。消化液を用いて畑作の麦の圃場散布試験を行った。令和5年度実施予定の水稲への圃場散布試験に向け、稲を栽培し肥料抜きによる圃場のコンディショニングを行った。

(2) 濃縮液の散布方法の効率化についての検討

令和5年度の圃場散布試験に向けて、濃縮液の散布試験により散布装置の形状・運転の最適条件を決定した。

(3) 消化液および濃縮液利活用のマニュアルの作成準備

消化液および濃縮液利活用のマニュアルの構成案を検討し、ポット試験や成分分析を行い、マニュアルに反映させるデータの収集を行った。

Summary

The biomass power generation facilities play an important role in the economy, environment, and other aspects of the local community. Therefore, an increasing number of companies and municipalities are adopting this technology as a clean energy conversion technology that contributes to decarbonization and cost savings. Especially, biogas plants can produce biogas from organic wastes such as food waste from commercial facilities and food factories and livestock manure to generate energy.

In addition, the digested liquid, which is the fermentation residue, can be used as a fertilizer for crops, thereby reducing the amount of chemical fertilizers required for cultivation and the purchase cost.

However, there are many areas where it is not possible to secure plots for spraying digested liquid. In those areas, there are many cases where biogas plants have not been introduced due to issues such as the high cost of the necessary wastewater treatment.

In this project, fertilizer experiments of the concentrated solution will be conducted to confirm its effectiveness and safety as a fertilizer. Furthermore, we aim to promote the spread of biogas plants throughout Japan, including areas where it has been difficult to introduce biogas plants in the past, by promoting the spread of concentration technology for digested liquid and the use of the concentrated liquid as fertilizer.

The third year of Reiwa corresponds to the second year of the project, and the main verification and results are as follows:

1. Verification of the technological superiority of digested liquid concentration technology

1.1 Installation of concentration equipment and operation management of equipment

Concentration equipment and pretreatment equipment were installed, and the equipment was operated and managed. Concentrated liquid production and operation data were analyzed.

1.2 Concentrator ordered and delivered

The components of the produced concentrate and condensed water were analyzed to confirm the increase in fertilizer components in the concentrate, the safety of the concentrate, and the conditions for applying the wastewater standards for the condensed water.

2. Status survey of Biogas plants in operation

2.1 Survey of Biogas plant operation

4 biogas plants that have experience using digested liquid as fertilizer were surveyed for basic information, raw materials, wastewater treatment facilities, and digested liquid utilization.

A field survey was conducted at 4 of these facilities, and the digestive fluid was sampled and analyzed.

We investigated the issues facing the current methane gasification facility and examined the possibility of introducing this technology.

2.2 Survey of the use of waste heat from generators

4 biogas plants that have experience using digested liquid as fertilizer were surveyed for use of waste heat from generators, where the heat is used, amount of heat generated and used.

2.3 Investigation of the decarbonization effect of introducing digested liquid concentration technology

In order to verify the decarbonization effect of introducing digestate concentration technology, estimates were made for 4 digestate treatment processes. The biogas plant with a digested liquid discharge rate of 50 ton/day was assumed.

- Case 1: All digested liquids are treated with wastewater (Wastewater treatment and Chemical fertilizer)
- Case 2: All digested liquids are treated as fertilizer (As fertilizer)
- Case 3: Concentration treatment + Concentrate spraying (Concentration treatment and Concentrate spraying)
- Case 4: 50% digested liquids are treated with wastewater + The other 50% are treated concentrate (Wastewater treatment, Concentration treatment and Concentrate spraying)

Based on the survey results of the Yagi Bioecology Center, we calculated the operating cost and CO₂ reduction amount before and after introducing the concentrator for the current wastewater treatment facility.

3. Validation of the efficacy and safety of digested and concentrate liquids

3.1 Validation of the efficacy and safety of digested and concentrate liquids

A pot test of Komatsuna was conducted using the concentrate to verify efficacy and safety. A field fertilizer experiments of barley using digested liquids was carried out. In preparation for the field fertilizer experiments to paddy rice scheduled to be implemented fifth year of Reiwa, rice was cultivated and the field was conditioned by removing fertilizer.

3.2 Investigation on efficiency of spraying method of concentrated liquid

For the fertilizer experiments fifth year of Reiwa, the optimum conditions for the shape and operation of the spraying device were determined by the spraying test of the concentrated liquid.

3.3 Preparing manuals for utilization of digested liquids and concentrated liquids

We studied the composition of the manual for the utilization of digested liquid and concentrated liquid, conducted pot tests and component analysis, and collected data to be reflected in the manual.

目次

第1章 事業概要	1
1. 本事業の目的	1
2. 事業背景	1
3. 用語の定義	3
4. 本事業で検討するメタンガス化施設普及の課題	4
5. 事業の全体像	8
6. 実施体制	10
7. 実施場所	12
8. 本事業の目標	14
9. 事業スケジュール	17
第2章 消化液濃縮技術の技術的優位性の検証	18
1. 実施概要	18
2. 本事業で用いる消化液濃縮技術	18
3. 濃縮装置および周辺機器の据付	20
4. 濃縮装置運転データの解析	30
第3章 稼働中のメタンガス化施設の状況調査	35
1. 目的	35
2. 調査対象施設	35
3. 調査方法	36
4. ヒアリング結果	37
5. 消化液成分分析結果	47
6. 濃縮技術導入による年間のCO ₂ 排出量と運転コストの削減効果	48
第4章 消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証	54
1. ポット試験計画	54
2. 圃場散布試験計画	63
3. 濃縮液散布方法	68
4. 消化液および濃縮液の利活用マニュアルの作成準備	75
第5章 CO ₂ 排出量削減効果	76
1. CO ₂ 削減効果の検証方法	76
2. CO ₂ 発生量の試算	76

3. 消化液処理・利用方法別の CO ₂ 排出量	81
4. CO ₂ 排出量の削減効果	83
第6章 事業終了後の横展開の可能性	84
1. 稼働中のメタンガス化施設	84
2. 新規に建設されるメタンガス化施設	84
第7章 全体まとめ	85
第8章 検討会	86
1. 第1回検討会	86
2. 第2回検討会	88
第9章 審査等委員会	90
第10章 令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省 CO ₂ 対策普及促進方策検討委 託業務への協力	91
1. 第1回検討会	91
2. 第2回検討会	91
3. 第3回検討会	91
参考資料	92

第1章 事業概要

1. 本事業の目的

本事業では、メタンガス化施設の普及において排水処理・液肥利用が課題となる消化液を濃縮技術を用いて減量化することで、液肥利用を促進させ、有機性廃棄物を利用した再生可能エネルギー創出が可能なメタンガス化施設の普及促進を図ることを目的とする。

消化液の濃縮技術の適用による消化液処理・利用に係るコストの削減、既存の処理・利用方法と比較した際の二酸化炭素排出量の削減効果を検証する。また、濃縮液の圃場散布試験を行い、肥料としての有効性や安全性を確認する。圃場における利用方法や期待される肥料効果をマニュアルとして整備することにより、消化液の濃縮技術の普及および濃縮液の肥料利用の促進を促し、従来メタンガス化施設の導入が困難であった地域を含めて、全国でのメタンガス化施設の普及を目指す。

2. 事業背景

バイオマスエネルギーを創出する施設は、経済や環境など地域社会の中で重要な役割を果たす。そのため、脱炭素・省コストに寄与するクリーンなエネルギー変換技術として導入する企業や自治体が増えつつある。中でもメタンガス化施設は、商業施設や食品工場から発生する食品廃棄物や畜産農家から排出される家畜ふん尿などの有機性廃棄物からバイオガスを生産し、エネルギーを創出することが可能である。創出したエネルギーは電力として地域電力会社への売電以外にも、電気・熱エネルギーとして工場や温浴施設等に供給し地域内での利用することも可能である。そのため、メタンガス化施設は他の再生可能エネルギーに比べ、地域の様々な関係者や地域産業に対して利益を波及させることが可能である点で大きな優位性を持つ。

さらに、メタン発酵後の発酵残渣である消化液は、作物の肥料として使用することで栽培に必要な化学肥料の施肥量・購入費を削減することが可能である。また、消化液の農業利用が促進することにより、地域で発生した有機性廃棄物を地域に還元することによる、自立分散型の資源循環が可能である。そのため、多くのメタンガス化施設では、消化液の農業利用を検討し地域との連携を図っている。

しかし、メタン発酵後の消化液の「出口」である還元先の圃場の確保ができない地域が多く、また、その場合に必要な排水処理はコストが高額になる等の課題があり、メタンガス化施設の導入に至らない事例も多く存在する。

消化液を作物栽培の肥料として利用する事例が少ない理由として、消化液に含まれる肥料成分の濃度が低いことが挙げられる。作物が必要とする成分量を与えるためには大量の施用が必要となり、輸送や散布にかかる作業時間や燃料費が施設の運営に影響を及ぼす。また、消化液に含まれる窒素成分の多くはアンモニア態窒素の形態をとっているため、散布直後からアンモニアが揮散しやすく、期待されるよりも肥効が低く、また、周辺の悪臭を引き起こすことも原因と考えられる。

上述の理由から消化液の液肥利用は需要家側の農家に忌避される傾向があるため、やむなく排水処理を行い下水道もしくは河川に放流するが多い。

図1では、メタンガス化施設が地域で占める役割および本事業での検討範囲を示す。



図1 メタンガス化施設の地域での役割

3. 用語の定義

本報告書で使用する用語の定義を示す。

表1 用語の定義

用語	説明
メタンガス化施設	メタン発酵によりバイオガスを生産する施設のこと。一般的に「メタン発酵施設」又は「バイオガスプラント」と呼ばれることもある。
消化液	メタン発酵により生じる発酵残渣のこと。処理を行い圃場に散布可能な状態のものを液肥と呼ぶ。
減圧式濃縮装置	水分が75℃付近で沸騰するように圧力を調整した濃縮装置。
濃縮液	消化液を減容化し成分を濃縮させたもの。本報告書では濃縮装置を用いて減容したものを指す。
凝縮水	消化液の蒸発により発生した蒸気を凝縮し回収したもの。夾雑物を含まず、河川放流が可能な水質で生成される。
排水処理	排水の中に含まれている不純物を取り除き、河川や下水道に放流可能な水質にすること。
バイオガス	メタン発酵で発生する、メタンや二酸化炭素を主成分とするガスのこと。
圃場	田、畑、果樹園、牧草地などの農作物を育てる場所のこと。
固形物濃度 (TS)	廃棄物系バイオマス中の固形物量をいう。固形物の割合を表す場合がある。
有機物濃度 (VS)	廃棄物系バイオマス中の有機物量のこと。強熱減量とも言われる。
アンモニア態窒素	消化液に含まれる環境汚染指標として用いられるアンモニウムイオン (NH_4^+) とアンモニア (NH_3) を合計した窒素分のこと。
化学的酸素要求量 (COD_{Mn})	水中の有機物などの量を、酸化剤により分解したときの酸素消費量で表したものであり、一般的な水質指標のひとつ。
硫酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	窒素肥料として使用される硫酸のアンモニウム塩のこと。消化液に硫酸を添加することにより、消化液中のアンモニア態窒素が硫酸アンモニウムに変化する。硫酸とも呼ばれる。
脱ぶ	籾から籾殻を取り除いて玄米にする作業。籾摺りともいう。

4. 本事業で検討するメタンガス化施設普及の課題

(1) 液肥散布における課題

液肥散布における課題については、その発生量の多さに起因している。メタンガス化施設の場合、原料投入量とほぼ同量、または、原料性状による希釈水の添加により原料量以上の消化液が発生する。メタンガス化施設の検討においては、消化液の処理・利用の観点から処理規模を決定するのではなく、その場所または地域から発生する原料量をもとに事業の経済性を確保するための原料量から処理規模を決定する。そのため、どうしても消化液を利用しようとする際に散布可能な必要圃場面積が確保できず、これが根本的な問題となっている。

以下に消化液の量が処理・利用の観点から過剰になっていることに起因する課題を示す。

1) 液肥の施肥可能量による必要な圃場の確保が困難

都道府県ごとに施肥基準が定められており、作物の種類、土壌区分、作型などによって標準的な窒素、リン酸、加里の施肥可能量が示されている。そのため、液肥の施肥量の検討では、施肥可能量を超えない量で計画する必要があるため、メタンガス化施設の消化液排出量が多くなるほど確保すべき圃場の面積が大きくなる。

特に、液肥を畑地へ散布する場合、過剰に施用を行うと表面流出が発生し施肥ムラを生じる。そのため、消化液を均一に施用するためには10 aあたり5~6 ton程度が一回の施用限界量である（畜産環境整備機構、2013）。そのため、消化液を全て農地還元しようとした場合、施肥可能量の上限値から算出した散布可能な圃場面積を確保する必要がある。

液肥利用が進んでいる地域として北海道が挙げられるが、北海道はメタンガス化施設の近隣に大規模な圃場がある場合が多いためであり、同様の形態は本州以南において一部を除き非常に困難である。

2) 液肥散布に係る輸送・散布の負荷が大きい

消化液は液肥として圃場へ還元する際に消化液中の窒素成分に合わせた施肥計画により散布を行う。ただし、消化液は、表2に示すとおり水分が多く窒素成分が低い傾向にあり、必要な窒素施肥量とするためにはある程度の量を散布する必要がある。その際、メタンガス化施設から圃場までの液肥の輸送や散布専用の重機による散布が必要で、さらに散布時期が集中することもあり、液肥輸送や散布に係る燃料費や人件費等、農家の負荷の増大が課題となっている。

表2 稼働中のメタンガス化施設消化液の成分一覧

項目	単位	施設A	施設B	施設C	施設D	施設E	施設F
主な原料		乳牛ふん尿	乳牛ふん尿	豚ふん尿 (洗浄水含む)	生ごみ	食品加工残渣・生ごみ	野菜加工残渣・乳牛ふん尿
pH	—	8.03	7.66	7.79	8.04	8.08	7.48
水分	%	93.9	95.9	98.3	98.2	97.4	97.5
VS	mg/L	40,500	24,200	11,600	8,730	14,800	14,300
全窒素 (T-N)	mg/L	3,270	3,390	1,290	2,710	1,640	1,820
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	mg/L	1,480	1,740	731	1,550	961	798
リン酸 (P ₂ O ₅)	mg/L	2,175	1,228	612	733	545	926
加里 (K ₂ O)	mg/L	3,542	3,867	590	1,433	2,289	3,096
COD _{mn}	mg/L	17,800	14,100	3,290	4,200	8,010	7,880

出典：2013年 (財)畜産環境整備機構 「メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用マニュアル」より一部編集

3) 消化液の散布時における窒素分（アンモニア）の揮発

消化液に含まれる窒素の約半分はアンモニア態窒素であるため、圃場への施用直後からアンモニア揮散が起りやすくなる。そのため、肥料成分である窒素分の低下が起こるだけでなく、悪臭の原因となり周辺住民とのトラブルを引き起こす要因にもなる。さらに、成分が揮発してしまうため、施肥後は速やかに作付けを行う必要がある。そのため元肥としての散布は作物の作付け時期と同じ時期となりその結果、散布に係る作業が集中してしまい、輸送、散布に係る負荷の増大につながる。

4) 液肥の貯留が可能な大規模貯留設備が必要

液肥を圃場へ散布する施肥時期は元肥や追肥として年に2~3回と限られており、施肥に必要な分の消化液を確保するため貯留槽で必要量を貯留する必要がある。その際、一般的に約6か月分以上の大規模な貯留設備が必要となり、建設コストが負担となる。

(2) 液肥利用の促進に関する課題

1) 肥料成分

近隣農家に液肥を利用してもらうためには液肥に含まれる窒素・リン酸・加里を主とする肥料成分を明確に示すことが重要である。地域や栽培している作物によって最適な施肥量は異なる。また、表2に示すようにメタンガス化施設に投入する原料によっても、消化液の肥料成分は異なる。液肥利用を促進するためには、散布する液肥の肥料成分を正確に分析し、分析結果に基づいた施肥計画を立てる必要がある。

2) 散布の安全性・有効性

液肥利用促進のためには、肥料成分を明示することと同様に、散布する液肥の安全性および有効性を示すことが重要である。液肥には表2に示すとおり窒素・リン酸・加里以外にも様々な成分が含まれる。そのため、液肥に含まれる成分が、作物や土壤に負の影響を与えないものであるという安全性を示す必要がある。

3) 液肥散布に対する近隣農家からの理解・協力が必須

液肥を利用する際に最も重要となるのが、メタンガス化施設の近隣農家から理解・協力を得ることができるかという点である。メタンガス化施設から排出される消化液を全量液肥として散布しようと考えた場合、一般的にかなり大規模な圃場が必要であり、メタンガス化施設を運営する事業者のみでまかなうことは北海道地域など一部地域を除き困難である。そのため、液肥利用を行うためには近隣で圃場を所有している住民・企業などに協力を仰ぎ、散布を行う必要がある。その際、散布する消化液の安全性・有効性を定量的に示し、理解を得る必要がある。

(3) 排水処理設備における課題

1) 設備に係る建設費、維持管理費等の費用が高価

消化液を全量液肥として圃場へ還元できない場合、または一部しか還元できない場合は、施設の立地条件により下水もしくは河川へ放流するために排水処理を設置する必要がある。また、排水処理設備の規模は、液肥利用できない場合は消化液の全量を、消化液の一部を液肥利用する場合は、散布できない消化液量に応じて設置する必要がある。

下水放流の場合は、簡易な排水処理設備をもって放流基準値以下まで処理することができるが、河川への放流の場合、厳しい放流基準値以下まで処理する必要がある。特に窒素の放流基準値がある場合は、硝化脱窒処理や凝集処理といった三次処理等の高度処理および汚泥の脱水処理等が必要である。よって、それに係る建設コストや使用薬品類、電力費、メンテナンス費の他、脱水した汚泥を利用できない

場合は高額な処理費が発生する。河川放流を行うメタンガス化施設の運営に係る全体の費用の内、排水処理の占める割合は非常に高く、経済性を低減させることになり、これが普及を妨げる一因となっている。

2) 設備の運転管理の煩雑さ

高度処理まで含む排水処理施設の場合、複数の薬品類の補充や定期的な点検、生物処理の管理監視、脱水汚泥の搬出など運転管理における人員確保が不可欠である。さらに排水処理の状況を管理するための分析も必要である。

また、仮に排水処理設備に不具合があった場合は、消化液が処理できなくなり、メタン発酵設備への原料投入を減少させることにより消化液の発生量を減少させ、排水処理設備の負荷を下げる等の対処の必要がある。その結果、バイオガス発生量が低下し、売電収入が計画を下回り経済性を低減させてしまう結果となる。このような事態が発生しないよう排水処理設備の運転管理はしっかりと行う必要があり、簡素化できるものではない。

(4) 脱炭素・CO₂排出量における課題

1) バイオガス発電装置の低いエネルギー利用率

一般的にバイオガスによる発電の場合、バイオガス発電装置により約 40%が電力として回収され、約 40%が主に温水として回収される。一般的には温水は熱交換によりメタン発酵槽の加温に利用されるが、得られる温水の一部で十分であり、ほとんどの温水は利用されず放熱させている。

2) 排水処理設備による CO₂ 排出量の増大

CO₂ 排出量の観点においては、排水処理を行う生物処理工程や使用電力量に伴う CO₂ が発生するため、排水処理設備の設置は CO₂ 排出量の増減に大きく影響を及ぼす。

3) 液肥の輸送および散布に係る CO₂ 排出量の増大

消化液中の肥効成分は薄く大部分が水分のため、必要な窒素量を満足させるためには施肥可能量までの大量の液肥が必要となる。そのため、液肥を運搬する車両や液肥を散布する重機等にかかる燃料由来の CO₂ 排出量が大きくなっている。

以上のメタンガス化施設の普及の妨げとなっている消化液の液肥利用および排水処理設備における課題を解決するため、本事業では消化液の濃縮技術を適用する。この技術により消化液の減量化と液肥利用の促進が可能であり、全国的にメタンガス化施設を普及させることを目的に本事業を実施する。

5. 事業の全体像

本事業では、消化液の濃縮技術により、消化液処理の課題を解決しメタンガス化施設導入の促進を図るため、以下の課題について検討を行う。

- ① 液肥散布における課題
- ② 液肥利用の促進に関する課題
- ③ 排水処理設備における課題
- ④ 脱炭素・CO₂排出量に関する課題

本事業は令和4年度の単年度契約ではあるが、令和3年度から令和5年度までの複数年事業を想定した委託業務である。令和4年度では課題①～④の検討に向け、以下の業務を実施する。

① 消化液濃縮技術の技術的優位性の検証

消化液の処理方法に関して濃縮技術の優位性を検証するため、八木バイオエコロジセンターの消化液を原液とした減圧式濃縮装置および周辺機器の調達・設置・運転管理を行う。設置にあたっては導入費用削減についても検討を行う。また、圃場散布試験に使用する濃縮液の生成のため、装置の運転管理を行う。

収集した運転データより得られた結果および分析データから本技術と他の消化液処理方法のコストおよびCO₂排出量の検証・比較を行い、本技術の優位性について検証する。

② 稼働中メタンガス化施設の状況調査

主に消化液を液肥利用しているメタンガス化施設への現地調査を行う。現地調査では、施設情報のヒアリングの他、消化液もしくは液肥のサンプリングを実施し、成分分析を行う。

現地調査より得られた分析データから、メタンガス化施設への消化液濃縮技術導入の可能性を検証する。導入した際の想定コストおよびCO₂排出量についても調査し、消化液濃縮技術の波及効果の検証を行う。

また、本技術普及によるメタンガス化施設の全国への導入促進効果およびメタンガス化施設普及後のCO₂削減効果についても検証する。

③ 消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証

生成される濃縮液の成分分析を行い、分析結果から作物への影響を調査する。

また、令和3年度に策定した試験計画を基に消化液および濃縮液のポット試験、圃場散布試験を行う。散布では、散布装置や散布方法について効率化を検討する。

また、圃場散布試験の結果から、作物栽培における消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証を行い、令和5年度に実施予定の消化液および濃縮液利活用のマニュアル作成の準備を行う。その際、濃縮液の付加価値化についても検討する。

6. 実施体制

(1) 本事業の実施者について

1) シン・エナジー株式会社（実施主体）

メタン発酵消化液の濃縮技術に関する弊社独自の技術について特許出願中であり、本事業で使用する濃縮装置の発注業務および周辺機器の詳細設計業務を執り行う。また、本事業のスケジュール管理や、各種データ解析のまとめなど取り纏め業務を行う。

2) 公益財団法人 八木町農業公社（共同実施者）

本事業の実施場所である、南丹市八木バイオエコロジーセンターの運営を行っている。施設稼働から20年以上にわたり液肥利用促進のため、利用方法の周知活動を行っている。本事業では、濃縮装置の運転管理、地域農家への協力依頼、消化液・濃縮液の圃場散布を行う。

3) 京都大学 農学研究科 大土井 克明 助教（共同実施者）

消化液、濃縮液の圃場散布方法の検討およびCO₂削減効果の検討を行う。メタン発酵消化液の輸送効率向上に関する研究を行っており、地球環境資源センター（2016）「消化液の肥料利用に伴うメタンガス化事業実施手引 報告書」の作成事業では委員を務めた。

4) 京都農業の研究所株式会社（共同実施者）

濃縮液の作物へ与える影響を明らかにするため、植害試験および栽培試験を実施する。間藤 代表は、植物栄養学・土壌学を専門としており、メタン発酵消化液の適切な施用方法等について研究を行っている。

5) 株式会社バイオガスラボ（共同実施者）

消化液や濃縮液などの成分分析および本技術の波及効果についての分析を行う。バイオガス事業専門のコンサルティング会社であり、日本全国のメタンガス化施設における各種分析業務や運転適正化に関するサポートを行っている。

6) 南丹市（事業支援）

本事業の実施場所の自治体である。圃場散布試験のための住民説明などのサポートを行う。八木バイオエコロジーセンター稼働時から現在に至るまで、施設の運営や液肥散布について八木町農業公社のサポートを行っている。

(2) 実施体制図

本事業の実施体制図を以下に示す。

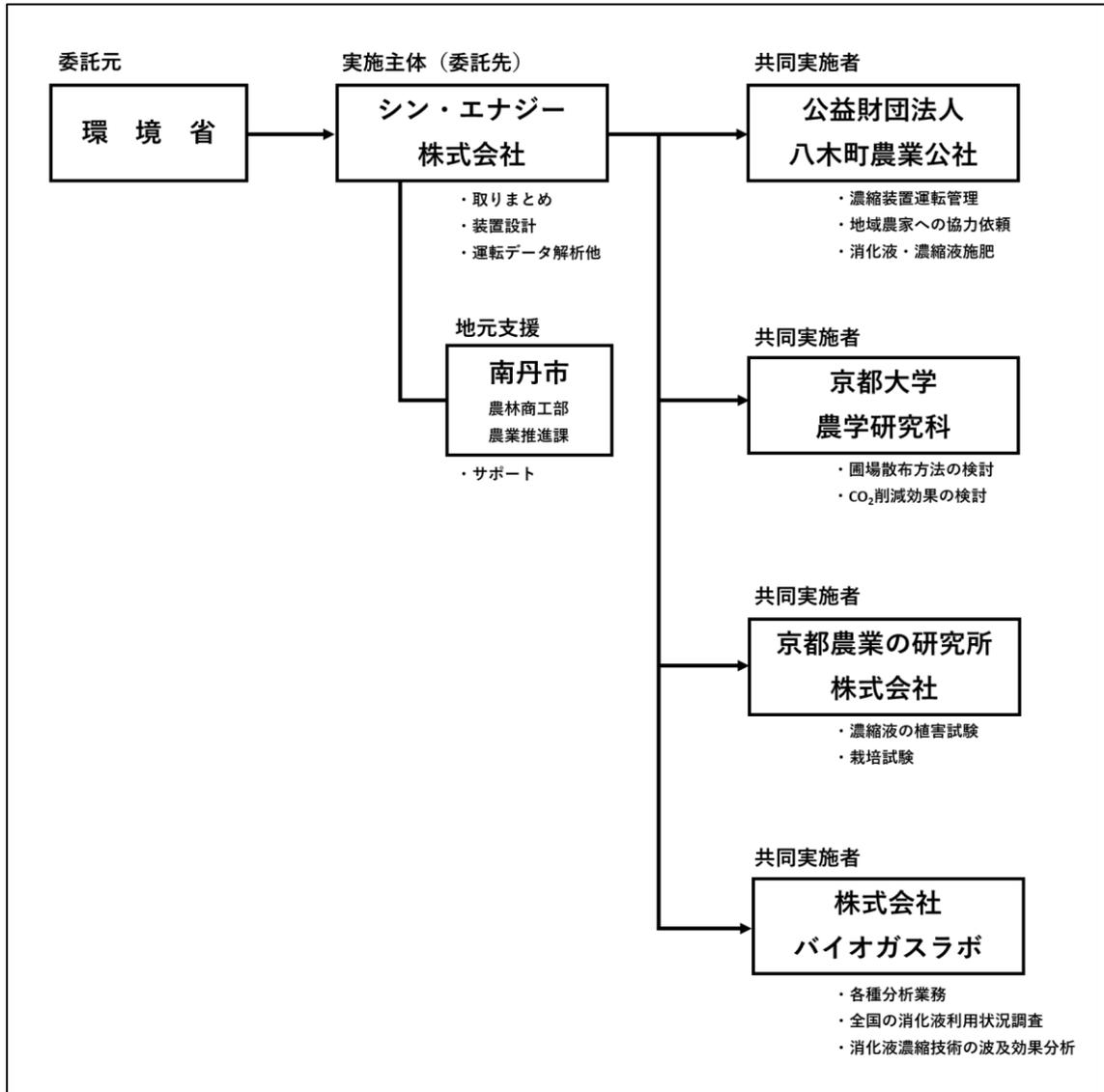


図2 実施体制図

7. 実施場所

(1) 実施場所の基本情報

- ・名称 : 南丹市八木バイオエコロジーセンター
- ・住所 : 京都府南丹市八木町諸畑千田1
- ・管理者 : 公益財団法人 八木町農業公社

(2) 南丹市八木バイオエコロジーセンターの概要

八木バイオエコロジーセンターは地域の酪農家から発生する乳牛ふん尿や食品加工工場から排出される残さ等を原料として、メタン発酵によりエネルギーと有機物由来の液肥（消化液）や堆肥を生産するメタンガス化施設である。投入原料量は、現在おから2 ton/日、乳牛ふん尿50～60 ton/日、豚ふん尿1～2 ton/日、有機汚泥20～30 ton/日であり、バイオガス発生量は約3,000 m³/日である。

バイオガス発電により生産したエネルギーは場内利用の他、余剰電力を売電している。平成31年度の実績では1,259 MWh/年の発電を行い、これは、一般家庭400世帯以上の電力消費量に相当する。

年間約20,000 tonの消化液が生成されるが、利用されるのは約5,000 ton程度で、液肥利用は生産量の約25%程度にとどまっているのが現状である。利用しきれない消化液については排水処理を行っている。

液肥の利用が伸びない原因は、散布対象作物の水稻の施肥適期でしか液肥利用の需要が見込めないのに対し、液肥の供給は毎日一定量発生するという需要と供給の不一致による。

八木バイオエコロジーセンターは本州におけるメタンガス化施設のモデルケースであり稼働開始から20年以上液肥の普及活動を継続し、市のバックアップのもと、近年では液肥の利用者も増加している。また、本州で液肥利用の進んでいる施設の内の一のひとつであるが、液肥利用については課題を抱えている。

本事業では、濃縮装置および付帯設備を排水処理槽の上部に設置し、原液となる消化液は消化液槽から移送するものとする。

(3) 八木バイオエコロジーセンターの処理フローおよび平面図

八木バイオエコロジーセンターの処理フローおよび平面図を以下に示す。

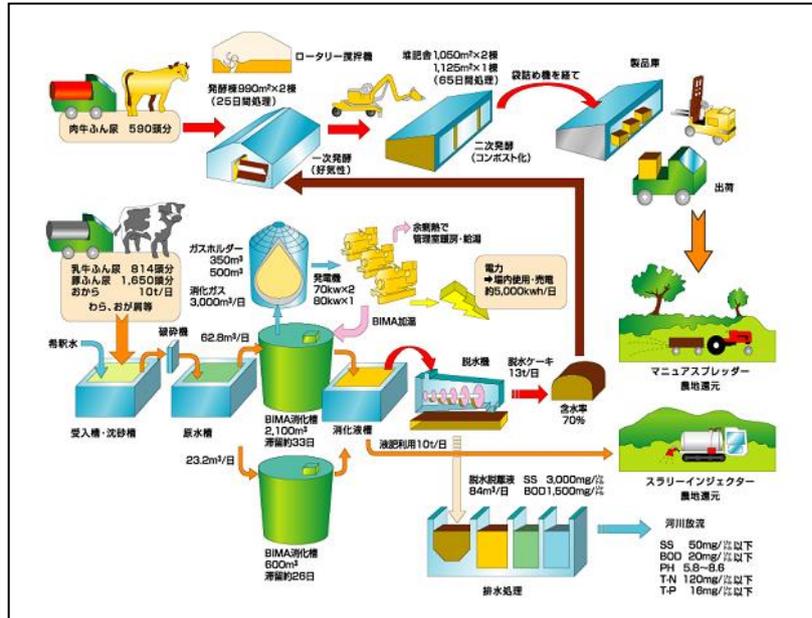


図3 八木バイオエコロジーセンター処理フロー

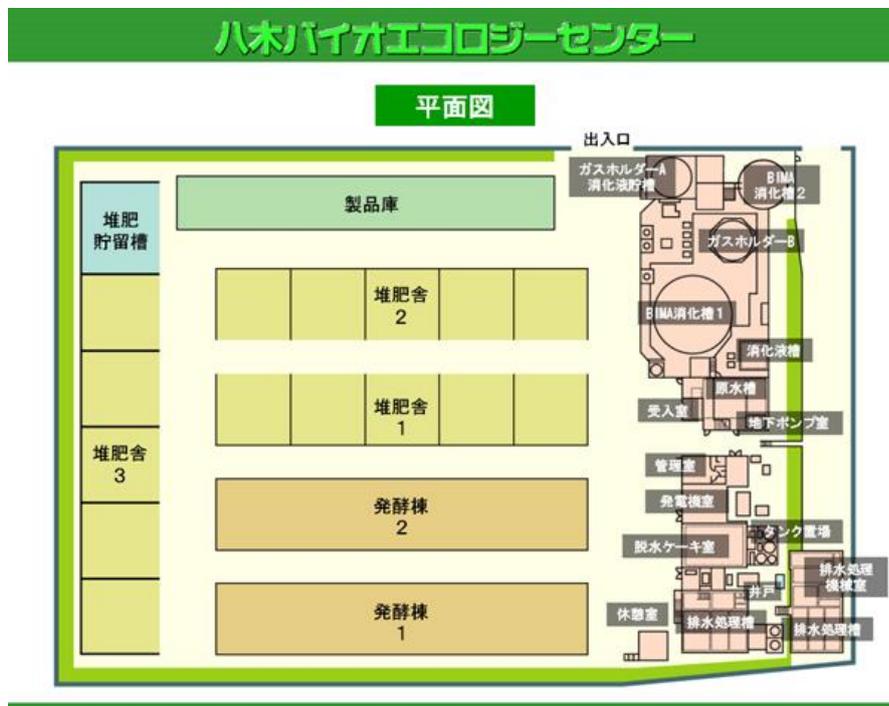


図4 八木バイオエコロジーセンター平面図

8. 本事業の目標

本事業は令和4年度の単年度契約ではあるが、令和3年度から令和5年度までの複数年事業を想定した委託業務である。そのため、本事業の目標は次年度以降の実施を想定した記述を行っている。

(1) 事業全体

1) 目標

本事業では、有機性廃棄物を利用した再生可能エネルギー創出が可能なメタンガス化施設の普及促進を図るため、濃縮技術の導入により液肥利用を促進させることを目標とする。

消化液の濃縮技術による省コスト・省CO₂効果の実証も行う。濃縮液の肥料としての有効性・安全性を試験し、圃場利用方法をマニュアル化することにより、消化液の肥料利用を促し、更なるメタンガス化施設の普及を目指す。

2) 令和4年度の目標

- ① 減圧式濃縮装置および周辺機器の調達・設置・運転管理を行い、濃縮液を生成する。また、濃縮装置の運転データを収集し、本技術と他の消化液処理方法とのコスト、CO₂排出量の比較を行う。
- ② 現在稼働中の消化液を液肥利用しているメタンガス施設の利用状況について現地調査またはヒアリング調査および消化液のサンプリング、成分分析を行う。また、得られたデータから、メタンガス化施設への本技術の導入の可能性、コスト、CO₂排出量について検証を行う。
- ③ 令和3年度に策定した試験計画を基に濃縮液の散布試験を行い、消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証を行う。

(2) 消化液濃縮技術の技術的優位性の検証

1) 採択時の技術の状況

消化液の濃縮技術について特許出願済み（シン・エナジー（株））である。しかし、他の消化液処理技術との比較は未検証である。

2) 最終目標

八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液を利用し、濃縮装置を用いて濃縮液を生成する。生成される濃縮液の分析結果および装置の運転データを解析し、他の消化液の処理方法と比較を行い、濃縮技術の技術的優位性について検

証する。

また、濃縮装置の設置・稼働に係るコストについても検証する。

3) 令和4年度当初の技術の状況

八木バイオエコロジーセンターへの濃縮装置の納品および周辺機器の設計が完了している。また、消化液濃縮技術の独自性および導入費用削減の検証が完了している。

4) 令和4年度の目標

- ① 濃縮装置および周辺機器の調達、設置、運転管理を行い、運転データの解析を行う。
- ② 濃縮装置の運転により、濃縮液および凝縮水を生成し成分分析を行う。
- ③ 運転データから他の消化液処理方式とのコスト、CO₂排出量の比較を行い、消化液濃縮技術の優位性について検証する。

(3) 稼働中メタンガス化施設の状況調査

1) 採択時の技術の状況

稼働中メタンガス化施設の施設概要や投入原料、発電量をまとめた報告書はあるが、消化液利用状況や施設のエネルギーバランスについて取り纏めている報告書は少ない。

2) 最終目標

メタンガス化施設普及のため、消化液濃縮技術を導入した際の効果について検証する。

稼働中のメタンガス化施設の運転状況のデータを用いて、既設のメタンガス化施設で消化液濃縮技術を導入した場合の効果についても調査を実施する。また、消化液濃縮技術の導入に必要な立地・放流条件や導入することでの脱炭素効果について調査し、波及効果の検証を行う。

3) 令和4年度当初の技術の状況

消化液を液肥利用しているメタンガス化施設の施設概要、消化液処理状況、発電排熱利用状況についてヒアリングを行った。また、消化液濃縮技術の導入条件の検討が完了している。

4) 令和4年度の目標

- ① 現在稼働中の消化液を液肥利用しているメタンガス化施設の利用状況について現地調査および消化液のサンプリング、成分分析を行う。
- ② 消化液の排水処理を行っているメタンガス化施設に対し、濃縮技術の導入効果について想定コストおよびCO₂削減量の検証を行う。

(4) 消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証

1) 採択時の技術の状況

濃縮液についてシン・エナジー（株）が独自に栽培用ポットを用いた栽培試験を行い、安全性の確認を行っている。

しかし、実際の圃場を利用した栽培試験は行っていない。

2) 最終目標

消化液濃縮技術を普及させるため、濃縮液の有効性・安全性について実証し、濃縮液利活用のマニュアルを作成する。

また、濃縮液利用の普及を促進させるため、濃縮液の付加価値化および販売を含めた事業スキームについて検証を行う。

3) 令和4年度当初の技術の状況

八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液の成分分析を行い、濃縮後の濃縮液の成分の推定が完了している。

令和4年度および令和5年度に実施する消化液および濃縮液の圃場散布試験計画の策定が完了している。

4) 令和4年度の目標

① 八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液を用いてポット試験を行い、濃縮液散布による食害の有無および生育への影響を調査する。

② 令和3年度策定の圃場散布計画に基づいて、液肥の圃場散布試験を行い、散布物毎の生育状況を調査する。その際、散布効率やCO₂排出量についても検証する。

濃縮設備における周辺機器の納期遅れにより、麦は消化液のみの散布とし、濃縮液の散布効率およびCO₂排出量の検証は令和5年度に実施する。

第2章 消化液濃縮技術の技術的優位性の検証

1. 実施概要

八木バイオエコロジーセンターに濃縮装置および周辺機器の設置を実施する。八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液を用いて濃縮装置を運転・管理し、稼働データの解析および濃縮液・凝縮水を製造、その成分分析を行う。

また、得られたデータから消化液濃縮技術の優位性の検証を行う。

2. 本事業で用いる消化液濃縮技術

(1) 技術の概要

この技術は、消化液に含まれる窒素成分の主体であるアンモニア態窒素が熱により蒸発してしまうことを防止するため、前処理において硫酸を添加することにより硫酸アンモニウムを生成させる。そうすることでアンモニア成分が固定され、蒸発を防止し濃縮液に窒素成分を移送させるものである。

本技術の特徴は、消化液の濃縮過程において前処理として硫酸および消泡剤を添加することである。また、濃縮装置には減圧式濃縮装置を用い、熱源としてバイオガス発電装置からの余剰排温水を利用するものである。

本技術では、消化液量に対し32%前後の濃縮液と68%前後の凝縮水を得ることができ、液肥としての散布量を従来の量に比較し32%前後まで軽減することができる。また、凝縮水は放流基準値以下の水質となるため、施設における再利用やその後の処理なしで放流することが可能となる。

本事業により消化液の減量化が可能となり、メタンガス化施設の普及における課題である「出口」(消化液の処理および利用)確保のハードルを下げるができる。また、メタンガス化施設において稼働中・新設を問わず導入することが可能であるため波及効果も高いと考えられる。

(2) 技術の新規性

液体の濃縮技術は食品加工における飲料の製造工程などに用いられるものであり、一般的に知られている技術である。また、消化液のアンモニア態窒素に硫酸を添加し硫酸アンモニウムを生成する技術も公知の技術である。減圧式濃縮技術および硫酸添加の技術をメタンガス化施設から発生する消化液に適用した場合、通常、硫酸添加時や減圧時に発生する急激な発泡により装置の閉塞等が発生し運転が困難になる。

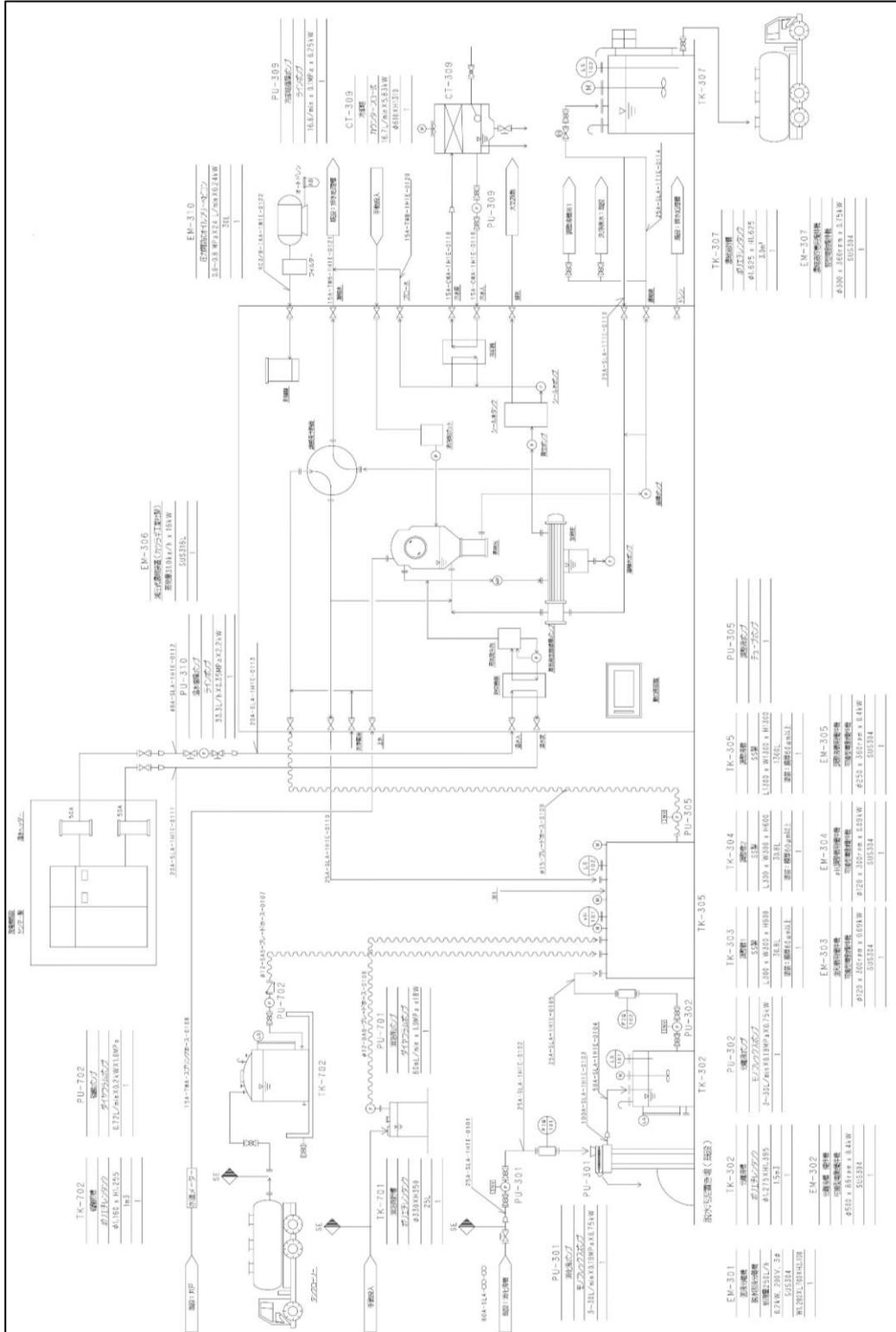
装置の安定稼働のためには、発泡を防止するために大量の消泡剤の添加が必要になるなどの課題が多く残され、実用化に至っていなかった。また、熱による濃縮技術

の導入のためには、熱源調達のためにボイラーの導入が必要であることや、エネルギーコストがかかるなどの課題もあった。

そこで弊社は、濃縮装置に投入する消化液の硫酸や消泡剤を添加する前処理工程について研究し、従来に比べ少ない薬剤の添加量になる方法を開発した（特許出願済み）。また、濃縮時に必要な熱源についても蒸気などの高温ではなく低温の廃温水を利用できる濃縮装置を用いることで、メタンガス化施設のバイオガス発電装置から発生する余剰廃温水を利用し、化石燃料を使用することなく濃縮ができるシステムを開発し適用している。

3. 濃縮装置および周辺機器の据付

(1) エンジニアリングフローシート



(2) 機器仕様

名称	型式・仕様・寸法	材質
PU-301 消化液ポンプ	容積式ポンプ (インバーター) 3 L/min~30 L/min × 0.19 MPa	ケーシング : SCS13 インペラー : CR/SCS13
EM-301 固液分離機	脱水式スリットセーバー 処理量 : 250 L/h × 0.2 kW 回転数 : 12.0 rpm スクリーン目幅 : 1.0 mm	ケーシング : SUS304 回転軸 : SUS304
TK-302 分離液槽	円筒密閉型ポリエチレン製タンク 1,500 L、φ1,275 mm×H1,740 mm	本体 : ポリエチレン
EM-302 分離液槽攪拌機	縦型電動攪拌機容量 30 L プロペラ φ500 mm ×86 rpm ×0.4 kW	接液部 : SUS304
PU-302 分離液ポンプ	容積式ポンプ (インバーター) 3 L/min~30 L/min × 0.19 MPa	ケーシング : SCS13 インペラー : CR/SCS13
TK-303_調整槽 1	角型鋼板製タンク 30.8 L L300 mm×W300 mm×H600 mm	SS400
TK-304_調整槽 2	角型鋼板製タンク 30.8 L L300 mm×W300 mm×H600 mm	SS400
EM-303_調整槽用攪拌機 1	可搬型電動攪拌機 プロペラ φ120 mm ×300 rpm	SUS304
EM-304_調整槽用攪拌機 2	可搬型電動攪拌機 プロペラ φ120 mm ×300 rpm	SUS304
TK-305_調整液槽	角型鋼板製タンク 1,300 L L1,300 mm×W1,300 mm×H1,300 mm	SS400
EM-305_調整液槽用 攪拌機	可搬型電動攪拌機 プロペラ φ250 mm ×360 rpm	SUS316

PU-305_調整液ポンプ	チューブポンプ 最大能力：150 L/h 最大吐出圧：1.5 MPa	ホース：NR
TK-307_濃縮液貯槽	円筒密閉式ポリエチレン製タンク 3,000 L φ1,668 mm×H2,300 mm	ポリエチレン
EM-306_減圧濃縮機	ヒートポンプ式減圧濃縮機 蒸発能力 31 kg/h × 16 kW ヒーター動力 2.0 kW × 2 基	主要部 SUS316L
EM-307_濃縮液貯槽用 攪拌機	堅型電動攪拌機 プロペラ φ300 mm ×360 rpm	SUS304
CT-309_冷却塔	カウンターフロー式 16.7 L/min 入口 37°C⇒出口 32°C	FRP
PU-309_冷却塔循環ポンプ	渦巻ポンプ 28 L/min~56 L/min×0.55 MPa	ケーシング：FC200 インペラー：SCS13 主軸：SUS304
PU-310_温水循環ポンプ	渦巻ポンプ 33.3 L/min×0.35 MPa	ケーシング：FC200 インペラー：SCS14 主軸：SUS304
TK-701_消泡剤貯槽	丸型 PE 製タンク 25 L φ330 mm×H440 mm	PE
PU-701_消泡剤ポンプ	ダイヤフラム式ポンプ 60 mL/min×1.0 MPa	ポンプヘッド：PVC
TK-702_硫酸貯槽	ポリエチレン製タンク 1000 L φ1,180 mm×H1,494 mm	ポリエチレン
PU-702_硫酸ポンプ	ダイヤフラム式ポンプ 0.72 L/min×1.0 MPa	ポンプヘッド：PVC
EM-310_コンプレッサー	圧力開閉器式 最高圧力：0.8 MPa 吐出し空気量：60 Hz 24 L/min 空気タンク：30 L	
pH-101_調整槽用 pH 計	浸漬型 pH 計	PVC

(3) 据付状況

本事業で据付を行った濃縮装置および前処理設備を以下に示す。

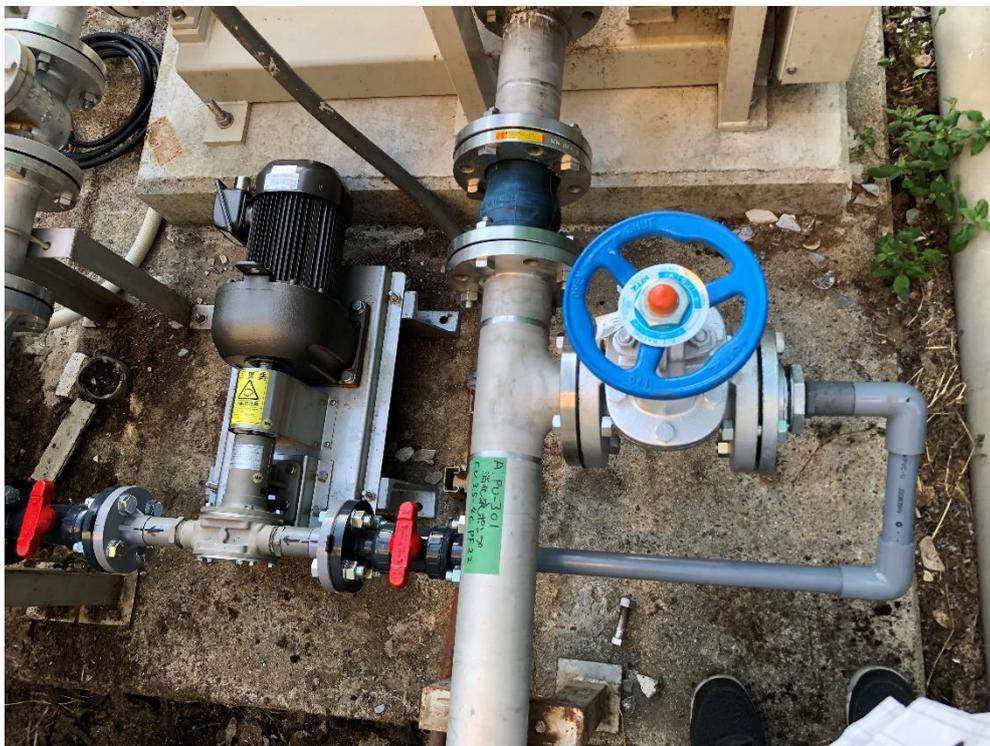


図4 PU-301 消化液ポンプ



図5 EM-301_固液分離機、汚泥排出シュート部



図6 TK-302_分離液槽、PU-302_分離液ポンプ

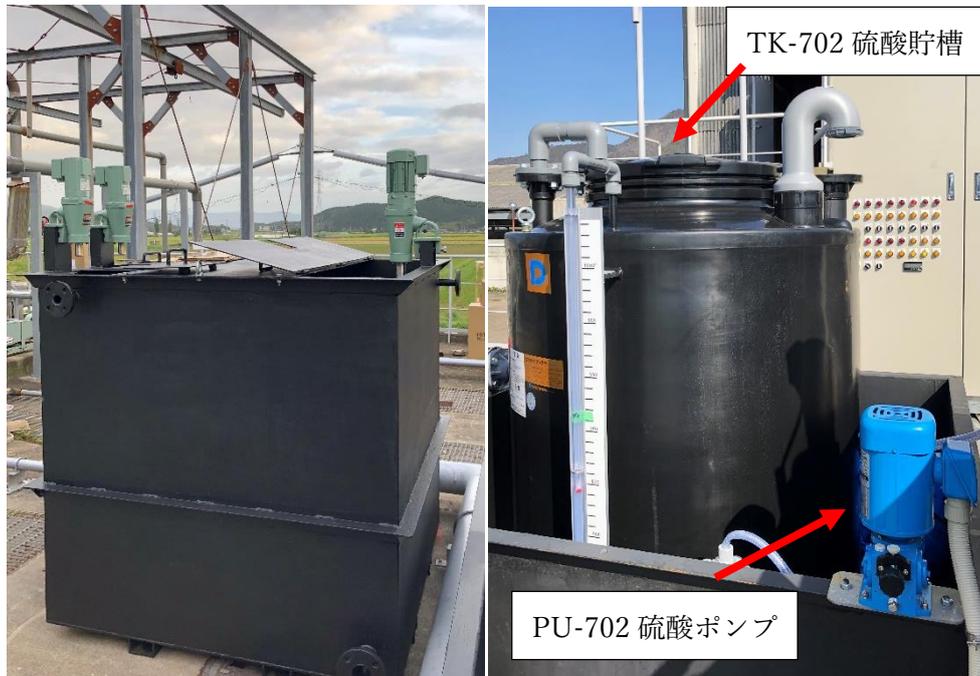


図7 TK-305_調整液槽、TK-702_硫酸貯槽

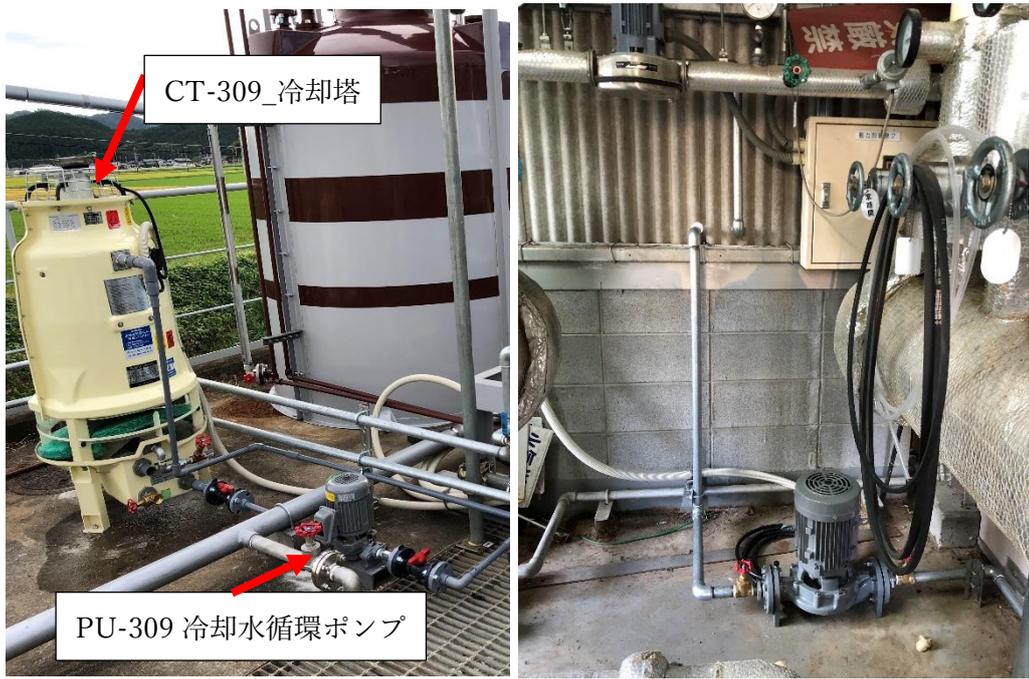


図8 CT-309_冷却塔とPU-309_冷却水循環ポンプ
PU-310_温水循環ポンプ



図9 TK-307_濃縮液槽, 前処理設備制御盤



濃縮装置制御盤

TK-702_硫酸貯槽

図 1 0 濃縮装置制御盤および TK-702_硫酸貯槽



TK-307_濃縮液貯留槽

EM-306_減圧濃縮機

図 1 1 EM-306_濃縮装置および TK-307_濃縮液貯留槽

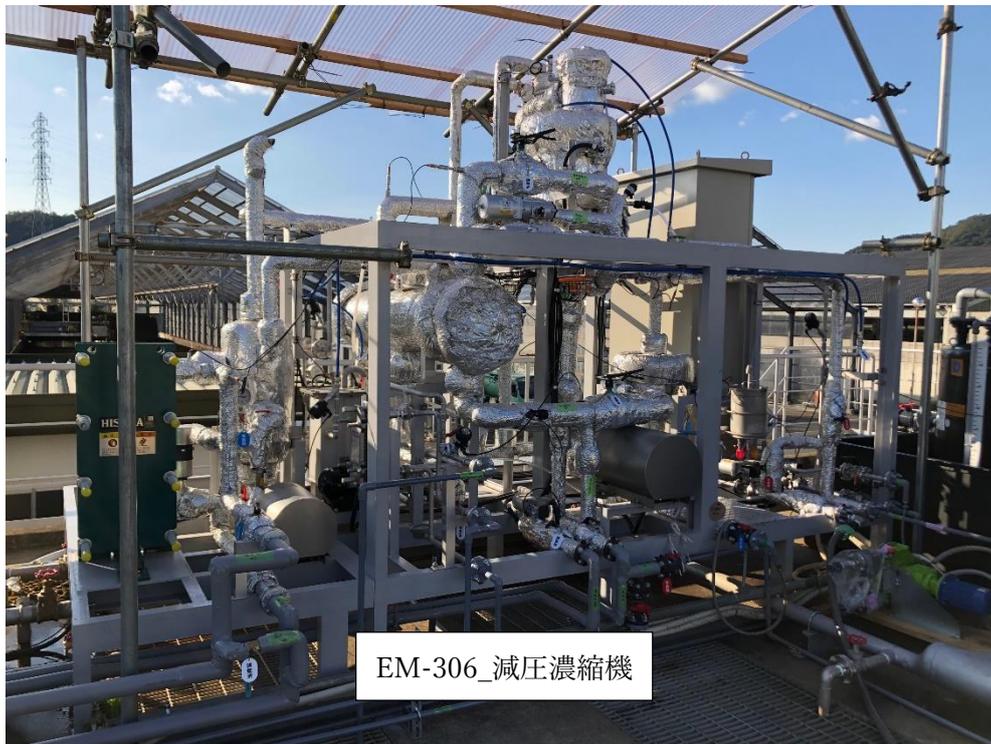


図 1 2 EM-306_減圧濃縮機 全景

4. 濃縮装置運転データの解析

(1) 装置運転概要

本事業で据付した濃縮装置および前処理設備の構成は、八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液から夾雑物を取り除くための固液分離設備、分離液に弊社の独自技術である薬品を混合調整するための前処理調整設備、調整された液を熱濃縮し凝縮水、濃縮液を得る濃縮装置である。なお、濃縮装置の熱源は八木バイオエコロジーセンターのバイオガス発電機から発生する排温水を使用し、化石燃料を使用せずに濃縮処理を行う。

(2) 装置運転目的

本事業では八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液を用いて濃縮装置を運転・管理し運転データの解析を行う。また濃縮により濃縮液、凝縮水を生成し、成分分析を行うことで濃縮技術の優位性の検証をすることを目的とする。

生成した濃縮液は有効性・安全性の検証のためにコマツナのポット試験に使用し、生育状況を比較することを目的とする。

また、濃縮液の散布試験に使用し、散布装置の最適な形状、条件を検証することを目的とする。

得られた凝縮水はその水質を分析し、河川放流の排水基準の適用の可否および条件を検証することを目的とする。

(3) 装置運転期間

2022年10月17日～2022年10月24日（7日間）

(4) 使用薬品

1) 希硫酸

pH 調整に使用した硫酸は以下の通り。

希硫酸の濃度 20%～23%

2) 消泡剤

発泡の抑制に使用した消泡剤は以下の通り。

SN デフォーマー170（液状、ポリエーテル系消泡剤）

(5) 使用した消化液の成分分析データ (八木バイオエコロジーセンター)

本事業で使用した消化液の成分分析データを表4に示す。総窒素 (TKN) に対してアンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) が大半を占めており、硫酸アンモニウムの濃度は低いことから、窒素のほぼ全てがアンモニア性窒素として存在している。

表4 使用した消化液の分析データ

分析項目	単位	消化液
pH	—	8.1
TS	%	23,285
VS	%	14,435
SS (MLSS)	mg/L	19,000
$\text{NH}_4\text{-N}$	mg/L	1,700
TKN	mg/L	2,500
硫酸アンモニウム	mg/L	57
T-P	mg/L	260
K	mg/kg	1,400
BOD	mg/L	1,500
CODMn	mg/L	8,000
カルシウム	mg/kg	330
銅	mg/kg	1.3
亜鉛	mg/kg	5.3
カドミウム	mg/kg	0.1 未満
ヒ素	mg/kg	0.1 未満
ニッケル	mg/kg	0.1 未満
鉛	mg/kg	0.1 未満
クロム	mg/kg	0.1 未満
水銀	mg/kg	0.01 未満
マグネシウム	mg/kg	140
ナトリウム	mg/kg	380
tVFA	mg/L	200 未満
EC	mS/m	1,500

(6) 装置運転結果（運転データ）

濃縮装置運転時2022年10月17日～2022年10月24日の間処理した消化液に対する凝縮水、濃縮液の生成量の経過を図13に示す。7日間連続運転し、処理した消化液量は約7,000 L、生成した凝縮水量は約5,000 L、生成した濃縮液量は約2,000 Lであった。濃縮倍率について、日毎にバラつきはあるものの、3.0～3.5倍であった。濃縮倍率のバラつきは原料の消化液の性状の変化に左右されるが、安定的に濃縮ができていることが明らかである。

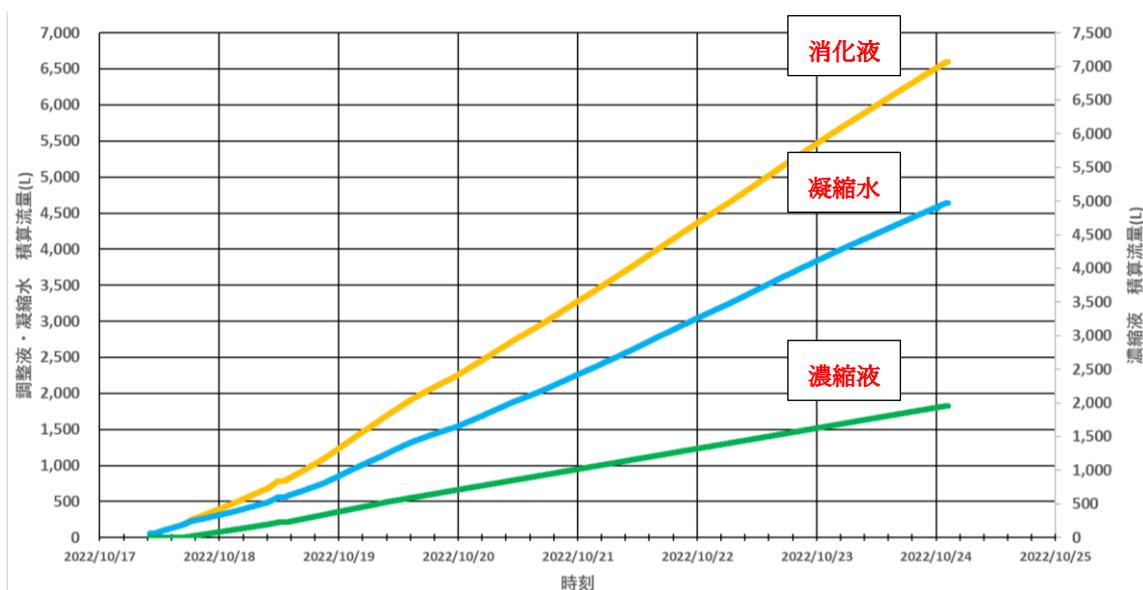


図13

処理した消化液に対する凝縮水、濃縮液の生成量の経過

(6) 成分分析結果

表5に濃縮装置運転時の消化液、分離液（濃縮液の原水）、濃縮液、凝縮水のデータ、事業実施場所の排水基準（淀川流域）、図14に生成した濃縮液および凝縮水の写真を示す。

肥料成分である窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ・TKN・硫酸アンモニウム）、リン（T-P）、カリウム（K）に関して、ほぼ全て2.0～3.8倍程度濃縮によって濃度の上昇が確認できる。また、熱濃縮時の窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の揮発は肥料成分の減少および凝縮水の汚濁の原因となるが、表5の凝縮水の分析データより、そのほとんどが硫酸アンモニウムとして濃縮液中に残留していることが明らかである。

濃縮液中の重金属類（カドミウム、ヒ素、鉛等）は肥料として使用する際、植物や人体に影響がある元素であり、濃縮による重金属の濃度上昇が懸念されていた。しかし、

濃縮液の分析結果の通り、元々消化液に含まれる重金属の濃度は低く、濃縮を行っても影響のない数値であることが明らかである。

凝縮水は図14のように無色透明な液体であり、表5の通り、事業実施場所の排水基準（一般的な河川放流基準）と比較してpHを除くすべての項目で排水基準を満たしている。なお、pHが上昇した原因はアンモニアの微量の揮発の影響と考えられるが、そのアンモニアの濃度は非常に低く、高度な水処理設備が必要になることはないと考える。

なお、pHを排水基準に適応するために、硫酸を凝縮水に加えることで放流可能な水質に調整が可能であると考ええる。



図14 凝縮水（左）濃縮液（右）

分析項目	単位	消化液	分離液	濃縮液	凝縮水	排水基準
pH	—	8.1	7.9	5.4	9.3	5.8～8.6
TS	%	23,285	25,915	77,200	50 未満	—
VS	%	14,435	16,455	49,625	50 未満	—
SS (MLSS)	mg/L	19,000	19,000	37,000	1 未満	50
NH ₄ -N	mg/L	1,700	1,700	4,300	26	—
TKN	mg/L	2,500	2,800	6,000	31	120
硫酸アンモニウム	mg/L	57	310	20,000	3	—
T-P	mg/L	260	270	530	10 未満	16
K	mg/kg	1,400	1,900	5,400	0.1 未満	—
BOD	mg/L	1,500	1,600	2,000	11	20
CODMn	mg/L	8,000	8,700	20,000	13	—
粘度 (20, 40, 60℃)	—	—	(12, 12, 5)	(18, 20, 20)	—	—
カルシウム	mg/kg	330	630	1,400	0.1 未満	—
銅	mg/kg	1.3	2.2	4.8	0.1 未満	3
亜鉛	mg/kg	5.3	9.1	21	0.1 未満	2
カドミウム	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	—
ヒ素	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	—
ニッケル	mg/kg	0.1 未満	0.2	0.4	0.1 未満	—
鉛	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1
クロム	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満	0.3	0.1 未満	2
水銀	mg/kg	0.01 未満	0.01 未満	0.02	0.01 未満	—
マグネシウム	mg/kg	140	250	540	0.1 未満	—
ナトリウム	mg/kg	380	530	1,600	0.1 未満	—
tVFA	mg/L	200 未満	200 未満	300	200 未満	—
EC	mS/m	1,500	1,500	3,100	18	—

表5 使用した消化液、分離液、生成した凝縮水、濃縮液の成分分析結果

第3章 稼働中のメタンガス化施設の状況調査

1. 目的

本技術の適用条件および波及効果を検討するため、全国の稼働中のメタンガス化施設の内、主に消化液の液肥利用の実績のある施設を対象に、施設の基本情報・消化液利用状況・熱利用状況・排水処理状況についてヒアリングを行った。

2. 調査対象施設

本事業で稼働状況の調査を行った施設を以下の表6に示す。

表6 調査対象施設一覧

地域	施設名	計画処理量 (t/日)	投入原料 (t/日)	消化液利用		
				液肥	堆肥	水処理
北海道	御影バイオガス発電所	250	乳牛ふん尿	○	—	—
北海道	サンエイ牧場	102	乳牛ふん尿	○	—	—
東北	株式会社バイオマスパワー しずくいし	94	乳牛ふん尿：56 食品残渣：38	○	(○)	—
東北	南三陸BIO	10.5	汚泥：7.0 生ごみ：3.0	○	—	—

3. 調査方法

ヒアリングは以下図15に示すシートを送付し、施設担当者に記入してもらう形で調査を行った。

シン・エナジー株式会社					
「令和4年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業」 メタンガス化施設に関するヒアリングシート					
記入日： 年 月 日					
<input type="checkbox"/> 基本データ					
法人名		施設名			
住所		ご担当者			
<input type="checkbox"/> 施設全体について					
施設フロー図を添付してください。					
稼働日数		日/年	稼働時間		時間/日
バイオガス発生量		Nm ³ /日	消化液発生量		m ³ /日
発電出力		kW	発電量		kWh/年
建設費用					千円
維持管理費*		千円/年	メンテナンス費 機器更新費		千円/年
※各種ユーティリティ、薬品代					
<input type="checkbox"/> 熱利用について					
発電排熱利用	有・無		熱利用先		
発生熱量		MJ/年	利用している熱量		MJ/年
<input type="checkbox"/> 原料の情報					
原料投入時の前処理方法					
	原料の種類	投入量		備考 ※季節変動等	
		(t/年)	(t/日)		
	例：乳牛ふん尿	300	1.0		
1					
2					
3					
4					
5					
<input type="checkbox"/> 施設の排水処理設備について					
排水処理方式					
放流先					
河川・下水道					
放流水質					
pH：、BOD： mg/L、SS： mg/L、COD _{Mn} ： mg/L、全窒素(T-N)： mg/L					
排水処理可能量と現状の処理量		設計量	m ³ /日	現状の処理量	m ³ /日
排水処理設備の建設費用					
千円					
排水処理設備の維持管理費*			千円/年	メンテナンス費 機器更新費	千円/年
※各種ユーティリティ、薬品代					
<input type="checkbox"/> 消化液利用について					
散布先					
施設管理圃場・近隣農家・その他()					
散布量		m ³ /年	散布面積		a
対象作物		畑作()・水稻	散布時期・回数		月、回/年
散布費用					
千円/年 ※車輛レンタル代、燃料代、人件費など					
散布実施者					
施設管理者・農家・自治体・その他()					
消化液貯留槽		有・無	貯留容量		m ³
<input type="checkbox"/> その他備考					
※ 消化液の成分・性状の分析データを添付してください。					

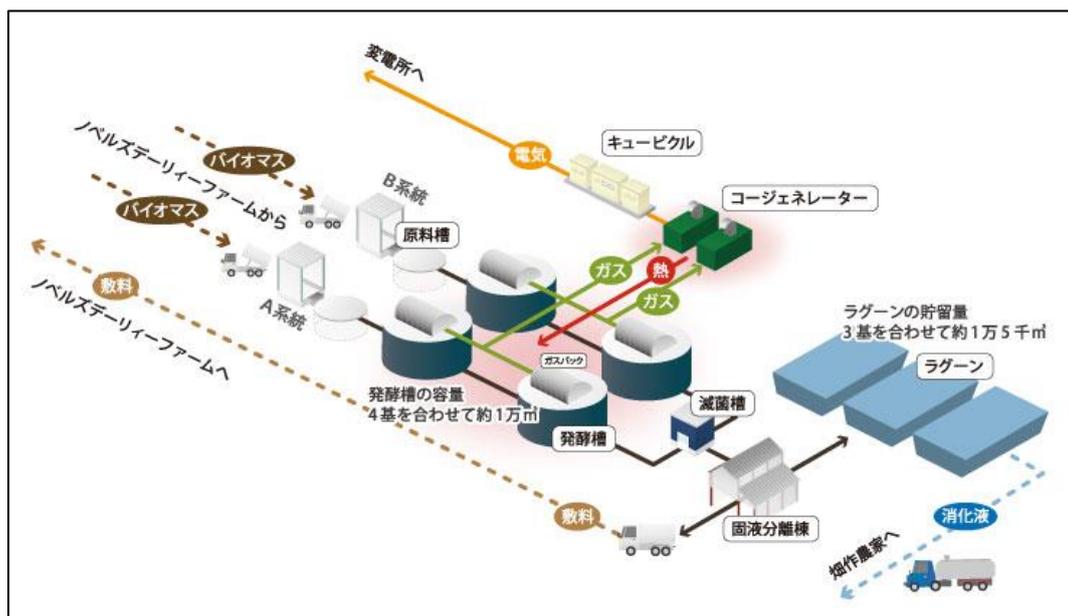
図15 ヒアリングシート

4. ヒアリング結果

ヒアリングを行った4施設のメタンガス化施設の内、4施設で現地調査、消化液のサンプリングおよび成分分析は2施設で行った。以下、ヒアリングおよび現地調査等で得られた情報、課題等を示す。なお、成分分析結果は次項に示す。

(1) 御影バイオガス発電所

御影バイオガス発電所では自社牧場から発生する乳牛ふん尿 250 t/日を原料とするメタンガス化施設である。バイオガス発電により生産したエネルギーは全量売電し、熱エネルギーは発酵槽の加温などに利用している。液肥は自社圃場と近隣農家に利用しており、運搬、散布作業は自社で行っている。散布作業のうち、自社との契約農家には割安で作業を行っている。そうすることで自社施設の運営における飼料の確保とともに、液肥利用者数が確保されている。そのため、御影バイオガス発電所では全量の液肥を散布処理している。



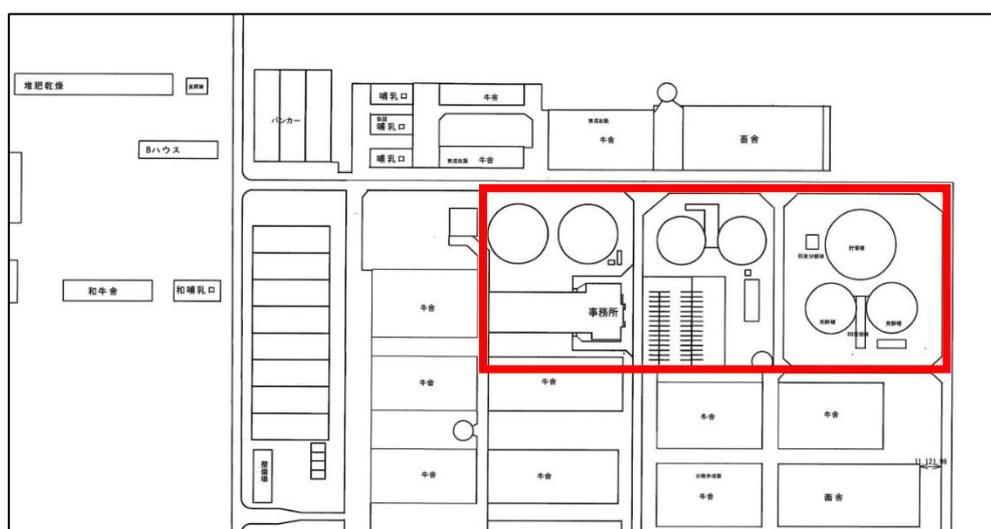
出典：御影バイオガス発電所 パンフレット

(2) サンエイ牧場

サンエイ牧場は自社牧場から発生する乳牛ふん尿 102 t/日を原料とするメタンガス化施設である。バイオガス発電により生産したエネルギーは売電し、熱エネルギーを発酵槽の加温や給湯など施設内で利用している。液肥は自社で保有する圃場と近隣農家で利用されており、運搬、散布作業は自社で行っている。

サンエイ牧場へのヒアリングから、北海道内のメタンガス化施設においても液肥散布に関する課題が挙げられた。近年では肥料の価格高騰により近隣農家からの液肥需要が増加している。しかし、燃料などの運搬費の高騰や散布作業量の増加により供給側である施設に大きな負担が生じている。

つまり、液肥の需要が増えている一方で、液肥の散布作業効率が低いことによってプラントの運営に悪影響を与えている。このことより、濃縮技術の既存プラントへの導入可能性と、北海道エリアでの普及可能性が考えられる。

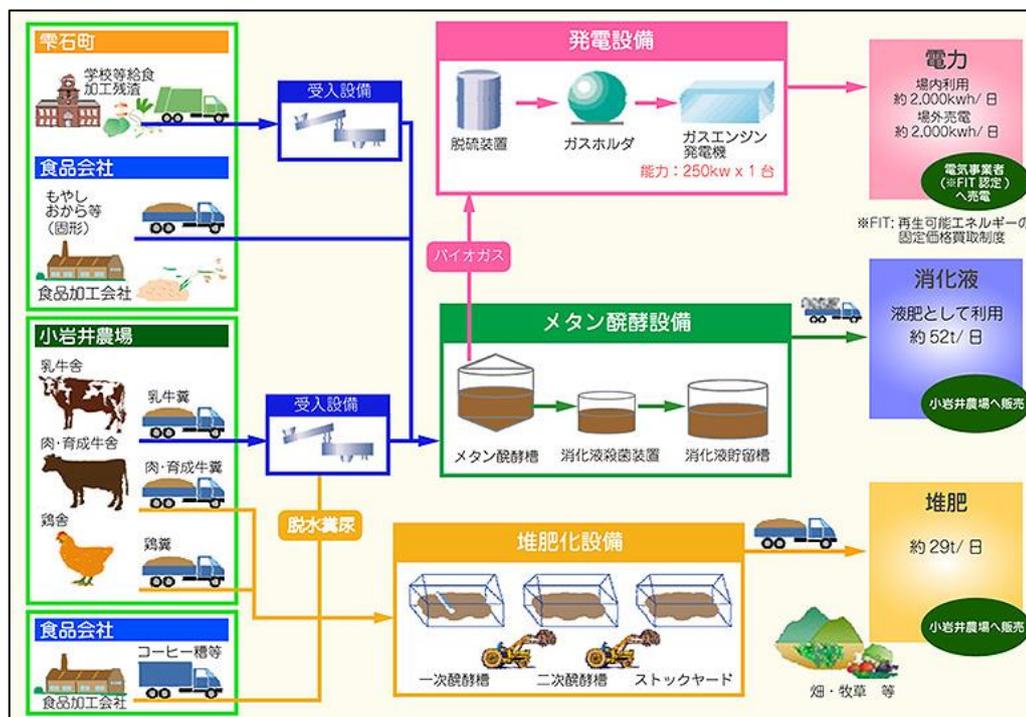


出典：サンエイ牧場 提供

(3) 株式会社バイオマスパワーしずくいし

バイオマスパワーしずくいしは隣接する小岩井農場から発生する乳牛ふん尿 56 t/日および食品残さ 38 t/日、合計 94 t/日を原料とするメタンガス化施設である。バイオガス発電により生産したエネルギーは一部を場内で利用し、一部を売電している。熱エネルギーは発酵槽の保温や原料の凍結防止などに利用している。液肥は小岩井農場に販売され、施設側では運搬までを実施しており、散布作業は小岩井農場の関連会社が実施している。

小岩井農場は原料の受入拠点であると同時に、液肥の利用者である。また、農場が施設に隣接しているため運搬距離も短く、作業の負担が少ない。また、液肥需要に関しては季節変動があるものの、施設で保有している貯留槽で調整している。そのため、施設側と液肥利用者側とで需要と供給の関係が成り立っており、液肥の全量散布処理が実施されている。

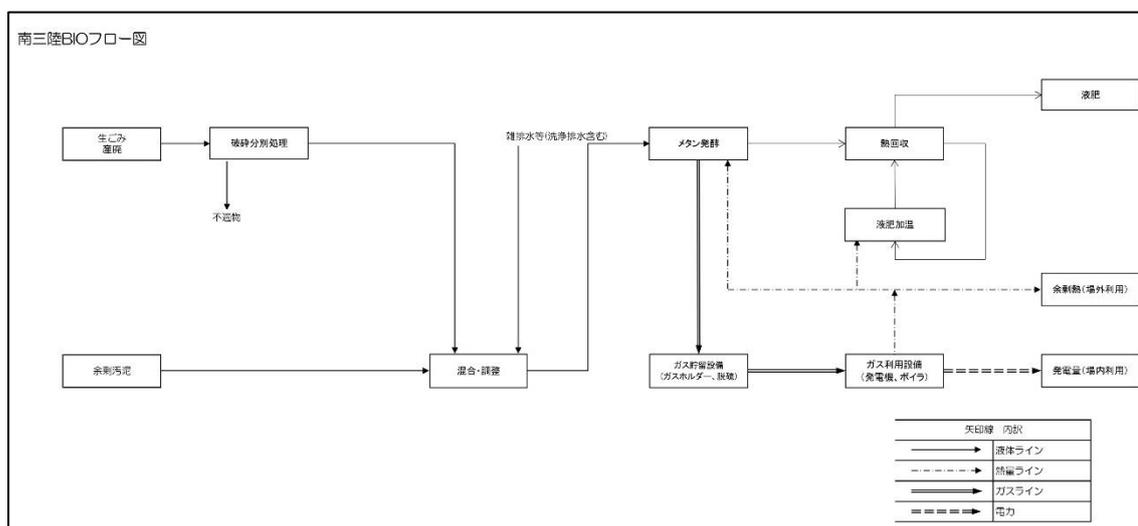


出典：バイオマスパワーしずくいし ホームページ

(4) 南三陸 BIO

南三陸 BIO は南三陸町内で発生する生ごみや余剰汚泥を原料とするメタンガス化施設である。バイオガス発電により生産したエネルギーは場内で利用し、一部を売電している。熱エネルギーは発酵槽の保温や液肥の殺菌などに利用している。液肥は近隣農家に利用されており、町内に無償の液肥タンクを設置している。液肥の運搬、地元の運送会社にて実施している。

南三陸 BIO でも液肥の全量散布処理を実施しており、肥料の高騰により液肥の利用者が増加している。液肥の利用・普及の促進において無償の液肥タンクの設置や、住民への説明会の実施などメタンガス化施設の存在が地域に広く認知されていることが影響していると考えられる。



出典：南三陸 BIO 担当者 提供

表7 メタンガス化施設のヒアリング結果まとめ

項目	単位	施設名				
		御影バイオガス発電所	サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワー しずくいし	南三陸 B10	
基本情報	事業主体	—	株式会社御影 バイオエナジー	株式会社サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワ ーしずくいし	アマタ株式会社
	住所	—	北海道清水町御影北1線 40番	北海道広尾郡大樹町字日 方5番地1	岩手県岩手郡雫石町中黒 沢川17-7	宮城県本吉郡南三陸町志津川 字下保呂毛14番地1号
	発酵方式	—	中温湿式	中温湿式	中温湿式	中温湿式
	稼働日数	日/年	365	365	365	365
	稼働時間	時間/日	24	24	24	24
	バイオガス発生量	Nm ³ /日	無回答	4,500	1,861	431
	消化液発生量	m ³ /日	無回答	130	43	13

表7 メタンガス化施設のヒアリング結果まとめ

項目	単位	施設名				
		御影バイオガス発電所	サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワー しずくいし	南三陸 B10	
基本情報	発電出力	kW	(750375×2)	300	250	25
	発電量	kWh/年	5,800,000	2,100,000	1,094,394	120,847
	建設費用	千円	1,600,000	460,000	1,000,000	32,600
	維持管理費	千円/年	無回答	5,000	12,705	無回答
	メンテナンス費・ 機器更新費	千円/年	50,000	10,000	39,802	無回答

表7 メタンガス化施設のヒアリング結果まとめ

項目	単位	施設名				
		御影バイオガス発電所	サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワー しずくいし	南三陸 B10	
原料	原料投入時の前処理方法	—	固液分離および破碎	無回答	破碎	破碎・分別（手動分別）
	原料種	—	乳牛ふん尿：90,000 t/年	乳牛ふん尿 搾乳牛：32,000 t/年 管乳牛：7,000 t/年 雑排水：7,000 t/年	乳牛ふん尿：20,515 t/年 動植物性残渣：14,023 t/年	余剰汚泥：1,512 t/年 生ごみ(家庭・事業系)： 476 t/年
排水処理設備	排水処理方式	—	該当設備無	該当設備無	該当設備無	該当設備無
	放流先	—	無	無	無	無
	放流水質	—	無	無	無	無
	排水処理可能量 (設計値)	m ³ /日	無	無	無	無

表7 メタンガス化施設のヒアリング結果まとめ

項目	単位	施設名				
		御影バイオガス発電所	サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワー しずくいし	南三陸 B10	
排水処理設備	現状の処理量	m ³ /日	無	無	無	無
	排水処理設備の建設 費用	千円	無	無	無	無
	排水処理設備の 維持管理費	千円/年	無	無	無	無
	メンテナンス費・ 機器更新費	千円/年	無	無	無	無
消化液利用状況	散布先	—	畑作農家	施設管理圃場・近隣農家	施設管理圃場	近隣農家
	散布量	m ³ /年	90,000	46,000	16,080	2,500
	散布面積	a	18,000	50,000	無回答	64

表7 メタンガス化施設のヒアリング結果まとめ

項目	単位	施設名				
		御影バイオガス発電所	サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワー しずくいし	南三陸 B10	
消化液利用状況	対象作物	—	畑作（デントコーン、牧草、野菜）	畑作	畑作（牧草・デントコーン）	畑作・水稻
	散布時期・回数	月・回/年	4月～11月	2回/年	166回/年	無回答
	散布費用	千円/年	45,000	2	0	無回答
	散布実施者	—	その他（自社散布）	施設管理者	その他（関連会社）	その他（関連会社）
	消化液貯留槽	—	有	有	有	有
	貯留容量	m ³	40,000	20,000	6,400	2,000

表7 メタンガス化施設のヒアリング結果まとめ

項目	単位	施設名				
		御影バイオガス発電所	サンエイ牧場	株式会社バイオマスパワー しずくいし	南三陸 B10	
熱利用状況	発電排熱利用有無	—	有	有	有	有
	熱利用先	—	発酵槽温度維持	発酵槽加温、施設内	発酵槽他保温	施設内、発酵槽温度維持 消化液殺菌
	発生熱量	MJ/年	無回答	無回答	無回答	無回答
	利用熱量	MJ/年	無回答	無回答	599,728	1,136

5. 消化液成分分析結果

現地調査を実施したメタンガス化施設のうち2施設で消化液をサンプリングし、分析を行った。各施設の成分の分析結果を以下の表8に示す。

また、それぞれの消化液について、本技術で濃縮した場合の濃縮液の想定される性状についても示す。なお、濃縮液のTSが100,000 mg/Lを上限とし算出した濃縮倍率によって濃縮された成分とする。

表8 施設ごとの消化液の性状および

項目	単位	御影バイオガス発電所		サンエイ牧場	
		消化液	濃縮液	消化液	濃縮液
濃縮倍率	—	—	1.52	—	2.30
TS	mg/L	65,585	100,000	43,510	100,000
NH ₄ -N	mg/L	3,200	4,864	2,300	5,290
T-P	mg/L	820	1,246	430	989
K	mg/L	3,700	5,624	2,500	5,750

想定される濃縮液の性状

6. 濃縮技術導入による年間のCO₂排出量と運転コストの削減効果

本事業で調査した施設の内、消化液の一部の排水処理を行っている八木バイオエコロジーセンターを対象に、濃縮技術導入によるCO₂排出量と運転コストの削減効果について試算を行い、濃縮技術の優位性の検証を行った。

(1) 検討対象施設

八木バイオエコロジーセンター

(2) 現状の処理状況

八木バイオエコロジーセンターでは排出される消化液の内、約70%を占める45m³/日を排水処理している。現状のフローでは消化液を脱水したのち、分離液を硝化脱窒素+膜分離+凝集沈殿+オゾン処理を行い表9の水質基準で処理を行っている。

なお、濃縮処理によって得られる凝縮水は、pHを除く項目について、放流水質基準を満たしている。従って、本検討では濃縮技術の導入が可能と判断し、検討を行う。

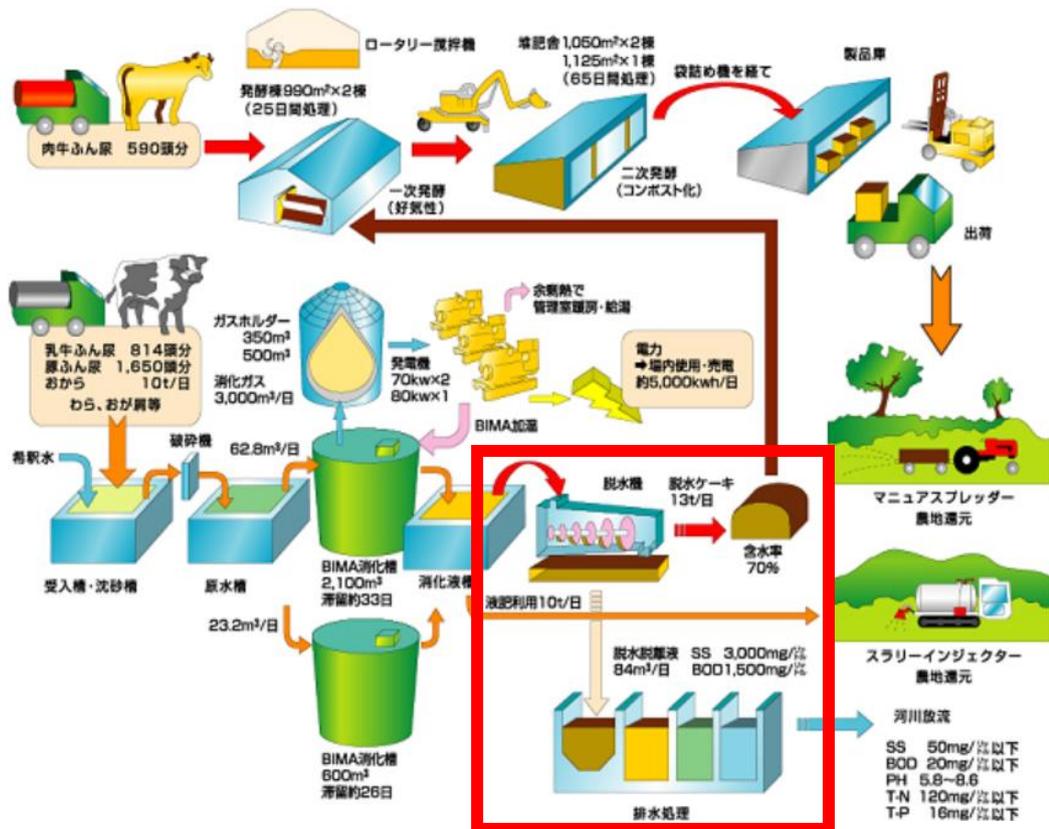


図16 八木バイオエコロジーセンターのシステムフロー
赤枠が排水処理の範囲を示す

表9 八木バイオエコロジーセンターの放流水質基準（淀川水系）

項目	基準（許容限度）	設計値	凝縮水
pH	5.8～8.6	5.8～8.6	9.3
BOD	160(日平均 120) mg/L	20 mg/L 以下	11 mg/L
SS	200(日平均 150) mg/L	50 mg/L 以下	1.0 mg/L 未満
T-N	120(日平均 60) mg/L	120 mg/L 以下	31 mg/L
T-P	16(日平均 8) mg/L	16 mg/L 以下	10 mg/L 未満

(3) 検討条件

排水処理と濃縮処理それぞれ条件を合わせるため、以下の数値を使用して検討を行った。

1) 消化液処理量および性状

排水処理 45 m³/日、NH₄-N 3,000 mg/L とする。放流条件は表9 八木バイオエコロジーセンターの放流水質基準とする。

2) 濃縮装置の濃縮倍率

濃縮倍率は 2.4 倍で固定する。従って、濃縮液量は
45 m³/日 × 1/2.4 = 18.75 m³/日とする。

3) 運転コスト

排水処理については八木バイオエコロジーセンターの直近の一年間のデータを使用する。

- ① 電力使用量 : 605,900 kWh/年
- ② 薬品コスト : 22,300 千円/年 (凝集剤、メタノール、苛性ソーダ等)
- ③ 電力コスト : 9,700 千円/年
- ④ メンテナンスコスト : 5,400 千円/年
- ⑤ 運転コスト : ②+③+④ = 37,400 千円/年

濃縮処理については濃縮倍率を 2.4 倍で固定し、濃縮液は 45 m³/日 × 1/2.4 倍 = 18.75 m³/日生成されるものとして試算した。

- ① 電力使用量 : 745,200 kWh/年
- ② 薬品コスト : 5,000 千円/年 (硫酸、消泡剤)
- ③ 電力コスト : 12,000 千円/年
- ④ メンテナンスコスト : 6,350 千円/年
- ⑤ 濃縮液の散布経費 : 6,850 千円
- ⑤ 運転コスト : ②+③+④+⑤ = 30,200 千円/年

を使用した。化学肥料散布の面積は液肥散布（消化液処理量 45 m³ 相当）と同じ面積（328.5 ha）の圃場に散布するものとする。

- ・ 散布面積 : 328.5 ha
 - ・ CO₂ 排出量 : $328.5 \text{ ha/年} \times 54 \text{ kgCO}_2/10\text{a} \times 10^{-2} \doteq 177.4 \text{ tCO}_2/\text{年}$
- よって、化学肥料由来の CO₂ 排出量は、**177.4 tCO₂/年**と算出した。

2) 濃縮処理および濃縮液散布

濃縮処理および濃縮液散布全体での CO₂ 排出量

- ・ 電気使用での CO₂ 排出量 : 350.2 tCO₂/年
 - ・ 濃縮液の輸送・散布にかかる CO₂ 排出量 : 30.2 tCO₂/年
 - ・ 濃縮液施肥後の土壌から発生する温室効果ガス : 16.2 tCO₂/年
- ・ $350.2 \text{ tCO}_2/\text{年} + 30.2 \text{ tCO}_2/\text{年} + 16.2 \text{ tCO}_2/\text{年} = 396.6 \text{ tCO}_2/\text{年}$
- よって、排水処理設備からの CO₂ 排出量は、**396.6 tCO₂/年**と算出した。

① 電気使用での CO₂ 排出量

濃縮設備で動力を使用する主な機器は、ポンプ類、ヒートポンプ、攪拌機、であり、設計条件より消費電力量は 74,520 kWh/年と算出された。電力係数は、本事業の公募資料で提示された 0.470 tCO₂/MWh を使用する。

$$\cdot 745,200 \text{ kWh/日} \times 0.470 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \times 10^{-3} \doteq 350.2 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、排水処理設備の電気使用での CO₂ 排出量は、**350.2 tCO₂/年**と算出した。

② 濃縮液の輸送・散布にかかる CO₂ 排出量

液肥の輸送・散布は、0.1 ha の圃場に 5.0 t の液肥を施用し、メタンガス化施設に戻る行程を 1 回の散布とする。この条件をベースに 2.4 倍濃縮を行った場合、液量や肥料成分が 2.4 倍に濃縮されていると考えると、液肥と比較して散布回数は 1/2.4 とすることができる。

輸送に利用するバキューム車、2t トラックの燃料消費量は、それぞれ 5.5 km/L、7.0 km/L、液肥散布車の燃料使用量は 18 L/ha とする（中村 2011）。メタンガス化施設から散布圃場までの平均直線距離は 5 km とし、平均道路距離への換算は森田ら（2014）が全国 112 都市における道路距離を直線距離で算出した係数 1.3035 を使用する。

使用燃料は軽油であり、環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」から排出係数は 2.58 kCO₂/L を用いて試算を行う。

① 消化液発生量

$$\cdot 45 \text{ t/日} \times 365 \text{ 日/年} = 16,425 \text{ t/年}$$

② 1年間で液肥の散布に必要な圃場面積

$$\cdot 16,425 \text{ t/年} \div 5.0 \text{ t/0.1 ha} \times 10^{-1} = 328.5 \text{ ha}$$

③ 散布回数

$$\cdot 328.5 \text{ ha/年} \div 0.1 \text{ ha/回} \div 2.4 \div 1,369 \text{ 回/年}$$

④ 圃場・施設間の平均移動距離

$$\cdot 5 \text{ km} \times 1.3035 \times 2 \text{ 回} = 13.035 \text{ km/回}$$

2) 濃縮液の輸送・散布に係る CO₂ 排出量

① 燃料使用量

$$\cdot \text{バキューム車} : 13.035 \text{ km/回} \div 5.5 \text{ km/L} \times 1,369 \text{ 回/年} \div 1,369 \text{ L/年}$$

$$\cdot 2 \text{ tトラック} : 13.035 \text{ km/回} \div 7.0 \text{ km/L} \times 1,369 \text{ 回/年} \div 1,369 \text{ L/年}$$

$$\cdot \text{液肥散布車} : 328.5 \text{ ha/年} \times 18 \text{ L/ha} = 5,913 \text{ L/年}$$

② CO₂ 排出量

$$\cdot \text{バキューム車} : 3,248 \text{ L/年} \times 2.58 \text{ kCO}_2/\text{L} \div 1,369 \text{ L/年} = 8,379.8 \text{ kCO}_2/\text{年}$$

$$\cdot 2 \text{ tトラック} : 2,552 \text{ L/年} \times 2.58 \text{ kCO}_2/\text{L} \div 1,369 \text{ L/年} = 6584.2 \text{ kCO}_2/\text{年}$$

$$\cdot \text{液肥散布車} : 5,913 \text{ L/年} \times 2.58 \text{ kCO}_2/\text{L} = 15,255.5 \text{ kCO}_2/\text{年}$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{合計} & : 8,379.8 \text{ kCO}_2/\text{年} + 6584.2 \text{ kCO}_2/\text{年} + 15,255.5 \text{ kCO}_2/\text{年} \\ & = 30,219.5 \text{ kCO}_2/\text{年} \div 1,369 \text{ L/年} = 30.2 \text{ tCO}_2/\text{年} \end{aligned}$$

よって、濃縮液散布に係る CO₂ 排出量は、**30.2 tCO₂/年**と算出した。

③ 濃縮液施肥後の土壌から発生する温室効果ガス

消化液へ硫酸を添加することにより、消化液中に含まれるアンモニア態窒素は硫酸アンモニウム（硫安）へ変化する。硫安は非揮発性の物質であるが、一部は窒素の硝化過程に N₂O として大気中に揮散する。

濃縮液に含まれる窒素の内、N₂O として大気中に揮散する割合は、消化液施肥の先行研究において示された値 0.11% を使用し、算出した（中村 2011）。また、引用した値は、無施肥区（対照区）での N₂O を差し引いた正味の発生量である。

① 濃縮液散布量

$$16,425 \text{ t/年} \times 1/2.4 \text{ 倍} \div 1,369 \text{ L/年} = 6,843.75 \text{ t/年}$$

② 濃縮液中の窒素量

$$\cdot 3,000 \text{ mg-N/L} \times 2.4 \text{ 倍} \div 1,369 \text{ L/年} = 7,200 \text{ mg-N/L}$$

$$\cdot 6,843.75 \text{ t/年} \times 7,200 \text{ mg-N/L} \times 10^{-6} \div 1,369 \text{ L/年} = 49.3 \text{ tN/年}$$

③ 土壌からの N₂O 発生量

$$49.3 \text{ tN/年} \times 0.11\% \cong 0.05423 \text{ tN}_2\text{O/年}$$

④ CO₂ 排出量

$$0.05423 \text{ tN}_2\text{O/年} \times 298 \text{ tCO}_2/\text{tN}_2\text{O} \cong 16.2 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、消化液施肥後に土壌から揮散する CO₂ 排出量は、16.2 tCO₂/年と算出した。

(4) CO₂ 排出量の削減効果

現状の排水処理施設、消化液の濃縮および散布に切り替えた場合のCO₂排出量の比較を以下にまとめる。

・排水処理施設（現状の処理方式）	: 525.3 tCO ₂ /年
・濃縮処理および濃縮液散布	: 396.6 tCO ₂ /年
・CO ₂ 排出量の削減	: 525.3 tCO ₂ /年 - 396.6 tCO ₂ /年 = 128.7 tCO ₂ /年

以上より、濃縮処理および濃縮液散布に切り替えた場合128.7 tCO₂/年のCO₂削減効果となる。

(5) 運転コストの削減効果

現状の排水処理施設、消化液の濃縮および散布に切り替えた場合の運転コストの比較を以下にまとめる。

・排水処理施設（現状の処理方式）	: 37,400千円/年
・濃縮処理および濃縮液散布	: 30,200千円/年
・運転コストの削減	: 37,400千円/年 - 30,200千円/年 = 7,200千円/年

以上より、濃縮処理および濃縮液散布に切り替えた場合7,200千円/年の運転コスト削減効果となる。

第4章 消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証

1. ポット試験計画

(1) 目的

試験圃場で作物に対して消化液および濃縮液を与え栽培を行うことにより、植害の有無および育成への影響（肥効）を調査することを目的とする。試験は八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液を用い、コマツナの栽培を行う。

消化液に含まれる栄養塩の濃度は低いが、濃縮液では全ての塩濃度が上昇する。このため濃縮液を用いて野菜を栽培した後、跡地土壌の塩集積が、次作の生育に影響しないような肥培管理が求められる。この点に留意して栽培種を選び、施肥と灌水を計画することが必要となる。

(2) コマツナ *Brassica napa L.* を用いたポット試験

1) 土壌

京都市左京区の比叡山山麓にある修学院離宮内の林ノ脇圃場の土壌を使用した。林ノ脇圃場はかつて水田だったが、水田耕作が放棄された後、樹木が再生し、その下で生成した土壌である。土壌の化学的性質を以下の図17に示す。

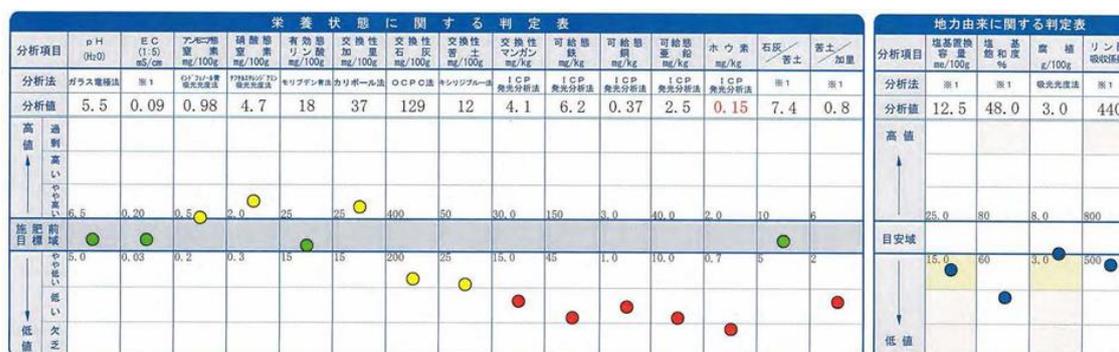


図17 ポット試験に使用した土壌の計量証明書

2) 施用肥料

①消化液

八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液である。窒素、リン、加里など肥料成分を含むが含水率が高いため、多量に施用すると土壤にぬかるみが生じ作業性が悪化する。消化液の成分分析データを以下表 10 に示す。

②濃縮液

消化液を濃縮技術により約 3.0 倍濃縮したものである。消化液に含まれるアンモニア性窒素の揮散を防ぐため、前処理として硫酸を添加することで重炭酸イオンを硫酸イオンに置換して硫酸アンモニウムとしている。試験に使用した濃縮液の成分分析を以下表 10 に示す。

③化成肥料

試験に使用した化成肥料は以下の通り。

a. 高度化成肥料 14-14-14

肥料成分

窒素 : 14%

リン酸 : 14%

加里 : 14%

窒素主形態

アンモニア態

b. 土壤改良剤 苦土石灰

c. 微量元素剤 ミネラックス

肥料成分

窒素 : 1%

リン酸 : 2%

苦土 : 1.5%

マンガン : 3.5%

ホウ素 : 0.5%

鉄 : 2.7%

銅 : 0.75%

亜鉛 : 3.35%

モリブデン : 0.026%

表 10 消化液および濃縮液の成分分析結果

分析項目	単位	消化液	濃縮液
pH	—	8.1	5.4
NH ₄ -N	mg/L	1,700	4,300
TKN	mg/L	2,500	6,000
硫酸アンモニウム	mg/L	57	20,000
T-P	mg/L	260	530
K	mg/kg	1,400	5,400
カルシウム	mg/kg	330	1,400
銅	mg/kg	1.3	4.8
亜鉛	mg/kg	5.3	21
カドミウム	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満
ヒ素	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満
ニッケル	mg/kg	0.1 未満	0.4
鉛	mg/kg	0.1 未満	0.1 未満
クロム	mg/kg	0.1 未満	0.3
水銀	mg/kg	0.01 未満	0.02
マグネシウム	mg/kg	140	540
ナトリウム	mg/kg	380	1,600
tVFA	mg/L	200 未満	300
EC	mS/m	1,500	3,100

3) ポットサイズ

容量 1 L、直径 11 cm × 深さ 10 cm

4) 試験区画

合計 45 区画 (処理区 15 区画 × 3 反復)

5) 処理区

- ① 無窒素対照区
- ② 化成肥料 (アンモニア態窒素 50 mg)
- ③ 化成肥料 (アンモニア態窒素 100 mg)
- ④ 化成肥料 (アンモニア態窒素 150 mg)
- ⑤ 化成肥料 (アンモニア態窒素 200 mg)

- ⑥ 消化液 (アンモニア態窒素 50 mg)
- ⑦ 消化液 (アンモニア態窒素 100 mg)
- ⑧ 消化液 (アンモニア態窒素 150 mg)
- ⑨ 消化液 (アンモニア態窒素 200 mg)
- ⑩ 濃縮液 (アンモニア態窒素 50 mg)
- ⑪ 濃縮液 (アンモニア態窒素 100 mg)
- ⑫ 濃縮液 (アンモニア態窒素 150 mg)
- ⑬ 濃縮液 (アンモニア態窒素 200 mg)
- ⑭ 消化液+化成肥料 (アンモニア態窒素 75 mg + 75 mg)
- ⑮ 濃縮液+化成肥料 (アンモニア態窒素 75 mg + 75 mg)

6) 分析

① 新鮮重量

コマツナ地上部を収穫し新鮮重量を測定する。

② 乾物重量

コマツナ地上部を収穫し乾燥器 (70℃) で恒量まで乾燥させ、乾物重量を測定する。

③ 電気伝導率と pH

栽培後の土壌を風乾し、コマツナの根を除きフルイにかけ土壌試料とする。土壌試料と水の比が 1 : 5 となるようにし、1 : 5 水抽出する。抽出液上清の pH を pH 電極、電気伝導度を EC メーターで測定する。

7) 試験方法

ポットに風乾した土壌を 800 g 充填し、pH 調整のため苦土石灰 0.8 g とミネラルックス 0.4 g を与えたポットを 45 個用意した。

消化液の施用上限量であるアンモニア態窒素 200 mg を窒素施用量の上限とした。そして、アンモニア態窒素で 200 mg、150 mg、100 mg、50 mg の 4 水準を化成肥料 (処理区②~⑤)、消化液、濃縮液で施用をした。

(8) 結果

1) 消化液の液量と作業性

図18に消化液を施用時の様子を示す。処理区⑧(アンモニア態窒素 150 mg)、処理区⑨(アンモニア態窒素 200 mg)では、消化液中のアンモニア態窒素の濃度が低いため、ポットに対して多量の消化液を施肥する必要があった。そのため土壌が過湿状態になり、ポットに再充填するには丁寧な混和作業が必要であった。濃縮液区では液量が半分以下であるため、このような作業性の低下なく施用することが可能であった。



図18 消化液施用の様子

ポットの土を平パッドにあけ、所定量の消化液を混ぜる(写真左)

十分に混和し、消化液を含む土壌をポットに再充填する(写真右)

2) 発芽性と初期育成

播種後8日目の発芽状況の様子を図19に示す。図19の通り化成肥料区、消化液区、濃縮液区、化成肥料+消化液区、化成肥料+濃縮液区、いずれの処理区でも10~12/ポットが発芽しており、資材の種類や施肥量による発芽率の違いはなく、濃縮液施用による発芽への影響はないことが明らかである。



図19 播種後8日目の発芽状況の様子

3) 育成量および地上部新鮮重と乾物量

図20、図21に収穫時のコマツナの様子を示す。図22に各処理区のコマツナの新鮮重、図23に乾物重のグラフを示す。図22、図23の通り、育成量を示す新鮮重、乾物重は消化液区が最も高く、次いで濃縮液区、化成肥料区、無窒素区であった。濃縮液は化成肥料および無施肥よりも生育量が高く、濃縮液の肥料成分としての有効であることは明らかであったが、本事業のポット試験では、消化液区よりも生育が劣った。



図20 収穫時のコマツナの様子①

左から無窒素対照区、化成肥料区、消化液区、濃縮液区
数字はアンモニア窒素の濃度を示す



図21 収穫時のコマツナの様子②

左から無窒素対照区、濃縮液区
数字はアンモニア窒素の濃度を示す

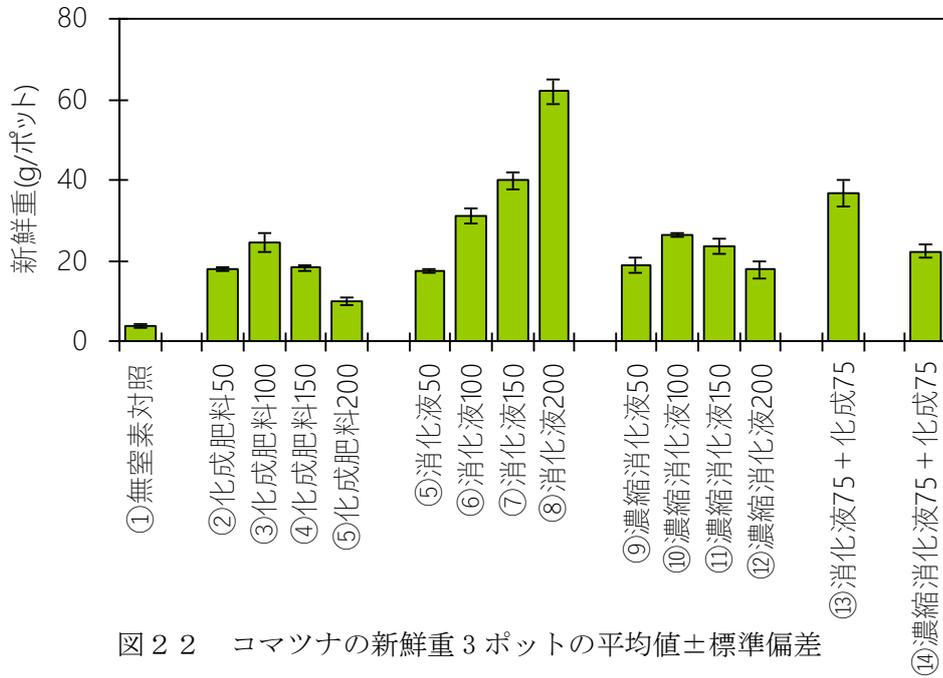


図 2.2 コマツナの新鮮重 3 ポットの平均値±標準偏差
 処理区の数値はポットあたりのアンモニア態窒素の施用量を示す

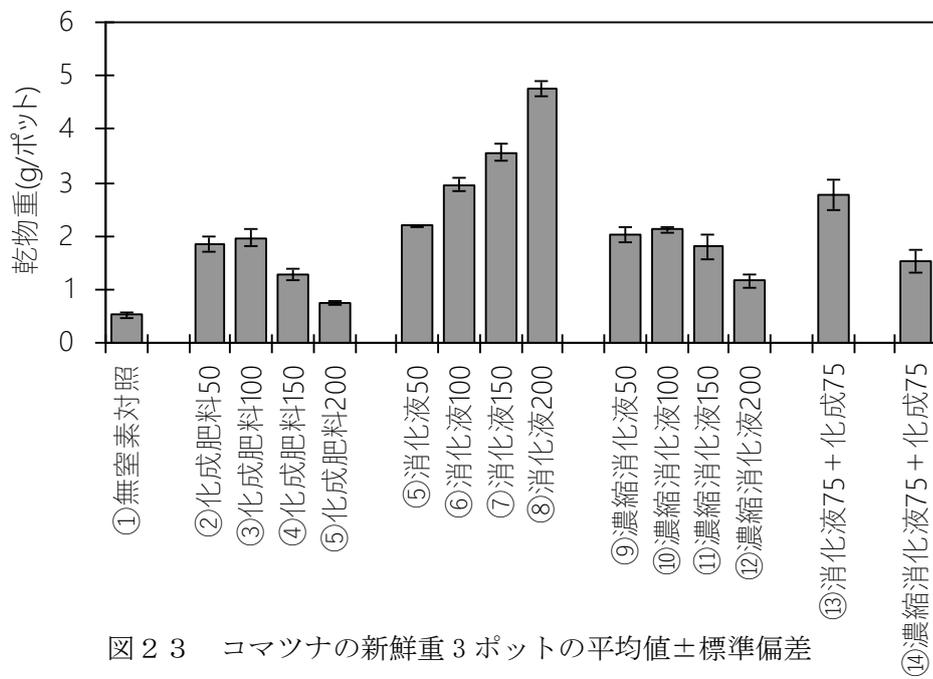


図 2.3 コマツナの新鮮重 3 ポットの平均値±標準偏差
 処理区の数値はポットあたりのアンモニア態窒素の施用量を示す

4) 栽培跡地土壌 pH

図 2 4 に栽培後のポットの土壌（栽培跡地土壌）の pH のデータを示す。図 2 4 の通り、栽培跡地土壌の pH は化成肥料区と濃縮液区で、消化液区より低かった。この傾向はアンモニア態窒素施用量が 100 mg/L 以上で特に顕著であり、消化液区で pH6.5 に対し、化成肥料区と濃縮液区では 5.5~6.0 に低下していた。図 1 7 計量証明書の通り、ポット試験に使用した土壌に含まれる石灰や苦土が少ないことに加えて、pH5.5 と低かった。表 1 0 の成分分析結果の通り消化液は pH8.1 で弱アルカリ性かつ緩衝能をもつ重炭酸イオン (HCO_3^-) が多く含まれていたこと、一方で濃縮液は pH5.4 で弱酸性かつ重炭酸イオンといった緩衝能をもつイオンが含まれていないことにより跡地土壌の pH の差が生まれたと考えられる。このような緩衝能作用をもたない硫酸塩リン酸塩主体の化成肥料においても同様の傾向が見られた。

コマツナは酸性の土壌でも育成が可能であるが、pH6.0~6.5 の土壌を特に好む傾向にあり、消化液区と濃縮液区および化成肥料区において育成量（新鮮重、乾物重）に差がでたことが考えられる。

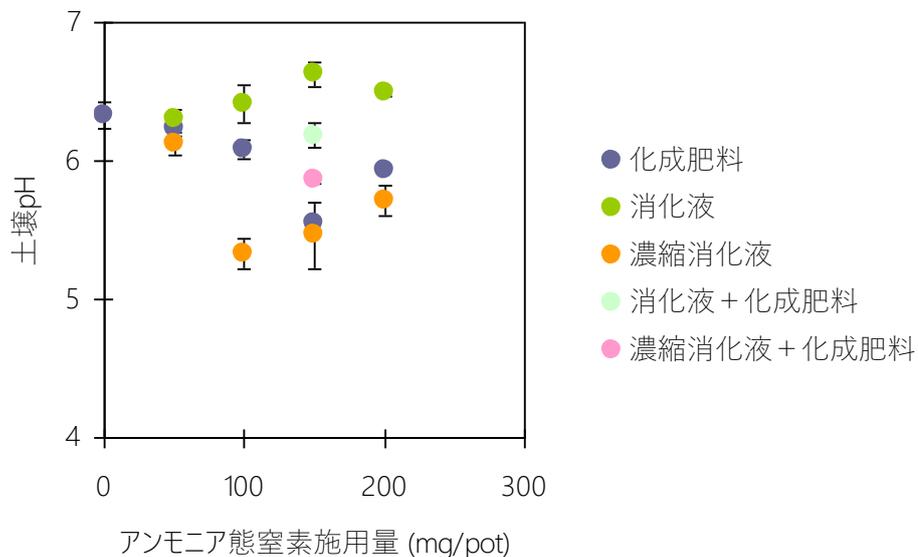


図 2 4 栽培跡地土壌の pH

1 : 5 水抽出の pH。3 ポットの平均値 ± 標準偏差

5) 栽培跡地土壌の EC（電気伝導度）

図 2 5 に栽培後のポットの土壌（栽培跡地土壌）の EC（電気伝導度）のデータを示す。土壌中の電気伝導度は土壌中のイオンの濃度を示す指標となるが、その数値が高いほど、窒素等の肥料成分が植物に吸収されず残留していることを示す。

図 2 5 の通り、栽培跡地土壌の EC は化成肥料区と濃縮液区で、資材の施用量に応じて上昇した。化成肥料や濃縮液に含まれる塩化物イオン、硫酸イオンが多く含まれていたことに加え、土壌 pH が低かったことによって、コマツナの生育が抑制されたために未使用の硝酸イオンが高濃度で土壌に蓄積したことの影響が大きいと考えられる。

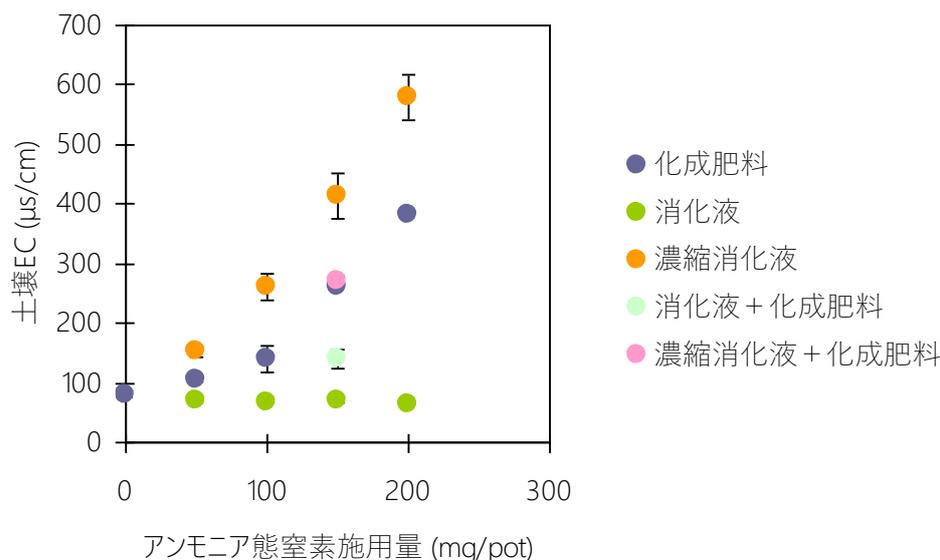


図 2 5 栽培跡地土壌の EC
1 : 5 水抽出の EC。3 ポットの平均値 ± 標準偏差

6) 考察

以上の試験結果から、濃縮液での生育が化成肥料と同等であったこと、消化液での生育が濃縮液区、化成肥料区に優れたことの原因について、今回用いた試験土壌の特殊性に可能性があると考えた。土壌の特殊性とは長い間の耕作放棄地で、土壌の石灰と苦土が少なく、pH が低かったことである。そこに重炭酸イオン (HCO_3^-) を多量に含む消化液を与えたところ、消化液が緩衝能を発揮し、コマツナの生育に適した pH6.0~6.5 程度を示した。

一方で、そのような作用を持たない硫酸塩リン酸塩主体の化成肥料や濃縮液では緩衝能を発揮できず、コマツナの生育に適した pH 域から外れてしまい、消化液よりも生育が劣ったのではないかと考える。

以上の考察を裏付けるため、今回の試験とは異なる土壌で次年度追加試験を行う予定である。その際、土壌に石灰と苦土を補うための土壌改良材や pH 調整剤などの併用した処理区を設けて検討を行う予定である。

2. 圃場散布試験計画

(1) 目的

水稲もしくは耕種作物の栽培を行っている圃場で散布実験を行い、散布物毎の生育状況を調査する。その際、運搬に係る時間・散布に係る時間を実測し、散布物毎の散布効率やCO₂排出量を検証することを目的とする。

日本で消化液を施肥する圃場は、一部北海道などの地域を除いて、多くの場合水稲栽培を行う水田である。そのため、水田への施肥に比べ畑地への施肥の知見は乏しく、消化液利用が進まない一つの要因となっている。

本事業では、畑作の麦および水田の水稲を用いた圃場散布試験計画の策定をし、令和4年度および令和5年度に圃場散布試験を実施する。それらの結果を基に、濃縮液利用の全国展開への戦略を検討する。

令和4年度では麦への散布試験を行う予定だったが、濃縮装置の納期遅れに伴い濃縮液の安全性評価が十分でなかったため圃場への利用を断念した。濃縮液の散布効率、麦への肥効性に関しては令和5年度に得られる消化液の効果から想定を行う。

(2) 令和4年度：麦

1) 試験場所

京都府南丹市船枝地区

2) 対象作物

小麦

3) 施用肥料

①消化液

八木バイオエコロジーセンターから排出される消化液

②化成肥料

尿素系緩効性肥料 麦コート 336

肥料成分：窒素 30%、リン酸 6%、加里 6%

4) 栽培担当者

京都農業の研究所株式会社

5) 試験区画

合計 8 区画 (処理区 4 区画×2 反復)

6) 処理区

- ① 無施肥区
- ② 化成肥料区 (慣行区)
- ③ 消化液区
- ④ 消化液 + 化成肥料区

7) 散布量

慣行施肥量 : 10.5 kg/10 a (化成肥料『麦コート 336』)

消化液散布量 : 5.3 t/10 a

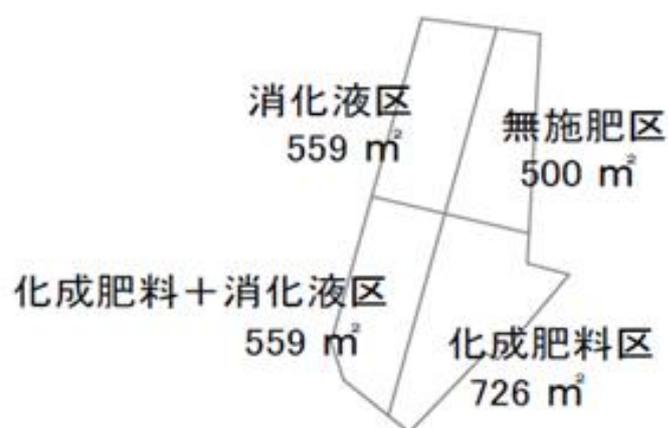


図 2 6 処理区の設定

表 1 1 処理区ごとの施肥量

番号	処理区	面積 (m ²)	資材の種類と現物施用量 (試験区あたり)	窒素施用量 (10 a あたりの窒素 kg)
①	無施肥区	500	なし	0
②	化成肥料区	722	『麦コート 366』 25.4 kg	10.5
③	化成肥料+消化液区	559	『麦コート 366』 9.8 kg + 消化液 1.47 t	5.3 + 5.3 ^a
④	消化液区	559	消化液 2.94 t	10.5 ^a

^a 消化液のアンモニア態窒素含有率は 0.2%であった。消化液の施用量は必要なアンモニア態窒素量を基に計算した。

8) 栽培方法

2022年10月26日、圃場全体に10 aあたり1 tの堆肥を散布した。11月8日に『麦コート 336』を散布し、消化液はスラリースプレッダーで散布を行った。(写真1)。11月15日にロータリー耕うん、播種した。出穂後、追肥(開花期追肥、2023年4月下旬)し、6月上旬に収穫予定である。



図27 消化液の散布の様子

9) 分析

① 収量調査

一区画の刈り取りを始める前、コンバインのグレインタンクを空にして、一区画刈り終わるとグレインタンクから軽トラに全粒を移す。一区画ごとに軽トラの積載重量を測定し、該当処理区の収量とする。

② 収量構成要素

各処理区から代表的な10株程度を選定し、収量構成要素を分析する。

(4) 令和5年度：水稻

1) 試験場所

京都府南丹市の新八ヶ坪圃場

2) 試験区画

合計8区画（処理区4区画×2反復）

3) 処理区

- ① 無施肥区
- ② 化学肥料区（慣行区）
- ③ 消化液区
- ④ 濃縮液区

4) 散布量

消化液散布量：4 t/10 a

濃縮液散布量：アンモニア態窒素が消化液4 t/10 aに相当する量

5) 分析

① 収量調査

一区画の刈り取りを始める前、コンバインのグレインタンクを空にして、一区画刈り終わるとグレインタンクから軽トラに全粒を移す。一区画ごとに軽トラの積載重量を測定し、該当処理区の収量とする。

② 収量構成要素

各処理区から代表的な10株程度を選定し、収量構成要素を分析する。

③ 食味分析

全粒から5 kg程度をネット袋に採取し、各処理区の籾を収穫する。籾をブルーシート上で乾燥させ、脱ぶして玄米として分析を行う。

3. 濃縮液散布方法

(1) 目的

濃縮液は消化液と比べ固形物の濃度が高く、粘度が高くなるため、散布機が目詰まりなどのトラブルが発生する可能性がある。また、含まれる肥料成分の濃度も消化液と比較して濃縮倍率に応じて増加していることから、農地への散布量を調整するために、時間当たりの吐出量を少なくする必要がある。令和5年度では濃縮液の圃場散布試験を実施する予定で、本事業ではその圃場散布試験に向けて最適な散布装置の条件等の検証を行う。

(2) 濃縮液散布試験

1) 試験場所

京都府南丹市 八木バイオエコロジーセンター

2) 散布装置

① スラリースプレッダー（八木バイオエコロジーセンター）



図29 八木バイオエコロジーセンターで
消化液散布に使用されているスラリースプレッダー

② 散布部

従来消化液散布に使用している八木バイオエコロジーセンターの散布部の形状を図30に、本事業で作成した散布部の形状を図31に示す。

濃縮液は消化液と比べて含まれる肥料成分の濃度が高いため、散布に必要な量は1/2から1/3程度で済む。そのため、従来消化液の散布で使用されている

スラリースプレッダーで散布を行うためには散布部の塩化ビニールパイプの口径を小さくして、バルブの開度を調整し流量を調整する必要がある。また流量が少ない状況下においても均等に散布できるように散布穴の口径やその間隔も検討を行い、その条件における流量の相関性を確認する必要がある。

従来品と本事業で製作した散布部仕様を以下の表 1 2 にまとめた。

表 1 2 従来品と本事業で制作した散布部の仕様

項目	従来品	製作品（本事業で製作）
散布幅	4.0 m	4.0 m
散布部口径	塩化ビニールパイプ 75A	塩化ビニールパイプ 50A
散布穴径	20 mm	10 mm
散布穴間隔	100 mm	100 mm
穴数	40 個	40 個



図 3 0 従来の散布部の形状



図 3 1 本事業で作成したの散布部の形状

3) 使用した消化液および濃縮液

八木バイオエコロジーセンターの消化液を濃縮し生成したものを使用した。

4) 試験方法

本事業で作成した図 3 1 の製作品の散布部を八木バイオエコロジーセンターで消化液を散布しているスラリースプレッダーに取り付けて行う。

図 3 2 本事業の散布部のイメージ図の通り、予め開度調整用のバルブを操作し、開度を設定しておく。開度はバルブの回転数（操作量）を基準とする。次にトラックスケールで初期の液量（重量）を計測する。その後スラリースプレッダーの元バルブ（電動式）を操作し散布を開始する。なお、元バルブの開閉に 17 秒程時間を要し、その開閉動作の途中は正確な流量の計測ができないため、完全に開閉した状態から時間の計測を始める。15 秒から 30 秒程度流出させた後、時間の計測を停止し、元バルブを操作し、開閉する。その後再びトラックスケールで散布後の液量（重量）を計測する。この操作を各バルブの開度毎に行い、開度毎の定常時流量および開閉時流量（元バルブ操作時のロス）を求めた。

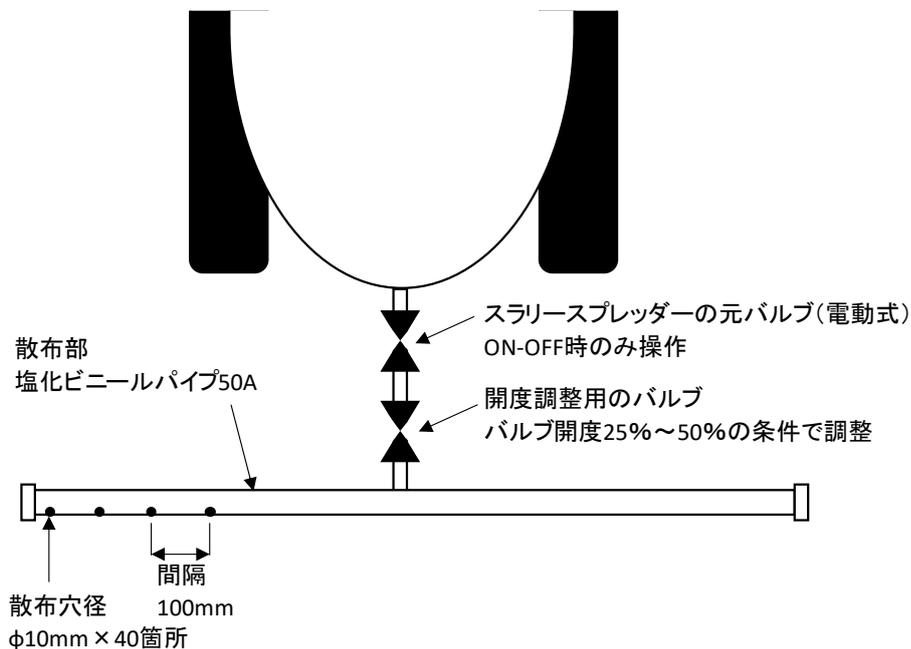


図 3 2 本事業の散布部のイメージ図

(3) 試験結果

1) 定常時流量

表 1 3、図 1 4 にバルブ回転数 (開度%) 毎の定常時流量の結果を示す。固形物濃度の高い濃縮液であっても散布穴の閉塞は見られず、バルブの開度に応じて流量が増加していることが明らかであった。

なお、バルブの開度 50% を越える条件では流量が最大で変化が無かったため、バルブの最大開度は 50% とすることとした。図 3 3 の通り、バルブの開度 (x 軸) と濃縮液の定常時流量 (y 軸) は線形関係にあり、その算定式 $y = 1.1333x + 0.3$ と求められた。

表 1 3 バルブ回転数 (開度%) 毎の定常時流量

バルブ回転数(開度%)	単位	濃縮液の定常時流量
2.5(25%)	L/sec	3.21
3.5(30%)	L/sec	5.38
4.5(40%)	L/sec	5.00
5.5(50%)	L/sec	7.14

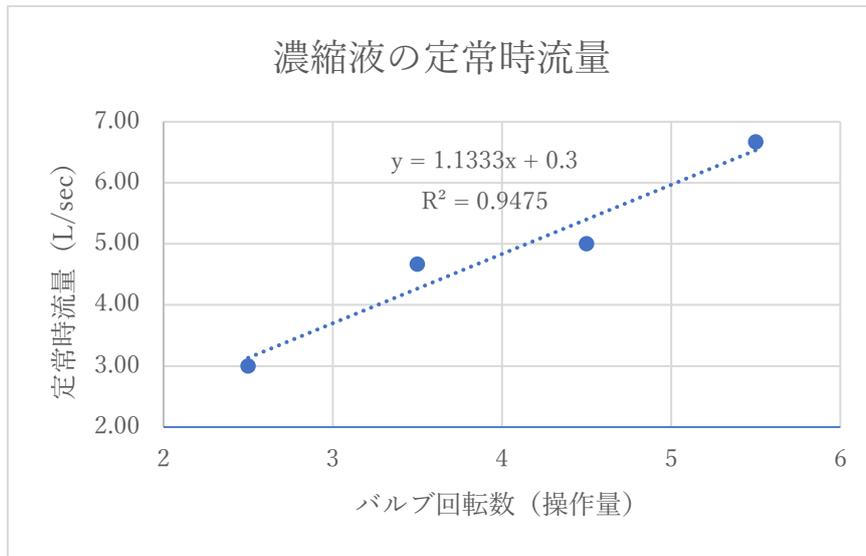


図 3 3 バルブ回転数 (操作量) 毎の定常時流量

2) 開閉時流量

表 1 4 および図 3 4 にバルブ回転数 (開度%) 毎の開閉時流量 (元バルブ操作時のロス) の結果を示す。開閉時流量とは、図 1 4 の電動式の元バルブの開閉時の流量が安定していない状態で流出した量を示す。流量が安定していない状態で濃縮液を散布した場合、散布のムラができることから、ロス分として計上する必要があり、その量は少なければ少ないほどロスが少なく効率が良い。

図 3 4 の通りバルブの開度 (x 軸) と濃縮液の開閉時流量 (y 軸) は線形関係にあり、その算定式【 $y=11.5x + 40.25$ 】と求められた。

表 1 4 濃縮液の開閉時流量

バルブ回転数(開度%)	単位	濃縮液の開閉時流量
2.5(25%)	L	80
3.5(30%)	L	75
4.5(40%)	L	70
5.5(50%)	L	120

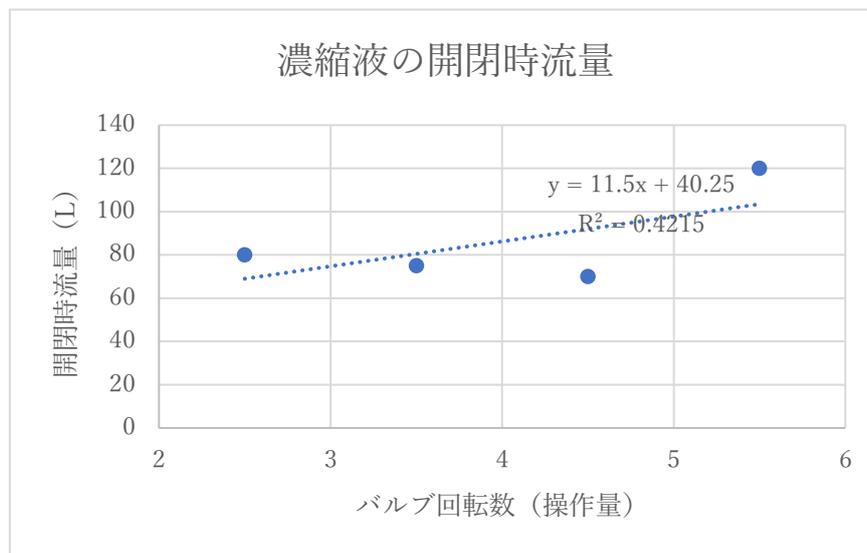


図 3 4 濃縮液の開閉時流量

(4) 令和 5 年度圃場散布試験に使用するスラリースプレッダーの条件

表 1 5 に八木バイオエコロジーセンターで使用しているスラリースプレッダーの仕様を示す。また、表 1 6 に令和 5 年度に実施する圃場散布試験の消化液および 3.0 倍濃縮としたときの濃縮液の圃場の散布量を示す。本事業の結果から令和 5 年度に実施する圃場散布試験でのスラリースプレッダーの条件としてバルブ開度および開閉時流量を求め、散布に必要な濃縮液量を算出した。

表 1 5 スラリースプレッダーの仕様

スラリースプレッダーの走行速度	1.1 m/sec
散布幅	4.0 m
散布量	4.4 m ² /sec

表 1 6 令和 5 年度圃場散布試験の散布量

項目	消化液	濃縮液 (3.0 倍濃縮)
散布量	4.0 t/反	1.7 t/反
m ² 当たりの散布量	4.0 L/m ²	1.7 L/m ²
定常時流量	17.6 L/sec	5.72 L/sec

1) バルブ回転数

表 1 6 より、濃縮液の設定定常時流量を 5.72 L/sec とする。また、算定式【 $y=1.1333x + 0.3$ 】の定常時流量 (y L/sec) に濃縮液の設定流量を代入して、バルブの開度 (x 回転) を算出する。

$$\bullet 5.72 \text{ L/sec} = 1.1333x + 0.3$$

$$\bullet 1.1333x = 5.72 \text{ L/sec} - 0.3$$

$$\bullet x \doteq 4.8 \text{ 回転}$$

よって、圃場散布試験におけるバルブ開度は 4.8 回転 となる。

2) 開閉時流量

濃縮液散布のバルブ開度を 4.8 回転とする。また、算定式【 $y=11.5x + 40.25$ 】のバルブの開度 (x 回転) に 4.8 回転を代入して、濃縮液の開閉時流量 (y 軸) を算出する。

$$\bullet y=11.5x + 40.25$$

$$\bullet y=11.5 \times 4.8 + 40.25$$

$$\bullet y \doteq 95.5 \text{ L}$$

よって、圃場散布試験におけるロス分である開閉時流量は 95.5 L となる。

3) 濃縮液量

令和 5 年度に実施する圃場試験は約 40 a の圃場を 4 処理区×2 反復で合計 8 区画に設定する。そのため、濃縮液の散布面積は 40 a の内の 2 区画であるため 10 a となる。表 1 6 より m^2 当たりの散布量を 1.7 L/ m^2 とする。そして、散布面積に m^2 当たりの散布量乗じて試験に必要な濃縮液量を算出する。

$$\bullet 1.7 \text{ L/m}^2 \times 10 \text{ a} + 95.5 \text{ L}$$

$$\bullet 1.7 \text{ L/m}^2 \times 1,000 \text{ m}^2 + 95.5 \text{ L}$$

$$= 1,795.5 \text{ L}$$

よって、圃場散布試験に必要な濃縮液量は 1,795.5 L となる。

4. 消化液および濃縮液の利活用マニュアルの作成準備

(1) 目的

消化液および濃縮液の利活用マニュアルを作成することにより、液肥利用者である近隣農家からの理解・協力を獲得し、液肥の利用・普及を促進することを目的とする。令和4年度では令和5年度のマニュアル作成に向けて、基本方針として目的と構成を設定した。また、液肥を利用した事例収集のため、栽培試験を実施した。

(2) 構成案

構成案は以下の通りとする。

1. 目的（本書について）
2. 背景
3. 本マニュアルの構成（～目次）
3. メタン発酵消化液の液肥利用
 - 3-1. 消化液の条件
 - 3-2. 消化液の成分・特徴
4. 消化液の濃縮による利用性向上
 - 4-1. 濃縮技術について
 - 4-2. 濃縮液の成分・特徴
5. 利活用に関するマニュアル
 - 5-1. 背景
 - 5-2. 水稻（消化液・濃縮液を別々に作成）
 - 5-2-1. 消化液の場合
 - (1) 施肥設計
 - 1) 土壌診断基準、作物栄養診断基準
 - 2) 施肥基準、施肥設計
 - 3) 注意事項
 - (2) 施肥方法
 - 1) 施肥方法（灌漑、散布車）
 - 2) 散布・輸送計画の策定方法
 - 5-2-2. 濃縮液の場合
 - (1) 施肥設計
 - (2) 施肥方法
 - 5-3. 麦（消化液・濃縮液を別々に作成）

第5章 CO₂排出量削減効果

1. CO₂削減効果の検証方法

(1) 前提条件

メタンガス化施設の内、原料投入から消化液排出までの設備は同じとし、消化液処理行程での比較を行う。現状システムを消化液の排水処理を行っている場合とし、液肥利用を行う場合、濃縮技術を導入した場合での比較を行う。単純焼却については、家畜ふん尿を焼却処理することはないため、今回は比較を実施しない。

また、消化液処理・利用の想定として、メタンガス化施設における消化液排出量を50 ton/日規模とし、投入原料は家畜ふん尿と仮定する。投入原料を家畜ふん尿とする理由は、国内のメタンガス事業における市場として最も大きく、かつ、液肥として利用しやすい点からである。

(2) 対象

メタン発酵後の消化液の処理・利用に関わる以下の4つの場合についてCO₂排出量をそれぞれ試算する。

- ・ケース1：全量排水処理（排水処理および化学肥料散布）
- ・ケース2：全量液肥利用（液肥散布）
- ・ケース3：濃縮処理＋濃縮液散布（濃縮処理および濃縮液散布）
- ・ケース4：排水処理50%＋濃縮処理50%（排水処理、濃縮処理および濃縮液散布）

2. CO₂発生量の試算

(1) 排水処理

1) 処理プロセス：消化脱窒＋凝集沈殿＋ろ過・活性炭＋脱水

2) 排水処理設備全体でのCO₂排出量

生物処理工程でのCO₂排出量：70.2 tCO₂/年

電気使用でのCO₂排出量：557.5 tCO₂/年

$$\cdot 70.2 \text{ tCO}_2/\text{年} + 557.5 \text{ tCO}_2/\text{年} = 627.7 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、排水処理設備からのCO₂排出量は、627.7 tCO₂/年と算出した。

(3) 液肥散布

1) 輸送・散布条件

液肥の輸送・散布は、0.1 ha の圃場に 5.0 t の液肥を施用し、メタンガス化施設に戻る行程を 1 回の散布とする。輸送に利用するバキューム車、2t トラックの燃料消費量は、それぞれ 5.5 km/L、7.0 km/L、液肥散布車の燃料使用量は 18 L/ha とする (中村 2011)。メタンガス化施設から散布圃場までの平均直線距離は 5km とし、平均道路距離への換算は森田ら (2014) が全国 112 都市における道路距離を直線距離で算出した係数 1.3035 を使用する。

使用燃料は軽油であり、環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」から排出係数は 2.58 kCO₂/L を用いて試算を行う。

① 消化液発生量

$$\cdot 50 \text{ t/日} \times 365 \text{ 日/年} = 18,250 \text{ t/年}$$

② 1年間で液肥の散布に必要な圃場面積

$$\cdot 18,250 \text{ t/年} \div 5.0 \text{ t/0.1ha} \times 10^{-1} \doteq 365.0 \text{ ha}$$

③ 散布回数

$$\cdot 365.0 \text{ ha/年} \div 0.1 \text{ ha/回} = 3,650 \text{ 回/年}$$

④ 圃場・施設間の平均移動距離

$$\cdot 5 \text{ km} \times 1.3035 \times 2 \text{ 回} = 13.035 \text{ km/回}$$

2) 液肥の輸送・散布に係る CO₂ 排出量

① 燃料使用量

$$\cdot \text{バキューム車} : 13.035 \text{ km/回} \div 5.5 \text{ km/L} \times 3,650 \text{ 回/年} \doteq 8,651 \text{ L/年}$$

$$\cdot 2 \text{ t トラック} : 13.035 \text{ km/回} \div 7.0 \text{ km/L} \times 3,650 \text{ 回/年} \doteq 6,797 \text{ L/年}$$

$$\cdot \text{液肥散布車} : 365 \text{ ha/年} \times 18 \text{ L/ha} = 6,570 \text{ L/年}$$

② CO₂ 排出量

$$\cdot \text{バキューム車} : 8,651 \text{ L/年} \times 2.58 \text{ kCO}_2/\text{L} \doteq 22,319.6 \text{ kCO}_2/\text{年}$$

$$\cdot 2 \text{ t トラック} : 6,797 \text{ L/年} \times 2.58 \text{ kCO}_2/\text{L} \doteq 17,536.2 \text{ kCO}_2/\text{年}$$

$$\cdot \text{液肥散布車} : 6,570 \text{ L/年} \times 2.58 \text{ kCO}_2/\text{L} = 16,950.6 \text{ kCO}_2/\text{年}$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{合計} & : 22,319.6 \text{ kCO}_2/\text{年} + 17,536.2 \text{ kCO}_2/\text{年} + 16,950.6 \text{ kCO}_2/\text{年} \\ & = 56,806.4 \text{ kCO}_2/\text{年} \doteq 56.8 \text{ tCO}_2/\text{年} \end{aligned}$$

よって、液肥散布に係る CO₂ 排出量は、**56.8 tCO₂/年**と算出した。

3) 消化液施肥後の土壌から発生する温室効果ガス

消化液の土壌への施肥後、消化液に含まれる窒素成分の内、一部は硝化過程に N₂O として大気中に揮散する。

消化液に含まれる窒素の内、N₂O として大気中に揮散する割合は、消化液施肥の

先行研究において示された値 0.41% を使用し、算出した（中村 2011）。また、引用した値は、無施肥区（対照区）での N₂O を差し引いた正味の発生量である。

- ・消化液散布量 : 18,250 t/年
- ・消化液中の窒素量 : 3,000 mg-N/L
- ・N₂O 発生量 : 0.41%
- ・N₂O の地球温暖化係数 : 298 tCO₂/ tN₂O

① 消化液中の窒素量

$$18,250 \text{ t/年} \times 3,000 \text{ mg-N/L} \times 10^{-6} \doteq 54.75 \text{ tN/年}$$

② 土壌からの N₂O 発生量

$$54.75 \text{ tN/年} \times 0.41\% \doteq 0.2245 \text{ tN}_2\text{O/年}$$

③ CO₂ 排出量

$$0.2245 \text{ tN}_2\text{O/年} \times 298 \text{ tCO}_2/\text{ tN}_2\text{O} \doteq 66.9 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、消化液施肥後に土壌から揮散する CO₂ 排出量は、**66.9 tCO₂/年** と算出した。

（4）消化液の濃縮処理

1) 濃縮装置からの CO₂ 排出量の根拠

濃縮装置の導入により、消化液処理に係る電力使用量が増加する。そのため、装置導入により増加する電力量から CO₂ 排出量を算出する。電力係数は、本事業の公募資料で提示された 0.470 tCO₂/MWh を使用する。

濃縮装置に係る電力を 2,760 kWh/日とする。また、装置の稼働日数を 300 日/年として試算する。

① 消費電力量

$$\cdot 2,760 \text{ kWh/日} \times 300 \text{ 日/年} = 828,000 \text{ kWh/年}$$

② CO₂ 排出量

$$\cdot 828,000 \text{ kWh/年} \times 0.470 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \times 10^{-3} \doteq 389.2 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、濃縮処理に係る CO₂ 排出量は、**389.2 tCO₂/年** と算出した。

2) 濃縮液の輸送・散布に係る CO₂ 排出量

濃縮液は消化液に対し 2.4 倍に濃縮されており、散布に係る CO₂ 排出量も同様に削減されるものとする。

$$\cdot \text{濃縮液散布に係る CO}_2 \text{ 排出量} : 56.8 \text{ tCO}_2/\text{年} \div 2.4 = 23.7 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、液肥散布に係る CO₂ 排出量は、**23.7 tCO₂/年** と算出した。

3) 濃縮液施肥後の土壌から発生する温室効果ガス

消化液へ硫酸を添加することにより、消化液中に含まれるアンモニア態窒素は

硫酸アンモニウム（硫安）へ変化する。硫安は非揮発性の物質であるが、一部は窒素の硝化過程に N_2O として大気中に揮散する。

濃縮液に含まれる窒素の内、 N_2O として大気中に揮散する割合は、消化液施肥の先行研究において示された値 0.11% を使用し、算出した（中村 2011）。また、引用した値は、無施肥区（対照区）での N_2O を差し引いた正味の発生量である。

① 濃縮液散布量

$$18,250 \text{ t/年} \times 1/2.4 \text{ 倍} \doteq 7,604.2 \text{ t/年}$$

② 濃縮液中の窒素量

$$\cdot 3,000 \text{ mg-N/L} \times 2.4 \text{ 倍} \doteq 7,200 \text{ mg-N/L}$$

$$\cdot 7,604.2 \text{ t/年} \times 7,200 \text{ mg-N/L} \times 10^{-6} \doteq 54.75 \text{ tN/年}$$

③ 土壌からの N_2O 発生量

$$54.75 \text{ tN/年} \times 0.11\% \doteq 0.060 \text{ tN}_2\text{O/年}$$

④ CO_2 排出量

$$0.060 \text{ tN}_2\text{O/年} \times 298 \text{ tCO}_2/ \text{ tN}_2\text{O} \doteq 17.9 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

よって、消化液施肥後に土壌から揮散する CO_2 排出量は、17.9 tCO₂/年と算出した。

3. 消化液処理・利用方法別のCO₂排出量

消化液の処理・利用方法について次のケース1～4のそれぞれについてCO₂排出量を算出する。

(1) ケース1 (全量排水処理)

消化液は全量排水処理を行い、圃場には化学肥料が散布される。そのためCO₂排出量は以下ようになる。

- ・排水処理のCO₂排出量 : 627.7 tCO₂/年
- ・化学肥料由来のCO₂排出量 : 197.1 tCO₂/年
- ・合計 : 627.7 tCO₂/年 + 197.1 tCO₂/年 = 824.8 tCO₂/年

よって、全量排水処理を行う場合のCO₂排出量は、**824.8 tCO₂/年**と算出した。

(2) ケース2 (全量液肥利用)

消化液は液肥として圃場へ全量散布される。そのため、CO₂排出量は以下ようになる。

- ・液肥散布のCO₂排出量 : 56.8 tCO₂/年
- ・土壌から揮散するCO₂排出量 : 66.9 tCO₂/年
- ・合計 : 56.8 tCO₂/年 + 66.9 tCO₂/年
= 123.7 tCO₂/年

よって、全量液肥利用を行う場合のCO₂排出量は**123.7 tCO₂/年**と算出した。

(3) ケース3 (濃縮処理+濃縮液散布)

消化液は濃縮処理され、濃縮液となる。その後濃縮液は全量圃場へ散布される。そのため、CO₂排出量は以下ようになる。

- ・濃縮処理に係るCO₂排出量 : 389.2 tCO₂/年
- ・濃縮液散布に係るCO₂排出量 : 23.7 tCO₂/年
- ・土壌から揮散するCO₂排出量 : 17.9 tCO₂/年
- ・合計 : 389.2 tCO₂/年 + 23.7 tCO₂/年 + 17.9 tCO₂/年
= 430.8 tCO₂/年

よって、消化液を濃縮処理し、濃縮液を圃場へ散布する場合のCO₂排出量は、**430.8 tCO₂/年**と算出した。

(4) ケース 4 (排水処理 50%+濃縮処理 50%)

排出される消化液の内、半量の排水処理を行い、残りの半量を濃縮処理し、濃縮液の圃場散布まで行うものとする。そのため CO₂ 排出量は以下ようになる。

- ・ 排水処理の CO₂ 排出量 : 627.7 tCO₂/年 ÷ 2 ≒ 313.85 tCO₂/年
 - ・ 化学肥料由来の CO₂ 排出量 : 197.1 tCO₂/年 ÷ 2 ≒ 98.55 tCO₂/年
 - ・ 濃縮処理に係る CO₂ 排出量 : 389.2 tCO₂/年 ÷ 2 ≒ 194.6 tCO₂/年
 - ・ 濃縮液散布に係る CO₂ 排出量 : 23.7 tCO₂/年 ÷ 2 ≒ 11.85 tCO₂/年
 - ・ 土壌から揮散する CO₂ 排出量 : 17.9 tCO₂/年 ÷ 2 ≒ 8.95 tCO₂/年
- ・ 合 計 : 313.85 tCO₂/年 + 98.55 tCO₂/年 + 194.6 tCO₂/年
+ 11.85 tCO₂/年 + 8.95 tCO₂/年
= 627.8 tCO₂/年

よって、排出される消化液の内、半量の排水処理を行い、残りの半量を濃縮処理し、濃縮液の圃場散布まで行う場合の CO₂ 排出量は **627.8 tCO₂/年**と算出した。

4. CO₂排出量の削減効果

消化液の処理・利用方法ケース1～4のCO₂排出量と比較を以下にまとめる。

- ・ケース1（全量排水処理） ：824.8 tCO₂/年
- ・ケース2（全量液肥利用） ：123.7 tCO₂/年
- ・ケース3（濃縮処理＋濃縮液散布） ：430.8 tCO₂/年
- ・ケース4（排水処理50%＋濃縮処理50%） ：627.8 tCO₂/年

ケース1～4の処理・利用方法の内、CO₂排出量の小さいものから並べると、以下のようになる。

全量液肥利用 < 濃縮処理＋濃縮液散布 < 排水処理50%＋濃縮処理50% < 全量排水処理

全量排水処理を行う場合を基本に比較を行った場合、ケース2～4でのCO₂排出量の削減効果は以下のようになる。

- ・ケース2（全量液肥利用）
：824.8 tCO₂/年 － 123.7 tCO₂/年 = 701.1 tCO₂/年
- ・ケース3（濃縮処理＋濃縮液散布）
：824.8 tCO₂/年 － 430.8 tCO₂/年 = 393.9 tCO₂/年
- ・ケース4（排水処理50%＋濃縮処理50%）
：824.8 tCO₂/年 － 627.8 tCO₂/年 = 197.0 tCO₂/年

以上より、消化液をそのまま液肥として利用可能な場合のケース2「全量液肥利用」を除き、ケース3の「濃縮処理＋濃縮液散布」が最もCO₂削減効果が高くなる。

第6章 事業終了後の横展開の可能性

1. 稼働中のメタンガス化施設

2021年に国内で導入されているメタンガス化施設は245件であり、その内、原料としての家畜ふん尿の割合は40%、食品残さは20%になる。液肥利用のし易さから、本技術の稼働中のメタンガス化施設への導入は家畜ふん尿を投入している施設への導入が主となると考えられる。

稼働中のメタンガス化施設の内、家畜ふん尿を原料とする施設数は98件であり、その内5%の施設へ本技術が導入されると仮定する。よって、本技術の稼働中のメタンガス化施設への普及見込みはおよそ5件程度と想定される。

2. 新規に建設されるメタンガス化施設

国内のメタンガス化施設の導入はFIT制度開始以降増加しており、2020年12月末時点で新規認定が205件であり、年度ごとに認定施設が15~30件ほど増加している。また近年、脱炭素への取組強化による再生可能エネルギーの重要性の見直しやメタンガス化施設のレジリエンス強化への寄与が注目されており、導入を検討する事業者・自治体は増加している。このまま導入が加速すれば、日本有機資源協会等の試算では、国内のメタンガス化施設の導入件数は2021年では245件、2030年には515件（2021年度比で270件の増加）、2050年には1,415件（2021年度比で1,170件の増加）まで増加するとの見込みが報告されている。

新規で建設されるメタンガス化施設の計画に本技術は導入しやすく、新規施設の内10%が本技術を導入したとすると、2030年までで27件、2050年までで117件のメタンガス化施設へ本技術の導入が見込まれる。

また、これまでメタンガス化施設の導入計画時点で排水処理コストや液肥散布の困難さから導入を断念するケースが多くあった。そのため、本技術の普及により、メタンガス化施設の導入はさらに加速されることが考えられ、上述の導入見込みを超える導入が期待される。

第7章 全体まとめ

それぞれの課題に対する目標と成果を以下にまとめる。

表17 本年度事業の課題に対する目標と成果

課題	目標	成果
消化液濃縮技術の技術的優位性の検証	濃縮装置および周辺機器の調達、設置、運転管理	・設置および運転実施済み
	濃縮液、凝縮水の生成および成分分析	・装置の運転管理により、濃縮液、凝縮水の生成が完了し成分分析実施済み
	他の消化液処理方式とのコスト、CO ₂ 排出量の比較を行う	・排水処理施設および濃縮装置の運転コスト、CO ₂ 排出量を比較し優位性を実施済み
稼働中メタンガス化施設の状況調査	稼働中のメタンガス化施設の現地調査、消化液のサンプリングおよび成分分析	・4施設の現地調査、2施設の消化液のサンプリングおよび成分分析を実施済み
	消化液濃縮技術の導入による脱炭素効果の調査	・八木バイオエコロジーセンターを対象に運転コストおよび脱炭素効果の検証を実施済み
消化液および濃縮液の有効性・安全性の検証	濃縮液のポット試験を行い、食害の有無および生育への影響を調査する	・コマツナのポット試験実施済み
	麦の圃場で濃縮液、消化液の散布を行い、育成状況を調査する	・装置の納期遅れにより、消化液の散布のみ実施済み

第8章 検討会

本事業の検討会を下記要領で開催した。

1. 第1回検討会

(1) 開催日時

令和4年10月27日 14:00～16:00

(2) 場所

八木バイオエコロジーセンター

〒629-0103 京都府南丹市八木町諸畑千田1

(3) 出席者

1) 検討委員

所属・役職	氏名
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 資源利用研究領域 地域資源利用・管理グループ 上級研究員	中村 真人
一般財団法人 日本環境衛生センター 総局 資源循環低炭素化部 企画・再生可能エネルギー事業課	西畑 俊太郎
環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 廃棄物処理システム脱炭素係長	北垣 芳彦
環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 環境専門員	高橋 直紀

2) 実施者

所属・役職	氏名
公益財団法人八木町農業公社 事務局長	中川 悦光
公益財団法人八木町農業公社 南丹市 八木バイオエコロジーセンター 施設長	清水 由紀夫
国立大学法人 京都大学 農学研究科地域環境科学専攻 農業システム工学分野 助教 博士(農学)	大土井 克明
京都農業の研究所株式会社	間藤 徹
株式会社バイオガストラボ 代表取締役	三崎 岳郎

3) 実施協力者

所属・役職	氏名
南丹市役所 農林商工部 農業推進課 農政係 係長	中島 友弘

4) 事務局

所属・役職	氏名
シン・エナジー株式会社 資源循環部 部長	石橋 保
シン・エナジー株式会社 資源循環部	山崎 早百合

(4) 議事次第

- 1) 開会
- 2) 濃縮設備の案内
- 3) 本年度の事業経費
- 4) 実施スケジュール
- 5) 本年度の実施内容
- 6) その他
- 7) 閉会

2. 第2回検討会

(1) 開催日時

令和5年3月10日 13:00~15:00

(2) 形式

オンライン会議 (Zoom)

(3) 出席者

1) 検討委員

所属・役職	氏名
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 資源利用研究領域 地域資源利用・管理グループ 上級研究員	中村 真人
一般財団法人 日本環境衛生センター 総局 資源循環低炭素化部 企画・再生可能エネルギー事業課 技師	渡邊 明日美

2) 実施者

所属・役職	氏名
公益財団法人八木町農業公社 事務局長	中川 悦光
公益財団法人八木町農業公社 南丹市 八木バイオエコロジーセンター 施設長	清水 由紀夫
国立大学法人 京都大学 農学研究科地域環境科学専攻 農業システム工学分野 助教 博士(農学)	大土井 克明
京都農業の研究所株式会社	間藤 徹
株式会社バイオガスラボ 代表取締役	三崎 岳郎

3) 実施協力者

所属・役職	氏名
南丹市役所 農林商工部 農業推進課 農政係 係長	中島 友弘
京都府南丹農業改良普及センター	久下 一彦

4) 事務局

所属・役職	氏名
シン・エナジー株式会社 資源循環部 部長	石橋 保
シン・エナジー株式会社 資源循環部 係長	本田 岳士
シン・エナジー株式会社 資源循環部	山崎 早百合

(4) 議事次第

- 1) 開会
- 2) 令和4年度の実施内容
- 3) 次年度実施に伴う経費
- 4) 審査会コメントについて
- 5) 来年度の実施スケジュール
- 6) 本年度の経費精算
- 7) その他
- 8) 閉会

第9章 審査等委員会

環境省が実施した「令和4年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 審査等委員会」に下記要領で出席し、業務報告を行った。

(1) 開催日時

開催日 : 令和5年2月9日(木)

開催時間 : 16:00～16:30

(2) 形式

オンライン会議 (Webex)

第10章 令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO₂対策普及促進方策検討委託業務への協力

環境省が別途実施する「令和4年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO₂対策普及促進方策検討委託業務」に下記要領でオブザーバーとして出席した。また、本事業の実施内容について情報提供を行った。

1. 第1回検討会

(1) 開催日時

開催日 : 2022年10月5日(水)

開催時間 : 10:00 ~ 12:00

(2) 場所

航空会館 501・502 会議室

※ オンライン併用

2. 第2回検討会

(1) 開催日時

開催日 : 2023年1月17日(火)

開催時間 : 10:00 ~ 12:00

(2) 場所

京都リサーチパーク 西地区4号館2階 ルーム1

京都市下京区中堂寺栗田町93

※ オンライン併用

3. 第3回検討会

(1) 開催日時

開催日 : 2023年3月6日(月)

開催時間 : 10:00 ~ 12:00

(2) 場所

航空会館 501・502 会議室

※ オンライン併用

参考資料

- ・環境省（2017）温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン.
- ・環境省. 算定方法・排出係数一覧. <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>(参照 2022-01-24)
- ・農林水産省（2011）平成 22 年度 農林水産分野における「CO₂の見える化」推進事業 報告書.
- ・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. 50. 1-57.
- ・森田 匡俊・鈴木 克哉・奥貫 圭一（2014）日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究. GIS-理論と応用. 22(1). 1-7.
- ・一般社団法人 日本有機資源協会・一般社団法人 木質バイオマスエネルギー協会（2021）国産バイオマス発電の導入見通し（参照 2021-6-24）. https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/030_03_00.pdf.
- ・一般社団法人 日本ガス協会（2020）カーボンニュートラルチャレンジ 2050. (参照 2021-6-24). https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/2050_gas_jigyo/pdf/004_07_00.pdf.
- ・(財) 畜産環境整備機構（2013）メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用マニュアル.

リサイクル適正の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[A ランク]のみを用いて作製しています。