

大学発アーバンイノベーション神戸 研究成果報告書



大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe

研究課題名：耕畜食地域連携を指向した肉牛ふん尿の新規資源循環プロセスの開発

研究期間：2024年4月～2026年3月

交付決定額(研究期間全体)：12,000千円

申請区分：企業テーマ提案型
課題番号：A23202

研究代表者：神戸大学 農学研究科
助教 吉田 弦

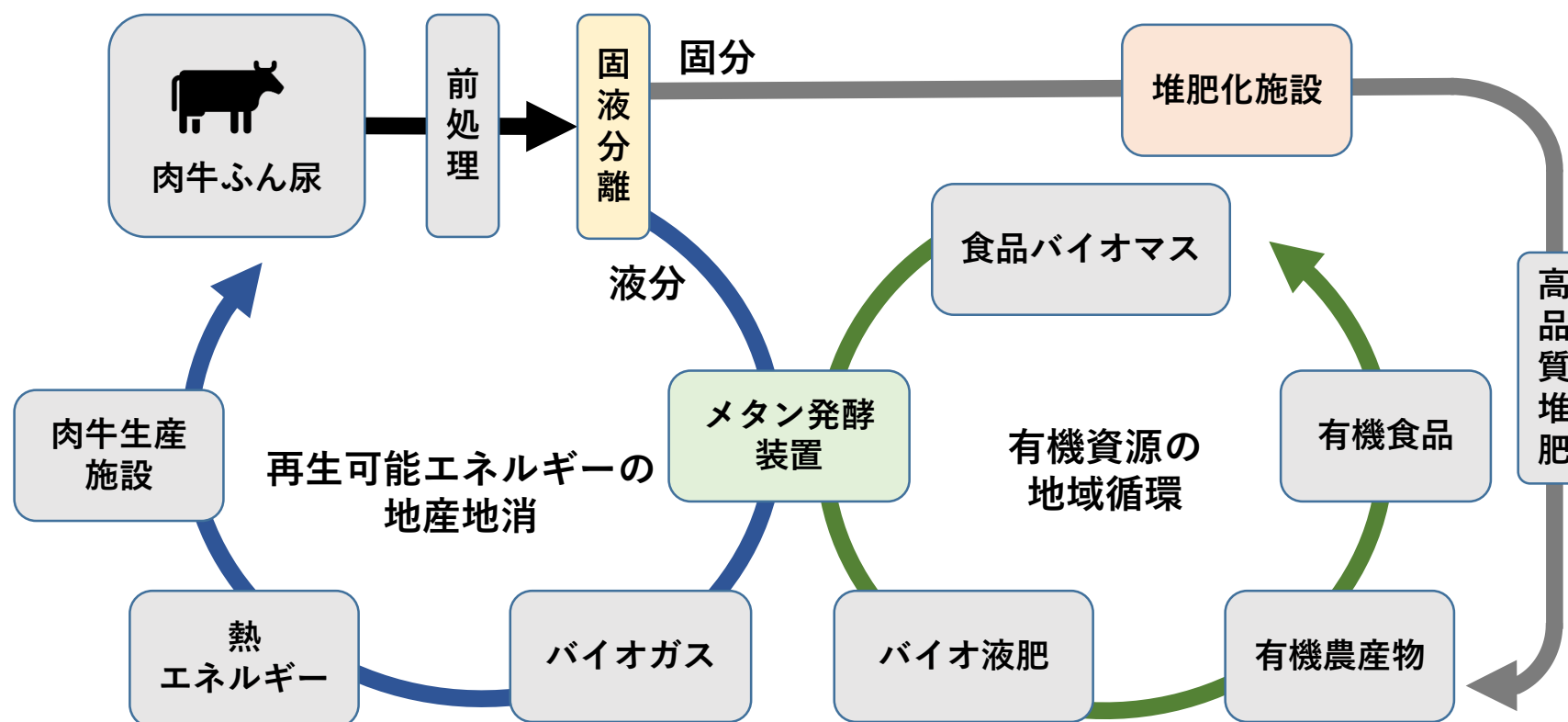
1. 研究成果の概要

本研究では固液分離を導入したメタン発酵による肉牛ふん尿の資源循環プロセス構築を目指し、スクリーブレスを用いた肉牛ふん尿の固液分離手法の開発、および肉牛ふん尿液分のバイオガスポテンシャルの評価の2点について検討を実施した。固液分離試験を実施し、肉牛ふん尿の含水率が固液分離の結果に及ぼす影響を評価した。無希釈原料では原料140 Lに対して液分は4 L分離された。2倍希釈原料では、原料383 Lに対して液分が303 L分離された。この結果から、固液分離によって液分を得るには、原料を希釈して水分割合を高くする必要があると考えられた。2倍希釈原料からスクリーブレス機によって、原料中の水分の71%が液分へ分離された。分離された液分のVS（揮発性固形物）濃度は3.57%であり、液分へのVS移行割合は14%であった。

液分を投入原料としたメタン発酵バッチ試験を実施し、バイオガス収率および処理速度について評価を行った。分離液分の最大バイオガス収率は、未分離原量の約78 %となった。分離液分の最大バイオガス生成速度は、未分離原料の約1.5倍となった。分離液分の最大バイオガス収率の80 %を達成するまでの発酵日数は、未分離原料の約0.54倍となった。液分の場合に処理速度が速くなる原因は、液分の方が不溶性の有機物が少なく、可溶化および加水分解の過程が比較的速く進むためであると考えられる。肉牛ふん尿の固液分離では有機物の液分への移行率が低いことが課題であり、固液分離前に生物学的な前処理を室内試験で実施した。3日間の生物学的可溶化により液分のCOD濃度は可溶化前の2倍となった。このことから可溶化による液分への有機物移行が認められた。また可溶化処理を行ったふん尿の液分を用いてメタン発酵バッチ試験を実施し、メタン収率および処理速度について評価を行った。前処理により最大メタン収率は52%向上した。また、最大メタン生成速度は48%向上した。これらの結果から、メタン発酵の投入原料を液分にすることで、処理速度が向上しメタン発酵装置の小型化に寄与できる可能性が示された。

2. 研究成果の学術的意義や社会的意義

神戸ビーフに代表される肉牛生産は神戸が世界に誇る地場産業である。しかしながら、肉牛ふん尿の資源化・環境対策には課題がある。本研究では、メタン発酵・堆肥化のハイブリッド処理に接続可能な肉牛ふん尿の固液分離を検討し、固形分は堆肥化へ、液分はメタン発酵への新規ハイブリッド処理を目指した。研究成果の学術的意義はこれまで知見の無かった肉牛ふん尿の固液分離挙動とその液分のバイオガス化ポテンシャルを明らかにした点である。また、社会的意義は提案する新規プロセスの開発により、堆肥の高品質化、メタン発酵による再生可能エネルギーとバイオ液の産出によって耕畜食連携に貢献できる点である。



3. 研究開始当初の背景

肉牛生産の現状とメタン発酵について

神戸の肉牛生産

- 神戸牛に代表される肉牛生産
- 市内の肉牛は8,000頭超 [1]



肉牛ふん尿処理の課題

- 堆肥化处理における臭気対策が不十分であること
- 資源としての利用が不十分なこと

臭気対策をするとともに、資源利用する技術が求められる



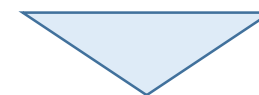
メタン発酵 を検討

- 有機物を嫌気性微生物によって分解
- バイオガスをエネルギー、消化液を液肥として利用
- 密閉容器内での処理によって臭気を抑制

固液分離の検討

肉牛ふん尿のメタン発酵における課題

- 直接メタン発酵に利用するのは困難
- 肉牛ふん尿は含水率55-70%で流動性が低いため、メタン発酵槽の配管の閉塞などの問題が生じる恐れ
- 既存施設での受け入れが困難
- 流動性が高い液分に限定した利用が望ましい



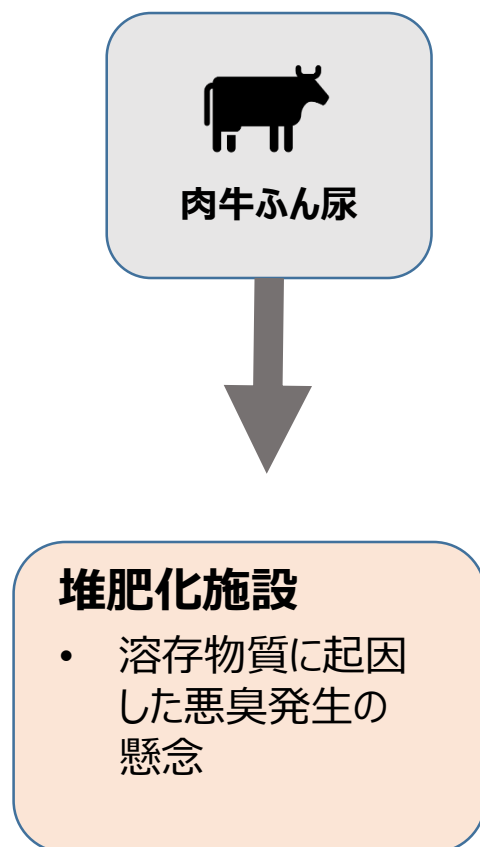
固液分離 に着目

- 家畜ふん尿を固分と液分に分離することで、液体に限定してメタン発酵に利用することが可能
- スクリーンプレス機等の機械による処理が一般的

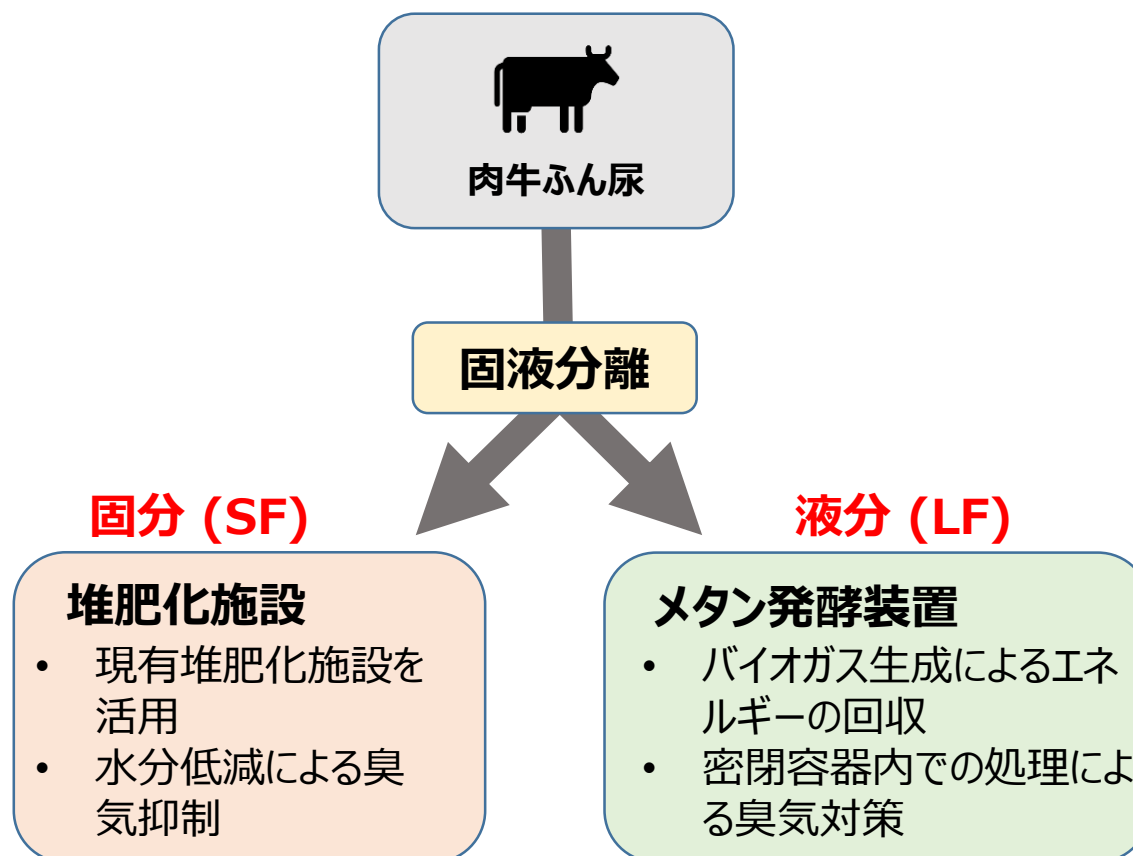


3. 研究開始当初の背景

一般的な肉牛ふん尿処理



提案する肉牛ふん尿処理



堆肥化とエネルギー利用の両立が可能

4. 研究の目的

研究目的

固液分離を導入した肉牛ふん尿のメタン発酵プロセスの開発

検討項目Ⅰ：肉牛ふん尿の固液分離性能

評価項目Ⅰ 固液分離が原料の性状に及ぼす影響

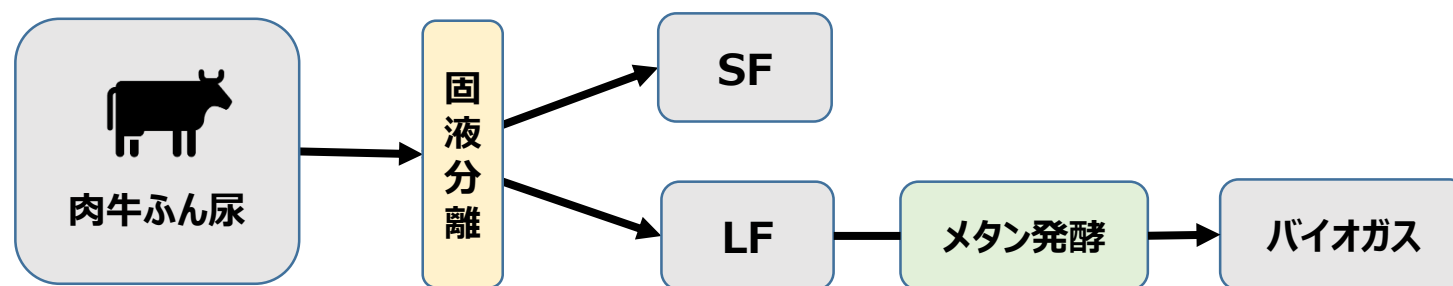
評価項目Ⅱ 分離液分のメタン発酵ポテンシャル

検討項目Ⅱ：生物学的前処理が固液分離性能に及ぼす影響

評価項目Ⅰ LFの有機物濃度

評価項目Ⅱ LFのメタン発酵ポテンシャル

実験の流れ



LF (Liquid Fraction) : ふん尿の液分、主として水分と粒径の小さな固形物で構成

SF (Solid Fraction) : ふん尿の固分、主として懸濁物質など粒径の大きな固形物で構成

5. 研究の方法

実験Ⅰ 肉牛ふん尿の固液分離試験

目的 スクリュープレス機による分離性能を明らかにすること

実験実施場所

- 神戸大学食資源教育研究センター

実験手順

肉牛ふん尿



固液分離



原料を投入して
固液分離

LF



分離した液分を
サンプリング

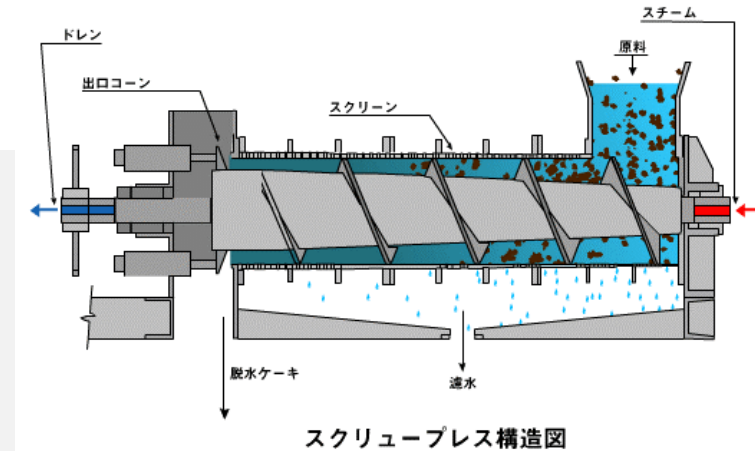
性状 (TS、VS)
を測定

使用器機 (セパレータ)

- スクリュープレス機 (富国工業株式会社)
- スクリュー形状: Q・A型
- ストレーナー: 入口下ドラム-高圧ドラム
- 2.0 φ×6.0 p (SUS304)
- 背圧形式: スプリング (線径5 mm)

評価項目Ⅰ

- LFの分離量
- LFの性状 (TS、VS)
- 物質収支



- スクリーンが張られている円筒状の外筒内部にスクローが設置
- クリュープレスが出口に向かって次第に太くなり、回転によって原料を搬送しながら圧縮することで液分を分離する構造

実験Ⅰ LFを投入原料としたメタン発酵ポテンシャル試験

目的 液分のメタン発酵への適用性を明らかにすること

実験材料

基質： 未分離の肉牛ふん尿、分離したLF

種汚泥： 酪農場のメタン発酵プラントから採取した消化液



リアクタ組成

基質と種汚泥をS/I比0.8で混合

S/I比： 基質のVSと種汚泥のVSの比

メタン発酵条件

- 37℃の嫌気性条件
- 期間は30日

表2 投入基質および消化液の性状

	未分離原料	LF	消化液
質量 (g)	28.4	122.9	180.1
TS 濃度 (%)	17.9	5.1	4.1
VS 濃度 (%)	15.5	3.6	3.0

TS： 物質中の固形物

VS： 物質中の揮発性固形物（主に有機物）

評価項目Ⅱ

- バイオガス収率
- バイオガス生成速度

実験Ⅱ 肉牛ふん尿の固液分離のための前処理試験

目的 温度と希釈溶媒が肉牛ふん尿の液分の性状に及ぼす影響の解明

実験手順

肉牛ふん尿



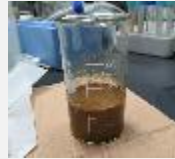
前処理



固液分離



LF



COD測定



前処理条件

希釈溶媒の評価試験

- ・ 反応時間：1-5日間
- ・ 温度：37℃
- ・ 希釈：水、消化液と水の混合液（1：1）

攪拌の評価試験

- ・ 反応時間：1-3日間
- ・ 温度：37℃
- ・ 希釈：水、消化液と水の混合液（1：1）

使用機器

孔径2 mmのふるい

攪拌装置

- ・ 三枚刃
- ・ 刃の長さ4.5cm
- ・ 回転速度200rpm



6. 研究成果



実験Ⅰ 原料の含水率が固液分離に及ぼす影響

無希釈原料・・・含水率64%の肉牛ふん尿原料
2倍希釈原料・・・加水して含水率82%に調整した肉牛ふん尿原料
LF・・・固液分離によって原料から分離された液体

表 1 原料の性状

	無希釈	2倍希釈
含水率 (%)	64.28	81.95
TS濃度 (%)	35.72	18.05
VS濃度 (%)	29.69	15.47

TS：物質中の固形物
VS：物質中の揮発性固形物
（主に有機物）

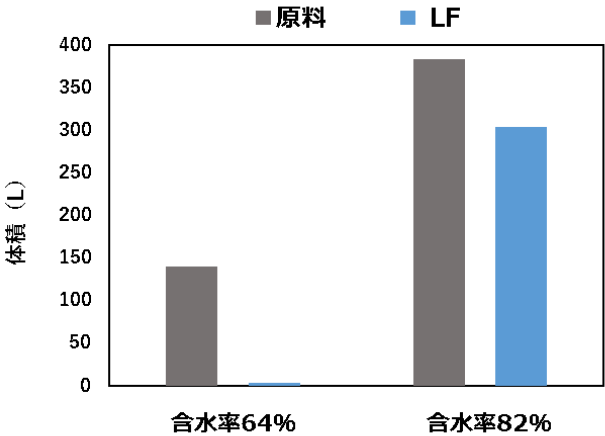


図 1 投入原料と分離した液分の量

- 無希釈原料は原料140 Lに対してLFは4 L分離した。
- 2倍希釈原料は原料383 Lに対してLFは303 L分離した。
- 2倍希釈原料への加水量は約190 Lであり、その分を差し引くと肉牛ふん尿由来のLFが約113 L分離したと考えられる。

実験Ⅰ 固液分離における物質収支

固液分離における物質収支を測定し、水分や有機物の移行量を評価

固液分離の流れ

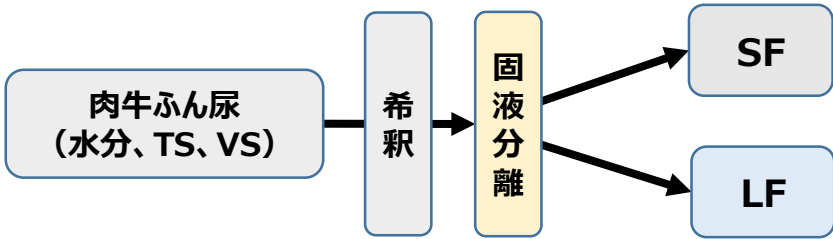


表1 希釈原料と液分および固分の性状

	希釈原料	LF	SF
TS 濃度 (%)	17.89	5.05	38.39
VS 濃度 (%)	15.47	3.57	34.46
質量比	—	0.61	0.39

物質収支

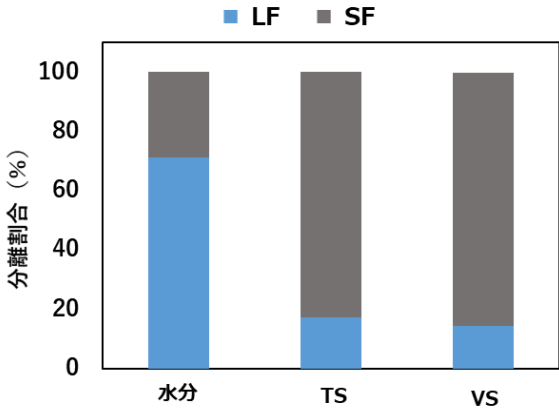


図 2 原料中の物質の分離割合

- 原料中の水分の71%が分離された。
- 分離液分のVS濃度は約3.6%であり、原料中のVSの14%が液分へ分離された。
- 原料中に液体として存在しているVSが少ないことが、LFへのVSの分離割合が低い原因であると考えられる。

実験Ⅰ バイオガス生成ポテンシャル評価

最大バイオガス収率や生成速度を評価するために動力学解析を実施

修正ゴンペルツ式^[2]

$$M(t) = M \times \exp \left[-\exp \left\{ R_{max} \times \frac{e}{M} \times (\lambda - t) + 1 \right\} \right]$$

M：最大バイオガス収率(m³/kg-VS)

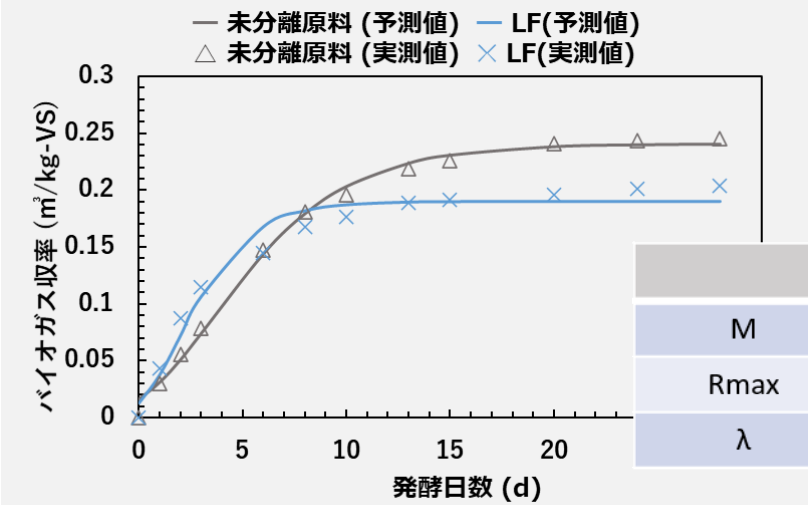


図4 バイオガス収率の動力学解析

表3 フィッティングの結果

	未分離原料	分離液分
M	0.24	0.19
Rmax	0.025	0.036
λ	0	0

- LFの最大バイオガス収率は、未分離原料の約78%になった。
- LFの最大バイオガス収率が未分離原料より低くなった原因は、難分解性の有機物が液分に比較的多く含まれているためであると考えられる。

実験Ⅰ メタン発酵における処理速度の評価

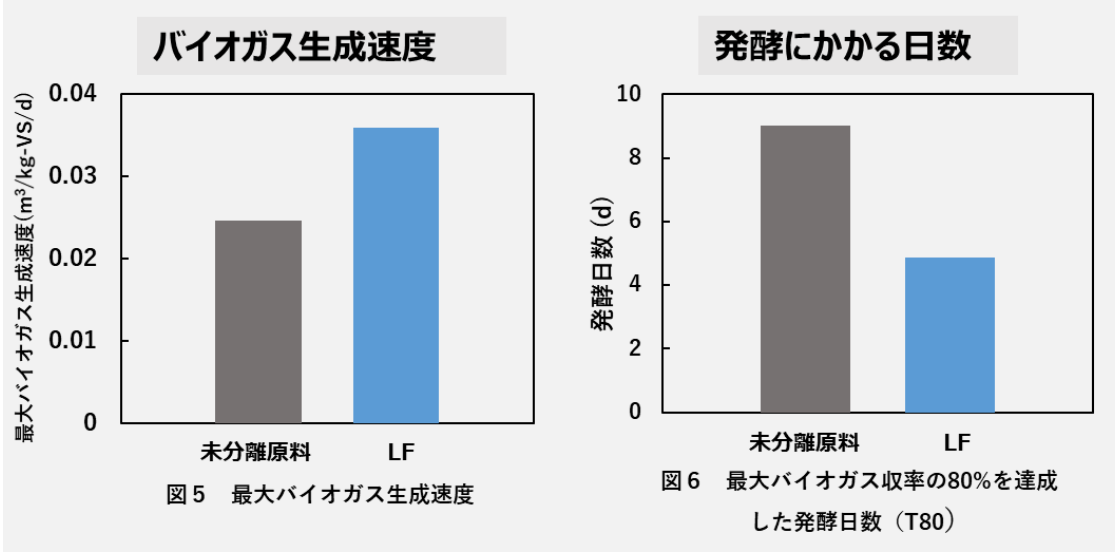


図5 最大バイオガス生成速度

図6 最大バイオガス収率の80%を達成した発酵日数 (T80)

- LFの最大バイオガス生成速度は、未分離原料の約1.5倍。
- LFの最大バイオガス収率の80%を達成するまでの発酵日数は、未分離原料より約 46%短縮。
- LFの方が不溶性の有機物が少なく、可溶化および加水分解の過程が比較的速く進むためと考えられる。
- メタン発酵の投入原料を液分にする事で、処理速度が向上しメタン発酵装置の小型化に寄与できる可能性が示された。

固液分離の前処理の検討

現地の固液分離試験の結果から、有機物の分離性能における課題が確認された。

現状の課題

- 有機物のLFへの移行量が少ない。
- メタン発酵の投入原料として利用するために、LFの有機物濃度を上昇させる必要がある。

➤ 固液分離前に有機物の移行量を増加させるための前処理を検討

一般的な前処理方法

熱処理

加熱することで有機物を可溶化させる

化学的処理

化学薬品によって固液分離を容易にする

問題点

消費エネルギーの増大

堆肥への悪影響の懸念

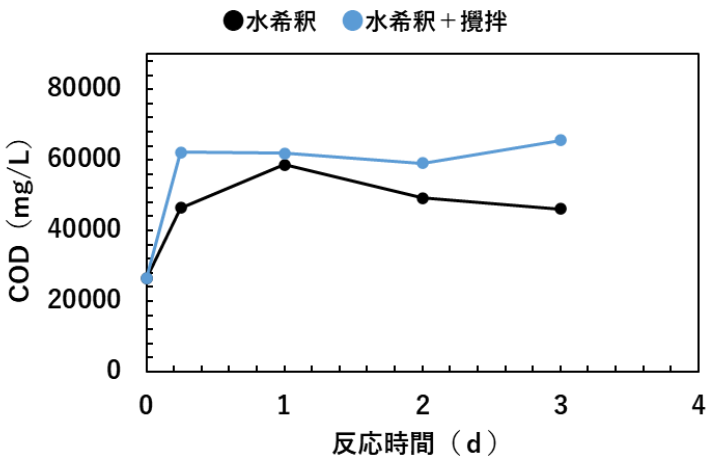
➤ 生物学的な分解による可溶化処理に着目し、固液分離試験を実施

実験Ⅱ 可溶化処理がLFへの有機物移行に及ぼす影響

LFのCODを測定し、LFに含まれる有機物量を評価した。

攪拌による影響

水希釈の場合



消化液希釈の場合

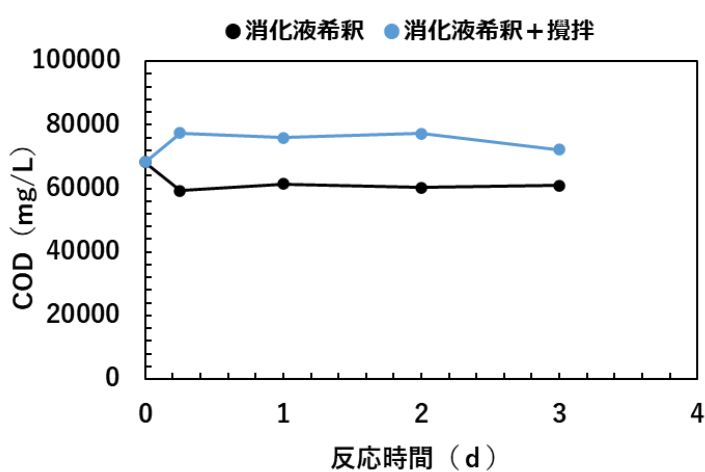


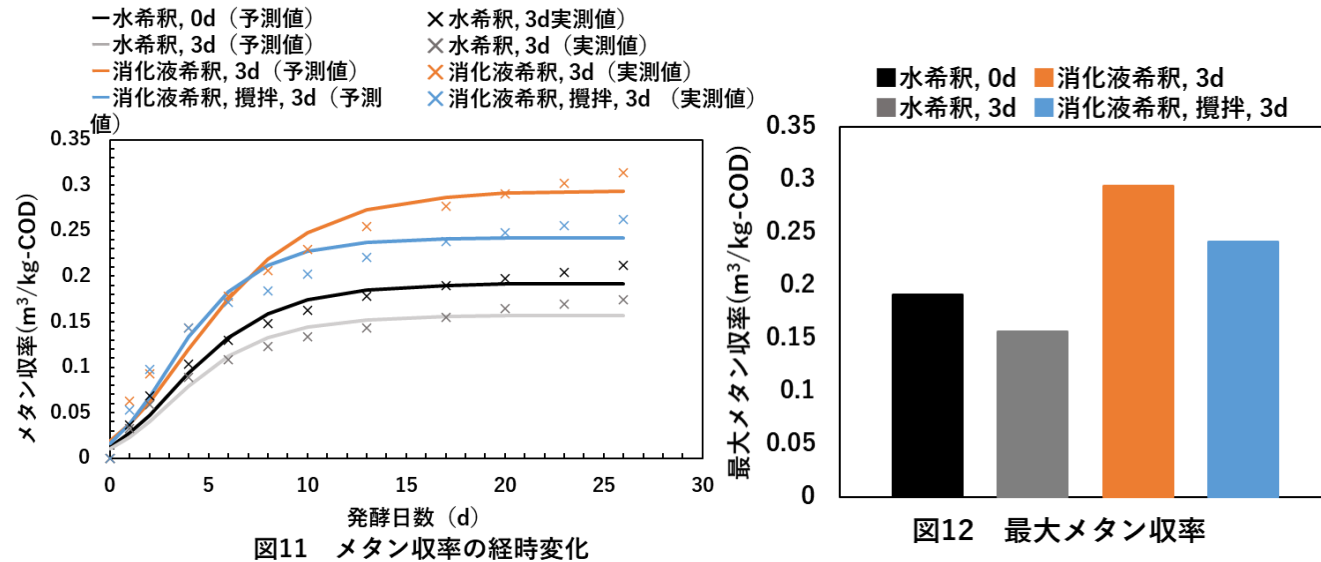
図9.10 攪拌による影響

- 水で希釈した場合、反応時間3日後のLFのCODは0日目の約2倍となった。
- 水希釈の場合は、攪拌をすることによって有機物濃度がさらに増加した。
- 消化液希釈の場合は、攪拌をしなかった条件では有機物濃度は低下したが、攪拌をした条件では有機物濃度が増加した。

6. 研究成果

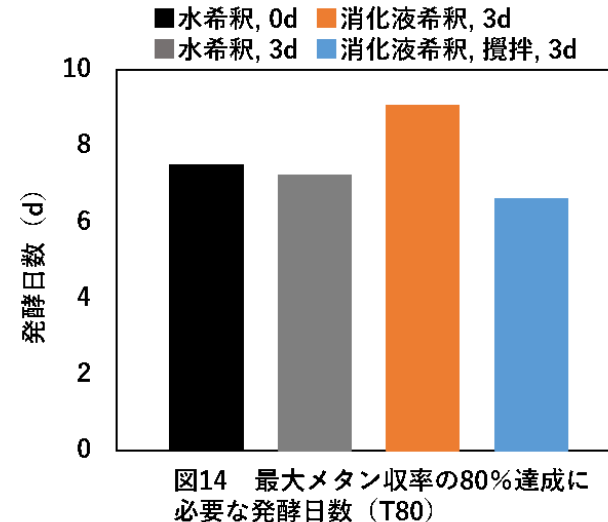
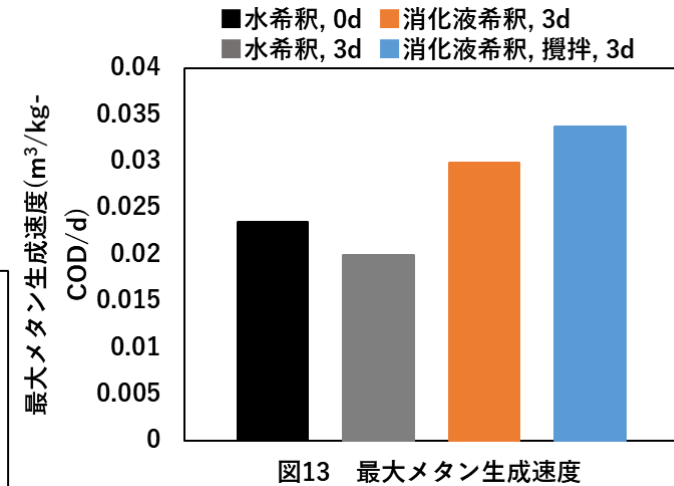
実験Ⅱ 可溶化前処理がメタン収率に及ぼす影響

LFのメタン発酵への適用性を明らかにするためにメタン収率を評価した。



- 消化液希釈して反応時間を3日設けた場合の最大メタン収率は、水希釈のみの場合より52%増加した。
- 最大メタン収率が向上した原因は、消化液で希釈したことでLFに易分解性の有機物が比較的多く含まれるようになったためであると考えられる。

実験Ⅱ 可溶化処理が処理速度に及ぼす影響



- 消化液希釈して3日間攪拌した場合の最大メタン生成速度は、水希釈のみの場合より48%向上した。
- 消化液希釈して3日間攪拌した場合の最大メタン収率の80%達成に必要な発酵日数は、水希釈のみの場合より12%短縮された。
- 消化液希釈のみの場合、最大メタン収率は最大となるが発酵にかかる日数も最長となることが分かった。
- 収率と発酵速度を両立するためには、消化液希釈と攪拌を行う必要があると考えられる。

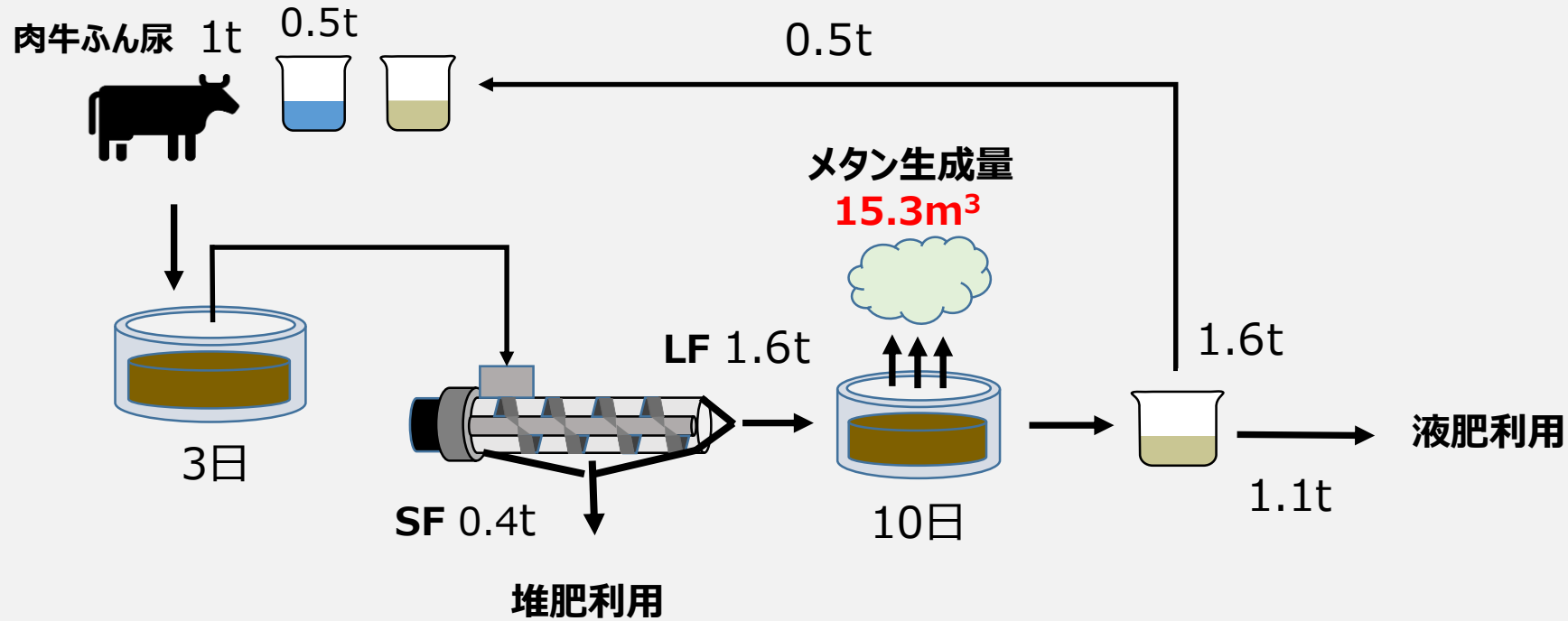
6. 研究成果



大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe

提案する処理法のメタン生成量の試算

提案する処理法



提案する処理方法によって

肉牛ふん尿1 tから15.3m³のメタンが生成され、エネルギーとして利用できる

1. 神戸市経済観光局, 令和5年 神戸市農漁業の現況, 2023
2. M.Bakraoui PAPERS OF THE 26TH EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE: SETTING THE COURSE FOR A BIOBASED ECONOMY, 2018