

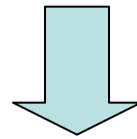
超高温可溶化技術を用いたメタン発酵 の効率化と有機性廃棄物の資源化

人間環境学科

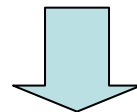
石橋 康弘

背景

- 全世界における化石燃料(石油)の**枯渇**と**価格高騰**
- 地球的規模での**温暖化問題**の顕在化
- 畜産糞尿の不適正処理による**地下水汚染**の顕在化



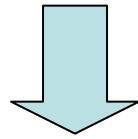
- **バイオマス資源**への期待が高まる
 - バイオマスの燃料化



- **食料/資源作物**(トウモロコシやサトウキビ)の**高騰**

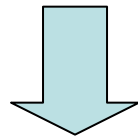
背景

- 食料資源と競合しない廃棄物のエネルギー転換
- カーボンニュートラル
- 下水汚泥/畜産糞尿等の有機性廃棄物の適正処理



一石三鳥となる技術

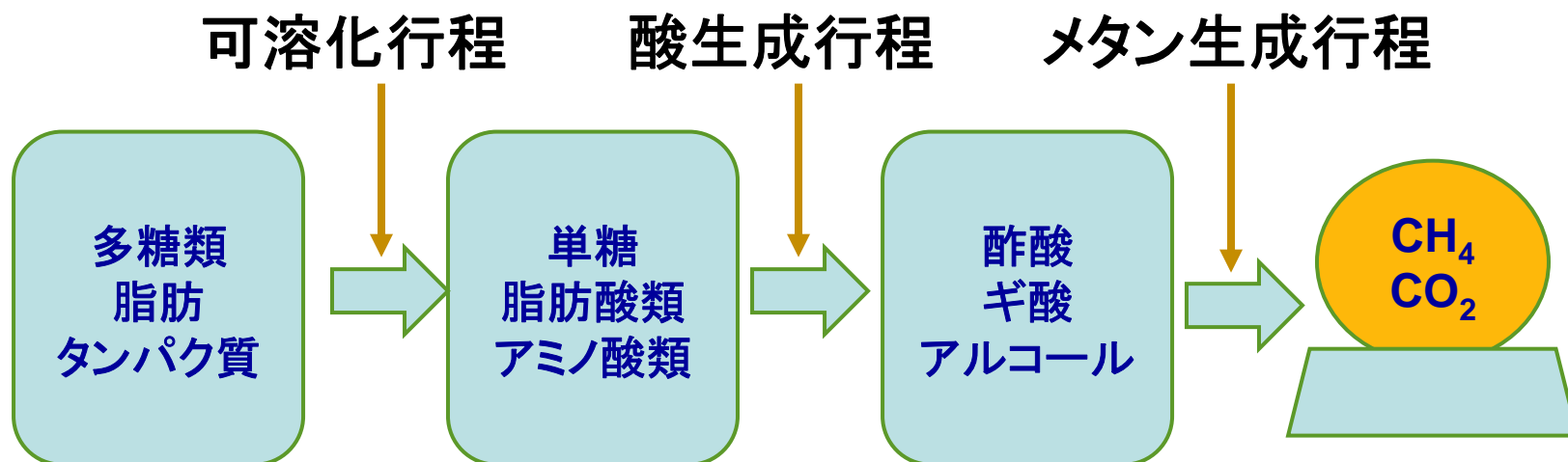
- **メタン発酵技術**が有効
 - しかし、事業性の悪さから技術採用が困難



事業化のためには...

- **効率の良いメタン発酵技術**が必要

メタン発酵プロセス



• 従来のメタン発酵

- 投入する原料の濃度が高ければ発生ガス量増大
- 高濃度のアンモニアが発生、発酵を阻害
- 大量の水で原料を希釈、原料を**固形物濃度(DS)8~10%**に調整
- 可溶化→酸生成→メタン発酵のプロセスを1つの槽で実施
- 大きな発酵槽、エネルギーの使用、大量の消化液の処理が経営を圧迫



これらの問題点を解決するため

「現在、前処理としての『可溶化』の研究がトレンド」

有機性原料の可溶化方法 1)

可溶化方法	分解率	利点	欠点
高压粉碎(亜臨界水)	85	高効率 省エネルギー	設備が複雑
超音波	100	完全分解が可能	エネルギー消費大
熱分解	55	簡単な装置構成	装置腐食対策
酸-アルカリ処理	30	簡単な装置構成	中和が必要
熱-酸-アルカリ処理	15~60	簡単な装置構成	中和が必要
オゾン処理	60	簡単な装置構成	高価な設置費用
生物学的処理(嫌気、好気)	5~50	単純な作業 低コスト	低い分解率 悪臭

1) NTS, バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用、
pp180(2007)

生物学的可溶化技術

- **嫌気性可溶化技術**

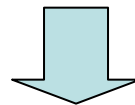
- 密閉容器で可溶化するため、悪臭の発生抑制が容易
- 嫌気状態を保つ設備と、攪拌装置が必要

- **好気性可溶化技術**

- 好気性のため、簡易な容器で可溶化可能
- ばっ気を行うことで、好気性菌の活性化とアンモニア除去(ストリップング)が同時に実施
- 悪臭対策が必要

超高温急速可溶化技術

- 80°Cの好気-高温環境下で耐熱性プロテアーゼを産生する新規微生物(特開2007-167047)を利用

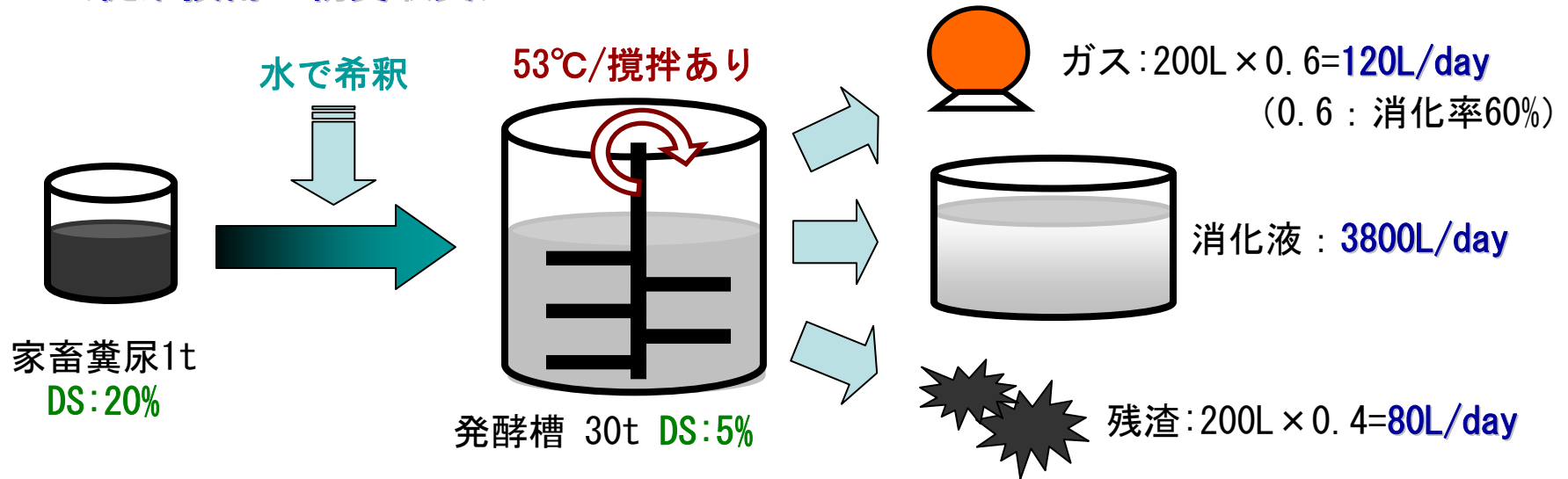


可溶化菌として

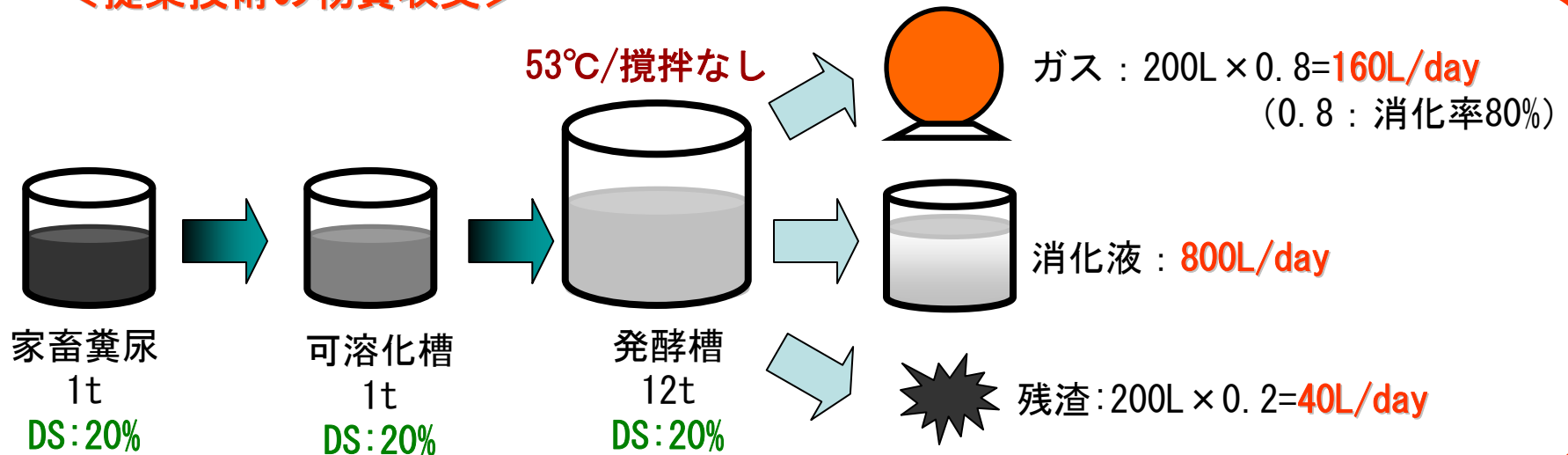
- *Anoxybacillus*属に近縁で、新規な好熱性細菌 *Bacillus sp.* MU3 (NITE AP-156号)として寄託された菌
- 菌の産生する酵素(耐熱性プロテアーゼ)
 - 分子量約57,000
 - 優れた熱耐性(45~80°Cで生育可能)
 - 広いpH範囲(至適pHは6付近)
 - 高いタンパク質分解能

技術の物質収支の比較

<従来技術の物質収支>



<提案技術の物質収支>



技術の特徴 (新規性や独創性)

既存技術

バイオマス原料:

固形物濃度4~8%

大量の水で希釈

消費電力:

攪拌工程あり、消費電力大

発酵期間:

24~30日の長期発酵期間要

発酵槽大きさ:

発酵槽容積大

発酵後の排水:

水で希釈のため、

発酵後排水処理量多

低消化率:30~60%

- 課題 -

- ・攪拌方式は低濃度化が必要
- ・反応促進加熱はコスト高

当該技術

バイオマス原料:

固形物濃度15~20%

水資源量少

消費電力:

攪拌工程なし、消費電力小

発酵期間:

発酵期間の短縮(10~15日)

発酵槽大きさ:

発酵槽容積小

発酵後の排水:

水での希釈なし、

発酵後排水処理量少

高消化率:80%

- 特徴 -

- ・高固形物濃度/高濃度メタン発酵
- ・攪拌装置なし

超高温可溶化技術

- ・超高温環境下でのバイオマス原料(高分子)の可溶化(低分子化)
- ・超高温環境下での可溶化処理によるメタン発酵時のアンモニア阻害の抑制
- ・バイオマス原料の希釈用水資源の節約

研究内容

- ・ 有機性廃棄物
 - 家畜糞尿、下水汚泥または生ゴミ等
- ↓
- ・ 可溶化菌による超高温高速可溶化
- ↓
- ・ 高効率メタン発酵技術の確立
- ↓
- ・ メタン発酵事業の事業性評価

研究内容

- **可溶化後のメタン発酵効率の検討**
 - 単位原料あたりのメタンガス発生量
 - 発酵期間
 - 回収ガスの性状
 - 消化液の発生量及び性状
- **実証試験による基礎データの収集**

可溶化試験

- 有機性廃棄物性状調査
 - 家畜糞尿である肉牛、乳牛、養豚、採卵鶏と厨芥類であるばれいしょ及びおからの含水率測定
 - メタン発酵に用いる原料の全COD_{cr}の測定
- 養豚糞尿における可溶化試験
 - 豚糞尿を固形成分(DS)を10%に調整
 - 3.4×10^6 CFU/mlに調整した好熱菌懸濁液を10ml添加し、攪拌を行いながら80°Cで可溶化した
 - 好熱性細菌を添加しない対象試験についても同時に実施した。
 - 固形物COD_{cr}または溶解性COD_{cr}を測定し、可溶化率の評価
- アンモニア除去能力試験
 - 可溶化試験と同様に試料を調整
 - 暴気は行わず、攪拌を行いながら80°Cで可溶化した
 - アンモニア態窒素の測定しアンモニアストリッピング評価

有機性廃棄物性状調査

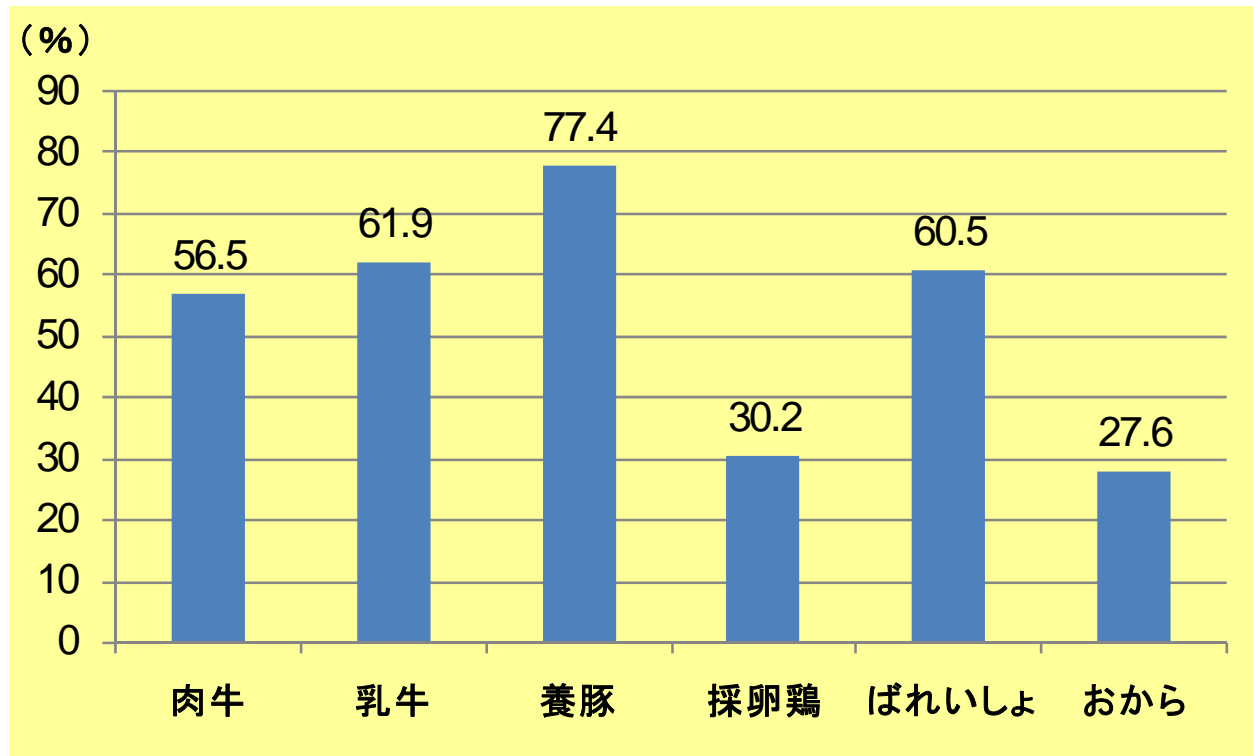


図 有機性廃棄物の含水率調査

有機性廃棄物性状調査

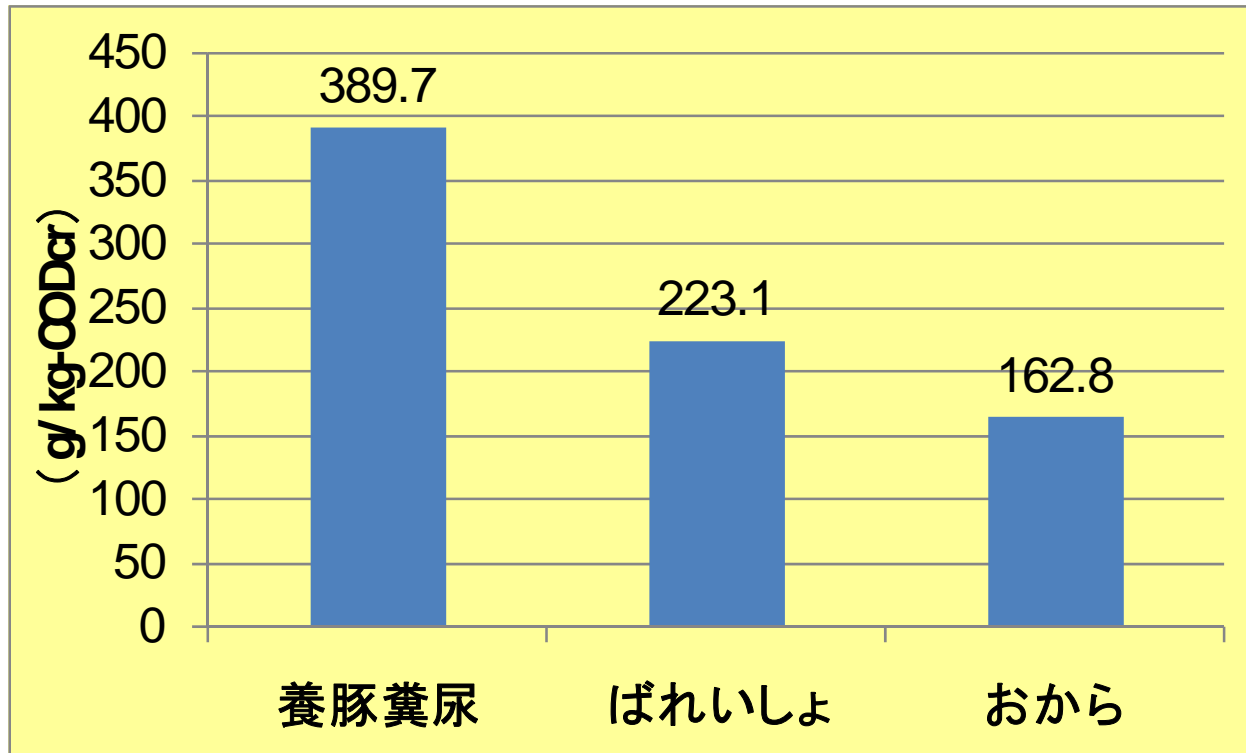


図 有機性廃棄物の全CODcr量

養豚糞尿における可溶化試験

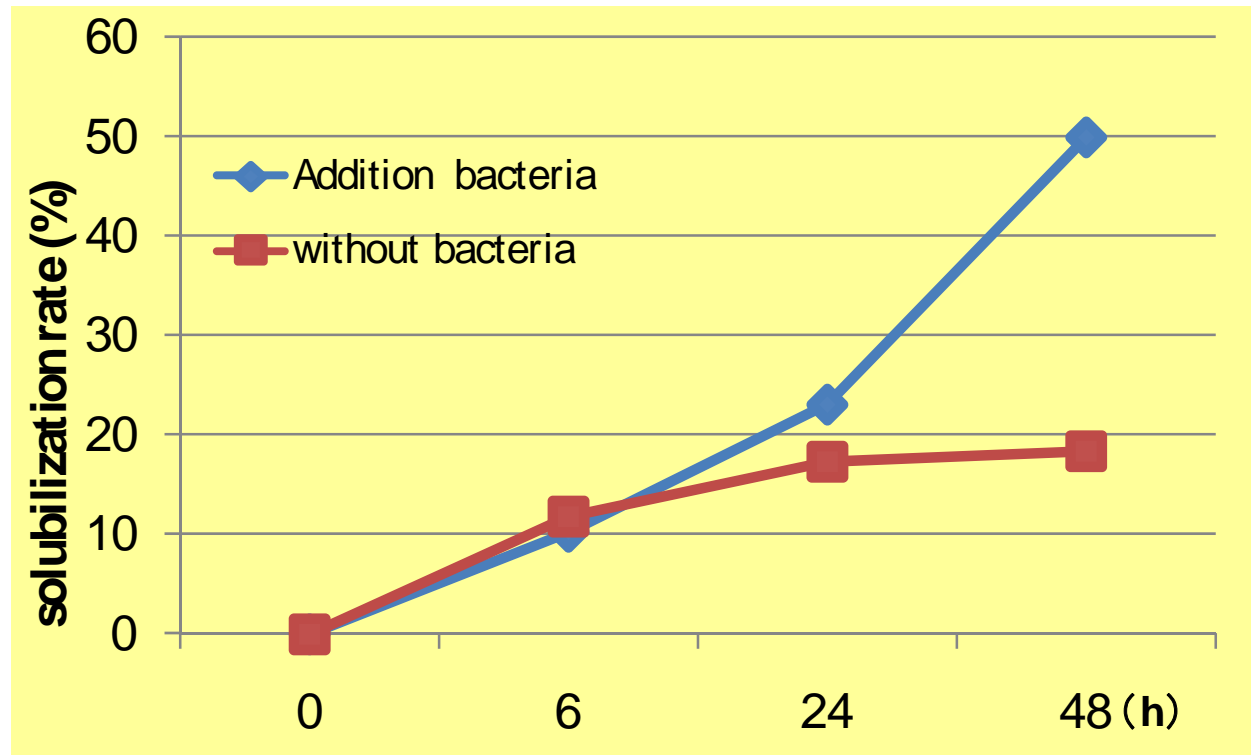


図 養豚糞尿における可溶化率

- ・好気性可溶化菌が繁殖する24時間までは、ほぼ同程度の可溶化率
- ・48時間後の可溶化率は、菌添加で約50%で菌添加なしで18%

アンモニア除去試験

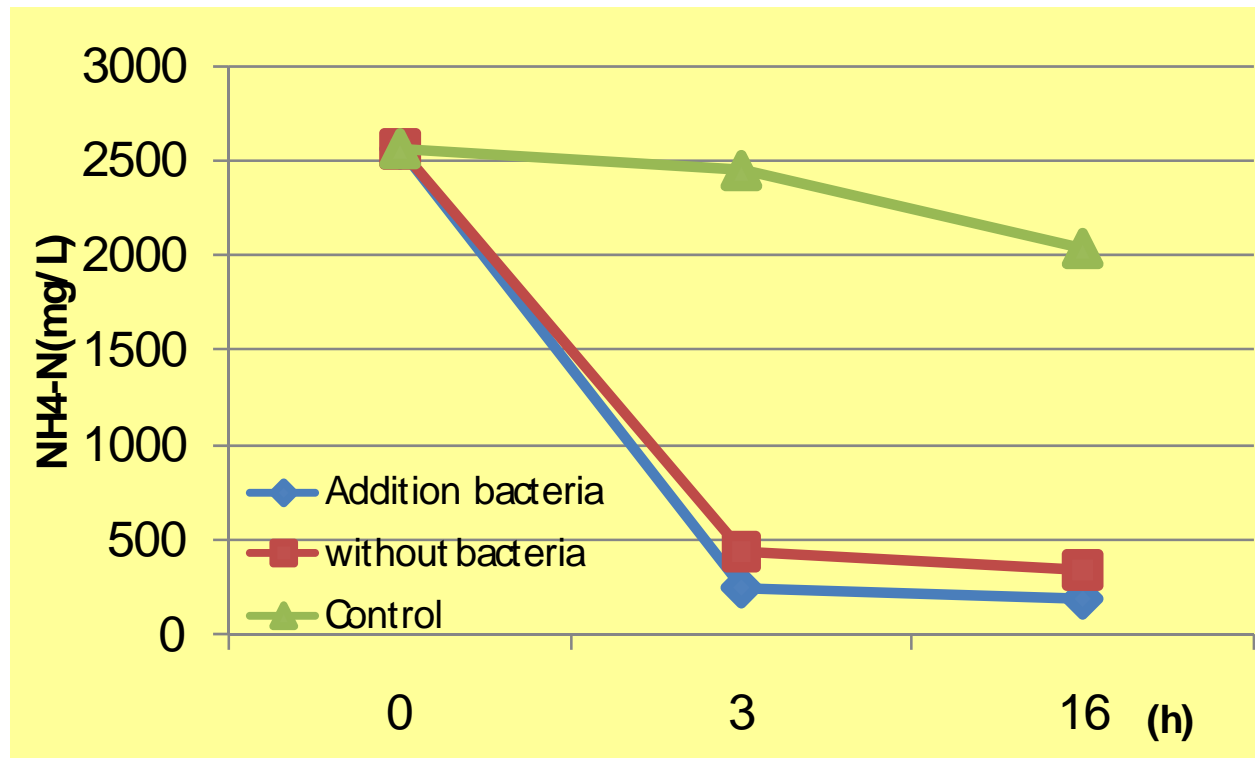


図 養豚糞尿アンモニア態窒素測定結果

- ・80℃で可溶化した試験区では、開始3時間で500mg/L以下まで減少した
- ・暴気は行わず、攪拌のみでの可溶化試験でもアンモニア除去が可能

養豚糞尿のマスバランス(CODcr)

表 好熱細菌添加ありでの豚糞尿の可溶化率

細菌添加	試験開始時	6時間後	24時間後	48時間後
溶解性(mg-CODcr)	14580	21105	29205	44325
固形物(mg-CODcr)	63360	56835	48735	33615
可溶化率(%)	0	10.30	23.08	49.94

表 好熱細菌添加なしでの豚糞尿の可溶化率

細菌添加なし	試験開始時	6時間後	24時間後	48時間後
溶解性(mg-CODcr)	14580	22140	25512	26235
固形物(mg-CODcr)	63360	55800	52428	51705
可溶化率(%)	0	11.93	17.25	18.39

高温可溶化によるメタン発酵

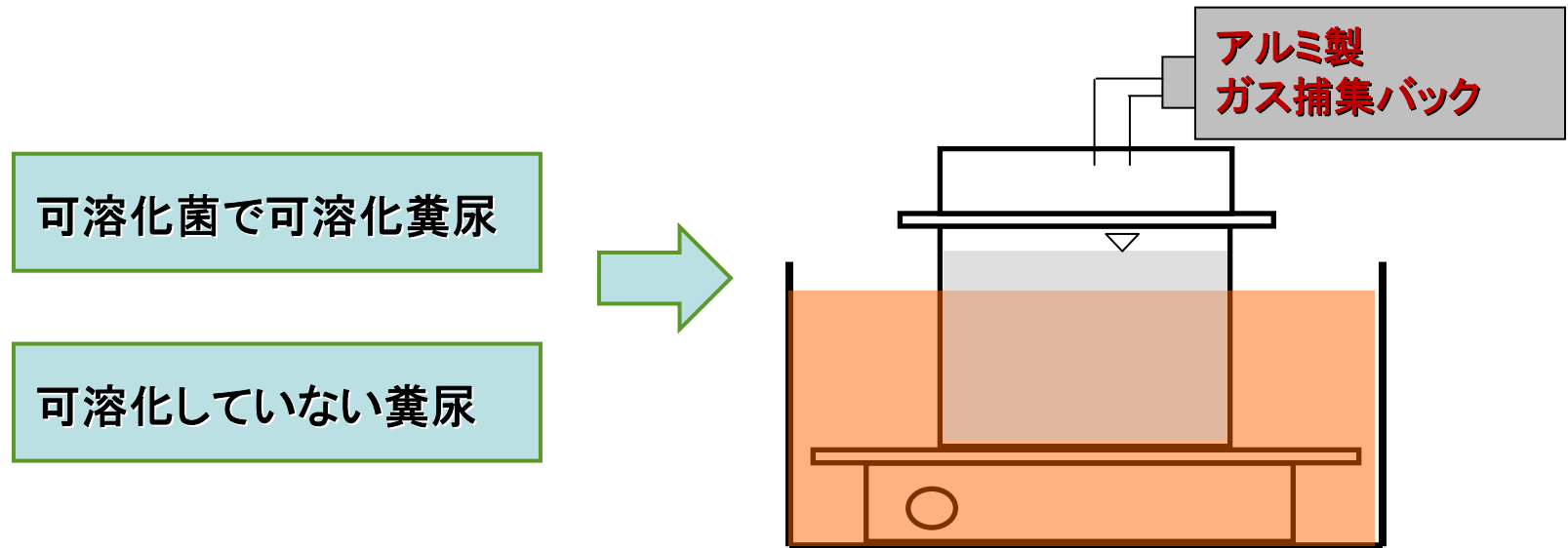


図 可溶化した養豚糞尿におけるメタン発酵試験

- ・ガス検知管によりメタンガス発生を確認

先行研究で行われている養豚糞尿でのメタン発酵処理を参考にガス発生量の検証を行った

メタンガス発生量調査

表 好熱細菌添加ありでの豚糞尿のメタンガス発生量

細菌添加	試験開始時	6時間後	24時間後	48時間後
溶解性 (g-CODcr/kg)	29.1	42.2	58.4	88.6
COD1gあたりのメタン発生量 ²⁾	0.5L-CH ₄			
発生量 (L-CH ₄ /kg)	14.5	21.1	29.2	44.3

2) 廃棄物学会誌, Vol.17, No.1, pp87-95, 2006

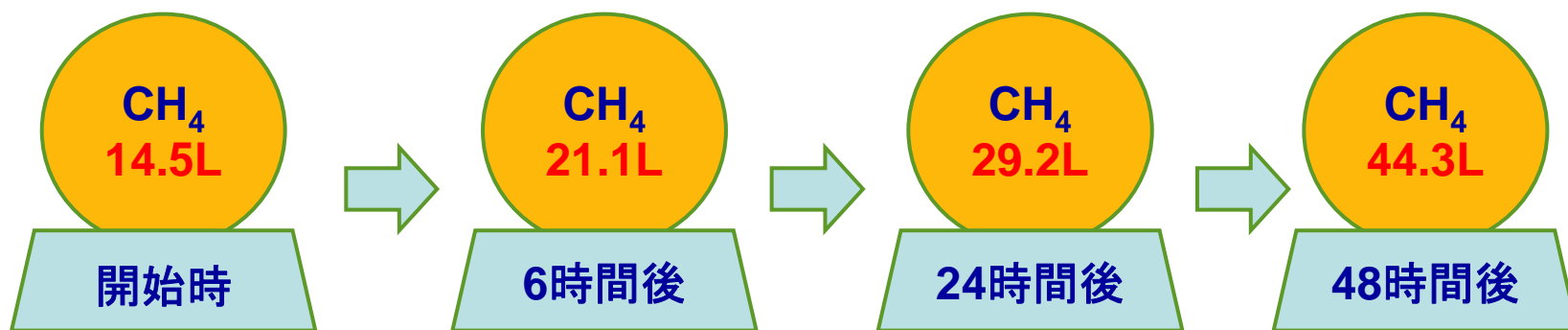


図4 時間経過ごとのメタン発生量

- ・可溶化を行うことでメタンガス発生量が増加
- ・試験開始にくらべ、48時間後では約3倍のメタンガス発生が見込まれる

室内実験によるまとめ

- ・ 好気性可溶化菌 (MU3) による高い可溶化率を確認
- ・ 可溶化後の養豚糞尿でのメタンガス発生を確認
- ・ 可溶化を行った原料によるメタンガス発生量は、可溶化を行っていない糞尿に比べ、約3倍となることが期待
- ・ 80°Cでの可溶化により、メタン発酵阻害物質であるアンモニアの除去が可能

下水汚泥によるメタン発酵

- 下水汚泥の組成成分分析
 - 固形物濃度(DS)、全リン、全窒素、アンモニア態窒素、炭素率(C/N比)およびCOD_{cr}の測定
- 下水汚泥による可溶化試験
 - 下水汚泥における条件の確立
 - 高固形物濃度での可溶化試験
- 可溶化した下水汚泥のメタン発酵
 - ガス発生量の測定
 - 発生ガス成分分析

長崎市における下水処理場

表 長崎市内の下水処理場の運転実績

		5処理場合計(長崎市内)
流入下水道量	m ³ /年	45,181,250
	m ³ /日	123,446
脱水ケーキ量	t/年	31,880
	t/日	87.1

長崎市上下水道局下水、
平成19年度下水処理場水質管理年報

長崎市の5処理場に流入する下水道量は平成19年度で
45,181,250m³/年発生し、一日当たり**123,446m³/日**発生

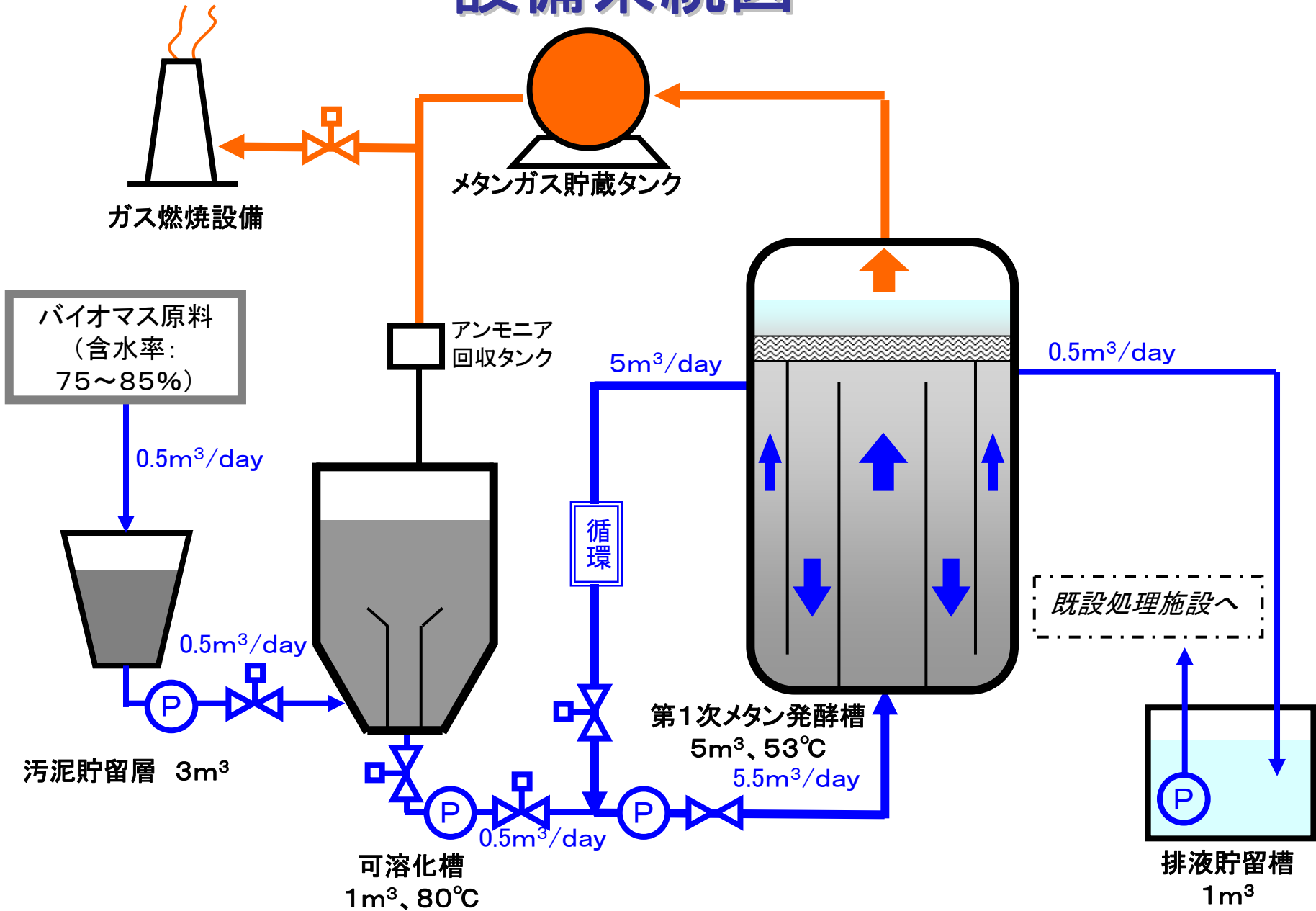
東部下水処理場における汚泥発生量

表 東部下水処理場運転実績

		東部下水処理場
流入下水量	m ³ /年	3,640,750
	m ³ /日	9,947
汚泥発生量 (濃縮汚泥)	m ³ /年	31,595
	m ³ /日	86.3
脱水ケーキ量	t/年	2,981
	t/日	8.1

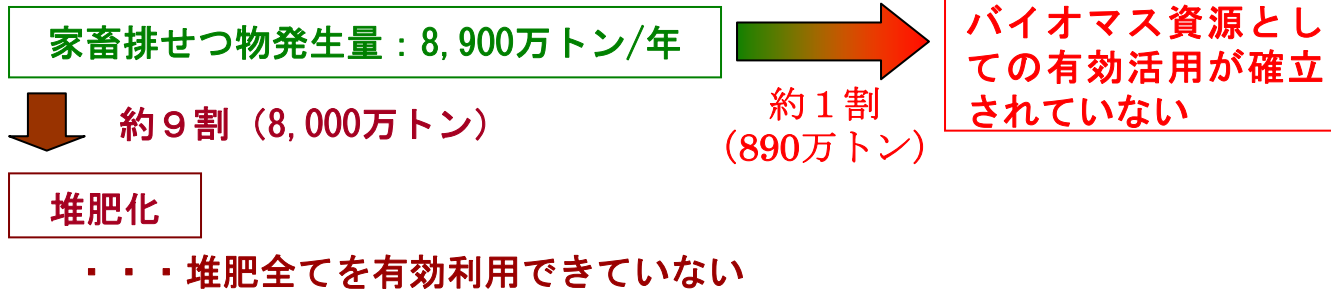
- ・脱水ケーキに含まれる含水率は年間平均で**63%**
- ・発生した汚泥や脱水ケーキは焼却処分、コンポスト化およびセメント原料として処理

設備系統図



エネルギー効果

日本国内の家畜排せつ物のバイオマス資源としての利用（現状）



本研究の成果による家畜排せつ物のバイオマス資源のエネルギー代替効果の試算
（エネルギーとメタン発酵処理装置の普及台数から）

家畜排せつ物(豚糞尿)発生量11,500トン/年（※長崎県内の某畜産場）

メタンガス発酵装置によるバイオガス発生量
 8.83×10^9 kcal/年

原油換算：968キロリットル（メタン発酵装置1台で処理）

豚糞尿(固形分)の単位重量発熱量：4800kcal/kg
 $(11500 \times 1000 \text{ kg/年}) \times 0.2 \times (4800 \text{ kcal/kg}) \times 0.8 = 8.83 \times 10^9 \text{ kcal/年}$

全国の家畜排せつ物のバイオマス資源としての未利用分890万トンの1%以下

※ 原油1リットル：発熱量9126kcal

- ・2015年までに 50台普及... 48,377キロリットル (CO₂換算:約12万6711トン)
処理家畜糞尿量：57万トン(全国の家畜排せつ物のバイオマス資源としての未利用分890万トンの6%)
- ・2030年までに350台普及...338,636キロリットル (CO₂換算:約88万6971トン)
処理家畜糞尿量：400万トン(全国の家畜排せつ物のバイオマス資源としての未利用分890万トンの45%)

期待される効果

* 地域新産業創出

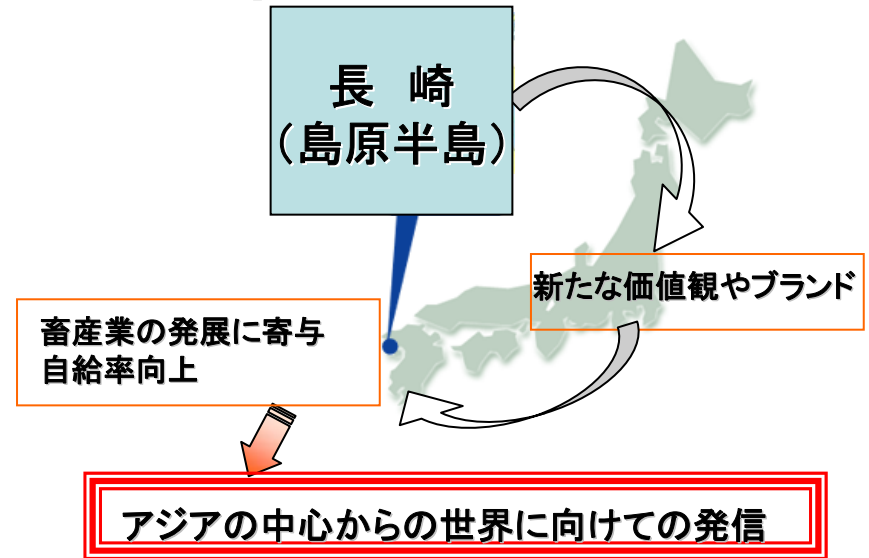
- ・畜産業振興
- ・新たな環境企業育成
- ・新たな人材育成
- ・新たな雇用創出

* 農商工連携

- ・地域工業技術と農業との関係ブランド化による競争力強化
- ・食文化と農産品の新価値観による自給率向上

* 地球温暖化対策貢献

- ・畜産ふん尿から持続可能エネルギーの安定生成
- ・環境保全、CO₂削減効果



さらに、長崎県発技術による海外進出